

營建工程之風險管理

Risk management study in construction projects

黃賢統¹黃慶隆²

S. T. Hwang

CHING-LOONG HWANG

¹東南技術學院土木工程系 ²東南技術學院營建管理系

摘 要

營建工程建設因其具有(1)對社會影響力大、(2)投資金額龐大、(3)工程內容繁複、(4)施工工期長、(5)投資回收期長等特性，致使營建工程生命週期中充滿著許多風險。將如何降低、預防風險的發生與其應對，正是營建風險管理之目標。

本計畫探討營建工程以水庫工程為例之生命週期中所有不確定因素或風險，分析其可能產生之衝擊，並擬定有效方法來達成工程目標。本計畫針對營建工程以水庫工程為例，探討風險管理主要內容，配合台灣工程實例，加以詳加研究，以提供營建工程管理、決策之參考與應用。

研究主要內容，包括營建工程以水庫工程為例計有：風險確認、風險分析、風險處理三項。風險確認，在探討營建工程風險之認知與辨識。風險分析，在探討營建工程因風險事件所引起之災害模式，其包括災害可能性(機率)、災害損失大小及其影響等。風險處理在探討風險處理措施，包括減緩風險之方案研究及方案評估比較等，以求得最適風險處理方案。

關鍵字：風險管理、風險確認、風險分析、風險處理

Abstract

The core content of risk management study in construction projects of reservoir is to identify and analyze all uncertain factors involved naturally or artificially that could possibly cause the failure of projects and find an effective way to minimize the negative impact of these factors in order to achieve the goal of each project.

Therefore, in this study we are trying to address the frequent subjects in risk management along with the characteristics of engineering construction environment in Taiwan. We also use cases study to illustrate the appropriate methods and techniques of risk management for local construction projects of reservoir to provide the reference and application for construction work management decision making.

Scope of study includes risk identification, risk analysis, and risk treatment. The risk identification is to investigate the risk recognition and identification. The risk analysis is to study the potential hazards and losses with the possible construction project failure. Risk treatment is to find better measures to fend off the malpractice in local construction in order to reduce construction project risk.

壹、前言

營建工程建設因其具有(1)對社會影響力大、(2)投資金額龐大、(3)工程內容繁複、(4)施工工期長、(5)投資回收期長等特性，致使營建工程生命週期中充滿著許多風險。將如何降低、預防風險的發生與其應對，正是營建風險管理之目標。

本計畫探討營建工程生命週期中所有不確定因素或風險，分析其可能產生之衝擊，並擬定有效方法來達成工程目標。本計畫針對營建工程以水庫工程計畫為例，探討風險管理主要內容，配合台灣工程實例，加以詳加研究，以提供營建工程管理、決策之參考與應用。

研究主要內容，包括營建工程以水庫工程計畫為例計有：風險確認、風險分析、風險處理三項。風險確認，在探討營建工程風險之認知與辨識。風險分析，在探討營建工程因風險事件所引起之災害模式，其包括災害可能性(機率)、災害損失大小及其影響等。風險處理在探討風險處理措施，包括減緩風險之方案研究及方案評估比較等，以求得最適風險處理方案。

貳、營建工程風險管理理論-以水庫工程計畫為例

風險管理(Risk Management)的觀念可源於 Fayol 所著「一般與工業管理」，將風險管理列為企業管理主要功能。風險管理之意義，Williams 與 Heins 認為係透過風險之鑑定、衡量與控制，以最小成本達到最低的風險損失。本研究將風險管理定義為對風險之認識、衡量與分析而以最小成本達到最大的保障及效益之管理方法。識別所有不確定因素或風險，分析其可能的影響，擬定有效處理方法，其主要內容包括：風險確認、風險分析、風險處理三大步驟。風險確認在於對風險認知與辨識；風險分析在於認識風險後，分析風險事件發生時可能遭受的損失，並且正確的加以衡量，確定其相對重要性；風險處理則在規劃與選擇風險減免方案，處理所面臨的各種風險。

根據上述風險管理之基本理論應用在水庫工程，即在探討水庫工程風險評估問題。水庫工程風險評估之主要目的，在規劃建立災害發生時之財產、人命損失情形及其可能性之模式，以擬訂適宜之對策及措施。通常災害發生之評估，將面臨許多不確定性，例如：隨機性災害發生時之不確定性，如某一年、某一時刻、某一季節發生之機會等。即使在災害發生後，其後果之評估，如結構物對外力之反應、緊急服務之有無及程度、及大眾對於緊報之反應，均有不確定性存在。迄目前為止，上述災害風險評估，尚無標準而系統化之方法，以評估此類不確定性。因此，評估時多憑經驗或參考類似災害以往之記錄，以進行分析。基於此，發展機率風險評估，以提供一影響風險之隨機事項能有程序的組合，並能測度其發生之可能性，極具意義。風險定量為將上述各項綜合，以測度災害後果。災害衝擊之量化方式，包括導致不利後果諸隨機事

件之合理組合。風險減免為制定救濟或避免方案，期以降低災害破壞之機率、風險成本、與生命損失，並對各方案加以評估，以選擇適當方案。

綜合國內、外有關風險評估之論著[1~16]、[17~27]，可歸納風險評估程序主要包含一、風險模式建立、二、風險定量、三、替選方案研擬及評估三項內容。

一、**風險模式建立**，首先須利用問卷及檢核表法，列出可能的風險來源因子，並決定各因子衍生之後果，次將此因子及後果組織成合理可能的邏輯事件順序，這種組織稱為事件樹圖。事件樹圖之組成，依次為：初始事件(Initiating Event)、系統反應(System Response)、產出(Outcome)、暴露(Exposure)、後果(Consequence)五項，構成風險模式。

(一)初始事件

水庫工程初始事件，一般考慮：1.地震、2.洪水、3.山崩、4.其他重大人為災害等。

(二)系統反應

水庫工程系統反應，一般考慮：1.變形、2.坡度不穩定、3.液化、4.基礎不穩定、5.管湧等。

(三)產出

水庫工程系統反應後之產出，一般為破壞、部分破壞或未破壞兩種。

(四)暴露

暴露係指受水庫工程潛在災害之財產及人命，一般考慮：1.季節、2.時刻、3.警告時間、4.破壞方式等之影響。

(五)後果

水庫工程風險後果可分為：1.經濟損害、2.人命損失、3.環境破壞、4.社會傷害等，惟一般分析常考慮前二項。

二、風險定量

建立風險模式後，須將各種風險事件及其後果，以機率定量之。即在對事件樹圖的每一枝指定一機率，並為每一種破壞模式指定破壞後果，各由在事件樹圖中的個別枝道表示。其機率與破壞後果之預估，可依下列公式求取。

(一) *i*th枝道機率， $Prob(P_i)$ ，係由下式求出：

$$Prob(P_i) = Prob(E) Prob(R/E) Prob(O/E, R)$$

$Prob(E)$ ：初始事件E發生之機率

$Prob(R/E)$ ：已知初始事件E之條件下，系統反應R發生之機率。

$Prob(O/E, R)$ ：已知初始事件E及系統反應R之條件之條件下，產出O發生之機率。

(二)失敗之總機率P，係事件樹中各失敗分枝機率 P_i 之總合，失敗分枝之總數有M項時，P值可由下式求出：

$$P = \sum_{i=1}^M Prob(P_i)$$

(三)*i*th枝道的部分風險成本 C_i ，係指求出枝道機率與經濟損害後果LE的乘績而得，如下：

$$C_i = Prob(P_i)LE$$

(四)風險成本，係在風險模式中事件之損害年平均(或期望值)。總風險成本C係所有於事件樹圖中互斥分之N的各風險成本總數和，如下：

$$C = \sum_{i=1}^N C_i$$

(五)由ith枝道說明因一破壞引起風險人口PAR的生命損失LL，以下式表示：

$$LL = Prob(L/E, R, O)PAR$$

Prob(L/E,R,O)=：已知初使事件E、系統反應R、產出O之條件下，生命損失LL暴露之機率。

三、替選方案研擬及評估

風險定量後，可得不做任何行動方案的風險成本或損失，如果此等風險成本或損失為不能接受，則須進行研擬替選方案及評估。替選方案研擬及評估之意義，在於減少一嚴重風險事件之潛在性損失。對於風險減免方案之研擬及評估，著重於其有效性及可被接受性，必須考慮技術、經濟、財務、社會等方面之影響。通常風險減免方案選擇前，必須將各方案予以評估，評估時常用成本效益之比較，找出成本最小、利益最大、(效益-成本)最大、(效益/成本)最大、投資報酬率最大、效用最大等。

參、事件樹法風險管理實例 水庫風險評估

一、描述現場條件

明德水庫事由滾壓式土壩、水壩、出水工、溢洪道組成，壩位於老田寮溪(後龍溪支流)下游明德村附近。其壩高35.5公尺，壩頂長187公尺。壩頂標高65公尺，頂寬10公尺。壩上游面坡度式3.5：1，下游面坡度2.5：1。壩上、下游面，均堆砌礫石。壩於1969年1970年分兩期構築。

壩主要附屬結構，有出水工及溢洪道。出水工由一座進水塔及約275公尺長的隧道組成，位於離壩右岸相當遠處。溢洪道是有閘門混凝土洩槽位於右岸，溢洪道堰頂標高55.5公尺，而每年月水位變化自低目標44公尺標高至高目標61公尺標高。溢洪道堰頂設置6座寬5.5公尺之弧形閘門，共寬33公尺，弧形閘門是電力操作。一柴油發電機，是緊急應變電力，用以操作溢洪道閘門。溢洪道設計排洪量為1,200cms，最大可能洪水PMF為2,435cms。

二、風險確認 確認初始事件

風險確認，主要在確認風險初始(來源)事件，明德水庫之風險來源事件，根據問卷及檢核表法，得到主要有三種：(一)颱風、(二)地震、(三)內部靜力。颱風造成洪水事件，可將洪水大小分成8個區間為初始事件；地震引起地表加速度，可將地表加速度分成5個區間為初始事件；內部靜力易引起管湧、斜坡不穩定、基礎不穩定，可將其三項作為初始事件；如表1~表3。

三、風險模式建立 決定系統反應及產出

風險模式建立，主要在建立初始事件、系統反應、產出 等事件樹圖。因此，確認初始事件後，須決定系統反應及產出等。明德水庫洪水事件引起系統反應，主要有三：(一)0或1閘門故障、(二)2閘門故障、(三)全部閘門故障；系統反應的產出，包括：(一)未破壞、(二)溢頂破壞、(三)址侵蝕破壞三種。地震地

表加速度引起系統反應，主要有三種：(一)未失敗、(二)液化、(三)斜坡不穩定；內部靜力之產出，包括：(一)未破壞、(二)破壞兩種。

綜上，可得明德水庫之初始事件、系統反應、產出之事件樹圖，如圖1~圖3。

四、風險定量(一) 執行暴露及災變後果評估

風險定量，在決定風險事件發生之後果、發生之機率、及風險成本(後果與機率之乘積)，予此檢討風險事件發生之後果。明德水壩破壞引起之經濟損害及人命損失情形如下：

(一) 颱風事件

1 最大可能洪水PMF入流量2,435cms時

根據全國79年逢甲大學「明德水庫安全評估總報告」[18]，可得：最大可能洪水發生時，明德水庫下游約一萬人受洪水波及、最大淹水深3.55公尺、約600公頃稻田遭受淹沒、洪水到達時間最長只有35分鐘等。此等資料，可計算損失情形如下：

(1) 人口集中區住家損失

苗栗縣每戶平均人口4.73[28]人，約有2,115戶受洪水波及；苗栗平均每居住單位居住人口數6.02[28]人，約有1,660居住單位受洪水波及；採平均淹水深度1.8公尺；據問卷調查結果計淹水深1.5公尺一戶損失新台幣55萬元，淹水深2公尺一戶損失約72萬，故淹水深度深1.8公尺時一戶損失約64萬。因此，人口集中區受潰壩洪水波及損失約為： $640,000 \times 1,660 \times 0.35[7]=371,840,000$ 元。

(2) 工業損失

苗栗後龍鎮工廠141家[29]，登記資本額2,011,235,000元，固定設備金額388,827,000元，存貨及存量622,243,000元，年營業收入4,578,250,000元。

洪犯區內有12家工廠，故其損失約為：(a)存貨及存料 $622,243,000 \times \frac{12}{141} \times$

$0.35=18,535,000$ 元、(b)設備 $388,827,000 \times \frac{12}{141} \times 0.35=11,582,000$ 元、(c)收入

$4,578,250,000 \times \frac{12}{141} \times \frac{1}{12} \times 0.35=11,364,000$ ，合計損失：

$18,535,000+11,582,000+11,364,000=41,481,000$ 元。

(3) 農業損失

每公頃糙米產量3,977公斤[28]，每公頃糙米價值

$37,987,474,000/1,806,596[28]=21,000$ 元，故農業損失約為： $21,000 \times 3,978 \times 600 \times 0.35=50,123,000$ 元。

(4) 公共設施損失

河道寬約80公尺，橋樑受損寬約 $5 \times 80 \times 0.35=140$ 公尺，公路受損長約 $5,000 \times 0.35=1,750$ 公尺，及其他如電力、電訊設備等，故公共設施損失約為：

$(140 \times 20 \times 30,000+1,750 \times 16,000) \times 1.2=(840,000,000+28,000,000) \times 1.2=134,400,000$ 元。

(5) 計畫損失

水庫年供水量4,793萬立方公尺[18]，其計畫損失約為：0.933[18]×

$$47,930,000 \times \frac{(1+0.1)^{27} - 1}{0.1(1+0.1)^{(109-82)}} = 44,719,000 \text{元} \times 9.237 = 413,069,000 \text{元}。$$

(6)人命損失

淹沒範圍內之風險人口約有一萬人，故其可能之人命損失依下列公式計算：

$$LOL = PAR^{0.6}$$

即：人命損失 $LOL = (10,000)^{0.6} = 251$ 人

每人保險給付額164,174[30]÷0.0397[30]=4,135,365元，故人命損失轉化為金錢時，約為：4,135,365×251=1,037,977,000元。

(7)合計：371,840,000+41,481,000+50,123,000+134,400,000+413,069,000
+1,037,977,000=2,048,890,000元。

2洪水入流 $\frac{2}{3}$ PMF~PMF(1,623cms~2,435cms)時

(1)人口集中區住家損失

為簡化計，由於流量 Q =速度 V ×面積 A ，設淹水深度與流量成線性比例關係，係平均淹水深度 $1.8 \times 0.83 = 1.5$ 公尺，則其損失約為：550,000×1,660×0.30[7]=273,900,000元。

(2).工業損失：41,481,000× $\frac{0.30}{0.35}$ =35,555,000元

(3)農業損失：50,123,000× $\frac{0.30}{0.35}$ =42,963,000元

(4).公共設施損失：134,400,000× $\frac{0.30}{0.35}$ =115,200,000元

(5)計畫損失：413,069,000元

(6)人命損失：4,135,365× $\left[10,000 \left(\frac{1.5}{1.8}\right)\right]^{0.6} = 930,457,000$ 元

(7)合計：273,900,000+35,555,000+42,963,000+115,200,000+413,069,000
+930,457,000=1,811,144,000元。

3洪水入流 $\frac{1}{3}$ PMF~ $\frac{2}{3}$ PMF(812cms~1,623cms)時

(1)人口集中區住家損失平均淹水深度採 $1.8 \times 0.5 = 0.9$ 公尺，則其損失約為：
330,000×1,660×0.25=136,950,000元。

(2)工業損失：41,481,000× $\frac{0.25}{0.35}$ =29,629,000元

(3)農業損失：50,123,000× $\frac{0.25}{0.35}$ =35,802,000元

(4)公共設施損失：134,400,000× $\frac{0.25}{0.35}$ =96,000,000元

(5)計畫損失：413,069,000元

(6)人命損失：4,135,365× $\left[10,000\left(\frac{0.9}{1.8}\right)\right]^{0.6}$ 686,471,000元

(7)合計：136,950,000+29,629,000+35,802,000+96,000,000+413,069,000
+686,471,000=1,397,921,000元。

(二)地震事件及內部靜力事件

地震事件及內部靜力事件之破壞損失，以洪水入流量

$\frac{1}{3}$ PMF~ $\frac{2}{3}$ PMF(812cms~1,623cms)時溢頂破壞之損失估算，其損失合計：

1,397,921,000元。

五、風險定量(二) 計算機率、計算風險成本

(一)估計各初始事件、系統反應、產出之發生機率。

初始事件之發生機率，可依上述風險模式建立、風險計算求之；或洪水可根據洪水頻率曲線求得，地震可根據加速度頻率曲線圖求得；內部靜力之初始事件，則可依據史坦福大學於1995年提出土石壩分10個評估等級，評估初始事件等級。

系統反應及產出之發生機率，洪水可根據專家及學者評估、水文計算求得，地震可根據土壤、結構計算求得，內部靜力可根據學者及專家評估、史坦福大學所提方法求得。

明德水庫之初始事件、系統反應、產出之發生機率，可求得如表1~表3。

(二)計算風險成本

整理表1~表3中枝道機率不為0之枝道，配合其初始事件列入各枝道破壞之損失值，枝道機率乘以損失值即為該枝道年風險成本，各枝道年風險成本之和即為總年風險成本，如表4，明德水庫潰壩年風險成本約為新台幣2,196,900元，其中由颱風引起之年風險成本佔93%(2,048,700/2,196,900=0.93)。

六、發展改善替選方案及評估

由表4年風險成本計算表中，得知全部閘門故障引起年風險成本最大，故改善閘門故障是擬定改善替選方案首要考慮之因素。改善閘門故障，或可改成全自動電腦備份控制系統，或改成無閘門自然排洪，須進一步規劃研究，限於資料無法取得，技術可行性進一步研究問題，故在此不擬加以探討。規劃之各改善方案完成技術可行性後，再按前述諸步驟計算各方案年風險成本，求各方案年風險成本與改善行動之年建造費用和，加以比較、評估，取其和最小者即為所要選擇之改善方案。

肆、結論

本研究整合風險管理之理論，以水庫工程實例探討，結果提出工程風險確認、風險分析、風險處理三部分組成工程風險管理系統，可提供工程風險管理研究、決策之參考、應用。

另本研究以明德水庫風險管理實例，雖已完成風險確認、風險分析、風險處理三大步驟之整個風險管理系統，惟在風險處理中若能進一步克服技術可行性，並克服風險處理對策中量化資料無法取得之困境，研擬替選方案，完成全部計量化之整個風險管理系統分析，將更完善。

圖1 明德水庫水文事件樹

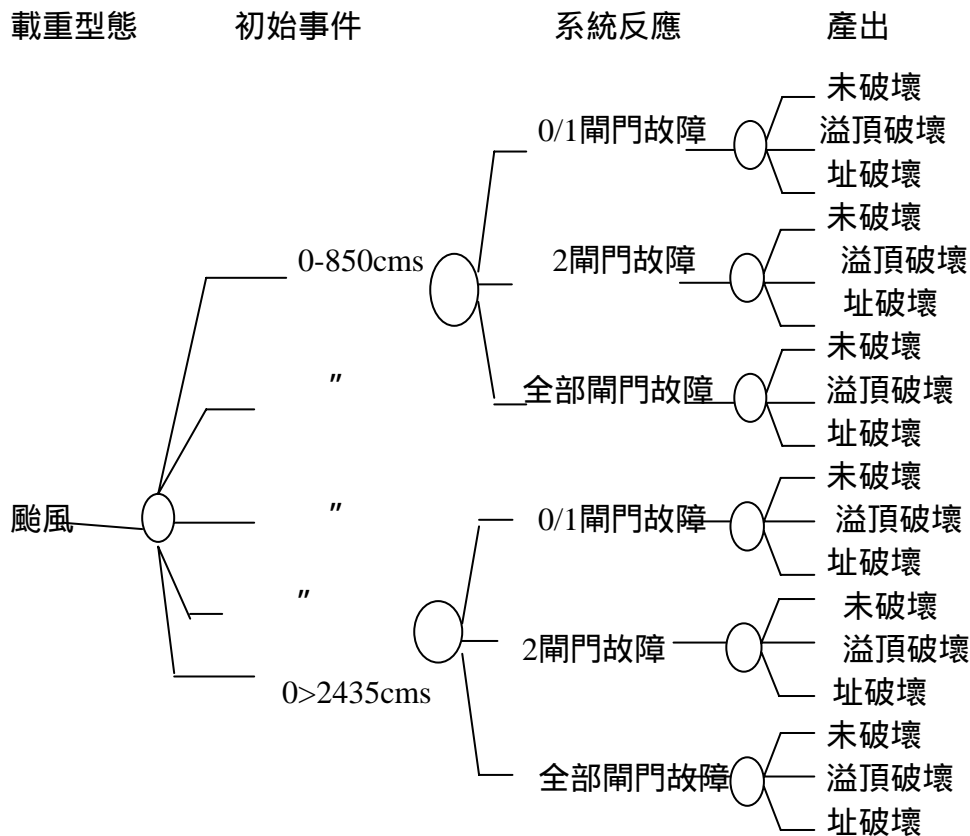


圖2 明德水庫地震事件樹

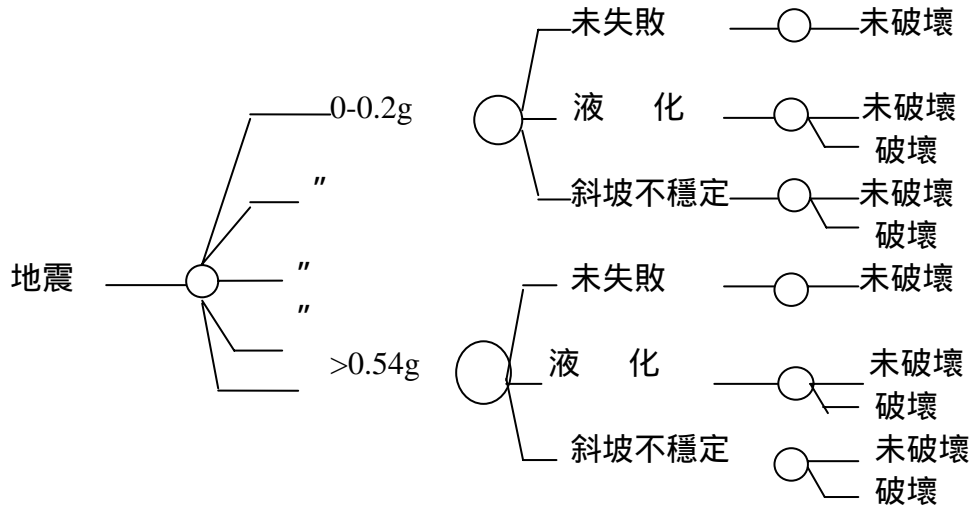


圖3 明德水庫內部事件樹

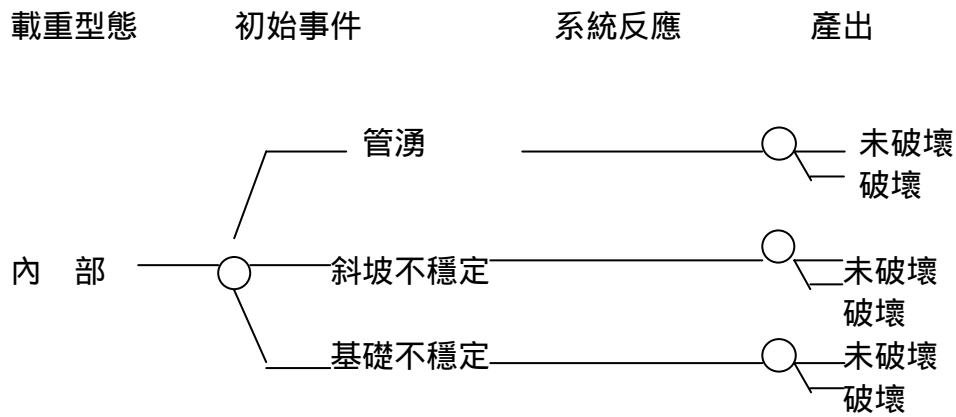


表1 明德壩颱風破壞風險機率

水文 颱風型式						
初始事件		系統反應		產出		枝道機率 (每年)
範圍(cms)	機率(每年)	型式	機率	型式	機率	
0 850	1.00000	0/1閘門故障	0.850	未破壞	1.0000	0.807500
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000000
	0.95000	2閘門故障	0.120	未破壞	1.0000	0.114000
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000000
	0.05000	全部閘門故障	0.030	未破壞	1.0000	0.028500
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000000
850 1730	0.05000	0/1閘門故障	0.850	未破壞	1.0000	0.041650
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000000
	0.04900	2閘門故障	0.120	未破壞	1.0000	0.005880
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000000
	0.00100	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0500	0.000074
				溢頂破壞	0.9500	0.001397
				址破壞	0.0000	0.000000
1730 1970	0.00100	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9968	0.000169
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0032	0.000001
	0.00020	2閘門故障	0.120	未破壞	0.9955	0.000024
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0045	0.000000
	0.00080	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000
				溢頂破壞	1.0000	0.000000
				址破壞	0.0000	0.000006
1970 2050	0.00080	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9919	0.000337
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0081	0.000003
	0.00040	2閘門故障	0.120	未破壞	0.9855	0.000047
				溢頂破壞	0.0100	0.000000
				址破壞	0.0045	0.000000
	0.00040	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000
				溢頂破壞	1.0000	0.000012
				址破壞	0.0000	0.000000

表1 明德壩颱風破壞風險機率

水文 颱風型式						
初始事件		系統反應		產出		枝道機率 (每年)
範圍(cms)	機率(每年)	型式	機率	型式	機率	
2050	0.00040	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9890	0.00168
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0110	0.000002
	0.00020	2閘門故障	0.120	未破壞	0.9400	0.000023
				溢頂破壞	0.0600	0.000001
				址破壞	0.0000	0.000000
0.00020	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000	
			溢頂破壞	1.0000	0.000006	
			址破壞	0.0000	0.000000	
2160	0.00020	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9854	0.000084
				溢頂破	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0146	0.000001
	0.00010	2閘門故障	0.120	未破壞	0.7500	0.000009
				溢頂破壞	0.2500	0.000003
				址破壞	0.0000	0.000000
0.00100	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000	
			溢頂破壞	1.0000	0.000003	
			址破壞	0.0000	0.000000	
2310	0.00100	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9815	0.000050
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0185	0.000001
	0.00006	2閘門故障	0.120	未破壞	0.3000	0.000002
				溢頂破壞	0.7000	0.000005
				址破壞	0.0000	0.000000
0.00004	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000	
			溢頂破壞	1.0000	0.000002	
			址破壞	0.0000	0.000000	
CT2435	0.00004	0/1閘門故障	0.850	未破壞	0.9800	0.000033
				溢頂破壞	0.0000	0.000000
				址破壞	0.0200	0.000001
	0.00004	2閘門故障	0.120	未破壞	0.0000	0.000000
				溢頂破壞	1.0000	0.000005
				址破壞	0.0000	0.000000
0.00000	全部閘門故障	0.030	未破壞	0.0000	0.000000	
			溢頂破壞	1.0000	0.000001	
			址破壞	0.0000	0.000000	
合計	1.00000		8.00000		24.0000	1.000000

表2 明德壩地震破壞風險機率

地震型式						
初始事件		系統反應		產出		枝道機率 (每年)
範圍(cms)	機率(每年)	型式	機率	型式	機率	
0.0g	1.000	未失敗	1.0000	未破壞	1.0000	0.98640
	0.9864	液化	0.0000	未破壞	0.7900	0.00000
0.2g		0.0136	斜坡不穩定	0.0000	破壞	0.2100
	未破壞				0.7900	0.00000
0.2g	.00136	未失敗	1.0000	未破壞	1.0000	0.00630
	0.3g	0.0063	液化	0.0000	未破壞	0.7900
破壞					0.2100	0.00000
0.3g	0.0073	斜坡不穩定	0.0000	未破壞	0.7900	0.00000
				破壞	0.2100	0.00000
0.3g	0.0073	未失敗	0.9958	未破壞	1.0000	0.00289
	0.4	0.0029	液化	0.0042	未破壞	0.7900
破壞					0.2100	0.00000
0.4	0.0044	斜坡不穩定	0.0000	未破壞	0.7900	0.00000
				破壞	0.2100	0.00000
0.4g	0.0044	未失敗	0.9858	未破壞	1.0000	0.00227
	0.54g	0.0023	液化	0.0142	未破壞	0.7900
破壞					0.2100	0.00001
0.54g	0.0021	斜坡不穩定	0.0000	未破壞	0.7900	0.00000
				破壞	0.2100	0.00000
>0.54g	0.0021	未失敗	0.9800	未破壞	1.0000	0.00206
	0.0021	液化	0.0200	未破壞	0.7900	0.00003
破壞				0.2100	0.00001	
>0.54g	0.0000	斜坡不穩定	0.0000	未破壞	0.7900	0.00000
				破壞	0.2100	0.00000
合計	1.0000		5.0000		15.0000	1.0000

表3 明德壩內部破壞風險機率

失敗模式	失敗機率		
	上限	最佳	下限
管湧	9.5×10^{-5}	3.8×10^{-5}	2.5×10^{-5}
斜坡不穩定	3.7×10^{-5}	1.3×10^{-5}	9.2×10^{-6}
出水工管湧	0	0	0
基礎不穩定	5.1×10^{-5}	3.6×10^{-5}	1.1×10^{-5}
合計	1.8×10^{-4}	8.7×10^{-5}	4.5×10^{-5}

表4 明德壩水庫無行動年風險成本

初始事件	系統反應	產出	枝道機率 (年)	損失 (千元)	年風險成本 (千元)
(颱風) 850~1,730cms	全部閘門故障	溢頂破壞	0.001397	1,397,921	1,952.9
1,730~1,970cms	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000006	1,811,144	10.9
1,970~2,050 cms	01閘門故障	址破壞	0.000003	1,811,144	5.4
	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000012	1,811,144	21.7
2,050~2,160cms	01閘門故障	址破壞	0.000002	1,811,144	3.6
	2閘門故障	溢頂破壞	0.000001	1,811,144	1.8
	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000006	1,811,144	10.9
2,160~2,310cms	01閘門故障	址破壞	0.000001	1,811,144	1.8
	2閘門故障	溢頂破壞	0.000003	1,811,144	5.4
	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000003	1,811,144	5.4
2,310~2,435cms	01閘門故障	址破壞	0.000001	1,811,144	1.8
	2閘門故障	溢頂破壞	0.000005	1,811,144	9.1
	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000002	1,811,144	3.6
>2,435cms	01閘門故障	址破壞	0.000001	2,048,890	2.1
	2閘門故障	溢頂破壞	0.000005	2,048,890	10.2
	全部閘門故障	溢頂破壞	0.000001	2,048,890	2.1
(地震) 0.30~0.49	液化	破壞	0.000003	1,397,210	4.2
0.49~0.54	液化	破壞	0.000007	1,397,210	9.8
>0.54g	液化	破壞	0.000009	1,397,210	12.6
(內部) 管湧	- - - -	破壞	0.000038	1,397,210	53.1
斜坡不穩定	- - - -	破壞	0.000013	1,397,210	18.2
基礎不穩定	- - - -	破壞	0.000036	1,397,210	50.3
總計	- - - -	- - - -	0.001555	- - - -	2,106.9

伍、參考文獻

- 1.Bowles,D,S."Design level Risk Assessment for Dams , "Dynamic of Structure Proceedings Structures Congress, ' 87/ST Div/ASCE Orlardo,Florida/August 17-20(1987)。
- 2.Howard,R.A. and Matheson,J.E. , "Influence Diagrams, " Howard,R.A. and Matheson,J.E. ,The Principles and Applications of Decision Analysis,Vol.II, Menlo Park, California: Decision Group(1984).
- 3.Thompson,P.A., Organization and Economics of Construction, Mc-Graw-Hill, London(1981)
- 4.Asley,D.B. et al., "Critical Decision Making During Construction, "J. Construction Eng. And Management,Proc.ASCE,109,N0.2,PP146-162(1983).
- 5.Lafitte,R., "Probabilistic Risk Analysis of Large Dams: Its Value and Limits, "Water Power and Dam Construction,PP.13-16(1993).
- 6.Perr,J.G.. et al., "Mersey Barrage Pre-feasibility Study. "Vols 1,2,and3, University of Manchester, Marinetech North West(1983).

- 7.U.S. Bureau of Reclamation, "Guidelines to Decision Analysis, "Acer Technical Memorandum No.7, Assistant Commissioner-Engineering Research, Denver, Colorado(1986).
- 8.Chapman,C.B. and Cooper,D.F., "Risk Analysis: Testing Some Prejudices, " Eur.J. Operational Res., 14,PP.238-247(1983).
- 9.Asley,D.B. and Avots,I., "Influence Diagramming for Analysis of Project Risk, " Project Management Journal,PMI,Vol.15,No.1,PP.56-62(1984).
- 10.Gandson,J. and Chapman,C.B.(Bridgewater A. (ed.)), "Risk Analysis as a Control Feature in Project Management, "Transactions of the 7th. International Cost Engineering Congress, London, Chameleon Press, London,C3-1-C3-11(1983).
- 11.Asley,D.B. and Perng,Y.H., "An Intelligent Constrution Risk Identification System, "Proceedings of Sixth International Symposium of Offshore Mechanics and Arctic Engineering,Houton Texas(1987).
- 12.Chapman,C.B. "Large Engineering Project Analysis, "IEEE Transaction on Engineering Management,EM-26,3,PP.78-86(1979).
- 13.Inyang,E.D., Some Aspects of Risk Analysis for Decision Making in Engineering Project Management, UMIST,Ph.D. Thesis, University of Manohester(1983).
- 14.State of Utah Department of Public Safety Division of Comprehensive Emergency Management, " Probability Risk Assessment for The Utah Multi-Hazards Project, "JBA 210-010-01, Jack R.Benjamin and Associates, Inc., California(1984).
- 15.Newendorp,P.D., Decision Analysis for Petroleum Exploration, Petroleum Publishing Corporation, Tulsa, Oklahoma(1975).
- 16.Perng,Y.H., "An Intelligent System Approach for Construction Risk Identification, " Dissertation Presented to the Faculty of the Gratuate School of The University of Texas at Austin in Partial Fulfillment of The Degree of Doctor of Philosophly(1988).
- 17黃慶隆,「公共工風險管理系統架構及實例」,國立台灣工業技術學院,博士論文,民國八十二年。
- 18逢甲大學,「明德水庫安全評估工作總報告」,民國七十九年。
- 19彭雲宏、陳純敬,「大型工程之風險管理」。
- 20吳建民,「風險及可靠度分析在水利工程上應用」,成功大學水利及海洋研究所、經濟部水資會研習會講義集,第五捲,民國七十八年。
- 21呂義豐、彭雲宏,「山坡地開發計畫風險評估」,國立台灣工業技術學院碩士論文,民國八十年。
- 22陳軒國,「營建工程風險管理」,民國八十年。
- 23洪華生、鄧漢忠,工程或然率,下冊,科技圖書有限公司,民國七十七年。
- 24.台灣大學土木研究所、經濟部水資會,「水壩風險度評估講習會講義」,民國七十七年。
- 25.魏廉、李安祖、李開榮,「風險管理在軍事研發工程上之應用」,聯勤總部工程署八十年工程學術研討會專輯,民國八十年。
- 26.袁宗蔚,危機管理,三民書局,民國八十一年。
- 27.宋明哲,風險管理,中華企業管理發展中心,民國七十八年。
- 28.行政院主計處,中華民國統計年鑑,民國八十一年。
- 29.經濟部統計處,苗栗縣工業統計調查報告,民國八十一年。
- 30.行政院主計處,中華民國台灣地區社會指標統計,民國八十年,民國八十一年。

數學模式中混沌現象的發生與探討 - 以防災運輸管理領域為例

鍾隆文¹ 熊雲峯²

¹東南技術學院營建管理系暨防災科技研究所助理教授

²東南技術學院營建管理系暨防災科技研究所教授

摘 要

工程領域中有許多的現象可以用數學模式加以描述，並以之作為預測的基礎，通常也能獲致滿意的成效。然而，有許多非線性的數學模式用於預測時，必須加倍的小心，因為並非在所有的狀況下該數學模式皆為連續，而是具有混亂而不可預測的區間。了解該區間發生的原因及趨勢，將有助於工程師研究如何提高數學模式的可靠性，以及預測結果的準確性。本文將以防災運輸管理領域為例，說明車流理論及運輸規劃中經常使用的跟車模式及旅次分配模式具有的混亂特性，以及如何利用定量的方法確定其發生的時機，避免因誤用數學模式進行預測導致的不良後果。

關鍵字：混沌現象；跟車理論；防災運輸管理

Abstract

Many commonly occurring engineering systems are modeled with mathematical expressions and exhibit certain stability. The inherent stability of these equations allows them to serve as the basis for predictions. Some nonlinear models, however, lack stability and thus require considerable care when used as a basis for predictions. Experience has shown that equations of these models may not be continuous for the entire range of input parameters. Understanding the chaotic tendencies of this equation allows engineers to improve the reality of models and predictions based on those models. This paper describes chaotic behavior and briefly discusses the methodology of the algorithm used to detect its presence in models of disaster prevention transportation management.

Keyword: Chaotic phenomenon; Car following model; Disaster prevention transportation management

壹、前言

在一個屬於確定性 (Deterministic) 的非線性 (Nonlinear) 模式 (或系統) 中, 除了規則的行為外, 當模式的參數值處於某些特定範圍時, 本身會有類似隨機 (Random-like) 現象的出現, 這種由確定性模式所表現出來類似隨機的行為, 被稱之為混沌現象 (Chaotic phenomena) [黃昱凱, 1997]。當模式出現混沌行為時, 具有二個重要的特性: (1) 不可預測性 (Unpredictability), 以及 (2) 起始條件敏感性 (Sensitivity Dependence on Initial Conditions)。第一種特性表示即使經過了很久的觀察, 也無法預測在下一個觀察時間中, 模式輸出結果將有何種趨勢, 也就是週期將接近無限長; 第二種特性表示即使初始條件只有極微小的差異, 即使剛開始模式輸出結果非常接近, 然而經過一段時間便分開了, 最後則演變成二個幾乎毫不相干的結果 (這種特性又被稱為的「蝴蝶效應」(Butterfly Effect), 也就是可能因為紐約的一隻蝴蝶拍動了一下他的翅膀, 稍稍改變了氣象的起始條件, 最後卻導致北京出現巨大的風暴)。

混沌理論最早由1960年代的 E. Lorenz [葛雷易克, 1992]所發現與提出, 然而直到最近, 科學界才逐漸發現自然界中原來就充滿了各種混沌現象, 並嘗試以混沌理論來分析複雜的物理過程, 例如氣象學家用來預測天氣以及大氣中的紊流現象 (Turbulence); 化學家用來分析化學反應過程; 生物學家用來分析動物的繁殖規律, 醫生用來描述人類腦部的活動; 甚至財經學家用來分析股市的漲跌等。

當數學模式不慎進入混沌狀態時, 將無法利用該模式進行任何預測, 因為當時模式的輸出結果將產生無規則的變動。反言之, 有些看似無規律的複雜現象, 背後其實隱藏了一個簡單的機制 (Mechanism)。若能找到該反應機制, 了解觸發模式發生混沌現象參數的範圍並避免之, 即可進行所謂的混沌控制 (Chaos Control), 此為混沌理論最大的價值所在。

就防災運輸管理域的混沌現象而言, 車流理論中著名的 GHR (Gazis, Herman, Rothery) 跟車模型 (Car Following Model) 以及運輸規劃中的旅次分佈模型 (Trip Distribution Model) 所經常使用的重力模式 (Gravity Model), 二者都是非線性且疊代求解的, 因此在某些參數的情況下, 同樣會出現不可預測的混沌現象。因此, 本文將介紹混沌理論的一些基本概念, 並對交通相關模式中的混沌現象提出探討, 使讀者對於這種現象有初步的了解。

貳、混沌基本理論

在解釋所謂的混沌現象前, 必需先對混沌理論中經常用的名詞加以定義及釐清:

1. 非線性方程式 (Nonlinear function)

常見的非線性方程式例如微分方程 (Differential Equation) 或疊代 (如下所示) 方程。非線性方程式一種方程式就有一種解, 無法像線性方程式可以推廣某一方程式的解以求解其他方程式。其圖形也不像線性方程式有著平滑的曲線, 而是轉折、迴旋、重複的曲線, 呈現各式各樣的紊亂情況。非線性方程式中, 某一變數的微小變化往往會令其他變數產生不成比例或巨大的變動。非線性方程式能應用於不連續的現象, 如爆炸、材料的突然破裂、強風等。在非線性世界中, 精確的預測於實際與理論上皆不可能。

2.疊代 (Iteration)

疊代是指將前次運作產生的結果不斷反饋於方程式中進行重覆運算。令 f 為一方程式， x_0 在 f 之定義域中，則 x_n 為 x_0 之第 n 次疊代， $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 為 n 次疊代形成軌跡：

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= f(x_0) \\ x_2 &= f(x_1) = f(f(x_0)) = f^2(x_0) \\ x_3 &= f(x_2) = f(f^2(x_0)) = f^3(x_0) \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ x_n &= f^{n-1}(x_0) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

3.吸子 (Attractor)

吸子係於相空間 (Phase) 中將數字轉換成圖形，把系統中隨時間改變的成分所有重要的訊息抽取出來，然後註明在圖上，包括各式各樣可能的狀況，類似函數中值域的概念。吸子種類有：定點吸子 (Fixed Attractor)、有限循環吸子 (Limited Cycle Attractor)、環面吸子 (Torus Attractor)、奇異吸子 (Strange Attractor) 等。

4.里亞普諾夫指數 (Lyapunov Exponents)

里亞普諾夫指數 [Wolf, 1985] 是用來量度動力系統中任何兩個相鄰的點將以多快的速率彼此遠離，其推導過程為：對於一個函數 $f(x)$ ，我們在 x 附近取一極接近的值 $x + \varepsilon$ ，然後對這兩個極為接近的點對函數 $f(x)$ 做疊代，則其軌跡的遠離情形將會趨近於 $[e^{\lambda(x)}]^n \varepsilon$ ，茲以數學式表示如下：

$$\begin{aligned} |f^{[n]}(x + \varepsilon) - f^{[n]}(x)| &\approx [e^{\lambda(x)}]^n \varepsilon & (2) \\ \Rightarrow e^{n\lambda(x)} &\approx \left| \frac{f^{[n]}(x + \varepsilon) - f^{[n]}(x)}{\varepsilon} \right| \\ \Rightarrow e^{n\lambda(x)} &\approx \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left| \frac{f^{[n]}(x + \varepsilon) - f^{[n]}(x)}{\varepsilon} \right| = |(f^{[n]})'(x)| \\ \Rightarrow \lambda(x) &= \frac{1}{n} \ln |(f^{[n]})'(x)| \end{aligned}$$

其中， $\lambda(x)$ 就是 $f(x)$ 的里亞普諾夫指數， $\lambda(x)$ 所表示的就是兩個軌跡以時間的指數形式彼此遠離或接近；若 $\lambda(x) > 0$ ，則表示兩條軌跡隨著時間而不斷的遠離，若 $\lambda(x) < 0$ ，則表示兩條軌跡亦步亦趨並不遠離。

5.混沌存在之檢定

通常典型的混沌系統常會存在一可調整的參數，透過對參數逐漸的調整，可得一從有序到混沌的動態過程。為將混沌現象做定量的描述，只要滿足下面的條件，即代表模式在某參數的情況下已經進入了混沌狀態：

- (1) 模式具有對起始條件的敏感性。
- (2) 隨著方程式參數項的改變，至少有一個里亞普諾夫指數出現正值。
- (3) 模式輸出結果出現奇異吸子。

參、車流理論之混沌現象

在此以車流電腦模擬最常使用的 GHR 跟車模式為例。GHR 跟車模式描述車輛之跟車行為如下[Leutzbach, 1988]：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha [x_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (3)$$

其中

- $\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$ ：下一時刻後車加速度
- $\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)$ ：前一時刻前後車速度差
- $\dot{x}_n(t + \Delta t)$ ：下一時刻前車速度
- $x_n(t) - x_{n+1}(t)$ ：前一時刻前後車間距
- α, l, m ：參數值

為了證明跟車理論中的混沌現象，Disbro [Disbro, 1990]設計了一個包含了五節點 (Node) 四路段 (Link) 的號誌化網路，如圖1所示：

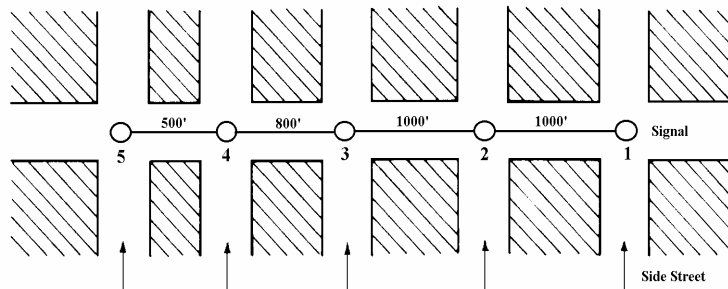


圖1 模擬路網配置

利用 GHT 跟車理論模擬車輛行為，並調整車輛進入系統的初速進行模擬，結果最初500秒之里亞普諾夫指數約為375，如圖2所示：

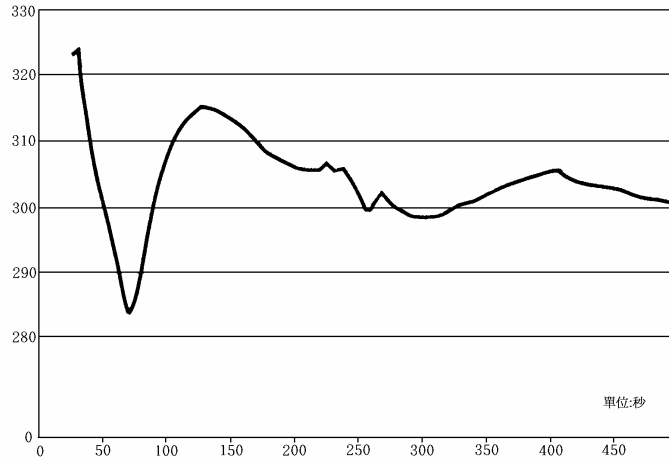


圖2 里亞普諾夫指數

當初速設為40ft/sec 或50ft/sec 時，道路容量計算結果為16.0，當初速設為44ft/sec 時，道路容量計算結果為14.25，如圖3所示：

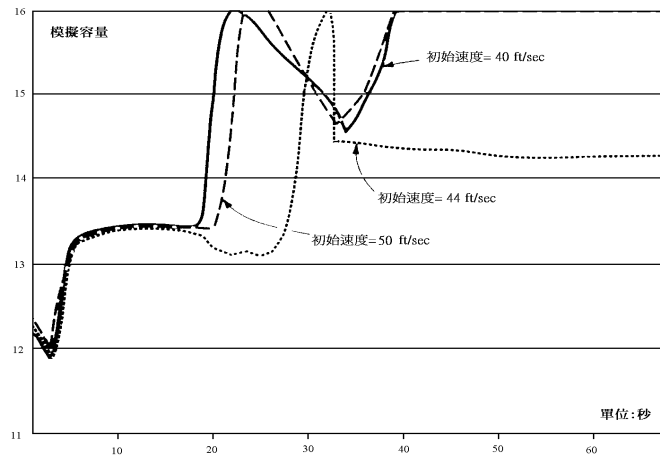


圖3 模擬路網之敏感值分析

由於存在正的里亞普諾夫指數，以及經過電腦模擬計算的容量與設定的初始值有關，證實系統確實已經產生了混沌的現象。然而 Jarrett [Jarret, 1993]另以 $m=0, l=2, \alpha=155.3$ 代入上式，獲得一個環面吸子，並沒有發生混沌現象。由此可見，GHT 跟車理論的混沌現象，將只出現於某些特定參數的狀態下。范俊海及黃昱凱 [范俊海, 1996]利用第三跟車模式（即 GHT 模式中之 $m=0, l=1$ ）為基礎，修正其分子項，以下一時刻的速度差取代原本前一時刻的速度差（考慮駕駛的刺激反應時間應會有一時間的落差存在），並在其分母項中加上微調項 $\eta(t)$ （考慮駕駛對距離的反應會有一些模糊性、延滯性或隨機性的因素），重新定義跟車行為如下：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{c}{[x_n(t) - x_{n+1}(t) + \eta(t)]} [\dot{x}_n(t + \Delta t) - \dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)] \quad (4)$$

其中

- $\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$: 下一時刻後車加速度
- $\dot{x}_n(t + \Delta t) - \dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$: 下一時刻前後車速度差
- $x_n(t) - x_{n+1}(t) + \eta(t)$: 前一時刻前後車間距
- c : 參數值

假設前後車的起始速度均為0，兩車起始間距為5m，然後讓前車以 0.5m/s^2 的加速度行駛60秒，當參數值較小 ($C=3.8$) 時，後車的加速度以一個微小的震盪調整方式來趨近於前車的加速度，如圖4所示：

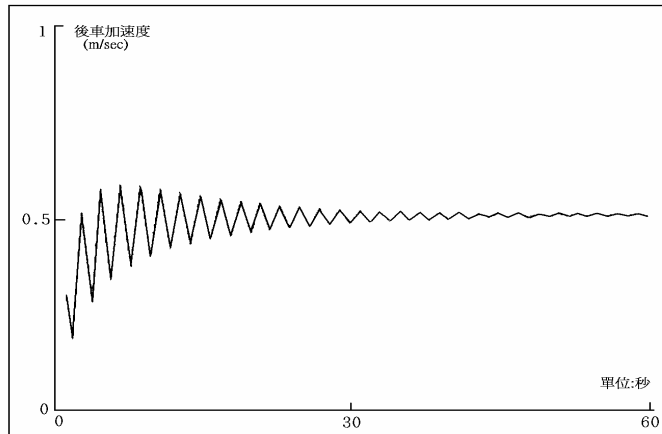


圖4 參數值 $C=3.8$ 之跟車行為

若調高系統的參數值 ($C=7.1$)，後車的加速度軌跡已無法預測，如圖5所示：

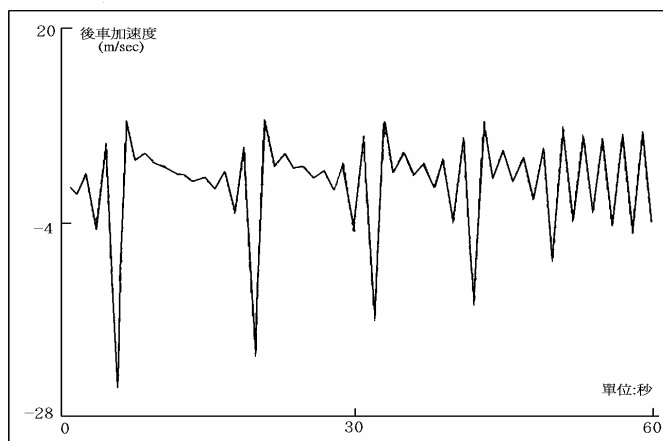


圖5 參數值 $C=7.1$ 之跟車行為

若將所有的參數值（C 值從0.1到10，增加的幅度為0.01）對後車加速度的變化繪圖，發現在參數值約在6.6~7.9與8.3~9.6之間時，系統即進入了混沌狀態，如圖6所示：

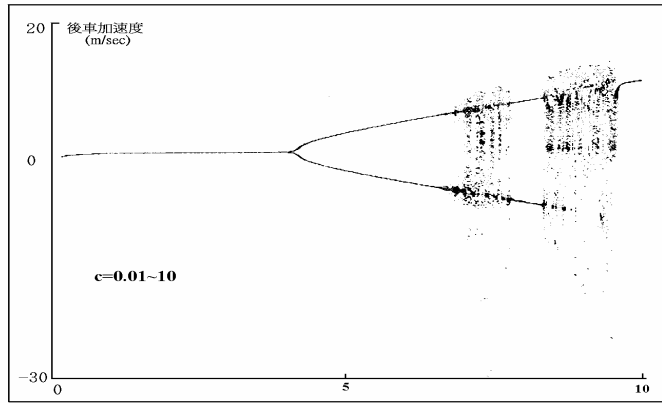


圖6 不同參數 C 值之疊代軌跡

若就系統對起始條件的敏感性分析，取參數值 $C=8.734$ 代入計算，前後車起始間距分別設為5公尺及5.0001公尺疊代運算，結果不同間距後車加速度所形成的軌跡一開始時幾乎重疊，但經過一段時間的疊代後，便逐漸分開，最後便形成兩條幾乎完全不同的軌跡，如圖7所示：

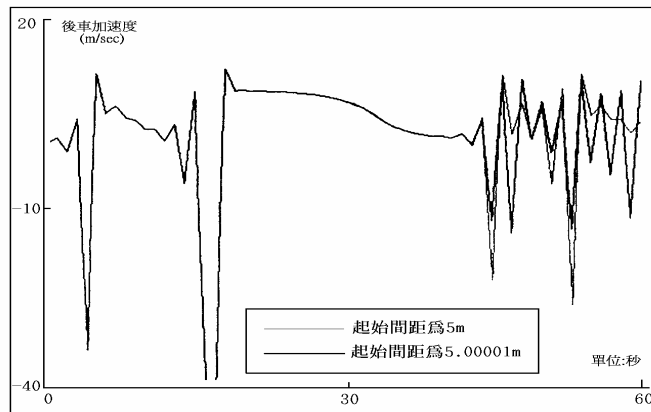


圖7 敏感值分析

最後，以前一時刻的加速度為 X 軸，下一時刻的加速度為 Y 軸，發現系統形成奇異吸子，進一步說明了系統處於混沌狀態，如圖8所示：

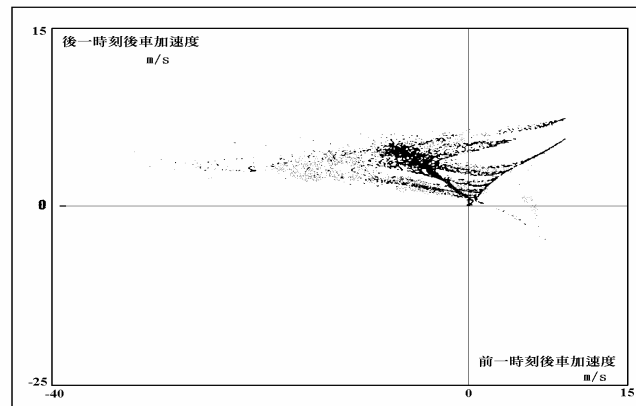


圖8 跟車理論之奇異吸子

既然微觀車流模式具有混沌的特性，由於巨觀車流模式與微觀車流模式之間可以利用 M-L 矩陣互相對應與推導，為探討巨觀車流模式是否同樣具有混沌的特性，Disbro 以巨觀流體模式模擬車流 $Q-K-V$ (流量 - 密度 - 速率) 之間的關係，模擬結果發現 $Q-K-V$ 形成奇異吸子，並且出現正的里亞普諾夫指數，代表巨觀車流模式同樣具有混沌的性質。

肆、運輸規劃之混沌現象

以傳統運輸規劃四個重要步驟其中之一的旅次分配模式為例。旅次分配最常使用的重力模式，假設兩地間的旅次決定於起點之旅次產生及迄點的旅次吸引，以及兩地間的旅行成本。傳統上假設其旅行成本與分配到的旅次數無關，因此屬於靜態模式。Dendrinis and Sonis [Dendrinis, 1990]則提出動態旅次分配模式，認為 i,j 兩地間之旅次數 $x_{ij}(t+1)$ 與前一時刻 i,j 兩地間的旅行成本 $C_{ij}(t)$ 有關，屬於為動態模式：

$$x_{ij}(t+1) = k(t)f(C_{ij}(t)) \tag{5}$$

$$C_{ij}(t) = C_{ij}^0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x_{ij}(t)}{z_{ij}} \right)^\gamma \right]$$

$$f(C_{ij}) = C_{ij}^n \exp(-\beta \cdot C_{ij})$$

其中

前一時刻的旅行時間

Z_{ij} : i,j 兩地間路段容量

C_{ij}^0 : i,j 兩地間非擁擠時旅行成本

α, β, γ, n : 大於零之常數

因為動態模式所作的假設較為合理，所以後來被廣泛應用於電腦模擬上。由於動態模式屬於非線性方程，為分析其是否具有混沌的現象，Jarrett 曾經假設一個簡單的網路（含二起點二迄點）進行模擬求解，令參數值 $\alpha = 1, \gamma = 1, n = 7$ ，以上式之 β 值為橫軸，路段旅次 x_{11} 為縱軸做圖，發現 β 值介於 2.9 至 3.2 間時，路段旅次曾發生不可預測的混沌現象，如圖 9 所示：

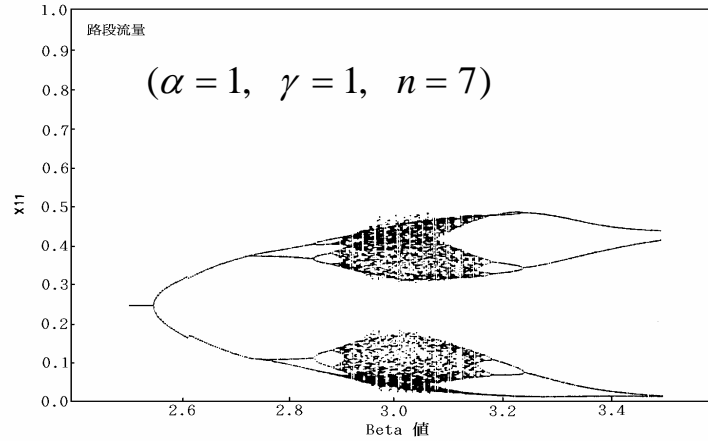


圖 9 不同參數 Beta 值之疊代軌跡

由以上的討論發現，運輸規劃模式同樣具有混沌的特性。

伍、討論

由混沌現象的發生可知，簡單的模式只要具有非線性的方程式在內，就有可能導致異常複雜的動力行為，使得我們無法利用模式對系統做一個長期而有效的預測，本文以防災運輸管理中的跟車模式及旅次分配模式做具體的說明。在其他領域方面，只要是模式中潛藏著非線性方程式，均有可能出現混沌的狀態，在模式的建立與使用上需特別注意，必要時進行混沌存在檢定。

在某些參數的範圍內，系統方出現混沌的現象。反之，若能控制這些參數值的範圍，將可使模式不致產生混沌而處於穩定可預測的規則行為。工程師在規劃或設計時，若能夠避開一些會產生混沌行為的參數值，對於提高系統的控制能力，例如 Johanns and Roozmond [Johanns, 1993] 及 Stephen [Stephen, 2000] 以混沌控制的觀念進行交通管理，將有很大的幫助。

真正的自然界中，除了極少數是屬於線性系統外，絕大多數是屬於非線性系統。換言之，許多表面上看起來非常複雜的現象，其實往往是簡單的原因所造成的。了解各種混沌現象，將有助於我們對於各種系統進行分析，找到問題真正的核心並解決之，甚至進一步的對系統進行控制。

陸、參考文獻

1. 黃昱凱, 確定性跟車模型中混沌行為之研究, 淡江大學運輸科學研究碩士論文, 民國86年6月。
2. 葛雷易克 (J. Gleick) 著, 林和譯, 混沌-不測時間的背後, 天下文化出版, 民國81年。
3. 范俊海, 黃昱凱, 混沌理論與車流安全, 八十五年道路交通安全與執法研討會, 民國85年6月。
4. Budiansky Stephen (2000), Chaos theory putt traffic in a jam, Australian financial review [on line]
5. A. Wolf (1985), Determining Lyapunov Exponents from a Time Series, Physica 16D, North-Holland, Amsterdam, pp. 285-317.
6. Wilhelm Leuzbach (1988), Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 0-387-17113-4.
7. John E. Disbro, Michael Frame (1990), Traffic Flow Theory and Chaotic Behavior, TRR 1225, pp.109-115.
8. David Jarrett and Zhang Xiaoyan (1993), The Dynamic Behavior of Road Traffic Flow: Stability or Chaos?, Application of Fractals and Chaos, Springer Verlag.
9. Dendrinis, D. S., and Sonics, M. (1990), Chaos and Social-Spatial Dynamics, New York: Springer-Verlag.
10. Johans, D. A. Roozmond (1993), An object based traffic control strategy: a chaos theory approach with an object-oriented implementation, Advanced Technologies, pp. 231-242.

軸向荷重樁荷重轉移法之驗證與比較

熊雲崑¹ 周義娟² 孫詠明²

¹東南技術學院營建管理系教授 ²東南技術學院營建管理系講師

摘 要

Coyle 和 Reese (1966)提出的荷重轉移法(以下簡稱 C-R 法),為分析軸向荷重樁行為之重要數值法,具有迭代運算簡單且能處理土壤非線性行為等優點。自該法提出後雖廣被使用,但準確性如何尚未見文獻作詳細之比較與討論。本文根據軸向荷重樁行為,導演出土壤彈塑性情況下微分方程解,作為數值法驗證之基準。由微分方程解發現,基樁分段長度之特徵值合併了數值法誤差之主要影響因素。經分析比較顯示 C-R 法誤差與特徵值呈現良好關係,特徵值可作為數值法誤差之指標。本文分析影響參數組合成之384種情況,發現 C-R 法之誤差隨樁身分段特徵值減少而減少,樁身分段長度特徵值小於0.5,數值解可達成小於2%誤差,足夠提供基樁工程使用。

關鍵詞：軸向荷重樁，荷重轉移法，特徵值

壹、前言

軸向荷重基樁之荷重—沉陷曲線,係土壤與基樁交互作用之結果,對於基樁分析設計工作提供重要參考資料。獲得基樁荷重—沈陷量關係有兩種方法:從現地試樁直接量測或採用數值方法分析。由於現地試樁成本高且費時間,因而學者專家發展出許多數值分析方法,分析方法之準確性建立在,數值運算程序中假設條件之可靠性以及分析參數之正確兩項條件上。Coyle 和 Reese (1966)提出的荷重轉移法(以下簡稱 C-R 法)為數值法,具有迭代運算簡單且能處理土壤非線性行為等優點。自 C-R 法提出後雖廣泛被使用,但準確性如何尚未見文獻作詳細之比較與討論。採用 C-R 法,通常配合地層性質將基樁分為3-5段處理,分析方法中內力線性分佈之假設,是否對不同性質之土壤或基樁尺寸具有相同的準確性值得研究。

本文主要目的為驗證 C-R 法,為達此目的,首先要建立作為比較基準之正確解。因為對於土壤非線性行為,尚無法導演精確解,因此本文依據均質地層,導演土壤為彈塑性行為之微分方程解,經過驗證確定可靠後作為數值法驗證之基準。然後,進行

分析與比較，分析過程中所考慮之土壤參數與基樁參數涵蓋實用範圍。最後，綜合分析結果，對軸向荷重樁分析工作提供建議。

貳、文獻回顧

基樁沈陷量分析涉及基樁與土壤交互作用，需要適當土壤行為模式配合數值分析方法運算。目前已經發展的許多分析方法中，就土壤行為模式而言，包括溫克模式、彈性理論、彈塑性、非線性等，其中唯有土壤性質假設為溫克模式，且不隨深度變化情況下有精確解。就數值分析方法而言，包括有限差分法、有限元素法及迭代運算法等三種。

Mattes 和 Poulos (1969) 所提出的彈性理論法，假設土壤為均質、均向性的半無限空間彈性體，並視基樁為一線彈性桿件。分析時配合地層性質與厚度，將基樁分成數個承受均佈載重的元素，樁身的剪應力與樁底垂直應力，在滿足基樁與土壤變位之諧和性下，以有限差分法求解樁身之位移量與應力分佈。Bowles (1988) 提出的溫克模式法 (Winkler Model)，亦在滿足基樁與土壤變位之諧和性下求解，但土壤假設為獨立的彈簧。數值分析採用有限元素法，假設基樁為樑元素，建立各元素之勁度矩陣，利用程式計算節點位移與內力增量。

Seed 和 Reese (1957) 考慮到土壤應力 應變的非線性特性，以及樁身受力情形，首先提出荷重傳遞法(或稱 $t-z$ 曲線方法)之概念，基樁依地層性質分為數段，樁頂荷重由樁身與土壤交互作用下剪應力 位移關係向下傳遞。獲得 $t-z$ 曲線之方法，一般可分為三類；由現地試樁資料、由室內試驗所得或由理論關係建立。樁底土壤荷重 位移關係曲線，簡稱 $q-z$ 曲線，可由試樁底部所安置的荷重計與位移計量取完整曲線，惟試樁底部荷重計安置不容易，經常無法提供完整非線性 $q-z$ 曲線。鑑於完整 $q-z$ 曲線獲取困難，且在樁身的摩擦力完全發揮期間，底部承载力之發展幾乎仍處於彈性狀況，故 Poulos 和 Davis (1980) 建議引用彈性理論建立現地線性 $q-z$ 曲線。Giroud (1968) 提供基礎面下沉陷量計算式，對於圓形斷面基樁，斷面直徑相當於基礎寬度，其關係如下，

$$w_b = \frac{qd(1-\mu_s^2)}{E_b} I = \frac{4Q_b(1-\mu_s^2)}{\pi d E_b} I \quad (1)$$

式中 w_b 為樁底沈陷量， E_b 為樁底土壤彈性係數， μ_s 為樁底土壤包松比， q 為樁底單位面積荷重， A 為樁底面積， d 為樁底直徑， Q_b 為樁底荷重， I 為應力影響因素。 I 值與基礎形狀及勁度有關，對於圓形斷面之基樁，視為剛性基礎， $I=1/4$ ，則樁底沈陷量與樁底荷重之關係簡化成。

$$w_b = \frac{Q_b(1-\mu_s^2)}{d E_b} \quad (2)$$

樁底荷重 $q-z$ 曲線僅提供基樁荷重 沈陷曲線分析之初始條件，對於探討數值解正確性並無直接影響，因此本文後續分析中將採用 (2)式建立現地 $q-z$ 曲線。

參、荷重傳遞法數值解之程序

Coyle 和 Reese (1966)提出的荷重傳遞法，根據各地層所建立的 $t-z$ 曲線，及樁底的 $q-z$ 曲線，以疊代運算法求基樁各段荷重及位移，並根據樁段間內力與位移之連續性條件，由下而上逐段求出樁頂位移量及其對應載重之關係，如圖1所示。其分析步驟如下：

- (1) 將樁身先行分成數段，由最下一段開始，設該段樁長為 l_n 。
- (2) 指定樁尖有一小量位移 w_{b0} 。
- (3) 根據 $q-z$ 曲線或彈性理論 ((2)式)，求出 w_b 所對應之樁底荷重 Q_b 。
- (4) 假設該段中點位移等於 w_e 。
- (5) 由 $t-z$ 曲線，求得 w_e 對應之摩擦應力 τ_n ，則此段樁身摩擦力 Q_s 為

$$Q_s = \tau_n \times S \times l_n$$

式中 S 為樁身平均周長，若樁身為圓柱體，則 $S=\pi d$ 。

- (6) 假設樁段軸向內力呈線性變化，則樁段中點內力 Q_m 為：

$$Q_m = Q_b + \frac{Q_s}{2}$$

- (7) 該樁段下半部彈性變形量 w_a 為：

$$w_a = \frac{Q_b l}{2AE} + \frac{Q_s l}{4AE}$$

式中 E 表樁身材料之彈性模數， A 為樁身斷面積。

- (8) 該樁段中點之總位移 w_m 為彈性變形量與樁底位移量之和，即

$$W_m = W_a + W_b$$

- (9) 比較步驟(4)所假設的位移 w_e 與步驟(8) 計算所得的位移之誤差是否在容許範圍內(例如， 10^{-3} cm)，若不滿足誤差範圍，則重新假設 w_e 值，由步驟(4)重新計算，直至誤差在容許範圍內為止。

- (10)若誤差在容許範圍內，此時，該樁段頂部之荷重 Q_n 及位移量 w_n 為

$$Q_n = Q_b + Q_s \qquad W_n = W_m + W_c$$

w_c 為該樁段上半部彈性變形量，

$$W_c = \frac{Q_b l}{2AE} + \frac{3Q_s l}{8AE}$$

- (11)令位移量 w_n 與荷重 Q_n 為上一段底部之沈陷量與荷重，重覆(2)至(9)步驟，由下而上逐段求出各樁段內力與位移關係，最後則可求出樁頂荷重 Q_0 及其沈陷量 w_0 。

- (12)由步驟(2)開始，逐次增大樁底位移量 w_b ，則可求得一系列樁頂荷重值及其沈陷量，如此便可建立其荷重-沈陷曲線。

肆、微分方程解之導演與應用

為驗證 C-R 法，必須建立一組正確解作為比較基準，考慮土壤為彈塑性行為下，經由微分方程可獲得正確解。設直徑 d 、長度 l 之樁位於均勻地層中，見圖2a，樁身斷面積 A 、樁身彈性係數為 E 。當樁頂承受荷重時，樁土界面之剪應力隨深度減少，由樁頂逐漸向樁底發展。考慮土壤為彈塑性，見圖2b，設 t_y 為土壤屈服應力， w^* 為土壤對應屈服位移。參考 Scott (1981) 文獻軸向荷重樁之荷重-位移行為，可分為彈性與彈塑性兩部份求解。

(1) 塑性區---假設界面土壤屈服狀態已發展至深度 z_0 ，即地表至 z_0 屬於塑性區，而 z_0 以下至樁底乃為彈性區，C 點為彈性區與彈塑性區之連接點，見圖2a。塑性區之荷重-位移行為控制微分方程可寫成，

$$\frac{d^2w}{dz^2} - \frac{St_y}{EA} = 0 \quad (3)$$

上式中， z 表示深度， w 表示位移， $S=\pi d$ ，表示樁身周長。將樁頂已知條件代入， $z=0$ 時， $F=P_0$ ， $w=w_0$ ， 求出樁身之內力與位移一般式，

$$w = w_0 - \frac{P_0 z}{EA} + \frac{St_y z^2}{2EA} \quad (4)$$

$$F = P_0 - Szt_y \quad (5)$$

C 點($z= z_0$)為彈性區與塑性區之連接點，C 點之位移應該等於土壤之屈服位移 $w_{z_0}=w^*$ ，若 C 點荷重表示為 $F=P_{z_0}$ ，由式(4)與式 (5) 求出 A、C 兩點位移、荷重之關係如下，

$$w_{z_0} = w^* = w_0 - \frac{P_0 z_0}{EA} + \frac{St_y z_0^2}{2EA} \quad (6)$$

$$P_{z_0} = P_0 - Sz_0 t_y \quad (7)$$

(2) 彈性區---彈性部份之樁長為 $m=l - z_0$ ，假設土壤採用溫克模式，即軸向位移 w 與樁土界面剪應力 τ 成正比， $k_s w = \tau$ ，比例常數 k_s 稱為地盤剪力係數，則軸向荷重樁之荷重-位移行為控制微分方程可寫成，

$$\frac{d^2w}{dz^2} - \lambda^2 w = 0 \quad (8)$$

其中
$$\lambda = \sqrt{\frac{Sk_s}{EA}} \quad (9)$$

若已知樁底位移 w_b 、樁底荷重 P_b ，可求得彈性區頂點位移 w_c 、荷重 P_c 解如下

$$w_c = w_b \left(\frac{e^{\lambda m} + e^{-\lambda m}}{2} \right) + \frac{P_b}{\lambda EA} \left(\frac{e^{\lambda m} - e^{-\lambda m}}{2} \right) \quad (10)$$

$$P_c = \lambda EA w_b \left(\frac{e^{\lambda m} - e^{-\lambda m}}{2} \right) + P_b \left(\frac{e^{\lambda m} + e^{-\lambda m}}{2} \right) \quad (11)$$

因 C 點為彈性區與塑性區之連接點，故 $P_c = P_{z_0}$ ， $w_c = w^*$ 。在應用上含兩種情況；即由樁頂向樁底分析；或由樁底向樁頂分析。分析前，先要確知基樁條件與土壤參數，兩種情況之分析步驟如下：

1. 由樁頂向樁底分析：(1) 已知樁頂沉陷量 w_0 與荷重 P_0 ；(2) 由式(6)求出 z_0 ，由式(7)求出 P_{z_0} ；(3) 由式(10), (11)求得樁底之荷重 P_b 與位移 w_b 。

2. 由樁底向樁頂分析：(1) 已知樁底位移 w_b 與荷重 P_b 值。；(2) 因 z_0 位置不確知需要採用試算程序，首先假設樁身全部為彈性區，樁長為原始長度，即 $z_0 = 0$ ， $m=1$ 。(3) 由彈性解式 (10) (11)求樁頂位移 w_c 、荷重 P_c 。；(4) 比較 w_c 與 w^* 大小，若 w_c 小於 w^* ，則表示樁身土壤為彈性， $w_c = w_0$ 、 $P_c = P_0$ 即為所求之解。若 w_c 等於 w^* ，則表示樁頂土壤剛好達到屈服值， $w^* = w_0$ 、 $P_c = P_0$ 即為所求之解。；(5) 若 w_c 大於 w^* ，則表示樁頂部份土壤達到屈服值，設定小量 z_0 值代表屈服區，如此，彈性區樁長 $m=1 - z_0$ ，由彈性解式 (10)與(11)求 C 點位移 w_c 與荷重 P_c ，然後比較 w_c 與 w^* ；若 $w_c = w^*$ ，則表示所設定之 z_0 值正確，由式 (6)與(7)求樁頂位移 w_0 與荷重 P_0 。若 $w_c < w^*$ ，則表示所設定之 z_0 值需要調整，增加小量 z_0 值，重新計算。

由上述分析步驟可見，由樁底向樁頂分析所得解之正確程度視 z_0 之選擇而定。配合數值法運算程序，本文後續須採用由樁底向樁頂分析。為確定所設定的 z_0 值能獲得準確解，首先由樁頂向樁底分析數種情況，求出樁底與樁頂荷重-位移精確解，然後設定不同 z_0 值，由5-500 cm，採用由樁底向樁頂分析，最後與精確解比較樁頂荷重及位移之誤差。分析結果誤差隨 z_0 值之減少而減少，當 z_0 等於5 cm，荷重及位移之誤差只有 10^{-7} cm。後續分析中 z_0 取1 cm，增加值亦取1 cm。

伍、荷重轉移法準確性之驗證與比較

依上節所得微分方程解為基準，取樁頂荷重與沉陷量分析值作為比較對象，驗證 C-R 法之準確性。進行數值法分析，首先需設定樁底位移(或荷重)以及樁底土壤彈性係數作為初始條件，分析中樁底位移考慮兩種($N_b=2$)，樁底土壤彈性係數考慮兩種($N_a=2$)。分析中樁身長度設定為固定長42 m，設定分段數量以變化分段長度，樁身分段考慮等分為1,3,5,7四種($N_s=4$)。因場鑄混凝土樁彈性係數變化不大，樁身彈性係數選擇兩種($N_e=2$)。樁身直徑參考台灣地區普遍使用之範圍，選擇四種($N_d=4$)。樁身土壤屈服應力與地盤剪力係數具相同意義，考慮軟弱至中等強度土壤，選擇三種代表值($N_t=3$)。綜合以上所作之考慮，分析數量組合數共計為384種($N_a N_b N_e N_d N_t N_s = 384$)，分析使用之參數值列入表1。

C-R 法數值法之樁頂荷重與沉陷量分析結果，分別繪於圖3a 與 3b，其中橫軸表示微分方程解，縱軸表示 C-R 法數值解，樁身分段數量分別用四種符號表示，圖中 45° 線表示等值線，比較圖中數據分佈可見，

- (1) 一般而言，數據分佈在等值線上或等值線左上方，顯示數值解大於或等於微分方程解。
- (2) 由四種符號分佈可見，樁身分段數量愈多數據分佈愈接近等值線，準確性愈高，反之，樁身分段數量愈少準確性愈差。
- (3) 相同分析條件下，沉陷量與荷重數據分佈不同，顯示沉陷量與荷重誤差並不相

同。

進一步再對四種樁身分段長度誤差之範圍與數量作統計比較，計算 C-R 法數值解對微分方程解之比值，然後統計 $\pm 5\%$ ， $\pm 4\%$ ， $\pm 3\%$ ， $\pm 2\%$ ， $\pm 1\%$ 誤差之數量列入表2，由數據顯示；

- (1) 相同誤差範圍，誤差數量隨分段長度之增加而減少。
- (2) 相同誤差範圍，荷重誤差數量小於位移誤差數量。
- (3) 對於相同的分段長度，出現不同誤差範圍，顯示樁身分段長度並非決定誤差範圍的唯一因素。

影響數值法之誤差包括樁身分段長度(數量)、直徑、樁身彈性係數、土壤地盤剪力係數及土壤屈服應力等因素，如果仿照以上樁身分段長度方式各別處理，不易得到具體結論，若能合併諸項因素成單一項目，容易提出實用性的建議。參考(10), (11) 式，彈性區頂點位移 w_c 、荷重 P_c 精確解為 λ 之函數，定義一無因次數量，稱為特徵值

$$\lambda l = \sqrt{\frac{Sk_s}{EA}} l = \sqrt{\frac{4k_s}{dE}} l \quad (12)$$

除了土壤屈服應力外，特徵值合併了樁身分段長度、直徑、樁身彈性係數及土壤地盤剪力係數四項影響因素。為探討特徵值與誤差之關係，依照表1所使用的參數，計算特徵值並列入表3，樁身分為一段至七段，特徵值介於0.098-2.312。每種分段有應24種不同的特徵值，在所選擇參數之組合下，使得四種情況之特徵值恰好相等(見編號2與7；編號3與8；編號 14與19；編號15與20)，雖特徵值相同但其他參數不同。計算 C-R 法數值解對微分方程解之比值，以百分比表示分別繪於圖4a, 4b，由圖中數據看出，

- (1) 數值法誤差與特徵值呈現良好關係，特徵值小於1.0時，兩種數值解對微分方程解之比值相當密集，特徵值大於1.0之後，數值解對微分方程解之比值大幅擴散，特徵值可作為數值法誤差之指標。
- (2) 對於 C-R 法而言，特徵值小於0.5，數值解可達成小於2%誤差。

陸、結論

本文根據軸向荷重樁行為，導演土壤為彈塑性情況下之微分方程解，作為數值解比較基準。分析影響參數組合成之384種情況，綜合分析結果獲得下列結論；

- (1) 根據軸向荷重樁行為，導演出土壤彈塑性情況下微分方程解，作為數值法驗證之基準。
- (2) 由微分方程解發現，基樁分段長度之特徵值合併了誤差主要影響因素，數值法誤差與特徵值呈現良好關係，特徵值可作為數值法誤差之指標。
- (3) 數值解之誤差隨樁身分段特徵值減少而減少，樁身分段長度特徵值小於0.5，採用 C-R 法數值解可達成小於2%誤差，足夠提供基樁工程使用。

參考文獻

1. Bowles, J. E., (1988) "Foundation Analysis and Design", 4th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, pp.714-782.dir a:
2. Coyle, H. M. and Reese, L. C., (1966) "Load Transfer for Axially Loaded Piles in Clay",

表3 基樁特徵值與分析參數

Ep = 220000 kg/cm ²							Ep = 250000 kg/cm ²						
編號	ks kg/cm ³	d cm	特徵值				編號	ks kg/cm ³	d cm	特徵值			
			分段長度							分段長度			
			42 m	14m	8.4m	6.0m				42 m	14 m	8.4 m	6.0 m
1	1.00	60	2.312	0.771	0.462	0.330	13	1.00	60	2.169	0.723	0.434	0.310
2	0.50	60	1.635	0.545	0.327	0.234	14	0.50	60	1.534	0.511	0.307	0.219
3	0.25	60	1.156	0.385	0.231	0.165	15	0.25	60	1.084	0.361	0.217	0.155
4	1.00	90	1.888	0.629	0.378	0.270	16	1.00	90	1.771	0.590	0.354	0.253
5	0.50	90	1.335	0.445	0.267	0.191	17	0.50	90	1.252	0.417	0.250	0.179
6	0.25	90	0.944	0.315	0.189	0.135	18	0.25	90	0.885	0.295	0.177	0.126
7	1.00	120	1.635	0.545	0.327	0.234	19	1.00	120	1.534	0.511	0.307	0.219
8	0.50	120	1.156	0.385	0.231	0.165	20	0.50	120	1.084	0.361	0.217	0.155
9	0.25	120	0.817	0.272	0.163	0.117	21	0.25	120	0.767	0.256	0.153	0.110
10	1.00	150	1.462	0.487	0.292	0.209	22	1.00	150	1.372	0.457	0.274	0.196
11	0.50	150	1.034	0.345	0.207	0.148	23	0.50	150	0.970	0.323	0.194	0.139
12	0.25	150	0.731	0.244	0.146	0.104	24	0.25	150	0.686	0.229	0.137	0.098

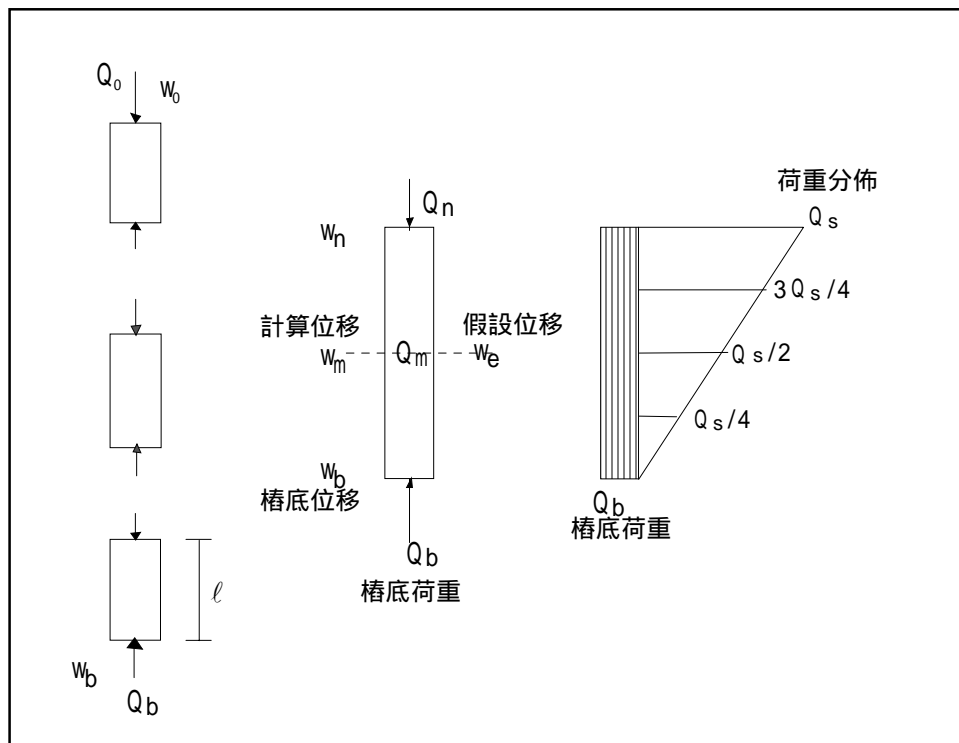


圖1 C-R 法原理

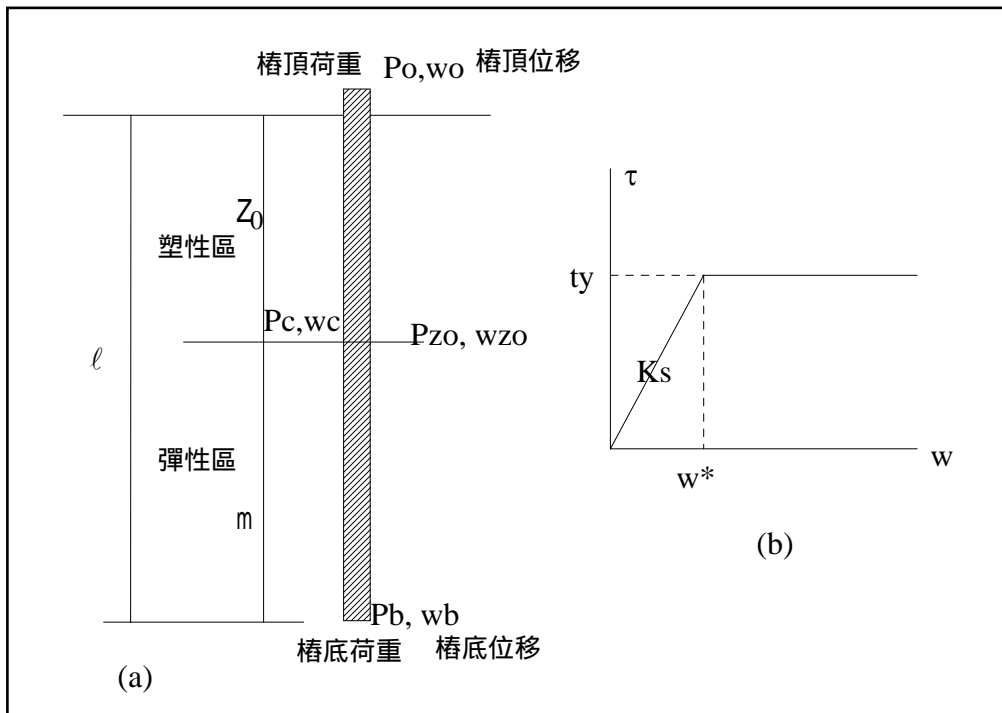


圖2 軸向荷重樁微分方程解

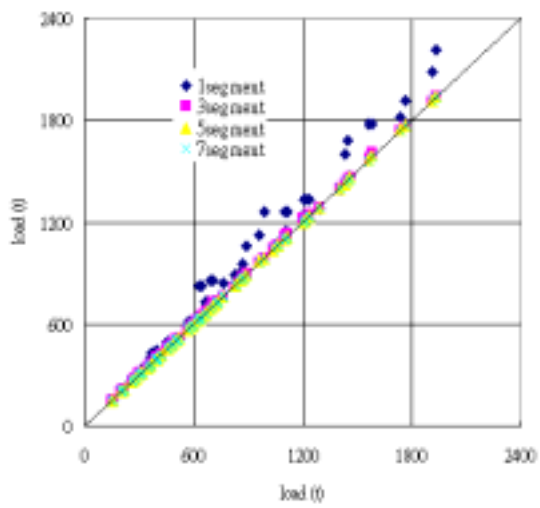


圖3a C-R 法與微分方程解比較(荷重)

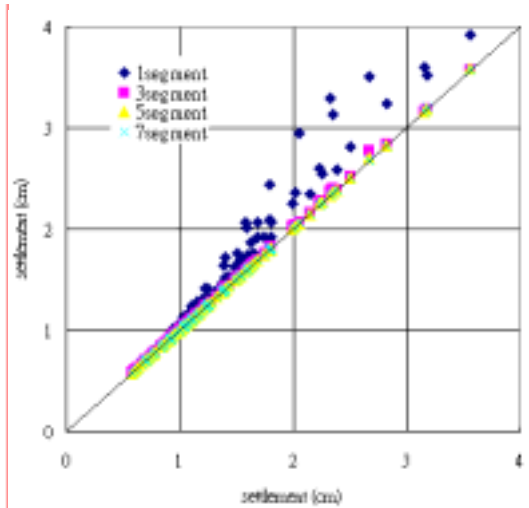


圖3b C-R 法與微分方程解比較 (沉陷量)

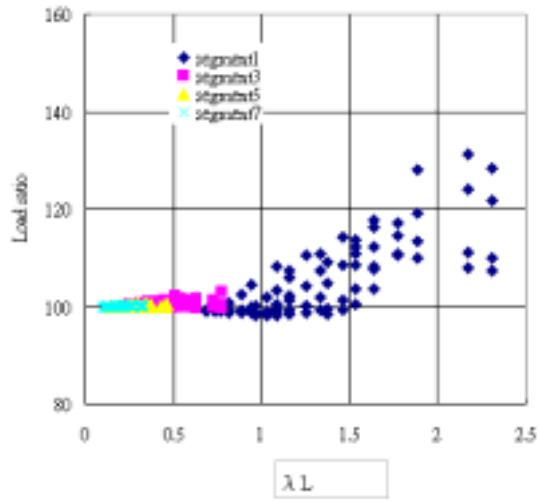


圖4a C-R 法對微分方程解比值與特徵值關係(荷重)

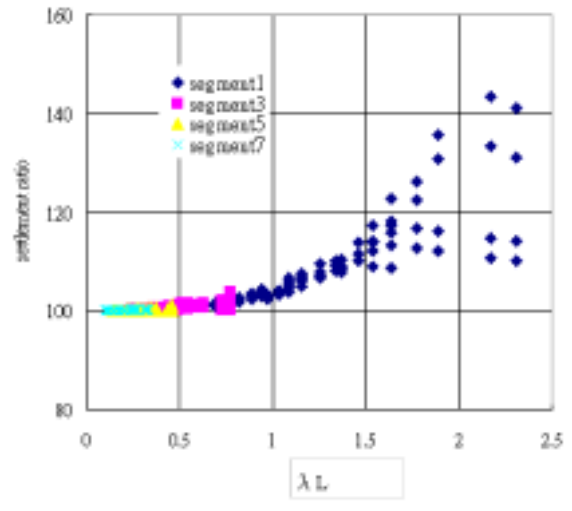


圖 4b C-R 法對微分方程解比值與特徵值關係 (沉陷量)

PCM 規畫與設計階段執行問題知識庫

A Diagnosis Knowledge Base on PCM Planning and Designing Executing Problems

莊進昌¹ 周義娟¹ 熊雲媚²

¹東南技術學院營建管理系講師

²東南技術學院營建管理系教授

摘 要

本研究針對台灣專業營建管理(Professional Construction Management, PCM)實務運作歸納出規畫階段6項、以及設計階段15項關鍵執行問題。之後依據 PCM 執行問題之特性，結合倒傳遞類神經網路(Back-Propagation Neural Network, BPNN)及知識庫模糊類神經網路 (Knowledge-Based Fuzzy Neural Network, KBFNN)，建立 PCM 規畫與設計階段執行問題(Planning and Designing Executing Problems, PDEP)知識庫，可以分析 PCM 規畫與設計階段中執行問題之間的因果關係，及其對工程專案整體目標之影響。PDEP 知識庫經由專家驗證之後，本模式之推論結果於實務上亦為合理且可接受，能夠提供 PCM 顧問於工程專案執行管理與控制之參考。

Abstract

This study generalizes 6 key executing problems in planning and 15 ones in designing phase from Professional Construction Management (PCM) of Taiwan. Based on the characteristics of PCM executing problems and application of Back-Propagation Neural Network (BPNN) and Knowledge-Based Fuzzy Neural Network (KBFNN), the PCM Planning and Designing Executing Problems (PDEP) knowledge base is created for the purposes of analyzing the causal relationship between the executing problems in PCM planning and designing and their influence on overall goals of engineering projects. PDEP knowledge base has been validated by experts, and the conclusion of this model is reasonable and acceptable in practice. The PCM executing problem diagnosis system is a useful tool to PCM consultants in engineering project execution, management and control.

Keywords: PCM, problem diagnosis, fuzzy neural network, knowledge base

I. Introduction

The concept of PCM was introduced to Taiwan by American Bechtel Corporation early in the 1980s. But its legal foundation was not established until the promulgation of Project Bidding Regulation of Taiwan Government in 1987. Although the assistance of PCM in the phases of planning and designing is valued by the owners, and has showed good performance, it has only been a short time since PCM was introduced to Taiwan, cases of PCM participation in the planning and designing phases are still few, and lack a complete integration of experience. In addition, the inadequate understanding of authority and responsibility by some owners or related vendors often lead to various executing problems in the phases of PCM planning and designing.

Some studies relating to PCM executing problems have recently been published. Burger & Halpin [1] firstly developed the Project Control System database to tackle the management problems in complicated projects. Their studies listed the major items to be paid attention to in operation of engineering projects, and suggested to control, diagnose and solve related problems through computerized project designing. Handa & Rivers [2] analyzed 28 representative accident-causing problems in large engineering projects, which were statistically categorized into 6 major problematic items, and finally proposed 7 methods to avoid or solve the problems.

Laufer [3] developed On Site Performance Improvement Program (OSPIP) for confirming problems, collecting data, analyzing information and diagnosing problems when productivity and safety problems occur in the engineering projects, so as to provide a proper solution. Mohan [4] discussed the application of expert systems in engineering project management, and studied the project management, problem diagnosing and solutions to tackle the problems.

To date, there are very few studies in connection with PCM in Taiwan. The current few studies tend to concentrate on narrative generalization. Most of them propose solutions to the inadequacies of PCM execution through literature discussion supported by case studies and interviews. Therefore, this study aims to establish a PDEP knowledge base, and goes deep into the discussion of executing problems in the planning stage, which has the deepest impact on engineering projects. A quantitative analysis for its impact upon the designing phase is also carried out to understand the influences and causal relationships of the problems encountered by PCM consultants in planning and designing phases. Finally, the knowledge base is integrated into a PDEP database management system to facilitate queries and applications by the users, and to serve as references to PCM consultants in engineering project execution, management and control.

II. PCM Executing Problems

The PCM cases of public projects in Taiwan are mostly taken by six major engineering consultant firms, namely, China Engineering Consultants, Inc., Sinotech Engineering Consultants, Inc., MAA Group Consulting Engineers, T.Y. Lin International Group, Wanding Engineering Consultants, Inc., and Join Engineering Consultants, Inc. To facilitate a complete understanding of the PCM execution problems in Taiwan, this study tries to identify the problems that may arise during the execution of PCM by discussing the cases of PCM assisting the project owners during the planning

and designing phases. Then experts from the above-mentioned six engineering consultant firms were interviewed. Drawing on their expertise and experience, they identified the problems that may arise in the execution of PCM during the planning and designing phases. The interviewees were project managers or senior engineers in charge of PCM projects in these 6 engineering consultant firms and had an average service period of 19 years, representing the top elite in the PCM field of Taiwan. The answers to this questionnaire have been boiled down to 6 critical problems of PCM execution in planning phase and 15 in designing phase. Table 1 is the lists of these problems.

After all these studies it can be established that, in Taiwan, the PCM cases in planning and designing phases are quite limited and lack of relevant quantitative materials. It can also be found that the problems arising in the planning and designing phases in the PCM execution are subject to the change of phases; those problems in the planning phase will affect the designing phase. Most execution problems are semantic descriptions and cannot be quantified. There exist highly interactive relations between problems. Accordingly, experts' knowledge obtained through questionnaires is required for the exploration of PCM execution problems and the methods of analyzing procedures should meet the needs of the three characters of PCM execution problems in the planning and designing phase in Taiwan, namely, the lack of quantitative materials, semantic variables, and high interaction.

III. Establishment of PDEP Knowledge Base

According to the literatures on the PCM execution problems, fuzzy logic reasoning is a feasible method to establish the knowledge base. Ginsberg [5] holds that the establishment of any knowledge base requires a original knowledge base acquired from the experts. This original knowledge base might not be complete or totally correct and requires revision by appropriate methods. The knowledge base is an aggregate of rules deduced by fuzzy logic, which can be acquired by interviewing experts or from training rules. If the rules are directly determined by experts, it can not ensure to provide all the information necessary in the universe of discourse, the aggregate of rules is incomplete and the membership function it defines also can not ensure to reflect the correct fuzzy relations between the input and output. Hence, many studies and researches draw on the learning ability of neural network to develop the methods of acquiring semantically fuzzy rules from training rules.

The Knowledge-Based Fuzzy Neural Network (KBFNN) is proposed by Lee [6], whose initial framework finds origin in some known knowledge. It was further modified by learning from training examples and can resolve the semantically fuzzy information in practice. Lee [7] later developed the clustering algorithm of fuzzy rules to identify those redundant, subsumed, or conflictive rules, enabling this model to verify, modify and produce new rules. Referring to the suggestions made by Ginsberg [5], this study will establish an original knowledge base and further modify it in the process. To cater for the problems' characteristic of high interactivity, the establishment of original knowledge base, taking advantage of the hidden-layer function of the Back-Propagation Neural Network (BPNN), aggregates the knowledge of domain experts to acquire the initial knowledge base. Then modifications are made to refer to the KBFNN framework proposed by Lee [6] [7] in order to acquire the knowledge base of PCM executing problems in the planning and designing phases. This study combines the

advantages of both BPNN and KBFNN to establish the knowledge base for the PCM planning and designing executing problems (PDEP). The establishing procedures are illustrated in Figure 1.

The following are the establishing procedures of the PDEP knowledge base:

1. The identification of crucial problems and their causal relationships

The identification of crucial problems has been completed in the previous chapter. In this chapter, the same senior professionals will assist in the questionnaire of this study to identify the causal relationships between these crucial problems. This questionnaire is divided into two parts. The purpose of the first part is to survey the subjective judgment of domain experts on the extent of effect. Their subjective judgment can be classified as slight, medium, and serious, by which various semantic variables are defined. The second part, is to identify the effect of one single executing problem arising in the planning phase upon each executing problem in the designing phase in order to establish an input example for the successive original knowledge base.

After collecting the questionnaires, the subjective judgment of experts on the extent of effect will be normalized according to the three-stage fuzzy statistical method. Taken into consideration the completeness of information and the convenience of calculation, the membership function is fitted into trapezoid fuzzy numbers. The functions for slight, medium and serious effects are shown by LR-type notation, slight = {0,2,0,1}, medium = {3,4,2,3}, and serious = {7,10,3,0}. The definition of semantic variables will serve as a comparing standard for the extraction of fuzzy rules.

$$\text{Slight effect: } y = \begin{cases} 1 & , \quad \text{if } 0 \leq x \leq 2 \\ -x + 3 & , \quad \text{if } 2 < x \leq 3 \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Medium effect: } y = \begin{cases} \frac{x-1}{2} & , \quad \text{if } 1 \leq x \leq 3 \\ 1 & , \quad \text{if } 3 < x \leq 4 \\ \frac{-x+7}{3} & , \quad \text{if } 4 < x \leq 7 \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Serious effect: } y = \begin{cases} \frac{x-4}{3} & , \quad \text{if } 4 \leq x \leq 7 \\ 1 & , \quad \text{if } 7 < x \leq 10 \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

2. Establishing original knowledge base

Drawing on the hidden-layer function of BPNN, the interaction between executing problems will be shown and the original knowledge base will be established. From the collected questionnaires, it is found that a single execution problem arising from the planning phase will affect each execution problem in the designing phase. By deduction, due to several executing problems arising in the planning phase, the effect of each executing problem in the designing phase can be found.

Among the 257 data drawn from the questionnaires, 130 are taken as training examples and the other 127 testing examples. After 100 training cycles, the overall error rate of training examples is 0.18461 and that of testing examples is 0.21260, showing a correct rate of nearly 80%, which is quite acceptable. After completion of the training of the original knowledge base, the acquired original rules are 10395.

3. Logic amendment for the first time

Owing to the fact that the number of rules obtained from original knowledge base will develop by power according to the combination of executing problems, then result in the burden of subsequent questionnaire and have negative impact on the network convergence ratio and learning effects, it is crucial to delete a portion of them properly. This study endeavors to, via the help of logic amendment procedure, delete redundant, subsumed and conflictive rules in the knowledge base. The logic amendment procedure is shown in Figure 2. In this way, the original knowledge base can be completed after logic amendment procedure, which can be taken as the initial framework of PDEP knowledge base, thereby the second questionnaire can be carried out.

Based upon the aforementioned logic amendment procedure, it is possible to replace original 10395 rules by selected 956 rules, thus reducing considerably both initial framework of network and the number of subsequent expert questionnaire.

4. Amendment of original knowledge base

The second questionnaire is aimed at identifying the impact of several executing problems in the planning phase upon subsequent executing problems in the designing phase in original knowledge base, which can be regarded as a training example for amendment of fuzzy knowledge base. The respondents are the same as those above-mentioned. In this way, it is acceptable to provide the analytic results of fuzzy statistics and the definitions of influence degree (slight, medium and serious) for reference by experts, whereby they can offer fuzzy but subjective opinions.

Based upon the initial framework of PDEP knowledge base set up by original knowledge base, it can be drawn that there are 15 models against 15 designing executing problems. After the completion of model training, draw on the extraction algorithm of fuzzy rule, and extract the rules of amended PDEP knowledge base network. According to the above-specified linguistic terms, it allows to calculate the similarity degree of various linguistic terms and amended fuzzy weights, among which the biggest similarity degree is the deduction result. In such case, the amendment of 956 rules in knowledge base can be finished.

5. Logic amendment for the second time

After the completion of amendment of knowledge base, then perform logic amendment for the second time, namely, delete redundant, subsumed and conflicting rules, with the check process the same as above specified. According to the output results of these models, it is possible to obtain the knowledge base of planning and designing causal relationships against PCM executing problems, including the crucial problems of PCM and the influence degree as well as the impact upon the overall performance of engineering projects.

6. Completion of PDEP knowledge base

In order to complete the PDEP knowledge base after logic amendment for the second time, it is desirable to interview the above-specified domain experts again and check the deduction rules via their experience and insight. Then, it is possible to list and examine all questionable rules, supplement omitted important rules and reaffirm the rationality/integrity of the database. Thereby, it is possible to complete the knowledge base of planning and designing executing problems (PDEP), which can be made available for the reference by PCM consultants in the implementation of projects.

IV. Conclusion

1. Based upon BPNN and KBFNN, this study strives to set up a PCM executing problem diagnosis model. In addition to identifying the causal relationships among executing problems during various phases, it is required to input fuzzy linguistic terms, infer the impact of initial executing problems upon subsequent executing problems and output the definite value by the of estimated pricing progress lagging percentage.
2. In case there is a very large network infrastructure, or lacks of training data or the training data is not reliable, localized minimum value may occur during the model training process, the conclusion will be affected. However, through BPNN and logic amendment procedures, it is possible to reduce considerably network's initial framework and promote significantly the learning effects and convergence ratio of KBFNN.
3. The integrated model of this study can not only resolve the problems of high dimensionality and higher interaction characteristic among variables, but also provide an efficient access to the lack of quantitative data for the engineers.

Reference

1. Amadeus M. Burger, and Daniel W. Halpin "Data Base Methods for Complex Project Control", Journal of the Construction Division, Vol.103, No.CO3, pp.453-463, 1977.
2. V.K. Handa and Doug Rivers, "Downgrading Construction Incidents", the Journal of Construction Engineering and Management, Vol.109, No.2, pp.190-205, 1983.
3. A. Laufer, "On Site Performance Improvement Programs" the Journal of Construction Engineering and Management, Vol.111, No.1, pp.82-97, 1985.
4. Satish Mohan, "Expert Systems Applications in Construction Management and Engineering", the Journal of Construction Engineering and Management, Vol.116, No.1, pp.87-99, 1990.
5. Allen Ginsberg, "Knowledge-Based Reduction: A New Approach to Checking Knowledge Bases for Inconsistency & Redundancy", Seventh National Conference on AI, pp. 120-125, 1998.
6. H.M. Lee and B.H. Lu, "Fuzzy Rule-Based Neural Network Model for Revising Approximate Domain Knowledge", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 634-639, 1994.
7. H.M. Lee and B.H. Lu, "A Fuzzy Neural Network Model for Revising Imperfect Fuzzy Rules",

Fuzzy Sets and Systems, vol.76, pp.25-45, 1995.

Table 1. key Executing Problems Codes in Planning and Designing Phases of PCM

Phase of engineering	Executing problems of PCM	Problem Code
the planning phase	1.improper evaluation of planning requirements	A1
	2.incomplete analysis of plan feasibility	A2
	3.improper preparation of overall progress plan	A3
	4.improper analysis of overall cost plan	A4
	5.improper preparation of QA plan guideline	A5
	6.improper selection of designing consultant	A6
the designing phase	1.have not collected construction administration information in advance	B1
	2.insufficient understanding of related regulations and procedures	B2
	3.indefinite rights and responsibilities	B3
	4.incompatible interface of various design units	B4
	5.unidentified labor services plan	B5
	6.improper documents management of designing	B6
	7.incomplete monitoring of design progress	B7
	8.indefinite stages of designing	B8
	9.improper estimated pricing and cost control	B9
	10.frequent changes of designing	B10
	11.incomplete review of design drawings and descriptions	B11
	12.have not foreseen the problems in project	B12
	13.improper preparation of safety and sanitation plan	B13
	14.improper layout of materials and equipments	B14
	15.defects of contract management	B15

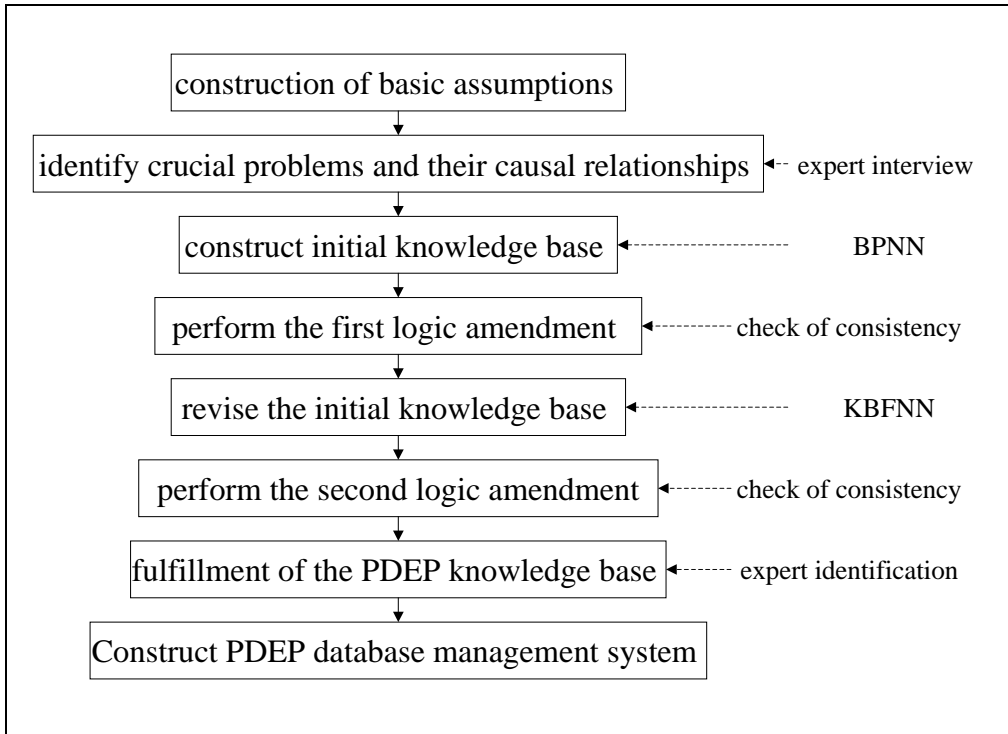


Fig.1. Flowchart of PDEP knowledge base

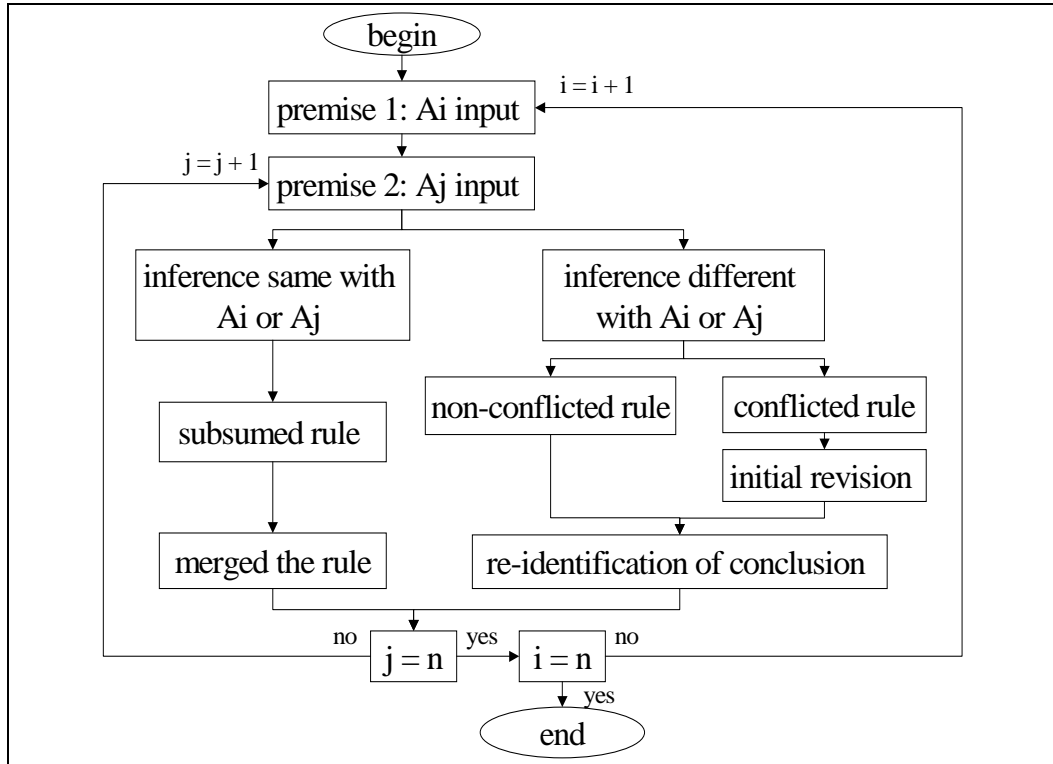


Fig.2. Logic amendment procedure

Case Study the Relationship Between Mastic Characteristic and Drainage Asphalt Mixture

¹Rong-Sheng Yeh ²Jyh-Dong Lin ³Yu-Min Su

¹Lecturer, Tung Nan Institute of Technology, Taipei, Taiwan

²Professor, National Central University, Taoyuan, Taiwan

³Master, National Central University, Taoyuan, Taiwan

ABSTRACT

Drainage asphalt pavement stands for great power of surface resistance and lower noise. Asphalt, which is the major component of drainage asphalt pavement, performs great viscosity and intensity. FHWA subscribed Open-Graded Friction Course (OGFC) in 1974, and National Center for Asphalt Technology (NCAT) launched new Open-Grade Planned, which defined the selection of material, mixture design, and guideline of testing in 2000. The study aims at the characteristics of drainage asphalt through material analysis, planned experiment, and performance test. The research also concludes the rheological behavior of asphalt and the performance of drainage asphalt.

We took AC-20, AR-8000, PMA, and high-viscosity asphalt(Hi-Asph) as the factors of the asphalt. Besides, cellulose fibers(CF) were added to PMA for comparing the effects of different fibers. The VFA period was on 5.0%~5.5%(total mix) and prepared for marshell specimens and mastics. We took the upper one of the period for the design oil content. Comparing the mastic rheology and performance of the Specimens, we could conclude that $G^*/\sin \delta$ was not only highly correlated with the work of IDT, and creep modulus, but also nearly highly correlated with IDT, TSR, and MR. By the way, the correlation of $G^*/\sin \delta$ and depth of the wheeling rutting test was high. The results of our study presented, we suggest that we could replace the specimens performance with the mastic rheology for determination of designing drainage asphalt. Additionally, we could make a proper design method in local of Taiwan.

Key words: Drainage Asphalt, Rheology, $G^*/\sin \delta$.

INTRODUCTION

Traditionally, pavement of major highway is composed of dense grade asphalt mixture, and some of them are 1.5 cm open grade added the pavement in Taiwan. However, the climate is warm and humid, and summer storm occurs occasionally. Water fluids on the pavement and cause damage to the pavement soon. Improvement of drainage of the pavement is a very important factor for present

situation. Drainage asphalt pavement stands for great power of surface skid resistance and lower noise. Asphalt, which is the major component of drainage asphalt pavement, performs great viscosity and intensity.

In 1998, the ministry of transportation and communication Taiwan area national expressway engineering bureau (TNEEB) and national central university (NCU) jointed to improve highway pavement surface failure problem. They report that modified advance open-graded asphalt pavement, which is in combination of high grade asphalt and low flat rate aggregate or high CaO slag stone aggregate, performs great then ever on polishing, stripping, rutting effect, indirect tensile strength (ITS), and creep test.

Federal highway administration (FHWA) subscribed open-graded friction course (OGFC) in 1974, and national center for asphalt technology (NCAT) launched new open grade planned, which defined the selection of material, mixture design, and guideline of laboratory performance test method in 2000 [1] [2] [3] [4].

Japanese road construction association (JRCA) subscribed "Guideline for drainage asphalt mixture paving technology" in 1996, concluded the viscosity of high viscosity modified asphalt need to meet the 200,000 poise criteria. High viscosity modified asphalt is the major component of drainage asphalt mixture to resistant stripping aggregate in Japan [5].

A planned experiment had been performed to the rheological behavior of asphalt recently. Asphalt institute (AI) [6] reports the rheological behavior of asphalt on Complex shear modulus (G^*) and phase shift angle (). Three phases, original, short-term aging(RTFOT), and long-term aging(PAV), of asphalt are necessarily for investigating of G^* and . Asphalt of higher G^* performs greater stiffness, and lower of performs better elastics deformation. Bahia and Anderson [7] indicated that original and most modified asphalt shown higher G^* and lower after aging. They subscribed the relationship between pavement performance and rheological parameter, temperature gradient, and failure behavior in four different temperature gradients. Roberts [8] reported that strategic highway research program (SHRP) defined the minimum value of G^*/\sin of non-aging asphalt is 1.0kPa, however, the minimum value of G^*/\sin of short-term aging asphalt is 2.2kPa. Bouldin et al. [9] indicated that it is hard to measure \tan of straight asphalt due to lower elastics, however, modified asphalt performs greater elastics even in higher temperature because of modifier. To avoid draindown phenomenon in production, transportation, and paving, and to support enough thickness for tolerance [10], we applied high grade asphalt or modified asphalt, or fiber added, or both usually. Maurile indicated the benefits of fiber add-in asphalt as following: (1) decreasing temperature susceptibility; (2) increasing viscosity; (3) increasing tensile strength; (4) increasing skid resistant ability of high speed cruising. Nevertheless, NCAT subscribes the criteria of fiber add-in because of the controversial issue between thickness and anti-stretching of the pavement.

OBJECTIVE AND SCOPE

The study aims at the characteristics of drainage asphalt through material analysis, planned experiment, and performance test. The research also concludes the rheological behavior of asphalt and the performance of drainage asphalt mixture.

MATERIAL AND TEST PLAN

The study intends to exclude flat coarse aggregate for the material selection. Instead of recycle power, we applied crushed powder for limestone added asphalt so that there is high viscosity, low temperature susceptibility, and high stiffness mastic. The selection of fiber needs to follow NCAT specification. Aggregate grade selection applied to the criteria of Japanese Road Construction Association “Guideline for drainage asphalt mixture paving technology”, to the maximum of 3/4”. The comparison sheet of American PG Grade, Japanese Modified Asphalt Standard, Chinese National Standard (CNS), and Polymer-Modified Paving Asphalt grade specification was shown in Table 1. The study applied AC-20 and AR-8000 of China Petroleum Corporation (CPC), CNS 14184 certified PMAIII asphalt, and certified Japanese high viscosity modified asphalt (Hi-asph). There is planned mastic experiment in table 2, and rheological parameter in Table 3. First, we analyzed general characteristics of the asphalt, aggregate, and fibers; and set the temperature of mixing and rolling. Secondly, we decided the oil content from asphalt test after Schellenberg binder drainage test and Cantabro test applied to the Japanese “Guideline for drainage asphalt mixture paving technology”. Thirdly, we analyzed the 4-inch Marshall specimens of effectiveness and characteristic test.

TABLE 1 Different Asphalt Grade Specification

Viscosity Grade	Superpave PG Grade	Modified Asphalt (Japan)	Chinese National Standard 14184
AC-10	PG58	-	-
AC20~AC-30	PG64	-	PMA
AC-30~AC-40	PG70	JMA	PMA
AC-40以上	PG76	JMA	PMA

TABLE 2 Mixing of Mastic

Mastic type	Mastic with fibers type
AC20+MF	AC-20+MF0.4%
AR-8000+MF	AR-8000+MF0.4%
PMA	PMA
PMA +CF	PMA +CF0.3%
PMA +MF	PMA +MF0.4%
Hi-Asph	Hi-Asph MA(200000 poise)

TABLE 3 Parameters of Rheology Test

	Stress range (dyne/cm)	Frequency range (Hz)	Temperature range ()			
Viscosity analysis	15708 157080	-	60			
Creep analysis	47130	-	25	40	60	80
Stress sweep analysis	10000 50000	1.59	-	60	80	-
Frequency sweep analysis	25000	0.01 5	-	60	-	-
Temperature sweep analysis	30000	1.59	25-90			

RESULT AND DISCUSSION

AR-8000 possessed minimum penetration; the viscosity value are ranked by High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) > PMA (PMA3) > AR-8000 > AC-20; the soften point is higher than 80 for both modified asphalt and is lower than 60 for both AC-20 and AR-8000, and influence the ability to resistance deformation in high temperature weather condition. The asphalts general physical characteristics are shown in Table 4. Table 5 shown the result of toughness test. AR-8000 is the greatest, and fiber added modified asphalt is the second. Modified asphalt possessed both highest toughness value and tenacity. Though the maximum force increased of 10 Kg, fiber added asphalt decreased of toughness value and tenacity in the test. Table 6 shown the screening of the coarse aggregate, both worn rate and flat rate are

TABLE 4 Result of Physical Characteristic

Item	State	Unit	AC-20	AR-8000	PMA	Hi-Asph
Penetration	25	mm	65	34	36.3	42
Viscosity	60	poise	2,234	4,310	13,236	234,000
Viscosity	135	poise	4.9	7.1	13.2	243.0
Soft point	-		48	56	80	86

TABLE 5 Result of Toughness Test

	AC-20	AR-8000	Hi-Asph	PMA	PMA +CF	PMA +MF
Maximum force (kg)	42.06	94.79	45.95	44.68	55.32	57.49
Toughness (kgf-cm)	52.25	68.94	205.58	306.32	68.68	55.62
Tenacity (kgf-cm)	14.33	8.65	287.68	255.06	3.14	18.16

TABLE 6 Result of Coarse Aggregate

Test method	Unit	Standard	Result value
Los angeles polished ratio	%	AASHTO T96	22.2
Slat aggregate content 1 : 3 1 : 5	%	ASTM D 4791	15.4
	%		2.9
Rate of water content	%	AASHTO T85	1.8
Soundness Sodium sulfate Magnesium sulfate	%	AASHTO T104	2.9
	%		3.1
sharp ratio of Coarse aggregate			
One sharp plane	%	ASTM D 5821	100
Two sharp plane	%		96

TABLE 7 Result of Cellulose Fibers

Test method		Unit	CF _A	CF _B	CF _C
Fiber type			Grain	Grain	Grain
Fiber length		mm	1.23	1.05	1.52
Vibrate Sieve Method	Passing # 20	%	80.1	79.3	85.5
	Passing # 40	%	68.3	67.7	65.8
	Passing # 140	%	28.5	27.9	32.9
Ash content (not volatile)		%	26.6	20.0	15.0
PH value		-	7.7	7.9	8.4
Oil absorption		%	5.6	5.0	4.2
Water content		%	2.0	2.0	2.0

TABLE 8 Result of Mineral Fibers

Test method		Unit	MF
Fiber length		mm	1.35
Fiber diameter		μ m	4.83
Not fiber material (Shot Content)	Passing # 60	%	95.0
	Passing # 230	%	69.0

lower than NCAT standard. The stone powder is satisfied to NCAT standard. Table 7 and Table 8 shown the basic characteristics of cellulose fibers and mineral fibers respectively. Test methods are referenced by NCAT specification.

Flow Mode Analysis

Figure 1 shown the relationship between shear stress and Viscosity. The rank is High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) > PMA III with cellulose fibers > PMA III with mineral fibers > AR-8000 with mineral fibers > AC-20 with mineral fibers PMA III at 60 . The viscosity of High Viscosity Asphalt is much higher than PMAIII and Fiber Added Modified Asphalt, however, and it decrease when shear stress value increased.

Creep Mode Analysis

Table 9 shown the Creep mode Analysis. The creep strain ranked by High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) < PMAIII with cellulose fiber < PMAIII with mineral fiber < AR-8000 with mineral fiber < PMAIII < AC-20 with mineral fiber at each temperature gradient. There is mild change at 25 and 40 however, there are much change at 80 . High Viscosity Asphalt changed less than others at 60 . Though asphalt with cellulose fiber changed less than those with mineral fiber, it still much higher than High Viscosity Asphalt.

Dynamic Sweep Mode Analysis

For stress sweep test result that High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) possessed highest G^*/\sin , and PMA III with fiber was the second. G^*/\sin were similar to both PMA III with cellulose fiber and High Viscosity Asphalt, however, the value of High Viscosity Asphalt was twice than PMA III with cellulose fiber at 80. Each asphalt with fibers, G^*/\sin were decrease when shear stress value increased. Except High Viscosity Asphalt, the others possessed more than 80 degree of at 80, shown plasticity behavior. High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) shown higher deformation resistance at higher speed in Frequency Sweep Mode Analysis. G^*/\sin of High Viscosity Asphalt was twice of PMA III with cellulose fiber at 1.0Hz low speed. High Viscosity shown lower, in contrast to higher than 85 degree of others at 1.0Hz, it possessed low resistance to rutting deformation. For temperature sweep test result, High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) shown the highest G^*/\sin at 60, however, of High Viscosity Asphalt is the lowest. It might perform high deformation resistance to change and good pavement elastics at high temperature.

TABLE 9 Creep Strain of Creep Test

Time(sec)		360		600	
Temp.()		25	40	60	80
Dis.(rad)	AC-20+MF	0.04865	0.3883	9.6182	104.8355
	AR-8000+MF	0.0220	0.1808	4.9183	58.5999
	PMA	0.0824	0.2277	7.6561	93.7030
	PMA +MF	0.0205	0.1199	2.8354	35.9879
	PMA +CF	0.0140	0.0938	2.0835	23.7777
	HiAsph	0.01259	0.0102	0.0361	2.5296

Resilient modulus analysis

There were data of resilient modulus(MR) test in Table 10. AC-20 specimen failed at 40. Asphalt type and temperature condition are the main factors of variance analysis. Resilient modulus value of High Viscosity Asphalt (Hi-Asph) is the highest at 25, it became similar to others but was still high at 40. High Viscosity Asphalt is recommended to apply at higher temperature.

Indirect tensile strength (ITS) and work

The work was summated the area under the relationship between strain and loading force at indirect tensile test. Table 11 shown the result of indirect tensile test. Applied to variance analysis, there was significant difference of indirect tensile strength (ITS) and work before and after freezing. High Viscosity Asphalt was the highest, and PMA III with fiber is the second. AR-8000 shown prominent decreasing after freezing. To conclude the result of indirect tensile strength (ITS) and work, High Viscosity Asphalt performed the best. In comparison to fiber added group, cellulose fiber added was higher before freezing, it was lower than mineral fiber added after freezing.

TABLE 10 Result of Resilient Modulus Test

	Resilient Modulus (kgf/cm ²)			Resilient Modulus (kgf/cm ²)	
	25	40		25	40
AC-20+MF			AR-8000+MF		
1	10429	-	1	11945	5687
2	9545	-	2	12884	3713
3	8196	-	3	13452	4165
4	8391	-	4	10113	3951
5	9342	-	5	11539	4633
6	9415	-	6	11784	5014
Average	9219.7	-	Average	11952.8	4527.2
PMA			Hi-Asph		
1	11803	5352	1	12323	4761
2	13555	3566	2	14451	5974
3	14090	4068	3	18941	5811
4	19482	5152	4	14948	4573
5	10199	2566	5	18918	5146
6	10104	4397	6	21855	5873
Average	13205.5	4183.5	Average	16906.0	5356.3
PMA +CF			PMA +MF		
1	14811	4605	1	12024	4517
2	11780	4377	2	22148	4149
3	13918	5324	3	15853	6437
4	17919	4981	4	16447	4536
5	16483	4735	5	14880	5099
6	13248	5083	6	19335	4832
Average	14693.2	4850.8	Average	16781.2	4928.3

Water susceptibility

With AASHTO T283 test method to evaluate water susceptibility, and the result was shown in Table 12. Most testers passed 75%, or closed to 80% of indirect tensile residual. However, AR-8000 cannot make it. It might cause by the water residual affected to cellulose fiber, and made residual work lower.

Rutting, skid resistance, and mixture drainage test

Both modified asphalt and fiber add-in asphalt failed to meet the dynamic stability (DS) in rutting test, however, high viscosity asphalt passed 3000 time/mm of heavy traffic requirement. Skid resistance test shows that BPN of asphalt was between 0.68 and 0.76, indicates no significant difference. The indoor mixture drainage test of Marshall specimen of each are between 0.25 and 0.27, all of them are higher than 0.01(cm/sec), the standard drainage coefficient of Japanese "Guideline for

drainage asphalt mixture paving technology”.

Thickness of the oil film

Comparison to Superpave SP-2[11], the high viscosity asphalt (Hi-asph) thickness of the oil film are $21.61 \mu\text{m}$ ~ $22.44 \mu\text{m}$ while oil content are 5.0%~5.5%, shown no significant difference as well. Both thickness of modified asphalt and fiber added asphalt meet Japanese “Guideline for drainage asphalt mixture paving technology”, $14 \mu\text{m}$, and contains 5.4% oil.

Pavement thickness analysis

Applied to Kenlayer software of Kentucky University, there is no significant difference of base strain on surface between drainage asphalt and open grade asphalt when the thickness is 1.5cm at 25 , however, the base strain on surface is 1/3 of 1.5cm open grade asphalt when the thickness of drainage asphalt is 4 cm. Nevertheless, the strain on surface base of drainage asphalt is 1/2 of open grade asphalt, close to 4 cm stone mastic asphalt (SMA) at 40 , in contrast to no significant difference at 25 . There are similar data of top strain on sub-grade layer at 40 . We conclude that 4-cm high viscosity asphalt (Hi-asph) is approved to promote the rutting and deformation of open grade asphalt. Table 13 shown the result of pavement thickness at 40 .

TABLE 11 Result of Indirect Tensile Test

	Non-freezing specimen		One time freezing specimen	
	ITS	Work	ITS	Work
AC-20+MF	3.70	47.64	3.51	51.32
	4.48	50.43	3.02	36.29
	4.18	53.20	3.27	48.62
AR-8000+MF	8.95	106.64	3.92	51.55
	7.44	109.18	3.38	48.17
	8.98	105.43	3.65	49.86
HiAsph	6.81	149.62	5.44	89.32
	6.51	89.62	4.40	92.46
	6.81	86.69	5.16	134.72
PMA3	5.10	69.56	3.82	47.19
	4.85	83.85	4.12	71.99
	5.70	76.71	4.17	104.30
PMA3+CF	4.82	98.84	4.32	60.48
	6.53	95.18	4.03	67.02
	5.19	111.83	5.02	93.01
PMA3+MF	5.09	98.06	4.59	79.13
	5.17	73.28	4.83	80.49
	6.08	88.75	5.12	86.35

TABLE 12 Result of Immersion-Compression Test

	Not freezing		Freezing test		TSR	Rate of Energy
	ITS	Energy	ITS	Energy		
AC-20+MF	4.12	50.42	3.27	45.41	79.37	90.06
AR-8000+MF	8.46	107.08	3.65	49.86	43.16	46.56
Hi-Asph	6.71	108.67	5.64	105.50	84.05	97.09
PMA3	5.20	76.71	4.04	74.49	77.63	97.12
PMA3+CF	5.50	101.95	4.46	73.50	81.09	72.10
PMA3+MF	5.45	86.70	4.85	81.99	88.98	94.57

TABLE 13 Result of Pavement Thickness Analysis (40)

40	Surface thickness	MR	Surface base	Surface base	Sub-grade top	Sub-grade top
	cm	psi	stress	strain	stress	strain
OFGC	1.5	5.688E+04	6.982E+01	6.511E-04	1.910E+01	-7.212E-04
	1.5	8.532E+04	6.984E+01	6.336E-04	1.897E+01	-7.183E-04
Drainage asphalt	2	8.532E+04	6.959E+01	5.685E-04	1.845E+01	-7.016E-04
	4	8.532E+04	6.742E+01	3.386E-04	1.647E+01	6.374E-04
SMA	1.5	1.138E+05	6.981E+01	6.176E-04	1.886E+01	-7.156E-04
	2	1.138E+05	6.953E+01	5.482E-04	1.830E+01	-6.980E-04
	4	1.138E+05	6.725E+01	3.061E-04	1.621E+01	-6.310E-04

Mastic and mixture correlation analysis

Applied to single tail spearman analysis of rheology characteristic of mastic and performance characteristic of drainage asphalt, there is high significant correlation between maximum toughness force and indirect tensile strength. AR-8000, maximum toughness force is significantly higher than others. Creep compliance and phase shift angle () shown high correlation at 40 (=0.05); resilient modulus and phase shift angle () are moderate correlation, however, the coefficient is close to the threshold of high correlation's. This indicates highly correlation between creep compliance, resilient modulus, and phase shift angle.

There is no significant difference between indirect tensile strength, work, tensile strength residual, and G^*/\sin , . However, it shown significant between work and phase shift angle (=0.05). Though not significant to the correlation between indirect tensile strength, work, tensile strength residual, and , they still shown moderate relation because of the coefficient is 0.6, close to the threshold value of high correlation. There are high correlation between G^*/\sin , , and rutting depth, these might be caused by the effect of dynamic stability(DS) [12]. It is moderate correlation between G^*/\sin , , and dynamic stability since the coefficient is 0.5. We conclude the correlation between dynamic stability and rheology characteristic of mastic.

We conclude as following; there is high correlation between asphalt and drainage asphalt of (1) toughness and indirect tensile strength; (2) and work value; (3) and creep compliance; (4) G^*/\sin and rutting depth; and there is moderate correlation of and indirect tensile strength

(Spearman coefficient > 0.6) .

Instead of conventional effectiveness test, the study use characteristics test for drainage asphalt selection. Figure 2 shows that work flow of the test. We suggest that using rheological behavior test for the screening in the beginning; and apply to planned design for drainage asphalt then, examining the continuous void ratio, drainage coefficient, rutting test, and tensile strength residual test. Thus, it saves time for asphalt selection.

CONCLUSION

1. High viscosity asphalt (Hi-asph) perform great rheology characteristic, and meets to the category of coarse aggregate, flat rate, and polish rate of NCAT.
2. High viscosity asphalt (Hi-asph) shown great resilient modulus and creep compliance. The indirect tensile strength of AR-8000 with mineral fiber add-in is higher than high viscosity modified asphalt when non-freezing at 25 °C, however, the value got smaller after freezing. TSR value of AR-8000 is less than 70%, while the others' go to 75%. The indirect tensile strength of PMA III added cellulose fibers decrease sharply after freezing.
3. All sample have similar drainage coefficient, and are higher than reference value. This might be affect by grade and oil content. It showed similar result to skid resistant test.
4. Applied to Kenlayer analysis, 4-cm high viscosity modified asphalt on the surface layer performs great drainage ability and intensiveness.
5. Applied to SHRP analysis at 1.59Hz and 60 °C, high viscosity modified asphalt posses high $G^*/\sin \delta$ and low $\tan \delta$, and cellulose fiber posses high $G^*/\sin \delta$ and low $\tan \delta$ in comparison to mineral fiber.
6. The study indicates high correlation between work and phase shift angle, as well as creep compliance and phase shift angle. It shown moderate relation between indirect tensile strength, work, tensile strength residual, and $\tan \delta$ because the coefficient is close to the threshold value of spearman coefficient, and it is similar to resilient modulus and phase shift angle.
7. Applied to Spearman analysis, it shown high correlation between rutting depth and $G^*/\sin \delta$, and $\tan \delta$ at 1.59Hz and 60 °C, and moderate correlation between dynamic stability and $G^*/\sin \delta$, and $\tan \delta$.
8. We recommend that rheology characteristic test, instead of conventional test, of asphalt and planned experiment of indoor mixture drainage test, drainage coefficient, rutting test, and tensile strength residual test are necessarily to selection of drainage asphalt.

REFERENCE

1. R.W. Smith, J.M. Rice, and S.R. Spelman, "Design of Open-Graded Friction Courses." Report FHWA-RD-74-2, Federal Highway Administration(1974).
2. H.A. Smith, "Performance Characteristics of Open-Graded Friction Courses." NCHRP Synthesis of Highway Practice 180, TRB(1992).
3. P.S. Kandhal, and R.B. Mallick, " Open-Graded Friction Course : State of Practice. " Transportation Research Circular Number E-C005, TRB (1998).
4. R.B. Mallick, P.S. Kandhal, L.A.Cooley, Jr., and D.E. Watson, "Design, Construction, and

- Performance of New-Generation Open-Graded Friction Courses.” Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists (2000).
5. Japanese road construction association, “Guideline for drainage asphalt mixture paving technology,” TOKYO, JAPAN(1996).
 6. Asphalt Institute, Performance Graded Asphalt Binder Specification and Test, Asphalt Institute Superpave Series No.1(SP-1) (1994).
 7. H.U. Bahia, and D.A Anderson, “The New Proposed Rheological Properties of Asphalt Binders : Why are They Required and How do they compare to Conventional Properties.” Physical Properties of Asphalt Cement Binders(1995).
 8. F.L. Roberts, P.S. Kandhal, E.R. Brown, D.Y. Lee, and T.W. Kennedy, Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, NAPA Education Foundation, Second Edition, Lanham, Maryland(1996).
 9. M.G. Bouldin, and J.H. Collins, “Influence of Binder Rheology on Rut Resistance of Polymer Modified and Unmodified Hot Mix Asphalt.” Polymer Modified Asphalt Binders ASTM STP 1108, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp.50-60(1992).
 10. ASTM Standards C612-00A, “Standard Specification for Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation.” ASTM Standards, PA, USA(2000).
 11. STP 204-19, “Asphalt Film Thickness Determination.” Standard Test Procedures Manual, Saskatchewan Highways and Transportation, Canada(2001).
 12. J. Carswell, “Rheology: Measurement, Accuracy, Precision, and prediction.” Proceedings of The 1st European Symposium on Bituminous Materials Rheology and Pavement Performance, London, UK(2000).

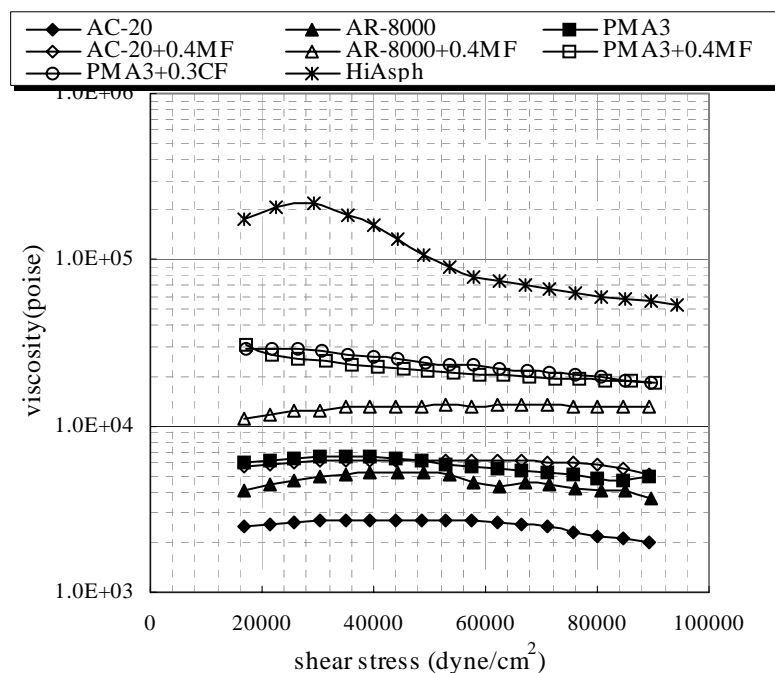


FIGURE 1 Result of Mastic Viscosity

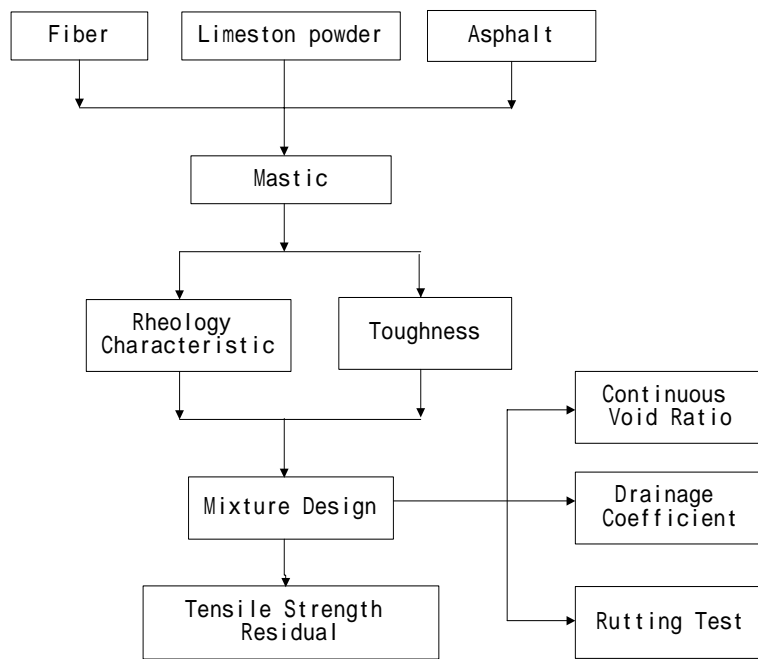


FIGURE 2 Flow Chart for Drainage Mastic

奈米碳管的開發及探討

Development of Carbon Nanotube

¹王茂源 ²謝建勳 ³蘇亞萍

¹Wang Mou Yuan ²Hsien Chien Hsin ³Shu Ya Pin

¹東南技術學院副校長 ²東南技術學院副教授 ³國立師範大學博士候選人

¹Tung Nan Institute of Technology Vice President

²Tung Nan Institute of Technology Vice Professor

³National Taiwan Normal University Doctor Candidate

摘 要

奈米碳管首次由 Iijima 於1991年所發現，由於它特殊的物理特性及相關的應用潛力，奈米碳管吸引許多研究學者投入。奈米碳管是由石墨的結構捲屈而成，它的直徑約在4到30奈米之間而其長度約從1微米至數百毫米之間。因為奈米碳管非常大的高寬比讓它的場發射特性優於其他場發射材料，其場發射電流密度能夠大至 $10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，而起始電場只有 $0.8\text{V}/\text{mm}$ 。奈米碳管可以廣泛用在各種儀器上，且都有不錯的效果。

未來出現的微奈米電晶體和奈米記憶體晶片，將使電腦的速度和效率提高數百萬倍，儲存的容量達到數萬億位元，並使能源消耗量降低到現在的幾十萬分之一。通訊頻寬會增大幾百倍，可以摺疊的顯示器將比目前的顯示器明亮10倍。

關鍵字：奈米碳管、奈米科技、碳元素

Abstract

Carbon nanotubes (CNTs), which were first observed by Iijima in 1991, have received considerable attention owing to their unique physical properties and potential for various applications. The needle like tubes are coaxial tubes, which are constructed by rolling up graphite sheets, from 4 to 30 nm in diameter and up to 100 mm in length. Because their high aspect ratios and very small tip curvature, the nanotubes exhibit excellent field emission characteristics. Specifically, high field emission current density of $10\text{ mA}/\text{cm}^2$ and low turn-on electric field of $0.8\text{ V}/\text{mm}$ have been demonstrated. This study examined, printing-FED fabricated using the screen-printing technology. Carbon nanotubes have extensive uses for all kind of instrument, and universally achieve good results.

