東南學報

第三十五期

JOURNAL

OF

TUNGNAN UNIVERSITY

VOLUME 35

東南科技大學編印

中華民國九十九年七月出版

東 南 學 報

東 南 科 技 大 學
第三十五期 中華民國九十九年七月

目 錄

工程類

社會科學類

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第1-10頁

自 動 方 向 燈

Auto turning lamp

陳 烱 生

Chaung Shen Chen

東南科技大學電子系副教授

摘　　要

多年前所獲之新型103898專利:自動輔助方向燈(參看圖4)，由於低車速時反應不良，今以二個水銀開關如(圖1)置於汽車方向盤左右，轉向時可立即反應，故名自動方向燈，將二個水銀開關如(圖1)置於汽車方向盤左右，以此感知器產生的訊號,如此便可將駕駛者意圖，第一時間顯示於方向燈。當然須經微分，清除，栓鎖，禁能，延遲，閘控震盪處理如(圖3)產生汽車自動方向燈的功能。

微分：將 L,R 二水銀開關，恰當的偏壓，只讀取6伏到0伏，下降緣的微分訊號，當觸發訊號。

理由：微分為 RC 串接，唯當變化時才可能觸發。

清除：如(圖3)當直行時因水銀開關以10度斜角固定於左右， 水銀開關處於不動作之穩態，以此當清除訊號，使方向燈不動作，G9腳10低電位，D7，D8導通是謂清除，理由甚明。

栓鎖：如(圖2)一旦 L，R 二水銀開關任一動作(導通) ，要使邏輯栓鎖住目前的動作，2反相器串可視為一位元記憶體，左轉栓鎖由 G1，G2完成。

禁能：當任一方向燈動作時，應同時禁止另一方向燈讀取動作，由 D3，D4完成。

理由：輸出為低阻抗，當左轉時二極體(D11)先導通，同時清除失效 ，因二極體 D7，D8截止，此時容許訊號讀取，左轉訊號先拴鎖於一位元記憶體(G1，G2)，二極體(D4)將右轉輸入端嵌位於高位低阻抗，禁止右轉訊號讀取。

延遲：是指啟動時或任一方向燈動作，需將此動作延遲1秒，亦即產生重複觸發之1秒單擊波(retriggerable one-shot)當致能(enable)訊號。

理由：讓方向燈的動作像我們習慣認知之方向燈該有動作，左轉由 D5，R5 ，C3組成。

閘控震盪：是指以致能訊號驅動無穩多諧震盪以產生警告方向燈效果，由 G7，R11，C5組成。

唯一混亂狀態之可接受性:假設逆時恰為360度，產生清除，如續順時轉，是顯示右轉燈。

(此唯一混亂狀態之可接受性是機率很小，況且逆時為360度時，顯示左轉或右轉燈意義已不大(車身已與路面垂直)。(參看圖2左轉時只有 E，右轉時只有 G 為混亂狀態) 。

關鍵字：微分、清除、栓鎖、延遲、禁能、閘控震盪、水銀開關

ABSTRACT

I got auto-aid turning lamp patent years ago (patent no.103898 see fig4),owing to bad response at low car speed, the up coming revise do work right. By fixing two mercury switches apart on both left and right side of the car steeling wheel ,when turning to right or left, we can get the intention of the driver in no time and drive the turning lamps to reveal right signal. Of course we need digital signal processing such as differential, clear, latch, forbidden, delay and gated oscillation to derive right function of auto turning lamp for car as shown in (fig.3).

Differential CKT:We try to get the falling edge differential signal as to trigger the following latch circuit. The reason is Differential CKT ,being a kind of R, C in series, it can only be triggered by input changing .

Clear: as shown in (fig.3) The auto-turnning lamp inactive when We drive straight ahead for 2 mercury switches were fixed on left and right side of the steeling wheel by 10 degree angle.The 2 mercury switches were inactive, stable state at this time. It only happens when NAND gate G9 pin10 active (low level) and diode D7,D8 on and clear the content of the latch .

Latch: the first triggered signal was to be latched until clear .As we know 2 invertors

In series forms a standard 1 bit latch, so the left turn latch done by G1,G2 in series. forbidden: when one of the turning lamps acts we need to let another stop action.(forbid to read data), D3,D4 can do it.

The reason is: The output is of low impedance. When left turn occurs ,the diode (D11) ON first, the clear lost its function meanwhile ,for the diodes(D7,D8) are off .

And at that time allowing inputs to read , so thus the left turn signal will be latched in one bit memory (G1,G2), and the diode (D4) is active to clamp right turn input at high voltage low impedance so as to forbid further inputs reading at right turn site.

Delay: When power on or anyone of the turning lamps acts ,need to delay such action by 1 second after clear signal set in by using retriggerable one shot technology .make the job being done by D5,R5,C3 .And the reason is to make the lamp flashing as what we might think it should be.

Gated oscillation: By using latch signal as the control signal to control oscillation , thus drive the turning lamps ,and it's being done by a NAND gate G7,C5 and R11. The only one state that might confuse is acceptable: it might happen when left turn for 360 degree and then follow a right turn .the turning lamp would reveal right turn warming signal.

For in such kind of scenario the car body already perpendicular to the road.(it's no difference to show right turning lamp or the left turning lamp .see fig.2 the confusion only happened on E when left turn and only happened on G when right turn)

.

Keywords: differential ,clear ,latch ,forbidden ,delay ,gated oscillation, mercury switch

壹、 學 理 基 楚

將水銀開關固定於方向盤左右兩邊，如(圖1)所示，使直行時水銀球不動作(穩態) ，當左右轉時水銀開關觸發(不穩態) ，據此訊號以數位邏輯控制電路，處理，以第一時間顯示於方向燈，故名自動方向燈。

貳、 主 題 內 容

請參看圖1將水銀開關固定於方向盤左右兩邊，如(圖1)所示，使直行時水銀球不動作(穩態) ，輸出6伏(參看圖2)當左右轉時水銀開關可能觸發(不穩態) ，輸出可能0伏，方向盤各角度與水銀開關之輸出電壓詳列於圖2，因本電路採用下降型微分電路，只有圖2之 A，B，C，D，E，F，G，H，I，J 情況下才有可能觸發，除 E(當逆時轉360度再順時反轉時，本電路之結果為左右方向燈一齊動作一秒後打右轉方向燈，此結果可接受) ，G(順時轉產生)外，圖3皆能正確動作，E,G 情況容後再述。D,F 不影響是因為先觸發禁能後觸發，C，I 不影響是因為上升緣不觸發。

請參看圖3基本上為左右對稱的，右方主導左轉方向燈，左方主導右轉方向燈。今以左轉為例說明:

一、清除:

如圖3當直行時因水銀開關以10度斜角固定於左右，水銀開關處於不動作之穩態，穩態時反及閘 G9輸入皆為高電位(電阻 R17，電容 C7為去跳動 debounce) ，D7 ，D8導通，反及閘 G1輸出為低電位(G1，G2可視為栓鎖記憶體) ，反及閘 G7腳1輸入1秒後為低電位，使方向燈不動作。

二、栓鎖:

二反閘 G1，G2串可視為栓鎖記憶體，電阻 R7，R9是隔阻輸入與輸出的阻抗，以讀取或清除資料內含。

三、禁能:

當一方向燈動作時，應同時禁止另一方向燈動作。今左轉方向燈栓鎖動作，反閘 G1，2腳為高位，二極體 D4導通，將反閘 G4嵌位於低阻抗，13腳為高位，不讀取。

四、微分讀取:

電阻 R1，R3電容 C1二極體 D1，組成典型的下降緣取出微分電路。左轉水銀開關 L 接地，如二極體 D3不導通，左轉訊號便讀取且栓鎖了。

五、延遲:

是指啟動時或任一方向燈動作，需將此動作延遲1秒，亦即產生重複觸發之1秒單

擊波當致能訊號。此意味任何有效觸發，必使方向燈閃爍達一秒以上，由二極體 D5，電阻 R5，電容 C3，產生重複觸發之1秒單擊波當致能訊號。(稍微降低方向盤轉恰為360度的混亂狀態) 。

六、閘控震盪:

反及閘 G7，G8，皆為閘控震盪，反及閘 G7，1腳為閘控訊號，當高電位時2，3腳可視為反向器，方波反轉時間約為0.7秒，由電阻 R11，電容 C5決定。但閘控震盪不振盪時輸出為高電位，反向器 G3是使其為低位，電晶體 Q1，Q2為達靈頓，用以驅動方向燈。

七、電源:

電晶體 Q5，電阻 R15， 二極體 D9，組成典型的穩壓電路，提供所有控制訊號之6伏偏壓。

唯一混亂狀態之可接受性:假設逆時恰為360度，產生清除，如續順時轉，是顯示右轉燈。(此唯一混亂狀態之可接受性是機率很小，,況且逆時為360度達1秒以上時，顯示左轉或右轉燈意義已不大(車身已與路面垂直)。如續逆時還是顯現左轉閃爍之正確燈號。

參、方 法 技 巧

第1圖係 L，R 水銀開關置於方向盤的相對位置。

第2圖係各不同旋轉角，所對應於 L，R 感知器之輸出電壓，0即 0伏，6 即6伏。

第3圖係本創作之完整電路圖

第4圖係本人已獲得專利之自動輔助方向燈電路圖。

第1圖 L 感知左轉之水銀開關，R 感知左轉之水銀開關

第2圖 A，B，C，D，E，F，G，H，I，J 為有可能被讀取之狀態(因採負緣觸發)

第3圖 G1，G2，G3，G4，G5，G6 為一個 CD40106史密特觸發反閘

G7，G8，G9為3/4個 CD4093史密特觸發反及閘

D1，D2，D3，D4，D5，D6，D7，D8 皆為1N4148二極體

Q1，Q3，Q5 皆為2N3904 電晶體

Q2，Q4 皆為 TIP31 功率電晶體

D9 為6.2伏稽納二極體

IGN 表示點火12伏電源

肆、實測結果

一、方向盤打正，G9動作，為低電位，屬清除模式，方向燈不動作。

二、方向盤右轉10度以上到350度，正如預期正常工作。

三、方向盤左轉10度以上到350度，由於左右轉為相同邏輯，正如預期正常工作。

四、方向盤左轉達360度時，此停留時間如超過1秒(R5，C3時間常數使然)，會看到清除(由 R17，C7時間常數0.2秒使然)，即方向燈不動作，想將方向盤打正而右轉時，此時會出現右轉方向燈動作之錯誤，此錯誤可接受性理由如下:

1.方向盤左或右轉達360度時，此停留時間如超過0.2秒，機會不大。

2.即使條件成立，方向燈錯打訊號之可接受性為:此時車體已與路面垂直，左右轉燈訊號意義已然降低。

五、歡迎有興趣之同仁到電子系 A704，參考實際工程樣本。

伍、參考文獻

1. CMOS DATABOOK national semiconductor corporation 1981 about CD4093 CD40106

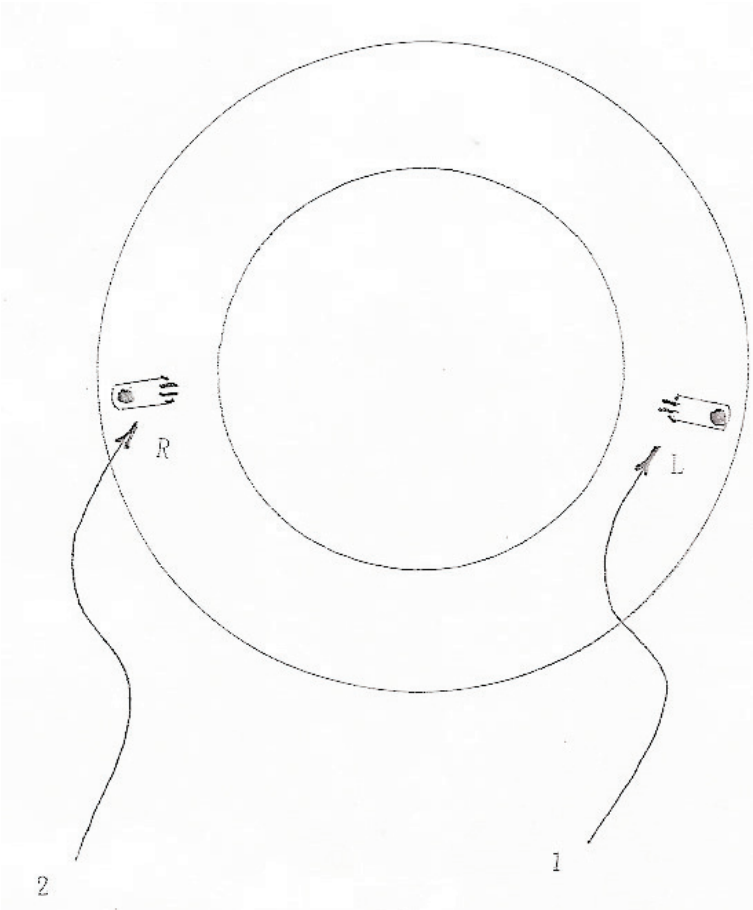


圖1

左轉	度數	0	45	90	135	180	225	270	315	360	0
	L	6	0	0	0	0	0	6	6	6	0
或逆	觸發	A						C		B	
	R	6	6	6	6	0	0	0	0	6	6
時鐘	觸發				D					E	
右轉	L	6	6	6	6	0	0	0	0	6	6
或順	觸發				F					G	
時鐘	R	6	0	0	0	0	6	6	6	6	0
	觸發	H					I			J	

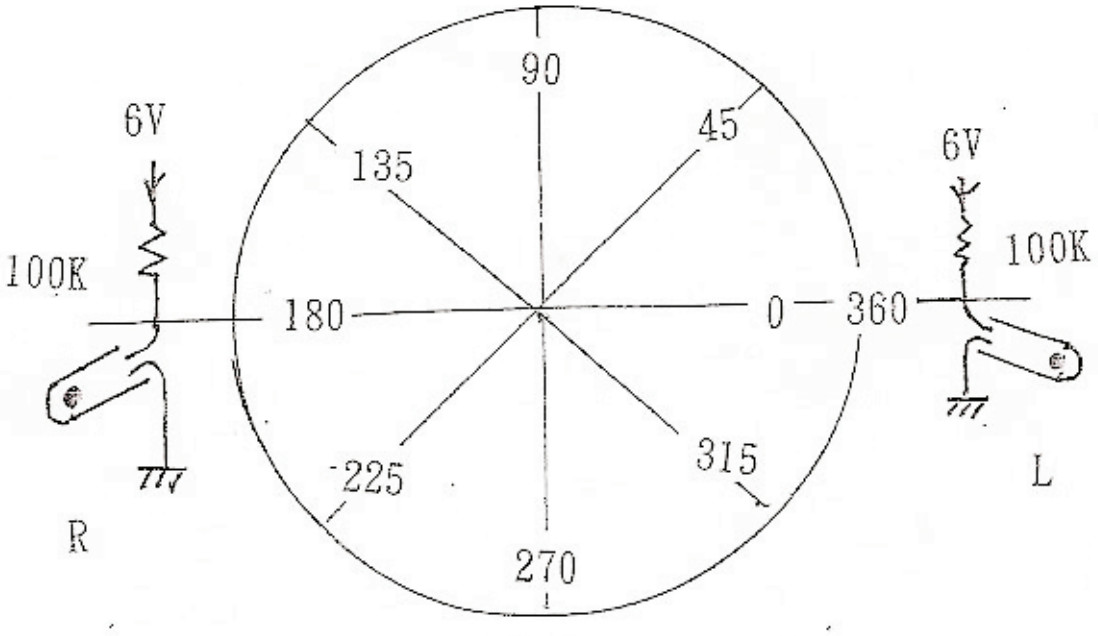
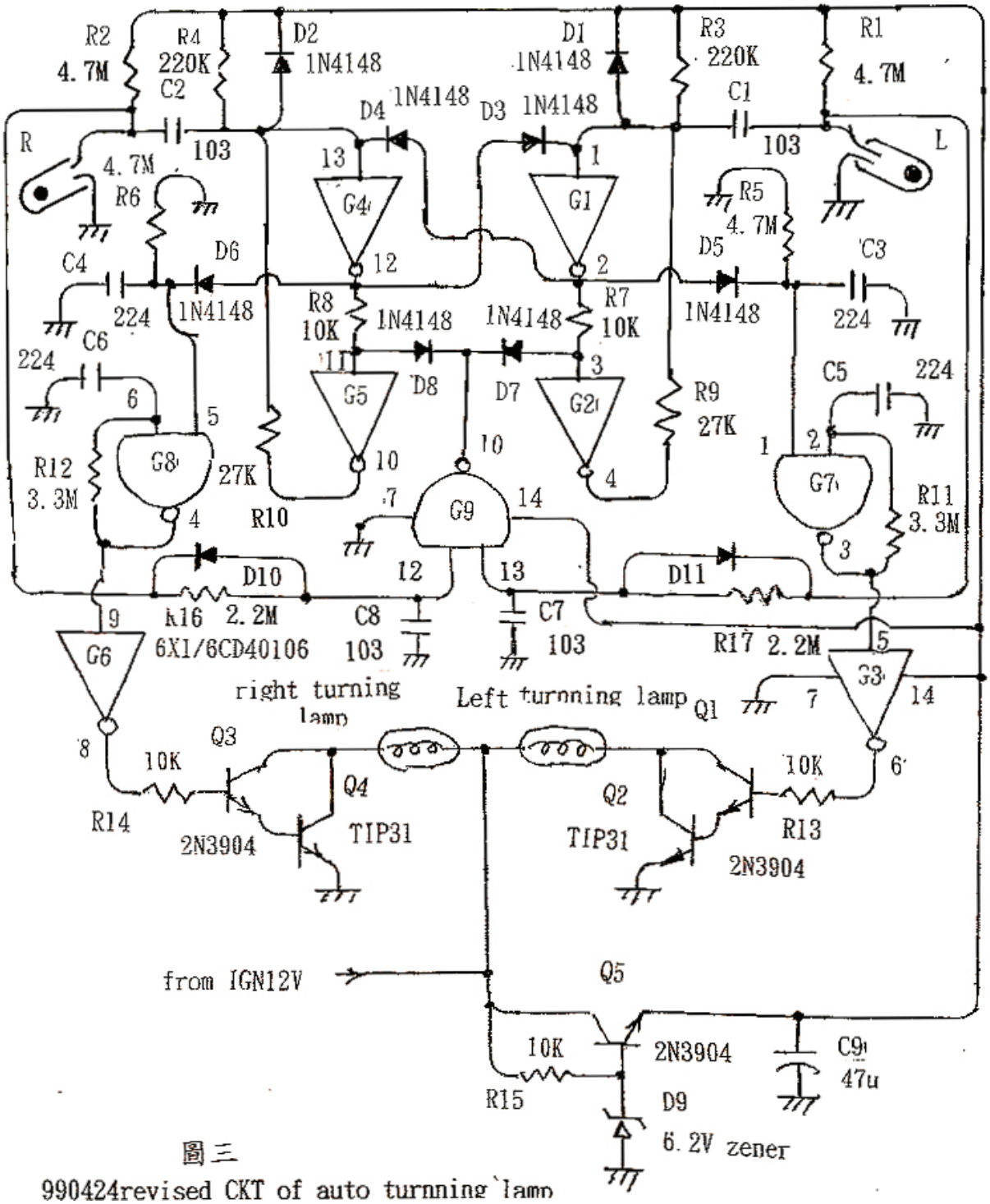


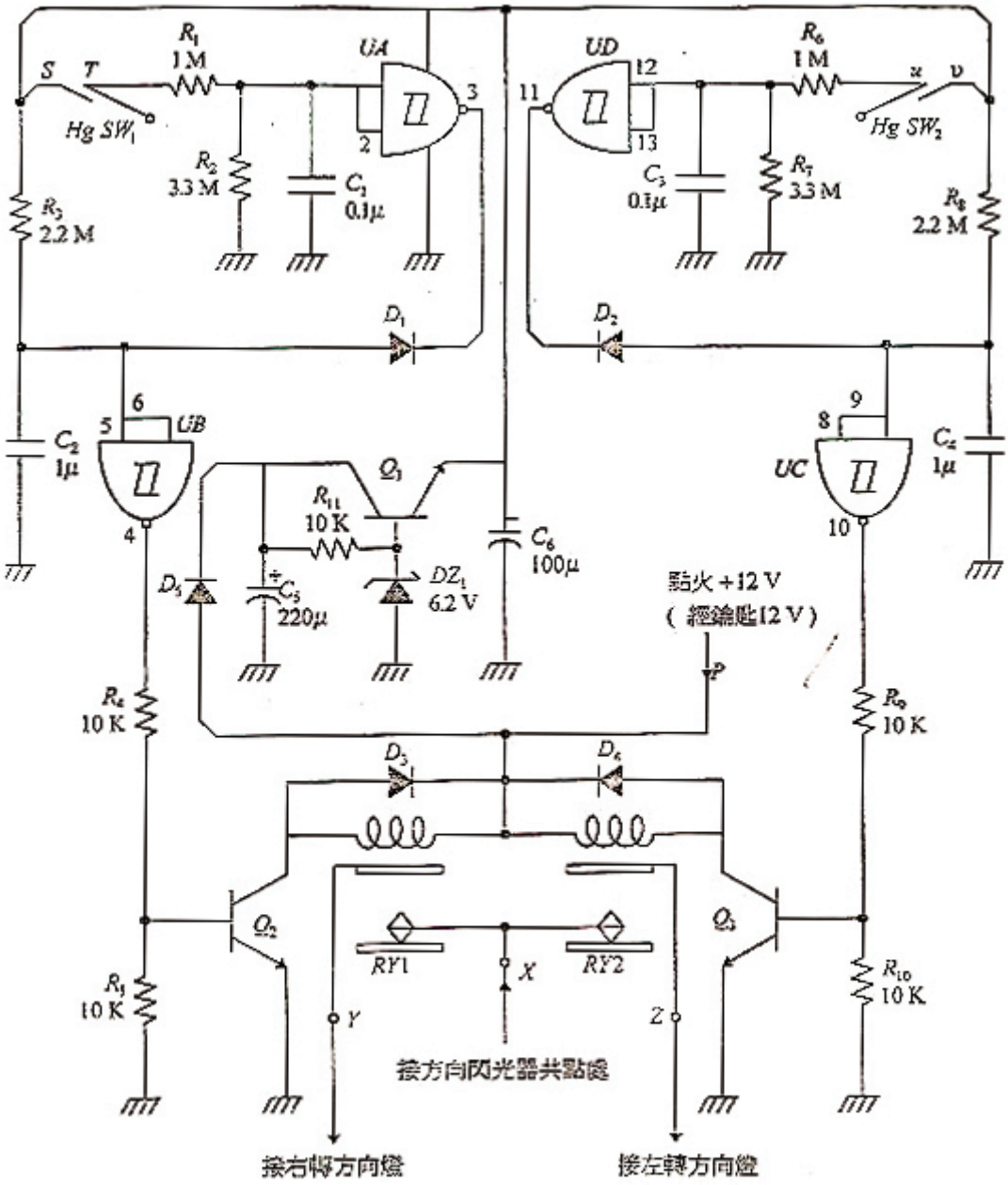
圖 2



圖三

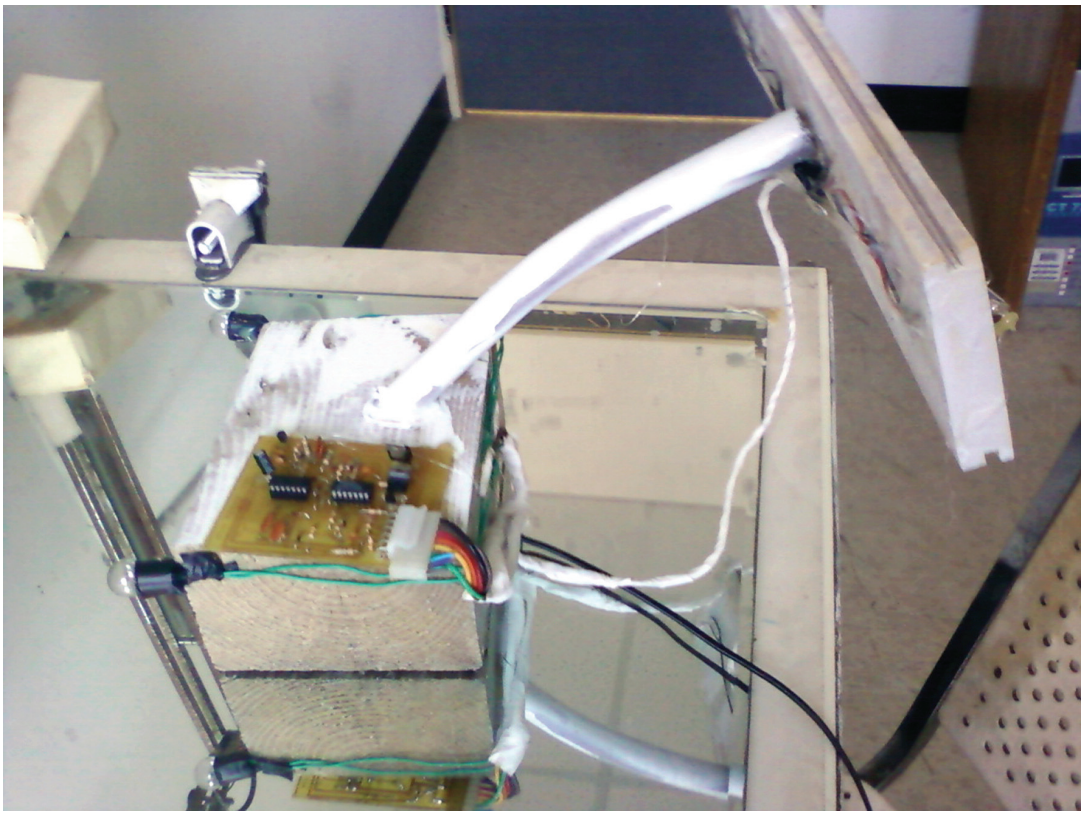
990424revised CKT of auto turnning lamp

新型專利 M360164號 自動方向燈

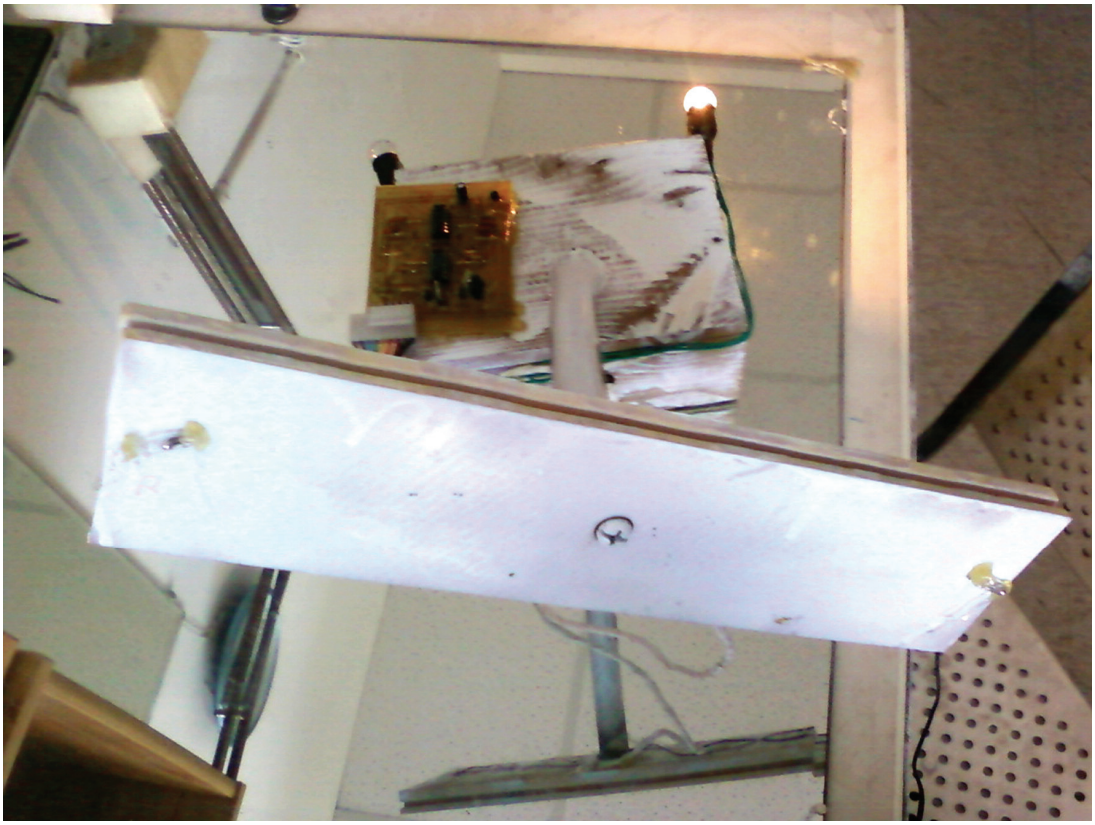


新型專利103898號 自動輔助方向燈

PCB



Engineering sample



Right turn active

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第11-20頁

碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)光學特性之研究

Optical characterization of bulk $Zn_{1-x}Be_xTe$ crystals

謝昌勳　林煌彰　劉振源　后瑞成　方耀鴻　江啟忠　邱展逢

東南科技大學 資訊科技與通訊學系

摘　　要

本論文探討利用光激發螢光(PL)、表面光電壓光譜量測(SPS)技術，以及無接點電場調制反射(CER)、光子調制反射(PR)量測技術，來探討由高壓布里奇曼法(high pressure Bridgman method)成長而成之 $Zn_{1-x}Be_xTe$ 以及 ZnTe 半導體單晶之光學特性。

關鍵字: 光激發螢光、表面光電壓光譜量測、無接點電場調制反射、光子調制反射量測技術、碲化鋅鈹

ABSTRACT

This thesis presents an optical characterization of bulk sphalerite $Zn_{1-x}Be_xTe$ and ZnTe crystals grown by the high pressure Bridgman method. The study was conducted in the near-band-edge interband transition regime using photoluminescence (PL), surface photovoltage spectroscopy (SPS), contactless electroreflectance (CER) and/or photoreflectance (PR).

Keywords: $Zn_{1-x}Be_xTe$、ZnTe、PL、SPS、CER、PR

壹、前言

近年來，II-VI 半導體化合物研究不論是國內外，都有相當規模的研究團隊投入，像是雷射二極體(laser diodes)、發光二極體(LED)以及光檢測器(photodetectors)均有長足的利用[1~2]。由於 II-VI 族寬能隙異質結構半導體化合物具有優良的物理特性，比起 III-V 族更適合用在短波長、高能隙的應用。近來光電元件用以 II-VI 族半導體摻入鈹成分，可以解決一些常見的問題，例如：鈹的加入可以加強 II-VI 族的平均鍵結力，提高晶格強度使材料變硬[3~4]而可以增長元件的使用壽命。本論文的樣本碲化鋅鈹（$Zn_{1-x}Be_xTe$）其能隙範圍可以涵蓋整個可見光波段，此外在約$10^{19}cm^{-3}$的 P 型參雜濃度，可以和磷化銦(InP)基板晶格匹配[2,5~6]，可以應用在操作區域在可見光波段的雷射(LD)和發光二極體(LED)。而鑒於文獻多是討論 $Zn_{1-x}Be_xTe$ 或 ZnTe 成長在 InP 上，少有塊材(Bulk)的詳細研究，因此我們就這個部份做深入的光學量測研究。

貳、樣品簡介

本論文所探討之 $Zn_{1-x}Be_xTe$ 塊狀單晶樣品是以高壓布里奇曼法(high-pressure Bridgman method)[7]成長而成。將 ZnTe 和 Te (純度 99.999%)和 Be (純度 99.8%)粉末混合併放於石墨坩鍋，預定成長的 Be 含量範圍從5%到15%，再將石墨坩鍋的溫度維持在1650K 約3個小時，並以每小時2.4公厘的速度緩緩由加熱區移出，氬氣的壓力一直維持在13MPa。

由 X-ray 研究可得到本論文中的4個樣品，其結構是閃鋅礦結構(Zinc-Blende)，由於是使用高壓布里奇曼法成長，所以 Be 的含量並非相當準確，將會在結果與討論中做深入的探討。

本論文的量測樣品碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)，此一系列樣品是由波蘭 Firszt 教授的研究團隊所提供。包含純的 ZnTe 以及預定成長 Be 含量分別為 Sample A(x = 0.05)、Sample B(x = 0.1) ，以及 Sample C(x = 0.15)如表2.1所示，但是根據波蘭研究團隊的研究[8]，可以發現所成長的鈹含量和預定成長的濃度有誤差，我們將在結果與討論中詳細的研究與討論。在樣品量測備製時，首先要先做拋光的手續，因為樣品表面有機械切割所受到的磨損，之後視量測需要再作化學蝕刻(etching)處理，我們使用的為 $K_2Cr_2O_7$:H_2SO_4:H_2O 的混合溶液，比例為3:2:1。

表2-1樣品編號及所預定成長的鈹成分資訊以及文獻比較

$Zn_{1-x}Be_xTe$:

Samples	Beryllium intent (x)	X-ray*
ZnTe	0	0
Sample A	5%	0.6%
Sample B	10%	6.5%
Sample C	15%	12.1%

* Ref [8]

參、結果與討論

3.1碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)之拉曼光譜(Raman)光譜分析

圖3.1(a)為 ZnTe、Sample A、Sample B 與 Sample C 四塊樣品室溫 Raman 譜線。首先可以觀察出在 ZnTe 和 Sample A 的譜線是相當接近。而由鈹成份較高的 Sample B 和 Sample C 可以明顯看到在約415cm^{-1}處有明顯的訊號，由文獻可知此為 $LO_{BeTe\text{-}like}$ 訊號且隨著鈹成份的增加而往高波數（wave number）移動。由拉曼光譜訊號來源以及參考文獻數值[9]如表3.1(a)、(b)所示。由此可知在鈹的成份增加可以明顯觀察到 $LO_{BeTe\text{-}like}$ 而在比較 ZnTe 和 Sample A 拉曼譜線後，可以推測 Sample A 鈹成份必定相當少，所以 $LO_{BeTe\text{-}like}$ 訊號不明顯以至於和 ZnTe 譜線相當類似。在下一節將使用調制光譜、SPS 等技術和參考文獻[10~11]來決定更精確的鈹的含量。

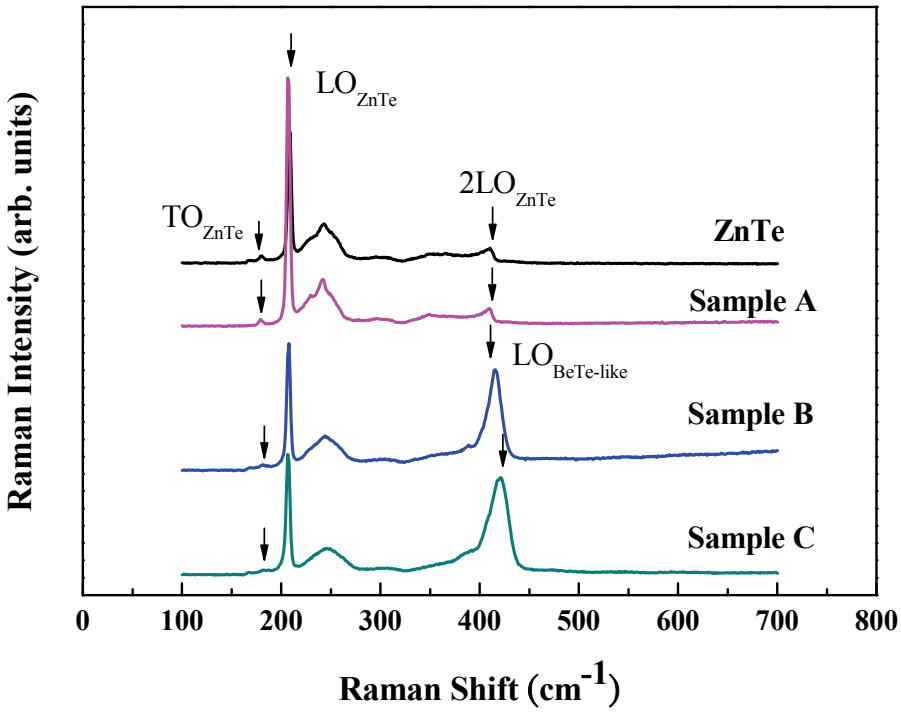


圖3.1 Raman 室溫譜線

表3.1 Raman 譜線數值表

$2LO_{ZnTe}$	**410 cm^{-1}**
$LO_{BeTe\text{-}like}$	**415 cm^{-1} to 419 cm^{-1}**
LO_{ZnTe}	**206 cm^{-1}**
TO_{ZnTe}	**179 cm^{-1}**

(a)present work

$2LO_{ZnTe}$	**410 cm^{-1}**
$LO_{BeTe\text{-}like}$	**413 cm^{-1} to 461 cm^{-1}**
LO_{ZnTe}	**205.5 cm^{-1}**
TO_{ZnTe}	**176.5 cm^{-1}**

(b)Ref[9]

3.2碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)之調製光譜(CER/PR)和表面光電 壓(SPS)光譜分析

調製光譜藉由量測反射率的改變量（ΔR ）與反射率的比值 $\frac{\Delta R}{R}$，來繪出調制譜線。我們假設光以接近垂直樣品的角度入射在樣品上，則垂直的反射率可以由 Fresnel 方程式得到：

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \tag{3.1}$$

其中 n 為介質的折射率（Index of Refraction），k 為衰減係數(Extinction Coefficient），空氣的折射率約為一。

反射率變化量ΔR 與介電函數變化量Δε之關係可表示為

$$\frac{\Delta R}{R} = \alpha(\varepsilon_1, \varepsilon_2)\Delta\varepsilon_1 + \beta(\varepsilon_1, \varepsilon_2)\Delta\varepsilon_2 \tag{3.2}$$

其中係數α、β稱為賽若分（Seraphin）係數

$$\alpha = \frac{1}{R}\frac{\partial R}{\partial \varepsilon_1} = \frac{2^{1/2}[2\varepsilon_1 - 1 - (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}][\varepsilon_1 + (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}]^{1/2}}{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}\left[(\varepsilon_1 - 1)^2 + \varepsilon_2^2\right]} \tag{3.3a}$$

$$\beta = \frac{1}{R}\frac{\partial R}{\partial \varepsilon_2} = \frac{2^{1/2}\varepsilon_2[2\varepsilon_1 - 1 - (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}]}{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}[(\varepsilon_1 - 1)^2 + \varepsilon_2^2][\varepsilon_1 + (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}]^{1/2}} \tag{3.3b}$$

根據上述，我們便可以瞭解$\frac{\Delta R}{R}$如何顯現出介電函數的變化。

對於半導體塊材 (bulk) 而言，在躍遷位置附近，賽若芬係數 α 遠大於 β、而 β 趨近於零，因此在 (3.2) 式中，$\Delta R/R \approx \alpha\Delta\varepsilon_r$。並考慮介電函數的譜形為勞倫茲 (Lorentzian) 分佈譜形，則可以化簡成

$$\begin{aligned}\frac{\Delta R}{R} &= \frac{q^2 F_{ac}{}^2 \hbar^2}{2\mu} \cdot \mathrm{Re}\left[Ae^{i\theta}(E - E_j + i\Gamma)^{-m}\right] \\ &= \frac{q^2 F_{ac}{}^2 \hbar^2}{2\mu} \cdot L(E - E_j, \Gamma)\end{aligned} \tag{3.4}$$

其中， L (E-E_j, Γ) 為譜形函數 (lineshape function) ，為一與調制無關而與展寬的機制有關的函數[12]。

$$L(E - E_j, \Gamma) = \mathrm{Re}\left[Ae^{i\theta}(E - E_j + i\Gamma)^{-m}\right] \tag{3.5}$$

其中 A 和 θ 分別代表譜形的振幅和相位， E_j 和 Γ 分別為躍遷信號的能量及展寬參數，而參數 m 可由臨界點的維度及譜形的微分次數求得。

圖3.2是 ZnTe、Sample A、Sample B 與 Sample C 四塊樣品的室溫 PR 譜線。空心圓圈是實驗所量測的結果，而實線部分則是使用微分型勞倫茲線型(Lorentzian lineshape)所吻合的結果，箭頭所指的是能隙躍遷的位置。由 PR 譜線我們可以看到有一明顯的訊號，此為主要的能隙躍遷，隨著鈹含量的增加，我們可以看到譜線往高能量移動(blue shift)。

圖3.3是 ZnTe、Sample A、Sample B 與 Sample C 四塊樣品的室溫 PR、SPS 和 DSPV 譜線，其中虛線是 SPS 實驗數據，空心圓是 DSPV 譜線，空心三角是 PR 譜線，而實線部分則是使用微分型勞倫茲線型(Lorentzian lineshape)所吻合的結果，箭頭所指的是能隙躍遷的位置。

首先將 SPS 所量得的訊號作一次微分，所得的一次微分譜線稱為 DSPV(differential surface photovoltage)，由實驗結果可以明顯發現，DSPV 所得到的躍遷訊號略小於 CER 量測所得到的訊號，這是因為樣品表面對於 SPS 的量測結果對於有著相當大的影響，可能是樣品的表面態(surface states)造成所得訊號略小的原因。我們由文獻中[13]的 BeTe 和我們所量測到的 ZnTe 實驗值，用線性內差的關係來做計算，並且與文獻[14~15]內的方程式比較，結果顯示相當接近，將計算後的結果詳列於表3.2且和其他文獻[10~11]做比較，可得到的較精確的鈹摻雜含量。由以上多種技術可以確定，成長過程中鈹的成份非真正預期所成長的含量，而有不小的誤差。由於 SPS 的量測會受到表面態(surface state)的影響，所以有較大的誤差，因此本論文之後的探討是以 PR 量測所測得的 Be 含量，分別是0.3 %、5.6 %和10.6 %。

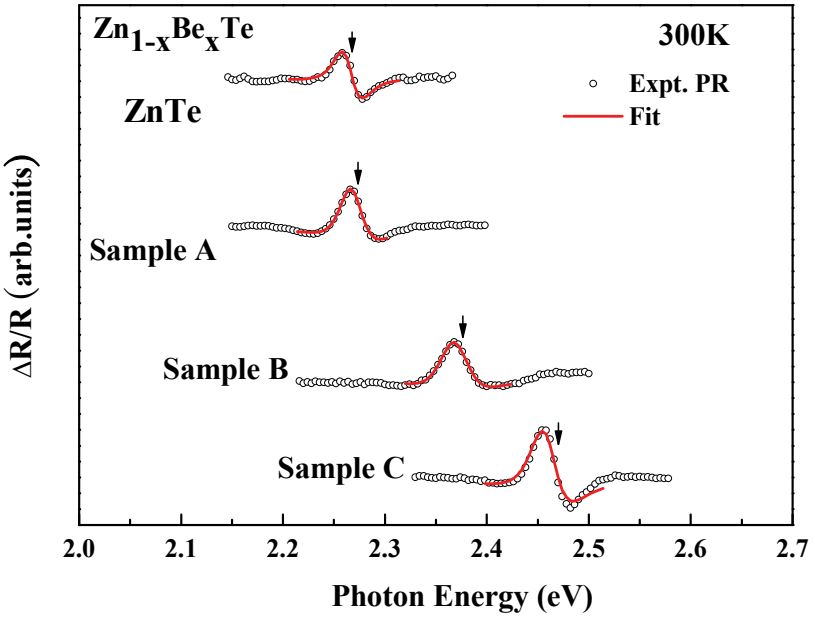


圖3.2 ZnTe、Sample A、Sample B 以及 Sample C 室溫 PR 譜線。

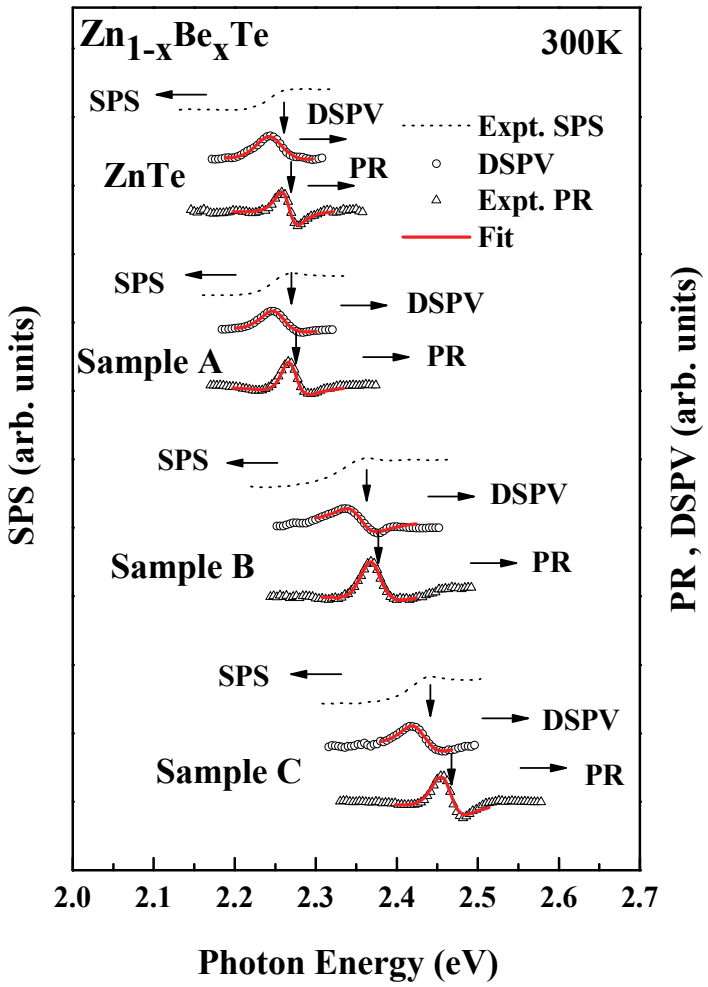


圖3.3　ZnTe、Sample A、Sample B 以及 Sample C 的 SPS、DSPV 和 PR 室溫譜線。

3.3碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)之光激發螢光(PL)和 CER 光譜分析

圖3.4是 ZnTe、Sample A、Sample B、Sample C 四塊樣品的最低溫 CER 譜線，其中空心圓形圖示為實驗所得，實線為微分形勞倫茲線型(Lorentzian lineshape)所吻合之結果，箭頭所指的是能隙躍遷的位置。圖3.5是 ZnTe、Sample A、Sample B、Sample C 四塊樣品的最低溫(15 K) PL 譜線。

由 PL 譜線可以觀察出三個發光訊號，由能量高到低依序為激子(exciton, X)、電子受體結合(electron and shallow acceptor recombination , e-A)和深層缺陷(deeper level defects ,DL)，其中 PL 的激子訊號會隨著 Be 的成分增加而藍移(blue shift)，經由譜線可得這四塊樣品的 exciton (X) 分別為2,371 ± 0.001 eV、2.377 ± 0.001 eV、2.473 ± 0.001 eV、2.566± 0.001 eV。

由 CER 譜線結果可發現 ZnTe 的譜線中在最低溫有兩個訊號，一個是基態(ground state)而另一個是激發態(exciting state)，訊號分別是2.378± 0.003 eV 和2.393± 0.003 eV，而另外三塊樣品在 CER 最低溫的基態躍遷訊號分別是、2.381 ± 0.003 eV、2.493 ± 0.003 eV、2.579 ± 0.003 eV，由此可知 PL 和 CER 量測結果的趨勢是一致的。

再由圖3.6(a)、(b)、(c)、(d)以 PL 和 SPS、CER 在溫度77 K 的數據做比較，由以

上三種量測技術，其中 SPS 和 CER 的譜線位置是相當吻合的，也可以發現 PL 的躍遷訊號都略小於 CER 的訊號。此乃 PL 僅是以訊號的 peak 值來定義位置，加上 PL 和 CER 是屬於兩種不同的機制。PL 為 emitting 而 CER 屬 absorption 機制。

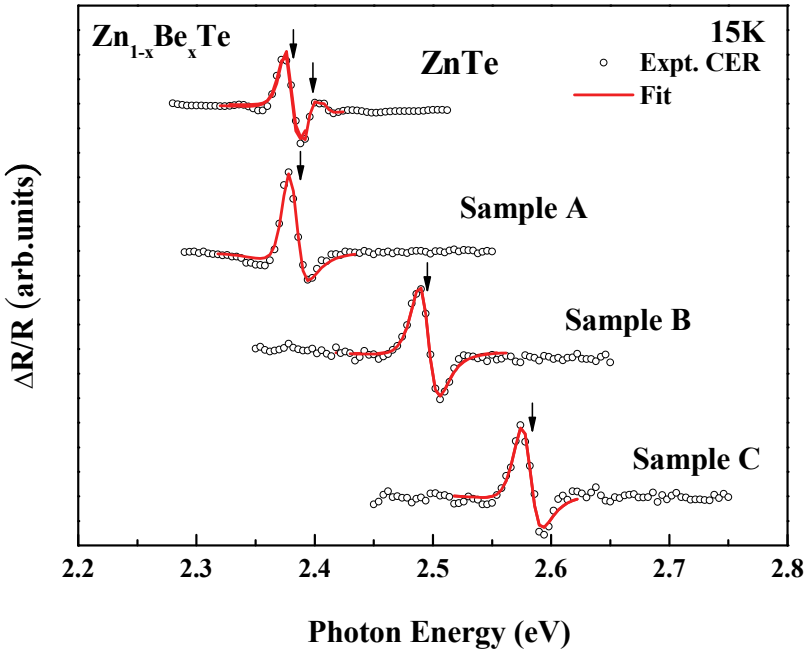


圖3.4　ZnTe、Sample A、Sample B 以及 Sample C 溫度15K 的 CER 譜線。

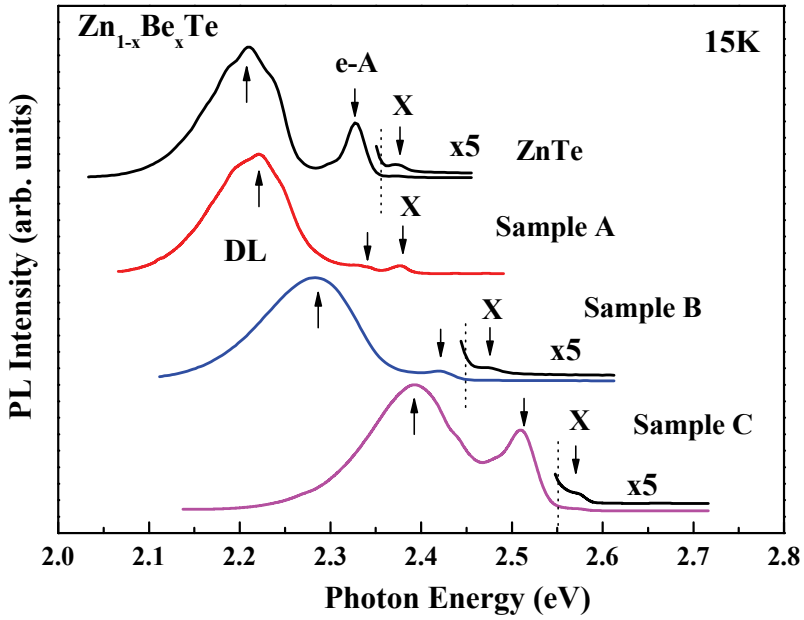
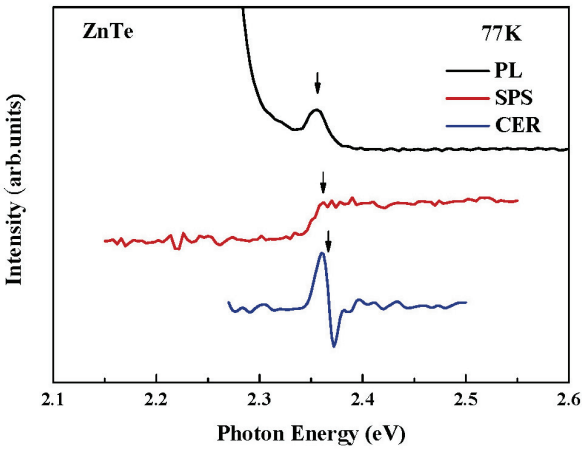
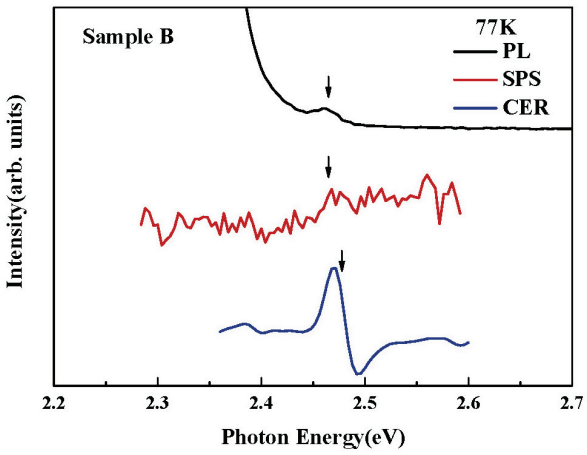


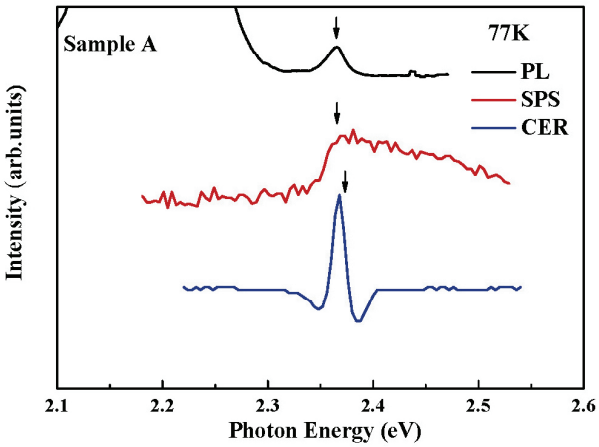
圖3.5　ZnTe、Sample A、Sample B 以及 Sample C 在15K 的 PL 訊號譜線。分別為激子(exciton,X)、電子受體結合(e-A)以及深層缺陷(DL)。



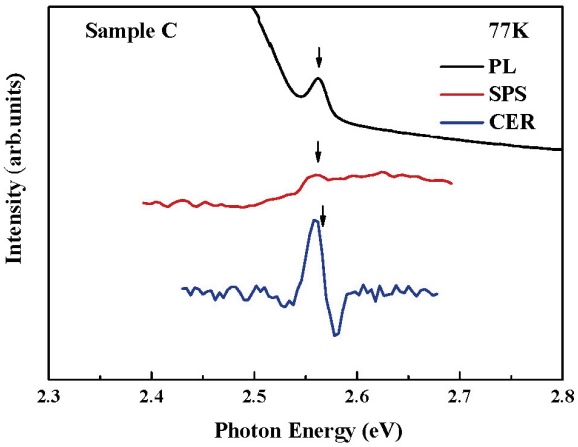
（a）



（c）



（b）



（d）

圖3.6（a）、（b）、（c）、（d）為 ZnTe、Sample A、Sample B 以及 Sample C 在 77K 下的 PL、SPV 和 CER 訊號譜線。

表3.2 x_{ing} 為試圖成長的鈹的含量，及 X-ray、photoacoutic（PA）和本論文所用 PR、SPS 所得到的結果，並使用勞倫茲線型吻合來決定鈹含量。

Sample	x_{ing}	$x_{X\text{-}ray}$[a]	$E_{0,PR}$[b] [eV]	x_{PR}[b]	$E_{0,SPS}$[b] [eV]	x_{SPS}[b]	$E_{0,PA}$[c] [eV]	x_{PA}[c]
ZnTe	**0**		**2.264±0.005**		**2.244±0.005**		**2.28**	
A	**5%**	**0.6%**	**2.270±0.005**	**0.3%**	**2.249±0.005**	**0.3%**	**2.29**	**0.6%**
B	**10%**	**6.5%**	**2.366±0.005**	**5.6%**	**2.355±0.005**	**6.0%**	**2.32**	**2.2%**
C	**15%**	**12.1%**	**2.458±0.005**	**10.6%**	**2.426±0.005**	**9.8%**	**2.48**	**11.0%**

[a]Reference [11]
[b]Present work
[c]Reference [10]

肆、結論

本論文利用非接觸電場調制反射光譜(CER)、光子調制反射(PR)、表面光電壓(SPS)及光激發螢光(PL)光譜量測技術，研究 Be 含量不同的碲化鋅鈹($Zn_{1-x}Be_xTe$)化合物單晶的能隙。

由光激發螢光(PL)光譜針對四塊樣品的量測可看出，當 Be 含量加時躍遷訊號會往高能量移動，此結果與調制光譜量測結果一致。由 PL 低溫量測可以觀察到三個主要的訊號，由高能隙到低能隙：微弱的激子訊號(exciton, X)、電子受體結合(e-A)、和線型很寬的深層缺陷(deeper level defects)此訊號來源為樣品的缺陷。其中電子受體結合(e-A)隨著溫度上升，訊號強度衰減很快。由調制光譜(CER/PR)在所得到之結果，與一般半導體特性相同，溫度上升時躍遷訊號會往低能量移動(red shift)，且線形會隨溫度上升而變寬。

伍、參考文獻

[1] M. W. Cho, S. K. Hong, J. H. Chang, S. Saeki, M. Nakajima and T. Yao, **“**MBE Grown BeTe and ZnBeTe Films as a New p-Contact Layer of ZnSe-Based II–VI Lasers”, J. Cryst. Growth, Vol. 214/215, No. 2, pp. 487-490 (2000).

[2] S. B. Che, I. Normura, T. Takada, A. Kikuchi, K. Shimomura and K. Kishino, “Growth and Characterization of ZnCdSe/BeZnTe II-VI Compound Type-II Superlattices on InP

Substrates and Their Application for Visible Light Emitting Devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, pp. 6747-6752 (2001).

[3] A. Muńoz, P. Rodríguez and A. Mujica, "Electronic and Structural Properties of BeSe, BeTe, and BeS: Comparison Between Ab-Initio Theory and Experiments", Phys. Stat. Sol. (B), Vol. 198, pp. 439-446 (1996).

[4] A. Waag, F. Fischer, H. J. Lugauer, T. Litzm, J. Laubender, U. Lunz, U. Zehnder, W. Ossau, T. Gerhardt. M. Möller, and G. Landwehr, "Molecular-Beam Epitaxy of Beryllium-Chalcogenide-Based Thin Films and Quantum-Well Structures", J. Appl. Phys., Vol. 80, No. 2, pp. 792-796 (1996).

[5] S. B. Che, I. Normura, W. Shinozaki, A. Kikuchi, K. Shimomura and K. Kishino "Wide Bandgap over 3 eV and High p-Doping BeZnTe Grown on InP Substrates by Molecular Beam Epitaxy", J. Cryst. Growth, Vol. 214/215, No. 11, pp. 321-324 (2000).

[6] K. Fukada, I. Nomura, S.-B. Che, E. Ogiwara, A. Kikuchi, and K. Kishino "Reduction of Defect Density of ZnCdSe on InP Substrates by Introducing BeZnTe Buffer Layers", Phys. Stat. Sol. (B), Vol. 229, No. 1, pp. 107-110 (2002).

[7] F. Firszt, S. Łęgowski, H. Męczyńska, J. Szatkowski, A. Banasiak, W. Paszkowicz, U. Falke, S. Schultze and M. Hietschold "Growth and Characterisation of Bulk $Zn_{1-x}Be_xSe$, $Zn_{1-x-y}Mg_xBe_ySe$ and $Zn_{1-x}Be_xTe$ Crystals", J. Cryst. Growth, Vol. 214/215, pp. 880-884 (2000).

[8] W. Paszkowiczl, F. Firszt, S. Łęgowski, H. Męczyńska, J. Zakrzewski and M. Marczak, "Structural, Optical and Thermal Properties of Bulk $Zn_{1-x}Be_xTe$ Crystals", Phys. Stat. Sol. (B), Vol. 229, pp. 57-60 (2002).

[9] O. Pages, T. Tite, D. Bormann, O. Maksimov and M. C. Tamargo "Percolation Behavior in the Raman Spectra of ZnBeTe Alloy", Appl. Phys. Lett., Vol. 80, No. 17, pp. 17-21 (2002).

[10] F. Firszt, S Łęgowski S, Męczyńska H, Szatkowski J and Zakrzewski J, "Photoacousic Study of $Zn_{1-x}Be_xTe$ Mixed Crystals", Analyt. Sci., Vol. 17, pp. s129-s132 (2001).

[11] W. Paszkowicz, F. Firszt, S. Łęgowski, H. Męczyńska, J. Zakrzewski and M. Marczak, "Structural, Optical and Thermal Properties of Bulk $Zn_{1-x}Be_xTe$ Crystals", Phys. Stat. Sol. (B), Vol. 229, pp. 57-62 (2002).

[12] Fred H. Pollak and Shen H, "Modulation Spectroscopy of Semiconductors: Bulk/Thin Film, Microstructures, Surfaces/interfaces and Devices" Mater. Sci. Eng. R, Vol. 10, pp. 275-280 (1993).

[13] A. Waag, F. Fischer, H. J. Lugauer, Th. Litz, J. Laubender, T. Gerhardt, J. Nurnberger, U. Lunz, U. Zehnder, W. Ossau, G. Landwehr, B. Roos and H. Richter, "Beryllium Chalcogenides for ZnSe-based Light Emitting Devices", Mater. Sci. Eng. B, Vol. 43, No. 1-3, pp. 65-70 (1997).

[14] O. Maksimov and M. C. Tamargo, "Direct-to-Indirect Band Gap Crossover for the $Be_xZn_{1-x}Te$ Alloy", Appl. Phys. Lett., Vol. 79, No. 7-8, pp. 782-784 (2001).

[15] S. Abdi-Ben Nasrallah, S. Ben Afia, H. Belnabrouk and M, Said "Optelectronic Properties of Zinc Blende ZnSSe and ZnBeTe Alloys", Eur. Phys. J. B, Vol. 43, pp. 3-9 (2005).

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第21-28頁

可抵擋肩窺攻擊之眼球追蹤技術

An Eye-Tracking System Resistant to Shoulder-surfing Attacks

曹 茂 勁

東南科技大學資訊科技與通訊系講師・輔仁大學應用與科學研究所博士

摘　　要

肩窺攻擊(shoulder-surfing attack)對傳統文字通行碼或圖形通行碼(graphical password)而言是一種常見而有效的攻擊方式。肩窺攻擊為直接利用觀察或側錄技術以取得通行碼的一種攻擊，其過程就好像透過使用者的肩膀窺探其私密資訊。眼球的凝視可以成功是經由電腦的視覺的技術去追蹤使用者瞳孔的定位來計算螢幕上使用者凝視的位置。以凝視為基礎的通行碼輸入對於一般的觀查者而言是十分困難得到通行碼的資訊，此輸入方法對於使用者是相當容易使用。本論文研究輸入通行碼的代替方法眼球追蹤系統-EyePassword，此方法保留傳統通行碼容易使用的特性，並且可以降低肩窺攻擊。EyePassword 利用眼球的凝視來輸入通行碼，本研究的主旨在於探討眼球追蹤系統技術及 EyePassword 設計的優缺點。

關鍵字：文字通行碼，圖形通行碼，肩窺攻擊，眼球追蹤系統。

ABSTRACT

Most texture and graphical password schemes are vulnerable to shoulder-surfing attacks. Shoulder surfing refers to using direct observation techniques, such as looking over someone's shoulder, to get information. Current approaches to reducing shoulder surfing typically also reduce the usability of the system. Previous gaze-based authentication methods do not support traditional password schemes. Gaze-based password entry has the advantage of retaining the simplicity of using a traditional password scheme. An eye-tracking system was implemented. This paper conducts a depth research on the eye-tracking system and discusses its advantage and disadvantage.

Keywords: Shoulder-surfing attacks, graphical passwords.

壹、序論

肩窺攻擊對傳統文字通行碼或圖形通行碼而言是一種常見而有效的攻擊方式。肩窺攻擊為直接利用觀察或側錄技術以取得通行碼的一種攻擊，其過程就好像透過使用者的肩膀窺探其私密資訊。肩窺攻擊通常不需要複雜的密碼技術便可取得使用者的通行碼，攻擊者可藉由竊取到的重要資訊假冒使用者登入系統以取得系統所提供的服務。目前用來降低肩窺攻擊的方法通常也會降低系統的使用度，此類降低肩窺攻擊的方法通常要求使用者提供安全的token而且並沒有提供與系統互動的直接回饋或要求附加的步驟去防止觀察者很容易地清楚地自使用者輸入來確定使用者的通行碼或PIN。另外先前以凝視為基礎的身份認證方法並未支援傳統通行碼設計。

近年來有不少以凝視為基礎的身份認證方法被提出[8][3]，本論文研究輸入通行碼的代替方法眼球追蹤系統-EyePassword，此方法保留傳統通行碼容易使用的特性，並且可以降低肩窺攻擊。EyePassword利用眼球的凝視來輸入通行碼，眼球的凝視技術成功經由電腦視覺技術去追蹤使用者瞳孔的定位來計算螢幕上使用者凝視的位置。以凝視為基礎的通行碼輸入對於一般的觀查者而言是十分困難得到通行碼的資訊，此輸入方法對於使用者是相當容易使用。本論文研究探討使用Tobii 1750來製作EyePassword設計，並探討此設計的優缺點。

貳、背景與相關設計

生理特徵方法基於生理學的行為特性辨識出個人的優勢，但是此方法難以複製，因此他們可以抵擋肩窺攻擊。然而生理特徵技術承受無法廢除的缺點，使用者很容易置換一個通行碼，那是非常不方便及疼痛的過程要求使用者置換指紋或視網膜掃瞄。

基於RSA secureID憑證[13]的實體的憑證可以抵檔肩窺攻擊，但是使用者必須隨身攜帶實體的憑證，它們會有遺失或被偷的風險。Scramble Keypad Reader[5]在使用袖珍鍵盤pushbutton內建立一個七段LED顯示器。每一次要輸入時，袖珍鍵盤的顯示的數字位置是隨機的，因此可以降低肩窺攻擊的風險。此袖珍鍵盤的兩邊使用兩片金屬去防止其他人看到使用者輸入數字。

一般而言，抵擋肩窺攻擊的方法依賴對旁觀者”增加干擾”，如此對旁觀者弄清楚使用者輸入變成困難。Roth et al[12]提出對輸入PIN可抵擋肩窺攻擊的方法，此方法使用對旁觀者增加干擾的做法。他們的方法為PIN數字分別被顯示為兩組黑與白數字。使用者必須判斷的數字是顯示在黑色的那一組或白色的那一組。經由使用者交叉的集合選擇，正確的PIN會被辨識出來。此方法要求使用者多次的二元的選擇去正確地輸入PIN的每一個數字。

Sobrado 與 Birget [14]在2002年研發一種可以防止肩窺攻擊的圖形通行碼方法。在註冊時，使用者必須點選三個以上的通行物件(pass-objects)。在登入時，系統會隨機地顯示包含通行物件的一千個物件。使用者必須認出通行物件且點選所有通行物件所組成的convex hull的內部,才算成功點選，為了要認證成功，使用者必須要連續成功點選3至5次。此方法需要多次的挑戰及回應才能成功地認證要登入的使用者。此方法要求使用者學習新的方法，所以此方法增加認證步驟的時間的長度。

Real User公司提出了Passfaces產品[16]，其基礎論點在於使用者可以很容易記憶50個不同的臉孔，卻很難記憶一個50字元長度的文字通行碼，其建立圖形化通行碼的方式為使用者需要選擇與記憶4個其選定的臉孔圖形以作為圖形化通行碼，在身份認證階段中，使用者必須在9個圖形裡頭正確地識別出個當初所挑選的臉孔圖形。PassFaces依賴使用者對臉的認知並且同時指向認知的臉做為一連串挑戰的回應。

雖然有其他的方法可防止肩窺攻擊，所有的這些方法有一共同的特點，此特點就是對觀察者增加干擾。通常要達成防止肩窺攻擊所要做的是增加使用者必須成功地登入的互動的次數，也就是說登入系統會比較久。

Maeder et al[9]提出一凝視為基礎的使用者認證設計，此設計首先系統會顯示一影像給使用者，使用者順序地停留在此影像事先特定設定的點才能夠登入系統。但他們並沒有提出惡意的使用者猜測影像上順序的點的容易程度。除此，此方法支援使用圖點當作通行碼而非傳統文字通行碼。其他克服肩窺攻擊的方法包括觸覺的通行碼或更加侵略性的技巧—腦機介面(brain-computer interface)。

凝視為基礎的輸入已經被廣泛地被研究[4][10]而且被許多商業系統[2][11]來使用。使用凝視為基礎的打字與通行碼輸入的主要不同在於回饋是如何被管理。Thorpe等人[15]在他們論文Pass-thoughts中導入以凝視為基礎的登入概念。他們提到以凝視為基礎的輸入的方法會使旁觀者不知使用者輸入的為何且提供與文字或圖形通行碼相同的安全長度。

參、眼球追蹤技術當做輸入工具的歷程

眼球追蹤技術起源於西元1900初期[6]並且已經有很長遠的歷史。最先進的眼球追蹤系統提供視覺誤差角度一度精確度的眼球追蹤，此眼球追蹤是以遠端視訊為基礎。眼球追蹤系統是電腦視覺的特殊應用。一個照相機被用來監視人的眼睛。一個或多個紅外線光源照亮使用者的臉並且產生一個閃光(角膜上光源的反射)。當使用者看不同的方向瞳孔移動但是角膜上閃光位置保留固定。角膜和閃光的相對移動與中心位置被用來估計凝視向量，接著此凝視向量被對應至螢幕平面座標。

目前商業的眼球追蹤技術非常昂貴，價錢自美金5000元到40000元。除了取得研究及開發的成本，基本的技術是易做的。為什麼眼球追蹤系統如此昂貴是沒有道理的。科技與研究的趨勢指出眼球追蹤系統的成本在未來會快速下跌，如此會使得眼球追蹤技術成為電腦系統很重要的輸入方法。

Apple’s MacBook膝上型輕便電腦有內建iSight攝影機[1]並且未來硬體的趨勢顯示更高解析度的攝影機將會內崁在標準顯示器內。使用如此的攝影機當作眼球追蹤將只需要花費不多的紅外線照明及影像處理軟體。ATM(自動存提款機) 配備安全的攝影機和使用者站在ATM前面。因為ATM pin(個人識別號)通常使用數字，這些數字只需要在螢幕上的少許的區域。

ATM 裝置安全的攝影機，使用者只需要站在ATM前面。因為ATM pin只使用數字來輸入，這些數字只需要在螢幕上的少許的區域，另外凝視為基礎的ATM pin 的輸入所用的品質不需要像最先進的眼球追蹤系統。目前一代的眼球追蹤系統針對每一使用者眼球位置的校正。此校正的結果將儲存在系統中。當使用者插入ATM卡，他的眼球

位置的校正將自動被載入。

以凝視為基礎的輸入的優勢為可保留使用傳統文字通行碼方法的容易性。使用者不需要學習新的方法來輸入通行碼，另外對以凝視為基礎的輸入來做肩窺攻擊是十分相當困難的。所以凝視為基礎的輸入能夠達到使用度與安全性的平衡。

肆、可抵擋肩窺攻擊者的眼球追蹤系統設計

為了測試可抵擋肩窺攻擊者的眼球追蹤系統設計，首先模擬一個可觀察使用者鍵盤與螢幕的肩窺攻擊者。此肩窺攻擊者也可以聽到來自系統任何聲音。系統的目標為建構一個容易使用且可抵擋上述的肩窺攻擊者通行碼輸入系統。在使用者通行碼輸入期間，一個肩窺攻擊者看著使用者眼睛必定會引起懷疑。

此系統的目的為提出一個實用的互動方法，此互動方法可消除大部份的肩窺攻擊。此互動方法確實對肩窺攻擊者記錄螢幕活動及使用者眼睛的高解析度影像並且互相參照是困難的。同時記錄螢幕活動及使用者眼睛的高解析度影像可用來決定使用者通行碼。

以凝視為基礎的輸入的系統的基本步驟與一般的標準的通行碼方法輸入相類似，此系統的設計代替鍵盤輸入或觸摸螢幕，使用者順序地凝視要求的字元或觸發的區域。此方法因此可以凝視螢幕上的鍵盤的字元或凝視圖形通行碼來輸入。以下種種考慮對此系統使用度與安全性是相當重要的：

一、目標物的大小

螢幕上鍵盤的目標物的大小將決定輸入錯誤可能性。決定目標物的大小的關鍵因素不在顯示的解析度而在於眼球追蹤系統的精確度。因為精確度是經由視角的度數來決定。目標物的大小是由計算角度的範圍來決定，此角度的範圍是在正常視覺的距離螢幕上的pixel(像點)來測量。

螢幕上解析度(1280x1024 pixels at 96 dpi)在視距為50cm且視角1度的水平及垂直的範圍是33 pixels。這意味著當看單一像點大小的點，眼球追蹤系統輸出肯定可以有33 pixels半徑或66 pixels範圍。目標物的大小將大於66 pixels，如此可防止錯誤的可能性。當使用以凝視為基礎的輸入，目標物與目標物有12 pixel間隔，如此可使輸入錯誤降到最小可能性。

不使用頭的移動而單獨使用眼球的移動並以凝視為基礎的輸入是可能的，當使用者觀察螢幕的不同部份，使用者可經由移動頭來觀察一個物件。雖然頭的移動是微妙的，還是有潛在的可能會洩露使用者正在看甚麼的資訊。例如攻擊者或許可以推論使用者正在看右上角的象限。顯然地，在螢幕上鍵盤上的按鍵與按鍵之間的空間愈小愈緊，攻擊者從此弱的觀察得到愈少的資訊。因此建議一般設計原則：在輸入錯誤可能率最小情形下，螢幕上鍵盤上的按鍵儘可能的顯示到最小。

二、鍵盤排列

為從打字來的肌肉記憶並會轉轉變為螢幕上鍵盤排列，使用者對於按鍵的空間位置的視覺記憶會變成螢幕上鍵盤設計的主要的因素。使用度與安全性擇優的結果為在

每次登入後，按鍵會隨機在鍵盤上排列。當使用者輸入通行碼，使用者需要相當多的視覺搜尋，因此輸入快慢由使用者來決定但此方法可以增加安全性。此系統並不考慮使用隨機鍵盤。

三、觸發機制

使用dwell -based 方法啟動字元選擇：使用者凝視一字元有效範圍然後按下特定一按鍵,如空白鍵。使用特定一按鍵會洩露連續按鍵之間的時間的資訊，如此可使得攻擊者可以使用通行碼字典攻擊。dwell-based方法可隱藏時間的資訊。

四、回饋

與凝視為基礎的輸入技術相比 ，凝視為基礎的通行碼輸入技術不應該提供確認視覺回饋給使用者(使用者看的地方不應該被顯示)。然而，當使用者已經輸入的按鍵，提供適當的回饋給使用者是必須的。此回饋可以經由聲音或者發出完成信號給螢幕的背景來完成。

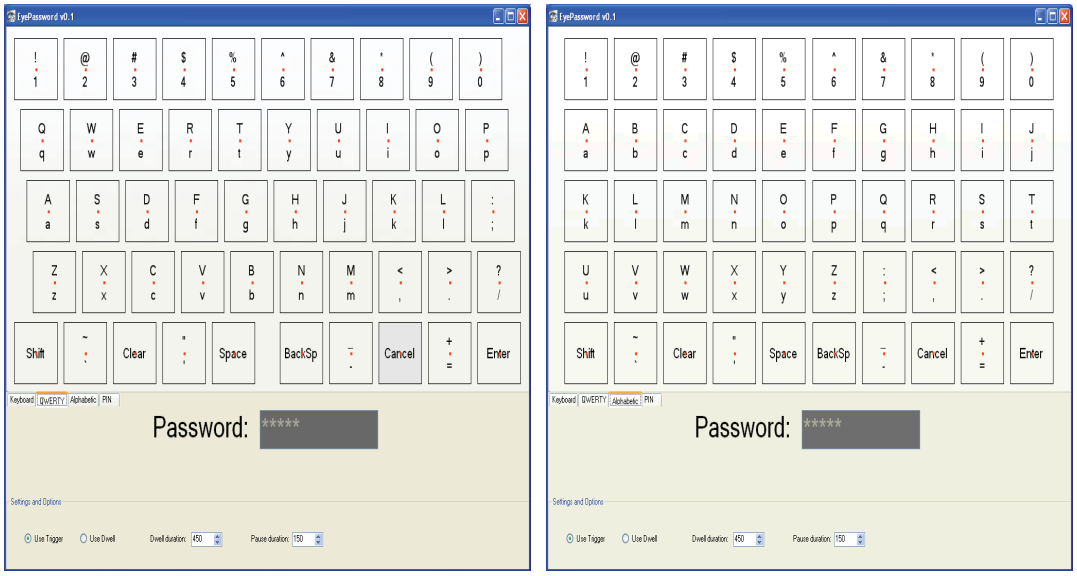
額外的視覺回饋可以放入通行碼多加欄位中，此多加欄位是在每輸入完一個通行碼的字元會多加一星號。為了減少經由回饋而洩露許多時間的資訊，系統會在每100ms輸出回饋。不管那一種情形，回饋都會洩露通行碼長度的資訊。

五、移位字元

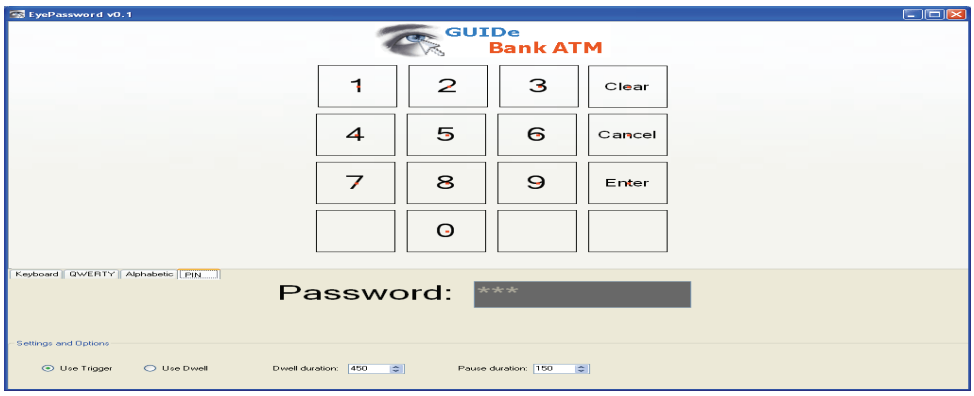
螢幕空間限制無法顯示所有的有效的通行碼字元(包括大寫與小寫字母)在螢幕同時顯示。此系統的製作顯示標準字元與移位字元可在螢幕同時顯示。為了輸入移位字元，使用者必須啟動移位按鍵一次，此次的啟動會使後續的輸入字元加上移位。此方法並無洩露附加的資訊給觀察者。

伍、EyePassword 的製作及分析

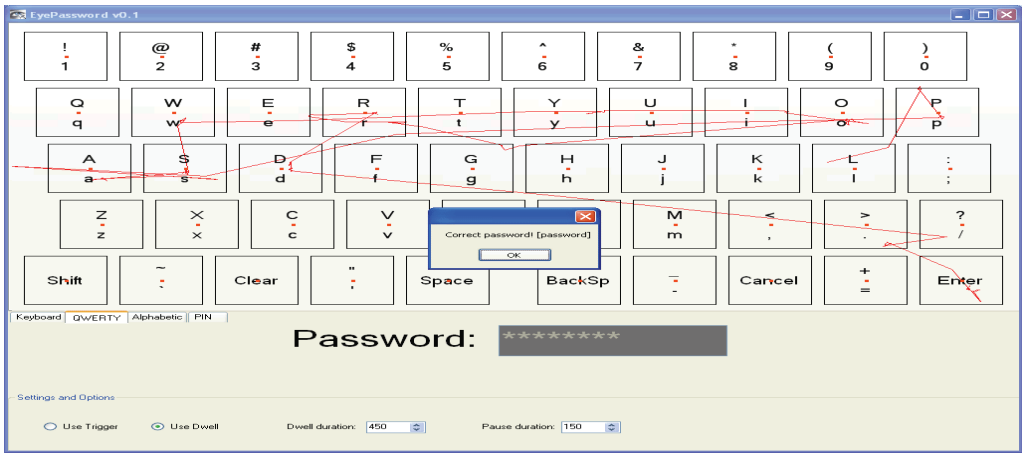
EyePassword是由Kumar等人[7]在window環境使用Tobii 1750 眼球追蹤系統(1280*1024解析度 96 dpi如圖一及圖二)來製作EyePassword。圖一顯示EyePassword分別使用QWERTY、文數字及ATM pin螢幕上鍵盤排列。為了減少錯誤啟動和維護在螢幕上鍵盤視覺的星號，此系統選擇每一目標物84 pixels所組成的正方形。按鍵與按鍵之間的距離為12 pixels，此距離可進一步減少錯誤啟動。此系統同時在每一螢幕上按鈕的中心顯示一個紅色的亮點。這些焦點(圖三)幫助使用者使凝視聚焦在目標物的中心點，因此可改善追蹤資料的準確性。



圖一顯示QWERTY及文數字螢幕上鍵盤排列 [7]。



圖二顯示ATM pin螢幕上鍵盤排列[7]。



圖三[7]

值得注意的是EyePassword螢幕上鍵盤的排列並不與鍵盤的排列相一致。一個標準的QWERTY排列為一列有十四按鍵。假定在眼球追蹤系統(1280*1024解析度)全部使用水平螢幕排法，84 pixels的寬度是可能一列放十四按鍵。EyePassword選擇更緊密的排

列，此系統排列使用佔據比較少的螢幕排法。

EyePassword使用dwell-based 方法，dwell-based方法使用者凝視一字元有效範圍然後450ms後，一嗶嗶聲回饋給使用者。凝視一字元之間隔時間為150ms。

EyePassword的製作顯示標準字元與移位字元可在螢幕同時顯示但是移位字元並不提供視覺的回饋。來自眼球追蹤系統的凝視是由於在追蹤的雜訊同時也由於眼睛的生理機能。EyePassword因此製作一可掃瞄偵測和注視和緩演算法來提供信賴度更好的偵測凝視。

雖然EyePassword系統提供比一般抵擋肩窺攻擊設計輸入通行碼的速度比較快，但與一般的傳統通行碼的輸入的速度還是慢了許多，這是值得加強研究的。當使用EyePassword系統來輸入通行碼，不論那一種鍵盤排列，系統顯示的字元皆為固定位置，對一些電腦被裝上keylogger，攻擊者會十分容易竊取到使用者的通行碼。

陸、結論

肩窺攻擊(shoulder-surfing attack)對傳統文字通行碼或圖形通行碼(graphical password)而言是一種常見而有效的攻擊方式。肩窺攻擊為直接利用觀察或側錄技術以取得通行碼的一種攻擊，其過程就好像透過使用者的肩膀窺探其私密資訊。眼球的凝視技術成功經由電腦視覺技術去追蹤使用者瞳孔的定位來計算螢幕上使用者凝視的位置。以凝視為基礎的通行碼輸入對於一般的觀查者而言是十分困難得到通行碼的資訊，此輸入方法對於使用者是相當容易使用。本論文研究輸入通行碼的代替方法眼球追蹤系統-EyePassword，此方法保留傳統通行碼容易使用的特性，並且可以降低肩窺攻擊。EyePassword利用眼球的凝視來輸入通行碼，EyePassword系統提供比一般抵擋肩窺攻擊設計輸入通行碼的速度比較快，但與一般的傳統通行碼的輸入的速度還是慢了許多，這是值得加強研究的。當使用EyePassword系統來輸入通行碼，不論那一種鍵盤排列，系統顯示的字元皆為固定位置，對一些電腦被裝上keylogger，攻擊者會十分容易竊取到使用者的通行碼。

柒、參考文獻

[1] Apple MacBook iSight camera. Apple Computer: Cupertino, California, USA. http://www.apple.com/macbook/isight.html

[2] The EyeGaze Communication System, LC Technologies, Inc.: McLean, Virginia. http://www.eyegaze.com/2Products/Disability/Disabilitymain.htm.

[3] A. Forget, S. Chiasson, and R. Biddle, “Shoulder-Surfing Resistance with Eye-Gaze Entry in Click-Based Graphical Passwords,” ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), April 2010, Atlanta, USA.

[4] Hansen, J. P., K. Torning, A. S. Johansen, K. Itoh, and H. Aoki, “Gaze Typing Compared with Input by Head and Hand,” In Proceedings of ETRA: Eye Tracking Research & Applications Symposium. San Antonio, Texas, USA: ACM Press, pp.

131-38, 2004.

[5] Ingersoll Rand Security Technologies, Schlage Scramble Keypad Reader (SERIII-W). http://securitymanagementsystem.schlage.com

[6] Jacob, R. J. K. and K. S. Karn, "Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises," in The Mind's eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research, Amsterdam, pp. 573-605, 2003.

[7] Kumar, M., Garfinkel, T., Boneh, D., and Winograd, T., "Reducing Shoulder-surfing Using Gaze-based Password Entry," SOUPS: Symposium on Usable Privacy and Security, Pittsburgh March 2007.

[8] A. D. Luca, M. Denzel, and H. Hussmann, "Look into my eyes! Can you guess my password," In proceedings of SOUPS 2009: 5th symposium on usable privacy and security. Mountain View, CA, USA, July 15 - 17, 2009.

[9] Maeder, A., C. Fookes, and S. Sridharan, "Gaze Based User Authentication for Personal Computer Applications," In Proceedings of International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing. Hong Kong:

[10] Majaranta, P., A. Aula, and K.-J. Räihä, "Effects of Feedback on Eye Typing with a Short Dwell Time," In Proceedings of ETRA: Eye Tracking Research & Applications Symposium. San Antonio, Texas, USA: ACM Press, pp. 139-46, 2004.

[11] MyTobii Communication Software, Tobii Technology, 2006. http://www.tobii.com/default.asp?sid=555 2005.

[12] Roth, V., K. Richter, and R. Freidinger. "A PIN-Entry Method Resilient Against Shoulder Surfing," In Proceedings of CCS: Conference on Computer and Communications Security. Washington DC, USA: ACM Press, pp. 236-45, 2004.

[13] RSA Security, *RSA SecurID Authentication*. http://www.rsasecurity.com/node.asp?id=1156.

[14] Leonardo Sobrado and Jean-Camille Birget, "Graphical passwords," The Rutgers Scholar, Volumn 4, 2002.

[15] Thorpe, J., P. C. van Oorschot, and A. Somayaji, "Passthoughts: authenticating with our minds," In Proceedings of New Security Paradigns Workshop. Lake Arrowhead, California, USA: ACM Press, pp. 45-56, 2005.

[16] PassFaces, http://www.passfaces.com/products/passfaces.htm.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第29-36頁

雷射射擊模擬電路之研製

Study of Laser Shooting Simulations

林煌彰[1]　　葉振明[2]
Huang-Chang Lin[1]　Chew-Ming Yeh[2]

[1]東南科技大學 資訊科技與通訊學系 副教授　Department of Information Technology and Communication,　E-mail: hchlin@mail.tnu.edu.tw
[2]東南科技大學 資訊科技與通訊學系 副教授　Department of Information Technology and Communication,　E-mail: cmyeh@mail.tnu.edu.tw

摘　　要

雷射射擊模擬，藉由雷射具光束放大筆直之特性用來作瞄準，以信號模擬子彈，用雷射光調變將信號送出，光電靶確認有收到信號作為依據，來判斷是否擊中目標。

實際應用上雷射射擊模擬，除了可以降低實彈訓練的危險性之外，也能減少訓練時的成本，以達到射擊訓練的目的。本研製電路將以動態車輛模擬射擊及靜態光電靶模擬射擊作實務操作，可呈現出雷射光定位之射擊精準性。

本研製電路發射端是以1KHz 振盪電路之信號，調變於雷射光驅動電路上，將雷射光發射。接收端則以音調解碼電路結合雷射光接收電路，將信號加以解碼，驅動開關電路來控制動態之車輛馬達或靜態光電靶之 LED 顯示器，以實現雷射模擬射擊之目的。

關鍵詞：雷射射擊模擬、雷射定位射擊、音調解碼器。

ABSTRACT

Laser shooting simulations, based on the characteristics of amplification and being straight of the laser beam for the purpose of aiming targets, utilize signals to simulate bullets and send out laser light modulated by the signals. Confirmation of the signal reception at the photoelectrical object is used to determine whether the target is hit.

In addition to the reduction of the risk in the live ammunition training, the applications of the laser shooting simulations can cut down the training cost to achieve the goal of the shooting training. The developed circuits were operated on the simulations of shooting

moving vehicles and static photoelectrical objects to demonstrate the shooting accuracy of positioning by laser light.

The transmitter of the developed circuits uses the signal from 1 kHz oscillator to modulate the laser light form its driver and then transmit it. The receiver combines the audio decoder and the receiving circuit for the laser light to demodulate the signal. It also drive the switching circuit to control the motors of the moving vehicles or the LED displays of the static photoelectrical objects to accomplish the goal of laser shooting simulations.

Keywords: Laser Shooting Simulations, Laser Position Shooting, Audio Decoder.

壹、前言

由於軍事武器及 First person shooter、Survival Game…等，進而對軍警使用槍械的訓練及安全感到興趣，有時新聞報導警方用槍不當且在軍事上有不少文獻記載，強調基本射擊訓練的重要性[1-2]，有鑑於此各國對軍警使用槍械的基本射擊訓練特別重視，為了達成準確的射擊，除了實彈射擊訓練外，也可使用模擬射擊訓練，以紮實的訓練發揮射擊準確性的效果，若加上雷射光作定位，更能大大提升命中率，本研製根據此構想，設計雷射光定位模擬射擊電路，可作為模擬射擊訓練之用。

貳、電路簡介

圖1為動態雷射射擊模擬電路方塊圖，雷射光發射電路使用1KHz 振盪信號，調變於 E/O 電路上作傳輸，雷射光接收電路則經 O/E 電路轉換後，由音調解碼電路輸出信號控制開關電路，啟動或關閉車輛之馬達運轉。

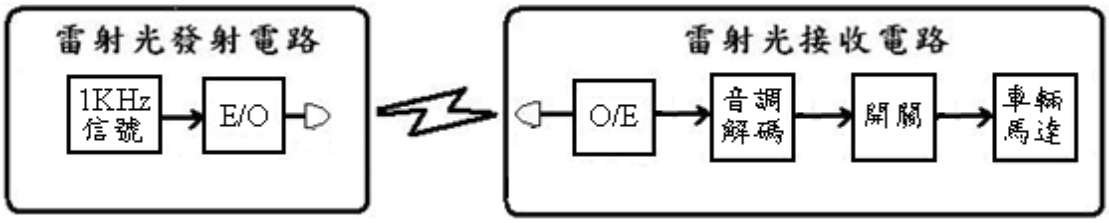


圖1 動態雷射射擊模擬電路方塊圖

同樣靜態雷射射擊模擬電路方塊圖，如圖2所示。雷射光發射電路使用了1KHz 振

盪信號，調變於 E/O 電路後傳輸，雷射光接收電路則經 O/E 電路轉換後，由音調解碼電路輸出信號控制開關電路，啟動或關閉光電靶之 LED 顯示器。

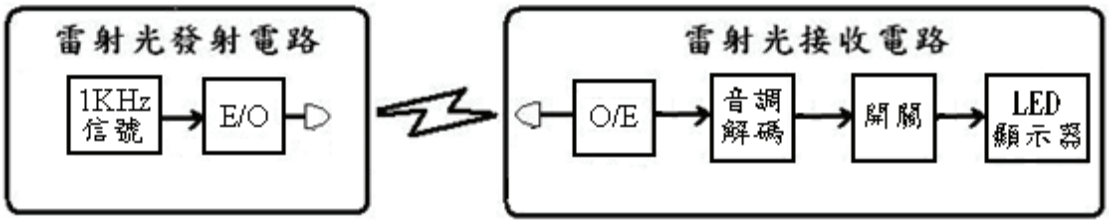


圖2 靜態雷射射擊模擬電路方塊圖

參、電路架構說明

本研製所使用之電路[3-4]，其發射端及接收端之各基本電路架構方塊圖，如圖3所示，各基本電路說明如下：

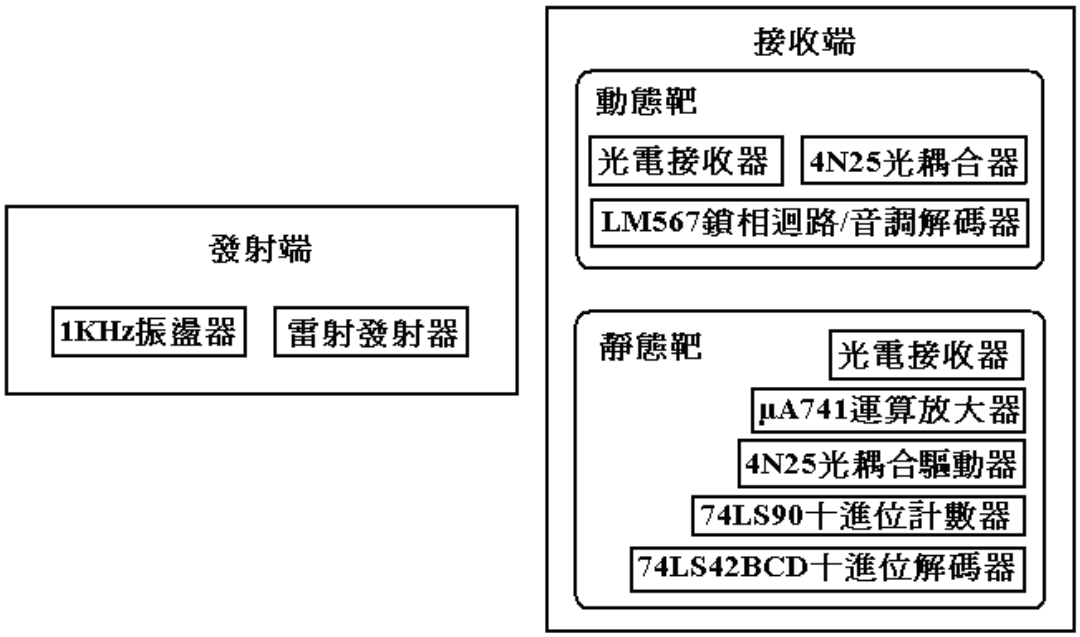


圖3 雷射射擊電路基本架構

一.雷射發射器

電路由雙極性電晶體的集極串接雷射光發射二極體，組成雷射發射驅動電路，如圖4 所示。

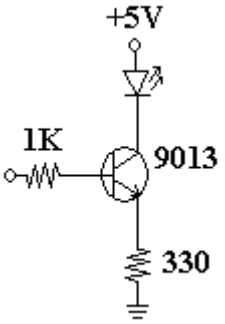


圖4 雷射光驅動電路

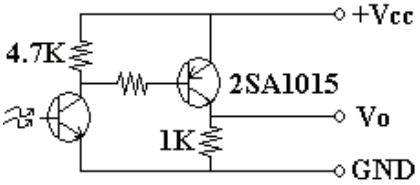


圖5 光電接收器

二.光電接收器

雷射光調變信號經光電晶體接收後，把光信號轉為電信號，再驅動後續電路，如圖5所示。

三.1KHz 振盪電路

模擬子彈之1KHz 信號產生器是由 RC 相移振盪器所組成，振盪器是利用三組 RC 電路網路來產生每組60^o 的相移，以電晶體本身反相180^o 之功能提供了振盪器需要的正回授，如圖6 所示。增益必需大於29以確保持續振盪狀態，這種振盪器的輸出波型類似任何 RC 迴路振盪器所產生之正弦波。

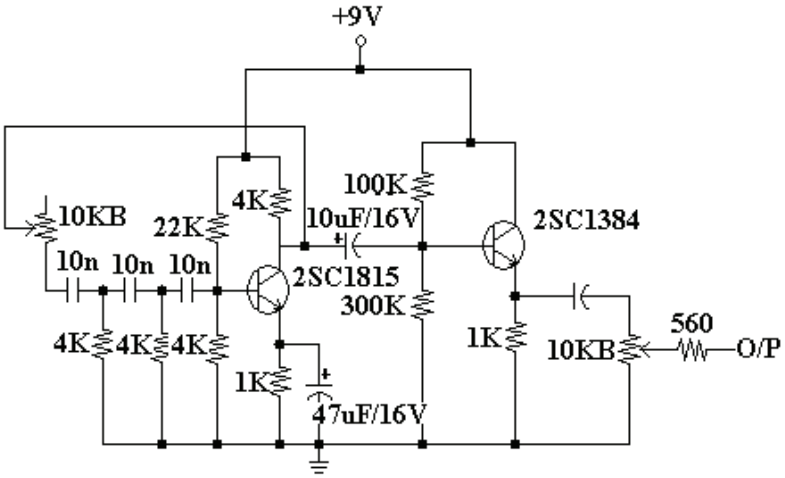


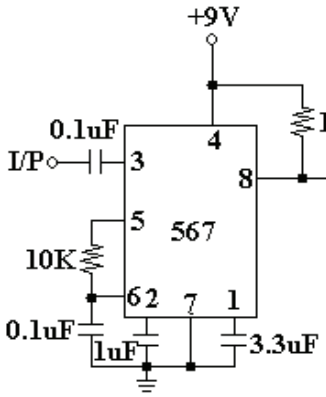
圖6 1KHz 振盪電路

四.光電耦合驅動器

光電耦合器一般由三部分組成：光的發射、光的接收及信號放大[6-7]。本研製電路之光電耦合電路的光發射元件是為發光二極體，光接收器是由光電晶體將光信號轉換為電信號，以完成信號之推動目的。

五.鎖相迴路/音調解碼器

本電路是使用 LM567積體電路，信號經由 LM567第3腳輸入，由第8腳輸出，會產生 high 及 low 變化，再經放大，觸發繼電器開關電路，如圖7、圖8 所示。當輸入頻率為1kHz 時，輸出為 high，繼電器開關電路動作，反之如果輸入不是1kHz 時，輸出變為 low，繼電器開關電路不會動作[6-7]。



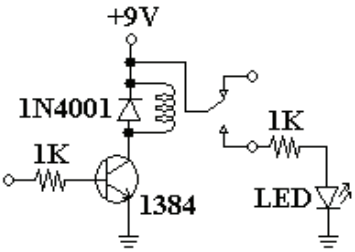


圖7音調解碼器　　圖8 繼電器開關電路

本研製電路之信號放大器，使用 μA 741放大器，此運算放大器是最常被使用的一種，擁有反相與非反相兩輸入端，由輸入端輸入欲被放大的電流或電壓信號，經放大後由輸出端輸出。放大器動作時的最大特點為需要一對同樣大小的正負電源，其值由 $\pm 12V_{dc}$ 至 $\pm 18V_{dc}$ 不等，本研製電路使用 $\pm 15V_{dc}$ 的電源電壓。

光電靶電路使用之74LS90是非同步二、五、十進位加法計數器，可以作二進位計數器，也可以作五進位和十進位加法計數器。74LS90由四組主從 JK 正反器構成，因可時序脈衝上緣觸發時計數。

光電靶內74LS42是二、十進位解碼器，也稱為 BCD 解碼器。它的功能是將輸入的一組 BCD 碼(四位元二元符號)轉成10個高、低準為輸出信號驅動 LED 顯示器，因此也稱4-10解碼器。

整合以上雷射發射器、1KHz 振盪電路、光電接收器、4N25光耦合器、LM567鎖相迴路/音調解碼器、μA741運算放大器、74LS90十進位計數器、74LS42BCD 十進位解碼器音樂盒等電路，組成動態車輛靶電路及靜態光電靶電路，如圖9及圖10所示。

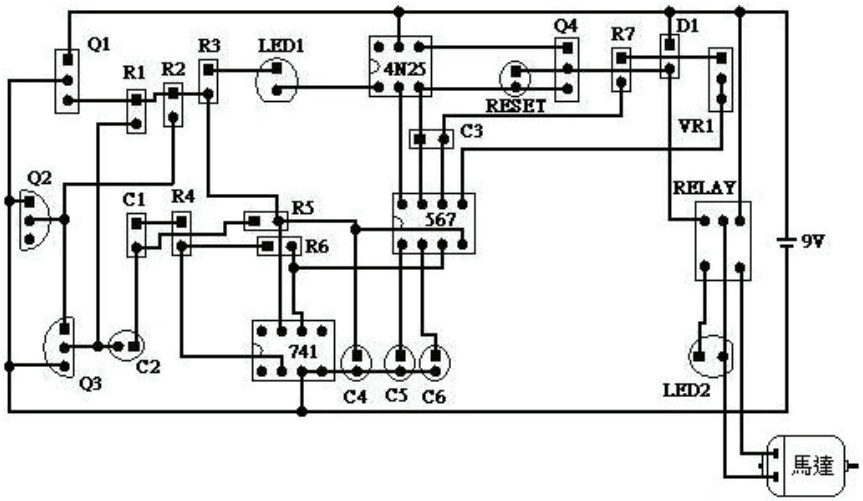


圖9 動態車輛靶電路

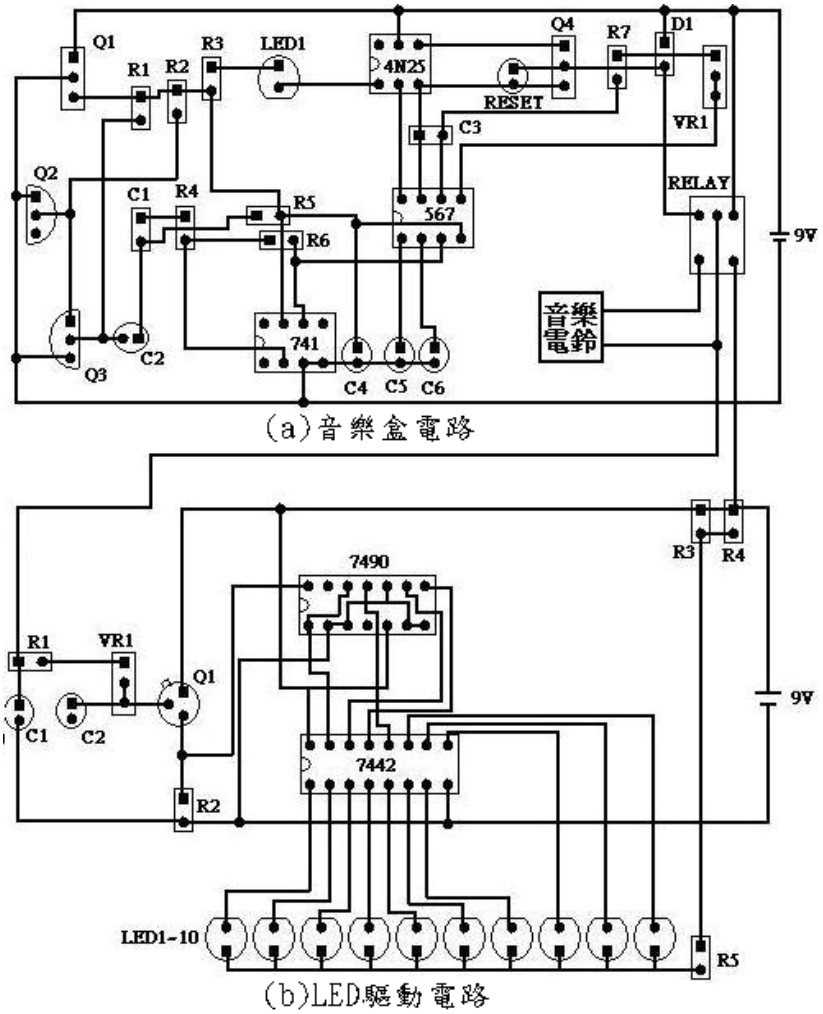


圖10靜態光電靶整合電路

肆、電路測試

雷射光發射部分，是以雷射光傳送信號，將電路裝在模型手槍內，射擊時以雷射光來瞄準目標靶，扣下板機(開關)，以雷射光發射信號模擬子彈射出，並觀察目標靶的狀況判斷是否命中目標。