Rice memory chips, will increase computer speed and efficiency millions times, increasing

storage capacity to several billion bits , and energy depletion to several 1/100,000s of present levels。 Communication Band may be increase more than 100 times。

Keywords : Carbon nanotubes、nanotechnology、Carbon

壹、前言

隨著科技技術的發展，人類對於材料微小化的殷切需求，材料應用的尺寸由初期的塊料、微米、次微米逐漸進入奈米時代，目前先進的國家，無不以此技術視為未來最有潛力的領域，諾貝爾獎得主 Richard Smalley 教授於1999年6月22日於美國參議院奈米科技聽證會上強調「奈米科技對未來人類健康及生活福祉之貢獻決不亞於本世紀的微機電子產品、醫學影像、電腦補助及人造高分子材料等之總和貢獻」，此外，奈米體系在維度上的限制，也使得電子固體中的電子態、激發態和各種互相作用過程表現出與三維體系十分不同的性質，奈米技術不僅向微小化推進了一步，也是進入一個新的微觀世界，有科學家預言，這場奈米技術的革命，可以與30年前用微電子設備取代真空管而引發的革命相提並論。未來出現的微奈米電晶體和奈米記憶體晶片，將使電腦的速度和效率提高數百萬倍，儲存的容量高達數萬億位元，並使能源消耗量降低到現在的幾十萬分之一。通訊頻寬會增大幾百倍，可以摺疊的顯示器將比目前的顯示器明亮10倍。

另外，一個奈米層次上可能辦的到的事，是將生物和非生物的部分結合成交互作用的感應器和處理器，奈米科技是時代進步的標誌。科學家們普遍認為，奈米技術是一項劃時代和革命性的技術。目前，奈米科技的研究剛剛起步，而在已經形成的產品中，奈米技術發揮出神奇的力量。預計在今後2、30年中，奈米技術發展仍是科技領域最熱門的課題之一。因此，有人稱奈米科技是新世紀行業革命的支柱。

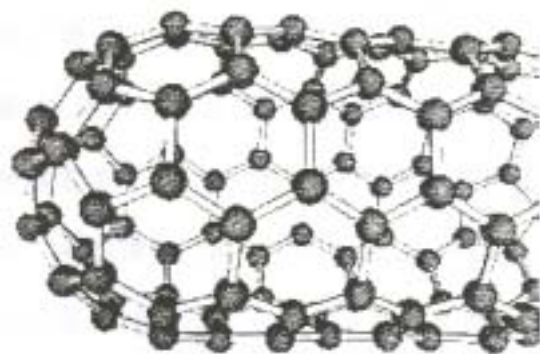
貳、文獻探討

(一)何謂奈米碳管

奈米碳管，顧名思義就是由碳(carbon)元素所組成的一個中空管子，由於它的管子直徑是在奈米(10^{-9} m)尺寸範圍，所以我們稱它為奈米碳管，英文為 carbon nanotubes，簡稱 CNT。到目前為止所發現最小的奈米碳管的直徑約為0.4奈米，(Qinetal,2000)³，而一般的直徑約為數個奈米，長度的微米量級而最長可達數個毫米。一般奈米碳管可分為單壁奈米碳管(Iijima and Ichihashi,1993)，英文為 single-wall carbon nanotube，簡稱 SWNT(或 SWCN)，及複壁奈米碳管，英文為 multi-wall carbon nanotube，簡稱 MWNT。單壁奈米碳管是由單層碳原子繞合而成，其結構具有較好的對稱性及單一性。一般而言，單壁碳管結構較為完美，缺陷較少；而複壁奈米碳管是由多層的碳原子組合而成，形狀像同軸電纜，層間以凡得瓦力(Van der Waals force)鍵結，並可發現各種鍵結力(defect)分布其中。

(二) 奈米碳管發展史

奈米碳管是最近幾年新發現的一種材料，它有一些獨特特性與應用，而事實上，碳的同位素有石墨、鑽石、 C_{60} 和奈米碳管，而奈米碳管之結構如圖一所示，在1985年英國的Sussex大學的Kroto，美國Rice大學的Curl和Smalley，三人用雷射剝鍍石墨法嘗試合成新的長碳鏈物質，再分析時意外發現了60個碳原子組成的具有類似足球形狀截角二十面體的完美對稱性結構的分子，而這60個碳原子位於二十面體的頂點； C_{60} 直徑~10nm，長數個 μm ， C_{60} 的發現改變了人們對碳材料結構的傳統認識，他們也進一步研究表明，可以存在一系列由碳原子組成的中空狀分子，如 C_{70} 、 C_{76} 、 C_{84} 、 C_{96} 等等，而這些結構可以看成是由一定數目的五連環碳及六連環碳構成的網絡所形成，且這些分子的結構可以採用建築學家富勒(Fuller)的短成圓頂結構予以解釋，所以被統稱為Fullerene，而在1996年Kroto、Curl和Smalley也獲得了諾貝爾化學獎。



圖一 奈米碳管結構¹

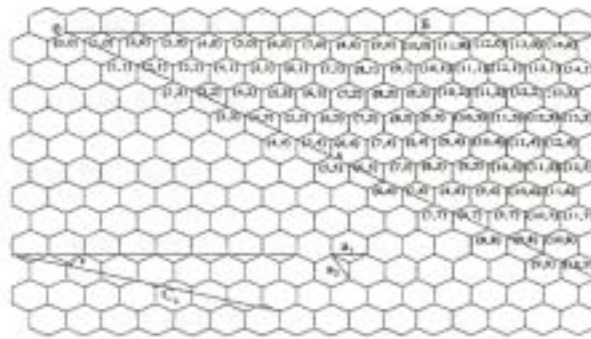
其實在發現 C_{60} 時，就有人想過應該會有管狀的Fullerene分子及奈米碳管存在，之後果然發現 C_{60} 的幾年後「奈米碳管」也跟著發現。

奈米碳管的發現是在1991年Iijima利用電弧放電法(arc discharge method)合成 C_{60} 分子時，偶然於陰極端碳灰中發現針狀物，並利用高倍電子顯微鏡分析，結果發現其直徑約數nm，由六個碳原子點陣構成同軸圓柱的空心小管，相鄰同柱面之間間距與石墨相同約有0.34nm，此後，Iijima教授確定這些針狀為奈米碳管(Carbon Nanotube)，並於同年11月7日在Nature雜誌上對其發表了一篇論文⁵，因此項新發現也藉著發現 C_{60} 後再度引起科學界的極大變動；且相較於 C_{60} ，奈米碳管有著可應用的物理及化學特性，且富研究價值，故引起了這股研究「奈米碳管」的熱潮。

1992年，NEC公司的科學家T.W.Eethune等利用過渡金屬摻雜石墨棒放電所形成的碳灰中，首次發現直徑為1nm的單層奈米碳管，由複雜的多層碳管進入單層的時代，留下的成功機制，為實驗驗證理論預測提供不少條件。但因此方式在含有很多單層奈米碳管碳灰同時有大量的催化劑顆粒及奈米碳灰顆粒，故在實驗測量上有很多困難；直到1996年A.Thess⁶等用「雷射蒸發石墨法」，製造出大量由定向單層奈米碳管組成的奈米碳管束後，方能使用電子顯微鏡進行單層奈米碳管的物性測量；至今也有許多研究人員對其物性作測量，測量結果與理論預測相當符合。

(三) 奈米碳管的結構⁷⁻⁸

當碳原子以 sp^2 混成軌域行程蜂巢狀(honeycomb)的石墨(.0001)晶面時，若每一晶面所包含的原子數較少時，其邊緣碳原子所具有的懸掛鍵(dangling bonds)較多，因而使整體能量升高；若 sp^2 混成軌域彎曲，將邊緣原子相接形成一籠狀結構，在整個系統中，雖然會增加一些應變能(strain energy)，但卻使整體能量下降。奈米碳管的結構包含”中空圓管”和”半球頂”，圓管可視為由石墨中 sp^2 混成軌域所行之(0001)原子面捲曲連接而成。奈米碳管的表示法可用類似直角座標(n,m)的方式表示，其定義方式為任取一碳原子為座標原點O，連接平面晶格的兩點(如圖二所示)形成兩各單位向量 a_1 及 a_2 ，並定義任何一個長性向量(chiral vector) Ch ， $Ch=na_1+ma_2$ ，n 與 m 為整數，Ch 落點在 \overline{OA} 為原點在該方向之晶格等點，於 \overline{OA} 另取一垂直 \overline{OA} 之向量 \overline{OB} ，B 點為 \overline{OB} 點向量在該方向最近晶格等點。



圖二 石墨片之二維圖²

(四) 奈米碳管的特性

以機械性質而言，奈米碳管是一個非常強韌的物質，它的機械強度非常好而且具有可反覆彎曲後並不斷裂的特性，以單壁碳管為例，它的強度約為鋼的10-100倍，但是重量只有鋼的1/6，是一種輕且機械強度非常好的一個材料；以導電特性而言，根據奈米碳管結構參數(碳環的螺旋向量和垂直向量)不同，它是具有導電性(扶手形式，armchair)或是半導體(螺旋型或鋸齒型螺旋型或鋸齒型，zigzag)的特性(Mintmire et al,1992¹⁰；Hamada et al,1992¹¹；Saito et al,1992)¹²，又因為其奈米尺寸的關係，使得電子產生量子效應現象，故可作成量子導線(quantum wire)(Tans et al,1997)¹⁴，並可承受很大的電流強度。另外，量子現象使奈米碳管在極小的電壓激發下便可在其尖端放出電子(或稱場發射電子)，所以是平面場發射顯示器(Field Emission Display)中很好的電極材料；在熱性質方面，它具有非常好的傳熱性質(Berber et al 2000)¹⁵，可以作為很好的導熱及散熱材料，它的熱穩定性也非常好，在真空下奈米碳管可承受約2800 的高溫，在一般大氣下(含21%純氧)，也可維持約在750 而不燃燒分解。另外它和其他的結晶碳家族一樣，是一個非常疏水性的物質。

(五) 奈米碳管的製程

電弧放電法(Arc Discharge Techniques)：在一個不鏽鋼的反應腔中，以不同直徑的兩根石墨棒為陽極並通以直流電，在 Ar 或 He 的環境下，當兩電極接近到1mm

時，電極間產生弧光放電，由於電場及電壓的作用，使得陽極之碳原子電離化而趨向陰極，因此在陰極可得到沉澱物(deposits)，沉澱物中包含奈米碳管及奈米顆粒(nanoparticles)。此法的優點為可產生較多的奈米碳管，缺點為混有大量的其他雜質。若在陽極石墨棒中添加過渡金屬催化劑(如 Fe、Co、Ni)可產生單壁奈米碳管¹⁶。

化學氣相層析法(Chemical Vapor Deposition)：將碳氫化合物(如苯、乙炔、奈、乙炔等)通入高溫爐中(大約1000℃)，在此高溫下，碳氫化合物會吸附於氣態或固態的觸媒上，分解後長出具結晶性的碳管避而形成奈米碳管。

雷射蒸發法(Laser Vaporization)：將石墨靶材，放置於可加熱至1200℃管形爐之石英管中，並通入 Ar 氣，以脈衝雷射照射靶面石墨材，被蒸發出的碳灰，沉積於以水冷卻的銅板上，可得奈米碳管。

電漿補助化學氣相層析法(plasma enhanced chemical vapor deposition,PECVD)：電漿(plasma)為由一團自由運動的帶正電荷粒子及帶負電荷粒子所構成，一般為帶正電荷的離子及電子所組成，在即高溫下的氣體，其原子具有足夠高的動能，互相碰撞即可造成游離，產生電漿。因此在低溫為固態的物質，加熱溶解成液態，液態經加熱蒸發成氣態，氣態在升高溫度經游離作用變成電漿，電漿具有集團性(collectiveness)，且維持電中性；PECVD 系利用電漿之高能電子，將烴化合物離子化(ionized)後，在機板的表面沉積成為奈米碳管。

(六)奈米碳管之應用介紹

奈米碳管應用在電子工業之精密分析儀上非常廣泛，主要藉由電子熱激化傳遞，例如：

1.場發射源之應用：

場發射(Field emission)乃利用電場的效應自陰極材料的尖端拉引出電子，因為不是使用熱能，因此場發射電子束的能量分布範圍比傳統電子束窄，在顯示幕上呈現較高的亮度。場發射技術不僅應用於平面顯示器(Flat Panel display)，作為電子來源，也在電子顯微鏡、影像感應器上扮演相當重要角色；另外，奈米碳管具有大電流的冷場發射效應，損耗能量較小，可得較大功率，在通訊方面可作為微波功率放大器(microwave power amplifier)之應用，亦深具潛力。

2.掃描式碳針顯微鏡的應用：

在探測原子解析度之掃描式碳針顯微鏡(Scanning Probe Microscopy,SPM)上所使用的碳針(probe)必須非常尖細，通常只有幾個原子而已，才能得到原子級的解析度，但製作原子級解析度的碳針相當不容易。即使如此尖細的碳針，對一表面高低起伏變化太大或有深坑洞的樣品，就無法深入深坑洞測其表面快速起伏變化；若利用奈米碳管製程之碳針，它具有細長且富彈性之優點，當它碰撞物體表面，奈米碳管亦不會折斷，且可深入坑洞內量測坑洞內部高低變化。1996年 Dai 等人，以一個奈米碳管修飾的針尖，及在 SPM 之表面附著金屬催化劑，在高溫熱裂解下，奈米碳管可沿著 SPM 碳針尖端長出，可大大提高 SPM 解析度。

3.利用奈米碳管或導電高分子作為單電子元件之接合：

日本 NTT 公司已開始從奈米碳管(CNT)與導電性有機高分子二個方向著手研發作為超微細半導體元件接著技術的可行性。上述二項研發重點均鎖定在現在 Lithograph 技術無法因應的單電子控制元件間的接著上，其特徵在於使其具有自

我配線功能。配線寬/配線間距(L/S)在10nm 以下，亦可望應用為補充腦或視覺功能的體內元件。

隨著半導體製程的日趨微細化，利用光或電子束的現有 Lithograph 技術漸面臨使用的極限。因而，NTT 公司乃展開上述二項新技術的研究。目前已成功以 CNT 接合，以400nm 間隔，於晶圓上構築直徑100nm、高360nm 的矽柱。

採用甲烷氣(Methane Gas)為原料，透過 CVD(化學氣相成長法)而實現了 CNT 的配線。現況下，雖面臨 CNT 很難控制，且對 CNT 本身的配線功能尚有許多不明之處等問題，但其發展性正備受期待。

另一方面，利用導電性有機高分子的配線係利用化學反應，將高分子固定在規定的元件上。例如，在高分子端部，若選擇性地加工與金結合的有機物(Sulfido 基)，並與矽晶圓上的元件上部鍍金起反應即可能做到接合。若利用此方法，將可使 L/S 微細化至10/10nm。

4. 奈米碳管流量計：

印度物理學加利用奈米碳管的機械電子特性，感應量測到奈米尺度的極低流量，是現在文獻回顧中¹⁷機械式或非機械式感測器中所不能及的。

奈米碳管在結構、機械和電子性質的研究成果提供給奈米電子，感測致動器上的應用還有很大的空間。印度物理學家將單壁結構的奈米碳管(SWNTs:Single-Walled Carbon Nanotube)與流道系統整合在起，利用腔室鎖鋪設的內電極所接受的電子訊號，此電子訊號是極性流體分子經過奈米碳管，再由奈米碳管所傳遞出來的。經由管道進出口的流量感測器比對，發現有六個對數數量級的非線性分佈，顯示奈米碳管雖然尺度小，但仍足以感應到微小的流量，且量測動態範圍大。

目前有兩個機制¹⁸提出，來解釋奈米碳管的電子訊號產生，一個為聲子準動量傳遞，另一個庫倫靜電場的擾動造成的。簡而言之奈米碳管將流體的機械能轉換成電子訊號，科學家量測此電子訊號，反推其流體的流量。

最後科學家繼續利用次奈米碳管的特性，朝向更微小流量的量測且快速的反應時間，提供未來生物醫學的應用。

5. 在奈米工具及感應器上之應用：

奈米人工肌肉(Baughman et al,1999)¹⁹是利用電的刺激作用使奈米碳管可以類似肌肉般的收縮、舒張。若將二根碳管彼此平行的接著在基材上，我們將可做成奈米鑷子(Kim and Lieber,1999)²⁰，原理是在兩根碳管上施加電壓，則碳管將會因為靜電的關係進行像筷子一般的開、夾動作，這個類似「手臂」的奈米鑷子可以夾住奈米級的物質，包括細胞內部的染色體及 DNA。此外，以奈米碳管所做的感應器(sensor)如奈米級化學物質感應器(chemical sensor)(Kong et al,2000)²¹就可以在氣相中利用不同電流的反應測出小至20ppm 的二氧化碳及氨的濃度值。奈米碳管天平(Poncharal et al,1999)²²可測量出超微小物質的質量，奈米碳管溫度計(Gao and Bando,2002)²³，利用在碳管內的液態價隨溫度縮張的特性，可以測出在極微小區域的溫度，如微血管或電子電路。

參、奈米碳管目前的進展

美國物理學在2001年3月中旬舉行的會議中²⁴，報導了關於奈米碳管研究之最新進展，其內容摘要如後；(1)日本 NEC 實驗室 Masako Yudasaka 將 C₆₀填入奈米碳管內，產生極高的壓力值。一般 C₆₀的強度僅有微牛頓，若除以奈米碳管的面積後，即可獲致0.1giga Pascal 的壓力，此一發現促使 C₆₀分子對化學的應用產生新的改變。(2)Paris-South 大學的 CNRS 實驗室的 Mathieu Kociak，宣稱在奈米碳管繩索(nanotube rope)中觀測到超導現象，此表示超導現象首次在具有極少傳導通道的系統中被發現，超導電流必須在奈米碳管的二維網狀結構基材中通過。研究人員希望能藉由正確的離子植入來增加轉換溫度，目前的轉換溫度僅為300~400mk。(3)Michigan State 大學的 David Tomanek 經由實驗量測發現奈米碳管的熱傳導率可高達3000watts/m/k，幾乎與鑽石的熱傳導率相同，預測奈米碳管的熱傳導率將來可以達到6600watts/m/k，此性質如果應用在未來的電路上，將可以從緊密的電路空間裡使高熱量散佈出來。(4)目前奈米碳管價格實在太過昂貴，純化的奈米碳管每公克約1000美元，大概是黃金價格的十倍，若價格降到每公克33美元，而量產可達一噸，則可供電腦及顯示器應用；而價格若能降到每公克4.4美元，將可供應更多產品使用，如手機、筆記型電腦等。因此，研究者及業者致力於研發製造出性質均一且成本低的奈米碳管。

肆、結論

奈米碳管的發展，為未來科技的領域之一，也是二十一世紀不可缺少的一種材料，因它具有特殊的結構，優越的物性及化性，因此，它可以應用在各種不同的領域上，無論是在電子業、化工業、醫療業、新穎器材及生物技術等方面上，它都有不錯的貢獻，而且它的單位又只有奈米級，想必是未來主導方向之一，因此，發展奈米技術、利用奈米材料，對於新的運用原理(物理和化學)會有很大的助益。

參考文獻

1. 郭中亮(2003)、奈米碳管應用於場發射顯示器之研究、國立成功大學電機工程學系碩博士班
2. 李元堯(2003)、化工技術、11(3)：p.140-157
3. Qin L. C.,X. Zhao, K. Hiragara, Y.Miyamoto, Y. Ando, S. Ijiima,(2000)、Materials Science：The smallest carbon nanotube、Nature、408：50、
4. 詹文鋒(2002)、CHEMISTRY(THE CHINESE CHEM.,TAIPEI)DEC、60(4)：p、A75-A85
5. Iilma, S(1991)、Nature、56：354、
6. Mintmire, J. W. , B. I. Dunlap and C. T. white(1992)、Are fullerence tubules metallic?、Phys.Rev. Lett.、79、4453、
7. Saito, Y(1995)、Carbon、33、883、
8. Hamda, N. , Sawada, S. , Oshiyama, A(1992)、Phys. Rev. Lett. 、62、158、

9. 劉鳳翔(2002)、奈米碳管場發射電子源之製作與研究、中華大學電機工程學系碩士班
10. Mintmire, J. W. , B. I. Dunlap and C. T. white(1992)、Are fullerence tubules metallic?、Phys.Rev.Lett.、 79、 4453、
11. Hamada, N. , S. Sawada and A. Oshiyama(1992)、New onedimensional conductors-graphitic microtubules、 Phys.Rev.Lett.、 62、 1579、
12. Saito R. , M. Fujita, G. Dresselhaus and M. S. Dresselhaus(1992)、 Electronic structure of graphene tubules based on C₆₀、 Phys. Rev. B、 46、 1804、
13. Ebbesen, T. W. , Ajayan, P. M. , Hinram, H. , Anigaki, K. T.(1994)、 Nature、 367、 519、
14. Temple, D.(1991)、 Mat. Sci. Eng. R.、 24、 185、
15. Berber, S. , Y. K. Kwon and D. Tomanek, Unusually high thermal conductivity of carbon nanotubes, Phys. Rev. Lett, 84(2000)、 4613、
16. P. Kral and M. Shapiro(2001) 、 Phys. Rev. Lett. 、 86、 131、
17. Baughman, R. H. , C. Cui, A. A. Zakhidov, Z. Iqal, . N. Barisci, G. M. Spinks, G. G. Wallace, A. Mazzoldi, D. D. Rossi, A. G. Rinzler, O. Jaschinski, S. Roth, M. Kertesz(1999)、 Carbon Nanotube Actuators、 Science、 284、 1340、
18. Kim, P. and C. M. Lieber(1999)、 Nanotweezers、 Science、 26、 2148-2150、
19. kong, J. , N. Franklin, C. Chou, S. Pan, K. J. Cho and H. Dai(2000)、 Nanotube Molcular Wires as Chemical Sensors、 Science、 287、 622、
20. Poncharal, P. , Wang L, Ugarte D and de Heer WA(1999)、 Electrostaticdeflections and electromechanical resonances of carbon nanotubes、 Science、 283、 1513-1516、
21. Nam-Trung Nguyen, etc. , (2000)、 MENS-Micropumps : A Review、 124(2)
22. Shankar Ghosh, etc. , (2003)、 Carbon Nanotube Flow Sensors、 299、 p1042-1044
23. Gao, Y. and Y Bando(2002)、 Carbon nanothermometer containing gallium、 Nature、 415、 599、
24. Physics News Update Number531#1、 March 22、

變容二極體電路之非線性動態現象探討

周 錫 強

東南技術學院電機工程系

摘 要

廣泛應用於通訊系統中之變容二極體電路，係由電阻、電感及變容二極體所組成。由於變容二極體為一非線性元件，因此經常會影響通訊品質，本篇論文之目的即在探討變容二極體電路之非線性現象，並嘗試構建一個新的非線性電容-電壓特性曲線模型，藉由計算機模擬分析結果及實際電路製作驗證變容二極體電路存在非線性現象。

關鍵詞: 變容二極、混沌現象

ABSTRACT

A varactor diode circuit (VDC) which composed of a linear resistor, a linear inductor and nonlinear varactor diode, often widely used in many communication systems. Due to varactor is a nonlinear component, the quality of communication system is affected by nonlinear behavior frequently. The purpose of this paper is explores the nonlinear phenomenon in VDC, and try to construct a new model of nonlinear capacitor-voltage characteristic curve, Simulated results give further insight into VDC nonlinear phenomenon. Based on the numerical and simulation results, the circuit were designed and tested. Experimental results that confirm the VDC exists nonlinear phenomenon.

Keywords: Varactor diode circuit, chaotic phenomenon

壹、前言

變容二極體電路 (VDC) 是由一個線性電阻、電感以及一個非線性之變容二極體所組成，通常廣泛應用於通信系統中，例如調頻電路、可調式帶通濾波器、參數放大器等經常可看到變容二極體電路蹤跡[1]。由於其中變容二極體之電容值具有隨外加電壓而變化之特性，其操作模式受制於逆向偏壓所造成之接面電容，因此其本身具有非線性特性，這種非線性特性也間接影響了通信系統之品質。有關這方面的探討文獻上也多所記載，如 Linsay 提出 VDC 具有混沌行為[2]、Testa 等先生證明出 VDC 具有分歧現象[3]、Azzouz 等先生提 VDC 之非線性模型[4-9]。

本篇論文之目的嘗試構建一個新的 VDC 模型，並應用此模型組成 VDC 之動態方程式作為分析 VDC 非線性動態行為之理論基礎；在計算機模擬部分，利用 Runge-Kutta 運算法則撰寫三維相位平面圖、時域響應圖及功率頻譜圖以驗證非線性現象；為了驗證理論與模擬之結果，本論文也實際製作出實體電路驗證之。

經由理論分析、計算機模擬以及實體電路製作，找出造成 VDC 產生非線性現象之原因，相信對於通信工程師於製作電路上能夠提供一個參考依據。

貳、電路模型構建

典型的變容二極體電路是由外加交流電壓源、線性電感、線性電阻及非線性變容二極體構成，如圖1所示。

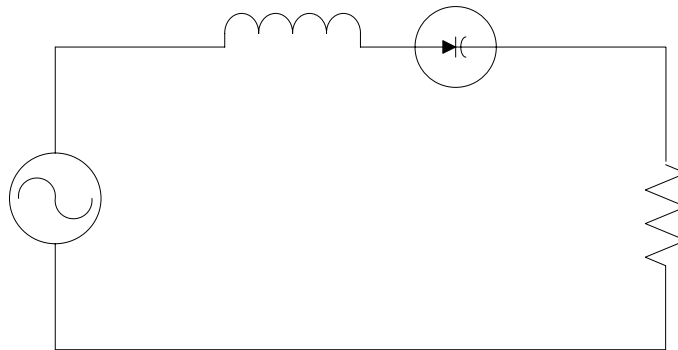


圖1. 變容二極體電路

一、變容二極體電容 – 電壓(C-V)特性曲線

變容二極體因具有非線性特性，因此假設其電壓 – 電容特性曲線能以冪次序列(Power series)表示如下：

$$g(Q) = \frac{Q}{LC(Q)} = aQ + bQ^2 + cQ^3 + \dots \quad (1)$$

其中 Q 代表變容二極體之電荷

$C(Q)$ 代表變容二極體之電容

L 代表電感

依據外加交流電源的特性，有兩種操作模式：

(一) 反向電壓操作模式

變容二極體在反向電壓操作模式下，其界面電容為

$$C(Q) = \frac{K}{(V_T + V_r)^{1/2}} \quad (2)$$

其中 K 表示由半導體材值及結構技術所決定的常數值

V_T 代表膝電壓(knee potential)

V_r 為反向電壓(Reverse bias)

由於 $V_T \ll V_r$ 因此式(2)可改寫成

$$C(Q) \cong \frac{K}{V_r^{1/2}} \quad (3)$$

從式(3)得到

$$V_r \cong \frac{K^2}{[C(Q)]^2} \quad (4)$$

又因為 $C(Q)$ 是電荷 Q 與反向偏壓 V_r 的比值，所以得到

$$Q = C(Q)V_r \cong \frac{K^2}{C(Q)} \quad (5)$$

將式(5)代入式(1)，得到

$$g(Q) = \frac{Q}{LC(Q)} = MQ^2 \quad (6)$$

其中 $M = \frac{1}{LK^2}$

(二) 順向電壓操作模式

變容二極體操作於順向偏壓時，其行為如同一般二極體。當增加偏壓時，界面位障會相對的減少，造成多數載子流過界面電容，以致於電容值常被忽略。然而存在於界面間仍有少許之擴散電容(Diffusion capacitance)，由式(1)知少許的擴散電容會造成 $g(Q)$ 值增大。為了方便計算機模擬，乃假設在順向偏壓也會產生相對的二次曲線。綜合上述兩種操作模式，定義新的變容二極體非線性電容 - 電壓($C-V$)特性曲線方程式如下式：

$$g(Q) = M \cdot |Q| \cdot Q \quad (7)$$

(三) 變容二極體電路動態模型

由圖1.可得如下二階微分方程式：

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{LC(Q)} = \frac{V_0}{L} \sin 2\pi ft \quad (8)$$

令 $X_1 \equiv Q$; $X_2 \equiv \dot{Q}$, 式(8)改寫為

$$\dot{X}_1 = X_2$$

$$\dot{X}_2 = \frac{V_0}{L} \sin 2\pi ft - \frac{R}{L} X_2 - M|X_1|X_1 \quad (9)$$

設元件值分別是 $R=100\Omega$ 、 $L=0.01\text{H}$ 、 $C=100\text{pf}$ ，而 M 值可藉由選擇一個典型的變容二極體，其電容值為

$$C(Q) = C(V_r) = \frac{C(0)}{\left[1 + \frac{V_r}{V_T}\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

其中 $C(0)$ 代表零偏壓之電容值。從式(5)、(6)和(10)計算後得 $M=2.328$ 。將此值代入計算機模擬並與實際量測值比較後(如圖3.)，驗證變容二極體特性線方程式為合理假設。

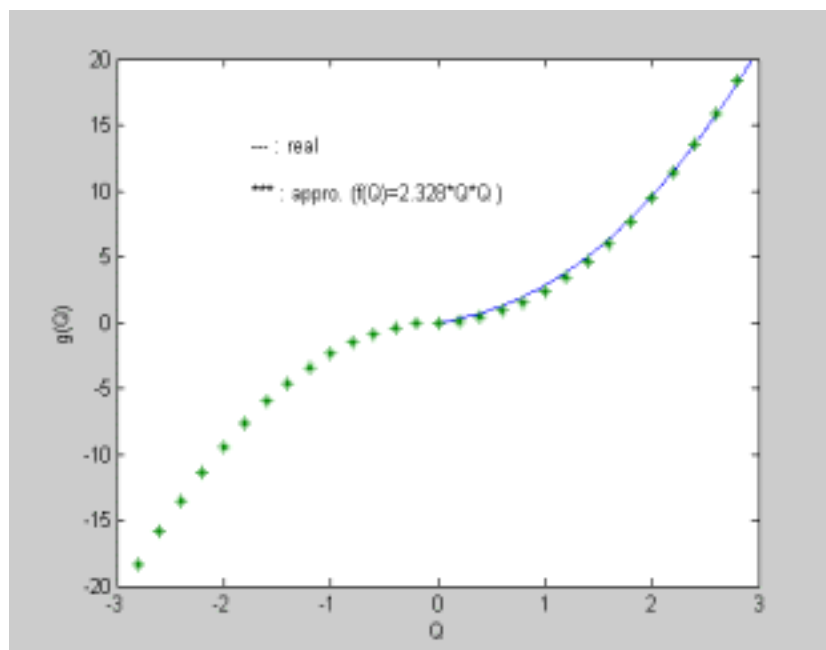


圖2. 變容二極體電性模擬及量測比較圖

參、模擬及實驗結果

一、計算機模擬：

本論文利用 Runge-Kutta 運算法則撰寫三維相位平面圖、時域響應圖及功率頻譜圖以驗證非線性現象，所提 VDC 各元件參數值為 $R=100\Omega$ 、 $L=0.01\text{H}$ 、 $C=100\text{pf}$ ，為了方便執行計算機模擬，我們首先必須將各參數值正規化如下：

$$R' = R/k_m; \quad f' = f/k_f; \quad L' = (k_f/k_m); \quad C(Q)' = (k_f \times k_m) \times C(Q), \quad k_m = 10^4, \quad \text{and} \quad k_f = 10^6$$

當輸入訊號頻率受到擾動改變時，對變容二極體電路的影響，可經由模擬後得到其相位平面圖如圖3所示，由模擬圖中發覺頻率改變時，振盪週期 (Limit cycle) 由一個產生二個繼而四個形成分歧現象甚而產生混沌；另外我們也可從時域響應圖及功率頻譜圖看出有分歧至混沌之現象發生，特別是其產生雙迴旋 (Double scroll) 之波形。

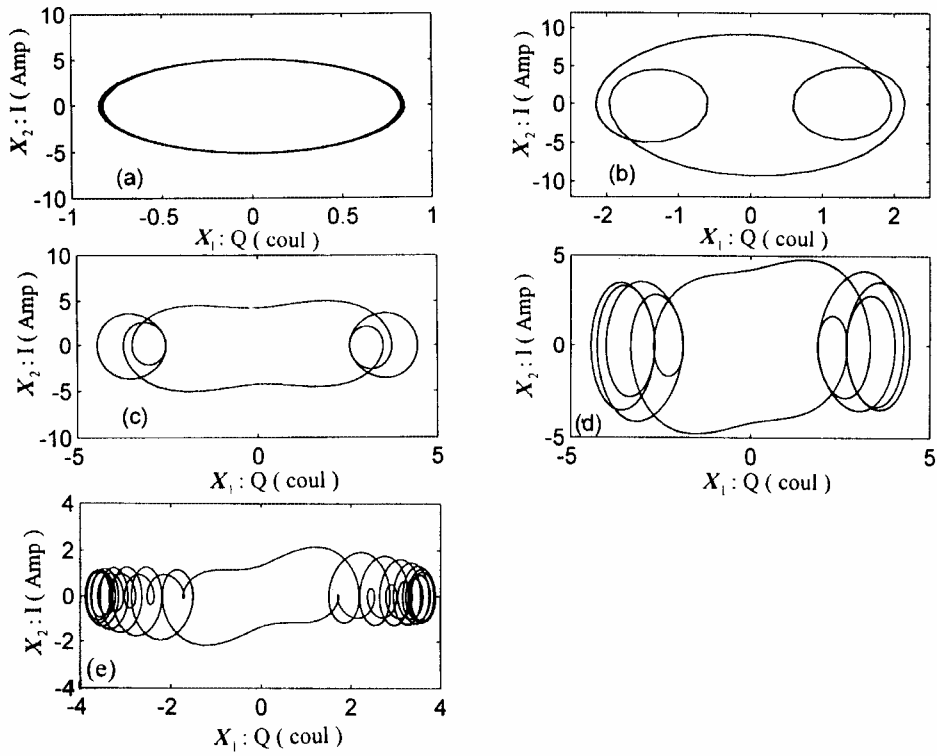


圖3. 變容二極體電路模擬相位圖(a)一個振盪週期 $f=1$, (b)三個振盪週期 $f=0.9$, (c)五個振盪週期 $f=0.1$, (d)九個振盪週期 $f=0.06$, (e)混沌現象 $f=0.01$.

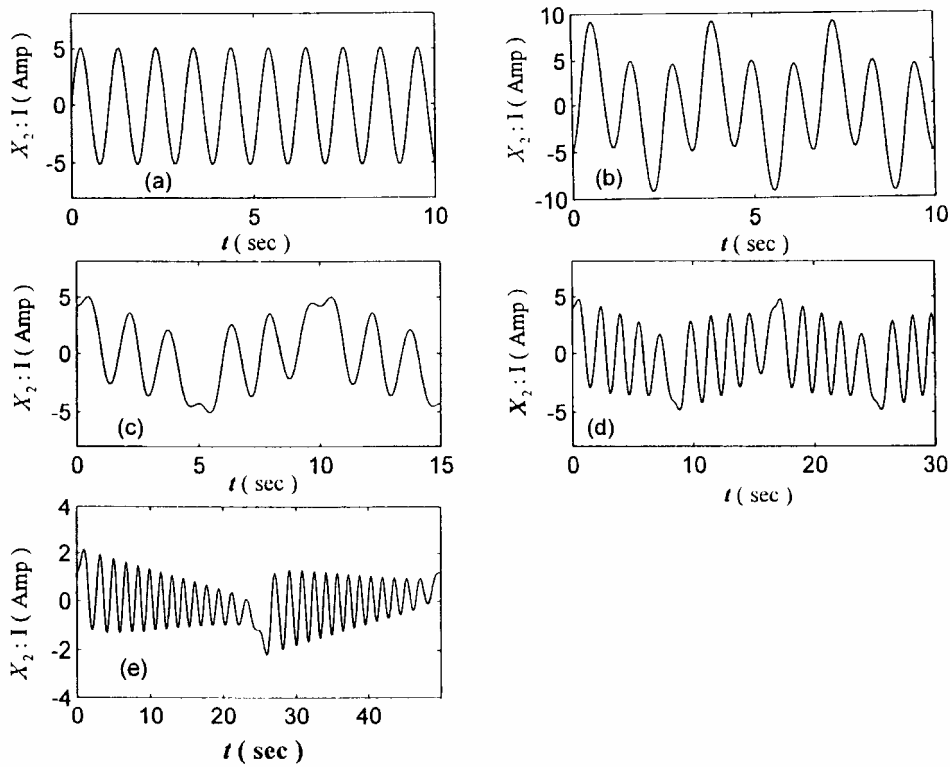


圖4. 變容二極體電路模擬時域圖

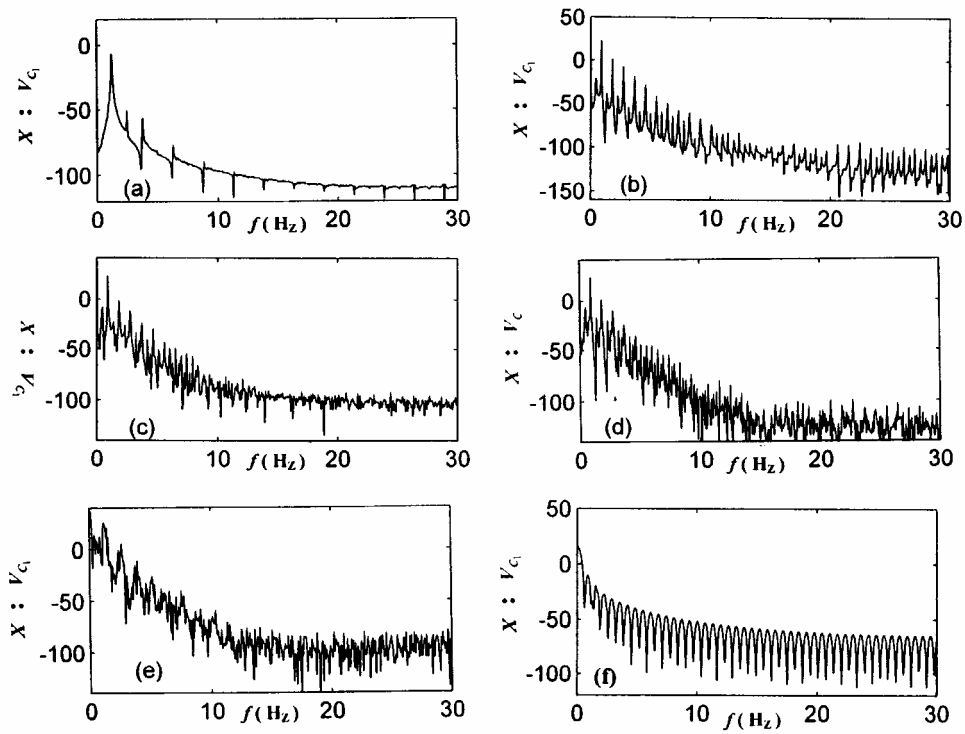
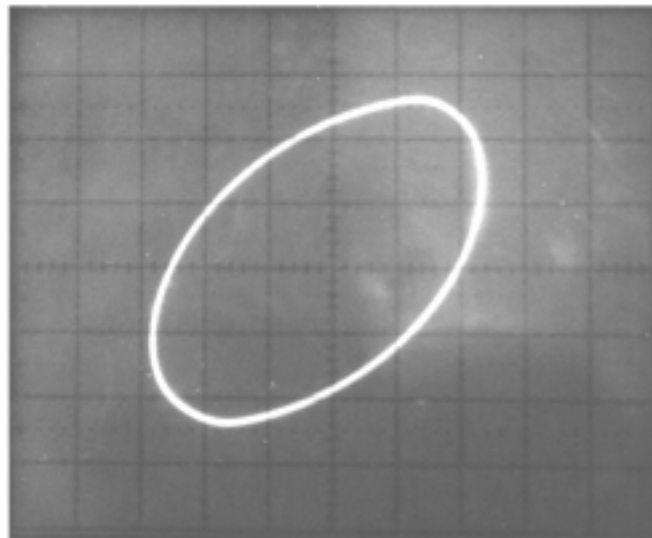


圖5. 變容二極體電路模擬功率頻譜圖

二、實驗結果

本實驗所採電路各元件值如模擬部分，其中電容二極體為 MA45438，為了獲得非線性相位圖、時域圖及功率頻譜圖，量測結果如圖6所示。



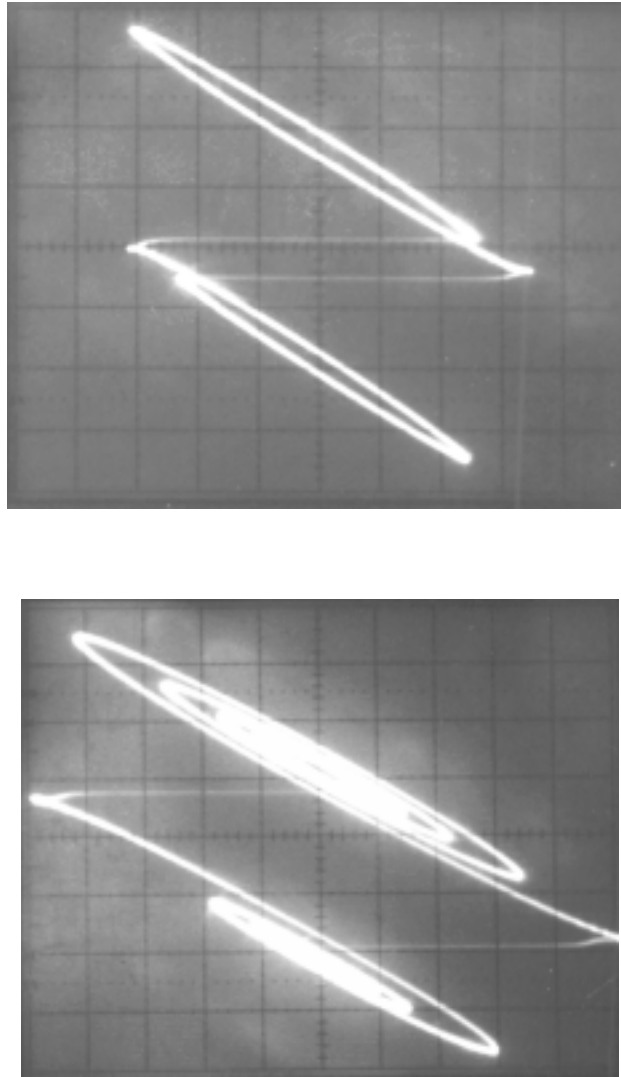


圖6 變容二極體電路實驗相位圖(a)一個振盪週期 $f=1\text{MHz}$,
(b)二個振盪週期 $f=800\text{KHz}$, (c) 混沌現象 $f=10\text{KHz}$

肆、結論

在本篇論文中，我們嘗試構建一個新的 VDC 模型，並應用此模型組成 VDC 之動態方程式探討 VDC 非線性動態行為，經由所提理論分析、計算機模擬及實體電路值製作，驗證出造成變容二極體電路產生非線性現象之原因。相信經由本篇論文之分析，可提供工程師設計良好通信系統之依據。

REFERENCE

- [1] R. Boylestad, and L. Nashelaky, *Electronic Devices and Circuit Theory* (Prentice-Hall International Editions) Chap. 3 pp. 110 (1987).
- [2] P. S. Linsay, 'Period-doubling and chaotic behavior in a driven anharmonic oscillator' *Phys. Rev. Lett.*, 47, 1349 - 1352 (1981).
- [3] J. Testa, J. P'erez, and C. Jeffries, 'Evidence for universal behavior of a driven nonlinear oscillator' *Phys. Rev. Lett.*, 48, 714 - 717 (1982).

- [4] A. Azzouz, R. Duhr, and M. Hasler, 'Transition to chaos in a simplest nonlinear circuit driven by a sinusoidal voltage source' *IEEE Trans. Circuits and Systems*, CAS-30, 913 - 914 (1983).
- [5] K. E. Lonngren, 'Note to accompany a student laboratory experiment on chaos' *IEEE Trans. on Circuit. and System*. CAS-34, 123 - 128 (1991).
- [6] K. Murali, M. Lakshmanan, and L. O. Chua, 'Bifurcation and chaos in the simplest dissipative nonautonomous circuit' *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 4, 1511 - 463 (1994).
- [7] K. Murali, M. Lakshmanan, and L. O. Chua, 'The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit' *IEEE Trans. Circuit System*, 41,.462 - 463 (1994).
- [8] K. Murali, M. Lakshmanan, and L. O. Chua, 'Controlling and synchronization of chaos in the simplest dissipative nonautonomous circuit' *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 4, 1511 - 463 (1995).
- [9] V. O. Peter, *Advance Engineering Mathematics* (Wadsworth publishing company) Chap. 20 pp. 1079 (1987).

應用賀伯夫分歧定理 分析並聯式透納二極體振盪器之非線性現象

周錫強¹趙 樑²¹東南技術學院電機工程系²光武技術學院

摘 要

並聯式透納二極體振盪器通常較單一透納二極體振盪器容易產生更高的輸出功率。然而透納二極體由於其電流-電壓曲線具有負電阻區域，本身為一非線性元件。這種非線性電流-電壓曲線會引起並聯式透納二極體振盪器之非線性特性，伴隨著非線性特性則是週期加倍及混沌運動的現象。本篇論文的目地即在於運用賀伯夫分歧定理分析振盪器中的非線性現象，藉由分析過程我們發展了一套分析步驟，用以預測非線性的發生。最後經由電腦模擬的結果驗證並聯式透納二極體振盪器存在非線性現象。

關鍵詞：並聯式透納二極體振盪器、週期加倍分歧、混沌

ABSTRACT

An oscillator with a parallel-connected tunneling diodes generates higher power than a single tunneling diode oscillator. However, tunnel diode is an inherent nonlinear device which contains a negative differential resistance (NDR) region of the I-V curve. This nonlinear I-V curve causes the nonlinear property of parallel-connected tunneling diodes. Associated with the nonlinear property are the phenomena of period-doubling bifurcation and chaotic motions. The purpose of this paper is to analyze the nonlinear phenomena of the oscillator with Hopf bifurcation theorem, based on this analysis, a procedure is developed to predict that the nonlinear phenomena occurs. Computer simulation results confirm that nonlinear phenomena exist in parallel connection of tunneling diode oscillator.

Keywords: Tunnel diode oscillator, Period-doubling bifurcation, Chaos

壹、前言

透納二極體是一負電阻雙載子 p-n 接面二極體，本身具有非線性電流-電壓特性曲線。由於透納二極體能產生穩定的頻率且不會造成太大的輻射[1]，因此經常被應用在振盪電路中。然而，由單一透納二極體所構成的振盪器因受限於穩定性的考量，通常無法獲得較高的輸出功率[2]。為了提昇輸出功率，同時滿足穩定性需求，工程師們提出兩種結構方式以達到前述要求。其中一種是將透納二極體以串聯方式構成振盪器[3,4]；另一種則是由並聯方式構成[5]。透納二極體因受到其 p-n 接面中電子的透納效應影響所致，在其電流-電壓特性曲線中會存在著負電阻（NDR）區域，同樣的，以串聯方式或是並聯方式所構成之透納二極體，其電流-電壓特性曲線中也會存在負電阻（NDR）區域。這種含有負電阻的電流-電壓特性曲線，會使得振盪器產生非線性現象而影響振盪品質。例如串聯式透納二極體振盪器經常會發生直流不穩定性及產生多次諧波[4]，但是有關並聯式透納二極體振盪器的非線性現象則是尚未有相關文獻探討過。

本文之目的即在於探討並聯式透納二極體振盪器的非線性現象，所探討之電路係由兩個線性電阻、三個線性儲能元件（電容及/或電感）及一個並聯式透納二極體組成。在理論分析上，以賀伯夫分歧定理（Hopf bifurcation theorem）[6,7]為基礎，發展出一套簡單之分析法則，用以探討並聯式透納二極體振盪器中元件受到擾動時對系統之影響，並預測非線性現象的發生。在數值模擬上，乃應用 Runge-Kutta 演算法撰寫程式模擬其相位、時域響應及功率頻譜圖。經由理論分析及計算機模擬，可以看出當元件受到擾動時會產生振盪週期加倍（Period-doubling）的分歧現象甚至發生混沌（Chaos）行為。最後，將各元件造成非線性現象之範圍值，予與歸納整理，以提供工程師做為設計並聯式透納二極體振盪器時的參考依據。

貳、電路模型構建

在構建並聯式透納二極體振盪器模型之前，首先要建立並聯式透納二極體電流-電壓特性曲線的數學模型。依據 Chua[8]所提，其特性曲線(如圖1.所示)可描述為如下之三次項函數（Cubic function）

$$i = f(v) = 2v^3 - 0.8v \quad (1)$$

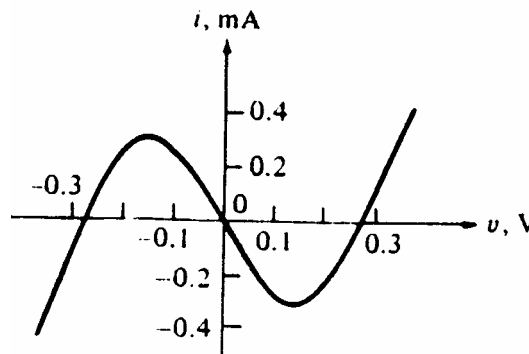


圖1. 並聯式透納二極體電壓-電流特性曲線

圖2.是為並聯式透納二極體振盪器的電路模型，

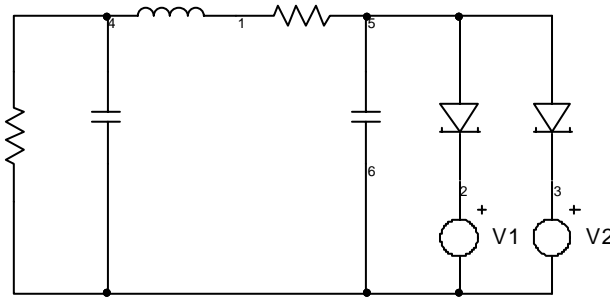


圖2. 並聯式透納二極體振盪器電路模型

其中各元件值分別為 $C_1 = 3.3\text{pf}$, $L = 10\text{nH}$, $R = 11\Omega$, $G = -9.1 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$, 而 C_2 是一個可調式電容，用以代表受到擾動之元件。為了有效執行數值模擬，通常將各元件值予與下列正規化運算

$$L' = (k_f/k_m) \times L, C' = (k_f \times k_m) \times C, R' = R/k_m, G' = (Gk_m)^{-1} \quad (2)$$

其中令 $k_m = \sqrt{3000}$, $k_f = \sqrt{3000} \times 10^8$, 得到下列正規化參數值

$$C'_1 = 1/3, L' = 1, R' = 0.2, G' = -0.5$$

並聯式透納二極體振盪器的狀態方程式，可描述成下列三階自律型 (autonomous) 非線性微分方程

$$\begin{aligned} \frac{dV_{C_1}}{dt} &= -3f(V_{C_1}) + 3i_L \\ \frac{dV_{C_2}}{dt} &= -\frac{0.5}{C_2}V_{C_2} + \frac{1}{C_2}i_L \\ \frac{di_L}{dt} &= -V_{C_1} - V_{C_2} - 0.2i_L \end{aligned} \quad (3)$$

其中 V_{C_1} , V_{C_2} , i_L 分別表示跨越電容 C_1 及 C_2 的電壓以及流經電感 L 之電流。

參、理論分析

通常，在分析系統非線性現象的方法上，是藉由探討系統內元件的參數值受到擾動後，對系統平衡點 (equilibrium point) 穩定度的影響及是否會造成系統分歧現象 [9,10] 為出發點。其中，以賀伯夫分歧理論最為代表性，而其物理意義說明如後：當系統位於平衡點，此時可說是處於絕對穩定狀態，若此系統是一線性系統，當其中元件因受到使用壽限或環境雜訊等擾動因素影響而造成平衡點移動時，系統因為只擁有一個平衡點，因此造成的變化，不是使系統發散就是使系統收斂；然而非線性系統因為擁有至少兩個以上甚至無數個平衡點，因此當其受到擾動時，可能會使系統系從其中一個平衡點經過分歧現象，而移到另一個平衡點 [11]。現在根據賀伯夫分歧理論的意義為基礎，提出一分析步驟以預測系統參數值於何時發生非線性現象。

假設有一非線性系統 $\dot{x} = f_\mu(x)$, 其中 x 代表系統的變數， μ 代表受擾動的參數，為了

能夠執行數學上的分析，通常必須對其平衡點作線性化運算，亦即 Jacobian 矩陣 $Df_\mu(x)$ 運算。現 $\dot{x} = f_\mu(x)$ 為三階非線性系統， p 是其中的一個平衡點 ($f_\mu(p)=0$)，據此線性化後的 Jacobian 矩陣 $Df_\mu(p)$ 有如下的特徵方程式

$$S^3 + a(\mu)S^2 + b(\mu)S + c(\mu) = 0 \tag{4}$$

因為特徵值代表系統的穩定狀態與否，若能找到一個關係式，引導系統由某一穩定平衡點經不穩定狀態到另一穩定平衡點，就能依據賀伯夫分歧理論預測混沌現象會產生於過程中。如果以數學語言來說，系統特徵值由使系統穩定之負值（或稱為沉槽，sink）經由鞍點（特徵值正負同存，saddle）後，形成不穩定的正值（或稱為激源，source）最後到達另一穩定狀態。

令各係數間有一關係式 $a(\mu)b(\mu) = c(\mu) \neq 0$ 及 $b(\mu) > 0$ ，代入(4)式後得如下方程式

$$S^3 + a(\mu)S^2 + b(\mu)S + c(\mu) = (S + a(\mu))(S^2 + b(\mu)) \tag{5}$$

將特徵值與參數間關係，依據 $a(\mu)$ 相對 $b(\mu)$ 參數圖，分為四個集合（如圖3.）討論：

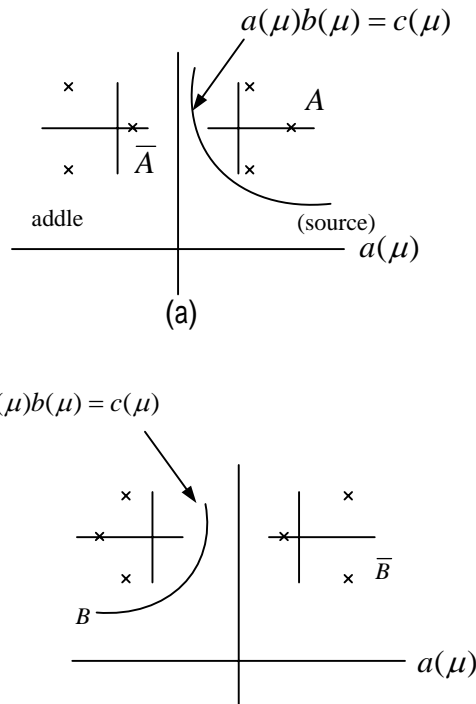


圖3. 參數平面圖(a) $C(\mu) > 0$, (B) $C(\mu) < 0$.

1) 特徵值位於集合 $A = \{a(\mu), b(\mu), c(\mu) / a(\mu)b(\mu) > c(\mu), a(\mu) > 0, b(\mu) > 0\}$.

假設 λ_1, λ_2 , 和 λ_3 是 (3)式的根 (特徵值)，可得

$$a(\mu) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \tag{6}$$

$$b(\mu) = \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_1\lambda_3 \tag{7}$$

$$c(\mu) = \lambda_1\lambda_2\lambda_3 \tag{8}$$

因為 $c(\mu) > 0$ ，有兩種可能狀況，即 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 均為正數亦或是其中一根為正數另兩根為負數。假定狀況二發生，任意選擇 $\lambda_1 > 0$ 及 λ_2 和 λ_3 的實數部份為負數，很明顯 $a(\mu) < \lambda_1$ ，因此

$$a(\mu)b(\mu) - c(\mu) < \lambda_1 b(\mu) - c(\mu) = \lambda_1^2 (\lambda_2 + \lambda_3) < 0 \quad (9)$$

(8)式與集合 A 的定義域相互矛盾，故特徵值均為正值，亦即系統於集合 A 環境中係處於不穩定狀態。

2) 特徵值位於集合 $\bar{A} = \{a(\mu), b(\mu), c(\mu) / a(\mu)b(\mu) < c(\mu), b(\mu) > 0\}$ 。

同樣的，在集合 \bar{A} 中選擇 $\lambda_1 > 0$ 及 λ_2 和 λ_3 的實數部份為負數，可得 $a(\mu) < \lambda_1$ 代入(8)式後滿足集合 \bar{A} 之定義，因此特徵值在集合 \bar{A} 中為一鞍點 (saddle) 具有一個負根及兩個正根。

3) 特徵值位於集合 $B = \{a(\mu), b(\mu), c(\mu) / a(\mu)b(\mu) < c(\mu), a(\mu) < 0, b(\mu) > 0\}$ 。

集合 B 中，因為 $c(\mu) < 0$ ，可能的根值亦有兩種可能，即 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 均為負數亦或是其中一根為負數另兩根為正數。若狀況二發生，任意選擇 $\lambda_1 < 0$ 及 λ_2 和 λ_3 的實數部份為正數，得 $a(\mu) > \lambda_1$ ，因此

$$a(\mu)b(\mu) - c(\mu) > \lambda_1 b(\mu) - c(\mu) = \lambda_1^2 (\lambda_2 + \lambda_3) > 0 \quad (10)$$

(9)式與集合 B 的定義域相互矛盾，故特徵值均為負值，亦即系統於集合 B 環境中係處於穩定狀態。

4) 特徵值位於集合 $\bar{B} = \{a(\mu), b(\mu), c(\mu) / a(\mu)b(\mu) > c(\mu), b(\mu) > 0\}$ 。

同樣的分析方式，在集合 \bar{B} 中選擇 $\lambda_1 < 0$ 及 λ_2 和 λ_3 的實數部份為正數，可得 $a(\mu) < \lambda_1$ ，代入(9)式後滿足集合 \bar{B} 之定義，因此特徵值在集合 \bar{B} 中為一鞍點 (saddle) 具有一個負根及兩個正根。

綜合以上分析討論，關係式 $a(\mu)b(\mu) = c(\mu)$ 扮演了重要角色，因為在其臨近區域產生激源 (source)、沉槽 (sink) 以及鞍點 (saddle) 現象。換句話說，以此關係得出之參數值將可產生賀伯夫分歧現象。將上述討論歸納成如下分析步驟

步驟1 首先找出非線性系統之平衡點，即令系統狀態方程式為0求得。

步驟2 對系統平衡點作線性化運算，也就是得出一 Jacobian 陣矩，並據以建立其特徵方程式。

步驟3 應用前述推導的關係式 $a(\mu)b(\mu) = c(\mu)$ ，計算受擾動元件產生穩定振盪的參數值。

步驟4 將步驟3所得參數值予與變動，以模擬系統平衡點受到擾動後對系統的影響。

肆、分析與討論

本章節分為兩部份探討並聯式透納二極體振盪器之非線性現象。在分析部份，係將前節所歸納的分析步驟應用於振盪器中，並將分析結果以計算機模擬，藉以驗證本步驟之實用性。在討論部份，則是對分析部份所得結果，配合振盪電路加以討論。

(一) 分析

為了能清晰表示分析過程，令 $X \equiv V_{C_1}$, $Y \equiv V_{C_2}$, $Z \equiv i_L$ 代入(2)式後如下

$$\begin{aligned}\dot{X} &= -3f(X) + 3Z \\ \dot{Y} &= \frac{0.5}{C_2}Y + \frac{1}{C_2}Z \\ \dot{Z} &= -X - Y - 0.2Z\end{aligned}\quad (11)$$

步驟1 為求得系統平衡點，即(10)式等於0，得(-0.8226, 0.9143, -0.4574)為其中的一個平衡點，也就是 $p_\mu(X, Y, Z) = (-0.8226, 0.9143, -0.4574)$ 。

步驟2 對系統平衡點 $p_\mu(X, Y, Z) = (-0.8226, 0.9143, -0.4574)$ 作 Jacobian 矩陣運算，亦即線性化運算如下

$$\begin{aligned}J_{(-0.8226, 0.9143, -0.4573)} &= \begin{bmatrix} -3f(X) & 0 & 3 \\ 0 & \frac{0.5}{C_2} & \frac{1}{C_2} \\ -1 & -1 & -0.2 \end{bmatrix}_{(-0.8226, 0.9143, -0.4573)} \\ &= \begin{bmatrix} -9.78 & 0 & 3 \\ 0 & \frac{0.5}{C_2} & \frac{1}{C_2} \\ -1 & -1 & -0.2 \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (12)$$

(12)式之特性方程式為

$$\begin{aligned}\det|SI - J| &= \det \begin{bmatrix} S + 9.78 & 0 & -3 \\ 0 & S - \frac{0.5}{C_2} & -\frac{1}{C_2} \\ 1 & 1 & S + 0.2 \end{bmatrix} \\ &= S^3 + (9.98 - \frac{0.5}{C_2})S^2 + (4.956 - \frac{3.89}{C_2})S + \frac{7.302}{C_2}\end{aligned}\quad (13)$$

步驟3 計算特性方程式(13)的關係式如下

$$a(C_2) = 9.98 - \frac{0.5}{C_2}$$

$$b(C_2) = 4.956 + \frac{3.89}{C_2}$$

$$c(C_2) = \frac{7.302}{C_2}$$

$$a(C_2)b(C_2) = c(C_2)$$

得 $C_2 = 0.9408$ (實際值為9.408pf)。

步驟4 撰寫程式模擬 C_2 值變動對系統之影響，包含相位圖 (Phase portrait)、時域響應圖 (Time response) 及功率頻譜圖 (Power spectrum)。模擬情形如下：

$C_2 = 0.9408$ (實際值為9.408pf)，模擬結果為一週期的極限循環(limit cycle)，代表系統處

於標準振盪，如圖4.(a)所示。當 C_2 值受擾動後逐漸變小，模擬結果顯示產生週期加倍 (Period-doubling) 甚至發生混沌(Chaos)現象，如圖4.(b)至圖4.(e)。

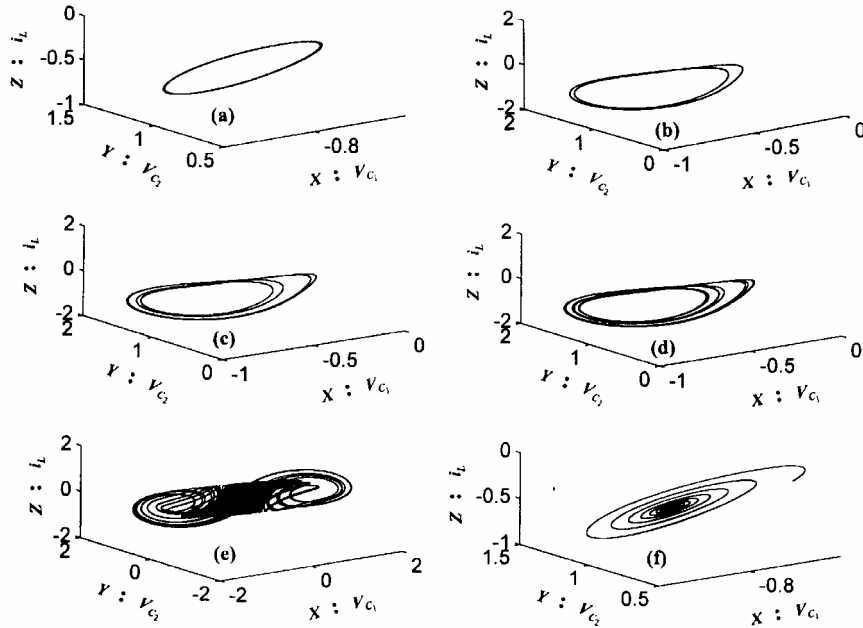
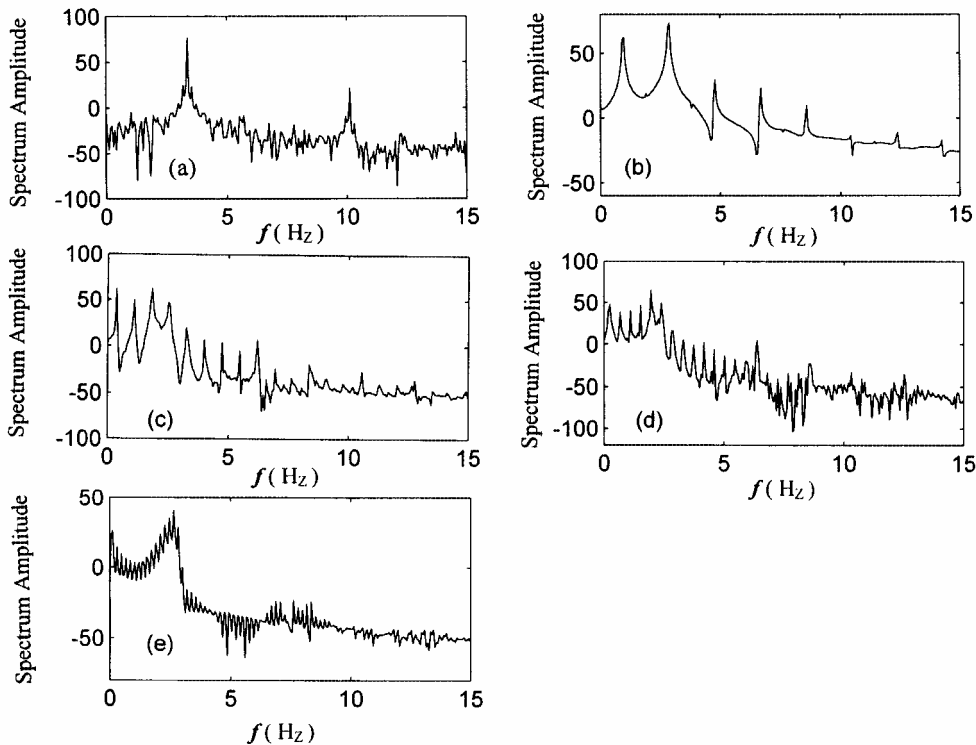


圖4. 並聯式透納二極體振盪器模擬相位圖(a)一個振盪週期 $C_2=0.9586$, (b)二個振盪週期 $C_2=0.7776$ (c)四個振盪週期 $C_2=0.7611$, (d)八個振盪週期 $C_2=0.7588$ (e)混沌現象 $C_2=0.6$, (f)另一平衡點 $C_2=1.1622$

換句話說，原希望振盪器維持單一頻率(或稱單一週期)的穩定振盪，卻因為元件受到擾動造成振盪器產生數個振盪頻率(或稱週期增加)，甚至無限多個振盪頻率(或稱無週期性，即混沌現象)，可從時功率頻譜圖(如圖5.)看出。本文對振盪器中個各元件變動所造成的影響也作了規納整理，詳見表1。



圖五. 並聯式透納二極體振盪器模擬功率頻譜圖(a)一個振盪週期 $C_2=0.9586$, (b)二個振

盪週期 $C_2=0.7776$ (c)四個振盪週期 $C_2=0.7611$, (d)八個振盪週期 $C_2=0.7588$ (e)混沌現象 $C_2=0.6$, (f)另一平衡點 $C_2=1.1622$

表1. 並聯式透納二極體振盪器各元件值變動所引起的非線性現象。

受擾動元件	標準振盪週期	兩倍振盪週期	四倍振盪週期	八倍振盪週期	混沌現象	平衡點	固定元件
C_1	1~10 (pf)	無	無	無	無	無	$C_1=3.3pf$ $L=10nH$ $R=11\Omega$
C_2	7.9 pf 9.7 pf	7.722 pf 7.8 pf	7.6 pf 7.721 pf	7.579 pf 7.59 pf	5 pf 7.578pf	9.8 pf 1.2pf	$C_2=9.5pf$ $L=10nH$ $R=11\Omega$
L	8.5 nH 10 nH	8.3 nH 8.4 nH	8.11 nH 8.2 nH	8 nH 8.1 nH	5 nH 7.9 nH	11 nH 20 nH	$C_1=3.3pf$ $C_2=9.5pf$ $R=11\Omega$
R	4.9 Ω 11.557 Ω	3.834 Ω 4.382 Ω	3.506 Ω 3.561 Ω	3.342 Ω 3.451 Ω	0.548 Ω 3.2874 Ω	11.6 Ω 27.387 Ω	$C_1=3.3pf$ $C_2=9.5 pf$ $L=10nH$

(二)討論:

對於並聯式透納二極體振盪器之非線性現象分析與模擬結果作了以下討論:

1. 分析及模擬結果顯示，能產生高功率的並聯式透納二極體振盪器本身是非常不穩定的，因為當其元件受到環境因素影響造成變動時，非線性現象就會顯現出來。這結果與文獻[2]所提相符。
2. 非線性現象的影響會造成並聯式透納二極體振盪器產生兩個以上的頻率，如果說此振盪器是作為通訊系統中的本地振盪器或是鎖相迴路，其影響所及，將造成系統無法產生所需載波及鎖相。
3. 從分析及模擬結果顯示，並聯式透納二極體振盪器電路中，電容 C_2 所造成的非線性現象較電容 C_1 嚴重。原因在於電容 C_2 的截止頻率低於電容 C_1 (因為 C_2 值小於 C_1)。
4. 電感亦是影響並聯式透納二極體振盪器之非線性現象因素之一，從模擬結果知道當電感值愈小則造成的非線性現象愈嚴重。究其原因，係電感值愈小則振盪頻率愈高，而頻率愈高則電感與接線間會產生互感效應，且本身亦會造成遲滯現象。
5. 模擬相位圖顯示，並聯式透納二極體振盪器發生混沌現象時，其圖形為一雙螺旋 (double scroll) 振盪結構，具有兩個奇異吸子 (stranger attractor)，其形狀與極負甚名的蔡氏電路 (Chua's circuit)[12] 類似。其原因是因為並聯式透納二極體振盪器的非線性電流-電壓曲線，與蔡氏電路中的蔡氏二極體 (Chua's diode)，具有相同對稱曲線。
6. 模擬過程中查覺，初始值不同，對並聯式透納二極體振盪器所作的模擬結果截然不同。這種情形正是非線性系統之特徵。

伍、結論

本論文主要探討並聯式透納二極體振盪器所產生的非線性現象。經由理論分析及計算機模擬所得結果有以下貢獻：

- (一) 歸納並聯式透納二極體振盪器中各個元件造成非線性現象的範圍值及形成這種現象的原因，以提供電路設計者一個參考依據。
- (二) 以賀伯夫分歧理論為基礎，發展一簡單的分析步驟，找出引起非線性現象的參數值，藉以替代傳統式嘗試錯誤法。此分析方法亦可應用在任意三階非線性自律系統。
- (三) 撰寫出一套程式，用以分析非線性系統的定性行為，包括相位圖、時域響應圖及功率頻譜圖。

透過對並聯式透納二極體振盪器非線性現象的探討，相信對於未來設計一良好的振盪器具有莫大助益。

參考文獻

1. Blaine, C., " Tunnel Diode Oscillators," Microwave J., Vol. 25, No. 3, pp.156-157, 1993.
2. Kinder, C., Mehdi, I., East, J. R., and Haddan, G. I., " Power and Stability Limitations of Resonant Tunneling Diodes, " IEEE Tran. on Microwave Theory and Techniques, Vol.38, No. 7, pp.864 - 871, 1990.
3. Olga, B. L, Pan, D. S., and Itoh, T., " Fundamental and Subharmonic Excitation for an Oscillator with Several Tunneling Diodes in Series, " IEEE Tran. on Microwave Theory and Techniques, Vol.43, No. 4, pp.969-976, 1995.
4. Olga, B. L, Pan, D. S., and Itoh, T., " DC Instability of the Series Connection of Tunneling Diode, " IEEE Tran. on Microwave Theory and Techniques, Vol.44, No. 6, pp.936-943, 1995.
5. Stephan, K. D., Wong, S. C., Brown, E. R., Molvar, K. M., Calawa, A. R., and Manfra, M. J., " 5mW Parallel-Connected Resonant Tunneling Diode Oscillator " Electronic Lett., Vol.28, No. 15, pp.1411 -1412, 1992.
6. Mees, A., and Chua, L. O., "The Hopf Bifurcation Theorem and Its Applications to Nonlinear Oscillations in Circuit and Systems " IEEE Tran. on Circuits and Systems, Vol. CAS-26, pp.235-254, 1979.
7. Chou, J. H., Twu, S. H., and Chang, S., "Chaos and Bifurcation of a Nonlinear Oscillators with Tunnel diode " J. of Control System and Technology, Vol. 1, No. 1, pp.27-32, 1993.
8. Chua, L. O., Desore, C. A. & Kuh, E S., Linear and Nonlinear Circuits, McGraw-Hill Book Company, Chap.6, pp. 426-427, 1987.
9. Gukenheimere, J., and Holmes, P. J., Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields, Springer-Verlag, New York, N. Y., Chap.4, pp.390-403, 1983.
10. Chow, S. N., and Hale, J. K., Methods of Bifurcation Theory, Spring-Verlag New York,

N. Y., Chap 5, pp473-482, 1982.

11. Ghost, D., and Sarkar, A. K., "Oscillatory behavior of an autotroph-herbivore system with a type-III uptake function" *International Journal of Systems Science*. Vol. 28, pp.259-264,1997.
12. Matsumoto, T., Chou, L. O., and Komuro, M., "The Double Scroll" *IEEE Tran. on Circuits and Systems*, Vol. CAS-32, pp.798-817,1987.

應用基因演算法決定自激磁感應發電機 最小電容需求

Determining the Minimum Capacitor for Self-Excited Induction Generator by Genetic Algorithm

陳 長 煌

Chang-Huang Chen

東南技術學院電機工程系

Tung-Nan Institute of Technology Department of Electrical Engineering

摘 要

獨立運轉的自激磁感應發電機必須在其輸出端並聯激磁電容才能維持電壓的輸出，在不同的轉速及負載下，感應發電機穩態的輸出電壓與頻率也因此受激磁電容的影響，本文主要提出應用基因演算法來求解感應發電機在各種運轉條件下，維持電壓輸出所需的最小電容值。與文獻上的方法比較，本文所提出的方法，可以簡化許多的計算步驟，同時又可應用於各種不同的操作條件。文中將使用兩個範例來展示本方法的優點。

關鍵詞：基因演算法，感應發電機，風力發電

ABSTRACT

Exciting capacitor is necessary for an induction generator to build-up the terminal voltage. The steady-state performance is then affected by the exciting capacitor. In this paper, genetic algorithm is used to determine the minimum capacitor required for the self-excited induction generator. Due to the merits of the proposed method, many tedious algebraic computation works are eliminated, and it is applicable to various steady-state operating conditions, as compared to previous efforts. Two numerical results will be given to demonstrate the capability of the proposed method.

Keywords: genetic algorithm, self-excited induction generator, wind power

I. Introduction

Due to the shortage of resources, the development of renewable energy has become the main stream of researches worldwide. Because of the ruggedness, low cost, reliability and availability, self-excited induction generator has slowly replacing conventional synchronous alternator in isolated power generation, especially in wind power and small hydropower application in rural area. However, for self-excitation to occur, i.e. to build-up the output voltage, the induction generator must satisfy the following two conditions: 1) The rotor should have sufficient residual magnetism, and 2) Suitable capacitor banks should be connected to the terminal of the machine. Many researchers study the requirement, influence and control of the capacitor. Jabri [1] and Malik [2] pointed out that given rotor speed and load, there exists a minimum capacitance value, C_{min} , for an induction generator to build-up output voltage. If the exciting capacitance is lower than this minimum value, induction generator will cutoff. This value is affected by machine parameters, speed and load conditions. Based on steady-state equivalent circuit, and after tedious algebraic computation, Jabri[1,3] derived a general, high order polynomial equation to calculate generated frequency, and another nonlinear equation to compute C_{min} indirectly. However, these equations are very complex, and it require root finding algorithm to solve these equations. Malik[2] investigated the influence of capacitors on the induction generator by solving objective function with Newton-Raphson method. The drawbacks are that it needs to evaluate Jacobian matrix and divergence may occur. Chan[4] proposed an iterative procedure to compute C_{min} . But it also requires tedious works to derive the required equation for iterative computation. Although Eltamaly[5] provided a closed-form formula equation for C_{min} , it also requires to compute frequency firstly from a high order polynomial, and then substitute into another equation for calculating capacitor's reactance X_c , and then $C = 1/(2\pi X_c)$.

In this paper, a general and efficient method for calculating C_{min} based on genetic algorithm is introduced. The proposed method relies on expressing the problem as a minimization problem. Using this approach, it only requires a simple equation derived from loop impedance or nodal admittance analysis as will be explained in next section. The proposed method computes X_c directly. Any algebraic simplifications or rearrangements are unnecessary.

II. Steady-State Analysis of Induction generator

Fig.1 shows the equivalent circuit of a three- phase self-excited induction generator. In steady state analysis, it is assume that all the parameters are constants and independent of saturation, except the magnetizing reactance X_m . In Fig.1, R_L and X_L are load resistance and reactance, R_s and R_r are stator and rotor resistance, X_s and X_r are stator and rotor reactance, f is the generated frequency, ω is rotor speed, X_c is exciting capacitance, and X_m is magnetizing reactance. Core loss is ignored since it will not result in serious error in most cases. All the parameters in the equivalent circuit are in per-unit. As state previously, for the machine to build-up voltage, the excitation capacitance must be greater than some minimum value. When the induction generator is not connected to power grid, both the frequency and magnetizing reactance X_m vary with load, even the rotor speed is maintained constant. However, in order to decide the minimum capacitance, X_m is setting to X_{max} . The assumption of constant value of X_m in the analysis is acceptable[4,5]. Once X_m is specified, and given machine

parameters, rotor speed and load, then frequency F and X_c are the only two variables to be determined. Recall that $C = 1/(2\pi f_b Z_b X_c)$, where $f_b =$ base frequency and $Z_b =$ base impedance. Many solution techniques have been developed to determine C_{\min} . They are developed based on the following analysis.

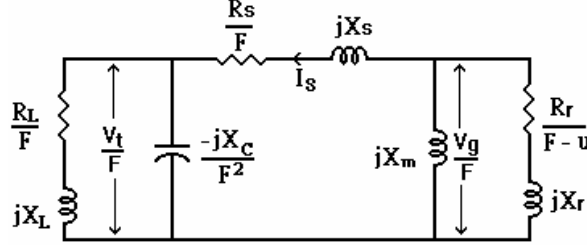


Fig.1 equivalent circuit of induction generator

2.1 Loop impedance analysis

From Fig.1 and loop analysis,

$$I_s Z_T = 0 \quad (1)$$

where

$$Z_T = Z_s + Z_L \parallel [Z_c + Z_m \parallel Z_r],$$

$$Z_s = R_s / F + jX_s$$

$$Z_r = R_r / (F - u) + jX_r$$

$$Z_c = -jX_c / F^2, \quad Z_m = jX_m$$

$$Z_L = R_L / F + jX_L$$

Under steady-state, I_s can not be zero. It means that $Z_T = 0$, which implies that the real and imaginary part of Z_T must be zero simultaneously. That is, the following simultaneous nonlinear equations are obtained:

$$f_1(F, X_c) = 0 \quad (2)$$

$$f_2(F, X_c) = 0 \quad (3)$$

where

$$f_1(F, X_c) = \frac{R_s}{F} + \frac{R_L X_c^2}{(F^2 R_L)^2 + (F^2 X_L - X_c)^2} + \frac{R_r X_m^2 (F - u)}{R_r^2 + (X_m + X_r)^2 (F - u)^2}$$

$$f_2(F, X_c) = X_s - \frac{X_c (F^2 R_L^2 + F^2 X_L^2 - X_L X_c)}{(F^2 R_L)^2 + (F^2 X_L - X_c)^2} + \frac{R_r^2 X_m + X_m X_r (X_m + X_r) (F - u)^2}{R_r^2 + (X_m + X_r)^2 (F - u)^2}$$

The problem now is to find the exciting capacitor's reactance X_c required for self-excitation and the frequency by solving Eqs.(2) and (3) simultaneously, given machine parameters, load, rotor speed and

$$X_m = X_{\max}$$

2.2 Nodal admittance analysis

Nodal analysis also can apply to Fig.1, and the following results will be obtained:

$$Y_T \frac{V_g}{F} = 0 \quad (4)$$

where

$$Y_T = Y_s + Y_m + Y_r$$

and

$$Y_s = 1/(Z_L \parallel Z_c + Z_s), \quad Y_m = 1/Z_m, \quad Y_r = 1/Z_r$$

Under steady state, V_g/F cannot be zero. It means that $Y_T = 0$, which also implies that the real and imaginary part of Y_T must be zero simultaneously. After some computation works, results in the following equations:

$$g_1(F, X_c) = 0 \quad (5)$$

$$g_2(F, X_c) = 0 \quad (6)$$

where

$$g_1(F, X_c) = \frac{F(R_s + FR_{LC})}{(R_s + FR_{LC})^2 + F^2(X_s - X_{LC})^2} + \frac{(F - u)R_r}{R_r^2 + X_r^2(F - u)^2}$$

$$g_2(F, X_c) = -\frac{F^2(X_s - X_{LC})}{(R_s + FR_{LC})^2 + F^2(X_s - X_{LC})^2} - \frac{X_r(F - u)}{R_r^2 + X_r^2(F - u)^2} - \frac{1}{X_m}$$

and

$$R_{LC} - jX_{LC} = Z_L \parallel Z_c = \frac{R_L X_c^2 - jX_c(F^2 R_L^2 + F^2 X_L^2 - X_L X_C)}{(F^2 R_L)^2 + (F^2 X_L - X_c)^2}$$

The exciting reactance X_c and frequency can also be obtained by solving Eqs.(5) and (6) simultaneously.

Usually, Eq.(1) or Eq.(4) has two or more solutions. The larger X_c corresponds to C_{\min} , since $C = 1/(2\pi f_b Z_b X_c)$ per-unit.

It is obviously that Eqs.(2) and (3) or Eqs.(5) and (6) are nonlinear equations. Although many methods have been developed, there exists drawbacks as explained in section 1. Actually, a more compact formulation of the problem, without any algebraic simplification, can be found and will be explained in next section.

III. Problem Formulation

Eqs.(1) and (4) state that the impedance Z_T or admittance Y_T of the self-excited induction generator, under steady state, must be zero. Since the required F and X_c are embedded in Z_T and Y_T , it is suitable to consider Z_T or Y_T as a complex function in F and X_c , i.e. $Z_T(F, X_c)$ or $Y_T(F, X_c)$. Since $Z_T(F, X_c)$ or $Y_T(F, X_c)$ are complex numbers, there exists a minimum value of zero for $|Z_T(F, X_c)|$ or $|Y_T(F, X_c)|$. It is obvious that this minimum value corresponds to the solution of Eq.(1) or Eq.(4). In other words, the problem can now be expressed as:

Minimize

$$f(F, X_c) = |Z_T(F, X_c)| \quad (7)$$

or Minimize

$$f(F, X_c) = |Y_T(F, X_c)| \quad (8)$$

subject to

$$F_{(min)} \leq F \leq F_{(max)} \quad \text{and} \quad X_{c(min)} \leq X_{c(max)}$$

where $F_{(min)}$ and $F_{(max)}$ are the lower and upper bound of F , respectively, and $X_{c(min)}$ and $X_{c(max)}$ are the lower and upper bound of X_c , respectively. Eq.(7) or Eq.(8) are typical unconstrained minimization problem. Although Newton-Raphson method[6] can be used to solve Eqs(7) and (8), it needs to evaluate Jacobian matrix and sometimes, it may diverges if improper initial value is provided. Also, it is hard to construct Jacobian matrix as can be seen from section 2. However, evolutionary computation techniques are especially suitable for such applications. Applying genetic algorithm to attack this problem has following advantages: 1)it needs not to perform any algebraic simplification for computing F or X_c , 2)it is applicable to any steady-state operating condition with inductive, capacitive or resistive load, 3)even consider the effect of core loss, the same formulation still works without any modifications, and 4)it is derivative free.

IV. Genetic Algorithm

Typical genetic algorithm procedures are implemented to compute X_c and F . It is outlined as follows:

- 1) Generate an initial population of p individuals, and let generation count $t = 0$. Each individual is taken as real-valued vector $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots), \forall i \in \{1, 2, \dots, p\}$, x_{i1} and x_{i2} represent the objective variable F and X_c , respectively.
- 2) Evaluate the objective function, $f(x_i), \forall i \in \{1, 2, \dots, p\}$, for each individuals. The value of the objective function represents the fitness of each individual, an individual with lower objective function value represent a fitter one, having more chance of surviving while evolving.
- 3) Create offspring by crossover and mutation operation. Arithmetic crossover[6] operator is used in this paper, i.e. given a pair of parents x_1 and x_2 , two offspring y_1 and y_2 are produced

$$y_1 = \lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2$$

$$y_2 = (1 - \lambda)x_1 + \lambda x_2$$

wher λ is random number between 0 and 1. Parents are chosen using roulette wheel selection mechanism.

Mutation is performed by randomly perturbing an individual a small amount of value:

$$y_{ij} = x_{ij} + \Delta(t, dx_{ij}),$$

$$\Delta(t, dx_{ij}) = [\text{rnd}(1)-0.5] \cdot dx_{ij} \cdot (1 - t/T)^b$$

for $\forall i \in \{1, 2, \dots, p\}; \forall j \in \{1, 2\}$. $dx_{ij} = \min(x_{iju} - x_{ij}, x_{ij} - x_{ijb})$; $\text{rnd}(1)$ is a random number between 0 and 1; $b = 2$; x_{iju} and x_{ijb} are the upper and lower bound of variables x_{ij} , respectively. T is the maximum number of generation. Crossover probability p_c and mutation rate p_m are set to 0.75 and 0.35, respectively.

- 4) Evaluate the objective function for each offspring $f(y_i)$.
- 5) Make selection: Select p individuals, from the union of $\{x_i\}$ and $\{y_i\}$, that have the most wins to be the parents of the next generation.
- 6) Stop if the fittest individual's objective function value is less than a small value ϵ , e.g., $\epsilon=10^{-5}$, otherwise increase the generation count $t = t + 1$, and go to step 3).

In general, Eq.(7) or (8) has two solutions. The larger X_c corresponds to C_{\min} . However, the above genetic algorithm only can find one solution in a single run. To acquire more than one solution, it needs to run multiple times.

To show the capability of the proposed method, examples will be posted in next section.

V. Examples

Example 1: Consider the following example: machine data[3] are $R_s = 0.071$, $R_r = 0.0881$, $X_s = X_r = 0.1813$, $X_{\max} = 3.23$, $R_L = 1.0$, $X_L = 2.0$, and $u = 1.0$ all in per-unit. The base values of impedance and frequency are $Z_b = 43.3\Omega$ and $f_b = 60\text{Hz}$. The surface plots of $|Z_T(F, X_c)|$ and $|Y_T(F, X_c)|$ are shown in Figs.2 and 3, respectively. There are two extreme points, although not evident, corresponding to the $|Z_T(F, X_c)| = 0$, or $|Y_T(F, X_c)| = 0$. The proposed method gives two solutions

$$(F_1, X_{c1}) = (0.97956, 1.34002) \quad \text{and} \quad (F_2, X_{c2}) = (0.52905, 0.09321).$$

By $C = 1/(2\pi f_b Z_b X_c)$, there are $C_1 = 657.2 \mu\text{F}$ and $C_2 = 45.72\mu\text{F}$. Therefore, $C_{\min} = 45.72\mu\text{F}$. The results agreed with those obtained in [3] where $C_1 = 657\mu\text{F}$ and $C_2 = 45.698\mu\text{F}$.

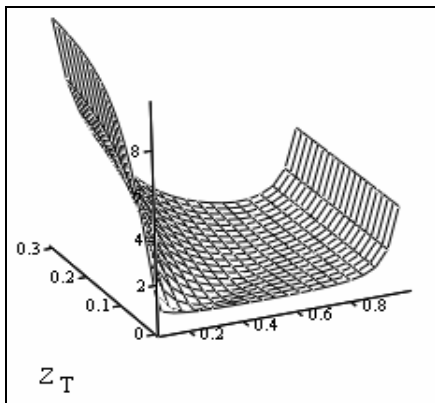


Fig 2. The surface plot of $|Z_T(F, X_c)|$ for example 1

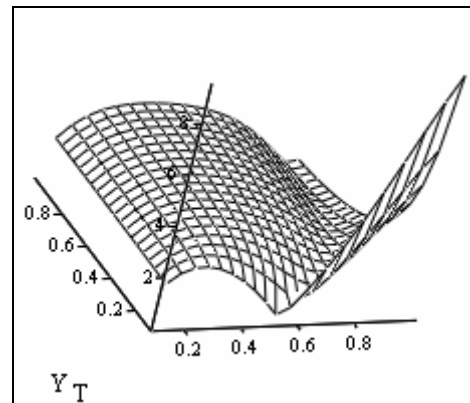


Fig.3 The surface plot of $|Y_T(F, X_c)|$ for example 1

Example 2: A three-phase, 4 poles, 50Hz, 380V, 5.4A, 2KW, star-connected squirrel cage induction generator has the following data[4]: $R_s = 0.0982$, $X_s = 0.112$, $R_r = 0.0621$, $X_r = 0.0952$, $X_{max} = 2.58$, all in per-unit. Assume the machine rotate at rated speed, $u = 1.0$, with load $R_L = 0.8$ pu and $X_L = 0.6$ pu. Following results are obtained by the proposed method:

$$F_1 = 0.67618, X_{c1} = 0.0941 \quad \text{and} \quad F_2 = 0.94749, X_{c2} = 0.78235$$

which corresponding to

$$C_1 = 832.6\mu\text{F} \quad \text{and} \quad C_2 = 100.1\mu\text{F}$$

Therefore, the minimum capacitance $C_{min}=100.1$ uF. For a comparison, The surface plots of $|Z_T(F, X_c)|$ and $|Y_T(F, X_c)|$ are shown in Figs.4 and 5.

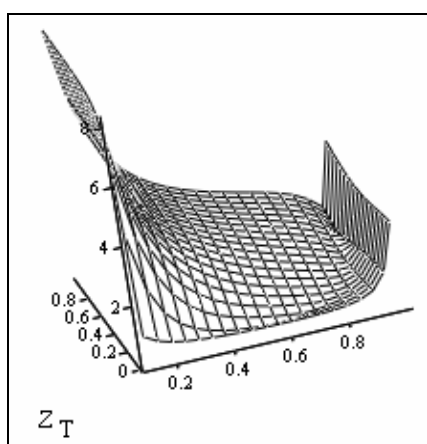


Fig 4. The surface plot of $|Z_T(F, X_c)|$ for example 2

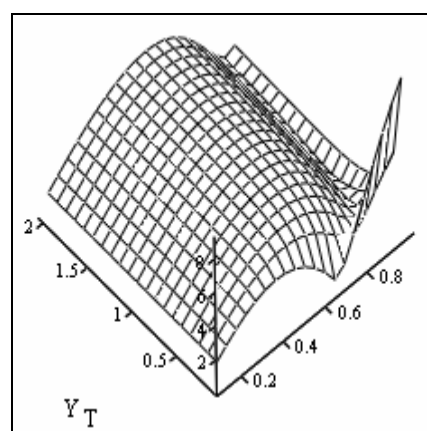


Fig.5 The surface plot of $|Y_T(F, X_c)|$ for example 2

VI. Conclusion

A general and efficient method for determining the minimum capacitor required for an isolated self-excited induction generator is presented in this paper. Only simple and compact problem formulation derived from loop impedance or nodal admittance analysis, based on per-phase equivalent circuit, is required. Compare to previous efforts, the main advantages of the proposed method are: 1) it needs not to perform any algebraic simplification for computing F or X_c , 2) it is applicable to any steady-state operating condition with inductive, capacitive or resistive load, 3) even consider the effect of core loss, the same formulation still works without any modifications and 4) it is derivative free.

VII. Reference

- [1]. A.K. Al Jabri and A.I. Alolah, "Limits on the performance of the three-phase self-excited induction generators", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.5, No.2, 1990, 350-356
- [2]. N.H. Malik and A.H. Al-Bahrani, "Influence of the terminal capacitor on the performance characteristics of a self-excited induction generator", IEE Proc. Vol.137, Pt. C, No.2, 1990, 168-173

- [3]. A. K. Al Jabri and A.I. Alolah, "Capacitance requirement for isolated self-excited induction generator", IEE Proc., Vol.137, Pt. B, No.3, 1990, 154-159
- [4]. T. F. Chan, "Capacitance Requirements of Self-excited Induction Generators", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.18, No.2, June, 1993, 304-311
- [5]. A. M. Eltamaly, "New formula to determine the minimum capacitance required for self-excited induction generator", Power Electronics Specialists Conference, 2002 PESC, 23-27
- [6]. M. Gen & R. Cheng, Genetic Algorithms and Engineering Design, John Wiley, 1997

Fuzzy Inference Computing— An Essence of Machine Intelligence

李俊賢¹ 陳金龍²
Chunshien Li¹ Jin-Long Chen²

¹長庚大學電機工程所

²東南技術學院電機系講師，並就讀於長庚大學電機所博士班

Department of Electrical Engineering, Chang Gung University

Abstract

Fuzzy inference computing (FIC) is important to inference and decision-making, and is an important branch of machine intelligence. A fuzzy inference computing system is constructed using fuzzy rules, by which the expert knowledge is incorporated into the FIC system. A knowledge base is the core of a fuzzy inference computing system. It is very essential to fuzzy inference computing, and is composed of a data base and a rule base. To construct a knowledge base, several factors are considered, for example, fuzzy partition of input and output universes, membership functions, completeness, size of the knowledge base, and type of fuzzy rules. Each linguistic variable needs a fuzzy term set. With measurements of input variables, the fuzzy inference computing is to use fuzzy rules in the knowledge base of a fuzzy computing system to generate inferred results. In a fuzzy computing system, the ordering of fuzzy rules characterizing the fuzzy system is not restricted. A fuzzy if-then rule, IF A THEN B , is viewed as a fuzzy implication. The selection of a fuzzy implication function for a fuzzy rule plays an essential role in the inferred result. The fuzzy inference computing provides good framework of inference to machine intelligence.

Index Terms— fuzzy inference computing (FIC), machine intelligence, fuzzy if-then rule, fuzzy implication, knowledge base.

摘 要

模糊推理計算(FIC)對於推理及決策是相當重要的，它同時也是機器智慧的一個重要分支。模糊推理計算系統是由一些專家知識形成的模糊規則所建構而成，因此模糊推理計算系統的核心為『知識庫』，知識庫包括資料庫以及規則庫，建立知識庫時須考慮許多的因素，例如輸入及輸出域如何分割、選用何種歸屬函數、輸入及輸出域是否涵蓋範圍夠完整、知識庫大小的取捨及選用何種形式的模糊規則。每個語意變數需要在其輸入及輸出域定義一些模糊集合，以供模糊規則建立時所使用。模糊推理計算系統利用其知識庫中的模糊規則將測量到的輸入變數訊號以模糊推理計算方式產生推理結果。在模糊推理計算系統中模糊規則的順序是沒有任何限制

的，模糊 if-then 規則的形式為『IF A THEN B』我們稱之為模糊蘊含，模糊規則之模糊蘊含函數的選擇對於推理的結果扮演很重要的角色。模糊推理計算對於機器智慧而言提供相當好的推理機制。

關鍵詞：模糊推理計算(FIC)，機器智慧，模糊 if-then 規則，模糊蘊含，知識庫。

I. Introduction

The target of machine intelligence is to impersonate the brain behavior of human beings. Fuzzy sets and fuzzy logic are important to inference and decision-making. Fuzzy inference computing (FIC) is now a branch of machine intelligence. Machine intelligence is an inter-discipline science, including inference, learning, self-organization, recognition, robustness of information processing, control, and more. Since the fuzzy set theory was introduced [1][2], fuzzy theory and implementation have been applied to many engineering applications [3][4][5]. A fuzzy inference computing system [6][7] is a model of fuzzy inference computing, and it is able to utilize human experience and knowledge, viewed as expert knowledge. The expert knowledge is usually expressed in the form of "IF A THEN B" statements, where A is an antecedent, and B is a consequent. An FIC system is constructed using fuzzy rules (or called fuzzy if-then rules) by which the expert knowledge is incorporated into the FIC system. An FIC system is generally composed of a *fuzzification module*, a *knowledge base*, a *fuzzy inference engine*, and a *defuzzification module*.

For real implementation of fuzzy inference computing, measurements are obtained for all input base variables. These measurements are then transformed into fuzzy sets by the fuzzification module. This procedure is called the *fuzzification process*. The fuzzy inference engine to evaluate the fuzzy rules in the knowledge base then uses the fuzzified measurements. The evaluation result is a fuzzy set for inference outputs defined on the corresponding universes of possible actions. The reasoned fuzzy sets can be viewed as the probability distributions of response actions [7] on the corresponding action universes. This is called the *fuzzy inference process*. The fuzzy sets are then converted into a single crisp value or a vector of crisp values. This is so-called the *defuzzification process*. The defuzzified value represents the best action in each process of inference cycle.

II. Fuzzification

The fuzzification is pertinent to the concept of vagueness and imprecision, which is described using fuzzy sets. In real world applications, measured data are usually numerical that could be corrupted by noise. Thus, measured data is obtained with degree of uncertainty. For instance, a fuzzification function $f(h(t))$ applies to a base variable $h(t)$ measured at time t .

The form of fuzzification function can be expressed by

$$f(h) : [-a_L, a_R] \rightarrow S \quad (1)$$

where $h \in [-a_L, a_R]$ is a variable of numerical measurement and S denotes the set of all fuzzy numbers. For a specific measurement $h(t_0)$ at time t_0 , $f(h(t_0))$ is a fuzzy number selected by f as a fuzzy approximation of the measurement $h(t_0)$. The fuzzification process is shown in Fig. 1, in which ε_R and ε_L are parameters to be determined for each specific application. If the values of ε_R and ε_L are set to zero, then $f(h(t_0))$ is a fuzzy singleton, a special form of fuzzy set, i.e., $f(h(t_0)) = h(t_0)$. Many other

shapes, like bell shape or trapezoidal shape, can be used for the fuzzification function $f(h(t))$. The function of fuzzification is viewed as a mapping from a crisp world to a fuzzy world. Fuzzification is an important step to cope with uncertain information in nature. A fuzzification module usually undertakes tasks such as the measurement of data for input variables of a fuzzy computing system, scale mapping which transfers the range of values of input variables to corresponding universes, and the function of fuzzification. Thus, the fuzzification module prepares the fuzzy input(s) such that they can be used later in fuzzy inference computing.

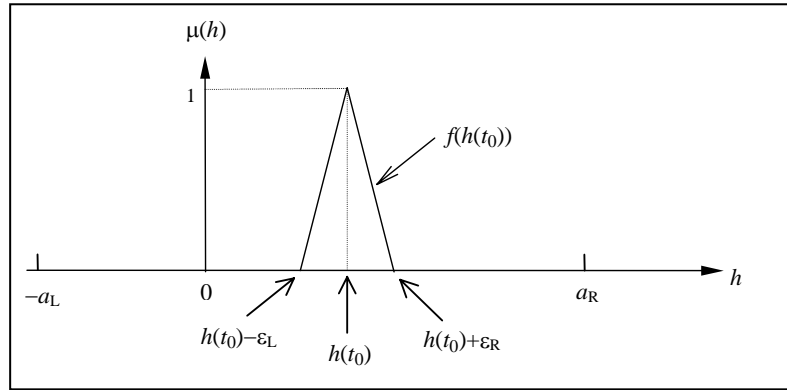


Fig. 1. Fuzzification function for a numerical measurement $h(t_0)$.

III. Knowledge Base

A knowledge base is the core of a fuzzy inference computing system. It is very important to fuzzy inference computing, and is composed of a data base and a rule base. A data base is used to connect and characterize the corresponding rule base in the operation of fuzzy inference computing. Usually, a data base provides necessary definitions which are used in fuzzification, defuzzification, fuzzy if-then rules, and data implementation in an FIC system. The construction of a data base is based on expert knowledge. Expert knowledge are usually expressed in the form of if-then statements, which are embodied in fuzzy rules in an FIC system. Uniting all fuzzy rules of an FIC system forms a rule base. The correct construction of a knowledge base is concerned with the success of the application of an FIC system to solve an engineering problem. To construct a knowledge base, several factors are considered, for example, partition of input and output universes, membership functions, completeness, size of the knowledge base, and type of fuzzy rules.

A. Fuzzy partition of input/output spaces

An input linguistic variable in the antecedent of a fuzzy if-then rule corresponds an input universe of discourse. Similarly, a output linguistic variable in the consequent of a fuzzy if-then rule has an corresponding output universe of discourse as well. All the input universes of discourse are united together to form the input space of the FIC system, and similarly all output universes to form the output space. In order to transform the measured variables to universes of discourse for fuzzy implementation, it is conventional to discreteize these universes into a certain number of segments with gradual transitions between each other. These segments are called *quantizations*. Each segment then is labeled with a generic name in such a way that input/output discretized universes are formed. Each generic name with its describing function in the universes of discourse is viewed as a fuzzy set in its corresponding universe. Each linguistic variable needs a fuzzy set. The process of quantization of universes is referred to as the *fuzzy partition*. The fuzzy sets have a linguistic meaning, for example, NL=negative large, L=large, M=medium, S=small, PL=positive large. For input/output space

partition, there are some commonly-used fuzzy partition, such as grid-type, tree-type and cluster-type. The fuzzy partition of grid type and cluster-type is shown in Fig. 2. For the grid-type partition, cardinalities of input linguistic variables determine the number, K , of fuzzy rules in the knowledge base, given as

$$K = \prod_{i=1}^M (\text{cardinality of } x_i) \tag{2}$$

where $x_i, i=1,2,\dots,M$, are linguistic variables. The selection of fuzzy partition for input space plays an important role in determining the size of knowledge base of an FIC system. If more quantization levels are used for each input universe, then an FIC system can generally behave better to achieve a goal, but the problem of curse of dimensionality arises and the overhead of computation is relatively high.

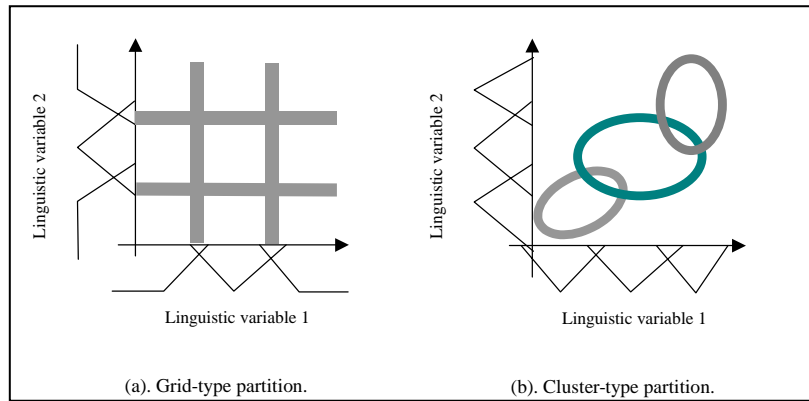


Fig. 2 Fuzzy partition.

B. Selection of membership functions for fuzzy sets

Membership functions also called describing functions are used to describe degrees to which fuzzified measurements belong in their corresponding fuzzy sets. The value of a membership function is generally constrained in between 0 and 1. Several functions can be used to define a membership function such as triangle-shaped function, trapezoid-shaped function, bell-shaped function, and many others. For learning purposes, membership functions with fewer parameters are desirable, for examples,

$$\mu(h) = e^{\left(-\frac{(h-o)^2}{b^2}\right)} \tag{3}$$

$$\mu(h) = \frac{1}{2} \left(\tanh\left(\frac{h-o}{b}\right) + 1 \right) \tag{4}$$

$$\mu(h) = \frac{1}{2} \left(-\tanh\left(\frac{h-o}{b}\right) + 1 \right) \tag{5}$$

where o and b represent center and spread, and h is a generic element in a universe of discourse.

C. IF-Then rules

The selection of input linguistic variables in an if-then rule and the corresponding membership functions affect the performance of an FIC system. Experience is important in the selection of these linguistic variables.

For a single-input-single-output (SISO) fuzzy computing system, the i th fuzzy rule can be expressed by

$$\text{IF } x \text{ is } s_1^i \text{ THEN } z \text{ is } s_2^i \quad (6)$$

where x is a input linguistic variable and z is a output linguistic variable for the SISO system; s_1^i and s_2^i are fuzzy sets in the input and output universes of discourse, respectively. For a multiple-input-single-output (MISO) system, the i th fuzzy rule can be expressed as follows.

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2^i) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^i), \text{ THEN } z \text{ is } s_{M+1}^i \quad (7)$$

where $x_1, x_2, \dots, \text{ and } x_M$ are input linguistic variables and z is a output linguistic variable for a MISO fuzzy system; $s_1^i, s_2^i, \dots, \text{ and } s_M^i$ are fuzzy sets in input universes of discourse, respectively; s_{M+1}^i is a fuzzy set in the output universe of discourse. This is a rule for a fuzzy system of M inputs and one output. For a multiple-input-multiple-output (MIMO) system, the i th fuzzy rule can be expressed as follows.

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^i), \text{ THEN } (z_1 \text{ is } s_{M+1}^i), \dots, (z_Q \text{ is } s_{M+Q}^i) \quad (8a)$$

where $s_{M+1}^i, s_{M+2}^i, \dots, \text{ and } s_{M+Q}^i$ are fuzzy sets in output universes of discourse. This is a rule for the fuzzy computing system with M inputs and Q outputs. This fuzzy rule can be separated into Q MISO fuzzy subrules, and they are

$$\begin{aligned} & \text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2^i) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^i), \text{ THEN } z_1 \text{ is } s_{M+1}^i \\ \text{also} \quad & \text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2^i) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^i), \text{ THEN } z_2 \text{ is } s_{M+2}^i \end{aligned}$$

⋮

$$\text{also} \quad \text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2^i) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^i), \text{ THEN } z_Q \text{ is } s_{M+Q}^i \quad (8b)$$

An MIMO fuzzy rule can be decomposed into several MISO fuzzy rules. If-then rules then are united to form a rule base by a "fuzzy-also" operation. For example, a rule base for an MISO FLC is expressed by

$$\begin{aligned} & \text{rule 1: IF } (x_1 \text{ is } s_1^1) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^1), \text{ THEN } z \text{ is } s_{M+1}^1 \\ \text{also} \quad & \text{rule 2: IF } (x_1 \text{ is } s_1^2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^2), \text{ THEN } z \text{ is } s_{M+1}^2 \end{aligned}$$

⋮

$$\text{also} \quad \text{rule } K: \text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^K) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M^K), \text{ THEN } z \text{ is } s_{M+1}^K \quad (9)$$

For SISO and MIMO FLCs, a rule base is united together by *fuzzy-also* operators in the same way as in the above MISO system. The type of fuzzy rules by Takagi and Sugeno (Takagi and Sugeno, 1985) is also commonly used, by which the consequent of a fuzzy rule is a function of the inputs. For example, a T-S fuzzy rule is given as follows.

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i(h_1) \text{ and } x_2 \text{ is } s_2^i(h_2) \text{ and } \dots \text{ and } x_M \text{ is } s_M^i(h_M)) \text{ THEN } \sigma^i(t) = a_0^i + a_1^i h_1 + a_2^i h_2 + \dots + a_M^i h_M$$

where i indicates the rule number and $h_i, i=1,2,\dots,M$ are the crisp input variables.

IV. Inference Computing

The inference computing is performed with a so-called inference engine. With measurements of input variables, the fuzzy inference computing is to use fuzzy rules in the knowledge base of a fuzzy computing system to generate inferred results. To perform the inference process, sentence connectives of "and" and "also" in a rule base need to be interpreted, and the implication function, from the antecedent to the consequent in a fuzzy rule, needs to be defined.

A. Sentence connective operators

There are two types of sentence connectives, "and" and "also". Usually the connective "and" is interpreted as a fuzzy conjunction in a Cartesian product space. In a Cartesian product space, the underlying variables utilize values in different universes of discourse. For instance, the antecedent of an if-then rule

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M), \text{ THEN } (z \text{ is } s_{M+1})$$

is viewed as a fuzzy set in the Cartesian product space $\Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \dots \times \Gamma_M$, where Γ_i is the universe of discourse for the input linguistic variable x_i , for $i=1,2,\dots,M$. Thus, the fuzzy set formed by s_1, s_2, \dots , and s_M can be defined by its membership function, i.e.

$$\mu_{s_1 \times s_2 \times \dots \times s_M}(h_1, h_2, \dots, h_M) = \min(\mu_{s_1}(h_1), \dots, \mu_{s_M}(h_M)) \tag{10}$$

or
$$\mu_{s_1 \times s_2 \times \dots \times s_M}(h_1, h_2, \dots, h_M) = \mu_{s_1}(h_1) \times \dots \times \mu_{s_M}(h_M) \tag{11}$$

In a fuzzy computing system, the ordering of fuzzy rules is not restricted. Both the triangular norms and the triangular co-norms are qualified to interpret the connective "also". Generally the triangular norms are associated with fuzzy conjunction and the triangular co-norms are associated with fuzzy disjunction. In Mamdani's minimum fuzzy implication [8] and Larsen's product fuzzy implication [9], the connective "also" is treated as a union operator.

B. Implication function

Since the introduction of the compositional rule of inference in approximate reasoning by [2], many fuzzy implication functions have been proposed. A fuzzy if-then rule, IF A THEN B , is viewed as a fuzzy implication, denoted by $A \rightarrow B$, where A and B are fuzzy propositions. For example, for an MISO fuzzy rule, the fuzzy propositions A and B can be

$$A = (x_1 \text{ is } s_1) \text{ and } (x_2 \text{ is } s_2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_M \text{ is } s_M)$$

$$B = z \text{ is } s_{M+1}$$

where the fuzzy proposition A is viewed as a fuzzy set in the Cartesian product space $\Gamma_A = \Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \dots \times \Gamma_M$, whose generic element is h_A , and the fuzzy proposition B is another fuzzy set on the output universe of discourse Γ_B , whose generic element is h_B .

The fuzzy if-then rule "IF A , THEN B " is viewed as a fuzzy set, i.e., $A \rightarrow B$ is a fuzzy set, whose membership degree, viewed as the degree of truth for the fuzzy if-then statement, is described by a fuzzy implication function, denoted by $\mu_{A \rightarrow B}$. In general, a fuzzy implication, $\mu_{A \rightarrow B}$, is a function of the form

$$\mu_{A \rightarrow B} : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \tag{12}$$

where for any possible truth values μ_A and μ_B of given fuzzy propositions A and B , respectively, define the truth value $\mu_{A \rightarrow B}$. This function is viewed as an extension of classical implication in which μ_A and μ_B have the value of either 0 or 1. The fuzzy implication $A \rightarrow B$ is also denoted by

$$R(h_A, h_B) = A(h_A) \rightarrow B(h_B) = \int_{\Gamma_A \times \Gamma_B} \mu_{A \rightarrow B}(h_A, h_B) \tag{13}$$

for all $h_A \in \Gamma_A$ and $h_B \in \Gamma_B$. The symbol R stands for fuzzy rule. Instead of integration calculation, the symbol \int in the following denotes a continuous fuzzy union. This fuzzy implication provides a bridge to connect the fuzzy proposition A and the fuzzy proposition B . There are fuzzy implication functions used in fuzzy inference computing, for example, Mamdani's mini-operation rule of fuzzy implication:

$$A \rightarrow B = \int_{\Gamma_A \times \Gamma_B} \mu_A(h_A) \wedge \mu_B(h_B) / (h_A, h_B)$$

More fuzzy implication functions can be found in the literature [10][11][12].

C. Approximate reasoning

Reasoning is based on a relation between a conditional object and a consequent object. This relation is regarded as a logic operation. When an object is given, that relation on either reasoning direction can find the other. Approximate reasoning is a reasoning that is not exact. Both the objects and the relation are described in the sense of fuzzy sets. Although a given object is not exactly the same as the corresponding object in the relation, the later can be matched in consistency by the former with some membership degree so that a reasoned object is obtained, using the relation. There are three fuzzy inference methods and they are the generalized modus ponens (GMP), the generalized modus tollens (GMT), and the hypothetical syllogism. The GMP is a data-driven inference. Available data are given to a fuzzy system, which then uses them to evaluate the fuzzy rules in the rule base, and come to all possible conclusions. This inference method is called *forward chaining*. The GMT is a goal-driven inference. An objective is given, and the fuzzy system searches for data specified in conditional clauses of if-then rules that will lead to the objective. This inference method is called *backward chaining*. The hypothetical syllogism is an inference method that, given two related relations, a new relation between the two given relations is obtained. For fuzzy inference computing, the GMP is much more useful than the rest.

Approximate reasoning is based on a fuzzy implication function. A fuzzy if-then rule is a fuzzy implication function. For example, a fuzzy if-then rule

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1 \text{ and } x_2 \text{ is } s_2 \text{ and } \dots \text{ and } x_M \text{ is } s_M) \text{ THEN } z \text{ is } s_{M+1}$$

is a fuzzy implication function, denoted by R or $(s_1 \text{ and } s_2 \text{ and } \dots \text{ and } s_M) \rightarrow s_{M+1}$, and it can be defined by

$$\begin{aligned} \mu_R &= \mu_{(s_1 \text{ and } s_2 \text{ and } \dots \text{ and } s_M) \rightarrow s_{M+1}}(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1}) \\ &= [\mu_{s_1}(h_1) \text{ and } \mu_{s_2}(h_2) \text{ and } \dots \text{ and } \mu_{s_M}(h_M)] \rightarrow \mu_{s_{M+1}}(h_{M+1}) \end{aligned} \quad (14)$$

Given a fact " A' " and an fuzzy if-then rule R : "IF A , THEN B ", a conclusion of " B' " can be obtained by the compositional rule of inference [2][7], i.e.

$$\begin{array}{l} \text{Fact: } A' \\ \text{Fuzzy if-then rule: } \quad \text{IF } A, \text{ THEN } B \\ \hline \text{Conclusion: } B' \end{array} \quad (15)$$

The conclusion B' can be given by

$$B' = A' \overset{\circ}{\circ} R \quad (16a)$$

where the symbol $\overset{\circ}{\circ}$ is a sup-star compositional operator, the "star" operation belongs to the t-norm, where the fact A' is " x_1 is s_1' and x_2 is s_2' and ... and x_M is s_M' ", denoted by $(s_1', s_2', \dots, s_M')$, B' is " x_M is s_{M+1}' ", denoted by s_{M+1}' , and the fuzzy implication R is defined in equations (13) and (14).

If the minimum operation is used for the "star", the operator sup-star becomes sup-min, denoted by \circ , and B' is written as

$$B' = A' \circ R \quad (16b)$$

Alternatively, the inference equation can be written as

$$s_{M+1}' = (s_1', s_2', \dots, s_M') \circ [(s_1 \text{ and } s_2 \text{ and } \dots \text{ and } s_M) \rightarrow s_{M+1}] \quad (17)$$

More specifically, the inference equation is expressed in terms of membership functions

$$\mu_B(h_B) = \sup_{h_A \in \Gamma_A} \min(\mu_{A'(h_{A'}(t))}, \mu_{A(h_A) \rightarrow B(h_B)}) = \sup_{h_A \in \Gamma_A} \min(\mu_{A'(h_{A'}(t))}, \mu_{R(h_A, h_B)}) \quad (18)$$

where $h_A=(h_1, h_2, \dots, h_M)$ is a generic element in the Cartesian product space Γ_A of the input linguistic variables $x_i, i=1,2,\dots,M, h_A(t)=(h_1(t), h_2(t), \dots, h_M(t))$ is the input crisp data measured at time $t, A'(h_A(t))$ is a fuzzy set in the Cartesian product space Γ_A to describe fuzzy approximation of the measured data, defined in equation (1), and $h_B=h_{M+1}$ is a generic element in the output universe of discourse, Γ_B .

It is noted that generic elements $h_i, i=1,2,\dots,M$, in the corresponding universes of discourse, $\Gamma_i, i=1,2,\dots,M$, are different from the base variables $h_i(t), i=1,2,\dots,M$, measured at time t , although the later variables are also located in the corresponding universes of discourse, $\Gamma_i, i=1,2,\dots,M$. The general form of multi-conditional approximate reasoning is given by

Fact:	x_1 is s_1' and x_2 is s_2' and ... and x_M is s_M'
Rule 1:	IF (x_1 is s_1^1) and (x_2 is s_2^1) and ... and (x_M is s_M^1), THEN z is s_{M+1}^1
Rule 2:	IF (x_1 is s_1^2) and (x_2 is s_2^2) and ... and (x_M is s_M^2), THEN z is s_{M+1}^2
...	...
Rule K:	IF (x_1 is s_1^K) and (x_2 is s_2^K) and ... and (x_M is s_M^K), THEN z is s_{M+1}^K
Conclusion:	Z is s_{M+1}' (19)

Multi-conditional approximate reasoning is the approximate reasoning occurring in the process of fuzzy inference computing. Given K fuzzy rules, rule 1 through rule K , and a fact " x_1 is s_1' and x_2 is s_2' and ... and x_M is s_M' ", the conclusion " z is s_{M+1}' " is inferred. Each rule is viewed as a fuzzy implication. The i th fuzzy implication is denoted by R^i , and the rule base, abbreviated by RB, is the fuzzy union of the fuzzy implications, $R^i, i=1,2,\dots,K$, i.e.

$$RB = \bigcup_{i=1}^K R^i \quad (20)$$

where R^i is $(s_1^i$ and s_2^i and...and $s_M^i) \rightarrow s_{M+1}^i$. The inferred result given in equation (19) can be written in more detail as

$$\begin{aligned} & s_{M+1}'(h_{M+1}) \\ &= (s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ \bigcup_{i=1}^K R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1}) \\ &= \sup_{\substack{h_j \in \Gamma_j \\ j=1, \dots, K}} \min[(s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))), \bigcup_{i=1}^K R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1})] \\ &= \bigcup_{i=1}^K \sup_{\substack{h_j \in \Gamma_j \\ j=1, \dots, K}} \min[(s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))), R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1})] \\ &= \bigcup_{i=1}^K (s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1}) \end{aligned} \quad (21)$$

In Equation (21), the inferred result can be obtained individually by each rule, and then combine individual results all together. The expression

$$(s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1})$$

can be further simplified if $\mu_{s_1^i \times s_2^i \times \dots \times s_M^i} = \min(\mu_{s_1^i}, \mu_{s_2^i}, \dots, \mu_{s_M^i})$, as shown in equation (10). Let us write the expression in terms of membership functions, i.e.

$$\begin{aligned} & (\mu_{s_1'}(h_1(t)), \mu_{s_2'}(h_2(t)), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t))) \circ [\min(\mu_{s_1^i}, \mu_{s_2^i}, \dots, \mu_{s_M^i}) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}] \\ &= (\mu_{s_1'}(h_1(t)), \mu_{s_2'}(h_2(t)), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t))) \circ [\min(\mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}, \dots, \mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \\ &= \sup_{\substack{h_j \in \Gamma_j \\ j=1, \dots, K}} \min\{(\mu_{s_1'}(h_1(t)), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t))), \min(\mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}, \dots, \mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})\} \\ &= \sup_{\substack{h_j \in \Gamma_j \\ j=1, \dots, K}} \min\{\min(\mu_{s_1'}(h_1(t)), \mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}), \dots, \min(\mu_{s_M'}(h_M(t)), \mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})\} \\ &= \min\left\{\sup_{h_1 \in \Gamma_1} \min(\mu_{s_1'}(h_1(t)), \mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}), \dots, \sup_{h_M \in \Gamma_M} \min(\mu_{s_M'}(h_M(t)), \mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})\right\} \\ &= \min[\mu_{s_1'}(h_1(t)) \circ (\mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t)) \circ (\mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \end{aligned} \quad (22)$$

Thus, equation (22) can be alternatively written as

$$\begin{aligned} & (s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1}) \\ &= (s_1'(h_1(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ [(s_1^i(h_1) \text{ and } s_2^i(h_2) \text{ and } \dots \text{ and } s_M^i(h_M)) \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1})] \\ &= \{s_1'(h_1(t)) \circ [s_1^i(h_1) \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1})]\} \cap \dots \cap \{s_M'(h_M(t)) \circ [s_M^i(h_M) \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1})]\} \end{aligned} \quad (23)$$

With equation (23), the inferred result in equation (21) can be written as

$$\begin{aligned} s_{M+1}'(h_{M+1}) &= \bigcup_{i=1}^K (s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1}) \\ &= \bigcup_{i=1}^K \{s_1'(h_1(t)) \circ [s_1^i(h_1) \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1})]\} \cap \dots \cap \{s_M'(h_M(t)) \circ [s_M^i(h_M) \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1})]\} \end{aligned} \quad (24)$$

The result of equation (24) provides a theoretical basis to explain graphically the inference process, which is shown in Fig. 3, if inputs are fuzzified. If the fuzzified inputs are fuzzy singletons whose membership degrees are one, i.e.,

$$s_i'(h_i(t)) = h_i(t) \quad (25)$$

for $i=1, 2, \dots, M$, then the expression in equation (22) can be written as

$$\begin{aligned} & \min[\mu_{s_1'}(h_1(t)) \circ (\mu_{s_1^i}(h_1) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1})), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t)) \circ (\mu_{s_M^i}(h_M) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1}))] \\ &= \min[1.0 \circ (\mu_{s_1^i}(h_1(t)) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1})), \dots, 1.0 \circ (\mu_{s_M^i}(h_M(t)) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1}))] \\ &= \min[(\mu_{s_1^i}(h_1(t)) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1})), \dots, (\mu_{s_M^i}(h_M(t)) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1}))] \\ &= \min[(\mu_{s_1^i}(h_1(t)), \dots, \mu_{s_M^i}(h_M(t))) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1})] \end{aligned} \quad (26)$$

Thus, with equation (26), the inferred result in equation (21) is simplified to

$$s_{M+1}'(h_{M+1}) = \bigcup_{i=1}^K \{ \bigcap [s_1^i(h_1(t)), \dots, s_M^i(h_M(t))] \rightarrow s_{M+1}^i(h_{M+1}) \} \quad (27)$$

Similarly, if $\mu_{s_1^i \times s_2^i \times \dots \times s_M^i} = \mu_{s_1^i} \times \mu_{s_2^i} \times \dots \times \mu_{s_M^i}$ is used, equations (23) is rewritten as

$$\begin{aligned} & (\mu_{s_1'}(h_1(t)), \mu_{s_2'}(h_2(t)), \dots, \mu_{s_M'}(h_M(t))) \circ [\mu_{s_1^i \times s_2^i \times \dots \times s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}] \\ &= [\mu_{s_1'}(h_1(t)) \circ (\mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \times \dots \times [\mu_{s_M'}(h_M(t)) \circ (\mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \end{aligned} \quad (28)$$

If the fuzzified inputs are fuzzy singletons defined by equation (25), equation (28) is simplified to

$$\begin{aligned} & [\mu_{s_1'}(h_1(t)) \circ (\mu_{s_1^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \times \dots \times [\mu_{s_M'}(h_M(t)) \circ (\mu_{s_M^i} \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i})] \\ &= [(\mu_{s_1^i}(h_1(t)) \times \dots \times \mu_{s_M^i}(h_M(t))) \rightarrow \mu_{s_{M+1}^i}(h_{M+1})] \end{aligned} \quad (29)$$

The results of equations (21) to (29) provide the theoretical basis to explain the fuzzy inference process for either fuzzified or nonfuzzified inputs. The selection of a fuzzy implication function for a fuzzy rule plays an essential role in the inferred result. Frequently, three types of fuzzy implication functions are used, and they are Mamdani's minimum operation rule, Larsen's product operation rule, and Takagi and Sugeno's operation rule [13].

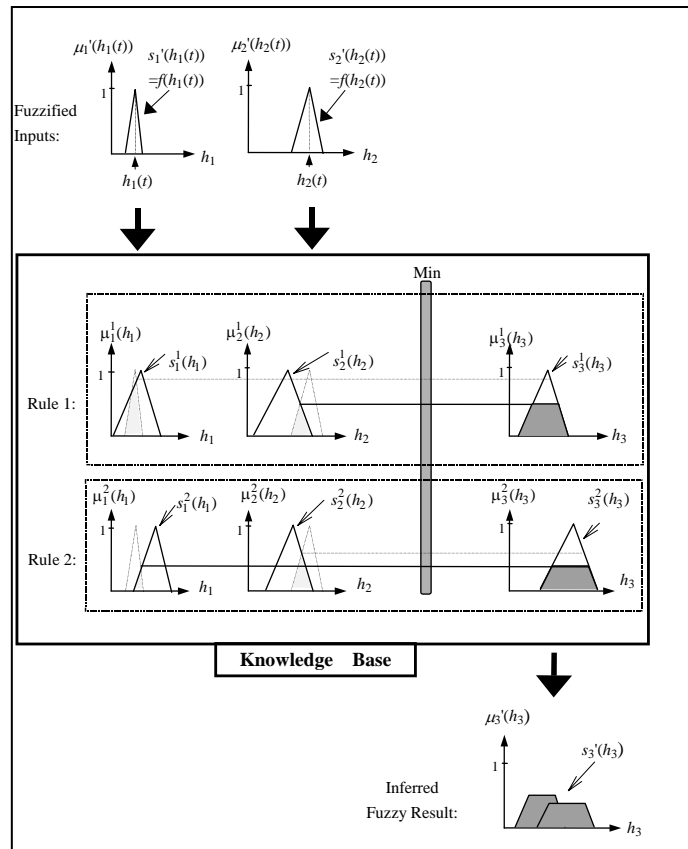


Fig. 3. Inference Process.

In Mamdani's method, either equation (24) is used for fuzzified inputs or equation (27) is used for nonfuzzified inputs. The minimum operation is used for the mapping from antecedents to consequents in fuzzy rules. Assume that there are K fuzzy rules with M inputs and one output in a rule base, i.e.

Rule i : IF (x_1 is $s_1^i(h_1)$) and...and (x_M is $s_M^i(h_M)$), THEN z is $s_{M+1}^i(h_{M+1})$

for $i=1,2,\dots,K$. The crisp inputs $h_1(t)$ and $h_2(t)$ at time t are usually measured by sensors. They are treated as fuzzy singletons unless measurement uncertainties are of concern. With the result of equation (26), the firing strength β^i of the i th fuzzy rule is defined as

$$\beta^i(t) = \min(\mu_1^i(h_1(t)), \mu_2^i(h_2(t)), \dots, \mu_M^i(h_M(t))) \quad (30)$$

for $i=1,2,\dots,K$. Thus, the individual inferred result from the i th rule, $(s_{M+1}^i(h_{M+1}))'$, is obtained with membership degree,

$$(\mu_{M+1}^i(h_{M+1})) = \min(\beta^i(t), \mu_{M+1}^i(h_{M+1})) \quad (31)$$

for all $h_{M+1} \in \Gamma_{M+1}$, which is the output universe of discourse. The inferred consequence $(s_{M+1})'$ is the union of the $(s_{M+1}^i(h_{M+1}))'$, $i=1,2,\dots,K$, denoted by

$$(s_{M+1})' = \bigcup_{i=1}^K [(s_{M+1}^i(h_{M+1}))'] \quad (32)$$

In Larsen's method, the product operation is used for the mapping from antecedents to consequents in fuzzy rules. The firing strength β^i of the i th rule is defined by equation (30). Thus, the inferred result of the i th rule, $(s_{M+1}^i(h_{M+1}))'$, is obtained with membership degree,

$$(\mu_{M+1}^i(h_{M+1})) = \beta^i(t) \times \mu_{M+1}^i(h_{M+1}) \quad (33)$$

for all $h_{M+1} \in \Gamma_{M+1}$, which is the output universe of discourse. The inferred consequence $(s_{M+1})'$ is expressed identically by equation (32).

In the Takagi and Sugeno method, the consequent of a fuzzy rule is a linear combination of crisp input data. Let us consider K fuzzy rules in a rule base with M inputs and one output, i.e.

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i(h_1) \text{ and...and } x_M \text{ is } s_M^i(h_M)) \text{ THEN } z(t) = a_0^i + a_1^i h_1(t) + \dots + a_M^i h_M(t) \quad (34)$$

for $i=1,2,\dots,K$, where the $h_j(t)$, $j=1,2,\dots,M$, are crisp inputs measured at time t , while h_j , $j=1,2,\dots,M$, are generic elements in the input universes of discourse, a_j^i , $j=0,1,\dots,M$, are the coefficients of the linear combination in the consequent of the i th rule.

If measurement uncertainties are not of concern, then the $h_j(t)$, $j=1,2,\dots,M$, are not fuzzified, i.e., they are treated as fuzzy singletons. Thus, with the result of equation (26), equation (34) can be simplified and it can be directly written as

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } s_1^i(h_1(t)) \text{ and...and } x_M \text{ is } s_M^i(h_M(t))) \text{ THEN } z(t) = a_0^i + a_1^i h_1(t) + \dots + a_M^i h_M(t) \quad (35)$$

The firing strength β^i of the i th rule is defined in equation (30). The inferred consequence, $z(t)$, is expressed as

$$z(t) = \frac{\sum_{i=1}^K \beta^i(t) \times (a_0^i + a_1^i h_1(t) + \dots + a_M^i h_M(t))}{\sum_{i=1}^K \beta^i(t)} \quad (36)$$

Because the consequents of the fuzzy rules are crisp, the inferred result does not require defuzzification.

V. Defuzzification

The purpose of defuzzification is to convert each fuzzy conclusion to numeric value. There are two functions for the defuzzification. The first is called scale mapping which transforms the range of values for output variables to their corresponding universes of discourse. The second is defuzzification, which is the opposite operation of fuzzification, to transform fuzzy information into nonfuzzy action. The defuzzified crisp value, which concludes the action to be taken by the fuzzy computing system, is not arbitrary. In some sense of probability distribution, it must range over possible values of the output variable according to the inferred fuzzy result, $s_{M+1}'(h_{M+1})$, given in equation (21), i.e.

$$s_{M+1}'(h_{M+1}) = (s_1'(h_1(t)), s_2'(h_2(t)), \dots, s_M'(h_M(t))) \circ \bigcup_{i=1}^K R^i(h_1, h_2, \dots, h_M, h_{M+1})$$

This fuzzy result is also viewed as a fuzzy set. An overview of defuzzification methods can be found in [14]. Five commonly used methods for defuzzification are the center of area (COA) method, the mean of maxima (MOM) method, the center of maxima (COM) method, the parameterized defuzzification (PD) method [12], and the center average (CA) method. The methods of COA and PD are specified below. Among the methods, the CA method has tiny computation, and yet preserves the spirit of defuzzification. The methods of COA and CA are specified below. The COA method generates a crisp action from the inferred fuzzy result, $s_{M+1}'(h_{M+1})$, by calculating the center of gravity of the possibility distribution of a response action. The crisp action, $z(t)$, is expressed as

$$z(t) = \frac{\int_{-\omega_L}^{\omega_R} \mu_{s_{M+1}'}(h_{M+1}) h_{M+1} d(h_{M+1})}{\int_{-\omega_L}^{\omega_R} \mu_{s_{M+1}'}(h_{M+1}) d(h_{M+1})} \tag{37}$$

where $-\omega_L$ and ω_R are the left and right limits of the output range. For the discrete case, where $s_{M+1}'(h_{M+1})$ is defined on a finite universal set, $\{h_{M+1, k}, k=1, 2, \dots, n\}$, the crisp action $z(t)$ is given by

$$z(t) = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{s_{M+1}'}(h_{M+1, k}) \times h_{M+1, k}}{\sum_{k=1}^n \mu_{s_{M+1}'}(h_{M+1, k})} \tag{38}$$

The closest value to $z(t)$ will be chosen when $z(t)$ is not equal to any value in the finite universal set. For the CA method, the defuzzified result is given as follows.

$$z(t) = \frac{\sum_{i=1}^K \beta^i(t) \times h_c^i}{\sum_{i=1}^K \beta^i(t)} \tag{39}$$

where $\beta^i(t)$ is the firing strength of the the i -th rule at time t , and h_c^i is the position of core center of the output fuzzy set of the i -th rule.

VI. Conclusion

Fuzzy inference computing (FIC) has been presented in the paper. FIC is an important branch of machine intelligence. The goal of machine intelligence is to create a system that can mimic the brain of human. The merit of fuzzy inference computing is that the expert knowledge can be incorporated into the computing system. This is an important step to enable the FIC system to emulate the process of human inference. A knowledge base is the core of an FIC system. Several factors are critical to construct an FIC system, and they are fuzzy partition of input and output universes, membership functions, completeness, size of the knowledge base, and type of fuzzy rules. The fuzzy inference computing provides good framework to machine intelligence for mimicking the human inference.

References

1. Zadeh, L.A.: Fuzzy sets. Information and Control. 8, pp. 338-353, 1965.
2. Zadeh, L.A.: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 3(1), pp. 28-44, 1973.
3. Holmblad, L.P. and Ostergaard, J.J.: Control of a cement kiln by fuzzy logic. In: Fuzzy Information and Decision Processes. Gupta, M.M. and E. Sanchez, eds., pp. 389-399, North-Holland, New York, 1982.
4. Sugeno, M., editor: Industrial Applications of Fuzzy Control. Elsevier Science Publishing Company, Inc., New York, New York, 1985.
5. Yen, J., Langari, R., and Zadeh, L.A., editors: Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. IEEE Press, New York, 1995.
6. Sugeno, M.: An introductory survey of fuzzy control. Information Sciences. 36, pp. 59-83, 1985.
7. Lee, C.C.: Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller - parts I, II. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 20(2), pp.404-435, March/April 1990.
8. Mamdani, E.H.: Advance in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies. 8(6), pp. 669-678, 1976.
9. Larsen, P.M.: Industrial applications of fuzzy logic control. International Journal of Man Machine Studies. 12(1), pp. 3-10, 1980.
10. Baldwin, J.F. and Pilsworth, B.W.: Axiomatic approach to implication for approximate reasoning with fuzzy logic. Fuzzy Sets and Systems. 3, pp. 193-219, 1980.
11. Mizumoto, M. and Zimmermann, H.: Comparison of fuzzy reasoning methods. Fuzzy Sets and Systems. 8, pp. 253-283, 1982.
12. Klir, G.J. and B. Yuan: Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Prentice Hall, 1995.
13. Takagi, T. and Sugeno, M.: Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 15(1), pp. 116-132, 1985.
14. Hellendoorn, H. and Thomas, C.: Defuzzification in fuzzy controllers. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 1(2), pp. 109-123, 1993.

AFM 單懸臂探針之全像動態量測與最佳化分析

Full Field Measurement and Optimization of Atomic Force Microscope Single-beam Probes

陳坤男¹籃天佑²

Kun-Nan Chen

Tain-You Lan

¹東南技術學院機械工程系副教授 ²華梵大學機電工程研究所碩士生

摘 要

本文研究針對原子力顯微鏡 (AFM) 單懸臂探針，進行動態行為實驗與分析，以全像式雷射顯微量測系統，量測原子力顯微鏡探針之全域動態特性及其整體的運動模式。文中並採用 ANSYS 有限元素分析軟體，以電腦輔助模擬分析探針臂之自然頻率與模態振型，經由模擬和實驗相互比較驗證，並利用 ANSYS 之最佳化程序，進行單懸臂探針之有限元素模型更新，修改探針之結構尺寸、材料參數，使探針的有限元素模型之分析模態參數值趨近於實驗數據。最後，本文並以更新後之有限元素模型計算探針之彈簧常數。藉由本研究最佳化結果及所計算之彈簧常數，能提供探針研發設計之參考及提高探針使用上的效率。

關鍵字：原子力顯微鏡探針、全像式雷射顯微量測系統、有限元素模型更新、探針彈簧常數

Abstract

This research has focused on the experimental and computational studies of the dynamic behaviors of single-beam cantilever probes used on atomic force microscopes. The finite element model updating of the cantilevers has also been investigated. A single-beam cantilever probe was first measured to extract their natural frequencies and mode shapes using the holographic micro-vibration measurement system. Then, finite element analyses were performed on the microstructure using the software package ANSYS and the results were correlated with the experiments. By calculating the frequency sensitivities with respect to geometrical or material properties of the probe, and minimizing the differences between the experimental and computational frequencies using this sensitivity information, the finite element model can be updated. Finally, the spring constant of the probe was also calculated using the updated finite element model.