雷射光接收部分，是當接收到信號時動作，電路裝於動態玩具車輛內及靜態 LED 顯示之光電靶，測試時啟動電源開關發射雷射光束信號，瞄準目標點(光電晶體)進行射擊模擬測試。

動態射擊模擬射，以手槍擊發輸出信號，若沒有擊中玩具車輛上的光電晶體接收點時，則玩具車輛會繼續移動，若命中目標點後則車輛會停止移動。由於目標點是會移動，所以要能準確擊中是有一定程度的困難，因此要以雷射光束來作定位瞄準，才能準確擊中目標。

靜態射擊模擬，比動態射擊模擬瞄準容易，用手槍射擊，信號打在光電靶上的接收點時，會有如俄羅斯輪盤的 LED 顯示旋轉效果並啟動音樂產生，可確認擊中目標，圖11、圖12及圖13所示為實體圖。

圖11 雷射槍

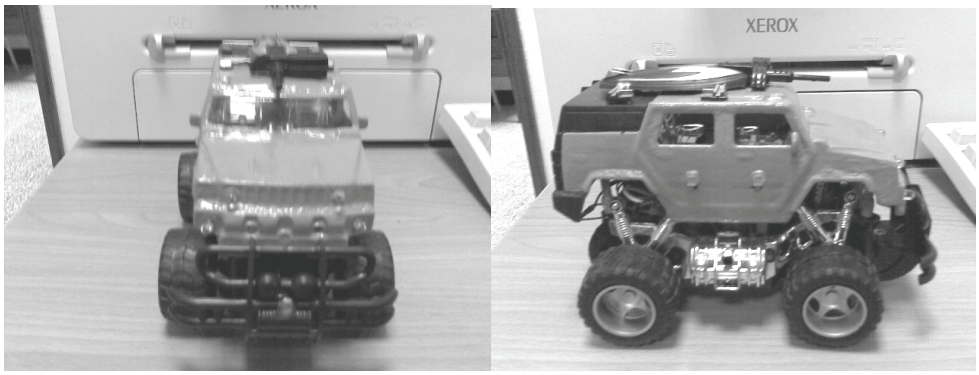


圖12 動態玩具車輛靶

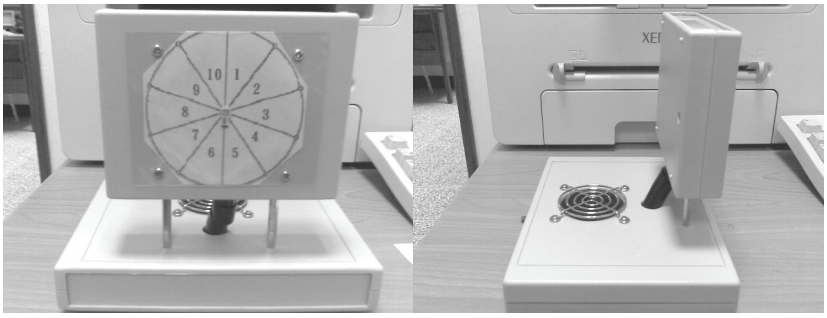


圖13 靜態光電靶

伍、結論

本研製電路達成的效益，在於將雷射的特性做了實際應用，不僅可使用在軍事方面的實質訓練外，也能結合其他電路，在娛樂及教學上可有一定程度的運用。而雷射的用途非常廣泛，本研製電路只針對雷射光作定位瞄準射擊模擬之實務應用，以達到射擊訓練效果。

展望未來可將本研製之雷射射擊瞄準加以改良，在軍事上可用於三角瞄準訓練，結合電腦程式連結一面佈滿接收光電點的靶，瞄準射擊後，以電腦自動掃描，可由螢幕顯示出射擊點並可列表記錄之。

陸、參考文獻

1.陳慶權，輕兵器射擊訓練模擬器研製，碩士論文，中正理工學院，台灣(2000)

2.曾詠喬，無線感測器實作射擊模擬系統 ，碩士論文，國立成功大學，台灣(2006)

3.楊國藩，雷射概論，初版，國興圖書公司(1989)

4.林三寶，雷射原理與應用，初版，全華圖書公司(1987)

5.葉振明，電子電路-控制與應用，全華圖書公司(2007)

6.葉振明，工業電子學，全華圖書公司 (1989)

7.陸臺根，電路學，第六版，全華圖書公司(2006)

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第37-44頁

磷化處理與退火溫度對壓粉磁蕊磁性質之影響

The Influence of Phosphate Treatment and Annealing Temperature on the Magnetic Properties of Compressed Powder Cores

林寬泓[1]　謝定洲[2]　林舜天[2]

Kuan-Hong Lin[1]　Ding-Zhou Xie[2]　Shun-Tian Lin[2]

[1]東南科技大學 機械工程系　[2]國立台灣科技大學 機械工程系

[1]Department of Mechanical Engineering, Tungnan University

[2]Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology

摘　要

本研究先以磷化處理在鐵粉表面生成具有絕緣效果的 $Zn_3(PO_4)_2$皮膜，再將鐵粉壓製成磁蕊。此絕緣皮膜使壓粉磁蕊具有高電阻率以及較佳的磁通密度，且能提高頻率使用範圍並降低渦電流損失。壓粉磁蕊經退火處理後可提升磁通密度，但退火溫度超過200℃時，由於黏結劑的損耗造成電阻率降低使得鐵損提升，並且導致交流導磁率下降。磷化處理時間90秒、退火溫度200℃時，所製成之磁蕊具有高磁通密度，能量轉換過程中鐵損最低。

關鍵字：磷化處理、壓粉磁蕊、磁通密度、鐵損、渦電流損失

ABSTRACT

The goals of this study are to achieve high magnetic fluxes and reduce total iron losses of pure iron powders coated with insulated layers. With a phosphate treatment, the structure of the insulated layer coated on iron particle surface was $Zn_3(PO_4)_2$. It could not only maintain the magnetic fluxes of pure iron, but also enhance the electrical resistivity of compressed cores by reducing the eddy current loss, which allows a wider frequency range of applications. In addition, annealing treatment after compression could raise magnetic fluxes, but an annealing temperature higher than 200℃ caused the decomposition of binder, resulting in decreased electrical resistivity.

Experiment results indicate the best magnetic performances were achieved when a phosphate treatment of 90 sec and an annealing temperature of 200℃.

Keywords: Compressed powder core, Phosphate treatment, Magnetic flux, Iron loss, Eddy current loss

壹、前言

軟磁性材料(soft magnetic material)與硬磁性材料(hard magnetic material)的差別為軟磁性材料在低外加磁場下即有高飽和磁通密度(saturation magnetic flux)，高導磁率(permeability)，小矯頑磁力(coercive force, Hc)，以及在交流磁場中能量損失小等特性，因此廣泛的被應用於交流磁場中[1-3]。常用的軟磁性材料分為3類，第1類為鐵系燒結合金，適合在低頻環境使用，具有高飽和磁通密度及高導磁率，但由於電阻低導致高頻時能量損失較高，通常用於變壓器、馬達等[1,4-5]。第2類為鐵氧磁體(ferrite)，具有高電阻能夠使用於高頻環境下，但飽和磁通密度及導磁率遠低於鐵系燒結合金，因此只能在低功率下使用，如中高頻變壓器、無線電、濾波器等[5]。第3類為壓粉磁蕊，使用表面披覆絕緣層的鐵粉做為基材，並以壓力壓製成型，性質介於上述兩者之間，具有高磁通密度、高導磁率，以及較高之電阻，可抑制中高頻時之鐵損(iron loss)，但是強度較低，一般使用於100 Hz~300 kHz 之電感、濾波器等[5-7]。

由於純鐵的電阻約1.0×10^{-6} Ω-cm，應用在功率變換系統時，會造成較大的能量損失[5]，因此本研究將以增加鐵粉之電阻，降低壓粉磁蕊於高頻環境下的能量損失，提高磁蕊應用頻率的範圍，且保持原鐵粉所擁有的高飽和磁通密度以及高導磁率為目的。

貳、實驗過程

本實驗使用粒徑5~8 μm、含碳量0.46 wt.%的羰基鐵粉(carbonyl iron powder, Ruilong)，以及平均粒徑45 μm、含碳量0.004 wt.%的水霧化鐵粉(water atomization iron powder, Riulong)做為磁蕊的基礎鐵粉。鐵粉磷化處理使用磷酸鋅系皮膜劑(Zinc phosphate #838, Tanmax Coating)，兩種鐵粉磷化處理的時間分別為90秒、50秒與0秒，之後鐵粉以水沖洗30 min 去除殘留物最後將鐵粉烘乾。完成磷化處理後的鐵粉依照羰基鐵粉66.7 wt.% 、水霧化鐵粉33.3 wt.%的比例混合，並與酚醛樹酯(RA8816HP, K.L. Chemicals)溶液均勻混合24小時，之後進行噴霧造粒，接著以330 MPa 壓力壓製成外徑10 mm、內徑3.2 mm、厚度4 mm 的試片，壓製好的試片在150℃下進行硬化處理，再於氬氣氛下進行30 min 的退火處理。表1所示為試片的編號與製程參數，其中 A 組試片的磷化處理時間不同，但退火溫度相同，B 組試片則是磷化處理時間相同，但退火溫度不同。

試片以振動樣品磁力儀(VSM, 730M LAKE SHORE，先鋒科技)在室溫下量測直流環境下的磁滯曲線與矯頑磁力，最大外加磁場為7 kOe，每一點間距為282.02 Oe，每一點測試時間3秒。B-H 曲線儀(B-H Analyzer, SY-8258- Manual, IWATSU)用來測試交流環境下初始導磁率(μ_{iac})、磁通密度為10 kG 之交流導磁率(μ_{ac})以及鐵損，測試時環形試片繞15圈漆包線線圈。電阻測量則使用四點探針測量各個試片之電阻，並使用公式換算各個試片之電阻率。此外以掃描式電子顯微鏡(SEM, JEOL JSM-T330A)拍攝二次電子影像(SEI)，觀察羰基鐵粉與水霧化鐵粉外形以及磷化處理後的表面型態。

表 1 試片編號與製程參數

試片編號	A1	A2	A3	B1	B2
磷化時間(s)	0	50	90	90	90
退火溫度(℃)	200	200	200	300	400

參、結果與討論

3.1 顯微結構

圖1所示為水霧化鐵粉經90秒磷化處理後的 SEM 照片，顯示表面生成板狀堆積物，至於羰基鐵粉的表面則沒有明顯差異，僅較未處理之鐵粉粗糙。圖2為磷化處理水霧化鐵粉的 XRD 分析結果，與 JCPDS card 比對後確認表層的組成為磷酸鋅 $Zn_3(PO_4)_2$。

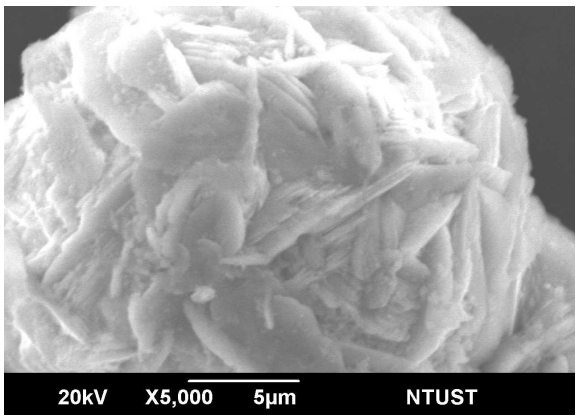


圖 1 水霧化鐵粉磷化處理後的表面型貌

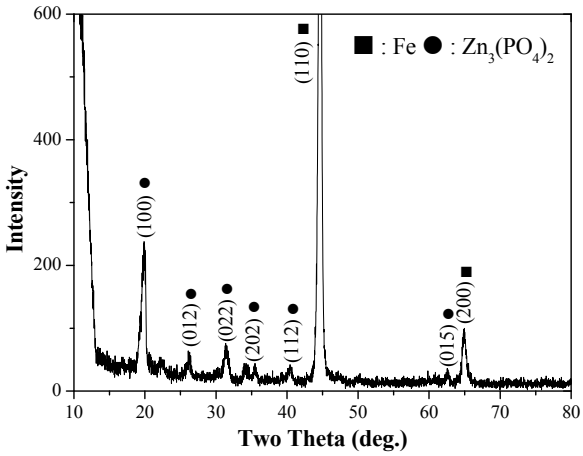


圖 2 磷化處理 90 秒水霧化鐵粉的 XRD 圖形

3.2 磷化時間的影響

表2為不同磷化時間試片的電阻率量測結果，顯示磷化時間增加時，電阻率隨之增加，此乃因磷化時間增加造成皮膜厚度增加，因而提高電阻。此外未磷化處理的 A1試片電阻率為0.392×10^{-1} Ω-cm，而純鐵之電阻率僅為1×10^{-6} Ω-cm，因此造成電阻率增加的原因應該是添加黏結劑所致。

表 2 不同磷化時間試片的電阻率

試片	磷化時間	電阻率(Ω-cm)
A1	0s	0.392×10^{-1}
A2	50s	1.717×10^{-1}
A3	90s	3.43×10^{-1}

圖3為 A1~A3試片在不同頻率下的鐵損(iron loss)，顯示鐵損隨著頻率的升高而增加，以及在低頻時三者的鐵損差距很小，但是高頻時電阻率大的試片鐵損較低。

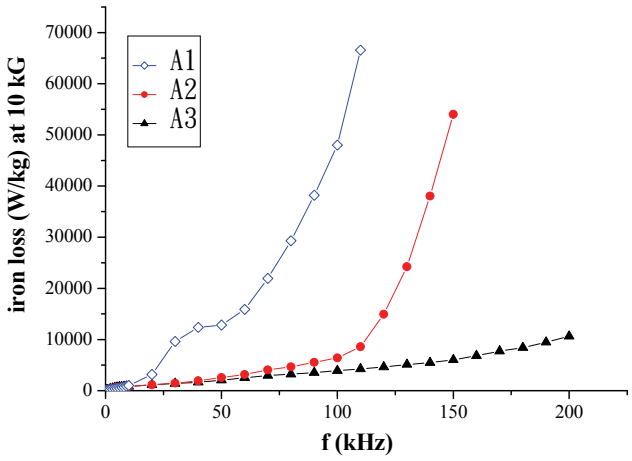


圖 3 三種不同磷化時間試片在不同頻率下的鐵損

鐵損主要由渦電流損失(eddy current loss)產生，而影響渦電流損失的因素為試片的電阻與頻率[1,6,8-9]。本研究以 $W=K_h\times f+K_e\times f^2$方程式，求出渦電流損失佔總鐵損的百分比，式中 W 為鐵損、K_h 為磁滯損失係數、K_e 為渦電流損失係數、f 為頻率。圖4為A1與 A3試片的渦電流損失佔總鐵損之百分比，顯示 A3試片即使測試頻率達到100 kHz其渦電流損失佔總鐵損之比率仍然很小，而 A1試片的渦電流損失佔鐵損之百分比較高，在頻率70 kHz 時鐵損幾乎全部由渦電流損失所造成，可知提高電阻率可以抑制渦電流損失產生。此外 A1試片在測試頻率高於110 kHz 時因為大量的熱量造成試片冒煙及焦化，而無法繼續測試。

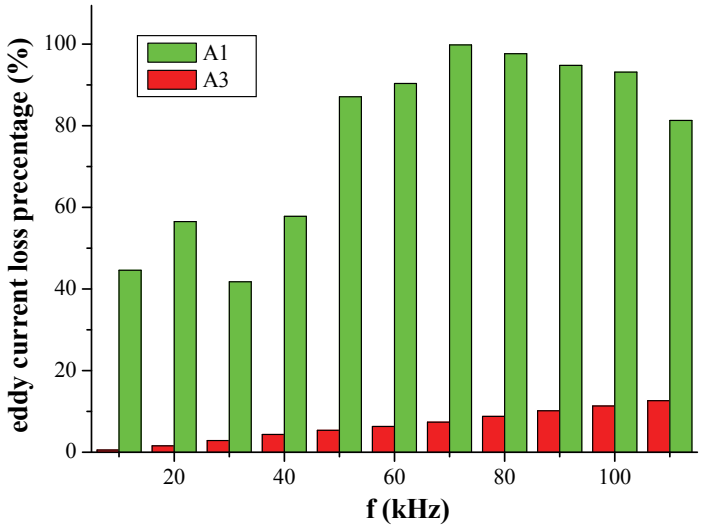


圖 4　A1 與 A3 試片的渦電流損失佔鐵損之比率

圖5為三種試片的磁滯曲線，發現在相同的外加磁場下未磷化處理的試片(A1)具有最高的磁通密度，以及A3試片在外加磁場大於7 kOe時，磁通密度可維持在17.2 kG。此外矯頑磁力Hc隨著磷化時間的增加而升高，而造成磁通密度下降以及矯頑磁力升高的原因，相信是試片的磷酸鋅皮膜增厚阻礙磁壁移動所致[1]。

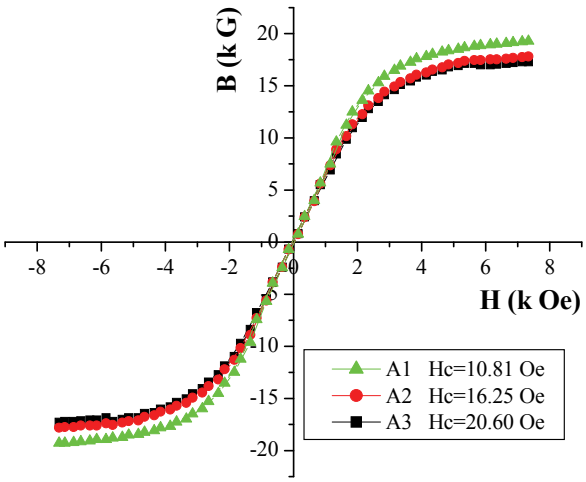


圖 5　三種磁蕊試片的磁滯曲線與矯頑磁力(Hc)

導磁率的大小表示試片可應用的頻率範圍，圖6為三種試片的交流初始導磁率(μ_{iac})以及磁通密度為10 kG時的交流導磁率(μ_{ac})。在交流初始導磁率(μ_{iac})方面，隨著磷化時間的增加，交流初始導磁率隨之下降，且頻率的提升並未造成交流初始導磁率明顯變化。磁通密度10 kG之交流導磁率方面，在低頻時磁通密度為10 kG之交流導磁率隨著磷化時間的增加而降低，但頻率升高至100 kHz時，低電阻A1試片之交流導磁率明顯較低，研判造成此交流導磁率下降的原因為熱量的產生導致磁性質下降[10]。

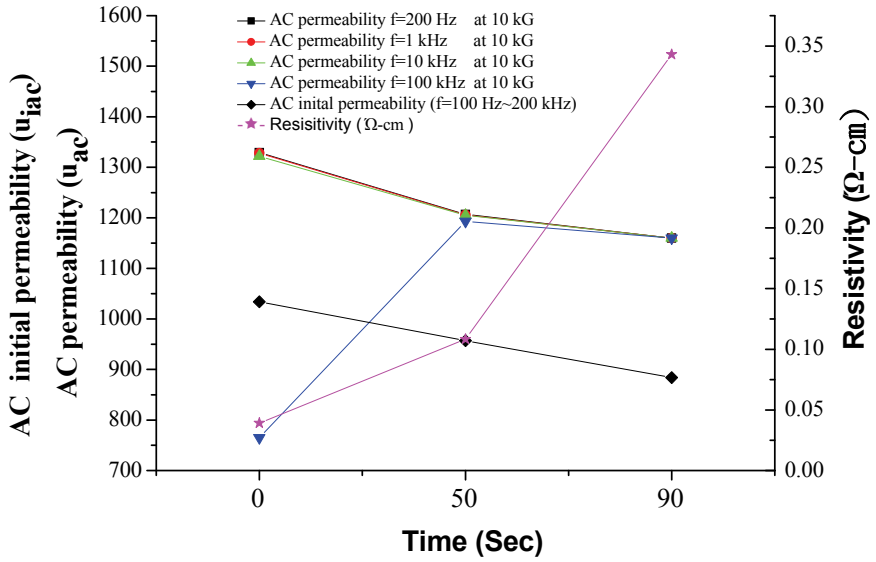


圖 6 三種壓粉磁蕊試片的交流初始導磁率(μ_{iac})以及磁通密度為 10 kG 時的交流導磁率(μ_{ac})

3.3 退火溫度的影響

壓粉磁蕊的強度來自黏結劑以及粉末之間的變形結合，TGA分析顯示加熱溫度超過400℃後酚醛樹脂開始大量損耗，為了不使磁蕊內部黏結劑完全損耗導致壓粉磁蕊的強度降低，本實驗使用的退火溫度為200℃、300℃及400℃，以探討退火溫度對磁性質的影響。

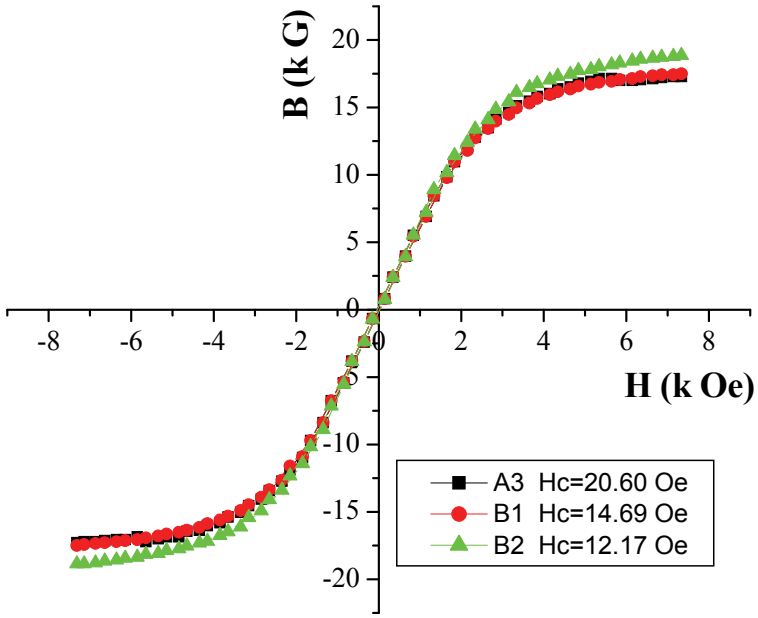


圖 7 磷化時間 90 秒，但不同退火溫度的 A3, B1,B2 試片之磁滯曲線與矯頑磁力

圖7為磷化時間90秒，但不同退火溫度的A3, B1, B2試片之磁滯曲線與矯頑磁力，顯示飽和磁通密度隨著退火溫度的增加而有升高的趨勢。根據研究指出減少磁蕊內部的雜質含量、晶界及晶格變形，能夠降低矯頑磁力並提高飽和磁通密度[5]，但是在粉末冶金的製程中，很難避免鐵粉在水霧化過程產生熱變形(heat distortion)以及壓模過程中產生製程變形(processing distortion)，導致磁蕊內應力增加而使磁性劣化，惟此可經由退火處理釋放內應力而獲得改善[5]。圖中觀察到矯頑磁力隨著退火溫度的升高而下降，而造成矯頑磁力降低的原因也可能是因為壓粉磁蕊內部的酚醛樹酯黏結劑損耗所致[1]。

表3為磷化時間90秒、不同退火溫度壓粉磁蕊之電阻率，發現隨著退火溫度升高電阻率下降，然而磷酸鹽絕緣層可耐熱至600℃[3]，因此電阻率降低的原因不是絕緣層被破壞，而是高溫導致黏結劑損耗因而降低電阻率。

表 3 磷化時間 90 秒，但不同退火溫度壓粉磁蕊試片的電阻率

試片編號	退火溫度	電阻 (Ω-cm)
A3	200℃	3.43×10^{-1}
B1	300℃	1.083×10^{-1}
B2	400℃	0.561×10^{-1}

肆、結論

增加鐵粉的磷化時間可提升壓粉磁蕊的電阻率，有效抑制渦電流損失，並擴大頻率使用的範圍，不過增加磷化時間也造成飽和磁通密度下降、矯頑磁力上升以及導磁率下降等缺點。退火處理能夠釋放製程中產生的內應力、提升磁通密度，但是過高的退火溫度，會因為黏結劑損耗而降低電阻率。本實驗中以磷化時間90秒、退火溫度200℃所製成之壓粉磁蕊，具有較佳的磁特性以及最低鐵損。

參考文獻

1. T. Meada, H. Toyada, N. Igarshi, K. Mimura, T. Nishioka, A. Ikegasa, “Development of Super Low Iron-Loss P/M Soft Magnetic Material”, SEI Technical Review, no. 60, June, 2005, pp. 3-9.

2. K. Gheisari, S. Tavadpour, H. Shokrollahi, B. Hashemi, “Magnetic Losses of the Soft Magnetic Composites Consisting of Iron and Ni-Zn Ferrite”, Journal of Magnetism and Magnetic Material, vol. 320, 2008, pp. 1544-1548.

3. G. Uozumi, M. Watanabe, R. Nakayama, K. Igarashi, K. Morimoto, “Properties of Soft

Magnetic Composite with Evaporated MgO Insulation Coating for Low Iron Loss", Materials Science Forum, vol. 534-536, 2007, pp. 1361-1364.

4. 陳其亮，"錳鋅鐵氧磁體磁熱耦合問題之分析"，私立中原大學機械工程學系碩士學位論文，2001。

5. 汪建民，"粉末冶金技術手冊"，中華民國產業科技發展協會，中華民國粉末冶金協會出版，1984 年 8 月。

6. J. Cros, A. J. Perin, P. Viarouge, "Soft Magnetic Composites for Electromagnetic Components in Lighting Applications", IEEE, 2002, pp. 342-347.

7. S. Yoshiyuk, N. Takao, I. Akihiko, " Development of High-Performance P/M Soft Magnetic Material", Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, vol. 53, no. 8, August, 2006, p 686-695.

8. G. A. Govor, V. V. Mikhnevich, "Soft-Magnetic Composites From Insulated Iron Powder and Their Potential Technological ", ISSN 0020-1685, Inorganic Materials, vol. 43, no. 7, 2007, pp. 711–713.

9. G. Oliver, "Advances in Powder Metallurgy of Soft Magnetic Materials", IEEE Transactions On Magnetics, vol. 31, no. 6, Nov., 1995, pp. 3982-3984.

10. 張煦，李學養譯，"磁性物理學"，聯經公司出版，1981.06 出版。

東南科技大學 東南學報 第三十五期 中華民國九十九年七月出版 第45-53頁

相變化材料應用於電子冷卻效率之改善

Effect Improvement of the Electronic Cooling with the Phase-Change Material

蔡豐欽

Feng-Chin Tsai

Department of Mechanical Engineering Tungnan University

ABSTRACT

Solid-liquid phase-change material (PCM) was put in the cooling system to experiment the cooling efficiency with forced and free heat convection. For high power-density components, the experiment of electronic cooling with PCM by forced convection can not increase the efficiency. The adding of PCM in electronic cooler increases the thermal resistance and makes the cooling effect worse. For low power-density components, some PCM shows good performance to the electronic cooling by free convection. Suitable PCM put in cooler can improve the cooling effect by free convection. In this study, the free convection cooler with PCM-145 of 0.55g/cm^2 content makes the best cooling effect.

Keywords： free convection, cooling efficiency, PCM

摘　　要

本文主要利用固相變液相之相變化材料來對發熱元件作散熱效果之實驗測試，藉由具有不同溶點之相變化材料(PCM)加入冷卻系統中，並以不同量之相變化材料分別作強制對流與自然對流之散熱效果量測。在需要作強制對流散熱之高瓦數發熱功率實驗數據顯示，由於強制對流對散熱面積及對流係數的主導性較大，添加固-液相之相變化材料對於強制對流並無幫助，測試點之溫度並未因添加相變化材料而相對降溫，反而因 PCM 的加入增加熱阻抗而使散熱效果變差。而在低瓦數發熱功率實驗數據顯示，添加固-液相之相變化材料對於自然對流之散熱測試具有相對降溫效果， PCM-145、含量 0.55g/cm^{2}時之散熱效果尤為顯著。

關鍵字：自然對流、散熱效果、相變化材料

1. Introduction

Because electronic equipments tend toward a slim and thin style, the techniques of electronic cooling is more and more important. The general method of removing the heat effectively to the surrounding is to install a cooler. Common cooler involves heat sink and fan. Heat pipe inserting into the cooler is popular now to improve the cooling efficiency. Traditional electronic component is cooled almost with heat sink. The convenience of aluminum extrusion makes the plate fin applied popularly to cool the CPU. Many investigations of electronic cooling technique just focused on the shape of the fin before. As followed with the development of slim PC or notebook, heat generating more than 50W in so narrow space cannot be dissipated only by heat sink and fan, and then dissipating heat by heat pipe has played an important position. The concept and invention of heat pipe was revealed in the USA patents [1,2] early in 1944, and found it decreased the thermal resistance of cooler very much. The research points of heat pipe were focused almost on the work fluids and the wick-structures in order to increase the cooling effect [3-6]. Namba et al. [7] proposed the heat planar heat-pipe, or called heat plate, applied to the notebook CPU and made the cooler lower thermal resistance about 0.3℃/W.

Though latent heat of solid-liquid phase is not so much as that of liquid-gas phase, solid-liquid phase-change material (PCM) has the advantage of lower price and more kinds, so it can be chosen and obtained conveniently. Sartre & Lallemand [8] coated seven kinds of commercial greases on the thin fins to test their cooling efficiency and found that these PCM greases had good promotion of cooling effect. Lamberg et al. [9] used paraffin to be PCM and tested the cooling effect by free convection. They also simulated the thermal solution numerically with FEMLAB software to make a comparison with experimental data. Tan & Tso [10] used a heat storage unit (HSU) filled with PCM of n-eicosane to cool the mobile electronic devices of low power-density, such as PDA. The experiment found that HSU with more PCM would stabilize the operation temperature. Pal & Joshi [11] used PCM of n-triacontane ($C_{30}H_{62}$) to test and observed the melting behavior. It proved solid-liquid PCM had good cooling effect on the low power-density component. Sari [12] combined the melted paraffin with high density polyethylene (HDPE) to make PCM form-stable. The experimental results showed the different ratio of composites could change the latent heat and the melting temperature simultaneously.

The main purpose of this study is to investigate the cooling influence when the solid-liquid PCM is added to electronic cooling system. Cooling with solid-liquid PCM by forced and free convection was experimented respectively to test the cooling effect.

2. Experimental methodology

This experiment was conducted respectively by two set of equipments shown as figure 1. Figure 1(a) shows the experimental set up of forced convection cooling system. An aluminum container was used to place PCM inside. The experiment for comparing the cooling effect when cooling without PCM and at this time the aluminum container would be replaced by another solid aluminum block without PCM inside. Heat sink and fan were set in the forced

convection cooling system. Figure 1(b) shows the experimental set up of free convection cooling system. Heat sink and fan were taken away. T-type thermocouple of 0.127 mm diameter was buried at the center of heater to measure the junction temperature and another thermocouple was put in the container to measure the PCM temperature. Surrounding condition is kept at 40℃ in temperature and 70% in humidity so that the experimental surrounding temperature T_a is 40℃. The data of the junction temperature T_j and PCM temperature T_{PCM} were recorded during the experiment process. Temperature T_j is defined as the value when the recorded temperature was steady. Each T_j data would be the mean value of three experimental data under the same condition.

The aluminum container with a cover below the heat sink was used to put PCM inside. Its bottom area was 100cm^2. Forced convection cooling is usually used for high power-density of electronic component, so power supply of this experiment was 35-50W with per interval of 5W. Free convection cooling is usually used for lower power-density, so power supply of this experiment was 4-13W with per interval of 4W.

Paraffin wax has a very high heat capacity of 2.14-2.9 J/g/K, so it is able to absorb and retain a great amount of heat. A paraffin wax can take advantage of high heat-retaining capacity to transfer heat. As it melts, the paraffin becomes a liquid and is able to retain more heat because of latent heat of 200-220 J/g. Paraffin wax is an excellent material to store heat. The melting point of the paraffin wax is generally about 47-65℃. In this study, paraffin wax with different melting point was selected to be PCM to experiment and named PCM-135, PCM-140, PCM-145 respectively. Their properties were shown in table 1. This study will discuss the cooling effect by using the PCM in the cooling system.

3. Results and Discussion

3.1 Experiments of forced convection cooling

Figure 2 shows the forced convection cooling effect when cooler is filled with different PCM. Figure 2(a) and 2(b) are data plots of PCM-135 and PCM-145. The curve at the bottom is the T_j values shown the cooling result of no PCM inside. T_j values will increase with the heat power P. The data show that, under the same heat power, the T_j values of the cooling with PCM are always higher than the T_j values of the cooling with no PCM. It indicates that the PCM inside the cooler will raise the T_j temperature and instead decrease the cooling effect. As shown in Figure 2(a) and 2(b), the more PCM-135 or PCM-145 content was put, the bigger the slope of data curve got. It means the more content of PCM-135 or PCM-145 would make the cooling effect worse. Both have provided no benefit to the cooling.

Thermal resistance R_t value is used to examine the cooling effect of cooler and defined as the ratio of temperature difference (T_j - T_a) to power P. Figure 3 shows the thermal resistance R_t of forced convection cooling with PCM under the different heat power. The variation of R_t value is very slight at constant PCM content. It shows the change of heat power affects the thermal resistance slightly. The R_t value of cooler with no PCM is about 0.25℃/W. After cooling with PCM, R_t value increased to be about 0.5℃/W, even up to 0.7℃/W. The

addition of PCM under the forced convection only increases the thermal resistance and reduces the cooling effect instead.

From above illustration, as cooling high heat-power elements with forced convection, PCM put in cooling system will be disadvantageous to thermal dissipation. The layer of PCM will only increase the thermal resistance and decrease the cooling effect.

3.2 Experiments of free convection cooling

Figure 4 shows the recorded temperature during the free convection cooling with PCM-145. As shown in figure 4(a), the temperature of heater T_h is always larger than T_{PCM} temperature. T_{PCM} temperature is lower than the melting point of PCM-145, so PCM-145 did not melt during the cooling process and PCM-145 absorbing heat only relied on its heat capacity. As shown in figure 4(b), T_{PCM} has rose to be larger than the melting point of PCM-145 and PCM-145 would melt at the time. PCM-145 can absorb heat by both heat capacity and latent heat when PCM-145 melting. Based on the concept of the first order control system, the time constant of T_h response in figure 4(b) is less than that in figure 4(a). It shows that another absorbing heat by latent heat not only increases the cooling effect but also decreases the stable time. In fact, experiment was observed by video record in figure 4(b) that some liquid PCM had begun to exist and float on the PCM container when T_{PCM} at about 55℃ (T_h at about 67℃). This condition also was found in the experiment of PCM-145 as heater power being 10W. But, when the heater power was large relatively, PCM was too early to become liquid state so that the cooling effect by latent heat would have disappeared. Liquid PCM instead increased the thermal resistance and just decreased the cooling effect. It reveals paraffin-PCM will not suit for free convection cooling when operation temperature of electronic elements is too higher than PCM melting point.

Figure 5 illustrates the free convection cooling effect with PCM under the different heat power. Figure 5(a), 5(b) and 5(c) are data plots of the PCM-135, PCM-140 and PCM-145 respectively. As shown in figure 5(a), the data curves of cooling with different PCM-135 content are above the data curve of cooling with no PCM. The T_j values of cooling with PCM-135 are all larger than the values of cooling with no PCM. It reveals the thermal dissipation of cooling system with PCM-135 is no improvement. As shown in figure 5(b), the T_j values of cooling with PCM-140 overlap more or less the values of cooling with no PCM, and the T_j values in the content of 0.55g/cm^2 are lower than the values of cooling with no PCM. It shows PCM-140 has some cooling improvement. In figure 5(c), the data curves of cooling with PCM-145 have been all lower than the values of cooling with no PCM. The cooling effect with PCM-145 has increased. The cooling system with PCM-145 really benefits the thermal dissipation.

When heat power is less than 4W, as shown in figure 5(a)-(c), the influence of cooling effect with or without PCM is not so obvious. When heat power is 4-13W, the cooler with PCM-145 has shown the good cooling improvement, as shown in figure 5(c). Even the T_j value decreases 3℃ at 10W when compared to the cooling with no PCM. As based on the temperature difference ($T_j - T_a$) of the cooling effect, the cooling efficiency can increase 10%. It indicates that appropriate using PCM to the free convection cooler will promote the cooling

effect. But at higher power more than 13W, the cooler with PCM would not improve cooling effect, even PCM-145. Cooling effect at power 13W is not so good in figure 5(c), and T_j value is far higher than the temperature range of PCM-145 melting point shown in table 1.

Figure 6 illustrates the thermal resistance R_t values of free convection cooling with PCM. The R_t values of free convection cooling are obviously larger than the values of forced convection cooling. Compared with the experiment shown in figure 3, the R_t values of forced convection cooler only had slight variation with the change of heat power. But in figure 6, the R_t values of free convection cooler varied obviously. The values of cooler with no PCM changed from 2.9℃/W to 3.65℃/W. The data curves of PCM-135 had all located above the curve of no PCM, but the data curves of PCM-140 had been some interlaced. In figure 6(c), the data curves of PCM-145 had located below the curve of no PCM. R_t value is convenient to illustrate the cooling effect. PCM-145 shows the fine cooling improvement. A minimum R_t value 2.7 ℃/W was got under the condition of content 0.55 g/cm^2 and heat power 10 W.

4. Conclusion

The experiment of forced convection cooling with PCM shows no help in this study. But, free convection cooling with PCM will get good improvement. The electronic system of low-density power is ordinary cooled by free convection practically in industrial application. This experiment proves the proper using of solid-liquid PCM is advantageous to increase the cooling effect of free convection. PCM has the advantage of low price and many kinds, so it can be chosen and obtained conveniently. The inconvenience of flow in the liquid state of PCM can add the polymer of high melting point [12], like HDPE, LDPE etc., to improve the shape instability. The low price of form-stable PCM may be an attraction in cooling for free convection. In free convection cooling, comparing the method of increasing the size of fin to get more cooling surface, this investigation will provide another method to promote the cooling effect and save the system space in the meantime.

Reference

[1] R. S. Gaugler, Heat transfer device, US Patent US02350348, 1944.

[2] G. M. Grover, Evaporation-condensation heat transfer device, US Patent US03229759, 1966.

[3] D. Dume and D. A. Reay, Heat Pipes, Pergamon Press, Oxford, 1976.

[4] C. C. Silverstein, Desigh and Technology of Heat Pipes For Cooling and Heat Exchange, Taylor & Francis , 1992.

[5] Cotter, T. P., Principles and prospects of micro heat pipes, in: Proc. 5th Int. Heat Pipe Conf., Tsukuba, Japan, 1984, pp.328-335.

[6] Take, K., Furukawa, Y. and Ushioda, S., Fundamental investigation of roll bond

heat pipe as heat spreader plate for notebook computers, IEEE Transaction on Components and Packaging Technologies 23 (1) (2000) 80-85.

[7] Namba, K., Kawabata, K., Niekawa, J. and Kimura, Y., High performance heat-pipe heat sink for notebook PCs, Advances in Electronic Packaging, EEP 26-2 (1999) 2121-2128.

[8] Sartre V., and Lallemand M., Enhancement of thermal contact conductance for electronic systems, *Applied Thermal Engineering* 21 (2001) 221-235.

[9] Lamberg P., Lehtiniemi R., and Henell A. M., Numerical and experimental investigation and freezing processes in phase change material storage," International J. of Thermal Sciences 43 (2004) 277-287.

[10] Tan F. L., and Tso C. P., "Cooling of Mobile Electronic Devices Using Phase Change Materials," *Applied Thermal Engineerin*g, Vol. 24, Feb. 2004, pp. 159-169.

[11] Pal D., and Joshi Y. K., "Melting in a Side Heated Tall Enclosure by a Uniformly Dissipating Heat Source," *International J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44, Jan. 2001, pp. 375-387.

[12] Sari A., "Form-stable Paraffin/High Density Polyethylene Composites as Solid-liquid Phase Change Material for Thermal Energy Storage: Preparation and thermal Properties," *Energy Conversion and Management,* Vol. 45, Aug. 2004, pp. 2033-2042.

Table 1 Specification of PCM

Item (Paraffin wax)	PCM-135	PCM-140	PCM-145	(Test grade)
Melting Point	132~136 ℉ (56~58 ℃)	136~142 ℉ (58~61 ℃)	144~148 ℉ (62~64 ℃)	(ASTM D87)
Oil Content (Max. wt%)	0.5	0.5	0.5	(ASTM D721)
Flash Point (Min. ℃)	220	230	240	(ASTM D92)
KinematicViscosity (at 212℉, cSt)	3.4~4.0	4.2~4.9	4.8~5.6	(ASTM D445)

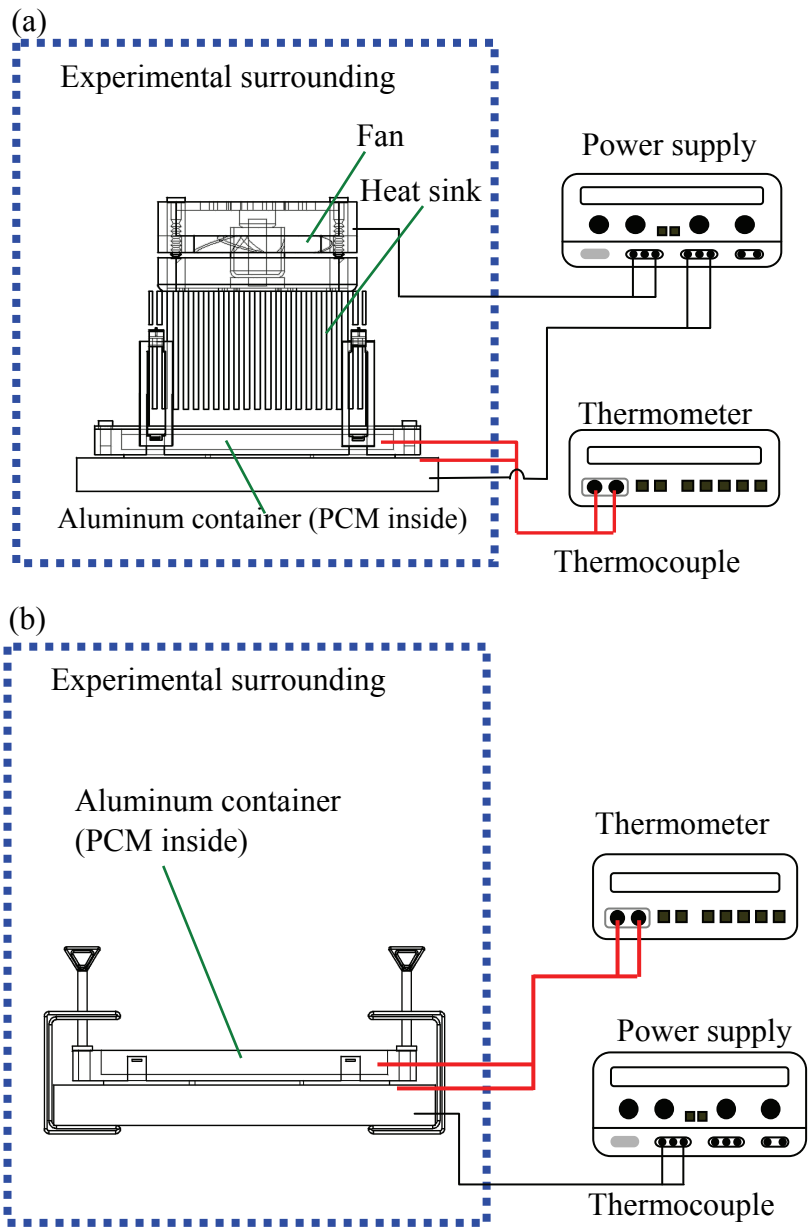


Fig. 1 The experimental set up of cooling system. (a) forced convection cooling system, (b) free convection cooling system.

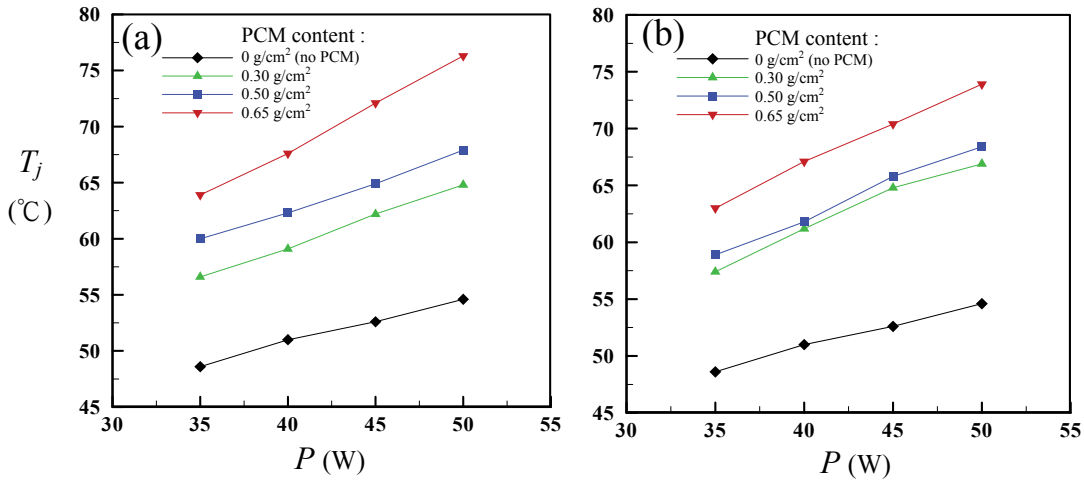


Fig. 2 The forced convection cooling effect: (a) PCM-135, (b) PCM-145.

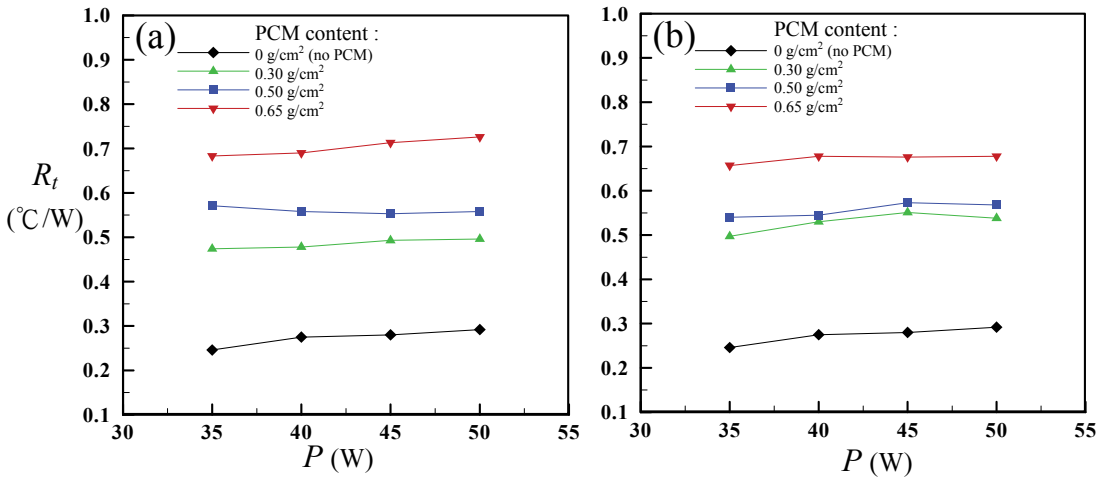


Fig. 3 The thermal resistance of forced convection cooling: (a) PCM-135, (b) PCM-145.

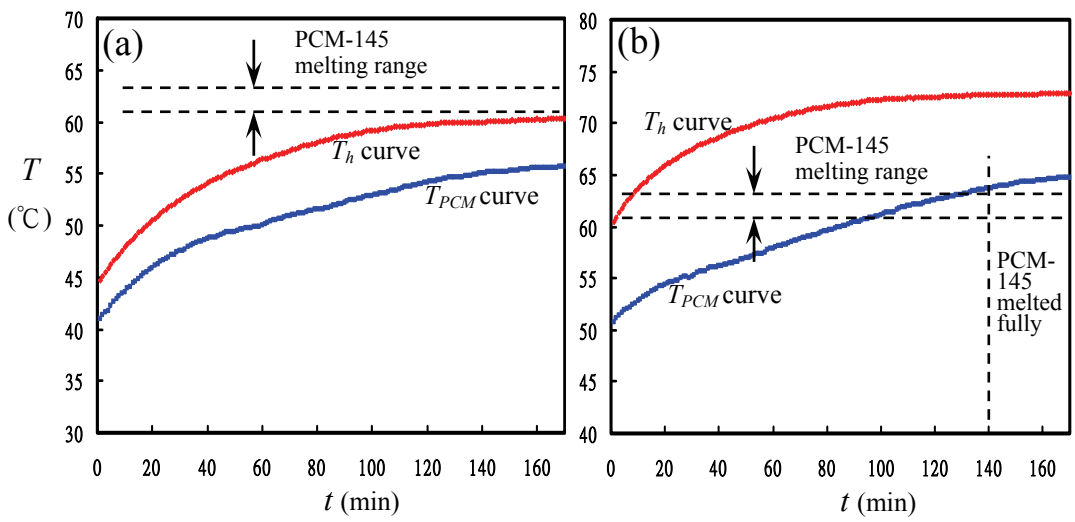


Fig. 4 Temperature rising curves of free convection cooling with PCM-145 (C = 55g/cm^2): (a) P = 7W, (b) P = 12W.