Keywords: Atomic Force Microscope probe, holographic measurement system, finite element model updating, spring constant

壹、前言

原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscope, AFM) 由 Binnig 等 (Binnig, Quate and Gerber, 1986) 所發明。AFM 本身包含三個主要之組件：壓電掃描器 (piezoelectric scanner)、探針懸臂 (probe cantilever) 與探針頭 (tip)、以及雷射源與雷射向位偵檢器 (photodiode)。AFM 藉由極小的探針掃描樣品表面以形成影像，探針是由一支微米級懸臂桿，前端附著一個奈米級針尖所組成。原子力顯微鏡操作時，是由微探針以第一個共振頻率附近之振頻作試片之掃描量測，而為了防止量測試片受到外界振動的干擾，微探針均是以高共振頻率設計生產。對於試片材料特性的不同，則需要不同類型之微探針作量測處理，而且原子力顯微鏡探針臂的材質及尺寸對量測試片之敏感度及解析度均有重要的影響。對接觸式原子力顯微鏡而言，探針臂必須夠軟，才能夠偵測出極微小的受力，但是又必須具有高自然頻率，以防止外界干擾之不穩定現象的發生。因此探針臂之長度通常要短，以提高其共振頻率，而且探針臂之厚度要薄，以降低其彈簧常數。當微探針作掃描量測時，探針頭是隨著待測物體之表面輪廓上移動，為了滿足各種試片之量測需求，就必須提高微探針的共振頻率，以增加微探針之動態反應，但是微探針在高速量測狀態下，具有良好的解析度及準確度是相當重要的，故微探針的動態特性分析就需要做深入探討及研究。

Taylor (1992) 推導出壓電掃描器的軸向與徑向動態反應，並求出最低自然頻率。Hirse Korn 等 (Hirse Korn, Rabe and Arnold, 1997) 指出，探針頭的振動是因為探針懸臂振動及待測物與探針頭之接觸力而形成，導出由試片表面到 AFM 探針懸臂之振動傳遞關係。不同於單自由度系統，AFM 探針臂有多個自然頻率，而且每個自然頻率皆有其相對應之彈簧常數，Rast 等 (Rast, Wattering, Gysin and Meyer, 2000) 利用 fluctuation-dissipation 理論，計算出探針懸臂在自由振動時每一個特徵頻率的熱雜訊 (thermal noise)，並藉由此結論去決定是否需要分析第二個以上的模態，以增加探針之受力敏感度 (force sensitivity)。Wei 及 Turner (2001) 以 Hertz 接觸邊界條件，探討 AFM 懸臂的線性與非線性之振動反應，其結果顯示非線性度對每一模態的影響，與接觸面和懸臂的勁度 (stiffness) 有著密切的關係。El Rifai 與 Youcef-Toumi (2001) 以實驗探討兩種不同探針臂，一為矩形斷面的 silicon 單懸臂樑，另一種是以 silicon nitride 為材質的 V 形樑，兩種探針臂的頻率響應。AFM 的掃描圖像對比度，與探針模態對接觸面的敏感度有著密不可分的關係，而探針之每個模態對接觸面勁度變化的敏感度均不相同。勁度較低的探針臂之第一模態對硬質接觸面的敏感度會比較差，故掃描結果通常不甚理想，Turner 與 Wiehn (2001) 以假設均質、矩形等截面之懸臂樑為前提，用樑之運動方程式為起點，導出探針懸臂之撓曲模態 (flexural mode) 及扭轉模態 (torsional mode) 分別對接觸面之正向接觸勁度 (normal contact stiffness) 及側向勁度 (lateral stiffness) 之敏感度。文中範例結果顯示出，探針懸臂之第一模態除了對於柔軟材質有較高的敏感度外，其愈高的模態則對愈堅硬的表面會有更高的敏感度。

AFM 探針所感測之力由探針懸臂之撓度 (由雷射量測探針臂上之某一定點) 乘上彈簧常數而得 (虎克定律)，但製造廠商所提供之彈簧常數值通常會有誤差，探針臂製造商也因製造程序中因微懸臂厚度不容易控制、結構有缺陷、與其他幾何尺寸的變異等種種因素，故僅提供大公差的彈簧常數，因此，多位學者專家均提出數種不同方法量測或計算探針臂之彈簧常數。其中，Lévy 及 Maaloum (2002) 以實驗結果證明

了廠商提供數據有誤差，甚至同型號探針懸臂，其彈簧常數也有可能與廠商提供之數據不符合。

本研究將以將影像全像干涉術融入數位影像處理 (digital image processing) 與相移理論 (phase shifting) 之非接觸式、全域式與即時振動量測工具-全像式雷射顯微量測系統，進行原子力顯微鏡單懸臂探針之模態實驗，及了解探針懸臂之真實動態特性。並建立探針懸臂之有限元素模型，進行有限元素分析，以模態實驗所得之自然頻率，配合有限元素分析軟體進行模型更新，進而求得有限元素分析之自然頻率趨近於實驗結果。最後，本研究並以更新後之有限元素模型計算探針之彈簧常數。

貳、理論介紹

2-1 全像干涉術之數學模式

本文利用均時全像干涉術量測微懸臂樑、原子力顯微鏡單懸臂探針以及V型懸臂探針等之全場模態。在全像干涉術之架構中，雷射光是藉由分光鏡分成兩道光束，其中一束照射在待測物體上，此時CCD取像裝置之物鏡會聚集物體之散射光，並將具有相位的資訊、待測物體表面的資訊，以及斑點 (speckle) 影像等特性之物光成像於CCD感測器上。另外一光束則為參考光，是直接投射於CCD感測器上，參考光為一道均勻的光束進入CCD感測器上，其具有參考相位的資訊之特性。因此CCD裝置上該兩種光束產生的干涉光強度之像素座標函數，可由下列方程式來表示：

$$I_s(x, y) = I_r + I_o + 2\sqrt{I_r I_o} \cos(\phi_o - \phi_r) \quad (1)$$

其中 I_{obj} 是物光的強度， I_{ref} 是參考光的強度，而 $\alpha_{obj}, \alpha_{ref}$ 分別為物光及參考光之相位。當待測物體振動時之頻率，遠大於CCD取像頻率時，儲存記錄於CCD的干涉光強平均值可表示為：

$$\begin{aligned} I_{avg} &= \frac{1}{T} \int_0^T \{I_{obj} + I_{ref} + 2\sqrt{I_{obj} I_{ref}} \times \cos[(\alpha_{obj} - \alpha_{ref}) + \Delta\alpha] dt \\ &= I_{obj} + I_{ref} + 2\sqrt{I_{obj} I_{ref}} \times \cos(\alpha_{obj} - \alpha_{ref}) \times J_0\left(\frac{4\pi X}{\lambda}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 J_0 為零階第一類型的貝索函數 (Zero order Bessel function of the first kind)， λ 為波長， X 為振幅。

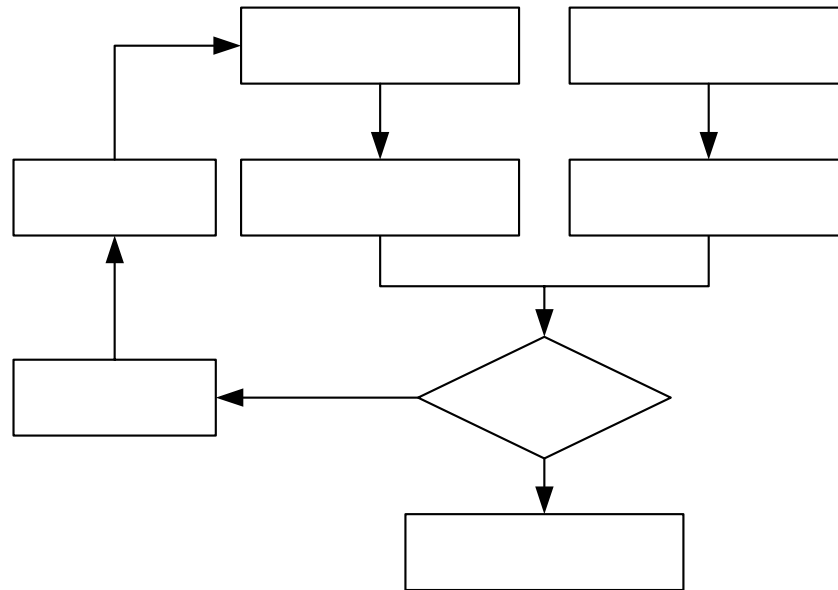
在影像全像干涉術的系統中，在物光或參考光的任一光束之光程中，通常會加入一組壓電驅動器，及裝置一反射鏡。將一組階梯式的電壓源施加於壓電驅動器，使其產生連續地四分之一波長等長之光程變化，依照此固定步驟，壓電驅動器每推進一步，則每一幅CCD影像之平均光強干涉分佈就會產生二分之一波長的相移。CCD所擷取之四組平均干涉光強分佈分別為 I_1, I_2, I_3 及 I_4 ，其相位角分別為 $\pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ ，則即時影像強度， I' 可表示為：

$$I' = (I_1 - I_3)^2 + (I_4 - I_2)^2 = (4\sqrt{I_{obj} I_{ref}})^2 J_0^2\left(\frac{4\pi X}{\lambda}\right) \quad (3)$$

2-2 最佳化與有限元素模型更新

結構之動態特性可以由結構之自然頻率、振動模態表述之。在分析結構動態特性的方法上，被最廣泛的運用為有限元素法 (Finite Element Method, FEM)；而在取得結構

動態特性資料的較常使用之方法，則是對結構作振動實驗，以獲得自然頻率數及模態之較正確的數據。本文就是結合FEM及振動實驗兩者，以有限元素法配合實驗所得結構之自然頻率及模態，用以改善或更新有限元素模型，則改善後之模型在有限元素模擬分析後，其結果能較準確的預測結構之動態特性，而且所預測結構之模態會具有較高的解析度，此套結合實驗與模擬程序就稱為有限元素模型更新。本研究採用一階最佳化法（first order optimization method）（ANSYS INC., 2002）進行最佳化計算，最後並依據模型更新後之參數，進行探針彈簧常數之計算，其流程圖如圖一所示。



圖一 有限元素模型更新流程圖

參、全像式量測實驗

3-1 實驗設備簡介

本研究使用之實驗設備為全像式雷射顯微量測系統（MicroMap 5005, OPTONOR）（圖二），其系統架構如圖三所示，其主要分為有四個次系統：雷射系統（氦氖雷射（10mW）及其驅動器、壓電式相位解調單元、壓電式步進解調單元、參考光與物光強度調整單元、光纖連接器）、光學顯微系統（同調光取像用CCD照相單元、點光源或光斑照明單元、壓電式相位步進單元、光纖）、電腦硬體單元（個人電腦、微振動分析軟體、影像擷取卡、類比-數位轉換器）、信號產生器。量測方法是採用均時全像干涉術（holographic interferometry），並利用兩個信號產生器分別輸入電壓給雷射系統與三軸可調式激振平台，以高頻激振平台激振微機電元件，經光學顯微系統截取影像，透過電腦軟體進行控制，由即時振動量測上獲得頻率1GHz以內具有相移的振幅條紋影像，與數值振動量測軟體上可繪出頻率50 kHz以下的全場模態圖，解析度高達1nm。

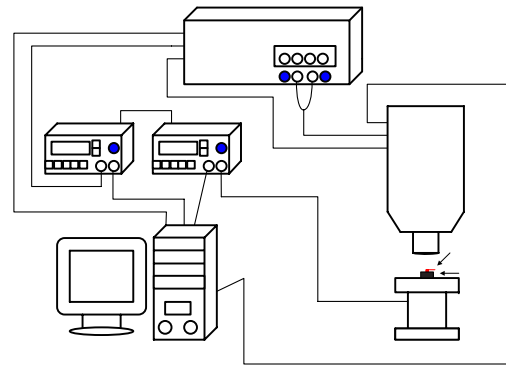
全像式雷射顯微量測系統採用兩個方法量測分析微結構的振動模態，一為即時量測模式，另一個為量化分析量測模式。即時量測模式是以即時模式量測受激振狀態下之待測物體，運用時間平均法之特性，以每一秒30張之全像干涉影展圖來顯示待測物振動的連續影像，接著以影像處理軟體把待測物體之振動振幅以等振幅條紋圖來呈

現。我們可由電腦螢幕上，觀測待測物體以某一個頻率激振狀態時之影像條紋變化，此變化就是代表待測物體振動時不同位置之位移變化量，藉此用以瞭解待測物之即時動態狀況。量化分析量測模式：由電腦影像擷取卡得到待測物以某一個頻率激振狀態時之影像信號，將其數位化後，利用相移技術，解出待測物體在激振狀態時之表面輪廓的連續相位圖、振幅圖、及變形圖，配合影像處理軟體重建出待測物體在激振狀態時之2D與3D之影像，藉以分析待測物之微振模態。量測得到之數據可再量化處理，假使利用8位元之影像擷取卡，待測物體振動時產生之相位可用256個灰階來代表，0個灰階就表示為零度之相位，255個灰階就表示為360度之相位。而振幅同樣也可以用256個灰階表示，0個灰階表示為零振幅，255個灰階代表峰至峰之振幅。

全像式雷射顯微量測系統之量測規格分述如下：待測物體表面光滑度或粗糙度不拘、待測物體尺寸大小由 $200\mu\text{m}\times 150\mu\text{m}$ 至 $3\text{mm}\times 3\text{mm}$ 均可量測、待測物體之振幅解析度可達1.0 nm、待測物體之靜變形解析度可達1.0 nm、待測物體之表面輪廓解析度亦可達1.0 nm、即時振動量測可測得1 GHz以內之待測物體頻率、及數值量化振動量測可測得50 kHz（廠商提供之約略值）以內之待測物體頻率。



圖二 全像式雷射顯微量測系統



圖三 全像式雷射顯微微振動系統架構

3-2 實驗步驟

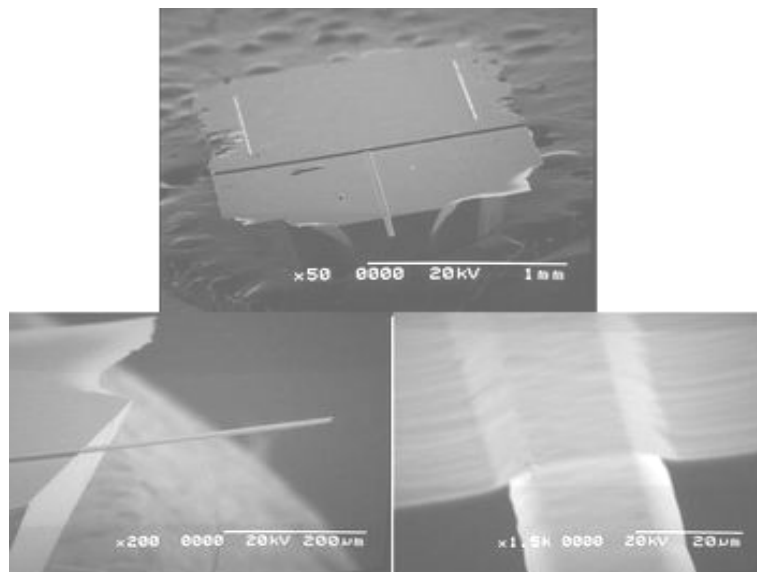
本文之模態實驗，以全像式雷射顯微量測系統，針對原子力顯微鏡之單懸臂探針作實驗量測。待測物體之全域動態量測實驗步驟，首先將待測物固定在三軸可調式激振平台之壓電陶瓷（PZT）上，並且選取適當之光學顯微系統接物鏡頭，以及調整適當之焦距，啟動兩台信號產生器之電源，藉由兩台信號產生器分別供給電壓於三軸可調式激振平台之PZT與雷射系統之PZT，三軸可調式激振平台會以高頻激振待測物體，此時開啟微振動分析量測軟體，由於本實驗系統有即時量測的功能，光學顯微系統中之CCD取像裝置會擷取待測物體振動變形之影像信號，並傳至影像擷取卡及配合微振動分析量測軟體，將擷取到的物體振動變形之影像信號，以干涉影像呈現於電腦螢幕上，在調整待測物體振動之頻率與振幅後，達到待測物體之共振頻率時，可在螢幕上觀察到待測物體振形之等振幅條紋的" slow motion "，此時可藉由觀察光斑條紋變化得知待測物體之振動情形。

3-3 原子力顯微鏡之單懸臂探針之全域動態量測

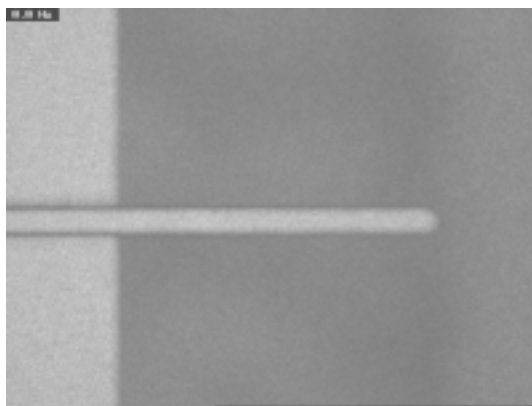
本節實驗量測之待測物體為國內工業研究院電子工業研究所提供的原子力顯微鏡

之單懸臂探針。此探針之探針臂具有梯形斷面如圖四所示，長度為 $400 \pm 10 \mu\text{m}$ ，寬度為 $30 \pm 5 \mu\text{m}$ ，厚度為 $4 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 。經由信號產生器傳送電壓給三軸可調式激振平台，使其成為驅動器，激振單懸臂探針之結構體，並由全像式雷射顯微量測系統作實驗量測，圖五所示為以全像式雷射顯微量測系統，擷取未激振前之原子力顯微鏡單懸臂探針之影像圖。配合微振動分析量測軟體的處理，調整激振頻率與振幅後，當達到待測物體的共振頻率時，即可得到單懸臂探針的第一個共振頻率與振形，其振幅干涉條紋影像如圖六所示，接著再將此量測結果經過影像處理及相位技術，可得第一個全場模態圖（30030 Hz）如圖七所示。接著再繼續調整激振單懸臂探針之頻率範圍值，尋找其它共振頻率及模態，結果發現單懸臂探針之第二個共振頻率為178430（Hz），但已超過軟體繪製全場模態圖50 kHz 以下之頻率限制，因此僅能以探針振形之振幅干涉條紋影像圖顯示之，其第二個共振模態如圖八所示。

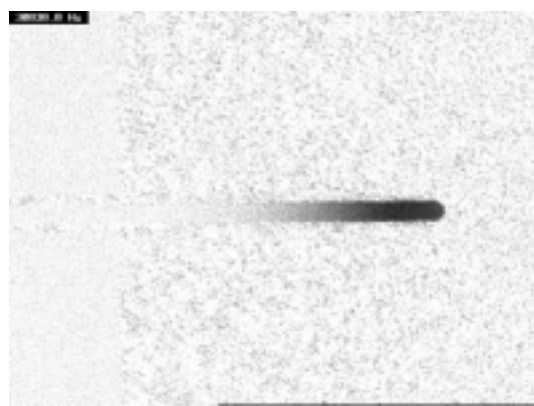
本次對原子力顯微鏡單懸臂探針的實驗分析，調整激動單懸臂探針之頻率範圍值為0 Hz 到100 kHz，在此頻率範圍搜尋探針的共振頻率，只找到了兩個共振頻率值，第一個頻率在50 kHz 以下可用全場模態圖呈現，而第二個頻率已超過50 kHz，因此其模態振形僅能以振幅干涉條紋影像圖呈現。



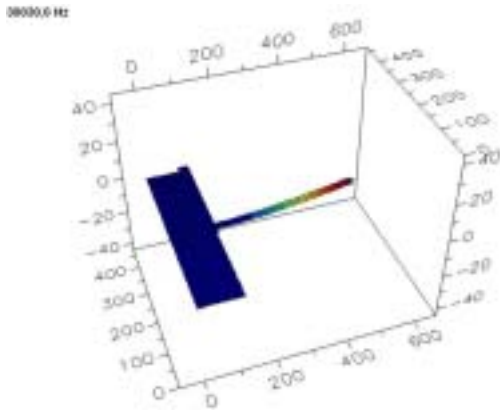
圖四 原子力顯微鏡單懸臂探針 SEM 影像



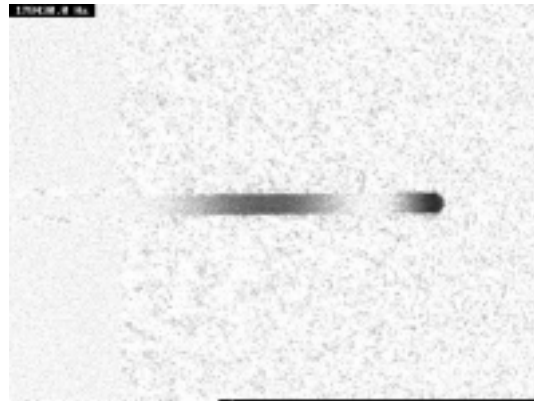
圖五 原子力顯微鏡單懸臂探針影像



圖六 原子力顯微鏡單懸臂探針之第一振形振幅干涉條紋圖



圖七 原子力顯微鏡單懸臂探針之第一全場模態(30030 Hz)



圖八 原子力顯微鏡單懸臂探針之第二振形振幅干涉條紋圖(178430 Hz)

肆、有限元素法模擬與最佳化分析

4-1 單懸臂探針之模態模擬分析

本節進行原子力顯微鏡單懸臂探針之有限元素模擬分析。原子力顯微鏡單懸臂探針之材質為矽 (silicon)，其探針懸臂之結構尺寸 (長度、寬度、厚度)、材料參數 (楊氏係數、浦松比、密度) 如表1所示：

表 1 原子力顯微鏡單懸臂探針之尺寸與材料係數表

<p>AFM 單懸臂探針，材料：矽(Si)</p>	尺寸	A		3500(μm)
		B		1700(μm)
		懸臂探針	長度(Length)	400(μm)
			寬度(Width)	30(μm)
厚度(Thickness)	4(μm)			
材料特性	楊氏係數(Young's modulus)		140(GPa)	
	浦松比(Poisson's ratio)		0.278	
	密度(Density)		2330(kg/m^3)	

本研究採用ANSYS電腦輔助分析套裝軟體，分析原子力顯微鏡單懸臂探針。首先利用SOLID 187三維結構元素來建立單懸臂探針之3D模型。SOLID 187三維結構元素擁有10個節點，且每個節點有3個自由度 (UX,UY,UZ)。建構好之單懸臂探針模型，其尺寸懸臂長為400 μm 、懸臂寬為30 μm 、懸臂厚度為4 μm ，在輸入材料參數(楊氏係數、浦松比、密度)後，以 Free Mesh法對微懸臂樑模型執行網格化如圖9a所示。前處理部份完成後，於求解部分以Block Lanczos法求解，取單懸臂探針之前五個模態，由於探針實際結構之探針臂與基座之間為完全固定，因此有限元素模擬之邊界條件設定，乃將探針模型末端進行固定夾持，侷限所有末端節點之UX,UY,UZ等3自由度，且不施任何外力，藉以進行原子力顯微鏡單懸臂探針之模態計算。

經過前處理器 (Preprocessor)、求解器 (Solver)、後處理器 (Postprocessor) 等三個求解過程後，可得到原子力顯微鏡單懸臂探針的前五個模態頻率，但實際量測上只得到兩個模態，為了能與實驗值作比較驗證比較，因此探針之模擬分析部份只取前兩個 bending modes，其模態與自然頻率值分別如圖9b、9c所示。

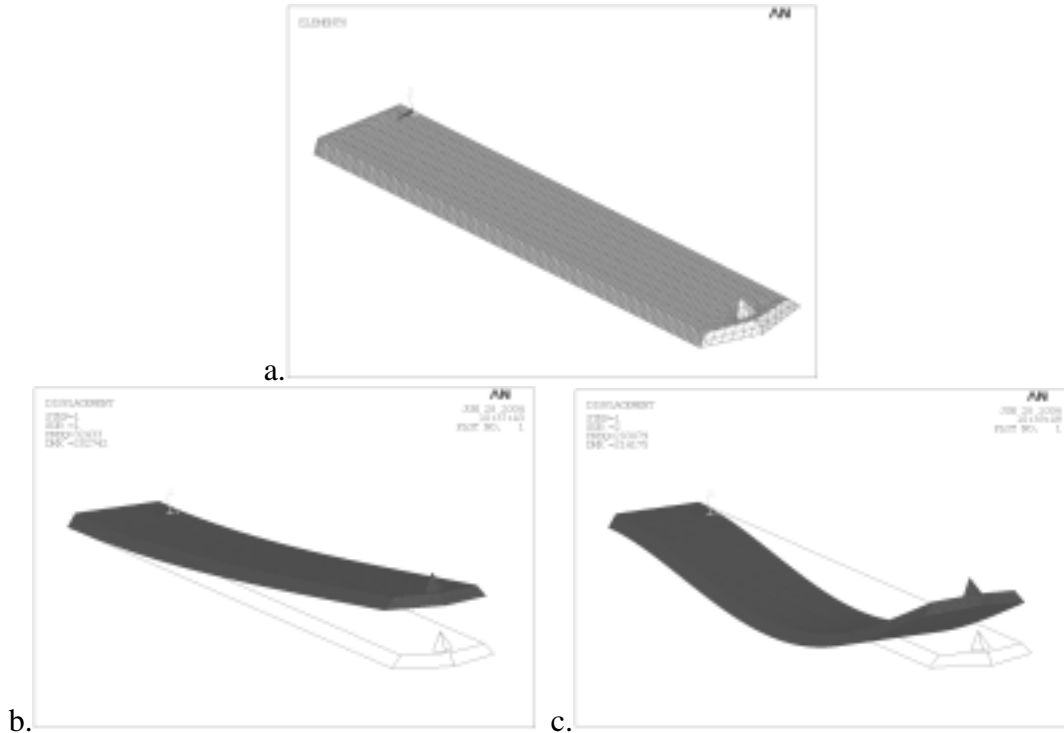


圖 9a 原子力顯微鏡單懸臂探針有限元素模型之網格圖；圖 9b 單懸臂探針之第一模態振型(32433 Hz)；圖 9c 單懸臂探針之第二模態振型(203079 Hz)

4-2 單懸臂探針之最佳化分析

為了能與實際量測值作結果分析比較，故採用前兩個 bending modes 之模態與相對應之自然頻率值，探針之模態實驗值與有限元素模擬值結果可由表2獲知，其實驗值與模擬值並不相同，有相當的誤差，約在8%至13%之間，而且也與廠商提供之數據有相當大的誤差。本文採用有限元素模型更新的方式，藉由模態實驗所獲得探針之共振頻率值，配合以 ANSYS 最佳化功能，針對探針懸臂之有限元素模型進行更新，找出其相對應之結構尺寸及材料參數，並設計出可模擬探針之最佳有限元素分析模型。

經由最佳化設計，在可行性 (feasibility) 的前提下，改變系統中某些參數，而設計出最佳的系統狀態。若要進行最佳化設計分析，必需先從定義最佳化設計問題開始。而所謂的最佳化設計就是滿足狀態變數等限制條件下，尋找到一組最好的、合理的設計變數，而使目標函數能獲得最小或最大之指標值的設計 X_i^* 。設計變數 X_i 、狀態變數 k_i 及目標函數 F 之定義如下：

$$X_i^L \leq X_i \leq X_i^U, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n1 \quad (4)$$

$$k_i^L \leq k_i \leq k_i^U, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n2 \quad (5)$$

$$F = \sum_{i=1}^m \left(\frac{f_i - \bar{f}_i}{\bar{f}_i} \right)^2 \quad (6)$$

上式中上標 U 及 L 分別代表上限及下限， n_1 為設計變數個數， n_2 為狀態變數個數， m 為探針的模態個數， f_i 為第 i 個模態頻率之模擬值， \bar{f}_i 為第 i 個模態頻率之實驗值，目標函數最小化即為最佳化值。

本研究以楊氏係數（材料參數）及樑之厚度（幾何參數）為設計變數，材料參數及尺寸參數之設計範圍均為原始值之 ± 10 以內；至於狀態變數，則是將每個自然頻率之誤差值均採 $\pm 5\%$ 之限制；目標函數是運用最小平方和法，讓目標函數值達到最小值，進而使數值方法求得之頻率趨近於實際量測頻率值。本研究是採用一階法對探針進行最佳化分析，找出一組合理的且趨近於實際量測之頻率值之設計變數，進而達成有效之最佳化設計，來進行有限元素模型更新。此最佳化程序，在進行到第五個迴圈後，便完全收斂，收斂後探針之頻率改善狀況亦可由表2得知，其有限元素模型更新後之參數為：厚度 $3.739 \mu\text{m}$ ，楊氏係數 135.51 GPa 。

表2 探針之有限元素模型更新前後之結果

模態	實驗值(Hz)	模擬值(Hz) (未更新)	誤差值(%)	模擬值(Hz) (更新後)	誤差值(%)
Mode 1	30030	32433	8.00	29270	-2.53
Mode 2	178430	203079	13.81	183280	2.72

4-3 單懸臂探針之彈簧係數

接著以有限元素模型更新後之參數，建立原子力顯微鏡單懸臂探針有限元素模型，並於單懸臂探針針尖之中心點，施一負載力，經由ANSYS分析軟體的計算後，求解出發生在單懸臂探針之施力點的變形量，再配合以虎克定律（Hooke's law） $F = kx$ ，其中 F 為探針懸臂所受之力， k 為懸臂之彈簧係數（spring constant）， x 為單懸臂探針針尖之中心點之撓度，求出單懸臂探針之彈簧係數。在ANSYS分析中，負載 $F = 0.2 \sim 0.2 * 10^{-6} \text{ N}$ ，每 10^{-1} 倍數作一次模擬，所獲得之力與撓度為線性關係，求得單懸臂探針之彈簧係數 $k = 0.79949 \text{ N/m}$ 。根據文獻（Tortonse, 1997）中所列，求解單懸臂探針之彈簧係數之簡化公式為： $k = (E * t^3 * w) / (4 * L^3)$ （ E 為單懸臂探針之楊氏係數， t 為探針厚度， w 為探針寬度， L 為探針長度），所獲得之彈簧係數 $k = 0.83009 \text{ N/m}$ 。以上兩種方法所求出單懸臂探針之彈簧係數，及原子力顯微鏡單懸臂探針製作廠商所提供之彈簧係數，如表3所示：

表3 原子力顯微鏡單懸臂探針之彈簧係數比較表

彈簧係數， k (N/m)		
ANSYS求解	簡化公式求解	廠商提供
0.79949	0.83009	1.1

五、結果與討論

本研究藉由ANSYS中最佳化分析程序的處理，針對影響頻率變化較深的參數，進行有限元素模型更新。探針在模型更新分析後，從將誤差由原先的8%至13%，可改善下降到可容許的3%以下。造成實驗值與理論值的誤差原因為下：製造商因製造程序中探針厚度不易控制、或結構缺陷、或表面粗糙度之影響探針的機械性質、或其他幾何尺寸的變異等種種因素，以上這些原因都將造成數值解與實驗值的差異，經由調整有限元素模型輸入參數，能合理且有效的減少誤差。最後，以有限元素模型更新後之參數，建立有限元素模型，計算探針之彈簧常數，所得結果 ($k=0.79949 \text{ N/m}$) 與公式求解相近 ($k=0.83009 \text{ N/m}$)，但與廠商提供之概略值 ($k=1.1 \text{ N/m}$) 有較大的出入，因ANSYS解是以更新後之有限元素模型為基礎，故以ANSYS分析而得之彈簧常數應有較高的可信度。

誌 謝

本研究承蒙國科會給予經費補助，計畫編號：NSC 92-2212-E-236-005。並承蒙工業技術研究院電子工業研究所微系統技術組提供原子力顯微鏡探針，特此致謝。

參考文獻

1. ANSYS INC. (2002), ANSYS Operations Guide, Release 7.0.
2. Binnig, G. and Quate, F. (1986), Atomic force microscope, Phys. Rev. Lett. 56, pp. 930-933.
3. El Rifai, Osamah M. and Youcef-Toumi, K. (2001), In-contact dynamics of atomic force microscopes, Proceedings of International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 1325-1328.
4. Hirsekorn, S., Rabe, U. and Arnold, W. (1997), Theoretical description of the transfer of vibrations from a sample to the cantilever of an atomic force microscope, Nanotechnology 8, pp. 57-66.
5. Lévy, R. and Maaloum, M. (2002), Measuring the spring constant of atomic force microscope cantilevers: thermal fluctuations and other methods, Nanotechnology 13, pp. 33-37.
6. Rast, S., Wattering, C., Gysin, U. and Meyer, E. (2000), The noise of cantilevers, Nanotechnology 11, pp. 169-172.
7. Taylor, M. E. (1992), Dynamics of piezoelectric tube scanners for scanning probe microscopy, Reg. Sci. Instrum. 64(1), pp. 154-158.
8. Tortonse, M. (1997), Cantilever and tips for atomic force microscopy, IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp.28-33.
9. Turner, J. A. and Wiehn, J. S. (2001), Sensitivity of flexural and torsional vibration modes of atomic force microscope cantilevers to surface stiffness variations, Nanotechnology12, pp. 322-330.
10. Wei, B. and Turner, J. A. (2001), Nonlinear vibrations of atomic force microscope probes in hertzian contact, Review of Progressing Quantitative Nondestructive Evaluation 20, pp. 1658-1665.

利用快速模具製作3C 產品相關零件技術探討

The Research on 3C Product Parts Manufactured by Rapid Tooling Technique

史 雷

Lei Shih

東南技術學院機械工程系講師

摘 要

以目前3C 產業情況來看，其產品大都朝向輕量化、質感化、平價化等特性來提昇消費者的購買意願。因此要符合以上條件，就必須要有完善的產品設計與市場評估，另外就是要降低生產的成本。而在降底生產成本中，模具的開發與其相關製程亦是關鍵之一，如何選擇適當的模具勢必是重要的一環。因此若能採用快速模具技術，將可在更短時間內做出樣品以供測試，亦或進行中、小量化的生產。

本研究即是利用矽膠模具來翻製一3C 感測元件作為載具，並探討其相關製作步驟與方法。經實驗後獲得以下幾點結論：

- 一、製作快速模具時需要注意其灌模時間、割模技巧、注料比例等細節，方能製作出成功的模具。
- 二、製作薄殼件類型的注型品時，參考本實驗求出之最佳化參數來製作，應可做出較佳的成品。
- 三、目前3C 產業產品，多趨向於小量且細緻化發展，因此使用快速模具來製作是非常合宜的，且較符合經濟成本。

關鍵詞：快速模具、矽膠模具

Abstract

In the 3C industries, the demands of light-weight, high quality and low cost of products are needed to attract the purchasing desire of consumers. The completed product designing, market evaluation and cost-down of production are required to fit these demands. The development of mold and related manufacturing procedures are critical to decrease the cost of production. How to select a suitable mold is becoming more and more important.

The rapid tooling technique can produce testing pieces within short time. It can be also used to mass production in small or medium scale. In this study, the silicon mold were employed to produce a 3C sensor device, related manufacturing procedures and methods were

also investigated. The following conclusion are addressed :

1. The molding time, mold cutting technique and ratio of materials injection of rapid tooling must be well taken care of to produce a mold successfully.
2. The optimal parameters achieved in this study should be applied to make the thin shell molds.
3. Since the 3C products are becoming small quantities and more precise in shapes, the rapid tooling technique is suitable to produce the silicon mold economically.

Keywords : Rapid Tooling, Silicon Mold

一、前言

快速模具主要運作方式是利用快速原型機製作出來的原型件或以 CNC 工具機切削出的模型來翻製模具。運用此種技術可迅速製作出樣品或中、小量生產所需之模具，其整體開發時間至少可以縮短為傳統製模的一半以上，相對成本亦大為減少許多，因此非常適合目前產品樣式多變且量小的產業來使用。

快速模具簡單來分類的話，可以分為軟式模（Soft Tooling）與硬式模（Hard Tooling）兩類。

1. 軟式模：矽膠模（Silicone RTV Mold）、鋁填充樹脂模（Aluminum Filled Epoxy Mold）、ACES 蠟模（ACES Dies For Wax Pattern）。如圖一所示。
 2. 硬式模：Keltool Tooling、快速精密鑄造模(Quickcast Tooling)、電鍍鎳模（Nickel Electroplating）、噴塗鎳模（Spray Nickel Tooling）。如圖二所示。
- 本次所製作的即是軟式模中的矽膠模，其產量壽命大約為30個左右。

二、理論

矽膠模具（Silicone RTV Mold）製作方式是先將所選定的母件以懸空的方式固定之，並在其外圍適當距離處圍上模框，然後將調製好的矽膠計量並進行第一次的真空脫泡，脫泡後即可倒入模框中，再次進行真空脫泡，完成後以自然蔭乾的方式等待矽膠模硬化即可割模並取出母件。至此矽膠模已大致完成，只需再依模型形狀及大小製作氣孔即可使用。

矽膠模可以澆注的材料有 ABS、PP、蠟、環氧樹脂...等，亦或是低熔點的金屬，如需製作其它高強度、耐高溫等模具時，則必須製作金屬的矽膠模具。

在此種製程中，為了要達到良好精度，因此在母件的選擇上，應盡量避免為油土類、橡膠類、中空件等易於在抽真空過程中變形的物件。而這些材料也並不是說完全都不能做，只是做的方式有些許的不同，且精度也較容易受到影響。另外如要使用快速原型件來作為母件，則必須要有極佳的表面光度與尺寸精度，此外尚需注意相關的收縮率，如此才能做出準確的模具與注型件。

三、實驗方法

3.1 參數設定

本研究所選用的參數設定是依據操作人員多次實驗紀錄與相關技術手冊的輔助，並利用田口方法訂定出最佳化實驗參數的範圍，其較重要者有以下幾項：

- (1) 矽膠比例：矽膠主劑與硬化劑的比例為10：1。
- (2) 真空脫泡：須先後經過兩次將矽膠內的空氣抽出，以減少氣孔並增加矽膠模具的精密度。
- (3) 注料比例：本實驗用的注型材料是 Axson UP-4280，主劑與硬化劑比例為1:2。
- (4) 調合時間：本例是設為20~35(sec)。
- (5) 固化烘培溫度與時間：本例是設為65~85(°C)，時間45~60(min)。

3.2 矽膠模具製作

本研究選定之載具，其特徵屬薄殼類且具有貫穿孔，如圖三所示。因此在製作時需先將所有的貫穿孔以膠帶貼補起來，作為其隔離的面，如此在將來矽膠模製作完成後，才可以順利分模並取出母件。

再來就是製作外框，並將母件固定之。而製作外框的主要原則就是以母件的長(L)、寬(W)、高(H)兩邊各加20 mm，並在上方多加50 mm，以防止在抽真空(1atm=4×10⁻¹torr)的過程中，矽膠會因此而溢出外框，如圖四所示。

矽膠計量的方式則為 $[(L+40) \times (W+40) \times (H+40) / 10^6] \times 1.12$ (矽膠密度) = V kg

；矽膠(w_1)與硬化劑(w_2)的比例為10：1。以本例來說就是 $[(72+40) \times (17+40) \times (15+40) / 10^6] \times 1.12 \cong 0.5\text{kg}$ ； $w_1:w_2 = 500(\text{g}):50(\text{g})$ 。

製作時先將矽膠混合攪拌均勻後，放入真空注型機中，進行第一次抽真空，將裡面的空氣抽掉部分，所以大約抽5分鐘即可，之後再將其倒入模框中，倒入的過程必須小心，避免將懸空固定之母樣移位。都完成後則需進行第二次的抽真空，約需15~20分鐘，並視實際情形來增減時間，使矽膠模具能夠密實而無空氣，取出矽膠模後，以室溫蔭乾的方式使其固化即可。

矽膠固化後即可進行割模，以取出母件。割模時以曲線方式來割模為較佳的方式，如此才能在將來合模時，達到較佳的固定位置，如圖五所示。割模完成後，取出母件並做氣孔，而氣孔製作時可考慮以最高點、獨立高點、最遠點等為主要原則，至此矽膠模部份已完成。如圖六所示。

3.3 注型品製作

再來就是注型件的澆注了，進行澆注時需先將矽膠模的內模部分噴上適量的離型劑，以便完成後的注型件能夠容易脫模，並具有保護模具的功能。上述步驟完成後，即利用膠帶將矽膠模密封捆住，並裝上流道管後放入真空注型機中準備進行澆注，如圖七所示。此時並要準備所需的注料，本例是使用 Axson UP-4280為主要的注型材料，其相關性質如附表1~3所示。

注料所用主劑(A)與硬化劑(B)的比例為1：2，本例中因為所選母樣為小於30g 的物件，因此需以30g 計算，故 A:B=20(g):10(g)。此過程中，如果硬化劑過多則會造成在注料時尚未完成即已固化，反之則注型件不會硬化或造成變形，如圖八所示。放入真空注型機後，即可開始進行製作。首先抽真空至一大氣壓後，再將硬化劑倒入主劑並攪拌調合約30秒後即可澆注。澆注進行時亦須配合兩次放氣的時機，使成品能夠更趨

正確，經試驗得知當停止抽真空後約10秒實施第一次放氣，而兩段放氣間隔時間約7~8秒最易成功。完成後放入熱風固化爐以65°C~70°C來烘乾，大約45~50分即可取件。之後並利用2.5D 影像式工具顯微鏡來做尺寸的檢驗，確認合於精度的要求。如圖九所示。而其整體流程圖如圖十所示。

以上經實驗證明後，假設調合攪拌時間小於30秒，則可能會有攪拌不均勻的現象發生，也就是說有可能會造成注型件的不完全固化。而在澆注完成後的放氣階段，假設沒有配合完善，則可能造成注型件會有氣孔的產生，如圖十一所示。另外就是注型完成後，需放入熱風固化爐以65~70(°C)/45(min)來烘乾，這是最佳化的溫度與時間，在此範圍內能夠減短所需固化時間並維持一定的精度。

四、結論

經過多次的研究試驗後，證明利用快速模具來翻製薄殼類成品是可行的，且其尺寸精度部分也可保持在容許公差範圍內。而在整個實驗製作過程中，我們亦得到了一些注型最佳化的參數，總結有以下幾點：

1. 當兩液調合攪拌時，其最佳化時間為30秒。過多時間會造成提早硬化，反之則可能調和不均勻。
2. 注料灌入模穴需配合適時的放氣行為，從停抽真空並開始放氣之最佳化時間為10秒，第一段放氣與第二段放氣間隔時間大約為7~8秒，方能使氣泡產生現象減到最低。
3. 固化烘培時間為65°C~70°C/45min 時，為最佳固化時間，精度亦最為標準。

以現今產品推銷方式來看，每年3C 產業展覽活動都非常多，相對的所需展示樣品亦非常多樣，但這些展示樣品其數量卻都不需太多，因此開一副傳統模具是非常不合乎經濟成本的。此時若能採用快速模具來開發製作，即能在最短的工時內與最少的成本支出中獲得品質完善的成品。

而這項技術未來也亦可應用在其他的生產領域中，例如：微機電產品、生物科技……等。

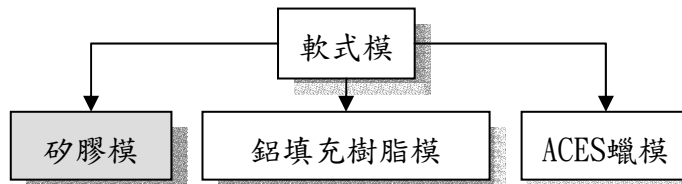
參考文獻

1. 郭啟全、江明郎，運用二次翻製法於薄殼件快速模具之研究與分析，第二十屆機械工程研討會，中華民國九十二年十二月五~六日，PP.1507~1511。
2. 郭啟全、快速模具技術應用實例，MM 機械技術雜誌，中華民國八十九年七月，PP.196~207。
3. C.K.Chen, K.H.Hong, S.L.Ho, "Rapid Tooling Technology Part 1. A comparative Study", Int.Journal of Advanced Manufacturing Technology 15, 1999, P.605~p.608。
4. 李麗美，物理實驗(上冊)，東華圖書有限公司，1997/8，PP.05。
5. 真空注型技術訓練手冊，飛菱實業股份有限公司。
6. 蘇聖財，新式快速模具之研發，碩士論文，國立台灣大學機械工程系，2001/05。
7. 游文鼎，翻制式快速模具之研究，碩士論文，國立台灣大學機械工程系，2000/06。
8. 盧秉恒、唐一平、王平，RP 技術與快速模具製造，陝西科學技術出版社，1998/3。

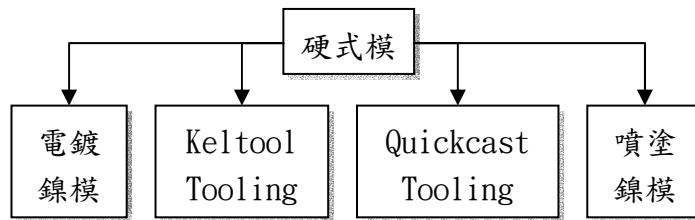
謝 誌

感謝飛菱公司張總經理啟德熱心提供相關技術指導及本校自動化系93級校友林忠信同學共同參與製作。

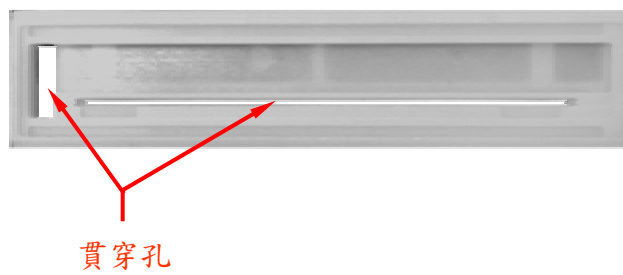
圖、表



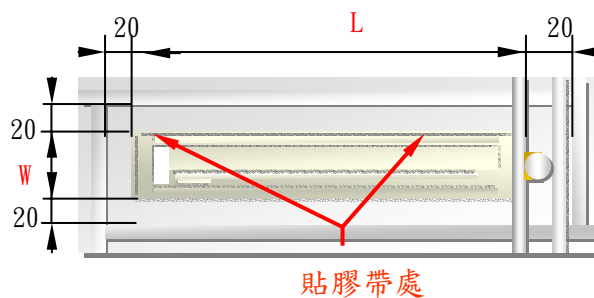
圖一 軟式模的類型



圖二 硬式模的類型



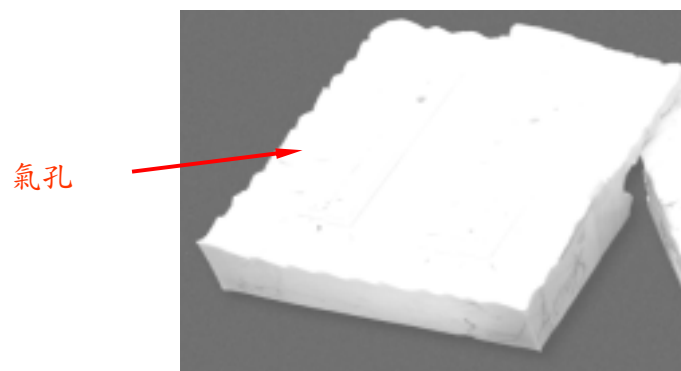
圖三 3C 感測元件(載具)



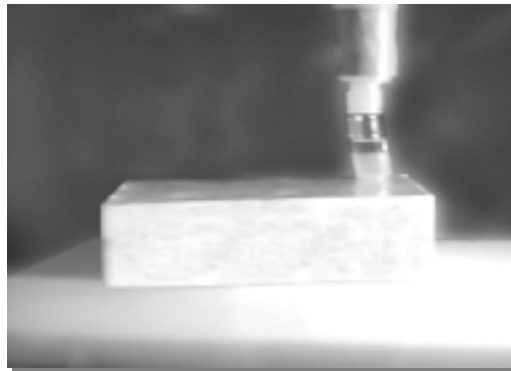
圖四 模框的製作



圖五 曲線割模



圖六 氣孔的製作



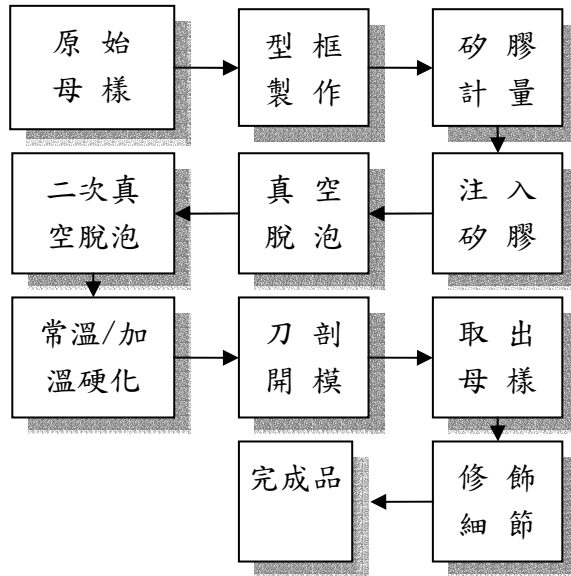
圖七 準備澆注



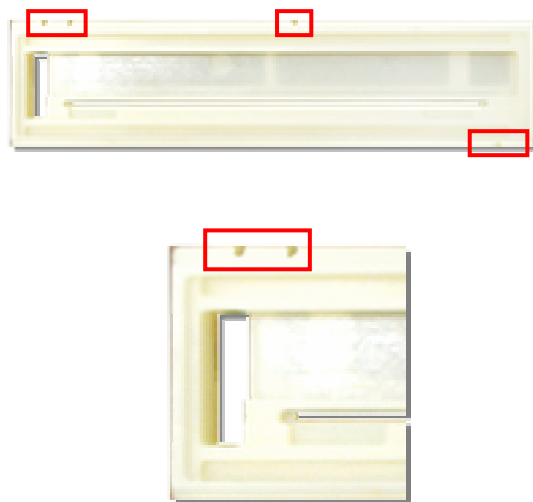
圖八 變形的注型件



圖九 注塑件完成品



圖十 快速模具整體流程圖



圖十一 產生氣孔的注塑件

表1 UP-4280A 相關性質

塑料名稱	UP-4280A (主劑)	
特 徵	注型用硬質氨基鉀酸酯樹脂 (相似於 ABS) 真空注型用硬質ウレタン樹脂 (ABS タイプ)	
外 觀	淡黃色透明液狀	
成 份	變性聚醯胺 変性ポリオール	
黏 度	750~800MPa·s	23 °C
比 重	1.05~1.07	23 °C

表2 UP-4280B 相關性質

塑料名稱	UP-4280B (主劑)	
特 徵	注型用硬質氨基鉀酸酯樹脂 (相似於 ABS) 真空注型用硬質ウレタン樹脂 (ABS タイプ)	
外 觀	淡黃色透明液狀	
成 份	變性 M. D. I 変性 M. D. I	
黏 度	180~200mPa·s	23 °C
比 重	1.15~1.17	23 °C

表3 UP-4280A&B 混合後相關性質

物 性	單位	特性值
拉伸強度	MPa	83~86
伸縮率	%	10~14
曲面強度	MPa	90~100
曲面彈性率	MPa	2100~2200
硬化收縮率	%	0.25
衝擊強度	J/m	100~110
熱變形溫度	°C	93

核能電廠重要設備承受地震載荷的 驗證審查導則研究 - 分析法

The Guidelines of Seismic Qualification of Main Equipment for Nuclear Power Plants - Analysis Method

鍾興遼

Hsing-Liao Chung

機械工程系助理教授

摘 要

本文係原委會核能研究所「核能電廠電氣設備承受地震負載之結構安全評估」計畫的第一階段工作-核能電廠重要設備承受地震載荷的驗證審查導則研究的部分成果報告。根據核能法規的要求，CLASS 1E 電氣設備及其相關介面功能，必須在其設計與運轉期間符合技術規範。核能電廠電氣設備的耐震驗證審查，必須能展現該設備在承受一次安全停機地震負載期間與之後的安全功能確保。此外，該電氣設備在承受安全停機地震 SSE 之前，必須能承受數次的運轉基準地震 OBE 效應。電氣設備的耐震驗證審查最常使用到的方法，可歸納為四個大類：分析法、測試法、綜合法及經驗法。本文謹論述其中分析法部分的研究成果，並闡述動力分析法與靜力係數分析法的詳細步驟與該注意的細節。

關鍵詞：核能電廠、耐震驗證、安全停機地震(SSE)、運轉基準地震(OBE)

壹、前言

在台灣百年來首見的921大地震之後，不少民眾憂心核能電廠的耐震設計是否經得起如此強震。實際上，核能電廠廠址的挑選必須經過審慎的評估，而選擇時所應考慮的因素非常多，包括地理位置、人口分佈、鄰近工業與軍事設施、交通、地質狀況、氣象、水文、地震...等，對核電廠安全有所影響的地理特徵因素，以及配合運轉所需之熱移除能力。其中最重要的考量包括人口分佈與地質狀況。在人口分佈之考量方面，核子反應器設施管制法明定核能電廠選擇廠址時，地點和兩萬五千人以上人口集居地區的距離，至少應為低密度人口區半徑一又三分之一倍【1,2】。低密度人口區指緊接禁制區之地區，可確保在其邊界上之人於核子事故發生後，所接受之輻射劑量小

於主管機關規定之限值者。低密度人口區，得供民眾居住，但新設學校、工廠、監獄、醫院、長期照護機構、老人養護及安養機構，應參照防護應變計畫報主管機關審核通過。

在地質之考量方面，台灣位處於環太平洋地震帶，地質活動頻繁，因此，我國核能電廠對地震安全有非常嚴格的要求。而防範地震危害的最根本做法，就是將廠址設在低地震危害度的區域，核能電廠在廠址評估的初期，便必須調查半徑320公里範圍內的詳細地震資料，包括地文、地形、地層、岩性、地構與地震等資料之調查，以確定廠址所在的位置有良好的地質結構，且在八公里內無長度大於300公尺的活動斷層，以避免在廠址鄰近發生強烈地震，而對核能電廠安全構成威脅。依照核能法規【1,2】，凡是斷層在過去35,000年以內曾在地表或地表附近至少發生過一次移動者，均屬於活動斷層。此外，核能電廠廠房基礎均必須建造在岩盤上。岩盤對於地震波有抑減作用，地震波傳到岩盤時，強度將衰減為1/3，對於核能電廠地震安全有更進一步保障。（以核四廠為例，廠房基礎即建在地下26公尺的岩盤上），故可進一步確保核能電廠地震安全。氣象、水文的調查目的是在了解廠址過去最大的風力及最嚴重之淹水狀況，做為電廠設計的參考。在熱移除能力之考量方面，為了將核能電廠產生的熱順利移除，核能電廠一般選擇位於海邊、湖邊、河邊。如無法靠近水邊，則需興建大型冷卻水塔。

台灣四座核能電廠皆以電廠附近地區的地震及地質資料，推算核能電廠廠址附近可能發生的最大地震，用來制訂各核能電廠「安全停機地震」(Safe Shutdown Earthquake, SSE)標準，以便在發生地震時，電廠的耐震設計及備用系統都能順利的啟動，使電廠安全的停機，並藉以訂定「運轉基準地震」(Operating Basis Earthquake, OBE)準則。台灣各核能電廠安全停機及運轉基準地震的設計基準如下：

核電廠 設計準則	核一廠	核二廠	核三廠	核四廠
SSE 基準	0.3G	0.4G	0.4G	0.4G
OBE 基準	0.15G	0.20G	0.20G	0.20G

本計畫係針對核能電廠之電氣設備，在承受地震負載下之結構作分析及研究，在模擬地震之平台作電氣承受橫向或縱向負載之測試，對於電氣結構之影響，作結構分析及探討，並對於地震效果對於電氣壽命及操作性能之影響作綜合性分析。本計畫第一階段，乃針對核能電廠電氣設備承受地震載荷資格測試的導則，進行研究。第二階段則針對核能電廠內屬於耐震一級的電纜托架系統(Cable Tray System)，進行地震負荷作用下之結構分析與安全評估。

根據核能法規的要求，CLASS 1E 電氣設備及其相關介面必須在其設計與運轉期間符合技術規範。這一目標的達成需透過一連串計畫的執行，例如：設計管制、驗證審查、生產品質管制、安裝、維修、週期測試與監測等活動的進行方能達成。其中，驗證審查(Qualification)的主要角色，即在確保 CLASS 1E 電氣設備在假定的操作條件下，能夠安全的運作而不致於有導致一般失效原因的失效機制產生。

電氣設備的耐震驗證審查(Seismic Qualification)，必須能確保該設備在承受一次安全停機地震 SSE 負載期間與之後的安全功能。此外，該電氣設備在承受 SSE 之前，必須能承受數次的運轉基準地震 OBE 效應。電氣設備的耐震驗證審查最常使用到的方法，可歸納如以下四個大類：

- 一、分析法-以分析的方法預測設備在地震負載下的效能。
- 二、測試法-以試驗的方法測試設備在模擬地震條件下的功能。
- 三、綜合法-以綜合分析與測試的方法，驗證電氣設備是否通過地震負載的考驗。
- 四、經驗法-引用已驗證過的功能與物理特性相近的設備之經驗數據。

以上所述的幾個方法，皆可用來驗證電氣設備是否能通過耐震驗證審查，而方法的抉擇，應根據電氣設備構型的型式、尺寸、形狀、與複雜程度，安全性能，可以操作性或結構整體性單獨做評估，以及結論的可靠度等因素進行考量。本計畫的第一階段，即針對電氣設備的耐震驗證審查導則(Guidelines)進行彙整與研究。本文因篇幅關係，僅針對其中之分析法的研究成果提出報告。

貳、研究方法及步驟

對核能電廠電氣設備耐震驗證審查，應研究建立一套導則，供日後審查核能電廠電氣設備的資格時的參考依據。研究方式的進行，係透過對美國電子電機學會所制定的核能電廠分類 1E 級電氣設備、美國國家標準規範及相關文獻的探討，彙整出一套電氣設備耐震驗證審查導則。核能電廠分類 1E 級電氣設備，係指核能電廠電氣設備之安全控管與監測分類，這些設備在以下情況發生時相當重要：反應器緊急停機、圍堵體隔離、緊急反應器爐心冷卻、殘熱移除、反應器建築體熱移除、以及防止輻射物質釋放到週遭環境等。

參考文獻【3】；“ANSI/IEEE Std 323-1983”，係美國電子電機學會所制定對於核能電廠分類1E 級電氣系統設備審查(Equipment Qualification)的標準。此一標準詳細的描述核能電廠分類1E 級之電氣設備及其介面的基本要求(Requirements)，這些要求含括設備審查的原理、程序、與方法。當一核能電廠分類1E 級電氣設備能滿足這些審查的要求，將可確保電氣設備在以下狀況下的設計適切性：(1).為了安全功能效能之正常運作(2).不正常運作(3).設計基礎事件(4).後設計基礎事件(5).與運轉中測試狀況。美國電子電機學會制定此一標準的目的，在識別電廠分類1E 級電氣設備及其介面的審查需求，當它們失效時所可能造成電廠分類1E 級電氣設備效能的不利影響。此一標準中所記載的設備審查方法，將被用來進行核能電廠設備審查之依循，而當設備有所修改時，此一設備審查方法的延伸方法與修訂方法，也將被用來審查該修改後之電氣設備資格。

參考文獻【4】；“ANSI/IEEE Std 308-1980”，係美國電子電機學會所制定對於核能電廠分類1E 級電氣系統設備的標準準則(Criteria)。其內容包括：主要設計準則、補充設計準則、監測與測試需求、多單元電廠之考量。此一標準準則適用於以下單一單元或多單元核能電廠機組中的分類1E 級電氣設備：(1).交流電力系統 (2).直流電力系統 (3).重要儀具與控制電力系統。此一標準也包含對非分類1E 級介面，例如：主要電力供應設備(Preferred Power Supply)的要求。美國電子電機學會制定此一標準的目的，在於提供分類1E 級電氣設備的設計準則與設計特點，使得該分類1E 級電氣系統能滿足適當設計基礎事件狀況下的功能要求。另外，此一標準也提供分類1E 級電氣系統的監測要求。

參考文獻【5】；“ANSI/IEEE Std 344-1987”，係美國電子電機學會所制定對於核能電廠分類1E 級電氣系統設備的耐震驗證審查(Seismic Qualification)建議施行細節標

準。此一標準建議確立產生數據程序之施行細節-這些數據將被用來確認分類1E 級電氣設備，在數次運轉基準地震 OBE 作用之後，再承受一次安全停機地震 SSE，仍能夠符合該設備之效能要求。此一標準所建議的施行細節，將用來建立測試或分析程序，這些程序所產生的數據，將被引用為落實代表性的電氣設備裝置與總成之效能宣告或評估驗證效能，這將是完整審查工作的一部份。此一標準的內容包括：地震環境與設備反應的一般性討論、耐震驗證審查的方法、阻尼值的量測與應用、耐震驗證審查的分析法、耐震驗證審查的試驗法、耐震驗證審查的綜合分析與試驗法、耐震驗證審查的經驗法、以及耐震驗證審查的報告製作方法。

以上，即針對上述幾篇美國電子電機學會所制定的核能電廠分類 1E 級電氣設備美國國家標準規範及其他相關文獻【6-8】的探討，並彙整出一套電氣設備耐震驗證審查導則。

參、電氣系統結構耐震驗證審查之導則研究-結構分析法

由於無法適當地模擬複雜的電氣系統結構的反應，因此對複雜電氣系統在承受地震載荷之反應預測上，並不建議使用分析法(Analysis Method)。僅當結構整體性單獨就能夠確保設計預期功能的狀況下，方能接受只以分析而無測試之方法來模擬結構之反應。因此，結構分析法係應用在展示電廠設備結構的完整性(Structural Integrity)，而此一方法不適用在主動電氣設備(Active Electrical Equipment)的驗證上，因為主動電氣設備過於複雜，無法以結構分析法預測結構的響應。當結構分析法應用在機械主動設備的驗證時，應校驗機械結構的應力、對心、與可運動元件間的變形是否會造成干涉等。

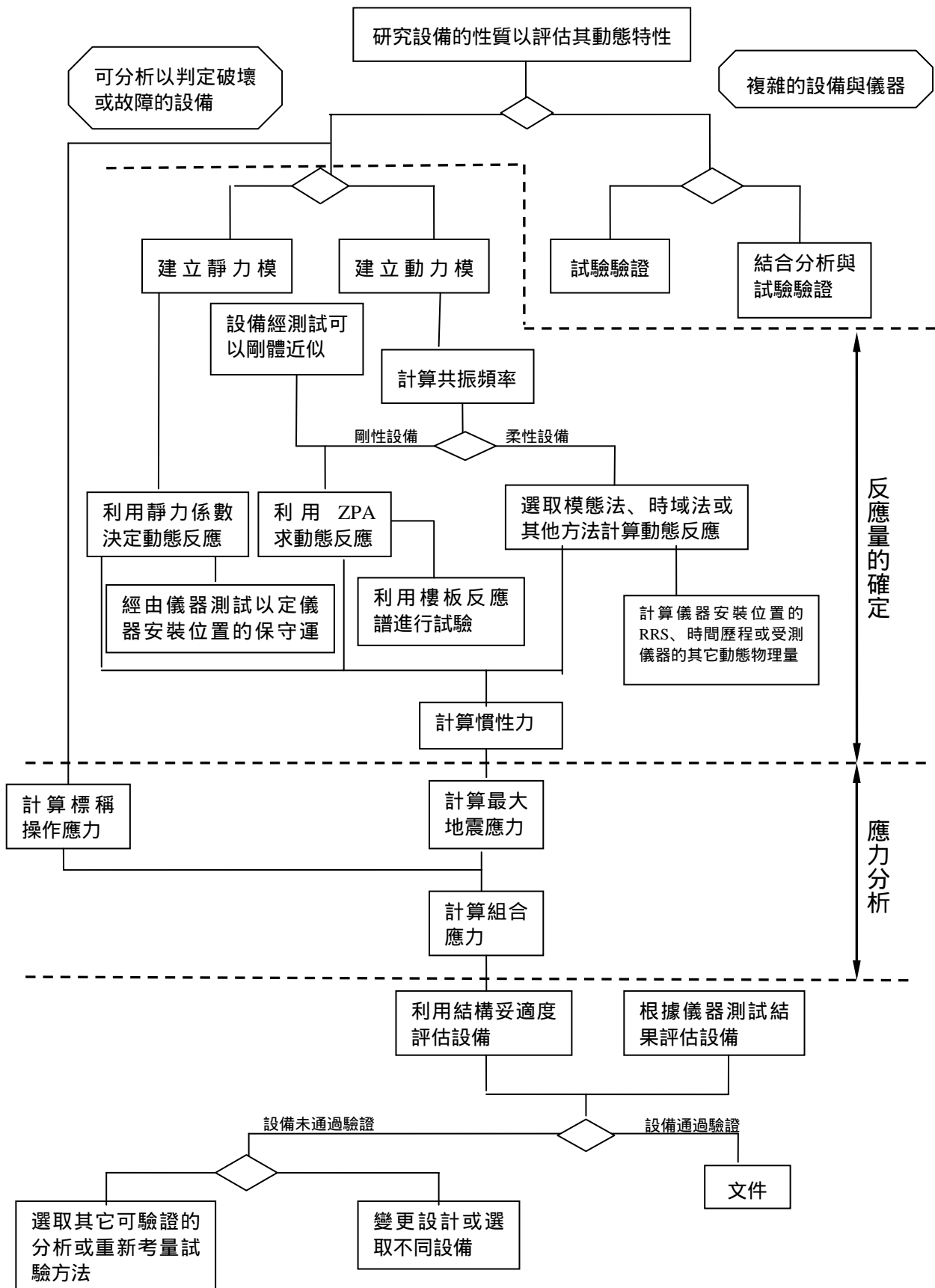
一、結構分析程序(Analysis Procedure)

本節所記載的結構分析程序，能應用作為以結構分析法進行一電氣設備在承受多次的 OBE 後，再承受一次 SSE 的耐震驗證審查。有兩種結構分析法可作為電氣設備的耐震驗證審查，亦即：動力分析法(Dynamic Analysis Method)及靜力係數分析法(Static Coefficient Analysis Method)。本節中所記載的方法是最常用的結構分析法，若經過適當的驗證，也可採用其他合適的結構分析法。

圖一，係一般建議的結構分析程序的流程圖，一般的分析程序如下：

- (一)、對於欲審查之電氣系統的動態特性進行評估。
- (二)、應用本節中所記載的分析方法，以一種或一種以上合適的方法，決定電氣設備在承受地震載荷之結構響應。
- (三)、經由動態響應分析的結果，計算電氣設備結構的應力與變形。
- (四)、比較計算所得之結構響應，以確認能否滿足設計需求。

在評估階段，必須考慮電氣設備的複雜性與分析技術在預測設備在承受地震載荷激勵之安全功能的妥適性。在評估階段也應決定那一種方法最能準確地顯現設備在地震環境下的性能。在應用結構分析法以決定電氣設備地震反應的階段，可採取不同的途徑，第一個就是選擇到底要採用動態分析法或是靜力係數分析法，而選擇的準則是，設備臨界強度的預測值是影響選擇的主要因子，因為靜力係數分析法的計算結果，一般而言是偏向保守的(雖然此法較經濟也較簡單)。



圖一 地震分析流程圖

動態分析法或試驗法，可區別出一個電氣設備究竟是屬於剛體設備或是柔體設備(Rigid Body or Flexible Body)。剛體設備可以靜力係數法以及安裝位置之地震加速度加以分析；另一方面，柔體設備則需以反應頻譜歷時分析所獲得之動態反應進行電氣設備結構分析。

結構分析所使用的數學模型，其結構參數可經由計算、或經由試驗獲得、亦或經由組合計算與試驗結果獲得。惟當一複雜的數學模型，若其結構參數僅經由理論計算而取得，則建議使用驗證試驗來證明數學模型的正確性。結構分析法中所引用的設備阻尼值必須有一參考依據，亦即此一數值必須在安全分析報告、或規格中指定，或是經由試驗方法建立。當一設備阻尼值未經定義，則分析法可應用任何可能的方法建立適當的設備阻尼值，然後在驗證審查報告中再加以驗證。

結構分析法可應用計算所得的動態反應值，評估應力與應變對設備機械強度或功能的影響程度。計算所得的最大變位值，則可用以檢驗設備各組件安裝間是否有干涉問題的發生。此外，必須綜合考量地震應力與設備操作應力，如此方能判定設備的強度設計是否妥當。

二、動態分析法(Dynamic Analysis)

在應用動態分析法以審查電氣設備的地震資格時，電氣設備與任何二次結構支撐的質量分布與勁度特性都必須適當地模擬，此一分析模型將可被用來進行模態(特徵值)分析以決定該設備是屬於剛性或柔性設備。當一電氣設備的模態分析結果顯示，在需求反應頻譜(Required Response Spectrum, RRS)截斷頻率(Cutoff Frequency)以下不存在設備的共振頻率，則該設備可視為一剛體結構，可應用靜力係數分析法進行結構分析，每一剛體設備組件的地震力，可由以下公式求得：

最大樓板加速度(ZPA) x 結構分布質量

對柔體設備而言，其結構數學模型可應用反應譜法或時歷法加以分析。使用反應譜分析法，可以對所有重要模態的模態反應加以組合來獲得有興趣的應力、變位、或加速度反應。若欲適切地描述電氣設備結構的動態反應與支撐拘束力，則必須考量有足夠的結構模態(模態質量)。一個公認接受的準則為，縱使另外再多增加考量其他的模態，對結構響應的影響增加比例若在10%以內，則可認為已考量足夠的結構模態。電氣設備結構的動態響應計算方法，除了太接近(Closely Spaced)的模態外，係應用每一模態響應的平方和的均方根法(Square Root of the Sum of the Squares, SRSS)予以計算。所謂太接近的模態，係指兩相近模態間的頻率差異在10%以下的模態，在進行設備結構反應的評估時，對於太接近模態的反應計算需作適當的考量。在應用三維獨立的地震力分量進行分析時，電氣設備結構由於2個水平方向與1個垂直方向地震力所導致的加速度、位移、力量或彎矩數值，在最後一步驟，應以平方和的均方根 SRSS 法予以組合計算。

當一組三維且統計上獨立(Statistically Independent)的時歷地震負荷資料同時輸入時，電氣設備結構之反應可對每一時間增量進行代數組合。為確保統計上的獨立性，當計算至少12個數據樣本點的反應值時，人工產生的時歷地震負荷資料的一致性(Coherence)程度必須小於0.5。另外的方法，則係應用對所有時間延遲的相關係數的絕對值取小於0.3。

三、靜力係數分析法(Static Coefficient Analysis)

與動態分析法比較，靜力係數分析法係相對簡單且較保守的設備結構反應計算方法。靜力係數分析法不需要計算設備的共振頻率，且電氣設備的加速度反應值係假設為需求反應頻譜 RRS 的最大峰值(需假設一保守且合理的阻尼值)。根據過去對較簡單的線性樑或柱型結構的多頻率激振與多模態反應分析經驗，建立靜力係數1.5的合理性，但只要能確認分析結果的保守性，靜力係數也可取1.5以下。靜力係數分析法中電氣設備結構組件所承受的地震力可以下列公式計算：

結構組件質量 x 反應頻譜 RRS 的最大峰值 x 靜力係數

地震力在電氣設備組件內的分布與其質量分布成比例關係，電氣設備結構上每一點的應力，可應用平方和的均方根 SRSS 法將每個不同方向地震力所產生的應力分量加以組合獲得。

四、非線性設備結構反應(Nonlinear Equipment Analysis)

除了阻尼以外，電氣設備結構仍有其他導致非線性結構反應之機制存在。例如：經由間隙閉合、連接器工作、或電氣組件的震盪(Rattling)所導致的幾何非線性問題，又例如結構局部降伏所導致的材料非線性問題。以上這些非線性問題，將導致設備結構勁度與頻率會隨著承載負荷的增加而變化。若一電氣系統有明顯的非線性行為存在，則必須予以識別，並在後續的結構分析中，必須予以適當的考量，如此方能準確的預測電氣系統在地震負荷作用下的反應。但若結構分析方法無法適當的模擬以上非線性行為，則建議以試驗測試方法為之。

非線性也可能因為電氣設備結構的局部振動所造成，例如：電氣設備裝置櫃門板未確實關牢所導致的高頻震盪，當此一現象發生，且其上所裝置的儀器操作又對此一設備的非線性相當靈敏時，結構分析程序必須考慮此一非線性所造成的影響且應適當的予以驗證。

五、OBE 與 SSE 分析

對電廠電氣設備結構承受地震負載之安全評估，必須應用前述的分析方法進行數次的 OBE 事件分析(OBE 事件的數目必須至少大於一次，且對每一廠址必須加以論辯或是直接就採用五次)。每一次的 OBE 事件分析必須包含一導致疲勞破壞之潛在因素，此一因素應相似於電氣設備支承位置的地震反應運動。對於樓板高度的激振，此一潛在因素的影響可以下列方式近似：展現每一激振的波形將可產生一個結構反應，而此一結構反應包含至少10個最大應力峰值周次。對於地面高度的激振，等效應力峰值周次的數目將與上述之數目不同。OBE 事件的數目以及每次 OBE 事件所導致的潛在疲勞破壞產生機制只對低周次疲勞敏感之設備顯示出其重要性。

設備結構分析的結果必須能展現出經過 OBE 事件及其他可能負載後，電氣設備的結構整體性仍能保持。分析結果也必須能展示核電廠電氣設備在經過一次 SSE 後之多次 OBE 事件，不會導致設備執行其安全功能的失效。但對分析法而言，複雜的電氣設備的結構驗證相當困難，此時應考量以測試方法驗證。

肆、設備耐震驗證分析報告

一份完備的設備結構分析報告必須涵蓋以下內容：

- 一、受測設備的應用需求或規格。
- 二、受測設備耐震驗證審查的結果。
- 三、說明所使用的耐震驗證方法，能夠展現受測電氣設備結構能繼續執行其安全功能。

核能電廠電氣設備的耐震驗證審查報告，對每一接受審查之設備，應能展現該設備在受測之地震載荷作用下能繼續執行其安全功能。因此，一份適當的審查報告必須詳實記載特定的需求(Requirements)，準確地紀錄測試、分析或綜合測試與分析的程序與結果。

一、規格需求

欲以分析或測試法對特定核電廠設備進行耐震審查，應準備的測試規格資料如下：

- (一)、設備設定安裝地點表面的需求反應頻譜 RRS 必須至少有水平軸與垂直軸的資料。所提供的需求反應頻譜 RRS 應包含計算所用的阻尼值且須標示出人為寬化(Artificially Broadened)區域。一般包含多個不同位置的 RRS 規格，則應指示對特定設備該用的 RRS。
- (二)、樓板運動：當無法提供需求反應頻譜 RRS 的情況下，則應提供樓板或結構運動對所有重要頻率的最大加速度或時歷資料。
- (三)、操作設定：應提供可調式儀器的典型操作設定與範圍。
- (四)、儀器：應提供與安全相關的儀器與電路，及其在 SSE 期間或之後的安全功能資訊。
- (五)、期間：應提供地震強運動持續的期間。
- (六)、OBE：應提供所需執行的 OBE 次數。
- (七)、負載：應提供適用的負載與介面需求。
- (八)、允收：應提供允收準則。
- (九)、測試與分析：應提供對特定設備的測試與分析特殊需求。
- (十)、裕度：應提供對以上九點所提的裕度(參考 ANSI/IEEE Std 323-1983)。
- (十一)、應提供設備安裝的詳細資料，包含介面資料。
- (十二)、應提供對設備物理描述的資料。
- (十三)、變形量的需求-若適用，則應提供。
- (十四)、應提供設備執行其安全功能的環境。

二、設備耐震審查報告

設備耐震審查報告必須包含測試報告或分析報告或兩者皆備。報告中必須清楚且合邏輯地解釋完成某一設備耐震資格時，數據資料是如何的被運用。為達到此一目的，下列資訊應包含在報告中：

- (一)、必須清楚的標示被審查的設備。對於較複雜的設備，則應標示每一分類1E 級組件，且定義該組件之功能需求。整套耐震驗證審查必須包含原始的測試或(及)分

析報告，報告必須包含所有參考藍圖、材料表、指引手冊等資料，以備執行評估之需。

- (二)、報告中必須載明所驗證電氣設備的需求反應頻譜 RRS 等級。
- (三)、報告中必須包含測試或(及)分析程序的詳細摘要與結果(包含有直接關連的不正常狀況與其處置方法)，也應包含測試夾治具的詳細描述。當一組件被分開測試或分析，其使用程序也應被摘要紀錄。
設備操作性的評估必須基於預先制定好的允收標準(Acceptance Criteria)，任何測試失效後或觀察到不正常現象測試後，再予以修訂或調整允收標準是不被允許的。設備測試中，發生任何的不正常事件，都應紀錄在測試報告中。當一電氣設備未經設計修改以消除測試中的不正常情形，則使用此一設備應有正當的理由，且此一正當理由應記錄在設備審查報告中。任何設備在測試期間有進行過整修(Refurbishment)，則必須審慎地紀錄在設備耐震審查報告中，並由設備供應商調解(Reconcile)。這些數據應成為地震後，該設備維持需求之耐震驗證審查的設備現場維修檢查與程序的一部份。
- (四)、必須根據以上所述的三點下最後結論。
- (五)、驗證審查報告必須有同意簽章與日期。

三、分析審查報告

使用分析法完成的設備耐震審查報告，所用的方法、數據與考量的失效模式，必須以一個步驟接一個步驟(Step by Step)的型式來表現，以便讓其他精通此一分析法的專家能夠稽查。

設備耐震審查報告中對於包括錨栓及其他介面邊界條件必須清楚的定義。設備耐震審查報告中必須包含對於宣示重要設備功能的相關輸出與輸入數據及任何驗證測試執行的數學模型。設備耐震審查報告中也必須有介面連接到結構支承位置的反作用力數據。設備耐震審查報告必須加上一個聲明：任何所使用的分析軟體，在執行該軟體的硬體上業經驗證。設備耐震審查報告中必須標示所使用分析軟體的名稱、選擇、版本、時間與使用的系統。

伍、結語

本項計畫研究的工作內容係「核能電廠重要設備耐震審查驗證審查導則研究」，工作內容應包括：

- 一、核能電廠電氣設備耐震審查驗證分析部分之審查導則。
- 二、核能電廠電氣設備耐震審查驗證測試部分之審查導則。
- 三、核能電廠電氣設備耐震審查驗證結合分析與測試部分之審查導則。
- 四、核能電廠電氣設備耐震審查驗證經驗法之審查導則。

本文謹就電氣設備耐震審查驗證分析部分之審查導則予以論述，至於其他之審查導則工作項目仍在進行中。預期本項研究工作的完成，可提供核能電廠審查電氣設備地震資格之參考。

參考文獻

1. USNRC, 1973, Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants. Appendix A to 10 CFR Part 100.
2. USNRC, 1996, Geologic and Seismic Siting Factors for Nuclear Power Plants. Section 100.23 10 CFR Part 100.
3. ANSI/IEEE Std 323-1983, IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
4. ANSI/IEEE Std 308-1980, IEEE Standard Criteria for Class 1E Power systems for Nuclear Power Generating Stations.
5. ANSI/IEEE Std 344-1987, IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
6. ANSI/IEEE Std 382-1985, IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power Operated Valve Assemblies with Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants.
7. ANSI/IEEE Std 603-1980, IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations.
9. ANSI/IEEE Std 627-1980, IEEE Standard for Design Qualification of Safety Systems Equipment Used in Nuclear Power Generating Stations.

移動式撓性機械臂建模上之研究

Study on Modeling of a Flexible-Link Gantry Robot

張振添¹ 陳坤男²

Jenn-Tian Jang¹ Kun-Nan Chen²

¹東南技術學院自動化工程系副教授 ²東南技術學院機械工程系副教授

¹Department of Automation Engineering, Tung Nan Institute of Technology

²Department of Mechanical Engineering, Tung Nan Institute of Technology

摘要

撓性機械臂為分佈參數式系統(distributed-parameter system)，其動力學模式為常微分與偏微分藕合方程式，一般而言較不便於系統之動態分析或運動控制器之設計，而為得到近似之有限維動力學模式(finite-dimensional dynamic model)，常應用假設模態法(assumed-modes method)或有限元素法(finite-element method)將分佈參數式動力學模式予以離散化。而應用有限元素法所得到之有限維動力學模式雖能展現較佳之動態特性，但往往因為系統階數(order)較高而使得運動控制器之設計較為複雜，因此在運動控制器之設計上，大部分都採用假設模態法所得到之有限維動力學模式。本文主要在探討應用無窮乘積展開法(infinite product expansion)來建立撓性機械臂之有限維動力學模式之適切性，並以假設模態法所推得之有限維動力學模式作為比較，分別由電腦動態模擬與解析上進行研究，結果指出應用無窮乘積展開法所推得之有限維動力學模式不僅具有極佳之收斂性，只要取很低階模式即能展現良好之動態特性，也更適於以轉移函數來設計運動控制器之使用。

關鍵字：撓性機械臂、假設模態法、有限元素法、無窮乘積展開法

ABSTRACT

The flexible robot is a distributed parameter system whose dynamics is described by a set of partial differential equations coupled with a ordinary differential equation. The system is more inconvenient to dynamic analysis or design of the motion controller. Thus, it needs to be approximated by a finite-dimensional model obtained typically by using assumed-modes method or finite element method. It is well-known that the finite-dimensional model obtained by finite element method can predict better dynamics than the one obtained by assumed-modes method, but it must relatively use the high-order system. So the finite-dimensional model obtained by assumed-modes method has been widely used for controller design of the flexible robot system. In this paper, a finite-dimensional model of a flexible-link gantry robot

is established by using the infinite product expansion of the system transfer function. Because the poles and zeros of the finite-dimensional model are exact, it can receive good predictions of system dynamics even only used low-order system. Comparing with the approach of assumed-modes method or finite element method, the finite-dimensional model obtained by using the infinite product expansion will be more suitable for dynamic simulation and controller design. Finally, the dynamic simulations are provided to verify the good convergence property and dynamic predictions of the finite-dimensional model obtained by using the infinite product expansion.

Key Words: flexible arm, assumed-modes method, finite-element method, infinite product expansion

壹、前言

基於高科技產業在精密製造與提升生產力之需求，具快速運動能力之撓性機械臂系統的動力學模式之建立與運動控制器之設計，在近年來獲得相當之重視。而由於其動力學模式為常微分與偏微分耦合方程式，一般而言較不便於系統之動態分析或運動控制器之設計，而為得到近似之有限維動力學模式，常應用假設模態法或有限元素法將分佈參數式動力學模式予以離散化。而應用有限元素法所得到之有限維動力學模式雖能展現較佳之動態特性，但往往因為系統階數較高，而使得運動控制器之設計較為複雜。而採用假設模態法所得到之有限維動力學模式，雖未能如有限元素法所得到之有限維動力學模式展現良好之動態特性，但因使用較低之系統階數即可得到近似之動態特性。而由於系統階數較低，較適於運動控制器之設計，因此在撓性機械臂系統運動控制器之設計上，迄今仍大部分都採用假設模態法所得到之有限維動力學模式[1,2]。

最近，已有應用無窮乘積展開法來建立撓性機械臂之有限維動力學模式，並應用於控制器之設計[3~5]。而針對應用無窮乘積展開法來建立撓性機械臂之有限維動力學模式之適切性，以及與諸如假設模態法等其他方法之比較，甚少被討論。而本文則針對應用無窮乘積展開法(infinite product expansion)所建立撓性機械臂之有限維動力學模式之動態收斂性，進行探討，並基於控制器需求之考量，將其與由假設模態法所推得之有限維動力學模式進一步進行比較上之研究，以評估應用無窮乘積展開法建立撓性機械臂有限維動力學模式之應用價值。而由電腦動態模擬與解析上進行之研究結果指出應用無窮乘積展開法所推得之有限維動力學模式不僅具有極佳之動態收斂性，且只要取很低階模式即能展現良好之動態特性，應比假設模態法更具應用價值，尤其更適於以轉移函數來設計運動控制器之使用。

貳、分佈參數式動力學模式

移動式撓性機械臂系統如圖1所示，描述系統運動之座標系為 O_{xy} ，以 x 和 y 軸為座標軸。圖中移動機座之質量為 M ，位移量為 $y(t)$ ，驅動力為 $f(t)$ ，而 l 代表撓性臂之長度， I 代表撓性臂彎曲時剖面積對中性軸之慣性矩， ρ 代表撓性臂之單位長度質量， E 代表撓性臂之楊氏係數。另外，變數 $v(x,t)$ 則代表撓性臂在座標 x 處之彈性變形量。又假設撓性臂只有橫向彈性變形且為小變形，故撓性臂橫斷面之旋轉效應可忽略。

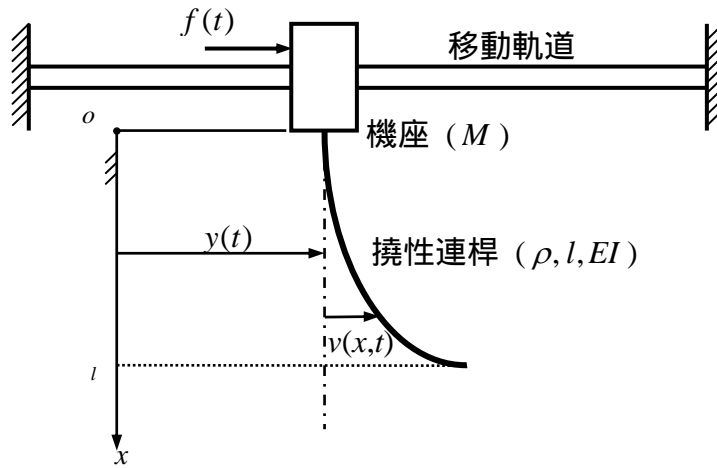


圖1 移動式撓性機械臂系統之示意圖

為推導系統之動力學模式，分別考慮移動機座 M 與撓性桿微段 dx 為自由體，可分別繪出自由體圖如圖2及圖3所示。應用牛頓定律於圖2可得到

$$M\ddot{y}(t) = f(t) - EIv'''(0,t) \tag{1}$$

又應用牛頓定律於圖3可得到

$$EIv'''(x,t) - EI(v'''(x,t) + dv'''(x,t)) = (\rho dx) \cdot (\ddot{y}(t) + \ddot{v}(x,t)) \tag{2}$$

整理式(1)及(2)，可得到系統動力學模式如下

$$M\ddot{y}(t) + EIv'''(0,t) = f(t) \tag{3}$$

$$\rho(\ddot{y}(t) + \ddot{v}(x,t)) + EIv''''(x,t) = 0 \tag{4}$$

而相關之邊界條件為

$$v(0,t) = v'(0,t) = EIv''(l,t) = EIv'''(l,t) = 0 \tag{5}$$

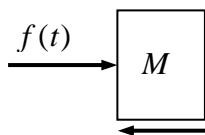


圖2 移動機座之自由體圖

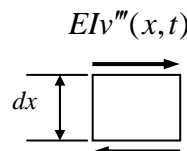


圖3 撓性臂微段之自由體圖

參、有限維動力學模式

為了能夠應用無窮乘積展開法來建立系統之有限維動力學模式，將式(4)取拉氏轉換，並令初值均為零，可得到

$$v''''(x, s) + \frac{\rho s^2}{EI} v(x, s) = -\frac{\rho s^2}{EI} y(s) \quad (6)$$

再令

$$\beta^4 = -\frac{\rho l^4}{EI} s^2 \quad (7)$$

則式(6)可改寫為

$$v''''(x, s) - \frac{\beta^4}{l^4} v(x, s) = -\frac{\beta^4}{l^4} y(s) \quad (8)$$

而式(8)之解 $v(x, s)$ 為

$$v(x, s) = c_1 \cosh \frac{\beta}{l} x + c_2 \cos \frac{\beta}{l} x + c_3 \sinh \frac{\beta}{l} x + c_4 \sin \frac{\beta}{l} x - y(s) \quad (9)$$

式中 $c_i, i = 1, 2, 3, 4$ 為未知常數，必須由邊界條件決定。再將邊界條件式(5)取拉氏轉換，可得到

$$v(0, s) = v'(0, s) = v''(l, s) = v'''(l, s) = 0 \quad (10)$$

而由式(9)及式(10)可解得

$$c_1 = \frac{y(s)(1 + \cosh \beta \cos \beta + \sin \beta \sinh \beta)}{2(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (11)$$

$$c_2 = \frac{y(s)(1 + \cosh \beta \cos \beta - \sin \beta \sinh \beta)}{2(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (12)$$

$$c_3 = -\frac{y(s)(\sinh \beta \cos \beta + \sin \beta \cosh \beta)}{2(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (13)$$

$$c_4 = \frac{y(s)(\sinh \beta \cos \beta + \sin \beta \cosh \beta)}{2(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (14)$$

再將式(11)~(14)代入式(9)，並令 $x = l$ ，可得到撓性桿端點之變形量 $v(l, s)$ 為

$$v(l, s) = \frac{-y(s)(1 + \cosh \beta \cos \beta - \cosh \beta - \cos \beta)}{(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (15)$$

而

$$v'''(0, s) = \frac{-\beta^3 y(s)(\cos \beta \sinh \beta + \cosh \beta \sin \beta)}{l^3(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (16)$$

最後將式(3)取拉氏轉換，可得到

$$Ms^2y(s) + EIv'''(0, s) = f(s) \quad (17)$$

再將式(16)代入式(17)，可得到機座位移 $y(s)$ 相對於驅動力 $f(s)$ 之轉移函數如下

$$\frac{y(s)}{f(s)} = \frac{(1 + \cosh \beta \cos \beta)}{Ms^2(1 + \cosh \beta \cos \beta) - EI \frac{\beta^3}{l^3} (\cos \beta \sinh \beta + \cosh \beta \sin \beta)} \quad (18)$$

又因撓性桿端點之位移 $y_i(s) = y(s) + v(l, s)$ ，將式(15)代入可得到

$$y_i(s) = \frac{y(s)(\cosh \beta + \cos \beta)}{(1 + \cosh \beta \cos \beta)} \quad (19)$$

而由式(18)及(19)，可得到撓性桿端點之位移 $y_i(s)$ 相對於驅動力 $f(s)$ 之轉移函數如下

$$\frac{y_i(s)}{f(s)} = \frac{(\cosh \beta + \cos \beta)}{Ms^2(1 + \cosh \beta \cos \beta) - EI \frac{\beta^3}{l^3} (\cos \beta \sinh \beta + \cosh \beta \sin \beta)} \quad (20)$$

而撓性桿端點之變形量 $v(l, s)$ 相對於驅動力 $f(s)$ 之轉移函數可直接由式(20)與(18)相減而得到。

最後，應用超越函數(transcendental function)之無窮乘積表示式[3~6]如下

$$1 + \cosh \beta \cos \beta = 2 \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \frac{s^2}{\omega_{pn}^2} \right), \quad N \rightarrow \infty \quad (21)$$

式中 $\omega_{p1} = 1.8751^2$ ， $\omega_{p2} = 4.6941^2$ ， $\omega_{p3} = 7.8548^2$ ， $\omega_{p4} = 10.9955^2$ ， $\omega_{p5} = 14.1372^2$ 。

$$\cosh \beta \sin \beta + \cos \beta \sinh \beta = 2\beta \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \frac{s^2}{\omega_{zn}^2} \right), \quad N \rightarrow \infty \quad (22)$$

式中 $\omega_{z1} = 2.3650^2$ ， $\omega_{z2} = 5.4978^2$ ， $\omega_{z3} = 8.6394^2$ ， $\omega_{z4} = 11.7810^2$ ， $\omega_{z5} = 14.9226^2$ 。

$$\cosh \beta + \cos \beta = 2 \prod_{n=1}^N \left(1 - \frac{\rho l^4}{EI} \frac{4s^2}{(2n-1)^4 \pi^4} \right), \quad N \rightarrow \infty \quad (23)$$

再將式(21)~(23)代入式(18)與(20)，即可得到以無窮乘積展開法表示之轉移函數如下

$$\frac{y(s)}{f(s)} = \frac{\prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{s^2}{\omega_{pn}^2} \right)}{s^2 \left[M \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{s^2}{\omega_{pn}^2} \right) + \rho l \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{s^2}{\omega_{zn}^2} \right) \right]}, \quad N \rightarrow \infty \quad (24)$$

$$\frac{y_i(s)}{f(s)} = \frac{\prod_{n=1}^N \left(1 - \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{4s^2}{(2n-1)^4 \pi^4} \right)}{s^2 \left[M \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{s^2}{\omega_{pn}^2} \right) + \rho l \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{\rho l^4}{EI} \cdot \frac{s^2}{\omega_{zn}^2} \right) \right]}, \quad N \rightarrow \infty \quad (25)$$

而值得注意的是，以上轉移函數為解析上之正解(exact solution)，因此由轉移函數所得

到之無限多個極點與零點均為正解。但在應用上，會取有限個極點與零點來考慮，而此時所得到之有限維模式雖為近似模式，但因為極點與零點均為正解，故可預期此有限維模式會具有較佳之收斂性，亦即只要取較低階模式即能得到良好之動態特性，此推論將在動態模擬上獲得驗證。

最後為了進行比較，由假設模態展開法(assumed-modes expansion method)[7]知撓性樑之橫向變形量 $v(x,t)$ 可表示為

$$v(x,t) = \sum_{i=1}^N \phi_i(x) q_i(t) \quad (26)$$

式中 $q_i(t)$ 為廣義座標(generalized coordinates)，而 $\phi_i(x)$ 則為試探函數，選擇為滿足所有幾何邊界條件之鉗制自由樑橫向振動之模態形狀函數。再將式(26)代入撓性樑系統之分佈參數式動力學方程式(3) (5)，並以模態形狀函數為權衡函數(weighted functions)，應用模態展開法之標準步驟可得有限維常微分方程式，如下所示

$$M\ddot{y}(t) + EI \sum_{i=1}^N \phi_i'''(0) q_i(t) = f(t) \quad (27)$$

$$J_i \ddot{y}(t) + \sum_{i=1}^N M_{ij} \ddot{q}_i(t) + \sum_{i=1}^N K_{ij} q_i(t) = 0 \quad (28)$$

式中所有由模態形狀函數決定之系統參數定義如下

$$J_i = \int_0^L \rho(a+x) \phi_i(x) dx, \quad M_{ij} = \int_0^L \rho \phi_i(x) \phi_j(x) dx, \quad K_{ij} = \int_0^L EI \phi_i''(x) \phi_j''(x) dx$$

肆、系統動態模擬與分析

選擇用以動態模擬之系統物理參數如下：長度 $L=1.8$ m，抗撓剛度 $EI=43.125$ N-m²，單位長度質量 $\rho=0.81$ kg/m，移動機座之質量 $M=3$ kg。動態模擬考慮開迴路系統，選擇驅動力 $f(t)$ 如下

$$f(t) = \begin{cases} \tau, & 0 \leq t < T/2 \\ -\tau, & T/2 \leq t < T \\ 0, & T \leq t < \infty \end{cases}$$

式中 $\tau=8$ N，而 $T=2$ sec。

首先以動態模擬來探討應用無窮乘積展開法所得到有限維動力學模式之收斂性，分別選擇(1) $N=1$ ，(2) $N=2$ ，及 $N=3$ ，進行動態模擬，而模擬結果分別如圖2(a)及2(b)。由圖中可看出取 $N=2$ 與 $N=3$ 之有限維動力學模式，系統之時間響應已完全相同，而只取 $N=1$ 之有限維動力學模式之時間響應，與取 $N=2$ 或 $N=3$ 之有限維動力學模式之時間響應只有非常小之差異，此結果驗證了先前解析上之預期，以無窮乘積展開法所得到之有限維模式雖為近似模式，但具有極佳之收斂性，只要取 $N=1$ 即能展現良好之動態特性。

接著，以動態模擬來比較應用無窮乘積展開法所得到有限維動力學模式與由模態

展開法所得有限維動力學模式在動態響應上之差異，兩者均取 $N = 3$ ，進行動態模擬，而模擬結果分別如圖3(a)及3(b)所示。由圖中可看出由模態展開法所得之有限維動力學模式與用無窮乘積展開法所得之有限維動力學模式在動態響應上有明顯之差異，在移動機座運動（剛體運動）部分，由模態展開法所得之有限維動力學模式會有較大之定位位移，而在撓性臂振動（撓性運動）部分，由模態展開法所得之有限維動力學模式會有較大之振幅與稍大之振動頻率，此結果顯現以模態展開法所得之近似有限維動力學模式雖取 $N = 3$ ，仍未能得到良好之動態行為，而應用無窮乘積展開法所得之有限維動力學模式，即使只取 $N = 1$ 就能得到很好之動態行為，而使用低階有限維動力學模式，將更有利於控制器之設計。

伍、結論

因撓性機械臂為分佈參數式系統，所以描述系統動態之動力學模式為常微分與偏微分耦合方程式，這使得控制器設計較為困難。本文基於一般控制器設計之需求，應用超越函數之無窮乘積展開法來建立撓性機械臂之動力學模式，而此轉移函數形式的動力學模式之無限多個極點與零點均為正解，因此，在取有限維動力學模式時雖為近似模式，但因為極點與零點均為正解，故可得到較佳之收斂性，所以只要取很低階模式即能展現良好之動態特性，而系統動態模擬也驗證了此結果。此外，在與以假設模態展開法所得之有限維動力學模式在動態模擬之比較上，也看出以假設模態展開法所得之有限維動力學模式，並不能得到很好之動態行為，而應用無窮乘積展開法所得之有限維動力學模式，即使只取最低階來近似，就能得到很好之動態行為。因此，無論是由動態分析或控制器設計之需求而言，應用無窮乘積展開法所得之有限維動力學模式，均較以假設模態展開法所得之有限維動力學模式更具優越性，應為較佳之選擇。

陸、參考文獻

1. Tso, S. K., Yang, T. W., Xu, W. L., and Sun, Z. Q., (2003), "Vibration control for a flexible robot arm with deflection feedback," International Journal of Nonlinear Mechanics, vol. 38, pp. 51-62.
2. Choi, S. B., Han, S. S., Kim, H. K., and Cheong, C. C., (1999), " H^∞ control of a flexible gantry robot arm using smart actuators," Mechatronics, Vol. 9, pp. 271-286.
3. Liu, L. Y. and Yuan, K., (2003), "Noncollocated passivity-based PD control of a single-link flexible manipulator," Robotica, Vol. 21, No. 2, pp. 117-135.
4. Yuan, K. and Liu, L. Y., (2000), "Achieving minimum phase transfer function for a noncollocated single-link flexible manipulator," Asian J. Control, vol. 2, no. 3, pp.179-191.
5. Jang, J. T. and Yuan, K., (2004), "Passivity- based boundary control of a flexible- link gantry robot," Submitted to J. the Chinese Institute of Engineers.
6. Goodson, R. E., (1970), "Distributed system simulation using infinite product expansions," Simulation, vol. 15, no 6, pp.255-263.
7. Meirovitch, L., (1970), "Analytical Methods in Vibrations," MacMillan, Toronto, Canada.

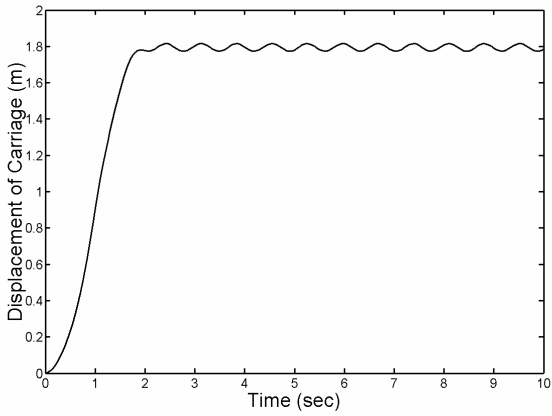


圖2(a) 移動機座位移時間響應圖
($N = 1$, --- $N = 2$, — $N = 3$)

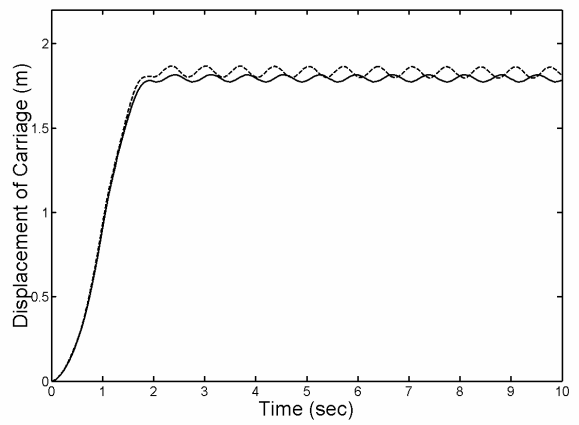


圖3(a) 移動機座位移時間響應圖
(—無窮乘積展開法, ---假設模態展開法)

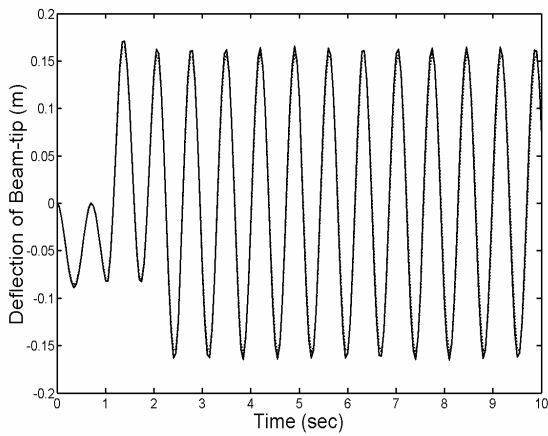


圖2(b) 撓性臂端點變形量時間響應圖
($N = 1$, --- $N = 2$, — $N = 3$)

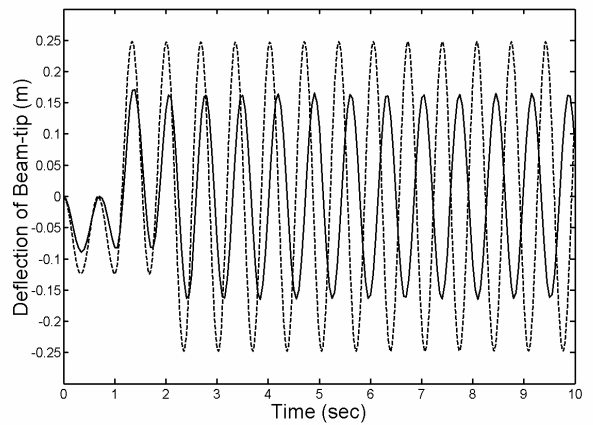


圖3(b) 撓性臂端點變形量時間響應圖
(—無窮乘積展開法, ---假設模態展開法)

利用逆向工程幾何資訊來改善 射出成形件精度的研究

A study on improvement of accuracy using geometry information in reverse engineering of injection molding parts

黃 錦 鐘
Jing-Chung Huang

東南技術學院自動化工程系 副教授
Department of Automation Engineering, Tung Nan Institute of Technology

摘 要

本文提出改善射出成形件幾何資訊精度的錯誤補償方法。在逆向工程上，幾何資訊可以改善精度。量測數值之所以不能獲致精確的幾何模型原因，其中包括實體零件與量床的錯誤。量測數據分為兩類錯誤，其一是產品的成形誤差，另外是量測誤差。量測誤差包括雷射掃瞄的光學誤差、座標量床的探針接觸力的變形以及量床的誤差。在逆向工程上，如何補償誤差是重要的。

最小自乘法(LSM)提供經幾何補償的群數據，以改善幾何精度。對於零件功能形狀與設計概念，亦能利用幾何資訊補償誤差，予以重建。

關鍵字：成形誤差、量測誤差、探針接觸力、座標量床（CMM）、最小自乘法（LSM）。

ABSTRACT

This paper proposes an error compensation method that improves accuracy with geometry information of injection molding parts. Geometric information can give an improved accuracy in reverse engineering. Measuring data can not lead to get accurate geometric model, including errors of physical parts and measuring machines. Measuring data include errors which can be classified into two types. One is molding error in product, the other is measuring error. Measuring error includes optical error of laser scanner, deformation by probe forces of CMM and machine error. It is important to compensate these in reverse engineering.

Least square method(LSM)provides the cloud data with a geometry compensation, improving accuracy of geometry. Also, the functional shape of a part and design concept can be reconstructed by error compensation using geometry information.

Key words: molding error, measuring error, probe forces, CMM(Coordinate Measuring Machine), LSM(Least square method).

壹、緒論

逆向工程(reverse engineering)係量測已存在製品形狀，抽出工學概念或形狀模型的技術【1】。此在設計及生產上，開發或修正新模型過程中，適用在 RP(rapid prototyping, 快速造型)或 NC 加工等，縮短開發期間，並且在既存模具複製或者檢查(inspection)上，甚至在醫療領域上，亦可適用【2】。逆向工程主要是由四階段組成，首先是獲取對象物的量測數據。其次，先處理(preprocessing)所獲取量測數據，再以此為基礎，分割領域，並經由曲面生成階段，最後形成一個模型。每個階段，有多種研究遂行著，其目標在於縮短時間或改善精度。本論文以改善精度為目標，為遂行此而如下所述的研究動向。

C.Meng 等【3】為使用於曲面生成而以 CMM(Coordinate Measuring Machine)正確通過所量測點羣的曲率連續剖面曲線，且採用減少量測誤差方法，反覆作 CMM 量測，以減少探針(probe)半徑補償的誤差方式，而在反覆量測的過程中，探針的量測方向能具有曲面的法線方向。李官行等【4-5】為減少在前處理階段雷射掃瞄所量測點數據誤差，透過採用 uniform grid 的數據減少方法與曲率考量的 non-uniform grid 方式，提出數據減少方法。另外，提示抽出各點切線向量的方法，並介紹採行3次元 grid 的數據減少方法。Park 等【6】依據近似誤差，透過有效減少曲面調節點點數的演算法(algorithm)，針對質軟正確曲面模型生成，予以研究。這些研究認定數據正確之後，重點置於正確通過點數據的曲線或曲面生成。

然而，量測誤差最少化後所得到的點數據，在以正確通過這些點數據的曲線與曲面所完成的模型，會因為量測對象物時發生的量測誤差以及對象物原先具有的成形誤差，造成製品機能的形狀被忽視的模型，導致無法發揮製品原本的機能。為減少這種誤差，在適用逆向工程時，便會對使用製品幾何學資訊的形狀要素與形狀變換的幾何學補正，予以研究。

本研究先從量測所得到的點數據，再利用從製品抽出的幾何學資訊，施予補正量測數據具有多種要因的誤差，透過逆向工程，提示提高製品精度的方案。

貳、成形誤差

2.1 成形誤差

對象物原本所具有的成形誤差，係在製品生產時所發生的誤差，是由多種要因引起的。這種誤差，造成變形製品尺寸或幾何學形狀要素的原因，帶給製品尺寸精度或幾何公差的不良影響。

射出成形件的情況，材料的收縮是引起成形誤差的主要原因。有研究【7-8】指出此會造成凹陷(sink mark)或彎曲、扭曲、彎翹等缺陷而給予製品的尺寸及幾何學形狀變形。凹陷係製品表面呈圓形凹下留下的成形不良，主要發生在凸座(boss)、肋(rib)、交

差(bead)的部位。

為解決此種缺陷，雖發展射出成形件薄膜化，然而這些形狀的缺陷仍然無法完全消除。結果，在進行逆向工程時，仍存留成形誤差而影響了精度。

2.2 量測誤差

2.2.1 CMM(Coordinate Measuring Machine)

CMM(Carl Zeiss co., Prismo Vast)量床，係幾乎不受雜音影響的代表性高精度接觸式量測機。所量測的座標值，因取自探針的小鋼珠中心，所以探針的半徑補正對量測精度的作用，非常重要。一般而言，探針的補正如圖1所示，是在探針探測方向(probing direction),只作半徑的補正。可是在量測的自由曲面時，量測曲面的法線方向並無法量測。因此，實際接觸點與補正點不同，故誤差因而形成。為減少此誤差，乃採用如圖1所示的 offset surface 概念【9】。不論探針在何方向接近，儘管接觸曲面上所有的點，探針的中心皆位於 offset surface 之上。結果，計算 offset surface 的法線方向(n)，並以此方向偏置半徑(r)之大小，即可得到實際曲面的座標值。

不過在此薄膜化的射出成形情況，會隨著對象物的形狀與材質的不同，就會發生因探針接觸力導致的變形。結果保障精度的接觸式量測，也會隨著對象物的材質或形狀的不同，由於探針接觸力而有了量測誤差。

2.2.2 雷射掃描儀(laser scanner)

雷射掃描儀(Surveyor DS-4060)，係非接觸式量測儀器中，最常用的量測儀，其量測速度較 CMM 為快，但精度稍差。其量測原理是利用三角法(triangulation method)。量測時，會因噪音(noise)而具有 spike，量測表面與雷射光束所形成的角度一旦比適當角度大的話，即會因 shadow 效應，獲得較差精度的數據。所量測的 x 、 y 值，雖為探針位於儀器軸的座標值，但 z 值則由儀器軸與 CCD 相機所得的值，可計算出探針與物體間的距離，因以其精度相對 x 、 y 值為差，根據研究【10】，大約有 $20\sim 30\mu\text{m}$ 的誤差存在。

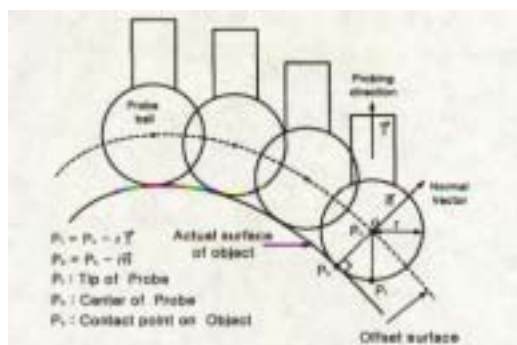


Fig. 1 Offset surface concept

參、幾何學補正

製品機能性形狀，係由幾何學形狀要素及其這些要素變換所組成的。這些製品的量測數據會因大量要素的誤差，會對幾何學特性帶有不夠充分的資訊。而且每個量測的數據在併合(registration)時，將會喪失這些幾何學特質。因此，量測的數據附加製品

的幾何學特性，以復原原來製品幾何學形狀，乃屬必要。

首先由製品決定所要求的幾何學形狀，而為從量測數據尋找幾何學形狀要素，乃採用最小自乘法【11】。幾何學形狀一旦決定，那麼形狀要素尺寸也就可計算。

3.1 曲線生成

曲線如公式(1)所示，使用 B-spline 曲線【12】。B-spline 曲線係由連續性保障的狀態下，移動調節點(control point)，形狀變換即屬可能，而曲線的局部修正，即具有容易的特性。

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t) \quad (1)$$

而 $0 \leq t \leq 1$ ，其中 B_i 為調節點， $N_{i,k}$ 為 B-spline 曲線的 blending 函數，可如下表示。

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t - x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k} - x_{i+1}} \quad (2)$$

$$\text{而 } N_{i,1}(t) = 1, \text{ if } x_i \leq t \leq x_{i+1}, \text{ 且 } 0, \text{ otherwise}$$

其中 x_i 為 knot，而 k 為次數。

變數 t 是以 chord length 方法算出。假如給予 n 個數據的話，那麼第 ℓ 個變數 t_ℓ 便可如下表示。

$$\frac{t_\ell}{t_{\max}} = \frac{\sum_{s=2}^{\ell} |D_s - D_{s-1}|}{\sum_{s=2}^n |D_s - D_{s-1}|} \quad (3)$$

其中 $|D_s - D_{s-1}|$ 是從給予的點群中，相互為鄰的兩點間的 chord length，而 $\ell \leq n, t_1 = 0, t_n = 1$ 。

為近似化最小自乘法所使用的點群，便要尋找適當的調節點，因以誤差(E)即可如下表示。

$$E = \sum_{i=1}^n |Q_i - P(t_i)|^2 \quad (4)$$

其中 Q_i 為第 i 個所給的數據，而 $p(t_i)$ 則為 B-spline 近似值函數的第 i 個值。

$$B_1 = P(0), B_{n+1} = P(1)$$

為尋找公式(4)誤差予以最小的最適當調節點之公式，可如下表示。

$$\frac{\partial E}{\partial B_i} = 2 \sum_{i=1}^n \left[\{Q_i - P(t_i)\} \cdot \left\{ \frac{Q_i - P(t_i)}{2B_i} \right\} \right] \quad (5)$$

調節點可依公式(5)來決定的話，那麼 B-spline 曲線，則可依公式(1)來計算。

3.2 曲面生成

3次元曲面係依幾何學形狀要素的變換所生成的。例如線、多角形、曲線等依循空間上的路徑變換。這種曲面，稱為 sweep 曲面，可如下表示【13】。

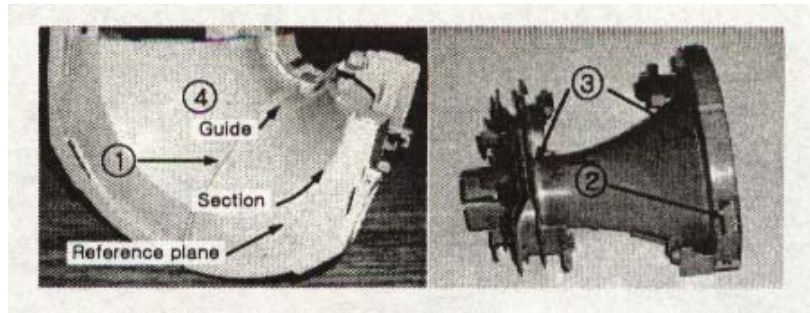
$$S(u, v) = \alpha(v)S_0(u, v) + \beta(v)S_1(u, v) \quad (6)$$

其中 S_0 與 S_1 為引導曲線與斷面曲線的 blending 曲面，而以 u 與 v 為變數。 S_0 與 S_1 ，分別如下表示。

$$S_0(u, v) = \alpha(v)[G_0(u) + D_0(v)] + \beta(v)[G_0(u) + D_1(v)] \tag{7}$$

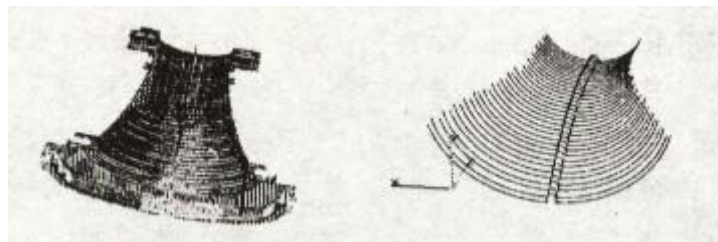
$$S_1(u, v) = \alpha(v)[G_1(u) + D_0(v)] + \beta(v)[G_1(u) + D_1(v)]$$

其中 $G_i(u), [i=0,1]$ 是斷面曲線，而 $D_i(v), [i=0,1]$ 為導引曲線。 α 與 β 為切線連續的 blending 函數。



(a) Inner surface (b) Outer surface

Fig. 2 Separator



(a) Laser scanner (b) CMM

Fig. 3 Scanned data

肆、適用實例

幾何學補正，即適用在 DY(Deflection Yoke)偏向捲線機構中的一項零件—分離器(separator)。圖2為分離器外觀，為賦予分離器剛性的肋(rib)形狀，而組合時鎖住的部分。是曲面境界部位，而則為分離器的主要曲面。對象曲面係由圓弧的斷面曲線與自由曲線的導引曲線所形成的，專為考慮電子放出而形成的曲面。曲面具有的幾何學特性是屬於切線連續性的，而斷面曲線，則以肋形狀的中立面為基準，呈對稱狀。圖3是分別以雷射掃瞄機及 CMM 量床量測的數據。

圖4係利用幾何學補正的適用實例流程。首先，圖2的領域與由於在幾何學補正時會給予錯誤的領域，因此，需從量測數據扣除。其次，在基準平面(reference plane)的法線方向(Z-direction)，每隔1mm 間隔，生成平行基準平面的斷面後，再從量測的數據中抽出這些斷面的點數據。基準平面在成形時，具有較小的誤差，係成形的領域。依近似法，使所抽出的每個斷面數據，施予圓弧近似化。

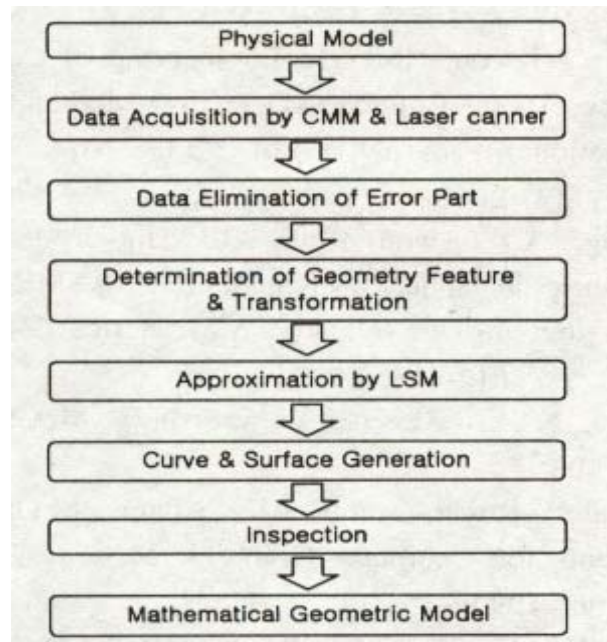


Fig. 4 Procedure of reverse engineering using geometry information

經近似化的斷面圓弧，為達成幾何學補正而利用製品的幾何學特性，來比較對稱性。圖5(a)及圖6(a)顯示經近似化兩側斷面的圓弧彼此比較所得的誤差。雷射掃瞄的情況，以圖5(a)所示，最小的誤差為0.033mm(在 $Z=18\text{mm}$ 的斷面)，而在最大的誤差為3.065mm(在 $Z=44\text{mm}$ 的斷面)，平均誤差則為0.78mm。為滿足對稱性，先選擇0.5mm以下誤差的斷面圓弧，在依補間方式，生成曲面。而如此生成的曲面，在斷面方向及導引方向所形成幾何學補正曲面，於同一斷面上兩側圓弧比較的半徑誤差，則如圖5(b)及圖6(b)所示。如圖5(b)所示，平均誤差為0.202mm，比較圖5(a)，可知已減少了大約0.578mm。其次在 CMM 的情況，猶如圖6(a)所示，經近似化兩側圓弧半徑誤差的平均誤差為0.208mm，因而選擇具有0.3mm 以下的誤差的圓弧。而所選擇的斷面圓弧，在斷面方向及導引方向幾何學補正所形成曲面兩側圓弧比較值減少至0.172mm。

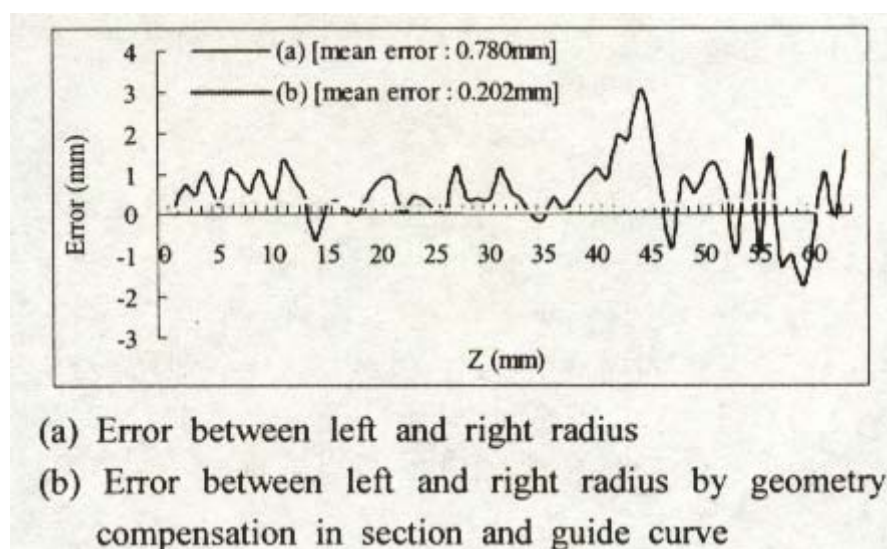


Fig. 5 Difference of radius in laser scanner data

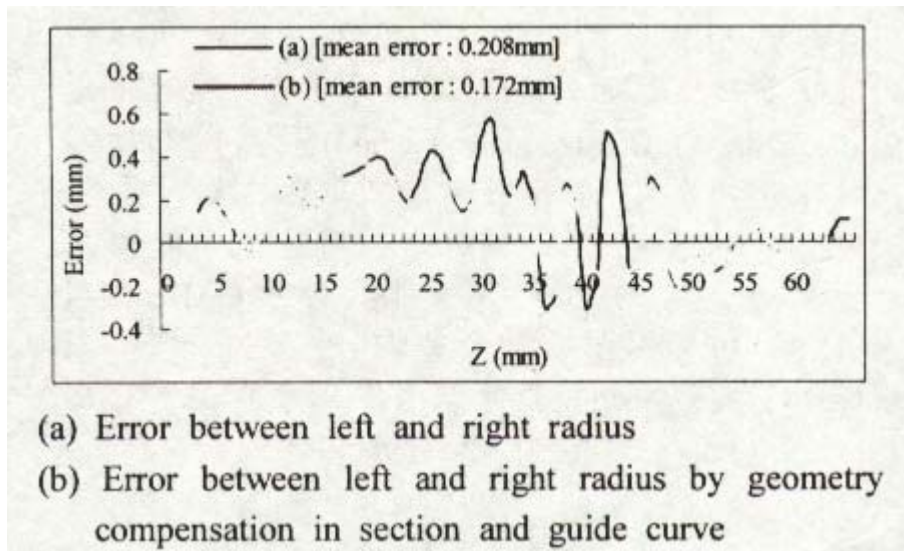


Fig. 6 Difference of radius in CMM data

Table 1 Dimension comparison of design and approximated and geometric compensated data (unit : mm)

Machine	Laser scanner		CMM	
	Left side	Right side	Left side	Right side
A	0.488	0.425	0.138	0.198
B	0.224	0.125	0.128	0.170

note) A : Mean error of radius between design data and approximated data
 B : Mean error of radius between design data and geometric compensated data

表1利用幾何學補正以數值顯示對精度改善的貢獻。由表1可知，A 在 Z 軸方向，每1mm 間隔所抽出斷面數據，以圓弧進似化的圓弧半徑與圖面半徑比較的誤差平均值；而 B 則在進行幾何學補正後所生成曲面半徑與圖面半徑比較誤差的平均值。誠如表1所示，可知幾何學補正可以改善精度。而且觀看右側曲面的補正結果的話，從量測精度較差的雷射掃描機來看，顯示與曲面的誤差變小。結果，CAD 模型的精度與量測儀具精度比較，可知幾何學補正的影響更大。

伍、結論

既有的逆向工程研究上，是集中在生成正確通過量測數據的曲線與曲面，然而由於在量測數據上，包含了製品成形時所生的成形誤差與量測時所生的多種要因的量測誤差，所以逆向工程曲面的精度變差，無法完全復原設計概念。

因此，本論文先由射出成形件的逆向工程出發，透過幾何學補正的方式來改善精度，予以研究；而為復原幾何學形狀與尺寸，需把握製品的幾何學特性，其次在幾何學資訊上，採用近似法的最小自乘法(least square method)，藉著幾何學補正的方式來改

善精度，亦可抽出製品設計概念所包含的幾何學模型。透過逆向工程對 CAD 模型的精度影響，是利用製品的幾何學特性的補正影響，較量測儀具具有精度的影響，可知是更大的。

參考文獻

1. Tamas Varady, Ralph R Matrin and Jordan Cox, “Reverse engineering of geometric models – an introduction”, Computer-Aided Design, Vol. 29, No.4 pp. 255-268, 1997。
2. Bidanda, B and Hosni, Y A, “Reverse engineering and its relevance to industrial engineering: a critical review”, Computers Ind. Engng, Vol. 26, No. 2, pp.343-348, 1994。
3. C. MENQ and F. L. CHEN, “Curve and Surface Approximation from CMM Measurement Data”, Computer Ind. Engng, Vol. 30, No. 2, pp. 211-225, 1996。
4. H.J.Woo, T.H.Seog, J.H.Ryu, J.H.Lee, “逆向工程用量測點數據處理之研究”，韓國 CAD/CAM 學會學術發表論文輯，PP.24-29, 1999。
5. H.J.Woo, T.H.Seog, J.H.Lee, “電腦逆向設計用點數據減少方法之研究”，韓國精密工學會秋季大會論文輯，PP.428-431, 1999。
6. Park, H., “Smooth surface approximation to serial cross-sections”, Computer-Aided Design, Vol.28, No 12, pp. 995-1005, 1996。
7. S.C.Lee, “塑膠射出成形條件控制法”，機電研究社，pp.118-145, 2001。
8. M.U.Hong, “射出成形技術 I、II”，機電研究社，pp.189-200, pp.247-286, 1999。
9. Myeong-Woo Cho, Tae-Il Seo, Jae-Doc Kim and Oh-Yang Kwon, “Reverse Engineering of Compound Surfaces Using Boundary Detection Method”, KSME International Journal, Vol. 14, No. 10, pp.1104-1113, 2000。
10. Yang, A.T, and Roth, B, “Higher-Order Path Curvature in Spherical Kinematics”, ASME Journal of Engineering for Industry, May, Series B, Vol. 95, No. 2, pp. 612-616, 1973。
11. Ingle, K A, “Reverse Engineering”, McGraw-Hill, NJ, 1994。
12. David F.Rogers and J. Alan Adams, “Mathematical Elements for Computer Graphics”, McGraw-Hill, Inc, pp. 306, 1990。
13. Wen-Der Ueng, Jiing-Yih Lai, and Ji-Liang Doong, “Sweep-surface reconstruction from three-dimensional measured data”, Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 10, pp. 791-805, 1998。

空調機性能測試方法

Air Conditioner Capacity Testing Methods

謝建新¹ 謝桂平²

¹東南技術學院自動化系副教授

²國立勤益技術學院冷凍空調系兼任講師

摘 要

空氣調節機簡稱「空調機」，乃是泛指對一空間進行冷卻、加熱、加濕及除濕，甚至包含空氣清淨及空氣芳香等功能之空氣調節設備。空調機除了與一般家用電器一樣，在電器安全規範下，必須對其絕緣電阻、耐電壓、溫度、注水絕緣性能、電壓變動特性及起動特性等安全性試驗加以確認外，最重要的是還必須進行冷氣能力、冷氣消耗功率、暖氣能力、暖氣消耗功率、過載性能、結露、凝結水處理、低溫性能、冷媒洩漏、噪音及能源效率比值(E.E.R.)等性能試驗。

本文僅針對一般家用小型空調機，也就是我們常見之窗型及分離式之冷、暖氣機，其所有之性能測試方法及管制標準，加以介紹。

關鍵字：性能測試(capacity testing)、能源效率比值(Energy Efficiency Ratio , E.E.R.)

ABSTRACT

Air conditioner is the equipment which can be cooling、heating、humidifying dehumidifying and air-cleaning in a space. In additional, it must be passed by insulation、voltage、temperature、waterproof testing, it also has to be tested the cooling capacity、power consumption、heating capacity、overload、dewing and condensation efficiency、leakage、noise and the energy efficiency ratio (E.E.R.)

The study will be concentrated on the small type air conditioner capacity testing and the specification limits .

壹、前言

在能源短缺且開發困難之下，節省能源成為目前一些能源研究工作中的重點之一。眾所週知；空調機為一極其耗能之商品，所以對於空調機之省能促進，政府、產業及學術方面，都很積極的投入這項工作，其指標性重點就在於空調機能源效率比值(Energy Efficiency Ratio, E.E.R.)的管制，例如對於一般型式之空調機 EER 值由民國81年時的管制值2.11 kcal/hr.w；至民國91年時的管制值已提高到2.38 kcal/hr.w，使空調機的每單製冷能力提高了13%左右。

而無論是對於空調機進行省能的新設計或耗能改善，最終仍是需要透過檢驗測試來驗證其結果，本文旨在探討空調機測試時，所應檢測之性能及安全方面之試驗項目與測試方法，後續將深入研究如何使空調機測試能更精準的方向努力。

貳、測試設備

冷氣能力及熱泵暖氣能力之測試設備，一般區分為直接法(又稱熱量計法)及間接法(分為空氣焓法及水側熱量計法)兩種，如下所述。

一、直接法

測定時，使供試機室內側冷卻(加熱)及除濕(加濕)能力與測定裝置之熱輸入達到平衡，依其熱輸入求其能力之方法。測定裝置有以下兩種方式：

- 1.室型熱量測定裝置(Room Type Calorimeter)：一般稱為單層式或校正式熱量計，如圖 1 所示。
- 2.平衡式室型熱量測定裝置(Balance Type Calorimeter)：一般稱為雙層式熱量計，如圖 2 所示。

二、間接法

(一) 空氣焓法：

測定供試機室內側吸入與吹出空氣之溫、濕度及當時風量，而求其能力之方法。測定裝置有以下兩種方式：

- 1.風道型(Tunnel Type)空氣焓法試驗裝置：如圖 3 所示。
- 2.環型(Loop Type)空氣焓法試驗裝置：如圖 4 所示。
- 3.熱量計型(Calorimeter Type)空氣焓法試驗裝置：如圖 5 所示。
- 4.室型(Room Type)空氣焓法試驗裝置：如圖 6 所示。

(二) 水側熱量計法：

測定供試機水側熱交換器入、出口水溫與其水流量及消耗功率，而求其能力之方法。如圖7所示。

[註]：以上介紹之各種測定裝置為一般普遍為業界採用之型式，另外有以室外側熱量計法或空氣焓法及冷媒流量計法壓縮機校正法等來進行空調機性能試驗之方式，在此不詳加論述。

參、量測方法

為避免因人員操作上之差異，而連帶產生量測上太大之測試差異，有必要依安全、合理、方便及準確等方面考量，訂定一個共同遵守的「空調機試驗方法細則」，以供空調機測試人員做為依循，減少人員操作之量測誤差，甚而減少各實驗室間之量測誤差。以下僅就測試操作上，一些注意事項提出說明。

一、供試機的安裝

1. 依一般使用時之安裝方式，不能有特殊之改造和接續，而影響其性能。
2. 供試機伸出至室內側、室外側的距離，必須為最不影響供試機在室內側、室外側的空氣吸入及吹出為原則。
3. 分離式機種的安裝方式，室內、室外機間冷媒配管長度，原則上不超過 5m，室外側配管長佔 2/5 以上。
4. 氣體配管與液體配管間，儘可能有 10cm 以上之間隔。
5. 冷媒配管的施工，必須為緩和的彎曲狀，不能有極度彎曲而致使配管壓壞等情形發生。
6. 供試機吹出口與受風室開口部間之接續，必須短至無視空氣阻力存在的程度(一般不得超過 500mm)。
7. 供試機吹出口與受風室開口部間之空隙，必須以厚紙板格隔起來，並以膠帶黏貼封住，以防止空氣洩漏。
8. 上述厚紙隔板，必須以 50mm 以上厚度的保溫材與以隔熱，防止熱量洩漏。

二、溫、濕度測定方法

1. 溫、濕度之測定以空氣取樣裝置(Air Sampling Unit)進行量測，如圖 8 所示。
2. 為了使從空氣取樣管所採取的空氣，送至溫、濕度測定箱如圖 9 所示所用的風管，必須具有氣密與隔熱雙重結構，如圖 9 所示。且必須避免吸濕性材質。
3. 上述風管的內徑與主管相同，使用的材質及形狀，不得使空氣流過風管時，產生風阻等之情形。
4. 空氣取樣器的設置，必須考慮供試機吸入口的整體面，並且能平均抽取吸入空氣。
5. 空氣取樣器應位於供試機吸入口的上風處，取樣管上的取樣孔，必須面向空氣流動方向。
6. 空氣取樣管必須位於供試機吸入口部的中心，以及從供試機算起 150mm 的位置。
7. 溫、濕度測定箱與風管接續部位，最少須保持 300mm 以上的直線，且全部風管不能有使其彎曲而影響到風管內空氣流動之情形。
8. 濕球溫度計使用之紗布，必須為脫脂材質者，且至少每 1~2 天更換一次。
9. 紗布之安裝必須符合圖 10 所示，且覆蓋之紗布若過於鬆動時，必須以同材質之紗布線輕繫於溫度計上。
10. 濕球溫度測定用水，須使用純水或蒸餾水，且在更換紗布之同時，亦應該一併

更換供水槽內的水。

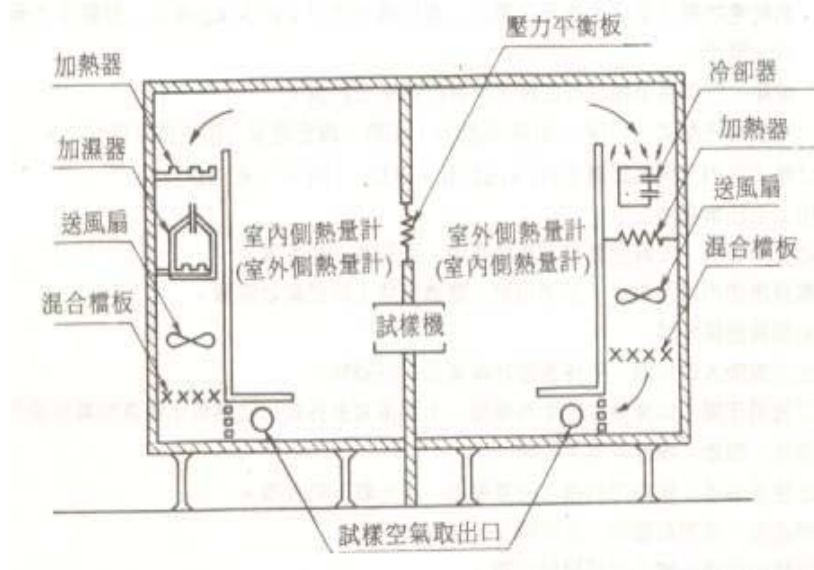
11. 通過溫、濕度測定箱內的風速，必須在 3.5 ~ 10m/sec 之間，一般最佳風速在 4 ~ 6m/sec 之間。
12. 試驗中，必須注意不可使紗布之水份乾涸。
13. 濕球溫度計應置於乾球溫度計之下風處，且紗布不得接觸到溫、濕度測定箱底面。

三、風量測定方法

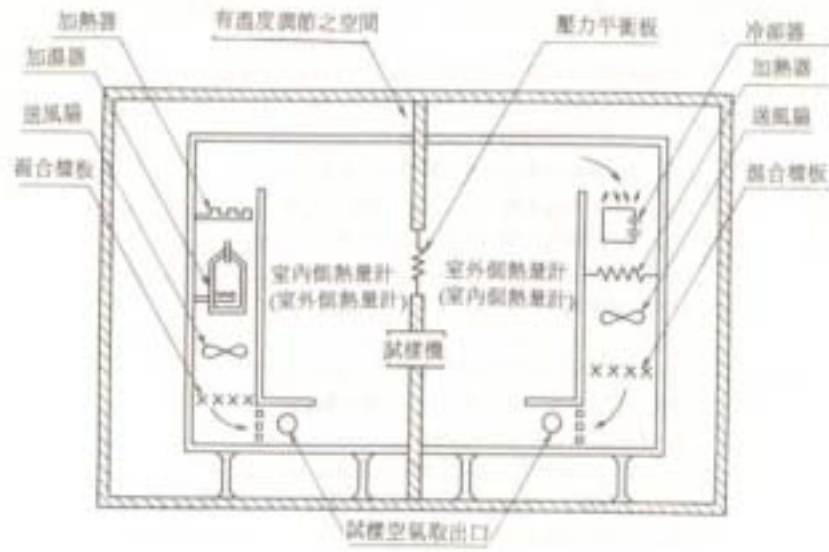
1. 通過噴嘴的風速必須在 14m/sec 以上，一般風速範圍選定在 15 ~ 35m/sec 之間。
2. 噴嘴壓差範圍則選定在 15 ~ 80mmAq 之間。
3. 同一範圍有多種噴嘴數組合時，以噴嘴壓差 50mmAq 為準，選擇最接近此壓差的噴嘴組合，可使壓差檢出誤差達到最小。
4. 乾風量量測之溫、濕度條件為乾球溫度在 14 ~ 26 之間，一般目前均以 JIS B 8330「送風機試驗及檢查方法」標準所規定乾球溫度為 20 ± 0.3 、濕球溫度為 15.8 ± 0.2 進行測試。
5. 風量靜壓量測裝置依圖 11 及圖 12 所示進行。
6. 在測定期間內，機外靜壓變動率應在額定靜壓之 $\pm 10\%$ 以內，但額定靜壓在 10mmAq 以下者，則在額定靜壓之 $\pm 1\text{mmAq}$ 以內。
7. 選擇通過噴嘴風速在 14 ~ 35m/sec 之間的噴嘴。

肆、結語

空調機於性能量測時期噴嘴前後差一般須在 15 ~ 80 mm A q 之間，且噴嘴前後之測定，至少須可讀取至 1 % 的刻度，而空調機之風量也必須為額定風量之 90 % 以上。此外，精密的量測一定離不開精密的量測儀器，但是儀器再精密必定離不開校正及追溯，另外就是測試技術的精進，唯有如此，方能確保每次量測的準確性。



圖一、室型熱量測定裝置(Room Type Calorimeter)



圖二、平衡式室型熱量測定裝置(Balance Type Calorimeter)

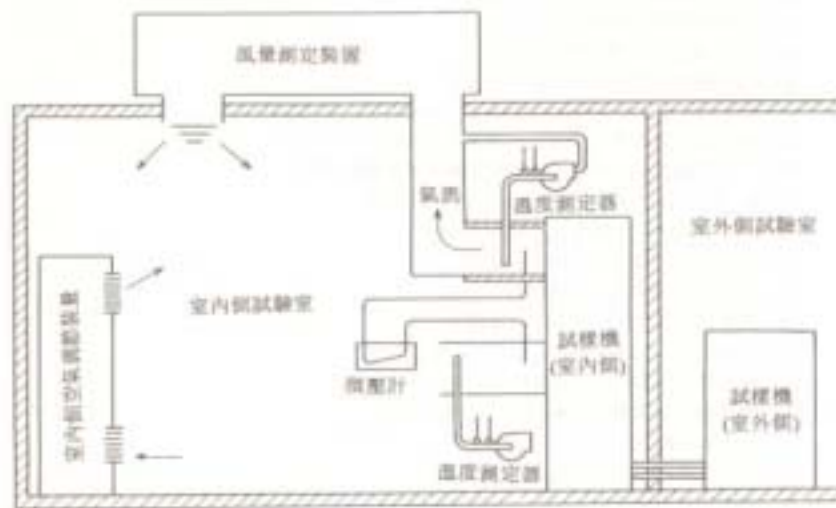


圖3、風道型(Tunnel Type)空氣焓法試驗裝置

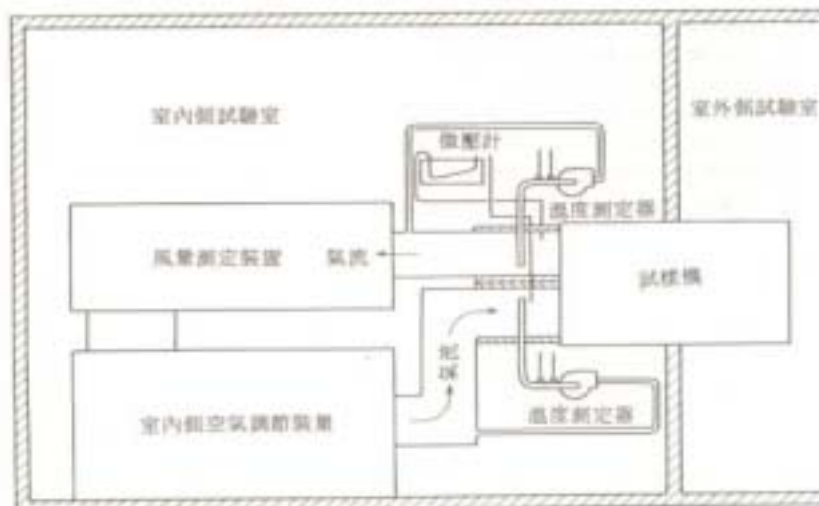


圖4、環型(Loop Type)空氣焓法試驗裝置：如圖4所示。

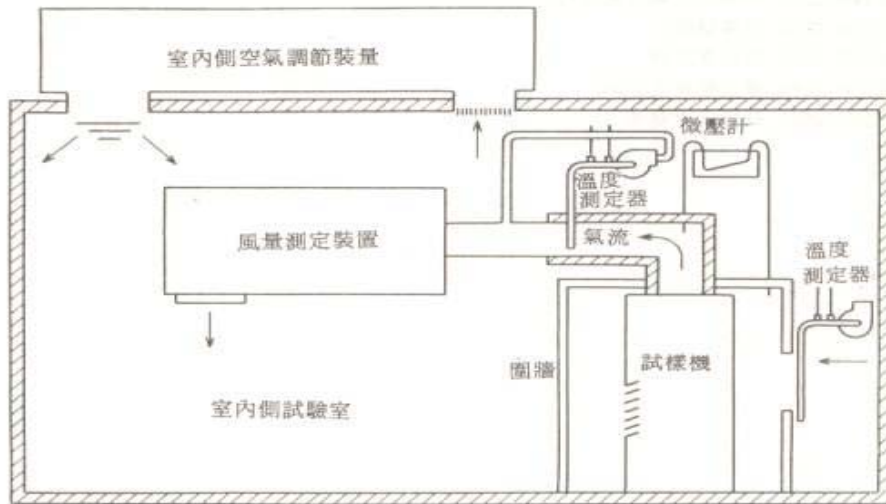


圖5、熱量計型(Calorimeter Type)空氣焓法試驗裝置：如圖5所示。

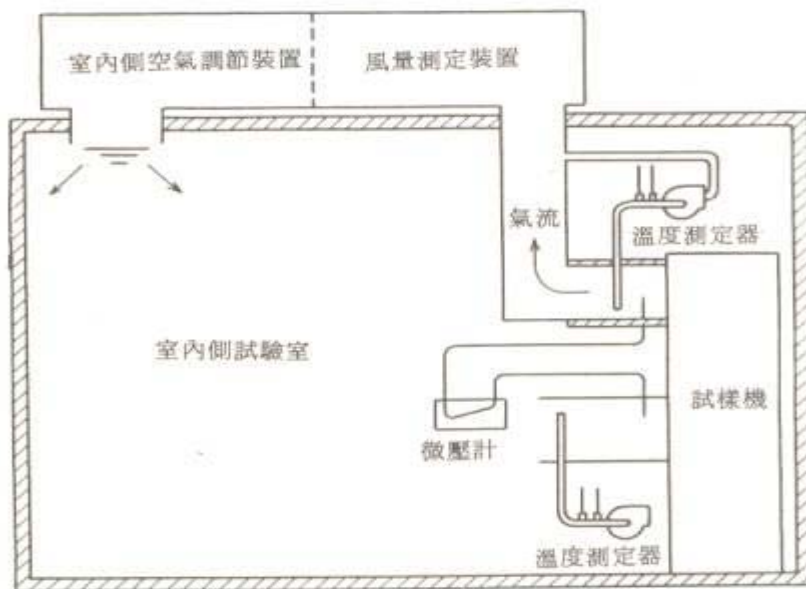


圖6、室型(Room Type)空氣焓法試驗裝置：如圖6所示

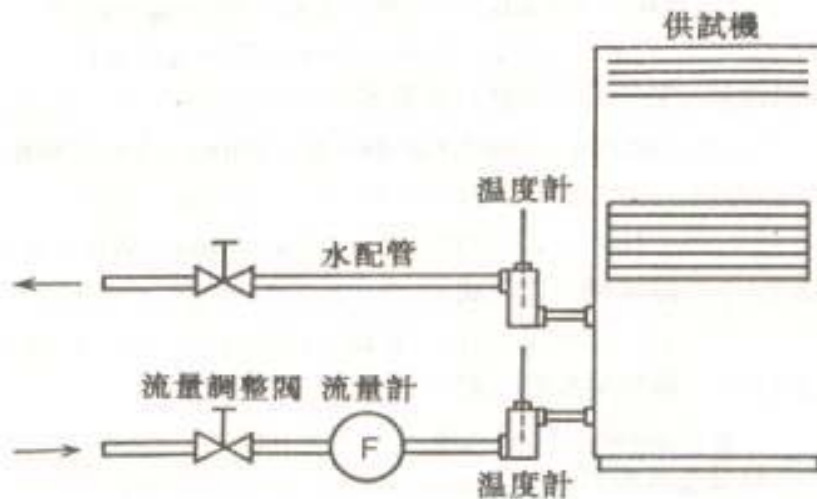


圖7、水側熱量計法

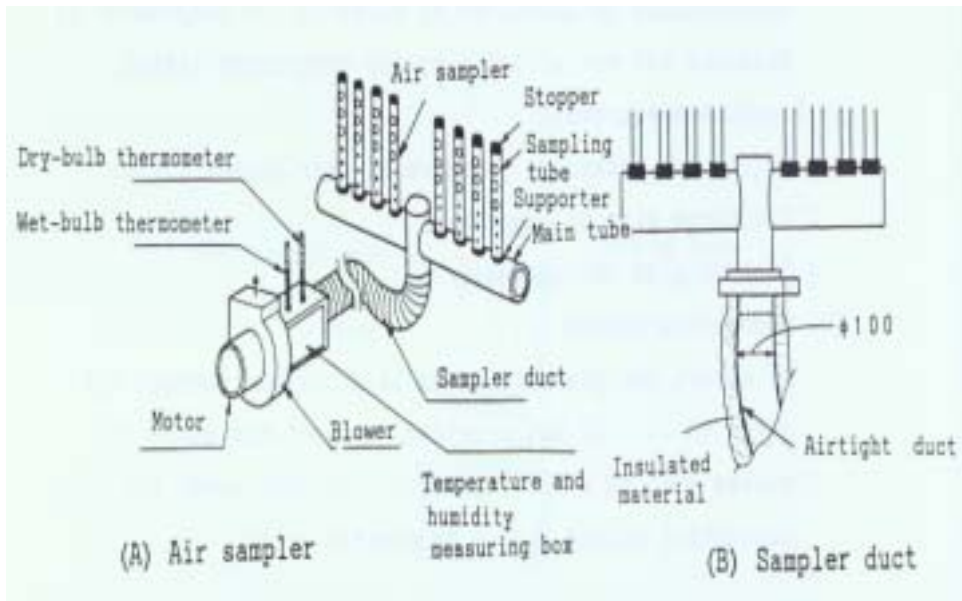


圖8、空氣取樣裝置(Air Sampling Unit)

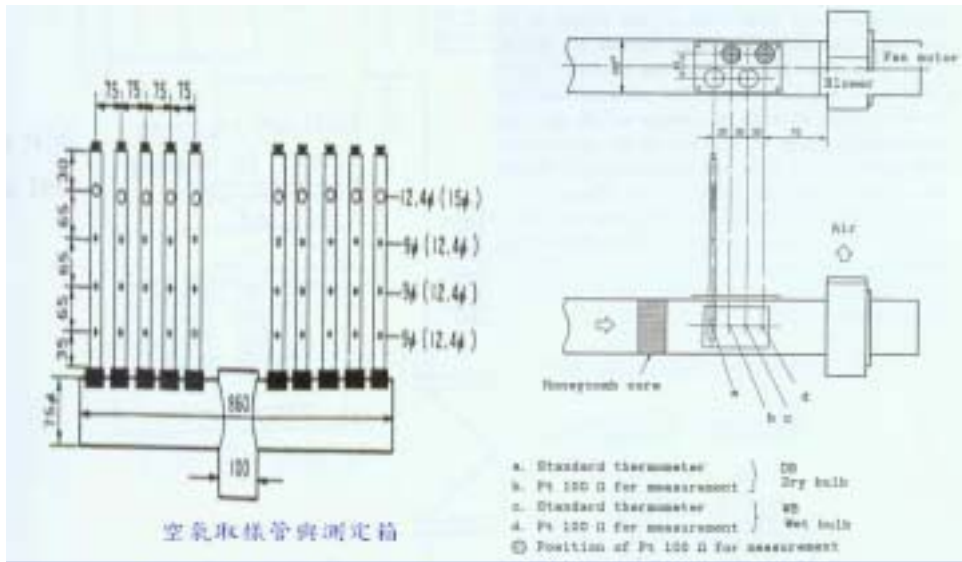


圖9、空氣取樣管與測定箱溫、濕度測定箱

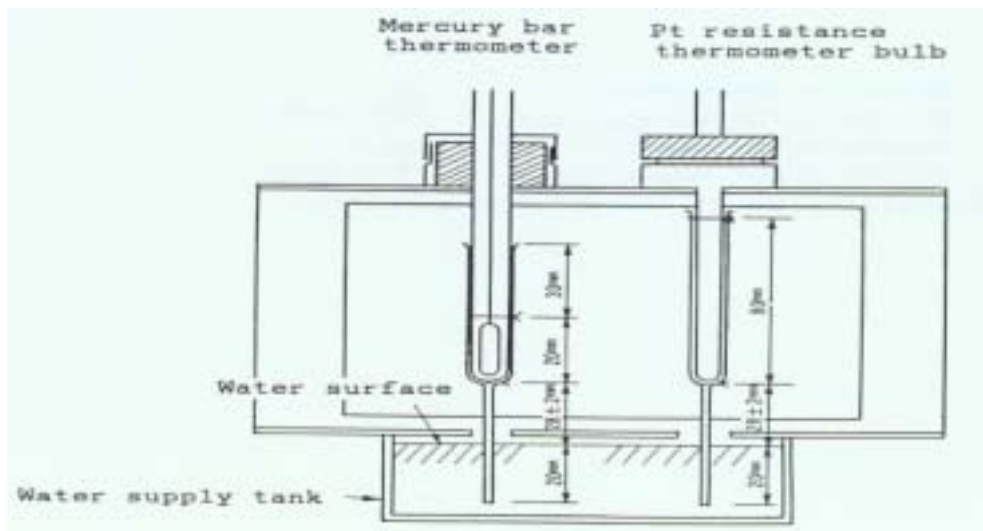


圖10、溫、濕度測定箱

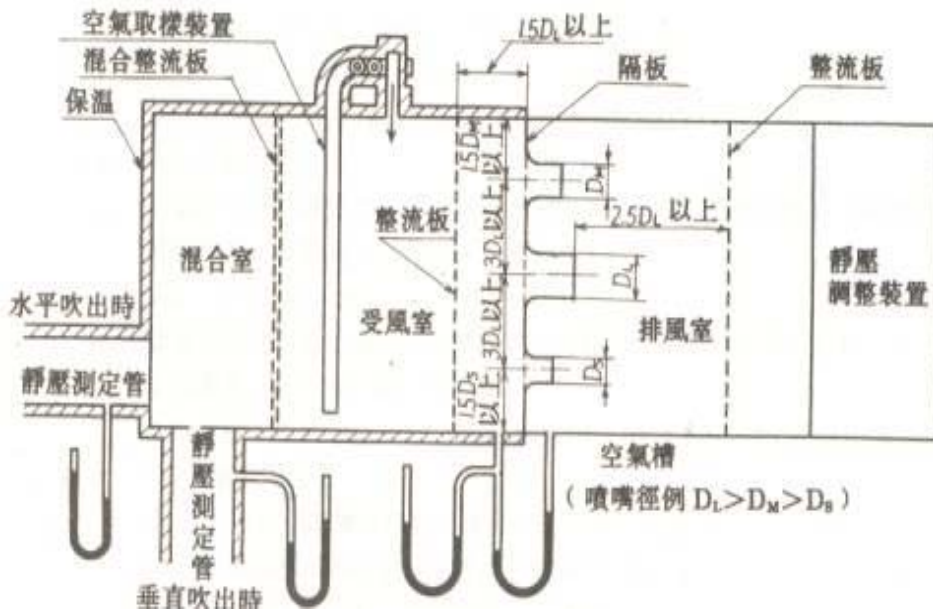


圖11、風量靜壓量測裝置(一)

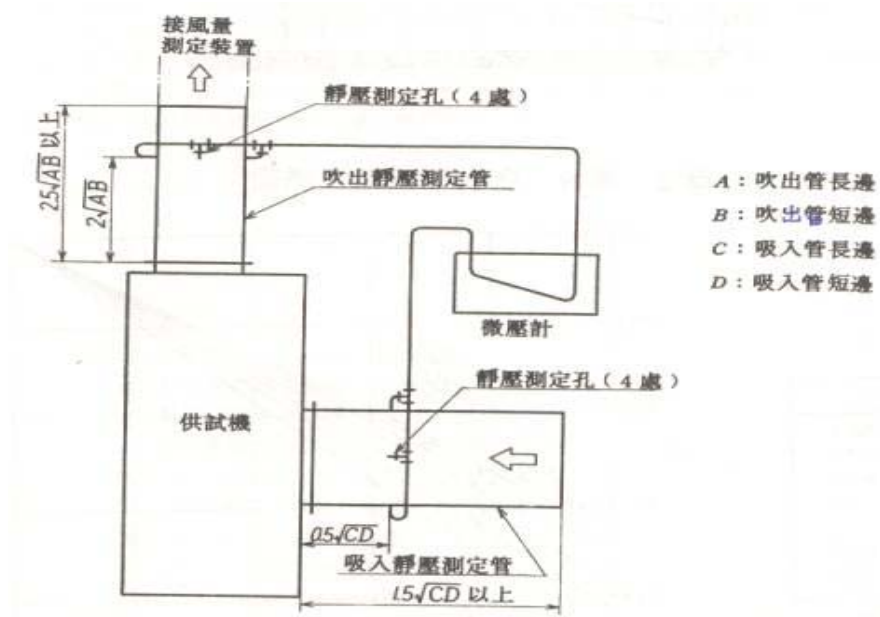


圖12、風量靜壓量測裝置(二)

參考文獻

1. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, INC.) ; 【ANSI/ASHRAE-37 Methods Testing for Rating Unitary Air-conditioning and Heat Pump Equipment】 ; 1988。
2. (American Air-conditioning and Refrigeration Institute) ; 【ARI-210/240 Unitary Air-Conditioning & Air-Source Heat Pump】 ; 1994。
3. (American Air-conditioning and Refrigeration Institute) ; 【ARI-310/380 Packaged Terminal Air-Conditioning & Heat Pumps】 ; 1993。
4. (Japanese Industrial Standards Committee) ; 【JIS C 9612 ルームエアコンディショナ】 ; 1989。
5. (Japanese Industrial Standards Committee) ; 【JIS B 8625 パッケージエアコンディショナ試験方法】 ; 1984。
6. 中國國家標準 ; 【CNS-3615室內空調機】 ; 1995。
7. 中國國家標準 ; 【CNS-3615無風管空氣調節機】 ; 2000。
8. 國際標準組織【ISO-5151 ; Non-ducted Air Conditioners and Heat Pump-Testing and Rating for Performance】 ; 1994。
9. 中國國家標準 ; 【CNS-14464無風管空氣調節機與熱泵之試驗及性能等級】 ; 2000。
10. (The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association ; JRAIA) ルームエアコンディショナ検査技術委員編 ; 謝桂平譯 ; 「TR-02ルームエアコンディショナ標準性能試験方法細則」 ; 1998。
11. 工研院能資所 ; 謝桂平、林祥輝、王茂榮著 ; 「空調設備性能實驗室測試作業程序」第四版 ; 2000。
12. 謝桂平 ; 「空調機實驗室儀器校正技術」 ; 中華民國實驗室認證論文研討會論文集 ; 1996。
13. 謝桂平 ; 「空調設備性能測試」 ; 中華民國實驗室認證論文研討會論文集 ; 1999。

無線射頻辨識 (RFID) 應用於國際性企業的 物管作業之研究

The Study of RFID Technology on Materials Managements of International Business

楊金福¹

歐宗殷²

Chin-Fu Yang

Chung-Yin Ou

¹東南技術學院工業工程與管理系教授

²工研院產業經濟與資訊服務中心產業分析師

Professor, Department of Industrial Engineering and Management

Industrial Analyst ITRI IEK

摘 要

無線射頻辨識 (RFID) 無需人工操作即可進行管理作業、速度上即時反映、可大幅縮短作業時間、讀取範圍廣泛等特性，可自動完成品項識別、物料分類、產品追蹤、進出管制、統計分析等有關企業常見的流程管理作業，藉由 RFID 的應用，將帶來革新性的管理理論與技術的新發展。本研究已廣泛蒐集國內外相關產業使用 RFID 技術的文獻及資料，並以服飾業、食品業、零售業及電子業導入 RFID 技術的層級及其效益，加以研討。

物料管理係指任何企業的材料流程週期中，所有相關的管理功能，包括原物料的規劃與分析，在製品的規劃與管制，製成品的倉儲、裝運（撿貨與出貨）、配銷等功能。由於運用 RFID 技術，不但可突破現有物料管理作業模式，大幅提升物料管理效能，降低整體供應鏈成本，而且藉由國際標準的制度與實施，促進全球化供應鏈目標的實現。

關鍵語：無線射頻辨識 (RFID)，國際性企業，物管作業，國際標準

一、前言

RFID (Radio Frequency Identification；無線射頻辨識，以下簡稱 RFID) 並非一項新興的資訊技術，早在1940年代時即被應用在雷達識別敵我戰機之用，然由於半導體生產技術的大幅精進，使得晶片的單位體積得以越作越小，因此 RFID 應用領域的可能性開始被大家所重視。RFID 涵蓋了微波、磁力學和無線頻率等專業技術，主要的組成元件為發射器 (transponder) 和讀取器 (reader)，藉由多樣且快速的資訊擷取方式，

可讀取高速運行中的鐵路貨櫃以及零售業的各項產品資訊，與現有的條碼技術相較之下更具發展潛力。【6】

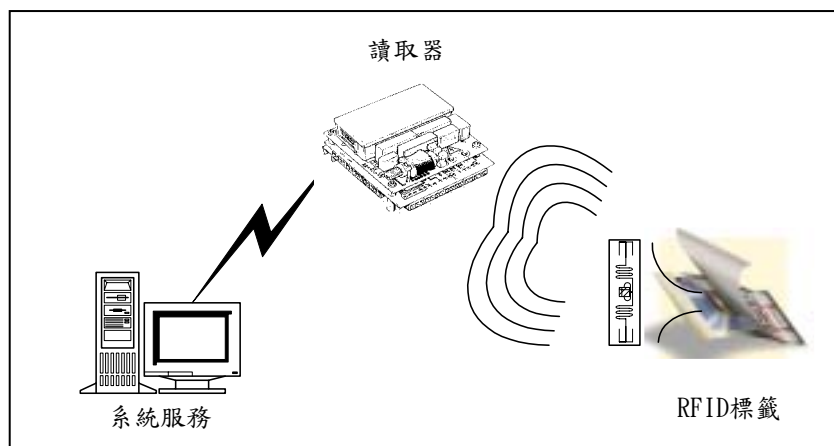
在1995年時 Ollivier 【5】認為 RFID 技術將可大幅改善並提升物料管理系統的效率 and 正確性，藉由產品上的晶片，可在生產系統、倉儲中心和物流中心等環境中進行單一項目的監控與追蹤。伴隨著 RFID 技術的逐漸成熟，許多產業如航空業、製造業、服務業、流通業或食品業等亦將會普及。在2003年全球零售業的龍頭 Wal-Mart 要求它的前百大供應商，在2005年1月開始必須在所有的棧板和紙箱上放置 RFID 晶片，以強化其供應鏈資訊與貨品的快速流通，進而減少庫存、降低盤點次數、提高貨物帳料相符準確率並預防偷竊和遺失以降低整體物料管理的成本。本研究將進一步分析 RFID 整合應用到國際性企業的物管作業時，所產生的作業流程變革與效益提升。

二、RFID 的系統特性

一般而言，一個完整的 RFID 系統應涵蓋標籤 (Tag)、讀取器 (Reader) 和系統服務等三個主要項目，讀取器透過無線的方式擷取標籤上的資料，再將資料傳回後端系統進行資料的彙整和處理，如圖一所示。

一、標籤 (Tag)

RFID 中所使用的標籤，其功能主要是用來攜帶描述物品狀態的各項資訊，透過無線射頻的電波傳遞交換訊息，在物流供應鏈的應用上可取代原有產品條碼的功能，標籤與傳統條碼的差異，包括：資料可更新、便於資料辨讀、儲存資料的容量大、可重覆性使用、可同時讀取數個資料等。一般而言，在標籤中內建電池稱之主動式標籤 (Active Tag)，另一種不附帶電池的



圖一 RFID 系統資料交換方式

標籤則稱之為被動式標籤 (Passive Tag)，使用時將根據環境和作業特性的需求而有不同的選擇。

二、讀取器 (Reader)

讀取器最主要的功能在於接收主機端 (Host) 的命令，將儲存在 Tag 內的資料以無線方式傳送回主機，或是將主機中的資訊寫入標籤內，此一功能端賴標籤的設計是否具備可讀/寫的功能，讀取器有很多種型態，有輸送帶的型式、長條或方塊型、隧道型或是作成開門型，儘管型態多變，但大致可區分為手持式 (Handheld) 和固定式

(Fix) 兩類。

三、系統服務

RFID 的系統服務是使用者用以控制整個機制運作的核心，所被讀取的資料都會進入系統之中作運算和處理，可執行的功能包括自動識別、分級、分類、追蹤、統計分析、防竊盜、進出管制等，端賴資訊的形式和產業的特性不同而有多種的應用，在製造業中的應用更涵蓋資訊管理、製造執行、品質控制、產品追蹤（例如：原產地資料）、存貨能見度與生產力提升和資產管理。【7】

參、物料管理作業之主要管理功能

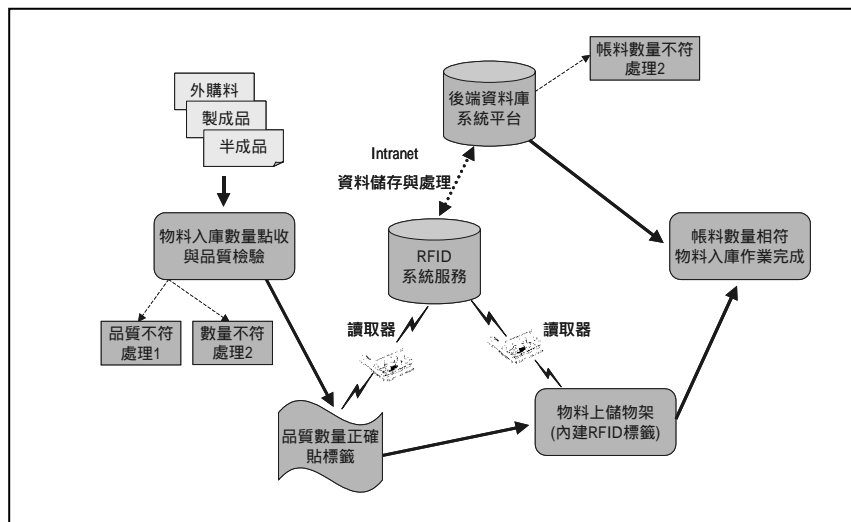
所謂的物料管理係指任何企業的物料流程週期中，所有相關的管理功能，包括原物料的規劃與分析，在製品的規劃與管制，製成品的倉儲、裝運（檢貨與出貨）、配銷等功能【1】。在物料管理作業中可依處理的程序分為三個流程：收料作業流程、儲存與盤點作業流程和發料作業流程。RFID 分別應用在個別流程中為企業整體的物料管理提供更好的管控機制與功能。

一、RFID 於收料作業流程之應用

物料入庫作業是指點收與檢驗企業外購之材料或廠內製造單位辦理入庫之成品、半成品等項目，作業內容包括卸貨、包裝拆卸、物料辨別與分類並與採購單內容作比對等，再決定是否完成入庫的動作，一但出現品質不良或是數量不符時處理方式有二【1】：

- (一) 品質不良處理方式：無法使用之材料應退還供應商並補交合格材料。
- (二) 數量不符處理方式：
 1. 數量超出不多，可照價收購入庫
 2. 數量超出太多或不是經常使用物料，則退回供應商
 3. 交貨數量不足，則請供應商補足或直接扣除貨款。

圖二表示 RFID 於收料作業流程之應用情形。



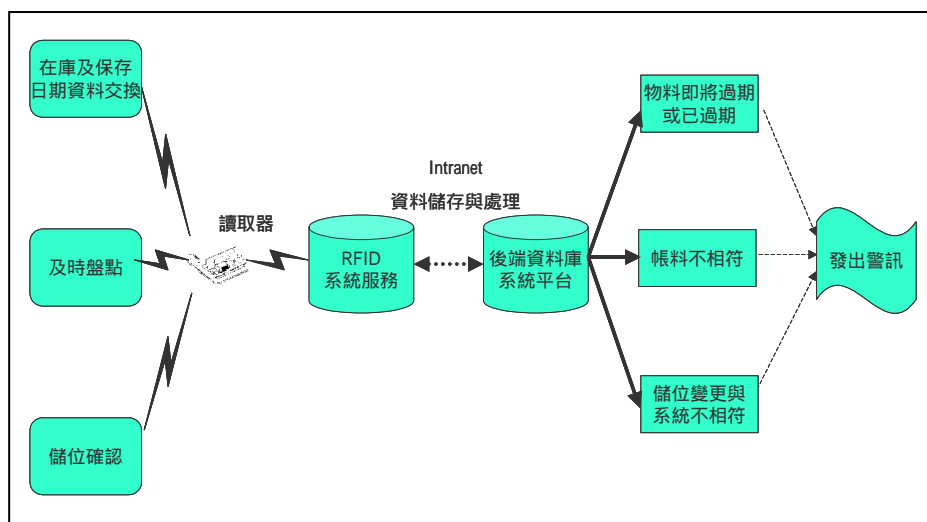
圖二 RFID 於收料作業流程之應用

二、RFID 於儲存與盤點作業流程之應用

儲存與盤點作業是物管作業中很重要的一環，基本上儲存於倉庫內的材料應該保持狀況良好且數量正確，如果倉庫中所存放之物料因保管不週而有所損壞或是經常有帳料不符之現象，將增加其持有的成本進而影響交貨日期造成重大損失，因此當物料在倉庫中儲存或進行盤點時，RFID 可追蹤物料儲存的日期、物料在庫的數量以及正確無誤的儲位位置。

傳統的盤點作業通常可分為定期性盤點、臨時性盤點和循環性盤點，一但有了 RFID 之後，物料數量和儲位的改變可即時被偵測到，不但可大幅減少倉庫中呆廢料的產生和不必要的成本增加，亦可大幅降低人工成本及人為的疏失，提升整體作業的準確率。

圖三顯示 RFID 於儲存與盤點作業流程之應用情形。



圖三 RFID 於儲存與盤點作業流程之應用

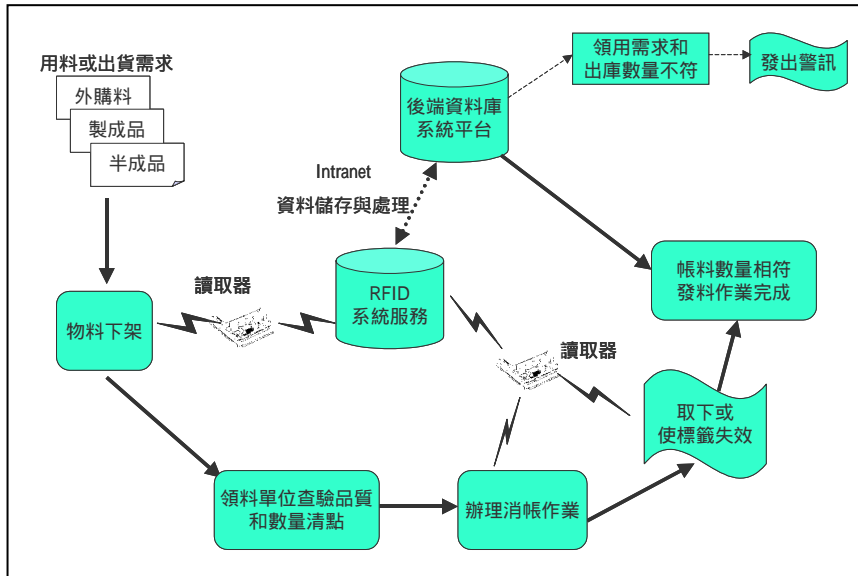
三、RFID 於發料作業流程之應用

發料作業可大致區分為原物料發放、半成品倉發放與成品倉發放，倉庫進行發料作業時通常是根據用料單位所提出領料單之內容，發放所需的品項和數量，所提領的原物料、半成品或成品數量可透過 RFID 作詳細的登載記錄，以往以人工作業的方式，常造成庫存記錄的不正確，而導致下列情形的發生【4】：

1. 超量的安全庫存
2. 陳腐化庫存的產生
3. 大量的盤虧損現象出現
4. 監督費用提高
5. 生產效率降低
6. 產品交貨延遲
7. 費用和生產業績資料錯誤。

由此可知，發料作業的管控如果能輔以 RFID 的特性，可避免庫存記錄不正確的問題。

圖四說明 RFID 於發料作業流程之應用情形。



圖四 RFID 於發料作業流程之應用

肆、國外企業導入 RFID 應用方式與效益

國外目前已有多家企業運用 RFID 系統協助存貨、防竊、收發貨、人員管控與產品組裝等管理作業，可應用的產業相當廣泛包括服飾業、食品業、零售業、醫院和電子業等，由於作業流程與控管方式各異，所應用的階段也有所不同，RFID 的應用階段與方式如表1所示。【3】

不同企業使用 RFID 目的皆不盡相同，要將標籤位置的設定和管控的機制整合至工作現場，上述四個階段的應用方式皆有企業採用，顯見 RFID 的應用並非一成不變，充其量 RFID 只能說是另一種形式的資訊載具，因為它具備非接觸、快速且即時的資訊傳遞方式，可大幅改變以往使用條碼時，受限於讀取的效率、範圍和方式等難以突破的限制，表2顯示數個知名國際性企業應用 RFID 的現況和效益以供參考。【2】

表1 RFID 之應用階段與方式

應用階段	應 用 方 式
貨櫃貨盤階段 (Container Phase)	在貨櫃上裝設 RFID 進行辨識和追蹤，目前應用於國際貨櫃運送上，有助於產業進行全球運籌對貨物掌控的能力增加，並可提升貨物及國土之安全。
物流棧板階段 (Pallet Phase)	在載具上裝設 RFID，以追蹤辨識物流載具如棧板、籠車、配送車等，提供供應商及時的補貨資訊、加快收貨作業時間、驗貨與上架資訊化，利於管理與存貨控制。
包裝容器階段 (Case Phase)	產品包裝成箱後裝上 RFID，追蹤及辨識紙箱或容器的形狀、位置及交接貨物之數量，對於需求和供給所提供的資訊更為精確，以箱為單位的揀貨、包裝與出貨將更為方便。
產品項目階段 (Item Phase)	每個產品皆放上 RFID，可管控至最小單位，對於零售端的銷售更為有利，包括貨架上的促銷、防竊、消費者行為分析等均能做個別產品的管理。

表2 國際性企業運用 RFID 的現況與效益

個案產業	應用現況或發展	RFID 導入層級	效益
PRADA (服飾業)	所有商品皆貼上 RFID 標籤，使用標籤約 13000~15000個。	產品項目階段	設有 RFID 試衣間，在收銀台將商品標籤回收。
Kraft (食品業)	利用 RFID 改善倉庫的貨櫃管理，將原先的條碼追蹤升級為 RFID 追蹤系統。	貨櫃貨盤階段	透過 RFID 追蹤與管理貨櫃，每年可省下約200萬美元的成本。
Wal-Mart (零售業)	要求供應商到2005年1月起必須在棧板與箱上裝上 RFID 標籤。	物流棧板階段 包裝容器階段	改善存貨管理，並提高整個供應鏈的可視度 (visibility)
DELL (電子業)	有4,000個載具被裝上標籤，載著零件和產品在組裝線上移動。	物流棧板階段	系統能監控並追蹤所有生產流程，正確處理成品的包裝與運送標籤的校正。

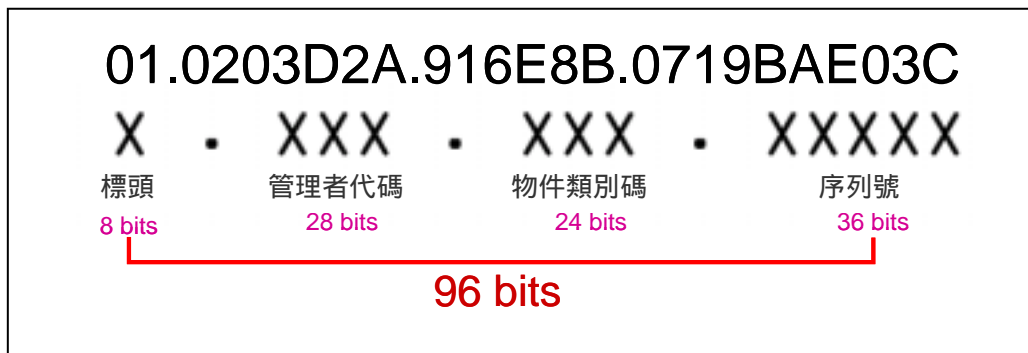
伍、國際標準的制定與推行

國際上主導 RFID 發展的組織，最早是1999年由 MIT (美國麻省理工學院) 結合寶鹼 (P&G)、金吉列 (Gillette) 及美國編碼協會 (UCC) 等發起成立的。2000年起，則正式成為 EAN.UCC 國際組織轄下的一個委員會即稱為 AUTO-ID CENTER，後又更名為 EPCglobal，並與 EAN.UCC 所推廣的全球商業的編碼原則相結合，進而延伸其應用。【8】

Auto ID Center 提出一個新的 Electronic Product Code (EPC) 架構，EPC 碼的標示對象，包含使用傳統條碼的物品之外，小至物件單一品項、箱子，大至棧板、推車、貨櫃、貨車等，甚至擴及服務項目皆適合採用 EPC 碼，提供這些實體或虛擬的物件全球唯一的編號。EPC 標準因陸續為全球大公司所採用，如 Wal-Mart、Coco-Cola、Kraft-Foods 等國際性企業所採用，預料將成為新一代的全球共通產品電子代碼的標準。

EPC 是一個可擴充的編碼系統，因應不同產業需求可作編碼上的調整設計，以利賦予物件品項獨一無二的編碼。由目前已公佈的 EPC 標籤規格書得知，標籤容量有96位元與64位元的分別，未來也會有256位元的編碼出現，視使用者需要選擇標籤容量；隨容量大小，調整其編碼結構。其基礎的編碼方式是將 EPC 碼結構分為四區塊：標頭 (Header)、一般管理者代碼 (General Manager Number)、物件類別碼 (Object Class) 以及序列號 (Serial Number)，如圖五所示。此種編碼方式的優點在於：

1. 號碼容量大：當 EPC 碼核發後，使用者可依據其產業需要進行後續編碼，其容量之大，不僅容納現行的需要，也兼顧未來發展進行擴充。
2. 獨一無二的編碼：EPC 碼的設計，視物件的單一品項為不同的個體。
3. 可擴充性：由於標頭版本及其結構化設計，使 EPC 碼容量極大化，保留許多剩餘空間得以隨時擴展編碼。



圖五 九十六位元的 EPC 編碼系統原則

陸、結論

RFID 是近年來相當熱門的一項新興科技，由於 RFID 系統可以實現商品從原料、半成品、成品、運輸、倉儲、配送、上架、最終銷售，甚至退貨處理等所有環節進行即時監控，不僅能大幅地提高自動化程度，亦可以降低錯誤率，本研究從物料管理作業的流程管控來探討 RFID 的應用，以收料作業流程、儲存與盤點作業流程和發料作業流程為系統建構的對象。企業在應用 RFID 前必先掌握國際標準的制定趨勢，並參考國際性企業應用的實例作為參考。後續研究可延伸目前所探討之範疇，重新建構 RFID 之資訊系統架構，上至供應廠商的供貨下至顧客銷售端的記錄，以降低整體供應鏈的存貨成本，並提升企業競爭力。

參考文獻

1. 楊金福 (2003) 編著；材料系統：計畫、分析與管制；中興管理顧問公司
2. 江美欣、歐宗殷、哈建宇、池惠婷 (2004)；先進技術在物流之應用與發展機會研究；經濟部技術處；工業技術研究院產業經濟與資訊服務中心
3. 江美欣 (2004)；物流環節中 RFID 之需求領域與效益；工研院 IEK 機電運輸組 ITIS 計畫評析；ITIS 產業資訊服務網 <http://www.itis.org.tw/index.jsp> レイトン・スミス/小島義輝/森正勝 (1977.5)；MRP と在庫管理；日本雜誌 IE；第46頁
4. Ollivier Michael (1995)；RFID enhances materials handling；Sensor Review. Bradford；Vol.15, Iss.1；page36
5. Vern A. Dubendorf (2003)；Wireless Data Technologies；USA；John Wiley & Sons, Ltd；Page.161
6. Rockwell Automation (2004)；RFID in Manufacturing — A practical guide on extracting measurable value from RFID implementations in plant and warehousing operations；USA
7. EPCglobal Taiwan (2004.11) <http://gs1.eantaiwan.org.tw/epcg/jsp/index.jsp>

考慮批量流之多階段流程型工廠經濟生產批量訂定

The Determination of Economic Production Batch Sizes with Lot Streaming in a Multistage Flow Shop

張 仁 輝

東南技術學院工業管理系助理教授

摘 要

本研究的目的為提出一個考慮批量流之多階段流程型工廠經濟生產批量訂定模式，總成本包含設置成本、移運批搬運成本、三種存貨持有成本與完成品運送成本。本研究證明所提的總成本函數具有凸性，然後利用一個方法同時決定最佳處理批量與移運批數，其中移運批數必須為整數。最後，利用一個範例說明本研究所提方法的求解程序。

關鍵詞：批量流、流程型工廠、處理批、移運批

Abstract

The purpose of this paper is to present a model for determining the economic production batch sizes with lot streaming in a multistage flow shop. In this model, the total cost consists of the setup cost, the transfer batch movement cost, the three-type inventory holding cost, and the finished-goods shipment cost. The total cost is shown to be convex, and then an approach is proposed to simultaneously obtain the optimal processing batch size and the optimal integer number of transfer batches. Finally, an example is used to illustrate the solution procedure of the proposed approach.

Keywords: lot streaming, flow shop, processing batch, transfer batch

壹、導論

在今日全球化競爭日趨激烈，縮短產品製造前置時間是管理者欲提高企業經營績效的一個重要目標。近二十幾年來，以時間為基礎的競爭理念(time-based competition philosophy)被廣泛地應用在產業中且帶來極大的利益，而縮短製造前置時間便是達到這種競爭優勢的一個很重要的方法。批量流(lot streaming)是將一個處理批(processing batch)分割成幾個移運批(transfer batches)，以便在某製程上處理完某特定移運批後，立即送至下一製程繼續處理，毋須等待整個處理批完成後再運至下一製程。如此，可使同一處理批在不同製程上同時處理，加速生產的進行。這種批量處理方式是降低製造前置時間的一個重要技術。批量流亦是最佳化生產技術(optimized production technology, OPT)用來解決製造系統基本問題的一種方法(例如，Lundrigan(1986)、Ronen 與 Starr(1990)、Kropp 與 Smunt(1990)及 Zapfel 與 Missbauer(1993))，如同剛好及時(just-in-time, JIT)系統的單件移轉(one-piece flow)一般。1966年 Reiter(1966)已提出此一名詞，而後，對批量流的研究逐漸受到重視，再者，1980年代初期 Goldratt(1980)提出 OPT 的觀念受到學術界與實務界重視，更加速了對此問題的研究。

構成批量流的要素為批量分割(lot-splitting)、作業重疊(operations overlapping)、處理批和移運批。傳統對批量流處理的觀點為處理批量等於移運批量，這由物料需求計劃(materials requirements planning, MRP)系統中批量訂定(lot-sizing)的文獻可知；而在 OPT 系統中，批量流技術主張處理批量不等於移運批量，由此可知，批量流對批量的探討更深入。

批量流的研究方向分成兩大類，第一類為時間模式，以排程理論(scheduling theory)為基礎追求縮短與時間有關的績效評估準則(例如，總完成時間(makespan)或平均流程時間(mean flow time))的最佳移運批與生產順序決策。另一類為成本模式，應用存貨理論(inventory theory)探討在總成本最低的情形下，決定最佳的處理批量與移運批數。

在成本模式的研究中，均假設生產環境為流程型生產系統且只生產一種產品。Szendrovits(1975)首先提出一個考慮批量流的成本模式，其總成本包含設置成本、在製品(work-in-process, WIP)存貨儲存成本與完成品(finished goods)存貨儲存成本，雖然其成本函數同時考慮處理批量與移運批量，但求解時假設移運批數已知來決定最佳的處理批量。Goyal(1978)考慮移運批移運成本且以更精確的方式計算在製品存貨數量來擴充 Szendrovits 的模式而提出一個成本模式，然而其求解過程與其大致相同，最大差異在於計算不同移運批數下之最佳處理批量，再比較已求得的移運批數與對應的處理批量而得到一個具最低總成本的移運批數與處理批量。Graves 與 Kostreva(1986)研究雙機問題，考慮更複雜的成本結構，總成本包含設置成本、進料存貨儲存成本、存貨儲存成本、完成品存貨儲存成本、等待處理的成本與搬運成本，同時決定最佳的移運批數與處理批量。Ranga *et al.*(2000)進一步考慮設置時間與等待時間來擴充 Szendrovits 的模式並沿用其計算在製品存貨數量的方法，發展一個成本模式，由於成本函數沒有封閉形式(closed form)，故無法求出最佳的移運批數與處理批量，因此，在假設完全平衡的生產系統(completely balanced production system)及已知移運批數下，決定最佳的處理批量。

由以上文獻探討可知，大都假設移運批數已知，尋找總成本最低的處理批量，甚少論文將兩者同時視為決策變數。即使成本模式將處理批量與移運批數同時列入考慮，在決定最佳決策時，因模式求解困難，大都假設移運批數已知。有鑑於文獻的缺失，本研究將研究重點放在成本模式，提出可用來求解多階段流程型工廠批量流問題的經濟生產批量模式，總成本包含設置成本、移運批搬運成本及三種形式的存貨(原物料、各階段 WIP 與完成品)儲存成本與完成品交貨運送成本。本研究利用一種最佳化方法證明所提出的成本函數具有凸性(convexity)，然後根據此性質提出一個方法來決定最佳處理批量與移運批數，其中移運批數必須為整數。最後，利用一個範例說明本研究所提的方法之求解程序。

貳、符號定義與基本假設

本研究使用之符號定義如下：

- m ：製程數；
- n ：移運批數；
- j ：製程順序， $j = 1, \dots, m$ ，其中製程 m 為最後一個階段；
- D ：完成品每年的需求量；
- Q ：處理批量；
- t_j ：製程 j 之單位加工處理時間；
- S_j ：製程 j 每週程之設置成本，一個週程表示產製一個處理批量的時間；
- G_1 ：每次搬運所需之移運批搬運成本；
- G_2 ：每次運送所需之完成品運送成本；
- C_0 ：每單位原物料的價值；
- C_j ：製程 j 每單位在製品的價值；
- C_m ：每單位完成品存貨價值，其中 $C_0 < C_1 < \dots < C_{m-1} < C_m$ ；
- h_j ：製程 j 每單位時間之存貨持有成本率，在本研究中，假設各製程之成本率皆相同，以 h 表示。

本研究之基本假設定義如下：

1. 流程型生產系統包含 m 製程，每個製程僅有一部機器且系統只生產一種產品。
2. 每年完成品的需求量(D)為確定(deterministic)且已知(known)。
3. 各製程產製的移運批量均相等；所有製程一旦開始產製就不允許中斷，亦即在開始生產後沒有閒置時間(idle time)。
4. 移運批搬運設備數目與每個搬運設備之容量沒有限制。
5. 每一製程具有足夠的暫存區(buffer area)以儲存任意大小的移運批量。
6. 各製程之單位加工處理時間為已知且固定，移運批搬運時間假設可以忽略。
7. 為便於模式的推導，各製程之設置時間假設可以忽略，而製程 j 之設置成本與設置時間為相互獨立。
8. 移運批搬運成本和完成品運送成本與移運批量大小無關。
9. 不允許缺貨。
10. 原物料由外部供應商獲得，其補充率(replenishment rates)為無限大且每單位的價值為已知且固定，亦即無數量折扣。第一個製程的原物料送達時間即為移運批之開

始產製間，此外，補充的數量等於移運批量。

11. 當一個移運批在最後一個製程產製完成後，立即運送給顧客。

參、總生產時間與存貨價值的計算

根據基本假設(3)，產製一個處理批量的總生產時間(makespan)為

$$M(Q, n) = \frac{Q}{n} \left[\sum_{j=1}^m t_j + (n-1) \sum_{j=1}^m (t_j - t_{j-1}) \delta_j \right], \quad (1)$$

$$\text{其中 } \delta_j = \begin{cases} 1 & , \text{if } t_j > t_{j-1}, \\ 0 & , \text{otherwise,} \end{cases} \quad \text{and } t_0 = 0, \quad j=1, \dots, m.$$

Baker 與 Jia(1993)將上式稱之為無閒置的總生產時間(no idling makespan)。理論上，增加移運批數會縮短總生產時間，但隨著移運批數的增加，其總生產時間的降低比例會逐漸減少；此外，在生產系統中，搬運移運批需要時間與成本，因此，移運批數不會增加到無限大，必定在介於單一處理批量($n=1$)與單件搬運($n=Q$)間存在一個最佳移運批數。

圖一為一 m 階段流程型生產統中三種存貨型式(亦即原物料、WIP 與完成品)與產製一個處理批量的總生產時間。如圖一所示，第一個製程上之原物料價值可由加總各虛線三角形面積(dashed-line triangular area)加總而得：

$$\frac{Q^2}{2n} t_1 C_0. \quad (2)$$

同樣地，最後一個製程上之完成品價值可由加總各實線三角形面積(bold-line triangular area)加總而得：

$$\frac{Q^2}{2n} t_m C_m. \quad (3)$$

在製品存貨價值可分成兩個部分，第一部份為各移運批等待被製程處理的價值，第二部份為各移運批在製程上被處理的價值。在第一部份，移運批等待被相鄰兩製程產製的時間受到相鄰兩製程單位加工處理時間的影響。因此，移運批等待被相鄰兩製程的時間為

$$\frac{n(n-1)}{2} |t_{j-1} - t_j| \frac{Q}{n}; \quad (4)$$

移運批等待被所有製程的總時間為

$$\sum_{j=2}^m \frac{n(n-1)}{2} |t_{j-1} - t_j| \frac{Q}{n} = \frac{Q}{n} \left(\frac{1}{2} n(n-1) \right) \sum_{j=2}^m |t_{j-1} - t_j|. \quad (5)$$

因此，移運批等待被處理的總價值為

$$\frac{Q^2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j|. \quad (6)$$

在第二部分，每一製程(除了第一個與最後一個製程)每一移運批的在製品存貨可由虛線三角形面積與實線三角形面積表示。而第一個製程之在製品由實線三角形面積表示，最後一個製程之在製品由虛線三角形面積表示。因此，第二部分的在製品總價值為

$$\frac{Q^2}{2n} \left[t_1 C_1 + \sum_{j=2}^{m-1} t_j (C_{j-1} + C_j) + t_m C_{m-1} \right] \quad (7)$$

最後，三種存貨的價值可由式(2)、(3)、(6)與(7)加總而得，亦即

$$\frac{Q^2}{2n} t_1 C_0 + \frac{Q^2}{2n} t_m C_m + \frac{Q^2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| + \frac{Q^2}{2n} \left[t_1 C_1 + \sum_{j=2}^{m-1} t_j (C_{j-1} + C_j) + t_m C_{m-1} \right] \quad (8)$$

式(8)可進一步簡化成更簡潔的形式：

$$\frac{Q^2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| + \frac{Q^2}{2n} \left[\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) \right] \quad (9)$$

肆、模式之構建與最佳化

本研究所發展的成本模式其總成本由六項成本構成，分別為設置成本、移運批搬運成本、三種型式的存貨儲存成本與完成品運送成本，其中在製品存貨儲存成本由式(9)構成，亦即

每週期總成本 = 設置成本 + 移運批搬運成本 + 原物料存貨儲存成本
+ 在製品存貨儲存成本 + 完成品存貨儲存成本 + 完成品運送成本。

以符號表示，每週期總成本為

$$CTC(Q, n) = \sum_{j=1}^m S_j + G_1 n(m-1) + \frac{Q^2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) h + \frac{Q^2}{2n} \left[\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) \right] h + G_2 n \quad (10)$$

式(10)乘以 D/Q ，則每年總成本變成

$$YTC(Q, n) = CTC(Q, n) \frac{D}{Q} = \frac{D}{Q} \sum_{j=1}^m S_j + \frac{D}{Q} G_1 n(m-1) + \frac{QD}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) h + \frac{QD}{2n} \left[\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) \right] h + \frac{D}{Q} G_2 n \quad (11)$$

令 A_1 、 A_2 、 A_3 與 A_4 分別為 $\sum_{j=1}^m S_j$ 、 $G_1(m-1)$ 、 $\left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) h$ 和

$\left[\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) \right] h$ ，則年總成本變成

$$YTC(Q, n) = \frac{D}{Q} A_1 + \frac{nD}{Q} A_2 + \frac{QD}{2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) A_3 + \frac{QD}{2n} A_4 + \frac{G_2 n D}{Q}.$$

利用 Hessian 矩陣的觀念可證明年總成本 $YTC(Q, n)$ 為凸函數(convex function), 詳細證明過程說明如下:

$$\frac{\partial YTC(Q, n)}{\partial Q} = \frac{D[(n-1)A_3 + A_4]}{2n} - \frac{D(A_1 + nA_2 + G_2 n)}{Q^2}.$$

$$\frac{\partial YTC(Q, n)}{\partial n} = \frac{QD(A_3 - A_4)}{2n^2} + \frac{D(A_2 + G_2)}{Q}.$$

$$\frac{\partial^2 YTC(Q, n)}{\partial Q^2} = \frac{2D(A_1 + nA_2 + G_2 n)}{Q^3} > 0.$$

因為 $\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| < \sum_{j=2}^m C_{j-1} (t_{j-1} + t_j)$, 因此,

$$\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) - \sum_{j=2}^m C_{j-1} (t_{j-1} + t_j) = t_1 C_0 + t_m C_m > 0, \text{ 結果 } A_4 - A_3 > 0.$$

$$\text{故 } \frac{\partial^2 YTC(Q, n)}{\partial n^2} = \frac{-QD}{n^3} A_3 + \frac{QD}{n^3} A_4 = \frac{QD}{n^3} (A_4 - A_3) > 0.$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 YTC}{\partial Q^2}\right) \left(\frac{\partial^2 YTC}{\partial n^2}\right) - \left(\frac{\partial^2 YTC}{\partial Q \partial n}\right) \left(\frac{\partial^2 YTC}{\partial n \partial Q}\right) &= \left(\frac{2D(A_1 + nA_2 + nG_2)}{Q^3}\right) \left(\frac{QD(A_4 - A_3)}{n^3}\right) \\ &\quad - \left[\left(-\frac{D(A_2 + G_2)}{Q^2}\right) + \left(-\frac{D(A_4 - A_3)}{2n^2}\right)\right]^2 \\ &= \frac{2D^2 A_1 (A_4 - A_3)}{Q^2 n^3} > 0. \end{aligned}$$

因此, 年總成本 $YTC(Q, n)$ 為一凸函數, 故其全域最佳解(globally optimal solution)存在。利用偏微分(partial derivatives)分別對 Q 與 n 微分而得其一階微分函數且分別令

其為零, 即可同時得到最佳處理批量與移運批數。亦即, 令 $\frac{\partial YTC(Q, n)}{\partial Q} = 0$ 與

$$\frac{\partial YTC(Q, n)}{\partial n} = 0, \text{ 則}$$

$$Q^0 = \sqrt{\frac{2n^0 \left(\sum_{j=1}^m S_j + G_1 n^0 (m-1) + n^0 G_2 \right)}{(n^0 - 1) \left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) h + \left[\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) \right] h}} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 n^0 &= Q^0 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) h - \left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) h}{2(G_1(m-1) + G_2)}} \\
 &= \sqrt{\frac{\left(\sum_{j=1}^m S_j \right) \left(\sum_{j=1}^m t_j (C_{j-1} + C_j) - \sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right)}{\left(\sum_{j=2}^m C_{j-1} |t_{j-1} - t_j| \right) (G_1(m-1) + G_2)}} \quad (13)
 \end{aligned}$$

在此須說明的是，當所有製程的單位加工處理時間均為相同時(亦即， $t_1 = t_2 = \dots = t_m$ 且生產系統完全平衡)，式(13)中之 n^0 值為無限大(infinity)；因此，式(12)中之 Q^0 值亦為無限大。

一般來說，由式(13)所得之 n^0 值並不能保證得到整數值，而實務上移運批數須為整數。但我們可以利用 $YTC(Q, n)$ 為一凸函數的性質找出具有整數移運批的最佳解(以 (Q^{0*}, n^{0*}) 表示之)且可以確定其接近 (Q^0, n^0) 。為了找出具有整數移運批的最佳解，本研究提出一個方法用來求解不平衡流程型生產系統(unbalanced flow shop)的情形。利用下列兩步驟的求解法可得到最佳解，此法是根據式(12)與式(13)，方法說明如下：

- 步驟 1：先利用式(13)得到 n^0 值，分別找到 $\lfloor n^0 \rfloor$ 與 $\lceil n^0 \rceil$ 值，其中 $\lfloor x \rfloor$ 表示小於或等於 x 的最大正整數； $\lceil x \rceil$ 表示大於或等於 x 的最小正整數。將 $\lfloor n^0 \rfloor$ 與 $\lceil n^0 \rceil$ 值分別代入式(12)中，即可得到 $Q_{\lfloor n^0 \rfloor}^0$ 與 $Q_{\lceil n^0 \rceil}^0$ 值。
- 步驟 2：將 $(Q_{\lfloor n^0 \rfloor}^0, \lfloor n^0 \rfloor)$ 與 $(Q_{\lceil n^0 \rceil}^0, \lceil n^0 \rceil)$ 分別代入式(11)，再比較所得出的總成本，具有最小總成本的移運批數與處理批量即為最佳解。

伍、範例說明

使用一個範例說明本研究所發展的方法之求解程序。假設一流程型生產系統有五個製程，每年市場對該生產系統的需求量為600,000單位，每次搬運所需之移運批搬運成本為5元，每次運送所需之完成品運送成本為100元，每單位原物料的價值為0.5元，每年之存貨儲存成本率為0.002。此外，各製程之單位加工處理時間、設置成本與每單位在製品價值如表1所示。

表1 相關時間與成本參數

製程 (j)	t_j (分鐘)	S_j (元)	C_j (元)
1	2	150	0.6
2	4	40	0.7
3	3	100	0.8
4	5	90	0.9
5	2	100	1
總和	16	480	

由式(11)可知，年總成本為

$$YTC(Q, n) = \frac{28,800,000}{Q} + 1,200,000 \times \frac{n}{Q} + 372 \times Q \times \left(1 - \frac{1}{n}\right) + 1,452 \times \frac{Q}{n} + 6,000,000 \times \frac{n}{Q} \quad \text{兩}$$

步驟的求解法說明如下：

步驟 1：先利用式(13)得到 n^0 值(即 $n^0=3.41$)，因此， $\lfloor n^0 \rfloor = 3$ 和 $\lceil n^0 \rceil = 4$ 。再將其分別代入式(12)，我們可以得到 $Q_3^0 = 262.398$ 與 $Q_4^0 = 299.532$ 。

步驟 2：計算 $YTC(262.398, 3)$ 與 $YTC(299.532, 4)$ ，最後，最佳解為 $(262.398, 3)$ ，其每年總成本為 384,150 元。

陸、結論

近二十幾年來，縮短製造前置時間的方法被廣泛地應用在產業中以達成時間為基礎的競爭優勢。批量流就是降低製造前置時間的重要技術之一。本研究發展一個可用來求解多階段流程型工廠批量流問題的經濟生產批量模式，總成本包含設置成本、移運批搬運成本及三種型式的存貨儲存成本與完成品交貨運送成本。本研究利用 Hessian 矩陣證明所提出的總成本函數具有凸性，然後利用一個方法可很容易地決定最佳處理批量與整數移運批數並利用一個範例說明本研究所提方法的求解程序。

參考文獻

1. Goldratt EM(1980). Optimized production timetable: a revolution program for industry. APICS 23th International Conference Proceedings;172-76.
2. Goyal SK(1978). Economic batch quantity in a multistage production system. International Journal of Production Research;16(4):267-73.
3. Graves SC, Kostreva MM(1990). Overlapping operations in material requirements Planning. Journal of Operations Management;6(3):283-94.
4. Kropp DH, Smunt TL(1990). Optimal and heuristic models for lot splitting in a flow shop. Decision Sciences ;21:691-709.
5. Lundrigan, R(1986).What is this called OPT ?. Production and Inventory Management Journal; 27(2):2-11.
6. Ranga VR, Haizhen F, Duncan, KHF, Jack C H(2000). Lot streaming in multistage production systems. International Journal of Production Economics;66(2):199-211.
7. Reiter S(1966). A system for managing job shop production. Journal of Business ;34(2):371-93.
8. Ronen B, Starr MK(1990). Synchronous manufacturing as in OPT: from practice to theory. Computers and Industrial Engineering;18(4):585-600.
9. Szendrovits AL(1975). Manufacturing cycle time determination for a multistage economic quantity model. Management Science;22(3):298-308.
10. Zapfel G., Missbauer H(1993). New concepts for production planning and control.

European journal of Operational Research; 67(3):297-320.

11. Baker KR, Jia D(1993). A comparative study of lot streaming procedures. OMEGA International Journal of Management Science;21(5):561-6.

捷運321型電聯車車間通道異音改善研究

The Improvement Research of Gangway Noise-and-Vibration for MRT Electrical Express Model 321

林秋堂¹ 楊隆貴²

Lin Chiu-Tang Yan Long-Kwey

¹東南技術學院工業工程與管理系 副教授 ²台北捷運公司新店車輛廠 領班

摘 要

民國91年期間在捷運321型電聯車的車間通道有不正常之噪音產生，造成旅客乘坐不舒適，捷運公司藉著維修品管圈小組不斷的追蹤改善，原有故障次數由32次降至10次，而噪音量亦降低了29 dB 值，展現了捷運公司具有良好的維修制度與高維修品質能力，經由不斷努力解決問題與改進缺點，提供了旅客更舒適的搭乘環境與行車安全。

關鍵字：捷運電聯車、車間通道、品管圈

Abstract

In Year 2002, the gangway for MRT Electrical Express Model 321 had abnormal noise in the period of time, and it caused passengers' uncomfortable feeling. Under the continuous tracing and improving by Repair & Quality Control Circle of MRT Company, the breakdown did lower down from thirty-two to ten times, and the noise measured also decreased to 29 dB; the results revealed to the superior quality system and capability of the MRT Company. By continuously hard-working and improving efforts, MRT Company also offers more comfortable environments and traffic safety for passengers.

Key Words : MRT Electrical Express, Gangway, Quality Control Circle

壹、前言

台北捷運自營營以來，一直不斷的積極思考如何改善捷運系統設備，以提供高品質的旅客服務，亦努力結合都市各種交通運具，建構一個更優質、機能更完善的都會大眾交通環境。目前捷運已成為大台北地區民眾生活的一部分，每日運輸旅客量已達到九十五萬餘人次，完全發揮輸運旅客的功能，降低了台北交通擁塞的情況，因此台北捷運系統是紓解台北市市交通擁擠的有利工具，亦肩負著大台北都會區發展的任務。

民國91年期間，搭乘大眾捷運系統旅客投訴反應，捷運321型電聯車的車間通道有不正常之噪音產生，經查詢故障工單之統計資料，發現車間通道有多筆不正常之異常噪音、板件變形、機件損壞等異常故障發生是非常不正常的現象；經由查閱檢修履歷發現，於91年2月底才完成車間通道專案保養及增設強化橡皮覆蓋方式，迄今僅約3個月之久，不應該有此異常情形發生，為追蹤其故障原因以便利日後各項維修工法之改善，遂針對車間通道不正常噪音之問題進行研究探討。

貳、系統說明

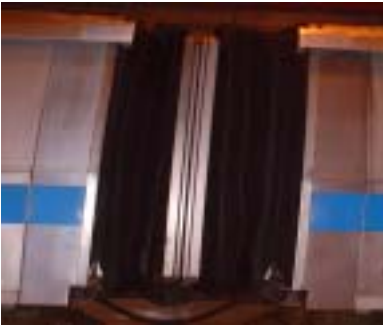
一、車間通道技術諸元(參考文獻1，營運維修服務手冊 R24章第00-70節、參考文獻2，大修維護手冊 H24章第00-70節)請參考表一。

表一車間通道技術諸元

車間通道尺寸	淨寬度 淨高度 全長	1500mm 1940mm 760mm
重量 (一組車間走道)		~500kg
車輛之可容許位移量	側面 垂直 滾動	±490mm ±120mm ±2°
適當之連結系統	有自動和半永久式	
每一半緩衝器之可容許緩衝位移	牽引 壓縮 毀壞組件	50mm 50mm 130mm
散熱		60W/°K
跨橋之重載		500kg/m ²

二、車間通道及主要組成元件

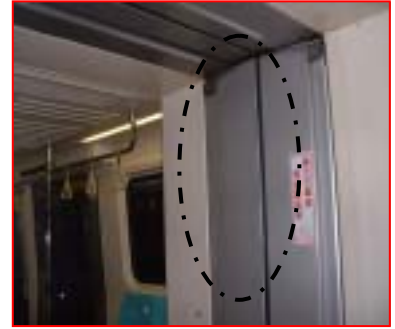
所謂車間通道(GANGWAY，簡稱 GWA)，係指讓乘客可以安全、無阻礙地從一車廂移動至另一車廂密封型的車間走道。車間通道主要組成元件包括2個主框架，當車輛連結時，此2個主框架和彈簧被按擠壓在一起。車間通道之內側襯板面係由側翼板和天花板組成；地板係由跨橋建構而成，此跨橋是係由兩片重疊之金屬板所建構而成。在車間通道以橡膠護罩與外側隔開。(請參閱圖一~圖八)



圖一 車間通道外觀



圖二 車間通道內部配置



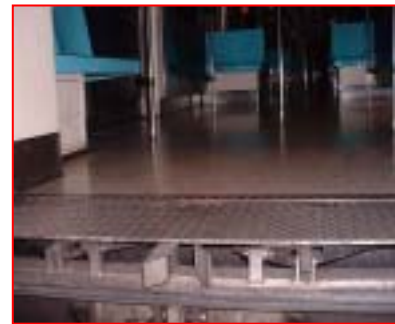
圖三 左/右側翼板



圖四 框架及橡膠護罩



圖五 連結器支架



圖六 跨橋組



圖七 承壓機構總成



圖八 可調式天花板托架

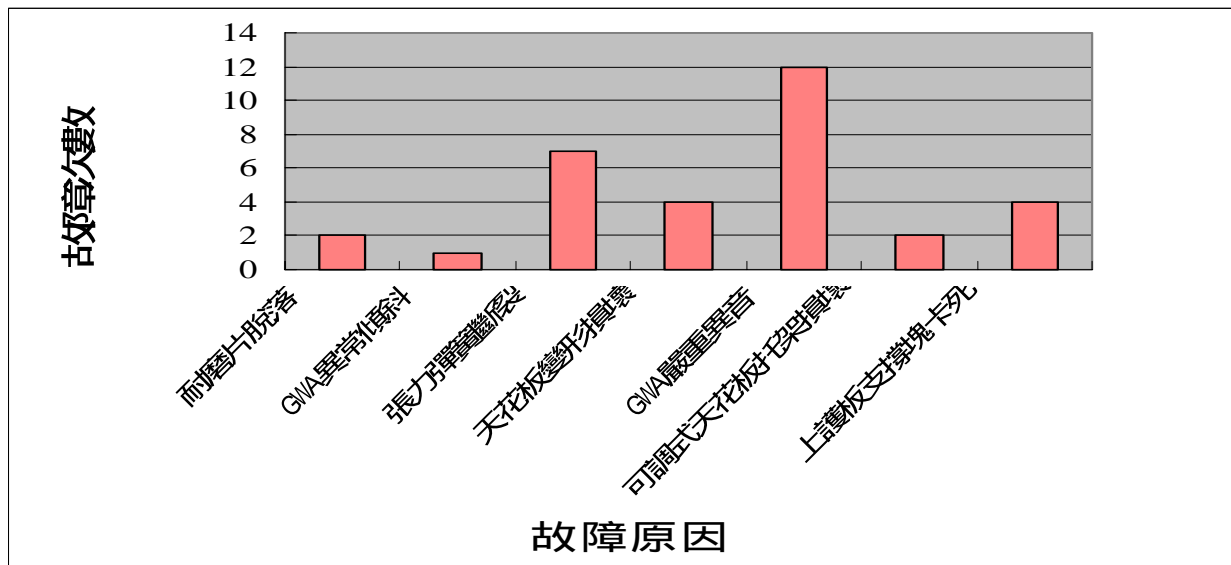
參、故障統計分析

一、原車間通道故障次數統計

由91.03.01至91.06.18止之維修工單資料統計與彙整後，得知相關故障原因如表二及圖九所示，計有耐磨片脫落等七項故障原因，茲分別敘述判斷故障原因與建議對策，以利改善解決問題。

表二 原車間通道故障次數統計表 (91.03.01~91.06.18)

項次	故障原因	故障次數
1	耐磨片脫落	2次
2	GWA 異常傾斜	1次
3	張力彈簧斷裂	7次
4	天花板變形損壞	4次
5	GWA 嚴重異音	12次
6	可調式天花板托架損壞	2次
7	上護板支撐塊卡死	4次



圖九 車間通道故障原因與次數統計圖

二、故障原因分析

(一) 耐磨片脫落

1. 判斷原因：車間通道覆蓋橡膠護罩上方破裂漏水(參閱圖十)，造成耐磨片膠合狀況劣化。
2. 建議對策：
 - (1)更換修補破裂之車間通道橡皮，此異常狀況已獲得控制。
 - (2)依據提案建議以防水黏劑 Aqualseal 重新黏貼耐磨片，此異常情形亦可獲得改善。



圖十 車間通道橡膠護罩破裂



圖十一 車間通道異常傾斜



圖十二 張力彈簧斷裂

(二) 車間通道異常傾斜(參閱圖十一)

1.判斷原因：由於承壓機構總成之作動元件潤滑不良，導致作動生澀產生極大磨擦現象，造成張力彈簧無法有效傳輸張力，故無法將車間通道外框置中，形成左右兩邊車間通道異常傾斜情形。

2.建議對策：

- (1)更換彈性疲乏之張力彈簧。
- (2)針對承壓組成之作動元件重新潤滑，並尋求耐久性佳之潤滑方式。

(三) 張力彈簧斷裂

1.判斷原因：承壓機構總成之作動元件(如圖七所示)因無潤滑而作動生澀，導致張力彈簧作動阻力增加，造成彈簧疲乏及側向剪力增加，最後導致張力彈簧斷裂(如圖十二所示)。

2.建議對策：

- (1)更換張力彈簧。
- (2)針對承壓機構總成之作動元件加以適度的潤滑。
- (3)限制張力彈簧行程範圍以防止過度伸張。

【說明：限制張力彈簧伸張行程範圍，可有效避免框架組件受力擠壓變形磨損，惟該措施亦須將兩框架固定密合於一塊（如301電聯車使用之架框扣件），以避免對應之彈簧張力不足造成裸露情形。】

(四) 架框側天花板及可調式天花板變形損壞(參閱圖十三)

1.判斷原因：

- (1)由於張力彈簧斷裂，進而造成相連接組之車間通道，相互推擠本車組之框架側翼板及天花板，產生異音與變形，最後導致破裂。
- (2)上護板支撐塊因潤滑不足導致生澀卡死，以及可調式天花板間距調整不當而產生異音情形。
- (3)框架側天花板調整不當，造成定位裝置固定座元件運作干涉，致使框架側天花板擠壓變形、側板翹曲產生異音。

2.建議對策：

- (1)更換斷裂之張力彈簧。
- (2)重新潤滑上護板支撐塊。
- (3)調整框架側翼板與可調式天花板支撐架之間隙為0.5mm~0.8mm。(參閱圖十四)
- (4)將框架側天花板干涉點鋸除，使其成為導角。(如圖十五所示)



圖十三 天花板變形損壞裂



圖十四 調整天花板支撐架間隙



圖十五 鋸除框架側天花干涉點板

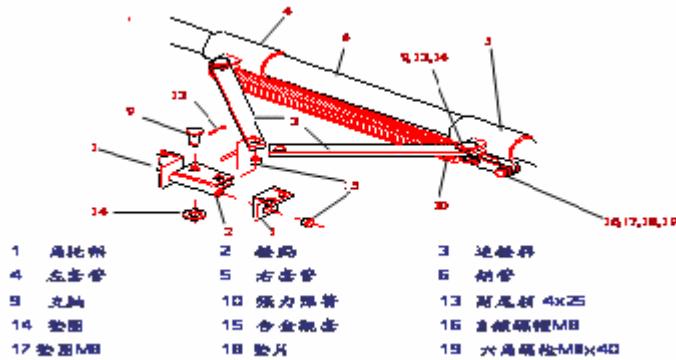
(五) 車間通道嚴重異音

除上述各類異常所造成之異音外，有部分因素也可能造成車間通道異音。

1.判斷原因：

- (1) 框架側翼板與框架連接支軸潤滑不良。
- (2) 框架側翼板間污損產生摩擦異音。
- (3) 車間通道橡膠護罩邊縫處滲水，造成組件潤滑不良而失效。

承壓機構總成



圖十六 承壓機構總成之各部作動元件



圖十七 支軸磨損

2.建議對策：

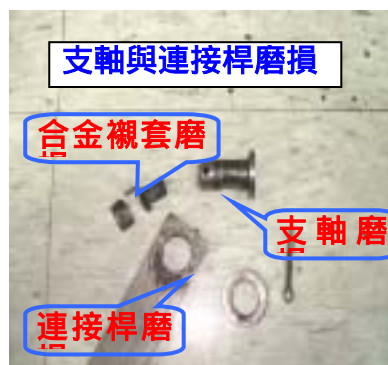
- (1) 定期以潤滑油脂潤滑框架連接桿、支軸等處所。
- (2) 以 WD-40 去汙劑，清潔框架側翼板間之污損。
- (3) 將車間通道橡膠護罩邊縫處上膠（採 SILICON N300），以防止水分滲透。

(六) 承壓機構總成元件(參閱圖十六)產生之異音

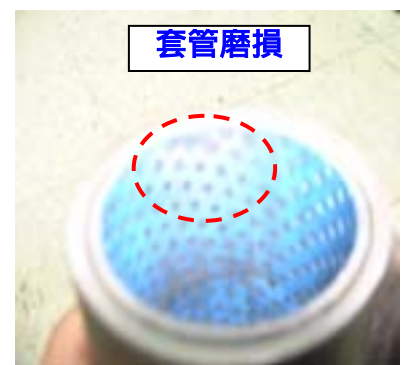
- 1.判斷原因：承壓機構總成元件之連接桿、支軸、角托架等之接點處，因潤滑不良而生澀磨損，導致產生異音。(參閱圖十七至圖二十之磨損情形)



圖十八 角托架磨損



圖十九 連接桿磨損



圖二十 套管磨損

2.建議對策：

- (1) 於一年定期檢修時，重新進行清潔潤滑。(參考文獻3，321型電聯車車體系拆卸與組裝工作說明書第一章)
- (2) 於六年定期大檢修時，更換合金襯套（耗材）新品。

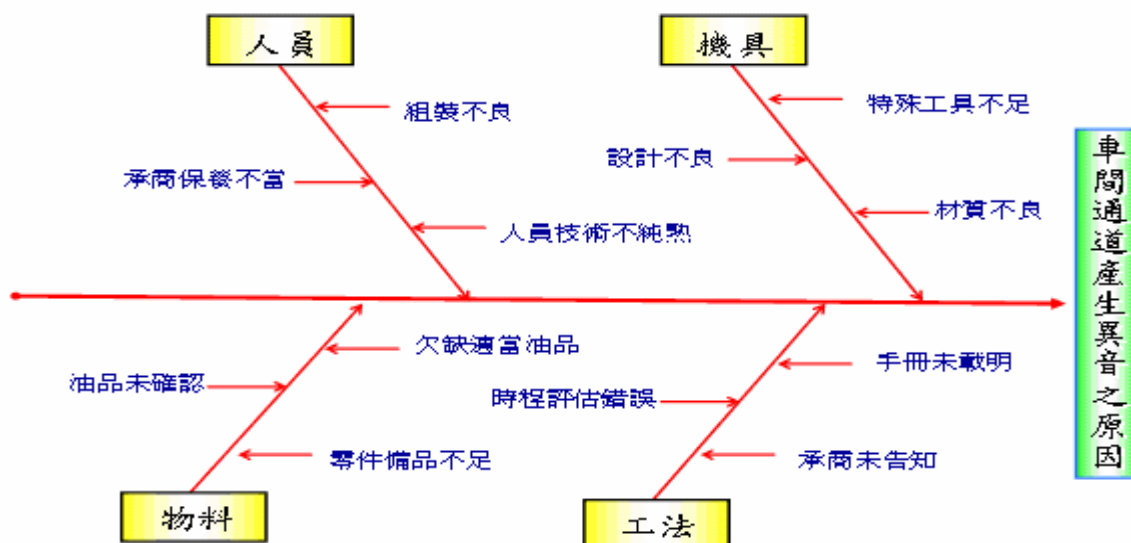
三、擬定實施對策

- (一) 於92年度起，針對全車隊 GWA 元件實施清潔、潤滑、調整專案，每6個月執行一次，並記錄追蹤管制，且列入例行性專案執行，由部務會議提報控管執行。（參考文獻4，電聯車車體系統故障檢修工作說明書）
- (二) GWA 之相關元件固定螺絲，依扭力值重新固定並畫上安全線，作為日後檢查依據。
- (三) 增訂工作說明書，明訂 GWA 元件清潔、潤滑、調整規範，預防保養於年檢以上執行，並落實基層單位。（參考文獻5，321型電聯車車體系統預防檢修工作說明書）
- (四) 框架側翼板與可調式天花板支撐架之間隙調整為0.5mm~0.8mm。
- (五) 相關檢修、預防保養於完工後，由領班協同調整同仁進行雙重確認，列入表單記錄，將人員疏失降到最低。
- (六) 提送六年大檢修建議。（參考文獻6，321型電聯車車體系統六年大修工作說明書）
- (七) 依據故障狀況提送異常報告，針對問題點加以分析改善，並列管追蹤，持續面對問題、解決問題。

肆、改善方法與結果

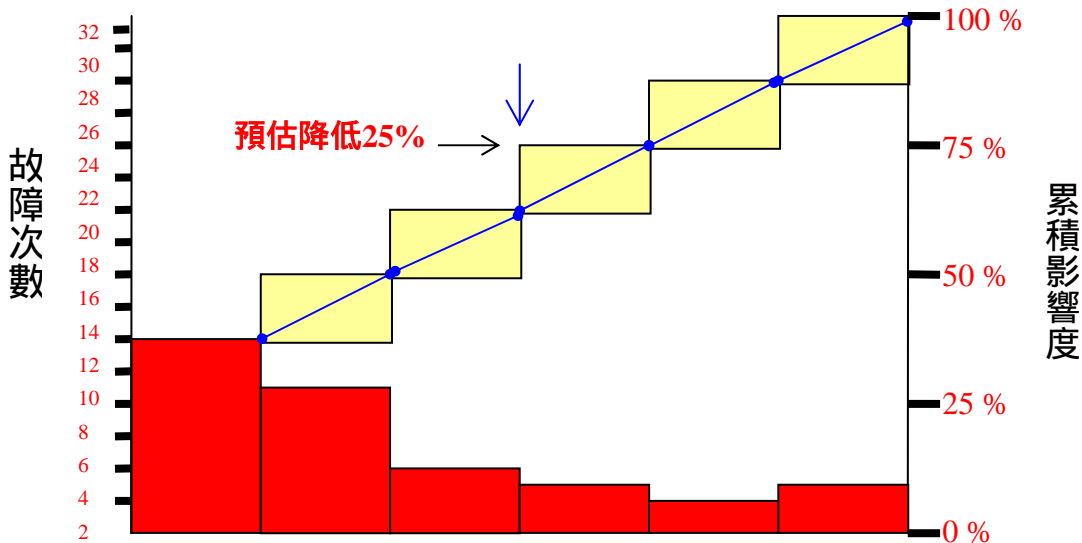
一、問題分析

為追蹤其故障原因以便利日後各項維修工法之改善，特成立品管圈小組，經由品管圈小組的討論及分析測試追蹤，得知問題之所在與解決之道（參考文獻7，品管圈會議記錄）。品管圈小組根據特性要因圖(如圖二十一所示)，整理可能產生之原因進行研究，並圈選出可能性最高的問題，以確立改善方向。另外，依據柏拉圖分析法(如圖二十二所示)研判可能之問題進行研究，討論決議之改善方向，最後判定為結構潤滑方面的問題。



圖二十一 車間通道產生異音原因之特性要因圖

柏拉圖分析



項目名稱	潤滑不足	支撐塊卡死	彈簧斷裂	頂板變形	耐磨片脫落	其他
故障數	12	8	4	3	2	3
累積次數	12	20	24	27	29	32
影響度 (%)	37.5	25	12.5	9.4	6.2	9.4
累積影響度 (%)	37.5	62.5	75	84.4	90.6	100

圖二十二 車間通道元件產生異音柏拉圖分析

由上述故障問題分析得知，車間通道產生異音與損壞問題，其主要為內部組件因潤滑不良失效，導致元件作動不良所造成。有關潤滑不良問題，已取得相關各類油品數據進行測試，自91年5月20日起追蹤迄今系統運轉正常。

由於捷運新店車輛廠所控管之列車，主要行駛於新店淡水線之平面高架段上，車間通道組件易受環境、氣候等因素影響。因此，對於潤滑問題益形重要，新店車輛廠將以專案方式再度進行潤滑調整。此專案除參考承包商所提之瑕疵改善工法進行作業外，將加入本文建議之項目進行改善。

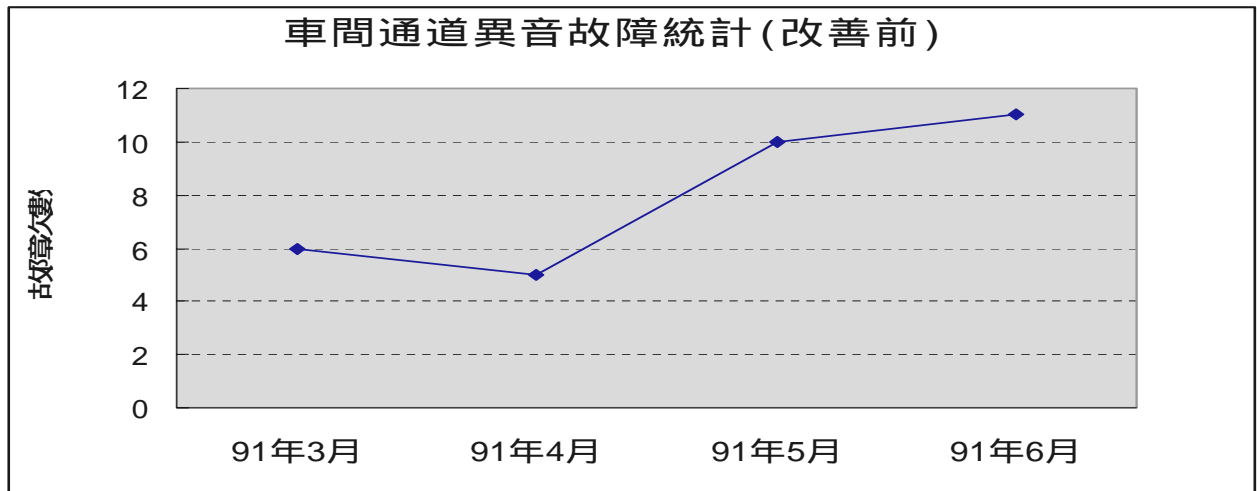
二、追蹤確認321型電聯車車間通道異音改善成果：

- (一) 從91年6月中旬車間頂板內部機構清潔潤滑專案執行至今，經查維修工單已無因頂板機構潤滑不當而發生異音問題。
- (二) 於91年12月2日拆下之113車（油品評估用車），車間通道頂板檢視潤滑油脂狀況，發現液態油品（如國光牌切削油、Shell Omala 220、Mobil 427等三種潤滑油）所潤滑之機構，皆因蒸發或滴落，而所剩潤滑油薄膜已無實際潤滑效果。另AUTOL TOP 2000、RED SUMMIT 二種皂基油品，因有高黏性及高承載負荷等特性，仍能附著於活動機構上，而達到極佳的潤滑效果（參考文獻8，GWA 元件潤滑油品測試專案報告），本研究將持續追蹤測試。
- (三) 系統元件清潔潤滑改善車間通道異音

1.系統元件清潔潤滑專案改善前故障統計(請參閱表三及圖二十三)

表三 車間通道異音故障統計表(改善前)

日期 故障原因	91年3月份 (改善前)	91年4月份 (改善前)	91年5月份 (改善前)	91年6月份 (改善前)	合計 故障次數
車間通道嚴重異音(潤滑不足)	0	1	5	6	12
上護板支撐塊卡死	4	0	1	3	8
張力彈簧斷裂	1	2	0	1	4
頂板變形	0	1	2	0	3
耐磨片脫落	0	1	1	0	2
其他	1	0	1	1	3
總計	6	5	10	11	32

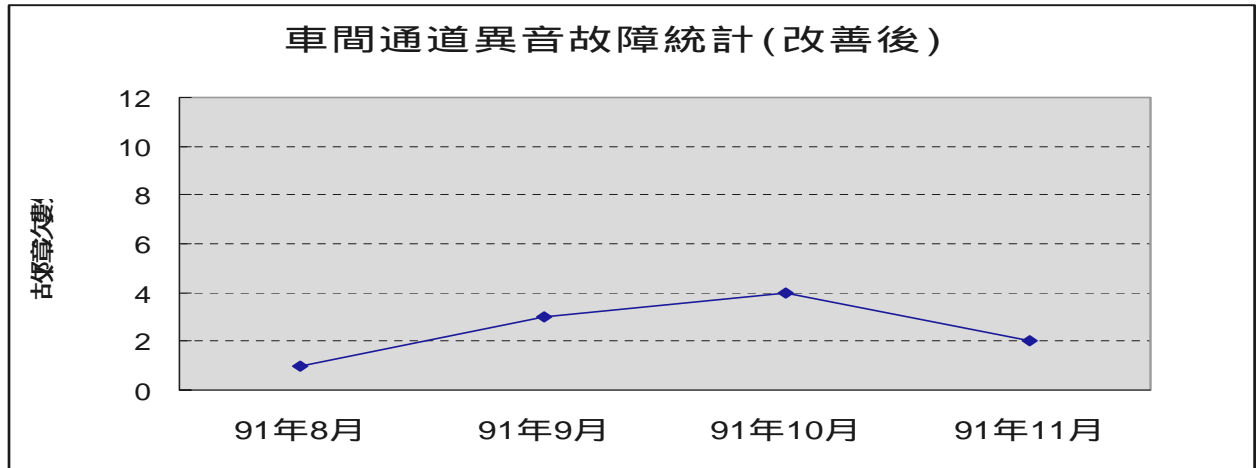


圖二十三 車間通道異音故障統計圖(改善前)

2.系統元件清潔潤滑專案改善後故障統計(請參閱表四及圖二十四)

表四 車間通道異音故障統計表(改善後)

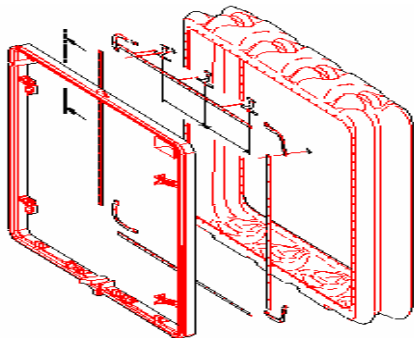
日期 故障原因	91年8月份 (改善後)	91年9月份 (改善後)	91年10月份 (改善後)	91年11月份 (改善後)	合計 故障次數
車間通道嚴重異音(潤滑不足)	0	0	0	1	1
上護板支撐塊卡死	0	2	1	1	4
張力彈簧斷裂	0	1	0	0	1
頂板變形	1	0	1	0	2
耐磨片脫落	0	0	1	0	1
其他	0	0	1	0	1
總計	1	3	4	2	10



圖二十四 車間通道異音故障統計圖(改善後)

二、各項改善項目：

(一) 於橡膠護罩上方增設強化橡膠覆蓋布(如圖二十五、圖二十六)，防止漏水而造成潤滑不良情形。



圖二十五 未增設強化橡膠覆蓋布之橡膠護罩



圖二十六 已增設強化橡膠覆蓋布之橡膠護罩

(二) 改變框架側天花板固定方式

原有可調式天花板托架之固定座，其減震靜音塊可彈性調整之裕度較小(如圖二十七)，改良後之彈性托架更具有彈性(如圖二十八)，此項變更使得框架側天花板之作動較為平順，以減少異音及變形的機率。



圖二十七 改善前之固定方式



圖二十八 改善後之固定方式

(三) 改良橡膠護罩之型式

原使用之橡膠護罩為三摺式橡膠材質(如圖二十九)，經過改良後採用多摺式尼龍橡膠膠合材質之護罩(如圖三十)(以上材料均具耐燃性)



圖二十九 改善前之車間通道橡膠護罩



圖三十 改善後之車間通道橡膠護罩

(四) 張力彈簧改良

除潤滑不足而造成異音及上護板支撐塊卡死外，張力彈簧斷裂為車間通道故障率最高元件。針對張力彈簧的高故障率，已委外廠商進行評估測試，並獲得相關測試數據及改善建議：

方案一：以現有之金屬彈簧(SUS 材質)依照原規格，設計變更為鋼琴線(SWP)並進行測試。

方案二：重新設計金屬接頭以增加其疲勞強度。(參考文獻9, 321型電聯車車間通道張力彈簧研製可行性評估報告)根據張力彈簧測試報告顯示，由國內廠商所開發報價之金屬彈簧材料，較原廠更具有彈性且無缺斷料及庫存問題，可大幅提升列車妥善率，以降低營運維修成本。

(五) 依據93年故障工單統計，單純之清潔潤滑方式，已無法滿足承壓機構總成之累計磨損所造成之故障，惟有更換承壓機構總成，方能一牢永逸解決車間通道之問題。另外原廠組件報價極高，應思考自行開發方式，考慮以緩衝器型式取代現有之承壓機構總成。目前已進行設計三種形式之替代品，及竣工圖比對數據，只需修改車側固定座及修正緩衝器尺寸與彈簧常數之 K 值，即可進行改裝測試作業。

伍、結論與建議

經分析車間通道系統故障之原因，並非保養週期不當造成，乃由車間通道上方橡膠防護罩破裂，造成雨水滲入，導致潤滑不足，長期異常磨耗，造成異音與元件壽命週期的縮短，使得相關機構連帶損壞，增加維修成本。經過品管圈小組進行追蹤改善，原有故障次數由32次降至10次，而噪音量亦降低了29 dB 值，展現了捷運公司具有良好的維修制度與高維修品質能力。本研究訂定五個目標改善建議方案如下：

一、訂定保養維修週期：明訂全車隊之定位裝置固定座(GWA)元件，實施清潔、潤滑、調整專案維護週期，修護股每6個月執行一次，並記錄追蹤管制；預檢股訂定每年檢驗一次及三年檢驗一次之維護週期。

- 二、針對高故障量之元件進行分析、設計變更作業：除潤滑不足而產生異音及上護板支撐塊卡死等故障外，張力彈簧為車間通道故障率最高元件。針對張力彈簧高故障率問題，經測試評估後之改善建議如下：
- 方案一：以現有之金屬彈簧(原材質為 SUS 材質)設計變更為鋼琴線(SWP)材質並進行測試。
- 方案二：重新設計金屬接頭以增加其抗疲勞強度。根據張力彈簧測試報告顯示，由國內廠商所開發報價之金屬彈簧材料，較原廠更具有彈性且無缺斷料及庫存問題，可大幅提升列車妥善率，以降低營運維修成本。
- 三、尋求其他替代品之可行性：單純之清潔潤滑方式，已無法滿足承壓機構總成之累計磨損所造成之故障，惟有更換承壓機構總成作動元件，方能一勞永逸解決車間通道之問題。另外由於原廠組件報價極高，應思考自行開發方式，考慮以緩衝器型式取代現有之承壓組成作動元件。
- 四、儲購備用品：大修場應採購全車隊所需之張力彈簧，而相關機件亦應採購約五~六列車量。
- 五、相關元件重新開發設計：有關車間通道相關支架機構，應協請大修場重新設計開發。

參考文獻

1. 營運維修服務手冊 R24章第00-70節。 ,2000年5月,中文譯版。
2. 大修維護手冊 H24章第00-70節。 ,2000年5月,中文譯版。
3. 維 WI-16101 321型電聯車車體系拆卸與組裝工作說明書第一章,2004年9月, 1.0版。
4. 維 WI-12151電聯車車體系統故障檢修工作說明書,2004年9月,3.0版。
5. 維 WI-12101 321型電聯車車體系統預防檢修工作說明書,2004年9月, 4.0版。
6. 維 WI-16151 321型電聯車車體系統6年大修工作說明書,2004年9月,3.0版。
7. 品管圈會議記錄,捷運公司品管圈小組, 2002年6月~2002年11月共20週。
8. GWA 元件潤滑油品測試專案報告,楊隆貴,捷運公司內部報告,2002年6月。
9. 電聯車車間通道張力彈簧研製可行性評估報告,兆山辰精密科技股份有限公司測試報告, 2003年10月,測試編號：03102601、03102602。

印刷紙張種類及字體大小對眼睛疲勞度及 閱讀績效之影響

林 成 益

東南技術學院工管系

摘 要

本研究的主要目的是探討目前書籍及雜誌常用的三種紙張及兩種字體大小是否對眼睛疲勞度及閱讀績效造成影響，眼睛疲勞程度之探討，本文採用閃光融合閾值儀器 (Flicker Value Tester, Model FV-30) 來作定量分析，並輔以受測者主觀感覺之評比表作輔助，進行眼睛疲勞度之實驗；而在閱讀績效方面，則以搜尋目標字之數量及正確率作為印刷紙張優劣之參考，並採用統計軟體進行變異數分析及相關性分析，並以問卷進行定性分析，以期能獲得較客觀之結果。

關鍵字：紙張種類、眼睛疲勞度、閃光融合閾值、字體大小、閱讀績效。

壹、緒論

1.1 研究背景與動機：

由於科技的進步及經濟水準的提高，紙張已成為資訊傳遞的主要工具。不論是報紙、雜誌、書籍等，都是我們每天會接觸到的，但是我們通常只注意到文章的內容，卻忽略了印刷紙張及字體大小對視覺的影響，短時間的閱讀我們可能察覺不出來，但長時間的累積可能會造成眼睛的疲勞，閱讀或工作效率的減低，錯誤率的增加等問題，若我們能選擇適當的印刷紙張及字體大小，不但可使讀者輕鬆愉快的閱讀，更可以提高閱讀的品質，以達到良好閱讀的效果。

本文中採用了三個具代表性的紙張來做實驗，分別為道林紙 (Printing Paper)、銅版紙 (Art Paper) 及新聞紙 (News Paper)。以下是選擇這三種紙的原因：

(1). 道林紙 (Printing Paper)

此種紙是學校的教科書經常採用的紙張，在目前紙業、出版業中，一致認為道林紙紙張柔軟，對視覺疲勞的影響最小，最適合眼睛閱讀，因此，我們僅以道林紙做為一般書籍及教科書印刷紙張之代表；在台灣有四分之一的人口是學生，如此推算每天與道林紙接觸的人不在少數，其對眼睛的疲勞度的影響，有值得研究探討之處。

(2). 銅板紙 (Art Paper)

此種紙是一般雜誌所用的紙張，如世界電影、管理雜誌等雜誌類書籍，在現代社會裡，隨時隨地在任何地方都可以買到各式各樣的雜誌，而且幾乎人手一本，只要一有空就拿起來看，所以我們認為此種紙張（銅板紙）對眼睛的疲勞度的影響亦是值得去研究、探討的。

(3). 新聞紙 (News Paper)

此種紙顧名思義就是新聞報紙所用的紙張，如聯合報、中國時報、民生報等，在這資訊發達的社會裏，報紙已經和我們的生活息息相關，幾乎每天都必須接觸它，此種紙張品質好壞對眼睛的影響相當大，是值得探討的課題。

可見每個人每天大致上都離不開這三類的紙張，因此本文採用這三種印刷紙來探討眼睛疲勞度以及閱讀品質之間的關係。

1.2 研究目的

本研究是以人體視覺及紙張特性做為對象，主要是在探討紙張的特性對人體閱讀的影響程度，及各種紙張對視覺疲勞度會造成多大的影響。本研究主要以三種不同的紙張及兩種印刷字體大小做為實驗對象，為一個兩因子實驗。主要目的包含如下：

- (1). 紙張種類的不同對人眼睛疲勞度及閱讀績效的影響程度。
- (2). 字體大小不同對人眼睛疲勞度及閱讀績效的影響程度。
- (3). 紙張種類的不同對人閱讀時主觀感覺的差異性。

1.3 研究範圍

- (1). 本研究以道林紙、銅板紙及新聞紙為實驗用紙，所有內容使用排版軟體控制字體大小及字形，並用雷射4p印表機輸出，以統一各類紙張的印刷品質。
- (2). 分別在道林紙、銅板紙及新聞紙上，以該排版軟體12及18級的字體印出毫無意義的內文，內文的形式為英文，共分為六組實驗，每組選定4人做該實驗，總計受試者24人。
- (3). 試驗內文統一以細明體的半形小寫英文撰寫，文中不含任何字句標點符號，以使眼睛疲勞度的差異更加明顯。
- (4). 以閱讀方式進行，受測者只依序在文章中找出特定目標字，並加以圈選出來。
- (5). 實驗結束，填寫主觀評比表及問卷，並測定眼睛疲勞度。

1.4 研究程序

- (1). 選擇研究主題及擬定動機與目的。
- (2). 擬定研究計畫。
- (3). 蒐集相關文獻資料及探討。
- (4). 分析並彙總相關資料。
- (5). 實驗過程設計，擬定所需人員、設備、環境及受測者之操作性定義。
- (6). 設備環境佈置，人員募集。
- (7). 實驗前之試驗。
- (8). 實驗修改。
- (9). 進行實驗。
- (10). 實驗後之資料蒐集：包括問卷、閃光融合閾值測試及蒐集字數。

(11).資料分析：利用統計軟體(Statgraphics)進行分析。

(12).結論與建議。

1.5 實驗限制：

本實驗限於時間及人力，在資料的蒐集有以下的限制：

(1).目前本系實驗室環境設備無法做到完全隔音，故實驗時難免有聲音干擾。

(2).本研究統一用白色紙張，彩色紙張不在此研究範圍。

(3).實驗的受測者尋求不易，故僅以東南技術學院學生為受試者。

貳、文獻探討

2.1 紙張特性

(1).反射

一般的紙張若受到光線的照射可能發生四種現象：反射、穿透、散射及吸收等現象。就反射方面來看，白度高者，字跡因黑白對比強烈更形清晰，白度低者因反光量較少，人不易因長時間閱讀而疲勞，所以印刷紙張的白度不宜太高，一般介於80-85%之間最好，而且以印刷紙之紙漿廠漂白時，越是高白度之紙漿，每提高1%白度，將使漂白劑花費劇增(郭蘭生，1990)。

以上五種紙張中，以銅板紙的白度最高，銅版紙並不適宜長時間閱讀，因為它的亮度易造成反光使視覺感到疲累(即白度過高)，若在高達攝氏39 的溫度下，其表面的化學物質易產生分解，進而傷害眼睛，故長時間閱讀將使眼睛更加疲勞(曹金方，1995)

(2).紙張平滑度

在平滑度方面，平滑度影響印刷時印墨之轉移量及印刷清晰度，太粗糙之印刷紙(如新聞紙)印刷效果較差(郭蘭生，1995)

(3).紙張色彩及白度

在色彩觀念的立場來看，暖色系列：紅色、橙色及黃色對人類視覺具有緩和作用，使視覺感到舒適、溫暖、輕鬆，降低視覺疲勞的程度，光譜的另一端：紫色、藍色及綠色使人感到寒意、退縮而傾向於清靜感(大智浩，1987)在國外甚至在白紙中添加微量紅染料，使帶有紅色感的白紙與人溫暖感。雖然實驗的證據，仍引起許多爭論，但一般相信工作場所色彩影響她們的工作，極白的色紙上有黑線者，比白紙上有淡灰綠線者顯得較容易使眼睛疲勞，似乎工作場合色彩的協調能提高工作效率，而衝突的色彩組合，則導致倦怠進而減低了工作績效(魯正田，1977)

2.2 視覺與照明

連續長時間的作業，在人體上會出現倦累、無力感、力氣減退與作業能力減低的現象，此稱之為疲勞。其發生的因素：如人體本身的因素、作業條件及環境等。通常人體疲勞的發生，大多是由於過度的使用身體的一部分或全體而引起(廖有燦、范發斌，1989)。

對人類而言，明視包含三個條件(許勝雄、彭游、吳水丕，人因工程學)：

(1) 明度

係指射近眼睛內網膜上的光線強度，亦即網膜的照度而言。網膜的照度是由物體的光束發散度與瞳孔大小而定，所以網膜照度與外界所投下光線無直接關係，而與映照在眼睛內的光束發散度有關，即照度與物體表面的反射率，才與明度有直接關係(廖有燦、范發斌，1989)。

(2) 視角

網膜所映照的物體的大小，均由物體到眼睛的距離而定。也就是視角大的物體看起來較大，而且容易看得見。愈小的物體則不容易看清楚。如果視角小，那將是很費力的，而且容易疲勞(廖有燦、范發斌，1989)。

(3) 時間

時間長比時間短容易看清物體，而且時間的長短又因物體的大小、視角、對比及明度之影響而改變(廖有燦、范發斌，1989)。

以上三點，是以人體視覺來探討，但良好的視覺效果不僅限於如此，還包括其他條件，如：照明、色彩、環境安排與姿勢等，以照明來看，適當的照明可以減少眼睛疲勞，且增加閱讀的速度及有效性。良好的照明條件包括：

(1) 照度

雖然前文提到，明度與外界的照度無直接的關係，而是與物體的反射率有關。但是，外界的照度會影響物體的反射程度，所以照度與明度互有間接關係，照度亦會影響視覺效果。在0.03Lx 照度下，是無法看出物體的特性，無法閱讀報紙。在100000Lx 以上的直射陽光下，因有強烈的反射與強烈的陰影，所以反而不容易看清楚物體，所以照度超過某一界限，視力即下降。而照度亦會影響眼睛疲勞度，如在暗處工作時所需調節時間會長一點(廖有燦、范發斌，1989)。

以閱讀方面來看，若讀者使用5燭光的光源來閱讀，比使用30燭光要慢且無效率，由於白紙上閱讀黑字需30-40燭光，但此與個人年齡有密切的關係。由於小孩子有很強的調適能力，所以他們可以於較昏暗的狀態下閱讀，反之年紀較長者，在平常不用使用放大鏡時，即無法閱讀，而且需要比十多歲的小孩子更要有較多的照明。一般在物體上的光強度與光源到物體的距離平方成反比。因此，若燈具離書面0.6m，若改移到1.2m 的距離，則於書面上的光源強度將變為四分之一(廖邱銓、楊麟栩，1986)。

(2) 眩光

眩光在日常生活中經常發生，學術上將眩光定義為在視野內的發光體亮度(Luminance) 超過當時眼睛所能適應的亮度甚多，引起視覺上遮蔽(Veiling) 效應，造成眼睛的不舒服與辨識力(Visibility)降低。

參、研究過程

3.1 實驗設計

本設計極為二因子(3*2)的實驗設計，採用受測者間(between-subject)的實驗方式進行，共需24(3*2*4)位受測者(Design and Analysis of Experiments, Douglas

C.Montgomery, 1983)。茲將括號內各數值所代表之意義說明如下：

- 3：紙張種類：新聞紙、道林紙、銅板紙。
- 2：字體大小：為 WINDOWS12級與 WINDOWS18級。
- 4：每組實驗處理4位受測者。

相關變數說明：

(1) 自變數

- a：紙張種類：新聞紙、道林紙、銅板紙
- b：字體大小：為 WINDOWS12級與 WINDOWS18級。

(2) 因變數

- a：視覺疲勞之主觀評比值(RPE)。
- b：視覺疲勞之閃光融合閾值(Cff)。
- c：作業績效測定值。
- d：錯誤率。

3.2 受測對象

本實驗的受測對象共24人為東南技術學院全體學生年齡15~20歲之間無色盲、斜視、視力範圍在0.8~1.2之間（包括矯正過後）、無受過速讀訓練者。

3.3 實驗材料

- (1) 實驗紙張採用新聞紙、道林紙及銅板紙等三種常見之印刷紙張，印有由 1~5 個不等的英文字母所組成的無意義英文字，無任何的標點符號，其字體為細明體，字體大小分別為 WINDOWS12 級 WINDOWS18 級。
- (2) 眼睛疲勞之主觀評比表。
- (3) 實驗結束後所填寫的問卷。

3.4 實驗設備

- (1) 照度計
- (2) 閃光融合閾值儀器(Flicker Value Tester, Model FV-30)
- (3) 碼錶
- (4) 視力檢查表
- (5) 電腦
- (6) 印表機
- (7) 色盲檢查表

3.5 實驗程序：

實驗主要分為3個階段：

1. 實驗前

- (1). 以照度計測出實驗室的照度。
- (2). 從東南技術學院工管系學生進行隨機抽樣。
- (3). 測定受測者之視力，若視力不合格者，不得參與實驗。
- (4). 由亂數表抽出實驗者的編號，再依序進行實驗。

- (5). 請受測者看實驗指導語，並告知受測者整個實驗程序及注意項。
- (6). 以閃光融合閾值儀器測量每一位受測者在實驗前之眼睛疲度，並記錄之。

2. 實驗中

- (1) 實驗開始，連續進行 30 分鐘後停止。
- (2) 每位受測者在所選取的實驗條件的狀況下進行測試(閱讀所發的資料)，並尋找每頁所指定的目標字。

3. 實驗後

- (1). 以閃光融合閾值儀器測量每一位受測者在實驗後之眼睛疲勞度。
- (2). 測量眼睛疲勞度之主觀評比。
- (3). 填寫問卷。
- (4). 分別統計出各個受測者實驗所得之結果。
- (5). 實驗結果綜合分析。

3.6 資料蒐集

本實驗所蒐集之資料包含：

1. 實驗前後之眼睛疲勞之儀器測試值。
2. 搜尋字數。
3. 實驗後之眼睛疲勞度之主觀評比值。
4. 實驗後之問卷資料。

實驗結果分析包括：

1. 閱讀作業績效。
2. 閃光融合閾值比較。
3. 受訪者主觀量表分析等三項。

肆、實驗數據與結果

本實驗結果分析，主要以印刷紙張及字體大小對閱讀時所造成眼睛疲勞度的影響來進行分析。本章總共分為三節，第一節為雙因子變異數分析，針對兩項自變項進行分析；第二節為相關分析；第三節為問卷統計分析。

4.1 實驗結果分析

- (1) 由表4-1所示之(Cff 前-後)平均值，可明顯看出銅板紙閃光融合閾值之差異性最大，即眼睛疲勞程度最大，道林紙與新聞紙閃光融合閾值相近並與銅板紙相差較大。在字體方面，18級平均較12級眼睛疲勞程度高。

表4-1 Cff 平均差異值

	人 數	Cff 差異值總和	Cff 平均差異值	次 序
銅 版 紙	8	18.8	2.3500	1
道 林 紙	8	16.1	2.0125	2
新 聞 紙	8	15.3	1.9125	3

- (2) 由表 4-2 作業績效之平均數值，可知銅版紙工作績效為最高，可能是因銅版紙的白度較高，使得對比程度比道林紙、新聞紙要來的強烈，因而內容文字較易突顯。另外，若將字體 12 級與 18 級個別討論，12 級的工作績效比 18 級稍高。

表4-2 作業績效平均值

	人 數	Work 總和	Work 平均值	次序
銅 版 紙	8	764	95.5	1
道 林 紙	8	677	84.625	2
新 聞 紙	8	585	73.125	3

- (3) 由表 4-3 主觀評比之平均數值，可知銅版紙的平均自覺評量結果值較高，表示銅版紙給受測者的感覺較易疲勞，可能的解釋為紙張白度較高，使得反光較為強烈，以致影響疲勞程度較其餘兩者為甚。

表4-3 主觀評比 RPE 之平均值

	人 數	RPE 總和	RPE 平均值	次 序
銅 版 紙	8	60	7.5	1
道 林 紙	8	59	7.375	2
新 聞 紙	8	59	7.375	2

4.2 雙因子變異數分析

此部份主要是對自變數：紙張與字體對因變數：作業績效、閃光融合閾值(Cff)及自覺評量等三項進行雙因子變異數分析，包括：

1. 紙張和字體對作業績效之變異數分析。
2. 紙張和字體對 cff 值之變異數分析。
3. 紙張和字體對自覺評量之變異數分析。

4.2.1 紙張和字體對作業績效之變異數分析

H_0 ：紙張和字體對作業績效無顯著差異。

H_1 ：紙張和字體對作業績效有顯著差異。

表4-4 作業績效之變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	均 方	F 值	顯著水準
A 紙張種類	2003.0833	2	1001.5417	2.001	0.1641
B 字體種類	13.5000	1	13.5000	0.027	0.8731
A * B	169.75000	2	84.8750	0.170	0.8453
殘差	9007.5000	18	500.41667		

由表4-4可知紙張種類和字體大小對於作業績效無影響。

4.2.2 紙張種類和字體大小對 Cff 值之變異數分析

H_0 ：紙張和字體對 Cff 值無顯著差異。

H_1 ：紙張和字體對 Cff 值有顯著差異。

表4-5 Cff 值之變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	均 方	F 值	顯著水準
A 紙張種類	0.8408333	2	0.4204167	0.209	0.8133
B 字體種類	1.5000000	1	1.5000000	0.746	0.4082
A * B	14.182500	2	7.0912500	3.527	0.0510
殘差	36.195000	18	2.0108333		

由表4-5可知紙張種類和字體大小對於 Cff 值無影響。

4.2.3 紙張種類和字體大小對主觀評比之變異數分析

H_0 : 紙張和字體對主觀評比無顯著差異。

H_1 : 紙張和字體對主觀評比有顯著差異。

表4-6主觀評比之變異數分析

變異來源	平方和	自由度	均 方	F 值	顯著水準
A 紙張種類	0.083333	2	0.041667	0.008	0.9922
B 字體種類	10.666667	1	10.666667	2.010	0.1733
A * B	63.58333	2	31.791667	5.992	*0.0101
殘差	159.08333	20	7.954166		

由表4-6主觀評比之變異數分析表，可知紙張種類和字體大小的交互作用對於主觀評比有顯著性的影響。可能是人體視覺的疲勞是由紙張與字體兩者同時影響所造成。

4.3 相關分析

此部份的相關分析主要是將紙張種類與閃光融合閾值、作業績效、主觀評比等因變項進行相關分析。

表4-7相關分析結果

	Cff	Performance	RPE
閃光融合閾值	0	0.8393	0.0644
(Cff)	1.0000	-0.4370	-0.03835
作業績效	0.8393	0	0.1330
(Performance)	-0.0437	1.0000	-0.3156
主觀評比	0.0644	0.1330	0
(RPE)	-0.3825	-0.3156	1.0000

由表4-7相關分析結果並無發現各因變數間有顯著的相關性。

4.4 定性分析

本章節的分析主要是依字體大小與三種紙張之差異進行問卷的統計結果分析，茲分述如下：

1. 在實驗中，讓你感覺不易閱讀的因素有哪些？

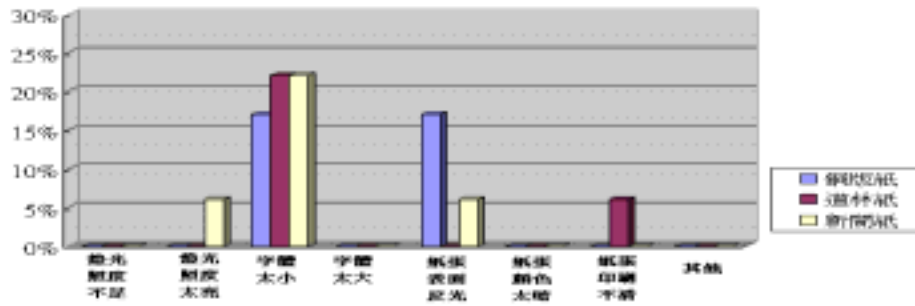


圖4-1 問卷統計 - 不易閱讀的因素之紙張種類與字體12級

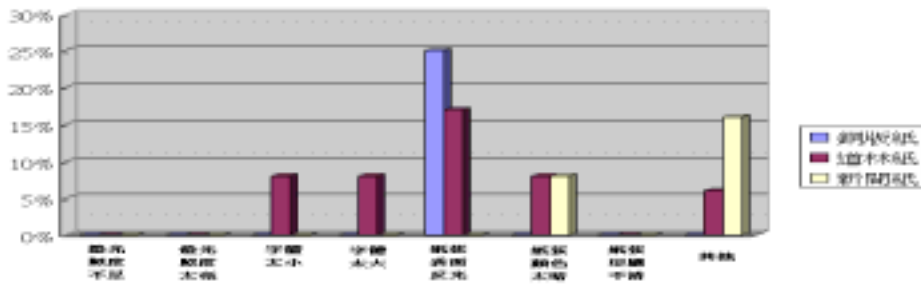


圖4-2 問卷統計 - 不易閱讀的因素之紙張種類與字體18級

由圖4-1及圖4-2可知三種紙張皆有字體太小而不易閱讀的因素，其中銅板紙表面反光較為嚴重。

2. 你認為實驗中，眼睛感到疲勞的因素有哪些？

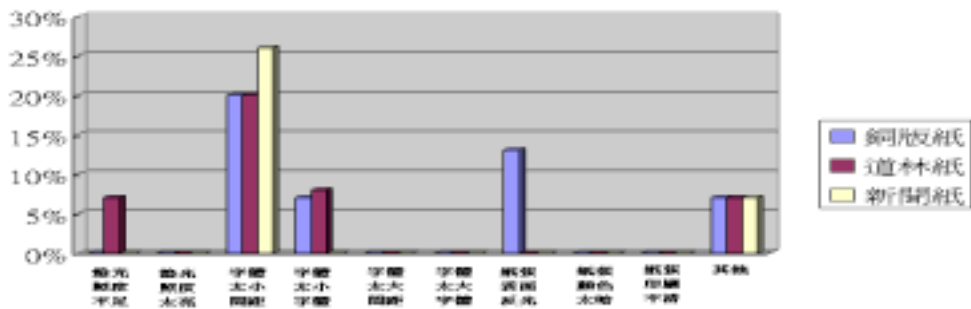


圖4-3 問卷統計 - 眼睛感到疲勞的因素之紙張種類與字體12級

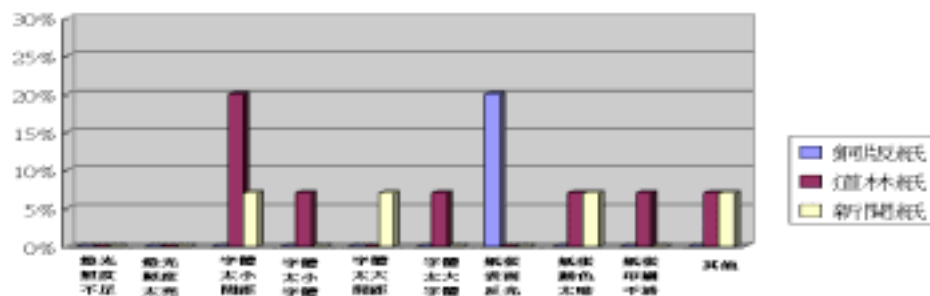


圖4-4問卷統計 - 眼睛感到疲勞的因素之紙張種類與字體18級

由圖4-3及圖4-4可知，造成眼睛感到疲勞的因素以字體間距大小為最嚴重，其次為紙張表面反光。

第五章 結論

1. 本研究所採用之三組紙張種類與兩組字體大小對作業績效之影響，在定量分析方面，均無顯著性差異。但在定性分析方面，單獨以三種紙張來對作業績效進行探討，發現銅板紙的搜尋作業績效之平均值為95.5，較道林紙、新聞紙要高，可能的原因是銅板紙的白度較高，使得背景與內容文章的對比程度比後兩者來得高而較易搜尋目標字。
2. 本實驗所採用之三組紙張種類、兩組字體大小對眼睛疲勞度之閃光融合閾值測試，無顯著性差異。但閃光融合閾值皆有下降的趨勢顯示受測者再三十分鐘之實驗後，皆有眼睛疲勞產生，但統計結果並不顯著，可能原因仍是因為實驗時間過短所致，若加長實驗時間，下降程度將更趨於明顯，且可能有顯著性的差異。在定性分析方面，銅板紙的閃光融合閾值之平均值比起其它兩種紙張高，顯示單就紙張討論，銅板紙對人體視覺疲勞度的影響最劇。至於道林紙與新聞紙兩者的差距較小，其可能的原因為實驗時間不足，以致於道林紙與新聞紙的閃光融合閾值無法顯出較明顯的差異性。
3. 本實驗所採三種紙張與兩項字體變數，對於自覺評量具有顯著性的影響。銅板紙的自覺評量平均值最高，表示銅板紙較易使受測者感到疲勞。
4. 由定性分析來看，在字體的實驗中，使受測者感到不易閱讀因素的主要因素是字體太小，而使受測者感到疲勞的因素中，字體間距太小的程度也是關鍵因素。
5. 本實驗結果以銅板紙的工作績效最高，但在閃光融合值方面，銅板紙的 cff 差異值最高，因此所造成的疲勞程度比道林紙與新聞紙來的高，另外在字體方面，字體間距影響疲勞程度最劇。

參考文獻

1. 郭蘭生，1990年9月，道林紙與模造紙之區別，印刷與設計雜誌。
2. 曹金方，再生紙對人體的影響，三軍總醫院眼科部醫學會議報告。
3. 大智浩，1987年，設計的色彩計劃，大陸書局。
4. 魯正田，1977年，人類工程學，文豪出版社。
5. 許勝雄、彭游、吳水丕，1991年，人因工程學，揚智文化出版。
6. 廖有燦、范發斌，1989年，人體工學，大聖書局。
7. 廖邱銓、楊麟栩，1989年，影響可視性的照明因素。
8. D.C.Montgomery, 1983, Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, Inc.

製程檢驗與保養策略之探討

宋建國 林成益

東南技術學院工管系

摘要

這篇文章探討預防保養誤差對生產及檢驗成本的相關性，假設一開始製程在控制狀態下，到達檢驗點後進行預防保養，保養正確與否對檢驗時距、週期及成本效益有直接的影響。本文由數值分析探討在產品不良率不同下，預防保養誤差比率之高低對檢驗時距、週期及成本效益之評估，求得保養誤差程度在不同條件下的最佳值。

關鍵字：預防保養、保養誤差、檢驗週期、成本效益。

壹、簡介

在實際生產過程中，製程一開始是處於控制狀態下，隨著製造生產過程，可能改變為非控制狀態下，則所生產的產品就有可能會有一些不良品出現，Rosenblatt 和 Lee[5]探討製程會退化的最佳經濟生產模式，假設製程從控制狀態轉變為非控制狀態的時間服從指數分配。

在許多預防保養模式中，通常假設在每次實施正確預防保養後，系統可靠度將會提高，失效率會改變，一般假設在實施正確預防保養後，系統失效率會介於完好如新與損壞依舊之間，本文假設系統年齡之遞減量與預防保養成本呈一定比例關係，此種系統年齡之變化，將會影響製程轉變為非控制狀態之時間分配，並造成不良品數量之增加。

Tseng 等[6]曾提出在退化生產系統中，每一次預防保養活動後，生產系統可能有兩種狀態，一為新的狀態，另一為非控制狀態。但實際上，經過保養的系統無法變成跟新的一樣，但是可以使得系統狀態變得較之前未保養時來得好，Rahim[4]也曾探討不完全製程下，有關生產、檢驗及設計的共同決策模型，藉以訂定最佳的管制圖設計參數和生產數量，Ben-Daya 和 Makhdoum[2]於不同的預防保養政策下，整合生產和品質模式，研究在結合經濟生產批量及管制圖的經濟設計下，不同預防保養策略的影響，Ben-Daya[3]又提出一個結合經濟生產批量與預防保養程度的一個整合模式，考慮在失效率遞增之下的最佳檢驗週期、檢驗次數與生產批量，本文加入了預防保養誤差的因子，探討對最佳生產批量、檢驗週期及成本的影響。

貳、數學模式

製程有二種生產狀態，即控制狀態與非控制狀態，開始生產時假設製程在控制狀態下，製程會慢慢轉移到非控制狀態，一旦處於非控制狀態下，則進行修理或置換成新的製程，如果製程一直維持在控制狀態，則進行預防保養措施，若預防保養正確執行後，系統會降低其失效率；若不正確執行後，系統會因錯誤保養而變成非控制狀態，在非控制狀態下，假設製程不良率固定為 d ，預防保養時間和檢驗時間都忽略不計，而製程的轉移是服從一個遞增危險率的一般分配，且假設每一個檢驗週期的累積危險率相等，檢驗和預防保養在時間 t_j 發生， $j = 1, 2, \dots, k$ ，在第 k 次檢驗後或系統處於非控制狀態下，則生產週期結束。保養的程度與保養後系統的使用壽命有關，下列為本文所使用的符號：

- D : 單位時間的耗用量
- P : 單位時間的生產量
- S : 每一個生產週期的設定成本
- C_h : 每一件產品單位時間的儲存成本
- C_I : 每一件產品的檢驗成本
- C_d : 生產一件不良品的成本
- d : 製程在非控制狀態下的不良率
- k : 每個生產週期的檢驗次數
- h_j : 第 j 次檢驗的時距
- t_j : 第 j 次預防保養的時間點， $t_j = \sum_{i=1}^j h_i$
- b_i : 第 i 次預防保養前的系統實際年齡
- a_i : 第 i 次預防保養後的系統實際年齡
- $f(t)$: 時間偏移的機率密度函數
- $F(t)$: 累積分配函數
- $r(t)$: 危險率
- C_{apm} : 實際執行預防保養的成本
- C_{mpm} : 執行最大狀態預防保養的成本
- δ : 預防保養錯誤發生的機率
- p_j : 製程在時間點 t_{j-1} 為控制狀態，而在 t_{j-1} 到 t_j 之間從控制狀態轉變為非控制狀態的機率

性質1一個週期的期望生產時間為

$$E(T) = \sum_{j=1}^k h_j \prod_{i=1}^{j-1} [(1 - p_i)(1 - \delta)]. \quad (1)$$

一個週期的存貨時間長度（如圖1所示）為

$$E(CT) = \frac{P}{D} \times E(T). \quad (2)$$

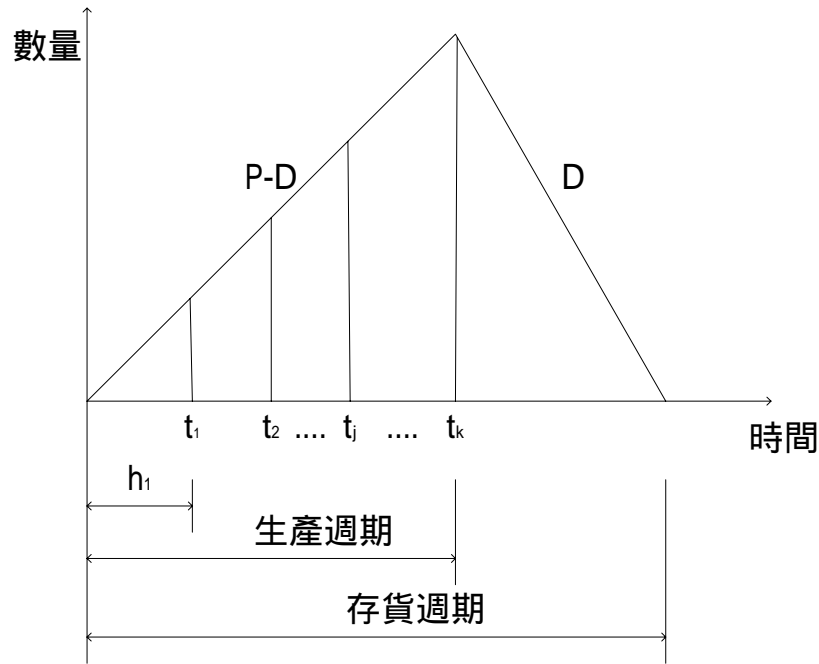


圖1 存貨週期

每個週期之總期望成本包括下列各項成本：

1. 設置成本 S
2. 儲存成本 $E(HC)$
3. 預防保養成本 $E(PM)$
4. 檢驗成本 $E(IC)$
5. 製造不良品成本 $E(DC)$
6. 修復成本 $E(RC)$

則一個週期的期望成本為

$$ETC = \frac{S + E(HC) + E(PM) + E(IC) + E(DC) + E(RC)}{E(CT)} \quad (3)$$

而儲存成本為

$$E(HC) = \left(\frac{C_h}{2}\right)E(T)^2(P-D)\frac{P}{D} \quad (4)$$

在實施正確預防保養後，系統會介於完好如新與損壞依舊之間，系統可再使用之壽命年限與保養程度有關，令

$$r_k = \eta^{k-1} \frac{C_{apm}}{C_{mpm}} \quad (5)$$

參數 η ($0 \leq \eta \leq 1$) 是一個不完全因子，表示系統使用壽命年齡之退化受預防保養效應的影響程度，本文假設使用壽命年齡遞減量與預防保養成本之關係為線性關係，故可得

$$a_k = (1 - r_k)b_k \quad (6)$$

在時間 t_j ，系統有效年齡為

$$b_1 = h_1,$$

$$b_j = a_{j-1} + h_j, \quad j = 2, 3, \dots, k. \quad (7)$$

由於預防保養會造成系統可使用壽命的改變，因此，也會使不良率、修復成本及製造週期產生改變，故可發展出一整合模式，茲分述如下：

一個週期的期望預防保養次數為

$$m = \sum_{j=1}^{k-1} \prod_{i=1}^j [(1-p_i)(1-\delta)] + \sum_{j=1}^{k-1} (1-p_j) \delta \prod_{i=1}^{j-1} (1-p_i)(1-\delta). \quad (8)$$

因此一個週期的期望預防保養成本為

$$E(PM) = C_{apm} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \prod_{i=1}^j [(1-p_i)(1-\delta)] + \sum_{j=1}^{k-1} (1-p_j) \delta \prod_{i=1}^{j-1} (1-p_i)(1-\delta) \right\}. \quad (9)$$

因為預防保養是在每一次檢驗後，但在週期結束時並沒有執行預防保養，因此，檢驗成本為

$$E(IC) = (m+1)C_l. \quad (10)$$

一個週期的期望不良品成本為

$$E(DC) = PdC_d \sum_{j=1}^k \left\{ p_j \prod_{i=1}^{j-1} [(1-p_i)(1-\delta)] \times [b_j p_j - \int_{a_{j-1}}^{b_j} t f_c(t) dt] \right\}. \quad (11)$$

其中 $f_c(t) = f(t) / \bar{F}(a_{j-1})$ ，其證明方式與性質1相同。假設修復成本與延遲時間呈線性關係，因此

$$R(b_j - t) = r_0 + r_1(b_j - t). \quad (12)$$

故一個週期的期望修復成本為

$$E(RC) = \sum_{j=1}^k \left\{ p_j \prod_{i=1}^{j-1} [(1-p_i)(1-\delta)] \times [(r_0 + r_1 b_j) p_j - r_1 \int_{a_{j-1}}^{b_j} t f_c(t) dt] \right\}. \quad (13)$$

其證明方式與性質1類似。

參、最佳解

假設每個檢驗到達時距皆維持相同之累積危險率，最佳解即為單位時間之期望總成本最低值，由於預防保養活動的影響，每個到達時距結束時其失效率將會遞減，

而當製程維持在控制狀態時，其時間是服從韋伯分配，故可解得檢驗的到達時距，其關係式如下

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} r(t) dt = \int_0^{t_1} r(t) dt. \quad (14)$$

$$\int_{a_{j-1}}^{b_j} r(t) dt = \int_0^{h_1} r(t) dt, \quad j = 2, 3, \dots, k. \quad (15)$$

$$f(t) = \lambda \nu t^{\nu-1} e^{-\lambda t^\nu}, \quad t > 0, \nu \geq 1, \lambda > 0,$$

$$h_j = [(a_{j-1})^\nu + h_1^\nu]^{1/\nu} - a_{j-1}, \quad j = 2, 3, \dots, k. \quad (16)$$

肆、數值分析

以一個數值範例來討論本模式，參數如下：

$\lambda = 5$ ， $\nu = 2.5$ ， $D = 500$ ， $P = 1000$ ， $C_h = \$0.5$ ， $S = \$150$ ， $C_d = \$20$ ， $C_{mpm} = 30$ ， $C_{apm} = 30$ ， $C_l = \$10$ ， $r_0 = \$10$ ， $r_1 = 0.15$ ， $\eta = 0.99$ 。

表1整理出不同狀況下的最佳的期望成本、檢驗週期及第一次檢驗時距，可知當預防保養誤差增加時，最佳檢驗次數在高不良率（ $d=0.4$ ）會隨著增加；在低不良率（ $d=0.2$ ）時，在相同的檢驗次數下，期望成本會隨著預防保養誤差增加而減少，在高不良率（ $d=0.4$ ）時，期望成本會隨著預防保養誤差增加而增加；在相同檢驗次數下，第一次檢驗時距會隨著預防保養誤差的增加而增加，但隨著不良率的增加而減少。當不良率增加時，最佳檢驗次數與期望成本均隨之增加。

表1 不同條件下的最佳解

	$d = 0.2$				$d = 0.4$			
	k^*	h_1^*	Q^*	ETC	k^*	h_1^*	Q^*	ETC
$\delta = 0.01$	4	0.245	780	254.12	4	0.221	735	262.75
$\delta = 0.05$	4	0.248	745	253.58	4	0.224	702	262.76
$\delta = 0.1$	4	0.252	704	253.49	5	0.220	739	262.95

伍、結論

本文將不完全製程模式中的兩種製程狀態，加入預防保養誤差的因子，使模式形成三種製程狀態，即1.控制狀態且做正確保養。2.控制狀態且做不正確保養。3.非控制狀態。在這三種製程狀態下，預防保養誤差比率的高低將影響生產及檢驗的策略，造成期望成本的差異，本文以數值分析範例顯示在不同條件下的最低成本策略，提供預防保養之參考。

陸、性質證明

性質1證明

令 $E(T_j)$ 表示製程在時間 t_j 為控制狀態且做正確保養下，超過時間 t_j 的生產週期之期望剩餘時間，則 $E(T_0) = E(T)$ 。令 $p_j = (F(b_j) - F(a_{j-1})) / \bar{F}(a_{j-1})$ ，考慮第一個檢驗週期結束做完預防保養後（即 $t_1 = h_1$ ），製程狀態的機率與其相對應之期望剩餘時間如下所示：

製程狀態	機率	期望剩餘時間
控制狀態且做正確保養	$(1 - p_1)(1 - \delta)$	$E(T_1)$
控制狀態且做不正確保養	$(1 - p_1)\delta$	0
非控制狀態	p_1	0

所以

$$E(T) = h_1 + [(1 - p_1)(1 - \delta)]E(T_1).$$

同理

$$E(T_j) = h_{j+1} + [(1 - p_{j+1})(1 - \delta)]E(T_{j+1}), \quad j = 1, 2, \dots, k - 2.$$

而且

$$E(T_{k-1}) = h_k.$$

因此

$$E(T) = \sum_{j=1}^k h_j \prod_{i=1}^{j-1} [(1 - p_i)(1 - \delta)].$$

參考文獻

- [1] Banerjee, P.K. and M.A. Rahim, "Economic Design of \bar{x} -chart under Weibull Shock Models," *Technometrics*, 30, 407-414 (1988).
- [2] Ben-Daya, M. and M. Makhdoum, "Integrated production and quality model under various preventive maintenance policies," *Journal of the Operational Research Society*, 49, 840-853 (1998).
- [3] Ben-Daya, M., "The Economic Production Lot-sizing Problem with Imperfect Production Process and Imperfect Maintenance," *International Journal of Production Economics*, 76, 25-264 (2002).
- [4] Rahim, M.A., "Joint determination of production quantity, inspection schedule, and control chart design," *IIE Transactions*, 26(6), 2-11 (1994).
- [5] Rosenblatt, M.J. and H.L. Lee, "Economic Production Cycles with Imperfect Production Process," *IIE Transactions*, 18, 48-55 (1986).
- [6] Tseng, S.T., R.H. Yeah and W.T. Ho, "Imperfect Maintenance for Deteriorating Production Systems," *International Journal of Production Economics*, 55, 191-201 (1998).

即時行動視訊之 Java 多媒體應用程式開發

Java Multimedia Application Development and Mobile Real-Time Video Communication

姚卓元 陳俊豪
Jwo-Yuan Yao Chun-Hao Chen

Department of Information Management Tung Nan Institute of Technology

Abstract

Multimedia Applications on top of Java platform have been widely applied to numerous laboratory works ([1],[3]). Cross-platform multimedia application programs are creating a new region of 3G multimedia products and market ([6]). Moreover, in the recent years, the wireless Internet has become reality, and the development of Java applications benefits the research of real-time telecollaboration and mobile video communications. The execution of Java class files on the moving terminal side browser offers the possible solution for various platforms of next generation of multimedia devices. Suggestions of Java bytecode generated from the compilation of a tag/script language are made for further research. And a conceptual shared object method for shortening downloading time is also introduced.

I. Introduction

Providing Wireless access to the wired Internet brings more flexibility and variety. Several applications have been developed to support mobile services via wireless access to personal (Bluetooth), local, or global (cellular) networks. Fast moving communication evolution is frequently heard. The fastest mobile video stream downloading speed hits 4.9Mbps. Java real-time multimedia applications switch the platform to mobile. In the same way, many communication applications (ActionScript) are also adopted by 3G terminal devices.

The rest of the paper organized as follows. Section 2 discusses current Java real-time application research. Some negative issues of running Java bytecode are also discussed. Section 3 describes present (wired Internet/GPRS) and future (3G) telecollaboration. Real-time RIA (Rich Internet Application) on mobile facilities can be Web-based. Section 4 introduces a Shared Object Method (SOM) which uses a shared object between clients and application server to reduce the barrier of wireless bandwidth. Finally section 5 concludes the paper and gives an outlook for future work.

II. Java and Real-Time Multimedia

“Real-time” implies systems that have strict timing dependencies. In implementing a multimedia application, critical timing requirements for its successful transmission over packet network are the major factors to be considered. The bandwidth could scale up to Mbps, and efficient delivery mechanisms need to be employed ([3]), especially in Mobile, the new generation networks.

If there is once a sole coding for all platforms, only thing need to achieve is to update that code. Java’s compile-once-run-everywhere architecture offers one possible solution for all. Many operating systems from different machines support Java. Java also uses applets, executable class file that runs in a Web browser. Since Java applets, after compilation, come with the Web page from a Web server, the application developers need only update the code on the Web server to ensure different client runs the same modified application. It is so easy to maintain. With Java, administrators don’t have to worry about making new system compatible with previous Java code.

Another Java advantage is noted. Faster execution speed of floating point is a significant benefit for multimedia applications, which require large amounts of calculations of this type ([9]).

A prototype of shared Java applets and applications has been developed based on the Java Enabled Telecollaboration System (JETS) which can support collaboration sessions with hundreds of concurrent users. JETS is designed for real-time sharing of Java applets ([2]). Using any Java-enabled Web browser, multiple users in a telecollaboration session are able to share generic applications in the form of Java applets

JETS combines a client-server system to share Java applets/applications ([7]). The clients are java applets; that must be put on a Web server and run inside a Java enabled Web browser. The server is a Java program and runs in any Java environment. And the server is responsible to distribute messages and updates amongst clients. As a developer, one is concerned only with writing applets/applications according to its API. The server side is completely hidden from the developer ([4],[7]).

Another Java applet collaborative application, Java Application Sharing in Multiuser Interactive Environments (Jasmine) prototype exploits the many useful resources and objects that have been developed as Java applets and applications and are available on the Internet ([1],[8]). It lets users share these applets and application in real-time without modifying the code. Jasmine’s architecture can help people collaborate in the growing number of computing environments in which Java applications and applets run over IP ([7]).

From a negative angle, Java applet class files consume more downloading time and certain client side system resources. Slow execution speed is another Java problem. Source is first compiled into bytecode which is executed by the Java Virtual Machine (JVM) that runs on top of client’s Operating System. And JVM checks all bytecode prior to execution for security reasons. The downloading and execution time of Java bytecode is relatively slower when comparing with ActionScript SWF files.

III. Mobile Telecollaboration

A telecollaboration tool may be considered where one submit a document to many others and receive their modifications and feedback ([4]), for instance messenger, e-mail, teaching environment ([5]) and newsgroup. However, the interaction is not real-time and resulting collaboration is obviously inferior to that possible with face-to-face meeting. Nevertheless, whiteboarding makes real-time telecollaboration a possibility, as well as direct communication through a combination of audio, video and text.

Server side media script and tag languages may be used to help developers integrating rich communication functionalities-stream media, rich media messaging, multi-way video, audio-into a single platform, and made it possible to deliver them through a single, lightweight, ubiquitous player, simply a Web browser. This type of RIA (Rich Internet Application) is not only applied to traditional internet communication, it will also facilitate PDA (Personal Data Assistant) and 3G mobile phones.