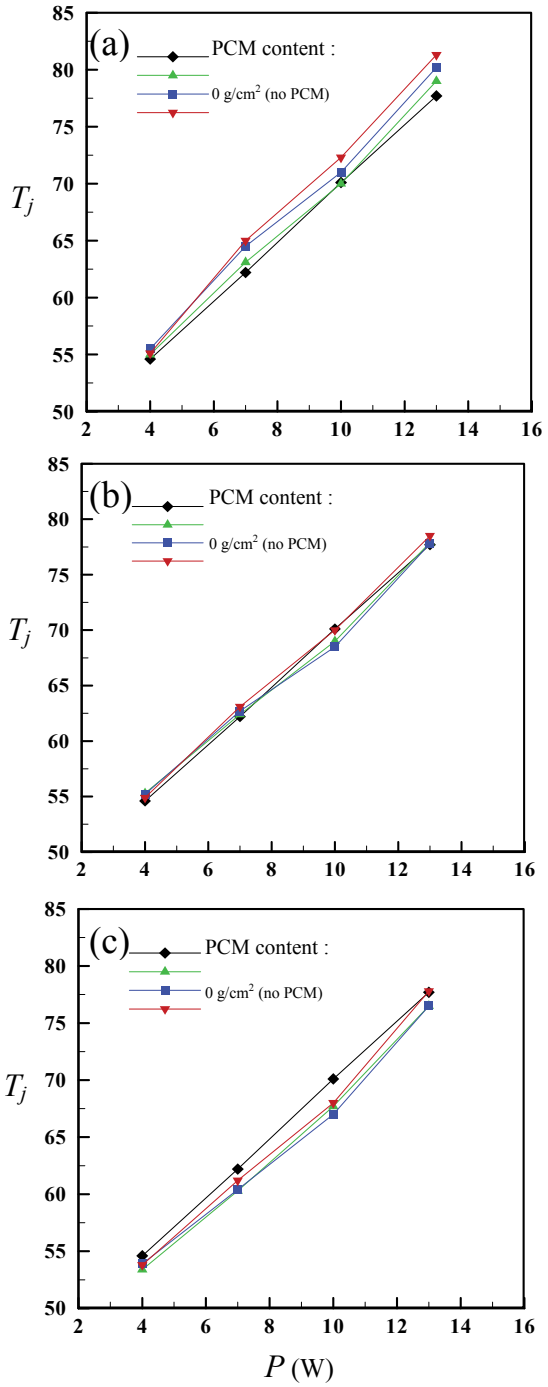


Fig. 5 The free convection cooling effect with PCM under the different heat power: (a) PCM-135, (b) PCM-140, (c) PCM-145.

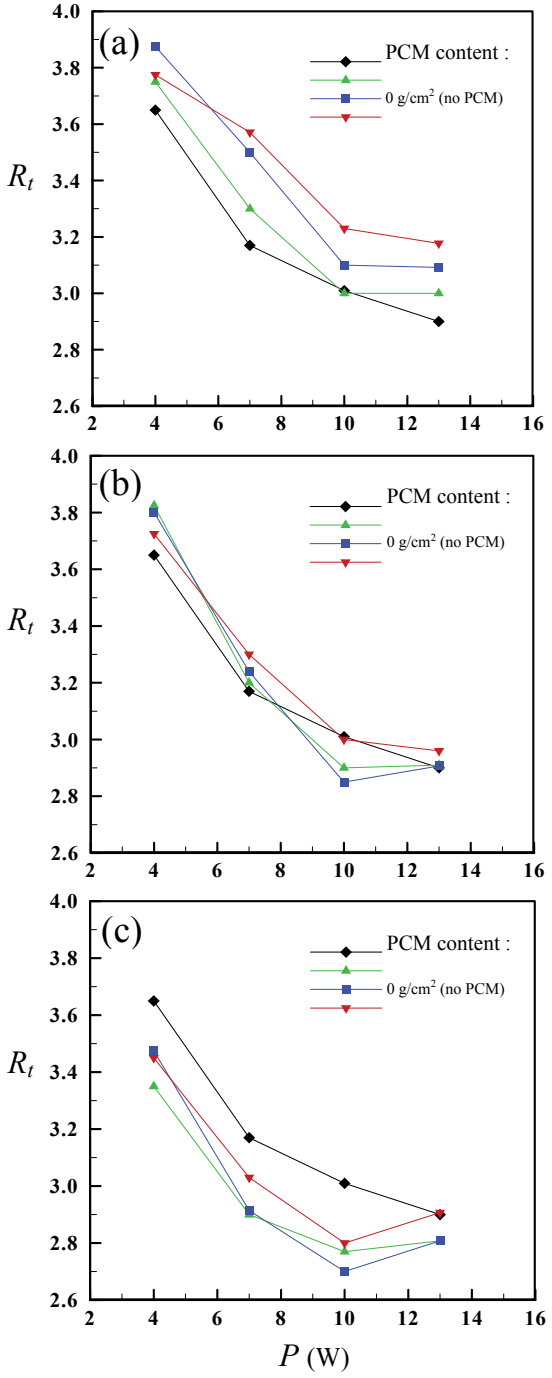


Fig. 6 The thermal resistance of free convection cooling with PCM under the different heat power: (a) PCM-135, (b) PCM-140, (c) PCM-145.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第55-64頁

以純銅進行電解拋光平坦化之研究

The Study on Planarization of Copper Materials by Electrolytic Polishing

黃仁清[1, 2, 3]　詹益峰[1]　陳銘震[3]

Jen-Ching Huang[1, 2, 3]　Yi- Feng Chan[1]　Ming-Chen Chen[3]

[1]東南科技大學 機械系、[2]東南科技大學 微奈米科技研究中心、[3]東南科技大學 機電整合研究所

[1]Department of Mechanical Engineering, Tungnan University, Taipei, Taiwan

[2]Research Center for Micro/Nanotechnology, Tungnan University, Taipei, Taiwan

[3]Institute of Mechatronic Engineering, Tungnan University, Taipei, Taiwan

摘　　要

利用電解拋光的技術可增進銅材料化學機械研磨的效能。而電解拋光的過程中，電解拋光液組成及操作參數，皆為影響平坦化能力的關鍵因素。本文首先以原子力顯微鏡(AFM)量測經機械拋光後之銅塊材的表面形貌與表面粗糙度，且在實驗溶液主成分磷酸(85 wt%)中，添加不同比例的甘油，在鈍化區之電位作用的範圍裡進行電解拋光。而電解拋光後再以原子力顯微鏡(AFM)量測其表面形貌與表面粗糙度，並比較銅塊材進行電解拋光後的表面形貌的差異。實驗後發現銅材料在純磷酸溶液中電解拋光後，表面粗糙度明顯降低由原本的6.921nm (Ra)降低至0.820nm (Ra)，而隨著電解拋光時間的增加，平坦化越明顯，這些現象在不同電解液配方皆會出現，亦說明電解拋光是銅材料平坦化製程的良好加工方式。

關鍵詞：電解拋光，銅，平坦化，電解液

ABSTRACT

The use of electrolytic polishing technology can enhance the performance of copper materials of chemical mechanical polishing. The electro-polishing solutions and working conditions were key points to affect the ability of the planarization. First, the surface morphologies and roughness were analyzed by atomic force microscope (AFM) after mechanical polishing. Subsequently, the sample was polished by electrolytic polishing, and the principal components of electrolytic polishing solution was phosphoric acid (85 wt %

H_3PO_4), and different proportions of glycerol. After electrolytic polishing, an atomic force microscope was used to measure the surface morphology and surface roughness, and compare the copper block material for electrolytic polished surface morphology differences. It is obvious that the roughness decreases from 6.921nm to 0.820nm after electrolytic polishing in H_3PO_4 solution. When the electrolytic polishing time increases, the ability of the planarization improved. We determine that the electrolytic polishing processing method is a reasonable to flatten copper materials.

Keywords: electrolytic polishing, copper material, planarization, electrolyte

壹、前言

電解拋光（electrolytic polishing, EP）在傳統表面處理工業上為一重要的技術。此方法能夠均勻的溶解金屬表面，而得到一平坦且光亮的外層，電解拋光機制示意圖如圖1所示。

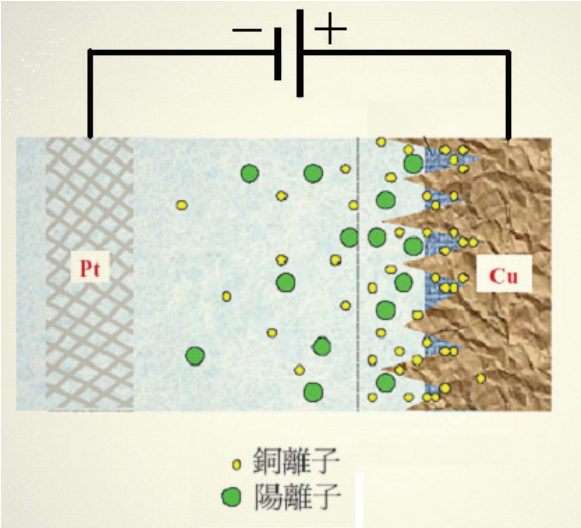


圖 1.電解拋光機制示意圖

電解拋光發展至今已有許多關於電解液配方電壓及電流值變化、反應參數等相關理論的研究與應用時至今日已漸趨成熟[1-3]。ＵＬＳＩ積體電路製作持續微型化至深次微米線寬，晶片內多層導線的訊號傳輸延遲(RC delay) 已為晶片操作速度之瓶頸，故以更低電阻金屬取代鋁合金為導線，而銅正具備此一條件。不過銅在矽中的擴散速率很高，且元件易因銅擴散污染而降低其可靠度，銅又因缺乏易揮發性的無機銅化合物，在應用無法適用乾式蝕刻上。因此長久以來，銅在 IC 元件中導體層應用始終受到極大之限制。直到1990年代中，IBM 公司提出雙鑲嵌或稱雙大馬士革(Dual Damascene)結構，配合化學機械研磨(Chemical Mechanical Polishing, CMP)的製程技術，免除了金屬蝕刻的步驟，解決了銅金屬化製程中圖刻的問題，也奠定了銅製程(Copper process)的發展基礎[4]。 以深次微米半導體製程來說，物體的表面平整度非常重要，而銅材料

之全面平坦化加工，目前僅能以 CMP 為之。由於電解拋光平坦化製程只對金屬銅膜做均勻的溶解，所以可避免銅層與阻障層磨除選擇率的問題及絕緣膜磨耗現象，並可解決化學機械研磨後清潔與溶液浪費以及刮痕問題，增加線上量產的效能。因此如何開發一有效電解拋光液及添加劑，為電解拋光方法應用在深次微米銅導線製程中，成為全域性平坦化技術的一大挑戰[5]。因此已有許多文獻進行電解拋光方法應用在深次微米銅導線製程的研究。曹盛宗[5] 以電解拋光方式將矽晶片上電鍍之銅膜進行拋光，比較各種拋光配方在電解拋光特性範圍之差異性，進而找出最佳之電解拋光條件，並以定電位拋光反應，獲得拋光電流與時間關係圖，用以選取拋光適當時間。但並未直接量測不同拋光時間對拋光後之表面平坦化之影響結果。

黃志昌[6]以電解拋光的進行銅導線、電鍍銅層(Cu Electroplating)階梯差之平坦化以及釐清圖型效應(pattern effect)對銅電解拋光之影響。

由上述文獻可知，探討電解拋光作用時間對拋光後之表面平坦化與光澤化之影響仍不多見。因此本文探討在不同的電解拋光時間下以及不同電解液下對電解拋光後，銅塊材的表面形貌與平坦化效能的影響，從中獲得適當的電解拋光條件。

貳、實驗流程與實驗規劃

2.1實驗流程

本文使用市售純度99.9 wt %之銅塊材，直徑15mm，長度100mm 之圓棒，以線切割機切製成厚2mm 之圓片，在使用鑲嵌機將銅片鑲嵌在電木上，接著將銅試片表面以SiC 砂紙將表面逐步磨平，之後按1.0μm、0.3μm、0.05μm 之粗細大小的氧化鋁粉拋光，再將試片並浸入酒精以超音波清洗震盪後烘乾備用。

以如圖2所示之 Veeco D3100型原子力顯微鏡(atomic force microscope, AFM)量測研磨後的銅材料之表面粗糙度，利用微量天秤與燒杯做溶液的調配後，使用如圖3所示之捷翰科技公司製造，儀器型號為 Jiehan 5000恆電位儀(Potentiostat)做動電位極化曲線以及電解拋光。而電解拋光後的銅塊材，利用 DI 純水和酒精以超音波清洗震盪後烘乾，再以 AFM 量測電解拋光後的表面粗糙度，並將最後結果進行分析與討論。其電解拋光實驗之示意圖如圖4，其中相對電極與工件和魯跟館的位置與距離是固定的。

圖2. Veeco D3100型原子力顯微鏡

圖3. 恆電位儀

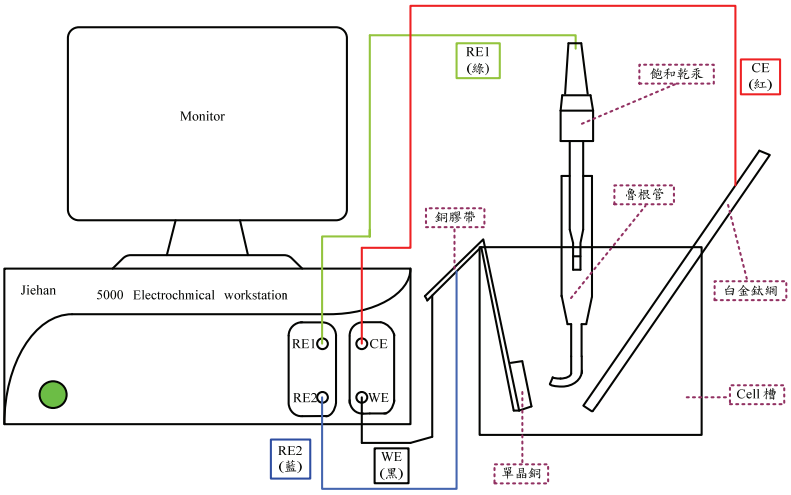


圖4. 電解拋光實驗之示意圖

2.2實驗規劃

本文將銅材料機械拋光後，利用 3 種電解液來做電解拋光，且觀察不同電解液對表面粗糙度的平坦化效能。溶液濃度計算配方如表 1 所示。而為了解電解拋光時間對平坦化的影響，在時間參數上為 20 秒至 100 秒，每時間參數間隔 10 秒，共 9 個。利用陽極循環極化法探討鍍銅矽晶片在不同溶液中、參數下的陽極極化情形，實驗所使用相對電極為白金鈦網，參考電極為甘汞電極(SCE)，掃描範圍從-1000~3000mV，掃描速率為 2mV/s。本文所用之電位均指對於 SCE 而言。

表1 溶液濃度計算配方

配方	85%磷酸溶液量 (cc)	甘油量(cc)	溶液總數(cc)
配方1	200	0	200
配方2	180	20	200
配方3	160	40	200

而為了解電解拋光時間對平坦化的影響，本文提出以平坦化效能分析電解拋光時間對平坦化的影響，平坦化效能(Planarization Efficiency)之定義如下：

平坦化效能 (nm/sec) = (EP前之Ra - EP後之Ra) / (EP作用時間).....(1)

參、結果與討論

本文先將經機械拋光而未經電解拋光之銅塊材以 AFM 進行量測，以得到初始表面形貌與粗糙度，以作為電解拋光後之比較基準。圖5為銅塊材經機械拋光後之2D 與3D之 AFM 表面影像，可得銅塊材經機械拋光後之表面粗糙度 Ra 為6.921 nm。

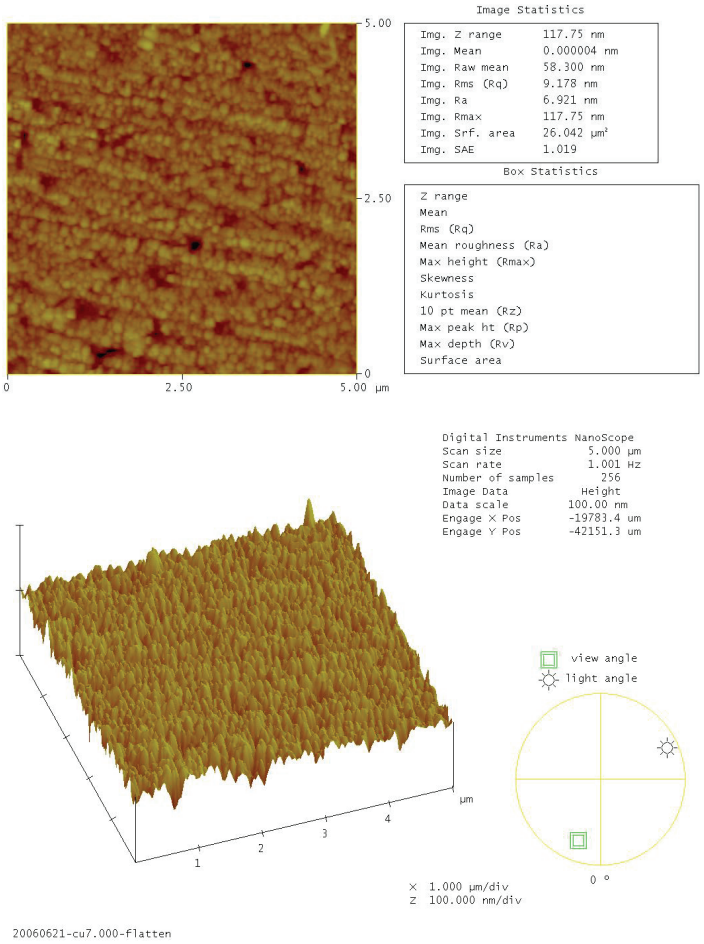
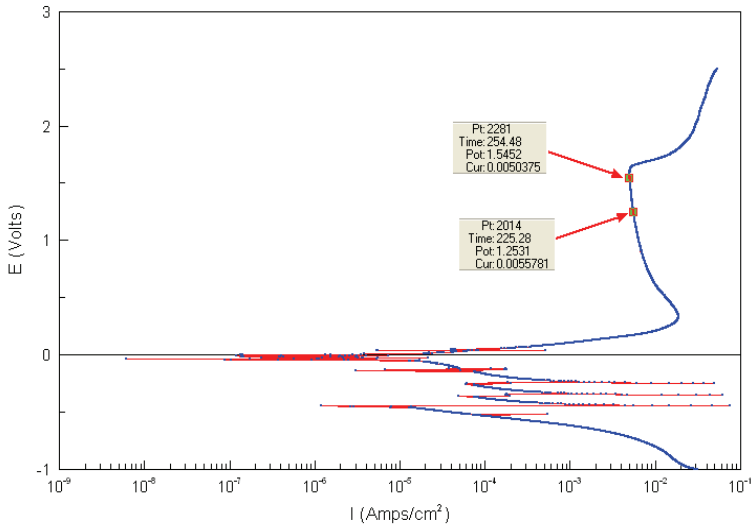


圖5. 銅塊材機械拋光之表面形貌

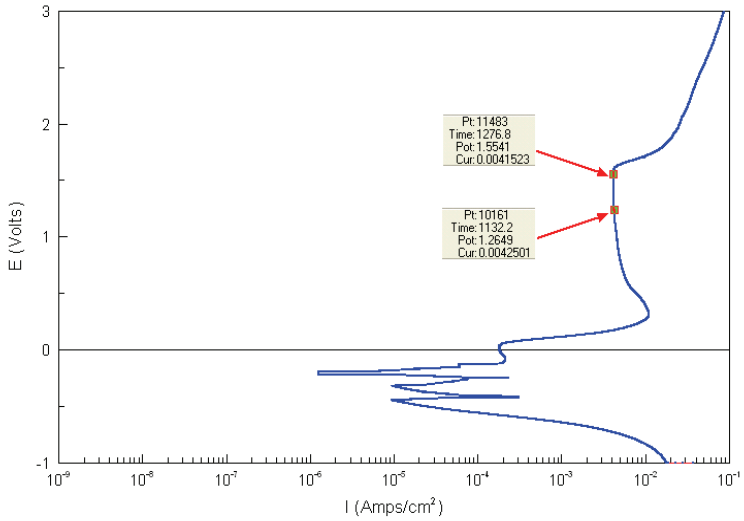
3.1 動電位極化曲線

進行電解拋光時，首先須量測在不同電解溶液中之動電位極化曲線，結果如圖5所示。由圖6(a)中可知，純磷酸溶液最平穩的狀態電位是在1.2至1.5 V，其電流密度為0.0055 ~ 0.0050A/cm^2。由圖6(b)中可知，磷酸180cc加甘油20cc之電解液最平穩的狀態時電位介於1.2至1.5 V，其電流密度為0.0041 ~ 0.0042 A/cm^2。由圖6(c)中可知，磷酸160cc加甘油40cc之電解液最平穩的狀態時電位介於1.0至1.5 V，其電流密度為0.0022 ~0.0028A/cm^2。

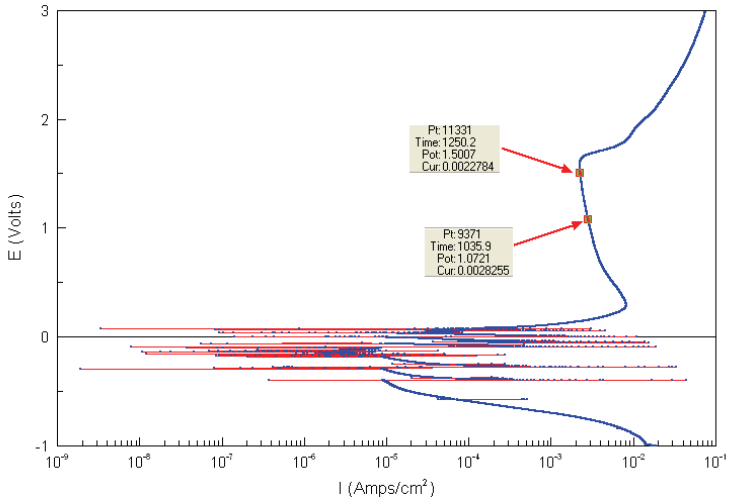
由圖6可發現，隨著甘油的濃度增加，陽極循環極化曲線的電流密度不斷減小，但電解拋光之操作電壓範圍則變化不大。因此本文皆以1.5 V 電位進行銅塊材之電解拋光。



(a)純磷酸



(b)甘油20cc

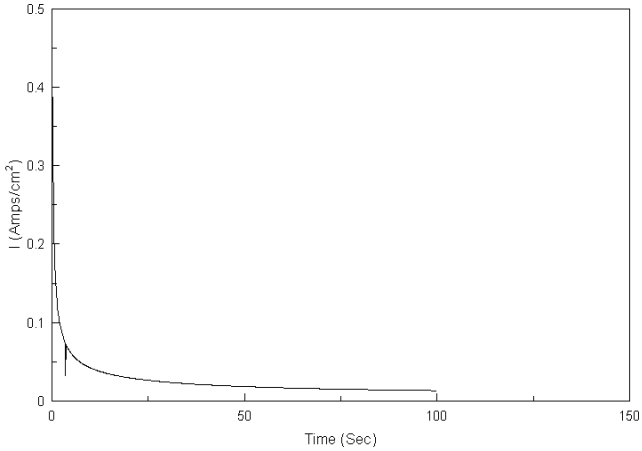


(c)甘油40cc

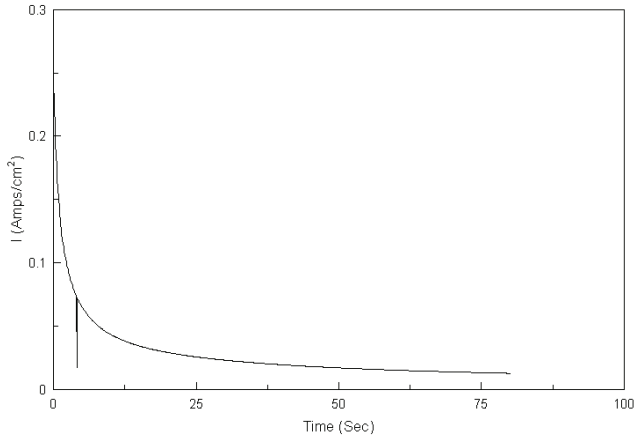
圖6. 不同電解液之動電位極化曲線

3.2 不同電解拋光配方對表面平坦化之影響

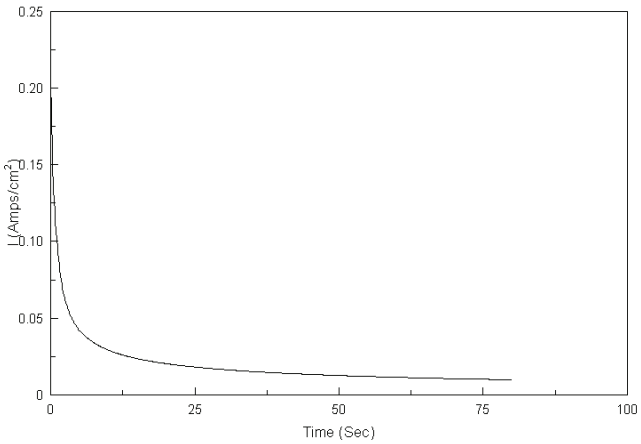
圖7為銅塊材在不同電解溶液下電解拋光過程中其作用時間與作用電壓曲線，由圖7中可以發現隨著電解拋光時間的增加，電流密度皆有呈現變少的趨勢。且由圖中亦可發現，隨著甘油的含量越大，則電解拋光時之電流密度越小。



(a)純磷酸



(b)甘油20cc

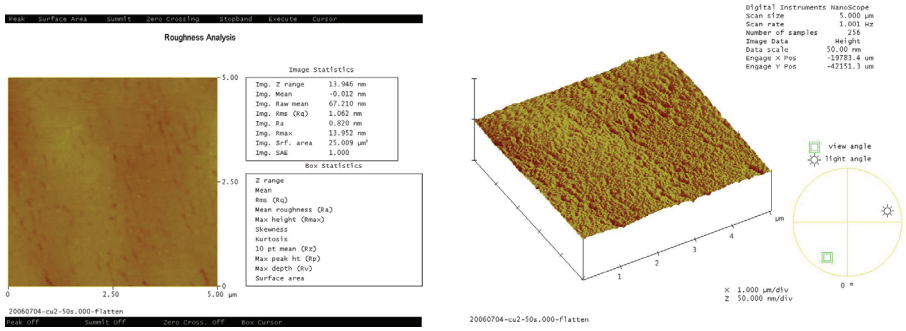


(c)甘油40cc

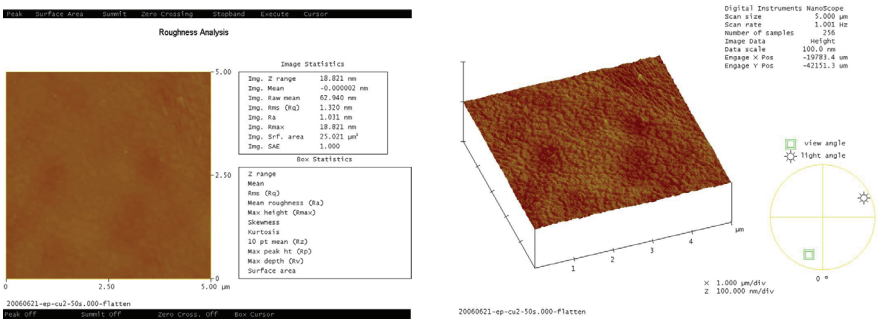
圖7.不同電解溶液下電解拋光過程中作用時間與作用電壓曲線

圖8為不同電解液下進行電解拋光50秒後之 AFM 影像，由圖8可發現，不同電解溶液下銅塊材經電解拋光後的表面形貌皆可得到大幅的改善。且由圖中亦可發現，甘油含量為0時(純磷酸溶液) 電解拋光50秒後之表面粗糙度為0.802nm，甘油含量為20 cc 時所得的表面粗糙度為1.031nm，甘油含量為40 cc 時所得的表面粗糙度為2.935nm。可發現隨著甘油的含量越大，則同樣的電解拋光時間後，表面形貌粗糙度較大。對照圖7可知，其原因應是隨著甘油的含量越大，則電解拋光時之電流密度越小，因此在同樣的電解拋光時間所得的表面形貌平坦化的能力反而變小。

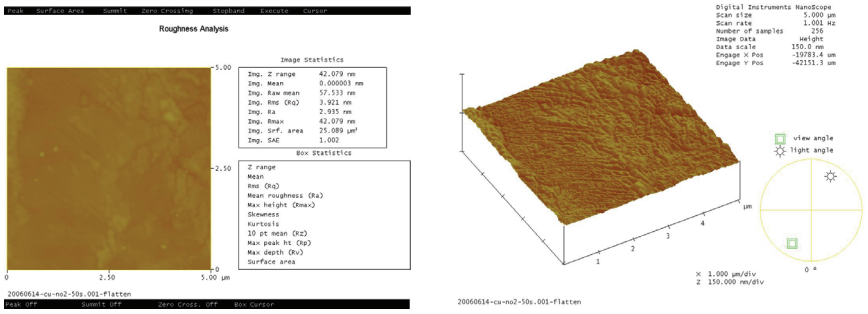
文獻[5]發現磷酸添加甘油後其拋光能力會增加，而本文之成果與文獻[5]的研究成果相反，其原因應為文獻[4]使用的試片為矽晶片上再濺鍍銅薄膜，而本文使用的之試片為銅塊材，所以兩者銅試片的晶粒尺寸差異相當大。再者本文使用的之試片為銅塊材再經機械拋光，因此已加工表面有殘留應力。所以兩者銅試片的表面情況差異相當大，因此才會有此種結果。因此試片表面的前處理條件對後續電解拋光的影響值得後續深入探討。



(a) 純磷酸溶液



(b) 磷酸 160 cc+甘油 20 cc



(c) 磷酸160cc +甘油40cc

圖8.電解拋光50秒後的 AFM 影像

3.3 不同電解拋光時間對表面平坦化之影響

而為了解電解拋光時間對平坦化的影響，本文以平坦化效能分析電解拋光時間對平坦化的影響，圖9為純磷酸溶液在不同電解拋光時間所得的平坦化效能，由圖9可發現隨著電解拋光時間的增加，平坦化效能反而隨之減少。

本文認為其原因如下：原本銅材料表面高低起伏大，所以一開始在電解拋光開始初期，表面粗糙度因減少快，而隨著電解拋光時間的增加，其表面越來越平坦，所以表面粗糙度減少的速度就變慢，因此在電解拋光時間越長，平坦化效能反而變差。

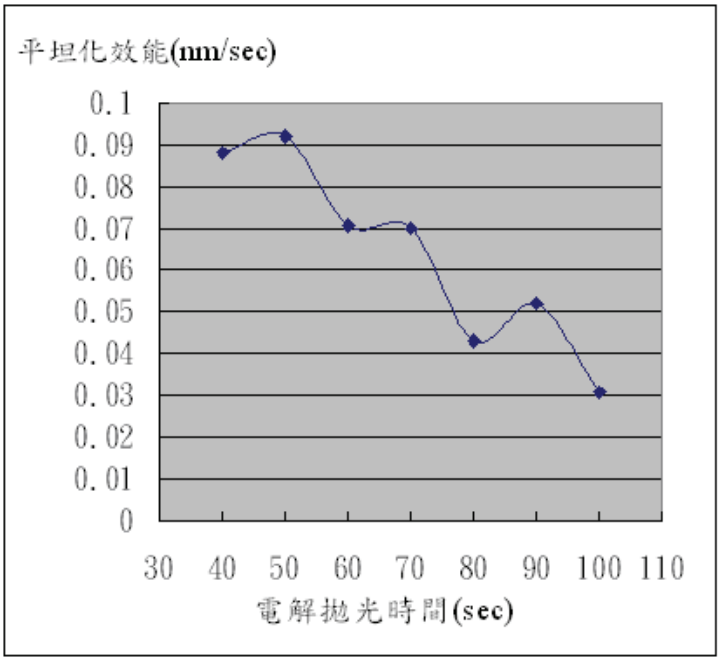


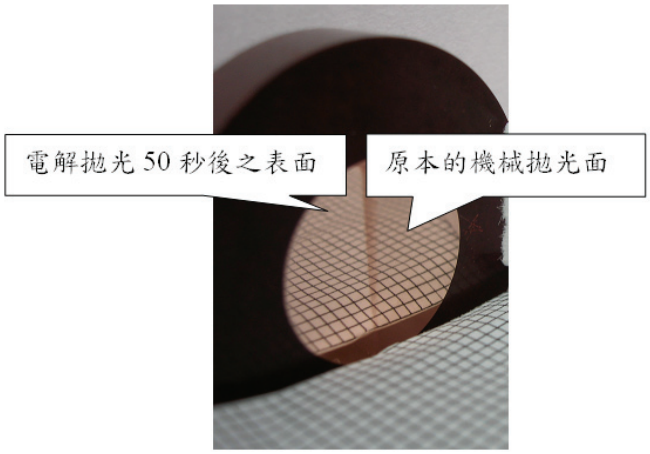
圖9.不同電解拋光時間的平坦化效能

3.4電解拋光液對表面光澤之影響

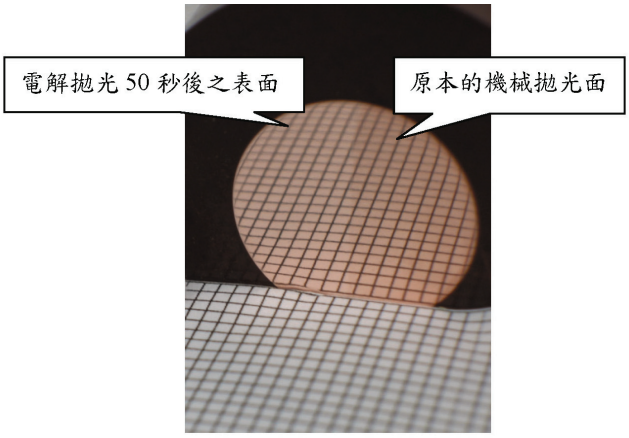
圖10為不同電解拋光配方進行電解拋光50秒後之表面，由圖中之左方機械拋光面與右方電解拋光面上之格子映射影像，其中較暗的為原本的機械拋光表面，較亮的為電解拋光後表面，可發現電解拋光後不僅表面平坦化，且亦會產生光澤化。

肆、結論

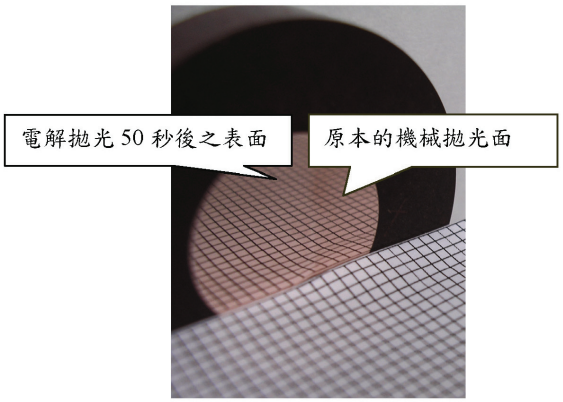
研究後發現電解拋光是銅材料平坦化製程的良好加工方式。分析後發現，平坦化效能會隨著電解拋光時間的增加反而降低，此乃表示較長的電解拋光時間並非是個良好的選擇，本文亦發現可發現電解拋光後不僅表面平坦化，且亦會產生光澤化。



(a)純磷酸



(b)甘油20cc



(c)甘油40cc

圖10.機械拋光與不同電解液下電解拋光後表面光澤比較

參考文獻

1. K. Rosiza, G. Neli and L. Albena, “A new electropolishing technique for metallographic specimen preparation of zinc and zinc alloys”, Materials Characterization, Vol.28, No3, pp.205-211, 1992.

2. S. Murali, M. Ramachandra, K. S. Murthy and K. S. Raman, “Electroplishing of Al-7Si-0.3Mg cast alloy by using perchloric and nitric acid electrolytes”, Materials Characterization, Vol. 38, No.4-5, pp.273-286, 1997.

4. V. B. Singh and B. N. Upadhyay, “The electrochemical behaviour of 9Cr-1 Mo steel in concentrated acid solution mixtures”, Corrosion Science, Vol. 40, No. 4-5, pp. 705-713, 1998.

5. 曹盛宗，鍍銅矽晶片在酸性溶液中之電解拋光研究，國立中央大學機械工程研究所，碩士論文，2004。

6. 黃志昌，ULSI 嵌入式銅導線之電解拋光平坦化研究，國立交通大學材料科學與工程系，碩士論文，2002。

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第65-74頁

應用觀念圖像於數值控制工具機教學上之研究

The study on application of the conception image on the numerical control machine tools teaching

黃仁清[1,2*]　　巫維標[1]

Jen-Ching Huang[1,2*]　　Wei - Piao Wu[1]

[1]東南科技大學 機械系　[2]東南科技大學 機電整合研究所

[1]Department of Mechanical Engineering, Tungnan University, Taipei, Taiwan

[2] Institute of Mechatronic Engineering, Tungnan University, Taipei, Taiwan

摘　　要

數值控制工具機(NC Machine)之應用極為廣泛，一般同學在學習上，常會抱怨指令多，背誦不易。究其原因為缺少圖像式之思考與對指令內容之不熟悉，故本文提出一些簡單之觀念與想法，使學生在學習時，在觀念圖像與指令內涵之建立上皆相當容易。本文在 G17~G19等選擇平面指令，提出一簡單之背誦方式。在 M03、M04(主軸順逆轉)與 G02、G03(圓弧順逆時針切削)方面，本文提出以左手法則來判斷順逆轉。在 G41、G42之刀具半徑補正機能之補正方向方面，本文提出將視線方向與刀具半徑運動方向重合的方法，藉以判斷補正方向。本文提出一個判斷補償方向的方法：將自身的視線與刀具移動方向重合，即可以自身的方位判斷出補償方向。經由圖像上之應用，在實際教學上獲得良好之反應。故可知本文所提出之觀念淺顯易懂，對同學在學習 NC 程式之撰寫上有極大之助益。

關鍵詞：NC 工具機，G 指令，M 指令。

ABSTRACT

The numerical control machine tools have been widely applied. However, there are complains by students that commands are too many to remember. The reasons are the lack of image-type of thinking and unfamiliar it, with the commands. Therefore, some simple concepts and ideas were proposed for students to establish the image concepts and easy to learn commands in this study. This study proposed a simple memory way and help students to remember the G17~G19 commands. In the M03, M04, G02 and G03 commands, the left hand rule was proposed to determine the clockwise and

counterclockwise direction. In the G41, G42 commands, the study proposed a judgment method of compensation direction: One's own sight and direction of cutter movement was coincident, namely can one's own position judge the direction of compensating. By the application of images, we obtained the good response in actual teaching. Therefore, it can be found that these concepts are clear and easy to understand. And it has great benefiting in studying NC program for student.

Keywords: numerical control machine, G command, M command

壹、前言

數值控制工具機(NC Machine)之應用極為廣泛，所以NC工具機產業是一個國家的樞紐工業，NC工具機產業與製造業存著密不可分的關係，NC工具機精益求精的發展，帶動製造業在生產效能及產品精度的表現，因此國內外關於以NC工具機進行研究非常的多。Su et al. [1] 應用田口法規劃金屬銑削實驗，選取的變數包括銑刀鍍層架構、銑削速度、進給率、銑削深度、工件硬度、及銑削形式等，進行刀腹磨耗評估，用以決定最適化碳化鎢銑刀的TiCN 被覆鍍層厚度。Jeffrey and Chang [2]考慮精銑削所需的預留量後，選擇符合特徵加工條件之最大刀徑。Nand [3] 是以最佳化刀具與加工狀況為目標進一步來求得最低的每件生產成本。Lau [4] 發現增加銑削深度與每刃進給量都可以減少生產成本與製造時間，但銑削深度的影響遠大於每刃進給量。Bala and Chang[5] 提出銑削時的刀具進刀方向，是以特徵的自由度為考量依據。Wu[6] 探討以CNC工具機進行超大型平面加工銑削之研究。但是在數值控制工具機之教學研究上的論文就並不多見。

教學是教師的教和學生的學所組成的一種教育活動。用信息論的原理來分析，教學是一種信息傳播的活動；教學內容(知識、技能、思想、意識等)則是各種教學信息。教學信息傳播活動是極為複雜的，與其他信息傳播活動(如新聞傳播)相比，具有自身的特點。教學上的大量事例業以證明：學習者所接受的教學信息的有效輸入並不完全取決於教師所傳授的信息的輸出量，這是因為教學信習在傳輸與變換過程中受到了眾多因素的影響。

而學科教師所確定的教學內容(意義、觀念、想法、感情等)，或稱教學信息，是無法直接傳遞給學習者的，必須透過語言文字與/或圖像符號表現。一般說來，表徵信息的符號可分為語言的和非語言的：語言的有口頭語言和文字；非語言符號包括動作(如表情、手勢、姿勢)、音響(如音樂)、圖形(圖解、示意圖等)和圖像(靜止的畫面和活動圖像)。把內容轉換為符號的工作是編碼。學習者從教材或教師那裡直接感知到的是圖、形或聲的符號。

在教學信息從教師向學習者傳遞的過程中，存在諸多複雜因素，影響信息傳遞的

效率和效果，提高教學信息傳遞的效率和效果，是保證學習成功的基本條件。從信息的傳遞管道來看，不同的傳播媒體也會產生不同的傳播效果。任何形態的信息都要透過人的感官去感知，接受與理解。對感官的不同刺激，必然影響學習效果。如瞭解一靜止事物，幻燈、圖片常可獲得滿意效果。因為圖片可將複雜的、抽像難懂的、或含有很多信息量的學習內容透過圖示來表示，便於教師講授以及學習者理解和記憶[7]。

由上述可知在教學上，若能適當地利用圖像則可使學習者之學習效果提升，但在一般之 NC 工具機之書籍，如[8-11]在 G17、G18、G19與在 G02、G03、M03、M04、G41、G42等之指令方面，介紹常流於文字介紹與某一情況下之圖例而已。並未提記憶技巧，或觀念上之圖像解釋，故本文由增進記憶與建立觀念著手，而在上述 G 指令與 M 指令之教學上提出一些個人之淺見。

貳、平面選擇機能之教學技巧

在 NC 工具機中，G17、G18、G19為平面選擇機能，其中

G17：XY 平面選擇機能

G18：ZX 平面選擇機能

G19：YZ 平面選擇機能

乍看之下非常簡單，但學生即易混淆，故本文提出下列記憶技巧，且此技巧可同時應用於 G02、G03，如圖1所示。

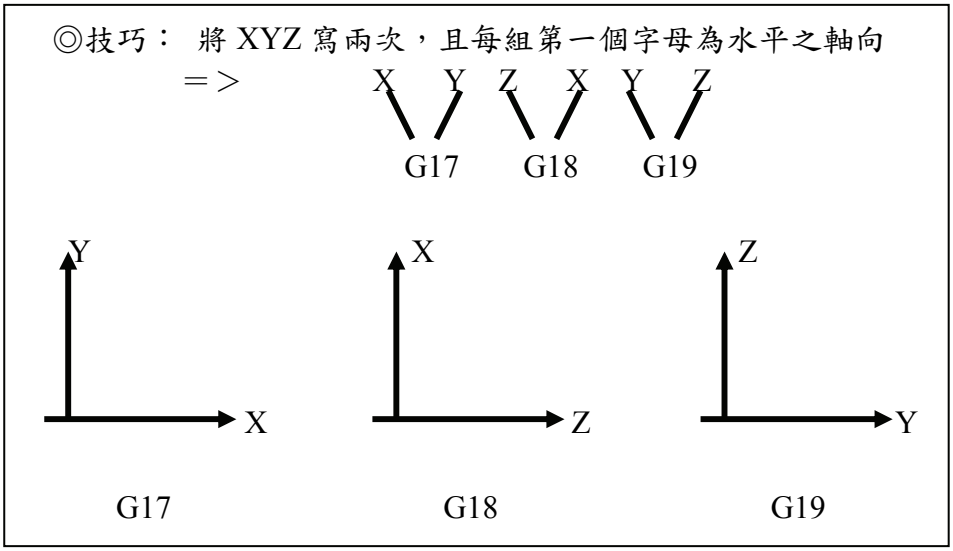


圖1平面選擇機能之記憶技巧圖解

參、順時針、逆時針之觀念

在 G02順時針圓弧切削，G03逆時針圓弧切削與 M03主軸正轉，M04主軸逆轉，其順逆之判斷在 X-Y 平面時，學生皆不會出錯，但在 Y-Z 或 X-Z 平面常會有問題，故本文提出以左手法則來判斷順逆。

左手法則：以大姆指方向為平面之法線正方向，即為另一主軸正軸向。以四指彎曲之方向代表主軸旋轉之正方向，反之則為負方向，如圖2所示。

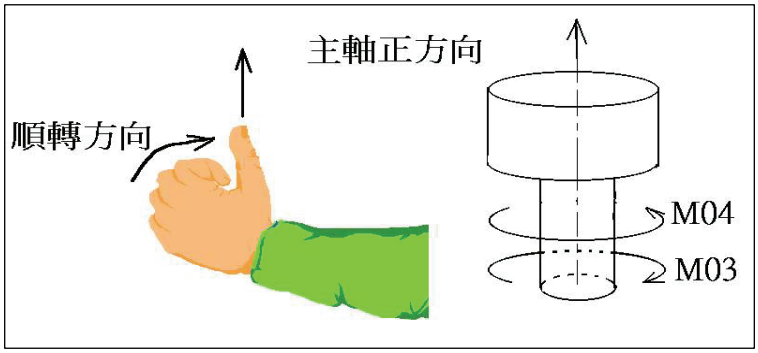


圖2以左手法則判斷順逆方向

而在 G02、G03方面其順逆判斷方式也相同，在平面上或用如圖3空間上，應可看出以左手法則來判斷更是容易。

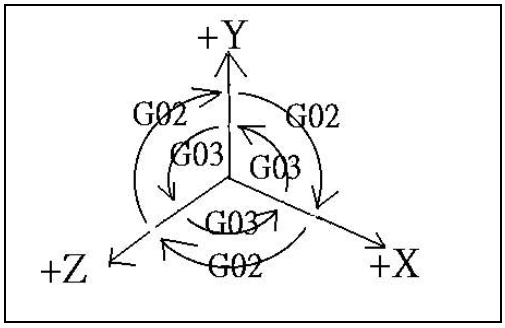


圖3. G02,G03示意圖

肆、刀具半徑補正方向與補正量之計算

在 G41刀具半徑向左補正，G42刀具半徑向右補正之方面，同學在補正方向上常會搞混，而一般之書籍[4-7]也只是提出某一情況下之圖例，而並未提出通則與判斷方式。故本文在刀具半徑補正方向方面提出：所謂向左向右補正方向，是視刀具動路是在程式設計路徑之左右而定。其決定方式為想像人站刀具上，將視點方向與刀具運動方向重合，此時人之左右手方向即為補正之左右方向如圖4、5所示。

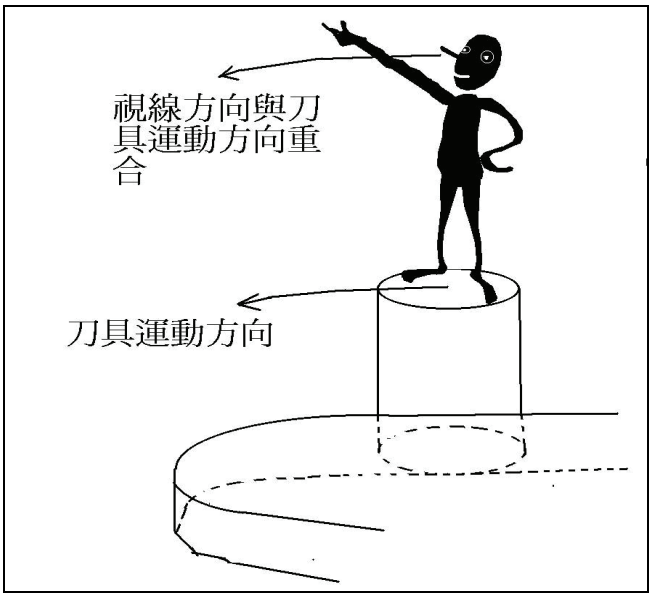


圖4. G42向右補正之想像圖

圖5. G41向左補正之想像圖

而在補正量之計算方面，本文提出：所謂補正量即是刀具中心動路與程式設計路徑之間距，而配合如圖6(a)、(b)之圖像可使初學者極易了解補正量與其有關之計算。由圖6(a)可知同一刀具直徑在不同補正值下之影響，由圖6(b)可知不同刀具直徑在同一補正值下對工件成品尺寸之影響。其中 C、C1與 C2為刀具補正量之值。

成品外輪廓與程式設計路徑之單邊差值之計算公式如公式(1)所示：

$$\text{成品外輪廓與程式設計路徑之差值} = \pm C-(T/2) \qquad (1)$$

其中 T 為刀具直徑，C 為刀具補正量，而 C 值之正負號判斷方式為補正方向在成品輪廓外側取正號，圖6(a)之情況，反之則取負號。

若工件為圓形時，其成品直徑(D_T)如公式(2)所示：

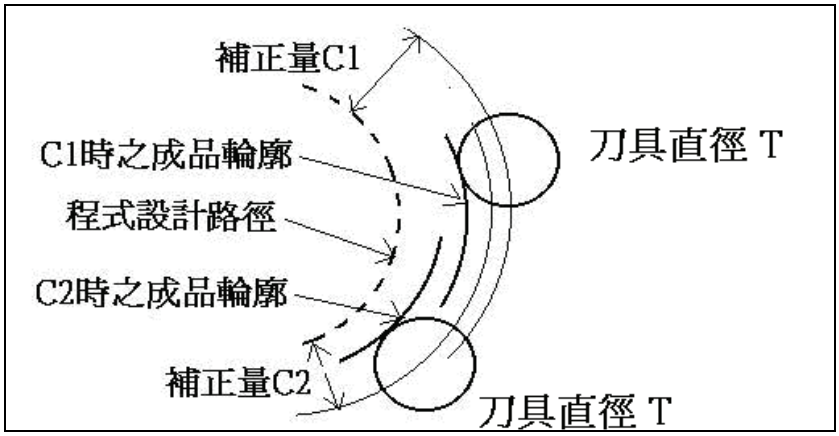
$$D_T = D_P + (\pm 2C) - T \tag{2}$$

其中 D_P 為程式設計時之直徑，D_T 成品直徑，刀具直徑 DT 為刀具直徑，C 為刀具補正量，而 C 值之正負號判斷方式為補正方向在成品輪廓外側取正號，圖6(a)之情況，反之則取負號。

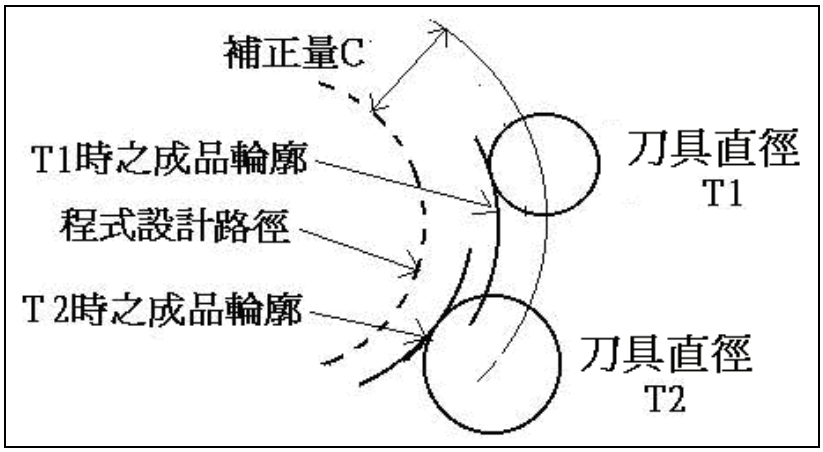
而在實務上，常會碰到使用補正進行加工後成品尺寸比所需的尺寸大，則需再改變補正值，然後以相同之程式再加工，以得到正確之尺寸。其公式如下：

$$C2 = C1 - (De - Dc)/2 \tag{3}$$

其中原補正值為 C1，更改後之補正值為 C2，De 為第一次加工後成品尺寸，Dc 為所需之正確尺寸。



(a) 同一刀具直徑在不同補正值下之影響



(b) 不同刀具直徑在同一補正值下之影響

圖6. 刀具直徑與補正值對工件成品尺寸之影響

伍、實例探討

綜合上述之觀念，本文以一實例來說明，如圖7所示之工件，其程式設計路徑為ψ100mm 之完整圓，假設程式原點在圓心上，工件表面高度為 Z0，其程式如下：

N1　G90 G00 X50. Y-50. Z3. ;

N2　G01 ___ X0 Y-50. D01 F100 ;(填入 G41 或 G42)

N3　Z-10. ;

N4　_____ ; (填入銑完整圓)

由第四節所述判斷之補正方向之方法，只需將想像人站刀具上，將視點方向與刀具運動方向重合，即可知應為向左補正，故序號 N2之空格應填入 G42。

而由第三節所述之左手法則，即可判斷出銑削方向為順轉，故序號 N4之空格應填入 G02 I50. 即可。

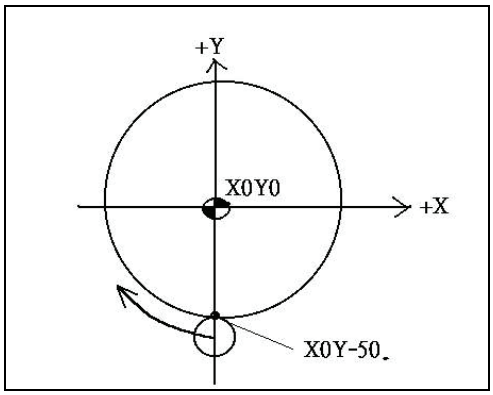


圖7.實例探討之工件

而在補正量之計算方面，仍以圖6為例，其實例如下：

如圖7所示之工件，其加工程式如上所示，補正1號原數值為15.0mm，加工後成品尺寸為 ψ100.16mm，若不計任何誤差，以相同之程式再加工，欲使成品尺寸變為ψ99.0mm，則補正1號內數值應改為多少？

答:：設原補正值為 C1，更改後之補正值為 C2，由圖6(a) 可看出 C1與 C2之關係， 故應用公式(3)即可。

$$C2 = C1 - (100.16 - 99) \div 2$$

$$= 15 - 0.58$$

$$= 14.42\text{mm}$$

陸、量化分析

為了解學生對記憶技巧與圖像觀念融入數值控制工具機教學中的接受程度，本文研究以問卷進行調查，問卷共有8題，回收問卷共55份，其統計結果如表一所示。

由表一之統計結果顯示，將記憶技巧與圖像觀念融入數值控制工具機教學中，學生的滿意度達4.34，表示經由記憶技巧與圖像觀念之應用，在實際教學上獲得良好之反應。故可知本文所提出之觀念淺顯易懂，對同學在學習 NC 程式之撰寫上有極大之助益。

表一 數值控制工具機教學學生學習滿意度統計

數值控制工具機學生學習滿意度統計							
題號	題 目	同意程度(得分高到低) N=55					平均
		5	4	3	2	1	
1	我覺得將記憶技巧融入數值控制工具機教學中，可讓我快速增進對 NC 指令的了解。	30	10	15	0	0	4.27
2	我覺得將記憶技巧融入數值控制工具機教學中，可讓我熟悉對 NC 指令的使用。	31	12	12	0	0	4.35
3	我覺得將記憶技巧融入數值控制工具機教學中，可提昇我的 NC 程式撰寫能力。	24	14	10	7	0	4.0
4	我覺得將圖像觀念融入數值控制工具機教學中，可讓我增進對 NC 指令的認識。	35	16	4	0	0	4.56
5	我覺得將圖像觀念融入數值控制工具機教學中，可讓我增進對 NC 指令的觀念釐清。	30	13	12	0	0	4.33
6	我覺得將記憶技巧與圖像觀念融入數值控制工具機教學中，可減輕我學習此課程的壓力。	31	20	4	0	0	4.49
7	我覺得將記憶技巧與圖像觀念融入數值控制工具機教學中，可增進我學習此課程的動力。	22	21	8	3	1	4.09
8	我喜歡記憶技巧與圖像觀念，因為可使教學活潑化。	36	19	0	0	0	4.65
總平均							4.34

柒、結論

本文提出一些簡單之觀念與想法，使初學者在學習時，可用圖像之觀念來了解指令內涵與用法，以增加學習效率。

1.在 G17、G18、G19等選擇平面指令，提出一簡單之背誦方式。

2.在 M03、M04(主軸順逆轉)與 G02、G03(圓弧順逆時針切削)方面，本文提出以左手法則來判斷順逆轉。

3.在 G41、G42之刀具半徑補正機能之補正方向方面，本文提出將視線方向與刀具半徑運動方向重合，來判斷何謂向左？何謂向右補正？並說明所謂向左向右補正方向，是視刀具動路是在程式設計路徑之左右而定。

4.在 G 41、G42刀具半徑補正機能之補正量與補正誤差方面，本文提出所謂補正量即是刀具中心動路與程式動路間距的看法，

5.在補正量計算方面，以圖解之方式配合補正量之觀念即可容易了解與計算。

經由圖像上之應用，在實際教學上獲得良好之反應。故可知本文所提出之觀念淺顯易懂，對初學者在學習 NC 程式之撰寫上有極大之助益。

參考文獻

1. Y. L. Su, S. H. Yao, C. S. Wei, and C. T. Wu, “Analyses and Design of A WC Milling Cutter with TiCN Coating,” *Wear*, Vol. 215, pp. 59-66, 1998.

2. J. S. Southwood and T. C. Chang, “A single feature approach to automatic NC code generation for 2 1/2-dimensional primatic features”, Journal of Design and Manufacturing”, Vol. 4, pp. 115-127, 1994.

3. N. K. Jha, “A set-theoretic automatic selection of cutting tools in manufacturing system”, Journal of Materials Processing Technology, 65, pp. 99-106, 1997.

4. T. L. Lau, “Optimization of milling conditions”, PhD thesis, University of Manchester, UK, 1987.

5. M. Bala and T. C. Chang, “Automatic cutter selection and optimal cutter path generation for prismatic parts”, INT. J. PROD. RES., Vol 29, No. 11, pp 2163-2176, 1991.

6. W. P. Wu, “Investigation of the effects of face-milling parameters of ultra-large-scale plane on milling quality”, Int J Adv Manuf Technol, Vol. 37, pp 241–249, 2008.

7.張祖祈，朱純，胡頌華，教學設計－基本原理與方法，五南圖書出版公司，pp15-19，民國84年。

8.徐永源，數控工具機，高立圖書公司，民國87年。

9.張士行，數控工具機及實習，新科技圖書公司，民國85年。

10.陳春池，陳進郎，數值控制機械，全華圖書公司，民國83年。

11.巫維標，數控工具機，文京圖書公司，民國84年。

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第75-87頁

微觀力學及多相複合材料含有隨機分佈交互作用不同性質置入相之有效彈性模數

Micromechanics and Effective Elastic Moduli of Multiphase Composites Containing Randomly Dispersed Interacting Spherical Inclusions of Different Properties

林秉如

P. J. Lin

Department of Construction Technology, Tungnan University, Taipei, Taiwan.

Abstract

A micromechanics-based analytical framework is proposed to investigate effective mechanical properties of multiphase composites containing various phases of randomly dispersed yet pairwisely interacting spherical inclusions in this paper. Specifically, the inclusion phases feature different elastic properties. Approximate local solutions for the interaction problem of two randomly located spherical particles of distinct elastic properties are presented. By employing the approximate, probabilistic particle interaction formulation coupled the statistical ensemble-volume average field equations, the two non-equivalent formulations are considered in detail to derive effective elastic moduli of multiphase composites. Comparison with experiment data and Mori-Tanaka method, the current approach gives better predictions on the effective moduli of multiphase composites. Moreover, the suggested solutions can be expressed in a simple explicit form and very convenient for applications.

Keywords: Micromechanics; Elastic properties; Particle interaction; multiphase composites.

摘　　要

本文提出一以微觀力學為基礎分析之架構來研究多相複合材料之有效機械性質，其中複合材料含有多種隨機分佈成對交互作用之置入相，且置入相具有不同彈性性質。推導兩隨機安排不同彈性球型顆粒交互作用問題的局部近似解。藉由兩顆粒局部

近似解及統計整體體積平均場之方程式，以兩種不同模式來推導多相複合材料有效彈性模數之表示式。比較文獻中之實驗資料及 Mori-Tanaka 方法，本研究方法在預測多相複合材料有效彈性模數上得到不錯的預測值，進而將所推得的公式，以簡易方式表達，供方便使用。

關鍵字：微觀力學、彈性性質、顆粒交互作用、多相複合材料。

1. Introduction

Many approaches have been proposed for predicting effective elastic moduli of heterogeneous composites in review articles. The first school, originating from the pioneer work of Voigt and Reuss, obtains lower and upper bounds for effective properties. By incorporating additional microstructural information and using variational principles, a class of improved bounds have been proposed by, e.g., Hashin and Shtrikman [1], Silnutzer [2], and Milton [3]. Hashin and Shtrikman's bounds are narrower than the Voigt and Reuss bounds. The second school is known as the "effective medium methods" for micromechanical estimation of effective moduli of heterogeneous composites. This category includes the self-consistent scheme (Budiansky [4]), the generalized self-consistent method (Kerner [5]), and the Mori–Tanaka method (Mori and Tanaka [6], and Weng [7]).

The third school aims at direct micromechanics prediction of effective properties of composites containing randomly located and interacting inclusions by using some approximations, or by featuring special configurations for inclusions embedded in the matrix; see, Lin and Ju [8] and Chen and Acrivos [9].

In Ju and Chen [10], a micromechanical approach, formulated from the eigenstrain concept of Eshelby [11] and the ensemble-volume average concept, was presented to determine effective elastic moduli of two-phase isotropic composites containing randomly dispersed identical spherical particles.

The primary objective of the present paper is to extend the framework of Ju and Chen [10] to predict effective elastic moduli of multiphase composites based on mechanical properties of the constituent phases, volume fractions and spatial distributions of the particles. Inter-particle interactions are considered for the elastic problem.

2. Approximate local solutions for the interaction problem of two spheres of different elastic properties

In this paragraph, we focus on the derivation of approximate solutions of the randomly located two-sphere interaction problem. Consider two spheres Ω_g and Ω_h with phases *g*, *h*, respectively, suspended in a linearly elastic isotropic matrix (phase 0); see Fig. 1.

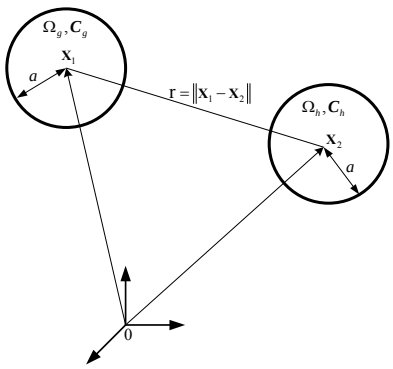


Figure 1. Schematic diagram for the two-particle interaction problem.

Following the eigenstrain concept introduced by Eshelby [11], the perturbed strain field $\boldsymbol{\varepsilon}'(x)$ induced by particles can be related to the specified eigenstrain $\boldsymbol{\varepsilon}^*(x)$ by replacing the particles with the matrix material. The key equation can be rephrased as follows:

$$\mathbf{C}_i : [\boldsymbol{\varepsilon}^0 + \boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{x})] = \mathbf{C}_0 : [\boldsymbol{\varepsilon}^0 + \boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{x}) - \boldsymbol{\varepsilon}^*(\mathbf{x})], \qquad i = g, h \tag{1}$$

where $\mathbf{C}_0$ and $\mathbf{C}_i$ are the linearly elastic isotropic stiffness tensor of the matrix and inclusions (phase *i*), respectively. Note that $\boldsymbol{\varepsilon}^0$ is the uniform strain field induced by the far-field loads for a homogeneous matrix material only. The perturbed strain field induced by the distributed eigenstrain $\boldsymbol{\varepsilon}^*(x)$ in a representative volume element *V* reads

$$\boldsymbol{\varepsilon}'(\mathbf{x}) = \int_V \mathbf{G}(\mathbf{x} - \mathbf{x}') : \boldsymbol{\varepsilon}^*(\mathbf{x}')\, d\mathbf{x}' \tag{2}$$

where $\mathbf{x}, \mathbf{x}' \in V$ and the components of Green's function tensor **G** take the form

$$\begin{aligned}\mathbf{G}_{ijkl}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') = \frac{1}{8\pi(1-\nu_0)\|\mathbf{x}-\mathbf{x}'\|^3}[(1-2\nu_0)(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk} - \delta_{ij}\delta_{kl}) + 3\nu_0(\delta_{ik}n_j n_l \\ +\delta_{il}n_j n_k + \delta_{jk}n_i n_l + \delta_{jl}n_i n_k) + 3\delta_{ij}n_k n_l + 3(1-2\nu_0)\delta_{kl}n_i n_j - 15 n_i n_j n_k n_l],\end{aligned} \tag{3}$$

where $i, j, k, l = 1, 2, 3$, δ_{ij} is the Kronecker delta, ν_0 reads the Poisson's ratio of the homogeneous matrix and the normal vector is defined as $n = (\mathbf{x} - \mathbf{x}')/\|\mathbf{x} - \mathbf{x}'\|$. The symbol

"||•||" signifies the norm of a vector. Throughout the paper, the colon symbol "**:**" denotes the tensor contraction between a fourth-rank tensor and a second-rank tensor, while the dot symbol "•" represents the tensor multiplication between two four-rank tensors.

From Eqs. (1) and (2), we have

$$-\mathbf{A}_i : \boldsymbol{\varepsilon}^*(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\varepsilon}^0 + \int_V \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \boldsymbol{\varepsilon}^*(\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}' \ , \quad \text{for} \quad \mathbf{x} \in V, \tag{4}$$

$$\text{where} \quad \mathbf{A}_i \equiv (\mathbf{C}_i - \mathbf{C}_0)^{-1} \bullet \mathbf{C}_0 . \tag{5}$$

Within the present two-sphere interaction context, the integral Eq. (4) can be recast as

$$-\mathbf{A}_i : \boldsymbol{\varepsilon}^*_{(i)}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\varepsilon}^0 + \int_{\Omega_i} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \boldsymbol{\varepsilon}^*_{(i)}(\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}' + \int_{\Omega_j} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \boldsymbol{\varepsilon}^*_{(j)}(\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}', \quad i \neq j, \quad i, j = g, h \tag{6}$$

where $\mathbf{x} \in \Omega_i$, and $\boldsymbol{\varepsilon}^*_{(i)}(\mathbf{x}')$ is the eigenstrain at $\mathbf{x}'$ in the i-th sphere within the domain Ω_i.

Dropping the last term in the right-hand side of Eq. (6), which represents the interaction effect owing to the other sphere, we can construct the noninteracting (first-order) solution for the eigenstrain, denoted by $\varepsilon^{*0}_{(i)}$ for the i-th sphere. That is, one obtains

$$-\mathbf{A}_i : \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(i)} = \boldsymbol{\varepsilon}^0 + \mathbf{s} : \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(i)}, \tag{7}$$

where $\mathbf{s}$ is the Eshelby's tensor for a spherical inclusion, and takes the form

$$\mathrm{s}_{ijkl} = \frac{1}{15(1-\nu_0)} \left\{ (5\nu_0 - 1)\delta_{ij}\delta_{kl} + (4 - 5\nu_0)\left(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}\right) \right\}. \tag{8}$$

Therefore, the effect of inter-particle interactions can be derived by subtracting the noninteracting solution Eq. (7) from Eq. (6) :

$$-\mathbf{A}_i : \mathbf{d}^*_{(i)}(\mathbf{x}) = \int_{\Omega_j} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}' : \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(j)} + \int_{\Omega_i} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \mathbf{d}^*_{(i)}(\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}'$$

$$+ \int_{\Omega_j} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \mathbf{d}^*_{(j)}(\mathbf{x}')\, \mathbf{d}\mathbf{x}', \qquad \text{for} \quad \mathbf{x} \in \Omega_i, \qquad i \neq j \qquad i, j = g, h \tag{9}$$

$$\text{in which} \quad \mathbf{d}^*_{(i)}(\mathbf{x}) \equiv \boldsymbol{\varepsilon}^*_{(i)}(\mathbf{x}) - \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(i)}. \tag{10}$$

In order to obtain the higher-order interaction effect for $\boldsymbol{\varepsilon}^*_{(i)}(\mathbf{x})$, we may expand the fourth-rank tensor $\boldsymbol{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}')$ in the domain Ω_j with respect to its central point $\mathbf{x}_j$; i.e.,

$$\mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') = \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j) - (\mathbf{x}'-\mathbf{x}_j):[\nabla_{\mathbf{x}} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j)] + \frac{1}{2}[(\mathbf{x}'-\mathbf{x}_j)\otimes(\mathbf{x}'-\mathbf{x}_j)]:[\nabla_{\mathbf{x}} \otimes \nabla_{\mathbf{x}} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j)] + \ldots \quad (11)$$

where $\nabla_{\mathbf{x}'} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') = -\nabla_{\mathbf{x}} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}')$ (12)

has been utilized. Substituting Eq. (11) into Eq. (9) yields

$$-\mathbf{A}_i : \mathbf{d}^*_{(i)}(\mathbf{x}) = \int_{\Omega_j} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}')\,\mathbf{d}\mathbf{x}' : \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(j)} + \int_{\Omega_i} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}') : \mathbf{d}^*_{(i)}(\mathbf{x}')\,\mathbf{d}\mathbf{x}'$$

$$+\Omega_j\, \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j) : \overline{\mathbf{d}}^*_{(j)}(\mathbf{x}_j) - \Omega_j a_j\, \{\nabla_{\mathbf{x}} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j)\} : \overline{\mathbf{P}}^*_{(j)} + \frac{1}{2}\Omega_j\, a_j^2\, \{\nabla_{\mathbf{x}} \otimes \nabla_{\mathbf{x}} \otimes \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_j)\} : \overline{\mathbf{Q}}^*_{(j)} + .. \quad (13)$$

for $\mathbf{x} \in \Omega_i$ and $i \neq j$ $(i, j = g, h)$. Here $\Omega = \Omega_i = \Omega_j = 4\pi a^3/3$ denotes the volume of a spherical particle, and $a = a_i = a_j$ is its radius. Further, the averaged fields involved in Eq. (13) are defined as follows:

$$\overline{\mathbf{d}}^*_{(j)} \equiv \frac{1}{\Omega_j} \int_{\Omega_j} \mathbf{d}^*_{(j)}(\mathbf{x})\,\mathbf{d}\mathbf{x} \quad (14)$$

$$\overline{\mathbf{P}}^*_{(j)} \equiv \frac{1}{\Omega_j a_j} \int_{\Omega_j} (\mathbf{x}-\mathbf{x}_j) \otimes \mathbf{d}^*_{(j)}(\mathbf{x})\,\mathbf{d}\mathbf{x} \quad (15)$$

$$\overline{\mathbf{Q}}^*_{(j)} \equiv \frac{1}{\Omega_j a_j^2} \int_{\Omega_j} (\mathbf{x}-\mathbf{x}_j) \otimes (\mathbf{x}-\mathbf{x}_j) \otimes \mathbf{d}^*_{(j)}(\mathbf{x})\,\mathbf{d}\mathbf{x} \quad (16)$$

The third-rank tensor $\overline{\mathbf{P}}^*_{(j)}$ and the fourth-rank tensor $\overline{\mathbf{Q}}^*_{(j)}$ correspond to the dipole and quadrapole of $\mathbf{d}^*_{(j)}$ in the domain Ω_j, respectively. Due to the spherical symmetry of particles, the leading order of $\overline{\mathbf{P}}^*_{(j)}$ is of the order $O(\rho^4)$, rather than $O(\rho^3)$, by substituting Eq. (15) into Eq. (13). Here, $\rho \equiv a/r$, and r designates the spacing between the centers of two interacting spheres. By implementing the volume average in Eq. (13) for the domain Ω_i and omitting those terms of higher order moments, the approximate equations $\overline{\mathbf{d}}^*_{(i)}$ for the local two-sphere interaction problem can be shown:

$$-\mathbf{A}_i : \overline{\mathbf{d}}^*_{(i)} = \mathbf{G}^2(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) : \boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(j)} + \mathbf{s} : \overline{\mathbf{d}}^*_{(i)} + \mathbf{G}^1(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) : \overline{\mathbf{d}}^*_{(j)} + O(\rho^8) \quad (17)$$

where $\mathbf{G^1} \equiv \int_{\Omega_g} \mathbf{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_2)d\mathbf{x} = \int_{\Omega_h} \mathbf{G}(\mathbf{x}_1-\mathbf{x})d\mathbf{x} = \frac{1}{30(1-\nu_0)}(\rho^3\mathbf{H^1}+\rho^5\mathbf{H^2}),$ (18)

$$\mathbf{G^2} \equiv \frac{1}{\Omega}\int_{\Omega_g}\int_{\Omega_h} \boldsymbol{G}(\mathbf{x}-\mathbf{x}')d\mathbf{x}'d\mathbf{x} = \frac{1}{30(1-\nu_0)}(\rho^3\mathbf{H^1}+2\rho^5\mathbf{H^2}), \tag{19}$$

and the components of $\mathbf{H^1}$ and $\mathbf{H^2}$ are given by

$$\begin{aligned}\mathbf{H}^1_{ijkl}(\mathbf{x}_1-\mathbf{x}_2) = [&5(1-2\nu_0)(\delta_{ik}\delta_{jl}+\delta_{il}\delta_{jk}-\delta_{ij}\delta_{kl})+15\nu_0(\delta_{ik}n_jn_l+\delta_{il}n_jn_k \\ &+\delta_{jk}n_in_l+\delta_{jl}n_in_k)+15\delta_{ij}n_kn_l+15(1-2\nu_0)\delta_{kl}n_in_j-75n_in_jn_kn_l],\end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{H}^2_{ijkl}(\mathbf{x}_1-\mathbf{x}_2) = [&3(\delta_{ik}\delta_{jl}+\delta_{il}\delta_{jk}+\delta_{ij}\delta_{kl})-15(\delta_{ik}n_jn_l+\delta_{il}n_jn_k \\ &+\delta_{jk}n_in_l+\delta_{jl}n_in_k+\delta_{ij}n_kn_l+\delta_{kl}n_in_j)+105n_in_jn_kn_l].\end{aligned} \tag{21}$$

Noted that the leading-order error induced by dropping the higher order moments in Eq. (17) is of the order $O(\rho^8)$ since both $\bar{\mathbf{P}}^*_{(i)}$ and $\Omega a\nabla_{\mathbf{x}}\otimes\mathbf{G}$ are of the order $O(\rho^4)$.

Moreover, Eq. (17) can be represented as

$$(\mathbf{A}_g+\mathbf{s}):\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)}+\mathbf{G^1}:\bar{\mathbf{d}}^*_{(h)} = -\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(h)}, \qquad i=g, \quad j=h \tag{22}$$

$$\mathbf{G^1}:\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)}+(\mathbf{A}_h+\mathbf{s}):\bar{\mathbf{d}}^*_{(h)} = -\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(g)}, \qquad i=h, \quad j=g. \tag{23}$$

Therefore, one finds from Eqs. (22) and (23)

$$\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} = \left[(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})-(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^1}\right]^{-1}\left[(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(g)}-(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(h)}\right] \tag{24}$$

$$\bar{\mathbf{d}}^*_{(h)} = \left[(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^1}-(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})\right]^{-1}\left[(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(g)}-(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(h)}\right] \tag{25}$$

The leading orders of $(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^1}$ and $(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})$ are of the order $O(\rho^3)$ and $O(\rho^{-3})$ in Eq. (24), respectively. Noted that $(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^1}$ is truncated since its leading order is greater than the leading order of $(\mathbf{G^1})^{-1}\bullet(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})$. We also have $\rho<1/2$.

Therefore, the expression for $\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)}$ reads

$$\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} = (\mathbf{A}_g+\mathbf{s})^{-1}\bullet(\mathbf{G^1})\bullet(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(g)}-(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(h)}. \tag{26}$$

Similarly, the solution of Eq. (25) can be recast as

$$\bar{\mathbf{d}}^*_{(h)} = (\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet(\mathbf{G^1})\bullet(\mathbf{A}_g+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(h)}-(\mathbf{A}_h+\mathbf{s})^{-1}\bullet\mathbf{G^2}:\boldsymbol{\varepsilon}^{*0}_{(g)}. \tag{27}$$

3. Effective elastic moduli of multiphase composites

3.1 The statistical ensemble-average procedure

To obtain the probabilistic ensemble-averaged solution of $\bar{\mathbf{d}}^*_{(g)}$ for multiphase composites containing *N* phases of inclusions, one has to integrate Eq. (26) over all possible positions $(\mathbf{x}_2^m)$ of the second particle for a given location of the first particle $(\mathbf{x}_1)$. The superscript *m* signifies the *m*-th phase of inclusion.

The probabilistic ensemble-average process can be defined as

$$\langle \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} \rangle (\mathbf{x}_1) = \sum_{m=1}^{N} \int_{V-\Omega_g} \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2^m) \boldsymbol{P}(\mathbf{x}_2^m | \mathbf{x}_1) d\mathbf{x}_2^m, \tag{28}$$

where angled bracket $\langle \bullet \rangle$ stands for the ensemble-average operator and $\boldsymbol{P}(\mathbf{x}_2^m | \mathbf{x}_1)$ is the condition probability function for finding the second particle with phase *m* centered at $\mathbf{x}_2$ given the first particle centered at $\mathbf{x}_1$. The three-dimensional isotropic probabilistic integration domain V in Eq. (28) can be considered as a sphere. Moreover, Ω_g in Eq. (28) defines the probabilistic "exclusion zone" for $\mathbf{x}_2$. Here, $\boldsymbol{P}(\mathbf{x}_2^m | \mathbf{x}_1)$ is assumed to be statistically isotropic, uniform, and takes the form:

$$\boldsymbol{P}(\mathbf{x}_2^m | \mathbf{x}_1) = \begin{cases} K^m / V, & \text{if} \quad r \geq 2a \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{29}$$

where K^m / V reads the three-dimensional number density of the *m*-th phase of particles in a composite and r is the spacing between the centers of two spheres.

By substituting Eqs. (26) and (29) into Eq. (28), $\langle \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} \rangle (\mathbf{x}_1)$ can be written as

$$\langle \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} \rangle (\mathbf{x}_1) = \sum_{m=1}^{N} \frac{K^m}{V} \left\{ \int_{2a}^{\infty} \int_{\Xi} \left\{ \left[(\mathbf{A}_g + \mathbf{s})^{-1} \bullet \mathbf{G}^1(\mathbf{n}) \bullet (\mathbf{A}_m + \mathbf{s})^{-1} \bullet \mathbf{G}^2(\mathbf{n}) \right] : \varepsilon^{*0}_{(g)} - \left[(\mathbf{A}_g + \mathbf{s})^{-1} \bullet \mathbf{G}^2(\mathbf{n}) \right] : \varepsilon^{*0}_{(m)} \right\} d\Xi \; dr \right\} \tag{30}$$

where Ξ reads the spherical surface of radius *r* and $\mathbf{n}$ is the normal vector at a point on Ξ ; i.e., $\mathbf{n} = \mathbf{r} / r$ with $\mathbf{r} = \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1$.

In what follows, we present two non-equivalent formulations to predict the effective elastic moduli of multiphase composites, involving "Formulation I" here and "Formulation II" in Section 3.2. Specifically, the following identities can be easily derived:

$$\int_{\Xi} n_i\, n_j\, d\Xi = \frac{4\pi r^2}{3}\,\delta_{ij} \tag{31}$$

$$\int_{\Xi} n_i\, n_j\, n_k\, n_l\, d\Xi = \frac{4\pi r^2}{15}\,(\delta_{ij}\,\delta_{kl} + \delta_{ik}\,\delta_{jl} + \delta_{il}\,\delta_{jk}). \tag{32}$$

Using Eqs. (18)-(19) and Eqs. (31)-(32), it is straightforward to verify that the surface integral of $(\mathbf{A}_g + \mathbf{s})^{-1} \bullet \mathbf{G}^2$ in Eq. (30) is identically zero.

After some length algebra, the ensemble integration for $\langle \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} \rangle$ can be rephrased as

$$\langle \bar{\mathbf{d}}^*_{(g)} \rangle = \sum_{m=1}^{N} \phi_m \left\{ t_{gm,1}\delta_{ij}\delta_{kl} + t_{gm,2}(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}) \right\} : \varepsilon^{*0}_{(g)} \tag{33}$$

where $\phi_m \equiv \frac{4\pi a^3}{3}(\frac{K^m}{V})$, with m=1,2….N, is the volume fraction of the m-phase particle. Other parameters in the above equation are given in **Appendix**.

The probabilistic ensemble-volume averaged eigenstrain tensor can be derived from Eqs. (14) and (29) and takes the form:

$$\langle \bar{\varepsilon}^*_{(g)} \rangle = \mathbf{\Gamma}^g : \varepsilon^{*0}_{(g)}, \tag{34}$$

where the components of the fourth-rank tensor $\mathbf{\Gamma}^g$ read

$$\Gamma^g_{ijkl} = \eta_{g,m}\delta_{ij}\delta_{kl} + \zeta_{g,m}(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}) \,. \tag{35}$$

Here, $\eta_{g,m}$ and $\zeta_{g,m}$ are obtained by

$$\eta_{g,m} = \sum_{m=1}^{N} \phi_m t_{gm,1}\,, \quad \zeta_{g,m} = \frac{1}{2} + \sum_{m=1}^{N} \phi_m t_{gm,2}\,. \tag{36}$$

3.2 Effective elastic moduli of multiphase composites with randomly dispersed spherical spheres

In order to obtain effective elastic moduli of multiphase composites containing various phases of randomly dispersed spherical particles of different elastic properties, one has to utilize the probabilistic ensemble-volume averaged eigenstrain for $\langle \bar{\varepsilon}^*_{(i)} \rangle$ and other ensemble-volume averaged field equation. Further, the present formulae of effective elastic modulus are expressed in a simple explicit form to conveniently use them for applications.

Following the micromechanical ensemble-average field introduced by Ju and Chen [10], the relations governing the averaged stress $\bar{\sigma}$, the averaged strain $\bar{\varepsilon}$, the uniform remote strain ε^0 and the averaged eigenstrain $\langle\bar{\varepsilon}^*_{(i)}\rangle$ can be represented as follow:

$$\bar{\sigma} = \mathbf{C}_0 : \left(\bar{\varepsilon} - \sum_{i=1}^{N} \phi_i \langle \bar{\varepsilon}^*_{(i)} \rangle \right), \tag{37}$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon^0 + \sum_{i=1}^{N} \phi_i \mathbf{s} : \langle \bar{\varepsilon}^*_{(i)} \rangle \cdot \tag{38}$$

From Eqs. (7), (34) and (38), we have the following relations:

$$\langle \bar{\varepsilon}^*_{(i)} \rangle = \mathbf{\Gamma}^i \bullet \left(\mathbf{T}^i \right)^{-1} : \bar{\varepsilon}, \tag{39}$$

where

$$\mathbf{T}^i = \left(-\mathbf{A}_i - \mathbf{s} \right) + \sum_{r=1}^{N} \phi_r \mathbf{s} \bullet \mathbf{\Gamma}^r \bullet (\mathbf{A}_r + \mathbf{s})^{-1} \bullet (\mathbf{A}_i + \mathbf{s}). \tag{40}$$

Substituting Eq. (39) into Eq. (37) renders the effective stiffness $\mathbf{C}_*$ relating $\bar{\sigma}$ and $\bar{\varepsilon}$:

$$\mathbf{C}_* = \mathbf{C}_0 \bullet \left\{ \mathbf{I} - \sum_{r=1}^{N} \phi_r \mathbf{\Gamma}^r \bullet (\mathbf{T}^r)^{-1} \right\}. \tag{41}$$

where the components of the fourth order unit tensor $\mathbf{I}$ are $\mathbf{I}_{ijkl} = \frac{1}{2}(\delta_{ij}\delta_{kl} + \delta_{il}\delta_{jk})$.

Since all fourth-rank tensors on the right-hand side of Eq. (41) are isotropic in three-dimension, the effective stiffness tensor $\mathbf{C}_*$ for a multiphase composite is also isotropic. Moreover, the effective bulk modulus κ_* and shear modulus μ_* for multiphase composites with various phases of randomly dispersed spherical particles can be explicitly calculated:

$$\kappa_* = \kappa_0 \left\{ 1 + \frac{30(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \frac{3\eta_{r,m} + 2\zeta_{r,m}}{3\alpha_r + 2\beta_r}}{1 - 10(1+\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \frac{3\eta_{r,m} + 2\zeta_{r,m}}{3\alpha_r + 2\beta_r}} \right\}, \quad \mu_* = \mu_0 \left[1 + \frac{30(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \frac{\zeta_{r,m}}{\beta_r}}{1 - 4(4-5\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \frac{\zeta_{r,m}}{\beta_r}} \right], \tag{42}$$

in which $\eta_{r,m}$ and $\zeta_{r,m}$ are previously defined by Eq. (36). The parameters α_r and β_r are summarized in **Appendix**.

Let us consider an interesting special case involving the non-equivalent "Formulation II" by dropping the higher-order components $O(\rho^5)$ in Eqs. (18) and (19). Following similar procedure as in "Formulation I" in Section 3.1, the probabilistic ensemble-volume averaged eigenstrain tensors can be rephrased as

$$\langle \overline{\varepsilon}^{*}_{(g)} \rangle = \mathbf{\Gamma}^{g} : \varepsilon^{*0}_{(g)} , \tag{43}$$

in which the components of the fourth-rank tensor $\mathbf{\Gamma}^{g}$ render

$$\mathbf{\Gamma}^{g}_{ijkl} = \eta_{g,m}\delta_{ij}\delta_{kl} + \zeta_{g,m}(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}) . \tag{44}$$

Here, $\eta_{g,m}$ and $\zeta_{g,m}$ are obtained by

$$\eta_{g,m} = \sum_{m=1}^{N} \phi_m q_{gm,1} , \quad \zeta_{g,m} = \frac{1}{2} + \sum_{m=1}^{N} \phi_m q_{gm,2} . \tag{45}$$

The parameters $q_{gm,1}$ and $q_{gm,2}$ in Eq. (45) are exhibited in **Appendix**.

The effective bulk modulus κ_* and shear modulus μ_* can be derived as:

$$\kappa_* = \kappa_0 \left\{ 1 + \frac{30(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \dfrac{3\eta_{r,m} + 2\zeta_{r,m}}{3\alpha_r + 2\beta_r}}{1 - 10(1+\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \dfrac{3\eta_{r,m} + 2\zeta_{r,m}}{3\alpha_r + 2\beta_r}} \right\}, \quad \mu_* = \mu_0 \left[1 + \frac{30(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \dfrac{\zeta_{r,m}}{\beta_r}}{1 - 4(4-5\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \phi_r \dfrac{\zeta_{r,m}}{\beta_r}} \right], \tag{46}$$

where the parameters α_r and β_r are summarized in **Appendix**.

3.3 The first-order "noninteracting" formulation for multiphase composites

If one entirely neglects the local particle interaction effects, then $\mathbf{\Gamma}^{g}$ in Eqs. (34) and (44) would reduce to $\mathbf{I}$ at the same time. Moreover, the first-order "noninteracting" expressions for the effective bulk modulus κ_* and shear modulus μ_* read

$$\kappa_* = \kappa_0 \left[1 + \frac{30(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \dfrac{\phi_r}{3\alpha_r + 2\beta_r}}{1 - 10(1+\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \dfrac{\phi_r}{3\alpha_r + 2\beta_r}} \right], \quad \mu_* = \mu_0 \left[1 + \frac{15(1-\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \dfrac{\phi_r}{\beta_r}}{1 - 2(4-5\nu_0)\sum_{r=1}^{N} \dfrac{\phi_r}{\beta_r}} \right], \tag{47}$$

where α_r and β_r are summarized in **Appendix**. It is observed that these "noninteracting" expressions are identical to Eq. (4.21) in Weng [7].

4. Numerical examples

First example, the elastic properties of the constituent phase are: matrix with $E_0 = 3.0$ GPa and $\nu_0 = 0.4$; first phase with $E_1 = 73.6$ GPa and $\nu_1 = 0.25$; second phase (void) with $E_2 = 0$. The Young's moduli of composites are evaluated with a constant filler-to-matrix weight ratio of 0.5. From the densities given for epoxy, $\gamma_0 = 1.1$ g/cm^3, and for quartz-sand, $\gamma_1 = 2.63$ g/cm^3, the volume fraction ϕ_1 of quartz-sand is related to the volume fraction ϕ_2 by $\phi_1 = 0.173(1-\phi_2)$. Moreover, the effective Young's modulus E_* is easily obtained through the following relation: $E_* = (9\kappa_*\mu_*)/(3\kappa_* + \mu_*)$. A comparison among our analytical predictions (from

Formulation I: Eq. (42); Formulation II: Eq. (46) and the first-order "noninteracting" formulation: Eq. (47), respectively), Mori-Tanaka's estimation [7] and the experimental data [12] is given in Fig 2 for the effective Young's moduli E_*. Noticed that the "noninteracting" solution (from Eq. (47)) is identical to Mori-Tanaka's prediction. The results (from Formulation I and Formulation II, respectively) have a good agreement with the experimental data, while Mori-Tanaka's prediction cannot render good results for high void concentration.

As a second example, let us consider a matrix ($\nu_0 = 0.3$) containing two extreme types of inclusions; one is a rigid particle ($E_1 = \infty$; i.e., $\mathbf{A}_1 = \mathbf{0}$) and the other is a void ($E_2 = 0$). Fig 3 shows the predictions of voids and rigid particles of equal volume fraction for modulus reduction and retention. Two proposed models (Formulation I and the first-order "noninteracting" formulation) predict that the Young's modulus almost does not change; shear modulus increases slightly with volume fraction; and bulk modulus reduces significantly with volume fraction.

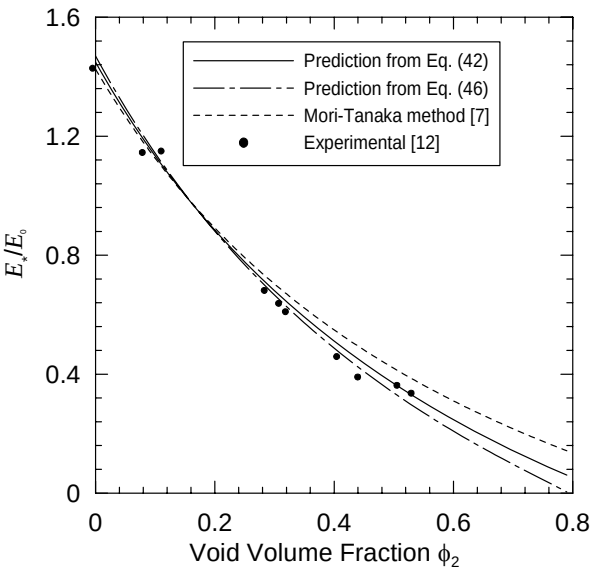


Figure 2. Effective Young's modulus of three-phase composites vs. void volume fraction ϕ_2.

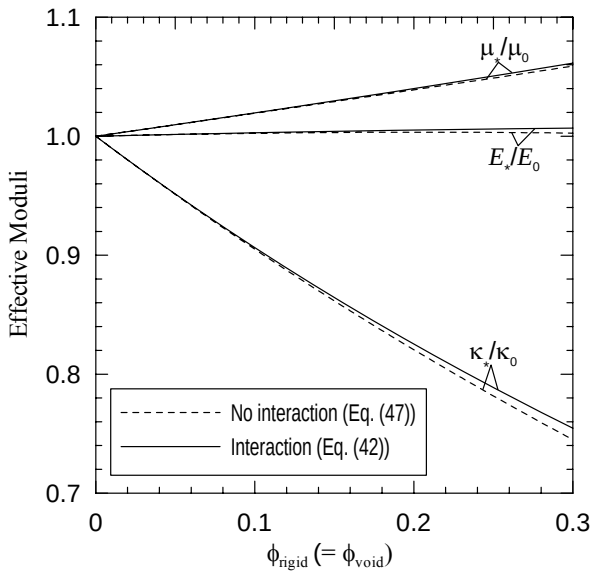


Figure 3. Predicted effective moduli for materials containing equal volume fractions of voids and rigid particles.

5. Conclusions

A micromechanical particle interaction framework is presented to predict effective elastic moduli of isotropic multiphase composites containing various phases of randomly dispersed spherical particles of different elastic properties. Combining the approximate, probabilistic particle interaction solutions and the ensemble-volume average field equations, a compact analytical formula (41) is obtained. As a result, two different analytical formulas of effective elastic moduli have been derived in Section 3. Furthermore, this proposed formula can be expressed in a simple explicit form and very convenient for engineering applications. Our first-order "noninteracting" solution is also identical to Mori-Tanaka method [7] for multiphase composites. Comparison with Mori-Tanaka method, the current approach is in

good agreement with experimental data studied by Cohen and Ishai [12].

Appendix

Parameters in Eqs. (33) and (45) are expressed as:

$$t_{gm,1} = q_{gm,1} + \frac{90}{64}\left(\frac{1}{\beta_g \beta_m}\right), \quad t_{gm,2} = q_{gm,2} - \frac{135}{64}\left(\frac{1}{\beta_g \beta_m}\right),$$

$$q_{gm,1} = \frac{-5}{4\beta_g \beta_m \left(3\alpha_g + 2\beta_g\right)\left(3\alpha_m + 2\beta_m\right)} \left\{ \alpha_g \left[2\beta_m \left(11 - 11\nu_0 + 5\nu_0^2\right) + 3\alpha_m \left(10 - 10\nu_0 + 7\nu_0^2\right) \right] \right. \\ \left. + 2\beta_g \left[2\beta_m \left(2 - 2\nu_0 + 5\nu_0^2\right) + \alpha_m \left(5 - 5\nu_0 + 17\nu_0^2\right) \right] \right\}, \tag{48}$$

$$q_{gm,2} = \frac{5}{8\beta_g \beta_m \left(3\alpha_m + 2\beta_m\right)} \left[2\beta_m \left(11 - 11\nu_0 + 5\nu_0^2\right) + 3\alpha_m \left(10 - 10\nu_0 + 7\nu_0^2\right) \right],$$

$$\alpha_m = 2(5\nu_0 - 1) + 10(1 - \nu_0)\left(\frac{\kappa_0}{\kappa_m - \kappa_0} - \frac{\mu_0}{\mu_m - \mu_0}\right), \quad \beta_m = 2(4 - 5\nu_0) + 15(1 - \nu_0)\left(\frac{\mu_0}{\mu_m - \mu_0}\right),$$

where κ_0, κ_m and μ_0, μ_m denote the bulk and shear moduli of the matrix and the *m*-phase particle.

References

1. Hashin, Z. and Shtrikman, S., J. Mech. Phys. Solids, 10, pp.335-342 (1962).

2. Silnutzer, N., Ph.D. Thesis. Univ. of Pennsylvania., U.S.A. (1972).

3. Milton, G. W., J. Mech. Phys. Solids, 30, pp.177-191 (1982).

4. Budiansky, B., J. Mech. Phys. Solids, 13, pp.223-227 (1965).

5. Kerner, E. H., Proc. R. Soc., B69, pp.807-808 (1965).

6. Mori, T. and Tanaka, K., Acta Metall., 21, pp.571-574 (1973).

7. Weng, G. J., Int. J. Eng. Sci., 22, pp.845-856 (1984).

8. Lin, P. J., and Ju, J. W., Acta Mech., 208, pp.11-26 (2009).

9. Chen, H. S. and Acrivos, A., Int. J. Solids Struct., 14, pp.349-364 (1978).

10. Ju, J. W. and Chen, T. M., Acta Mech., 103, pp.123-144 (1994).

11. Eshelby, J. D., Proc. Roy. Soc., A241, pp.376-396 (1957).

12. Cohen, L. J. and Ishai, O., J. Compos. Mater., 1, pp.390-403 (1967).

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第89-98頁

添加氧化劑對底渣中異味削減之影響

The effect of adding oxidant to bottom ash on odor elimination

秦孝偉[1]　林奇剛[2]　章裕民[3]　楊廖陞[4]　田辰彥[5]　陳翊君[5]

Shiao-Wei Ching[1]　Chi-Kang Lin[2]　Yu-Min Chang[3]　Liao-Sheng Yang[4]　Chen-Yan Tian[5]　Yi-Jyun Chen[5]

1 東南科技大學　環境與安全衛生工程系　助理教授　2 東南科技大學　環境與安全衛生工程系　副教授
3 台北科技大學　環境工程與管理研究所　教授　4 東南科技大學　防災科技研究所　研究生
5 東南科技大學　環境與安全衛生工程系　學生
1,2,5.Department of Safety Health and Environmental Engineering, Tungnan University.
3.Graduate Institute of Biotechnology, National Taipei University of Technology.
4.Institute of Technology for Hazards Mitigation, Tungnan University.

摘　　要

焚化後底渣仍存有異味等環境衝擊問題，因此為排除底渣內造成異味的有機物及破壞其結構，以降低底渣回收再利用之風險。本研究係添加過氧化氫(H_2O_2)及高錳酸鉀($KMnO_4$)氧化破壞底渣中有機物，同時模擬現行底渣資源化廠為防止重金屬溶出而添加之安定劑(H_3PO_4)。

試驗中主要利用電子鼻(Electronic nose, Cosmos XP-329III-R)以及氣相層析質譜儀(Gas Chromatograph / Mass Spectrophotometer ; GC / MS)測定底渣異味以評估底渣異味之削減成效。由底渣異味去除試驗結果發現，不同濃度 H_2O_2添加至底渣後其異味削減效果依序為15%>10%>5%≒3%，而 $KMnO_4$削減效果依序為3%>5%>10%≒15%。而底渣內部異味成分，經分析後發現，於添加氧化劑前試驗底渣本身所含異味氣體成分中分別含有酮類、醇類、苯類、烷類及其他成分等。其中，測出包括苯、二氯甲烷、苯乙烯等微量致癌物質，而異味氣體經添加氧化劑反應至10天後，所有異味氣體之濃度均有明顯削減趨勢，大多可經由氧化分解削減去80%之氣體濃度。

另發現加入 H_3PO_4後再加入氧化劑，對底渣異味之去除效果仍不受抑制且略有提升，此一結果對底渣資源化廠運作時是否添加氧化劑可作為參考，而目前國內底渣資源化廠多已有使用 H_3PO_4作為安定劑。開放式空間雖可快速降低其異味，但其仍有逸散至周界之虞。同時，底渣中異味成分雖經添加氧化劑反應後有明顯削減，但其存在濃度微量經長時間暴露仍可能因累積而達到致癌的風險。

關鍵字：焚化底渣、氧化、異味去除、電子鼻

ABSTRACT

This research studies the effect of adding oxidants including hydrogen peroxide (H_2O_2)and potassium permanganate ($KMnO_4$) to bottom ash on odor elimination. Intensities and compositions of odor gas were measured by the electronic nose and GC-MS at the start and end endof the oxidation processes to evaluate the effectiveness of odor reduction.

The experiment results showed that the reductions of odor intensity for different H_2O_2 concentrations added were in order of 15%> 10%> 5%≒3%. In addition, the odor intensity reductions by adding different concentrations of $KMnO_4$ was in the order of 3%> 5%> 10%≒15%. The odor compositions of bottom ash predominantly consisted of ketones, alcohols, benzene, alkane and other ingredients. About 80% of the odor gas was eliminated. mostly through the oxidation and decomposition. However, there still has a risk of cancer as a result of accumulation of toxic odor compositions after prolonged exposure.