Conventional HTML usually needs to embed more advanced programming languages (like Java Applet or ActiveX) module to create variety or interactions. Excessive internet back-and-forth between servers and client's terminals wastes too much bandwidth and waiting time. ActionScript based client RIA could resolve the problem above. Separate information scenes only switch between intermediate layers, and the main web page still remain the same. That switch-scene within one page reduces the bandwidth required while refreshing web pages, especially multiple-layer menu-style browsing. And a similar purpose conceptual model, Shared Object Method is suggested in the later content of this paper.

Bandwidth is the major issue from homogeneous to heterogeneous network; from non-intelligent devices to PDA and mobile computers. From GPRS (General Packet Radio Service, 115.2Kbps) to third-generation (2.5G to 3G) mobile networks (CDMA, 2 Mbps), wideband access and Internet based protocol characterize mobile multimedia devices in the future ([6]). Current 3G phone operators have jointly delivered Flash™ technology to 3G mobile Internet platform. And that makes "Mobile Live Webcast" functions possible in the near future. Video mobile phone can be developed from wired WWW collaboration to 3G mobile devices. That will replace WML (Wireless Markup Language) applications running on WAP (Wireless Application Protocol) in GPRS mobile generation.

An new magic software "JavaSWF" will be able to transform a Flash™ SWF file into ActionScript Bytecode. That would be a significant evolution of Java multimedia and mobile Java applications.

IV. The Shared Object Method (SOM)

Reducing the loading time is important while a remote persistent client access to the Internet application server frequently. A “Shared Object Method Model” is presented in this paper to resolve the loading time problem. This Shared Object offers real-time data sharing between multiple client movies and objects.

The architecture below shows a basic client/server Web service.

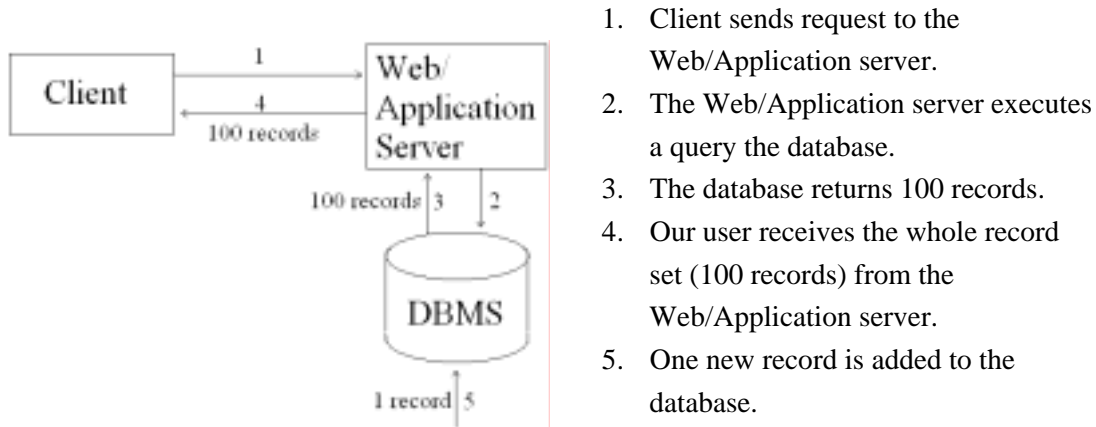


Figure 1

So, when next time client returns to check the same record collection, the user will receive 101 records, the third time, 101 record again. Therefore, the redundancy of the second time is 100, and the third time is 101.

This is the architecture of Shared Object Method Model.

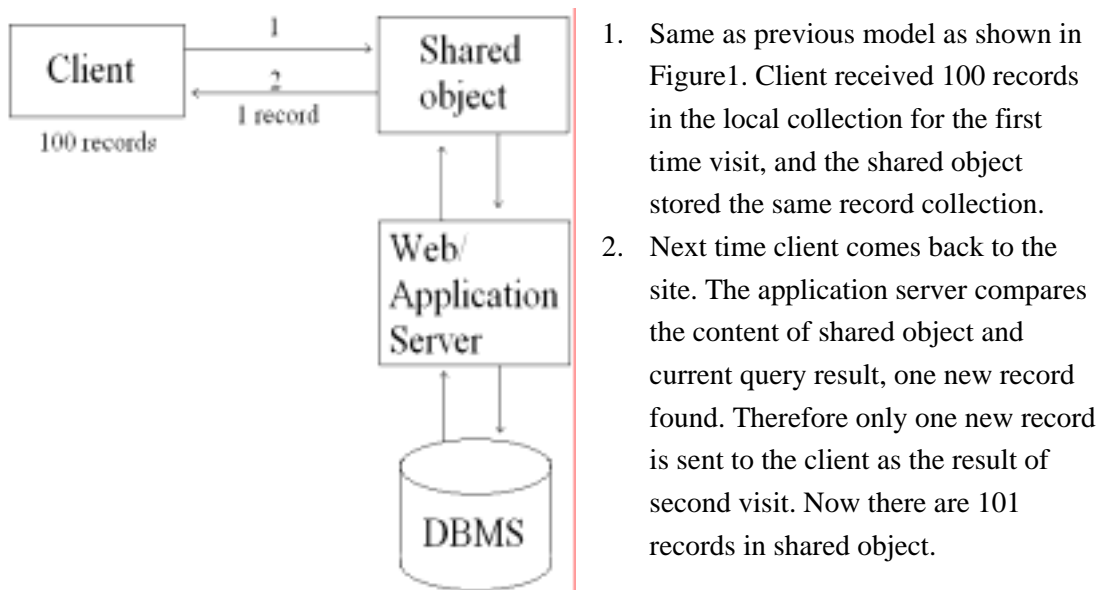


Figure 2

3. Same as the third time client’s visit. Since no new records were added to the database, no new

record is sent back to client.

It should be easily found that SOM could improve redundant data transmission and slow download via internet if comparing the conventional model (Figure 1) and the SOM (Figure 2). And that can be considered to be one of the solutions for the application that mobile service is strongly needed, such as real estate, stock exchange, geographical analysis and real-time teaching environment. Of course, more CPU execution time and extra memory space are required to achieve the success of SOM model.

V. Conclusion

As the Shared Object Method that we can work with become more powerful and detailed, we can hope that it will lead to even more fascinating questions, and to new opportunities for power and realistic real-time wireless application for mobile devices.

References

- [1] S. Shirmohammadi et al., "Jasmine: A Java Tool for Multimedia Collaboration on the Internet," *J. Multimedia tools and Applications*, Kluwer Academic, Vol. 19, no 1, 2003, pp. 5-28.
- [2] Jauvane C. de Oiverira, Hosseini, M.; Shirmohammadi, S.; Malric, F "Java Multimedia Telecollaboration," July-Sept. 2003, Vol.10, Issue 3 April 2003 IEEE Feature Article, pp. 18-2822
- [3] Richard Akester, Dimitris Terzi, and Jon Crowcroft, "Java performance for Multimedia Applications", Thesis, Department of Computer Science, University College London, 2000.
- [4] Greg Hall and Jacques Vaisey, "A Survey of Web-Based Telecollaboration Tools", Simon Fraser University, TeleLearning NCE – Project 3.1
- [5] Curran, K., "A Web-based collaboration teaching environment", July-Sept. 2002, Vol.9, Issue 2, 2003, IEEE, pp. 72- 76.
- [6] Josef F. Huber, "Mobile Next-Generation Networks", 2004, IEEE
- [7] User Manual, JETS: Java Enabled Telecollaboration System, Version 2.0, Multimedia Communications Research Laboratory.
- [8] H. Abdel-Wahab et al "An Internet Collaborative environment for sharing Java Applications", IEEE Computer Society Workshop on Future Trends of Distributed Computing System (FTDS'97), Oct. 1997, pp.112-117.
- [9] Gossling, J. "Extensions to Java for Numerical Computing", ACM 1998 Workshop for Java on High-Performance Network Computing, Stanford University, Feb. 1998.

於一表格上提供同步地垂直及水平捲動

張志祥

Chih-Shyang Chang

Department of Information Management Tung Nan Institute of Technology

摘要

在習知的網頁中，表格（Table）是最常用來顯示多筆資料的物件之一。當顯示許多欄位（column）以及許多資料列（row）時，完整表格會佔據瀏覽器的許多空間，因而，造成用戶於瀏覽時的不方便，以及無法在一個網頁內顯示更多的資料列及欄位。本論文提供一種方法可以讓使用者在瀏覽 HTML 上的表格時可以方便的瀏覽表格的資料列；當水平移動表格的捲軸時，表格的標題列亦能跟著水平移動；當垂直移動表格的捲軸時，表格的標題列不會因為捲動而被隱藏。

Abstract

TABLE in HTML is frequently used to represent multiple data row in a web page. However, it is not convenient to browse a lot of data rows or a lot of columns in a table. The top-down scrolling the table may hide the head row and the horizontal scrolling will not synchronize the head row. This paper proposes a method to help for designing a convenient table represents a lot of data rows and columns. The result of the paper is: when you scroll the table horizontally, the head row will be scrolled horizontally and synchronously; when you scroll table vertically, the head row will not be hidied.

一、簡介

近年來，網際網路已經成為人類生活的重心之一，無論是進行消費、資料查詢、甚至是繳交稅單都可以透過網際網路達成。

一般而言，連接用戶與網際網路的顯示介面係為網路瀏覽器，一般的網路瀏覽器，如 IE 或 Netscape，係依據用戶輸入之一網址傳送一 HTTP 要求（HTTP request），以便與網際網路中另一端的電子設備，如網路伺服器，作進一步的鏈結，並顯示一網頁。目前，能夠提供網路瀏覽器工作的電子設備很多，包括個人電腦、個人數位助理（PDA）、行動電話、資訊家電（IA）產品等等。

在習知的網頁中，表格（Table）是最常用來顯示多筆資料的物件之一，其係以

HTML 的 TABLE 標籤 (tag) 來實作，然而 HTML 的 TABLE 的功能有限，無法發揮原本在視窗環境下的功能。習知一般情況下，於使用表格來顯示複數筆資料時，可以將所有資料列於一完整表格中 (如圖1A 所示)，上述之完整表格的大小係完全依據該等資料的數量而定。換言之，當該等資料需要許多欄位 (column) 以及資料列 (row) 來顯示時，完整表格會佔據瀏覽器的許多空間，因而，造成用戶於瀏覽時的不方便，以及無法在一個網頁內顯示更多的超文件標示語言 (HTML) 控制項。

另外，為解決上述問題，於使用表格來顯示複數筆資料時，可以將資料列於一固定尺寸表格中，固定尺寸表格的大小係為預先設定，而當該等資料大於固定尺寸表格所能夠顯示的範圍時，固定尺寸表格係以捲軸 (scroll) 方式提供該等資料完整的顯示 (如圖1B 所示)。換言之，當該等資料需要許多欄位 (column) 以及資料列 (row) 來顯示時，固定尺寸表格雖然不會佔據瀏覽器太多的空間，但是當用戶使用捲軸向下瀏覽更多的資料列時，固定尺寸表格內顯示的資料會同時向下捲動，因此，使得該等資料的標題列 (通常為該等資料的第一列) 被隱藏起來，結果造成用戶在瀏覽該等資料時無法很方便的將資料列的欄位與表格的標題列相對應。例如，如圖1C 所示，當用戶捲動縱向捲軸5筆資料，並捲動橫向捲軸2筆資料時，於瀏覽器上所顯示的表格已經無法表示每筆資料所對應的標題列。

如上所述，如何提供一種表格於瀏覽器上的顯示方式，以便使表格不會佔據瀏覽器的許多空間，而且讓用戶在瀏覽資料時能夠很方便的將資料列的欄位與表格的標題列相對應，正是當前亟待解決的課題。

二、表格之水平捲軸及垂直捲軸

依本論文之於一瀏覽器上顯示一表格之程式模組包括一第一程式碼 (program code means)、一第二程式碼、一第三程式碼以及一第四程式碼，而所顯示之表格包括一第一部份以及一第二部份。在本論文中，第一程式碼係設定第一部份為一第一子表格，第二程式碼係設定第二部份為一第二子表格，而第三程式碼係同步化第一子表格之一第一捲軸 (scroll) 與第二子表格之一第二捲軸，使當第二捲軸捲動 (scrolling) 時，第一捲軸同步於第二捲軸捲動，最後，第四程式碼係於瀏覽器上以第一子表格與第二子表格之組合來表示上述之表格。

在本論文中，第一子表格之溢流 (overflow) 係以隱藏 (hidden) 方式顯示，而第二子表格之溢流係以捲軸帶 (scroll bar) 方式顯示。因此，第一子表格與第二子表格的組合所顯示的表格能夠如同一單一的表格。另外，上述之該等程式碼能夠以 JavaScript 程式語言或是 VBScript 程式語言來撰寫。

本論文亦提供一種於一瀏覽器上顯示一表格之方法，其係包含設定表格之一第一部份為一第一子表格，以及設定表格之一第二部份為一第二子表格，然後，同步化第一子表格之一第一捲軸與第二子表格之一第二捲軸，以便當第二捲軸捲動時，第一捲軸相對應於二捲軸捲動，最後，於瀏覽器顯示表格時，以第一子表格與第二子表格之組合來表示表格。在本論文中，第一子表格之溢流係以隱藏方式顯示，而第二子表格之溢流係以捲軸帶方式顯示。

綜上所述，由於依本論文之於一瀏覽器上顯示一表格之程式模組與方法係將表格分為二子表格，並且利用同步化二子表格之捲軸的程式碼，將二捲軸同步捲動，因

此，能夠讓用戶在瀏覽資料時很方便的將資料列的欄位與表格的標題列相對應。

以下將參照相關圖式，說明依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之方法。在本實施例中，使用者係使用一電腦裝置經由網際網路與一網路伺服器訊號連接，並以安裝於電腦裝置上的瀏覽器來瀏覽網路伺服器中所儲存的網頁內容。使用者可傳送 HTTP 要求至網路伺服器，要求瀏覽網路伺服器中儲存的某一個網頁，網路伺服器於接收到 HTTP 要求之後，即依此 HTTP 要求傳送網頁至使用者所使用的電腦裝置，以便使用者於瀏覽器上瀏覽網頁內容。

上述的電腦裝置與網路伺服器均可至少包括一中央處理單元，一電腦可讀取儲存裝置，以及其它完成其功能所應具備之週邊設備，如鍵盤與滑鼠等輸入設備，以及螢幕等輸出設備等，且彼此之間係以具有具體物理量的電子訊號來記錄或傳遞資訊。

請參照圖2，在依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之方法中，表格係區分為第一部份與第二部分。第一部份為表格的標題列，而第二部份為表格的資料內容部分。

在步驟202中，第一部份被設定為第一子表格，第二部份則被設定為第二子表格。在本實施例中，第一子表格之溢流係以隱藏方式顯示（請參照圖3A），而第二子表格之溢流係以捲軸帶方式顯示（請參照圖3B）。

在步驟203中，第一子表格之一第一捲軸與第二子表格之一第二捲軸被同步化，以便當第二捲軸捲動時，第一捲軸相對應於第二捲軸捲動。在本實施例中，第一捲軸與第二捲軸係分別為第一子表格與第二子表格之橫向捲軸。

在步驟204中，依本論文較佳實施例係於瀏覽器上以第一子表格與第二子表格之組合來表示表格。例如，請參照圖4A，當瀏覽器以第一子表格與第二子表格之組合來顯示表格時，由於在較佳實施例中係將表格顯示於固定區域內，因此，瀏覽器所顯示之表格不會佔據瀏覽器的許多空間。

請參照圖4B，當捲動表格的縱向捲軸時，由於實際上所捲動的為第二子表格的縱向卷軸，因此第一子表格不會捲動，只有第二子表格捲動。由於在本實施例中，表格的標題列被設定為第一子表格，所以使用者在瀏覽第二子表格的資料時，第一子表格能夠保持顯示出標題列，換言之，標題列不會因為表格的縱向捲動而消失。

請參照圖4C，當捲動表格的橫向捲軸時，由於捲動橫向捲軸的動作會觸發第三程式碼，所以第一子表格與第二子表格會同步捲動。換言之，在瀏覽第二子表格的資料時，第一子表格能夠保持顯示出相對應的標題列。此處需注意者，由於第一子表格之溢流係以隱藏方式顯示，且第一子表格的橫向卷軸係與第二子表格的橫向卷軸同步，所以使用者在只看到第二子表格的橫向捲軸的情況下，將會把第二子表格的橫向捲軸當成整個表格的橫向捲軸。

為使本論文之內容更容易理解，以下將舉一實例，以說明依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之程式架構，其包括一第一程式碼、一第二程式碼、一第三程式碼以及一第四程式碼。各程式碼均為熟習該項技術者所熟習之可編寫於網頁中之 JavaScript 程式碼。

第一程式碼係設定第一部份為一第一子表格，其實例係如下所示：

```
<TABLE ID=Grid1_HEAD BORDER=1 CELLSPACING=0>
```

```
<TR>
```

```
<TH CLASS=cSYS_GridHeadFirstCell>&nbsp;&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TH>
```

```

<TH CLASS=cSYS_GridHeadCell STYLE="width:73px;" NOWRAP>標題列 A</TH>
<TH CLASS=cSYS_GridHeadCell STYLE="width:73px;" NOWRAP>標題列 B</TH>
.....
</TR>
</TABLE>

```

另外，第二程式碼係設定第二部份為一第二子表格，其實例係如下所示：

```

<TABLE ID=Grid1 STYLE="top:0px;left:0px;" BORDER=1 CELLSPACING=0>
<TR>
  <TD CLASS=cSYS_GridRowFirstCell>&nbsp;&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>A1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>B1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>C1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>D1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>E1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>F1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>G1</TD>
  <TD STYLE="width:73px;" NOWRAP>H1</TD>
</TR>
<TR>
  <TD CLASS=cSYS_GridRowFirstCell>&nbsp;&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
  <TD>A2</TD><TD>B2</TD><TD>C2</TD><TD>D2</TD><TD>E2</TD>
  <TD>F2</TD><TD>G2</TD><TD>H2</TD>
</TR>
.....
</TABLE>

```

第三程式碼係同步化第一子表格之一第一捲軸與第二子表格之一第二捲軸，使當第二捲軸捲動時，第一捲軸同步於第二捲軸捲動。在本實例中，第一捲軸與第二捲軸係分別為第一子表格與第二子表格之橫向捲軸，而且，第一子表格之溢流係以隱藏方式顯示，而第二子表格之溢流則以捲軸帶方式顯示。第三程式碼之實例係如下所示：

```

<SCRIPT LANGUAGE=JavaScript>
function syncScroll()
{
  Grid1_CNTNER_HEAD.scrollLeft = Grid1_CNTNER.scrollLeft;
}
</SCRIPT>
<STYLE>
.cSYS_GridHeadContainer {
  position: absolute;
  overflow:hidden;
}
</STYLE>

```

```

<STYLE>
.cSYS_Grid {
    position: absolute;
    overflow: scroll;
}
</STYLE>

```

第四程式碼係於瀏覽器上顯示第一子表格與第二子表格之組合，以顯示上述之表格。第四程式碼之實例係如下所示：

```

<DIV ID=Grid1_CNTNER_HEAD CLASS=cSYS_GridHeadContainer STYLE=
“border:#000000 1px solid;left:78.8px;top:52.6px;height:23px;width:414.3px;”>
<TABLE >
.....
</TABLE>
</DIV>
<!--DIV
STYLE=”position:absolute;width:16px;height:23;top:52.6px;left:492.1px;background:#C0C0
C0;”></DIV→
<DIV ID=Grid1_CNTNER CLASS=cSYS_Grid STYLE=”border:#000000 1px
solid;height:232.1px;width:430.3px;;top:75.6px;left:78.8px;” ONSCROLL=”syncScroll();”>
<TABLE>
.....
</TABLE>
</DIV>

```

需注意者，熟知該項技藝人士能夠利用任何一種可以達成上述目的之程式語言來撰寫上述之程式碼，例如，在本實施例中之程式碼係由 JavaScript 程式語言撰寫，但是熟知該項技藝人士亦可以利用 VBScript 程式語言來撰寫程式碼。

由於依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之程式模組與方法係將表格分為第一子表格與第二子表格，並同步化第一子表格與第二子表格之捲軸，以便二捲軸同步捲動，所以，能夠讓用戶在瀏覽資料時很方便的將資料列的欄位與表格的標題列相對應。

以上所述僅為舉例性，而非為限制性者。例如，上述之表格的第一子表格可以是在表格的左側（縱向），而第一捲軸與第二捲軸可以分別是第一子表格與第二子表格的縱向捲軸，因此，當捲動第二子表格的縱向捲軸時，第一子表格會相對應於第二子表格而縱向捲動。任何未脫離本論文之精神與範疇，而對其進行之等效修改或變更，均應包含於後附之申請專利範圍中。

【圖式簡單說明】

圖1A 至圖1C 為示意圖，顯示依習知技術於瀏覽器上顯示的表格。

圖2為一流程圖，顯示依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之方法。

圖3A 為一示意圖，顯示依本論文較佳實施例之第一子表格。

圖3B 為一示意圖，顯示依本論文較佳實施例之第二子表格。

圖4A 至圖4C 為示意圖，顯示依本論文較佳實施例於瀏覽器上顯示的表格。

【圖式符號說明】

201~204 依本論文較佳實施例之於一瀏覽器上顯示一表格之方法的流程

三、結論

本論文提供一種方法可以讓使用者在瀏覽 HTML 上的表格時可以方便的瀏覽表格的資料列；當水平移動表格的捲軸時，表格的標題列亦能跟著水平移動；當垂直移動表格的捲軸時，表格的標題列不會因為捲動而被隱藏。

四、參考文獻

- [1] HTML 4.01 Specification, <http://www.w3.org/TR/html4/>, 1999.
- [2] Nick Williams and Tim Wilkinson, Experiences With A WYSIWYG Editor for HTML, First International Conference on the World-Wide Web, 1994.
- [3] J. E. Pitkow. Summary of WWW Characterizations. Web Journal 2(1-2): 3-13, 1998.

欄位 A	欄位 B	欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄位 F	欄位 G	欄位 H
A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2
A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3
A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4	H4
A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5	H5
A6	B6	C6	D6	E6	F6	G6	H6
A7	B7	C7	D7	E7	F7	G7	H7
A8	B8	C8	D8	E8	F8	G8	H8
A9	B9	C9	D9	E9	F9	G9	H9
A10	B10	C10	D10	E10	F10	G10	H10
A11	B11	C11	D11	E11	F11	G11	H11
A12	B12	C12	D12	E12	F12	G12	H12
A13	B13	C13	D13	E13	F13	G13	H13
A14	B14	C14	D14	E14	F14	G14	H14
A15	B15	C15	D15	E15	F15	G15	H15
A16	B16	C16	D16	E16	F16	G16	H16
A17	B17	C17	D17	E17	F17	G17	H17
A18	B18	C18	D18	E18	F18	G18	H18
A19	B19	C19	D19	E19	F19	G19	H19
A20	B20	C20	D20	E20	F20	G20	H20
A21	B21	C21	D21	E21	F21	G21	H21
A22	B22	C22	D22	E22	F22	G22	H22
A23	B23	C23	D23	E23	F23	G23	H23
A24	B24	C24	D24	E24	F24	G24	H24
A25	B25	C25	D25	E25	F25	G25	H25
A26	B26	C26	D26	E26	F26	G26	H26
A27	B27	C27	D27	E27	F27	G27	H27
A28	B28	C28	D28	E28	F28	G28	H28
A29	B29	C29	D29	E29	F29	G29	H29
A30	B30	C30	D30	E30	F30	G30	H30

圖1A

欄位 A	欄位 B	欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄
A1	B1	C1	D1	E1	F1
A2	B2	C2	D2	E2	F2
A3	B3	C3	D3	E3	F3
A4	B4	C4	D4	E4	F4
A5	B5	C5	D5	E5	F5
A6	B6	C6	D6	E6	F6
A7	B7	C7	D7	E7	F7
A8	B8	C8	D8	E8	F8
A9	B9	C9	D9	E9	F9

圖1B

C6	D6	E6	F6	G6	H6
C7	D7	E7	F7	G7	H7
C8	D8	E8	F8	G8	H8
C9	D9	E9	F9	G9	H9
C10	D10	E10	F10	G10	H10
C11	D11	E11	F11	G11	H11
C12	D12	E12	F12	G12	H12
C13	D13	E13	F13	G13	H13
C14	D14	E14	F14	G14	H14
C15	D15	E15	F15	G15	H15

圖1C

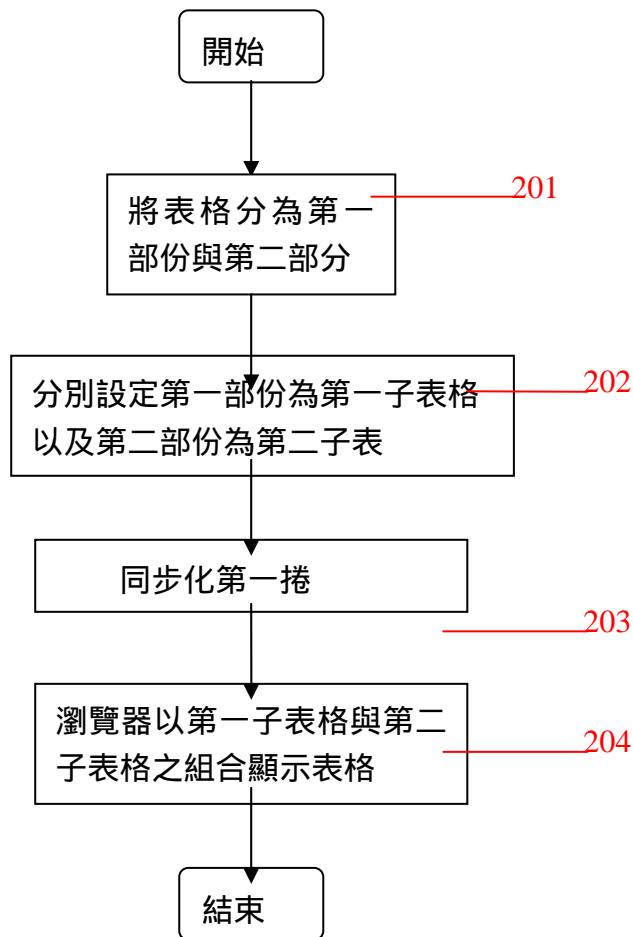
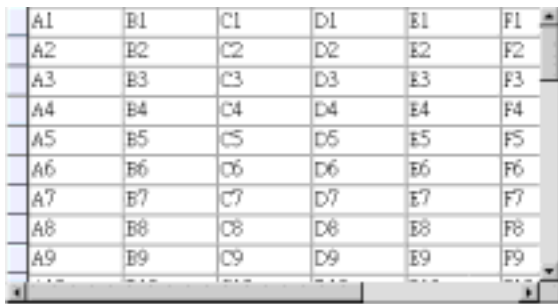


圖2

欄位 A	欄位 B	欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄
------	------	------	------	------	---

圖3A



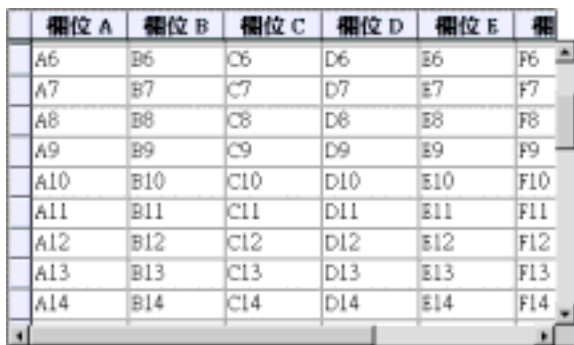
A1	B1	C1	D1	E1	F1
A2	B2	C2	D2	E2	F2
A3	B3	C3	D3	E3	F3
A4	B4	C4	D4	E4	F4
A5	B5	C5	D5	E5	F5
A6	B6	C6	D6	E6	F6
A7	B7	C7	D7	E7	F7
A8	B8	C8	D8	E8	F8
A9	B9	C9	D9	E9	F9

圖3B



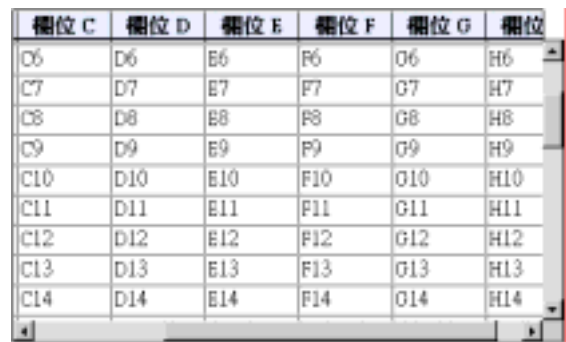
欄位 A	欄位 B	欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄位 F
A1	B1	C1	D1	E1	F1
A2	B2	C2	D2	E2	F2
A3	B3	C3	D3	E3	F3
A4	B4	C4	D4	E4	F4
A5	B5	C5	D5	E5	F5
A6	B6	C6	D6	E6	F6
A7	B7	C7	D7	E7	F7
A8	B8	C8	D8	E8	F8
A9	B9	C9	D9	E9	F9

圖4A



欄位 A	欄位 B	欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄位 F
A6	B6	C6	D6	E6	F6
A7	B7	C7	D7	E7	F7
A8	B8	C8	D8	E8	F8
A9	B9	C9	D9	E9	F9
A10	B10	C10	D10	E10	F10
A11	B11	C11	D11	E11	F11
A12	B12	C12	D12	E12	F12
A13	B13	C13	D13	E13	F13
A14	B14	C14	D14	E14	F14

圖4B



欄位 C	欄位 D	欄位 E	欄位 F	欄位 G	欄位 H
C6	D6	E6	F6	G6	H6
C7	D7	E7	F7	G7	H7
C8	D8	E8	F8	G8	H8
C9	D9	E9	F9	G9	H9
C10	D10	E10	F10	G10	H10
C11	D11	E11	F11	G11	H11
C12	D12	E12	F12	G12	H12
C13	D13	E13	F13	G13	H13
C14	D14	E14	F14	G14	H14

圖4C

多代擴散競爭動態模式之演進

The Evolution of Multi-Generation Diffusion's Dynamic model

樊晉源¹

Chin-Yuan Fan

莊皓欽²

Hao-Chin Chuang

¹東南技術學院資管系兼任講師²大葉大學事業經營研究所碩士

Institute of Business Management, Da-Yeh University

摘 要

創新產品之開發與管理乃事業經營之重要獲利來源，隨著科技的快速演變，具世代交替的延續性產品，亦成為近年來許多科技產品的發展趨勢。而1960年代發展的擴散理論、擴散模式及後續延伸的多代擴散模式，都適切地扮演一個重要角色供作觀察分析創新產品發展的重要工具。本研究之目的，即在於藉由探討創新擴散模式之運用，使管理者能認清產品世代交替之方向，並藉由了解此一方向之幫助，使管理者能掌握市場之先驅，創造勝利。

關鍵字：創新產品，多代擴散，動態性複雜，網路外部性。

Abstract

New product development is the important sources of benefit for business. Along with the evolution of technology, developing multi-generation product also would be the modern trend for technological products. Diffusion theory which developed in 1960s and following multi-generation diffusion researches also properly play important analyzing tool for innovation product. In this research, we hope through discussion of diffusion model help business manager know the future, and gets their wins

Keywords: Innovation product, Multi-generation diffusion, Dynamic complexity, Network externality

壹、緒論

創新產品的開發與管理乃企業主要獲利來源及賴以生存的重要基石之一，要將一個新產品成功推出上市，更須面臨許多「動態性複雜(dynamic complexity)」的課題。在產品技術研發過程中，從機會確認、概念發展、製程設計到量產，尚須研發、行銷、財務及生產製造等跨部門的共同配合(Hill & Jones, 2001)。同時還要進一步擬定合適的產品策略，包括定價、上市時間、產能配置、通路配置等等。而與競爭廠商之間的策略互動，尤其攸關新產品上市的成功與否。近年來，隨著科技的不斷進步及激烈的市場競爭環境，許多新產品的生命週期也逐漸縮短。有鑑於此，廠商除了選擇開發其它創新產品外-「突破式創新(radical innovation)」，便是選擇風險較低的方式來研發具有世代交替的次代產品-「漸進式創新(incremental innovation)」(賴士葆等, 1995; Hill & Jones, 2001)。因此，包括許多資訊科技產品、家電產品及通訊產品，在市場上都可以看到這種多代產品世代交替的發展趨勢。例如不斷有功能更強的 CPU 之次代電腦推出上市，功能更好的次代手機，拍攝功能更精緻的次代數位相機，以及更多選擇及更多趣味的次代電視遊戲機等等。然而如何幫助廠商更深入地了解此類多代產品研發管理的相關課題，乃本研究主要關注的核心焦點。

為了進一步了解多代產品創新擴散方面的問題，本研究希望藉由文獻方面的探討以及思考方面的解釋進行分析，希望藉由對已往學者之研究方向之敘述了解以及討論，使我們能更為容易一窺多代創新模型理論之奧妙。

貳、擴散理論之發展脈絡

產品生命週期觀點以單純的自然法則，僅止於描繪一個新產品歷經興衰的各個階段所呈現出典型的 S 型成長曲線。而擴散理論則透過消費者觀點加以區分不同類型消費者；因其接受新產品的方式及快慢的差異而導致不同的擴散速度；因而適切的補足了生命週期觀點的不足，並讓我們對於了解一個新產品的發展趨勢有了一個適當的著力點。之後擴散模式的發展，更提供後續研究一個得以透過量化、更精確預測及分析的工具，擴散理論的觀點也逐漸成為行銷學、創新研究或新產品開發等領域裡不可或缺的重要核心基礎。

2.1 Rogers 之擴散理論

擴散理論最早由社會組織學家 Rogers (1962, 1971) 所提出，其核心觀點乃藉由產品生命週期理論，再導入消費者的觀念來思考，透過其觀察與研究進而發現人們採用一項新觀念(或新產品)之行為模式類似一擴散形態，並利用流行傳染病學中的疾病傳染過程，進一步應用在創新理論上。藉由此一探討方式，明白確認出如何導致產品的生命週期變化形態(behavior pattern)。Rogers (1971) 認為由於大眾對創新的採用過程都不同，也間接導致其接受一項創新的時間並非同時，因此依其採用時間順序的先後可分成五類，分別是；創新者(innovators)、早期採用者(early adopters)、早期大眾(early majority)、晚期大眾(late majority)及落伍者(laggards)(如圖1所示)。其中創新者樂於嘗試新想法或新產品、不畏懼風險，而落伍者則根本不為所動、無視於新的改變。

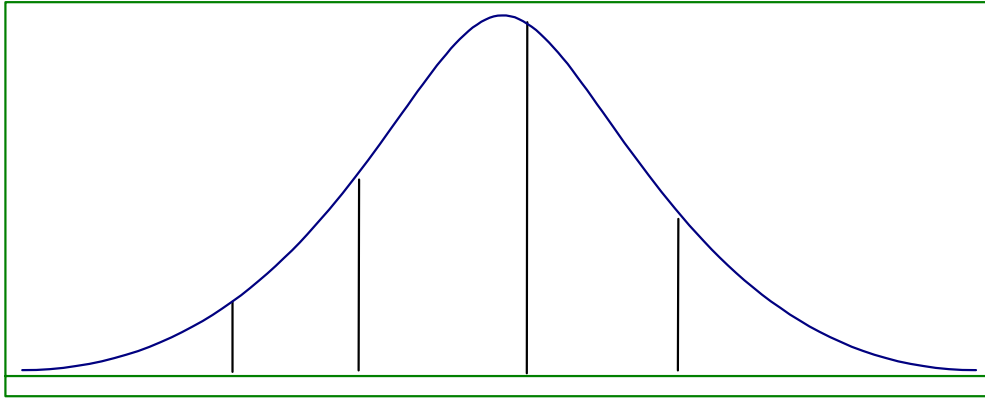


圖1 技術創新之採用者類別

資料來源：Rogers (1971)

但 Rogers 定義擴散模式為一常態分配的狀況卻令許多學者質疑，而且 Rogers 也沒有詳述社會傳播管道、時間等因素對擴散的影響。因此 Bass (1969) 進而提出著名的擴散模型，此一模型不但結合 Rogers 的消費者分類，更融合了 Fourt 與 Woodlock (1960) 的「大眾媒體 (mass media) 影響」與 Mansfield (1961) 的「口碑(word-of-mouth)影響」的觀點，此一擴散模型也成為行銷研究領域裡擴散研究的主要關鍵。

2.2 Bass 之擴散模式

Bass(1969) 的研究是針對11種耐久性消費財(如電冰箱、電視機等)，建構一個產品初次採購時機的成長模式。由於消費者初次購買時機的不同，進而造成產品銷售量的變化。Bass(1969) 根據 Rogers(1962)研究中所發展的五類不同的消費群，進一步聚集成兩大類；一類稱為「創新者」，另一類為「模仿者」。模式中假設潛在 (potential)消費者主要受到兩種方式的影響：一種是口碑，另一種是大眾媒體。受大眾媒體影響 (外部影響) 的消費者，即所謂的「創新者」，他們不會受到其他已購買該產品的消費者之意見影響。而另一類則是受到口碑影響 (內部影響者) 的消費者，即所謂的「模仿者」，其採用行為主要是受到已採用者的口碑宣傳(如圖2所示) (Mahajan, et al., 1990)。此擴散模式是以採用者為積量(level)變數，採用率為率量(rate)變數的微分方程式所組成，藉由模式可產生採用者的累積人數成為一條 S 型曲線。但因創新產品的屬性、溝通管道之特性不同，所以 S 型曲線的漸近線及斜率也會有所不同 (Mahajan & Peterson, 1985)。

早期採
(early ac
創新者
(innovator)

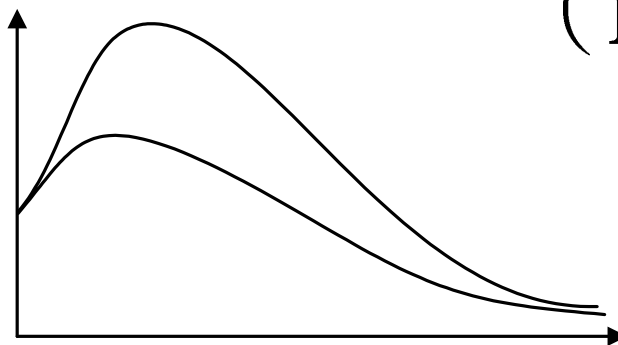


圖2 分別因內外部影響之當期採用人數

資料來源：Mahajan, et al. (1990)

2.3 Norton 與 Bass 之多代擴散模式

早期 Bass(1969)的擴散模式，並沒有考慮到產品世代交替的問題，也就是僅止於單代產品的擴散，其後許多研究也開始考量多代產品擴散的問題。其中 Norton 與 Bass (1987, 1992)也進一步設計了一個「多代擴散模型」，此模型也補足了早期 Bass 模型只思考單一代創新產品的遺憾。在 Norton 與 Bass (1987)的擴散模型中，除了探討次代產品外，也可拓展到第三代產品。其中，第二代產品在取代第一代產品之際，也會漸漸被第三代產品取代。其整個過程可描繪如圖3所示（張嘉訓，2002）。

在 Norton 與 Bass 提出此一多代擴散模式之後，仍有許多學者藉由提出自己的見解對此一模式進行改良，不過其多代擴散模式改良範圍不外乎是加入一些新的變數，將 Bass 之模式做更適當之運用，以預測多代產品的擴散方式；但是對於與廠商之間的競爭策略之運用，以及模式中整體回饋互動狀況，似乎無法進一步提出較為精闢之見解。

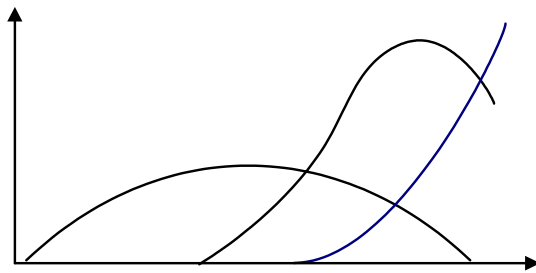


圖 3 高科技產品世代交替示意圖

資料來源：Norton & Bass (1987)

2.4 系統動力學之動態擴散模式

不同於一般數學模式僅能單純考慮個別變數對此一系統的影響，系統動力學模式不但能考慮多個變數影響的問題，更能進一步探討變數間互相對整個系統產生的影響。其中較具代表性的研究，如 Paich 與 Sterman(1993)也利用擴散觀點，進一步探討一個新產品上市的廠商與競爭廠商之間的決策互動(包括定價決策、行銷費用的決策及產能擴充的決策)。圖4為該模式中關於市場擴散的次系統「流圖(flow diagram)」的一部分。其完整模型除了考慮到單一產品市場面的擴散之外，甚至連產品交期、價格、產能的擴增等因素也都在模型中被適切的表達。以廠商競爭互動的角度來看，此模式的確比 Bass 擴散模式更加符合需求。

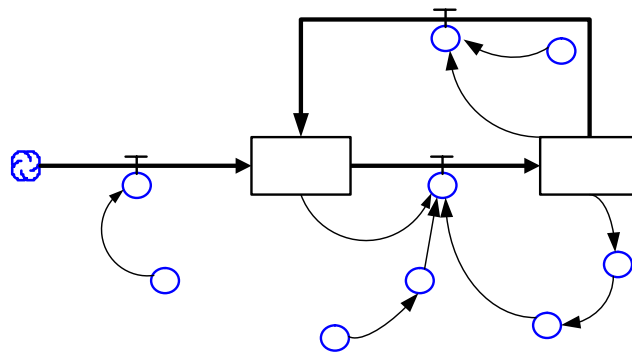


圖 4 Paich & Sterman 的單代市場擴散次系統流圖

資料來源：Paich & Sterman (1993)

此外 Paich 與 Sterman(1993)的創新擴散模式也輔以「電腦模擬演練(computer simulation game)」，將可幫助使用者更為了解整個系統中的擴散過程以及因時間滯延(time delay)所造成整體動態回饋的影響（此類型研究可以美國麻省理工學院所發展的『People Express Management Flight Simulator』與『B&B Management Flight Simulator』為代表）(Sterman, 1988, 1991)。而 Milling(1996)也以系統動力學來建構創新過程的「模組化模式(modularly composed model)」，探討市場成長的動態變化及廠商間策略行動與市場績效間的關聯。並分析及評估廠商不同的創新策略及其營運結果。不過，系統動力學觀點的擴散模式研究也僅止於探討單代產品擴散的競爭動態過程，對後續所發展的多代產品擴散方面的討論卻付之闕如。因此，本研究重點即在於利用系統動力學，探討多代擴散模型，以延續系統動力學在此方面的研究成果，進而提供廠商另一種決策依據。

參、多代擴散競爭動態模式之發展

3.1 模式總覽

以往學者對於多代擴散模型的探討，偏重於數學微分方程的應用，此種方式只能幫助我們瞭解多代產品的擴散過程，卻不能幫助我們思考關於產能、價格、行銷決策間以及與競爭廠商的決策互動關係。而系統動力學擅長於處理高階、動態、非線性且具時間滯延問題之特性，正可以幫助我們進一步了解複雜的競爭動態過程。依據 Paich & Sterman (1993) 的擴散模式及羅世輝與楊碩英 (2000) 之研究，其模式主要是以四個次系統來討論新產品市場擴散之行為；分別是（1）市場擴散次系統（2）市場分配與吸引力次系統（3）A 廠商次系統（4）B 廠商次系統，本研究並將該模式定義為「單代擴散競爭動態模式」，其中各個主要次系統之內涵及其間之關係則如圖5所示。

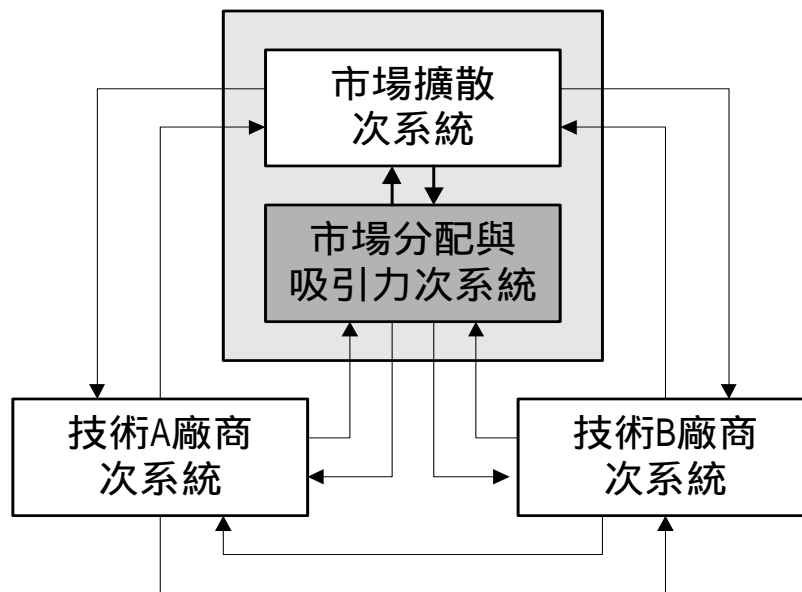


圖 5 單代擴散競爭動態模式之主要次系統概念圖

資料來源：羅世輝與楊碩英 (2000)

同時，本研究進一步以該模式為基礎並加以改良，加入探討次代產品擴散的相關因素，而發展出「多代擴散競爭動態模式」(如圖6所示)。本模式與「單代擴散競爭動態模式」的主要差別如下：在市場擴散次系統方面改以多代擴散為主；在市場分配與吸引力次系統方面，則考慮有許多創新產品必須搭配互補品使用，因此界定該創新產品為硬體而所需之互補產品為軟體，因此支援之軟體廠商數目的多寡成為一重要吸引力因子 - 因此在模式中增加了支援軟體廠商的吸引力因素；最後，在 A 與 B 廠商次系統中則增加了新產品研發經費方面及軟體廠商權利金收入的決策。

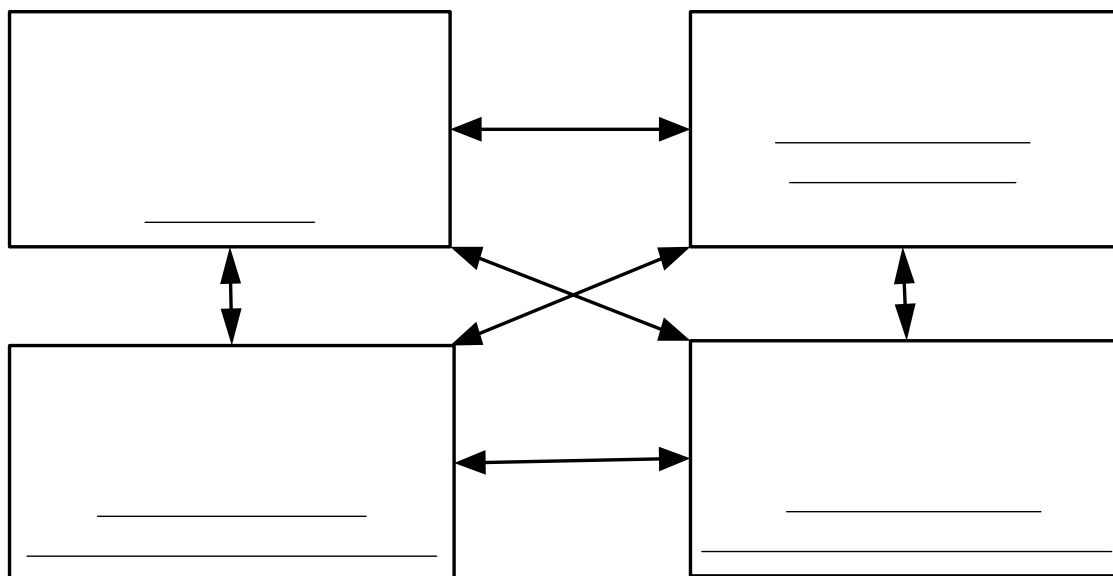


圖6 多代擴散競爭動態模式之主要次系統概念圖

在進一步建構本模式前，首先提出若干「動態假設」。本研究所定義的「動態假設」主要是思考時間滯延因素對策略之長短期效果的影響。「動態假設」可以幫助我們進行模式建構。也可預先針對策略提出構想，並思考合適的策略方案。本研究之動態假設如下：

- 【動態假設一】：短期而言，廠商可利用降價策略來拓展市場佔有率；但長期而言，降價是否可能導致產品供不應求而導致市場佔有率的下滑？
- 【動態假設二】：短期而言，次代產品如果搶先對手上市率先搶奪市佔率；但長期而言，如果對手在初代產品中已累積足夠數量的支援軟體廠商，則情況是否適得其反？
- 【動態假設三】：短期而言，降低軟體廠商之支付權利金可吸引更多軟體廠商加入陣營；但長期而言，如果產品銷售量不佳，是否軟體商仍會選擇付出較多權利金而轉移至對手廠商？另一方面，權利金的大幅降價將會使收入減少，是否反而造成財務上的負擔？
- 【動態假設四】：短期而言，利用行銷可幫助我們提升銷售量，但長期而言，行銷是否對提升銷售並不具明顯影響？

市場分配與吸引力
行銷花費
產品定價
產品交貨期

3.2 模式結構概述

3.2.1 市場擴散次系統

本研究之多代擴散次系統仍以 Bass 之多代擴散模式為基礎，該模式中有幾點主要假設，包括：(1)假設廠商一旦採用新科技，就不會再使用舊科技；(2)假設每個消費者在每期的消費數量為一常數，而創新產品的消費量，則為使用者人數與每人平均消費數的乘積；(3)假設潛在購買者在次代產品尚未上市時，其購買擴散方式等同於 Bass 之基本擴散模式，但當產品推出至次世代產品時，潛在購買者則包括了初代產品的使用者及尚未購買此一系列世代產品的消費者，且潛在購買者如購買了次代產品，則將不會再購買初代產品；(4)假設次代產品推出時，初代產品並不會消失於市場，直到市場逐漸被取代為止。前述之 Bass 多代擴散模式的注意事項及其理論基礎，將供作本研究建構系統動力學模式之主要參考，首先參照 Paich & Sterman (1993) 所建構之單代擴散模式並予以擴展成如圖7所示：

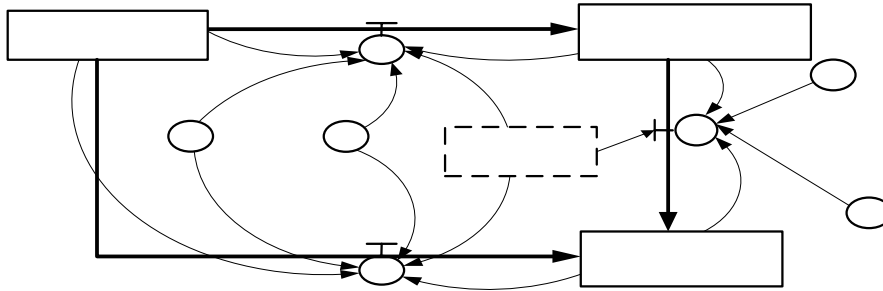


圖7 多代市場擴散次系統圖

模式中假設每年購買產品之人數一定時，產品採用之總人數會受到單獨產品吸引力及產品使用者之口碑及創新者之影響；創新者及口碑在本模式中利用創新係數及模仿係數來代表，至於產品吸引力則將在之後進一步探討，其模擬結果如圖8、圖9所示。圖8中，顧客基礎(Real CB1)呈現一 S 形成長，且次代的顧客基礎(CB2)明顯的高出初代顧客基礎甚多，這是由於次代產品上市後，其顧客基礎將不僅僅是延伸初代產品的顧客，甚至包括從未接觸過此一產品的顧客也將會受到吸引進而購買產品；因此次世代產品將會超過初代產品的購買量成為消費者的新寵。

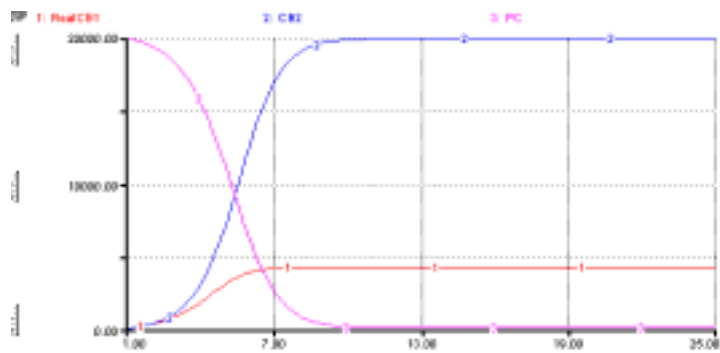


圖8 多代擴散模式中顧客基礎與潛在顧客之關係

在圖9中我們可以看出採用人數的變化都符合鐘型分配，而次代顧客基礎是由圖9中曲線2(代表由初代產品使用者升級為次代產品使用者之採購數量)及曲線3(代表由從未採用該系列產品之使用者直接採用次代產品之採購數量)相加而成，因此可以瞭解其顧客基礎擴充的原因，搭配兩者整體圖形，可以得知次代產品會藉由其擴充性增加其使用顧客基礎，也證明此一模式符合 Bass 之多代擴散模式之假設。

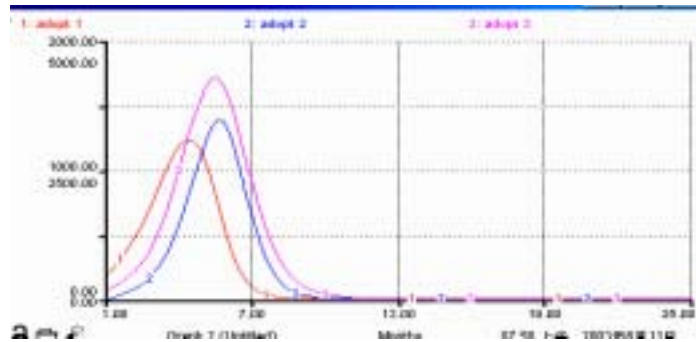


圖9 多代擴散模式中採用者之鐘型分配

藉由此一模式之幫助，我們可以了解到多代創新擴散之狀態是一動態化的狀態，他不僅僅是廠商為了追求更多客戶所開發而來的噱頭，相對而言他跟客戶之間的潛在客戶基礎息息相關，顧客之成長並不會無止盡成長，如果顧客成長到一定之範圍時，相對而言其市場潛力就會逐漸消失，如果一味主打廣告，或是藉由降價來拓展市場佔有率，相對而言其市場之影響及會逐漸減少，因此市場佔有率是否真如行銷學中所佔的領域那麼重要，直得三思。

肆、結論與討論

5.1 管理意涵

透過本模擬模式之研究，針對多代創新產品之競爭場提出以下幾點建議。

(1) 破除追求市場佔有率之迷思：

一般對於市場佔有率的追求在於，冀望公司因為在市場上具有獨占或寡占的地位，能為公司帶來獲利，而常常乎略市佔率的高低與公司的利潤是否成正向的關係，如果市佔率與利潤並非正向關係時，又無法讓新產品的者用者人數跨越鴻溝（crossing the chasm）時往往成為公司失敗的主因，因此本研究建議應謹慎思考追求市占率之迷思。

(2) 盡量不要一次更動太多吸引力變數：

廠商的營運有最低資金的限制，如一次動用太多吸引力變數如，低價促銷且收取微薄的軟體權利，加上龐大的行銷費用，易導致公司資金周轉上出現問題。

(3) 採取搶先策略？抑或跟隨策略？

在真實世界中，初代產品市佔率落後的廠商經常會逐漸投入大筆的金額在開發次代產品，期望次代產品的上市能夠有高利潤，並且快速打擊對手重新奪回市場。但根據本研究之模式模擬，新產品的確能幫助公司在短時間轉虧為盈，但如何判斷新產

品上市之時間，應先瞭解市場之創新係數及模仿係數，並進一步搭配政策運用方為有效。

5.2 未來研究方向建議

本模式主要探討的產品吸引力包括價格、行銷、交期及軟體商，在現實世界中影響產品之吸引力要素還有很多；包括產品品質、技術創新程度，未來研究者可以更進一步將其放入模式考量，探討不同政策對其之影響。此外在真實世界許多多代創新產品市場之主要競爭者並不只兩家，因此也考慮加入第三競爭廠商之探討。進一步設計一完整之「政策實驗室(policy lab)」，藉由與電腦模式之互動幫助廠商做出完善的政策。另外關於兩代產品之創新係數與模仿係數之界定，也可更進一步利用統計或其他研究方法來界定或調查使本模式更為完善。

參考文獻

1. 林宏怡(2002)，新產品擴散之動態研究-以系統動力學觀點，大葉大學事經所碩士論文。
2. 張嘉訓(2002)，高科技產品多代擴散模型之研究-以 DRAM 為例，真理大學管科所碩士論文。
3. 賴士葆，謝龍發，曾淑婉與陳松柏等編著(1995)，科技管理，國立空中大學。
4. 羅世輝與楊碩英(2000)，「跨越市場臨界量之迷思：產業主流鎖定之研究」，科技管理學刊，第五卷第二期，頁169-192。
5. Bass, F. M. (1969), "A New Product Growth Model for Consumer Durable," *Management Science*, 15: 215-227
6. Forrester, J. W. (1961), *Industrial Dynamics*, Mass.: MIT Press.
7. Fourt, L. A. and Woodlock, J. W. (1960), "Early prediction of market success for grocery products," *Journal of Marketing*, 24(5): 31-38.
8. Hill, C. H. and Jones, G. R. (2001), *Strategic Management Theory*, Houghton Mifflin Company.
9. Katz, M. L. and Shapiro, V. (1994), "Systems Competition and Network Effects," *Journal of Economics Perspective*, 8: 93-115.
10. Levitt, T. (1965), "Exploit the Product Life Cycle," *Harvard Business Review*, 14: 81-94.
11. Lyneis, J. M. (1980), *Corporate planning and Policy Design: A System Dynamics Approach*, Mass.: MIT Press
12. Mahajan, V., Muller, E. and Bass, F. M. (1990), "New Products Diffusion Models in Marketing: A Review and Direction for Research," *Journal of Marketing*, 25: 1-26
13. Milling, P. M. (1996), "Modeling innovation process for decision support and management simulation," *System Dynamics Review*, 12(3): 211-234.
14. Norton, J. A. and Bass, F. M. (1992), "Evolution of Technological Generations: The Law of Capture," *Sloan Management Review*, winter, 66-77.
15. Paich, M. and Sterman, J. D. (1993), "Boom, Bust, and Failures to Learn in Experimental Market," *Management Science*, 39(12): 1439-1458.

16. Porter, M. E. (1980), *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competition*, NY: The Free Press.
17. Rogers, E. M. (1971), *Communication of Innovation*, New York: The Free Press.
18. Shapiro, C. and Varian, H. (1998), *Information Rules*, Harvard Business School.
19. Sterman, J. D. (1991), *B&B Enterprises Management Flight Simulator*, Sloan School of Management, MIT.

二硒化鎢單晶摻雜銻的電解液電場調制研究

Electrolyte Electroreflectance Study of Re-doped WSe₂ Single Crystals

胡 勝 耀

Sheng-Yao Hu

東南技術學院電子系講師

摘 要

本文章是以電解液電場調制的方法來對二硒化鎢單晶摻雜銻 (Re) 的效應在1.4到3.5eV 的能量範圍進行室溫的近能帶邊際和高能帶的激子躍遷。摻雜銻的厚樣品可以用來作凡得瓦面 ($E_c; k_c$) 和側面 ($E_c, E_c; k_c$) 的電解液電場調制。對於 k_c 和 k_c 的兩種架構下所得到的非等向性激子 A 和激子 B 躍遷，我們可以用勞倫茲振盪器模式來和無摻雜的二硒化鎢單晶進行線形吻合比較。經由此項研究一個基本的激子躍遷位置和能帶架構可以同時被正確的求得。

關鍵字: 電解液電場調制, 摻雜, 激子躍遷

Abstract

We have recorded electrolyte electroreflectance (EER) spectra at room temperature in the energy range of 1.4 to 3.5 eV for WSe₂ single crystals with Re impurity to examine the effect of dopant on the near band-edge excitonic transitions as well as higher lying interband transitions. Both freshly cleaved van der Waals planes ($E_c; k_c$) and as-grown edge planes ($E_c, E_c; k_c$) EER measurements were made possible by the thicker samples of Re-doped WSe₂. The anisotropic excitonic transitions A and B for both k_c and k_c configurations have been studied in terms of Lorentzian oscillators and a strong dependence on polarization was compared with that of the undoped samples. The basis for assignment of excitonic transition energies is determined accurately and a probable energy-band structure is constructed.

Keywords: Electrolyte electroreflectance; Doping; Exciton transition

I. Introduction

Tungsten diselenide is a diamagnetic indirect semiconductor and belongs to the family of group VIB layer type transition metal dichalcogenides [1, 2], TX_2 where $T = \text{Mo}$ or W and $X = \text{S}$ or Se . The characteristic of the extreme anisotropy optical, electrical and mechanical properties [1–3], WSe_2 compounds have drawn considerable attention due to their technological importance as lubricant [4], catalyst [5], battery cathodes [6], etc. Recently, WSe_2 has been reported the application on the high-mobility field-effect transistors [7]. The anisotropy of the semiconductor is a result of an interesting sandwich structure of $X\text{--}T\text{--}X$ layers interacting with each other, loosely bonded by the weak van der Waals (VdW) forces [1-3, 8]. The intralayer bonding is thought to be part ionic and part covalent with the latter being dominated [3, 8]. The bonding anisotropy defines the exclusive morphology of these crystals as thin, elastic and easy-to-cleave platelets that they display good cleavage properties parallel to the layers, which can be exploited to obtain thin single specimens. Recent efforts in studying the influence of their anisotropic electrical properties of 2H- WSe_2 layered type transition metal dichalcogenides have been implemented by doping the samples with rhenium (Re). However, only few work concerning the effects of dopants in affecting the anisotropic optical properties of WSe_2 have been performed [3].

In this work, we report the electrolyte electroreflectance (EER) spectra at room temperature in the energy range of 1.4 to 3.5 eV for undoped WSe_2 and Re-doped WSe_2 single crystals. Both $k \parallel c$ and $k \perp c$ EER have been performed accurately with much larger edge plane surfaces of Re-doped WSe_2 single crystals. The EER technique has been proven to be useful in the investigation and characterization of the band structure of semiconductors [9, 10]. The derivative nature of EER spectra suppresses uninteresting background effects and greatly enhances the precision in the determination of transition energies. The sharper line shapes as compared to the conventional optical techniques have enabled us to achieve a greater resolution and hence to detect weaker features. From a detailed line shape fit with a form of the Aspnes equation of the derivative Lorentzian line shape [11], the energies of the near band-edge excitonic transitions and higher lying interband transitions are determined accurately. The role of the Re impurity in influencing the transform in the excitonic features will be examined. In addition, the polarization of $k \parallel c$ and $k \perp c$ EER spectra will also be analysed and discussed.

II. Experimental Details

Re-doped and undoped single crystals of WSe_2 were produced by traditional chemical vapor transport method, using Br_2 as the transport agent. The total charge used in each growth experiment was about 10 g. The stoichiometrically determined weight of the doping material was added in the hope that it would be transported at a rate similar to that of W. Prior to the crystal growth quartz tubes containing bromine and the elements (W: 99.99%; Re: 99.99% and Se: 99.999%) were evacuated and sealed. The quartz tube was placed in a three-zone furnace and the reaction takes place in the evacuated tubes at a temperature of 900 °C or more for several days and gives slight control in the

particle size of the samples. The as-grown Re-doped WSe₂ single crystal is shown in Fig. 1 and is of typical dimensions, 10×5 mm² surface area with a thickness of 1.5 mm. The doped and undoped WSe₂ are all n-type samples and the majority carrier concentration is determined as about 1.02×10¹⁷ cm⁻³ for Re-doped WSe₂ and 7.3×10¹⁵ cm⁻³ for undoped WSe₂ from Hall measurements at room temperature. All obtained samples were confirmed to be single-phase materials of 2H structure by X-ray powder diffraction (XRD) using Cu K α radiation and graphite monochromator ($\lambda = 1.542 \text{ \AA}$).

The EER experiments, maximum size of Re-doped and undoped single crystals of WSe₂ were selected. The EER were taken on a completely computerized system for modulation spectroscopy described elsewhere [10–13]. Reflectivities of both VdW planes ($\mathbf{E} \perp \mathbf{c}; \mathbf{k} \perp \mathbf{c}$) and edge planes ($\mathbf{E} \perp \mathbf{c}; \mathbf{k} \parallel \mathbf{c}$) for Re-doped WSe₂ have been measured, with \mathbf{E} , \mathbf{k} the electric vector and wave vector, respectively, of the incident light and \mathbf{c} the unit-axis of the crystal. The polarization schemes are shown in Fig. 1. The polarized EER spectra for Re-WSe₂ in the energy range of 1.4 to 3.5 eV were recorded for reflections off the edge plane surface ($\mathbf{k} \perp \mathbf{c}$). The EER spectra for undoped WSe₂ were only recorded over the same energy range for reflection off the VdW plane ($\mathbf{k} \parallel \mathbf{c}$) since the available samples are too thin to allow for reliable EER experiments from the edge plane surface. The detector response to the DC component of the reflected light is kept constant by either an electronic servo device or a neutral density filter so that the AC reflection corresponds to $\Delta R/R$, the differential reflectance. Scans of $\Delta R/R$ versus wavelength were obtained using a PTI monochromator together with an Oriel 150 W Xe lamp as a monochromator light source. Phase sensitive detection instrument was used to measure the differential reflectance. Those samples were mounted with one VdW or edge plane by Ag-epoxy for sufficiently conductive back contact with an insulating epoxy resin. The electrolyte was a 1N H₂SO₄ aqueous solution, and the counter-electrode was a 5 cm² platinum plate. A 200 Hz 100 mV peak-to-peak square wave with $V_{DC} = 0V$ versus platinum electrode was used to modulate the electric field in the space charge region of the sample electrode.

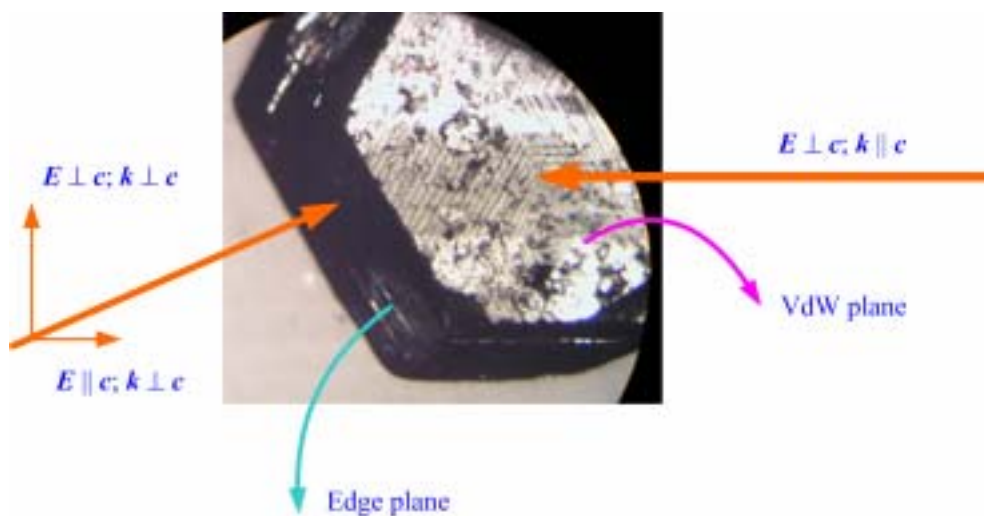


Fig. 1. Photograph of the as-grown Re-doped WSe₂ showing the exposed VdW and edge

III. Results and discussion

Displayed by the dot curves in Fig. 2 are the EER spectra near the direct band-edge over the range 1.4 to 3.5 eV at room temperature. The nature of the line shape indicates the A and B excitonic structure corresponding to the smallest direct transition at the K point of the Brillouin zone [14]. The experimental curves have been fitted to a functional form appropriate for excitonic transitions that can be expressed as a Lorentzian line shape function of the form [11, 13]

$$\frac{\Delta R}{R} = \text{Re} \left[\sum_{i=1}^m C_i e^{j\phi_i} (E - E_i + j\Gamma_i)^{-n} \right] \quad (1)$$

where C_i and ϕ_i are the amplitude and phase factors, E represents the photon energy, E_i is the energy of the transition, Γ_i is the line shape broadening parameter, and n takes value of 2 for appropriate excitonic transition. The fits yield the parameters C_i , E_i and Γ_i . The obtained values of E_i are indicated as arrows and will be used for the assignment of the transitions by comparing with experimental results of Beal *et al* [2]. The least squares fits using Eq. (1) are shown as solid curves. The energies of the features are listed in table 1. In general, a good correspondence can be made for the recorded spectra of this work with transmission data of Beal *et al* [2]. However, difference does exist which can be attributed to the presence of Re impurity. The nomenclature A, B, A', B', d and C adopted by previous work [1, 2] for peak assignment will also be used here. Additionally, we would like to emphasize that in this work our focus is on the role of Re dopant in affecting the change in the anisotropic EER spectra of the Re-doped WSe₂. In this paper, we will simply state without attempting to discuss the physical origin of the excitonic features and those of the higher lying interband transition where relevant works can be found elsewhere [1, 2, 14–16]. From [14], the exciton A and B are being assigned to be transitions at **K** point, with **K**₁ and **K**₄ as the initial states, and **K**₅ as the final state. Feature d belongs to $\Gamma_1^+ - \Gamma_3^+$ transition; C is assigned to be the $Q_2^- - Q_2^-$ [2].

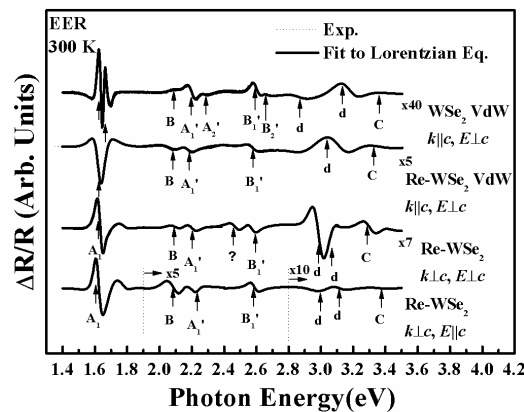


Fig. 2. The EER spectra of undoped WSe₂ and Re-doped WSe₂ samples over the energy range of 1.4 eV to 3.5 eV. The solid curves are the least-squares fits to Eq. (1) which yield the excitonic transition energies indicated by the arrows.

The $k \cdot c$ EER spectra for undoped WSe₂ is displayed the top side of Fig. 2. The energies obtained from the least squares fits are listed in table 1 together with the relevant values from the experiment work of Beal *et al* [2] for comparison purpose. In general, our room temperature results are lower than [2] where the measurements were performed at 5 K. For exciton A, two bands (A₁ and A₂) were detected. A structure at 2.085 eV appeared as a broad shoulder on the lower energy side of exciton B was also recorded. The direct band gap and exciton binding energy for 2H-WSe₂ can be estimated by the effective mass approximation calculation, which results in a three-dimensional Mott-Wannier hydrogen-like series relation of the form [17]

$$E_n = E_g - R/n^2 \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

where E_g and R are the band gap and exciton binding energy, respectively. From the fitted values of $E_{A1} = 1.630$ eV and $E_{A2} = 1.658$ eV, the direct band gap E_g is evaluated to be 1.68 eV for WSe₂ and the exciton binding energy R estimated to be 37.3 meV. Those values are similar to that of Beal *et al* [2]. The broad shoulder located at 2.085 eV can be discounted as the $n = 3$ band of the exciton A series.

Table 1. Energies of prominent of undoped WSe₂ and Re-doped WSe₂ single crystals.

Feature	Present work (energy in eV)					Work of Beal <i>et al</i> [2] (energy in eV)
	WSe ₂		Re-doped WSe ₂			
	(EER)		(EER)			
	$k \cdot c$	$E \cdot c$	$k \cdot c$	$E \cdot c$	$E \cdot c$	
A	1.630	1.628	1.616	1.616	1.694	
A'	2.204	2.184	2.212	2.222	2.260	
B	2.085	2.078	2.080	2.083	2.174	
B'	2.588	2.583	2.591	2.586	2.625	
	2.873		2.983	2.999	2.935	
d		045				
	3.121	-	3.048	3.102	3.095	
					3.200	
C	3.361	3.320	3.296	3.394		
					3.470	

For the Re-WSe₂ sample, the spectra of $k \cdot c$ and $E \cdot c$ displayed marked differences indicating anisotropic optical properties of the doped semiconductor. Both spectra also show certain deviation as compared with the EER spectrum of undoped WSe₂. A most noticeable difference is the absence of the $n = 2$ exciton A series in the spectra of Re-WSe₂. For excitons A and B, different degrees of red shift may be obtained by comparing our results for the Re-WSe₂ sample with our undoped sample or with the transmission data of [2] on the 2H-WSe₂ samples. In Fig. 2, from the spectra of undoped WSe₂ and Re-WSe₂, the red shifts of exciton A are determined to be 2 meV ($k \cdot c$) and 14 meV ($E \cdot c$, $E \cdot c$; $k \cdot c$).

c), while for exciton B the red shifts are 7 meV ($k \parallel c$) and 3 meV ($E \parallel c, E \perp c; k \parallel c$). In this work, the “purity” of the recorded spectra indicates the good quality of our samples. We also believed that the more sensitive EER technique of this work should offer better accuracy over the transmission spectra of [2]. However such a difference in measurement techniques cannot account adequately for the large variation of the excitonic transition energies between undoped and doped WSe₂ samples. It is therefore deduced that the presence of Re must play an important role.

From this work, it is observed that the occurrences of the higher lying interband transitions are similar for both undoped and Re-doped WSe₂. The similarity is especially remarkable for the $k \parallel c$ configuration. Our experimental results ($k \parallel c$ configuration) correspond almost in parallel to the works of Beal *et al* [2] on 2H-WSe₂ except for some small differences. The reason is that the more sensitive EER spectra enable us to pick up much weaker features that may not be resolved in the transmission spectra of [2].

IV. Summary

In summary, we have performed polarized EER measurements for both undoped and Re-doped WSe₂ samples. The thicker doped sample has been able to do the polarization for the edge plane to the near band edge exciton transition not only in the lower energy side but also in the higher lying energy band. The presence of rhenium impurity has been determined to play a major role in influencing the measured differences in the recorded data.

Acknowledgments

The author Sheng-Yao Hu, would like to acknowledge the support of the National Science Council of the Republic of China under the Project No. NSC93-2112-M-019-005.

References

1. J.A. Wilson and A.D. Yoffe, *Adv. Phys.* 18 (1969) 193.
2. A.R. Beal, J.C. Knights and W.Y. Liang, *J. Phys. C: Solid State Phys.* 5 (1972) 3540.
3. W.Y. Liang, *J. Phys. C: Solid State Phys.* 6 (1973) 551.
4. J.R. Lince and P.D. Fleischauer, *J. Mater. Res.* 2 (1987) 827.
5. R.R. Chianelli, *Catal. Rev. -Sci. Eng.* 26 (1984) 361.
6. J. Bouxel and R.A. Brech, *Rev. Mater. Sci.* 16 (1986) 137.
7. V. Podzorov, M.E. Gershenson, Ch. Kloc, R. Zeis and E. Bucher, *Appl. Phys. Lett.* 84 (2004) 3301.
8. G. Weiser, *Surf. Sci.* 37 (1973) 175.
9. M. Cardona, K.L. Shaklee and F.H. Pollak, *Phys. Rev.* 154 (1967) 696.
10. Y.S. Huang and Y.F. Chen, *Phys. Rev. B* 38 (1988) 7997.
11. D.E. Aspnes, *Optical Properties of Semiconductors (Handbook on Semiconductors)* ed by M. Balkanski (Amsterdam: North Holland), p 109, 1980.

12. D.K. Schroder, *Semiconductor Material and Device Characterization* 2nd edition Wiley, New York, 1998.
13. F.H. Pollak and H. Shen, *Mater. Sci. Eng. R* 10 (1993) 275.
14. R. Coehoorn, C. Haas and R.A. de Groot, *Phys. Rev. B* 35 (1987) 6203.
15. R. Coehoorn, C. Haas, J. Dijkstra, C.J.F. Flipse, R.A. de Groot and A. Wold, *Phys. Rev. B* 35 (1987) 6195.
16. C.H. Ho, C.S. Wu, Y.S. Huang, P.C. Liao and K.K. Tiong, *J. Phys.: Condens. Matter* 10 (1998) 9317.
17. Beal A R and Liang W Y 1976 *J. Phys. C: Solid State Phys.* **9** 2459

室溫型熱像輻射測溫儀之研究

The investigation of uncooled micro-bolometer radiometer

黃 浩 民

Huang hau-ming

東南技術學院電子系副教授

Associate Professor Department of Electronic Engineering Tung-Nan Institute of Technology

摘 要

一種採用二維焦面式解析度為320*240的微電阻式(micro-bolometer)熱影像,配合測溫軟體包含校溫方程式,人工加色及恆溫控制(0.1°C)可精確量測物體溫度,於 10°C 範圍內達 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,若於檢知元件前加裝防輻射遮罩更可使精確度增加兩倍以上。

關鍵字:室溫熱像,輻射測溫儀

Abstract

A 2-D array 320*240 micro-bolometer thermal image system , it contain a software with a calibrated equation, pseudo-color table, temperature range limiter ,and especially a temperature controller circuit , it can precisely control the radiometer temperature error below $<0.1^{\circ}\text{C}$ and improve the accuracy to $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ within 10°C range, if it can install a anti-radiation shielding in front of detector that can increase the sensitivity above 2 times.

Key words: uncooled thermal image, thermography

壹、前言

一個室溫型微電阻二維320*240焦面式熱像做為溫度輻射儀時,為要精確量測物體溫度,除能感測物體本身微小輻射變化外,更須具有良好之穩定性,即當感測器周圍溫度產生變化時,不論其是來自於環境溫度或由電路所產生,輻射儀本身可採用之方法不外乎以恆溫電路控制感測器周圍溫度或以溫度補償方式以軟體將溫度漂移量與以修正。

有些系統為要減少外來物體及環境之影響,亦可在感測器之結構上加上抗輻射屏蔽,將可大幅度改善量測精確性[1]。

室溫型熱像最大之缺陷即是靈敏度較酷冷式小了許多,約7mv/°C,因此在信號處理上需特別注意。校溫時,以平面黑體做為溫度標準,

實驗中採用法國悠利士公司(Ulis)生產之非晶矽室溫型感測元件[2],恆溫電路以 Analog Device 之熱電冷卻控制器 ADN8830溫度穩定度可達±0.01°C

測溫軟體以 VB 語言配合 EURESYS 公司擷取卡及資料庫撰寫測溫軟體,可執行溫度範圍設定,預警溫度,距離設定,即時溫度量測等功能。

貳、理論與實驗之方法

一、熱像溫度靈敏度(NETD)與空間解析度

等雜訊溫差(Noise Equivalent Temperature Difference,NETD)定義為於感測器讀出元件輸出訊雜比為1時,物體與背景溫度之差異

$$NETD = \frac{[2] \quad 4F^2V_N}{\tau_0AR(\Delta P/\Delta T)N^{1/2}} \text{-----}(1)$$

其中 F 表光圈

V_N 表雜訊

τ_0 表光學鏡頭之穿透率

A 表單一檢知器之面積

R 表檢知器之響應度

$(\Delta P/\Delta T)_{8-14\mu m} = 2.62 \times 10^{-4} \text{ W/cm}^2\text{K}$

N 表檢知器之數目~320*240

空間解析度 Instantaneous Field of Field(I.F.O.V)

$$I.F.O.V = A^{1/2}/f \text{-----}(2)$$

f 表 鏡頭焦長

二、彩色(灰階)與溫度之關係

由輻射溫度熱像儀所接受到之實際輻射(或稱有效輻射)是來自目標物本身溫度 T_0 所發射之輻射,加上周圍環境溫度 T_a 經目標物反射而來輻射以及背景溫度 T_B 穿透過物體之輻射總和。我們若將熱像機之灰度與溫度之響應函數表為 $G(T)$,

則 $\epsilon \cdot G(T_0)$ 表待測物體之發射函數,

$\rho \cdot G(T_a)$ 表環境溫度之反射函數,

$\tau \cdot G(T_B)$ 表背景溫度之穿透函數,其中

α 表示一物體之吸收係數

ρ 表示一物體之反射係數

τ 表示一物體之穿透係數

此三係數間有一關係,即

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

但 $\alpha = \epsilon$, ϵ 為某一物體之發射率

$$\text{則 } \epsilon + \rho + \tau = 1$$

由一物體輻射出之能量落於紅外線檢知元件上（此為微電阻）轉換成電子信號 S 後，此 $S=G(T)$ ，且 $T=G^{-1}(S)$

$$S = \varepsilon \cdot G(T_0) + \rho \cdot G(T_a) + \tau \cdot G(T_B) \text{-----}(3)$$

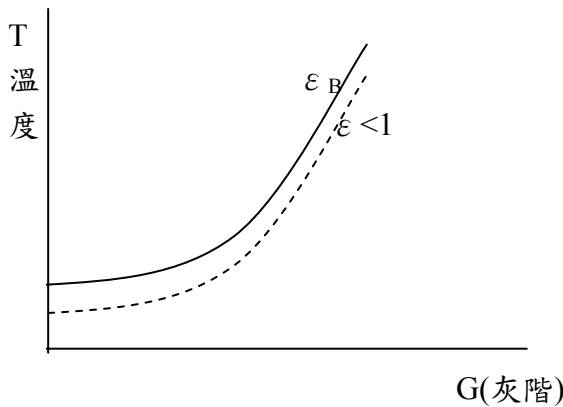
當受測物體為不透明，則 $\tau=0$ ，方程式可寫為

$$S = \varepsilon \cdot G(T_0) + \rho \cdot G(T_a) \text{-----}(4)$$

且因 $\tau=0$ ，則 $\varepsilon + \rho = 1$

即 $\varepsilon = 1 - \rho$

以黑體校正熱影像所獲得之灰度(相同顏色)與黑體溫度關係圖，於本實驗中,由於採用 (A/D)8位元數位轉換,故有256灰階

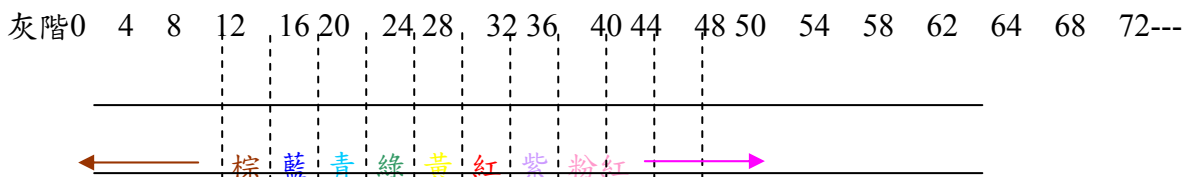


圖一、熱像機所顯示之灰度與黑體溫度校正關係圖，實線表黑體,虛線表物體當取較小溫度溫度範圍,可以直線方程式取代圖一之曲線情況

$$T = \varepsilon a G + b \text{-----}(5)$$

a,b 為常數

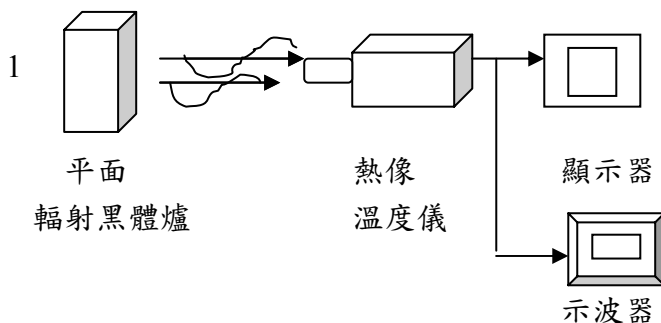
彩色影像與溫度之關係



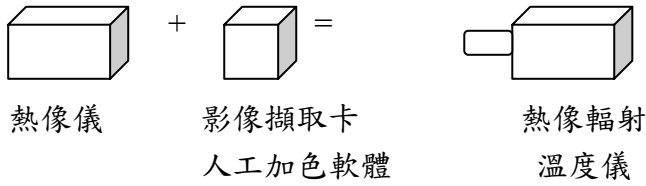
圖二、灰階與彩色之對應圖

三、熱像儀與平面黑體輻射爐溫度之校正

當以平面黑體爐去校準彩色(灰階)-溫度 T_0 之關係，見下圖三為校正溫度實驗方塊圖



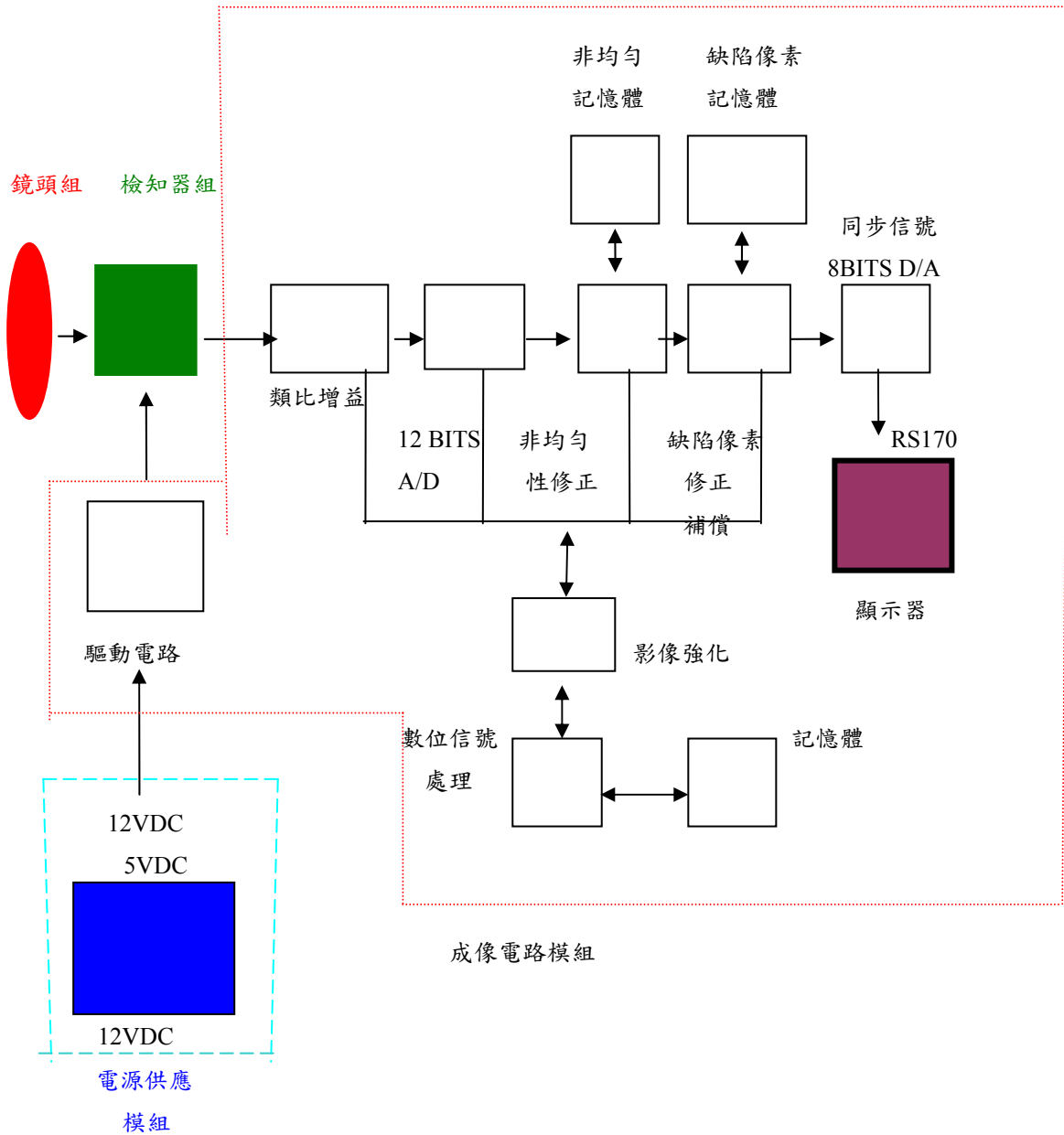
圖三、二維焦面式熱影像溫度校正方塊圖



圖四、熱像儀與熱像輻射儀之關係圖

四.室溫熱像之結構圖

系統方塊圖



圖五、.系統方塊圖

檢知器組中加裝熱電冷卻器(thermoelectric cooler)做為溫度穩定器，本計畫中，室溫熱像之材料為非晶矽，未修正前其影像均勻性~10%，經雙點修正後<1%，

參、實驗之結果與討論

一、外型及規格

1. 外型



圖六、室溫型熱像測溫儀外型



圖七、於 LCD 影幕上顯示之彩色熱像圖

2. 規格(Specifications)

紅外線熱像模組

感測器材料：微電組式 Micro-Bolometer

熱影像攝影機解析度：320*240 pixels

熱影像攝影機波長：8~14um 熱影像攝影機

熱影像攝影機視頻訊號：類比 RS-170信號

最小解析溫度(NETD)：<math><0.10\text{C}</math>

準確度(accuracy)：+/- 1% 或 +/- 0.2°C

影像掃瞄頻率(frame rate)：60HZ

雜訊等效溫差(NETD)：≤0.1° C(@30° C)

穩定度(Stability)：≤0.1° C

灰階:8-bit

微處理機模組

中央處理器：2GHz

隨機存取記憶體：256MB

影像擷取卡：PCI 影像擷取卡

顯示器：15" LCD

作業系統：WIN 2000/NT 或 XP

溫度分析軟體模組功能

溫度範圍：30~400C 可擴充至15000C(誤差<2%)。

影像顯示：彩色黑白切換顯示，並具彩色溫標(COLOR BAR)及溫度數值(256color，高彩及全彩)。

分析功能：溫度靜態(連續十點溫度及座標)及動態分析功能。

顯示功能：全畫面影像灰階梯度(Histogram)顯示功能(0~255)，並可以顯示設定視窗內之灰階狀態。

視窗設定：可顯示視窗內平均溫度及最高溫度。

數學運算：(加、減、乘、除)功能。

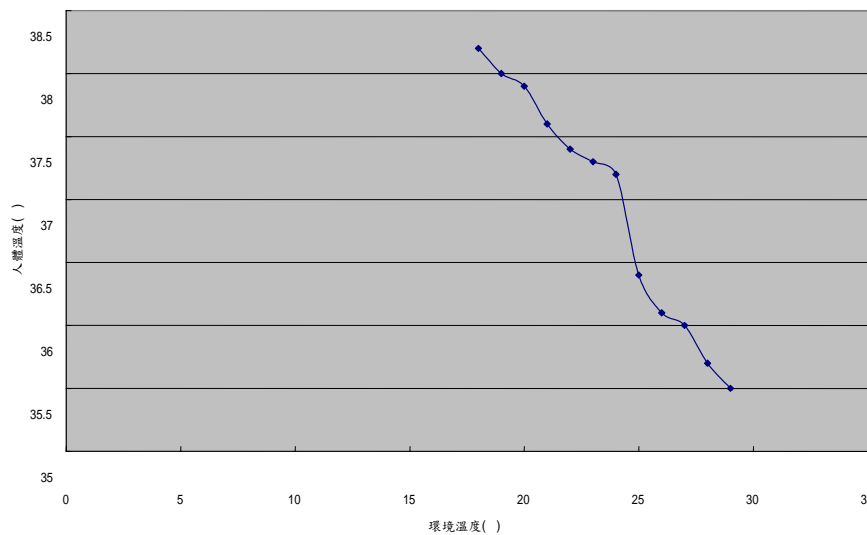
溫度校準：數學方程式進行溫度校準(至少具有六個以上之校溫表格資料庫)。

影像儲存：具影像儲存功能

警報功能：具溫度異常聲光警示或輸出功能

二.環境溫度與目標溫度漂移之關係

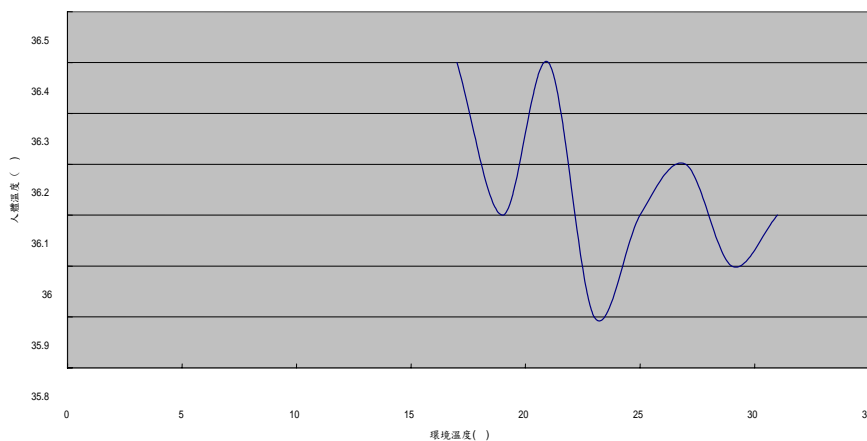
下圖八為熱像測溫儀對一正常體溫(36.1°C) 人體於不同環境溫度所量得之溫度漂移現當環境溫度升高時,量得之體溫較正常降低且幅度相當大最大斜率可達0.8



圖八、環境溫度對測量所造之溫度漂移。

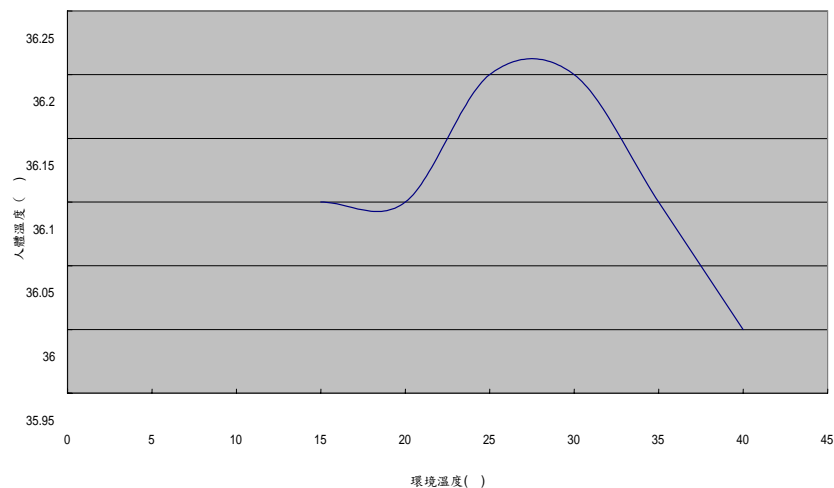
三. 溫度補償與目標溫度漂移

1. 軟體溫度補償



圖九、以軟體回授做溫度補償,可將溫度穩定度控制於±0.3°C範圍內

2. 輻射屏蔽溫度補償



圖十、感測器加裝抗輻射屏蔽及恆溫電路,可增加量測穩定度,於環境溫度由15°C~40°C範圍,人體體溫誤差小於 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$

肆、結論

1. 室溫型熱像未做溫度補償時,系統量測誤差非常大,當室溫變化 1°C 時,誤差可達 0.8°C 。
2. 當以軟體做隨機補償時,雖未對熱像機本體做任何其他補償可將系統精確度維持於 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 範圍內。
3. 若以恆溫電路控制熱像儀,使溫度維持於 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 範圍內,可使系統精確度小於 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 範圍內。
4. 室溫型熱像因不若酷冷式熱像無法加裝冷屏蔽(Cold Shield),故做為溫度量測時,其溫度之穩定性較不易控制,但系統中,將前述幾種補償方式均列入考量再設計加裝抗輻射屏蔽,必可大幅度改善系統之穩定性而提昇精確度。

伍、參考資料

- [1]. Bruno Fieque, Arnaud Crastes, Jean-Luc Tissot, Jean-Pierre Chatard, "320x240 uncooled microbolometer 2D array for radiometric and process control applications" SPIE 5251, Sept 29-Oct 3, 2003
- [2]. Paul W. Kruse, "Uncooled Infrared Imaging Array and Systems" Volume 47, Chapter 2 pp18~31, 1997
- [3]. E. MOTTIN et al, "Uncooled amorphous silicon technology enhancement for 25 μm pixel pitch achievement" SPIE Vol. 4820, 2002

比較隧道實驗及動力計測試下車輛之排放係數

華梅英¹ 余泰毅² 林斌龍³

¹東南技術學院環境與安全衛生工程系副教授

²蘭陽技術學院環境工程系助理教授

³道成國際工程顧問公司總經理

摘 要

本研究利用二種不同方式，實測車輛之排放係數並加以比較。第一種方式係於中山高速公路之福德隧道進行隧道實驗，實測經過車輛之平均排放係數值。第二種方式係以車體動力計，以目前新車審驗所訂定之標準檢測行車型態，即 FTP-75為主。所檢測之污染物項目以法規檢測之氣狀污染物 CO、NMHC、NO_x 為主。依據研究結果顯示，隧道實驗所得之排放係數 CO 平均為3.27g/km、NO_x 平均為1.23 g/km、NMHC 平均為0.23 g/km。動力計測試求得之值 CO 平均為5.0 g/km、NO_x 平均為0.77 g/km、NMHC 平均為0.58 g/km。此差異主要為高速公路車行速率較高，故其污染物 CO 排放係數值約為動力計測值之7成；NMHC 約為動力計測值之半；而 NO_x 值則約高3成。本研究結果均為車輛之實測值，可以做為車輛平均排放係數之參考，但若用於決策訂定時，仍建議應進行更多樣本之測試。

關鍵詞：排放係數、車輛污染、動力計、隧道實驗、車速

壹、前 言

依據交通統計月報，台閩地區機動車輛登記數，從民國八十三年底的1238萬輛(小汽車357萬輛)增加至民國九十三年十月的1910萬輛(小汽車為534萬輛)，十年間增加五成以上。其中小汽車總數在台北都會區即佔全台小汽車數之25.7%；若將高雄市納入，則其比率提高為32.3%。車輛明顯集中於都會地區之現象，致使其造成之空氣污染問題更加值得重視。車輛為移動污染源，法規標準及相關研究上常以排放係數值做為比較基準。排放係數，是指一輛車平均行駛單位距離(km 或 mi)或耗用單位油料(l 或 gal)所排放污染物的重量(g 或 lb)。其常見之求取方式，除模式推估為理論計算外，其餘多為實場測試，包括路旁量測、動力計測試及隧道實驗等。

國內在動力計測試之研究方面，(陳君杰，1997)以追車方式構建台北都會區汽車(TADC)行車型態，再抽取11輛汽車，進行 TADC 與法規FTP75比較，結果發現所有 TADC 行態所排放之 CO、HC、NO_x 均較 FTP75型態為高。國外研究較多，早期

(Black 等, 1980)在動力計上進行尾氣及蒸發測試, 發現尾氣排放比例約佔85%。之後(Black 等, 1998)又針對排放廢氣對臭氧發生潛勢進行研究。在丹麥(Hansen 等, 1995)以動力計測試21輛車, 結果發現平均旅行速率是影響排放量最重要之因子, 而裝觸媒轉化器之車, 其排放係數平均值 HC、CO、NO_x 分別為0.19、2.22、0.2 g/km。近期車體動力計測試的研究多偏重在其他排放物; 在瑞典(Karlsson, 2004)以 FTP-75型態、EU2000型態測試五輛車之排放, 發現排放量與行車型態十分相關, 對此二型態; CO 範圍分別為0.16~3.81與0.57~5.22 g/km; HC 範圍分別為0.02~0.39 與0.07~0.68 g/km; NO_x 範圍分別為0.09~0.77與0.1~0.76 g/km。研究中也發現二種型態中 NH₃、HCN、N₂O 等排放值均相當低。

在隧道實驗部分, 70年代美國學者曾在加州隧道 Allegheny 及 Tuscarora 針對粒狀物、有機微粒、總碳、SO₂及當時新使用的抗震劑 MMT 進行採樣分析, 再由模式推估各污染物之排放量及逐年變化趨勢。隨著檢測技術的進步與設備日益精準, 隧道實驗所能提供的功能與應用更為廣泛。直到於加州 Van Nuys 公路隧道進行實測(Ingalls 等, 1989), 當結果與模式(EMFAC7C)預估值比較時, 發現實測之 CO 及 HC 分別比模式值高約3及4倍, 尤其在高速時 CO 與 HC 之差異更大, 此模式值嚴重偏低的現象, 才引起大家對隧道實驗的重視。之後(Gofa, 1998)再進行相同的測定, 惟將通風量以風速計代替追蹤劑量測, 且增加了以不銹鋼瓶採樣測 VOCs 項。結果發現1995年排放污染量較1987年降低, 其降幅 CO 為40%、NO_x 為20%、HC 為70%。此外, 在美國 Tuscarora 及 Fort McHenry 隧道的實驗比較(Pierson 等, 1996)得知無論重型車或輕型車, 以單位行駛距離來看其污染排放量, 與坡度有相當明顯之關係; 以單位油耗量來估計排放係數, 則其間之差異性並不大。國內的研究亦重在 CO、NO_x、NMHC 基本項目及臭氧發生潛勢之 VOC 等。在北部有台北隧道(Hwa 等, 2002)測 CO、NO_x 及 NMHC 排放係數, 其值分別為3.64、0.9、0.44 g/km; 在南部有高雄中正隧道(陳煥文, 1997)其實測與 Mobile5較近約在80%之間, 與 MT1.0差2-3倍; CO 則實測值最大, 較 MT1.0大2倍, Mobile5約低估5倍。

本研究將分別以動力計及隧道實驗二種方式, 求取車輛之排放係數值並加以比較。

貳、研究方法

本研究隧道實驗在國道三號高速公路之福德隧道內進行, 福德隧道位於台北市區東南角, 臨木柵與深坑交界處, 呈南北走向雙孔、斷面為三心圓設計、截面積約92 m²。本研究在長度為1726公尺北向隧道內進行。隧道內設置北上16台、水平軸流式風機以進行每日上午八時及下午六時強制通風。車流量監測以一小時為單元, 計數方式以高公局在隧道中所裝置之車流感應器記錄值為主, 該感應器係在地上埋設感應線圈線圈長2.5m, 二線距離4公尺, 可感應經過之車量數及車速。採樣自上午5時至下午3時, 以一小時為單元, 共計10小時。污染物採樣點之位置如圖1, 沿隧道入口、中央、出口共設三處, 為避免污染物分布不均, 所有採樣點均有不同高度四個吸入口同時吸氣, 其高度分別為4.5m、3m、2m 及1m。以採樣袋採集一小時後, 立即於隧道口之自動分析儀 API300、API200檢測 CO、NO_x, NMHC 則以不銹鋼瓶採集後, 送至實驗室以改良型之 Shimadzu GC-14B 採 FID 偵測濃度。隧道平均風速以二種方式計算, 第一

種方式在隧道右側人行疏散道上，設置風速計；第二種方式以施放 SF₆ 追蹤劑量測濃度值加以計算，為確定追蹤劑已達充分混合，沿隧道縱向共設立五處追蹤劑採樣點。採集的樣本立即送至 GC-ECD 分析，其所使用的管柱為分子篩不銹鋼管，材質為 Porapak Q 80/100，長度2m，外徑4mm。隧道實驗計算排放係數的理論十分淺顯，由隧道出入口處之污染物濃度差，乘以採樣時之流速，再除以車數及隧道長度，即可求得每輛車行駛每公里所排放之污染量。計算式為

$$M=(C_{OUT}Q_{OUT}-C_{IN}Q_{IN})\times t \quad (1)$$

式中 M 為總污染量(mg)，Q 為通風量(m³/s)，隧道視為柱塞流 Q_{OUT} 等於 Q_{IN}，C 為濃度,t 為採樣時間。再利用下式算排放係數。

$$E=M/NL \quad (2)$$

其中 E 為排放係數(g/km)，N 為車數(輛)，L 為入口及出口處採樣點間距離(km)。

動力計之測試(如圖2)，是在新竹工研院機械所之動力計實驗室進行。實驗室主要包括車體動力計及廢氣採樣分析系統二部分，測試時將待測車輛置於動力計上，模擬行車型態的循環進行測試，在測試過程中量測其污染排放。本計畫所進行之測試車輛數共有12台(如表1)，以法規標準之 FTP-75行車型態(圖3)進行測試。檢測之污染物以基本項目 CO、NO_x、NMHC 為主。

參、結果與討論

(一)隧道實驗

實驗時段內福德隧道之平均風速如表2。可知由風速計量得之通風速度平均值約為 3.9 m/s，通風量約360 m³/s，其餘通風量在清晨5-6時車輛少時最小，上午8-9時最大，分別約為220m³/s 及500m³/s，其他時間變動性不大。經由追蹤劑所計算出之通風速度平均值約為4.9 m/s，通風量約為450 m³/s，可知風速計小時平均通風速度值較實驗設計預估值小，其值約為追蹤劑值之八成。故僅以風速計量測，結果可能會隨其放置之位置接近牆(距0.9m)，而有低估的趨勢。

隧道之車流量如圖4資料(高公局提供)，實驗時段最低車流量發生在清晨5-6時僅約 600多輛，最高為下午2點將近4000輛，其餘自7點之後維持在2500輛以上。車種以小型車為主，大型車數最多近350輛/小時，其所佔車輛比例低者7%、高約16%，變動量不大。車輛數在尖峰及非尖峰時段無明顯差異，可能與該日為周休二日的第一日有關。圖中之車速為採樣期間所有車之小時平均值，在67-82km/hr 間，大型車較小型車之車速低，在67-75km/hr 間，其差異在車流量多時之降低。

在污染物濃度部分，圖5~8所列為 NO_x、NO、CO 及 NMHC 於入、中間及出口濃度測值，濃度範圍約 NO 入口處0.07-0.12ppm、出口處1.0-2.0ppm；NO_x 入口處0.1-0.2ppm、出口處主要範圍為1.8-2.3ppm；CO 入口處0.8-1.5ppm、出口處7-9ppm；NMHC 入口處0.5-1.3ppm、出口1.5-2.0ppm。圖9為本次隧道實驗所求得之排放因子，平均 THC 為0.33 g/km、NMHC 為0.23 g/km、NO 為1.02 g/km、NO_x 為1.23 g/km、CO 為3.27g/km。

(二)動力計測試

本研究動力計測試結果，CO 之排放係數部分如圖10，平均值為5.0 g/km，以2號及、3號車最高分別為23.9、15.2 g/km；以12、11號車最低分別為0.34、0.88 g/km，其與車齡之相關係數為0.55。NO_x 之排放係數部分如圖11，平均值為0.77 g/km，以2號及、3號車最高分別為2.65、1.77 g/km；以11、12號車最低分別為0.023、0.058 g/km，其與車齡之相關係數為0.44。NMHC 之排放係數部分如圖12，平均值為0.58 g/km，以2號及、3號車最高分別為2.40、2.80 g/km；以11、12號車最低分別為0.038、0.068 g/km，其與車齡之相關係數為0.52。若由各污染物間之相關性探討，三者間之相關係數均高於0.8，尤以 CO 與 NMHC 間高達0.93。由於本研究測試車輛選取在廠牌、車齡、排氣量上為隨機組合，因此結果可代表一般車輛組成狀況，其污染量與車齡有關，高低齡車輛之污染可達數十倍至百倍。

(三)測試結果比較

本研究隧道與動力計測試結果比較，以平均值而言 CO 分別為3.27與5.0 g/km；NO_x 分別為1.02與0.77 g/km；NMHC 分別為0.23與0.58 g/km；估計其主要差異來源為車行速率。由於福德隧道位於高速公路，速限在60-90km 間，故平均實驗之行車速率高達71.6 km/h，而 FTP-75型態之平均旅行速率僅為34.1km/h、平均行駛速率為43km/h，其間並有多次停等，因此在較高速度行車下，CO 與 HC 值將較低，相反 NO_x 則較高。另外隧道中車輛為汽油車、柴油車混合行駛，而動力計測試僅為小型自用汽車，也為造成差異之因素。

肆、結論與建議

1. 本研究經由二種常用方式得到排放係數結果，隧道實驗所求得之值，CO 平均為3.27g/km、NO_x 平均為1.23 g/km、NMHC 平均為0.23 g/km；。動力計測試求得之值CO 平均為5.0 g/km、NO_x 平均為0.77 g/km、NMHC 平均為0.58 g/km。
2. 隧道實驗因於高速公路之平均行駛速率較高，故其污染物 CO 排放係數值約為動力計測值之7成；NMHC 約為動力計測值之半；而 NO_x 值則較高約3成。車速為移動源污染排放量之主要因子。
3. 由於排放係數常做為估計區域性移動源污染之主要參考，因此其值之代表性將十分重要。本研究為實際車量之檢測，結果可以做為車輛平均排放係數之參考，但限於經費樣本數量有限，若要應用於決策訂定時，建議應進行更多樣本測試。

參考文獻

1. 陳煥文，1997，以隧道實驗推估車輛氣態污染物排放係數之研究，成功大學，碩士論文
2. Black F.M., High L.E., Lang J.M.，1980，Composition of automobile evaporative and tailpipe hydrocarbon emissions，J. of the Air Pollution Control Association, Vol.30，No.11，1216-1221
3. Black F., Tejada S., Gurevich M.，1998，Alternative fuel motor vehicle tailpipe and evaporative emissions composition and ozone potential，J. of the Air and Waste Management Association，Vol.48，578-591
4. Gofa F., Gertler A. W., Sagebiel J.C.，1998，Changes in On-Road Emissions and Emission Factor Model Predictions for the Van Nuys Tunnel：1987 to 1995，A&WMA's 91st Annual Meeting & Exhibition.
5. Hansen J.Q.、M.Winther、S.C. Sorenson，1995，The influence of driving patterns on petrol passenger car emissions，The Science of the Total Environment 169，129-139
6. Hua Lu Karlsson，2004，Ammonia, nitrous oxide and hydrogen cyanide emissions from five passenger vehicles，Science of the Total Environment 334-335，125-132
7. Hwa Mei Yin, Chu Chin Hsieh, Tsung Cheng Wu, Len Fu W. Chang，2002，Real-world vehicle emissions and VOCs problem in the Taipei tunnel located at Taiwan Taipei area，Atmospheric Environment，36，1993-2002
8. Ingalls M.N.，1989，On-road vehicle emission factors from measurements in a Los Angeles Area Tunnel, Paper No. 89-137.3, presented at the A&WMA 82nd Annual Meeting, Anaheim, CA
9. Pierson W. R. ,Gertler A.W., Robinson N.F., Sagebiel J.C., Zielinska B., Bishop G.A., Stedman D.H., Zweidinger R.B., Ray W.D.，1996，Real-World automotive emissions summary of studies in the Fort McHenry and Tuscarora Mountain Tunnels，Atmospheric Environment，Vol.30，No.12，2233-2256

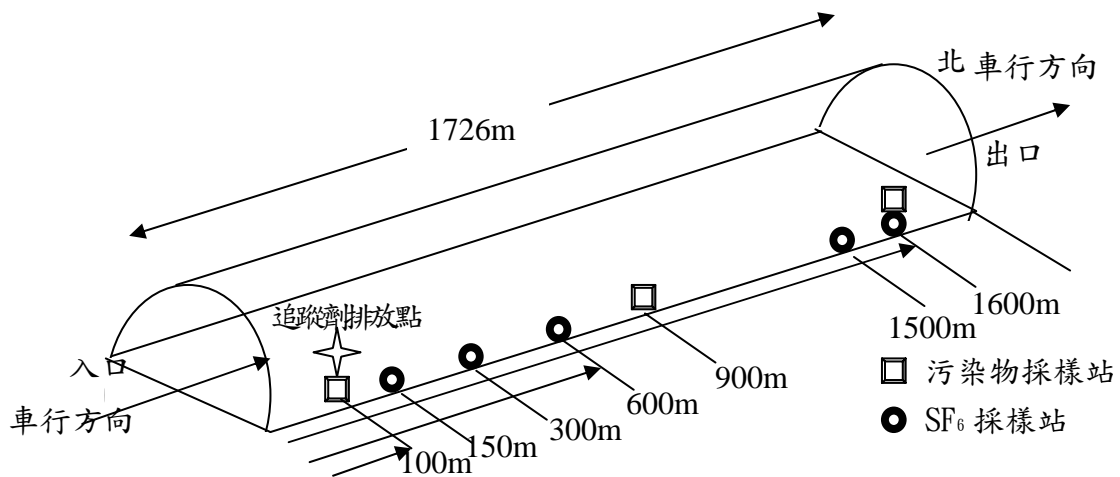


圖1 福德隧道實驗採樣站設置位置示意圖

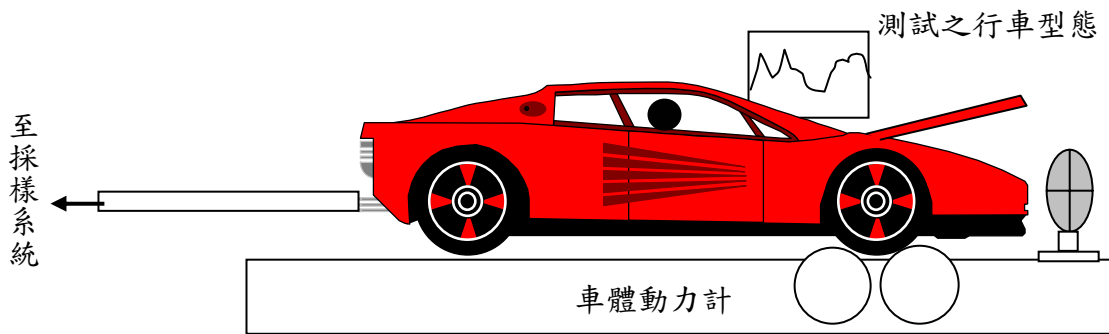


圖2 車體動力計示意圖

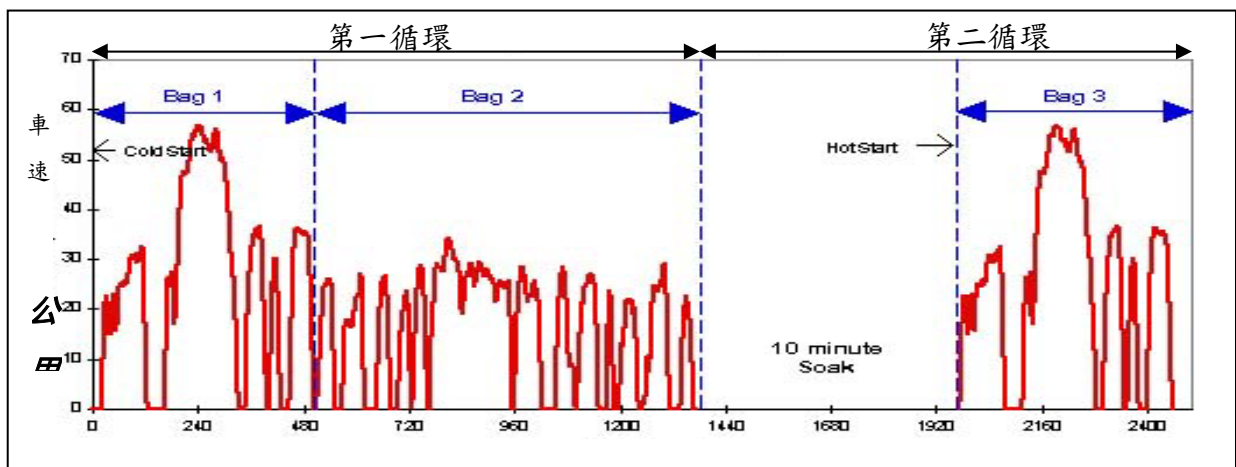


圖3 我國法規規定之測試型態(美國聯邦測試型態 FTP-75)

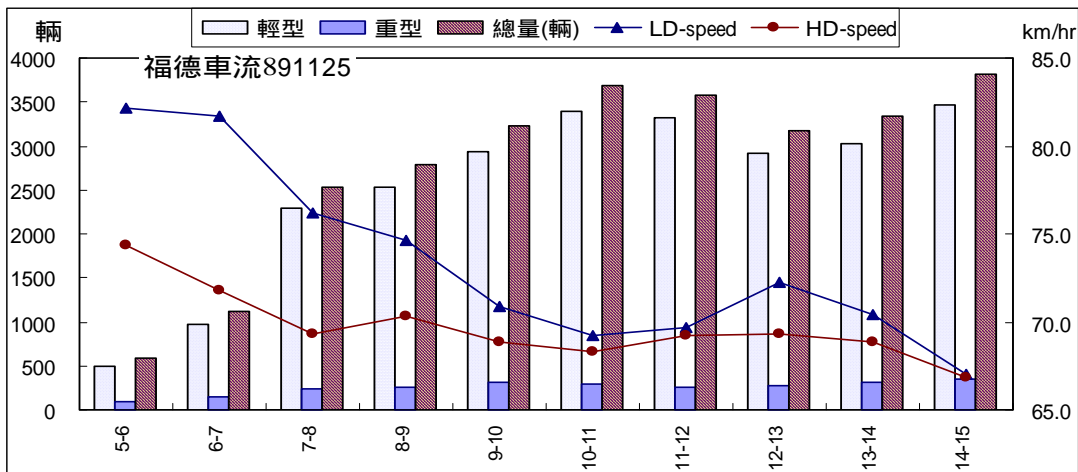


圖4 福德隧道通風量實驗(11/25)之車流量與車速

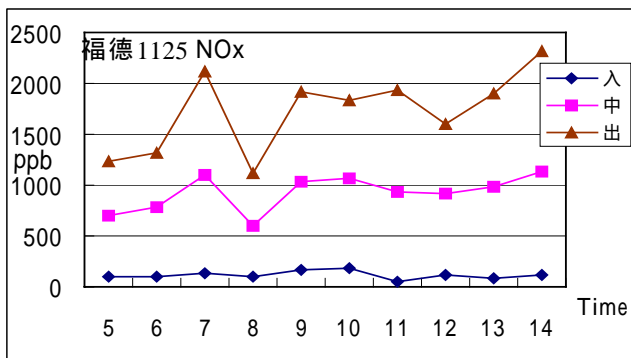


圖5 福德隧道 NOx 濃度

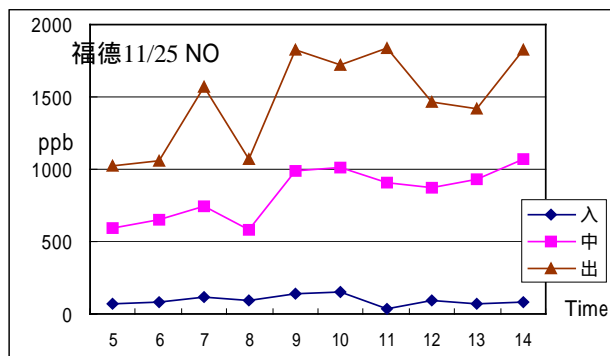


圖6 福德隧道 NO 濃度

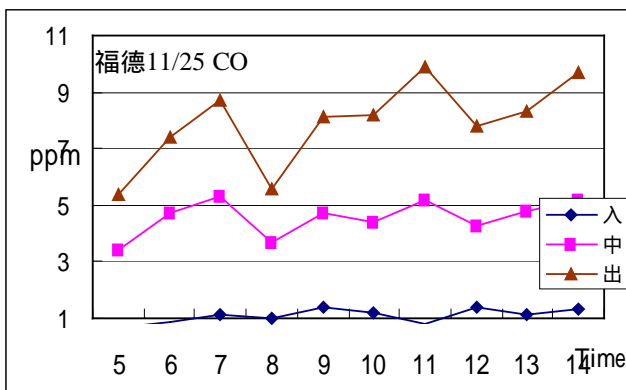


圖7 福德隧道 CO 濃度

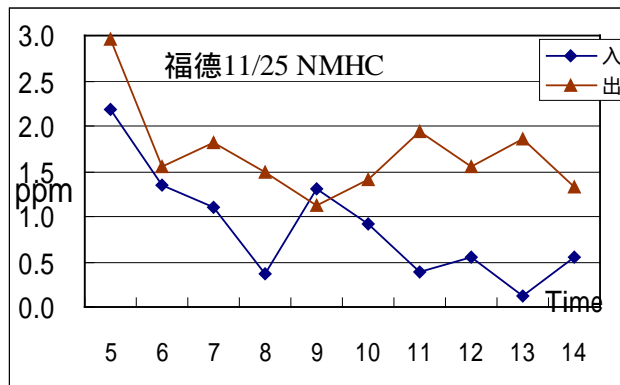


圖8 福德隧道 NMHC 濃度

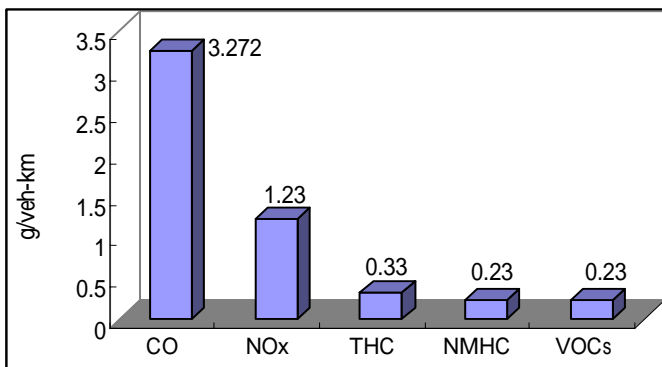


圖9 福德隧道實驗所得排放係數

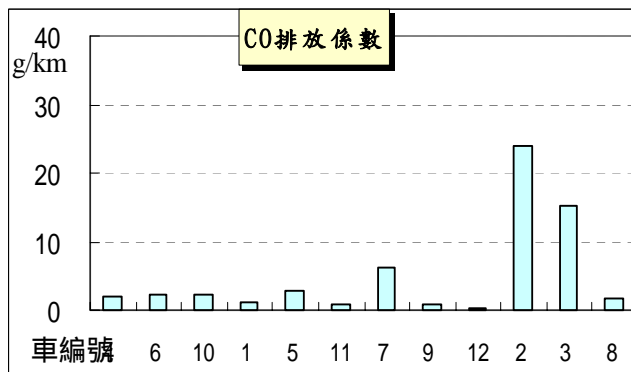


圖10 動力計實驗所得 CO 排放係數

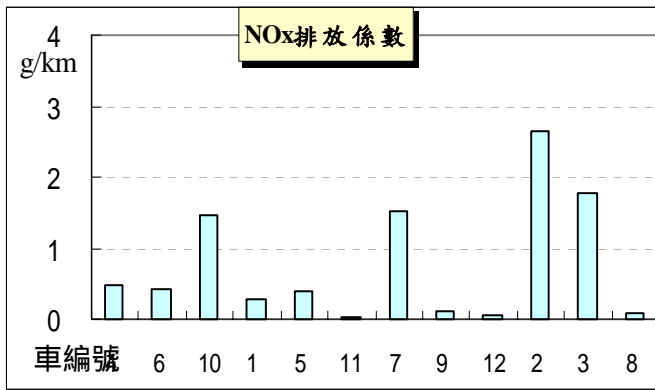


圖11 動力計實驗所得 NOx 排放係數

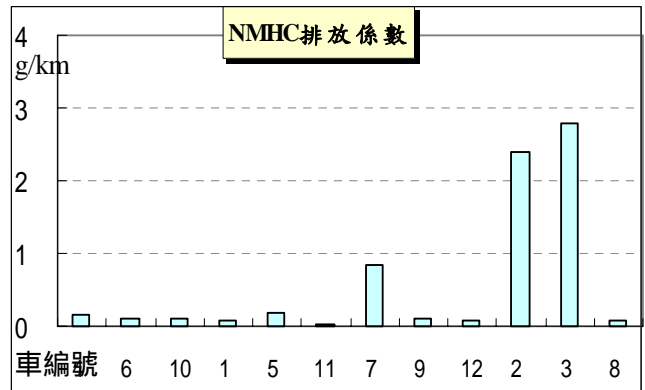


圖12 動力計實驗所得 NMHC 排放係數

表1 動力計測試車輛之資料

編號	車牌	廠牌	出廠年月	車齡(yr)	排氣量 (cc)	備註
1	SW-00**	三陽	1991.12	12	1997	自排, 2W
2	JG-15**	中華	1992.5	11.5	1997	手排, 2W
3	JP-94**	國瑞	1993.6	10.5	1486	手排, 2W
4	JR-24**	國瑞	1993.7	10.5	1762	自排, 2W
5	OM-27**	福特	1996.1	8	1498	自排, 2W
6	CP-28**	三陽	1996.7	7.5	1590	自排, 2W
7	DA-49**	福特	1997.9	6.5	1323	自排, 2W
8	W3-24**	三陽	1999.5	4.5	1972	自排, 4W
9	Z7-44**	國瑞	2000.8	3.5	1497	自排, 2W
10	5H-41**	中華	2001.7	2.5	2350	自排, 2W
11	CC-72**	裕隆	2002.9	1.5	1597	自排, 2W
12	9E-94**	福特	2003.1	1	2967	自排, 4W

表2 福德隧道實驗時之隧道通風速度

時間	風速計(m/s)	SF ₆ (m/s)	風速計/SF ₆
5-6	2.35	2.95	0.80
6-7	3.24	3.97	0.81
7-8	4.14	4.88	0.85
8-9	5.42	6.27	0.87
9-10	4.22	5.71	0.74
10-11	4.17	5.49	0.76
11-12	3.92	4.93	0.80
12-13	3.98	5.08	0.78
13-14	3.87	4.93	0.78
14-15	3.80	5.12	0.74
平均	3.91	4.93	0.79

甲基第三丁基醚(MTBE)之暴露途徑、 替代可行性探討及管理策略研究

巫 健 次

東南技術學院環境與安全衛生工程系兼任副教授暨新竹縣環境保護局局長

摘 要

1995年南加州爆發社區水井水中含 MTBE 事件，起因為附近加油站儲槽洩漏，含 MTBE 的汽油滲透到地下水中。加州州長於1999年3月發佈禁令，自2003年起開始禁用 MTBE。各國則積極研究 MTBE 替代品及研擬 MTBE 之管制策略。MTBE 具有高水溶性，較易造成水體之污染及臭味問題。MTBE 國際癌症研究中心 (IARC) 將其分類為 3，為不確定對人類致癌性。國內公告為第四類毒性化學物質。

目前 MTBE 以乙醇替代之可行性較高。若乙醇替代 MTBE，將使得汽油生產原料成本上漲0.4元/公升。國內若禁用 MTBE，台塑石化每年將損失產值46億元 MTBE、副產品 DINP 的生產以及新建廠損失。台灣石化合成損失則為產值15.5億元 MTBE、副產品 MEK 及 MA 的生產。

推估國內因 MTBE 污染，每年總復原成本約介於3440萬台幣至1.5億元之間。MTBE 的污染防治影響範圍較為單純，故短期內，加強管制油槽的防洩漏措施較禁用 MTBE 成本較低。

目前世界各國對於 MTBE 管理策略，除美國部份州訂出 MTBE 禁限用期程外，其他各國並未對 MTBE 使用提出任何禁限用管制，而是研擬地下儲油槽管理策略，提出防止油品洩漏污染地下水體等措施。對於國內 MTBE 管理策略規劃則建議分三期程進行。短程方案主要加強地下儲油槽管理，防止洩漏污染；中程方案則可提高其他汽油成分品質，以減少 MTBE 使用量；對於逐步淘汰 MTBE 使用乙醇作為替代措施，則建議列於長程方案。

關鍵字：MTBE、辛烷值、含氧量、烷化油、地下儲油槽

壹、國內外 MTBE 運作現況

MTBE(Methyl tert-butyl ether, MTBE)為無色有刺鼻味之易燃揮發性有機物，在含氧添加劑中，由於 MTBE 具有高辛烷值、生產成本低、製程及運輸貯存簡易等特性，加上其能與汽油其他成份均勻混合，故使用最為廣泛，主要作為汽油辛烷值增加劑及氧化劑，提昇辛烷值減少震爆，並提高汽油之燃燒效率，減少車輛 CO 及 HC_x 等廢氣排放。美國於1990年空氣清淨法案中規定新配方汽油(RFG)含氧量在2.0wt%以上，於是 MTBE 成為各國汽油摻配之主要成分之一。

據估計全球 MTBE 每天需求量約為506,000桶相當於每年約二千三百萬公噸，全球各洲 MTBE 需求量。其中美國佔61%，亞洲及西歐各佔12%，加拿大及墨西哥共佔4%，南美及中東各佔4%，東歐則佔3%。其中美國 MTBE 需求量約佔全國汽油總消費量3.7%，大部分摻配於新配方汽油中。而歐洲98.5% MTBE 用於汽油添加劑，僅1.5%使用於製造異丁烯及溶劑等其他用途[1]。

由於環保署空字第0064490號公告[2]，明令規定自2000年1月1日起，停止供應各公民營加油站含鉛汽油，故添加 MTBE 替代四乙基鉛。目前國內 MTBE 製造廠商共三家分別為台灣石化合成公司、台塑石化麥寮廠、台灣塑膠公司。

台灣石化合成公司在1984年建立，主要替中油代工生產 MTBE，即中油提供丁二烯萃餘油原料，供給代工生產 MTBE，再將生產之 MTBE 交由中油公司。目前年產能已擴增為25萬公噸。而中油 MTBE 不足量，則由國外進口，根據國貿局歷年進出口統計資料得知，2000年進口量約21萬公噸[3]，中油2000年 MTBE 主要進口國家為新加坡及沙烏地阿拉伯。1990~2000年中油公司桃園、高雄、大林三煉油廠歷年 MTBE 平均添加比例分別為6.84、8.16、7.68vol%，由於汽油之添加包含進口重組油，而進口重組油成份包含 MTBE，故各煉油廠歷年 MTBE 添加比例並非固定值，92無鉛汽油含量介於3.5vol%，95無鉛汽油含量7.5~9vol%，98無鉛汽油 MTBE 添加量為9~11vol%左右[4]。

2000年台灣塑膠公司年產能15.3萬噸 MTBE 廠及台塑石化公司配合煉油流動床觸媒裂解廠(FCC)的 MTBE 廠(年產能19.7萬噸)相繼完工，主要供應台塑石化公司汽油的摻配及出口。此二廠2000年生產之 MTBE 主要用於汽油摻配、92汽油平均添加1.4vol%MTBE、95汽油添加6.8vol%MTBE、98汽油則添加8~10vol% MTBE，量產多餘之 MTBE 則庫存，庫存量高達20,318KL。2001年(1月~11月19日)MTBE 生產量增加至231,594 KL，且除了用於國內汽油摻配，更將生產一半以上之 MTBE 外銷[5]。

貳、MTBE 暴露途徑及其影響評析

1. 毒理特性

MTBE 國際癌症研究中心 (IARC) 將其分類為3，為不確定對人類致癌性 (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans) [6]。動物實驗指出，MTBE 會使母體在懷孕期間體重不易增加、運動失衡，對胎兒的影響則是存活率降低和體重減少或者發生唇顎裂。國內毒管法有鑑於 MTBE 運作量大，且有污染環境之虞，將之公告為第

四類毒性化學物質。管制濃度標準為20wt %。

根據美國加州大學研究指出，MTBE 對人體有不良的影響，動物實驗確定具有致癌性，故建議加州政府逐年停用 MTBE 做為汽油的添加物。芬蘭曾研究101個男性油罐車駕駛，發現駕駛長時間暴露有明顯的疲累感，更有20%的駕駛有頭痛、噁心、唾液分泌增加及呼吸急促等症狀。

2.MTBE 影響評析

由於 MTBE 具有高水溶性，因此易造成水體之污染及臭味問題。其主要污染源為運輸管路、貯存槽之洩漏、加油站空氣之逸散等。亦可能藉由水上交通工具之汽油引擎造成水體之污染。溶解在水中之 MTBE 可以進入淺層地下水層，在厭氧或好氧狀態下，MTBE 均不易被微生物分解，可能隨著停留時間長而進入深層地下水中。

1996年加州 Santa Monica 市，貯油槽洩漏污染了地下水，由於自來水水源中發現高濃度之 MTBE，造成自來水廠的關閉。另根據美國 MTBE 污染地下水調查結果，濃度超過1000 μ g/l 的地區包括加州251區中有47%，德州153區有63%，馬里蘭州41區有81%，然而美國環保署(USEPA)聯邦飲用水標準僅為20-40 μ g/l。於1993年，石油王國「Shell」公司的報告指出，其在英國的1,100座加油站，其中有三分之一已經有滲漏而污染到土壤和地下水。

2001年國內進行之 MTBE 相關環境污染調查及致癌風險評估等研究。根據成大環醫所李俊璋教授初步調查，國內水庫、簡易自來水及部分地下水資料顯示(樣本數一百多個樣品)，絕大部分檢測結果均低於儀器偵測極限(1.3ppb)，少部份資料高於儀器偵測極限但均合於國外法規標準[7]。

2001年環保署大規模抽樣調查國內加油站地下儲槽，結果發現七成加油站未設置二次阻隔層，並有多家加油站已發生漏油情形。另環保署環檢所自2001年1月至2002年4月陸續接受住在加油站附近民眾委託檢驗地下水，發現檢驗的70件水樣中，38% 遭苯、甲苯、乙基苯、二甲苯、MTBE 等油品中含有之化學物質污染。14% 苯、甲苯濃度超過我國地下水管制標準，而 MTBE 最高含量達766 ppm，超出加州飲用水標準13ppb 甚多[8]。

參、MTBE 替代可行性分析

1.污染防治成本

(1) MTBE 污染防治技術以生物處理法、濾膜法、活性碳吸附為成本有效性之相關技術。

美國曾進行分析、考慮 MTBE 污染濃度、水流速度、加油站位置、污染面積、地下水深度等相關變數，並加入污染監測及行政管理等成本，假設設備使用期為20年、折現率為4%，將污染場址復原到飲用水標準5 μ g/l 的目標，大致評估地下油槽破裂的可能整治經費。結果如表1所示。

表1 MTBE 五種處理技術之處理成本推估[9]

		1	2*	3*	4*	5	6	7*	8*	9*	10*
污染濃度(ug/L)		100	100	100	500	1000	5000	100	500	1000	5000
水流速(gal/min)		1000	500	100	100	100	100	10	10	10	10
氣提法	不含廢氣處理	0.23	0.25	0.40	0.59	0.68	0.88	1.54	2.30	2.65	3.55
	含廢氣處理	0.33	0.41	0.76	0.84	0.88	0.97	2.35	2.68	2.84	3.22
活性炭吸附	有機含量低	0.34	0.38	0.55	0.81	0.98	1.67	1.20	1.81	2.24	3.85
	有機含量高	0.39	0.44	0.61	0.93	1.15	2.05	1.32	2.09	2.62	4.71
高級氧化法	O ₃ /H ₂ O ₂	0.29	0.41	1.17	1.52	1.68	3.48	3.55	4.19	4.19	5.78
	UV/ H ₂ O ₂	0.62	0.65	1.30	1.35	1.40	1.83	3.15	3.20	4.01	4.06
生物處理法		0.13	0.21	0.53	0.53	0.53	0.84	3.40	3.40	3.40	3.96
濾膜法	不含廢氣處理	0.69	0.72	0.78	0.78	1.16	1.16	1.05	1.05	1.46	1.46
	含廢氣處理	1.05	1.12	1.35	1.66	2.25	3.05	1.91	2.29	2.96	3.96

*在此系統 air treatment 可能是不被需要的

由結果得知，若水流速度較高(大於或等於100 gal/min)時，生物處理法是成本最低的技術方法；若水流速度低時，如果不考慮廢氣處理成本，濾膜法為成本最低的技術；如果加上廢氣處理成本，則活性炭吸附是成本最低的技術[9]。

(2)一個典型污染場址復原成本為\$1,339萬元台幣。

研究假設一個特定的地下儲存槽，其 MTBE 污染濃度為200ug/l，並在5ug/l 至10,000 ug/l 的範圍內，利用表1所提供的資訊估計處理成本，得知一個特定的儲存槽，其污水處理成本範圍約在\$140,000美元到\$240,000美元之間，一般值則在\$190,000美元左右。一個典型的污染場址，其整體復原在考量勘察、土壤還原等相關成本後，約須花費\$39萬美元才得以恢復原狀[9]。

(3)國內因 MTBE 污染，每年額外產生的總復原成本約介於3440萬台幣至1.5億元之間。在假設污染情況發生後很快處理，其一般汽油及 MTBE 汽油地下油槽之復原成本如表2。

表 2 地下水區域復原成本[9]

MTBE 汽油 (單位：美元)		一般汽油 (單位：美元)	
範圍	典型	範圍	典型
勘察	\$30,000 – 250,000	\$100,000	\$23,000 – 190,000
土壤還原	\$22,000 – 260,000	\$97,000	\$22,000 – 260,000
污水處理	\$140,000– 240,000	\$190,000	\$55,000 – 180,000
合計	\$190,00 – 750,000	\$390,000	\$100,000 –630,000
年成本	\$95,000 – 150,000	\$130,000	\$50,000 – 125,000

美國的經驗顯示每年油槽的不合格率比例範圍為0.5% – 2%，根據此一數字，以國內目前2055個加油站的數量計算，則台灣每年約有10 – 40個左右的加油站會檢查出受到 MTBE 的污染，總復原成本約為390萬美元 – 1560萬美元。若扣除掉一般汽油污染的整治成本，實際上，MTBE 污染額外產生的復原成本約為110萬美元 – 440萬美元，約新台幣3440萬 – 1.5億元台幣左右。