Keywords：Bottom ash, Oxidation, Odor Elimination, Electronic nose

聯絡人：楊廖陞 sin_getter_d@yahoo.com.tw (02)8662-5935轉109

壹、研究背景

近年，台灣地區隨著產業發展使得一般廢棄物及事業廢棄物的產量及有害成分不斷增加，其中，包括底渣(Bottom Ash)、飛灰(Fly Ash or APC Residues)等。而因各地方垃圾收集、處理方式的不同，導致垃圾焚化後底渣的成分亦有明顯的差異。垃圾經焚化後所殘留的底渣內除了含有重金屬、氯鹽、戴奧辛等有害物質，同時尚有異味等污染物對環境衝擊的問題存在。

因此本研究係將底渣添加氧化劑當做前處理，並比較不同氧化劑添加後氧化底渣中有機物異味脫除效果，以期望處理後底渣能達到無害化、低異味之目標。為確認底渣異味削減成效，於反應前後分別利用電子鼻(以下簡稱「Electronic nose」)與氣相層析質譜儀(以下簡稱「GC-MS」)測定氣味強度及其成分之變化。

貳、文獻回顧

Wiles(1996)[1]指出焚化爐焚化後垃圾，依不同處理設備及產生位置而異。國內底渣處置及再

利用之相關研究，(李釗,1995)[2]針對垃圾焚化底灰作為水泥混凝土細骨材之可行性探討，其發現焚化底渣顆粒較大，呈球狀或不規則狀，而顆粒表面沈積物多孔隙也較多。環訓所(2001)[3] 針對「臭味」或「惡臭」明瞭闡述，其係指人對於某種氣味(物質)基於主觀的判斷而感到不舒服或感覺厭惡的反應，因而破壞生活環境與品質，即為一般認知之臭味。臭味物質係特指具強烈氣味之物質，且大多為氣相污染物，主要由碳、氫、氧、氮、硫、鹵素等元素構成。一般惡臭物質具備下列幾個共同特性：揮發性高、蒸氣壓大、含氮或含硫化合物、含碳數較低且不飽和化合物及環狀化合物結構等。陳玟妏(2006)[4]指出臭味產生來源跟生產有重大關係，並針對氣味測量後分析其化學結構式，就化學結構而言，臭味物質分子多因具剩餘電子，有刺激人類嗅覺的特性。Rendek 等人(2007)[5]提到底渣中含有大量有機物質，有機物質水份含量過高時，則使得這類有機性質物質溶解於其中造成異味。

周家德(2005)[6]探討飼料乾燥排氣臭味物質及臭味處理方法，研究中利用不同的酸液鹼液化學洗滌方式進行化學洗滌處理。不論洗滌液酸鹼濃度，皆無明顯除臭效果。且由洗滌液 pH 得知經洗滌反應後 pH 逐漸升高，鹼洗液 pH 經洗滌反應後 pH 降低，顯示飼料內除含氮化合物外，含有揮發性脂肪酸及含硫化合物等物質。R. M. Stuetz 等人(1988)[7]曾針對污水處理廠的臭味利用電子鼻和官能法評估硫化氫，結果說明電子鼻評估10污水處理廠污水臭氣濃度。結果證明污水氣味值因地點而異沒有共用的關係存在，而有明顯的相關性即氣味濃度均為範圍內的值。Takao Y.(2002)[8]亦利用多種儀器結合電子鼻建立高效率的方法來查詢氣味的種類，不僅能分析出氣味的強弱亦可了解其中成分。溫鳳珍(2003)[9]針對於垃圾焚化底灰異味控制之研究，其結果底渣對於強氧化劑添加有不錯的臭味去除效果，利用強氧化劑(H_2O_2、$KMnO_4$)將底灰中主要之臭源，有機物及無機物氧化破壞，其中以磷酸溶液最具底渣臭味之削減效果。而本研究參考溫鳳珍之試驗另增加其探討項目，試驗環境(開放、半開放空間)、改變添加量

參、研究方法、材料與設備

3.1 研究方法與步驟

本研究係探討在底渣物化特性及不同除臭處理條件下(不同氧化劑、反應濃度、反應時間等)的脫除異味效果，期望處理後之底渣能達到作為級配料資源化、無害化(低異味)之目標。使得底渣之異味源分解後逸散，並立即降低底渣異味濃度，使底渣能達到穩定化/安定化之目的。試驗中主要利用 Electronic nose 為試驗樣品底渣異味氣味強度測定設備，共以台灣北部某座大型焚化廠所產出之「底渣試驗樣品」。試驗流程如 **Fig. 1**所示。底渣異味成分方面，於氧化劑添加前後，利用氣體採樣幫浦採集底渣逸散氣體於採樣袋中。

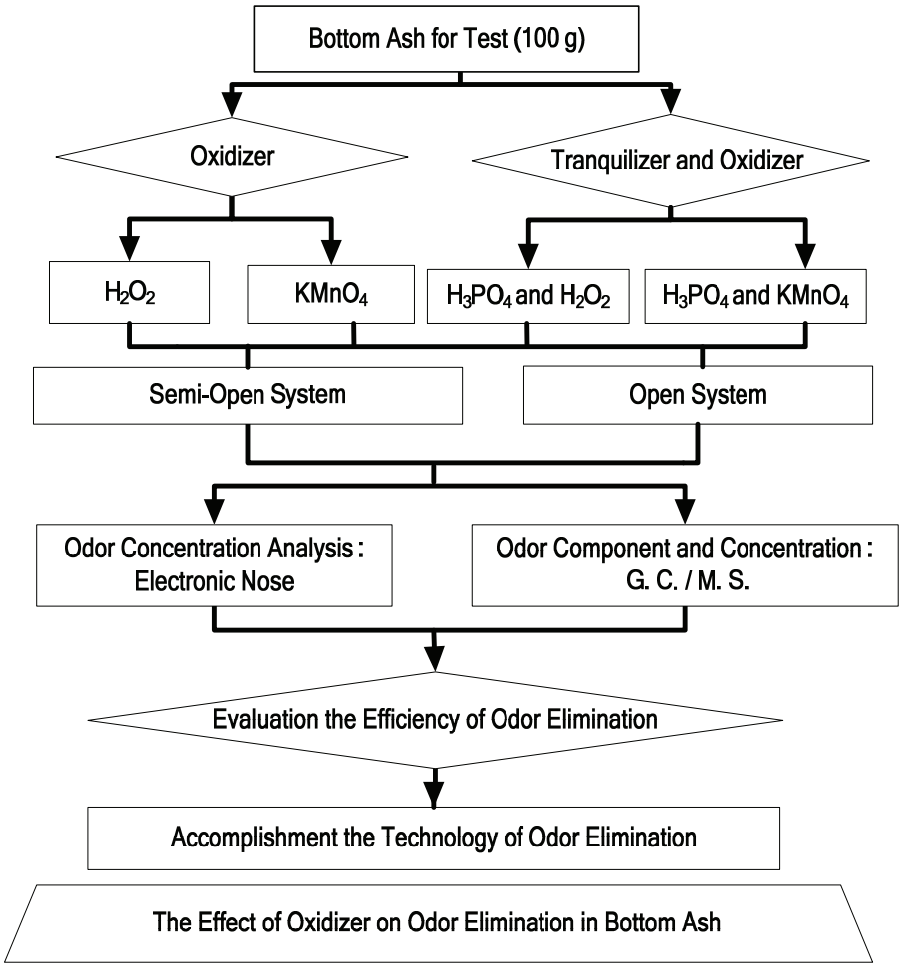


Fig. 1 Flow chart of odor elimination by adding oxidant to bottom ash

3.2 分析方法

一、電子鼻

量測的氣味分子所造成的氧化還原反應、電導度之變化或是接觸電壓變化，計算出氣味強度。

二、底渣異味成份分析

利用 GC-MS 進行最後底渣異味氣體濃度之量測，以吸附管採樣，樣品經 CDS 8000 熱脫附儀脫附後(熱脫附溫度175℃，2.5 min；注入口冷凝溫度-75℃)，注入 Varian® CP-3800 GC / Saturn 2000 Ion Trap MS 氣相層析質譜儀分析(注入溫度200℃，1 min，分流比5：1)。分離管柱係使用 DB-624(或 DB5-MS）毛細管柱(30m×0.25mm×1.4 μm)，層析管柱升溫程式：起始溫度35℃，以5℃/ min 升溫至140℃，再以10℃/ min 升溫至210℃，持續2.0min。載流氣體使用高純度氦氣，流速1.0 mL/ min；離子質譜儀遊離源採用電子撞擊法，電子撞擊動能為70eV；質譜掃描範圍：***m/z*** 29 ~ m/z 200。

3.3 研究步驟

配置100g 底渣樣品，分別添加濃度調配3、5、10及15%(V/V)之 H_2O_2及 $KMnO_4$，於氧化劑添加前測定底渣之氣味強度，測定後分別進行開放式與半開放式空間試驗，於500反應後固定時間測定底渣氣味強度變化，直至底渣之異味變化呈穩定後，並分析底渣異味成分，同時以相同步驟進行有加入安定劑 H_3PO_4之試驗(如 **Fig. 2**所示)。

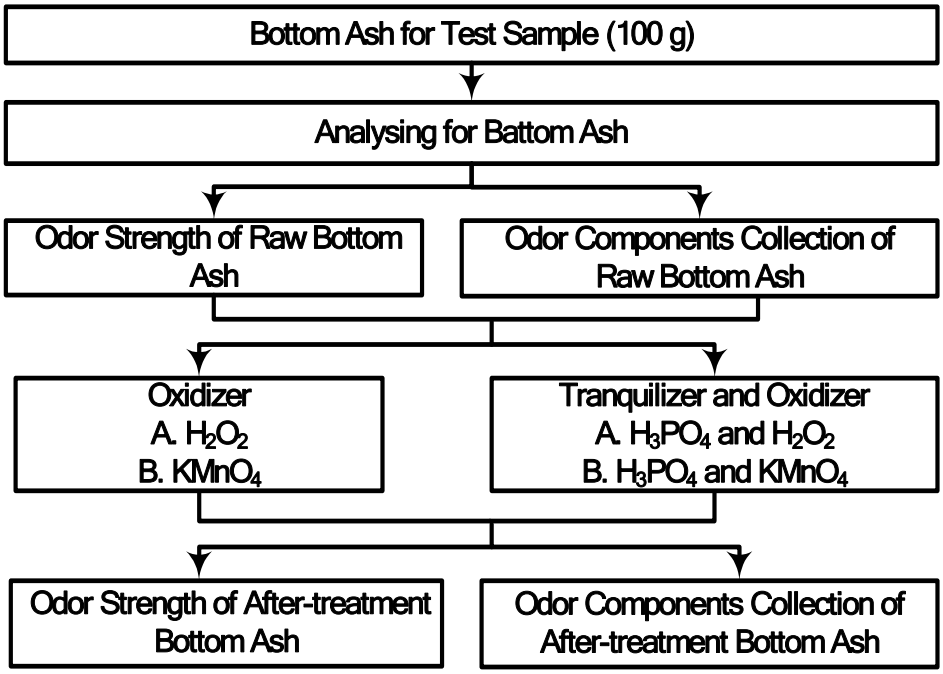


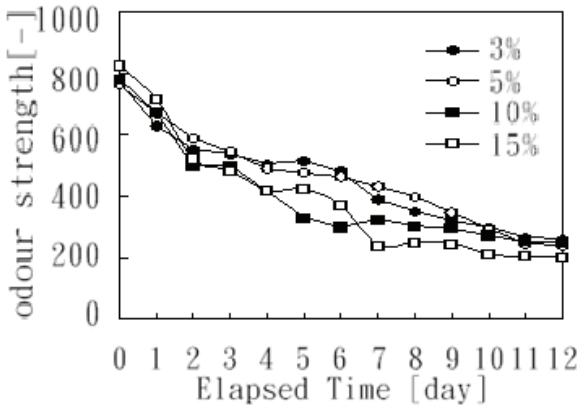
Fig. 2 Experimental Procedure of odor elimination using oxidizer in bottom ash

肆、結果與討論

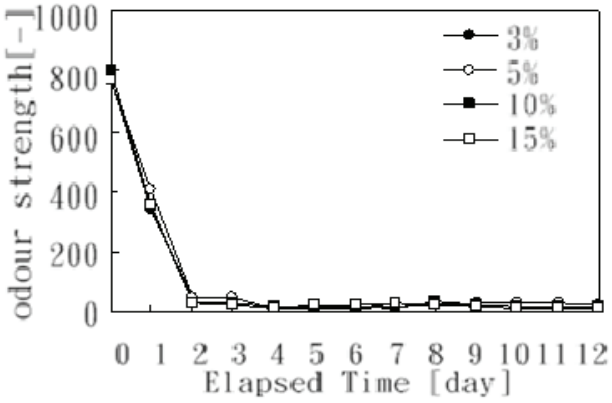
4.1 添加 H_2O_2與 $KMnO_4$之比較

針對不同濃度的 H_2O_2對底渣異味氧化分解之影響進行探討，結果發現添加 H_2O_2 20 mL 時，經12天其底渣之氣味強度可削減至500左右。削減速度則以第1天～第2天左右最顯著。隨著添加 H_2O_2濃度之增加，底渣之異味削減率亦隨之提升，添加 H_2O_2之異味削減量依序為15%>10%>5%≒3%（如 **Fig. 3**所示）。

利用 $KMnO_4$進行氧化，分別以不同濃度進行底渣異味去除探討，由 **Fig. 4**發現 $KMnO_4$對異味削減效果與 H_2O_2脫除異味反應趨勢相似，於第2天～第3天左右之異味削減速度最顯著，至第11天後削減速度達緩和，底渣氣味強度之累積削減約為450。當以 $KMnO_4$為氧化劑時，其濃度對削減率之影響與 H_2O_2所獲得之結果相異，$KMnO_4$濃度較低者可獲得較佳之削減率，其削減量濃度依序為3%>5%>10%≒15%。



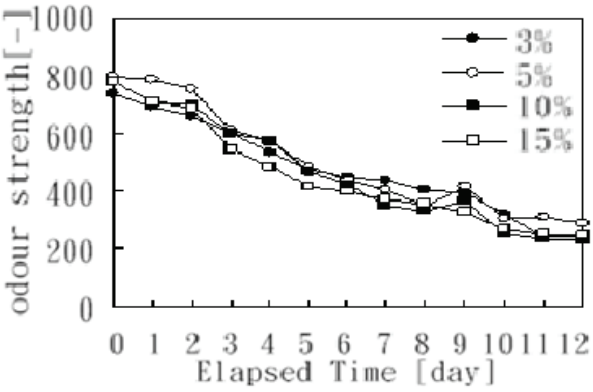
（A）



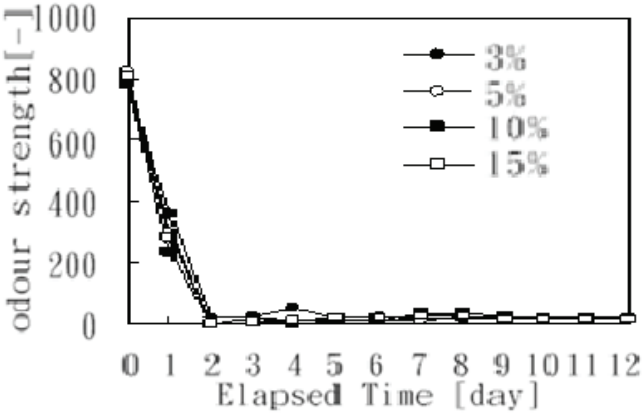
（B）

Fig. 3 Odor strength of bottom ash for addition H_2O_2

（A）Semi-Open system,（B）Open system



（A）



（B）

Fig. 4 Odor strength of bottom ash for addition $KMnO_4$

（A）Semi-Open system,（B）Open system

4.2 增加安定劑之異味削減狀況

當底渣添加安定劑(H_3PO_4)及不同濃度的 H_2O_2後，其底渣之異味削減變化如 **Fig. 5** 顯示。在開放空間，反應經第2天後底渣之異味下降至50左右，可削減去約95%以上。在半開放空間，經10～12天反應後，異味削減方呈穩定，此時其氣味強度累積削減量約653，其中以添加 H_3PO_4 結合3 % H_2O_2時，其異味削減率為最高。同時，在添加 H_3PO_4 結合3 % $KMnO_4$時，開放空間效果與 H_3PO_4 結合 H_2O_2相似。在半開放空間，反應約經10天後底渣之異味削減反應趨於平緩，最後削減量可達480左右，其中以添加 H_3PO_4 結合3 % $KMnO_4$之削減效果為最佳（如 **Fig. 6**所示）。

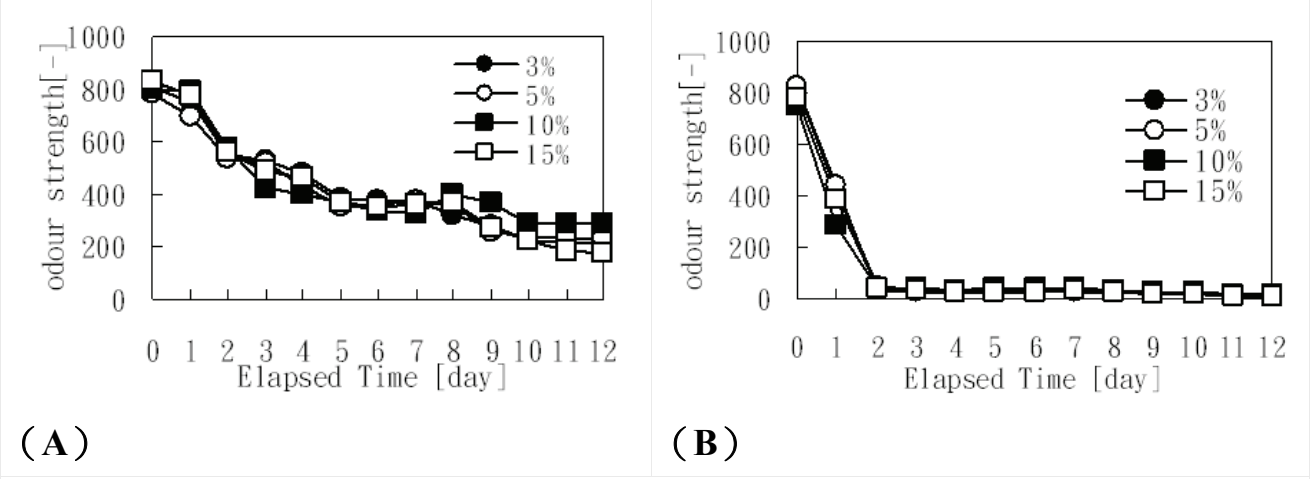


Fig. 5 Odor strength of bottom ash for addition H_3PO_4 and H_2O_2

（A）Semi-Open system,（B）Open system

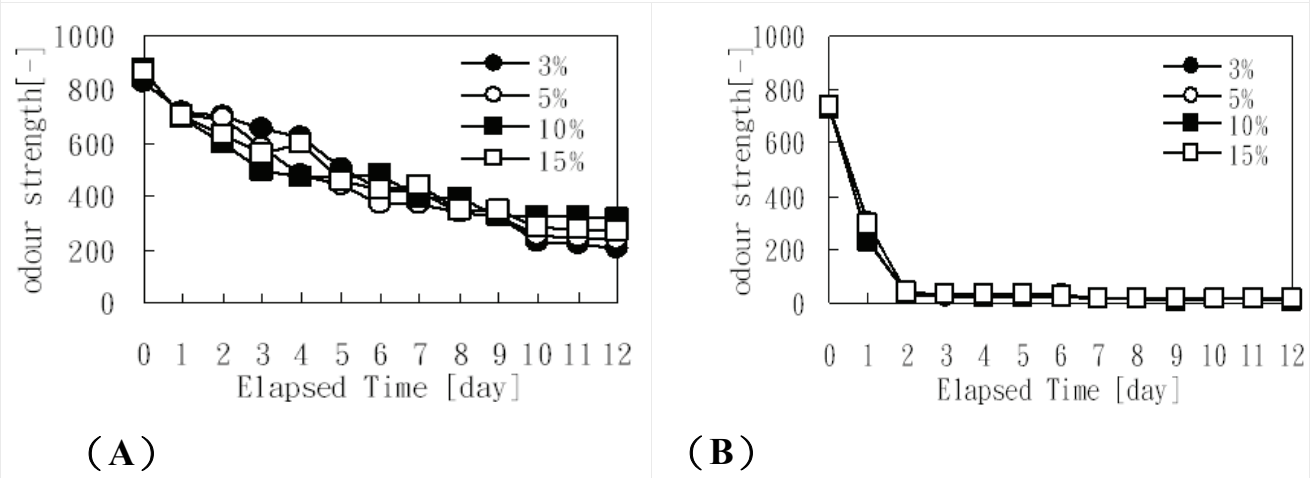


Fig. 6 Odor strength of bottom ash for addition H_3PO_4 and $KMnO_4$

（A）Semi-Open system,（B）Open system

4.3半開放與開放比較

在開放空間下，分別以不同濃度的 H_2O_2及 $KMnO_4$添加至試驗底渣，底渣之起始氣味強度約為769～800左右。反應經1天後，底渣氣味強度削減至340～427之間。反應經2天後，其氣味強度大幅下降至25～35，而削減率約可達96%。H_2O_2整體反應於1～2天時削減效果最顯著，當反應至第3天後，底渣之異味削減趨勢日漸緩慢逐步形成穩定。在半開放空間下，當底渣添加氧化劑後其異味削減緩慢，於添加後第4天可削減去底渣氣味強度約400，至反應10天後削減率僅有70 %。由以上兩種空間試驗結果了解，底渣於半開放式空間下異味削減速度較為緩慢，而開放式空間下經反應2天時異味可削減90 %以上，其異味削減效果明顯可見。但是，開放式空間雖較快速，卻有可能造成影響資源化廠周界環境品質之虞。

4.4異味成分之解析

由分析結果發現，於添加氧化劑前底渣所含異味氣體成分分別含有酮類(Ketones)、醇類(Alcohol)、苯類(Benzene)、烷類(Alkane)、烯類(Vinyl)及其他成分等(詳如 **Table 1**所示)，分析結果中包括苯(Benzene)、氯乙烯(methylene chloride)、苯乙烯(Styrene)等微量致癌物質。為了解底渣經添加氧化劑後異味成份之變化，本研究分別於底渣中加入 H_2O_2及 $KMnO_4$後進行氧化試驗，試驗條件及其代號如 **Table 2**所示。氣體成分及濃度之變化如 **Fig. 7** ～ **Fig. 9**所示，經反應至10天後，致癌姓物質及其它氣體成分均有明顯削減，大多可經由氧化分解將異味削減達80%左右。因此，一旦長時間累積吸入異味氣體，仍可能造成對人體健康危害之虞(苯致癌量：0.05ppbv /24hr、二氯甲烷致癌量：1.25ppbv/7hr、苯乙烯致癌量：4gm/Kg)。

Table 1 Odor components of bottom ash before added oxidizer

Classification	Odor components
Ketones	Acetone, 2-Butanone, Acetophenone
Alcohol	Isopropyl alcohol, Butanol, 2- Butanol
Benzene	Benzene*, Toluene, m.p-xylene, Trimethyl
Alkane	Ethyl benzene, N-hexane
Vinyl	Methylene chloride*,Styrene*
Others	Acetonitrlie, Acetic acid, Phenol, Carbon disulfide

p.s.*：Cancerogenic Gas Declared in Material Safety Data Sheet (M. S. D. S.)

Table 2 Codes of bottom ash for addition oxidizer reaction

Operation mode	Code	Reaction Time [day]
Blank Test A	O-A	0
Addition H_2O_2 20 mL (15%)	H-	1
		2
		10
Addition $KMnO_4$ 40 mL (3%)	K-	1
		2
		10
Blank Test B	O-B	0
Addition H_3PO_4 5 mL and H_2O_2 20 mL (3%)	HP-	1
		2
		10
Addition H_3PO_4 5 mL and $KMnO_4$ 40 mL (3%)	KP-	1
		2
		10

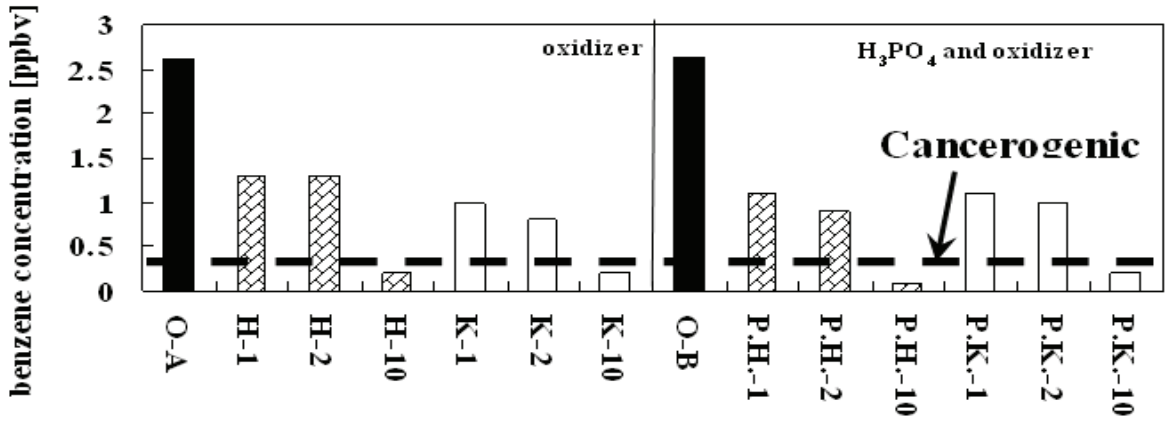


Fig. 7 Benzene concentration in bottom ash for addition oxidizer
(Odor threshold: 2,700 ppbv)

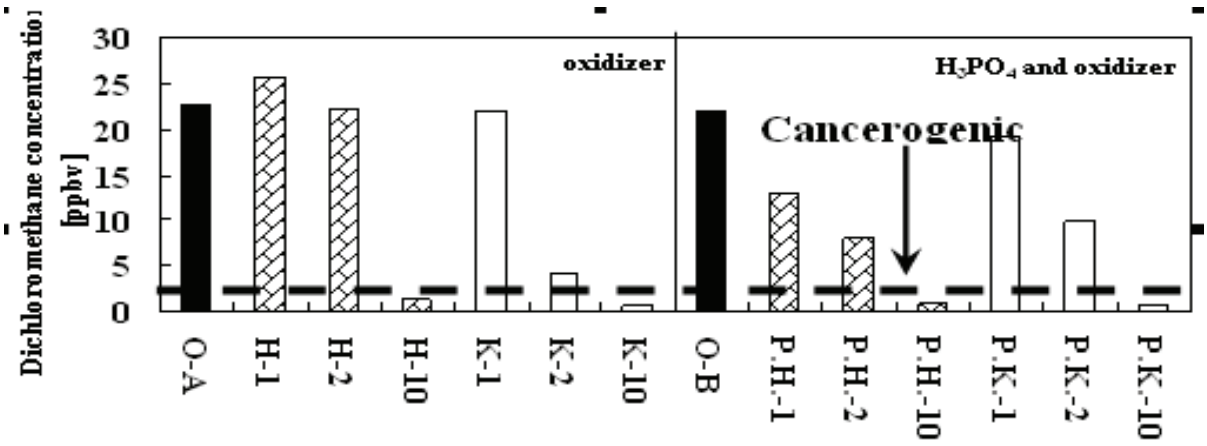


Fig. 8 Dichloromethane concentration in bottom ash for addition oxidizer
(Odor threshold: - ppbv)

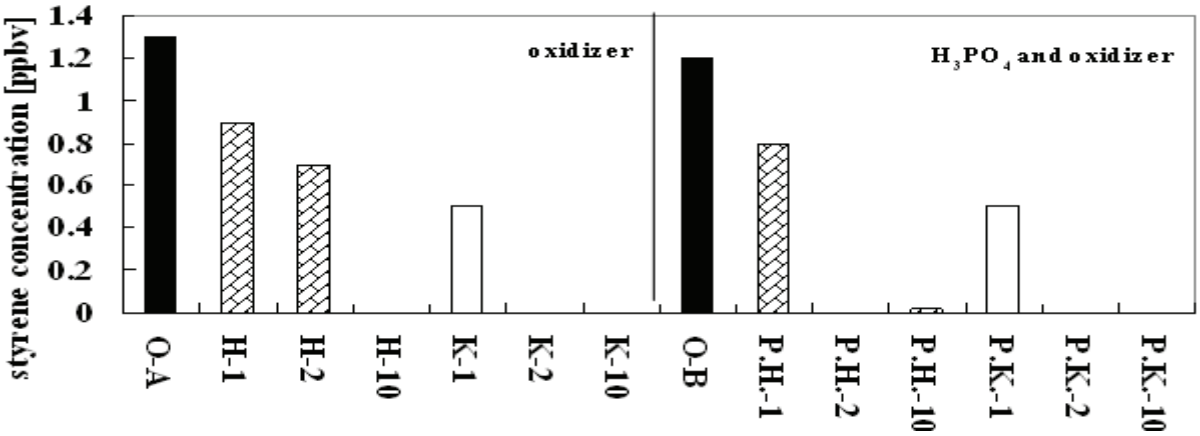


Fig. 9 Styrene concentration in bottom ash for addition oxidizer
(Odor threshold: 35 ppbv)

伍、結論

1.比較添加 H_2O_2與 $KMnO_4$下，在半開放與開放空間試驗中，底渣之異味削減效果皆在第10天趨於穩定。H_2O_2對底渣之異味氧化分解效果以高濃度較佳，反應至第12天氣味強度可削減約500。$KMnO_4$對底渣之異味氧化分解效果卻以低濃度較佳，反應至第12天，氣味強度可削減450左右。

2.增加安定劑(H_3PO_4)後再加入氧化劑，底渣異味削減效果略有提升。目前，實廠運作大多添加 H_3PO_4做為底渣中重金屬安定劑，如再添加氧化劑仍可有效提升底渣中異味之削減效果。

3.半開放與開放空間之比較，其試驗結果差異與空氣對流方式關係相當密切。開放式空間雖可快速降低其異味，但其對資源化場周遭空氣品質仍有異味逸散之虞。

4.大部分底渣之異味氣體均可於添加氧化劑後削減去除，而部分氣體更因加入 H_3PO_4後稍為提升削減速度。底渣中異味成分出現微量致癌氣體，雖經氧化分解可削減80%，但一旦長時間吸入仍可能累積具致癌危險。

參考文獻

1. Wiles, C. C., “Municipal solid waste combustion ash ： stage-of-the-knowledge”, Journal of Hazardous Materials , Vol. 47, pp.325-344., 1996.
2. 李釗、江少鋒、郭文田，「垃圾焚化底灰作為水泥混凝土細骨材之可行性研究」，第十屆廢棄物處理技術研討會，1995。
3. 環訓所，臭味及有害空氣污染物控制-甲級空氣污染防制專責人員訓練教材，2001。
4. 陳玟妏，「高雄市臭味調查及改善」，國立中山大學環境工程研究所，碩士論文，2006。
5. Eva Rendek, Gaelle Ducom, and Patrick Germain, ”Influence of waste input and combustion technology on MSWI bottom ash quality.” Waste Management. Vol. 27, pp. 1403-1407, 2007.
6. 周家德，飼料乾燥排氣化學洗滌除臭，碩士論文，國立中山大學研究所，高雄，2005。
7. R. M. Stuetz, R. A. Fenner* and G. Engin "Assessment of odours from sewage treatment works by an electronic nose, H2S analysis and olfactometry" Vol. 33, No. 2, pp. 453±461, 1999
8. Takao Y, Odor recorder for multi-component odor using two-level quantization method, 2002.
9. 溫鳳珍，垃圾焚化灰渣臭氣控制之研究，碩士論文，國立台灣大學研究所，臺北，2003。

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第99-110頁

利用光照衰減法量測落塵量之可行性研究

The Feasibility study of Measuring Dust Amount by Light Attenuation Method

秦孝偉[1]　鄧家基[1]　呂秀庭[2]
Hsiao-wei Ching[1]　Chia-Ji Teng[1]　Hsiu-Ting Lu[2]

1. 東南科技大學　環境與衛生安全工程系 助理教授　2. 東南科技大學　防災科技研究所環境組 研究生
1.Department of Safety Health and Environmental Engineering,Tungnan University,
2.Institute of Technology for Hazards Mitigation, Tungnan University,

摘　　要

為建立簡易快速的道路髒污判定或落塵污染負荷方式，以實務運用於街道揚塵洗掃作業規劃，逸散性污染熱區的判定等。本研究以透明膠片塗佈矽油後擺置於臺北縣政府環境保護局之人工測站，並與測站之落塵量同步採樣，採樣後之透明膠片以白熾燈泡（全光譜）為光源照射並於膠片下方以照度計測定光度之衰減情形後，以檢量線回歸推算膠片所承載之落塵量。

檢量線於實驗室以坋土（粒徑 < 75 μm）經擾流器均勻沈降於透明膠片後，進行照度測定及秤重，依數據呈現之線性關係分別制訂0-0.2 g、0.2-0.6 g 及0.6-1.10 g 三條檢量線，其迴歸相關性介於0.9719~0.9973，可知坋土重量與照度衰減具高度相關性。本研究在臺北縣政府環保局所屬10處人工測站同步放樣，共回收30個有效樣品，依上述對應之檢量線推估落塵量與各該人工測站落塵量量測結果進行相關性分析，獲得皮爾森（PEARSON）積差相關係數 r=0.8315，顯示以光照衰減方式預估之結果與人工測站落塵量實際測值變化趨勢相關。依本研究結果證實，以光照衰減方式量測落塵量有高度之可行性。

另本研究亦針對臺北縣34重點路段設置68個採樣點，利用照度衰減法快速判定道路髒污程度，作為調整規劃洗掃作業路線或營建工地污染管制熱區之依據。參照環保署道路髒污三等級之分級方式，將各樣品之光照衰減程度分成三個等級：A 級乾淨（光照衰減量<80 Lux）、B 級普通（80<光照衰減量<160 Lux） 及 C 級髒，（光照衰減量>160 Lux）。經試驗得知共計16路段屬 A 級髒污道路，15路段屬 B 級髒污道路，另3路段屬 C 級髒污道路。

關鍵字：光照衰減，檢量線，擾流器

ABSTRACT

Light attenuation method, a quick and easy method, was established to measure the pollution load of dust. This method was actually applied to the sweep and wash operation plan of street dust as well as determination the hot spots of fugitive pollution. In this study, a transparent film coated with silicone oil was employed to collect dust and placed at the dust collecting stations of Taipei County Government Environmental Protection Agency. Dust amounts were simultaneously collected by both transparent films and dust buckets. After sampling, the transparent films were irradiated by incandescent light (full spectrum) and intensities of illumination were measured by light meter. The dust weight on the transparent film was determined by the calibration curve.

In the laboratory, silt (grain size <75 μm), through the spoiler, evenly deposited onto a transparent film, followed by measurement of illumination intensity and silt weight. The calibration curve was created according to a linear relationship between the illumination intensity and silt weight. Three sets of calibration curve, the soil weight range of 0-0.2 g, 0.2-0.6 g and 0.6-1.10 g, were developed and the regression correlations for three calibration curves were between 0.9719 and 0.9973. These showed that weight of silt and illumination intensity has a high degree of correlation. In this study, 30 valid samples were concurrently taken using both transparent films and dust buckets at the 10 stations owned by Taipei County Government Environmental Protection Agency. The dust amounts on the transparent films were determined according to the corresponding calibration curves. The strength of the association between the dust amounts collected by transparent films and dust buckets was evaluated using Pearson correlation analysis. In accordance with Pearson's correlation coefficient r = 0.8315 demonstrates the dust weights derived from light attenuation method highly related to the actual measured dust weight in the dust buckets. These findings confirm that dust weights determined by light attenuation method are highly feasible.

In addition, 68 sampling points were set on major roads in Taipei County. Light attenuation method was utilized to determine the extent of road dirty, as the adjustment basis of roads sweep and wash plan for roads and pollution control of hot spots for construction site. In accordance with the three levels of dirty road classification by EPA, the light attenuation level of each sample was divided into three grades: A-grade (clean, light attenuation <80 Lux), B-grade (average, 80< light attenuation <160 Lux) and C-grade (dirty, light attenuation> 160 Lux). The results showed that C-grade roads included Annho Road in Hsintien city, Jincheng Road in Tucheng city, and Zhongshan Road in Taishan Township; B-grade roads included Hsinwu road and Chengtai Road in Wugu Township, Meiji road in Taishan Township, Wunhua 1st Road and Jhongshan Road, Linkou Township, Zhongzheng Road and Sanmin Roand in Lujhou City, Zhonghua Road in Tucheng City, Zhongzheng E. Road and Zhongshan Road in Danshui Township, Jianguo Road in Yingge Township, Datong Road in Xizhi City, Jieshou Road in Sanxia Township, Ankang Road in Xindian City, and Huanhe Road in Yonghe City.

Keyword：light attenuation, calibration curve, spoiler

聯絡人：秦孝偉，Tel: (02) 8662-5936 ext. 108; email: *hwchin@mail.tnu.edu.tw*

壹、研究背景

以往環保單位對於道路髒污程度的判定方式可分為兩類，一是「目視道路髒污判定法」，係指調查人員以目視判斷該路段髒污狀況，並依環保署提供之道路髒污程度判定原則，將道路髒污程度劃分為 A、B、C 三等級，作為分級標準；此法優點為判斷時間迅速，可以人性化觀點作全視野判斷，但相對缺點則較為主觀判斷，無法建立客觀評量標準，不同的調查人員對道路髒污程度的認知不盡相同。二是「街塵負荷分析量測」，此方法主要用於概估道路實際坋土量，採集數據需予以篩分秤重，故較具客觀性，惟需經實驗室程序，樣品的採集、乾燥、篩分、秤重費時較久，待評估數據結果出爐後，不及反應道路髒污程度。為提升行政單位決策速度，本研究擬尋求建立另一客觀、快速的道路髒污程度評量方法，以即時提供髒污道路資訊，做為環保單位執行道路洗掃工作之依據，並探討實際應用於道路及工地落塵之量測之可行性。

貳、文獻回顧

近年國內對於街道揚塵之研究相當多，但研究多偏重於探討街塵特性、最佳洗掃方式的規劃、洗街車及掃街車最佳效率規劃等，而研究探討道路髒污程度的判定方式則較少見，多數研究仍沿用行政院環保署以目視道路髒污等級判定或街塵負荷量測方式為之。

一、街塵變化與最適洗掃頻率

林明賢等人（2006）研究指出當道路在洗街前之街塵負荷愈高時，洗街作業對街塵之削減效率愈高，最高可達83.3%，反之當道路在洗街前之街塵負荷愈低時，洗街作業對街塵之削減效率亦愈低，僅為23.1~32% 左右。當道路之街塵負荷愈高時，其街塵累積速率亦愈高。A 級道路如欲維持於 A 級狀態，應維持在9~10天/次之洗掃頻率，B 級道路如欲提昇至 A 級，其應維持在5~6天/次的洗掃頻率，而 C 級道路如欲提昇至 A 級，則其應維持於2~3天/次的洗掃頻率。

二、街道洗掃作業 PM 排放特性及其削減效率

周芷玫等人（2006）研究指出，台北縣主要道路平均車流量約為64.4 pcu/min，其塵土、坋土含量分別在0.2~11.3 g/m^2及0.1~2.4 g/m^2；以掃街車在前、洗街車在後方式進行。掃街車之操作條件：噴水量為75 L/hr、掃刷轉速為40 rpm 及噴水壓力為50 psig；洗街車之操作條件：噴水量為80~120 L/min、噴水角度為60°及噴水壓力為10 psig；兩車維持距離為500公尺，洗掃街車先從道路之外側，以時速5~10 km/hr 進行洗掃，待外側路面沖刷完畢後，再轉入車道內側。PM_{10}監測時間為洗掃作業前三小時開始監測，TSP 監測時間為洗掃作業後一小時開始監測，路面塵土及坋土採樣則為洗掃作業前後進行之。進行掃街工作時，因機具施做特性造成街塵之再揚起，街塵與道路表面間附著力降低，使 PM 濃度瞬間暫時性增高。在進行作業後約1~2小時，街道周界空氣中的 PM 可恢復穩定並進而沉降。研究結果並發現，良好的洗掃作業在對街道周界之 TSP、PM_{10}及路面塵土/坋土皆具有正面的削減效率，且發現坋土削減率與 TSP 削減率和 PM_{10}之間具有相關性。

三、洗街車洗塵效率影響參數探討

鄭夙雯等人（2001）於90年10月間進行高雄都會區之主要道路現勘及街塵負荷量之採集，並提出最佳之洗街車操作參數及條件分別為：車行速度10 km/hr；噴水水壓2.0 kg/cm^2；噴嘴離地高度20公分；噴嘴噴水角度45°。然而，在實際應用上得是當時之道路髒污程度做適當調整，如噴嘴離地高度可調整為30公分，以避免道路顛坡或坑洞而殃及噴嘴，且與20公分之洗塵效率相較下，僅低2%左右，故原則上以30公分較佳。

四、街塵採樣

街塵負荷量可以採用掃地集塵或真空吸塵之方式，在街道側面一定範圍內收集微粒並稱重而得。根據 Axetell 等（1997）研究中發現，路面街塵負荷最重的地方為道路兩側，即快車道與慢車道邊緣，而快車道上之街塵負荷量幾乎可忽略，故為得採樣之代表性，應就其道路兩側為採樣範圍。

五、落塵乾沉降機制及測量方法

大氣污染物中的酸性物質，有一部份的二氧化硫會以氣態附著在地表物體上，一部份的氣懸粒子經氣固相轉化後以落塵的型式沉降到地表，這兩種方式合稱為乾沉降。還有一些氣體和氣懸粒子會進入雲、霧中，並隨者雨水、雪花而落至地表，或是隨著霧水而沾附在物體表面，這些通稱為濕沉降。落塵之乾沉降機制主要為慣性力與重力作用，大氣中的大顆粒污染物質沉降到地表後會因地面的吸附（adsorption）作用或建築物及植物的截留（interception）作用等，使部分粉塵不再揚起；而濕沉降則為空氣中之粒狀污染物隨雨水自大氣中落至地表的一種去除作用。

污染物的乾沉降程序一般被區分為三個階段：首先為自大氣中傳輸到受體附近之黏性次層，邊界的程序稱為氣動傳輸，其次為污染物穿過黏性次層而到達受體表面的傳輸程序稱為邊界層傳輸，最後為達到受體表面之污染物與受體表面之間的互動關係，例如氣相污染物是否會被吸附或吸收，而粒狀物是否停留於表面上或是在反彈或再捲揚等。所以沉降的速度分氣動阻力、邊界層阻力，與表面阻力三部份，各傳輸阻力的大小隨著污染物的種類、受體的特性，與氣象條件等變化，而表面阻力對乾沉降的速度影響最大。

Hicks et al.（1986）指出量測乾沈降的方法有表面分析法（Surface Analysis）與大氣通量法（Atmospheric Flux）。表面分析法是將乾沈降污染物收集於固定表面之後再加以分析，包括替代表面法（Surrogate Surface）、穿流水法（Through-Fall）及樹葉萃取法（Foliar Extraction）三種。

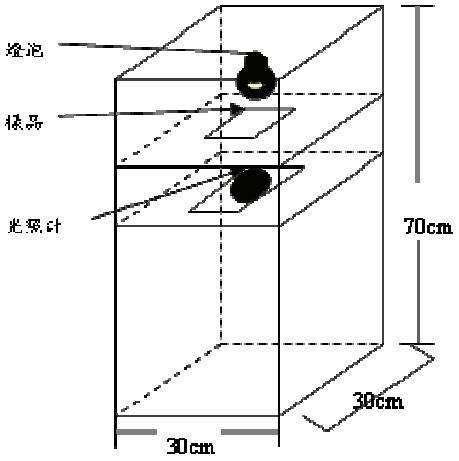
參、研究方法、材料與設備

一、採樣器材及步驟

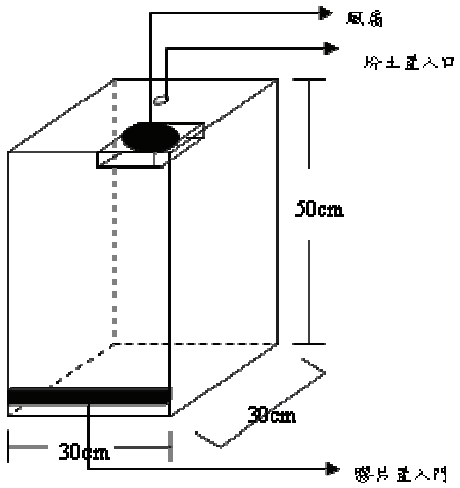
採樣膠片為長10公分，寬10公分之投影片，兩側底部貼黏8公分長之雙面膠帶，表面塗抹適量矽油（黏度500CS），貼標籤紙編號後放入硬式攜帶盒（長14公分，寬12公分）；選取道路旁之電信箱放置採樣膠片，採樣位置以人為不易碰觸之高度，周圍避免有高建築物或其他遮蔽物，擺放5日後將貼黏之膠片裝至攜帶盒，取回實驗室。採樣期間隨時注意天氣變化，若期間遭遇下雨則提前先收回。

二、光度衰減測定器材及步驟

光照量測箱（規格：H 70公分，L 30公分，W 30公分，如圖一所示）為一黑色並具不透光性壓克力材質，內裝60瓦白熾燈泡，中間以黑色板隔層，色板中間開啟7公分×7公分正方形孔，將樣品至於色板孔上，再以數位式照度計（可顯示1~20,000 Lux）測定，照度計接收透過投影片之光源，顯示光照讀值。擾流器（規格：H 50公分，L 30公分，W 30公分，如圖二所示），為一透明壓克力箱，箱內頂部裝風扇並開一小口為坋土置入口，底部為膠片置入門，當開啟風扇及置入坋土後進行擾流，再以投影片反覆進行坋土重量與光照衰減之相關性實驗。



圖一　光照測量箱



圖二　擾流器

三、光照衰減量計算

空白膠片塗抹適量矽油之投影片之光照讀值為 L1，採樣後之投影片之光照讀值為 L2，Lux(光度衰減)＝L2-L1。

肆、結果與討論

一、光照衰減量測落塵量可行性評估

(一)光照衰減推估落塵量

為取得足量之道路街塵（坋土），本研究依據環保署街塵負荷採樣方式，以附有集塵袋之負壓式吸塵器進行街塵採樣，採樣後將塵土置入乾淨的夾鏈式塑膠袋中，攜回實驗室置入烘箱以105℃烘乾後於除濕箱靜置冷卻，繼以搖篩機（網徑為2,000 μm、297 μm 及75 μm 三種篩網）篩除取得坋土（粒徑＜75 μm）。於實驗室以坋土（粒徑＜75μm）經擾流器反覆均勻沈降於透明膠片後，進行照度測定及秤重，並繪製光照衰減量與坋土量之關係圖如圖三所示。

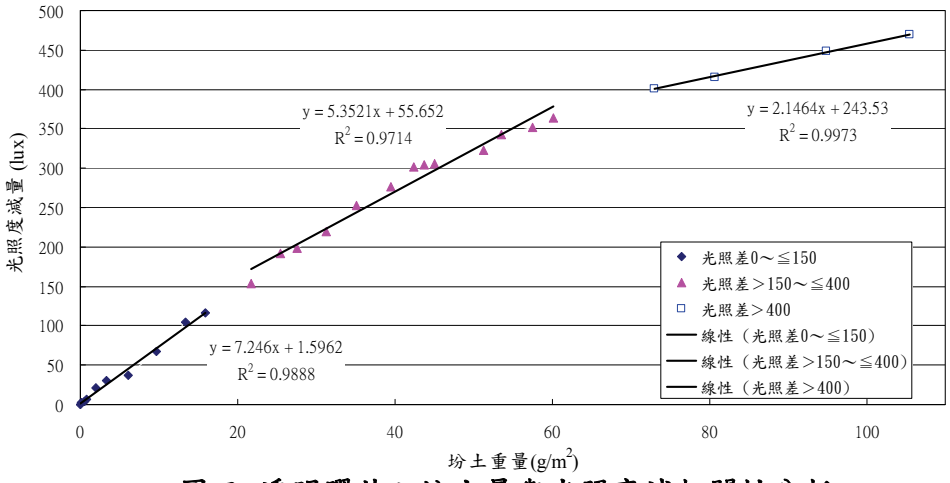
依據試驗所得之光照衰減量與坋土量數據發現，當坋土重量增加時光照差隨之增加，但有漸緩趨勢，推測其可能原因為光照衰減量產生之主要因為坋土顆粒沉降於透明膠片其投影面積遮蔽作用造成，當沉降於膠片之坋土顆粒相互重疊時，顆粒之遮蔽作用將較同重量單層分佈於膠片之沉降坋土顆粒為低，因此光照衰減量亦較同重量單層分佈顆粒為低，當收集坋土重量增加，各顆粒重疊機率隨之增加，致光照衰減量隨收集重量增加而有降低趨勢，為確實反映此特性，依據試驗所得之光照衰減量與坋土量數據，以不同重量區段進行相關性分析，獲得0-0.2g、0.2-0.6g 及0.6-1.10g 三條不同坋土重量與光照衰減量之最適檢量線如圖三所示，三檢量線之斜率（△光照衰減量／△坋土重量）隨坋土量增加而減少，且三檢量線之坋土重量與光照衰減量呈現優異的線性關係（R^2＝0.9714-0.9973），各檢量線迴歸方程式如下公式所示。實際運用於落塵量測時，以膠片塗抹矽油擇定落塵熱區進行短時間（3-5天）落塵採集後進行光照實驗，再由本實驗所得檢量線推估落塵量，以求得快速客觀之落塵量。

$0<Y\leqq 150$ Lux　　$Y=724.60X + 1.5962$　　$R^2=0.988$.....(式一)

$150<Y\leqq 400$ Lux　　$Y=535.21X + 55.652$　　$R^2=0.971$.....(式二)

$Y>400$ Lux　　$Y=214.64X + 243.53$　　$R^2=0.997$ .....(式三)

其中Y：光照差值（Lux）；X：坋土重量（g）



圖三 透明膠片之坋土量與光照衰減相關性分析

（二）矽油對光照衰減之影響

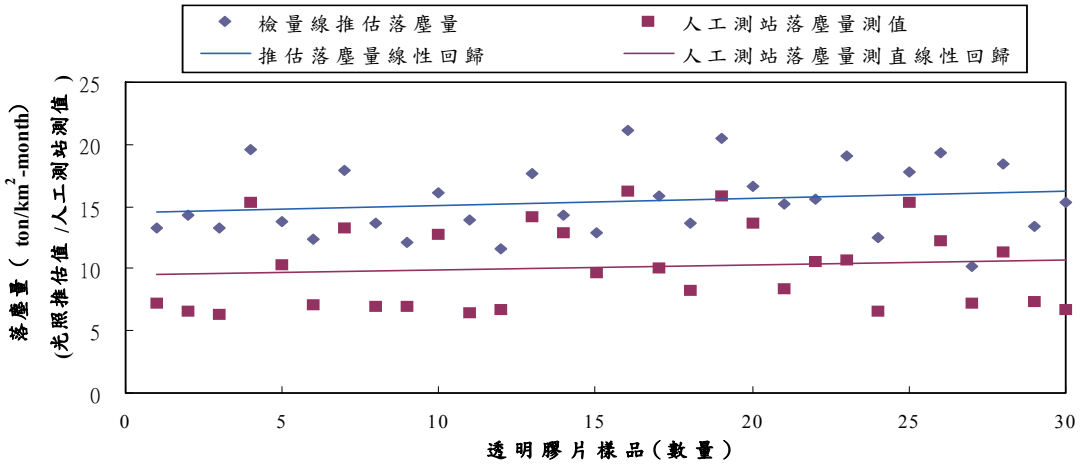
由於本實驗須塗布矽油以便採樣，須了解矽油對光照衰減之影響程度。在此分2組以矽油重複塗抹於膠片後，分次以光照射後測衰減量和秤重，即進行光照衰減與重量之比較，其變化情形如表1所示，結果顯示，光照後測值範圍第一組約為605 Lux 至610 Lux 之間，重量增加約12.6%、光照衰減變化約0.8%；第二組約為615 Lux 至623 Lux 之間，重量增加約7.4%、光照衰減變化約1.3%，以上可知隨著膠片重量漸漸增加，光照衰減變化不大；另由於採樣地點皆為自然環境下，因此也須了解在採樣過程矽油耗損情形，故在此以量筒盛裝矽油，置於自然環境及高溫環境下進行矽油耗損情形之試驗，觀察其含量變化並無耗損情形。