2. 替代方案成本

(1) 乙醇為替代 MTBE 之最可能物質。

較可能替代 MTBE 的化學物質，包括乙醇、甲醇、ETBE、TAME、DIPE 等，以技術及經濟可行性的觀點，目前真正可用以取代 MTBE 做為汽油添加劑的選擇並不多，由環境健康影響、替代可行性及成本效益的觀點出發，探討 MTBE 的替代品。

乙醇是較為可能的考量[10、11、12]。

(2) 以乙醇替代 MTBE，汽油的生產成本每公升將增加台幣0.4元左右。

原料成本差異對汽油生產成本的增加必須視 MTBE 及乙醇的原料價格、添加於汽油的比例而定。而乙醇替代比例須考慮到密度、汽油之辛烷值及法規中之含氧量最大值2wt%的要求。MTBE 辛烷值為110，乙醇為115，故添加比例以此換算，若使用98無鉛汽油，8vol%的 MTBE 可添加7.7 vol%的乙醇替代，而95無鉛汽油6vol%的 MTBE 則可添加5.7vol%的乙醇取代。另外在法規中含氧最大量2wt%的要求下，乙醇最多僅能添加5.7vol%，故在以上的考量下，此處所模擬計算之汽油原料成本差異是以95無鉛汽油產品為主，即以5.7vol%的乙醇取代6vol%的 MTBE。而價格方面，此處之 MTBE 進口價格為 Platts 的平均價格，382美元 / 噸，而乙醇國際價格則為588美元 / 噸[4、13]。

原料成本差異 (MTBE v.s. 乙醇)
 = 乙醇價格 / 密度 × 汽油配方使用比例
 - MTBE 價格 / 密度 × 汽油配方使用比例-----(1)
 = (588美元/噸) / (0.79) × (5.7%)
 - (382美元/噸) / (0.74) (6%)
 = 0.042 - 0.031 = 0.011 (美元 / 公升)
 = 1.47 - 1.08 = 0.4 (台幣元 / 公升) (1 美元 = 35元台幣)

式(1)得知在原料價格及汽油配方比例不變的假設下，以35為台幣/美元的兌換匯率，乙醇替代 MTBE，汽油的生產成本每公升約增加台幣0.4元。

(3) 乙醇替代 MTBE，於汽油其他部份的配方不變、汽油每公升的性能維持不變之條件下，由表3得知，汽油生產成本可能由8.28元/公升上升至8.68元/公升（增加4%），油價由18.60元/公升上升至19元/公升（增加2%）[4、14]。

表3 無鉛汽油零售價分析[4、14]

項目	中油產品 元 / 公升	模擬案例
零售價	18.60	19 (2%)
加油站利潤	2.56	
稅捐		
能源基金	0.2	
空氣污染捐	0.3	
貨物稅	6.5	
營業稅	0.76	
稅捐小計	7.76	
成本及利潤	8.28	8.68 (5%)

(4) 由於乙醇易揮發且於汽油中易分層等現象，故乙醇替代 MTBE 所增加之成本，除原料成本外，還須視生產製程變動的程度、時間、汽油摻配地點而定及政府對油品

管制的檢驗是否變更而定。

3.經濟影響衝擊部份：

(1)油價上升，可能降低各產業之經濟成長率，提高各產業產品之價格。

據梁啟源之預估[15]，若油價較原預期上升5.4%，各業之經濟成長率減少幅度最大為水電燃氣業（-0.75%），其次為運輸倉儲及通訊業（-0.65%），礦業（-0.17%）。而各產業產品之價格上升幅度較大之前三者分別為水電燃氣業（1.48%）、運輸倉儲及通訊業（0.71%）、以及礦業（0.38%）。

(2)MTBE 禁用，將造成國際 MTBE 市場之產能過剩情形，且國內 MTBE 生產業者損失不低。

以台塑石化及台灣塑膠之年產能35萬噸估計（15.3萬噸+19.7萬噸），假設全部生產，產值約46億元/年（ $35 \times 382 \times 34.35 = 46$ ）；故禁用 MTBE 將造成台塑公司一年46億產值損失外，還將損失 MTBE 副產品 DINP 的生產及新建廠的設備損失。

台灣石化合成公司的主要產品即為 MTBE，佔其營業比例的45%左右，如果政府禁用 MTBE，則台灣石化合成公司包括所損失產值約為15.5億台幣 MTBE、生產 MTBE 的工廠、MEK、MA、2P/NMP、FAC 等相關性產品及造成 MEK 的下游產品，PU 樹脂、PU 合成皮等產品，年產值約有185億元的市場引起波動[16]。

以 MTBE 禁用所造成之直接間接成本和 MTBE 之復原成本相比。MTBE 的污染防治影響範圍較為單純，費用也較低，成本的負擔較分散。MTBE 若採取禁用手段，則可預期地對國內主要生產廠商形成重大衝擊，損失明顯。短期內，加強管制油槽防洩漏措施較禁用 MTBE 成本較低。

肆、國外 MTBE 之管理策略

1.美國

美國為符合清淨燃燒汽油法案，1990年將 MTBE 加入汽油以提供氧氣，減少一氧化碳之排放。1995年南加州爆發社區水井水中含 MTBE 事件，因附近加油站的儲槽洩漏，加州政府依據洩漏報告，認為 MTBE 有害公共健康，訂定禁用 MTBE 法案，經過聽證和研究後，加州州長於1999年3月發佈禁令，自2003年起禁用 MTBE 之石化製品。

美國紐約州州長於2000年5月24日簽署禁用 MTBE 之議案，將於2004年起禁止該類汽油添加劑的使用、販售和進口，違者最高可處一萬美元之罰款。目前亞歷桑那、康乃迪克和紐澤西等州正進行禁令法案之草擬工作，其他各州管制期程如表4所示[17、18]。

表4 美國各州對 MTBE 禁限用管制期程[17、18]

州別	公佈日	生效日	法律規定
亞歷桑那州	2000.4	加州禁後180天內	逐步淘汰 MTBE 於加州禁用後180天內生效。
加利福尼亞州	1999	2003.01.01	逐步淘汰完全禁用 MTBE。
科羅拉多州	2000.5	2002.04.30	逐步淘汰禁用 MTBE。
康乃迪克州	2000.6	2003.10.01	逐步淘汰完全禁用 MTBE。
愛荷華州	1999.5	2001.01.01	禁止販售 MTBE 含量2vol%以上之汽油。
緬因州	2000.4	2003.01.01	逐步淘汰禁用 MTBE。
密西根州	2000.9	2003.06.01	逐步淘汰完全禁用 MTBE。
堪薩斯州	2001.4	2003.07.01	MTBE 含量不超過0.5vol%。
明尼蘇達州	2000.4	2000.07 2005.07	禁止販賣超過0.33vol% MTBE 汽油 全面禁止使用。
內布拉斯加州	2000.4	-	禁止販賣超過1vol% MTBE 汽油
紐約州	2000.5	2004.01.01	禁止販賣含 MTBE 汽油
南達科塔州	2000.2	-	禁止販賣含 MTBE 汽油
華盛頓州	2001.5	2003.12.31	汽油MTBE 最大含量為0.6vol%。

2000年7月，美參議員提出禁用汽油添加劑 MTBE 議案和鼓勵“清潔替代燃料”的修正案。該議案中要求美國環保署於4年內淘汰 MTBE，且提供2億美元進行 MTBE 的清理工作。此外，該議案要求允許各州可免除現行聯邦新配方汽油(RFG)中至少含有2wt%氧化劑的需求。美國聯邦 EPA 經兩年的評估於2001年6月12日正式否決加州的請求，再度重申新配方汽油需遵守含氧量之規定(汽油使用至少需添加氧2wt%規定)。由於地下汽油儲槽之洩漏，導致美國地下飲用水中越來越多發現 MTBE，根據美國調查，使用新配方汽油地區有20%的地下水檢測到 MTBE，美國環保署在1998年12月期限內關閉了全國一百二十五萬座舊式地下儲槽，規定所有加油站換裝新式的雙壁儲槽。

2. 歐盟法令

歐委會於2000年3月23日表示，雖然美國已宣佈禁止使用 MTBE 作為汽油的添加劑，但歐盟無意禁止 MTBE 的使用。在對 MTBE 進行許多相關風險評估後，初步結論為 MTBE 對人體健康無立即風險性，但對地下水污染具風險性，並需考量生產/運作工作人員及消費者暴露問題，故目前歐洲各國並未對任何 MTBE 的使用作禁限用管制，而是針對油槽貯存設施進行管理，包含地下貯槽、管線、洩漏檢測及監測等措施作規定，各國管理規定如表5所示[19]。

表 5 歐洲各國油槽貯存設施管理規定[19]

項 目	歐洲國家法令	環境標準
U S T 地 下 貯 槽	雙層槽或其他雙層圍堵 (新設及既存)	丹麥、比利時南部(敏感地區2003年以前)及布魯塞爾、盧森堡、荷蘭
	新設貯槽	芬蘭(只有地下水區域)、義大利、法國、
	雙層槽或其他雙層圍堵	比利時南部、丹麥
	腐蝕防護	芬蘭、比利時、義大利、丹麥、奧地利、瑞典
	全面防護 / 警報	芬蘭、丹麥、義大利、法國、盧森堡、荷蘭、瑞典、比利時南部及布魯塞爾
管 線	雙層包覆	盧森堡(除了抽氣管)
	新安裝管線需雙層包覆	丹麥、法國(除了抽氣管)、比利時南部及布魯塞爾
	洩漏檢測	歐洲國家法令
檢 測 規 定	裝設完成後	芬蘭、比利時及布魯塞爾
	定期檢測	比利時南部及魯塞爾、丹麥、義大利、法國、奧地利、盧森堡、荷蘭
	檢測者	澳洲、盧森堡、葡萄牙、比利時南部及布魯塞爾、法國、義大利
	稽查員	比利時
	禁止壓力系統	芬蘭
	溢出防護	丹麥
	洩漏反應	芬蘭、丹麥、比利時南部
	監 測	芬蘭、比利時
地 下 水	服務區需國家備許	比利時南部及魯塞爾
	地下貯槽系統記錄	英國、芬蘭、丹麥

3. 中國大陸法令

中國大陸為解決國家糧食過剩、環境惡化、石油短缺等問題，遂於2000年3月8日正式投料試車生產第一批變性燃料乙醇，由中國國家計委會制定「變性燃料乙醇」及「車用乙醇汽油」國家標準。並於2001年4月15日發佈實施此二項標準。為達成推廣車用乙醇汽油之目標，2001年7月1日起先在河南鄭州、洛陽及南陽三城市選定加油站試點推廣。再分階段推廣至全國全面施行。並計畫將石油公司現有油庫設施改建70餘座車用乙醇汽油調配中心，將1萬多座加油站逐步更換成車用乙醇汽油加油站[20]。

4. 亞洲其他國家對 MTBE 管制策略

亞洲部分國家於該國汽油規範中訂定汽油含氧量規定，以南韓和泰國為例，規定汽油中含氧量分別為0.75wt%(min)及5.5 vol%(min)，日本僅規定汽油中 MTBE 最大添加量為7vol%(max)，但未規定含氧添加劑之使用，故在日本 MTBE 的使用量並不多，而新加坡在汽油規範中並無含氧量規定，但 MTBE 仍部分混合添加於汽油中以提昇辛烷值，其總使用量亦不多，而我國則規定汽油含氧量之成分標準應為2.0wt%(max)。自美國加州發現因 MTBE 洩漏造成地下水污染後，MTBE 存廢之爭議在各國引起相當廣泛的討論，目前僅美國部分州考慮逐步淘汰 MTBE 使用(但仍未定案)，其他歐盟、亞洲國家亦都在評估中[1、21]。

五、國內 MTBE 策略規劃建議

1. 短程管理策略規劃 - <地下儲油槽管理策略，防止洩漏，減少逸散>

依據水污法公告「地下儲油槽儲存之汽油、柴油為中央主管機關公告指定之物質及應設置之防止污染地下水體設施暨監測設備」此法規目前僅針對新設加油站及已發生洩漏或更新改建之既有加油站作管制，規定其地下儲油槽系統應設置防止污染地下水體之設施及監測設備等。並未能完整掌握既有加油站地下油槽是否洩漏之狀況。

國內自來水普遍率高，地下水使用率較美國低，因此 MTBE 地下水污染造成影響較為有限，但油槽破裂時同時也會造成苯、甲苯等致癌性化學物質洩漏污染土壤及地下水。故建議如下：

- (1)對既設加油站之地下儲油槽進行全面管理，以防止儲油槽洩漏。
- (2)主管機關應加強老舊加油站之地下儲油槽定期檢測其油槽之密閉性和周圍土壤及地下水受污染情形。
- (3)國內可參考國外標準，訂定土壤及地下水 MTBE 污染管制濃度標準，以作為監測及整治參考依據。
- (4)防止揮發逸散：全省2062座加油站，已有1465座裝設油氣回收設備，佔71%，除持續推動加油站裝設回收設備，更應積極宣導禁止加油站人工手動加滿油，以免破壞油氣回收功效。

2. 中程管理策略規劃 - <提高其他汽油成分品質(辛烷值)，以減少 MTBE 使用量>

烷化油及異辛烷具高辛烷值及低蒸氣壓等特點，且烷化油不含硫份、芳香烴(aromatics)及烯烴(olefins)等成分，可提高汽油品質、辛烷值。但由於烷化油不具含氧量，故僅建議提高汽油中烷化油及異辛烷成分，以減少 MTBE 使用量。

3. 長程管理策略規劃 - <逐步淘汰 MTBE 使用乙醇作為替代措施>

由於乙醇具有改善空氣品質、節約石油資源，對人體健康較無危害性等優點，是目前較佳之含氧添加劑 MTBE 替代品，但因乙醇目前價格較高、輸儲設備需作變更，除此之外，以現階段而言國內有關乙醇之來源、價格及使用後社會、經濟、環境等各方面問題均宜再進一步評估，故建議將乙醇替代 MTBE 之方案列為長程管理計畫。

參考文獻

1. DeWitt & Company Inc. (1998) .
2. 行政院環境保護署, “ 公告地下儲油槽儲存之汽油、柴油為中央主管機關公告指定之物質及應設置之防止污染地下水體設施暨監測設備 ”, 環署水字第41628號 (1997.08.08) 。
3. 國貿局進出口統計資料 (2001.08) 。
4. 中國石油股份有限公司提供 (2001) 。
5. 台塑石化股份有限公司提供 (2001) 。
6. IARC Monographs, Vol. 73 (1999) 。
7. 李俊璋, “ 含氧汽油添加劑製造及使用工廠作業環境空氣中 MTBE 暴露風險評估之研究(I) ”, 行政院環境保護署 (1999) 。
8. 薛荷玉, “ 油管漏油禍及地下水民生報 ”, 第 A4版 (2002.5.29) 。
9. Keller, A. etal, “Health & Environmental Assessment of MTBE Volume I”, Report to the Governor and Legislature of the State of California as Sponsored by sb 521 (1998) 。
10. 蔡信行, “ 認識汽油添加劑 MTBE ”, 石油通訊596期。
11. “ 燃料酒精專家白麥克先生演講專輯 ” 美國穀物協會, U.S. Grains Council (2000.09) 。
12. 康城工程顧問股份有限公司, “ 甲基第三丁基醚(MTBE)替代可行性之研究 ”, 期末報告, 經濟部能源委員會 (2001) 。
13. 新加坡 platts, 網站資料庫。
14. 柳靜純, “ 油品市場的戰國時代將一觸即發 ”, www.fhs.com.tw。
15. 梁啟源, “ 油、電價格變動對台灣未來經濟成長之影響 ” (1985-2000) 。
16. 台灣石化合成股份有限公司提供 (2001) 。
17. International Energy Agency/OECD (2001) 。
18. 美國穀物協會提供 (2001) 。
19. MTBE Risk reduction Strategy (2001.05) 。
20. 天冠集團網站www.tianguan.com.cn。
21. DeWitt & Company Inc. (1999、2000) 。

應用寡核酸探針偵測生物分解 PAH/ 界面活性劑之微生物族群結構

Bacterial Community Dynamics of PAH/Surfactant Biodegradation Detected by Oligonucleotide Probes

張怡塘¹ 李俊福² 康閔洋³ 王灝頤³ 葉榮美³ 詹惠蘋³
 乜怡萱³ 顏秀芳³ 鄭雅文³ 施孟岑³ 陳清³

Chang, Yi-Tang¹ Lee, Jiunn-Fwu² Kang, Hung Yang³ Wang, Hao-Yi³ Yen, Jung-Mei³ Chan, Hui-Ping³
 Nieh, Yi-Hsuan³ Yan, Hsiu-Fang³ Cheng, Ya-Wen³ Shih, Meng-Tseng³ Chen, Ching³

¹東南技術學院環境與安全衛生工程系專任講師

²國立中央大學環境工程研究所教授

³東南技術學院環境與安全衛生工程系學生

¹ Tung Nan Institute of Technology, lecturer

² National Central University, professor

³ Tung Nan Institute of Technology, student

摘 要

多環芳香族化合物(PAH)為土壤與地下水中經常發現之有機污染物，環境工程師經常結合生物復育與界面活性劑淋洗技術去除 PAH，但其微生物可能受添加之界面活性劑影響，促進或抑制 PAH 之生物分解，進而造成微生物族群結構的改變。本研究以螢光原位雜交技術(FISH)偵測含界面活性劑下生物分解 PAH 之微生物族群結構。研究結果顯示生物分解含 Triton X-100或 Brij 35對生物分解菲(phenanthrene)分別為促進與抑制，並與環境中所含界面活性劑的濃度與微胞(micelle)無關。生物分解菲至之過程(濃度 $C/C_0=0.05$)之族群分佈包括62.90% 細菌域(*Bacteria*)與34.59% 古細菌域(*Archaea*)；其中 *Bacteria* 包括環境中常見的5類微生物，其所佔比例分別為：14.86% α -*Proteobacteria*、10.84% β -*Proteobacteria*、12.17% γ -*Proteobacteria*、13.60% Gram positive bacteria with High G+C DNA content (HGC)與11.14% Gram positive bacteria with Low G+C DNA content (LGC)。添加界面活性劑並不會造成這些族群消失，但其比例會發生增減。若以特定種探針(species-specific probe)分析其族群，可發現：(1) α -*Proteobacteria* 之 *Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*；(2) β -*Proteobacteria* 之 *Burkholderia* sp 與 *Acidovorax* sp.；(3) γ -*Proteobacteria* 之 *Pseudomonas aeruginosa* 等族群扮演著重要角色，添加界面活性劑下則以假單胞菌屬變動較為顯著，本研究建議選擇包括 Pdi 與 PseaeA 寡核酸探針可選擇用來偵測生物復育 PAH/界面活性劑過程之異動。

關鍵字：多環芳香族化合物、界面活性劑淋洗技術、螢光原位雜交技術

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are one of common organic pollutants found in soil and groundwater. Environmental engineers is able to remove PAH effectively by integrating bioremediation with surfactant flushing technology. The process would increase or decrease PAH biodegradation according to previous researches. The microorganism community might be changed when surfactant is added. This study is seeking for the bacterial community dynamics by fluorescence in-situ hybridization if PAH biodegradation containing surfactant with monomer or micelle. The experimental results indicated that the rate of phenanthrene biodegrading with Triton X-100 was increased but that with Brij 35 was decreased. The structure of surfactant in aqueous, monomer or micelle seemingly was no related to phenanthrene biodegradation. Bacterial community composed of 62.90% *Bacteria* and 34.59% *Archaea* since the ratio of remaining phenanthrene concentration to initial concentration (C/C_0) was 0.05. Five phylum and subclass probes commonly found in environment were detected during biodegradation, including 14.86% α -*Proteobacteria*, 10.84% β -*Proteobacteria*, 12.17% γ -*Proteobacteria*, 13.60% Gram positive bacteria with High G+C DNA content (HGC) and 11.14% Gram positive bacteria with Low G+C DNA content (LGC). The percentage of bacterial community was increasing or decreasing if surfactant additive was applied, instead of all disappearing. Further to detecting species-specific probe, this study found following important species, including (1) *Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*, belonged to α -*Proteobacteria*; (2) *Burkholderia* sp. and *Acidovorax* sp., belonged to β -*Proteobacteria*; (3) *Pseudomonas aeruginosa*, belonged to γ -*Proteobacteria*. Probe Pdi and PseaeA were recommended to monitor the bacterial community during PAH/Surfactant biodegradation.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, surfactant flushing technology, fluorescence in-situ hybridization

壹、前言

生物分解與界面活性劑的淋洗技術經常同時應用於 PAH 污染之土壤與地下水現地復育(in-situ bioremediation)，但其過程經常忽略所添加之界面活性劑可能為系統中 PAH 分解菌的另一碳源，造成微生物族群結構的改變，影響 PAH 的生物分解，使生物分解速率降低(或增加)，影響整治成效。分子生物技術中之螢光原位雜交技術(Fluorescence in situ hybridization，本文簡稱 FISH)原理是應用核糖體核糖核酸(ribosomal RNA, rRNA)於基因演化過程序列穩定，不易受微生物培養、分離等影響干擾而進行突變(即演化速度慢)，具高度保守性(high conservation)等優點。FISH 能快速同時鑑定多個未知菌種(菌群)且毋需通過培養的步驟，可用來偵測短時間微生物菌群變化，並同時觀察微生物形態，已廣泛用於探討環境微生物於生態環境或生物處理流程之菌群結構與多樣性，或追蹤某特定族群(菌株)的變遷。

FISH 步驟是將微生物樣本經特殊處理後使細胞膜溶破，固定細胞核在載玻片上，加上螢光探針。此探針在適宜的雜交條件下進入細胞內，與微生物細胞內特定的 rRNA

雜合。探針雜交後留在該細胞體內帶有螢光，置於螢光顯微鏡配合照相設備可清楚觀察特定菌群的分佈情形，再依其螢光的多寡判定該微生物族群數量的多寡。本研究以螢光原位雜交技術(FISH)偵測含界面活性劑下生物分解 PAH 之微生物族群結構，用以探討生物分解 PAH 過程若添加界面活性劑是否影響微生物族群變化。本研究目標為：(1)不同種類與濃度(結構)之界面活性劑對 PAH 生物分解之影響；(2)PAH 分解過程之微生物族群結構異動。研究結果將有助於提供應用現地復育技術時，如何選擇添加於土壤與地下水之微生物菌種及界面活性劑。

貳、研究流程與方法

一、實驗設計與流程

篩選受機油污染土壤中之微生物(培養過程請見李俊福等，2002a)，並以 PAH 為基質長期馴養所得之 PAH 分解菌進行批次實驗，選擇文獻中常用於淋洗系統之非離子性界面活性劑，包括含有苯環結構之 Triton X-100 (化學式為 $C_8H_{17}C_6H_4(CH_2CH_2O)_{9.5}OH$ ，本文簡稱 TX-100)與不含苯環結構之 Brij 35 (化學式為 $C_{12}H_{25}(OCH_2CH_2)_{23}OH$)做為實驗組，設計初始基質濃度為單體結構 (0.5倍臨界微胞濃度，Critical Micelle Concentration，本文簡稱 CMC) 與微胞結構(1.5倍 CMC)；對照組為3環結構之 PAH：菲 (Phenanthrene，本文簡稱 PHE)。

實驗流程是以鋁箔紙包覆(避免 PHE 進行光解)於特殊設計採樣口之反應瓶(血清瓶)，分別裝入適量含有不同種類與濃度之界面活性劑與 PAH 基質(見表1)，以高溫高壓滅菌釜滅菌(121℃，1.1atm，20min)，俟冷卻後依比例(大約菌液：基質=1:20)加入 Chemostat 系統菌液使初始培養液之 OD_{590} 為0.02，接著緊蓋含 PTFE 材質內襯瓶蓋，並於瓶蓋外纏繞 PTFE 材質止洩帶進行培養，培養過程以水平振盪器於室溫(平均值為 28℃)進行批次振盪(125 rpm)。為必免培養過程 PAH 揮發，反應瓶並不通氣，改以實驗前先計算反應瓶頂空(head space)是否可提供 PAH 生物分解足夠的氧氣量以配製適量體積基質。本實驗並設計兩組對照組以確認：(1)血清瓶保持基質無洩漏；(2)PAHs 分解菌於未加碳源 MSB 培養基的生長受到抑制。

表1 本實驗之所含基質成份(張怡塘等，2004)

Substrate	PAH		Surfactant	
	Compounds	Concentration (mg/L)	Compounds	Concentration (mg/L)
PHE-TX-100-0.5 CMC -MSB	PHE	1.29	TX-100	65
PHE-TX-100-1.5 CMC -MSB				195
PHE-Brij 35-0.5 CMC -MSB			Brij 35	65
PHE-Brij 35-1.5 CMC -MSB				195
PHE-MSB (control 1)	-	-	-	0
MSB (control 2) (註1)	-	0	-	0

註1：Minimal salts basal medium (李俊福等，2002a)

二、濃度分析

依採樣時間定時用注射針筒抽取培養液並用過濾頭(PTFE 材質，0.2 μm)過濾培養

液後，經樣品前處理方法-液相液相萃取後以 HPLC/UV 分析 PHE 與 Triton X-100的濃度，UV detector 分析波長設定為275nm，分析條件為固定相為 EC250/4.6 Nucleosil 100-5 (C18)，移動相 ACN(氘甲烷，HPLC grade)：ddH₂O(二次蒸餾去離子水) = 58%：42%，流速=1.0 mL/min，樣本注射量=20 μL。樣本之 Brij 35則經稀釋後以總有機碳分析儀(TOC)進行分析。

三、螢光原位雜交技術(FISH)

FISH 實驗方法依序為樣本固定、雜交、清洗與顯像(張怡塘等，2003)。本實驗使用寡核酸探針(oligonucleotide probes)包括2種 Domain probes、5種 Class probes 以及5種 Species probes(詳見表2)。本實驗選用之螢光染劑為 CY3TM，接於探針之5'，並配合 DAPI(4',6-diamidino-2-phenylindole)染色計算玻片上之總菌數。顯像則使用直落式螢光顯微鏡(Zess[®] Axioskop 2，搭配為高壓汞燈(HBO 100W)配合低溫低照度數位攝影機(Cool CCD from Photometrics[®] Quantix)觀察樣品螢光強度後(本實驗使用之螢光濾片見表3)，並以影像軟體(RS Image Version 1.7.3, 2000-2001, Ropen Scientific, Inc., U.S.A.)進行拍照，分別計數呈現螢光反應之細菌個數，再除以 DAPI 總菌數即為樣品中該菌群之百分比。

表3 本研究使用之螢光顯微鏡螢光濾片

Target	Zess [®] 濾片編號	螢光波長(nm)			螢光顏色
		BP	FT	LP	
DAPI	02	365	395	397	藍光
CY3 TM	15	546	580	590	紅光

參、結果與討論

一、FISH 實驗條件建立

實驗初期曾先行測試分析條件以求得最佳的實驗結果，包括樣本稀釋比(以無菌稀釋水進行稀釋，測試條件為 10^0 - 10^{-4} ，本實驗選用 10^{-1} - 10^{-2})、過濾體積量(測試條件5-20mL，本實驗選用8-15 mL)、雜交液之 SDS 濃度(測試條件0.01%-0.5%，本實驗選用0.05%)等。

二、PAH/界面活性劑之生物降解

實驗結果顯示：無論是以擬一階方程式或 Monod equation 模擬 PHE/界面活性劑生物降解過程，比較其反應速率(或比基質速率)大小均為 PHE-TX-100-0.5 CMC-MSB > PHE-TX-100-1.5CMC-MSB > PHE-MSB > PHE-Brij 35-0.5CMC-MSB > PHE-Brij 35-1.5CMC-MSB (表4)。即添加 TX-100促進 PHE 生物分解；但添加 Brij 35則發生抑制現象(圖一(a))。由先前研究發現分子內聚能密度 (cohesive energy density, CED)可用來解釋此關係(李俊福等，2002b；李俊福等，2004)。界面活性劑結構也影響其分解速率，無論基質中存在何種 PAH，界面活性劑之反應速率(或比基質利用率)均為 PHE-Surfactant 0.5CMC (單體結構) > PAH-Surfactant 1.5CMC (微胞結構)，即 PHE-Brij 35 0.5CMC-MSB > PHE-Brij 35 1.5CMC-MSB；PHE-TX100 0.5CMC-MSB > PHE-TX-100 1.5CMC-MSB(表5)，其原因應為微胞結構較單體複雜，其相互聚集所形成的分子間作用力明顯較多，提高生物分解的困難度(圖一(b))。

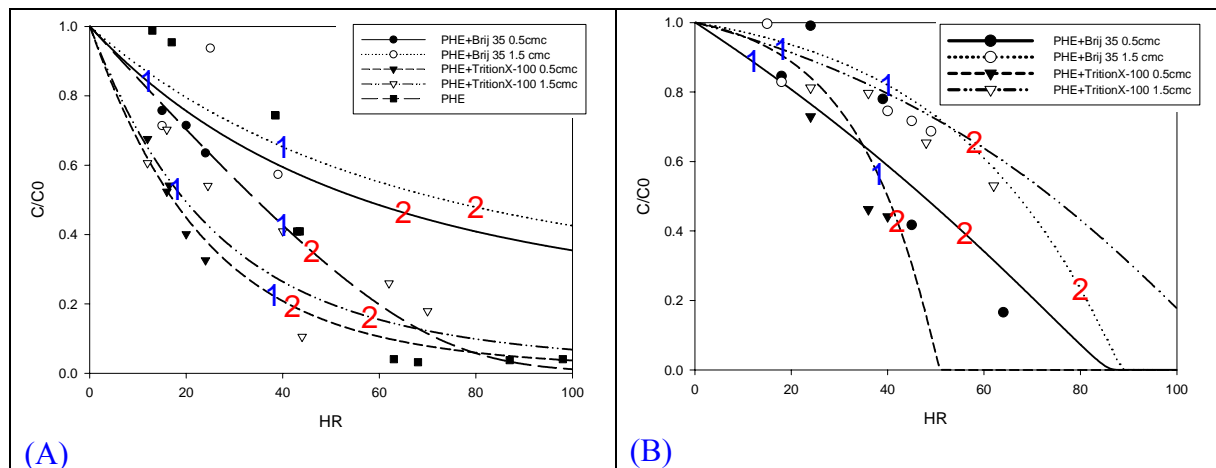
表 4 生物降解 PHE 之動力參數

PHE/Surfactant	擬一階方程式		Monod equation		
	K (註1)	R ² (註2)	μ (註3)	Ks(註4)	rss(註5)
PHE-MSB (Control 1)	0.3312	0.8110	0.190	0.001	0.91394
PHE-TX-100 0.5CMC-MSB	0.4344	0.9481	0.441	22.05	1E-06
PHE-TX-100 1.5CMC-MSB	0.4176	0.9908	0.360	21.05	0.00112
PHE-Brij-35 0.5CMC-MSB	0.2832	0.7459	0.049	0.7001	0
PHE-Brij-35 1.5CMC-MSB	0.2496	0.8923	0.012	0.3001	1.2E-05

註1：反應速率(day⁻¹);註2：最小平方方法相關係數;註3：比基質速率(day⁻¹);註4：註5：最小平方方法之殘差。

表 5 生物降解 Surfactant 之動力參數

PHE/Surfactant	擬一階方程式		Monod equation
	K	R ²	μ
PHE-TX-100 0.5CMC-MSB	0.3024	0.8712	0.410
PHE-TX-100 1.5CMC-MSB	0.1512	0.9996	0.151
PHE-Brij-35 0.5CMC-MSB	0.2736	0.9973	0.251
PHE-Brij-35 1.5CMC-MSB	0.2472	0.9177	0.121



圖一 PHE 於含不同界面活性劑之生物分解：(A) PHE 降解曲線；(B) 界面活性劑降解曲線。圖中1代表第1點採樣；2代表第2點採樣，採樣點 PHE 與界面活性劑濃度比例(C/C₀)如下表。

C/C ₀	PHE-MSB		PHE-TX-100 0.5CMC-MSB		PHE-TX-100 1.5CMC-MSB		PHE-Brij-35 0.5CMC-MSB		PHE-Brij-35 1.5CMC-MSB	
Sampling Point	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Time	12	42	40	65	40	80	18	46	38	58
PHE	0.70	0.04	0.28	0.22	0.78	0	0.89	0.18	0.90	0.35
Surfactant	-	-	0.27	0.22	0.9	0.65	0.98	0.29	0.7	0.21

三、微生物族群結構分析

(一) Domain probes

生物分解 PHE 之過程($C/C_0=0.05$)之族群分佈包括62.90%細菌域(*Bacteria*)與34.59%古細菌域(*Archaea*)(見圖二(a))。分解含單體之界面活性劑時 *Bacteria* 有降低的趨勢，添加 Brij 35與 TX-100分別為50.81%與47.06%；*Archaea* 卻有增加的趨勢，分別為44.83%與46.47%。不過分解含微胞之界面活性劑時族群分佈趨勢卻相反，*Bacteria* 添加 Brij 35與 TX-100分別有增為71.60%與57.97%，相對於 *Archaea* 則降低為29.28%與38.54。推論微胞結構似乎對 PAH 分解菌之 *Archaea* 具抑制效果，但對 *Bacteria* 並無影響，且於分解過程明顯佔了很大的優勢。

(二) Class probes

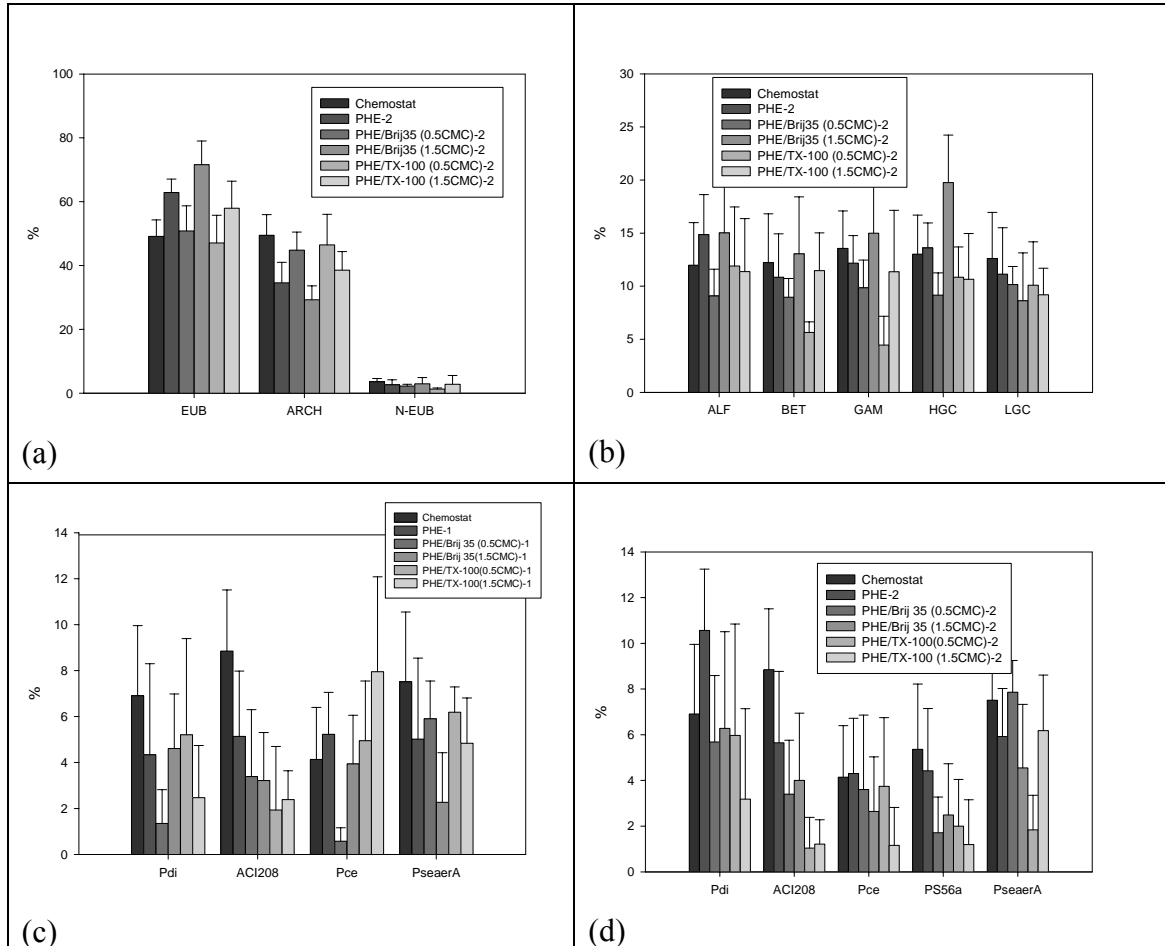
實驗結果顯示生物分解 PHE 之 *Bacteria* 常見的5類環境微生物族群所佔比例為： α -*Proteobacteria* (14.86%)、 β -*Proteobacteria* (10.84%)、 γ -*Proteobacteria* (12.17%)、HGC(13.60%)與 LGC(11.14%)(圖二(b))。添加 Brij 35或 TX-100兩種界面活性劑並不會造成這些族群消失，僅會發生比例上的變化。生物分解 PHE/Brij 35時，溶液中之 Brij 35單體對此5類微生物族群比例差距並不大，但微胞存在時其影響較大，共有4類微生物族群比例增加，包括 α -*Proteobacteria* (15.02%)、 β -*Proteobacteria* (13.04%)、 γ -*Proteobacteria* (15.00%)、HGC (19.76%)等。特別是 HGC 族群變化最大。另一方面生物分解 PHE/TX-100時，其單體分解時 β -*Proteobacteria* 與 γ -*Proteobacteria* 明顯降低至5.64%與4.45%，不過溶液中為微胞環境時，微生物族群結構又與生物分解 PHE 相似。上述結果可知生物分解過程微生物族群的確發生變動，且與添加之界面活性劑種類與溶液中形成之結構有關。

(三) Species probes

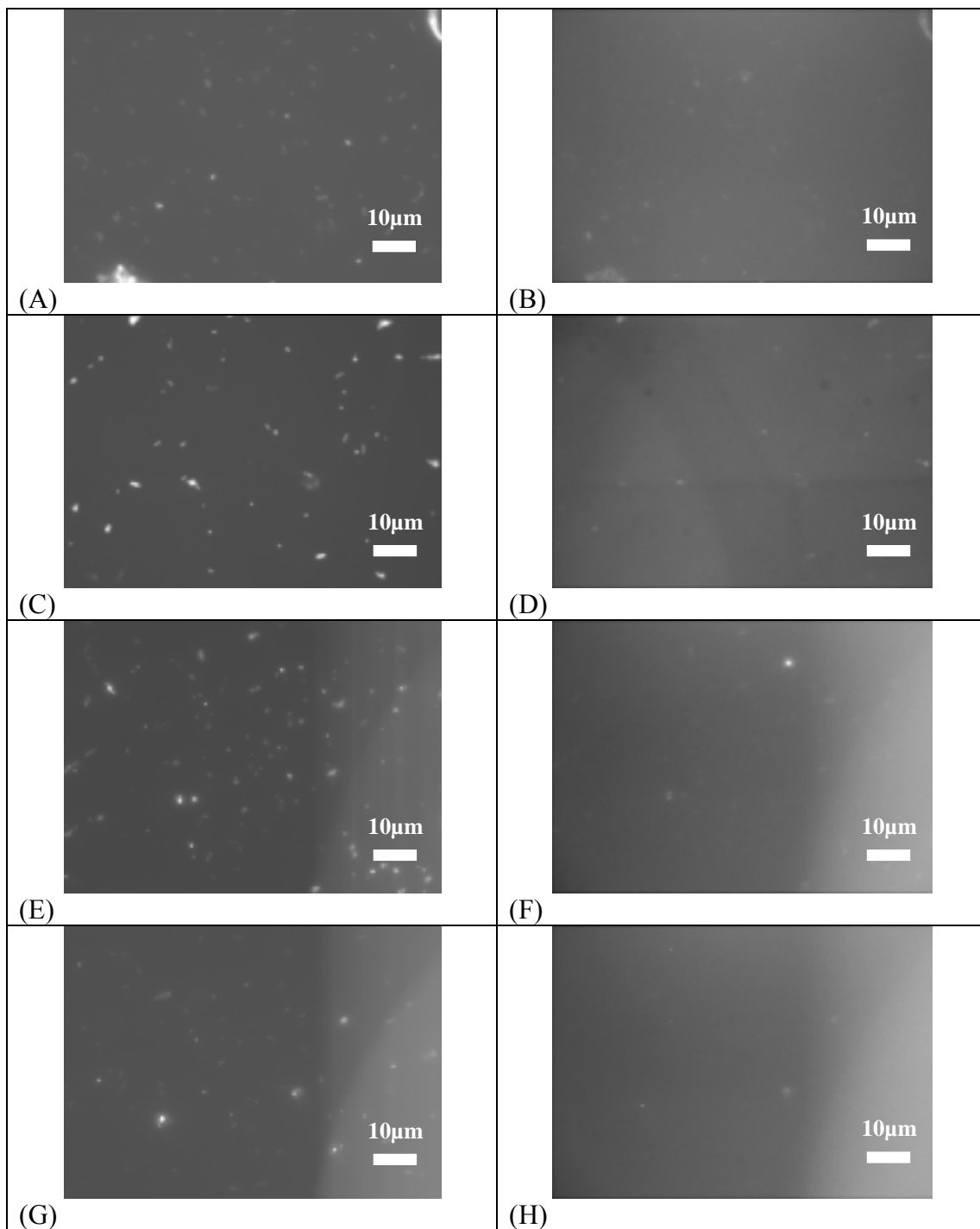
進一步利用 Biolog 系統鑑定 Chemostat 系統菌液所得代表性微生物之特定種探針 (species-specific probe) 偵測其族群，由圖二(d)可發現：(1) α -*Proteobacteria* 所屬之 *Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata* (佔全部族群10.57%，佔 α -*Proteobacteria* 71.13%)；(2) β -*Proteobacteria* 所屬之 *Burkholderia* sp. (佔全部族群5.56%，佔 β -*Proteobacteria* 51.29%) 與 *Acidovorax* sp. (佔全部族群4.30%，佔 β -*Proteobacteria* 39.66%)；(3) γ -*Proteobacteria* 所屬之 *Pseudomonas aeruginosa* (佔全部族群5.92%，佔 γ -*Proteobacteria* 48.64%)等三種微生物族群於 PHE 分解過程中扮演著重要角色。

添加界面活性劑後生物分解 PHE 之微生物族群結構發生改變，圖二(c)顯示第一次採樣時微生物族群結構之變化，分解 PHE/Brij35時，*Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata* 分別佔全部族群之1.35%(0.5CMC)與4.61%(1.5CMC)，佔 α -*Proteobacteria* 之12.85%與64.92%；*Burkholderia* sp. 與 *Pseudomonas aeruginosa* 共佔全部族群9.29% (0.5CMC)與5.49% (1.5CMC)；分解 PHE/TX-100時，*Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*, *Burkholderia* sp. 分別佔5.21% (0.5CMC)與2.47%(1.5CMC)；*Burkholderia* sp.與 *Pseudomonas aeruginosa* 共佔11.14% (0.5CMC)與12.79% (1.5CMC)。圖二(d)顯示生物分解 PHE/界面活性劑第二次採樣時微生物族群結構之變化，分解 PHE/Brij35時，*Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*；*Burkholderia* sp. 與 *Pseudomonas aeruginosa* 共佔16.94% (0.5CMC) 與14.83%

(1.5CMC)；分解 PHE/TX-100時，*Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*、*Burkholderia* sp. 分別佔5.97% (0.5CMC)與3.18%(1.5CMC)。*Pseudomonas aeruginosa* 分別佔1.84% (0.5CMC)與6.18%(1.5CMC)。圖三為 FISH 實驗之部份結果。



圖二、PAH/界面活性劑生物分解過程之微生物族群結構(PAH 與界面活性劑濃度第1點、第2點與圖一相同)：(a) Domain probes 分解第2點；(b) Class probes 分解第2點；(c) Species probes for PHE 分解第1點；(d) Specific-species probes for PHE 分解第2點。



圖三、FISH 部份實驗結果，PHE-TX-100 1.5 CMC (第二點採樣)：(A)EUB338-DAPI；(B) EUB338-CY3；(C) BET42a-DAPI；(D) BET42a-DAPI；(E) ACI208-CY3；(F) ACI208-DAPI；(G) Pce-DAPI；(H) Pce-CY3。

肆、結論與建議

- 一、添加界面活性劑的確影響 PAH 生物分解之微生物族群分佈，且不同種類與濃度(型態)的界面活性劑影響不同。微胞結構抑制了 *Archaea* 的生長，但卻對 *Bacteria* 的微生物族群無影響，且在 Brij 35 存在下明顯增加。生物分解 TX-100 存在之 PHE 時，溶液中單體分解時其 β -*Proteobacteria* 與 γ -*Proteobacteria* 明顯降低。
- 二、由種探針偵測 PHE 生物分解過程發現：(1) α -*Proteobacteria* 所屬之 *Brevundimonas (Pseudomonas) diminuta*, *Caulobacter* sp., *Mycoplana bullata*；(2) β -*Proteobacteria* 所屬之 *Burkholderia* sp. 與 *Acidovorax* sp.；(3) γ -*Proteobacteria* 所屬之 *Pseudomonas aeruginosa* 等微生物於 PHE 分解過程中扮演著重要角色。進一步探討添加界面活性劑之 PHE 生物分解以假單胞菌屬於分解過程較顯著，本研究並建議 Pdi 與 PseaeA 特定種探針可選擇用來偵測生物復育 PAH/界面活性劑過程之異動。

伍、致謝

本研究承東南技術學院環境與安全衛生工程系林景行教授與環境管理系劉文得教授協助生物降解 Monod equation 動力參數之推求，得使本研究順利完成，在此致上由衷之謝忱。

參考文獻

1. 李俊福、張怡塘、吳唯丞、張貴雲、陳溘湘、辜郁婷、李佳熹、周希瓴、楊子君、張綺砮 (2002a), 土壤中 PAHs 分解菌之篩選及生理生化反應特性分析, 中華民國環境工程學會, 第17屆廢棄物處理技術研討會, 臺北。
2. 李俊福、張怡塘、葉佩雯 (2002b), 分子間作用力影響土壤中非離子有機物傳輸行為之研究, 中華民國環境工程學會, 第17屆廢棄物處理技術研討會, 臺北。
3. 張怡塘、李俊福、洪俊雄、李佳熹、張綺砮、王灝頤、詹惠蘋、葉榮美、楊子君、周希瓴 (2003), 應用螢光原位雜交技術(FISH)偵測土壤與地下水中微生物族群結構, 中華民國環境工程學會, 第1屆土壤與地下水研討會, 臺中。
4. 李俊福、張怡塘、郭旭瓊、康閔洋、陳欣怡、高莉淑 (2004), 非離子界面活性劑對地下水含 PAH 污染之生物分解之影響(I)-應用分子間作用力觀點詮釋, 中華民國環境工程學會, 第2屆土壤與地下水研討會, 台南。
5. 張怡塘、李俊福、張貴雲、許珊綺、李嘉雯、江芷菁 (2004), 受 PAH 污染之地下水生物復育過程併同進行界面活性劑淋洗技術之生化反應分析, 國立中央大學環境工程學刊, 第10期, 第47-66頁, 中壢。

德基水庫集水區治理水質監測與管理之研究

Study on Water Quality Monitoring and Management for the Watershed of Techí Reservoir

陳秋楊¹

陳伯中²

王敏昭³

Chiu-Yang Chen¹

Pei-Chung Chen²

Min-Chao Wang³

¹東南技術學院環境管理學系教授

²弘光科技大學食品營養學系教授

³朝陽科技大學環境工程與管理學系教授

¹Tung Nan Institute of Technology

²Hung Kuang University of Technology

³Chao Yang University of Technology

摘 要

配合德基水庫集水區第四期整體治理計畫工作之執行，本計畫之目的為持續進行集水區水體水質調查及水庫浮游生物調查，以瞭解水體水質良窳及水庫優養程度，利用水庫集水區整合水質模式之模擬分析，研判污染來源與水質變化之關係，據以評估水質改善成效。並透過整理水質監測之空間資料與屬性資料，檢討各集水分區之污染負荷量，建議未來相關治理工作之方向與改進措施，俾落實集水區整治之具體效益。

關鍵詞：水質監測，集水區管理，優養化，德基水庫。

Abstract

The purpose of this project is to continue the investigation of the water quality of Techí Reservoir and its tributaries and the phytoplankton of the reservoir for understanding the water quality of water bodies in the watershed and the status of the eutrophication in the reservoir. In addition, the integrated watershed management model, is to be used to analyze the relationship between pollution sources and the variation of the water quality in the watershed for evaluating the effectiveness of the water quality control measures. Based on the analysis of the spatial distribution of water quality monitoring data and the calculated pollution loading of each sub-watershed, we will make suggestions for the future tasks of the water quality management and pollution control measures.

Key Words : Water Quality Monitoring, Watershed Management, Eutrophication, Techí Reservoir

壹、計畫緣起

德基水庫集水區第四期整體治理計畫自民國八十六年七月起至民國九十一年年底止分五年實施，期能有效控制水庫淤積速率，確保水量穩定及改善水庫水質，以提供中部地區充足之水量與良好之水質，達成水資源保育及國土保安之永續發展目標。

第四期整體治理計畫工作內容包括森林經營、土地利用與水土保持、道路水土保持、農藥肥料減量宣導與推廣、水質監測與管理、生態保育宣導、防砂工程及水庫保護帶等項（經濟部德委會，1996），由於各項工作之執行，牽涉層面廣泛，影響因素相當複雜，如何瞭解水質改善程度，需要水質監測工作之落實，如何協調各單位有效執行各項計畫，需要建立治理成效的評估體系。因此，水質監測與管理工作是執行第四期整體治理計畫之關鍵課題，也可提供集水區整治工作績效管理與成效評估所需基本參數。

貳、本年度計畫工作內容

本年度工作計有四大項：

- 一、水庫浮游生物調查，水庫內平面設二十六個採樣點，分四季採樣鑑定種類及計數（陳伯中，1992；1999）；
- 二、水庫集水區水系水質調查，河川主流共設置二十六個採樣站，水庫內設置五個採樣斷面，全年進行四次採樣及水質分析，同時進行二次底泥採樣分析；
- 三、水質資訊系統整合，維護經濟部水利署「集水區保育」網站，強化整合水質模式（經濟部水資源局，1998）應用功能；
- 四、比較歷年浮游生物調查與集水區水質分析結果，檢討集水區整治工作對水質改善之成效，研擬未來集水區治理工作方向之建議。

參、水庫浮游生物調查

一、各採樣月份浮游生物檢驗成果

（一）九十一年三月檢驗成果

1. 水中多甲藻數量為每毫升數個細胞，較九十年十月（0~49 cells/mL）少，與九十年同期（0~1 cells/mL）相比較差不多。
2. 水庫中矽藻以小環藻為優勢，矽藻數量約每毫升數十至五百多個細胞，較九十年十月份（0~145 cells/mL）增加，與九十年同期（37~995 cells/mL）相比則較少。
3. 水中綠藻數量為每毫升數個至一百多個細胞，較九十年十月份（4~2,272 cells/mL）低，與九十年同期相比較（17~1,415 cells/mL）亦少。

（二）九十一年五月檢驗成果

1. 水體中多甲藻數量為每毫升數個至數十個細胞，與九十一年三月份（0~17 cells/mL）相較差不多，與九十年同期（1~52 cells/mL）相較亦差不多。
2. 水中矽藻數量數個至數十個細胞，較九十一年三月（40~571 cells/mL）少，與九十年同期（340~1,841 cells/mL）相比亦少。
3. 水中綠藻數量為每毫升數個至數十個細胞，較九十一年三月（0~165 cells/mL）略

低，與九十年同期（168~940 cells/mL）相較少。

（三）九十一年八月檢驗成果

1. 水體中多甲藻數量為每毫升數個至數十個細胞，與九十一年五月份（0~20 cells/mL）相較差不多，較九十年同期（8~948 cells/mL）少。
2. 水中矽藻數量數個至數十個細胞，與九十一年五月份（7~60 cells/mL）相較差不多，與九十年同期（21~1,031 cells/mL）相比較少。
3. 水中綠藻數量為每毫升數個至數十個細胞，較九十一年五月份（3~40 cells/mL）差不多，與九十年同期（31~560 cells/mL）相比較少。

（四）九十一年十月檢驗成果

1. 水體中多甲藻數量為每毫升數個至數十個細胞，與九十一年八月份（0~91 cells/mL）相較差不多，與九十年同期（0~49 cells/mL）相較亦差不多。
2. 水中矽藻數量為每毫升數個至數十個細胞，與九十一年八月份（1~81 cells/mL）相較差不多，與九十年同期（0~145 cells/mL）相比差不多。
3. 水中綠藻數量為每毫升數個至數十個細胞，較九十一年八月份（3~40 cells/mL）差不多，與九十年同期（4~2,272 cells/mL）相比較少。

二、本年度藻類數量變化趨勢

本年度水庫中的多甲藻數量每毫升僅數個至數十個細胞（0~91 cells/mL），夏季時多甲藻數目並無明顯增多的情形發生。水庫中矽藻以小環藻為主，三月時數量最多（4~549 cells/mL），其他月份則每毫升水中僅十數或數十個細胞；矽藻總數仍在歷年出現的範圍內，並未發現有數量明顯改變的情形。水中綠藻數量各種類的數量均低於每毫升一百個細胞，綠藻總細胞數量最多僅165 cells/mL，並沒有增加的情形。水庫中的總藻數每毫升僅數十個至數百個細胞（17~736 cells/mL），數量變化相當穩定。

肆、水庫集水區水系水質調查

一、本年度水質調查結果

- （一）佳陽溪、劍陽溪、劍山溪及志樂溪水樣，91年3月水質與以往一樣大致有較低或最低之懸浮固體、總固體、濁度、電導度、總鹼度、鈣、鎂、硬度、氨氮、硝酸鹽氮、總磷、磷酸鹽及生化需氧量。但91年5月所測得佳陽溪、劍陽溪及劍山溪水樣之水質，僅懸浮固體物、氨氮、總磷、磷酸鹽有較低之含量，其餘水質分析項目均與其他測站差異不大，並無較低之現象。91年8月劍陽溪水樣之鈣、鎂及鈉含量有稍高之情形外，其餘水質分析項目均亦較其他測站水樣者為低。
- （二）91年3月入庫溪流中晉元溪水樣之電導度、總鹼度、鎂、硬度、生化需氧量及鈉含量均為所有水樣測站中最高與90年2月類似，後者水樣中總磷、總有機碳量、鎂及硝酸態氮之含量均異常高。91年5月水樣較3月改善，僅有總鹼度、磷酸鹽及鈉含量較高，其餘均較為改善；至91年8月及10月，水樣水質已恢復至以往較佳之水質狀態。
- （三）91年3月梨山排水溝站之水樣中，懸浮固體物、總固體物、濁度、鈣、總磷及磷酸鹽等項目均為所有測站之最高值，較90年2月者，水質稍有改善。91年5月，因前季氣候異常、久旱不雨，故水庫之蓄水量降低，而無法採集得水樣。但是於91年8月，梨山排水溝站之水樣中，總固體、電導度、總鹼度、硬度、氯鹽、

硫酸鹽及硝酸鹽氮，以及91年10月之懸浮固體、總固體、濁度、電導度、鈣、鎂、硬度、氯鹽、硫酸鹽、硝酸鹽氮、總磷、磷酸鹽、鈉及鉀等項目，其測值為所有測站之最高值，顯示水質又見變劣。

- (四) 91年5月於入庫溪流及水庫水體採集水樣時，山區曾有豪大雨，使水量一時暴增，且水樣較混濁。因此，所測得之分析項目，如：懸浮固體物、總固體物、濁度、總鹼度、氨氮、硫酸鹽、總磷及磷酸鹽等較易隨雨水沖刷之污染量增加。然而，由於水庫的自淨作用，雖局部大雨造成集水河川水質的暫時性污染，但對整個水庫水質並無較大之影響，仍可維持穩定水質。
- (五) 91年3月之水庫斷面表層水質之總磷及葉綠素 a 量均較90年2月水樣者低，透明度則無太大差異。因此，其優養程度比去年同期之水質有較改善。但是水庫源頭區表層水質則因透明度較去年同期為差，故較去年同期之水質有較優養化之現象。91年5月水庫之葉綠素 a、總磷量及透明度均較去年同期改善，致使水庫整個斷面均為普養狀態。相同者，於91年8月及10月水庫斷面之水質亦較去年同期者改善，僅在斷面39 (S-39) 處，因承受梨山排水溝較劣水質之衝擊而未有改善外，其餘斷面之水質均降至普養及貧養狀態。

二、本年度底泥調查結果

91年3月及8月所採集梨山排水溝站 (R-3)、水庫源頭區 (R-4) 及劍陽溪 (R-6) 之底泥樣品，其分析數值若與行政院環境保護署 90年11月公告之土壤污染管制標準比較，德基水庫底泥重金屬監測結果數值均遠低於土壤污染管制標準值。

三、武陵地區大火後水質評估

民國九十一年五月中旬武陵地區發生森林大火，由水質調查結果顯示，七家灣溪與有勝溪水樣之 pH 值從起火點往下游處漸低，而總固體量、總鹼度、硬度、氨氮、硫酸鹽、鈉含量則上升，但是七家灣溪水樣之總磷量則降低，氯鹽、生化需氧量及化學需氧量，在過起火點下游至萬壽橋 (G-1A) 站時均有改善，而有勝溪水質則依舊惡化。由此可知，武陵地區大火確實造成水質部份惡化，但經河川的自淨作用，至下游處已漸有改善，至於有勝溪由於該流域有集約農業操作，故水質自淨作用則較不明顯。在經過二個月餘的生態平衡後，八月初採樣結果大都已恢復為原來之水質狀態。

伍、本年度新增調查工作

一、集水區土壤特性分析

(一) 三月份土壤調查結果

德基水庫集水區土壤採樣站址包括林地、菜園及果園，海拔高度均在 1,500 m 以上。林地大部分為二葉松及其混合林或雜林，果園大部分為梨樹或梨樹夾雜蘋果樹，菜園則種植高麗菜。林地之表土 (0-15 cm) 及裡土 (15-30 cm)，由於均未施用肥料，所以大部分之 pH 值均甚低。果園，尤其是菜園，由於施用肥料及改良酸性之材質，所以其等之表土及/或裡土之 pH 值最高可提昇至中性左右。果園及菜園，由於肥料之施用，表土及裡土之 Bray-1 磷含量均頗高，皆高於林地者甚多。

91年3月採樣位址 9-1 (果園) 之表土與裡土的 Cd 含量 (依次分別為 1.21 與 0.83 mg/kg)，已超過農地重金屬含量等級區分第四級之限值 (0.40 mg/kg)。此採樣位

址表土與裡土較高之 Cd 含量，對應所有採樣位址土壤最高之 Bray-1 磷含量，此應是 Cd 為磷肥之主要重金屬副成分之緣故。

十三個採樣位址之表土與裡土的 Cr、Cu、Ni 及 Pb 量，均未達農地土壤重金屬含量第四級之限值。然而，採樣位址 5-1 (林地)、6-3 (果園)、6-5 (林地)、9-1 (果園)、9-2 (果園) 及 9-3 (果園) 等之表土及/或裡土之 Zn 含量，均達第四級及/或第五級之限值標準。

(二) 九月份土壤調查結果

91年9月德基水庫集水區採集土壤之 pH 值與 Bray-1磷含量與91年3月採集得土壤者，有某些程度之差異，此應是集水區土壤為石礫地，其土壤性質在空間變異甚大之緣故。91年9月採集土樣改依最新公告修正之王水消化法分析土樣。土壤採樣位址 10-1 (林地) 之表土與裡土的 As 含量超過食用作物農地之監測基準值 (30 mg/kg)。採樣位址 10-2 (梨園) 表土與裡土之 Cr 含量超過土壤污染管制標準 (250 mg/kg)，以及裡土之 Zn 含量亦超過食用作物農地之監測基準值 (260 mg/kg)。

十三個採樣位址之土壤溶液 pH 值與土壤之 pH 值有一定程度之相關；土壤溶液之 EC 值與 pH 值並無很好之相關。然而，土壤溶液之 EC 值與土壤溶液之 Ca、Mg、K、Na 量有較好之相關。除了採樣位址 5-2 之裡土外，其他所有採樣位址之土壤溶液均含有某一程度量之 TOC，此土壤溶液之 TOC 應與土壤之有機質量與可溶性有機碳量有一定程度之相關。土壤溶液中， Cl^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 及 SO_4^{2-} 等為含量較高之陰離子，採樣位址 5-1、6-1、6-3、6-5 及 9-3 之土壤溶液含某程度量之 NO_2^- ，其代表礦化氮硝化作用過程之過渡產物。

二、土地利用變遷分析

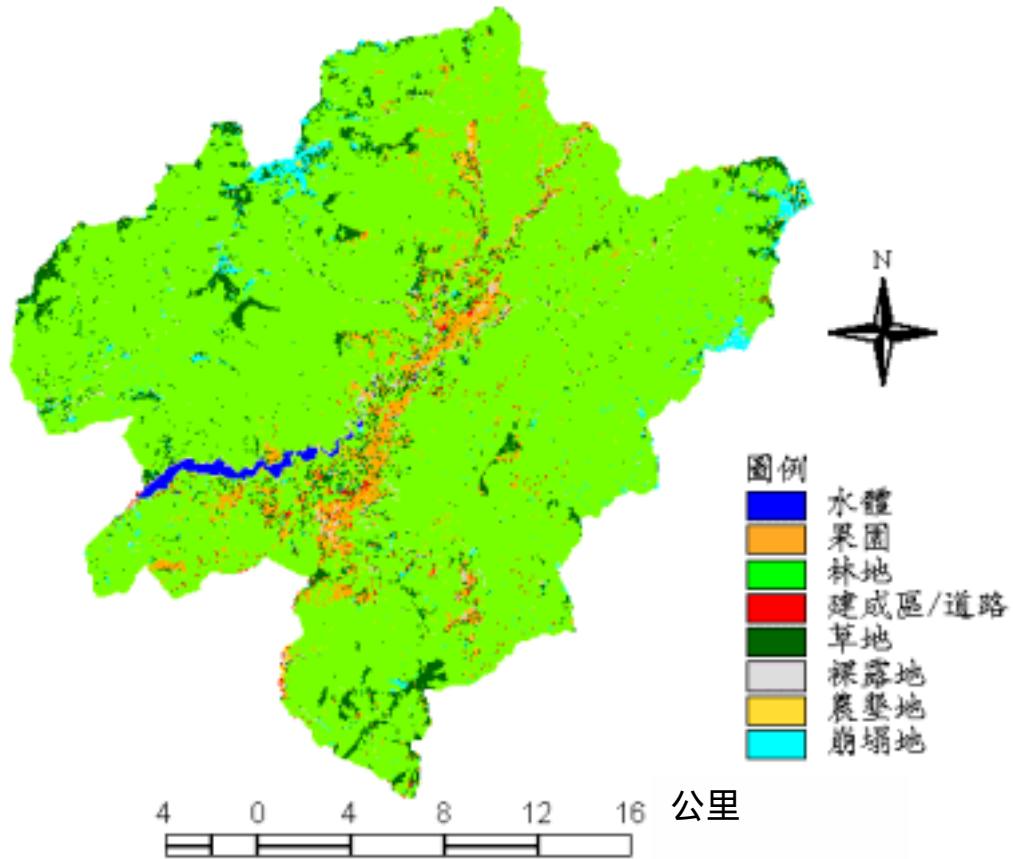
由於德基水庫集水區現有土地利用資料主要完成於民國七十九年 (逢甲大學地理資訊中心, 1996)，且民國八十八年 921 地震後，集水區無論地形、地貌及土地利用均已產生大幅度之變化，現有地文及土地利用情況與既有圖幅顯有出入，本計畫擬蒐集整理由經濟部水利署本年內其他相關委辦計畫所提供更新土地利用資料，進行分析 921 地震前後土地利用變遷，以作為德基水庫集水區整合水質模式 (IWMM-TC Model) 所需土地利用之輸入資料。

(一) 土地利用現況

水庫集水區土地利用型態之不同，將會造成水庫營養鹽負荷量的不同，進而影響水庫水質的好壞及藻類生態之差異。圖一即為九十年十月十三日德基水庫集水區之 SPOT 衛星影像圖，經非監督式分類法配合監督式分類法分類後之土地利用分類圖。

(二) 土地利用變遷分析

表 1 為八十四年十月與九十年十月之德基水庫集水區土地利用情形，顯示九二一大地震發生後德基水庫集水區之土地利用型態有明顯的變化，若以民國八十四年十月資料為地震前，則地震後 (民國九十年十月資料) 其中果園 (含茶園) 面積減少 631.25 公頃、農墾地面積減少 209.45 公頃、水體面積減少 477.67 公頃、建地/道路面積增加 35.45 公頃；而林地面積增加 737.08 公頃、草地面積增加 3,217.86 公頃、裸露地面積減少 445.61 公頃、崩塌地面積增加 1,092.84 公頃。



資料來源：逢甲大學地理資訊系統研究中心，2002。

圖一 德基水庫集水區土地利用分類影像圖

表1 德基水庫集水區土地利用/土地覆蓋面積之變遷

土地利用類別	84年10月至90年10月間之土地利用變遷面積 (公頃)
果園(含茶園)	-631.25
農墾地	-209.45
林地	737.08
草地	3,127.86
水體	-477.67
建地/道路	35.45
裸露地	-445.61
崩塌地	1,092.84

註：表內數字正值與負值並不一致，乃因兩次分類之土地類別項目並非完全一致。

資料來源：本研究整理。

陸、水質管理資訊系統整合

一、基本資料庫之擴充與更新

本年度廣續辦理水質管理基本資料庫與集水區保育網頁內容之擴充與更新工作，以提供集水區之最新資訊，展示集水區治理工作執行成果，做為評核、調整與修正集水區水質管理計畫之依據。

二、整合水質模式 IWMM-TC 之應用

(一) 更新集水區之空氣、土壤、底泥、施肥與土地利用資料，並再進行模式校正與驗證

對於集水區的水體而言，非點污染源主要有三：空氣、陸地、和人類活動，陸地的污染負荷量可由模式計算，空氣和人類活動的污染負荷量原則上也可以用數學方法計算，不過那將增加很多變數，也牽涉更多的問題，較簡單和可靠的方法是用實際調查的資料，本年度其他相關子計畫提供這些資料加以比較應用（陳秋楊等，2000；王敏昭等，2000）。

由松茂站一些主要水質參數模擬的結果及德基水庫一些主要水質參數模擬的結果顯示，IWMM-TC 模式可以合理的模擬德基水庫集水區內水量和水質因子傳輸之過程，提供本計畫利用它來評估整治計畫之成效。

(二) 依土地利用之改變和整治計畫之進度，模擬第四期整治計畫之水質與泥砂量改善成效

整合水質模式(IWMM-TC 模式)的設計可以讓使用者依照整治計畫的工作內容和工作進度分年模擬。首先，基本資料從民國 79 年開始至民國 90 年底為止(因水文氣象資料僅至民國 90 年底)，其中民國 81 年至 85 年是第三期整治計畫執行的階段，86 年至 90 年是第四期整治計畫執行的階段。其次，依各年度所完成的工作調整模式中土地利用和土壤侵蝕條件，逐年模擬下去，然後計算水庫沉積量和主要的水質負荷量。針對第四期整治的成效而言，本計畫模擬另一個情況，是假設第三期整治結束後(民國 85 年)土地利用和土壤侵蝕條件不再改變，其模擬的結果與民國 86 年後繼續配合整治計畫逐年調整和模擬的差異，就代表實施第四期整治的成效。

(三) 分析921地震前後土地利用變遷對對水源涵養與污染負荷之影響

九二一大地震發生後，德基水庫集水區的土地利用和水體水質有些變化，簡單歸納如下：

1. 在土地利用方面，根據最新的 GIS 資料，果園、茶園、與其他農墾地面積有些減少，崩塌地增加一些。
2. 據水質調查資料，九二一大地震後水庫水質狀態大致上較地震前為佳，但其後之水質卻又較前兩年略差。

應用模式估算九二一大地震的影響時，在上述逐年模擬到民國 88 年底後，改用新的土地利用資料，然後再逐年模擬到民國 90 年底。模擬結果顯示河川方面總磷、總氮、和總懸浮固體物在大地震後(民國 88 年)與過去沒什麼改變，總磷和總氮僅略微增加，總懸浮固體物則略減少；民國 89 年也沒什麼改變，總懸浮固體物還略減少；民國 90 年則三者都增加，其中以 G3 集水分區增加較多，這是該區崩塌地面積增加多些比例，而農地面積沒什麼減少之故。水庫水質方面，總磷和總氮的平均濃

度類似河川之變化趨勢，沉積量第一年沒什麼改變，第二年增加一些，第三年再增加一些。整體而言，模式估算的情形與水質觀測的變化趨勢大致上相一致，其現象為九二一大地震後短暫期間水質因農地和農業活動減少而有些改善，但由於地震使崩塌地面積增加了，其後進入水體的沉積物因之增加，使得水質再略為惡化。

(四) 土地利用與污染輸出量分析

水庫集水區非點源污染主要與集水區之地文及水文條件有關，尤其降雨型態及颱風暴雨，同時也受集水區之土地利用型式所影響。九二一大地震後，顯示集水區之農地（果園、茶園、農墾地）面積佔全區 6.4%，個別集水區之比例以有勝溪及合歡溪流域之農地面積所佔比例最高，分別為 7.8 % 及 10.2 %。本研究應用 IWMM-TC 模式估算九二一大地震對水源涵養的影響，以松茂站(G5)之流量變化加以分析，民國 88 年至 90 年，土地利用改變對河川流量之影響，分別有 -0.68%、+0.25% 及 +0.55% 之變化，顯示其差異相當輕微。

依據民國 79 年至 90 年水文條件以及土地利用狀況，利用 IWMM-TC 模式進行各集水分區流量分析後，再由每天總磷、總氮及總懸浮固體濃度推估結果，計算各集水分區單位面積年污染負荷量，以供比較各集水分區之污染貢獻量及其單位面積污染輸出量。顯示以總磷而言，合歡溪集水區之單位面積污染輸出量最高，歷年平均達 1.06 kg/ha-yr，而南湖溪最低，僅 0.09 kg/ha-yr，以上均與其集水區內農地面積所佔比例之大小相關。就總氮而言，以有勝溪集水區之單位面積污染輸出量最高（行政院退輔會武陵農場，2001），為 118 kg/ha-yr，而南湖溪集水區仍為最小，僅為 20 kg/ha-yr。若以輸砂量（總懸浮固體量）考量，單位面積輸出量以合歡溪為最高，約為其他測站之 2.5 倍至 7.0 倍。

柒、未來工作建議

一、未來治理方向建議

德基水庫集水區內仍有非法使用及超限利用地，宜早日依法辦理輔導或收回全面造林，對遭受火災損害之林班地，應規劃森林復植計畫加以實施。

德基水庫集水區內水質污染來源包括點污染源與非點污染源，前者主要為人口集居之生活污水（例如梨山、環山地區）以及遊憩人口之生活污水（例如季節性各遊憩據點），應加速興建污水處理系統；後者主要為農墾地之施肥，同時隨土壤沖蝕與泥沙輸送而進入河川水體與水庫水域。在管理層面上，一方面加強維護水庫保護帶功能，減少地表泥沙沖蝕，一方面推動集水區最佳管理措施（併入第五期整體治理工作規劃考慮）。此外，針對農墾地施肥之減量宣導亦須持續進行，以降低集水區營養鹽之負荷量。

德基水庫集水區土地非法使用或超限利用乃在中部橫貫公路通車之後，自 921 地震造成部分路段無法通車，在此天然條件不利之情況下，管理機關可以考慮採取以生態保育為訴求之通行管理措施（相關措施可併入第五期整體治理計畫之規劃工作加以研究），利用自然生息過程，減少人為干擾與破壞，達成水土資源合理與有效利用及永續發展之目標。

二、水庫淤積調查建議

在第五期治理計畫規劃期間，應配合更新土地利用資料，加速調查各集水分區之

泥砂來源與輸砂特性，以為研擬森林經營、水土保持、蝕溝控制與整治、崩場地處理、防砂工程等計畫之依據。此外，定期測量水庫淤積情形，估算水庫容量，一方面可供評估治理計畫之防砂與水土保持成效，一方面也可供水源涵養與經濟效益評估之主要依據。

三、水質監測與管理建議

長期性水質監測與調查，包括水庫浮游生物調查與集水區水系水質監測，一方面可供集水區整體治理成效評估之依據，一方面更新水質管理網頁相關資料提供水質管理資訊，以達到水質變化之預警效果。就集水區內水污染之點源與非點源，責成各管理機關加速推動污水處理系統之興建，以及農墾地非點源污染控制，配合第五期整體治理計畫之規劃，落實水庫集水區水土資源保育工作。

謝誌

本專題研究經費由經濟部水利署全額補助(計畫編號 MOEA/WRB—910014V5)，謹表謝忱。

參考文獻

1. 陳伯中，「德基水庫浮游生物調查及甲藻生理特性研究」，大甲河流域河川水質長期追蹤計畫工作報告，經濟部水資源統一規劃委員會（1984-1992）。
2. 逢甲大學地理資訊系統研究中心（1996）德基水庫集水區數值地籍資料庫及遙測監測系統建立計畫。
3. 經濟部德基水庫集水區管理委員會（1996）德基水庫集水區第四期整體治理規劃報告，中華水土保持學會。
4. 經濟部水資源局（1998）水庫和集水區水質管理決策支援系統，美國系統科技工程公司。
5. 陳伯中，「德基水庫浮游生物調查及藻類生長競爭關係研究」，德基水庫集水區第三、四期整體治理計劃工作報告，經濟部水資源局（1993-1999）。
6. 陳秋楊、王廷哲、洪惠祥、簡俊傑、陳唯心（2000）水庫集水區整體治理非點污染源控制及改善水質之研究，跨世紀水資源經營管理研討會論文集，第677-700頁。
7. 王敏昭、鍾秋華、林昭遠（2000）德基水庫集水區水質之特性及近八年來變化趨勢，集水區保育，中國文化大學環境設計學院景觀學系。
8. 行政院國軍退除役官兵輔導委員會武陵農場（2001）有勝河流域整治計畫，黎明工程顧問公司。
9. 逢甲大學地理資訊系統研究中心（2002）地理資訊系統於主要水庫集水區管理之應用(2/2)。
10. U. S. EPA (1996) Biological Criteria : Technical Guidance for Streams and Small Rivers, EPA 822-B-96-001.
11. U. S. EPA (1998) Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria : Technical Guidance Document, EPA 841-B-98-007.
12. U. S. EPA (1999) Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers, Second Edition, EPA 841-B-99-002.

都市垃圾焚化爐起爐過程對戴奧辛 生成與排放之衝擊

鄧家基 廖啟承 林奇剛 秦孝偉

東南技術院環境安全系

摘 要

台灣地區因土地難求，全台垃圾處理均以焚化為主，然因環保意識快速提昇，垃圾焚化設施迭遭抗爭。近年來，由於管制加嚴，設備更新，垃圾焚化廠正常運轉期間污染排放總量已大幅減少，然而有關起、停爐等高污染運轉狀況，則尚未完全瞭解，因此，本研究針對國內一座運轉中之大型垃圾焚化廠〔日處理容量：450噸/爐×4爐〕，藉由管道排氣與飛灰樣品之採樣及分析，探討典型之起爐過程對戴奧辛生成與排放之衝擊與影響，提供國內垃圾焚化廠日後操作管理及污染排放削減策略之參考。本研究焚化廠之空氣污染防制設備，主要為：半乾式洗煙塔+袋濾式集塵器。初步研究結果顯示，目前之起爐模式會導致高量戴奧辛生成與排放，尤其起爐初期爐溫未達900°C之低溫投料，戴奧辛生成濃度〔117 ng-TEQ/Nm³〕更高達正常操作狀況的41倍，此一現象亦導致煙囪排氣戴奧辛濃度〔1.3 ng-TEQ/Nm³〕，超過環保署之管制標準13倍。洗煙塔入口之管道排氣戴奧辛生成濃度隨起爐過程逐漸減少，但起爐高污染之現象會延續45小時以上。起爐過程，空氣污染防制設備對戴奧辛之去除效率隨起爐過程逐漸提升。袋濾式集塵器捕集之集塵灰中戴奧辛濃度變化與洗煙塔入口戴奧辛之生成趨勢一致，隨起爐過程逐漸減少。

另以排放因子而言，起爐過程六個採樣點，洗煙塔入口產生之戴奧辛量，分別為：684、141、46、18、32、及17 μg TEQ/噸垃圾，煙囪排放之戴奧辛量，分別為：6249、602、169、70、72、及79 ng TEQ/噸垃圾；一次起爐過程，煙囪戴奧辛排放總量，計0.902 mg TEQ，佔該廠正常操作全年戴奧辛排放總量〔43.019 mg TEQ〕之2.10%，顯示起爐過程之戴奧辛增量，對環境污染之衝擊具實質意義。

關鍵字：戴奧辛，都市垃圾焚化爐，排氣，飛灰，排放因子，起爐

壹、前言

台灣地區因土地難求，垃圾掩埋場闢建不易，焚化處理已成為垃圾安定化、減量化、資源化之主要政策〔1〕。然近來國內環保意識快速提昇，現有之垃圾焚化廠迭遭抗爭，尤其針對各廠運作之公害污染與操作安全性屢次提出質疑。然而垃圾處理是都市不可避免的問題，雖然垃圾焚化並非永續性垃圾管理政策（sustainable waste management）中之最佳選擇方案，但是垃圾焚化廠只要妥善管理與操作，應該可以避免健康上的衝擊，亦即：“垃圾焚化廠對健康可能存在些許風險，但其仍然是目前台灣地區無法完全避免的適當選擇”。

台灣地區目前仍然操作垃圾焚化廠處理垃圾問題，乃是不得以的選擇，但積極消除民眾對垃圾焚化廠的安全疑慮，降低污染排放可能造成的健康問題，實為當務之急。近年來，全台垃圾焚化廠的污染排放總量已大幅減少（例如，戴奧辛排放標準加嚴，控制設備更新改善，操作、監測、管理透明化等措施），但繼續研究找出污染排放減量的操作管理策略與方法，則屬絕對必要。

垃圾焚化爐在起爐階段，會因燃燒溫度低及不完全燃燒等因素，產生高於正常操作狀況之污染排放〔2、3〕，但是污染物增加量的程度，或這些增量在統計分析上是否具實質意義，尚未完全瞭解。環保署過去也未針對起爐運轉狀況，要求各垃圾焚化廠記錄或研究分析。因此，本研究針對目前國內正常運轉中之一座大型垃圾焚化廠日處理容量：450噸/爐*4爐；空氣污染防治設備：半乾式洗煙塔+袋濾式集塵器；正常操作期間，歷年之戴奧辛檢測濃度，均遠低於環保署訂定之管制標準 0.1 ng-TEQ/Nm^3 〕調查分析其起爐過程對戴奧辛生成與排放之衝擊與影響，以做為國內垃圾焚化廠日後操作管理及污染排放削減策略之參考。

貳、實驗方法

本研究配合垃圾焚化廠既定之起爐程序〔以柴油輔助燃燒器加熱爐體，每小時升溫 60°C ，約10小時之後，爐溫達 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 時，開始投入垃圾，並配合爐溫每小時增加 60°C 之速度，逐漸增加垃圾投入數量，直到設計燃燒容量，正常操作為止〕，分別於起爐後10小時〔爐膛溫度達 500°C 〕、起爐後21小時〔爐膛溫度達 900°C 後8小時〕、起爐後45小時〔爐膛溫度達 900°C 後32小時〕，以及起爐後90、210、及378小時〔爐膛溫度達 900°C 後77、197、及365小時〕六個階段，同步進行管道〔洗煙塔入口〕、煙道、與飛灰中戴奧辛之採樣。（詳圖1）

採樣及分析方法主要參考環保署公告之標準方法：(1)排放管道中戴奧辛及呋喃採樣方法。煙道排氣粒狀物與氣狀物之戴奧辛及呋喃以等速的方式被抽取，經採樣管、濾紙及充填於吸附管之吸附劑進行收集。採樣完成後，採樣管線依序以丙酮、二氯甲烷及甲苯清洗，執行樣品回收。(2)排放管道中戴奧辛及呋喃檢驗方法。排放管道中戴奧辛及呋喃收集於包含 XAD-2 吸附管、玻璃纖維濾紙及相關之採樣頭洗滌溶劑樣品中，再經由萃取濃縮淨化完全後，利用 ^{13}C -同位素標識稀釋法，經氣相層析儀分離，以高解析質譜儀分析，測定17項氯化戴奧辛及呋喃之總毒性當量濃度。(3)參考環保署標準檢測方法，『事業廢棄物採樣方法』，進行飛灰採樣。(4)使用美國環保署標準檢測

方法 Method 1613B，分析飛灰中戴奧辛。所有數據皆符合方法之品管要求。

藉由洗煙塔入口與煙道戴奧辛之濃度評估起爐採樣六個階段，空氣污染防制設備的效率。

另本研究參考美國環保署（USEPA）AP42文件所採用之排放因子（Emission Factor），來推估燃燒一定重量垃圾所產生污染物之排放量，並用以評估污染物產生量對環境衝擊。焚化廠排放因子係依據監測（檢測）之污染物濃度、水分含量、燃燒氣體流率及垃圾進料率等數據，計算燃燒每噸重量之垃圾所產生之污染物重量，用來推估焚化廠每日（或每年）燃燒所排放污染物之質量；

經由煙道實際採樣分析並計算污染物質質量濃度，將該濃度校正為標準狀況（1 atm, 273 °K, dry, 11% O₂），其中煙道流量以廢氣平均流速、煙囪直徑及水分含量等求得，並校正為標準狀況下之乾廢氣量，再以「廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準」之校正公式，換算成11%O₂含量為基準值之廢氣量，再除以單位時間之垃圾焚化量即得每噸垃圾焚化所產生之廢氣量，將此廢氣量再乘以污染物質排放濃度，即可得污染物質排放因子（EF, Emission Factor），相關計算式如下〔4〕、〔5〕：

$$F_{std} = F_{rep} \left(\frac{21 - \%O_{2rep}}{21 - \%O_{2std}} \right) \left(\frac{273}{Temp_{rep}} \right) \left(1 - \frac{W_{rep}\%}{100} \right)$$

$$ER = C \times F_{std}$$

$$EF = \frac{ER}{WR}$$

F_{std} = 標準狀況及11% O₂煙道氣體流量

F_{rep} = 實際測量狀況下煙道氣體流量

$Temp_{rep}$ = 煙道真實溫度（°K）

% O_{2std} = 標準狀況下，戴奧辛為11% O₂

% O_{2rep} = 煙道氣體中 O₂含量（%）

W_{rep} = 煙道氣體中水分含量（%）

ER = 污染物質質量流率（mass/time）

C = 污染物質質量濃度（mass/m³）

EF = 排放因子（mg/ton of waste）

WR = 廢棄物進料速率（ton of waste/time）

三、結果與討論

起爐過程，洗煙塔入口及煙囪之管道排氣中戴奧辛，分別列於表1及表2。起爐過程六個採樣點，洗煙塔入口戴奧辛生成濃度，分別為：117、16.4、5.90、2.72、3.46、2.44 ng-TEQ/Nm³，此結果顯示，垃圾焚化爐起爐初期會大量生成戴奧辛，若與後三個採樣點之平均值〔2.87 ng-TEQ/Nm³〕比較，起爐後10小時採樣點之戴奧辛濃度高達41倍。此一現象，應與起爐初期之低溫投料〔起爐後9小時，當爐膛溫度上升至462°C，即開始投入垃圾，約17.67公噸/小時〕以及初始投料階段之燃燒效率不佳等因素有關。洗煙塔入口戴奧辛生成濃度隨起爐過程逐漸減少，但起爐過量生成戴奧辛之現

象會延續45小時以上〔詳如圖2〕。起爐後45小時(爐膛溫度達900°C後32小時)，洗煙塔入口之管道廢氣戴奧辛濃度〔5.90ng-TEQ/Nm³〕，後三個採樣點之平均值〔2.87ng-TEQ/Nm³〕比較，仍然偏高，顯示起爐過程，即使爐膛溫度已達900°C，垃圾焚化之燃燒效率與戴奧辛排放之變化，仍需操作一段較長時間，以達系統穩定，但此時妥善操作 APCD，煙囪排氣之戴奧辛濃度已可加以控制，符合環保署之管制標準(0.1 ng-TEQ/Nm³)

起爐過程，煙囪排氣戴奧辛濃度，分別為：1.30、0.106、0.029、0.012、0.010、0.014 ng-TEQ/Nm³。此結果顯示，起爐初期之戴奧辛生成量〔117 ng-TEQ/Nm³〕，可能已超過現有 APCD 之最大污染負荷量，導致煙囪排氣戴奧辛濃度，超過環保署之管制標準〔0.1 ng-TEQ/Nm³〕13倍。其後洗煙塔入口之戴奧辛濃度16.4 ng-TEQ/Nm³，似乎趨近 APCD 最大污染負荷量之臨界值，此時煙道氣體戴奧辛排放濃度為0.106ng-TEQ/Nm³，稍許超過管制標準。研究結果顯示，起爐過程六個採樣點，APCD 對戴奧辛之去除率分別為：98.89、99.35、99.51、99.56、99.71、以及99.43%，去除效率亦隨起爐過程逐漸提升。

起爐初期低溫階段，PCDDs 所佔之比例較大，隨爐溫上升至設計操作溫度，PCDDs 所佔之比例逐漸減少〔PCDDs/PCDFs 比值分別為：0.453、0.448、以及0.426〕，PCDDs 所佔之比例較大之特徵現象，應為低溫燃燒所造成。

洗煙塔入口之管道排氣中戴奧辛，主要是藉由袋濾式集塵器去除，起爐過程六個採樣點，集塵灰中戴奧辛濃度，分別為：1.88、1.92、0.636、0.673、1.02、以及0.87 ng-TEQ/g，此結果顯示，若妥善操作 APCD，起爐初期洗煙塔入口大量生成之戴奧辛，會經由袋濾式集塵器捕集去除，並生成較高濃度戴奧辛之集塵灰。集塵灰中戴奧辛濃度變化趨勢與洗煙塔入口戴奧辛生成之濃度一致，隨起爐過程逐漸減少。

另依據排放因子計算方式，起爐過程六個採樣點，每燃燒一噸垃圾，洗煙塔入口產生之戴奧辛量，分別為：684、141、46、18、32、及17 μg TEQ，煙囪排放之戴奧辛量，分別為：6249、602、169、70、72、及79 ng TEQ，APCD 對戴奧辛去除率分別為：99.09、99.57、99.63、99.61、99.78、99.54%，不論就排放濃度或排放因子而論，戴奧辛產生量皆隨爐膛溫度上升而減少，可知起爐過程中戴奧辛之生成量與爐膛溫度有密切關係，如何提升爐膛溫度並延緩垃圾投入時間，為減少起爐過程中戴奧辛排放量之主要關鍵。

起爐過程洗煙塔入口戴奧辛質量流率與爐膛溫度變化繪如圖3。由圖3可知，起爐過程爐膛溫度約13小時即可達到900°C，但是需至起爐後55小時質量流率方趨於穩定，因此本研究起爐過程煙囪之戴奧辛排放量推估，採55小時為一完整之起爐過程，整個起爐過程煙囪戴奧辛總排放量之計算可分三階段：第一階段為起爐後9小時〔爐膛溫度達500°C，開始投入垃圾〕至起爐後21小時〔第二次採樣〕，計12小時，戴奧辛質量流率為52.68 μg TEQ/hr；第二階段為起爐後21小時至起爐後45小時〔第三次採樣〕，計24小時，戴奧辛質量流率為10.17 μg TEQ/hr；第三階段為起爐後45小時至起爐後55小時，計10小時，戴奧辛質量流率為2.57 μg TEQ/hr；故一次起爐過程，煙囪戴奧辛排放總量，計0.902 mg TEQ。

另依本研究於正常操作期間三次採樣測定之戴奧辛排放因子平均值(127.69 ng TEQ/ton)，乘以年垃圾焚化量〔2003年該廠垃圾焚化量336904噸〕，其煙囪戴奧辛排放量，全年為43.019 mg TEQ，故每一次起爐過程產生之戴奧辛量佔全年排放戴奧辛總

量之2.10%，若依該廠2003年起爐12次，停爐12次計，則起爐操作排放之戴奧辛，約增加戴奧辛年排放總量之25.2%。

四、結論

1. 垃圾焚化爐起爐初期，低溫投料會造成管道排氣中大量生成戴奧辛，其濃度〔117 ng-TEQ/Nm³〕高達正常狀況之41倍。
2. 起爐過程對戴奧辛生成與排放之衝擊，會延續45小時以上。亦即即使爐膛溫度已達900°C，垃圾焚化之燃燒效率與戴奧辛排放之變化，仍需操作一段較長時間，燃燒系統才會穩定。
3. 起爐過程前21小時之樣本顯示，起爐初期之戴奧辛生成量會超過 APCD 之最大污染負荷量，並導致煙囪排氣戴奧辛濃度，超過環保署之管制標準(0.1 ng-TEQ/Nm³)。
4. 研究結果顯示，APCD 對戴奧辛之去除效率亦隨起爐過程逐漸提升。
5. 起爐初期洗煙塔入口大量生成之戴奧辛，會經由袋濾式集塵器捕集去除，並生成較高濃度戴奧辛之集塵灰。
6. 一次起爐過程，煙囪戴奧辛排放總量，計0.902 mg TEQ。佔全年正常操作排放總量(43.019 mg TEQ) 之2.10%。若全年起、停爐以12次計，則對戴奧辛年排放總量之衝擊，超過25%。mg TEQ) 之2.10%。若全年起、停爐以12次計，則對戴奧辛年排放總量之衝擊，超過25%。

誌謝

本研究感謝台北市政府環保局之經費補助（計畫編號：PT92-127）與技術協助。本論文內容為研究人員個人意見，不代表台北市政府環保局之看法。

參考文獻

1. 台灣地區垃圾資源回收廠興建工程計畫。<http://ww2.epa.gov.tw/swims/> (2004)。
2. Gass, H.C., Luder, K., Wilken, M., “PCDD/F-emissions during cold start-up and shut-down of a municipal waste incinerator”, *Organohalogen Compounds*, 56, pp.193-196. (2002)。
3. Hunsinger, H., Seifert, H., Jay, K., “Formation of PCDD/F during start-up of MSWI”, *Organohalogen Compounds*, 63, pp. 412-415. (2003)。
4. 台北市政府環境保護局內湖垃圾焚化廠“都市垃圾焚化爐重金屬排放係數之初步探討”研究報告，台北市(1997)。
5. 台北市政府環境保護局北投垃圾焚化廠“焚化操作後戴奧辛重金屬等污染物排放移跡與材料關係使用控制調查分析報告”研究報告，台北市 (2000)。

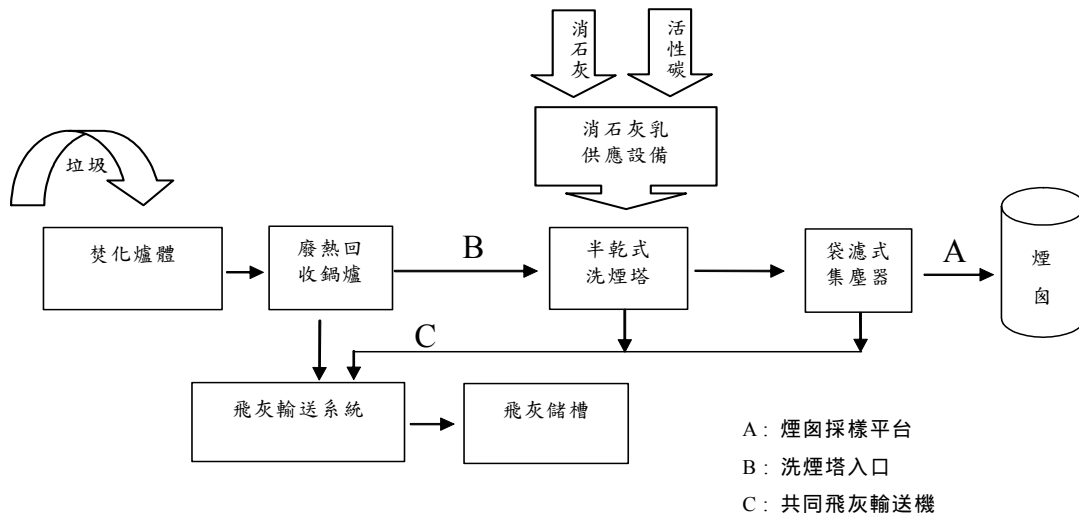


Figure 1 Plant scheme and sampling locations

Table 1 PCDD/F concentrations and emission factor in the different phases of a start-up procedure at the inlet of semi-dry scrubber

項目	單位	洗煙塔入口採樣時間〔起爐後〕					
		10 小時	21 小時	45 小時	90 小時	210 小時	378 小時
PCDDs	ng-TEQ/Nm ³	36.4	5.07	1.76	0.930	0.921	0.669
PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	80.3	11.3	4.14	1.79	2.54	1.77
ratio PCDD/PCDF	比值	0.453	0.448	0.426	0.521	0.362	0.379
PCDDs+PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	117	16.4	5.90	2.72	3.46	2.44
排放因子 (EF)	μg TEQ/ton	684.48	141.04	46.04	17.88	31.94	17.31

Table 2 PCDD/F concentration and emission factor in the different phases of a start-up procedure in flue gas of stack

項目	單位	煙囪採樣時間〔起爐後〕					
		10 小時	21 小時	45 小時	90 小時	210 小時	378 小時
PCDDs	ng-TEQ/Nm ³	0.423	0.040	0.012	0.005	0.004	0.006
PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	0.87	0.07	0.02	0.007	0.006	0.008
ratio PCDD/PCDF	比值	0.484	0.600	0.675	0.687	0.742	0.746
PCDDs+PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	1.30	0.106	0.029	0.012	0.010	0.014
排放因子 (EF)	ng TEQ/ton	6248.72	601.61	169.47	70.21	71.97	79.06

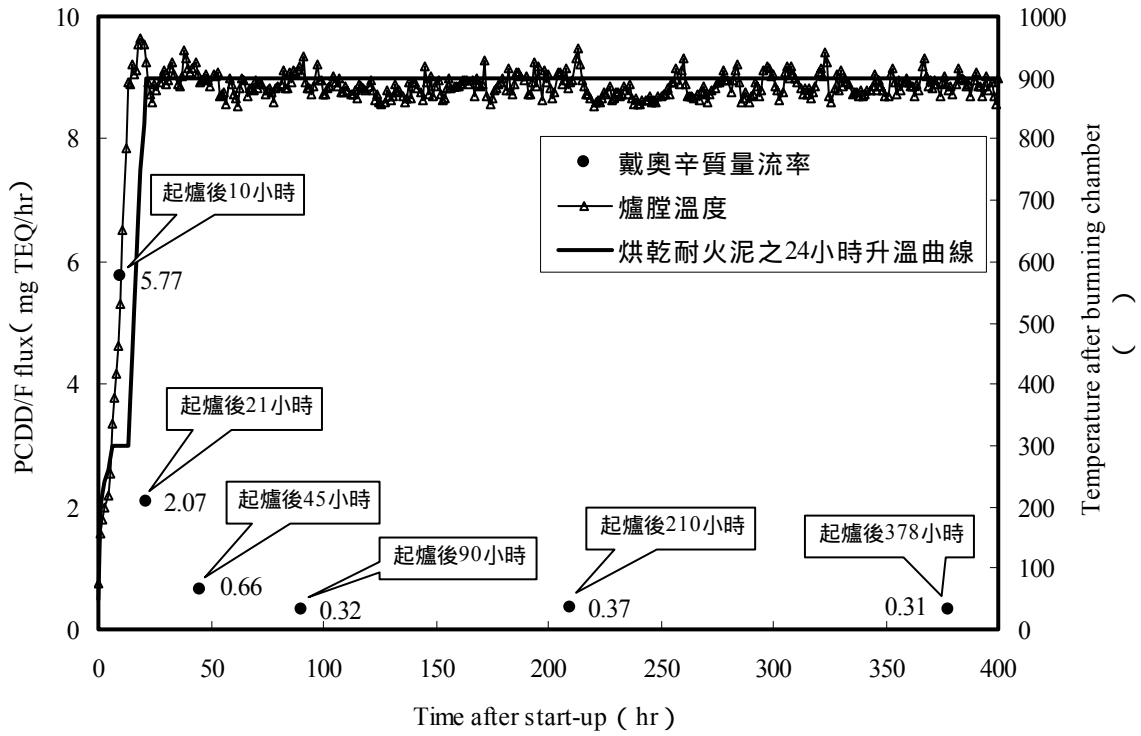


Figure 2 PCDD/F flux (mg-TEQ/hr) in the different phases of a start-up procedure at the inlet of semi-dry scrubber

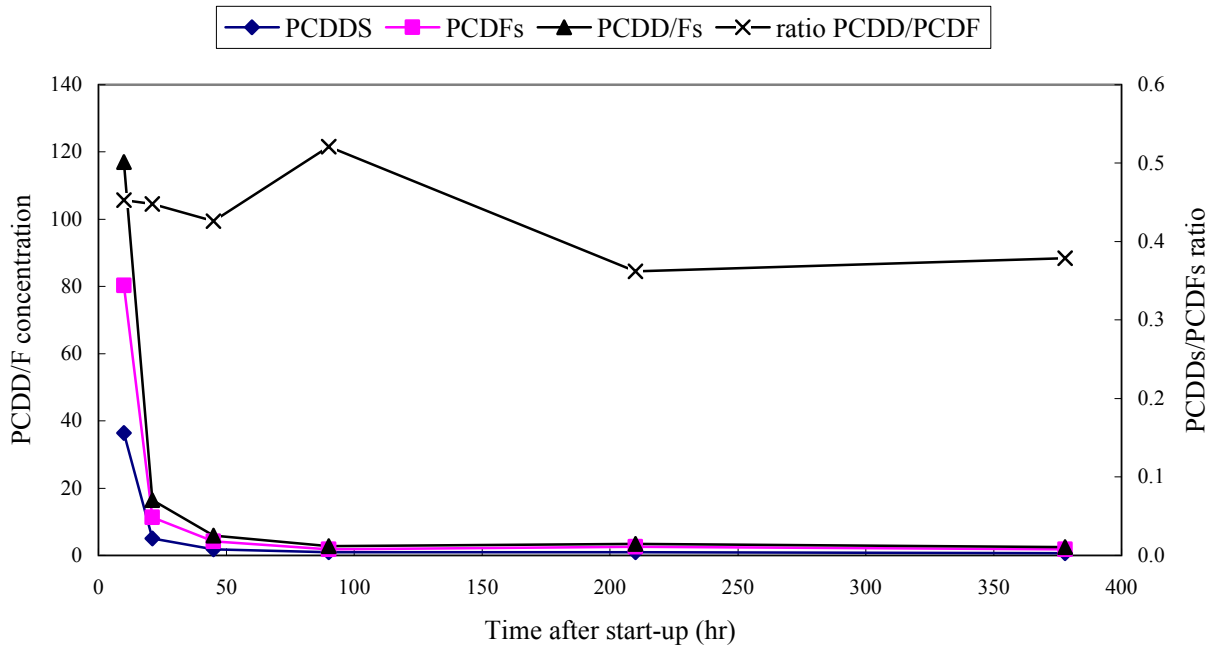


Figure 3 PCDD/F concentrations (ng-TEQ/Nm³ at 11% O₂) and PCDDs/PCDFs ratio in the different phases of a start-up procedure at the inlet of semi-dry scrubber

都市垃圾焚化爐停爐過程對戴奧辛 生成與排放之影響

廖啟承 林奇剛 秦孝偉 鄧家基

東南技術學院環境安全系

摘 要

選定一大型都市垃圾焚化爐，於停爐前17小時、停爐後1小時、以及停爐後且關閉消石灰與活性碳1小時（停爐後6小時）三個階段，分別進行管道（洗煙塔入口）排氣和煙道排氣之戴奧辛採樣與分析。三個階段之戴奧辛，洗煙塔入口排氣分別為1.37、2.06、61.9 ng-TEQ/Nm³，煙道排氣分別為0.022、0.014、0.788 ng-TEQ/Nm³。APCD 去除戴奧辛效率分別為98.4、99.3、98.7%。停爐過程之爐膛溫度與 CO₂濃度可作為初步判斷戴奧辛生成濃度之重要指標。一次停爐過程產生0.101 mg-TEQ 戴奧辛，占年戴奧辛排放量之0.23%。

關鍵字: 戴奧辛，焚化爐，停爐

壹、前言

固體廢棄物的處理是現代化社會愈來愈重要的議題，過多的垃圾產量代表資源未能有效的利用，對都市環境及垃圾處理設施的安全操作都造成更大壓力。台北市的垃圾處理政策，正朝向垃圾減量、資源回收及垃圾焚化回收資源及廚餘堆肥等優先順序之策略方向積極推動。歐美等先進國家近年來，亦基於資源有效利用及垃圾處理之安全性等考量，而將防止垃圾產生及再利用、回收與堆肥等垃圾管理措施，列為國家處理垃圾之優先方向，儘量不採用垃圾焚化及衛生掩埋等方式。台北市目前仍然操作垃圾焚化廠處理垃圾問題，乃是不得以的選擇，如何消除市民大眾對垃圾焚化廠的安全疑慮，以及污染排放可能造成的健康問題，實為當務之急。雖然過去五年中，北市垃圾焚化廠的污染排放總量已大幅減少（例如，戴奧辛排放標準加嚴，控制設備更新改善，操作、監測、管理透明化等措施），但繼續研究找出污染排放減量的操作管理策略與方法，則屬絕對必要的。

垃圾焚化爐煙道廢氣若燃燒品質不良，將導致戴奧辛之高生成率，本研究之大型都市垃圾焚化爐，不論在爐體設計、有效燃燒管控設備、或空氣污染防制設備，正常

操作期間，煙道廢氣幾乎都可達到完全燃燒，大幅降低戴奧辛濃度，歷年之戴奧辛檢測濃度，遠低於目前環保署訂定之管制標準 0.1 ng-TEQ/Nm^3 。2000年發行「垃圾焚化和公眾安全」一書[1]，探討焚化所排放的污染物、暴露和健康風險之間的關聯性，結論中提及：訓練良好的員工適當操作的現代化焚化爐，對公眾健康的造成的風險是微乎其微。然而因舊式的設計、或人為錯誤、設備故障等，造成短時間內產生較正常值高的排放量，值得更進一步的研究。起爐和停爐時的污染物排放量可能比一般正常運轉期間更高時，需有較完整的起爐和停爐時的污染物排放數據。來自維修問題、意外發生、進料組成的突然改變、和不良的焚化條件管理，皆會突然增加排放的污染物。顯見垃圾焚化廠在異常運轉過程（包括起爐及停爐）會因燃燒效率降低，產生不完全燃燒產物[2-4]，包括戴奧辛，造成焚化廠附近居民感覺不安，甚至憂心異常運轉時之污染排放對健康與環境影響。本研判因此探討停爐過程排氣中戴奧辛濃度變化，並推估其對周遭環境之衝擊。

貳、實驗方法

本研究選定一大型都市垃圾焚化爐，於停爐前17小時、停爐後1小時、以及停爐後且關閉消石灰與活性炭1小時（停爐後6小時）三個階段，分別進行管道（洗煙塔入口）排氣和煙道排氣之戴奧辛採樣與分析。採樣及分析方法主要參考環保署公告之標準方法：(1)排放管道中戴奧辛及呋喃採樣方法。煙道排氣粒狀物與氣狀物之戴奧辛及呋喃以等速的方式被抽取，經採樣管、濾紙及充填於吸附管之吸附劑進行收集。採樣完成後，採樣管線依序以丙酮、二氯甲烷及甲苯清洗，執行樣品回收。(2)排放管道中戴奧辛及呋喃檢驗方法。排放管道中戴奧辛及呋喃收集於包含 XAD-2吸附管、玻璃纖維濾紙及相關之採樣頭洗滌溶劑樣品中，再經由萃取濃縮淨化完全後，利用 ^{13}C -同位素標幟稀釋法，經氣相層析儀分離，以高解析質譜儀分析，測定17項2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃之總毒性當量濃度。所有數據皆符合方法之品管要求。

參、結果與討論

停爐過程中三個階段之排氣中戴奧辛，如表1所示。停爐前、停爐後、以及關閉活性炭閥三個階段，洗煙塔入口之管道排氣戴奧辛濃度，分別為：1.37, 2.06, 61.9 ng-TEQ/Nm^3 ，顯示停爐過程中垃圾焚化爐之戴奧辛生成量，比正常運轉期間高，尤其在後階段，遠高於停爐初期。此一特殊現象，應於垃圾焚化爐操作過程中，特別加強管理控制；另外，煙道排氣戴奧辛濃度，分別為：0.022, 0.014, 0.788 ng-TEQ/Nm^3 ，顯示雖然停爐初期焚化爐產生較多之戴奧辛，但經過空氣污染防制設備（APCD），煙道排氣之戴奧辛濃度，仍然符合環保署之管制標準（ 0.1 ng-TEQ/Nm^3 ）。然而停爐後階段煙道之戴奧辛排放，遠超過管制標準。其原因可能是洗煙塔入口之戴奧辛濃度（ 61.9 ng-TEQ/Nm^3 ）太高，已超過 APCD 之負荷量，無法更進一步降低煙道之戴奧辛排放濃度。初步結果顯示，停爐前、停爐後、以及關閉活性炭閥三個階段，APCD 對戴奧辛之去除率分別為：98.4%，99.3%，98.7%。

詳細分析本次停爐過程中之管道、煙道排氣中戴奧辛濃度，可進一步發現：

- (1)停爐後一小時，洗煙塔入口之 PCDDs，PCDFs，與 PCDDs + PCDFs，均比正常運轉時洗煙塔入口之 PCDDs，PCDFs，與 PCDDs + PCDFs 多，但煙囪之 PCDDs，PCDFs，與 PCDDs + PCDFs 反而較少。
- (2)停爐後階段，關閉活性碳+消石灰時，不論洗煙塔入口或煙囪之 PCDDs，PCDFs，與 PCDDs + PCDFs，均比正常運轉及停爐過程初期（停爐後一小時）高很多。
- (3)停爐過程燃燒效率低，操作條件差，產生之 PCDDs 與 PCDFs 濃度較高，但若妥善操作 APCD，煙道廢氣之戴奧辛濃度仍可加以控制。
- (4)關閉活性碳+消石灰會導致煙道排氣之 PCDDs 與 PCDFs 濃度失控，大幅增加。
- (5)正常運轉、停爐初期、與停爐後階段之 PCDD/PCDF 比例，在洗煙塔入口分別為：0.36，0.566，0.792；煙囪位置分別為：0.646，0.737，0.651。符合低溫階段，PCDDs 較易形成，且傾向形成低氯數之 PCDDs。正常運轉期間，則 PCDDs/PCDFs 比例會降低，戴奧辛成份中，PCDFs 比例會增多。

停爐過程採樣期間之焚化爐操作條件如表2所示。停爐後1小時之採樣期間，爐膛溫度為：823-644，比正常運轉（920-908）期間低，鍋爐入口溫度、鍋爐出口溫度也都比正常運轉期間低，而同一時間，廢氣中之 CO₂濃度（9.71-10.00 ppm）比正常運轉期間 CO₂濃度（6.88-7.32 ppm）高，這可能是導致停爐後1小時，洗煙塔入口之戴奧辛濃度（2.06 ng-TEQ/Nm³）比正常運轉期間（1.37 ng-TEQ/Nm³）高的重要操作因素。若檢視停爐後6小時之測試之結果，爐膛溫度、CO₂濃度、與戴奧辛濃度，三者之間之關聯性則更明顯。停爐後6小時，爐膛溫度更低，CO₂濃度如預期升高（高達400-395 ppm），此時測得洗煙塔入口之戴奧辛濃度，竟高達61.9 ng-TEQ/Nm³。由以上之分析，可初步判斷，垃圾焚化廠停爐過程燃燒溫度降低，會導致戴奧辛生成濃度增加，而燃燒產生之 CO₂濃度與戴奧辛生成濃度具高度關聯性，停爐過程之爐膛溫度與 CO₂濃度可作為初步判斷戴奧辛生成濃度之重要指標。

停爐過程中，由於垃圾投入停止，無法計算每噸垃圾之戴奧辛排放量，而以戴奧辛質量流率表示排放量，於停爐過程中於 APCD 前，戴奧辛質量流率於停爐前17小時、停爐後1小時及停爐後6小時（消石灰、活性碳閥關閉1小時），分別為149 μg TEQ/hr、140 μg TEQ/hr 及707 μg TEQ/hr，停爐過程煙囪之戴奧辛排放量推估，則採20小時為一完整之停爐過程，整個停爐過程煙囪之總戴奧辛排放量推估分為二階段計算：第一階段為垃圾停止投入至停爐後六小時（停爐階段第二次採樣），計6小時，戴奧辛質量流率為795.56 ng TEQ/hr，第二階段為停爐後六小時至停爐後20小時，計14小時，戴奧辛質量流率為6598.16 ng TEQ/hr；上述二階段之戴奧辛質量流率乘以各階段時間之相加總和，即為一次停爐過程戴奧辛產生量，計0.097 mg TEQ，則一次停爐過程所產生之戴奧辛量占每年之戴奧辛產生量之0.23%。

肆、結論

本研究選定一大型都市垃圾焚化爐，於停爐前17小時、停爐後1小時、以及停爐後且關閉消石灰與活性碳1小時（停爐後6小時）三個階段，分別進行管道（洗煙塔入口）排氣和煙道排氣之戴奧辛採樣與分析。三個階段之戴奧辛，洗煙塔入口排氣分別為1.37、2.06、61.9 ng-TEQ/Nm³，煙道排氣分別為0.022、0.014、0.788 ng-TEQ/Nm³。

APCD 去除戴奧辛效率分別為98.4、99.3、98.7%。停爐過程之爐膛溫度與 CO 濃度可作為初步判斷戴奧辛生成濃度之重要指標。一次停爐過程產生0.101 mg-TEQ 戴奧辛，占年戴奧辛排放量之0.2%。本研究建議從：（1）提升污染防制設備效率；（2）採逐步停爐一方面停止投料並維持高溫焚化（>850）使不完全燃燒物質及戴奧辛濃度減少；（3）研究儘速降低爐膛溫度方法，以減少爐膛再合成溫度區域等三方面著手，持續努力降低戴奧辛排放量。

誌 謝

本研究感謝台北市政府環保局之經費補助（計畫編號：PT92-127）與技術協助。本論文內容為研究人員個人意見，不代表台北市政府環保局之看法。

參考文獻

1. Waste Incineration and Public Health: Report on the Committee on Health Effects of Waste Incineration. (1999)National Academy Press: Washington, DC.
2. Gass, HC, Luder, K, Wilken, M (2002) PCDD/F-emissions during cold start-up and shut-down of a municipal waste incinerator. *Organohalogen Compounds* 56: 193-196.
3. Hunsinger, H, Seifert, H, Jay, K (2003) Formation of PCDD/F during start-up of MSWI. *Organohalogen Compounds* 63: 412-415.
4. 焚化操作後戴奧辛重金屬等污染物排放移跡與材料關係使用控制調查分析報告 (2000)，台北市政府環境保護局北投垃圾焚化廠。

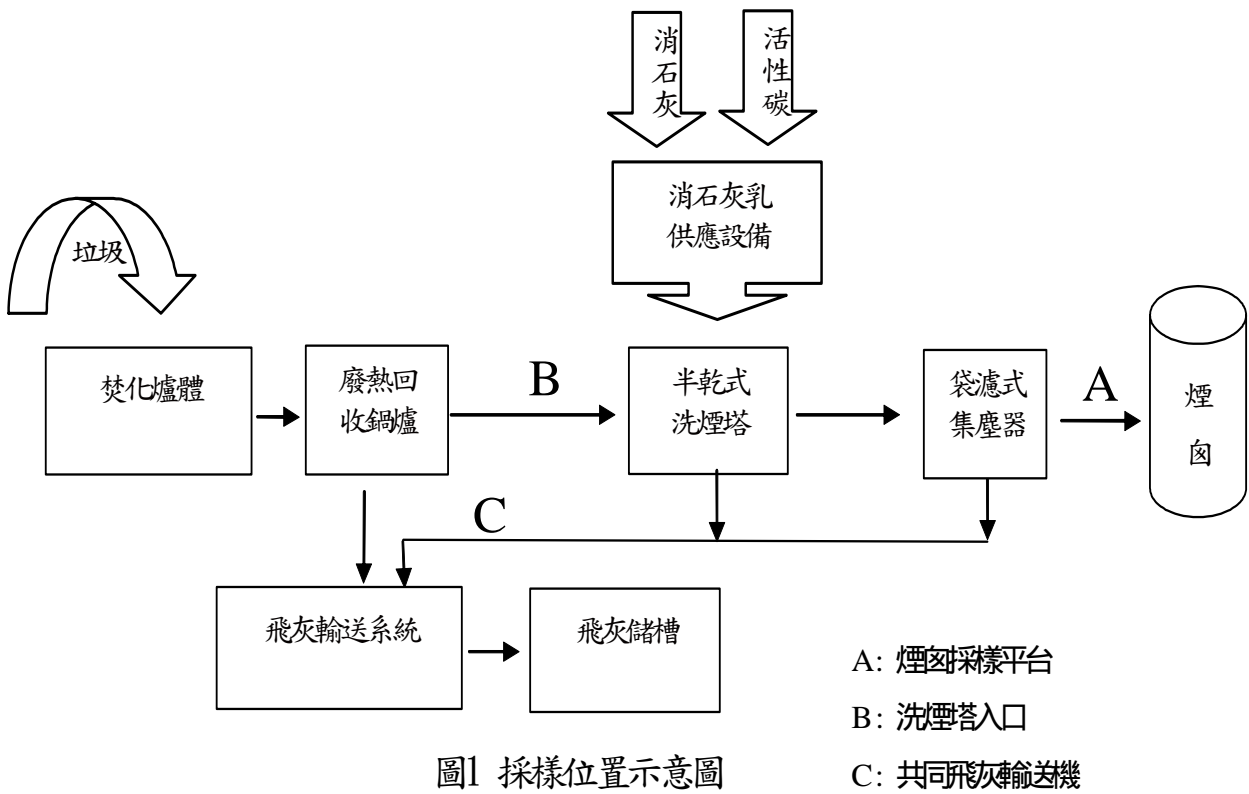


圖1 採樣位置示意圖

表1 停爐過程排氣中戴奧辛濃度

操作模式		正常運轉		停爐後1小時		停爐後6小時	
項目	單位	洗煙塔入口	煙囪	洗煙塔入口	煙囪	洗煙塔入口	煙囪
採樣體積 (Nm ³)		1.378	3.343	0.925	2.195	0.606	1.072
O ₂ 含量 (%)		9.1	9.8	10.1	11.4	18.4	19.4
CO ₂ 含量 (%)		10.1	9.6	9.5	8.1	1.8	1.0
排氣平均流速 (m/s)		14.4	9.6	8.9	5.4	5.4	4.1
排氣平均溫度 ()		208.0	152.4	181.1	145.6	183.0	154.9
等速吸引百分率 (%)		99	100	101	95	95	93
PCDDs	ng-TEQ/Nm ³	0.363	0.009	0.744	0.006	27.4	0.311
PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	1.01	0.013	1.32	0.008	34.6	0.477
PCDD/PCDF		0.360	0.646	0.566	0.737	0.792	0.651
PCDDs+PCDFs	ng-TEQ/Nm ³	1.37	0.022	2.06	0.014	61.9	0.788

表 2 停爐過程中採樣期間之焚化爐操作條件

焚化操作	投入垃圾量 (噸)	爐膛溫度 ()	鍋爐入口 溫度 ()	鍋爐出口 溫度 ()	洗煙塔入口 溫度 ()
正常運轉	67.72	920-908	539-533	317-314	212-209
停爐後1小時	0	823-644	447-380	282-278	190-186
停爐後6小時	0	312-179	250-180	261-237	209-181

結合平衡計分卡與資料包絡分析 提升銀行代償績效之研究

李南賢¹ 陳彤生²

¹東南技術學院企業管理系教授兼系主任

²東南技術學院企業管理系講師

摘 要

代償中心 (Subrogate-Hub) 乃是銀行客服中心之延伸, 由多家銀行授權成立的外包中心。它挑選最適合的貸款專案, 貸款給負債者並將負債者之債務 (現金卡、信用卡債、信用貸款、二胎房貸等) 整合由一家銀行承辦並降低每月應繳金額。代償中心由多家銀行共用平台、共用機制、共用帳務及共用資料, 它可增加業務營收、提昇服務品質、增進員工生產力、迅速及正確傳達資訊、減少營運成本, 已成為現代銀行代償的主流; 它能延伸企業版圖, 帶給銀行不同層次的巨大優勢。

一般經營績效的衡量有 (1) 財務比率分析法; (2) 生產力衡量法; (3) 平衡計分卡法; (4) 多目標決策等四種方法。其中平衡計分卡 (Balanced Scorecard, BSC) 理論藉由四大構面(財務、顧客、內部流程, 學習成長)分析, 採用多元整合的衡量方式, 以達成有效的策略管理與績效評估。

多目標決策法以資料包絡分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 最常用, 適於有效比較多服務點之多投入產生多產出(如服務)之相似服務。不需算出每一服務之標準成本, 它將多投入及多產出置於效率比之分子及分母而不用轉換為金錢。如此 DEA 量度不同投入及產出組合, 且以作業比或利潤更易被了解及更可靠地得出結果。

DEA 是一線型規劃 (Linear Programming) 模式使一服務點效率最大化, 以產出對投入比值表示, 與群組內傳遞相似服務之相似服務點作比較, 在處理過程, 某些服務點與其他相對效率服務點比較為100%, 而其他服務點之效率比則低於100%。將相對效率最佳者組成一包絡線, 稱為效率邊界 (Efficiency Frontier); 而不落在包絡線之服務點, 可依各點與包絡線前緣之距離以衡量無效率程度。

本研究結合 BSC 及 DEA 比較代償中心幾個服務點, 以指出較無效率者, 量度較無效率者之值, 發現那方面較無效率。且與利潤結合, 以灰關聯及 DEA 效率分析輔助平衡計分卡對多服務點之服務作策略規劃。

關鍵詞：平衡計分卡、資料包絡分析、代償、策略矩陣、灰關聯

ABSTRACT

Subrogate Center is the critical success factors of QR&ECR, the foundation of Global Logistics and the commissary mainstay of E-Commerce. It has the advantage of Generate Revenue、Improve Service、Increase Staff Productivity、Deliver Timely, Accurate Information and Reduce Costs. To tell the truth, it is the right tool to extend the business territory and bring out the huge superiority.

There are Four popular approaches for measuring management performance, the financial ratio analysis, the productivity evaluation, balanced scorecard and the multi-criteria decision model. Balanced Scorecard(BSC), a comprehensive strategic management tool, encompasses both financial and non- financial measures. Managers can obtain information about how their organizations have fared in integrating their vision and strategies with the organizational performance based on specific metrics

Data envelopment analysis (DEA) is one of the multi-criteria decision model which has the ability to compare the efficiency of multiple service units that provide similar services by explicitly considering their use of multiple inputs (i.e., resources) to produce multiple outputs(i.e., services).It circumvents the need to develop standard costs for each service, because it can incorporate multiple inputs and multiple outputs into both the numerator and the denominator of the efficiency ratio without the need for conversion to a common dollar basis. Thus, the DEA measure of efficiency explicitly accounts for the mix of inputs and outputs and, consequently, is more comprehensive and reliable than a set of operating ratios or profit measures.

DEA is a linear programming model that attempts to maximize a service unit's efficiency, expressed as a ratio of outputs to inputs, by comparing a particular unit's efficiency with the performance of a group of similar service units that are delivering the same service. In the process, some units achieve 100-percent efficiency and are referred to as the relatively efficient units, whereas other units with efficiency ratings of less than 100 percent are referred to as inefficient units. Taking this information, the linear programming model determines the efficiency frontier on the basis of those few units producing at 100 percent efficiency. Areas for improvement can be identified by comparing the operating practices of efficient units with those of less efficient units.

The study use BSC and DEA to compare a group of Logistics service units to identify relatively inefficient units, measure the magnitude of the inefficiencies, and by comparing the inefficient with the efficient ones, discover ways to reduce those inefficiencies. When combined with profitability, DEA efficiency analysis can be useful in strategic planning for services that are delivered through multiple service units.

Keyword : Balanced Scorecard、DEA、Subrogate、Strategic matrix、Grey Relation

壹、緒論

1-1. 研究背景與動機

信用卡餘額代償為一種信用額度之利用方法，一旦使用「信用卡帳款餘額代償」服務，銀行代償之金額將全數成為「得計入循環信用本金」之一部份，並按循環信用利息規定計付利息，即持卡人應就代償款項支付自銀行撥款之日起至持卡人繳清代償款項之日，依循環信用利率計算之利息。

依據財政部金融局統計截至91年為止，台灣地區流通信用卡量有3千1百萬張，約7百萬人所持有，平均每人擁有4.4張信用卡。在所有的簽帳金額中，有1/3來自循環信用，其中有15%的持卡人每月使用。

91年全年台灣簽帳金額為873,596百萬，循環金額為316,328百萬，循環金額佔簽帳金額36.2%。

循環利息佔現今銀行營業收入的6%（年費/入會費/設定費/其他費用佔收入的2.4%~3%），它與一般銀行稅前淨利的-0.6%~2%比較，可知循環利息對於一般銀行之盈虧起了關鍵性的作用。

各銀行為爭食信用卡餘額代償之市場，各代償中心乃應運而生。資料包絡分析即成為熱門的資料分析工具，然而在做資料分析時，變數選取是非常重要的環。為了長期吸引顧客，持續改善顧客滿意度、增進競爭力、維持同業領先地位，以達成企業流程再造的目標，是各銀行代償中心刻不容緩的努力方向。

1.2. 研究目的

本研究由銀行代償中心業者近二年來之經營管理資料，萃取有用的特徵，先以局部灰關聯分析找出影響經營管理的關鍵變數，輔以過去的經驗，建立資料包絡分析所需有關產出與投入變數模型，利用資料包絡分析軟體 DEAP 在 Windows XP 平台進行效率分析，再以整體灰關聯分析檢驗效率分析的正确性以製作策略矩陣，來評估代償業務員的經營績效。(Chin-Tsai Lin,2002)

為使經營效率最佳化，吾人皆知20/80法則，亦即在各銀行代償中心實際營運中，常發生百分之二十的代償業務員能創造百分之八十的營業額或利潤。因此若能找出這些業務員，並有效運用行銷資源，以增強無效率業務員之效率，必可為代償中心業者創造更高之營運效能。週期性地使用資料包絡分析亦是創造一學習型組織的基礎，藉分享高效率代償業務員的服務心得可促成持續改進 (Schmittlein, 1993)。本研究將灰關聯應用於資料包絡分析之效率摘要矩陣，以改良傳統策略矩陣分類法，使效率的分類不會受主觀限制，以提升決策品質，使策略矩陣更臻實用。

1-3. 研究方法

資料包絡分析的共同點是它們都會給每一代償業務員設定一個分數。分數高的代償業務員是經營效率高的標竿，而分數低的代償業務員則需向標竿學習。

使用資料包絡分析，最重要的就是變數的選取。變數選取的適合與否，將對評估的結果影響甚鉅；本研究使用局部灰關聯以選取關鍵變數，以資料包絡分析得到衡量各代償業務員之綜合效率(Aggregate Efficiency, AE)分數、再以整體灰關聯製作出策略矩陣。

貳、文獻探討

2-1. 資料包絡分析

如何評估速食店、一銀行分行、診所或 - 分公司的生產力？量度生產力之困難有三。首先，要先知道系統的輸入及如何量度？其次，輸出及其如何量度？第三如何量度輸入、輸出間關係？

一企業生產力之量度，以工程觀點看，相似於量度系統效率，可以輸出對輸入之比說明(如汽車一加侖之哩數)。例如評估一銀行分行之作業效率，可用每一櫃員交易成本之存款比值，一分行櫃員交易成本比值若高於其他分行，則被視為無效率，但這也許是由於較複雜的交易而導致。例如一分行開一新帳戶賣 CD，則其交易比單純存款或提款要花更多時間，使用單一比值的問題是未考慮到輸出組合，亦未考慮到輸入組合。例如，某些分行除櫃員外另有自動櫃員機，此技巧會影響每一櫃員交易之成本。

巨觀量度如利潤或投資收益與整體績效量度有關，但未充份評估一服務點之作業效率。例如，我們不能下結論：一賺錢的分行一定是人員或其他輸入使用有效率，高於平均之收益交易未必是因資源有效利用。

有效比較多服務點之技巧是考慮多輸入產生多輸出(如服務)之相似服務，這技巧稱為資料包絡分析(DEA)，不需算出每一服務之標準成本，用它將多輸入及多輸出置於效率比之分子及分母而不用轉換為金錢。如此 DEA 量度不同輸入及輸出組合，且以作業比或利潤更易被了解及更可靠地得出結果。(Norman,1991; Donthu,1998)

DEA 是一線性規劃模式使一服務點效率最大化，以輸出對輸入比值表示，與群組內傳遞相似服務之相似單元作比較，在處理過程，某些單元與其他相對效率單元比較為100%，而其他單元之效率比則低於100%。企業管理者用 DEA 比較幾個服務點，以指出較無效率者，量度較無效率者之值，發現那方面較無效率。依據 Charnes, Cooper, Rhodes 三人發明 DEA 線性規劃模式，又稱 CCR 模式。(Charnes, A, and Cooper, W.W., and Rhodes E.,1978)

變數定義：令 E_k , $k=1,2, \dots, k$ ，為某單位 k 之效率比值， k 為評估中之單位總數，令 u_j , $j=1,2, \dots, M$ 。為輸出 j 之係數， M 為輸出總數， u_j 為輸出值單位降低引起的效率相對降低，令 v_i , $i=1,2, \dots, N$ 為輸入 I 之係數， N 為輸入之總數。 O_{jk} 為某段時間服務點 k 產生之輸出 j 之觀測數目， I_{ik} 為某段時間服務點 k 使用之輸入 i 之實際數目。觀測函數目標是找出每一輸出之係數 u 及每一輸入之係數 v ，使每一服務點有最大可能效率。

$$\max E_e = \frac{u_1 O_{1e} + u_2 O_{2e} + \dots + u_M O_{Me}}{v_1 I_{1e} + v_2 I_{2e} + \dots + v_N I_{Ne}} \quad (1)$$

其中 e 為評估單位之指標，此函數受限於 u 及 v 係數，即任何服務點皆不得超過100%效率或比值1.0限制，

$$\frac{u_1 O_{1k} + u_2 O_{2k} + \dots + u_M O_{Mk}}{v_1 I_{1k} + v_2 I_{2k} + \dots + v_N I_{Nk}} \leq 1.0 \quad k=1,2,\dots,k \quad (2)$$

其中各係數值為正且非零，用標準線性規劃軟體解此分數需先改寫，注意目標函數及各限制式皆為比值而不是線性函數，方程式(1)之目標函數改寫如下：

$$\max E_e = u_1 O_{1e} + u_2 O_{2e} + \dots + u_m O_{me} \quad (3)$$

$$s.t. v_1 i_{1e} + v_2 i_{2e} + \dots + v_n i_{ne} = 1 \tag{4}$$

對每一服務點，方程式(2)之限制改寫為

$$u_1 o_{1k} + u_2 o_{2k} + \dots + u_m o_{mk} - (v_1 i_{1k} + v_2 i_{2k} + \dots + v_n i_{nk}) \leq 0 \quad k=1,2,\dots,K \tag{5}$$

其中 $u_j \geq 0 \quad j = 1,2, \dots, M \quad v_i \geq 0 \quad i = 1,2, \dots, N$ 。

如何決定有關需作比較之服務點之樣本數目大小，分析應選擇之輸入、輸出變數數目，有關分析用的服務點數目 k 及輸入 N ，輸出 M 之關係如下：

$$k \geq 2(N + M) \tag{6}$$

2-2. 灰關聯

灰色理論適合處理數據少及不確定性的問題，所以資料包絡分析先藉由灰關聯分析 (Grey Relational Analysis) 方法來選取資料包絡分析所需之變數，以改良傳統變數的選取法處理。(Deng,1989)

灰關聯分析的主要定義與計算公式為：令 X 為灰關聯因子空間， $X_0 \in X$ 為參考序列， $X_i \in X$ 為可比較序列， $X_0(K)$ 與 $X_i(K)$ 分別表示 X_0 與 X_i 在第 K 個因子的數。若 $(X_0(K), X_i(K))$ 與 (X_0, X_i) 為實數且滿足規範性、偶對稱性、整體性、接近性四項公理 (Axiom)，則：

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \tag{7}$$

$\gamma(X_0(K), X_i(K))$ 為灰關聯係數， $\gamma(X_0, X_i)$ 為灰關聯度，一般表示為 $\gamma(X_0(K), X_i(K))$ 之平均數。若任一序列均可作為參考序列，其他序列為比較序列時，則灰關聯係數的公式：

$$\gamma(x_i(k), x_j(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \tag{8}$$

其中 $i = 1,2,\dots,m \quad j = 1,2,\dots,n$ ； X_i 為參考序列， X_j 為其比較序列。

$\Delta_{ij}(K) = |X_i(K) - X_j(K)|$ 表示參考序列與比較序列的第 K 個因子的距離。為辨識係數且 $\in (0,1)$ ，表示背景值 \max 與待測值 Δ_{ij} 的對比關係，數值之大小可依實際情況作調整。 $\gamma(X_0, X_i)$ 為灰關聯量測值，若 $\gamma(X_0, X_j) > \gamma(X_0, X_p) > \dots > \gamma(X_0, X_q)$ 等灰關聯度滿足 $\gamma(X_0, X_j) > \gamma(X_0, X_p) > \dots > \gamma(X_0, X_q)$ 關係，則可得灰關聯順序如 $X_j > X_p > \dots > X_q$ 。當 $\zeta = 1.0$ 時，會使灰關聯係數的值分佈在 0.5 至 1.0 之間；不同的 ζ 值選擇只會影響到序列間灰關聯量測值的大小。而不會改變其灰關聯度的大小排序關係。

2-3. 銀行代償

2.3.1 信用卡之交易流程

交易流程描述了 5 個信用卡業務主要包含的對象間之關係及業務。

1. 持卡人在特約商店以信用支付團費。
2. 特約商店在讀卡機上刷過信用卡磁帶，向收單行要求授權碼。
3. 收單行透過資料處理網路自發卡行取得授權碼。
4. 發卡行核准交易，經由資料處理網路，回送至收單行。

- 5.特約商拿到授權碼，印出簽單給持卡人簽名。
- 6.發卡行列印帳單給持卡人。
- 7.持卡人付款給發卡行。

例如台北銀行（發卡行）發給你一張 VISA 卡。你決定參加天海旅行社的旅遊團，並以 VISA 卡刷團費，天海旅行社即為特約商。當你以信用卡付款時，特約商必須完成以下程序：

- 1、特約商必須將你的卡片刷過讀卡機以確定這張卡沒有過期或被掛失。
- 2、特約商必須透過收單行拿授權碼。
- 3、這個訊息會透過資料處理網路到達發卡行，即台北銀行。
- 4、一旦交易核准，就會列印出簽單給你簽名，整個過程只需幾秒鐘。
- 5、特約商將簽單送到收單行，收單行將簽單總額扣除手續費（稱為 Merchant Discunt）後匯給特約商。
- 6、收單行集合所有 VISA 簽單傳送至 VISA。
- 7、透過 VISA 清算系統，發卡行將交易金額扣除 Interchange 費用後付給收單行。
- 8、台北銀行列印帳單給你。

2.3.2 循環信用分析

利息為本金、利率、期數三者之乘積，其中期數之算法有日利、月利、年利三種。依銀行法規規定，利率不得高於20%，亦不得利上利或利上費用。

- 1、持卡人如未於每月繳款期限前付清當期最低付款額或遲誤繳款期限者，除應依第3項約定計付循環信用利息，並依欠款期限長短加計逾期費用。
- 2、持卡人每期「最低付款額」為信用額度內使用信用卡交易金額之百分之二（如低於新台幣壹仟元，以新台幣壹仟元計），加上超過信用額度之全部使用信用卡交易金額，累計當期以前各期逾期未付最低付款額之總和、循環信用利息、年費、預借現金手續費、補發新卡手續費、掛失卡片手續費、調閱簽帳單手續費及其他應繳費用。
- 3、各筆循環信用利息之計算，係將每筆「得計入循環信用本金之帳款」，就前一期月結單之累積消費金額，以結帳日之次日起為起息日，而新的消費帳款，則以銀行入帳日為起息日，以日息0.05479%（即年息20%）計算，至該筆帳款結清之日止（未達一元者，四捨五入計）。

2.4 效率與效能

效率是把目前正在進行的任務作得更好，意即將事情作得更好(doing thing right)。效率與效能具有互相關聯(Sailagyi,1981)。效率的定義為投入及產出間的比例關係(Farrell,1957)，效能的定義則為一系統產出所達成預定目標之程度。(Sailagyi,1981;Rao,1998)管理者以一定之投入而創造更多的產出，或以較少之投入達成固定的產出時，正可稱之為有效率。管理者達成組織所設定的目標時，則稱之為有效能。(Sailagyi,1981)。組織所追求的目標，區分為追求效率與效能兩大類。

參、個案研究

聯合徵信中心（JCIC）為一信用查詢機構，各銀行每月須提供客戶信用資料（包括支票紀錄、貸款紀錄、信用卡紀錄、現金卡紀錄等），因各銀行更新資料時間不同，所以最多會有二個月的時間差，受到影響的包括：

- 1、信用額度 - - - 附最近一期帳單舉証
- 2、遲交紀錄 - - - 附最近一期帳單舉証
- 3、可代償金額 - - 附最近一期帳單舉証

消費者貸款是消費者(個人及家庭)為購買消費性財貨與勞務，而向金融機構或企業要求融資支付的一種貸款。

依據財政部84年9月18日台融局(二)第84733730號函規定，定義消費者貸款如下：對於房屋購置、房屋修繕、耐久性消費財(包括汽車、支付學費、信用卡循環信用及其他個人之小額貸款。

3-1. 利率分析

多家銀行信用卡部門皆發行 Visa, Master 兩大國際集團之信用卡。目前主要推行餘額代償之信用卡，主要功能是將他行高利息之信用卡及高利息之信用循環帳款轉貸至本銀行以降低利息支出，茲試算利率如下表

表1 利率試算表

循環 本金	他行年息 20%	某銀行前半年 年息2.69%	某銀行每月本 金只需繳2%
50,000	833	112	1,000
80,000	1,333	179	1,600
100,000	1,667	224	2,000
120,000	2,000	269	2,400
150,000	2,500	336	3,000
180,000	3,000	404	3,600
200,000	3,333	448	4,000
250,000	4,167	560	5,000

經過利率分析之後，接著我們就要開始來發展銀行的代償辦卡。過卡率以軍公教、傳媒(電視、廣播、唱片)、證券及投顧、教育、醫院及診所、出版社較整體平均過卡率高。傳統行銷策略是由4P 開始發展，但因現代行銷的特性是重視顧客，經由服務的改善與可持續的顧客關係之發展通常會帶來很好結果，故現代行銷策略的發展似應重視4P+4C 工具。(Gronroos, 2001)

3-2. 電話行銷

電話行銷已逐漸成為直效行銷的主要工具。有效的電話行銷有賴於甄選合適的電話行銷人員，對其作好訓練工作，及提供鼓勵因素給高績效者。電話行銷人員應具有悅耳的聲音及散發熱情的氣息，若遣辭造句、意調都是誠懇的，電話禮儀又能很自然的流露出來，一定能敲動顧客的心。

對許多產品銷售，女性要比男性更有效。電話對象因層次複雜，說話內容需有豐富的常識和專業知識，掌握說話的藝術，才能漸次導入正題。電話行銷人員剛開始可以廣播原稿來訓練，最後則將訓練重點轉移至即興的創作能力。如果對方似乎不是一個好的對象，則電話行銷人員應懂得如何結束這段會話。(Kotler, 2001)

推銷代償辦卡的對象，依繳款、呆帳分析知女性比男性好且單身女性比已婚女性好。男性年齡以28~38歲較好，女性年齡以24~38歲較好。

代償中心業者在行銷方面應與銀行密切合作，將實務資料及所遭遇問題提供給銀行。銀行則以層次分析、集群分析、灰關聯、自力更生法、吉尼法與貝氏分類模式，以精確預測消費者行為及區隔市場，提供代償中心業者制訂行銷策略。(Michael and Gordon, 2000)

肆、實證分析

4.1 變數選取分析

DEA 方法的使用，最重要的就是變數的選取。變數選取的適合與否，將對評估的結果影響甚鉅；因 DEA 乃基於柏拉圖最適準則，評估的變數不能過多，否則績效衡量的效度將降低；依 CCR 建議，接受評估之樣本數目應大於或等於評估變數之數目的2倍。

由於本研究目的之一在於建立一套能夠評估代償業務員績效的系統，藉此使能減少每年一次績效競賽的成本，因此本研究選取的對象即每年皆有績效競賽之代償中心，而投入變數包括人工小時、產能等級、撥出通數、每通平均時間。產出變數包括總交件數、總過件數、總過卡數、總過件金額和滿意度。且以變數代號 IP 代表投入(Input)，OP 代表產出(Output)，見表2。

4.2 DEA 結果摘要分析

DEA 結果列於表3，表3服務點代表20個受評估代償業務員，以效率值 E 由小至大(0.631~1)排序，可知效率值等於1的業務員包括1,2,5,7,8,9,10,11,13,14,15,16十二個業務員。第3欄參考點表示非效率業務員所應參考之標竿，例如業務員3應參考業務員13,9；業務員7應參考業務員10,13,9。第5欄被參考次數愈多表示強勢效率業務員，例如業務員13,9皆是強勢效率業務員。第6欄相對參考值表示參考點之權重，其說明如表4。

表4是計算代償業務員3使用投入資源超出及產出短少之計算，計算時需用到表3最右一欄即相對參考值，例如由表3知業務員3的參考點是業務員13,9，其相對參考值分別是0.208及0.722，則表4以此兩個相對參考值分別乘以參考點之產出及投入數值，加總後得到組合參考點這一欄之值。再與受評估業務員之產出及投入數值相比較，得到表4最右一欄即投入資源超出(或產出短少)之值。

由表4最右一欄知：業務員3若要變為有效率的服務點，它應減少投入資源(人工小時減少0.3124小時、產能等級減少0.3574單位、撥出通數減少0.3185單位、平均時間減少0.0744單位)；或提昇產出(總交件數增加-0.0010、總過件數增加0.3727、總過卡數增加-0.001、總過件金額增加0.5320和滿意度增加0.5660)，如此業務員3即可如標竿業務員13,9一樣變為有效率的服務點。

表5可用來檢驗圖1。由表6知： $(X_{10}, X_{15})=0.80$ ， $(X_{15}, X_{10})=0.80$ ，即 $\gamma_{10,15}$ 之灰關聯度為0.80； $(X_{10}, X_1)=0.58$ ， $(X_1, X_{10})=0.53$ ，即

$\gamma_{1,10}$ 之灰關聯度為0.555, 因 $\gamma_{10,15}$ 之灰關聯度大於 $\gamma_{1,10}$ 之灰關聯度, 表示服務點10,15較接近, 意即應置於效率值分類之同一區域; $(X_{12}, X_7) = 0.85$, $(X_7, X_{12}) = 0.85$, 即 $\gamma_{12,7}$ 之灰關聯度為0.85; $(X_7, X_2) = 0.46$, $(X_2, X_7) = 0.46$, 即 $\gamma_{7,2}$ 之灰關聯度為0.46, 因 $\gamma_{12,7}$ 之灰關聯度大於 $\gamma_{7,2}$ 之灰關聯度, 表示服務點12,7較接近, 意即應置於效率值分類之同一區域。

4.3 DEA 策略分析

與利潤結合, DEA 效率分析對多服務點之服務策略規劃極有用(如代償業務員)。圖1表示由合成效率及利潤之四種可能之矩陣。(Fitzsimmons,2001)

先看矩陣左上方(即未發揮之潛力業務員)。顯示該業務員作業缺效率但仍賺錢, 故極具潛力, 若更有效率地作業則可獲更大利潤。

標竿業務員位於右上方(明星業務員), 這些高利潤, 有效率點在作業效率及行銷成功方面足可作其他業務員觀摩以產生較高營業額。

右下方(即應改變投資)含高效率但低利潤之點, 這些點也許因教育訓練錯誤, 而限制了利潤, 應出售以從事另一領域。

左下方象限之點不知應採何策略, 若是利潤潛力極有限, 即使投資且有效作業亦會導致未來的裁撤。

圖2 表示由合成效率所得之四種可能之 Norman 效率值分類。規則如下: (Norman and Stocker,1991)

1. 強勢效率單位: 效率值等於1, 被參考的次數大於5次。顯示該業務員不但作業有效率且有效能, 故為標竿業務員。
2. 邊緣效率單位: 效率值等於1, 被參考的次數小於5次。
3. 邊緣非效率單位: 效率值小於1, 但大於0.95, 應改善產出與投入, 將效率值提昇至1。
4. 明顯非效率單位: 效率值小於0.95。

圖3為灰關聯效率值分類圖, 表示由合成效率所得之四種可能之灰關聯效率值分類。規則如下: (本研究)

1. 先依表3第2欄各服務點之效率值 E 由小到大排列。
2. 再依表3第5欄各服務點之被參考次數由小到大排列。
3. 計算表3第4欄(即將各相鄰服務點作兩兩比較算出灰關聯值)。
4. 找出關鍵灰關聯值: 關鍵值之定義為其值必須既小於其前一值, 且小於其後一值, 例如 $\gamma_{7,2} = 0.46$ 既小於其前一值 $\gamma_{12,7} = 0.85$, 又小於其後一值 $\gamma_{2,5} = 0.54$, 故知 $\gamma_{7,2}$ 為關鍵值, 關鍵值意即類別分割點。
5. 將關鍵值對應之服務點作分割: 例如 $\gamma_{7,2}$ 對應之服務點為7,2, 故將7及2劃分為不同之類別。
6. 因關鍵值包括 $\gamma_{20,3}$ 、 $\gamma_{7,2}$ 、 $\gamma_{1,10}$: 故得劃分為4個不同之類別。

伍、結論

資料包絡分析是一線型規劃模式，藉量度各服務點之效率以決定內部標竿之效率邊界。資料包絡分析可分享一組織的信仰與價值觀，藉此可引導企業內的員工制定行為規範和決策。

本研究將灰關聯應用於資料包絡分析之效率摘要矩陣，以改良傳統策略矩陣分類法，使效率的分類不會受主觀限制，以提升決策品質，使策略矩陣更臻實用。

金融銀行可以利用不同代償企業間的營運資料，來建立效率評估模式，而非只用單一公司的資料。這些模式的結果，若能以整合的形式提供給外包代償企業，而不洩漏顧客在那家公司購物，則金融銀行由於提供對這些代償業務員加值服務---將大幅提升營運競爭力。

參考文獻

- [1] Charnes, A, and Cooper, W.W., and Rhodes E., Measuring the Efficiency of Decision Marketing Units, *European Journal of Operational Research*, Vol.2,pp. 429-445. 1978
- [2] Chin-Tsai Lin and Pi-Fang Hsu, Forecast Advertising Revenue for the Five Largest Media and Internet in Taiwan Using the Grey Theory and Comparison of Media Trends between Taiwan and Japan, *Journal of International Marketing Research*, 27, pp.45-55,2002
- [3] Donthu, N . and. Yoo, B., Detail Productivity Assessment Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Retailing*, 74, pp.88-92, 1998
- [4] Deng J., Introduce to Grey System Theory, *The Journal of Grey System* ,vol. 1,pp.1-24,1989
- [5] Farrel, M. J., The Measurement of Productivity Efficiency, *Journal of The Royal Statistical Society. Series A*, 120, part 3, pp. 253-281. 1957
- [6] Fitzsimmons, James A., *Service Management*, McGraw-Hill, Inc. pp. 590-596. 2001
- [7] Gronroos Christian, *Service Management and Marketing: A Customer Relationship Management Approach*, John Wiley and Sons, Inc. pp. 125-126. 2001
- [8] Kotler, Philip., *Marketing Management*, Prentice-Hall. pp. 661-662, 2000
- [9] Michael, J.A. Berry and Gordon, S. Linoff, *Mastering Data Mining*, John Wiley and Sons, Inc. pp. 111-119. 2000
- [10] Norman, N. and Stoker B., *Data Envelopment Analysis : The Assessment of Performance*, John Wiley and Sons. 1991
- [11] Rao, D.S. Prasada, Battese, and E .George.,*An Introduction to Efficiency and Productive analysis*, Kluwer Academic Publishers. 1998
- [12] Sailagyi,jr.,A.D., *Management and Performance*, New Jersey, Scott, Foresman and Company. 1981
- [13] Schmittlein, D.C, Cooper, L.G. and Morrison, D.G., Truth in Concentration in the Land of (80/20) Laws, *Marketing Science*, (Spring), 12, pp. 167-183. 1993

表2 資料包絡分析使用產出與投入相關變數

代號	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	IP1	IP2	IP3	IP4	
變數 點	總交件數	總過件數	總過卡數	總過件金額	滿意度	人工小時	產能等級	撥出通數	平均時間	
	001	1.7778	1.2105	1.2500	1.3286	1.6739	1.7926	1.6667	1.1978	1.3310
	002	1.9630	2.0000	1.7500	2.0000	2.0000	1.9096	2.0000	1.3993	1.1796
	003	1.8148	1.0526	1.5000	1.0372	1.0652	2.0000	1.6667	1.9048	1.0669
	004	1.2222	1.0000	1.2500	1.0913	1.3043	1.0000	1.6667	1.0000	2.0000
	005	1.1111	1.0000	1.2500	1.0350	1.7826	1.8670	1.0000	1.7875	1.0599
	006	1.4074	1.0000	1.0000	1.0000	1.0652	1.5319	1.0000	1.7033	1.0458
	007	1.2593	1.0000	1.0000	1.0000	1.2391	1.4734	1.3333	1.7912	1.0282
	008	1.3333	1.0526	1.0000	1.0832	1.5652	1.3564	1.0000	1.8864	1.0070
	009	2.0000	1.4737	1.5000	1.6566	1.6957	1.9574	1.3333	1.7729	1.0845
	010	1.4444	1.0526	1.0000	1.0285	1.3478	1.4202	1.0000	2.0000	1.0000
	011	1.0741	1.0000	1.0000	1.0402	1.7826	1.4149	1.0000	1.7729	1.0246
	012	1.4815	1.0000	1.0000	1.0044	1.0000	1.5319	1.0000	1.9194	1.0282
	013	1.7778	1.7368	2.0000	1.7938	1.9565	1.3191	1.6667	1.4725	1.0070
	014	1.2593	1.2105	1.5000	1.2129	1.8913	1.8989	1.3333	1.4139	1.0246
	015	1.0000	1.0526	1.0000	1.0843	1.9130	1.5213	1.0000	1.4725	1.0070
	016	1.0000	1.1053	1.2500	1.0692	1.9348	1.3617	1.6667	1.4359	1.0246
	017	1.0370	1.0000	1.0000	1.0230	1.7609	1.4628	1.6667	1.4725	1.0070
	018	1.0741	1.0526	1.2500	1.0000	1.9348	1.5319	1.6667	1.5092	1.0246
	019	1.1111	1.0000	1.0000	1.0657	1.5652	1.4202	1.6667	1.4725	1.0070
	020	1.1111	1.1053	1.2500	1.1514	1.8043	1.5426	1.6667	1.5165	1.0246

表3 代償各業務員之效率摘要矩陣(efficiency matrix)

服務點	效率值 E	參考點	灰關聯	被參考次數	相對參考值
6	0.631	9	⇨ 0.79	0	0.704
19	0.8	13	⇨ 0.96	0	0.8
17	0.9	13	⇨ 0.845	0	0.9
20	0.907	15,13	⇨ 0.69	0	0.040,0.883
3	0.931	13,9	⇨ 0.71	0	0.208,0.722
18	0.973	15,13	⇨ 0.70	0	0.043,0.947
4	0.974	1,13	⇨ 0.60	0	0.141,0.547
12	0.988	9	⇨ 0.85	0	0.741
7	1	10,13,9	⇨ 0.46	0	0.260,0.310,0.166
2	1	2	⇨ 0.54	0	1
5	1	5	⇨ 0.79	0	1
8	1	8	⇨ 0.87	0	1
11	1	11	⇨ 0.735	0	1
14	1	14	⇨ 0.835	0	1
16	1	16	⇨ 0.725	0	1
1	1	1	⇨ 0.555	1	1
10	1	10	⇨ 0.80	1	1
15	1	15	⇨ 0.62	2	1
9	1	9	⇨ 0.745	4	1
13	1	13	⇨ 0.745	7	1

表4 業務員3使用投入資源超出及產出短少之計算

產出及投入	參考點集合		組合參考點	受評估	投入超出
	業務員13	業務員9			
總交件數	$(.208)*1.7778=$	$(.722)*2=$	1.8138	1.8148	-0.0010
總過件數	$(.208)*1.7368=$	$(.722)*1.4737=$	1.4253	1.0526	0.3727
總過卡數	$(.208)*2=$	$(.722)*1.5=$	1.499	1.5	-0.001
總過件金額	$(.208)*1.7938=$	$(.722)*1.6566=$	1.5692	1.0372	0.5320
滿意度	$(.208)*1.9565=$	$(.722)*1.6957=$	1.6312	1.0652	0.5660
人工小時	$(.208)*1.3191=$	$(.722)*1.9574=$	1.6876	2	0.3124
產能等級	$(.208)*1.6667=$	$(.722)*1.3333=$	1.3093	1.6667	0.3574
撥出通數	$(.208)*1.4725=$	$(.722)*1.7729=$	1.5863	1.9048	0.3185
平均時間	$(.208)*1.0070=$	$(.722)*1.0845=$	0.9925	1.0669	0.0744

表5 代償各業務員之灰關聯分析

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X1	1.00	0.57	0.65	0.62	0.62	0.53	0.53	0.55	0.63	0.53	0.54	0.52	0.60	0.67	0.56	0.67	0.63	0.66	0.63	0.71
X2	0.62	1.00	0.58	0.43	0.54	0.47	0.46	0.46	0.67	0.45	0.48	0.45	0.71	0.65	0.53	0.58	0.54	0.58	0.52	0.56
X3	0.69	0.58	1.00	0.63	0.71	0.72	0.71	0.68	0.72	0.70	0.65	0.74	0.61	0.69	0.61	0.68	0.68	0.71	0.68	0.69
X4	0.66	0.43	0.63	1.00	0.64	0.62	0.69	0.64	0.48	0.63	0.62	0.60	0.51	0.60	0.61	0.71	0.69	0.70	0.72	0.71
X5	0.67	0.54	0.71	0.64	1.00	0.79	0.77	0.79	0.69	0.76	0.89	0.77	0.53	0.75	0.80	0.75	0.77	0.79	0.75	0.80
X6	0.58	0.47	0.72	0.62	0.79	1.00	0.87	0.84	0.59	0.86	0.84	0.93	0.53	0.65	0.81	0.67	0.76	0.74	0.76	0.71
X7	0.59	0.46	0.71	0.69	0.77	0.87	1.00	0.83	0.64	0.84	0.84	0.85	0.55	0.72	0.77	0.72	0.81	0.76	0.81	0.74
X8	0.60	0.46	0.68	0.64	0.79	0.84	0.83	1.00	0.61	0.90	0.87	0.85	0.57	0.68	0.83	0.74	0.77	0.72	0.83	0.72
X9	0.75	0.75	0.78	0.58	0.76	0.68	0.71	0.69	1.00	0.67	0.70	0.67	0.73	0.80	0.67	0.67	0.67	0.68	0.67	0.68
X10	0.58	0.45	0.70	0.63	0.76	0.86	0.84	0.90	0.57	1.00	0.85	0.89	0.55	0.64	0.80	0.69	0.76	0.71	0.78	0.69
X11	0.59	0.48	0.65	0.62	0.89	0.84	0.84	0.87	0.63	0.85	1.00	0.83	0.57	0.69	0.88	0.78	0.87	0.80	0.84	0.79
X12	0.58	0.46	0.74	0.60	0.77	0.94	0.85	0.85	0.58	0.89	0.83	1.00	0.53	0.63	0.79	0.66	0.75	0.72	0.74	0.68
X13	0.75	0.81	0.71	0.64	0.66	0.66	0.68	0.69	0.76	0.67	0.69	0.65	1.00	0.75	0.72	0.79	0.76	0.77	0.75	0.69
X14	0.80	0.74	0.78	0.71	0.83	0.75	0.80	0.77	0.82	0.74	0.78	0.73	0.74	1.00	0.82	0.84	0.80	0.84	0.79	0.72
X15	0.61	0.53	0.61	0.61	0.80	0.81	0.77	0.83	0.57	0.80	0.88	0.79	0.62	0.74	1.00	0.84	0.87	0.85	0.84	0.82
X16	0.78	0.66	0.75	0.77	0.81	0.75	0.79	0.80	0.67	0.76	0.83	0.73	0.77	0.83	0.88	1.00	0.91	0.94	0.89	0.82
X17	0.80	0.68	0.78	0.79	0.86	0.84	0.88	0.86	0.72	0.84	0.91	0.83	0.77	0.82	0.92	0.92	1.00	0.94	0.96	0.82
X18	0.70	0.58	0.71	0.70	0.79	0.74	0.76	0.72	0.60	0.71	0.80	0.71	0.69	0.75	0.85	0.92	0.89	1.00	0.85	0.82
X19	0.76	0.62	0.76	0.79	0.82	0.82	0.87	0.87	0.68	0.84	0.88	0.80	0.73	0.78	0.88	0.90	0.96	0.90	1.00	0.79
X20	0.74	0.56	0.69	0.70	0.80	0.71	0.73	0.72	0.62	0.68	0.78	0.68	0.67	0.78	0.82	0.89	0.87	0.93	0.85	1.00

利潤	高	12,4,18 未發揮之潛力業務員	13 標竿業務員
	低	3,20, 17,19,6 問題業務員	9,15,10,1,16,14,1 1,8,5,2,7 列入裁撤業務員
		低	高

圖1 DEA 策略矩陣

效率值分類	業務員代號
強勢效率單位	13
邊緣效率單位	9,15,10,1,16,14,11,8,5,2,7
邊緣非效率單位	12,4,18
明顯非效率單位	3,20, 17,19,6

圖2 Norman 效率值分類

效率值分類	業務員代號
強勢效率單位	13,9,15,10
邊緣效率單位	1,16,14, 11,8,5,2
邊緣非效率單位	7,12,4,18,3
明顯非效率單位	20,17,19,6

圖3 灰關聯效率值分類

如何以自然教學法強化觀光英語的習得

How to Enhance the Acquisition of Tourism English with Nature Approach

吳利子

Wu Li Tze

立德管理學院應用英語系副教授

摘 要

希望本研究能為教授觀光英語的老師提供一些習得觀光英語的自然法則，以便增加教學效果，另外也藉本研究協助教師瞭解學生對觀光英語在實用上的需求，目前多數大專學校將觀光英語交給英語系或觀光系老師教授，其結果各有利弊，必竟觀光英語與一般英語略有不同，它包含了一些英語系教師不太熟習的觀光專有名詞，而一些觀光系教師亦不瞭解的應用語言學中所使用的名詞，如習得第二外語理論等，需要在此說明及運用，因此本研究的重點是除了讓教師幫助學生習得一些實用的觀光英語外，也協助教師應用第二外語習得的自然法則，藉以加強教學效果，筆者認為在繁多的第二外語學習理論當中，以南加州大學教授卡新(Krashen)最為權威，外語自然學習法便是根據其理論所發展出的教學法，目前廣為各界接受，因此，筆者藉其理論應用在一些教學法上，並以學生問卷來瞭解筆者教學法之接受度及可信度。

關鍵字： 學習,習得,認知,自然學習法

Abstract

The purpose of this study is to understand what the university tourism major students' demand on tourism English for the professional field and how the teachers satisfy their demand. Since tourism English is little bit different from the general English, it contains some terminology which seems beyond the language teacher to understand. On the other hand, some of very important second language acquisition theories are also beyond the tourism teachers to acknowledge. So how to help the tourism English teachers to understand the current second language theories and put them in the practical use is the main purpose of this paper. Simultaneously, we shall also understand how to help students to acquire tourism English. Basically the acquisition of tourism English is the same as the acquisition of spoken English. The prevalent second language acquisition hypotheses are also suitable to the application of tourism English acquisition. So I use a lot of column to introduce the mainstream of current hypotheses or theories of second language acquisition which is the prerequisite to the application of the proper methods to teach tourism English. In order to teach effectively, I use various

methods trying to meet these hypotheses. Finally I utilize students' survey at the end of semester to understand whether my methods walk in the right way or not .I earnestly hope this paper will provide a little help for the teaching of tourism English .

Key words: acquisition, learning, cognition, natural approach

I. Introduction

Tourism English is a required course for university tourism major students here in Taiwan. The materials cover the hotel, travel, food , beverage and transportation. There are some of tourism terminology like F.I.T, familiarization tour, tour operator, whole sale, allocation holder, free sale agent , through cheek-in etc. which sometimes seems beyond the language teachers' spectrum .But some of the second language acquisition theories also as a layman to tourism teachers Accordingly some of the universities let the English department teachers to teach Tourism English , as a result , the students complaint that they haven't learned enough Tourism English especially in the professional field. While the other universities let the tourism department teachers to do this job but the students also argue their teachers are poor in grammar and pronunciation so they haven't learned enough standard English. So who are suitable to do this job is still depending on the educators' analysis . I majored in English language teaching but I also I possess abundant knowledge both in tourism administration and tourism industry because I passed the government civil servant examination and served in Tourism Bureau for 5 years as a government official .Objectively, I think I am suitable to do this Tourism English teaching job for I possess both the Tourism and English language academic background . That' why I have taught tourism English for 10 years with great joy either in university or junior college respectively. In the last 5 years, I taught tourism English in Shih-Hsin university . I also taught in the institute of technology both in Hsing-Wu and Tak-Ming. From the students' annual evaluation record every year , it has proved that what I did is in right way .Now I wanted to draw them as a sample for analyzing and sharing the result with my teaching colleagues. What the students I taught belongs to the night school class . Most of them have a job at the day time .They also have lots of social experience .During this 5 years teaching period, and in order to strengthen my teaching effect and to suit the application of Krashen's second language acquisition theory, especially from his nature approach, I applied various teaching methods to arouse students' motivation for English acquisition.. The methods I applied mostly like singing songs, debate, video watching, original recorder listening, excerpted newspaper study, role play, field study etc. which in the long run, always gets positive response from the students. Meanwhile in the end of every semester, I felt my bones to receive the students' evaluation form which is used to judge teachers' teaching achievement or methods . Fortunately, from their evaluation, I can perceive most of my teaching methods are acceptable by the students which shows I am walking on the right way . Although some of their evaluation comment are very caustic and variable, their general comment are positive and suggestible . Sometimes the result is fluctuate greatly even with the same teaching approach but yields different outcome. Above all, in

order to seek more objective vision and in addition to the teachers' evaluation, I have also undertaken a survey from two institutes of technology namely Hsing-Wu and Tak-Ming respectively . The total number is 168, 94 belonging to two years junior night college students, 44 belonging to two years night university level students, and 34 belonging to four years night university students to understand what I walk in the right way or not. This survey also impels the teacher to practice more natural approaches to enhance the students' motivation that could alleviate the anxiety of second language acquisition especially to those low level English background students ..

II. Krashen's second language acquisition hypotheses analysis

Among those second language acquisition theories, Krashen's (1978) 5 hypotheses about second language acquisition is the most impressive in modern time. It sent a shock wave to the world of foreign language learning . He advocated that (1) the acquisition- learning distinction. (2) the nature order hypothesis .(3) the monitor hypothesis.(4) the input hypothesis. (5) the affective filter hypothesis. Bearing in mind for these greatest theories as a reference foundation, I do my best to implement it with great effort in every teaching aspect like listening, speaking, reading ,writing practice. Every time when I select the textbook, plan the syllabus, assign the exercise, regulate the work load, and plan test paper, I should review all these theories firstly then fit it with my teaching strategy in full scale. With these theories, I hope my students could learn English as a second language by doing, such as playing game, singing song ,watching video. I want them to learn English with perceptive, attentive, intuitive, and subconscious ways which will be maintained in their mine permanently. Now I am explaining them briefly as in the following:

(1)Acquisition – learning distinction hypothesis

Krashen said that (1976) “language acquisition is not from formal learning but via subconscious process; above all, the acquirer don't know they are acquiring second language but only after they are really acquiring through the communication”. Under this theory, We know that student acquire his second language just like a child learn his first language .From grammar point, he just can “feel” what his language rule is right or not instead of consciously “know” the right or wrong. What he said about second language learning is that consciously or formal or explicit know grammar or rules. Based upon this foundation, for my point of view, the role play is the most suitable technique to foster the second language acquisition with the nature way. Every time when I associate with some of students they all represent positive opinion for the role play as the best way to acquire the second language. Anyway this hypothesis still have its drawback and argumentation because it has no scientific evidence to prove its validity. It says that the adult learn English as a second language should imitate the child to learn his first language from his mother that means to communicate with the others as much as possible. If the adult didn't follow this way he will not acquire L2 soundly and fluently. It also means adult learn L2 cannot from classroom but from the outside world and only following this way will fit the Krashen's acquisition theories. Actually the adult learn English as L2 using a lot of cognition and logical analysis to percept the language firstly then find proper way to acquire his L2. However when the child learn his first language, he mimics lots of sentence patterns from his mother by means of

stimulus – response which is not the same as the adult does. So it cannot strictly separates what is the “learning” and “acquisition”. That’s no wonder later on , Krashen made this hypothesis amended a little bit which says that for a fundamental L2 adult learner, the outside worlds’ input in the foreign country still like a jangling discord . Under this circumstance, he cannot acquire any L2 so only the classroom would be the best place to acquire L2. When he is marching to the advance level then the outside world input like symphony serving as the best place to acquire the L2.

(2) The nature order hypothesis

One of the most exciting discoveries in language acquisition research in recent years has been finding that the acquisition of the grammatical structure proceeds in a predictable order. For example (Brown 1973), the progressive marking, and the plural marker /s/ were among the first morphemes acquired. while the third person singular /s/ were typical acquire latter, that goes to show that children acquiring English as a second language also show a nature order for grammatical morphemes, regardless of their first language. So acting as an elementary language teachers , they should have better known the nature order of English language acquisition sequence . Then he can fully understand the main cause of the students’ grammar error and wait for the fitting time to correct it automatically instead of blaming.

(3) The monitor hypothesis

If we consciously learn the second language rule or grammar instead of acquire the second language from the communication like a child to learn his first language . This conscious learning knowledge can not foster our communication but it instead only blocks our fluency especially in conversation occasion. What’s more ,only under three conditions then monitor can run successfully (Krashen 1983): “1.The performer has to have enough time--- in conversation occasion , there is no time to correct the grammar or rule so it only deter communication 2.The performer has to be thinking about correctness--- in most condition, we only think about what we are saying instead of how we saying 3.The performer has to know the rule---it is very difficult to master every rule even the best student so monitor seldom do its job soundly”. As a teacher , I totally agree with this saying. When I was studying in U.S., I found the most fluent English speaking students are not those graduated from the first class university in Taiwan , but instead they graduated from some junior colleges and not so good at English grammar. Most of them who are very fluent in English conversation told me that they would grasp every means to practice their English by radio, T.V, pub, and foreigner to strengthen their language proficiency. On the other hand, monitor theory does work on the English writing with great efficiency. While in writing with the enough time, you can fully use your grammar to monitor the usage greatly. So let’s sum up, while in the conversation grammar is difficult to act as a monitor. However, in writing , grammar plays a very important means to master English writing ability .

(4).The input hypothesis

The input hypothesis state that in order for acquirers to progress to the next stages in the acquisition of the target language. They need to understand the input language or comprehensible input that include a structure that is a part of next stage. That’s why pictures and other graphics are so valuable to the beginning language teacher; they provide context , background information, that helps make input comprehensible. Care takers provide this text for young children by restrict their talk to the “here and now” to what is in the child’s domain at the moment. Good second language teacher

do this by adding visual aid, by using extra-linguistic context. An acquirer can move from a stage i (where i is the acquirer's level of competence) to a stage $i + 1$ (where $i + 1$ is the stage immediately following i along some natural order). In order to facilitate the understanding, various simplified talk like foreign talk, teacher talk, will also be available. This simplification is thought to be helpful for language acquisition that is children acquiring second languages who get simplified input are seemed to acquire faster than those who do not.

(5).The affective filter hypothesis

The concept of an Affective Filter was proposed by (Dulay and Burt 1977), and is consistent with the theoretical work done in the area of affective variables and second language acquisition. Research over the last 20 years has confirmed that "a variety of affective variables relate to success in second language acquisition" (Krashen 1981). Most of those studied can be placed into one of these three categories: (1) motivation. Performers with high motivation generally do better in second language acquisition. This motivation factor is never more true than when it applies to myself. When I graduated from the university without any specialty. After retrospection, I determined to master English as my eternal goal. In the following 30 years, I didn't care what adversity I encountered I never gave up this goal. In the meantime, I grasped every opportunity to recite vocabularies, essays, grammar rules, dialogue patterns and never cease this burning drive. All of this ardor is contributed by the strong motivation. (2) Self confidence. Performers with self confidence and a good self-image tend to do better in second language acquisition. Bearing this factor in my mind, whenever my students made any beautiful performance, I will never be stingy to give them a piece of eulogy in order to build a self confidence which is also called a positive reinforcement in the psychology term. (3) Anxiety. Low anxiety appears to be conducive to second language acquisition. Whether measured as personal or classroom anxiety. Acting as teachers like actors, we should give away our self esteem trying to mingle with students as a peer in order to demolish the anxiety as much as possible. That's why I received the highest mark in teacher evaluation by 2000 class, after mingling with my students either eating or singing.

Among them, I favor the first, third and fourth hypothesis deeply and apply them frequently to my teaching strategy. I never forget that in the year of 2000, I fully associated with my students in and after class which has totally demolished the anxiety barricade in the classroom. That's why I received the highest point in the long run.

III. How I apply Krashen's Natural Approach into my classroom practice

According to Krashen's natural approach theory (Krashen 1983), language is best taught when it is going used to transmit message, not when it is explicitly taught for conscious learning. When I teach the tourism English, I utilize every supplementary means to satisfy this theory. Generally, I practice the methods contain role play, video watching, debating, singing song, record listening, discussion, field study. I am describing each of them respectively.

1. role play

In addition to its powerful effect, role play also welcomes by most of the students. Especially

those outgoing and creative students who long for this kind of demonstration with great enthusiastic spirit. I still remember vividly, Shih-Hsin Univ. 2001-2002 sophomore tourism major day class students. Some of the students rent an artificial gorilla's fur coat and made a miniature helicopter to demonstrate a very colorful play namely "hero rescue the beauty in Hawaii" which makes a sensational applause in the class. In order to meet the academic class requirement, I restrict the role play topics to the tourism sphere like airline fly attendant, air travel passenger, hotel waiter, tourist guide, tour leader, coach driver etc. .While role play comes, waves of creative scenario on its high light to enrich the college humdrum curricular sometimes. Most of the students made their own poster or stage properties, Some of them borrow the costume, utensil, CD, computer, recorder player, etc. as a media to strengthen their demonstration effort which made the play so successful. At the end of each semester, I use the role play as the final examination to judge the students' performance. Accordingly this communicate approach has matched Krashen's second language acquisition theory which the second language will be only acquired through the communication purpose. . What's more, my grading system is divided into:1.the content -----30% 2.the pronunciation and intonation--- 30% 3.the performance and demonstration 40%.Why role play is so successful ? I think the main cause is the students utter their speech from their action which strengthen the physical effect and match the theory of Total Physical Response (James J. Asher 1965,1972, 1977) and Communicate approach. From the psycholinguistic point of view (Susan L Stern 1983), it also build strong motivation, self-esteem, empathy in the long run..

2. Singing song

When I was a junior high student, I like to sing American romantic songs. In order to improve my speaking ability, I even joined the university chorus to practice my singing skill which not only correct my pronunciation but also gives me a better intonation. Due to receiving lot of benefit from the songs singing , I put American folk songs and romantic songs into my Tourism English curriculum to strengthen students' English speaking ability. After years observation ,I found most of the students like singing very much especially after long time humdrum formal teaching . The method I take is that I explain the lyric of the song and interpret the plot firstly . Then I write the vocabularies on the blackboard and explain them with Chinese and let the students repeat after me . I also want the student to recite the whole lyric loudly for two times which has met Krashen's theory about comprehend the input is the crucial part of the second language acquisition. After listening to the type recorder , We will sing together without the music. Then we sing together with type again at least two times. After times of practices , everyone in the class is immersed in the beautiful melody .So the classroom atmosphere is so cordial that the anxiety is totally disappeared which will strengthen second language acquisition immensely. However, the first problem for most teachers encounter is they must sing songs very well, otherwise he couldn't arouse the students' inspiration and create the intimate atmosphere. If it follows that way, it just lets the student listen to the music and appreciate the lovely song only, In this case, students couldn't really acquire any second language in the long run .The other problem is sometimes a few students will ask to sing the current popular songs with fast pace which is often beyond the teacher's capability. So the teacher could explain carefully that most old songs, carrying beautiful melody and lyric, have been tempered by the time so they have outstripped the current song without doubt. The old songs like "Seal you with kiss" "The river of no return" "The Tennessee

Waltz” “The weeding” “Tell Lora I love her”. “Sad movie” “The rhythm of the rain” etc are very suitable for teaching. May be these romantic songs not belong to the Tourism English spectrum but it will create magnificent atmosphere to demolish the anxiety so I still apply it in my classroom. Each semester , I will use two ways to test students’ speaking and listening ability from singing. Firstly, I use cloze quiz to test the students’ listening comprehensive . When it goes , I play the recorder for two times and want students to fill the blank .Generally the quiz has 3 songs and have 25 blanks. Secondly, I want students to sing a song for me and count down one time classroom performance mark. Both tests have been acquired very positive response from the students in the long run.

3. Debate

Since debate is a high complicate process of second language acquisition, I am very cautious to practice this method. Generally I arrange two debates in each semester .The debate topics are confined on the tourism issues here happened in Taiwan .The articles always possess high argumentative characteristics like “Taiwan’s five star hotel accommodation fare is too high or not ” “The hotel manager’s education background need college degree or not” “tour leader needs license or not” “scenic spot need tourism police or not” “which airline do you prefer” “taxi driver need clean record or not” etc. We just choose one topic every time. Meanwhile, just one week before the debate going, I should write a detail debate background information to students and let them understand and prepare it thoroughly beforehand. In addition to the background information , I should also write a list of concerning vocabularies for that topic in order to enrich their speaking capability.. For example , if the topic is “ the five star hotel fare is high or not” , then I collect some terms and write on the paper like “expenditure, electric bill, expensive, reasonable, unreasonable, renovation, renovate, decor, tip, bell captain, service charge, room rate, commission, deposit, concierge, personal cost etc.” to give the student for reference . On the other hand , I should divide the class into two groups and assign a leader for each group as the main debater and ask them to have a well prepare beforehand . What’s more I should announce that everyone should be graded upon their performance so everyone should speak about their opinion in order to receive their grade. In this case, it can arouse the enthusiastic atmosphere while debate goes on . When debate is proceeding, I act as the moderator .Sometimes the debate is silent by some logical and complicate conception . Then I interrupt in and paraphrase or simplify what the students’ ideal in order to let the argument proceed smoothly. but I keep silent for the most time. The debate will last for 40 minutes. Then I make a conclusion and list some of the vocabulary and usage problem they make . Finally , I announce the winner group which is often the highlight of this debate.

4. Film watching

The title of the film in Tourism English class is restricted on tourism sphere so most of the films are borrowed from the school’s library. The problem is most school’s films belong to the static category . They are only equipped with the oral description without actor in it , which, if not always, will bring monotonous feeling. In order to amend this drawback, I bought some films personally from the Discovery TV channel agent store here in Taiwan. Every film of theirs has popular character to act as the actor or actress to illustrate the beautiful scenery and enhance its effort. Additionally , I also recorded numerous video types from TV Tourism Expedition channel if I found they are suitable for teaching , such as Australia , American , Europe, Mexico, England, French 10 most beautiful scenic

spots, 10 most luxurious hotels, or 10 most famous beaches. Before broadcasting the film, I should watch it personally to understand the key point of it. When the film is proceeding, I will spend a few minutes ask the student better to keep note and write down the main ideal. After the film broadcasting, we will discuss the plot in order to emphasize their impression and enhance their listening comprehension. Occasionally, I would use “Three Company”, an American soap opera, to practice students’ listening comprehension, although it doesn’t belong to tourism film. I was indulged by its humorous dialogue and colloquial informal language which is very benefited in daily use. When it goes, I will give the script to the students beforehand and want them to study carefully. When I broadcast the film, student only watch without referring their script. After that we’ll discuss it. Then we watch it again.

5. record listening

When I select English textbook, the text should be necessarily coupled with type recorder recorded by the native American or the British essentially. The textbook I adopted is “High Season”, a very practical book, which covers a lot of hotel and tourist material. When I lecture the lesson, I adopt the tradition grammar – translation approach in which I explain the vocabularies first then I recite loudly and let the student repeat after me. The main reason I adopt this method is that the student understanding the material play the first priority which is matched to Krashen’s input hypothesis. Afterward I randomly select some students to study it. Then I explain the passage with Chinese. Finally I tell the student to find their pair and have dialog practice. In the meantime, when they practice their dialog I walk around here and there to supervise their practice, and help them correct their pronunciation privately. Finally I play the type record two times. At the first times students can look at their book. At the second times the student should close their book and listening to the type only which is the best way to strengthen their listening comprehension I think. In addition to the text, I should collect some local broadcast program recorded by my elderly sister lived in New Jersey U.S. now. The material I selected is the local radio station’s program mainly discuss about the travel affair or social issue happened in New Jersey state. Accordingly the real and nature material is the best the way to teach the student to learn L2. The only problem is the material some times too fast and carrying numerous slang and vocabularies which is beyond the students’ level but it is very good material for the advance proficient test like TEFOL, GRE, GMAT, IELES etc.

6. Extracurricular material

Accordingly studying the magazines, periodicals, newspapers can benefit students to the elevation of English reading capability. Very often I adopt some of the tourism industrial material from China Post, Reader Digest, the vital tourism policy from Tourism Bureau internet., the keynote speech of some tourism symposium here in Taiwan, the tourist guide test question about Taiwan’s history and geography. All of them is worthwhile for studying in order. to strengthen the second language acquisition.

7. Field study

Every semester, in order to let the student acquire some of practical English and broadening their sight, I must arrange field study for visiting the tourism industry sectors. Generally in the first semester, I want students to participate Taipei Travel Exhibition which is held every Fall. The student should go to the scene and collect various tourism materials and present two pages report coupling 5

minutes oral report in order to count down one time class performance mark. In order to witness their presence at the scene, the students should take their picture there . The teacher, of course , will come to the exhibition venue to arouse their high spirit . On the second semester, I'll arrange the student visit 5stars hotels or airlines . Possibly, I'll ask the hotel to arrange an English briefing . So most of the briefing host is the hotel's foreigner guest manager. When it goes, the host will present an English briefing and introduce the hotel's running strategy and history . Then as usual , the students were divided into two groups, one visiting the room department, the other visiting the restaurant department respectively. After that, there is an English discussion by the ways of Q &A . Sometimes I assign 2 or 3 good English students to prepare the question beforehand and ask the question on the scene in order to avoid the silent embarrassed occasion. From field study , most students could understand that English is so important that it has dominated and monopolized the world tourism market and it has worked as a very fundamental means to foster the prosperity of tourism industry. Every time when I judge student's report I could find that all of them deeply agree with such kind of arrange, So field study is the best way to know the importance of English. The only problem is that most 5 stars hotel is very busy to do their daily routine commercial business . Very often they are reluctant to accept college students visiting needless to say the English briefing. Under this circumstance, The teacher could promise the hotel that after the field study, the students will patronize their lunch or dinner in the hotel which is always get the positive response and achieve a win-win result in the long run.

IV. Methodology

1.subject

In June,2004, at the end of one year teaching of Tourism English, I undertook a survey from three groups respectively .The total number of students is 168 trying to understand whether my teaching methods walk in the right way or not. The first group is 94 tourism major students belonging to two year junior college level in Shing-Wu Institution of technology night school. The second group is 44 two year university level students in Tak-Ming Institution of Technology night school. The third group is 34 four year university level student in Tak-Ming Institution of Technology night school.

2.Questionnaire:

Q1---The teacher chats with the students with English during the class.

Q2---The teacher teaches with the fix procedure that is writing on the blackboard, translating the lesson, repeating after the teacher, and listening the tape.

Q3---two students practice the dialogue as a pair from the textbook.

Q4---touch and identify the body organs.

Q5---the teacher describes his travel experience with English

Q6---old English songs singing

Q7---watch the travel film and talk about the plot..

Q8---have a field trip to tourism hotels or airlines

Q9---the role ply performing

Q10---the teacher analysis the current news with English.

The survey contains ten questions which I applied very often during my two semesters period .I

use five point Likert scale questionnaire to evaluate them preference

5= much prefer, 4= prefer, 3= satisfy, 2= less satisfy, 1= least prefer

M=average score: N=participants

3.Result

Group I: sing song is their favorite item which scores 4.39 , and then watch the travel film and talk about the plot which counts 4.24. The least score item is the teacher chats with students with English which will bring them high anxiety so only counts 3.84. Anyway the mean of this group is 4.10, the highest in these three groups.

Group II: like group1,singing old English song is also their favorite item which scores 4.15.Although the score on role play is the lowest: however it also has 3.50 which means they are still satisfy with this method. The main problem is it should spend lots of time to find the material, then compile and recite it. So the teacher, in order to save the time and energy, had better provide the material from the magazines or books beforehand.

Group III:watch the film then discussion is their favorite item of this group which cores 3.88. Like the group 2, role play scores 2.9 which means they less prefer this item. The main reason is they spend a lot of time to prepare it.

The evaluation result of teacher's 10 natural teaching methods

	Group I(Two year junior college students)				Group II(Two year university students)				Group III (Four years university students)			
	N	M	SD	Ranking	N	M	SD	Ranking	N	M	SD	Ranking
Q1	94	3.84	0.26	9	44	3.56	0.20	8	34	3.26	0.01	6
Q2	94	4.05	0.05	6	44	3.84	0.08	5	34	3.32	0.06	5
Q3	94	3.92	0.18	8	44	3.61	0.15	7	34	3.41	0.15	4
Q4	94	3.95	0.15	7	44	3.77	0.01	6	34	3.08	0.18	7
Q5	94	4.11	0.01	5	44	3.97	0.21	3	34	3.47	0.21	2
Q6	94	4.39	0.29	1	44	4.15	0.39	1	34	3.44	0.18	3
Q7	94	4.24	0.14	3	44	4.05	0.29	2	34	3.88	0.62	1
Q8	94	4.18	0.08	4	44	3.86	0.1	4	34	3.41	0.15	4
Q9	94	4.05	0.05	6	44	3.31	0.45	10	34	2.50	0.76	9
Q10	94	4.28	0.18	2	44	3.50	0.26	9	34	2.90	0.36	8
		M1= 4.10				M2= 3.76				M3= 3.26		

N= participating students

5=much prefer, 4=prefer, 3=satisfy, 2=less prefer, 1=least prefer

V. Pedagogical Implication

1. Among these three groups, the two year college students, most of them graduated from the vocational high school giving me very high score about my teaching methods. Their average mean is 4.10 and the score in other item is over 4 respectively that means most of them prefer my teaching method. But on the other hand, the same background of four year university level group who also graduated from the vocational high school, gave me 3.26 in average which is the lowest score among these three groups, in spite of the same methods I practiced. It means that they just satisfy my teaching method but without high motivation to follow all those active methods. From their score not any items is above 4.0, above all, there are two item score below 3.0 which strongly imply they don't prefer role play and field study. The main reason is that their basic English level like pronunciation, speaking, spelling, is not good enough to practice all these active methods. Finally the mean of two year university group is 3.76, which is the medium score of these three groups. It also means they are satisfied with the methods I have practiced. There are two items score are above 4.0 which means they prefer songs singing and film watching. Some of the result fluctuate greatly among different classes and level even with the same teaching approaches yet yield different results so it worth to discuss carefully.
2. Among this survey report, the high grade I received is from the two year junior college students. I retrospect that the main reason is I discard my mask as a professor and associate with them deeply like a friend. From the interaction, I know their think, requirement, hobby, even their other sex friends. I tried my best to alleviate my self-esteem to mingle with them thoroughly. I even used their language trying to break the bond of opposition relationship. All of this efforts have matched (Duly and Burt, 1977) saying "Language acquirers may have a mental block that prevents input from teaching involves lowering or weakening this block, termed the Affective Filter". So during this one year period, I genuinely adopted this teaching attitude in or after class which makes the students' anxiety totally disappear without knowing it. It is a quite important factor to create the second language acquisition. From Krashen's the input hypothesis and the concept of the Affect Filter, he defined (1982:32) the language teacher is a new way "The effect language teacher is some one who can provide input and help make it comprehensible in a low anxiety situation".

Reference

1. Beebe, Leslie M. (1987) Issues in second language acquisition, multiple perspectives. Newbury House Publishers, Inc.
2. Brown. H.D. (1987). Principle of language learning and teaching. (2nd ed.) New Jersey: prentice Hall Regent.
3. Brown. H.D. (1976). A Survey of Applied Linguistics. Ann Arbor. The University of Michigan Press 1976.
4. Clark, Herbert H. and Clark, Eve V. 1977. Psychology and Language: An Introduction to Psycholinguistics. New York: Hacourt Brace Jovanovich, Inc.
5. Dulay, Heidi C., Burt, Marine, & Krashen (1982) Language Two Oxford Press, Inc.

6. Duck, Lloyd(1981) Teaching with Charisma, allyn and Bacon, Inc.
7. Ellis, Rod (1988) Classroom second language development , Prentice Hall International (UK)
8. Ellis, Rod (1987) Second language acquisition in context , Prentice Hall International (UK)
9. Ellis, Rod (1990) Instructed Second language acquisition , Basil Blackwell Ltd.
10. Finocchiaro Mary(1989). English as a second foreign language, prentice Hall Regents.
11. Hamer, J(1991). The practice of English language teaching. New York: Longman.
12. Kenneth Chastain(1988) Developing Second-Language Skills Theory and Practice .Third edition. Hrcourt Brace Jovanovich , Publishers
13. Krashen.S(1976). Formal and informal linguistic environment in language acquisition and language learning. TESOL Quaterly10:157-168.
14. Krashen,S.(1981).second language acquisition and second language learning. Oxford: Pergamon Press.
15. Krashen,S.(1982) principle and practice in second language acquisition. Oxford: Pergamon Press.
16. Krashen,S.(1989): Language acquisition and language education. Prentice Hall International.
17. Krashen,S & Terrell,T .D(1983) The natural approach : language acquisition in the classroom. Oxford: Pergamon Press.
18. Larsen-Freeman, Diane (1991) An Introduction to Second Language Acquisition Research. Longman Group UK Limited.
19. McDonough , Steven H (1981) Psychology in foreign language teaching. George Allen & Unwin Ltd.
20. Oller, John W. & Richard Jack C.(1973) Focus on the learner: pragmatic perspectives for the language teacher. Newbury House Publishers, inc.
21. Oller, John W. & Richard-Amato Patric (1983) Methods that work. Newbury House Publishers, inc.
22. Oller, John W. & Richard-Amato Patric (1993) Methods that work. Heinle & Heinle Publishers.
23. Richards, Jack C & Theodore S. Rodgers (1986) Approaches and method in language teaching: a description and analysis. Cambridge University Press.
24. Rivers, Wilga M.(1983) Speaking in many tongues .Cambridge University Press.
25. Slobin, Dan.I(1979) Psycholinguistics, Scott, Foresman and Company
26. Stevick, Earl W.(1982) Teaching and learning languages, Cambridge of University press
27. Stevick, Earl W (1980) A Way and Ways Newbury House Publishers, Inc.
28. 第九屆中華民國英語文教學國際研討會論文集(2000)文鶴出版有限公司
29. 第十七屆中華民國英語文教學研討會論文集(2000)文鶴出版有限公司
30. 第十九屆中華民國英語文教學國際研討會論文集(2002)文鶴出版有限公司
31. 黃自來 應用語言學與英語教學 民國七十五年六月 文鶴出版有限公司
32. 黃自來 英語教學新象 民國七十九年三月 文鶴出版有限公司
33. 黃自來 英文文法教學導向 民國七十二年十一月 文鶴出版有限公司
34. 余光雄 英語語言學概論 民國七十五年九月 書林書局

籃球員的罰球命中率與焦慮之相關性

Relationship of Anxiety and Free-Throw Performance for Basketball Players

沈宗仁¹ 王聖文²
Tsung-Jen Shen¹ Sheng-Wen Wang²

¹東南技術學院體育講師 ²大漢技術學院體育講師

¹Lecturer of Physical Education, TungNan Institute of Technology

²Lecturer of Physical Education, Dahan Institute of Technology

摘 要

此研究目的為探討1998-99全國大專籃球聯賽四所專科組男籃隊，在比賽時罰球命中率與各種焦慮之關係。

藉由四隊48位球員所填寫的運動焦慮量表及比賽時罰球紀錄，觀察球員在各種焦慮狀況下，是否會影響罰球命中率。經由統計顯示，球員的罰球命中率與球員在高預期狀態下並無顯著關係，然而球員的身體焦慮與罰球命中率反而有較大之關聯。在較高身體焦慮下，球員不易全神貫注，反之，在低身體焦慮下，球員精神較易集中。結果也指示出自信心與罰球命中率的關聯性並不如我們預期來的大。

關鍵詞：焦慮、狀態焦慮、身體焦慮、罰球命中率、自信心

Abstract

The purpose of this study is to examine the relationship between anxiety and free throw performance in basketball games played by the four college men's basketball teams during 1998 and 1999 in Taiwan. To determine if anxiety is related to the players' performance, forty-eight players completed the Sport Competition Anxiety Test(SCAT)and their free throw shooting percentage in the game were also recorded.

The results indicated that there was no significant relationship between percentage of free throw shooting and anxiety of high expectation to win the game while the somatic anxiety was highly correlated to percentage of free throw shooting. The reason is that players with high somatic anxiety were not easy to concentrate in basketball games. The results also showed that the relationship between self-confidence and percentage of free throw shooting was not as high as high as we expected.

Key Words:Anxiety.State Anxiety. Somatic Anxiety.Percentage of Free Throw Shooting.Self-Confidence.

I. Introduction

In 1994, the Houston Rockets and Orlando Magic were competing in the NBA finals. The first game was held in Orlando. It was a very close game. Three seconds before the end of the fourth quarter, the game was tied at 92, at which time Nick Anderson of the Magic got two free throw chances. However, although Nick Anderson had a very high free throw percentage throughout the regular and play-off seasons, he failed to capitalize on the opportunity at this crucial moment. The Magic could have won the game if he had made the basket. The Rockets came back in overtime and won the game and the subsequent three games to win the title.

This raises a very important question: why do players as elite as Nick Anderson fail to perform the task at critical moments in competition? According to existing literature, this has a lot to do with the psychology of the athletes. One of the widely discussed factors is anxiety. Numerous investigations have been conducted on the topic of anxiety; the orientation of most research has been on the assumed negative impact of anxiety on sport performance (Crocker, 1989; Hackfort & Spielberger, 1989; McAuley, 1985).

Basketball is a popular team sport in the United States as well as other countries of the world. Various factors affect a player's performance in competitive basketball. A player must possess some necessary physical as well as psychological attributes in order to have an outstanding performance in competition. For example, the possibility of an athlete not concentrating on free throws or being nervous about shooting free throws or not being confident about the task might affect performance.

Researchers believed that anxiety is a mental state of worry and fear resulting from an imbalance between perceived capability and situational demands. There was a general distinction between state and trait anxiety. State anxiety is temporary unstable over time. Trait anxiety is relatively stable. Existing literature also categorized anxiety into somatic and cognitive anxiety. Somatic anxiety is believed to be a natural response to competitive situations while cognitive anxiety is regarded as detrimental to athletic performance. (Martens, 1977). In general, it was found that it is natural for athletes to have somatic anxiety, which is a conditioned response to competitive situations but that it is detrimental to have cognitive anxiety, which results from worry and negative expectations and tends to hurt performance. However, the findings still need to be confirmed on truly elite athletes.

1.1 Purpose of the Study

The purpose of this study was to examine the relationship between high and low anxiety and free throw performance in a basketball game played by the top four Division I college teams in Taiwan. The high anxiety group consists of players whose anxiety scores were 1/2 standard deviation above the mean score of all subjects while the low anxiety group consists of players whose anxiety scores were 1/2 standard deviation below the mean score of all subjects.

1.2 Statement of the Problem

Anxiety is a complex psychological construct. Many factors affect anxiety, including player motivation, competition among players, audience pressure, and coaching style, etc. Studying the abovementioned relationship will help coaches and players better understand factors affecting athletic performance and identify possibilities and techniques to control anxiety.

1.3 Hypothesis

Research questions:

1.3.1 Do basketball players demonstrating high pre-competition cognitive anxiety perform

differently from those players with moderate or low pre-competition cognitive anxiety?

1.3.2 Do basketball players demonstrating high pre-competition somatic anxiety perform differently from those players with moderate or low pre-competition somatic anxiety?

1.3.3 Do basketball players demonstrating high pre-competition self-confidence perform differently from those players with moderate or low pre-competition self-confidence? Null Hypothesis:

1.3.4 Basketball players with high pre-competition cognitive anxiety will not perform significantly differently from those with moderate or low pre-competition cognitive anxiety.

1.3.5 Basketball players with high pre-competition somatic anxiety will not perform significantly differently from those with moderate or low pre-competition somatic anxiety.

1.3.6 Basketball players with high pre-competition self-confidence will not perform significantly differently from those with moderate or low pre-competition self-confidence.

1.4 Definition Of Terms

Anxiety: a kind of mental state of worry, melancholy, and fear. Empirically, anxiety is perhaps most often used to describe an unpleasant emotional state or condition. (Spielberger, 1983).

State Anxiety: a temporary emotional condition of the human organism that varies in intensity and is unstable with regard to time. It consists of subjective, consciously perceived feelings of tension and anxious expectancy, combined with an increase in activity of the autonomic nervous system. (Spielberger, 1983).

Trait Anxiety: relatively stable individual differences in susceptibility to anxiety reactions, i.e. in the tendency to perceive a broad spectrum of stressful situations as dangerous or threatening and to respond to such situations with elevations in the intensity of their state anxiety reactions. (Spielberger, 1983).

Cognitive Anxiety: worry or the awareness of unpleasant feelings, concern about performance, and the inability to concentrate. (Martens, 1977).

Somatic Anxiety: perceptions of physiological arousal such as shakiness, sweating, increased heart rate, rapid respiration, and “butterflies” in the stomach. (Martens, 1977).

Free Throw Percentage: The number of baskets made divided by all the free throw attempts in a basketball game.

Self-confidence: The degree of certainty that athletes felt about their ability to be successful (Prapavessis & Carron, 1996, p67).

1.5 Basic Assumptions

It was assumed that factors other than anxiety were held constant.

It was assumed that players answered the questionnaire carefully and truthfully.

It was assumed that the free throw percentages were properly and correctly recorded.

1.6 Limitations of the Study

Anxiety is a complex psychological construct. Many factors affect anxiety, including player motivation, competition among players, audience pressure, and coaching style, etc. It is beyond the scope of this study to further examine these important determinants of anxiety.

Further, as the literature suggests, anxiety is related with arousal, which in turn influences optimal performance. It was more informative to quantify the anxiety levels of the players to determine which anxiety level leads to deterioration in performance.

Finally, this study was delimited to players of the top four Division I College Basketball Teams in Taiwan.

II. Methodology

Five areas were included in this chapter: (a) participants, (b) instruments, (c) procedure, (d) data analysis, and (e) summary

2.1 Participants

The subjects of this study were 48 basketball players from the college teams participating in the 1998-99 College Basketball Championship in Taiwan. They represented Tung Nan Junior College, Sing Wu Junior College, Chinese Junior College, and Taipei Junior College. The selection of teams followed the convenience sampling procedure.

The players ranged in age from 16 to 26 years with an average of 19.7 years. The players also ranged in years of playing experience from 2 to 13 years. The average experience was 5.9 years.

2.2 Instruments

All subjects completed the Competition State Anxiety Inventory (CSAI-2) by Martens (1977). There were 27 items and three anxiety sub-scales in the inventory. The validity and reliability of the test have been demonstrated repeatedly. The test-retest reliability coefficient ranged between 0.82 and 0.87. The internal consistency coefficient ranged from 0.80 to 0.92 (Martens, Vealey, & Burton, 1990). All items were rated on a 4-point Likert scale, 1= not all 2= somewhat 3= moderately 4= very so much.

2.3 Procedure

The questionnaire was translated into Chinese and administered by the coaches to the players of the four basketball teams before major championship competitions held in December, 1998. The players signed an informed consent letter before completing the questionnaire. It took about 10 minutes to finish the questionnaire.

The free-throw shooting percentages of the players in the games were then recorded. Those who did not get a chance to shoot free throws were excluded from the study.

The players were divided into three groups: The high anxiety group consisted of players whose anxiety scores were one half of a standard deviation above the mean score of all subjects while the low anxiety group consists of players whose anxiety scores were one half of a standard deviation below the mean score of all subjects. The moderate anxiety group consisted of all the remaining players.

2.4 Treatment of Data

Means and standard deviations of anxiety scores and free throw shooting percentages were calculated. Pearson correlation coefficients were computed between anxiety scores and free throw shooting percentages with the alpha level set at 0.05. Chi-square goodness-of-fit tests were performed to determine expected outcome for each anxiety subscale and free throw performance.

2.5 Summary

Forty-eight players from the top four Division I college teams in Taiwan completed the Sport Competition Anxiety Test before a major competition. Their free throw shooting percentages in the game were recorded and correlated to determine if anxiety is related to performance.

III. Results

Table 1 reports results of the Pearson Correlation Coefficients between the three sub-components of anxiety and free throw performance.

Table 1. Pearson Correlation Coefficients by Anxiety and free throw performance (N=36).

Measure	Free-Throw Performance
Cognitive	-.356 *
Somatic	-.309
Self-Confidence	.228

* $p < .05$

The results indicate that as cognitive pre-competition anxiety and somatic pre-competition anxiety increase, free throw percentage decreases. Also, a weak relationship was found between self-confidence and free throw performance although self-confidence goes up, performance goes up too.

Chi-square goodness-of-fit test discovered no difference in the expected outcome in those with high, moderate or low cognitive pre-competition anxiety and their free throw performance $\chi^2(4, N = 36) = 4.933, p < .05$.

A significant difference was found in those basketball players with high, moderate, or low pre-competition somatic anxiety and free throw performance $\chi^2(4, N = 36) = 18.117, p < .05$. Those basketball players with low or moderate somatic anxiety were more likely to shoot 50% better free throw than players with high somatic anxiety.

Table 2. Frequency of players free throw percentage by somatic anxiety level (N=36).

Anxiety	0-49%	50-75%	76-100%
Low	2	2	6
Moderate	0	14	4
High	4	1	3

There was no difference in those with high, moderate or low pre-competition self-confidence and their free throw performance $\chi^2(4, N = 36) = 3.652, p < .05$.

4. Discussion

In this study, the relationship between anxiety and free throw performance in basketball games was examined with three subscale categories. Three hypotheses were forward.

First, it was hypothesized that basketball players demonstrating high pre-competition cognitive anxiety performed differently from those players with moderate or low pre-competition cognitive anxiety. Results rejected this hypothesis because no difference was found in the expected outcome in those with high, moderate or low cognitive pre-competition anxiety and their free throw shooting.

Second, it was hypothesized that basketball players demonstrating high pre-competition somatic anxiety performed differently from those players with moderate or low pre-competition somatic anxiety. Results supported this hypothesis. Perceptions of psychological arousal such as shakiness, sweating, increased heart rate, rapid respiration, and “butterflies” in the stomach contributed

negatively to free throw shooting scores. (Martens, 1977). Specifically, the high body anxiety may result in a lack of concentration and effect free throw shooting. However, significant difference was found between players with moderate somatic anxiety and those with high or low somatic anxiety. Interestingly, moderate somatic anxiety strengthened the consequence of free throw shooting compared to high and low somatic anxiety. Therefore, the players who experience moderate somatic anxiety have favorable free throw shooting.

Third, it was hypothesized that basketball players demonstrating high pre-competition self-confidence performed differently from those players with moderate or low pre-competition self-confidence. Results partially supported this hypotheses. Although the higher the self- confidence level was, the better the players' performance was, the relationship between self- confidence and free throw shooting was not so strong as we expected.

This study can be improved upon by introducing other technical measures of performance, e.g. shooting percentage, turnover rates, as well as coach's evaluation of the players' performance. Also, it will be useful to follow the players' anxiety levels and performance throughout the season and determine factors that tend to affect the relationship. It should also be interesting to study the new players whose skills need polishing as the season proceeds. Studying the improvement in their skills and the effect on anxiety and performance will provide deeper insight into the important relationship between anxiety and performance.

Reference

1. Crocker, P. (1989). A follow-up of cognitive-affective stress management training. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11, 236-242.
2. Hackfort, D. & Schwenkmezger, P. (1992). Anxiety, In Singer, R.N., Murphey, M. & Tennant, L.K. (Eds.). *Handbook of Research on Sport Psychology* (pp. 328-364), New York: MacMillan Publishing Company.
3. Hackfort, D. & Spielberger, C.D., (1989). *Anxiety in sports: an international perspective*. New York: Hemisphere.
4. Martens, R. (1977). *Sport competition anxiety test*. Champaign, IL: Human Kinetics.
5. Martens, R., Vealey, R.S. & Burton, D. (1990). *Competitive anxiety in sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
6. McAuley, E. (1985). Modeling and self-efficacy: a test of Bandura's model. *Journal of Sport Psychology*, 7, 283-295.
7. Spielberger, C.D. (1966). Theory and research on anxiety. In C.D. Spielberger (Ed.), *Anxiety and behavior*. Academic Press, N.Y.
8. Spielberger, C.D. (1972). Anxiety as an emotional state. In C.D. Spielberger (Ed.), *Anxiety: Current trends in theory and research* (Vol. 1). Academic Press, N.Y.
9. Spielberger, C.D. (1976). The nature and measurement of anxiety. In C.D. Spielberger & R. Diaz-Guerrero (Eds.), *Cross-culture anxiety*. Hemisphere Wiley, Washington, D.C.
10. Spielberger, C.D. (1983). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y) ("Self-Evaluation Questionnaire")*. Palos Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
11. Spielberger, C.D. (1979). *Preliminary manual for the State-Trait Personality Inventory (STPI)*. University of South Florida.

行政院體育委員會之組織結構評析

A Review on the Organizational Structure of National Council on Physical Fitness and Sports, Executive Yuan

沈宗仁¹白春榮²Tsung-Jen SHEN¹Chun-Jung PAI²¹東南技術學院 ²仁德醫護管理專科學校¹Tung Nan Institute of Technology ²Jen-The Junior College of Medicine Nursing and Management

摘 要

行政院體育委員會（以下簡稱體委會）在體育界千呼萬喚下，終於在民國八十七年七月正式掛牌運作，也將我國體育行政組織之位階推昇至部會層級，體委會之成立，對於我國體育發展而言，具有劃時代之意義，然而體委會成立至今已有六年的時間，其業務推動均依年度計畫逐項執行，且績效顯著，尤其近年來參與國際綜合性運動會都能獲致佳績，為國家爭取莫大榮譽，但每次只要行政院一談到組織調整，體委會均列名裁併組織名單，究竟體委會有無存在之價值與必要性，抑或僅只是可有可無之次級單位，我們可以從體委會之組織結構加以探討，以瞭解其組織是否具有存在的價值與必要性。

關鍵字：行政院體育委員會、組織、結構

Abstract

National Council on Physical Fitness and Sports, Executive Yuan was officially established in July 1998 after a long time expectation. The establishment advances the administrative organization for physical fitness and sports to a ministry level, and has revolutionary meaning to development of sports in Taiwan. However, within five years after its establishment, National Council on Physical Fitness and Sports is included for merge or downsize every time when Executive Yuan is planning for organizational reengineering. The value and necessity of National Council on Physical Fitness and Sports are investigated in this study based on its organizational structure to conclude its value and necessity for existence.

Keywords: National Council on Physical Fitness and Sports, Organization, Structure.

壹、前言

政府體育行政部門之功能是否能夠淋漓盡致有效發揮應有功能，不僅與其年度預算、設備等有緊密關係，更與組織結構之設計是否恰當，其所屬體育行政人員素質是否優良均有極密切的關係。事實上政府體育行政部門政策之制定與業務之運作，皆賴其業務單位之支援與配合，若業務單位之體育行政人員能有效完成任務，則體育業務的推展必能風行草偃，無往不利。而體育政策與業務要有效達成預定目標，除有賴行政人員素質與訓練外，最重要便是體育行政組織系統之結構是否健全，其功能是否能够有效發揮並達預期目標，組織結構甚為重要，有鑑於此，本文僅就「組織」的基本概念談起，來解釋體委會之組織結構，希望能夠對體委會之組織結構有深入的瞭解，更期望藉此能喚醒政府能正視具部會層級之體育行政組織存在的價值與必要性。

貳、組織與組織結構之基本概念

「組織」，是指派並協調組織機構中全體人員之工作，使其在達成目標的過程中獲得最大的效率（Hodgetts, 1975），在今日政府普遍重視組織效能以及為民服務的理念下，「組織」一詞，已不再是書本內容中的靜態架構，而是一個為民服務，解決民眾問題，提升人民福祉的複合式名詞與理念，包含靜態與動態的層面。

不管是管理學者、社會學家、組織行為學者對於組織（Organization）之觀點都不盡相同，一般而言，其焦點多放在「組織結構」（Organization Structure）上，組織結構是一個組織的工作體系，為達成組織目標，藉由各部門職位權責的協調與分工，以及成員間彼此的交互關係，所形成的組織特質與風格，而組織結構又由以下幾個要素來作探討（彭文賢，民85；James & Jones, 1976）：

- （一）權力集中程度：也就是組織中集權與分權的程度
- （二）結構化的程度：包括組織內部層級之垂直分化、水平分化、空間分化等。
- （三）形式化：也就是組織將規則、權限、程序明訂之程度。
- （四）標準化：活動程序的標準化。
- （五）專業化：直線與幕僚的劃分。
- （六）依賴性：部門間為了達成目標之依賴程度。

參、體委會之組織結構評析

由體委會之行政系統表（詳圖一）中，我們可以清楚的看出體委會之組織結構。體委會設主任委員一人，副主任委員3人，下設各業務及幕僚單位，業務部門包含「綜合計畫處」、「運動設施處」、「競技運動處」、「全民運動處」、「國際體育處」等五個單位，而幕僚單位則包含「會計室」、「人事室」、「秘書室」等單位，並設有「身心障礙國民運動委員會」、「法規委員會」、「訴願委員會」等，協助體委會規劃體育相關業務體委會（1999a）。此外，未策劃國家整體體育發展，並設置無給職委員15至19人，由主任委員提請行政院長任命之。

筆者以組織結構的的六個要素，來評析體委會組織架構之現況：

（一）體委會之權力集中程度

行政機關的權力源自於法律的授權（許毓圖，1996），而體委會之權力，則集中在主任委員身上，另三位副主任委員，則依其專業領域之不同，而分別主管該會不同處室，亦擁有相當大的權力與責任，甚至可以代替主任委員履行公文決行。中央政府為減輕機關首長之負擔，均要求各機關訂定分層負責明細表，不同層級的主管可以依其職務與權責來作公文決行，以增加行政效率，減輕機關首長負擔，不需事事恭親，如此，可讓各級行政主管擁有適當的權力，並肩負起相同程度的責任，避免行政機關內部產生敷衍塞責、推託或互踢皮球的現象。

體委會之業務運作，主要是由「綜合計畫處」、「運動設施處」、「競技運動處」、「全民運動處」、「國際體育處」等五個業務單位來負責體育業務之規劃與執行，因此，權力主要集中在首長以及各級主管身上，而處室之幕僚人員，包括科員、專員、科長等，均屬業務承辦人性質，主要是襄助機關首長規劃與推動體育業務，真正負有機關成敗之責的只有主任委員與三位副主任委員，一旦業務執行不力或政黨輪替，均需下台以示負責，而其他行政人員，包含處長在內，則屬文官體系，並不需隨政黨輪替或擔負機關施政成敗之責任（張潤書，1990）。

（二）體委會之結構化程度

組織之結構化程度可以從組織內部層級之垂直分化、水平分化、空間分化等三個面向來作討論（張潤書，1990），體委會之結構化程度在垂直分化部份，從最基層的承辦人員依序為科員、專員、編輯、科長等職位，科長之上又有專門委員、副處長、處長等層級，而處長之上，又有參議、主任秘書、副主任委員、主任委員，垂直分化層級頗多，若無適當之授權，容易因為垂直分化過多，導致行政效率低落，或下情不能上達之流弊（張潤書，1990）。

而在水平分化部份，體委會之組織架構主要包含「綜合計畫處」、「運動設施處」、「競技運動處」、「全民運動處」、「國際體育處」等五個業務單位，以及「會計室」、「人事室」、「秘書室」等幕僚單位，當初該會設計之組織架構，即是以政府之各項體育施政為組織設計考量，而由各處的名稱我們也可以很容易看出，該會業務部門之設計是以「功能取向」之部門設計原則來作考量，如果能夠有充分的預算與人力來發揮各部門的功能，體委會的組織結構對於我國體育運動的發展一定會有加分的效果。

在空間分化部份，體委會組織中之主要處室均集中在台北市的體育聯合辦公大樓內，除所管轄台中市立體育場位於台中以及左營訓練中心位於高雄外，其業務之垂直與水平傳遞聯繫，並不會因為空間過於分化而產生問題，也讓民眾在辦理各項體育業務時，有更高的便利性，體委會組織架構所形成的低度空間分化也有其利弊得失，其優點如前所述，便於單位內部之協調與溝通，但其弊病則為，過分集中體育聯合辦公大樓，沒有適當的空間分化，可能會讓民眾認為體育施政有重北輕南的現象。

（三）體委會之形式化程度

體委會和所有的行政機關一樣，均屬於層級節制之官僚體系，各項作業均必須依照各種法令規章行事，並以正式公文書為準，即便是內部人員之溝通協調事項，亦均以公文書來作傳遞，而該會所訂定之「行政院體育委員會辦事細則」，即詳細的說明該會各單位之業務與職掌。此外，除了該會所制訂的內部單行行政規章外，還必須遵照中央政府所制訂之各項統一法規，如人員之進用則須符合「公務人員任用法」及各

項人事法規，人員休假必須依照「公務人員請假規則」來辦理，所有人員之薪資俸點，也都在「公務人員俸給法」及「公務人員俸給法施行細則」所訂規章執行，相較於一般民間企業組織，中央政府各機關，包含體委會在內，均屬於高度形式化之組織，其優點在便於人員控管，並有利於解決例行性之問題，但缺點是較無人性化，缺乏彈性，且容易扼殺人員之創造力（張潤書，1990）。

（四）體委會之標準化程度

體委會屬於高度標準化之行政組織，我們從該會所制訂的各種法規即可看出端倪，該會自民國87年掛牌運作至今，不過短短六年的時間，即已訂定出行政法規約50條（行政院體育委員會網站，2003），及各項業務之行政作業流程，均有規章明訂，譬如辦理民間體育團體之經費補助，即訂有「全國性民間體育活動團體經費補助辦法」依循，而辦理各種運動會時，也訂有「全國運動會舉辦準則」、「全國原住民運動會舉辦準則」等行政法規，即便是非逕際性質之漆彈活動，也訂有「漆彈活動輔導管理注意事項」，因此，該會辦理各項體育活動與業務，均有標準化的流程與辦法可供依循。

體委會這種高度標準化之作業流程，方便該會解決各種例行性之問題，加速行政效率，並有助於消弭各種補助不公的流言，但其缺點是缺乏彈性，畢竟各種行政法規之訂定很難完全考慮周詳，可能在政策之推動上會有盲點產生。

（五）體委會之專業化程度

體委會屬於高度專業化之體育行政單位，不管是高層之政務官或是其他事務官，均具有體育專業背景，以該會業務單位之基層承辦人員為例，多數人員均為高等考試體育行政類科及格，可以通過該項考試之體育專業人力，均具有一定水準之體育專業水準與素養，在執行各項體育活動與政策時，其專業性應無庸置疑，而其他幕僚單位像是人事室與會計室，也同樣的是由高考或是普考人事及會計相關類科考試及格之專業人力來擔任，均具有高度之專業化。

至於該會之高層人事，主任委員則由行政院院長所指派，三位副主任委員及一級主管則由主任委員來任命，而行政院長在指派主任委員時，也是以體育專業人士或具有體育行政、管理能力者作為考量，例如趙麗雲主任委員、許義雄主任委員等，均因具有體育之專業經歷與背景，方被延攬入閣，由於前任的林德福主任委員，則因擔任過縣市政府文化局長，較具有「文化人」之身份以及辦理宜蘭童玩節等大型活動經歷，雖無明顯的體育專業資歷與背景，但在辦理大型活動造勢方面則具有獨到見解，為因未具體育專業智能及背景，在獲聘擔任國家體育最高指導機關之體委會主任委員職務，易遭致外界有「外行領導內行」之非議，現任的陳主委除了是運動好手之外，又擁有醫學博士、曾任國立體育學院教研所所長、國立台灣體育學院校長，對於行政實務、訓練、運動傷害、人脈關係等等都有其專業的資歷與背景，也希望在陳全壽主委的帶領下，行政院體委會能以專業的素養，提升國家體育水準及願景。

（六）體委會部門間之相輔性程度

由於體委會之各業務部門，是以「功能性」來作區分，因此，各部門雖然均可獨立作業，但機關首長在做政策性的考量時，仍需要各個部門及主管參與協商，以該會近兩年所提出之振興足球方案，就由運動設施處負責各級足球場地規劃，由競技運動處擬訂足球人才培訓計畫，由全民運動處辦理全國性足球推廣活動，由會計室協助預算之編列與核銷，此外，像是競技運動處組團參加亞、奧運競賽，也必須要國際體育

處的協助與配合。因此，體委會部門間之相輔性程度相當高。

由以上體委會六個層面的組織性結構來看，體委會是屬於層級節制之傳統「官僚體系」，其組織結構之特徵為高度之極權化、形式化、標準化、結構化、專業化，及各部門間之相輔性藉由共同努力，相互支援來貫徹政策之執行與達成組織目標。

四、結語

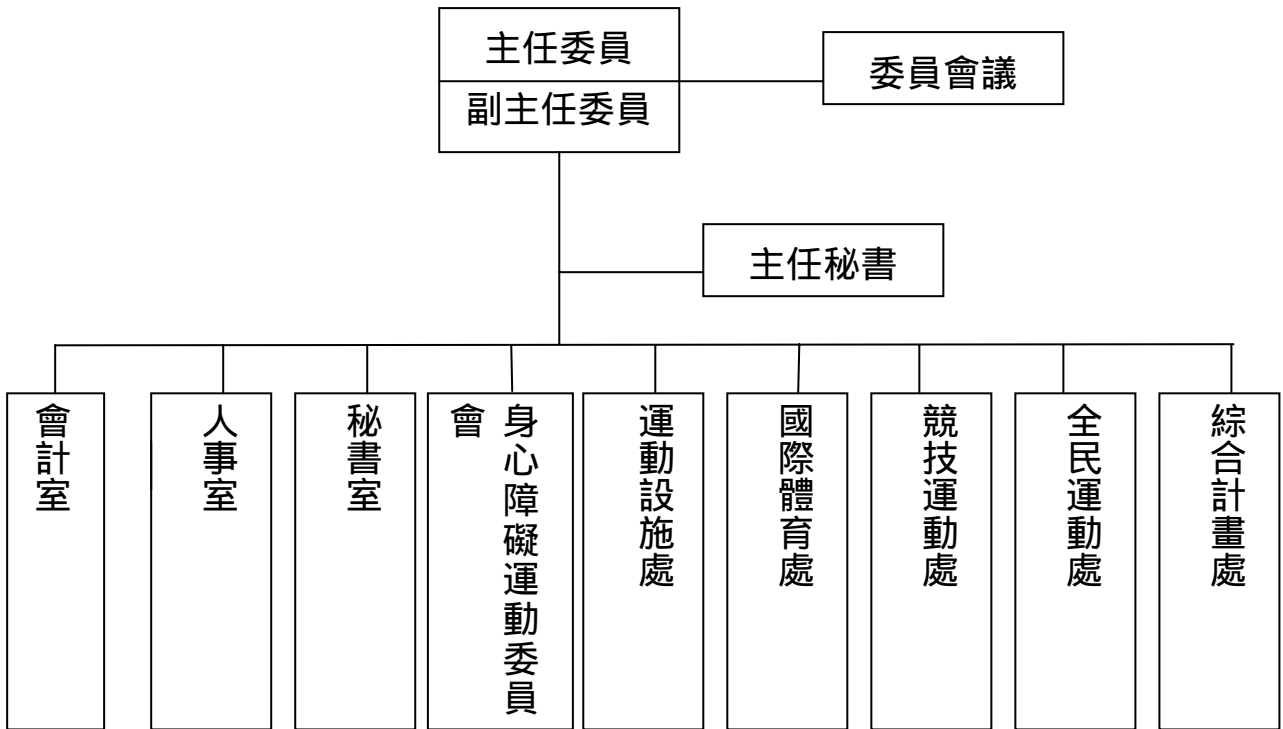
體委會屬於層級節制之傳統「官僚體系」，其組織結構特徵為高度之極權化、形式化、標準化、結構化，均具有高度的穩定性，各部門間互為相輔，囿於其組織結構是以「功能性」來作部門設計，因此，組織結構可以充分發揮推動社會體育、全民體育、競技體育、運動場地設施、計畫研發規劃等功能，並在體育運動各個領域上皆能發揮功能，其人力若能充分運用，並具專業領域智能，則將有助各項體育業務與政策之計畫、執行與考核。

然而，該會組織結構也存在著組織層級過多及高度標準化、形式化所可能產生之弊端，建議該會配合政府積極提倡之「六減運動」，朝業務分層負責與簡化行政流程兩方面著手，藉以強化其行政效率。體委會常年處在裁撤或裁併之陰影下，造成組織成員士氣低落，流動率提高，更使延續性長程體育計畫延宕規劃與執行，僅作一至二年內計畫，除對於組織之運作產生負面之影響外，對未來國家體育發展影響深遠，建議政府應儘早確認政府組織再造之架構，讓體委會同仁有所依循，國家體育長遠目標得以逐年依計畫執行，減少對於未來之不確定感。

藉由體委會的組織結構評析，我們可以發現，該會之存在，在組織結構上可以充分發揮推展體育業務之功能，具有實質存在的價值與意義，建議政府推行組織重整與組織再造時，能夠審慎考量體委會存在之必要性與價值性，不要輕言裁撤或減併，而為爭取行政院及國人之肯定，體委會應跳脫一般公務機關官僚體系之窒礙，充分有效發揮應有的功能及無可替代之價值性，並應積極藉由參與國際競賽，爭取佳績為國爭光，及規劃提升全國國民健康體能與且更有活力的生活，藉以獲得認同。

參考文獻

1. 行政院體育委員會 (1999a)。我國體育組織制度的現況及發展策略。台北市：行政院體育委員會。
2. 行政院體育委員會 (1999b)。中華民國體育白皮書。台北市：行政院體育委員會。
3. 行政院體育委員會網站 (2003)。http://media.justsports.net.tw。
4. 許毓圖。(1996)。我國中央行政組織析論。台北市：東華出版社。
5. 張潤書。(1990)。行政學。台北市：三民出版社。
6. 彭文賢。(1996)。組織原理。台北市：三民出版社。
7. Hodgetts, R. M. (1975). Management training programs-who user them and why. *Training & Development Journal*, 29(3), 34-40.
8. James, L. R., & Jones, A. P. (1976). Organization structure- a review of structure dimensions and their conceptual relationships with individual attitudes and behavior. *Organizational Behavior & Human Performance*, 16(1), 74-113.



圖一 行政院體育委員會行政系統表（中華民國體育白皮書，1999b）

監察院調查權、立法院調閱權與司法調查權 之比較研究

黃 佳 模

¹東南技術學院通識中心 ²政治大學三民主義研究所

摘 要

近日監察院的存廢問題隨監察委員任期議題再度浮上檯面。本文擬拋磚引玉，先就監察院為行使憲法賦予之各項職權所需具備之最基本的調查權作一探討，包括調查權的意義、行使的方式和程序、調查的對象、以及行使績效等項目逐一分析，並與立法院的調閱權、司法院的司法調查權作比較研究，俾能提供完整的調查權之各個思考面向，以期大眾對監察院職權能有進一步認識，作為未來討論監察院存廢相關問題時之參考。

壹、前言

一、楔子

本屆監察委員的任期即將於明（九十四）年一月卅一日屆滿，總統府近日已陸續展開下屆監察委員提名相關事宜；惟執政的民主進步黨向來主張依西方三權分立之制，將我國憲政制度由五院改為三院分權，故近日監察院的存廢問題隨監察委員任期議題再度浮上檯面。監察院為此並曾專案研究並於本（九十三）年十一月九日舉行院會，通過該院憲政小組所提之「監察院在我國憲政體制上定位 - 監察院不應輕言廢除」說帖，會後更由監察院長錢復及憲政小組委員共同舉行記者會，對說帖內容提出說明。

思考監察院的存廢，首先必須了解其在憲政架構中的定位，再進一步分析憲法所賦予的職權功能及其行使效果，評估監察權獨立的存在價值和必要性；其次，也需一併考量一旦監察院廢除，其原屬職權移轉至立法院，由立法院兼有立法和監察權二者，是否符合我國國民期待和憲政機關之間權力平衡的設計原則。

值此探討監院存廢問題之際，本文擬拋磚引玉，先就監察院為行使憲法賦予之各項職權所需具備之最基本的調查權作一探討分析，以期大眾對監察院職權能有進一步認識，作為未來討論監察院存廢相關問題時之參考。

二、監察調查權、立法調閱權與司法調查權

綜觀我國憲法的規定，只有在監察一章（第九十五條、九十六條）提及調查權的

行使，因此，國內的學者在論及調查權時，多將其定位為國會為監督行政部門的各項作為，所依法採取的強制性或準司法程序的調查手段；實際內容則多指監察院為行使彈劾、糾舉、審計、糾正等權力所衍生之調查權。監察院雖自民國八十一年修憲後即不再具有國會性質，但根據大法官會議所作釋字第三二五號的解釋，調查權仍由監察院行使則是十分確定的。

另一方面，立法院依憲法規定擁有立法權、預算議決權、人事同意權等，最具有西方國家國會的性質；西方各國國會既普遍具有國會調查權，且範圍甚廣、作用能力甚強，我國立法院多年來亦以此立論，極力主張立法院應擁有調查權，部分學者也有相同的看法。但同樣根據前述釋字第三二五號的解釋，立法院為行使憲法所賦予之職權，僅擁有「調閱權」而非「調查權」。

至於司法調查權，如同絕大多數現代法制國家的立法例，對犯罪之追訴原則上由國家機關本於職權為之。狹義的「追訴」專指檢警機關發動偵查至提起公訴之間的活動，廣義的則兼指及至判決為止，包含法院在內所有的國家行為。從刑事訴訟法所規範的國家追訴原則而言，所指者乃是廣義的追訴¹。我國因採大陸法制，訴訟制度受嚴格的要件限制，依刑事訴訟法規定，法院為發見真實，得依職權調查證據，為維護公平正義或與被告之利益有重大關係之事項，法院也應依職權調查。此即本文所探討的司法調查權。

除上述三種與調查相關之權力內涵外，行政機關對於行政命令與行政處分的作成，通常皆須經過調查的程序；其他行政行為，如監督、指導、一般政策的決定、以及立法事項的建議等，亦莫不依賴調查所得的資料以為張本²，但這類行政調查並非本文研究範圍，故不予討論。

貳、監察院調查權

一、調查權的意義與憲法依據

國會調查權是西方國會最古老的權力之一，其起源是來自國會對行政的不信任，為確保對政府與行政部門有效的控制而發展出來的權力。

英國是最早行使國會調查權的國家，當十七世紀時，英國的下議院就已設置選任委員會（select committees）行使調查權力，以監督政府，乃成為近代各國議會行使調查權的濫觴；之後在1845年 *Howard v. Gosset* 一案中，又經司法判例明白宣告「凡與公共幸福有關之一切事項，而為國會議員所必須知曉者，國會均有權力加以調查」³，英國國會擁有調查權於是成為一項憲政運作中的規範。此一國會調查制度後為美國所做，並進一步成為現代各國國會調查權的啟發源頭。

至於國會調查權的內涵，乃是國會為了貫徹其權限範圍，依憲法所為了解事實真相，蒐集有關資料，研判有關問題的憲法權力⁴；若從英美的經驗而言，調查權是國會於特殊事件發生時，為要監督行政機關，且不受行政機關之蒙蔽，而設置委員會以了

¹ 林鈺雄，刑事訴訟法（上冊），林鈺雄，2003年9月，三版，頁44。

² 羅傳賢，行政程序法基礎理論，五南圖書出版公司，民82年7月，初版，頁80。

³ 曾繁康，比較憲法，三民書局，民67年，頁331-333。

⁴ 洪德旋，美國國會的調查權，民65年，頁4-5。

解實情真相的一種權限⁵。

在我國，由於我國憲法乃依據孫中山先生之遺教，依五權憲法之精神，將行政、立法、司法、考試、監察五院分立，其中監察制度即是取法自我國秦漢以來的御史制度，並汲取西方制度的長處而設法加以改進的，將隸屬國會的監督權力自立法權中獨立出來，避免國會權力過大而形成議會專制。因此，我國監察院的職權確實是為發揮國會監督行政部門官員和各部會之工作有無違法或失職之功能，而根據憲法規定行使彈劾、糾舉和糾正權。調查權的性質則屬於行使上述監察權所需之必要手段，為憲法所隱含賦予的權力。

根據我國憲法第九十五條：「監察院為行使監察權，得向行政院及其各部會調閱其所發布之命令及各種有關文件。」第九十六條：「監察院得按行政院及其各部會之工作，分設若干委員會，調查一切設施，注意其是否違法失職。」此二條文為監察院調查權的憲法依據，並據此而在監察法和監察法施行細則中訂定調查專章。

調查權為監察權行使的必要手段，其目的在於查明各機關之人員及設施有無違法或失職，以作為提起糾舉、彈劾或糾正之依據。監察院行使任何監察權，都必須經過調查的程序，所以，調查權為具有工具性和附屬性的職權。但是在調查的過程中，由於必須將政府施政的資訊加以蒐集並予以公開，此亦提供給人民了解與監督政府施政的機會。

二、調查權行使的對象

根據憲法第九十五條、第九十六條之規定，以及監察法第廿六條第一項之規定：「監察院為行使監察職權，得由監察委員持監察證或派員持調查證，赴各機關部隊公私團體調查檔案冊籍及其他有關文件。各該機關部隊或團體之主管人員及其他關係人員不得拒絕。遇有詢問時應就詢問地點負責為詳實之答復，或作成筆錄由受詢人署名簽押。」同條第二項復規定：「調查人員調查案件，於必要時得通知書狀具名人及被調查人員就指定地點詢問。」由此可見，調查權的行使範圍涵括行政院及其各部會、武裝部隊與各公私團體，其中私人團體則以與政府或官員有牽涉者為限。

由於調查權係為輔助行使彈劾、糾舉和糾正等監察權的必要手段，基本上，其行使的對象可分為「對人的調查」和「對事的調查」。

1. 對人的部分：根據憲法規定是以中央和地方公務人員為限，依調查結果可提出彈劾或糾舉以追究其責任。
2. 對事的部分：則可於對行政院及其所屬各機關進行調查後，經監察院相關委員會的審議及議決而提出糾正案，並移送行政院或有關部會促其注意改善。

綜合而言，調查權行使的對象係隨彈劾、糾舉和糾正之對象而定。

三、調查權行使的方式與程序

監察委員調查案件的進行方式有三：派查、自動調查與委託調查⁶。

1. 派查

為調查人民書狀所述事項而輪派委員進行調查，或根據院會或各委員會之決議而推派或輪派委員組成專案小組調查，統稱為派查。派查以委員輪流擔任為原則，但案情重大者，可經院會或有關委員會決議而推派委員二至三人組織調查小組進行調

⁵ 董翔飛，中國憲法與政府，三民書局，民80年，增修廿三版，頁465。

⁶ 監察院報告書，監察院編印，民86年，頁138-139。

查，其被推派之委員仍視同輪派⁷。（監察法施行細則第廿三條）

2.自動調查

監察委員收受人民書狀後不待輪派而自動調查，或為加強監察權之行使而自動進行調查，是為自動調查。監委自動調查案件時，應先向監察院業務處登記，以確認該案件是否已經派查或已有委員自動調查；如已派查或有委員登記調查者，應送請調查委員併案處理。而案件性質特殊者，監察院院長得商請申請委員同意或依申請委員之陳報，指派具有相關專長的委員會同調查⁸。（監察法施行細則第廿四條）

3.委託調查

監察院於必要時，得就指定案件或事項委託其他機關調查，各機關接受委託後應即進行調查並以書面答覆監察院。（監察法第卅條；監察法施行細則第廿九條）委託調查的方式則分為全案委託與部分委託；前者係將全案委託有關機關調查，後者則是在調查過程中，調查委員認為其中部分事項有委託有關機關調查之必要者，由監察院依調查委員指定之調查事項及查復期限函請機關查復。

在進行調查程序中，不論是由監察委員持監察證或由其他經指派之調查人員持調查證至各機關團體進行調查，其實際行動可表現在下列四方面：

1. 請各機關團體提供文件。
2. 封存攜去文件：調查人員認為有必要時，也可以臨時封存有關證件或將其全部或部分帶走。
3. 約談詢問：相關被調查人員不得拒絕。
4. 請當地行政或司法機關協助：調查人員認為有必要時，可以知會當地政府法院或其他有關機關協助；如進一步遭遇抗拒或為保全證據，則可以通知警察當局協助作必要之措施；若案情重大或被調查人有逃亡之虞，亦可通知當地警憲協助予以適當防範。

由此可見，調查權的行使具有相當的強制性，以確保調查的進行不致受到干擾。

監查委員調查案件完成後應提出調查報告，如被調查對象為人，可作為是否提起彈劾、糾舉或交由被調查人所屬機關長官議處之依據；對象為機關的部分則可作為提出糾正或促請該管機關檢討改善的依據。

四、協助調查幕僚人員

上述前二項調查方式於民國八十七年一月七日監察院組織法修正前，是由監察院之職員協助監委調查後，由監察委員提出調查報告。在監察院組織法修正後，監察院設立監察調查處，改由調查官、調查專員及調查員協助監委調查案件，大幅增加專業調查人力之編制，專責調查公務人員貪瀆不法情事。

依監察院組織法第十條、第十一條之規定，監察院設監察調查處，掌理調查案件之協查事項，其法定編制為：（一）調查官廿四至廿八人；職務列簡任第十職等至第十二職等；（二）調查專員廿四至廿八人，職務列薦任第八職等至第九職等，（三）調查員廿四至廿八人，職務列委任第五職等或薦任第六職等至第七職等。目前監察院現有調查幕僚人力則包括調查官十九人，調查專員廿四人，調查員廿七人。

由於調查人員職等與待遇之編制大幅提高，調查官的招考甚至還曾吸引了法務部調查局的專業調查員及政府其他部門的高階主管轉換跑道，至第三屆監察院的專業幕

⁷ 各國監察制度比較之研究，監察院編印，民88年7月，頁35。

⁸ 同前註。

僚人力已獲得初步改善，因此監察院未來的掃白績效可望令外界耳目一新⁹。

五、調查之限制與拒絕調查之處理

監委雖擁有調查權，但其權力之行使並非不受限制，第一重限制是監察法廿七條第二項規定：「... 證件之封存或攜去，..... 除有妨害國家利益者外，..... 不得拒絕」，推論出事涉國家利益之部分可拒絕監委之調查；第二重限制是來自釋字第三二五號解釋文後半部分：「國家機關獨立行使職權受憲法之保障者，如司法機關審理案件所表示之法律見解、考試機關對於應考人成績之評定、監察委員為糾彈或糾正與否之判斷，以及訴訟案件在裁判確定前就偵查、審判所為之處置及其卷證等，監察院對之行使調查權，本受有限制，.....」。倘發生被調查機關主管以上述規定為由拒絕提供文件，或被調查者為不實之答覆時，應如何處理？

1. 監察法施行細則第廿八條規定，所謂妨害國家利益者，係指妨害國防、外交上應保守之機密而言。惟何者應受保密之具體標準卻付之闕如，公務機密之內涵及範圍實際上皆由行政機關判斷，故行政機關首長有很大的決定權，若被調查機關拒不提出文件，在缺乏司法機關之強制處分權的情況下，監察院似亦無計可施。
2. 被調查對象之拒絕調查包括：a. 案件當事人拒絕配合調查；b. 證人、關係人或其他公務單位拒絕配合調查；c. 私人機關團體或專家學者不願提供相關資料或意見。拒絕的方式包括：a. 拒不見面或就詢問地點為答覆；b. 為不實之回答；c. 拒絕於詢問筆錄簽名；d. 抗拒、欺瞞或湮滅罪證等。

監察法雖授權監察院調查人員得於必要時請求當地警憲單位或法院協助，但可否促請拘提、獲准搜索，甚至要求被詢問人員結證言？此類衍生的權限並無明文規定¹⁰，本人傾向採較保守之看法。

當然，若調查對象為公務員，因受其身分之相關法令規範，將比較不至於發生上述拒絕之情形，否則監察院亦可以提案彈劾之方式以為制裁，但對於不具公務員身分之私人團體或證人則無法有效約制。

六、調查權行使的績效

依監察法規定，監察院及監察委員得收受人民書狀，故任何人如發現政府機關或公務人員有違法失職行為，均得詳述事實及檢附有關資料，向監察院或監察委員陳述。因此在實務統計上可發現，監察院的調查案件多數是依人民書狀之陳述而作的處理。第二屆監察院自八十二年至八十七年¹¹，總計收受人民書狀90892件，可見人民書狀的處理與調查權的行使有密切關係，甚至可說是行使各項職權的主要資料來源。

根據監察院的統計，從民國七十六年至八十一年間，監委人數為52人，共計處理2847件調查案，平均每年475件。而監察院第二屆自民國八十二年至八十七年間，處理之調查案件有3328件，平均每年555件；以監察委員減為廿九人之結果來看，相對而言每位監委所負責的調查案件數較以往提高二倍以上。

⁹ 丁宗岱，修憲後監察院防腐功能之研究，國立成功大學政治經濟學研究所碩士論文，民88年6月，頁141。

¹⁰ 英美等國對拒不配合的證人，可處以罰鍰或徒刑，德國則準用刑事訴訟程序，有強制力的規定，且各國對調查人員多有偽證罪的適用，以貫徹調查權。

¹¹ 監委之任期應自82年2月1日至88年1月31日，惟監察院之統計以年度為單位，本文數據亦以年度計算。

參、立法院調閱權

一、緣起

我國立法院有無調查權，憲法並未規定，然多數立委基於世界各國國會之權力範圍以及行使憲法授權之需要，認為應有一般民主國家國會普遍具有的調查權；學界前輩如羅志淵、涂懷瑩、林紀東先生¹²，以及楊日青¹³、楊泰順¹⁴教授等，皆主張立法院應有國會調查權。

民國八十二年一月立法院修正通過立法院組織法第十八條第三項：「為確保立法權之行使，得設專案小組向行政院及其各部會調閱其所發布之命令及各種有關文件」，主動立法取得向行政院調閱文件的權力¹⁵，再加上憲法原有之質詢、邀請政府人員和社會有關人員備詢之規定，二者相互妥善運用，憲法雖未明文授予立法院調查權，但立法院仍可達成調查之目的。惟行政院認為依憲法規定立法院並無調查權，該法調閱文件之規定確有窒礙難行之處，於是經總統核可後移請立法院覆議，一度造成行政和立法兩院的緊張關係。後經立法委員聲請釋憲，大法官會議於八十二年七月廿三日作出釋字第三二五號解釋，除確認「調查權仍應專由監察院行使」之外，同時亦認可「立法院為行使憲法所賦予之職權，……得經院會或委員會之決議，要求有關機關就議案涉及事項提供參考資料，必要時並得經院會決議調閱文件原本，受要求之機關非依法律規定或其他正當理由不得拒絕。」至此，一場憲政爭議乃得以消弭，行政院於同年九月廿三日撤回覆議案，立法院則爭取得依法擁有調閱的權力。

二、調閱權之限制

分析立法院的調閱權限範圍，大法官雖確立調閱文件之權，卻未提及約談、詢問關係人員、封存攜去文件等內涵，有學者認為此係大法官有意的省略，僅予立法院有限度的資訊權¹⁶，以減少立、監兩院因職權行使引起的衝突。因此可歸納出立法院的調閱權受到下列幾點的節制，權力效果與監委行使之調查權有相當大差異。

1. 只限於調閱政府機關之公文檔案，而不包括官員個人之文件及社會團體或利益團體之資料。且請求提供資料或調閱文件，被調閱文件之機關係將文件送至立法院指定之場所以供查閱，立法委員無權逕至各政府機關、部隊或公私團體調查檔案冊籍及相關文件，更無封存攜去之可能。（立法院職權行使法第四十七條）
2. 該權力之行使須經院會或委員會之決議，且限由各該調閱委員會或專案小組之委員或院長指派之專業人員親自查閱，個別的立法委員並不能單獨行使調閱權；查閱人員對機密文件不得抄錄、錄影、影印、誦讀、錄音或為其他之複製行為。（立法院職權行使法第五十條）
3. 立法院對各機關調閱文件之決議並非毫無限制，從「受要求之行政機關非依法律或具備正當理由不得拒絕」的反面推論，則只要依法律規定或具備正當理由，行政機關便可予以拒絕。由於「正當理由」為一不確定法律概念，其解釋權如遭行政機關強勢自行認定，則立法調閱權的實際效果將大打折扣，美國總統對國會的調閱文件

¹² 沈中元，論國會調查權——釋字三二五號解釋之比較分析，空大行政學報，第1期，83年5月。

¹³ 楊日青，從憲政走向探討立法院的角色及其應有的調查與聽證權，理論與政策，第61期，91年3月。

¹⁴ 楊泰順，立法院何以應該擁有調查權，民主通訊，第56期，82年3月16日。

¹⁵ 現行調閱權之規定則見於立法院職權行使法。

¹⁶ 蘇永欽，也談三二五號解釋，司法周刊，第645期，82年10月27日，頁3。

常以「行政特權」為由相抗衡，即是一例。

至於「依法律規定」亦是不同機關有不同解讀，例如銀行法、稅捐稽徵法等金融相關法規，常有對相關人員資料之保密規定，此類資料應否提供，常是爭議所在。

4. 釋字第三二五號後半段解釋文對監察院調查權所作之限制，當然也適用於立法院調閱權之行使。

我國調閱制度與監察院同樣有缺乏強制力的弱點，受調閱之機關或人員若無正當理由而拒絕者，立法院只能經院會決議，移送監察院糾彈，後續之監察院是否配合、公懲會審理之結果如何，皆非立法院所能置喙。

三、調閱權之行使情形

立法院實際行使調閱權的情形，在最近幾年內有比較多的調閱小組成立運作，列表如下：

次數	日期	調閱小組名稱
1	1998.04	國防採購及工程弊案調閱小組
2	1998.10	台肥釋股案調閱小組
3	1999.04	金融檢查資料調閱小組
4	2000.07	中華電信釋股案調閱小組
5	2001.05	地方補助款調閱小組
6	2001.07	拉法葉調閱小組
7	2002.06	核四弊案調閱小組
8	2002.10	新瑞都案調閱專案小組
9	2003.03	施政宣導統包案調閱小組
10	2003.04	國安局預算外秘密調閱委員會
11	2003.05	高鐵調閱小組

值得一提的是，立法院職權行使法對調閱權的運作規定其實並不精細，較細節的調閱小組運作規範通常是在調閱小組成立後，再由小組成員討論定訂；例如，針對國安密帳即定有「立法院國家安全局預算外秘密帳戶調閱委員會運作要點」，該要點第十四項甚至規定該會召開時，得邀請受調閱文件之機關首長率同有關人員列席說明。可見立法委員在行使調閱權時，亦將憲法第七十一條邀請機關首長列席的精神放入運作規範中。此一安排，讓立法院只有調閱文件的權限，實際上卻達到詢問政府官員的目的，也擴大了調閱權行使的對象範圍。

四、調閱權與調查權之比較

調查權在我國特殊的五權架構下，呈現立法調閱權與監察調查權並行的雙軌制，但重心似仍以監察院為主。下表將立法院調閱權和監察院調查權作一比較，以明二者間的主要差異¹⁷：

¹⁷谷湘儀，論監察院之調查權，國立台灣大學法律研究所碩士論文，民83年6月。

	立法院調閱權	監察院調查權
目的	為行使質詢、立法、預算等權	為行使彈劾、糾舉、糾正權
時機	事前蒐集資料	事後追究責任
程序	公開為原則	不公開為原則
方法	調閱文件	調閱、封存攜去文件，詢問關係人，委託其他機關調查
方式	須院會或委員會決議	得自動調查、監委單獨或共同行使
限制	法律規定或正當理由可拒絕 獨立行使職權之資料受有限制	國家機密可拒絕 獨立行使職權之資料受有限制

若萬一發生立法院與監察院同時調閱同一文件之情況，應以何者優先？行政機關本應依調閱的目的選擇將原本交付，然而調查權的重心既為監察院，自然以優先交付監察院為宜；且監察院較立法院有更嚴謹的程序規範，為追究公務人員責任必須發現事實，與立法院取得資訊以為決定立法、審查預算之目的，前者更具有迫切性。實際上以現行體制觀之，監察院對文件可動用封存攜去之方式，較立法院僅有調閱文件之權力為廣，當兩院職權發生競爭時，監察院顯然較佔有優勢。

立法院依憲法規定擁有議決法律案、預算法案、戒嚴案、大赦案、條約案、宣戰案、媾和案、以及其他國家重要事項之權，平日審議各項議案已是相當繁重的工作，處理選區業務和選民服務案件也是事務繁雜，再加以任期較短、又有會期中斷的問題，能否勝任深入調查接觸以發掘事實真相，恐有疑問。尤其立法院為各種政黨勢力角逐，社會大眾對國會的表現向來評價不高，若未慎重節制調查權之行使，將很容易淪為個別立委政治作秀、謀取政治利益、或政黨間黨同伐異的工具，西方各國國會調查權，常因政治和利益因素干擾而備受爭議，是不爭的事實。

相對地，監察委員本身有任命的資格限制，且依憲法獨立行使職權，不受選民壓力及政黨干涉，可深入調查、追究政府官員之違失，是我國制度上的優點。惟過去監察院常受「只拍蒼蠅，不打老虎」之譏，近年來雖已逐漸恢復大眾的信任，但疑涉及政府高層人員時，如拉法葉採購案、尹清楓命案以及國安密帳等，皆是眾所矚目的重大弊案，似乎仍未能讓人民感到相當程度的滿意。未來針對社會關注的重大案件，如能秉持憲法賦予的權力，無懼政爭紛擾，堅定的追出真相、還原事實，相信監察院職司風憲、維護官箴、保障人權的憲政定位，必能得到更多人的肯定與支持。

肆、司法調查權

一、司法調查權之涵義

司法機關為證明是否犯罪必須蒐集與調查證據，而擁有司法調查權。依刑事訴訟法第一六三條第一項規定：「法院因發見真實之必要，應依職權調查證據。」，「調查原則」乃成為法院在進行審理與判決程序中所應遵守的重要原則之一，意即法院審理刑事案件應主動探究與審查所有與案情有關之一切訴訟資料，法院對於形成判決之事實與證據，負有探究審查實質真實之義務，以期發現實質之事實真相，作為判決之

依據¹⁸。準此觀之，司法調查權實為審理案件、進行判決的重要司法職權之手段。

在實務上，犯罪之證明在偵查階段即已開始，故證據調查實包括偵查程序之證據調查與審判程序之證據調查，因此，檢察機關從事犯罪偵查、控訴罪犯、指揮執行刑事裁判、監督刑事司法、保障人權等職責，具有司法機關之功能，在司法權之行使上係與法院平行同格之司法機關¹⁹，大法官會議釋字第三九二號解釋亦確認憲法第八條第一項所規定之司法機關，係包括檢察機關在內之廣義司法機關。故本文所討論之司法調查權當然涵括檢察體系與法院系統之調查權兩者。

二、司法調查權之對象與效力

司法機關調查證據，常因資料之不同而異其方法，調查對象則包括人證與物證。

1. 人證：人證之調查對象包括犯罪嫌疑人、被告、證人、鑑定人等。
2. 物證：凡與犯罪事實有關之物體均為物證調查之對象，其內容又可分為普通物證與書證。

在調查的程序中，司法機關依法律明文規定獲得授權的調查強制力，是監察和立法機關所無法擁有的，其目的在於獲得或保全證據並確保人證之到場，一般稱之為強制處分。此種強制力不但可直接施以物理力（例如搜索），且使對方負有行為之法律義務，屬於服從國家命令之義務²⁰，使被調查之對象不得拒絕。

1. 對人之強制處分：包括傳喚、訊問、通緝、拘提、羈押和逮捕。
2. 對物之強制處分：包括搜索、以及扣押。

三、司法調查與監察調查之優先順序

監察院行使調查權時，就同一事件，除了立法機關可能行使調閱權外，經常有不同機關亦行使調查權，特別是公務員涉及的違法如瀆職、圖利、廢弛職務釀成災害等，除了行政責任外，亦可能構成刑事責任，成為刑事偵查或司法審判的對象。

檢調單位行使調查權偵查案件，或司法機關在訴訟進行中所為的調查，都可能與監察院的調查權同時進行。監察法施行細則第廿七條第一項明確規定：「調查案件被調查人之同一行為在刑事偵查或審判中者，不停止調查。但其行政責任應以犯罪成立與否為斷而認為有必要者得停止調查。」即認為調查可與偵查同時進行，但監察委員可決定是否停止調查。此外，依公務員懲戒法第卅一條：「同一行為在刑事偵查或審判中者，不停止懲戒程序。……」之規定，係採「刑懲並行」原則，懲戒程序既無須停止，懲戒之前的糾彈調查程序自亦無停止之理由。

監察院同時與司法機關進行調查，最易引起相互干擾的是對物證的調取和人證的訊問。監察權對已進入司法程序的案件應否加以調查，西方各國不論是採國會調查權、或採監察使制度者，均各有不同規定，並無一致性。本人以為，基於對司法的尊重，且為掌握蒐證契機，司法調查對各項證據的時效要求似又比監察院調查權更為迫切，監委調查的時機和方式若能自我節制，除有逾追究期限者外，儘量與司法機關取得協調，甚至待案件偵結或審判結束後再行調查，應較為合理，也符合釋字第三二五號文末所謂：「訴訟案件在裁判確定前就偵查、審判所為之處置及其卷證等，監察院對之行使調查權，本受有限制。」之意旨。

但另一方面，根據監察院收受人民書狀處理辦法第十二條第一至三款之規定，除

¹⁸ 林山田，刑事程序法，五南圖書出版公司，2000年5月，修定三版，頁67。

¹⁹ 同前註，頁141-143。

²⁰ 蔡墩銘，刑事訴訟法論，五南圖書出版公司，民89年，4版，頁155-159。

被訴人有瀆職或重大違法失職嫌疑需要即予調查者之外，有下列情況者應為不予調查之處理：1.已進入行政救濟程序者；2.已進入司法或軍法偵審程序者；3.已分送上級機關或有關機關處理者。此一規定似乎與上述監察法第廿七條第一項相矛盾，然不失為監察權慎重行使權力，顯示充分尊重司法獨立與國家各項救濟制度設計之基本原則。

四、司法調查與監察調查之比較

以下僅就司法調查與監察調查的基本差異作一概要比較：

1. 就調查權發動的原因而言，監察院調查的對象包括對人及對事（政府設施），範圍較司法追究的為廣。而依公務員懲戒法，其認定違法或失職之範圍亦顯較刑法為寬。
2. 監察院調查權所欲達到的是外部監督的目的，追究的是公務員的行政責任，司法調查權所追究的則是刑事的法律責任。
3. 若從調查權行使的程序觀之，司法調查之程序依刑事訴訟法，有相當嚴謹縝密的程序規定，司法機關的彈性空間較監察院小。
4. 在專業的人力方面，檢查機關有龐大的組織人員，又可指揮警調單位辦案，其專業人力更是監察院望塵莫及的。
5. 在調查權的約束力方面，則因司法調查具有強制處分的效果，其效力遠非監察院調查權所可比擬。

伍、結論

司法調查權、立法調閱權以及監察調查權雖在職權名稱上易產生競合或混淆之疑慮，然就實務上之觀察，因各自權力行使的定位明確，尚無重大競合之問題。即使立法院曾為爭取調查權隸屬而引發爭議，在大法官會議作出釋字三二五號解釋後，又在八十六年修憲時再度被提出，最後也隨著修憲的落幕而趨於平靜，立、監兩院一度緊張的情勢在近幾年的實際權力行使過程中，並未再發生相互干擾的情形。

以下謹提出加強監察院調查權行使效果之建議：

1. 增列證人作證、具結之義務，對拒絕出席、作證或偽證者課以處罰，或考慮準用刑事訴訟法程序，以強化調查權的強制力，達到發掘真相、追究責任的功能。
2. 適度引進聽證制度，但採不公開之原則，請學者專家提供意見和專業鑑定，以增進調查之精確性，釐清爭議重點，作為監察委員判斷之助力。
3. 加強調查人員的專業訓練，與檢、警、調等單位建立充分良好的溝通管道，並適時運用委託調查，以發揮協助監察的功能。

參考書目

1. 丁宗伋，民88年，修憲後監察院防腐功能之研究，國立成功大學政治經濟學研究所碩士論文。
2. 谷湘儀，民83年，論監察院之調查權，國立台灣大學法律研究所碩士論文。
3. 沈中元，民83年，論國會調查權----釋字三二五號解釋之比較分析，《空大行政學報》，第1期。
4. 林山田，民89年，刑事程序法，五南圖書出版公司，修定三版。
5. 林鈺雄，民92年，刑事訴訟法（上冊），三版。
6. 洪德旋，民65年，美國國會的調查權。
7. 曾繁康，民67年，比較憲法，三民書局。
8. 楊日青，民91年，從憲政走向探討立法院的角色及其應有的調查與聽證權，《理論與政策》，第61期，。
9. 楊泰順，民82年，立法院何以應該擁有調查權，《民主通訊》，第56期。
10. 董翔飛，民80年，中國憲法與政府，三民書局，增修廿三版。
11. 蔡墩銘，民89年，刑事訴訟法論，五南圖書出版公司，4版。
12. 監察院，民88年，各國監察制度比較之研究，監察院編印。
13. 監察院報告書，民86年，監察院編印。
14. 羅傳賢，民82年，行政程序法基礎理論，五南圖書出版公司，初版。
15. 蘇永欽，82年，也談三二五號解釋，《司法周刊第645期》，10月27日。

文學人物的型塑 柳宗元生命腳本

蔡淑慧

Shu-Hui Tsai

東南技術學院通識中心國文組講師，美國 The University of Montana 蒙大拿大學博士候選人

摘要

本文嘗試運用詮釋學的方式，與心理學的概念來研究柳宗元的一生。柳宗元重視自己的家世，兢兢業業的尋求政治上的表現，和他對婚姻的執著、家庭的責任，一如其性情中的寂寞特質，有其悲劇性的自我觀照，早期決定讓他比較受苦的地方，便是這種孤傲的抉擇。他選擇的是贏家腳本，但在世人眼中則是輸家腳本。以溝通分析的角度看來，非贏家亦非輸家，其雖無法在政治上如其先祖功名立萬，卻也改造柳州風俗贏得敬重，且在文學造詣上獲得歷代學者稱許。

Abstract

This study uses the methodology of Transaction Analysis theory for the interpretation and psychoanalysis of Dzung Ywan Lyou's life that honored his family by working hard to achieve an excellent political standing. Lyou respects marriage and takes responsibility for family, but he feels lonely all the time. He had an early decision to choose to be a hero, while becoming a loser in the eyes of others. However, Lyou was neither a hero nor a loser according to Transaction Analysis theory. He could not have achieved the great political status of his forefathers, while enhancing people's life in the Lyou State and his enormously successful performance in the literature.

關鍵字：柳宗元 生命腳本 Life Script

壹、前言

柳宗元的生平、作品，歷年來已有諸多學者投入考評¹；本文僅以既有之研究論文，套用心理學溝通分析學派中的「生命腳本分析」²，來型塑柳宗元的性格與詩文特色。他大起大落，與屈原生命歷程相似，沒有跟隨屈原選擇自殺，反而全力負起政治

¹ 方介，臺灣地區柳宗元研究概況(1958-1992)。

² 溝通分析學派即 Transaction Analysis (TA)。腳本分析(Analysis of Scripts) 將在本文之中加以說明。

上的責任，得到百姓的愛戴崇仰；固然有其不同的歷史因素，導致不同的結局，但柳宗元「從政的心志與積極的行動」，與他生命腳本的「早期決定」確是息息相關。

歷史人物及其文學作品的研究，多半以文獻探討的方式進行；本文則嘗試運用詮釋學的方式，與心理學的概念來研究柳宗元的一生。「詮釋學」(hermeneutics)一詞，乃希臘學者用來詮釋軼聞、傳說、故事和資料原文(texts)的研究方法。屬於質的研究方法之一，直接摘述(direct quotations)原始資料，為人們所做的事，建立脈絡關係和意義。主要探討：甚麼是人類行動得以發生，作品得以產生的條件？³由於時代隔閡，缺乏直接參與觀察(Participant observation)，所以在蒐集當代文獻、其他學者的評論分析，要注意其可靠性。質的研究通常集中深入地研究較小的樣本，故普遍採用立意抽樣(purposeful sampling)，選擇資訊豐富之個案(information-rich cases)作深入的研究。柳宗元之研究，是典型深度個案抽樣，因研究其生平、作品者眾多，其文學表現、性格特徵，具有說服性。質的研究之目的在於發現，其挑戰性在於要從大量的資料中，加以闡明、理解、推知，找尋意義所在，建立實質的架構，結論並沒有絕對的規準。人(研究者)的因素在質的研究和分析中既是偉大的力量，又是根本弱點之所在。本文冀以主觀的優勢，加強客觀的分析，避免劣莠偏頗之論述，亟請各界學者不吝指教！

現代人與文字的疏離程度越來越深，很多人忽略了運用文字符號的主體——人，假如符號滲入了主體的生命與情感，山就不僅僅是山，海也不僅僅是海；問題在於我們應當如何去型塑自我生命中的山與海……文章要有創意，可是卻以最淺近的道理「非創意」為基礎。文章的寫作是極其複雜的活動，作者在提筆「寫」文章之前，必須經過極大的「腦力激盪」——這個過程是寫作成敗的因素，也往往是容易被人們忽略的部分。作者大腦倉庫中的一切材料，包含了生活經驗、思考、情緒、個性，一切都可能因緣觸動而產生，必須靠作者平時的累積。以上摘述林保淳與許華峰先生在「創意與非創意」一書中，對文字的意義與文章寫作的概念，正是本文在探討柳宗元生命腳本，或讀者以本文為參考者，最佳的提醒。

以下分別闡述柳宗元的人格型塑、散文風格與其生命腳本的內容。柳宗元的人格形象論述三個部分，他的生平與政治生涯、家庭與婚姻狀況、性情與愚者形象。其次描述其散文風格。最後以溝通理論的生命腳本概念分析他的生命腳本。

貳、柳宗元的人格形象

柳宗元重視自己的家世，兢兢業業的尋求政治上的表現，貶抑到永州，讀百家書、勤於著作，不忘師承、謹守中道，甚而於「十年憔悴，翻為嶺外行」⁴至柳州，忠於職守、補偏救弊；在在顯現其「從政的心志與積極的行動」。他對婚姻的執著、家庭的責任，一如其性情中的寂寞特質，有其悲劇性的自我觀照⁵。

(一) 柳宗元生平與政治

柳宗元字子厚，唐河東蒲州解縣人(今山西永濟縣；今山西運城縣西南)。生於代宗大曆八年，卒於憲宗元和十四年(773-819)；享年四十七歲⁶。

³ Patton, 吳芝儀、李奉儒譯, 1995。

⁴ 柳宗元, 「衡陽與夢得分路贈別」。

⁵ 吳炎塗(民66)。

⁶ 本段落主要根據：羅葆善(民62)、方介(民70)、張樸民(民71)、何淑貞(民78)。

柳宗元土生土長於長安，由於唐朝重視郡望、不重里居；而蒲州古屬河東郡，故宗元自稱河東解縣人。柳氏為魯士師柳下惠後代，歷代以來地位顯赫，直至唐高宗時，柳家外孫女王皇后遭武則天誣告，以故衰耗，從此以後家族中落，柳氏子孫多仕於地方。羅葆善先生依照河東先生集，將柳氏世系圖列得很清楚，並指出柳氏世代皆能「仁著於內」而「信稱於外」，為政秉持正直以造福鄉里，居家亦能恢弘孝悌之德以振揚家聲，交友亦「用沖退徑盡之志以弘正友道」，直可謂「一門忠義」。⁷方介先生將柳宗元先生的家世背景整理詳盡，且歸納出其「一生以儒者自居，守中道、重人倫、憫無辜、化及民、尊經術、倡古文、並力斥神怪之說、講求唯賢是用、倡議分層負責，均受家世影響。」⁸

柳宗元出生在安史之亂平定後二十年，十歲左右史上的「建中之亂」割據戰火燃起，涇原兵變迫使德宗下詔罪己、出奔奉天。諸藩謀襲奉天，德宗倉皇逃往梁州，戰亂歷時五年多，從此朝廷向強藩妥協採姑息政策。此一期間，宦官專權，德宗昏庸，朝政混亂激起有識之士力求變革。貞元十九年，柳宗元二十九歲，被擢昇為監察御史，不畏權貴、嫉惡如仇，與生死不渝的好友一同加入王叔文黨的政治改革，先後罷宮市、五坊小兒，先後放出宮女及掖庭教坊女樂等九百多人；取消苛捐雜稅，直接打擊宦官專政，減輕百姓負擔；進用賢能以強化朝政；整頓跋扈藩鎮，並欲從宦官手中奪回禁衛軍的統帥權，以去除唐室最大積弊。改革措施使「人情大悅」、「百姓相聚歡呼大喜」（韓愈修順宗實錄）。然而宦官藩鎮以及一些保守派官僚，為了維護自身利益，合演順宗內禪，聯合反攻，權力鬥爭的結果，王叔文黨執行三個月的革新計劃尋告中斷，於正史中留下「奸黨」的負面評價。「二王」、「八司馬」也淪為「小有才學」、「偏狹躁進」的一群人。⁹

永貞元年九月，柳宗元正值三十三歲壯年，被貶為邵州(湖南邵陽縣)司馬，赴任途中再貶為永州(湖南零陵縣)司馬。在蠻煙瘴雨的永州，借寓荒涼古寺，缺衣無食、生活困苦，即使獻宗即位第二年大赦天下，他亦不在恩赦之列，就在永州整整過了十年的流放生活¹⁰。司馬官小職卑，居閒無事，乃以讀書著述遊山玩水自遣。初期尚心繫朝廷，積極尋求管道，冀能回到京城，一展生平之志，直到十年後確認「無相知有氣力得位者推挽」，只求「遂少北，益瘴癘，就婚娶，求胤嗣」而已。十年的投閒置散，成就了柳宗元大量的著作：政論、寓言、詩歌、遊記、往來應對的信件，透露出「不甘於闇默，不屈於威壓」的心態。這段時間不遺餘力倡導古文運動，他不但勤於寫作，運用多樣的體裁表現廣泛的社會生活，還不憚其煩地教育後學(如：韋中立、嚴厚輿、廖有方、崔黯等)¹¹，故多稱其與韓愈同為古文運動的倡導者。

元和九年，忽蒙自尚書右丞拜相的韋貫之召引回朝，悲喜交集，以為擺脫冤死永州的陰霾，卻未料想到客死柳州。朝廷派系鬥爭之激烈，使柳宗元再度被貶抑，而且是到比永州更蠻荒的地方。元和十年，他到達文化落後、宗族複雜、民風卑劣的柳州，短短四年，先後立業成家。即使感染奇瘡霍亂，仍秉持「不鄙夷其民，動以禮法」¹²，協助居民建造廬舍、搬離獠洞、製造舟車、栽種藥材樹木、鑿井取水，以改善

⁷ 參「柳宗元生平及其思想研究」(民62)一文。

⁸ 參「柳宗元的思想背景」(民70)一文。

⁹ 劉中蘇(民61)。

¹⁰ 參「思想深湛的柳宗元」(民71)一文。

¹¹ 參「柳宗元的生平」(民78)一文。

¹² 羅葆善(民62)、何叔貞(民78)。

其生活、開發地方經濟；其次破除蓄養奴婢的陋習，使數千人得到自由。又大修孔廟、興辦學校、親自教學、帶動當地文風。

元和十四年十一月八日，柳宗元病逝，柳州居民在羅池立廟，感念其德政。

(二) 柳宗元家庭與婚姻

柳宗元只有兩個姊姊，算是獨生子。父柳鎮是個有才華、有聲望、有濟世抱負的人，先友記中列舉與之相交之善士有六十多人，史傳可考者二十人，可見其社會地位；但由於個性耿介，不為權貴所容，未得大用，後以軍功受任殿中侍御史，卻因平反穆贊冤獄，被竇參藉故外貶夔州司馬，三年後，竇參獲罪死於貶抑，才官復原職，回到長安第二年就病故了。母盧氏，是名士族范陽盧姓之後，少有才學，嫁到柳家後克盡婦職，使「柳氏之孝仁益聞」。盧氏三十四歲生宗元，五十五歲寡居，以垂暮之年隨獨子長途跋涉到永州，因居無定所，又水土不服、醫護不周，半年便亡故了。

亡妻弘農楊氏誌(河東先生集)中記載：「妻被足疾，不能良行，未三歲，孕而不育，厥疾增甚。」柳宗元的妻子楊氏，代宗大曆十二年生，素有足疾，二十一歲時嫁給二十五歲的柳宗元，不到三年，流產致疾，不治而折(貞元十五年八月)，年僅二十三歲(西元777-779年)。之後柳宗元過了十八年孤獨的鰥居生活，故費海基先生說：他的政治巧而不拙，他的婚姻則是拙而不巧¹³。

巧若是積極，則拙是消極。柳宗元鰥居，與其說是夫妻情深，倒不如說是顛沛流離、生活潦倒、蠻荒中沒有適宜的對象，還有他長期「病痞及悸」。其續絃則是由於傳宗接代的壓力與舅弟盧遵的情義所致。身後留有二子二女，算是盡到中國人傳統的孝道；盧遵不但跟隨至蠻荒、將妹妹嫁給他、還照顧其遺孤，對他的後半生可謂情深義重。

(三) 柳宗元性情與形象

根據柳宗元自己的文章與歷來學者的研究，可知柳宗元出生於仕宦書香之家、「聰明絕人」，又自幼好學，銳意猛進，所以年輕(十八歲左右)就名氣大、受到器重；但是「年少氣銳，不識幾微」、「進而不能止」、「將顯身以直遂，不擇言以危肆」，鋒芒外露、性情倨野不折，以致於不合於俗，落落寡和。

被貶永州，對年輕有為、才華出眾、自許甚高的柳宗元是一大打擊，積極申訴求助無援之餘，以自省其個性「氣銳、好事」消解謗恨。他對王叔文讚佩並未因此而改變；寫作寓言、傳記譏諷宦海人物過程中，透露「東山再起」有朝一日，天時、地利、人和，便可力挽狂瀾¹⁴。所以柳宗元作瓶賦、乞巧文、愚溪詩序，以愚拙自命，卻無法改變唐韓愈，宋黃震、晁無咎，明陸樹聲對他的看法，其智巧的形象始終留在世人的心中。即使近代方介先生認為他「抱拙終身」的抉擇相當勇敢，執著，也不免體會到他內在「以退為進」的期待與心態¹⁵。「患者形象」何嘗不是聰明的生存之道？

無論智巧愚拙總難掩其寂寞特質；他的積極躍進在年輕時得不到鼓勵，他的韜光養晦在貶抑之後得不到認同。儘管他的文才通達，卻也只能感嘆「欣望世人之明己，不可得也；疑似之不可辯、非口舌所能勝也。」十八年的鰥居換得拙婚只為盡子道；十年的青春，轉向大自然尋索慰藉，時而「與萬化冥合」，時而「疑造物者之有無」

¹³ 參「柳宗元之妻」(民63)一文。

¹⁴ 蔡淑慧(民92.5)。

¹⁵ 參「柳宗元的患者形象」(民86)一文。

¹⁶，山水裡迴盪著他寂寞的心靈。

參、柳宗元的散文風格

柳宗元年少氣勝，積極入仕，常「議論證據古今，出入經史百子，踔厲風發」¹⁷，故名聲大振。年輕時期的作品有六朝習氣，其考證入文可為其主要特色；兼好佛學，思想範圍較其他古文學家廣泛，取材除了古代儒家典籍，還包括史籍、諸子百家。永州、柳州的竄逐生活，折磨其銳氣，因此勤讀古書、寄情山水，他的散文，包括遊記、議論、傳記、寓言皆有令人稱道之處。其為文目的為明道，此道非韓愈所側重的儒道而已，而是儒家的中庸之道與文藝創作之道¹⁸。

柳文以神志為主，戒「掉以輕心、易以怠心、出以昏氣、作以矜氣」，相當重視態度與方法。立論以書辭並重：「道假辭而明，辭假書而傳，要之之道而已耳」，期能去除時人好辭工書之病癖。肯定文章不朽的價值，因為唯有文章可以抒發他的悲感怨憤，及政治抱負。

柳宗元的文章風格，具有數項特色：諷刺警誡，含蓄委婉，平易近人，史氏曰的精神。例如用梓人、郭橐駝、李赤、蝮蝻、麋鹿、黔驢、永鼠的肢體、形象、語言、動作為題材，寫出他的生命智慧、處世箴言、政治期許¹⁹。

肆、柳宗元生命腳本

以下簡要說明溝通分析理論的腳本概念，包括腳本分析、腳本矩陣、腳本訊息；再依此分析柳宗元生命腳本，導引出本文的結語。

(一) 腳本分析 (Analysis of Scripts)

心理遊戲²⁰成為更廣泛複雜的溝通組合就是腳本...正如電影劇本，有整體性的劇情，也有各種角色及相關的舉動、對白；溝通分析理論(Transaction Analysis Theory)的「腳本」即是孩童時期透過直覺，將其主要生活經歷，衍生成一齣藝術性的劇情。在心理治療中的定義，腳本是一組複雜的溝通型態，具有重複發生，卻又不必然重現的特質，終其一生才可能完成整體的演出(Berne by Steiner, 1976) 得知結局。任何社會群體，即使只有兩個人，都在努力從事他們所喜悅的遊戲，並從中獲得最極至的參與。因此人會在社交關係中，選擇或尋求配合其遊戲的夥伴：普通關係中，人們會隨意的參與溝通；較穩定的關係中，人們會玩一致的遊戲；親密的關係中，人們則各自投入符合腳本中的角色。

社交的型態是源於典型的早期經驗，主要在於調適與父母(或其替代者)間的互動。經驗與對象、任何溝通結構的決定因素，都不完全來自外在現實，因為觀察者隨時測

¹⁶ 柳宗元「永州八記」。

¹⁷ 韓愈「柳子厚墓誌銘」。

¹⁸ 柳宗元「答韋中立論師道書」 何沛雄(1975),倪志間(民72) & 楊蒼嵐(民83)等。

¹⁹ 李淑芳(1996)。

²⁰ 同15。

試著長期與複雜的外在情境(Berne by Steiner, 1976)。伯恩²¹(Berne, 1961)所謂的「自我形象」(Ego Image)或是「初級形象」(Primal Image)就是孩童時期觀察外在情境，相對產生的自我概念。當治療師面對某個個案(client)時，運用其直覺所感受到的個案形象，有可能就是此個案的自我形象。伯恩以十年的研究，將直覺的經驗發展成為溝通分析理論；希望協助不健康、不快樂、不善學習的個案，能夠發揮先天的智慧、潛能，改善不自重、不受尊重的生活方式。因為伯恩相信人性本善(People are born O.K.)，即使在最遭的狀況下，人可以運用天賦智能，解決人生的困境。而且在正確的知識與合宜的治療傾向引導下，所有的心理失常都可以痊癒²²。

腳本分析是溝通分析學派最初的實務工作(1955-1965)。腳本分析的主要目標在於結束不良的劇情，改寫劇本的情境²³。溝通分析學派學者相信：人在童年或青少年時期，即已做出足以預測、影響其餘生的生命藍圖。但是，年幼時，人的邏輯思維還不健全，以有限的判斷，選擇一個聽到、看到的童話或書本上的人物作為一生的依歸，以滿足自己的需要、切合自身所處的環境、資源。童年的人生決定很常見，就像小時候希望成為工程師、律師、醫師等等，也有人「希望」成為酗酒者、自殺者、精神失常或情緒失調者等等。理智上、社會價值觀是不可能接受後者的，但是溝通分析治療師發現確實有 OK 腳本與不 OK 腳本，所以找出有用的線索，來了解一個人的人格形成，便可以協助偏差的腳本復歸於尋常。

根據伯恩的歸類，腳本分為贏家腳本、非贏家腳本、與輸家腳本²⁴。腳本分析立基於「決定」的歷程而非「疾病」的層級。溝通分析師主要的工作在於：辨識一個人如何「詮釋」他所選擇的角色，運用其所知的一切去扮演這樣的角色，進一步協助他肯定自己的贏家腳本，或從輸家腳本，轉向健全的發展。本文即企圖以溝通分析師的角度，看待柳宗元如何做一生的決定，不論定其是非功過，而在於詮釋其腳本內容的生命決定。

(二) 腳本矩陣 (Matrix of Scripts)

史坦納(Steiner, 1974)繼伯恩之後，發展出腳本矩陣，說明整個腳本的型態與動力。腳本矩陣包括三個部分：父母的基本人格結構與孩子本身的人格結構（如圖一）。溝通分析理論所謂的人格結構，由三個結構組成：父母自我狀態(the Parent ego state)、成人自我狀態(the Adult ego state)、孩童自我狀態(the Child ego state)，以 P、A、C 所在的圓形圖案表示（為便於敘述，本文中亦以 P、A、C 來表示這三種自我狀態²⁵）。每個人都具有這三種人格結構（圖一），並以此與他人溝通交流。年幼時，則於腳本矩陣中，受重要他人（父母或其替代者）影響，而逐步形成腳本。所以腳本矩陣是：了解腳本成型的社會、心理動力，最基本的架構。

²¹ Eric Berne 艾瑞克 伯恩, 1910-1970. 溝通分析理論的創始者。原先接受心理分析學派(Psychoanalysis therapy) 的訓練，後來在軍隊擔任心理治療師，從事 年的直覺研究，將心理分析診斷的專業名詞，改變成通俗的語言，協助其個案了解自我形象的由來，進而協助改變其扭曲的生活方式。這種邀請個案投入診斷、治療過程，並負起責任的心理治療，就是溝通分析理論的基礎概念。伯恩的名言是“Anything that’s not worth saying in front of a patient is not worth saying at all.” 所以溝通分析理論的名詞、理念都淺顯易懂，診斷、分析、治療的過程都是公開的，治療師與病人（個案）一同參與的。此亦其理論可以廣泛運用於文學、教育、宗教、商業的原因。

²² Steiner, C. (1974).

²³ Berne, E. (1961). *Transactional Analysis in Psychotherapy*. NY: Grove Press.

²⁴ Berne, E. (by Steiner, 1976) *Types of Scripts*.

²⁵ 蔡淑慧(民92.5)。

(三) 腳本訊息 (早期決定)

腳本訊息為人格結構互相交流、腳本形成的主要成分，藉由口語、肢體語言(聲音、動作、表情等)傳遞一組包括行為、情緒、思想的訊息。幼年時對於外在的環境，週遭的人物，所能做的判斷有限，因為 A 尚未發展完全。人的生存本能為因應這些訊息，做了當時最佳決定，而成為潛意識的腳本。外在的一切就像錄音、錄影，紀錄腦海中，C 只能以特定的回應方式，重新播放這些事件的反應，感受，像舊錄影帶一樣，重現於未來。若這些反應以害怕的觀點(Perspective of fear) 紀錄在 C 就會增強我們的孤寂感²⁶。從腳本矩陣來審視腳本訊息，可看出影響孩童做決定的不同力量。這些決定就是早期決定，每個人做的每個決定，有不同的時機、技巧和狀態。早期決定與 A 發展成熟後的決定不同，早期決定由小教授(FC)執行，資訊、資源不足，所以通常是匆促而不成熟的決定，A 的決定是具有邏輯、清楚的認知、完全的資訊、符合現實的判斷。早期決定所選擇的角色、或人生計劃，或許不成熟，但也可能成為英雄腳本或贏家腳本，如，成為救難英雄；對社會有貢獻的政治家、傳教士、工程師等等。

腳本訊息(圖二)包含應該訊息(counter injunction)、程式化(programming)、禁令(injunction)。應該訊息是父母以口提面命的方式，將社會文化的期待傳遞給下一代。有時是一種代代順從、習以為常的偏見。程式化是父母以身作則教導孩子處世的方法。禁令則是非口語的肢體訊息，父母生氣時(多半是父母的 C 正在害怕、希望、或生氣)要孩童去感受、察覺、行動，訊息的形式為：「不要」，所以稱為禁令。例如：不要思考、不要快樂、不要活下去。禁令相對的形式是歸因(attribution)，也就是依照父母的喜好，成為某一類型的特質。如，媽媽的乖兒子、美麗的女生、反應遲鈍。這些訊息透過心理層面來傳遞，而非社會層面，所以常產生的現象是：父母很挫折或錯愕，他們明明告訴孩子要靈巧一點，他們怎麼還是那麼遲鈍。父母不可能跟孩子說「我不要你思考」，但是有可能因為父母急著趕上班或沒有給予孩子足夠的時間思考，而讓孩子產生「不要思考」的習慣，再加上因此父母可能會譏笑他「怎麼那麼笨」，加強暗示了孩子「笨」的自我形象，以至於「不要思考」的禁令就產生了。

孩童在回應、選擇腳本訊息有很大的個別差異，例如一位母親在丈夫去世時，預言自己的孩子恐怕會跟他們的父親一樣死在精神病院。結果兩個兒子果然死在精神病院，一個兒子因精神病發，但另一個兒子則擔任精神科醫師，在精神病院服務終身。所以腳本的形成，端賴其決定的時宜與自主性高低而定；健全人格的早期決定，一定適合時宜、且具有高度自主性，孩童的自我形象是好的，對外在世界也具有安全感與信賴感²⁷。

(四) 柳宗元的腳本

參照柳宗元的生平作品等研究，他選擇的是贏家腳本，但在世人眼中則是輸家腳本。以溝通分析的角度看來，非贏家亦非輸家，其雖無法在政治上如其先祖功名立萬，卻也改造柳州風俗贏得敬重，且在文學造詣上獲得稱許。

在應該訊息部分，可以看出他承受家風，自期在政治上要有崇高的地位，「為世儀表、以忠正仁義為志」。在程式化部分，父親的孝悌、父母雙方的好學，都成為他生活的典範。在禁令與歸因部分，則有「不要迷信」、「不要親近」(榮獨一生)、「不要認輸」。這是他雖然悲感怨憤如屈原，卻沒有選擇自殺的內在因素。

²⁶ Tanner, 1973.

²⁷ Steiner, 1974.

伍、結語

自古以來世人易以成敗論英雄，觀諸史獻與歷代學者對柳宗元的評論，多以政治表現，來論斷他的躁進浮淺；文學的作品來稱讚他的廣博精深。在此揭諸其人格的形塑，可以稍微了解氏族的聲望，對他既是一大激勵，也是一大包袱，使他積極仕進，勇於表現，但也因此樹大招風，鋒芒過露，不得人緣。相對於「不要親近」禁令使他無形中，跟人保持距離，即使好友劉禹錫也覺得他「疏雋少檢」²⁸。而全力投注於政治聲名的追求，也看到他較忽略家庭婚姻的經營。若要說腳本的早期決定讓他比較受苦的地方，便是這種孤傲的抉擇。

陸、致謝

本文承蒙東南技術學院九十二學年度講師專案研究之補助，研究經費來源為教育部，在此一併致謝！

參考文獻

1. 方介(民70)，柳宗元的思想背景，書目季刊15:1, 9-36。
2. 方介(民70)，柳宗元的中道思想，書目季刊15:2, 58-76。
3. 方介(民86)，柳宗元的愚者形象，故宮學術季刊15卷1期, 91-107+左6。
4. 何沛雄(1975)，從「答韋中立論師道書」看柳宗元的為文理論，思與言13卷3期, 11-15。
5. 何淑貞(民78)，柳宗元的生平，中國國學17, 241-258。
6. 李淑芳(民85)，柳宗元傳記文學的藝術特色，大仁學報14, 175-180。
7. 吳炎塗(民66)，柳宗元的性情與寂寞，鵝湖3:6, 41-45。
8. 吳芝儀、李奉儒譯, Patton, Michael Quinn 原著, (1995), 質的評鑑與研究 (Qualitative Evaluation and Research Methods), 台北, 桂冠圖書公司。
9. 倪志間(民72)，柳宗元對古文復興運動之貢獻，東方雜誌復刊16卷11期, 30-34。
10. 淡大<中國語文能力表達>研究室編(1999)，創意與非創意表達，台北, 里仁出版。
11. 張樸民(民71)，思想湛深的柳宗元，藝文誌197, 46-49。
12. 楊志莊(民62)，柳宗元之評傳，嘉義師專學報4, 59-79。
13. 楊蒼嵐(民83)，柳宗元評傳(二)，嘉南學報二十期, 268-287。
14. 蔡淑慧(民91)，文學人物性格的型塑 從 TA「漠視、心理遊戲」觀點研究柳宗元之思想與動物性格象徵，東南技術學院講師專案補助(未出版)。
15. 費海璣(民63)，柳宗元之妻，醒獅12:2, 16-19。
16. 劉中蘇(民61)，柳宗元，自由青年47:5, 57-69。
17. 羅葆善(民62)，柳宗元生平及其思想研究，台南師專學報6, 39-66。
18. Burne, E. (1976). Beyond Games and Scripts (Part II. Scripts). NY: Grove Press, Inc. (published by Claude M. Steiner), 123-276.
19. Burne, E. (1977). Intuition and Ego States: the origins of transactional analysis. (A series of papers, edited by Paul McCormick). NY: Harper & Row Publishers.
20. Steiner, C. M. (1974). Scripts People Live. NY: Grove Press, Inc.
21. Tanner, I. J. (1973). Loneliness: the fear of love. NY: Harper & Row Publishers.