表2、膠片塗抹矽油後光照與重量之變化情形

第一組測試（2009/9/10）			第二組測試（2009/9/10）		
塗矽油次數	光照（**Lux**）	重量（g）	塗矽油次數	光照（**Lux**）	重量（g）
1	609	1.7456	1	615	1.8754
2	606	1.8134	2	619	1.9061
3	609	1.8519	3	618	1.9514
4	610	1.8565	4	618	1.9679
5	608	1.9110	5	616	1.9856
6	605	1.9330	6	620	2.0052
7	605	1.9670	7	623	2.0141

（三）與落塵量量測比對

本研究於臺北縣政府環保局所屬10處人工測站同步擺放透明膠片採集樣品，並配合人工測站落塵量之量測期程，經30±3天後回收30個有效樣品，依上述對應之檢量線推估落塵量與各該人工測站落塵量量測結果進行比對。結果顯示，依透明膠片之光度衰減量以檢量線推估之落塵量較高，較落塵桶量測之落塵量測值約高出5.4公噸/平方公里・月；進一步以檢量線推估值與落塵量實測值進行相關性比較，其皮爾森（PEARSON）積差相關係數 r=0.8315，顯示以光照衰減方式推估落之塵量與人工測站落塵量實際測值變化趨勢相當，分析結果如圖四所示。

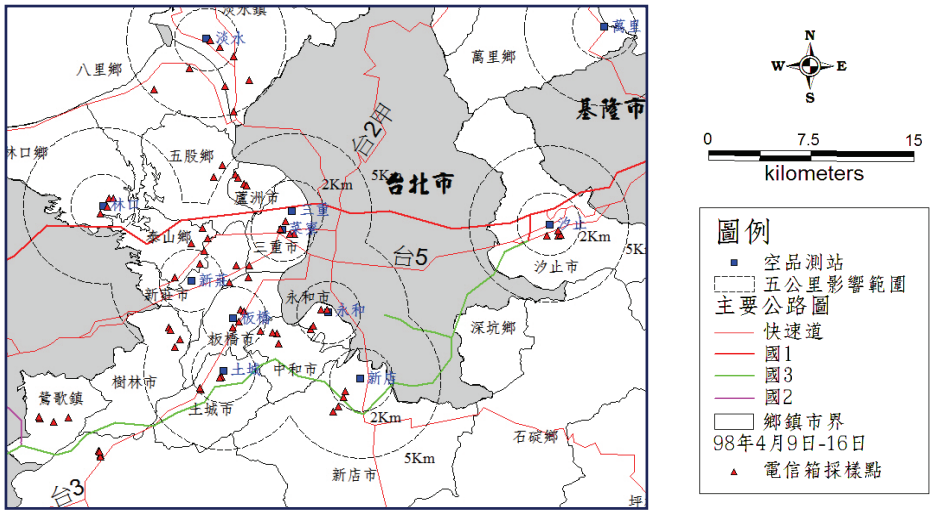


圖四 檢量線推估量與實測值皮爾森積差相關性分析

二、光照衰減量應用於道路髒污分級

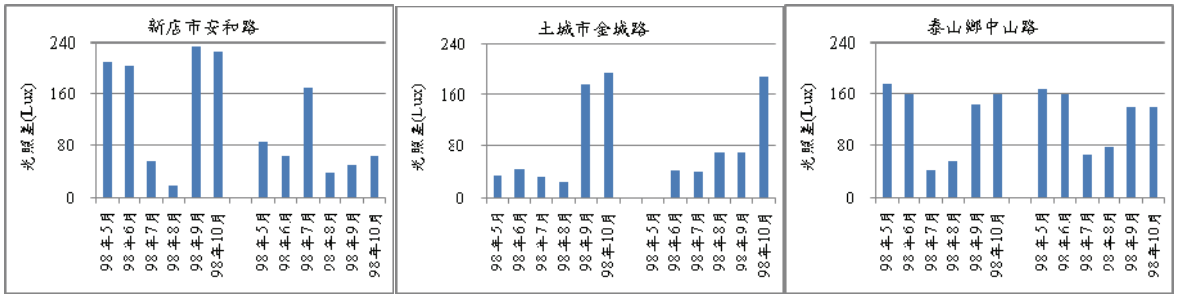
（一）以光度衰減量進行道路髒污分級結果

本研究共調查臺北縣34條主要道路規劃68個路段（如圖五所示），各路段以篩選道路兩旁適當之電信箱作為透明膠片樣品擺設地點，配合街道揚塵洗掃作業規劃每星期調整洗掃作業路線之頻率，透明膠片樣品擺設5-7天後回收，於實驗室以白熾燈泡（全光譜）之光照射，於膠片下方以照度計測定光度的衰減情形，研究期間共擺設408個透明膠片樣品，回收372個有效樣品，各樣品之光照衰減量約介於3 Lux 至235 Lux。本研究參照環保署道路髒污三等級之分級方式：將各樣品之光照衰減程度分成三個等級：A 級乾淨，（光照衰減量<80 Lux）、B 級普通，（80<光照衰減量<160 Lux） 及 C 級髒，（光照衰減量>160 Lux）。



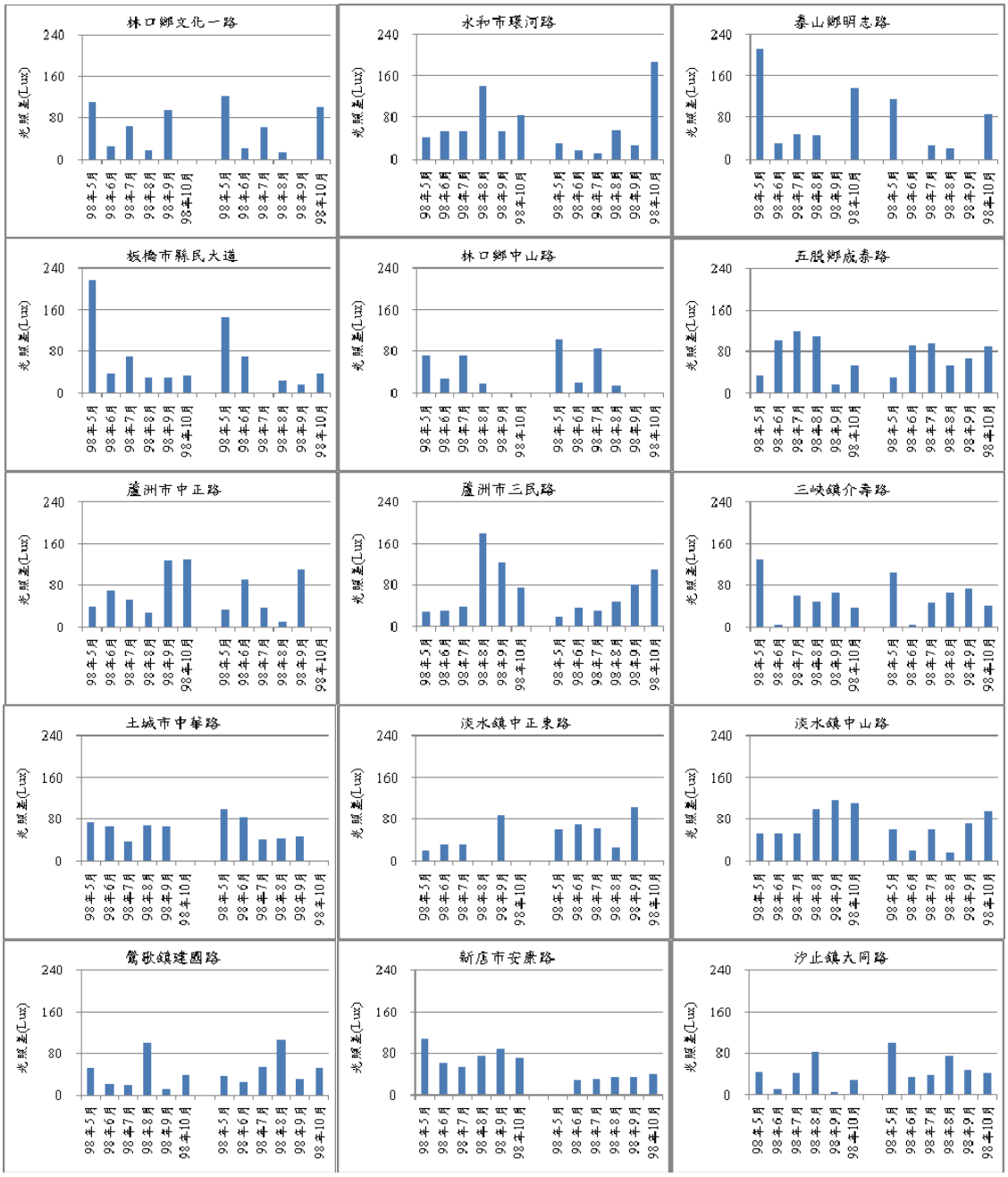
圖五 臺北縣落塵採樣路段（電信箱）空間分布示意圖

依據研究期間各路段的膠片樣品光照衰減程度進行分級，每條道路於研究期間最多可回收12個有效樣品，其中新店市安和路的12個樣品中，光照衰減值超過160Lux 有5個樣品，比例最高；其次為土城市金城路，11個樣品中有3個樣品超過160Lux；泰山鄉中山路12個樣品中有2個樣品超過160 Lux，6個樣品介於80～160Lux，上述三條道路常態性的髒污等級可判定為 C 級（如圖六所示），應納為街道揚塵洗掃作業的優先路段。



圖六 臺北縣 C 級道路髒污程度調查結果（光照衰減）

另研究期間常態性屬 B 級道路包括五股鄉的新五路，12個樣品中有1個樣品光照衰減值超過160 Lux，9個樣品光照衰減值介於80～160Lux，為臺北縣典型的 B 級髒污道路，應再提高洗掃頻率方可使道路提升至 A 級；其次可判定為 B 級道路有泰山鄉明志路；林口鄉文化一路、中山路；五股鄉成泰路；蘆洲市中正路、三民路；土城市中華路；淡水鎮中正東路、中山路；鶯歌鎮建國路；汐止市大同路；三峽鎮介壽路；新店市安康路；永和市環河路，各路段光照衰減值測定結果如圖七所示。進一步比對各路段鄰近污染源現況，新店市安和路臨近多家大型砂石場，五股鄉新五路、成泰路鄰近多處公共工程（如新莊副都心、特二號、機場聯外捷運等工程），因此這幾條道路常態性道路髒污程度明顯高於其他路段。



圖七　臺北縣 B 級道路髒污程度調查結果（光照衰減）

(二)各月份間的差異

依各月份樣品光照平均值顯示5月份落塵負荷較高，6月及7月份落塵負荷較低（如表2），原因推斷為6月及7月份下雨天數多且下雨日數分散（如表3），大氣中落塵經雨水沖刷而落下，加上地表因雨水而呈濕潤狀態，故大氣揚塵較少所至，另8月份莫拉克颱風雖造成瞬間降雨量大增，豪雨造成大量泥沙淤積於街道，而8月下旬天氣乾燥炎熱，揚塵產生機率大增，致使8月份落塵負荷大增。

表2 街塵樣品光照差值 （單位：Lux）

月份	5月	6月	7月	8月
最大值	216	203	169	190
最小值	14	3	8	10
平均值	**65.7**	**48.1**	**48.9**	**55.7**

表3 研究期間臺北縣氣候狀況

月份	溫度(℃)	降雨量(毫米)	降雨比例	雨天日數
5月	23.5	24.7	9.60%	6
6月	28.2	276.8	86.70%	14
7月	30.1	140.9	56.80%	10
8月	--	321.3	--	13

伍、結論

一、本研究利用透明膠片樣品以白熾燈泡（全光譜）光源照射後，於膠片下方以照度計測定光度的衰減情形，於實驗室以坋土（粒徑<75μm）經擾流器均勻沈降於透明膠片後，進行照度測定及秤重，制訂0-0.2g、0.2-0.6g 及0.6-1.10g 三條檢量線，其迴歸相關性分別為0.9888，0.9714及0.9973，顯示坋土重量與照度衰減具高度之相關性。

二、依上述對應之檢量線推估落塵量與各該人工測站落塵量量測結果進行線性相關分析，其皮爾森（PEARSON）積差相關係數 r=0.8315，顯示以光照衰減方式推估落塵量與人工測站落塵量實際測值變化趨勢有正相關。

三、本研究針對臺北縣34條主要道路規劃68個路段，以光照衰減法應用於道路髒污之判定，並參照環保署道路髒污三等級之分級方式： A 級乾淨，（光照衰減量<80

Lux）、B 級普通，（80<光照衰減量<160 Lux） 及 C 級髒，（光照衰減量>160 Lux）。以此分級判斷方式，道路髒污程度屬 C 級之道路為新店市安和路；土城市金城路；泰山鄉中山路。道路髒污程度屬 B 級路段包括五股鄉的新五路、五股鄉成泰路；泰山鄉明志路；林口鄉文化一路、中山路；蘆洲市中正路、三民路；土城市中華路、；淡水鎮中正東路、中山路；鶯歌鎮建國路；汐止市大同路；三峽鎮介壽路；新店市安康路；永和市環河路。相關道路髒污判定結果可做為街道揚塵洗掃路線規劃之依據。

參考文獻

1. 江金龍、洪培元、陳維新，「空氣污染與控制」，第四版，高立圖書有限公司，民國八十八年。
2. 王鑫棟，「改良式掃街車對周界 PM_{10} 削減成效之研究」，碩士論文，國立台北科技大學環境規劃與管理研究所，2006。
3. 林明賢，「道路街塵累積變化與最適洗掃頻率之研究」，碩士論文，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，高雄，2006。
4. 周芷玫，「街道洗掃作業 PM 排放特性及其削減效率之研究」，博士論文，國立台北科技大學工程科技研究所，台北，2006。
5. 吳慶榔，「臺中縣推動街道揚塵洗掃計畫業務之成效分析及研究」，碩士論文，中興大學環境工程學系所，台中，2005。
6. 徐禾杰，「街道洗掃作業懸浮微粒（PM_{10}）動態變化及最適洗掃條件之研究」，碩士論文，國立臺北科技大學環境規劃與管理研究所，台北，2004。
7. 盧俊中，「提昇洗掃街車對空氣中 PM_{10} 防治效率之研究」，，碩士論文，國立臺北科技大學環境規劃與管理研究所，台北，2004。
8. 吳淑芬，「彰化縣街塵特性探討」，碩士論文，大葉大學環境工程學系，2003。
9. 鄭夙雯，「洗街車洗塵效率影響參數探討與洗塵模式建立」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，高雄，2001。
10. 楊婷卉，「逢甲大學校園及周邊地面街塵特性分析」，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所，台中，2000。
11. 蔡素芬，「台灣地區道路塵粒特性之研究」，碩士論文，國立清華大學原子科學系，新竹，1998。
12. 林斌龍，「台北地區懸浮微粒濃度與氣象因子關係之研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，1989。
13. 李芝珊，「大氣懸浮微粒採樣方法之探討」，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所，1986。
14. Axetell, K. and J. Zell, “Control of reentrained dust from paved street,” EPA-907/9-77-007, U.S. Environmental Protection Agency, Region, Kansas City, MO, 1977.
15. Hicks B. B., M. L. Wesly, S. E. Lindberg and S. M. Bromberg （1986）, “Proceedings of the dry deposition workshop of the National Acid Precipitation Assessment Program”,NOAA/ATDD Oak Ridge, TN.

16. U.S.EPA,1993 “Addendum to Emission Factors Documentaion for AP-42,Section 13.2.1：Paved Roads”,Final Report for US EPA,1997.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第111-120頁

新竹地區空氣品質不良日之逆軌跡分析

Back-Trajectory Studies of Air-Pollutant Eventsin Hsin-Chu Area

華梅英[1]　余泰毅[2]　張秀慧[3]

Mei-Yin Hwa[1]　Tai-Yi Yu[2]　Shui-Huai Chang[3]

[1]東南科技大學 環境與安全衛生工程系 副教授　[2]銘傳大學 風險管理與保險學系 助理教授

[3]東南科技大學 防災科技研究所 研究生 暨 台北縣環保局評估及規劃科 (技士)

[1]Department of Safety, Health and Environmental Engineering, Tungnei University

[2]Department of Risk Management and Insurance, Ming-Chuan University

[3]Institute of Technology for Hazards Mitigation, Tungnei University and Environmental Impact Assessment and Planning Section, Environmental Protection Bureau, Taipei County

摘　　要

本研究以逆軌跡模式，分析新竹地區2008年空品不良日之氣團軌跡，藉以探討該地區之可能污染來源。逆軌跡模式是由已知測站位置開始，配合當時風場連續回溯上一時間的軌跡位置。方法上主要分成三個步驟：首先以客觀分析方法決定網格風場範圍，再以變分分析方法校正風場流經複雜地形的效應，最後計算各測站的氣流逆軌跡，回推每正點小時之氣團位置。

由模擬結果顯示，新竹地區空品不良日，在臭氧部分，其偏高之主要原因分有二：第一，污染氣團由東北方及東方之桃園與台北縣移入，至本區時進入強日照及高溫，經光化作用致使臭氧濃度快速累積增高；第二，為氣團前一天由南方的台中縣靠海地區向北吹，經由海陸風現象：晚上由陸地吹向大海、白天由大海吹向陸地，到新竹市北端與竹縣交界處進入竹縣，持續向北經陸風由竹桃交界處入吹回海上，在該日上午經海風吹向本區造成空品不良。在 PM_{10}部分，主要為中國大陸北方吹來之沙塵暴所引起，最高小時值多發生在清晨1~2時，氣流主要由北向南，自臺北市吹向臺北縣，經桃園縣或吹往海上再經海風或陸上吹至本區滯留後，於清晨達到高值造成空品不良。

由此可知，新竹地區之空品不良現象，除本地排放污染外，亦受其他縣市移入污染物及天候影響，在防制工作上應與鄰近縣市共同協商防制對策。

關鍵字：逆軌跡分析、新竹地區、空氣品質不良日、客觀分析、變分分析

ABSTRACT

This study used back-trajectory technology to track back air mass on pollutant events of 2008 in Hsin-Chu area for probing into the source of pollution. The trajectory started from the monitoring station at the most serious polluted hour then cooperated with wind fields continuously to track the air back. There were three steps on the method. First, used the objective analysis to determine the scope of wind field grid, second, judged the effect of complicated topography with variation analysis, and finally, continuously calculated the path of air in one hour interval.

The results indicated that for ozone events there were two main causes in Hsin-Chu area, one was the polluted parcel moved in from the north-east or east boundary, which were Tao-Yuan and Taipei County, the strong surface radiation and temperature increased the photochemical reactions and accumulated high ozone concentration, another was the polluted parcels coming from the southern regions like the seashore of Tai-Chung County, have moved via the land-sea-breeze phenomenon, they were blown from land to sea in the evening and in reverse direction at daytime, as the air parcel pass the intersection of Hsin-Chu city and county, they were blown northwards to the seashore around the intersection of Tao-Yuen and Hsin-Chu county, and then been blown here to raise ozone concentration. For PM_{10} event, the main reason was the strong sand storm from the northern desert of mainland China. The maximum concentration occurred at 1:00 to 2:00am in Hsin-Chu area. The polluted air came from Taipei City through Taipei County and Tao-Yuen County to the sea, then via sea wing blew here and trapped, brought about the particulate pollution.

From this study, it should consider a mesoscale wind field and surrounding pollution sources in establishing strategies to prevent air pollution and maintain air quality in Hsin-Chu area.

Key Words：*Back-Trajectory technology, Hsin-Chu Area, Air pollutants Event, Objective Analysis, Variation Analysis*

壹、前言

氣流逆軌跡模式在空氣污染領域的應用十分廣泛，包括建立污染源受體點間的關係 (Stohl, 1996;1997;Calori and Carmichael, 1999)[1~3]、氣象流場的分類、箱模式(Box model)的初始輸入條件、配合濃度場找出污染潛勢區等多方面的應用。Chock and Winkler (1996,2000)[4] [5]發展軌跡模式解析氣膠的凝結與蒸發行為，而 Malcolm et al. (2000) [6]則以軌跡模式評估二次氣膠的長程輸送問題。Liu et al.(1999) [7]以逆軌跡模式模擬對流層臭氧垂直剖面濃度的高臭氧值係來自側向的傳輸，透過逆軌跡模式瞭解主要是東南亞大陸地區，推測可能的來源是生物源燃燒提供足夠的臭氧前驅物。Cobourn and Hubbard (1999) [8]則以將軌跡分類，針對不同類別的軌跡進行非線性回歸，以預測日最大小時臭氧值，結果發現，回歸模式對於隔日高臭氧的預測效果較佳，對於第二或第三日之後的臭氧預測效果則明顯地變差。Derwent 等(2003) [9]以軌跡模式模擬歐洲西北地區移動源減量過程中主要 VOCs 十年之變化，並與倫敦地區背景測站之測值相比較，發覺移動源 VOCs 減量的確是 90’s 年代該區域臭氧高值降低之主因。Sturman 等(2002) [10]以 1.5 及 0.5km 的網格，利用逆軌跡分析技術，追蹤影響紐西蘭基督城的污染氣體來源，並界定都市內之空氣清淨地區。

貳、研究方法

本研究之逆軌跡分析是由已知測站的位置，配合風場，回溯上一時間的軌跡位置。主要分成三個步驟：首先以客觀分析方法(Barnes, 1973) [11]決定網格風場，再以變分分析(Chang et al., 1983) [12]方法校正風場流經複雜地形的效應，最後計算各測站的氣流逆軌跡。客觀分析的主要目的在求出規則化網格點的分析值，以及使分析場得以符合監測資料的波動特性，其基本形式為：

$$U_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^{N} W_k u_k}{\sum_{k=1}^{N} W_k} \tag{1}$$

$U_{I,j}$:代表規則網格點上的分析值，W_k:為 k 測站之權重函數，決定第 k 個測值影響格點(i,j)的權重，u_k 代表鄰近測站的測值，N 為測站數。不同的客觀分析方法其主要的差異，是因權重函數不同所致，權重函數可決定分析的優劣程度。本研究之權重函數係使用 Barnes 權重，其方式如下，

$$W_k = \exp(-r_k^{\,2} / R_1^{\,2}) \tag{2}$$

其中 r_k 是網格與測站間的距離，R_1 為濾波參數，可視作影響半徑，其值小會有短波存在，其值大短波將被濾掉，產生修勻的情形。一般的逐步修正法必須經過多次的疊代，若希望在較短的波長處達到所希望的波譜反應，顯然地需要多次的疊代才能達成。

$$R_1^{\,2} = \gamma R^2 \tag{3}$$

其中 γ 是收斂參數，介於 0~1，R 為濾波參數。至於其波譜反應函數(曾氏,1997) [13]則可以傅利葉轉換形式表示成：

$$H_1 = \exp(-\pi^2 R_1^{\ 2} / L^2) \tag{4}$$

其中 L 是波長，對於 γ<1 的反應函數而言，短波可以很快地恢復。根據曾氏(1997)的經驗，建議收斂參數為 0.2~0.4，由於 Barnes 的客觀分析格式主要是因為收斂參數確立之後，透過頻率反應函數與波長的選定，再決定 R_2。以全台灣地區的風場為例(UTM 東方座標：100-380km，UTM 北方座標 2400-2840km)，假設進行四次掃描，收斂參數為 0.3，頻率反應函數為 0.6，第一次波長為 200km，則 R_2=8000km^2，第二次波長為 80km，則 R_2=1280km^2，第三次波長為 40km，則 R_2=320km^2，第四次波長為 20km，則 R_2=80km^2，根據這樣的方法，短波可快速恢復到 20km 的 60%。

變分最佳分析的理論基礎是 Sasaki (1970) [14~16]提出的，這個方法可將動力的、數學的或是經驗的約束條件納入最佳化過程中，使得氣象場維持內部資料的一致性。Chang et al.(1983)所發展之變分分析法，是以連續方程式為強制約束條件，並採行地形座標系統，而本文所使用之變分分析法亦以此為基礎。其中地形座標定義為：

$$\sigma = \frac{Z - E(x,y)}{H - E(x,y)} \tag{5}$$

其中 σ 是地形座標值，介於 0~1，Z 表空間中任一點之高度，E(x,y)表地形高度，H 表模式頂端高度，X 與 Y 表水平方向座標。而在準不可壓縮假設(quasi-incompressible approximation)的條件下，連續方程可表示為：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial \sigma} = \frac{1}{H-E}(u\frac{\partial E}{\partial x} + v\frac{\partial E}{\partial y}) \tag{6}$$

上式中，u，v 分別為 x，y 方向之速度分量，w*為地形座標之垂直速度，可表示為：

$$w^* = \frac{d\sigma}{\partial t} = \frac{1}{H-E}\left[w - (1-\sigma)(u\frac{\partial E}{\partial x} + v\frac{\partial E}{\partial y})\right] \tag{7}$$

式中 w 為一般直角座標中的垂直速度。以連續方程式作為強制約束條件，變分分析函數可設計為：

$$J = \iiint \left\{ \frac{1}{2}\left[(u-u_0)^2 + (v-v_0)^2 + \right.\right.$$
$$\left.\left.\lambda\left[(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial \sigma}) - \frac{1}{H-E}(u\frac{\partial E}{\partial x} + v\frac{\partial E}{\partial y})\right]\right\} dxdyd\sigma \tag{8}$$

上式中，u_0，v_0 為直接由測站觀測值內插至網格點上之水平風速，u，v 為經變分分析調整後之水平及垂直風速， λ為 Lagrange 乘數。整個變分分析的設計，若使這個泛函數滿足極小值時，就是代表調整後之風速分量與觀測風速分量之差異為最小值，且調整後之風場必須滿足連續方程式，為了令 J 有最小值，根據前述的變分原理可知，令 δJ=0，而

$$
\begin{aligned}
\delta J = \iiint \Big[& (u-u_0)\delta u + (v-v_0)dv \Big] \\
& + \delta\lambda \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w^*}{\partial \sigma}\right) - \frac{1}{H-E}\left(u\frac{\partial E}{\partial x} + v\frac{\partial E}{\partial y}\right) \right] \\
& + \lambda \left[\frac{\partial}{\partial x}(\delta u) + \frac{\partial}{\partial y}(\delta v) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(\delta w^*) - \frac{1}{H-E}\left(\delta u\frac{\partial E}{\partial x} + \delta v\frac{\partial E}{\partial y}\right) \right] \Big] dxdy\sigma
\end{aligned}
\tag{9}
$$

如此，在穩定狀況(stationary condition)下可得到 λ 的診斷方程式：

$$
\begin{aligned}
& \frac{\partial^2\lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\lambda}{\partial y^2} + \phi(x,y)\lambda = F(x,y) \\
& \phi(x,y) = \frac{1}{H-E}\left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2}\right) \\
& F(x,y) = -\int_0^1 \left(\frac{\partial u_o}{\partial x} + \frac{\partial v_o}{\partial y}\right) d\sigma + \frac{1}{H-E}\int_0^1 \left(u_o\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial \mathrm{x}} + v_o\frac{\partial E}{\partial y}\right) d\sigma \\
& u = u_o + \frac{\partial\lambda}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\lambda}{\mathrm{H-E}}\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial \mathrm{x}} \\
& v = v_o + \frac{\partial\lambda}{\partial y} + \frac{\lambda}{\mathrm{H-E}}\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial y} \\
& w^*(\sigma) = -\int_0^\sigma \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) d\sigma + \frac{1}{H-E}\int_0^\sigma \left(u\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial \mathrm{x}} + v\frac{\partial E}{\partial y}\right) d\sigma
\end{aligned}
\tag{10}
$$

另外邊界上的 Lagrange 乘數=0。而 Lagrange 乘數在邊界上的值為零，隱含的意義便是邊界上的速度值已是正確值，不需進行調整。上式為典型之荷姆候茲方程式(Hemholtzs equation)，求解λ值可以過度鬆弛法(Over-Relaxation)解之。進行數值求解前必須將上述方程式予以離散化，進而選擇適合的數值方法求解；離散化時所採取的網格系統為交錯網格，數值求解的演算法係採取點疊代方法為之。

變分分析中的初始條件，包括地表氣象資料及高空探空資料，地表氣象資料(500 公尺以內的風速值利用 1/7 power law 的風剖係數進行外插)，高空探空資料則是利用板橋花蓮測站的探空資料，在離地高 500 公尺以上，每 250 公尺為一單位，賦予風速風向值。在垂直高度的地形座標設定為 16 層，分別是 0.00、0.00625、0.0125、0.01875、0.025、0.0375、0.050、0.075、0.1、 0.15、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8 及 1.0。至於軌跡模式上的選擇，研究中是以測站受體點為準，進行逆軌跡線的模擬。氣象條件選定之後，配合所有事件劇本的實測風場資料，經過氣象資料同化程序，求出地表 200m 高度的平均水平風場，時間間距為 1 分鐘，計算所有測站的軌跡線。在逆軌跡的模擬，必須提供兩項資料，包括：測站座標、模擬的日期與時間。

參、結果與討論

本研究參考環保署及氣象局監測資料，以 2008 年新竹地區空氣品質不良日(該日某項空氣污染物之大氣濃度超過其空氣品質標準)為探討對象，其中湖口測站全年有二次不良日皆為懸浮微粒 PM_{10} 污染，發生在冬季沙塵暴較嚴重的一、二月，分別為 1/9、2/22。竹東測站全年只有一次不良日係臭氧污染，在 5/17。新竹測站全年有三次空品不良日，其中二次為臭氧污染分別在 5/17、7/31，一次為懸浮微粒污染在 1/9，三測站總計推估 4 空品不良日之臭氧或懸浮微粒逆軌跡線。開始回推點是由發生不良日測站之最高臭氧小時(或最高懸浮微粒小時)向前回溯，例如發生臭氧最高小時值的時段為下午 2 時，即自下午 2 時開始)，回溯至少 12 小時，但若回溯點位置遠離本區，則圖形界限範圍外之軌跡點則予省略。模式模擬結果如圖 1~圖 4，分別討論如下：

圖 1 為 2008/1/9 湖口及新竹 PM_{10} 不良日，其最高小時值發生在清晨 2 時，由逆軌跡顯示，湖口站之氣流主要由臺北市吹向臺北縣，經桃園縣吹向海上，再經由海風吹至本區近似滯留數小時，PM_{10} 值達 294μg/m^3 造成不良日；新竹站氣流自北縣橫跨桃園後出海，經海風吹至新竹市內滯留數小時，PM_{10} 值達 281μg/m^3 造成不良日。本次不良日主要為北方沙塵來襲，各地測站均自 1/8 中午開始至 1/11 間有影響，在 1/9 全台 78 有效測站(固定測站及監測車)中有 46 處之 PM_{10} 超過標準。竹東站地處內陸，影響不如靠海站嚴重，最高 PM_{10} 值為 222μg/m^3。

圖 2 為 2008/2/22 湖口 PM_{10} 不良日，其最高小時濃度發生在清晨 1 時。湖口站之氣流主要由臺北市吹向臺北縣，再橫跨桃園縣進入本縣，經由人口及工廠較密集區域，吹至湖口區使 PM_{10} 值達 244 μg/m^3 造成不良日；由於同一時間，竹東及新竹 PM_{10} 值亦分別為 104 及 165 μg/m^3，顯示湖口高值部分原因是區域性受沿途污染累積所致。由軌跡線而言湖口站與新竹站在台北及桃園處相似，但在新竹縣境內則路線則有所差異，前者經湖口及竹北是本縣人車最密集之行政區；後者經新埔、芎林、竹東、寶山再進新竹，沿途之鄉鎮人車密度明顯較少，污染累積量亦較低。竹東站則自北縣經桃園東南方快速穿過，至本縣人車密度較小之關西、尖石、五峰區域再到竹東站，故污染值較低。該日亦受北方沙塵影響全台 78 有效測站(固定測站及監測車)中有 39 處之 PM_{10} 超過標準。

圖 3 為 2008/5/17 竹東與新竹臭氧不良日，其最高小時值濃度竹東在下午 3 時濃度達 130.5 ppb、新竹在下午 2 時濃度達 128.5 ppb。由於 5/17 與 5/18 二日北部天氣晴朗悶熱，多數測站之臭氧濃度值偏高，部份測站亦同為不良日，湖口雖非不良日但濃度值亦達 117 ppb，較平常情況為高。由逆軌跡可知湖口及新竹二處之氣團在台北及進入桃園時移動路徑相似，但後續則湖口軌跡主要在桃園縣，新竹軌跡則沿著桃竹交界靠新竹邊，後沿海邊進入新竹市，因而造成濃度值有所差異。竹東站之氣團亦來自北縣及桃縣，在晴朗高壓情況下臭氧濃度逐漸增加，山區擴散不易，終至超出空氣品質標準，且為三測站中濃度最高者。

圖 4 為 2008/7/31 新竹臭氧不良日(該日竹東及湖口均非不良日)。其最高小時值發生在下午 2 時，達 127 ppb。由逆軌跡可知其氣團前一天由南方的台中縣靠海地區向北吹，經由海陸風現象：晚上由陸地吹向大海、白天由大海吹向陸地，到新竹市北端與竹縣交界處進入竹縣，持續向北經陸風由竹桃交界處入吹回海上，在空品不良日上午經海風吹向新竹站。由於氣團除在移動過程累積沿途污染外，至海上高層大氣中受鹽類作用亦會惡化結果，再吹向新竹時經正午強列陽光照射下，即超過臭氧品質標準。

而竹東與湖口站之氣團雖也源自於南方的台中地區，但係台中較內陸之處，受靠海之台中火力發電廠等重大污染影響較小，且其北行時經苗栗之陸路，沿途污染較少，故雖同樣受海陸風影響，但污染之累積情形不若其嚴重，未造成不良日，最高濃度竹東為 105.5 ppb、湖口為 89 ppb。當日北桃地區無測站為空品不良日，但靠近中部之測站臭氧值均偏高，苗栗亦超過臭氧品質標準。

肆、結論

由 2008 年新竹地區三測站四次空品不良日逆軌跡分析，可知臭氧值偏高之主要原因分為二方面：第一污染氣團由東北方及東方之桃園與台北縣移入，至本區時進入強日照及高溫，經光化作用致使臭氧濃度快速累積增高。第二為氣團前一天由南方的台中縣靠海地區向北吹，經由海陸風現象：晚上由陸地吹向大海、白天由大海吹向陸地，到新竹市北端與竹縣交界處進入竹縣，持續向北經陸風由竹桃交界處入吹回海上，在該日上午經海風吹向新竹，造成空品不良。由 PM_{10} 引起之不良日係為中國大陸北方吹來之沙塵暴所引起，最高小時值多發生在清晨 1~2 時，氣流主要由北向南，自臺北市吹向臺北縣，經桃園縣或吹往海上再經由海風或由陸上吹至本區滯留後，於清晨達到高值造成空品不良日。因此可知，新竹地區之空品不良現象，除本地排放污染外，亦受其他縣市移入污染物及天候影響，在防制工作上應與鄰近縣市共同協商防制對策。

參考文獻

1.Stohl, A. (1996) "Trajectory Statistics-A New Method to Establish source-Receptor Relationships of Air pollutants and Its Application to the Transport of Particulate Sulfate in Europe." , Atmospheric Environment, 30, 579-587.

2.Stohl, A. and P. Seibert (1997) "Accuracy of Trajectories as Determined from the Conservation of Meteorological Tracers." , Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.

3.Calori, G. and G.R. Carmichael, (1999) "An Urban Trajectory Model for Sulfur in Asian Megacities: Model concepts and Preliminary Application.", Atmospheric Environment, 33, 3109-3117.

4.Chock, D.P. and S.L. Winkler, (1996) "Trajectory-Grid: An Accurate Sign-Preserving Advection-Diffusion Approach for Air Quality Modeling", Atmospheric Environment, 30, 857-868.

5.Chock, D.P. and S.L. Winkler, (2000) "A Trajectory-Grid Approach for Solving the Condensation and Evaporation Equations of Aerosols.", Atmospheric Environment, 34, 2957-2973.

6.Malcolm, A.L., R.G. Derwent and R.H. Maryon (2000) "Modeling the Long-Range Transport of Secondary PM_{10} to the UK.", Atmospheric Environment, 34, 881-894.

7.Liu, H., W.L. Chang, S.J. Oltmans, L.Y. Chan, J.M. Harris (1999) "On Springtime High Ozone Events in the Lower Troposphere from Southeast Asian Biomass Buring.", Atmospheric Environment 33, 2403-2410.

8.Cobourn, W.G. and M.C. Hubbard, (1999) "An Enhanced Ozone Forecasting Model Using Air Mass Trajectory Analysis", Atmospheric Environment, 33, 4663-4674.

9.Derwent, R.G., M.E. Jenkin, S.M. Saunders, M.J. Pilling, P.G. Simmonds,N.R. Passant, G.J. Dollard, P. Dumitrean, A. Kent, (2003) "Photochemical ozone formation in north west Europe and its control." , Atmospheric Environment, 37, 1983–1991

10.Sturman, A., Z.R. Peyman (2002) "Application of back-trajectory techniques to the delimitation of urban clean air zones", Atmospheric Environment, 36, 3339–3350

11.Barnes, S.L., (1973) "Mesoscale Objective Map Analysis Using Weighted Time Series Observations." NOAA Tech. Memo., ERL NSSL, 60-62

12.Chang, L.F.W., R.R. Hwang and S.C. Lin (1983) "A Variation-Kinematic Model for Flow over Complex Terrain.", Ann. Rept. Inst. Phys. Acad. Sin., 13, 89-102.

13.曾忠一, (1997) "氣象資料同化", 渤海堂文化公司.

14.Sasaki, Y. (1970a) "Numerical Variational Analysis Formulated under the Constrains as Determined by Longwave Equations and a Low-Pass Filter.", Monthly Weather Review 98, 884-898.

15.Sasaki, Y. (1970b) "Numerical Variational Analysis with Weak Constraint and Application to Surface Analysis of Severe Storm Gust.", Monthly Weather Review 98, 899-910.

16.Sasaki, Y. (1970c) "Some Basic Formalisms in Numerical Variational Analysis.", Monthly Weather Review, 98, 875-883.

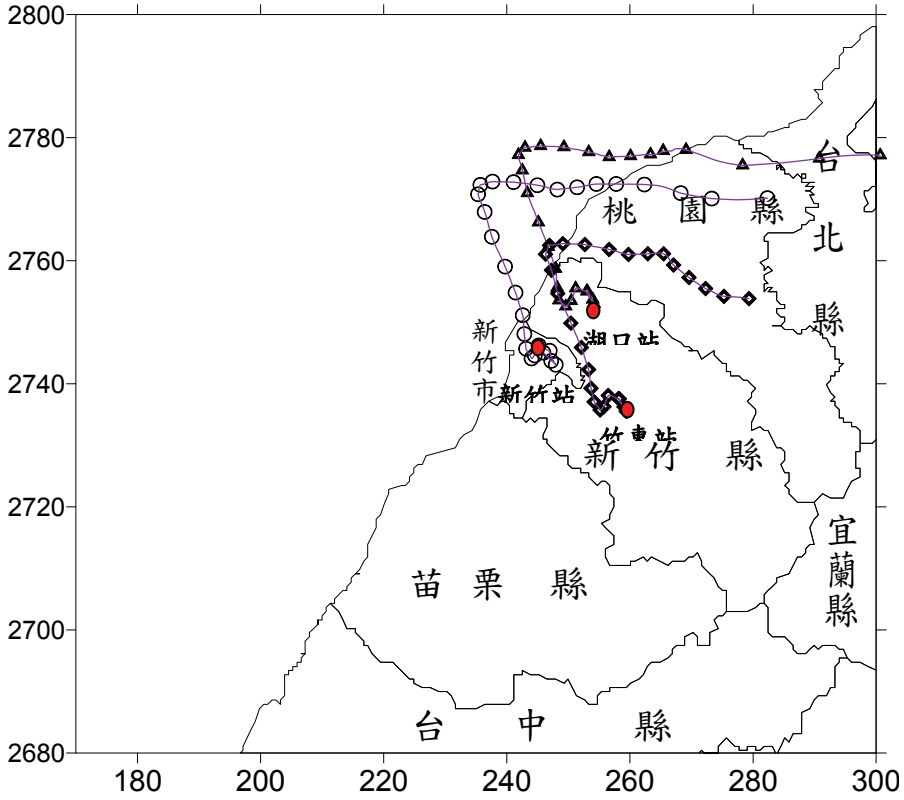


圖 1　2008/01/09 PM_{10} 不良日,各測站由 02:00 開始，往前推估每小時正點之氣流逆軌跡位置(◇竹東站, ○新竹站, △湖口站)

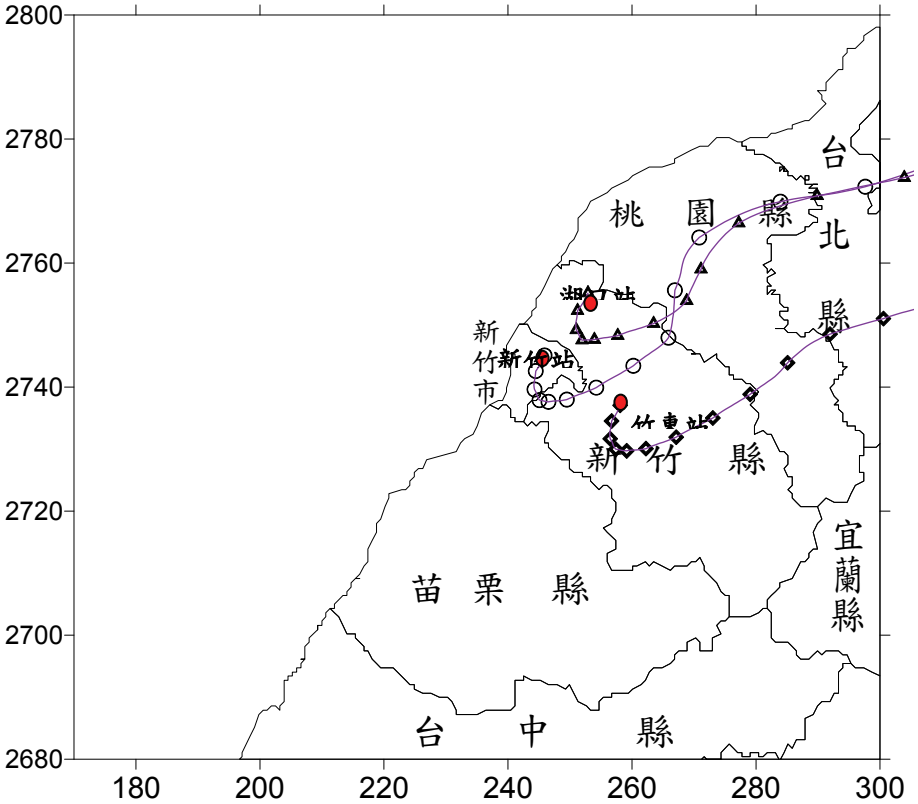


圖 2　2008/02/22 PM_{10} 不良日各測站由 01:00 開始，往前推估每小時正點之氣流逆軌跡位置(◇竹東站, ○新竹站, △湖口站)

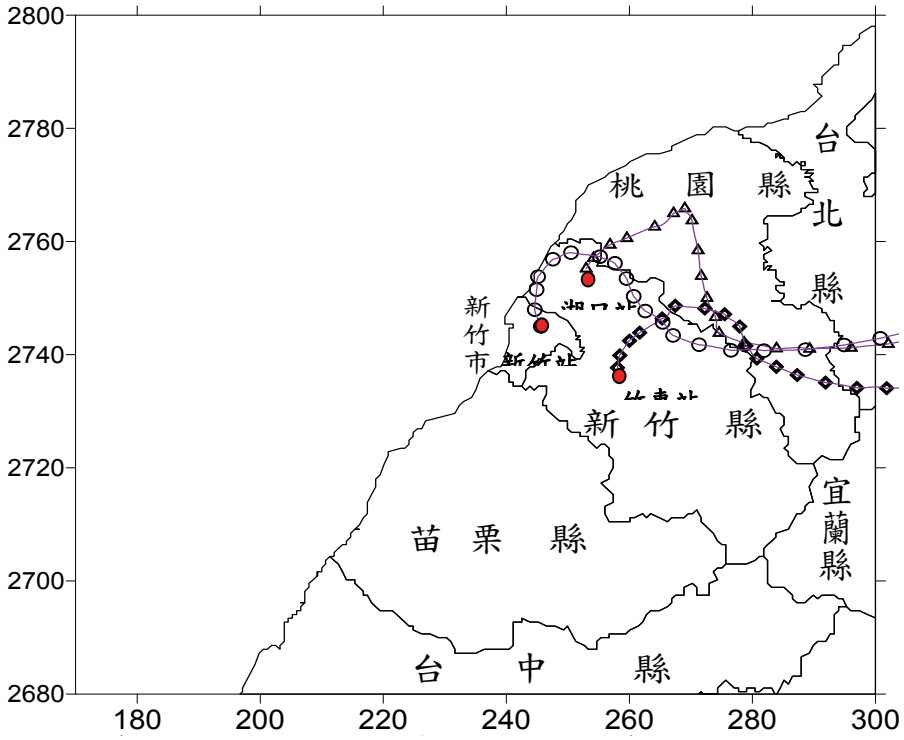


圖 3　2008/05/17 O_3 不良日各測站由 14:00 開始，往前推估每小時正點之氣流逆軌跡位置(◇竹東站, ○新竹站, △湖口站)

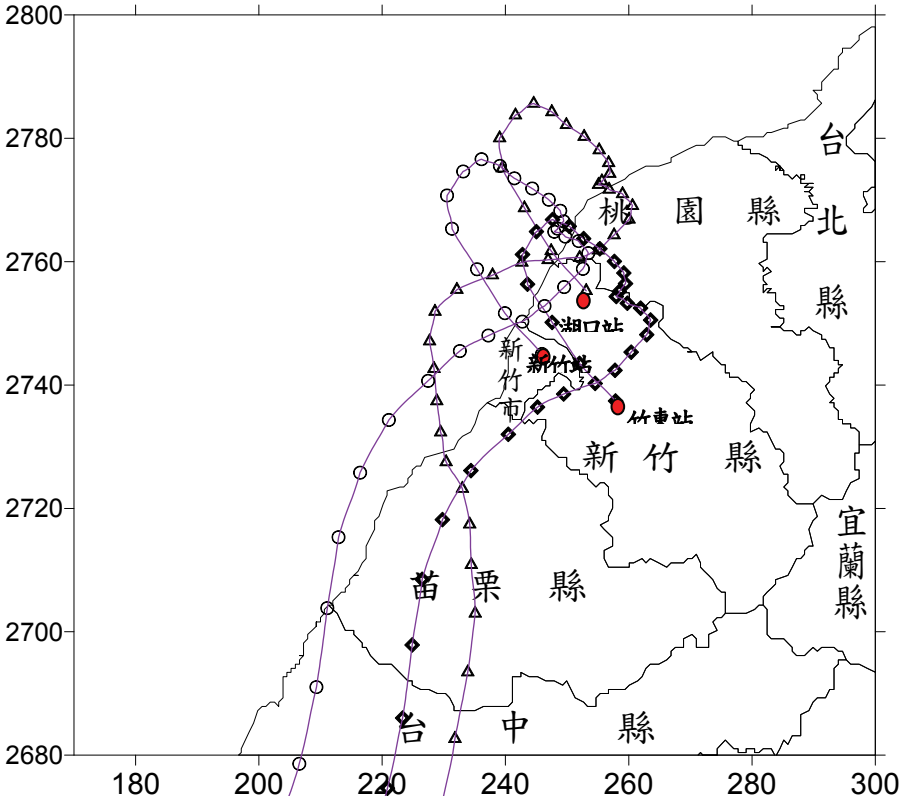


圖 4　2008/07/31 O_3 不良日，各測站由 14:00 開始，往前推估每小時正點之氣流逆軌跡位置(◇竹東站, ○新竹站, △湖口站)

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第121-128頁

添加液肥對初沈槽污泥減量之影響

Effect of Liquid Fertilizer on Solids Reduction in Primary Sedimentation Tank

林奇剛[1]　秦孝偉[2]　章裕民[3]　魏啟弘[1]　劉旗峰[4]　許民昇[5]

1.東南科技大學 環境與安全衛生工程系　副教授　2.東南科技大學 環境與安全衛生工程系　助理教授
3.台北科技大學 環境工程與管理研究所　教授　4.東南科技大學 防災科技研究所　研究生
5.東南科技大學 環境與安全衛生工程系　學生

摘　　要

本研究係針對添加廚餘資源化的液肥對模擬污水處理設施初沈槽沈澱污泥減量化之可行性探討。試驗過程分析初沈槽水樣中的固形物 TS 及其相關水質之變化趨勢。試驗經過9週過程，添加水取代液肥試程的 TS 之累積削減量僅達6.30%。但添加液肥試程的 TS 累積削減率(11.46%)約為添加水試程的2倍左右。二試程間之 VSS 與 TS 的累積削減趨勢差異不明顯，TS 之削減間接影響該槽體中有機物與無機物等水質變化。添加液肥對於 TS、FS、VFS 等非懸浮性固體物的削減比率顯著(11.46%~32.32%)，但 SS、VSS、FSS 等懸浮性固體部分的削減比率相對地並不明顯(2.67%~5.89%)。

由以上結果初步推估，去除初沈槽固體沉澱物並非受槽中生物污泥的分解，而是由於槽中添加液肥後釋出氫離子並發生氧化反應，導致槽中因酸化現象繼而使得沉積物明顯削減。

關鍵字：初沈槽、沈澱污泥、液肥、累積削減

ABSTRACT

Reduction efficiency of sediment solids feeding liquid fertilizer in primary settling tank were investigated using laboratory-scale activated sludge processes. The changes in total solids and water quality content in primary settling tank were monitored. After 9 weeks test, it is found that the TS cumulative reduction rate in adding liquid fertilizer Run (11.46%) was higher than in add liquid fertilizer Run (6.30%). The trend of VSS and TS cumulative reduction rate between two runs was not significant. The increase of feeding liquid fertilizer ratio accompanied an enhanced the total solids and organic compounds reduction rate in the sediment solids. However, the decrease rate of VS and SS changed

gradually over 9 weeks.

It can be estimated that the enhanced solids removal capability of sediment sludge was due not to the increase in the solids removal capability of microorganisms, but due to the acidification with sediment solids by feeding liquid fertilizer into the activated sludge.