²⁸ 劉賓客文集，唐故尚書禮部員外郎柳君集記。

反抗、妥協與認同----以日據初期陳秋菊的 抗日與歸順為例

陳慧玲

¹東南技術學院通識教育中心國文組講師

摘 要

台灣人民在經歷過多次統治政權的轉移，認同問題遂成為其被迫反覆面對的困擾，本文以生命史（life history）研究方法來詮釋抗日英雄陳秋菊的生命歷程，就其面對日本統治政權時所採取的反抗態度，與為何妥協、認同之核心價值問題，運用 Erikson 的認同理論及行為學派、社會學理論等為基礎，作深入的探討。陳秋菊，一個1895年率領北部山區土匪起義抗日的特殊分子，日人稱他為匪魁，國民政府稱他為抗日英雄，本文乃嘗試針對這位台灣北部地區抗日史上重要人物—陳秋菊之一生事蹟，透過其生命故事，以分析的方式探討日據初期台灣人民在割讓後，面對生存危機所做的抉擇，以及對殖民者在民族、政治、文化、身分認同上的抗爭，最後基於現實因素，不得不妥協，而終於認同的心理歷程。陳秋菊，臺北深坑人，生於清咸豐五年（西元1855年），自幼頗知詩書，及長，為深坑庄總理。中法戰爭起，募鄉勇至基隆禦侮，表現不凡。台灣割讓之後半年，秋菊不甘日人統治，與堂弟捷陞率義軍攻臺北城，事敗之後，遁至山區，與日軍作游擊戰。隔年，再攻大稻埕，敗後，又進入山區，繼續抗日，最後因為經濟困窘，時有擾民之事發生，被當地人視為土匪，後因當時繼任的台灣總督「兒玉源太郎」改圍剿政策為招撫，秋菊也因事蹙不支遂與日人講和。日人使他率領部眾修築北宜路，並且給予樟腦專賣權。晚年秋菊家境富足，並不時捐錢從事公益，然而心中常鬱鬱寡歡，沉迷於醇酒美人，吸食鴉片。秋菊卒於日曆大正十一年八月廿二日（1922年），喪禮十分風光，至今為鄉人所稱道。有資料顯示，國父孫中山先生來臺之時，曾與革命同志秋菊、捷陞會於大稻埕。此亦添增了秋菊傳奇的另一面。

關鍵字：陳秋菊、抗日人物、認同

Abstract

Identity problem has been constantly confronting Taiwanese people through various changes of regime. The current research studies the life of the anti-Japanese hero Chiu-ju Chen within the framework of life history. We will explore the defiant attitude of Mr. Chen

in the face of the Japanese regime and why he finally reconciled and identified with Japanese. The analysis will be based on Erikson's identity theory and behavioral and social science. Chiu-ju Chen was a dissident who led the bandits in the mountainous areas in Northern Taiwan to fight against Japan in 1895. He was called a bandit chief by the Japanese, while the National Government called him a fighter against Japan. By exploring and analyzing the life stories of Mr. Chen, we aim to delve into the psychological state of Taiwanese people at the beginning of Japanese rule. Specifically, we will investigate the dilemma of life and death facing the Taiwanese colonists, their struggle against ethnic, political, cultural and personal identity with Japan, and their final reconciliation with Japan for practical reason. Chiu-ju Chen was born at Shenheng, Taipei, at the Hsien-feng Period of Ching Dynasty. Mr. Chen had been a learned person since young and later became the governor-general of Shenheng Village. Since the Chinese-French War, he had been recruiting his village comrades to defend the French invasion in Keelung and had won various battles. After Japan took over Taiwan, being reluctant to be ruled by the Japanese, Mr. Chen and his cousin Jie-sheng recruited volunteer soldiers and fought against the Japanese to restore Taipei. However, they failed and escaped to the mountain areas, thus beginning their life as guerrillas against Japan. The next year Mr. Chen and his cousin led the volunteer soldiers in a war to restore Dadao Cheng, Taipei. They failed again and ran back to the mountain areas and continued their life as anti-Japanese guerrillas. Due to their poor economic conditions, they sometimes had to rob local people and were thus regarded as bandits. Later, because of lack of support, they were reconciled with the Japanese. The Japanese ordered them to settle on Pei-yi Road and gave them the franchise of camphor. He thus became a wealthy man in his late life and often donated money for public benefit. However, he had always lived in depression and sullenness due to his failure to expel Japan. It has been shown in some documents that Dr. Sun Yat-sen had once met with Chiu-ju Chen and his cousin Jie-sheng at Tatao Cheng. This adds a legendary touch to Chen's life.

壹、研究動機

陳秋菊，台北縣深坑鄉人，生於清咸豐五年（西元1855年），卒於日曆大正十一年八月廿二日（1922年），其故居「德鄰居」，目前尚保存完好的位於深坑鄉內，列為地方古蹟。最早聽到陳秋菊的名字，是因為學者說早期深坑、坪林一帶土匪橫行，根據日本的官方資料顯示，陳秋菊是和這些土匪勾結的「匪魁」，然而在另外一些田野訪談中，鄉野耆老卻津津樂道於陳秋菊騎著白馬，和日軍對抗的英勇事蹟，土匪和抗日英雄這樣兩極的矛盾形象，卻交織在一個人的身上，呈現出一種混淆的意象；站在日本官方的立場，陳秋菊糾眾擾民，甚至勾結北部山區各路土匪會攻台北城，搶奪士紳商行財物，手下部眾甚多，自然是土匪頭子；站在當時百姓或漢人的立場，敢於率眾起來反抗一個入侵的政權，必然有高於凡人的英雄氣概，日後的國民政府對他的抗日行為，站在民族意識立場上，自然是大加讚揚；然而這樣的一個英雄，卻在抗日

三年之後，向殖民政府請求歸順，表現積極，並以要求得到豐厚利益作為交換；如此行為又與民族英雄形象產生莫大的衝突，這是早期史家所避而不談的；在這些矛盾衝突的行止上，令人想要了解的是，陳秋菊他的想法是什麼？他為什麼起而抗日？是因為不甘於淪為異族統治的民族意識嗎？如果是，那麼日軍領台之時，他的作為是什麼？抗日行動不成時，又為什麼積極的請降？如果不是因為民族大義而抗日，那真正的原因又是什麼？降日之後，陳秋菊對於自己的處境，是如何看待的？這樣的疑問，使人想要深入思考的是，日據初期，部分台灣人民是怎麼看待日本的殖民政權？他們對自己淪為被殖民者的想法是什麼？他們如何在這樣的新政治環境底下求取生存之道？這樣直接而且現實的生存衝擊，在這些人的心理上，產生什麼樣的認同困擾，而又如何去突破？

本文擬將陳秋菊從一個匪魁或英雄的特殊人物，回歸到一個平凡人的角度，重新詮釋當時以陳秋菊為例的部分台灣人民，在面臨國家遽變時，心理上的認同衝突與和現實妥協的生存之道，其如何由抗拒到妥協到認同一個新政權的心路歷程，以及如何面對妥協後的認同問題。

貳、研究方法與理論探討

<一> 心理傳記學

心理傳記學¹，是目前國內心理學界新興的學術研究領域，從事生命史和心理傳記學的心理學家，面對的是以整體性觀點和長時間生命為研究單位的跨領域工作，因此，「跨領域」成為研究生命史和心理傳記學的重要特點；事實上，許多文史哲方面的專家，已經做過一些相關的研究，只是運用心理學理論從事個體生命歷程系統式分析的，尚屬少數，是研究文史哲領域專家學者們值得開發的研究領域。

西方心理學在自然典範科學化的要求下，長期將「人」去其脈絡，而轉化成變數的排列組合，甚至認為，最好能化為可預測行為的公式，然而這樣分解下來的「人」，常常面目模糊，和真實的「人」相去甚遠。生命史和心理傳記學研究的出現，就是承認了人不可切割的複雜性、多變性，注重人和環境、情境的互動，並且重視個人性格的獨特性，探討每一個不同的生命歷程。透過找尋個體之所以如此行動的個人原因，極盡所能的蒐集個體的相關資料，並從中建立個體獨特的模式，並將這些資訊，組織成別人可以理解的生命故事，「藉以開啟廣大讀者的生命，與人類樣本人物的生命之間對話的可能，讓讀者能夠透過理解、參照他人生命及自身的反思，進而理解自身的生命經驗。」²就是生命史研究或心理傳記學所要從事工作的重大意義。

從事生命史研究的方法之一，就是運用特則取向中的個案研究法，1937年初，著名的人格心理學家 Allport³使用「特則」(idiographic)一詞，來表示對個案特殊性的重視。特則取向關懷的是獨特個體的特質或個人氣質、指認個體生命中的核心主題、

¹ William M. Runyan：「心理傳記學可定義成，明顯使用正式的或系統化心理學理論於傳記研究。」William M. Runyan 著，丁興祥等譯，《生命史與心理傳記學——理論與方法的探討》，遠流出版社，頁241。

² 丁興祥譯者序，《生命史與心理傳記學——理論與方法的探討》，頁14。

³ 美國著名的人格心理學家 Gordon Allport，e 關注於意識更甚於潛意識，強調個人人格的獨特性，認為人格是動態的結構，是先天和環境的產物，並與童年經驗分開。其理論著特則取向，只重視正常的受試者，與佛洛伊德理論有明顯不同。

個體對於事件的特殊主觀意識等，也就是關注個體的獨特性。其研究方法有很多，其中最重要且運用最廣泛的就是個案研究法。個案研究法可用許多方法來取得證據材料，例如心理學的一些測驗、量表、訪談分析、自然環境中的觀察，也可以收集個案的歷史檔案、書信、日記、個人文件、他人的證言、或任何其他可以產生相關資料的方式；個案研究可以有效的整合、組織大量有關個體及其環境的特則資料⁴，形成對個案較為全面而深入的了解。

<二> 認同理論

認同理論是心理學家 Erik Erikson 的重要學說，他認為人生中重要的生命主題是要求認同，認同 (identity) 指的是個體的認同意識，簡單而言，「認同即了解與接受自己與所處的社會⁵」，一生中，我們常會問：「我是誰？」不同的人生階段⁶，我們會有不同的答案，如果進展得好，在每一個階段的末了，個體的認同意識，就會進入一個新的層次；如果發生衝突，那麼我們所面臨的環境或遭遇，就稱作「危機」(crisis)，這危機涉及了一種觀點的移轉，使我們必須重新調整本能，來因應每個生命階段的新需求。只有當我們解決了每一個衝突，人格才能繼續正常的發展，並且獲得處理下階段危機的力量，如果沒有處理衝突，我們就比較不可能去適應下一個階段，因此，認同是從一個階段到另一個階段的。

艾瑞克森了解到認同問題的出現是普遍性的，要求認同是來自於人格中的「自我」⁷，「自我」是獨立的，免於內在的衝突，但不意味著「自我」沒有衝突，其衝突來自於個體與社會之間。因此，艾瑞克森強調早期發展的人際關係特質，反映了社會互動的文化情境。由於自我與文化環境是持續轉變的，因此，了解自我的發展與社會的關係，體會到個人的生命歷程，從一個社會角色到另一個社會角色，個體被迫必須去解決「認同」的危機；一個人如果無法達到一種凝固的認同，他們不知道自己是誰、要做什麼？屬於哪個地方，或將往何處去？他們可能由正常的生活常規中退縮，或在犯罪或藥物中尋求否定的認同，Erikson 稱之為角色混淆。

艾瑞克森的理論雖然著眼於「自我認同」的部分，但其著作也是跨文化的，他涉入文化人類學、心理傳記學，著迷於文化與文化間，如何解決發展階段危機的差異；其理論主題「要求認同」的觀點，在華人的社會裡，更可觀察到重視「社會認同」的特質；此外，對台灣社會而言，「認同」這個主題，具有更深刻的意義，由於種族、血緣、歷史、政治的複雜糾葛，使台灣人民面對著多重的認同危機，其心理的調適與衝突的解決，在在困擾著數百年來生活在這塊土地上的人們，因此台灣人民如何為自己的生命定位，尋找出最如其分的認同位置，其實是一個很嚴肅的課題。

⁴ 《生命史與心理傳記學—理論與方法的探討》，頁219-222。

⁵ 林美珍，〈導讀—自我認同的建構者〉，《自我認同的建構者—艾瑞克森》，羅倫斯 佛萊德曼著，廣梅芳譯，張老師文化出版，2001.9，頁15-16。

⁶ 艾瑞克森將人格的成長分成八個「心理社會階段」，詳見《人格理論》Duane Schultz、Sydney Ellen Schultz 著，丁興祥校閱，陳正文等譯。揚智出版社，1999.3 第 3 章 Erik Erikson，頁308-334。

⁷ 艾瑞克森理論假設「自我」在出生時就已存在，而佛洛伊德認為出生時只有「本我」，「自我」是出自「本我」，隨著發展而有「超我」的出現。「本我」與「超我」的衝突，有賴「自我」來處理。

參、陳秋菊的生命故事

<一> 英雄的崛起

陳秋菊，深坑旺耽庄人，出生於清咸豐五年（西元一八五五年）七月初九日，父親陳仁猛，母親姓魏，名偷。秋菊的祖先原籍在泉州府、安溪縣、歸善鄉、依仁里、筍山堡。乾隆四十年的時候，隨著族人名「大耽」的，自閩遷台開墾，先到十五分庄，後來又遷到深坑旺耽埔定居，世代以種茶為業。

深坑在清朝時屬於文山堡區，是漢人、平埔族、泰雅族的交界、混居區；因為墾地靠近山區的番界，番人縱橫出沒，難以防範，為了防備原民的侵擾，居民都要勤習武藝來自保，民風剽悍。這樣的環境，孕育了陳秋菊的英雄主義及霸氣。⁸

秋菊小時候曾進私塾讀書，對於《水滸傳》、《三國演義》等英雄豪俠事蹟，十分的嚮往，自己也頗習武技。因為他的聰敏精強、博通文義，意氣豪爽，具有領袖氣質，因此年未三十，就已經成為地方上的豪強。根據他的後人敘述，年輕時代的陳秋菊，膽識過人，經常帶著漢人深入番地，和番人交易，也經常排解漢番之間的糾紛，受人敬重，由於他的慷慨善於容人，交遊也就越來愈廣，奠定了他成為一方豪強的聲望與基礎。

光緒十年（西元一八八四年），清法戰爭爆發時，法軍進犯基隆，相傳秋菊奉命招募義勇五百人，與法軍激戰兩日，並且打敗法軍，清廷賞授他四品軍功頂戴雙花藍翎，優詔加賜都司補用，這時候他二十九歲。光緒廿年（西元一八九四年），中日開戰後，台灣巡撫唐景崧命令秋菊統帥鄉勇，保衛鄉梓，當道賞戴藍翎，並授五品軍功⁹。

第二年，中日議和，簽訂〈馬關條約〉，割讓台灣、澎湖給予日本，六月七日，日軍佔領台北；這時候的台灣，四處風聲鶴唳，極盡淒愴景象，富貴人家及清廷官員，有能力的紛紛內渡避難；無法內渡或不願意離開家園的，則留下來觀望或與鄉勇合流，守衛鄉土。

陳秋菊以其在地方上的聲望與實力，在這個時局逆變的緊要關頭，選擇捍衛家園，抵禦外侮，並在乙未年底及次年元旦，聯合北部各路抗日豪傑，進攻台北城，意圖反抗日本新政權的殖民統治，雖然事敗未成，但其長達數年的抵抗，的確也造成日軍在統治上的困擾，並謂「土匪」蜂起，難以治理。

然而令史學家好奇的是，這些日人眼中的「土匪」，在日本領臺初期，並未做出立即的反抗，卻在半年後爆發大規模抗日行動，其原因為何？由於歷來史家多將這些抗日人物譽為「抗日英雄」、「抗日義軍」等充滿民族主義情感讚美之詞，以下擬就「身為一個人，在歷史遽變下，其心理的調適與生存之道」的心理學角度，以陳秋菊個人為例，探討其抗日的緣由，與其由反抗到認同的抉擇過程，和其性格的相關性。

⁸ 《台灣文獻》，第 卷第四期，民58年5月。黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁51。根據黃潘萬採訪陳秋菊之孫陳忠立，及鄉老得知：「秋菊幼時，就讀村塾，學未幾年，頗通文藝，喜閱水滸傳、三國演義。稍長亦習武技，蓋深坑、石碇、坪林尾等處，墾拓初年，須防山胞為禍，成村之後，要戒土匪侵擾，故民多剽悍，而尚武也。」

⁹ 另一說法是：劉永福聽聞台北淪陷，想要阻止日軍南進，於是飛書北部各地土豪，賞以翎頂及軍功，要求招募義軍，擾亂日軍後方。秋菊的藍翎五品軍功，是此時所賜。

<二> 抗日動機與民族意識的商榷

乙未年六月二十一日（1895年），日軍派守備隊進駐宜蘭，捕捉殘賊與匪徒，專力鎮撫地方，樺山總督下令，近衛師團及宜蘭守備隊於二十五日分別經石碇街、坪林尾街，從台北通往宜蘭的道路兩端，派遣將校斥候前進偵查，各斥候均沒有遇到賊兵¹⁰。這條路線可說是日後日人認為匪亂最為猖獗的地區，然而日軍登台的最初幾個月，除了零星少數的攻擊外，並沒有大規模的抵抗行動，顯見此時北部的抗日整合行動並未成形。

在此我們不禁思考，散居各地的義軍領袖，在日軍登台的最初半年，他們的想法是什麼？他們在做什麼？今日我們稱這些抗日英雄為「義軍」，基本上賦予了民族主義的價值標準，然而仔細的就個別因素分析，所謂的「民族大義」、「民族意識」，是否是這些日後所謂的「抗日義軍」最初的反抗動機，這是有待商榷的。

筆者仔細分析陳秋菊生存的環境背景，找不到他有強烈的民族意識，甚至願意為此冒著犧牲生命、毀家蕩產的強而有力的理由與動機，根據傳說所言，陳秋菊熱愛的是像《三國演義》《水滸傳》等英雄豪傑故事，若是此為真實，那麼他對於儒家成仁取義的理想主義「教化」感受應該較少，而群雄競逐、權力爭奪的現實主義思想可能濃厚些；元旦事件¹¹之後，陳秋菊曾多次表達歸順之意¹²，因此，與其說這些人的抗日是基於民族主義的理想情操，不如說他們是反抗不合理統治、追求生存機會的務實主義者。

日治初期的台灣人民，並不全然是反抗日人統治的，有一些是無奈而漠然以對，有一些是起初反抗，後基於現實生存的因素，進而妥協而認同，當然，也有一些是一開始就積極擁抱新政權的。以陳秋菊而言，雖然由於他後來的抗日行為，被後人尊為「抗日英雄」，但是我們依然要去了解他的抗日動機，究竟是基於「民族意識」，或是有其他的現實因素；了解這個動機，才能深入解釋他日後為何會選擇投降日本統治者，並且作一個順民；這並不是說陳秋菊就沒有所謂的民族意識或認同問題，相反的，筆者認為，他的認同危機在投降之後才開始浮現出來，並且影響著他後半生的歲月。

<三> 抗日的幾個可能因素

筆者分析關於陳秋菊抗日之緣由，歸納幾點如下：

一、對時局遽變的恐懼不安

就心理因素而言，清廷割讓台灣，台灣人在失去母國的保護的情況下，為了生存下去，只好自力救濟，尋求生存的空間，這是當時所有台灣人的第一個反應。反抗一個未知的政權是一種方式，妥協又是另外一種方式。吳濁流曾用孤兒或失路的孩童來描述當時台灣的處境，相信這樣被遺棄而徬徨無依的心境，必然是當時人們共同的心

¹⁰ <攻臺戰記—日清戰史台灣篇> 頁140。

¹¹ 1895年12月31日夜，台北陳秋菊和詹振，金包里的許紹文、北投楊勢、宜蘭林李成林大北、楊梅胡阿錦、三角湧的蘇力、大嵙崁的簡玉和等，各率義民軍數千人，分別於台北、宜蘭、淡水、金包里、新竹等地，同時發動攻擊，會攻台北城，惜日軍事先接獲密報，有所準備，因而失敗。

¹² 陳秋菊自元旦事件之後即有投降之意，1896年11月、1897年6月皆曾請求歸順，但因要求頗多，因此並未歸順成功；1898年7月22日再次要求歸順，於同年8月10日舉行歸順儀式。見台灣經世日報編，《台灣大年表》，台北，緒方武藏，1938，頁21。求適齋主人譯，台灣北部土匪投降顛末，《臺北文物》，8：7.8，1959.6，頁40-42。

聲¹³。另外，新政權的建立，使原先鞏固的政治經濟社會網絡瓦解，為求生存與舊有利益的保存，人們必須重新調整與新「官方」的互動之道，社會規範與秩序尚未建立，殖民政府的統治策略曖昧不明，使台灣社會呈現一股浮動不安的氛圍。這股茫茫不安的氣氛，增強台灣人民對未來的不確定性，也同樣強化了陳秋菊在被誣告陷害後，為求生存，憤而抗日的動機。

二、民族自尊的戕傷與文化的衝突

除了被棄無助之外，突然淪落為被統治階級，在心境上甚為不堪，對民族自尊心也是一大傷害；黃俊傑在《論台灣意識的發展及其特質》文中談到日據時代台灣人的民族運動，與階級運動有其重疊性¹⁴。一八九五年下半年，日人統治台灣雖然尚未完全步上軌道，然而各項政治措施，已然使當時的台灣人民淪為被殖民的次等階級，喪失原本擁有的經濟、政治利益，台人自然心生不滿，民族自尊心深受戕傷；詹瑋在〈日據初期台灣北部的抗日活動〉一文中提到：北部義軍抗日之因素，有義不帝秦的心理、日軍的橫行殘暴、保良局及密探誣民為匪、地方吏治不良、文化因素、礦業規則的影響、樟腦取締規則的影響、苛捐重稅之剝削¹⁵等，種種不公平因素，引起淪為被殖民者的台人的不滿，因而起身反抗。

此外，文化風俗的差異，更促進了對對方的敵視；根據陳忠騰¹⁶的說法，陳秋菊、陳捷陞看不慣日人「有禮沒體」的生活習慣，因而決定抗日，這個抗日的因素影響有多大，不得而知，但是文化上的無法認同，更加深了日人異族統治的印象，提高民族的自尊心，心理的抗拒自然更加強烈了。

三、權力場域爭奪的失敗

身為一個深坑的望族，陳秋菊和其弟陳耆匏所擁有的部眾約二千四百多人以上，是北部地區抗日軍中，勢力最龐大的。但是即使是一個擁有部眾甚多的地方領袖，也不一定要起來反抗新的統治政權，也許向新的政權輸誠，可以獲得更多的政治經濟利益，因此，反抗日人的統治，背後一定有更重要的原因，致使陳秋菊要放棄現有的利益與地位，從事危險而不一定成功的抗日行動。

根據台灣總督府陸軍幕僚所出版之《台灣匪魁略歷》的說法：

然恰與有該地之保良局長黃梅谷者生隙，由於梅谷暗自結托我政府之士人通事巧妙構成秋菊之罪狀，密告於官，馬上受到警官的捕拿，受到法庭的審問，雖以其證據不充分，漸得被釋放，然其間警官對待秋菊相當不禮貌，雖百方陳疏，不僅絲毫不容，還舉棍棒痛打凌辱之，秋菊懷恨此事，自此常憂鬱不歡。又同年（一八九五年）八月，再與村人高添和者構事，為同人所讒害，終至為軍隊討伐所窮迫，其田園、家屋盡歸蕪蕩燼，因此公然而起，決意抗敵，遂投入匪群。¹⁷

陳秋菊因為與地方保良局長黃祖濤有嫌隙，黃遂與當地通事勾結，羅織陳秋菊罪

¹³ 吳濁流《亞細亞的孤兒》，草根出版社，2003年5月初版14刷。吳濁流藉書中主角胡太明猶疑的一生，把日治下台灣人的民族性格、身分認同糾葛、及如孤兒般擺盪於不同名號的外來政權的困境，深刻的描寫出來。

¹⁴ 黃俊傑，《論台灣意識的發展及其特質》，頁19。「絕大多數台灣人在與日本殖民者相對的政治經濟脈絡之下，都是被統治階級；而日本人以殖民者之地位而居於統治階級。因此，日據時代台灣人的民族運動與階級運動遂有其重疊性。」

¹⁵ 詳見詹瑋〈日據初期台灣北部的抗日活動〉，《台北文獻》直字一一五期，民85.3。

¹⁶ 陳捷陞之孫，東南技術學院文史工作室93.3.23之口訪紀錄。

¹⁷ 台灣總督府陸軍幕僚，《台灣匪魁略歷》，陳秋菊。

狀向官府密告。陳秋菊因此被日警捉拿入獄，受到法廷的審問，最後因証據不充分而釋放。他在獄中時曾經被棍棒痛打凌辱，出獄後心中常懷鬱鬱。同年（1895年）八月再與村人高添和發生衝突，高添和為了與陳秋菊爭權，向總督府密告陳秋菊私通土匪¹⁸，設詞陷害，陳秋菊受冤，又被軍隊討伐，家產盡皆焚毀；氣憤之餘，遂決定公然起而反抗。

日軍五月底登陸，六月，陳秋菊被台北縣知事任命為地方事務取扱人¹⁹，日方藉此攏絡地方頭人，以便順利接收，陳秋菊也利用此一機會，首先和新政權建立官式關係，並且進一步協助日軍「討伐當地土匪」許喜²⁰，藉此來鞏固自己的勢力與地位。因此，我們看到政權轉變的前半年，陳秋菊在做的是如何適應新政權，選擇與新政府合作，雖然是情勢所迫，確實也有他自己的考量，可以看得出來，此時他的心理上，其實是接受這個殖民政府的；一方面他可以維持其領導地位，另一方面，也可經由對新政府的輸誠，以獲得一些特殊利益。

然而，由於權力爭奪的失敗，陳秋菊由原先向新的政權輸誠，到後來憤而抗日，其中的轉變，是有跡可循的。日人領臺初期，根據這些地方頭人和日方的密切往來，我們可以判定，陳秋菊抗日的主要原因，恐怕是在權力爭奪競爭失敗後，所提出的反擊，如果不是遭受到「告密」陷害，被拘捕凌辱，還被告私通土匪，陳秋菊是否會起而抗日，是值得懷疑的。明治三十年（一八九七年），陳秋菊在寫給日軍表達歸順之意的信²¹：

秋菊為舊時總理，帝國領台北秋菊雖未能效勞，而高蘭一役故未嘗鞠躬盡瘁，非不欲也，奈何局紳黃祖濤不能容物，竟以莫須有相加，天壤雖寬，應無幾度藏身之府，且衙門奔走皆黃某之爪牙，菊即到轅投訴，恐亦不蒙明察，則未免辜負初心，雖明知最（罪）大彌天，亦且苟延殘喘，以冀取諒於將來……

信中談到日軍領臺初期，自己曾經協助日軍參與討伐高蘭²²之役，也就是說自己並無意與日軍為敵，之所以起來抗日，完全是因為受到黃祖濤陷害--不能容物，竟以莫須有相加--的緣故，後來想要歸順，也因為衙門裡都是黃的爪牙，而遲遲不敢投訴，...可知秋菊的抗日，因競爭失敗不滿而被迫反抗是一個很重要的因素，並不是基於民族意識與無法認同新的政權。

四、性格猶疑與族弟陳捷陞的影響

在性格上，陳秋菊屬於謹慎、保守、務實、較易妥協的，根據訪談陳忠騰的說法及其他相關資料記載，陳秋菊膽子很小，（相信這是和陳捷陞比較而言），在許多緊要的關頭，常常採取較為保守妥協的態度，例如張建生保護大木事件，秋菊原本帶部

¹⁸ 資料來源：1.陳得文、吳家憲等（編譯），《台灣北部前期抗日運動檔案》（南投：台灣省文獻會，1979）2.《後藤新平文書》

¹⁹ 資料來源：台灣總督府《台北縣及宜蘭地方匪魁略歷》

²⁰ 資料來源：1.陳得文、吳家憲（編譯），《台灣北部前期抗日運動檔案》（南投：台灣省文獻會，1979）2.《後藤新平文書》又，《台北縣志》卷一，大事紀，頁37，日曆6月13日（5月21日），深坑居民許喜鳩眾抗日，日軍率眾夜襲，一時至深坑莊。黎明站於火燒樟，許喜死焉。

²¹ 詳見《台灣憲兵隊史》，頁一一八。

²² 深坑廳編，《深坑廳報》，第七八號，明治三七年四月。高焜深編，《安平高氏族譜誌略》（台北：編者自印，民國41年），功勳祿位，頁20。高蘭為格頭地方總理，亦參加抗日義軍行列，明治三年歸順日人之後，於當年九月奉警保課長之命，前往內山探查陳秋菊的抗日軍之情形，據他的報告，當時陳秋菊已有驚惶之意。

下向張要人，最後在張的堅持下秋菊妥協；元旦進攻台北城事件中，陳秋菊心存觀望，接到其他各路義軍失利的消息之後，並未與日軍接觸，便撤回山中²³；元旦事件後，數度後悔請降，明治三十年，由於石澗之總理陳錦元的勸告而要求歸順，然而不久之後，接到廈門方面的來信，又推翻了歸順之意，明治三十一年，又向台北縣知事村上表達歸順之意²⁴，...可以觀察出陳秋菊抗日的意志並不是那麼堅定，常常由於現實的考量、利害的計算，而猶疑反覆；也可以看得出來，他的想法常常受到他人的影響而改變。

那麼當初為什麼他會出來帶頭抗日？也許和他的族弟陳捷陞有很大的關係，由於陳秋菊的身份、地位、才識均高於陳捷陞，大家推舉他擔任領袖，忽略了陳捷陞（或許因為陳捷陞不識字），其實陳捷陞對陳秋菊影響的可能性是很大的，地方上津津樂道的是陳捷陞的英勇事蹟，大膽、敢於出頭，當然，民間傳說中，他也有許多土匪的行徑²⁵；根據其孫陳忠騰的說法，陳捷陞為人海派豪邁，所有收入多與朋友喝酒，因此建立許多人脈關係，據說他決定抗日，就是由於酒友的慫恿：

我以前在撐船，去淡水，一個月才回來，所賺的錢很多，回鄉就和鄉親朋友喝酒，娛樂過日子，錢用光了再去賺，日本管台灣，酒友叫我當頭人，他們自願當我的腳仔組織抗日隊。²⁶

這些酒友不知道是哪些人，但我們知道抗日隊得組織起來，陳捷陞應具有一定的影響力。根據鄉老傳說及訪談紀錄，陳秋菊許多事都由陳捷陞出面擺平、為其討回公道與面子²⁷，可以看出兩人性格的不同，秋菊倚重甚深，其大膽、敢衝、具謀略、不怕死的個性，多少彌補了陳秋菊猶疑性格的不足，由此可合理的推斷，在秋菊受辱之後，不計後果憤而抗日的衝動，有可能是受到陳捷陞的鼓吹與影響。

五、人際網絡的連結

根據許多資料顯示，陳秋菊和當時北部許多地方勢力皆有連繫，由於其本人行事，也多有盜匪傳聞²⁸，加上陳秋菊在地方上擁有人望與勢力，自然是日後決定抗日的「匪魁」們所急於拉攏的對象；元旦事件的起事者徐祿，應是其中的關鍵人物；藉由徐祿、鄭文流的牽線，陳秋菊加入這個抗日陣營，根據林大北的口供，陳秋菊、鄭文流曾經參與徐祿的謀畫會議，這個會議是在1895年陰曆8月（陽曆9月下旬），可知元旦事件的構想此時已經成形；而陳秋菊與村人高添和發生衝突，高添和為了與陳秋菊爭權，向總督撫密告陳秋菊私通土匪，設詞陷害，也是在8月發生，是否即為此事，有待考證；因此我們可有以下幾種推想：

- a. 黃祖濤誣告→參與抗日謀畫→高添和密告→憤而抗日行動
- b. 參與抗日謀畫→黃祖濤、高添和密告→憤而抗日行動

²³ 黃純青、林熊祥主修，《台灣省通志稿》，民三九年、五四年排印本，成文出版社影印出版，民七三年台一版，革命志抗日篇，頁34。

²⁴ 詳見《台灣憲兵隊史》，頁118。

²⁵ 張炎憲，〈高筆能訪問紀錄〉，《鹿窟事件調查研究》，台北：北縣文化中心，1998頁120。

²⁶ 張炎憲，〈高筆能訪問紀錄〉，《鹿窟事件調查研究》，台北：北縣文化中心，1998頁120。

²⁷ 例如王香禪事件，詳見黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁59-60。《台灣文獻》，第 卷第四期，民58年5月。

²⁸ 陳得文、吳家憲編譯，《台灣北部前期抗日運動檔案》，台中：台灣省文獻委員會，民68，頁143。陳秋菊等人於文山堡從事保庄費之徵收：「然依據傳聞，陳秋菊等之徒，自文山堡一圍，對每百石收穫強徵三石，而林火旺之徒則百石強徵二石。」

c. 黃祖濤高添和誣告→憤而參與抗日謀畫→抗日行動

此三種行動的過程，在動機上有所不同，若為 a、c，則如前言所論，其抗日原因有可能來自於權力場域爭奪的失敗；若為 b 則陳秋菊的抗日，不無「國事犯」的可能。此乃值得深究者。然而根據《台灣憲兵隊史》中提到：「亦有認為黃激秋菊入匪群等說法」²⁹，可知當時的傳說是認為秋菊受辱被迫抗日的可能性是比較高的。

高添和向總督府密告陳秋菊私通土匪，可知在當時陳秋菊和當時土匪的聯繫，應有具體的行動被高添和所知悉，才能去告發，根據陳怡宏在其論文³⁰中繪製 1896 年元旦事件匪首關係圖可知，陳秋菊藉由鄭文流、徐祿的牽線，進入整個北部抗日陣營，並負責文山地區的抗日行動，成為重要的領導人物，由於日方認為其頗具實力，因此被視為頭號「匪魁」，也是日後第一個想要拉攏安撫的對象。

< 四 > 實際的抗日行動

陳秋菊從抗日到講和，首尾共計三年。清光緒二十一年，民前十七年，農曆乙未年十一月十六日，日曆明治二十八年十二月卅一日，西元一八九五年，這樣複雜的日期，紀錄著同一天的事蹟，也記錄著日後台人心中複雜的認同困境。

一、攻擊深坑日人派出所

乙未年十一月十五日（日曆明治二十八年十二月卅日），陳秋菊為策應林李成，三貂堡發難，率眾攻擊深坑日人派出所，作為會攻台北城的前奏。深坑日人派出所受到攻擊，開啟了次日抗日大軍會攻台北城的序幕，也奠定了陳秋菊成為抗日領袖的領導地位。

二、三山火號會攻台北城

十二月卅一日，與大屯山相對的觀音山火號一起，各路抗日軍同時向淡水台北進攻，負責攻打台北城的陳秋菊、詹振，從深坑、新店向台北進兵，在距台北城不遠的地方等待大屯山的火號舉起，根據鄉老所言：「會攻台北城時，前後火號有三次，第一次乙未年十一月十六日（日曆明治廿八年十二月卅一日），午後八時，在大屯山上一舉火，烈焰沖天，命抗日軍整對待發也。第二次於觀音山上舉火，命進攻也。第三次在紗帽山舉火，命衝鋒肉搏也。」³¹

這次大規模糾合北部各路抗日軍，會師台北城，可說是北台最重要的一次抗日行動，然而由於日軍事先已經獲知消息，早有準備，且其精兵多、軍伙足，抗日軍多為山林土勇，未曾受過精良的訓練，因此各路兵馬交戰不久即紛告失利，陷入苦戰。陳秋菊等獲悉各方情報，知克復台北城之計畫，終必歸於泡影。「所以未與日軍接觸，便撤回山中，或譏之曰：此所謂知難而退也。」³²在北台抗日軍會攻台北城失敗後，日本派兵赴各地掃盪抗日勢力，對抗日軍領袖陳秋菊的故鄉—文山堡深坑街更是展開大逮捕，並焚燒陳秋菊在深坑旺耽的故居³³。

三、襲大稻埕，謀求國際公義

²⁹ 《台灣憲兵隊史》，頁118。

³⁰ 詳見陳怡宏《忠誠和反逆之間—1895-1901年間台北、宜蘭地區「土匪」集團研究》，頁181。

³¹ 《台灣文獻》，第 卷第四期，民58年5月。黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁53。

³² 《台灣省通志稿》，〈革命志 抗日篇〉，頁34。

³³ 明治二 九年一月二 一日，日軍為報抗日軍圍城之仇，進攻秋菊之原籍旺耽，焚其宅並村中房屋，盡成焦土。詳見黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁54。今日深坑之「德鄰居」，乃日後重建者。

會攻台北城失敗後，一些抗日軍領袖如林李成、詹振、鄭文流等，紛紛至廈門與大陸有關方面取得聯絡，約定以1897年（明治三十年）五月八日，即台灣人決定自己國籍的最後日子，對大稻埕洋行發動攻擊，企圖引起國際干涉。五月八日凌晨，在陳秋菊、陳捷陞、詹振的領導下，六百名抗日軍再度對台北發動攻擊，主要目標為大稻埕。雙方在大龍峒、圓山、大稻埕等地激戰三個多小時，至凌晨六時許，抗日軍才退卻。然而此次進攻台北城，謀劫英商五洋行³⁴，亦有鄉老認為是以搶奪財物，以充軍費為主³⁵。抗日軍連續兩年在日人治台行政中樞的台北起事，讓日人臉上無光，也造成當時民政局長水野遵的去職。雖然抗日軍領袖熱切盼望外國的干涉，但是英領事基於現實考量（不願涉入別國糾紛），不但不給予抗日軍援助，反而向日本當局報告，猶如在抗日軍頭上澆下一盆冷水。此外，大陸方面口惠而實不至，所答應的援助均未出現，使抗日軍相當失望，抗日之途更加艱難。

<五> 接受招撫及晚年事蹟

明治三十一年（1898年）二月，兒玉源太郎為台灣總督，任後藤新平主掌民政，鑒於昔日處理抗日軍所使用的討伐政策，不但無效，而且引起台人的反感，因此改變政策，以招撫代替圍剿。兒玉曾做過土匪歸順意願調查，發現最期待投降者為陳秋菊一派，並認為其抗日有其不得已之苦衷，將之歸類為可招降之對象。另一方面，陳秋菊在抗日失敗並遭圍剿、焚毀家當之後，日漸窘迫，因勢力大衰，亦早有歸順之意，曾多次表達意願。經過反覆交涉之後，雙方終於在1898年8月10日上午舉行歸順式³⁶。秋菊請降之時，附上條件，希望能開墾土地（金瓜寮、九穹根等地），並要求給授產金（准貸金陸千員），除希望有武器自衛外，還希望坪林尾河以南由其「自治」³⁷。對於這些歸順者，官方仍然允許他們進行合法的拓殖活動，使他們生活穩定有所依靠，給予一定的利益；陳秋菊獲准在楓仔林煮腦³⁸，全隊歡欣，日以繼夜，往來於深坑、石碇之間，即使是半夜，仍然聽得到他們挑送樟腦的嘯叫聲。除此之外，日人尚給予秋菊修築楓仔林到坪林尾一段的道路修築及郵件遞送事業，陳捷陞則被派赴大稻埕經營生意³⁹，兩三年的時間，陳秋菊快速聚積財富，購買良田千餘石⁴⁰，儼然成為地方富豪。

秋菊晚年生活富裕風光，然而沉迷於鴉片，煙癮頗深，妻妾亦好此道，每日的用量極多，成為鴉片商的重要客戶；秋菊亦熱心於地方公益，每有需要，往往不落人後，即使是當時深坑首富黃家，也比不上他；這其中當然有爭勝、好面子的成分，日本人就深知這個道理，因此諸如開辦學校、修築道路橋樑等等，必定派員迎接秋菊，支廳長及全體職員就站在門口恭迎，認捐時，秋菊必定等所有人寫完捐款數目，視其

³⁴ 寶順洋行、德記洋行、和計洋行、愛利士津行、水陸津行，皆英商，業茶，當時稱為五行。

³⁵ 此役《省通志稿抗日篇》及《縣志稿軍事篇》均作義軍第二次會攻台北城，但詢之鄉老，則言：「秋菊攻台北城，只有與客人（粵人也）胡阿錦、錫口詹振、三角湧陳小埤...等幹過一次，哪有第二次？第二次是與詹振搶大稻埕，第三次搶五行未遂。」詳見黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁56。《台灣文獻》，第 卷第四期，民58年5月。

³⁶ 求適齋主人譯，〈台灣北部土匪投降巔末〉，《臺北文物》，8：7.8，1959.6，頁40-42。

³⁷ 〈谷敬信發，秘22號鄭聯揖等上申書〉，《舊檔》9121卷，署明治31年舊曆6月初四。

³⁸ 樟腦為台灣特產之一，煮腦，台語稱「激腦」，斫樟為片，熬液使成固體，可防蛀，作香料。

³⁹ 受撫之人，凡被視為危險人物者，均被派赴大稻埕營商，使其生活安定並便於控制。

⁴⁰ 每年可向佃農徵收之米穀數目。

中數目最高者，再加倍捐之⁴¹。

秋菊過世於日曆大正十一年八月廿二日（1922年），出葬之日，四鄉來食爛肉⁴²者，空前絕後，鄉老至今仍然津津樂道。。

肆、反抗、妥協與認同之心理歷程

<一> 保衛家園的核心價值

就陳秋菊的生命故事而言，其實代表著絕大部份的台灣居民，在突然遭遇到國家變局時，如何應變，以保障其「身家安全」為第一考量的態度，因此不管他是抗日或者歸順，皆以「保家衛鄉」為核心原則。

陳秋菊在失去日人的信賴與尊重後，決定投入抗日活動，應是有重新建立舊有家業、地位的企圖；元旦事件（1895底-1896初）過後，陳秋菊意識到勢不可為，1896年11月、1897年6月即曾請求歸順過，但因要求頗多，又不信任日本，故無法歸順成功。陳怡宏指出：⁴³

吾人可發現陳秋菊一派，亦並非全力要效忠清朝，只是對日官方不信任，且投降要求頗多，而無法成功歸順。此外，陳秋菊本人一直有歸順之心，對將這些土匪置於民族主義抗日脈絡下的研究者而言，似乎陳氏之想法甚難理解。如對照秋菊在清朝時的地方頭人身分，或許秋菊欲恢復至地方頭人的身分，故不欲繼續抵抗「官方」，才更符合當時陳秋菊的心境。

許多史學家對於陳秋菊數次請求歸順之事，多諱言之，也許認為這不符合「抗日英雄」的情操，然而如果我們仔細分析，可以了解，當時的台灣漢人，有「鄉土」的觀念，卻不一定有「國土」的觀念，因此，與其說抗日是為了國家民族而戰，不如說是為了保鄉衛家而戰，更接近事實。吳濁流認為反抗日本就是為了要保護鄉土，另一方面，積極向日方靠攏的李春生，他認為歸順日人的理由，也是為了保護鄉土，因為台灣一經割讓，和清朝的關係就已是「地棄民遺，情絕義盡」，如果盲目抗日，反而是毒害人民，因此，他認同新政權的合法性，並認為日人政府比清政府更有條理、更現代化，台人應「洗心革面與新政府續連同氣一脈，共圖振興一切富強丕顯事業」，以追求「地方之綏安，身家之保固」。後世史學家對李春生的褒貶不一，然可以看出，在紛亂不安的局勢中，如何保護身家財產安全，維護舊有的社會地位與榮譽，甚至宗族平安，鄉里安靖，應是當時的共同價值。這個核心價值，顯然比政治由誰當家來得更實際，也比是否受「異族」統治來得重要。吳濁流認為潛藏在台灣漢人心裡的祖國不是清朝，而是漢文化根深蒂固的心靈祖國，那是道德倫理、宗族、生活習慣、是思想哲學無形的祖國，漢人文化中重視家族鄉土的觀念，才是他們奮鬥的核心；由此觀之，我們就可了解，深坑頭人張建生為何要保護日警大木，陳秋菊為什麼願意投降歸順？不也就是基於保護鄉土的核心價值？這樣的核心價值，高於異族殖民的政治概念，因此，在日本新任總督兒玉源太郎及後藤新平主政後，他們所採取的招撫政策，使對抗外在迫害的因素消失，並使其能夠保全原先產業及地位的原則下，他們棄械投

⁴¹黃潘萬，《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，頁60。《台灣文獻》，第 卷第四期，民58年5月。

⁴² 喪家饗甲者之筵席也。

⁴³《忠誠和反逆之間—1895-1901年間台北、宜蘭地區「土匪」集團研究》，頁82。

降，避免造成更大的傷亡與損失的行為，便可以理解。

<二> 從妥協到認同

從妥協到認同，其中最大的轉變，在於心理因素。妥協，是被動的承認對方的存在，心裡不一定服氣；認同，即「了解與接受」自己與所處的社會，關鍵在「了解與接受」，認同有與對方合而為一的感覺，於是沒有敵對和防衛。當認同產生混淆時，容易引起心理上適應的危機，造成不適與困惑，對身心都有重大的影響。因此，達成認同，是度過此階段心理危機的重要關鍵，雖然艾瑞克森（Erik Erikson）所提的是人格的成長的八個「心理社會階段」，但人生中碰到的各種認同危機，都有同樣的困境。日人治台初期，所採取的是圍剿策略，當時的民政長官水野遵認為台灣民風卑劣，習俗險惡，暴力不軌之徒甚多，應用軍事力量及峻嚴罰罪來鎮壓，因此造成臺人的對立與反感，反而鼓動更多的人民加入土匪抗日的陣營，陳秋菊就是一個鮮明的例子。原本陳秋菊是接受日人的官方統治身分的，可是由於被誣告受辱更導致身家全毀，被迫投入抗日陣營，就可看出日人嚴刑峻罰與圍剿策略的失敗；兒玉總督及後藤新平上任之後，認為日治三年土匪卻蜂起不絕，「乃我政不得宜之結果也」，承認土匪的產生，多為日人所製造，例如陳秋菊即是：

舊時代之土匪為無資無產之徒，良民不與之黨。今之土匪則否，有資有產，加之受鄉黨愛敬，如此之良民陷入如此之境遇，此是聖代之治者所要大加反省考慮之處。⁴⁴

兒玉等人承認「此是聖代之治者所要大加反省考慮之處」，願意面對錯誤，改變策略，後藤認為只要掌握土匪之實狀，了解其性情，並給予所需，治土匪並非難事。他看出陳秋菊等人抗日的緣由，並非國事犯的性質，主要還是來自於被誣告的屈辱、頭人地位、權力的被剝奪、家產的毀損，經濟的困窘無援，因此只要滿足其需要，回復其地位及損失，即可收服其心。而對陳秋菊而言，新的統治者給予的招撫條件是豐厚的，不但恢復其原先的尊榮，甚至給予製腦權，締造其源源不絕的財富，抗日的目的都已達到，自然願意真心歸順，從此不再為亂，專心作日本政府統治下的順民；其部屬、鄉里也因此可過較為安定的生活。

如果我們從 Abraham Maslow 的需求層次⁴⁵來看，這個時代的台灣社會，其實是停留在生理需求及安全需求的層次，人們需要的是一個安全、有秩序和穩定的生活環境，剛從政權轉移的不安及土匪橫行的驚懼中走來，老百姓需要的是一個穩定有序的社會，因此，秋菊的歸順反而是地方上一大盛事，深坑街上的鄉民尤其歡欣，一來免於戰事威脅，二來也可免於秋菊部下的擾民行徑。有一點值得深思的是：「抗日英雄」成為令鄉民反感的土匪，「抗日英雄」投降日本政府，反而受到歡迎，顯然鄉民寧願被日本統治，也不願被土匪騷擾了。

⁴⁴ 詳見〈台灣統治救急案〉，《後藤新平文書》R12，4-33，M31.1.25呈上井上藏相，鈴木氏筆。

⁴⁵ Abraham Maslow 的需求層次，由最低層次到最高層次，依序是：生理需求（食物、水和性）、安全需求（安全、秩序和穩定）、愛與歸屬需求、尊重需求（自我及他人）、自我實現需求。

伍、結論

認同問題長久以來一直都是臺民的困擾，因為它是複雜而需要時間的，認同是一種內心完全接受的心理狀態，它不能用規定或教條來要求，只有內心的敵對和疑義完全消除，才有可能達成。日人治台，為台灣帶來了多層面的衝擊，有政治、文化、社會、道德、經濟，甚至自我認知上種種層面的困惑，當我們談到陳秋菊，或當地鄉民，或甚至沉默的大眾承認日本政府的存在時，可以說他們接受了這個政權，然而這只是政治層面的認同，當他們接受這個政治實體時，接踵而來的卻是排山倒海而來的困惑，那麼，我是誰？哪一國人？為什麼自己是一個次等的被殖民者？過去祖先留下來的那些訓示與道德，生活習慣與語言，面臨被否定的命運，心理上如何去調適？未來又要往哪裡去？是否要調整自己的言行去配合新的標準？我如何保有我堅持的自我？認同日人的現代化或追隨自己內心那古老的靈魂？...這些困惑了一個人心靈的完整與統合，隨時要去面對或改變，造成了行為及心理上的諸多困擾。不認同日本政權的，終身抑鬱寡歡，帶著受害遺民的悲情，憤懣以終；認同者所面對的是道德和輿論的壓力，不斷的去合理化自己的抉擇，同樣面臨社會自我的挑戰；台灣割讓事件，就像一枚炸彈，震碎了眾人原本的生命秩序，大家只得在破碎的片段中，重新拼湊自我，尋找自己生命的定位。

陳秋菊歸順之後如何看待自己的歸順，似乎沒有人提及，黃潘萬說他歸順之後鬱鬱寡歡，沉迷於鴉片酒色，是黃氏個人的猜測、鄉老傳說？或真實如此？陳秋菊或許富甲一方，坐擁財富與尊貴，並且熱心於地方公益，但是在他捐款大方，必定較贊助最多者多出一倍的手筆的行為來看，他的動機是什麼？是誇示自己的財富地位？真心幫助地方建設？掩飾曾經當過土匪的過往？或是掩蓋內心降日的不安？其心中追求社會的肯定是必然的，對他而言，歸順日本因而得到的財富，是否可以抬頭挺胸的面對鄉人質疑的眼光？或許對他而言，藉由贊助地方公益事務，取得鄉人對他的認同，建立社會地位，是一件重要的事。漢人社會是一個相當重視關係取向的社會，「面子」顯得十分重要，作為一種心理現象，面子是一個經社會認可的「自我」，也是個人社會影響力的代稱，有時候一個人策略性的表現自我，往往是為了逃避負性行為後果的責罰，或正性行為後果的榮譽，有時候也是為了維持自尊，或獲取權利與影響力⁴⁶。陳秋菊的慷慨表現，某一方面也代表著他追求社會認同的努力。

陳秋菊由一個地方頭人，因遭誣受辱而被迫為匪，所對抗的是一個外來的殖民政權，於是又被後人讚譽為「抗日英雄」，然而抗日英雄卻在短短的三年內積極請降，並要求豐厚的招撫條件，其行為令具有民族思想的史家難以理解；日治時代，陳秋菊會攻台北城的行徑被稱作土匪，國民政府時代稱他為「抗日英雄」，兩極的評價，源自於不同的敘說位置⁴⁷，本文將立足點嘗試拉回一個平凡台灣漢人的角度，從一個人性中最根本的求生需求出發，觀察陳秋菊在遭遇到危及個人及家族安全的時代遽變時，如何應變去求取生存，在這裡第一考慮的，恐非國家民族大義，而是如何保家衛鄉，其思

⁴⁶ 楊國樞主編，《中國人的心理》，朱瑞玲，〈中國人的社會互動 - 論面子問題〉，頁251-252。

⁴⁷ 「敘說就是一種再呈現，解釋常是不可避免的，人類的行動和想像，決定了哪些事情會包含於敘說裡，哪些則否，事件是如何被情節化，以及事件的意義為何。個人是在個人的敘說裡，建構了過去的經驗和行動，用以宣稱他們的認同，以及型塑他們的生命。」《敘說分析》Catherine Kohler Riessman 著，王勇智、鄧明宇合譯，頁4-5。

考層次聚焦於「家」而非「國」，這和漢人傳統重視家族倫理有關，可能也和台灣漢人對國家觀念的疏離有關，因為台灣向來被視為海外的荒島，清朝並未專意治理，馬關條約中又輕易的割讓台灣，陳秋菊等抗日集團於抗日期間，曾多次向廈門等地的清廷官員求援，希望以官方為中心，籌得糧餉，以「恢復台北」，卻遭到清官易順鼎的「正色拒絕」，言：「事不成，反遭奇禍，余安肯為戎首？」⁴⁸，易順鼎還曾因涉台太深遭到張之洞的責備，清國高官早已徹底放棄台灣，又何忍苛責秋菊的缺乏國家觀念、民族意識，歸順降日？

政權的更迭，對台灣百姓而言，所擔憂的不只是的身家性命所造成威脅，驚惶不安的恐懼，對未來的不確定性，也包含了身分認同的混淆，自我調適的困境，不幸的是，百年來，這樣的困境仍然無法真正的解決，面對一個新的危機，反抗是一種自然的自我防衛，由反抗到認同需要彼此的同理與包容，也需要時間學習互相了解與尊重，這是一個簡單的道理，卻需要很多智慧者的努力。

主要參考資料

書目

1. 《生命史與心理傳記學——理論與方法的探討》William M. Runyan 著，丁興祥等譯，遠流出版社
2. 《自我認同的建構者——艾瑞克森》，羅倫斯·佛萊德曼著，廣梅芳譯，張老師文化出版，2001.9
3. 《中國人的心理》，楊國樞主編，朱瑞玲等著，桂冠圖書公司 1988.3
4. 《人格理論》Duane Schultz、Sydney Ellen Schultz 著，丁興祥校閱，陳正文等譯。揚智出版社，1999.3
5. 《敘說分析》Catherine Kohler Riessman 著，王勇智、鄧明宇合譯，五南出版社，2003.4
6. 《台灣割讓與乙未抗日行動》，黃秀政，商務印書館，1996。
7. 《亞細亞的孤兒》，吳濁流，草根出版社，2003年5月初版14刷。
8. 《論台灣意識的發展及其特質》，黃俊傑，正中書局，2000.9
9. 《台灣藝壇風華》，邱旭伶，玉山社，2002.4
10. 《魂南記》，易順鼎，〈台銀文叢212種〉，台北，台灣銀行，1965。
11. 《台灣省通志稿》，黃純青、林熊祥主修，民三九年、五四年排印本，成文出版社影印出版，民七三年台一版
12. 《台灣憲兵隊史》，台灣憲兵隊編，龍溪書舍發行，1978年11月，東京。
13. 《臺灣抗日秘史》，喜安幸夫，武陵出版社，民78年4月出版
14. 《警察沿革志》民國二十七年（日曆昭和十三年三月）台灣總督府警務局刊行。
15. 《百年暗坑史話——安坑文史與土匪窟的故事》，莊華堂編著，台北縣政府文化局，92.2

⁴⁸ 易順鼎，《魂南記》，〈台銀文叢212種〉，台北，台灣銀行，1965。

論文及文獻資料

1. 《台灣匪魁略歷》，台灣總督府陸軍幕僚，〈陳秋菊〉。
2. 《重修台灣省通志》，台灣省文獻會，民87.06。
3. 《台灣北部前期抗日運動檔案》，陳得文、吳家憲（編譯），（南投：台灣省文獻會，1979）
4. 《陳秋菊抗日事蹟採訪記》，黃潘萬，《台灣文獻》，第十卷第四期，民58年5月。
5. 《台灣北部前期抗日運動檔案》，〈高祕第六七一號〉。
6. 〈已未日本兵入蘭始末追憶〉，黃益成口述，陳長城筆記，《台灣文獻》45：1，南投，省文獻會，1994.3
7. 〈日據初期台灣北部的抗日活動〉，詹瑋，《台北文獻》直字一一五期，民85.3
8. 〈滄桑之際的台灣豪門（1945-50）〉，尹章義，《歷史月刊》24期，台北，民79.01。
9. 〈日本領臺初期的土匪蜂起與歸順（上）（下）--台北盆地東南緣淺山地區的例子〉《北縣文化》58期 民國87.11。
10. 〈凶徒迷惑〉，《新報》201號，1897.5.13。
11. 〈陳秋菊以下歸順後の狀況（六）〉《日日新報》99號，1898.8.30。
12. 〈台灣北部土匪投降巔末〉，求適齋主人譯，《臺北文物》，8：7.8，1959.6，頁40-42。
13. 〈谷敬信發，秘22號鄭聯揖等上申書〉，《舊檔》9121卷，署明治31年舊曆6月初四。
14. 〈宜蘭匪首林大北之歸順始末〉《新報》74.75.76號1896.12
15. 〈後藤長官の台灣論〉，《台灣日日新報》M34.1.13（一）。
16. 《忠誠和反逆之間—1895-1901年間台北、宜蘭地區「土匪」集團研究》，陳怡宏，台大歷史研究所碩士論文，民90年6月

白馬將軍陳秋菊評傳(一) 先世及其崛起

林惠娟¹ 孫瑞琴²

¹東南技術學院通識教育中心社會組講師

²東南技術學院通識教育中心國文組講師

摘要

本文係研究台灣抗日史上傳奇人物—白馬將軍陳秋菊之一生事蹟。陳秋菊，臺北深坑人，生於清咸豐年間，自幼頗知詩書，及長，為深坑庄總理。中法戰爭起，募鄉勇至基隆禦侮，表現不凡。鼎革之後，秋菊不甘日人統治，與堂弟捷陞率義軍攻臺北城，事敗，遁至山區，與日軍作遊擊戰。隔年，與堂弟捷陞率義軍再攻大稻埕，未果，又進入山區，繼續抗日，以經濟困窘，有擾民之事，被人目為土匪，後以事蹙不支而與日人講和。日人命其率部築北宜路，並予樟腦專賣權。晚年家境富足，亦不時捐錢從事公益，然心中常鬱鬱。有資料顯示，國父孫中山先生來臺之時，曾與革命同志秋菊、捷陞會於大稻埕。此亦添增了秋菊傳奇的另一面。

關鍵字：陳秋菊、白馬將軍、義勇軍、抗日

壹、陳秋菊生平紀略

- 1855 (咸豐5年5月5日) 出生
- 1867 (同治6年1月)至1875(光緒1年12月) 入鄉書房學習漢籍及詩文
- 1878 (光緒4年1月)至1879(光緒5年12月) 進入文山團練局擔任事務委員
- 1880 (光緒6年1月)至1882 (光緒8年12月) 經商
- 1881 (光緒7年10月20日) 與元配林氏雲生長女陳氏旦
- 1883 (光緒9年) 中法戰爭，擔任團練義勇軍團長鎮守邊防
- 1884 (光緒10年) 法攻基隆，於暖暖與法激戰，因攻防得宜，受淡水縣賞五百金
- 1885 (光緒11年) 戰爭結束，清政府授四品軍功
- 1886 (光緒12年1月)至1895 (光緒21年) 擔任深坑街總理
- 1886 (光緒12年5月2日) 與元配林氏雲生次女陳氏粦花
- 1890 (光緒16年) 父亡
- 1891 (光緒17年5月12日) 與第二任妻子周氏蔭結婚
- 1891 (光緒17年10月5日) 元配林氏雲逝世
- 1894 (光緒20年)至1895 (光緒21年) 中日戰爭，率領義勇軍抵抗日軍

- 1896 (光緒22年) 1月1日，率眾圍攻臺北城
1897 (光緒23年) 5月8日 率眾攻打大稻埕
1898 (光緒24年) 與日和談歸順，得到於楓子林製腦業許可
1902 (光緒28年) 赴日觀光
1902 (光緒28年2月) 成為日本紅十字社終身社員
1902 (光緒28年4月) 擔任深坑公學校建築委員，盡力協助建校事宜至學校順利落成
1903 (光緒29年2月) 捐助深坑公學校建築經費八百五十元，受頒贈銀盃
1903 (光緒29年2月) 擔任深坑公學校學務委員
1903 (光緒29年11月) 納妾劉氏
1904 (光緒30年7月) 捐助景尾公學校建築經費三十一元，受頒贈木盃
1904 (光緒30年8月) 捐助深坑至景尾間道路用地價值相當於二百七十八元的土地，
受頒贈木盃
1904 (光緒30年8月) 捐助楓仔林警察官吏派出所建築經費十八元餘，受頒贈木盃
1904 (光緒30年9月26日) 與妾劉氏生庶子陳氏蜂
1905 (光緒31年5月) 捐助新店至屈尺間道路開設經費四十二元，受頒贈木盃
1906 (光緒32年7月) 捐贈日本帝國義勇艦隊建設贊助金八十元
1906 (光緒32年12月) 列為愛國婦人贊助會員
1909 (宣統元年3月) 納妾吳氏
1922 (民國11年10月12日) 逝世

貳、陳秋菊的先世與家族

一、渡台背景

陳秋菊原籍福建泉州府安溪縣，明末清初之際，來自閩、粵的移民大舉移入台灣，陳氏家族也在這股移民潮中，自福建原鄉遷至台灣。這些移民在原鄉好端端的，是受到什麼因素影響，必須要離鄉背井遷至一個陌生環境呢？以下大致分析移民渡台之背景：

1. 人口日增衍生的壓力

明朝中葉以降的五百年間，經嘉靖、萬曆、康熙、雍正、乾隆等皇帝的勵精圖治，人民得滋養生息，耕地面積日漸拓展，加上西方航海發達，傳入玉米、地瓜等新的糧食作物，再加上品種改良、生產組織及生產方式改變等因素，使得糧食增產，可養活更多人的情況下，中國人口大增。

2. 閩粵生存環境日益艱辛

在人口以倍數增長的情況下，以丘陵為主要地形分布的閩粵沿海省份，在人口過剩、耕地狹小、丘陵超限開發，導致地力枯竭，糧食的增加趕不上人口的暴增，於是出現糧食短缺的窘況。再加上明末清初閩粵地區的土地持有型態，明顯趨向集中少數官紳富豪等特權階級手中，分家制度導致貧農持有土地愈分愈細，在敵不過稅賦的壓力下，只得典當土地以糊一時之口，終不免淪為饑民。在閩粵謀生艱困的情況下，突破傳統「安土重遷」的保守觀念，積極向海外發展移民，似乎成為沿海居民求生存的一線曙光。

3. 台灣農業環境的優勢

一水之隔的台灣，地廣人稀，西部平原廣大、地平土沃、氣候溫和、雨量充沛，適合作物栽種。清康熙六十一年(1722)黃叔璥任巡台御史，著「臺海使槎錄」卷三「赤嵌筆談」記載清初台灣農作狀況：

「土壤肥沃，不糞種；糞則穗重而仆。種植後聽其自生，不事耘鋤，惟享坐獲，每畝數倍內地。」¹

雍正四年(1726)閩浙總督高其倬上疏請開米禁，謂：

「臺灣地廣民稀，所出之米，一年豐收足供四、五年之用。民人用力耕田，固為自身食用，亦圖賣米換錢。……台灣之民，既不苦米積無用，又得賣售之益，則墾田愈多。」²

清廷從其議，自此閩台商船往返熱絡，源源不絕地將台米運送至大陸販賣，賺取暴利。台灣農業條件如此優良，謀生容易，勤能致富，閩粵饑民爭相走告，與其坐以待斃，等候購買價高的台米，不如親赴台灣墾拓就食，創造財富。雍正五年(1727)攝理台灣知府的沈起元在「條陳台灣事宜狀」中指稱：

「民之渡台，如水之趨下，群流奔注」、「漳、泉內地無籍之民，無田可耕、無工可傭，無食可覓，一到台地，上之可以致富，下之可以溫飽，一切農工商賈，以及百藝之末，計工授值，比內地率皆倍蓰」³

台灣農業環境的優勢，吸引閩粵移民離鄉背井，源源不絕來台，創造生機累積財富。

清初順利渡台墾拓的移民，不僅要克服離鄉背景的思鄉情結，渡台時還要與海洋風浪拼死搏鬥，進入台灣尚需披荊斬棘、爭地奪水、防番自衛，若不具備過人勇氣、毅力與智慧，實難在地方立足生根。

二、文山地區的地理環境與拓墾經過

1. 文山地區的開發沿河流發展

臺灣各地早期空間發展模式大致相同，最先移民是由海港為據點，再沿交通網絡向內延伸拓墾，在腹地較寬廣之內地，自然形成聚落，逐漸由經濟中心發展成政治中心，最終達全面的區域發展。

交通網絡包括水運及陸運，臺灣島的河川，均源自廣義的中央山脈，呈放射狀向四方流入海中。故早期移民的拓墾，是由河口海港為其登陸首站，再溯溪而上，逐漸向內陸發展。原住民亦因漢人的移入，部分被漢化，部分則漸由平地退居山區。

漢人在臺北盆地的開發，也是順著淡水河一路向上游發展。淡水河掌控臺北盆地的發展命脈，其重要的支流，包括基隆河、新店溪及大漢溪。新店溪在景美附近分出兩支流，由東流入的是景美溪，由西流入的是安坑溪。新店溪本流，繼續上溯，至龜山又分成東側的北勢溪及南側的南勢溪二大支流。

景美溪為新店溪下游右岸主要支流，上游主流稱永定溪，源於雪山山脈北緣火燒寮山西南坡，海拔高八四〇公尺，山谷落差大，下蝕及向源侵蝕力旺盛，形成峽谷地形，兩岸缺乏河階平原，先向北流至藤寮坑匯另一支流後轉向西流，至雙溪口會石碇

¹ 曹永和(1979)，《臺灣早期歷史研究》，聯經出版公司，頁291。

² 許瑞浩(1988)，清初限制渡台政策下的閩南人移民活動，國立臺灣大學歷史研究所碩士論文，頁74。

³ 同註2，頁75。

溪後始稱景美溪。石碇溪發源於石碇鄉格頭村之崙尾寮，上游支流多而短，河床下蝕切割較永定溪更強，流量小而不穩，難於行船，兩岸亦乏河谷平原，難於形成大型聚落。在石碇老街，更因缺乏河岸階地，民宅需架空築於河床上，先民刻苦艱辛的景況可想而知。兩溪至雙溪口匯合後河谷稍見開展，但兩岸河谷平原仍甚狹窄，過楓子林入深坑土庫村，始見較寬之河階平原。河岸兩側山勢犬牙相錯，將河谷平原分割成不連續的空間，先民沿河拓墾，於河谷平原聚集成聚落，然因平原腹地狹小，故聚落規模均有限。⁴

2. 深坑地區的拓墾

康熙四十八年(1709)，墾戶陳賴章申得官方墾照，准予拓墾大佳臘地方，是最早的拓墾台北地方的官方正式紀錄。此後至雍正年間，艋舺、大稻埕、大龍峒、古亭、錫口等肥沃的平原相繼開闢。乾隆之後，再延伸入文山等交通不便、較為貧瘠或山麓地帶開拓。漢人入墾前，臺北盆地林木蓊鬱，為凶番出沒的原始天地。⁵

乾隆初年，漢人入墾臺北盆地者漸多。墾區及於松山、大安、南港、內湖、汐止與景尾、木柵、新店等地。乾隆二十年(1755)許宗琴一房播遷入深坑子新坡(陂)內開墾，這是漢人拓墾深坑最早的紀錄。⁶

清初海禁雖嚴，然因臺灣地曠人稀，較閩粵易於謀生，在上可致富、下可溫飽的誘因下，潛渡之風甚為昌熾。直至乾隆二十五年(1760)，清廷開放渡臺之禁後，將戶口編查漸納入正軌，閩粵移民接踵而至，大舉從事拓墾事業。

根據《臺北縣志》記載，乾隆三十年(1765)，泉州人張萬順開闢深坑景美溪北岸萬順寮地區。⁷但此說法並無佐証資料。

比較可靠的說法是，乾隆四十年(1775)十一月，秋菊族親陳金瑞⁸，向雷裡社土目東義乃，以四十大元代價，給出口糧山埔一所，坐落萬順寮溪南。其範圍東至高月坑，即楓仔林上雙坑口為界；西至高述坑，即猴山坑為界；南至崙盡水(山頂)為界；北至景美溪為界。⁹此範圍包括今日的深坑附近地區，即景美溪南岸由西向東依次為猴山坑、魚衡仔、阿柔坑、昇高坑、烏月、旺艸、楓仔林等大片河谷平原地區，東西直線距離超過五公里以上。此片土地原屬草莽密林，泰雅族不時出沒滋擾，初期墾拓需備巨額資金及人力，恐非個人可獨自經營。

嘉慶三年(1798)，陳金瑞因開墾乏力，招得股夥吳、潘、高、張、黃、番等六人，合七股向雷朗社業戶君孝仔暨白番等，繳納補墾山埔銀八十大員，共同從事開墾。¹⁰其後因內山生番兇狠，屢出殺人，故先後於嘉慶二十年至二十二年間，再招股夥三人與原來六人共同耕墾，並設隘防番，建成阿柔莊、麻竹寮莊、烏月莊等地。道光二年(1827)慈艸埔(旺艸)開成。¹¹

道光六年(1826)楓子林開成。深坑其餘各地(如溪北的土庫)於道光年間，也陸續開

⁴ 林惠娟(1997)，深坑鄉誌地理篇，深坑鄉公所，頁33-41。

⁵ 詹璋(1997)，深坑發展史初探，東吳大學歷史學系，頁174。

⁶ 詹璋(1997)，深坑發展史初探，東吳大學歷史學系，頁175。祭祀公業許太嶽管理委員會編(1992)，許太嶽渡台宗珪公宗關公宗琴公世系族譜，祭祀公業許太嶽管理委員會印<許太嶽宗祠慶成後記，頁12。

⁷ 《臺北縣志》，第一冊，臺北縣文獻委員會，第186頁。

⁸ 秋菊曾祖名陳金瑞，與最早向雷裡社給墾的漢人陳金瑞同名同姓，是否為同一人仍待查證。

⁹ 詹璋(1997)，深坑發展史初探，東吳大學歷史學系，頁177-178。

¹⁰ 高賢治(2002)，大臺北古契字集，臺北市文獻委員會，頁205，「嘉慶三年立給補墾批字」。

¹¹ 詹璋(1997)，深坑發展史初探，東吳大學歷史學系，頁178-179。

鑿水圳、闢田開墾。自乾隆末年至道光初年，深坑大致完成初墾開發。¹²

3. 秋菊先祖拓墾的範圍

秋菊家族的發展，是以新店溪支流景美溪及北勢溪二流域為活動範圍，居臺北盆地東南方的丘陵地。秋菊先祖遲至乾隆後期來臺北盆地開墾，盆地中心平野已為早期移民開發，只得往盆地邊緣拓墾。秋菊先祖生輝公子嗣三男，大房至十五份發展(今景美興隆路靜心中小學對面至山邊的平地)，二房至深坑景美溪南的烏月、旺艸、楓子林一帶發展，三房至小格頭發展。¹³早期先祖的拓墾地，與秋菊日後召募鄉勇團練抗法及抗日竄伏的區域，有絕對的地緣關係。從秋菊祖父去世後所立闢分書，秋菊父仁猛所分得的家業為：

承買陳荔田一段，又田一坵在內，東至庚辰田界，西至友田界，南至旺田界，北至溪界，四至界址明白；又溪洲田一段，東至公園界，西至進益田界，南至清風、公田田界，北至六秀田界，四至界址明白；又拈得坪埔茶畝一所，東至勇茶界，西至坑界，南至勇田界，北至大坑界，四至明白；又打石坡茶畝一所，東至庚辰茶界，西至坑界，南至旺界，北至庚辰界，四至界址明白，又員崙仔山一所，東至勇茶界，西至坑界，南至傳茶界，北至坑界，四至界址明白；又內埔山一所，東至庚辰茶界，西至庚辰茶界，南至庚辰茶界，北至庚辰茶界，四至界址明白；又牛窟坡山一所，東至番茶界，西至黃貢茶界，南至庚辰茶界，北至傳茶界，四至界址明白。

從此份闢分書來看，單單就陳猛這一房所分到的，就有山林、田、溪洲、茶畝等好幾筆土地，可見陳氏家族至秋菊祖父這一代時，在旺艸、昇高坑一帶，從山頭到溪邊，已拓墾了不少的土地，是當地具有實力的地主。至此，經過一百多年的拓墾，陳氏家族在深坑已打下厚實的基礎。

三、陳秋菊家族

1. 陳秋菊的先世

秋菊的先祖自閩渡臺墾荒的年代甚早，可上溯五世至生輝公。高祖原籍福建泉州府、安溪縣、歸善鄉、依仁里、筍山堡、後寮厝。乾隆四十年(1775)與族人陳大艸相偕渡臺開墾，先至十五分庄，後再遷深坑旺艸埔。是時，景美溪上游深坑一帶，遍地草萊林蔭密佈，凶番縱橫，漢人斂跡，陳氏先祖墾拓斯土，憑著過人的勇氣與恆心毅力，未幾景美溪南漸成田莊。來墾者聚居成村，為感念大艸首墾之功，故名「旺艸」。秋菊的高祖，亦於同時期移居此地。¹⁴

秋菊五世祖生輝公，子嗣三人，長房禎(經)生於雍正庚戌年(1730)，卒於乾隆己酉年(1789)葬於十五分。二房敬(情)，三房暖。

二房敬(情)子金瑞，子嗣五人，長房文幾、二房遙祖(秋菊祖父)、三房添旺、四房四進(捷陞祖父)、五房五英。

2. 陳秋菊家族

二房遙祖(秋菊祖父)遺下山場田業茶畝家器等家業，於光緒十年(1884)，由長房仁傳、次房仁猛、三房仁勇、四房侄子庚辰全立闢分合約繼承。¹⁵

¹² 詹璋(1997)，深坑發展史初探，東吳大學歷史學系，頁178-179。

¹³ 訪問陳秋菊曾孫陳建和口述資料。

¹⁴ 黃潘萬(1969)，陳秋菊抗日事蹟採訪記，臺灣文獻第 卷第四期，頁51。

¹⁵ 光緒拾年全立闢分合約。

次房仁猛(秋菊父親)生於道光十四甲午年(1834)，卒於光緒十六庚寅年(1890)，¹⁶妻魏氏倫(秋菊母親)，子嗣二人，長房秋菊、次子碧使後過房給仁傳。

長房秋菊生於咸豐五年(1855、安政二年)五月五日，卒於民國十一年(1922、大正十一年)十月十二日，享年六十七歲。戶籍登記職業為田畑作業，先後娶二妻二妾四人。

前妻林氏雲(林氏艮、林氏銀)生於咸豐戊午年(一八五八年)，卒於光緒辛卯年(1891、明治二十四年)生一子(長房陳炳煌)及二女(長女陳氏旦、次女陳氏糲花)。

後妻周氏蔭於明治二十四年(1891)與秋菊結婚入籍，育二螟蛉子(二房陳清榮、三房陳國藝)。

妾劉氏於明治三十六年(1903)入妾，育一螟蛉子(五房陳乞(陳嘉義))及與秋菊生一女陳氏蜂。

妾吳氏招(吳招君)於明治四十二年(1909)入妾，育二螟蛉子(四房陳金木(陳有義)、六房陳萬(陳萬義))。¹⁷

四、秋菊家業分布地點的地理環境

陳秋菊的先祖生輝公自福建省安溪縣來臺拓墾，子嗣三人各有發展，其中二房(秋菊的曾祖)至深坑景美溪南的烏月、旺艵、楓子林一帶發展，光緒十年(1884)在族親眾人見證下，秋菊的父親仁猛與其兄弟立鬮分合約¹⁸，將祖父(金瑞)遺下之山場田業茶畚家器什物等拈鬮分管，土地分布範圍大致在深坑附近地區。

秋菊的父親仁猛子嗣二人，秋菊為長子，弟碧使過繼給伯父仁傳，仁猛於光緒十六年過逝(1890)¹⁹，秋菊時值三十五歲，繼承父親仁猛家業，以此為發展基礎，加上善長經商，於而立之年，已成為地方重要士紳，身居地方團練義勇團長，先後參與抗法、抗日諸多戰役。光緒二十四年(1898，明治三十一年)，秋菊年四十三歲歸順日本政府，得到製腦權利，獲利甚夥，大舉購置田產，晚年家業輝煌。秋菊於民國十一年(1922、大正十一年)過逝，享年六十七歲。次年六房子嗣在堂兄陳捷陞、陳燈煌、及族親陳江鎮等人見證下鬮分遺產²⁰。

龐大的家業包括建物敷地1甲9分6厘3毛3系、水田37甲7厘7毛9系、畑(旱田)37甲5分3厘9毛6系、池沼地8分3厘8毛、雜種地2厘1毛、山林地1分1厘9毛、墓地2厘，合計約77甲5分7厘8毛8系的多種地目土地;此外還有地上建築物等。(見陳秋菊財產分布表)

上開家產分布地點並不侷限在深坑地區，而是廣布在大文山地區，地點包括文山郡深坑庄深坑子、烏月旺艵、升高坑、萬順寮草地尾、坡內坑象頭埔、抱子腳、頭廷魁、新店庄大坪林寶斗厝、坪林庄仁里坂、金瓜寮、甚至分布至新店溪西側的新莊郡漳和庄潭墘等地。各地的位置及地理環境分述如后：

1. 文山郡深坑庄深坑子秋菊有田地3分8厘9毛及池沼用地4厘7毛。深坑子位於景美溪中游北岸的河階平原，深坑子為深坑人口、經濟、交通及行政聚集之地。
2. 秋菊在深坑庄烏月旺艵的土地有建物敷地1分8厘1毛5系、田地2甲1分3厘1毛5系、旱

¹⁶ 仁猛生卒時間由陳忠騰先生提供，另於陳秋菊除戶謄本中戶主變更事由中載前戶主陳猛於明治二年(一八八七年)二月七日死亡府戶主相繼。

¹⁷ 妻妾入籍資料依據日據時期戶政事務所保管之戶籍登記及除戶資料。

¹⁸ 文山堡烏月庄證據書類寫「鬮分合約字」光緒拾年朥月立。

¹⁹ 戶籍登記資料為明治二〇年，一八八七年。

²⁰ 由陳建和先生提供「鬮分合約字」大正二年二月立。

田6分4厘5毛1系、池沼2厘1毛等多筆土地，陳家大厝德鄰居即建於此地。旺駛位於景美溪中游南岸的河階平原上，東有烏月溪自三貢嶺山流經注入景美溪，該大片土地原保留成六大房共有的祭祀公業，但因未辦登記，後大部份被征收，僅留德鄰居附近土地。

陳秋菊財產分布表

地點	建物敷地	田	畑	池沼	雜種地	山林	墓	合計
寶斗厝	7厘3毛	2甲 4分7厘 1毛						2甲5分4厘4毛
仁里坂	7厘	5甲7分4厘7 毛5系	2甲2分2厘7毛 5系					8甲4厘5毛
金瓜寮	9分3厘7毛	9甲3厘7毛5 系	32甲5分1厘2 毛					42甲4分8厘6毛5 系
象頭埔	1分2厘9毛3 系	1甲6分9毛2 系	1甲3分9厘1毛	2分1厘3 毛				3甲3分4厘2毛5 系
旺駛	1分8厘1毛5 系	2甲1分3厘1 毛5系	6分4厘5毛1系	2厘1毛				2甲9分7厘9毛1 系
升高坑	4厘 5毛	2分8厘8毛5 系	3分5厘5系		2厘1 毛	1分1 厘9毛	2 厘	8分4厘4毛
坡內坑 抱仔腳	9厘1毛	3甲6分5厘4 毛3系	2分9厘8毛					4甲4厘3毛3系
深坑子		3分8厘9毛		4厘7毛				4分3厘6毛
頭廷魁	6厘3毛5系	3甲2分7厘8 毛5系		5分5厘7 毛				3甲8分9厘9毛
草地尾			1厘1毛					1厘1毛
新莊郡 漳和庄 字潭墩	3分7厘3毛	8甲4分7厘9 系	1分 4毛5系					8甲9分4厘8毛4 系
總計	1甲9分6厘3 毛3系	37甲7厘7毛 9系	37甲5分3厘9 毛6系	8分3厘8 毛	2厘1 毛	1分1 厘9毛	2 厘	77甲5分7厘8毛8 系

3. 深坑庄升高坑秋菊有建地4厘 5毛、田地2分8厘8毛5系、旱田3分5厘0毛5系、雜種地2厘1毛、山林1分1厘9毛及墓地2厘。升高坑位於旺駛西南方，有升高溪由南向北注入景美溪，兩岸河谷平原狹小，平地不及旺駛開闊。升高溪源於筆架山與炙子頭山之間，水量小，全長僅長三點五公里，山坡坡度陡峭，不易開發，上游沿溪有櫻花栽種，源頭處有土石崩落埋積溪谷。²¹

4. 深坑庄萬順寮草地尾秋菊有旱田2厘2毛。萬順寮位於景美溪北岸，東與深坑子相

²¹ 林惠娟(1997)，深坑鄉誌地理篇，深坑鄉公所，頁37。

鄰，西至大坑外股溪匯入景美溪口之間，早年此河階平原遍生雜草，故以「草地」相稱，東邊靠近深坑子的部份稱草地頭，西邊靠近大坑外股溪口以東之地稱草地尾。草地尾附近地區屬於景美溪北岸較完整的狹長平地，一〇六公路經過交通方便，目前已全部開發成住宅及工業區使用。

5. 深坑庄坡內坑象頭埔秋菊有建地1分2厘9毛3系、田地1甲6分0厘9毛2系、旱田1甲3分9厘1毛、池沼2分1厘3毛。坡內坑的範圍:東與萬順寮及阿柔坑以猴山岳至魚衡山的山稜線為界，西接興福，南以山稜線與內湖(木柵舊名)相鄰，約為現在福德坑、軍功路、動物園、小坑溪等地。象頭埔位於草地尾西方，在景美溪北岸狹小的河階平原上，一〇六公路經過交通方便。
6. 深坑庄坡內坑抱子腳秋菊有建地9厘1毛、田地3甲6分5厘4毛3系、旱田2分9厘8毛。抱子腳在木柵的北方，景美溪流域北岸，約在今天木柵高工附近，景美溪在此轉向南流，近河處的河階平原，因地勢較低，大雨來輒會積水。
7. 深坑庄坡內坑頭廷魁秋菊有建地6厘3毛5系、田地3甲2分7厘8毛5系、池沼5分5厘7毛。頭廷魁位於景美溪南岸，大約在今日木柵動物園及附近停車場至捷運機房一帶的河階平原。
8. 新店庄大坪林寶斗厝秋菊有建地7厘3毛、田地2甲4分7厘1毛。大坪林位於景美溪自東向西匯入新店溪口之南岸，新店溪由南向北流，全域地勢由南方高麗坑山(265公尺)向北逐漸遞減，中有瑠公圳自新店經景美流至臺北盆地，平原開闢廣闊成農田，水圳發達，交通便利。其中寶斗厝位於景美溪南岸、瑠公圳東側，地勢平坦，適於農耕。
9. 坪林庄仁里坂秋菊有建地7厘、田地5甲7分4厘7毛5系、旱田2甲2分2厘7毛5系。坪林庄位於北勢溪上游，西與石碇庄相鄰，南接「番界」，全庄均為丘陵地，河谷平原狹小。仁里坂位於坪林西方約兩公里處，地處北勢溪南岸曲流造成的劇場河階上，交通不便。由仁里坂經坪林、翻過樹梅嶺、下至石碇、楓子林後渡船至旺軌;或由仁里坂渡船沿北宜公路、再翻越筆架山山系後，尋山路至深坑旺軌，距離均約二十公里左右。
10. 坪林庄金瓜寮秋菊有建地9分3厘7毛、田地9甲0分3厘7毛5系、旱田32甲5分1厘2毛，合計42甲8分8厘6毛5系，占秋菊所有土地的百分之五十五。金瓜寮溪為北勢溪中游南岸支流，源於烏嘴尖(1044公尺)，由南向北流，兩岸山勢夾峙，僅在金瓜寮及河口匯流處有狹小的河谷平原，於仁里坂南方匯入北勢溪。明治三十七年(1904)的臺灣堡圖中金瓜寮仍屬於生番地，²²俟秋菊歸順後，日人將金瓜寮流域供其與陳捷陞墾植，大正十五年(1926)出版的臺灣堡圖中「生番地界」已向南移至金瓜寮溪上源的稜線為界，²³在此漢番交界的土地拓墾，若非有強大勢力為後盾，恐不易與原住民和平共處。
11. 新莊郡漳和庄潭墘秋菊有建地3分7厘3毛、田8甲4分7厘0毛9系、旱田1分4毛5系。秋菊家業大抵位於新店溪東側，僅此家業位於新店溪西側。

²² 臺灣堡圖灣潭，二萬分之一，明治三十七年調製，臨時臺灣土地調查局測繪，臺灣日日新報社出版，大正四年一月一日再版，

²³ 臺灣堡圖新店，五萬分之一，大正十五年測圖，大日本帝國陸地測量局測圖出版，昭和五年一月發行。

參、陳秋菊的地方勢力的崛起

一、承繼家業的經濟實力

秋菊高祖原籍泉州府、安溪縣、歸善鄉、依仁里。乾隆四十年（1775）即渡台開墾，卜居旺耽，以農耕為業。至遙祖時（秋菊曾祖）陳家已累積了山場、田業、畝茶等為數可觀的家業²⁴。仁猛時（秋菊父）因生齒浩繁，恐易生糾紛，因此乃請公親族人見證，分爨而居。從當時所立鬮分書，仁猛分得的家業為：

承買陳荔田一段...；又田一坵在內...；又溪洲田一段...；又拈得坪埔茶畝一所...；又打石坡茶畝一所...；又員崙仔山一所...；又內埔山一所...；又牛窟坡山一所...。

由此看來，仁猛所分得之份，主要以茶畝和山場為主，因此仁猛生計以種茶為主。深坑地區，山多泉甘土赤，氣候溫和溼潤，適於茶樹生長，早在嘉慶末年，即有福建泉州人井連侯攜茶苗至深坑之土庫莊栽種，之後始逐漸移植附近各莊，道光年間已有商人搜購石碇（石碇堡）、拳山（即文山堡）茶葉，運往福州販賣²⁵。同治年間，英國人杜德（John Dodd）來台，見此地所種植之茶因氣候、土質適宜，故品質優良，更貸款茶農獎勵栽種。以深坑為例，深坑之茶農，採摘生葉，製成粗茶後，就地賣與茶販，再由茶販運往大稻埕買賣。茶販住在深坑街和土庫、楓仔林等地²⁶，至山上茶園，先期向茶農貸以資金，預約來年所有收穫之茶，俟茶葉收成後，加以收購進行粗製，再運往大稻埕²⁷。此時種植茶所獲得之利益甚為豐厚，仁猛適逢其時，逐漸累積不少資產。當時深坑位於文山地區茶葉輸出的水陸交通樞紐，自然成為文山茶的集散地。茶農、茶販和茶商群集於此，進行交易、轉運，造成深坑街的逐漸繁榮。在地方上因種茶轉型而為以收購和販賣茶葉經商致富的，以黃宗河最為顯赫，這樣的例子自然鼓舞了陳秋菊，而興起「大丈夫當如是也」之感，因此二十五歲到二十八歲間（光緒六年至光緒九年）陳秋菊曾經營深坑、景尾等處茶葉並兼營雜貨，他以為「人生在世，若捨商業不能雄飛，且不能圖存於黃金世界矣！」²⁸憑藉著陳家的經濟基礎，加上此時陳秋菊旺盛的企圖心，二十餘歲的陳秋菊已經在地方上嶄露頭角了。

二、墾戶身分積累的地方實力

清代地方行政系統，對百姓的統治只能達於廳、縣，至於更基層的統治，則須訴諸於地方自治機構，也就是鄉治組織。但是，在地方如果要使賦稅按時繳交，糾紛、鬥毆、訴訟、盜竊案件減少，政令順利推行，除了擔任鄉治者的努力外，尚需其餘地方領袖人物配合，否則就會糾紛頻生，地方不得安寧。詹瑋依據文山地區特性，曾將文山地區地方領導階層分類，其中提到墾隘組織中的墾戶，在地方上糾合群眾的力量，維持地方秩序扮演著相當重要的角色²⁹。因為文山地區，地多屬山區，漢人在開墾

²⁴ 《文山保烏月庄證據書類寫》，頁267。

²⁵ 陳培桂，《淡水廳治》，卷四 賦役志，關權，茶釐，頁114。

²⁶ 詹瑋採訪，謝潘麵訪問記錄，民國八 六年七月二 五日。詹瑋，開發篇，收入林能士總纂，《深坑鄉誌》，頁122。

²⁷ 臺北市茶商業同業公會，《台茶輸出百年簡史》（臺北：臺北市茶商業同業公會，民國五 四年），頁32。

²⁸ 陳秋菊訃聞，收入不著撰人，《白馬將軍陳秋菊》一書中。

²⁹ 詹瑋(2002)，《台北文山地區百餘年來的發展與變遷》，政大歷史系研究部博士學位論文，國立政治

時常受原住民的侵害，造成墾拓的困難，為使開墾的成功，墾戶必須將眾佃戶組織起來，防守生番，並負責地方公務，維持治安。秋菊祖乾隆時期即在深坑地區溪南一帶墾拓，至光緒十六年（1890）八月二十七日淡水縣拳山堡阿柔庄、麻竹寮庄、憨耽庄、烏月莊（即發達埔）、楓子林庄墾戶高往、黃源記、林全記、陳朱雀、楊源興等，向新竹縣知縣沈茂蔭控告高白，在萬順寮隘首高陽死後冒頂混充，將所收隘租先濟私囊，延繳公款，導致各庄差催迫討租，甚至發生一業兩租情形，各業戶不堪其擾，因此將此情由上稟縣憲沈，並共立五庄合約議定各庄往後各墾戶照租分攤義渡經費以及公當事務費用，不經由高白轉收，而由各庄立約人彙收轉繳。³⁰此一案件是由五庄代表對於地方繳納租稅問題，展現出強勢的態度，當地方各自利益產生糾紛衝突時，他們甚至選擇以抗納租稅為手段，迫使官府的介入以解決彼此的紛爭，可見墾戶們對於地方事務的參與是具有舉足輕重的地位的。其中和黃源記共同上稟的陳朱雀即陳秋菊，陳家長期以來因為具有墾戶的身份，維護地方安靖，調解公共事務，加上陳秋菊個人「天資豪邁，義氣颯爽，精強且博敏」、「少壯既露頭角，博驍名於江湖」³¹在地方上調和鼎鼎，自然擁有相當程度的基層實力。

三、經辦團練事務得到賞識

團練淵源古時寓兵於農的遺意。清道光年間，鴉片戰爭爆發，台灣沿岸情勢緊張，政府非利用民兵不可。此時台灣道姚瑩以及台灣鎮總兵達洪阿聯名向朝廷上「防夷奏疏」，其中對於台灣辦理團練的必要與方法，有切合地方民情的見解：

欲請兵內地，則本省防夷喫緊，缺額戍兵，尚難補助，其不能添調可知；欲請兵外省，則客兵地利生，未見分得力，且遠隔重洋，緩不濟急。反覆思維，不得不用本地義勇。以台人習鬪，膽氣較優；且自衛鄉邦，其情較切。若曉以大義，優其爵賞，尚有可為。臣等自二八年八月，先後赴南北路督同廳縣委員遍諭紳耆聯莊團練義勇，半守本莊、半聽官調。已據各屬陸續冊報練勇四千一百有奇，請領義旂腰牌；此皆平時不領經費，但有犒賞，臨事調用，始給口糧。

因此道光年間以後的團練，本質上是民兵，有事則應官府徵調，至於平常時候團練局在地方上的職務，淡水分局頒給的團練局長充任諭帖中有如下的指示：

迅協該處總保，聯庄團練，僱募壯丁，搭寮梭巡，護送客商往來，通流米谷。倘有匪徒造謠煽惑，藉端擄搶、竊劫，立即督率團練壯丁，擒拿解案究辦。該匪如敢拒捕，准予格殺勿論。該局長務須實力辦理，不得始勤終怠。³²

有關地方治安的維護，甚至緝拿盜匪，都是平常時候團練的職務。團練的組織，基本上是由官諭令地方總理、紳商、殷戶等來辦理團練。陳秋菊在光緒四年及五年即曾受淡水縣憲之命擔任文山團練局事務委員，在職勤勞、勇往任事，深受淡水縣憲賞識。光緒十年（1884）中法戰事一起，台灣道劉璈頒布「全台團練章程」十六款，其中規定各城、鄉各設團練總局集團練分局外，並規定十六歲以上、四十歲以下者為壯丁，皆編為團勇；其刀矛兵械各勇自備，火藥由火藥局發給。淡水縣憲即因陳秋菊先前辦

大學，頁122。

³⁰《淡新檔案》微捲，（央圖台分藏），第一編行政，第五類交通，第四款義渡，第二案，本案共102頁，上文見頁94、95，微捲編號15412。

³¹《白馬將軍陳秋菊》，頁7。

³²《淡新檔案》微卷一二四 一~二。

理團練事務精詳、措施合格，再請其率領義勇五百，擔任團長一職³³。

陳秋菊的在經營地方勢力的同時，其才能逐漸為當道者知曉，並藉由經辦團練事務，對於公共事務有更深入的參與，在這段經辦團事務期間，陳秋菊顯然取得更為穩固的地方領導勢力。

四、參與中法戰役獲得軍功

中法戰爭發生的原因，在於清廷與法國解決越南問題的紛擾上。清廷派北洋大臣李鴻章與法國艦長福祿諾談判，清廷原定的談判原則為：維持藩屬；拒絕越南通商；保全劉永福；不償軍費。最後簽訂的「天津簡約」卻是：清不過問法越所訂條約、但今後法越間議改條約，決不損害清國尊嚴；清允法在西南通商，法不侵犯西南邊境；法要求清國即行由北越撤軍；法國不要求賠款；清法兩國三個月內，各派全權代表議定條約細則³⁴。清廷無法接受「天津簡約」內容，光緒十年（1884）諒山「觀音橋事件」，法國敗陣，指責清廷背信，並要求撤軍、賠償。清廷拒絕，戰爭於是爆發。

戰爭爆發後，由於基隆盛產煤炭，是艦艇動力的來源，因此成為法軍攻佔的目標，六月十四日，法將孤拔率艦五、陸軍三千人，入基隆港。十六日，法軍二百餘名上岸，兩軍激戰，法軍大敗。

八月，法軍再攻基隆，清軍先勝之，後以滬尾告急，撤基隆守軍以援滬尾，基隆遂陷。

八月二十日，法船八艘攻滬尾，孫開華督軍分路迎擊，自庚至午，槍聲不絕，二軍短兵相接，清軍斬馘二十五級，內有兵酋二人，槍斃三百餘人，大敗之。十一月、十二月，法軍屢攻基隆之獅球嶺、烏嘴峰、大水窟、月眉山等地，林朝棟、曹志忠督兵血戰，力保月眉山，終支危局。

光緒十一年（1885）一月，十八日法軍猝襲月眉山，十九日法軍二千直犯月眉山巔，清守軍曹志忠、劉朝祐潰退。二十日王詩正潛進暖暖，曹志忠、劉朝祐亦據暖暖，夾河為營，保大水窟後路。王詩正攻襲月眉山尾，克之，以四營力屯守。二十一日王詩正會合曹志忠進攻月眉山巔，法軍分兩路包圍清軍，林朝棟、劉朝祐奮勇救出蘇樹森土勇，奪圍而出。大水窟、四腳亭均失守，基隆河以北盡為法有，清軍退守五堵、六堵等地³⁵。此役，清軍莫不誓死血戰，無奈敵勢過眾，槍砲過精，無能相敵，林朝棟、劉朝祐兩軍死傷最多。

中法戰爭期間，基隆、滬尾之役時，在滬尾只有孫開華三營，劉朝祐一百餘人，以及張李成新募土勇一營³⁶。自從滬尾大捷後，由於文山地區土勇張李成屢立戰功，使得清廷對於台灣土勇的作戰能力深具信心，《清宮月摺檔》中有如下描述

……李彤恩所募土勇，軍功張李成一營，伏於北路山澗，布屠（署）甫定，敵兵……近千人，分三路上岸，直撲大小砲台，聲勢兇猛……，我勇短兵相接，奮力擊殺，張李成領隊旁抄，分勇直前，陣斬執旗法一名，並奪其旗，……馘首二 五顆，內有兵酋二

³³ <陳秋菊訃聞>，收入不著撰人，《白馬將軍陳秋菊》一書中。

³⁴ 《法軍侵台檔案》，北洋大臣李鴻章咨送遵旨籌辦法越交涉與法使一訂簡明條約摺稿，台灣文獻史料叢刊 - 第三輯，頁32。

³⁵ 《劉壯肅公奏議》，法攻暖暖月眉山大水窟一帶眾寡不敵各營退守河南摺，頁193

³⁶ 《清宮月摺檔案》，劉銘傳為左宗棠奏報台北情形奉旨查辦知府李彤恩一案詳細具陳以明是非摺，頁4081。

名，槍斃約三百名³⁷。

所以在基隆之役時，清廷添募更多土勇參與作戰，

……俱以李彤恩所募張李成土勇得力，提臣孫開華、曹志忠、蘇得勝、柳泰和各請添募千人。各奮勇進攻基隆³⁸。

文山地區因為地近番界，為防原住民侵擾，居民必須習武以自保，故民風剽悍，大稻埕紳士陳霞林由於幼時曾住拳山保深坑萬順寮，對於內山情形頗為了解³⁹，因此屢言內山禦番土勇常行見仗，可以挑募⁴⁰。這次清廷招募各地義勇抗法的行動中，文山地區土勇，踴躍響應清廷的徵召，陳秋菊即是在此時加入抗法戰爭的行動，率領義勇五百，並歸屬於淮軍劉朝祐麾下與法軍在暖暖激戰二日⁴¹，戰後蒙賞五百金，光緒十一年（1885）年欽差大臣劉銘傳諭札奏准部論賞陳秋菊軍功五品頂帶并千總銜⁴²。

經過中法戰爭，陳秋菊因軍功而獲得清廷的封賞，在地方領導勢力的競逐中，逐漸地在政治舞台上綻放出光彩。

五、深坑街庄總理厚植政治勢力

光緒十二年（1886）至光緒十九年（1893）間，淡水縣憲諭命陳秋菊擔任深坑街庄總理。

關於總理的舉充，首先要考慮的是資格的問題，至於總理必須具備的資格，在性格上，以誠實為首要，其次為「謹慎」、「勤勞」、「正直」、「素行端莊」、「忠厚」等；在家庭及社會背景上，必須「有家有室」，有正當職業，並且在地方上具有聲望者；同時要考慮其辦事能力，以熟悉地方事務，辦事踴躍，廉正秉公者為首選⁴³。具備以上條件後，由地方紳耆保舉，廳縣認為合格，則予諭充，同時發給諭帖及戳記。

台灣的鄉治組織，是以自然街庄為基礎，進而數街庄至數十街庄聯合起來，構成聯庄組織，設總理綜理區內事務⁴⁴。所以總理是官府最重視的鄉職，他所負責的職務，有（1）自治的職務。自治的職務可再分為約束境內人民以維持秩序（亦即維持街庄規），及增進福利而捐建並維持公共事務兩種。（2）官治的職務。官治的職務，再分為行政的及司法的職務兩種。行政的職務，如官署之諭告的傳達，公課的催征，保甲的組織，戶口的編查，清庄聯甲，團練壯丁，辦公差，尋人，告示的收管，墾隘的督勵，漂浮物的保管等。司法的職務，如路屍的處理，命盜等重案的稟報，民刑案案情的稟報（包括自動與受投）、查覆、勘查、驗契、人犯的追捕及解案，人證的傳訊及

³⁷《清宮月摺檔案》，光緒 年九月，劉銘傳為敵軍登岸功瀨尾我軍血戰獲勝情形摺，頁3858。

³⁸《清宮月摺檔案》，劉銘傳為左宗棠奏報台北情形奉旨查辦知府李彤恩一案詳細具陳以明是非摺，頁4084。

³⁹《台北市志卷九人物志 賢德篇》，台北：台北市文獻委員會，1988，頁8。

⁴⁰《清宮月摺檔案》，劉銘傳為左宗棠奏報台北情形奉旨查辦知府李彤恩一案詳細具陳以明是非摺，頁4084。

⁴¹ 陳秋菊訃聞 中，言及陳秋菊於中法戰爭時曾於暖暖語法軍激戰二日，並得欽差大臣劉奏准部給賞軍功五品頂帶並千總銜，因中法戰爭期間淮部將領並曾據守暖暖者僅劉朝祐軍，加之深坑募勇黃宗河，亦屬劉朝祐麾下，依此推論陳秋菊於中法戰爭期間當歸屬於劉朝祐麾下。

⁴² 陳秋菊訃聞，收入不著撰人，《白馬將軍陳秋菊》一書中。唯在《清宮月摺檔案》敘獎清冊中未見其名。

⁴³戴炎輝(1992)，《清代台灣的鄉治》，頁22、23。

⁴⁴戴炎輝(1992)，《清代台灣的鄉治》，頁118。

跟交，堂諭（裁判）的執行（糾紛中地租的封收、被擄禁人的押放、押納、押還等），口角、毆傷、騷擾、搶奪或擄掠等的諭止（解散），官之履勘及相驗的佈置等⁴⁵。

陳秋菊原為憨耽庄人，此時期他的勢力顯然已從溪南的憨耽庄跨越到深坑街庄，並被各街庄推舉為總理，顯見陳秋菊在深坑地區已經建立了個人十分雄厚的地方勢力了。陳秋菊勢力的竄起，在深坑地區原本的各家族勢力中，必然也引起了互有消長的作用，因地方勢力的競爭，彼此間產生嫌隙，甚至造成日後陳秋菊遭誣陷，憤而率鄉勇與日本人對立的局面。

肆、結語

陳秋菊與族弟陳捷陞一文一武，陳秋菊個性較溫和⁴⁶，遇事較能審慎謀劃，他的每個階段的人生經歷，確實都能不自外於整個社會的政治與經濟的發展趨勢，在適當的時候作出最佳的選擇。同治七年到光緒二十一年（1868~1895）台灣茶葉的外銷，為台灣的社會創造了豐厚的利潤，特別是主要茶產地的深坑、石碇⁴⁷。所以光緒六年到光緒九年（1880~1883）他曾經從種植茶葉的墾戶，轉而成為經營茶葉生意的茶商；光緒十年中法戰事發生，他選擇接受清廷的招募，奮勇投入抗法的行列中，獲得了軍功，確立他在地方領導勢力的地位，並因此得到鄉耆的保舉，成為深坑街庄總理。這個逐步壯大的過程，與其說是風雲際會，更可看作陳秋菊謀定而後動的務實精神使然。這樣的性格，在他往後的人生經歷例如抗日、與降日的選擇上，依舊發生了作用。

參考文獻

1. 大日本帝國陸地測量局(1926)，〈臺灣堡圖新店〉，五萬分之一，大正十五年測圖，大日本帝國陸地測量局測圖出版，昭和五年十一月發行。
2. 林惠娟(1997)，〈深坑鄉誌〉〈地理篇〉，台北，深坑鄉公所，頁33-41。
3. 林滿紅(1978)，〈茶、糖、樟腦業與晚清台灣〉，台北，臺灣銀行，頁28。
4. 高賢治(2002)，〈大臺北古契字集〉「嘉慶三年立給補墾批字」，台北，臺北市文獻委員會，頁205。
5. 曹永和(1979)，〈臺灣早期歷史研究〉，台北，聯經出版公司，頁291。
6. 祭祀公業許太嶽管理委員會編(1992)，〈許太嶽渡台宗珪公宗關公宗琴公世系族譜〉，祭祀公業許太嶽管理委員會印，許太嶽宗祠慶成後記，頁12。
7. 陳培桂，〈淡水廳治〉，卷四〈賦役志〉，關權，茶釐，頁114。
8. 許瑞浩(1988)，〈清初限制渡台政策下的閩南人移民活動〉，國立臺灣大學歷史研究所碩士論文，頁74 - 75。
9. 黃潘萬(1969)，〈陳秋菊抗日事蹟採訪記〉，臺灣文獻第十卷第四期，第51頁。

⁴⁵戴炎輝(1992)，〈清代台灣的鄉治〉，頁21、22。

⁴⁶ 陳忠騰訪問稿，詹瑋整理。92.08.27

⁴⁷林滿紅(1978)，〈茶、糖、樟腦業與晚清台灣〉，臺灣銀行，頁28。

10. 詹瑋(1997), <深坑發展史初探>, 東吳大學歷史學系, 頁174-175、177-179。
11. 詹瑋(1997), 《深坑鄉誌》〈開發篇〉, 台北, 深坑鄉公所, 頁122。
12. 詹瑋(2002), 《台北文山地區百餘年來的發展與變遷》, 國立政治大學歷史研究所博士學位論文, 頁122。
13. 臺北市茶商業同業公會(1965), 《台茶輸出百年簡史》, 臺北, 臺北市茶商業同業公會, 頁32。
14. 臺北市文獻委員會(1988), 《臺北市志卷九人物治一賢德篇》, 臺北, 臺北市文獻委員會, 頁8。
15. 臺北縣文獻委員會, 《臺北縣志》, 第一冊, 台北, 臺北縣文獻委員會, 第186頁。
16. 戴炎輝(1992), 《清代台灣的鄉治》, 台北, 聯經出版社, 頁21-23, 118。
17. 臨時臺灣土地調查局(1915), <臺灣堡圖灣潭>, 二萬分之一, 明治三十七年調製, 臨時臺灣土地調查局測繪, 臺灣日日新報社出版, 大正四年十月一日再版。
18. 《文山堡烏月庄證據書類寫》, 頁267。
19. 《白馬將軍陳秋菊》, 〈陳秋菊訃聞〉, 深坑, 收入不著撰人, 頁7。
20. 《法軍侵台檔案》, 〈北洋大臣李鴻章咨送遵旨籌辦法越交涉與法使一訂簡明條約摺稿〉, 台灣文獻史料叢刊—第三輯, 頁32。
21. 《淡新檔案》微捲, (央圖台分藏), 第一編行政, 第五類交通, 第四款義渡, 第十二案, 本案共102頁, 上文見頁94、95, 微捲編號15412, 微卷一二四〇一~二。
22. 《劉壯肅公奏議》, 〈法攻暖暖月眉山大水窟一帶眾寡不敵各營退守河南摺〉, 頁193。
23. 《清宮月摺檔案》, 〈劉銘傳為左宗棠奏報台北情形奉旨查辦知府李彤恩一案詳細具陳以明是非摺〉, 頁4081-4084。
24. 《清宮月摺檔案》, 光緒十年九月, 〈劉銘傳為敵軍登岸功滬尾我軍血戰獲勝情形摺〉, 頁3858。

教師工作壓力及其因應之道探討

梁瑪莉¹ 林慧美²

¹東南技術學院講師

²東南技術學院講師兼衛生保健組組長

摘 要

本文旨在探討教育體系中最基層的教師所面臨的工作壓力，及其因應方式。首先，瞭解教師工作壓力的定義，探討教師工作壓力的來源，並進一步的探討教師工作壓力的理論模式：提出 Kyriacou 與 Sutcliffe 的理論模式，及 Moracco 與 McFadden 補充修正後的壓力模式架構，並提到教師工作壓力產生的影響情形。

其次，探討因應壓力的方式。瞭解壓力因應的定義，壓力因應的理論，提出 Lazarus 與 Folkman 的壓力因應認知理論，最後，對教師工作壓力及因應方式加以深入的探討。冀望這樣的探討，能幫助教師瞭解面對的壓力，並找到因應紓解的管道。

關鍵詞： 教師工作壓力 因應方式

Abstract

The purpose of this study was to explore the working stress and the coping method for teachers in the educational school system. First, the study focuses on the definition of teacher working stress, the cause and effect for the teacher working stress, and the stress theory model from Kyriacou & Sutcliffe, and the modification model from Moracco & McFadden. Secondly, the study concentrates on the definition and theory of stress coping methods, and the cognition of stress coping theory model from Lazarus & Folkman. Lastly, the study penetrates interaction into the teacher working stress and coping methods, and provides suggestions for all of suffering working stress teachers.

Keyword: teacher working stress coping method

壹、前言

多元、忙碌、競爭的現代社會中，「壓力」似乎成為現代人無法逃避的宿命。工作、學習有壓力，上班、上學有壓力，面對新事物、新技能、新社會問題會有壓力，換新環境或進入陌生場所會有壓力，失業缺錢有壓力，就連有了很多錢，也會有重重的壓力。做為一個現代人，「壓力」似乎如影隨形、無所不在。

而其中身為教育體系中最基層的教師，所面臨的壓力又是如何呢？根據臺北市教師會的一項調查（2003年10月）顯示，有高達五成的教師有憂鬱傾向，教育政策的不明確、社會漠視教師專業權益、教育環境中成員的溝通不良、以及學生、家長、行政人員和教師的互動等問題，造成了教師的困擾與壓力。教育部也於九十二年的一項問卷調查中發現，七成九的教師覺得工作壓力大，逾八成二的教師想要提早退休。此外，香港教育專業人員協會2003年教師工作壓力調查，也顯示有六成教師覺得工作壓力很大，五成二表示需要宣洩，更有六成六感到難以承受。而民間團體金車文教基金會，於2000年教師節前夕所做的一項調查報告也顯示，教師快樂指數逐年下降，而希望以教師為終身志業的人也減少，雖然新進教師甄試擠破頭，卻有很多教師想要轉行，老師不快樂原因與工作壓力大有關係。

當個體感受到內在需求與外在環境要求的不一時，經常會採取一些調適或因應方式來平衡，以維持個體的均衡狀態。所謂「調適」（adaptation），是個體面臨壓力時能以自我的方式去調整因壓力所帶來的焦慮、不安，使情緒平靜下來，甚至可以較客觀、積極的心態面對並接受眼前的壓力（Salo,1995）。而「因應」（coping），是個體接受了壓力的存在，能以更積極的態度，鎮靜地思考壓力來源，並能應用自我或周遭的資源或力量，去解決問題，減輕壓力所帶來的影響（賴倩瑜等,2000）。「調適」是個體自身內在的調整與接受，「因應」則是個體整合自身與環境資源，並積極採取行動及解決問題（黃惠惠,2002）。教師以何種自我調適或因應方式，方能減輕教師工作壓力，使學校效能與教育功能能確實發揮，是為本文所要探討之要旨。

貳、教師工作壓力之探討

「壓力」（stress）一詞源於拉丁文的「stringere」，意思是「拉緊」或「緊拉」（Cooper,1977）。最早用在物理學與工程學上，係指將充分的力量用到一種物體或系統上，使其扭曲變形（王以仁等,1997）。Walter Cannon 在1932年是第一位把壓力的概念用在心理學及醫學上，提出壓力和個體生理變化之間具有關聯性（張郁芬,2001）。之後，其弟子 Selye 於1956年將壓力一詞引進至社會科學的領域使用，將壓力定義為：身體對於加諸其上的任何要求，所做出的非特定性反應。但其太偏重壓力的生理反應，而受到不少的批評。其後，各方學者相繼投入，漸漸地注意到壓力與心理、行為的關係，並強調人的知覺與環境的互動對壓力產生的重要性。而此時教育界也相繼投入研究教師工作壓力等相關問題。

一、教師工作壓力的定義

教師工作壓力為教師在學校情境的互動中，在教學、行政、學生和家長及同事的

關係方面，所產生個人無法適應的情況。中外學者對此提出各面項不同重點的定義：

1. Marocco, J. C.及 McFadden ,H. (1982) 認為：當教師的幸福與自尊受到威脅時，使其心理的平衡產生改變的一種影響因素。
2. Litt, M. D. 及 Turk, D. C. (1985) 認為：當教師的幸福受到威脅，且所要解決的問題超過其能力範圍時，所產生的不愉快情緒與困擾的經驗。
3. 周立勳 (1986) 認為：教師在教學工作時，對潛在的工作情境因素或要求，評估為威脅或有礙工作表現，產生的負面情感反應。
4. 蔡壁煌 (1989) 認為：教師在學校工作中與人、事、物互動過程中所產生的負面情感。如焦慮、挫折、壓抑等。
5. 程一民 (1996) 認為：教師在學校工作中，在與人、事、物互動過程中所產生的負面情感，這些負面情感，受限於個人知覺，主要包括情緒與行為層面。

二、教師工作壓力的來源

中國社會對教師角色賦予很高的期待，所以教師在担任其角色時，倍感壓力，這壓力從何而來？不同的研究者，針對不同層級之教師進行研究，所得到之結果較常出現的教師工作壓力來源有：人際關係（與行政人員、同事之間），工作負荷，專業知能或教師專業發展方面之壓力。以下整理數個教師工作壓力來源之研究結果如下：

1. 蔡先口 (1985)：與學校行政人員的關係；學生的不良行為；學生學習方面；工作負荷；角色方面；教師專業發展。
2. 郭生玉 (1990)：與學校行政人員的關係；學生的不良行為；學生學習方面；工作負荷；角色方面；教師專業發展。
3. 王秀慧 (1999)：學校行政；學生方面；工作負荷；教學資源；教師專業發展；人際關係；角色定位。
4. 林昭男 (2001)：內在衝突；工作負荷；人際關係；專業知能；變革適應。

綜合上述，可知教師工作壓力的來源並非單純因素所造成，是涉及多種因素交互作用的結果。

三、教師工作壓力的理論模式

教師工作壓力的研究先驅 Kyriacou 與 Sutcliffe (1978) 統整出教師工作壓力的理論模式，如圖三一 1。

在此模式中有四條回饋路線：

- A：表示壓力與特定因應作用間的關係，如果因應作用無法減低壓力事件的發生，則會評估此壓力更具威脅性。
- B：表示教師在壓力症候下運作時，更易覺知更多的壓力事件。
- C：表示正處於身心俱疲壓力狀況下的教師，會將事件評估得更有壓力。
- D：表示教師過去處理壓力成功與否的經驗，影響其對未來的評估及因應策略（鄧柑謀，1991）。

Moracco 與 Mcfadden (1982) 亦曾依據 Kyriacou 與 Sutcliffe 的上述模式，補充修正後，提出另一教師工作壓力的模式架構，如圖三一 2。

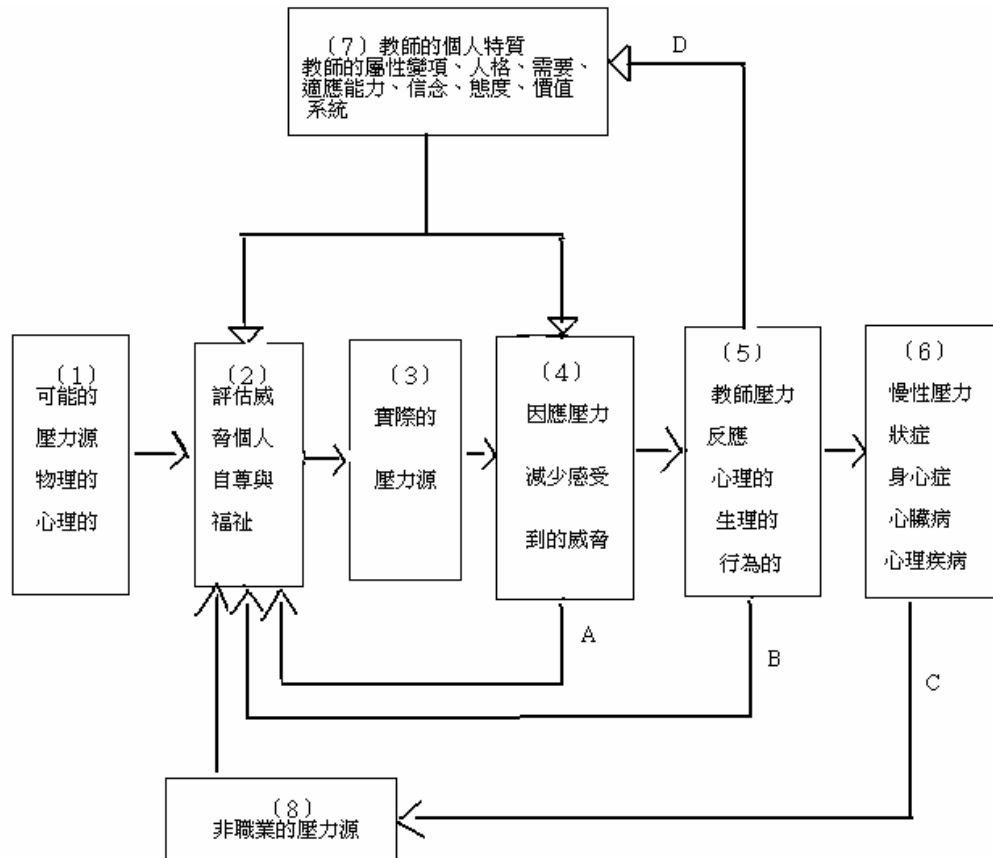


圖 三—1：教師工作壓力理論模式圖 資料來源：吳明順，2002，P.40

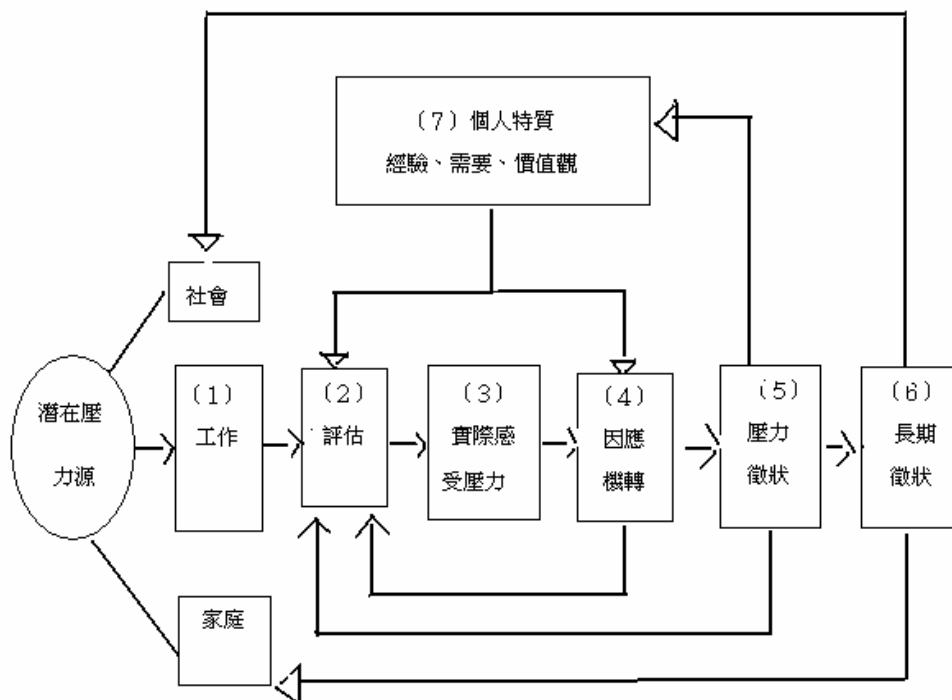


圖 三—2 Moracco 與 McFadden 的教師工作壓力理論模式

資料來源：陳青勇，2001，P. 50

由圖三一2中顯示出社會、工作、家庭是構成教師工作的潛在壓力源，且彼此間也相互影響，並間接或直接的造成教師不同程度的壓力問題。此潛在的壓力源，經教師的評估後，若無法有效的調適，將實際的感受到壓力的存在。在感受到實際壓力後，個體會採取一些因應策略，來減輕壓力，並評估其效果，若效果不佳，將會顯現某些身心上的壓力徵狀，若壓力持續而又無法有效因應時，則將形成較長期性的壓力徵狀，像一些心因性疾病（如高血壓、胃潰瘍、氣喘等）。此外，評估與因應機轉，主要受個人人格特質、經驗、與價值觀所影響。

四、教師工作壓力產生的影響

工作壓力對人產生的影響不盡然都是不好的，反而適度的工作壓力會對人有正面的激發作用，使人視壓力為挑戰，而加強了工作動機與意願，因此而達到最佳的工作表現。然而，若壓力一再的重複發生，則壓力對個體的負面影響可能多於正面的影響了。

教師工作壓力可能產生的影響，整體說來可歸納為下列三方面：

（一）、生理方面

Selye (1976) 將壓力的生理反應分為三個階段：

- 1、 警覺反應階段 (alarm reaction stage)：當個體遭到外在壓力源的刺激時，迅速的將訊息傳至全身，身體內部開始出現生理症狀變化，如：心跳加快、血壓增高、瞳孔擴大、流汗、肌肉緊張、胃腸不適等生理不適。
- 2、 抗拒階段 (resistance stage)：若壓力的情況持續，便會進入第二階段。即個體會去選擇一些因應壓力的方式，去抵抗該壓力源，希望讓壓力降低。但因身體應付了部分壓力，對仍繼續發生的壓力源，可能無法再應付，因此，第一階段的症狀又重新出現了。如果壓力源持續增加，那麼就會進入第三階段了。
- 3、 耗竭階段 (exhaustion stage)：依據 Selye 對動物實驗的結果，認為個體對壓力源之適應能量是有限的，因此，若個體在抗拒階段不能克服或排除壓力，而仍持續長時間在壓力源之下，那麼個體會逐漸感到能量的耗竭，無法再抗拒壓力，而身心俱疲，甚至疾病纏身。

（二）、心理方面

心理方面的壓力反應，常指的是情緒壓力反應與認知壓力反應兩方面：

- 1、 情緒壓力反應：包括正面和負面的情緒反應，一般壓力帶來的常是負面情緒為多。又可分為二類：一為為抵抗壓力所引起的情緒反應，包括：消極、厭倦、不滿、生氣及迫害等。另一為為逃避壓力所引起的情緒反應，如：冷淡、認命、幻想、健忘、敏感、心不在焉及能力喪失等（吳秉恩，1986）。
- 2、 認知壓力反應：當壓力的來源被知覺有威脅性時，承受的威脅愈大，認知的效能與彈性思考的能力就愈低。壓力干擾知覺，使我們對問題的判斷、解決、及決策的能力都降低了。

（三）、行為方面

因面對壓力的程度不同，個體會產生不同的壓力行為反應。輕度壓力會導致正向的行為適應，如：變得更機警，或較能接受別人的意見或建議。中度壓力會使人的注意力減弱、耐心降低、煩躁感提高、生產力降低。高度壓力會壓抑行為，導致個體不知所措，甚至攻擊他人、傷害自己（朱敬先，1992）。因此，可將壓力的行

為症狀分為二類：第一類屬於個人方面的症狀，包括：濫用藥物、抽煙、喝酒、坐立不安、說話速度變快、改變正常飲食習慣、失眠等。第二類屬於針對工作機構方面的行為症狀，包括：工作倦怠、工作不滿、遲到、曠職、生產力低、離職等（王秀慧，1999）。

參、壓力因應方式之探討

個體對壓力的因應方式是否適當，常是決定個體身心健康及能否發揮工作效能的重要指標。適度壓力有助於工作績效，但若長期處在壓力之下，而沒有適當的因應方式來調整壓力強度，那麼對個體來說，壓力的影響將會是負面的。因應方式是一種維持最佳工作績效的方法。

一、壓力因應的定義

所謂「因應」（coping），是指環境的要求超出個人的資源或能力，使個人產生困擾，個體會以某種方式來處理或克服，以消除困擾（林秀靜，1997）。Lazarus 與 Folkman (1984) 強調，因應是一種調適壓力的過程，個體會不斷評估壓力對我們的意義，不論壓力意味的是傷害或助益，個體必須選擇適應的方式，採取壓力因應的行為。

因應的形成是經由個人對壓力事件的評估之後所採取的策略，期使壓力感受減輕，並減低壓力的負向影響，以維持個人身心健康與幸福。總之，因應是一動態的過程，包括認知、行動、評估與再行動等步驟（林秀靜，1997）。

二、壓力因應之理論探討

Lazarus 與 Folkman (1984) 提出壓力因應認知理論，認為壓力與因應方式都是認知評估的過程，是個人和環境間壓力關係的重要緩衝媒介。壓力因應認知模式評估的過程，依發生的順序，共有五個階段，如圖 3-2-1（王秀慧，1999）。說明如下：

- （一）初級評估（Primary appraisal）：是指個人判斷某事件對其是否具有危險性、威脅性的歷程。它可以視為個人面對生活事件的初步反應。個人對情境的初步評估有三種類型：
- 1、無關的：指事件被評估為與個人利害無關，常被忽視的事件，卻佔了個人日常生活中的絕大部份。
 - 2、正面的：指事件被評估為有利於個體，或外在環境的需求未超過個人的能力和資源，且預期可帶來好結果的事件。
 - 3、有壓力的：指事件被評估為對個人現在或未來的福利有不利的影響事件，它又可分為以下的三種情況：
 - （1）威脅：指個體對某事件預期可能會發生傷害，雖然該傷害尚未發生，但個體會有擔心、焦慮、害怕的情緒反應。
 - （2）挑戰：指個體覺得有可能克服壓力而得到好的結果，且對個體是有助益、有成長的機會，並會引起個人對該事件覺得有興趣、有希望、及有信心。

(3) 傷害：指事件產生的結果已對個體造成實際的生理或心理的損害，並引起個體憤怒、厭惡、失望、難過的情緒反應。

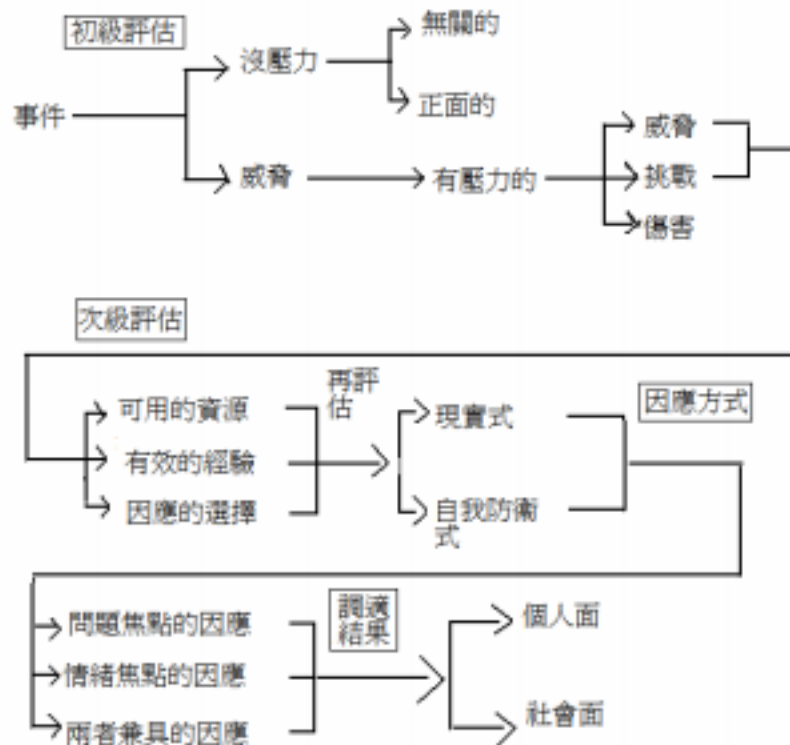


圖 3-2-1 Lazarus & Folkman 的壓力因應認知模式
資料來源：王秀慧，1999，P.24

- (二) 次級評估 (Secondary appraisal)：經初級評估後，個體考慮了自己擁有那些可用的資源、有效的經驗及可因應的方式。Lazarus & Folkman (1984) 曾提出次級評估中有四種可能的因應方式： 1、直接行動、改變情況；2、尋求支援；3、接受或適應現況；4、放棄。
- (三) 再評估 (Reappraisal)：當個體考慮可行之因應方式後，再將壓力情境對個人的意義做一評估，此時可能改變 原先對壓力情境的判斷，或修正次級評估所選擇的因應方式。
- (四) 因應方式之使用：因應方式依其功能分為三類取向：
 - 1、問題焦點的因應：即針對壓力源尋求解決之道。直接分析問題，想出改變的方法，審視自己的處理資源，訂定並遵循計畫而行，並評估其代價及可能的結果，再採取行動。
 - 2、情緒焦點的因應：試圖去克服壓力的負向情緒，或將痛苦的情緒釋放，不直接處理產生壓力的情境。如：尋求情緒支持，使個體暫時離開問題。
 - 3、兩種兼具的因應：許多壓力來源同時需要以問題焦點的因應，及情緒焦點的因應二種方式來處理，對壓力的因應會有比較好的效果產生。如：社會支持與找別人討論兩者並行。
- (五) 適應結果：因應方式使用之後，對個人可能產生生理、或心理的健康。對社會可能產生助益社會的功能。

三、教師工作壓力之因應方式探討

許多研究中都顯示教師的工作壓力頗大，如何在壓力的情境中，利用各種因應方式來調適並紓解壓力，使身心健康，工作效率提高，以達有效的教學目標，的確值得加以探討並重視。

謝琇玲（1990）調查國中教師使用較多的五項因應策略為：1. 採取解決行動；2. 理性邏輯分析；3. 自我調適控制；4. 討論或尋求建議；5. 直接情緒發洩。

Cockburn（1996）探討37位暑期在大學暑修的教師，最常使用壓力因應的策略，發現教師的因應策略依序為：1. 享受工作；2. 嘗試可紓解壓力的運動；3. 聆聽音樂；4. 訂定合理工作目標；5. 同一時間只做一件事；6. 閱讀輕鬆小品（吳明順，2002）。

張德聰（2000）提供教師因應壓力的方式有：1. 角色澄清、接納與認定；2. 教師支持系統的建立；3. 教師專業成長之努力；4. 教師工作負荷之合理化；5. 教師身心健康之定期檢查。

教師工作壓力的因應方式，常因研究者的研究目的、研究架構、及研究對象的不同，而有不同的結果，因此將因應方式做概念式的分類來加以分析及探討。

Collins 與 Mowbray（1999），將壓力因應方式分三類：1. 積極策略：主要針對問題解決及尋求協助等；2. 消極策略：逃避或情感上躲避等；3. 折衷策略：指內在情感的調適或接納等。

程一民（1996）研究國小教師面對壓力時，所採取的因應方式分類有：1. 解決問題；2. 暫時擱置；3. 改變；4. 逃避。

Kenneth 與 Christopher（2000）對壓力的因應提出「二次元的克服型態」，一為，問題焦點因應方式：採取行動，直接攻擊壓力來源；二為，情緒焦點因應方式：是控制自己對壓力來源的情緒反應，釋放痛苦的情緒，重塑該情境。而實際的運用上，常是使用問題焦點及情緒焦點兩種因應方式的混合體。有時一種因應方式會促進另一種方式；有時則需要針對情緒的因應方式成功對抗壓力。因應的效果有賴於正確的評估要求和資源，及選擇適當的因應策略。

肆、結語

不管你是何種職業，從事何種工作，都擺脫不掉與壓力為伍的機會，平日生活中到處充滿了壓力，因此，每個人均有一套自己面對壓力時所採取的因應方式。不同的壓力源或壓力程度，經個人認知評估後，就有不同的因應方式，以減輕壓力感受，來達到身心健康平衡的狀態。良好積極有效的因應方式，方能帶來正面的因應效果。以下提供對抗壓力的五步驟以為參考（Kenneth & Christopher, 2000）：

步驟一：心理準備就緒

一旦察覺壓力源的存在，就努力在心理上做好有效處理的準備。心理上的準備，能幫助我們更客觀地考量整個情況，同時有助於獲得較高的掌控感。

步驟二：活在當下

將注意力集中於呼吸、某些聲音、或吸引注意力的視覺圖案、把思緒帶到當下這一刻。而常讓我們倍感壓力的，是我們對未來會發生什麼事的憂慮，或為過去某些事的擔憂。當下很少是壓力沈重的。

步驟三：清楚審視壓力來源

我們很難針對模糊不清的壓力來源採取有效的行動，要有效克服壓力的重要步驟就是將壓力源清楚地辨識。自問：「什麼是我必須面對的？」及「我要如何才能最恰當地處理問題？」

步驟四：清楚認知所擁有的因應資源

不僅要擁有因應資源，更要清楚瞭解各項資源的情況，適時的將其使用出來對抗壓力。我們除了評估壓力源外，更要來清點我們的因應資源。

步驟五：判斷壓力來源，採取行動

如果情況是可控制的，不妨採取一些合理的行動來處理壓力。行動本身是強而有力的壓力緩和劑，而是否能達到減少壓力的效果，則視所採取的行動是否適當。

如果情況是不可控制的，則將因應的努力轉向控制自己的情緒，可避免因情緒的因素，使得壓力持續的增強。藉著「意義重塑」(Reframing)，尋求壓力的正向意義，改變了意義，也就改變了情緒。或利用肌肉放鬆法等放鬆程序，讓自己平靜下來。

總之，教師職業和其它行業一樣，會有工作壓力和職業倦怠感，我們除了要瞭解教師工作壓力的原因、特徵以及探討如何因應紓解之外，最重要的當然要靠教師本身的努力因應及調適，和有關單位的關心、重視教師身心壓力與健康，才能使教師壓力情況真正的改善。教育是百年樹人大計，也是利國利民之要務，期待有關的人員、單位，對兼負重任的教師們，給予更多的關心、重視與支持。

參考文獻

壹、中文部分：

1. 王以仁、林淑玲、駱芳美（1997）。心理衛生與適應。心理出版社。
2. 王秀慧（1999）。高職教師工作壓力之研究。國立彰化師範大學工業教育研究所碩士論文。
3. 朱敬先（1992）。健康心理學。台北：五南出版社。
4. 吳秉恩（1986）。組織行為學。台北：華泰書局。
5. 吳明順（2002）。國民中學主任工作壓力與因應策略之研究。國立彰化師範大學教育研究所碩士論文。
6. 林秀靜（1997）。國中資優班教師工作壓力與因應方式之調查研究。國立彰化師範大學特殊教育研究所碩士論文。
7. 林昭南（2001）。國小初任主任工作壓力與因應策略之研究。國立高雄師範大學工業科技研究所碩士論文。
8. 周立勳（1986）。國小教師工作壓力、控制信念與職業倦怠關係之研究。國立高雄師範大學教育研究所碩士論文。
9. 張德聰（2000）。現代夫子解壓秘訣。師說，144，31—33。
10. 張郁芬（2001）。國小教師工作壓力、社會支持與身心健康之研究。國立嘉義大學

國民教育研究所碩士論文。

11. 郭生玉 (1990)。工作壓力與專業態度對教師工作心厭高低之區別功能研究。教育心理學報, 23, 71-98。
12. 陳青勇 (2001)。國民小學兼行政職務教師工作壓力與因應方式之研究。國立台中師範學院國民教育研究所碩士論文。
13. 程一民 (1996)。國民小學教師工作壓力與因應方式之研究。台北市立師範學院初等教育研究所碩士論文。
14. 黃惠惠 (2002)。情緒與壓力管理。張老師文化事業公司。
15. 趙傑夫 (1988)。我國台灣地區國民中學校長工作壓力之研究—工作壓力與社會支持、因應方式、工作滿足關係之分析。國立政治大學教育研究所博士論文。
16. 蔡先口 (1985)。國民中學教師工作壓力和專業態度的關係及其相關因素之研究。國立台灣師範大學教育研究所碩士論文。
17. 蔡壁煌 (1989)。國民中小學教師壓力之研究。師大學報, 34, 75-114。
18. 鄧柑謀 (1991)。國民中學訓輔人員工作壓力、因應策略與職業倦怠關係之研究。國立高雄師範大學教育研究所碩士論文。
19. 賴倩瑜、陳瑞蘭、林惠琦、吳佳珍、沈麗惠 (2000)。心理衛生。揚智文化事業股份有限公司。
20. 謝琇玲 (1990)。國民中學學校組織氣氛、教師工作壓力及因應方式之研究。國立高雄師範大學教育研究所碩士論文。

貳、英文部分

1. Cooper, C. L. (1977). *Managing workplace stress*. Sage Publication Inc.
2. Kenneth, B. M., & Christopher J. M. (2000). *Write your own prescription for stress*. New Harbinger Publications through Big Apple Tuttle-Mori Agency Inc.
3. Kyriacou, C., & Sutcliffe, J. (1978). A model of teacher stress. *Education studies*, 4, 1-6.
4. Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal and coping*. New York: Springer.
5. Litt, M. D., & Turk, D. C. (1985). Source of stress and dissatisfaction in experienced high school teachers. *Journal of Educational Research*, 78 (3), 178-185.
6. Maracco, J. C. & McFadden, H. (1982). The counselors role in reducing teacher stress. *The Personnel and Guidance Journal*, 5, 549-552.
7. Salo, K. (1995). Teacher-stress process: How can they be explained? *Scandinavian Journal of Education*, 39 (3), 205-222.
8. Selys, H. (1976). *Stress in health and disease*. Boston: Butterworths.