Keyword：Primary Settling Tank、Sediment Solids、Liquid Fertilizer、Accumulative Reductions

聯絡人：林奇剛 cklin@mail.tnu.edu.tw (02)8662-5935轉109

壹、研究背景

近年來，隨著工商發展的快速進步、人口快速的增長及農業社會的沒落，污水處理設施初沈槽的水肥(以下簡稱「沈澱污泥(Solids)」)生成量亦明顯增加。但依據93年行政院環保署所公告資料，目前台灣沈澱污泥處置現狀已可突顯出沈澱污泥處理設施的嚴重不足。垃圾堆肥化過程，由廚餘堆置區中自然溢出滲出水，經收集及簡易處理後成為土壤及作物改良施作用的液體肥料(Liquid Fertilizer)(以下簡稱「液肥，L. F.」)。為了能迅速解決上述難題，本研究係利用實驗室規模自組式反應槽模擬污水處理設施之初沈槽，槽中裝填沈澱污泥後並加入一定體積比的液肥後，進行添加液肥對污水處理設施之初沈槽中沈澱污泥減量化之可行性探討。

貳、文獻回顧

徐碧霜(2004)曾針對建築物污水處理設施模場穩態及動態操作進行污泥層高度變化及估算污泥量，經實驗證實約4 個月操作後，初沉槽所貯存沉澱污泥之消化削減率可達66.1%。Y. Wei (2009)針對污泥的平均產量和污泥體積指數進行估算探討時，發現初沈槽之總氮未排放至放流水中。湯松霖(2008)及環保署曾針對桃園縣境內之水肥清理概況，調查後發現定期清理及未定期清理之沈澱污泥清運推估量分別為508公噸 / 日及152公噸 / 日，推估出桃園縣平均每日之沈澱污泥量有530噸，反映出桃園縣沈澱污泥妥善清理率過低，且水肥投置廠不足。S. T. Yan (2009)利用臭氧處理解析活性污泥生化效率與微生物族群的變化及探討活性污泥法處理污泥減量發現，經過臭氧處理後不但處理水中有機物(C, N, P)有效被去除，同時污泥並無明顯的增量。T. Y. Pai (2008)曾針對生活污水中改變流速及溶氧進行水中含氮化物成分模式模擬，發現不同反應時間流速影響氮轉化顯著，使去除氮化合物的反應時間增加，藉此去除流入污水處理廠污水中的污染物，並能避免累積的污染物堵塞下水道系統。M. Naso (2008)研究指出利用高濃度臭氧可明顯降低反應器反應時間，且可溶性和可生物降解性比例高，相對的較低量的臭氧接觸時間需要增長。林志麟(2003)、梁忠麟(2004)及彭文良(2008)指出污泥酸

化可提高污泥沉降性，沉降速度、濃縮性及脫水性，最佳脫水條件為 pH=2.5，污泥減量酸化之最佳 pH 為2。卓聖育(2007)實驗結果得知當廢棄活性污泥添加廚餘做為共消化基質時，比以單純廢棄活性污泥為基質之去除效果佳去除率約為20%，而共消化反應槽在反應至最後第60天皆有50%以上。

參、研究步驟、設備與方法

3.1 研究步驟及內容

本研究添加之 L. F.之水質特性及分析方法如下，pH=4.2(NIEA W424.50A)、SS=840 mg/L(NIEA R212.01C)、VSS=795 mg/L(NIEA R212.01C)、TS=55,883 mg/L(NIEA R212.01C)、BOD_5=40,700mg/L(NIEA W515.53A)、COD=118,000 mg/L(NIEA W515.53A)、氨氮=654 mg/L(NIEA W448.51B)、磷酸鹽=183 mg/L(NIEA W442.51C)、油脂=14,300(NIEA W505.51C)。

本計畫實施期程14週左右實驗室規模沈澱污泥減量化之測試，於14週測試期間，每週進行初沈槽上澄液之水樣之採樣及分析，藉以評析、驗證添加液肥對於初沈槽所貯留之沈澱污泥減量成效。本試驗程序計有為期9週的第一階段試驗(以下簡稱「**Test Ⅰ**」)，包括「加水試驗(對照組 Run. A)」與「添加液肥試驗 (試驗組 Run. B)」，二試程的添加比為1：1(V/V)；以及為期5週的第二階段試驗(以下簡稱「**Test Ⅱ**」)，包括「改變添加液肥比(試驗組 Run. C)」，添加比為1：3(V/V) 與「改變添加液肥比 (試驗組 Run. D)」，添加比為1：4(V/V)，合計14週，其試驗流程圖如 **Fig 1**及 **Table1**所示。

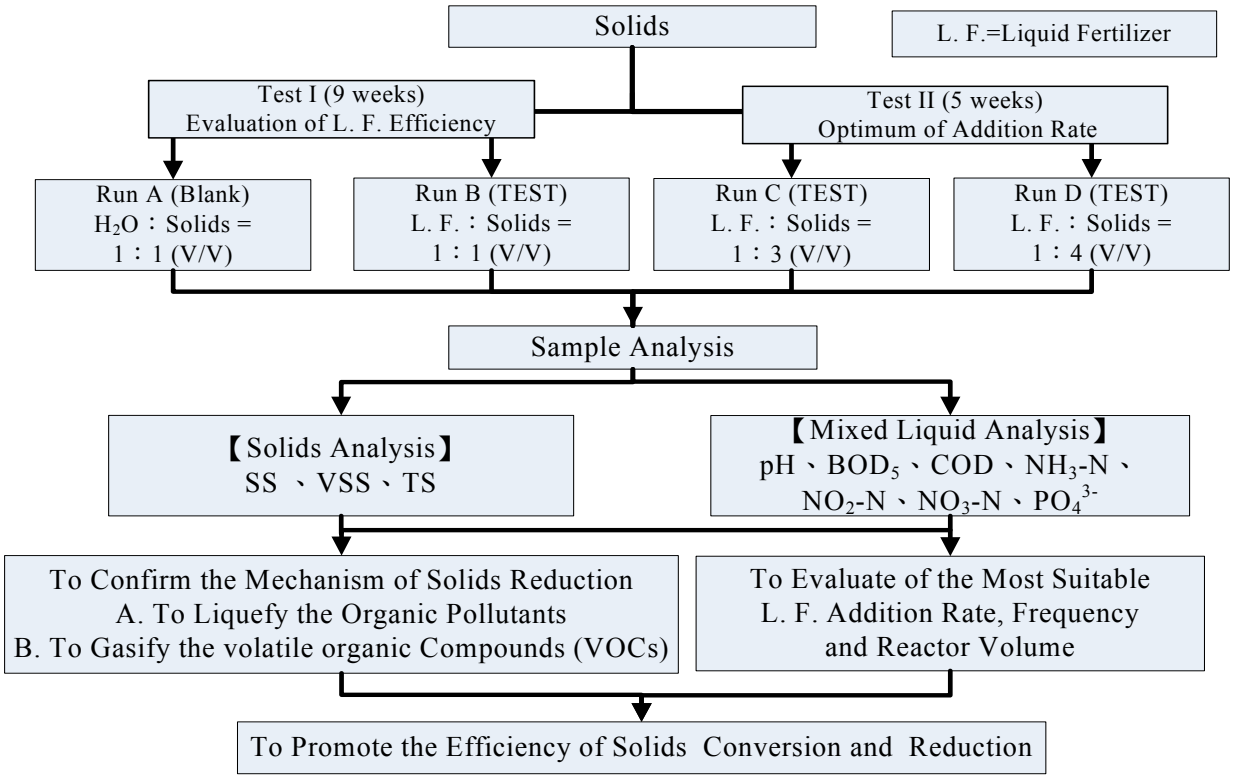


Fig.1 Flow chart of Sediment Solids Reduction used Liquid Fertilizer

3.2 沈澱污泥水質及處理水質目標

本研究係利用建築物下方設置合併式建築物污水處理設施初沈槽所貯留之沈澱污泥作為測試原混合水樣，進行固形物之減量試驗。試驗期間，原混合水樣之水質項目平均值調整至 Table 2所示範圍內。由於沈澱污泥(水肥)廠處理設施之進廠標準，BOD_5、COD、TP 之最大限值依序分別為12,000、24,000、0.05 mg/L。其中，並未明確限制 TS 的進廠濃度，因此本試驗目標係將初沈槽中 TS 的累積削減率提升至10～15%以上，並期望 TS 的削減速率可達至1.2 kg-TS /week。

Table 1 Experimental Condition for Solids Reduction in each Run

RUN	Addition Rate(V/V)	Addition Frequency	Analysis of Water Quality
A	H_2O : Solids = 1：1	1 Times / 9 Weeks	pH、SS 、VSS、TS 、COD、BOD_5、NH_3-N、NO_2-N、NO_3-N、PO_4^{3-}
B	Liquid Fertilizer : Solids = 1：1		
C	Liquid Fertilizer : Solids = 1：3	1 Times / 3 Days	Analysis Frequency : 1 Times / Week
D	Liquid Fertilizer : Solids =1：4	1 Times / 1 Week	

Table 2 Water Quality of Mixed Liquid

Range	pH (-)	COD (mg/L)	TS (mg/L)
Min.	4.5	120,000	55,000
Max.	5.5	186,000	120,000

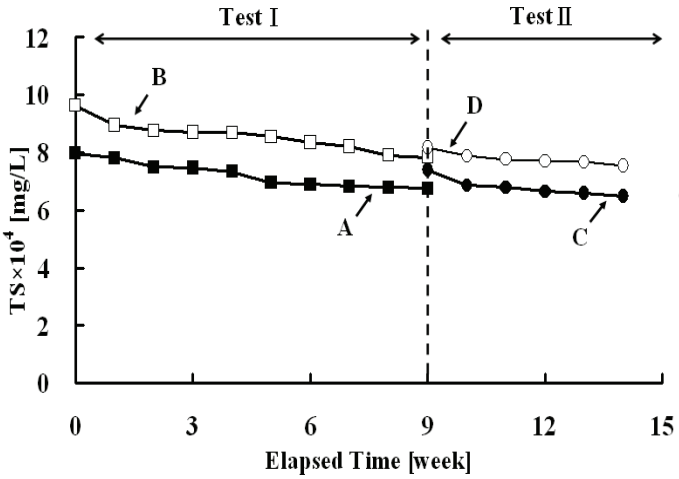
肆、結果與討論

4.1 液肥添加後混合液體中 Solids 之變化

在第一試驗中，水或液肥添加比皆為50%(V/V，計11.69 Liter)，經過9週試驗，A~B 試程的 TS 濃度變化如 **Fig. 2**所示。在對照組的 A 試程中，TS 起始濃度為80,300 mg/L，於第1週後 TS 濃度下降至68,376 mg/L，其削減率約為3.83%。在試驗組的 B 試程中，TS 由96,333 mg/L 下降至89,546 mg/L，其削減率已達約7.05%。持續9週反應，在 A 試程的 TS 累積削減率僅約3.83%~6.30%左右，但在 B 試程的 TS 累積削減率(7.05%~11.46%)明顯高於 A 試程。在對照組的 A 試程中，VSS 起始濃度為4,540 mg/L(**Fig. 3**)，至1週後 VSS 濃度下降至4,436 mg/L，其削減率約為2.29%，而在試驗組的 B 試程中，VSS 濃度由4,150 mg/L 下降至4,039 mg/L，其削減率約為2.67%。反應經過9週後，在 A 試程的 VSS 濃度下降至4,276 mg/L，其累積削減率約為5.81%，在 B 試程的 VSS 濃度下降至3,710 mg/L，其累積削減率約為10.06%。整體上，VSS 的削減趨勢與 TS 差異不大。SS 變化趨勢與 TS 、VSS 相似但削減率相對地較不明顯(**Fig. 4**)。

於第9週後，在 A 試程與 B 試的 SS 累積削減率分別約為1.29%及5.89%，其削減速度亦較 TS 、VSS 的變化為趨緩。在第二試驗中，C 試程及 D 試程之液肥添加比(L / S)分別為1：4(20％，V/V)及1：3(25％，V/V)，添加頻率為每週1次。經過5週試驗，C 及 D 試程的 TS 分別由74,000 mg/L 及81,800 mg/L 下降至64,900 mg/L 及75,400 mg/L，其累積削減率分別為12.30%及7.82%。同時，C 及 D 試程的 VSS 累積削減率分別為18.98%及17.42%，而 C 及 D 試程的 SS 累積削減率分別為13.18%及7.44%。

彙整第一及第二試驗結果，推測當液肥添加比為50％而添加頻率低(9週添加1次)時，經過9週試驗 TS 累積削減率可達11.46%，但是將液肥添加比調低為25％，添加頻率調高為3天添加1次時，經過5週試驗 TS 累積削減率可達7.82%，若是將液肥添加比再調低為20％，而添加頻率調低為每週添加1次時，經過5週試驗 TS 累積削減率可達12.30%。若初步估算第一及第二試驗 B, C 及 D 試程的 TS 累積削減速率分別為1.19 kg-TS /week, 3.03 kg-TS /week 及0.85 kg-TS /week。由以上結果，推定當液肥添加至初沈槽中，確定可使沈澱污泥明顯削減，其中添加比控制在20％、添加頻率為每週添加1次時所獲得的污泥削減效益為最佳。



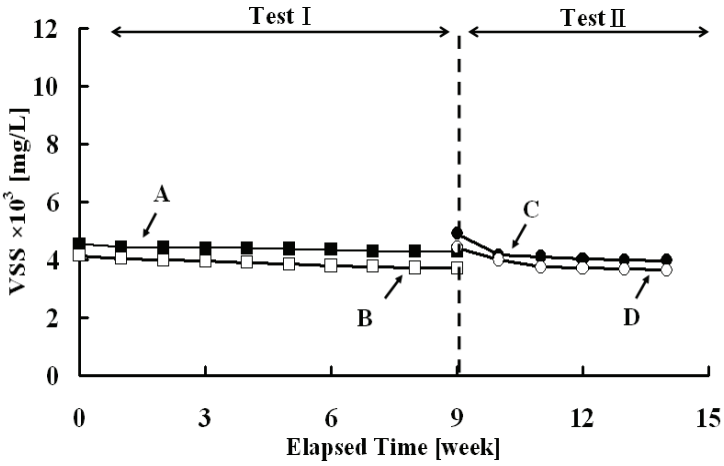


Fig. 2 Changes in TS Concentration　　**Fig. 3 Changes in VSS concentration**

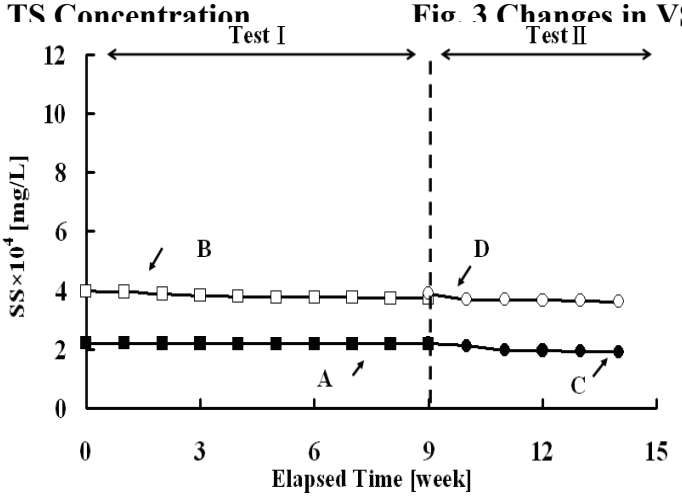


Fig 4、Changes in SS Concentration

4.2 液肥添加後混合液體中 Organics 之變化

添加液肥至初沈槽中，當沈澱污泥與液肥反應由固形物轉化液體或氣化成氣體，因此先針對槽中混合液體之水質變化進行探討，水質分析項目包括 BOD_5、COD、PO_4-P、NH_3-N、NO_3-N、NO_2-N，其試驗結果彙整於 **Fig. 5**~ **Fig. 6**。

在第一試驗中，經9週後，對照組 A 試程之 BOD_5值介於43,769 mg/L～53,100 mg/L 之間(如 **Fig. 5**所示)，而試驗組 B 試程之 BOD_5值介於44,517 mg/L～54,900 mg/L 之間，當試驗至第9週為止，由 A 與 B 試程中 BOD_5值分別降至44,249 mg/L 及44,762 mg/L，其削減率分別為16.67％及18.47％，二者的差異甚小。A 與 B 試程的 COD 濃度變化如 **Fig. 6**所示。經9週試驗後，A 試程之 COD 值由165,000 mg/L 下降至12,634 mg/L，而 B 試程之 COD 值由170,000 mg/L 下降至46,136mg/L，其削減率分別為89.31％及71.36％。此一現象初步推估，係因個體槽體的 COD 濃度劇降，而 B 試程與液肥反應後，沈澱污泥中的 COD 先受到添加液肥中微生物群的生物分解反應，導致 COD 濃度明顯下降，但是添加的液肥同時又與沈澱污泥中固形物發生化學轉換反應，將固形物轉換成液體，此時槽體中 COD 濃度呈現增加趨勢，導致 B 試程的 COD 雖有明顯削減，但其效果受到液肥將沈澱污泥中固形物轉換成液態有機污染物，而使得其 COD 削減效果較 A 試程為低。

在第二試驗中，經過5週試驗，C 及 D 試程的 COD 分別由180,000 mg/L 及178,000 mg/L 下降至147,000 mg/L 及146,000 mg/L，其削減率分別達約18.33%及17.9%。若初步估算第一及第二試驗 B, C 及 D 試程的 COD 累積削減速率分別為1.38 kg-COD/week, 1.54 kg-COD/week 及0.64 kg-COD/week。由以上結果，推定當液肥添加至初沈槽中，確定可使沈澱污泥明顯削減，其中添加比控制在20％、添加頻率為每週添加1次時所獲得污泥削減的同時，液化轉化成有機污染物的比率為最低。

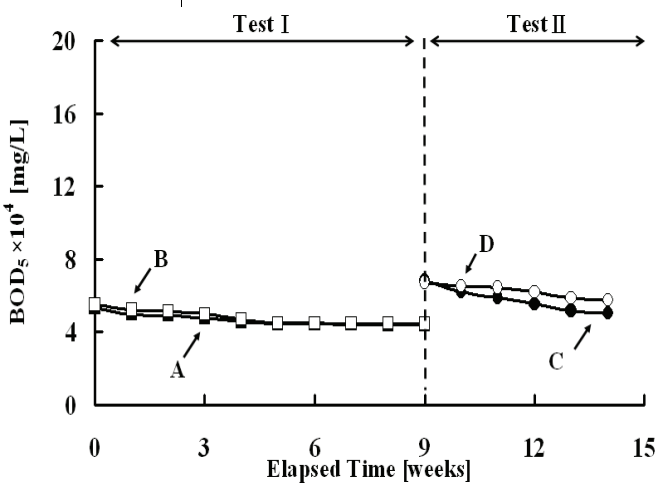


Fig .5 Changes in BOD_5 Concentration

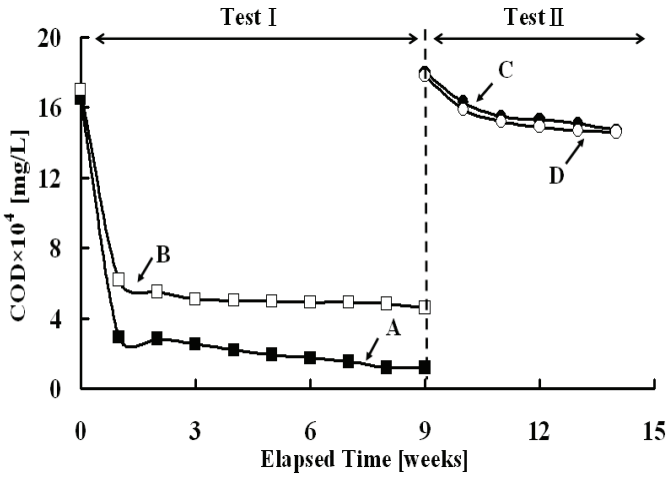


Fig. 6 Changes in COD Concentration

4. 3 液肥添加後混合液體中 N, P 之變化

添加液肥至初沈槽中，當沈澱污泥與液肥反應由固形物轉化物質除了含碳化物之外，尚有含氮化物或含磷化物。在第一試驗中，經過計9週試驗後，對照組 A 試程與試驗組 B 試程之 NH_3-N 值削減率分別約為48.95％及32.04％。B 試程之 NH_3-N 削減效果較 A 試程稍差(由2%至32%)。在第二試驗中，C 及 D 試程之 NH_3-N 削減率分別為7.36

%及6.30%。若初步估算第一及第二試驗 B, C 及 D 試程的 NH_3-N 累積削減速率分別為10.67 mg-NH_3-N/week, 99.40 mg-NH_3-N/week 及29.80 mg-NH_3-N/week。由以上結果推測，當液肥添加至初沈槽中，確定可使沈澱污泥削減。其添加比控制在20%、添加頻率為每週添加1次時所獲得污泥削減的同時，轉化成含氮化物比率較低。

A 試程與 B 試程之 PO_4-P 削減率分別約為30.51%及35.42%。二個試程皆發現 PO_4-P 削減的現象，但削減反應不如生物攝磷的效果，其 PO_4-P 削減的現象推測僅係微生物維持一般體內生化反應所需攝取 PO_4-P 所致。

4. 4 液肥添加後混合液體中 pH, ORP 之變化

添加液肥之反應過程發生氧化還原電位略有上升跡象，試程 A 之 ORP 值由-293mV 上升至-181mV，試程 B 由-224mV 上升至-165mV，試程 C 由-268mV 上升至-187mV 而試程 D 由-279mV 上升至-203mV(詳如 Table 3)。同時，由 Table 3反應過程中 pH 值之變化發現，試程 A 因單純僅為水之稀釋作用，初沈槽中 pH 變化並不明顯。然而，其餘添加液肥之試程(試程 B、C、D)由原來的中性下降至弱酸性，表面上初沈槽已有酸化效果發生，推判為釋放氫離子而混合液中 pH 下降，此一現象是否為造成初沈槽中 TS 遞減的主要原因，可作為未來相關研究持續深入探討的方向之一。

Table 3 Effect of Liquid Fertilizer on pH and ORP

RUN NO.	Water quality	Times [week]								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	pH[-]	7.89	7.63	7.55	7.43	7.51	7.54	7.61	7.58	7.64
	ORP[mV]	-293	-263	-236	-229	-213	-206	-200	-196	-181
B	pH[-]	5.56	5.32	5.30	5.25	5.11	5.02	4.99	5.10	5.13
	ORP[mV]	-224	-211	-198	-176	-162	-154	-159	-163	-165
RUN NO.	Water quality	Times [week]								
		9	10	11	12	13	14			
C	pH[-]	5.49	5.37	5.22	5.16	5.11	5.16			
	ORP[mV]	-268	-249	-231	-225	-212	-187			
D	pH[-]	5.33	5.29	5.18	4.99	5.06	5.11			
	ORP[mV]	-279	-269	-247	-232	-223	-203			

伍、結論

彙整以上結果提出以下三點建議，以供後續試驗及實廠操作運轉過程參考之用。

1. 當液肥添加比為 50%而添加頻率低(9 週添加 1 次)時，經過 9 週試驗 TS 累積削減率可達 11.46%，但是將液肥添加比調低為 25%，添加頻率調高為 3 天添加 1 次時，經過 5 週試驗 TS 累積削減率可達 7.82%，若是將液肥添加比再調低為 20%，而添加頻率調低為每週添加 1 次時，經過 5 週 TS 累積削減率可達 12.30%。

2. 若初步估算第一及第二試驗 B, C 及 D 試程的 TS 累積削減速率分別為 1.9 kg-TS /week, 3.03 kg-TS/week 及 0.85 kg-TS/week。由以上結果，推定當液肥添加至初沈槽中，確定可使沈澱污泥明顯削減，其中添加比控制在 20%、添加頻率為每週添加 1 次時所獲得的污泥削減效益為最佳。
3. 由結果推估，去除初沈槽固體沉澱物並非受槽中生物污泥的分解，而是由於槽中添加液肥後釋出氫離子並發生氧化反應，導致槽中因酸化現象繼而使得沉積物明顯削減。
4. 初沉槽添加液肥後，可明顯削減槽中固形物污泥，其中被削減污泥屬於非懸浮性污泥為主，而非懸浮性污泥又包含揮發性污泥及非揮發性污泥二種。此意味在固形物削減過程，有機污染物已明顯地轉換成液態有機污染物，此對後續的二級處理單元已造成污染負荷的增加，建議未來可朝「添加液肥期削減槽中固形物污泥的同時，並能降低對後續二級處理單元造成污染負荷」的課題繼續努力。

參考文獻

1. 徐碧霜，預鑄式建築物污水處理設施模場穩態及動態操作研究，朝陽科技大學，環境工程與管理系，碩士論文，(2004)。
2. Yuan-Song Wei, Ya-Wei Wang, Xue-Song Guo, Jun-Xin Liu,Sludge reduction potential of the activated sludge process by integrating an oligochaete reactor, Journal of Hazardous Materials 163 (2009) 87－91.
3. 湯松霖，桃園地區沉澱沈澱污泥處理機制探討，國立中央大學，環境工程研究所(在職專班)，碩士論文，(2008)。
4. Sang-Tian Yan, Hao Zheng, An Li, Xue Zhang, Xin-Hui Xing, Li-Bing Chu, Guoji Ding, Xu-Lin Sun, Benjamin Jurcik, “Systematic analysis of biochemical performance and the microbial community of an activated sludge process using ozone-treated sludge for sludge reduction” , Bioresource Technology 100 (2009) 5002－5009 .
5. T. Y. Pai, H. G. Leu, C. F. Chiang, C. J. Tzeng, S. C. Wang,Simulating transformation of nitrogen componenTS in sewer system when oxygen and flow velocity changed, International Journal of Applied Science and Engineering (2008/6/1) 1-9.
6. M. Naso, A. Chiavola and E. Rolle,Application of excess activated sludge ozonation in an SBR Plant. Effects on substrate fractioning and solids production,Water Science & Technology WST 58.1. (2008)
7. 林志麟，酸化處理對染整化學污泥減量及其脫水性之影響，淡江大學，水資源及環境工程學系，碩士論文，(2003)。
8. 梁忠麟 ，染整化學污泥體積減量及鋁鹽混凝劑回收之研究，淡江大學，水資源及環境工程學系，(2004)。
9. 彭文良，酸化/鹼化對淨水場污泥減量與脫水性之影響，淡江大學，水資源及環境工程學系碩士班，碩士論文，(2008)。
10. 卓聖育，廢棄活性污泥與廚餘厭氧共消化減量及能源回收之研究，長榮大學，職業安全與衛生研究所，碩士論文，(2007)。

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第129-138頁

pH、液固比之變動對底渣中重金屬 Pb、Cd 溶出之影響

The effect of pH and liquid/solid ratio on the leaching of lead and cadmium from bottom ashes of incinerators.

林奇剛[1]　秦孝偉[2]　凌永健[3]　陳建豐[4]　許民昇[5]　彭彥翔[5]

Chi-Kang Lin[1]　Shiao-Wei Ching[2]　Yong-Jian Ling[3]　Chien-Fong Chen[4]　Min-Sheng Syu[5]　Yan-Sheng Peng[5]

1 東南科技大學　環境與安全衛生工程系　副教授　2東南科技大學　環境與安全衛生工程系　助理教授
3 清華大學　化學系　教授　4東南科技大學　防災科技研究所　研究生
5東南科技大學　環境與安全衛生工程系　學生
1,2,5.Department of Safety Health and Environmental Engineering, Tungnan University.
3. Chemistry, National Tsing Hua University.　4.Institute of Technology for Hazards Mitigation, Tungnan University.

摘　　要

目前台灣地區業界將底渣再利用於級配混凝土、瀝青土、空心磚等建材上，但礙於法規重金屬含量合格限制，必須進行相關前處理才能進行後續再利用。於利用過程中，環境條件不同下，可能導致重金屬或其它物質析出。

本研究以變動 pH 及液固比(L/S)結合超音波震盪法(UST)對底渣中重金屬(Pb、Cd)去除成效、重量、溫度及之探討。於強度試驗中，探討不同酸強度對重金屬析出量之影響(pH = 3.5及 pH = 4.5)。當 pH = 3.5時，其 Pb 之累計溶出量多寡順序為0.53 mg/L(L/S=5.0)＞0.34 mg/L(L/S = 2.5)，而 pH =4.5時，為0.29 mg/L(L/S = 5.0)＞0.24 mg/L(L/S = 2.5)。而 Cd 部份，無論是模擬酸鹼值約為4.5左右或是考量降低資源化風險、增加強度而降低酸鹼值為3.5左右，經 UST，其上澄液底渣重金屬 Cd 完全未被檢出。同時，由數次分析結果發現，底渣重金屬全含量起伏明顯、穩定性不高，此對底渣在資源化作業上，額外增加必須排除的難題。此外，以 pH 分別調控於4.5及3.5時，底渣與萃取酸脫水反應而削減重量約5.24%～6.94%，隨後再經 TCLP 溶出處理後，底渣的重量再次削減約少2.48%～6.64%，底渣累計重量減損約8.84%～12.72%。由此試驗結果推斷，若是底渣長期受到酸雨環境，其重量應有明顯的減損。另外，經 UST 試驗後 pH 值趨於中性或弱鹼性，而溫度由起始約24.4～27.9℃上升至50℃～60℃，反應後之溫度又下降至室溫。經過以上試驗結果，底渣經 UST 反應後去除重金屬物質後，並不會對環境造成其他影響及二次污染之虞。

關鍵字：超音波震盪、焚化底渣、重金屬溶出、酸萃取、環境衝擊

ABSTRACT

The effects of heavy metals, Pb, Cd, eliminated utilized acidic extraction together Response of Heavy Metal Elimanation in Bottom Ash to Operation of pH and Liquid to Solids Ratio Shock with ultrasound sonication treatment (UST) from incinerated bottom ash were studied. The principle parameters considered in this study were the liquid to solid ratio, the concentrations and varieties of acidic extraction solutions, reaction time and strength of sonication. L/S ratio and acidic extraction intensity have a remarkable impact on abatement of amount of bottom ashes treated with extraction. The weight change of ashes will be measurable for a long term exposure of acid rain. The pHwas turned into neutral or weak base while temperature was increased to 50 to 60 ℃ by UST treatment and decreased to room temperature.

Keywords：Ultrasound Sonication, Bottom Ash, Heavy Metals Leachate, Acidic Extraction.

聯絡人：陳建豐 taiwanmangogo@gmail.com (02)8662-5935轉109

一、研究背景

垃圾經焚化處理後，焚化爐所產生底渣在回收再利用過程中，重金屬之溶出問題為最迫切需解決之重要課題，如何有效在底渣作為級配料之前置作業（以下簡稱底渣前處理）去除底渣內有害物質，確保底渣內有害物質的含量能達到最少化，以降低底渣回收再利用風險至最小化。因此，未來底渣回收再利用將是台灣地區邁向環境永續發展的必經途徑之一。本研究係利用酸性超音波震盪法(Ultrasound Sonication Treatment，以下簡稱「UST」)作為底渣有害物質溶出前處理程序，評估變動pH及液固比(Liquid to Solids，以下簡稱「L/S」)條件下，經UST處理後底渣之重金屬Pb及Cd殘存量及溶出量其中，探討內容包括溶出量、質量平衡、重量、pH及溫度等，期望作為業者再利用上之考量。

二、文獻回顧

在高氏(2004)[1]中曾針對某底渣資源場底渣原物料之堆置底渣進行重金屬溶出試驗(TCLP)模擬自然界酸雨之淋洗作用，為判斷廢棄物的重金屬毒害性之依據，在進行焚化底灰資源再利用時，尤需注意重金屬溶出問題，故TCLP對焚化底渣再利用為相當重要的指標。與本研究相符的是在洪氏(2004)[2]底渣在經過淋滲時其滲出水之水質與底灰中之pH 值有很直接的關係，大多數的重金屬會隨pH 值的降低而有較大的溶出量，因

此底渣之酸鹼狀態攸關其影響環境的嚴重與否。於康氏等(1996)[3]提出酸雨會增加土壤陽離子溶出，以模擬酸雨研究森林集水區土壤陽離子之淋溶作用，試驗發現外來之模擬酸雨溶液，會加速土壤鹽基陽離子之淋溶，pH 2.6 之模擬酸雨對於土壤陽離子淋溶之影響比pH 3.6 及pH 4.6 之處理來之大，而pH 3.6 與pH 4.6 之處理之間之差異並不大。經模擬酸雨淋溶後之土壤，以1N 醋酸銨抽出之殘留可交換性陽離子之濃度，以pH 4.6 酸雨處理之土壤最多，pH 3.6 處理次之，pH 2.6 酸雨處理最少。另外，李氏(2004)[4]由掩埋管柱淋滲實驗結果發現酸雨淋滲短期內不會影響底灰滲出水之pH 值。從掩埋管柱淋滲實驗結果推測酸雨作用會增加Pb之釋出濃度及累積釋出量，但不同成分模擬酸雨淋滲時，Pb釋出累積量幾乎相同，故推論SO_4^{2-}及NO_3^-之濃度對Pb釋出之作用應該不大，反倒是酸雨氫離子濃度之作用可能性較大。由底灰酸中和試驗發現Cu、Pb、Zn三種金屬之溶出濃度變化皆與萃取後pH 有關，三種金屬在高pH 值情況下，釋出濃度皆較高。

Buchholz (1993)[5]研究中亦提出pH對重金屬之溶出有極大影響，且認為pH值若控制在中性或稍偏鹼性(pH 7~8)，其TCLP溶出之重金屬濃度將受抑制。若灰渣於中性或酸性情況下，會使重金屬溶出量增加。Sawell (1988)[6]等學者研究指出，底渣因本身鹼度很高，其溶出重金屬量較低，而Pb多屬不溶出型態，均符合溶出標準，並指出重金屬溶出特性與灰渣粒徑大小、焚化溫度及重金屬物種有密切關係。Manning (1996)[7]研究酸雨對土壤酸化及金屬移動性之影響，以模擬pH 5.6、4.0、2.5 之酸雨淋洗土壤，發現土壤TEB 總交換基減少、pH 下降、Zn 和Al 轉換性提高，其原因可能為重金屬與有機物錯合。酸雨中之氫離子會降低掩埋底渣pH 值，初期會增加Cu的滲出濃度及滲出量(掩埋初期)，並增加底渣中Pb及Zn的滲出濃度及釋出。

三、研究方法、材料與設備

本研究試驗主要係利用超音波震盪器(廠牌：BRANSON S-450D)為主體之前處理裝置(如**Fig.1**所示)，分別以台灣北部某幾座大型焚化廠爐底淬火槽所排出之「底渣原物料」，並進行過篩取2.0 m/m之粒徑底渣試樣。以UST析出有害物質(重金屬等)，達分離去除之目的。就有害物質方面而言，底渣試驗樣品以超音波震盪法(Ultrasound Sonication Treatment 以下簡稱UST)溶出後，透過毒性特性溶出程序(Toxicity Characteristic Leaching Procedure，以下簡稱「TCLP」，(NIEA R201.13C)[8])旋轉萃取裝置(廠牌：DNAGR)，取出上澄液過濾，最後再利用感應耦合電漿放射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer; 以下簡稱「ICP–OES」)進行最後重金屬濃度之量測。

3.1 研究方法

本研究試驗方法由環保署公告之溶出程序，係為配合「有害事業廢棄物認定標準」之TCLP標準，以及參考環保署公告重金屬檢測方法之王水消化法(Aqua Regia NIEA R216.02C)[9] (本研究使用ICP-OES)，藉由以上兩個試驗進行重金屬含量分析。藥品及其他研究材料部分，以試藥級藥品與逆滲透純水進行調配進行研究。

3.2 研究步驟

針對垃圾經焚化處理後所殘留之底渣模擬酸雨條件進行試驗分析，並於超音波震盪單一步驟萃取試驗為依據，試驗分別包括五個試驗程序，其說明如下所述(如**Fig. 2**及**Table 1**所示)；

一、底渣先進行過篩使粒徑分佈平均，加入不同萃取酸液進行酸萃取(即各試驗條件)。

二、UST試驗時間經反應後靜置待其沉澱(20 min)，使試樣固液分離成上澄液(上層)及殘留底渣(下層)。

三、上澄液取出過濾採樣(水樣A)，經消化後以ICP–OES測定重金屬含量。

四、殘留底渣簡易濾過殘留酸液後，進行TCLP試驗，將殘留之重金屬物質繼續析出。

五、經TCLP試驗後，過濾採樣(水樣B)，經消化後以ICP–OES測定重金屬含量。

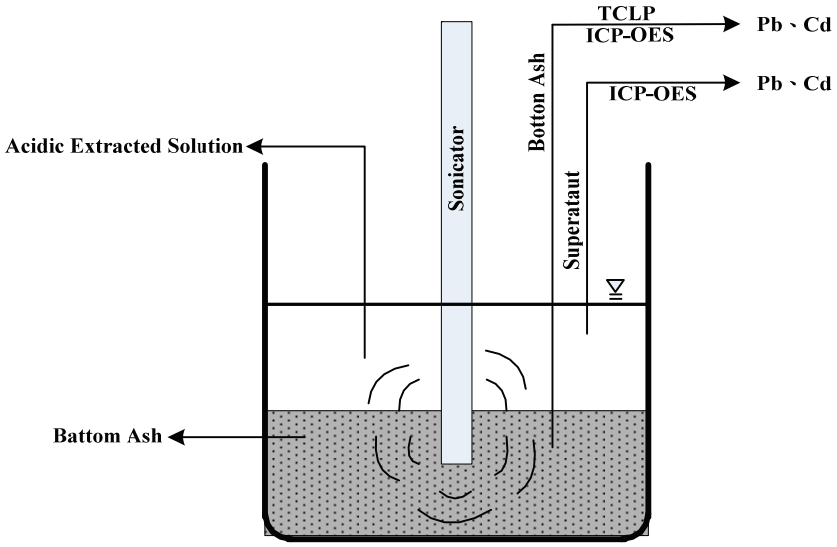


Fig.1 Schematic Diagram for the Operation of UST Processes.

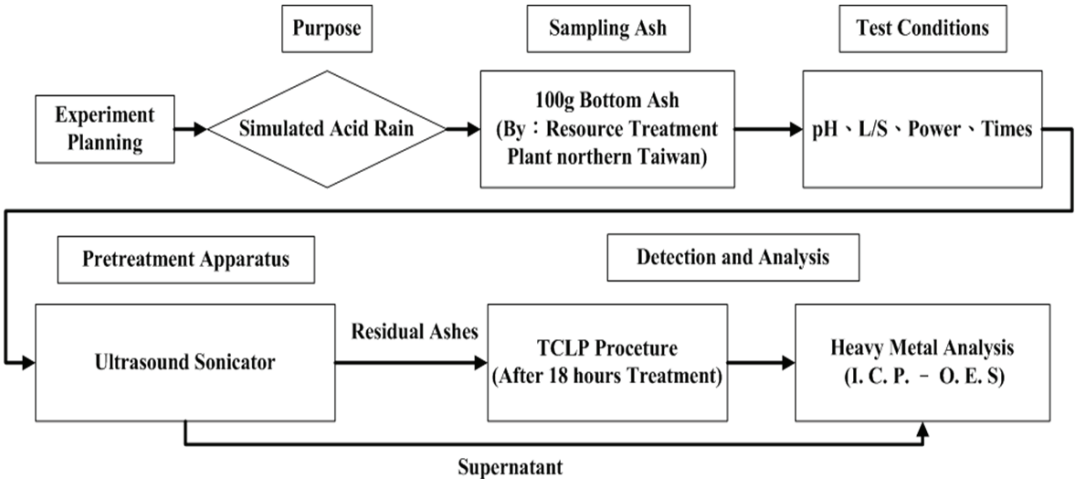


Fig. 2 Environmental Disturbance Experiment Procedures Facility.

Table 1 Operation Parameters of UST in this Study.

Acid	Concentration [M]	L / S [kg/kg]	Shaking Power [W]	Shaking Time [min]
Sulfuric Acid	0.5	2.5, 5.0	100	30

四、結果與討論

4.1變動 pH 及 L/S 條件對重金屬 Pb、Cd 析出量之影響

針對底渣實際資源化級配實用上之環境現況進行實際規劃，以期能達到降低底渣資源化之環境風險。調查最近10年目前台灣北部地區的降雨環境所形成酸雨的pH範圍約在4.2～4.8之間，試驗中利用0.5M硫酸調控pH於3.5及4.5作為萃取酸，結合UST系統處理底渣重金屬之析出過程，L/S分別為2.5及5.0，而震盪強度調控於「100W、30min」等反應條件，其析出之效果進行換算析出率並進行探討。

設計酸強度pH分別 = 4.5及3.5，結合UST處理底渣，試驗過程中底渣重金屬Pb析出量之多寡受到超音波震盪強度的影響並不顯著。由**Fig. 3**分析結果顯示，當L/S分別調控於2.5及5.0、模擬酸鹼值約為4.5左右時，經UST處理震盪強度以100W、30 min試驗後，其上澄液中Pb之析出量多寡順序為0.29 mg/L(L/S = 5.0)＞0.24 mg/L(L/S = 2.5)，雖然隨後再經過TCLP溶出處理，在殘留底渣上澄液中Pb完全未被析出。由此估算經過此次試驗後，採用二種不同的震盪強度，底渣重金屬Pb之累積溶出量為0.29 mg/L((L/S = 5.0)及0.24 mg/L(L/S = 5.0)。

由此結果顯示，當L/S調控於2.5時，經超音波震盪後，其上澄液含有少量的Pb。特別是，與L/S調控於2.5相較，採用L/S調控於5.0經UST處理後，發現無論是經UST處理後底渣上澄液中Pb之析出量確實可獲得較多含量的Pb析出效果，但由於二者的析出量相當的微少，，唯二者的差異並不顯著。當pH降低為3.5左右，其他試驗條件不變，結果發現其上澄液中Pb之析出量多寡順序分別為0.53 mg/L(L/S = 5.0)＞0.34 mg/L(L/S = 2.5)，隨後再經過TCLP溶出處理，在殘留底渣上澄液中Pb依舊完全未被析出。由此估算經過此次試驗後，採用二種不同的震盪強度，底渣重金屬Pb之累積溶出量分別為0.53 mg/L(L/S = 5.0)、0.34 mg/L(L/S = 2.5)。

另由**Fig. 3**發現，模擬酸鹼值約為4.5左右時，經UST處理震盪強度為100W、30min，其底渣上澄液中重金屬Cd完全未被檢出(偵測下限)。雖隨後再經過TCLP溶出處理，在殘留底渣上澄液中Cd亦完全未被檢出(偵測下限)。由此估算經過此次試驗後，採用二種不同的震盪強度，底渣重金屬Cd之累積溶出量不論再L/S = 5.0或2.5皆為未被檢出(偵測下限)。另外，當酸條件pH降至3.5時，其試驗結果與pH 4.5時相同，均完全未被檢出(偵測下限)。而考量降低資源化風險、增加酸強度，模擬酸鹼值即使降低為3.5左右，其他試驗條件不變，進行底渣重金屬溶出試驗。當其上澄液中Cd完全未被檢出(偵測下限)，隨後再經過TCLP溶出處理，在殘留底渣上澄液中Cd依舊完全未被檢出(偵測下限)。由此估算經過此次試驗後，採用二種不同的震盪強度，酸鹼值即使降低為3.5左右，底渣重金屬Cd之累積溶出量不論再L/S = 5.0或2.5皆為偵測下限(未被檢出)。

由以上試驗結果判斷，無論是模擬酸鹼值約為4.5左右或是考量降低資源化風險、增加酸強度而降低酸鹼值為3.5左右，經超音波震盪後，其上澄液底渣重金屬Cd完全未被檢出(偵測下限)。

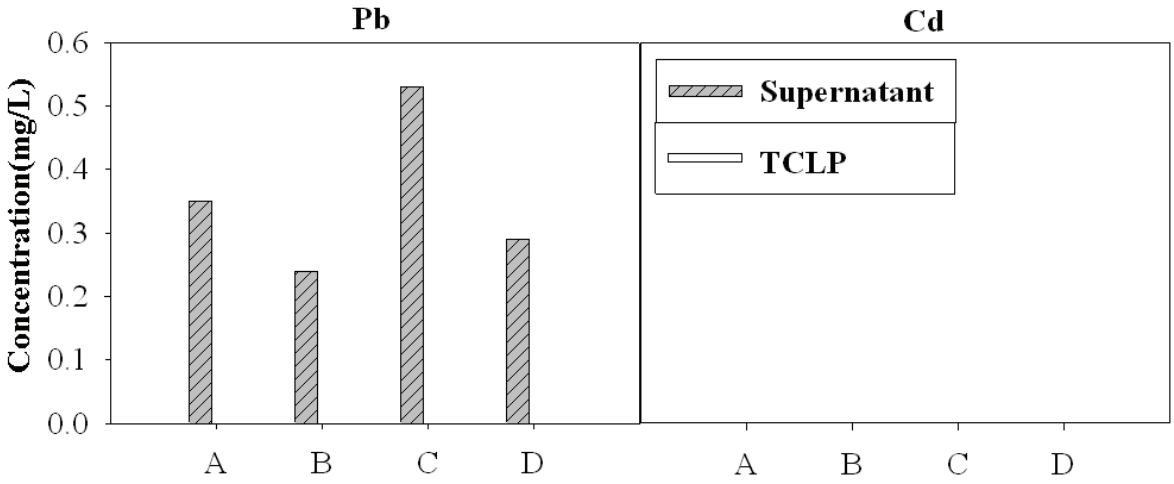


Fig. 3 Pb, Cd Contents of Bottom Ashes for Operation of pH and Liquid to Solids Ratio Shock

A：pH 3.5, L/S 2.5; B：pH 4.5,L/S 2.5; C：pH 3.5,L/S 5.0; D：pH 3.5,L/S 5.0

4.2 pH 及 L/S 變動時，底渣析出 Pb、Cd 之質量平衡

針對「低濃度萃取酸高Pb析出率」試驗之溶出效果評析，本試驗利用王水消化法分析資源化底渣Pb及Cd之全含量分別為521 mg/kg及4.77 mg/kg，利用0.5M硫酸調控pH於3.5及4.5作為萃取酸，結合UST系統處理底渣重金屬之析出過程，L/S分別為2.5及5.0，而震盪強度調控於「100W、30min」等反應條件，其析出之效果進行換算析出率並進行探討。以王水消化法分析資源化底渣二種重金屬Pb及Cd之全含量分別為534 mg/L及4.12 mg/L。同時，由數次分析結果發現，底渣重金屬全含量起伏明顯、穩定性不高，此對底渣在資源化作業上，額外增加必須排除的難題。

當pH調控於3.5底渣經過UST處理後，上澄液Pb溶出率約一成，底渣中殘留的Pb含有率99％以上。當pH調升至4.5時，底渣經UST處理後上澄液Pb溶出率有下降的跡象。特別是，隨後再經TCLP溶出處理後上澄液Pb並無溶出(如Fig. 4所示)。另當pH調控於3.5，底渣經過UST處理後上澄液及經TCLP溶出處理後上澄液中之Cd完全不溶出，亦即重金屬Cd完全殘留在底渣中。當pH調升至4.5，底渣中重金屬Cd更不容易溶出，重金屬Cd完全殘留於底渣中。由此發現，在模擬酸的環境下，經過UST處理後上澄液Cd完全無溶出(如**Fig. 4**所示)。

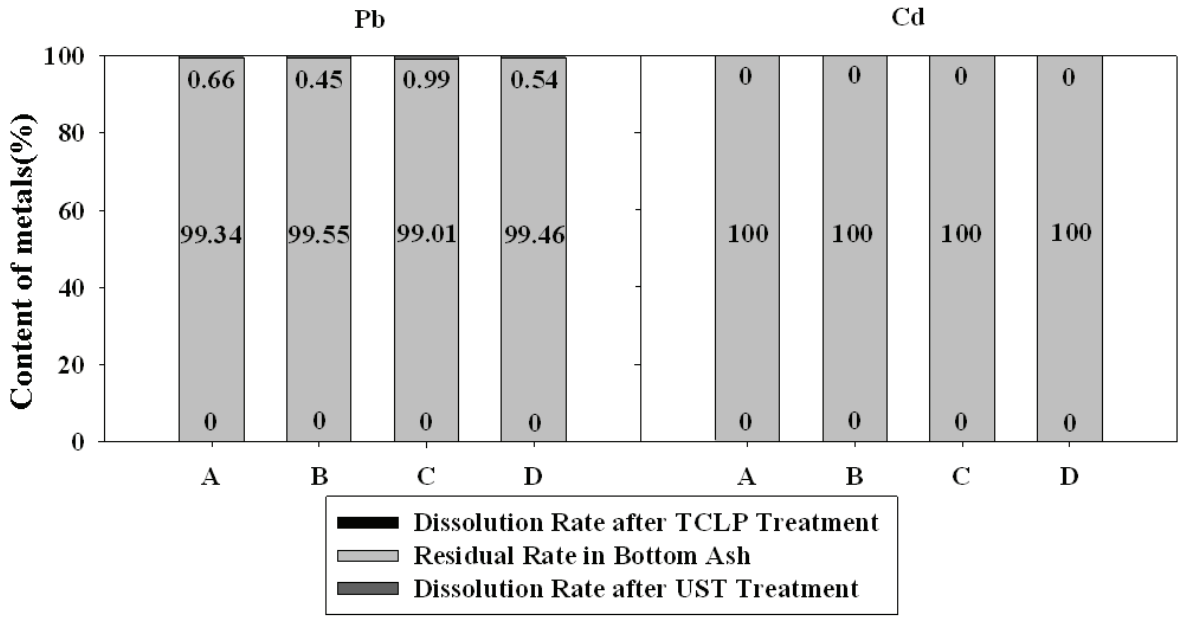


Fig.4 Mass Balance for Pb,Cd Extraction in Operation of pH and Liquid to Solids Ratio Shock

A：pH 3.5, L/S 2.5; B：pH 4.5,L/S 2.5; C：pH 3.5,L/S 5.0; D：pH 3.5,L/S 5.0

4.3 pH 及 L/S 變動結合 UST 於反應時，重量變化之探討

利用0.5M硫酸調控pH於3.5及4.5作為萃取酸，結合UST系統處理底渣重金屬之析出過程，L/S分別為2.5及5.0，而震盪強度調控於「100W、30 min」等反應條件，進行酸萃取結合UST反應前後pH變化之探討。試驗過程中，以pH分別調控於4.5及3.5時，底渣與萃取酸脫水反應而削減重量約5.24%～6.94%，隨後再經TCLP溶出處理後，底渣的重量再次削減約少2.48%～6.64%，底渣累計重量減損約8.84%～12.72%。由此試驗結果推斷，若是底渣長期受到變動pH及L/S環境，其重量應有明顯的減損(詳如**Table 2**)。

4.4 pH 及 L/S 變動結合 UST 於反應時， pH 變化之探討

利用0.5M硫酸調控pH於3.5及4.5作為萃取酸，結合UST系統處理底渣重金屬之析出過程，L/S分別為2.5及5.0，而震盪強度調控於「100W、30 min」條件，進行酸萃取結合UST反應前後溫度變化之探討。以pH分別調控於4.5及3.5時，底渣經過與萃取酸混合及100W的UST處理30 min後，經初步測定pH值分別為12.29及12.37左右的強鹼範圍。隨後再經TCLP溶出處理後，經再次測定pH值分別為8.17及8.80左右的弱鹼範圍(詳如**Table 3**)。由此試驗結果推斷，於變動pH及L/S結合超音波震盪設備處理底渣重金屬溶出過程，經UST反應後其pH值趨於中性或弱鹼性，反應後殘留液因屬中性或弱鹼性。

4.5 pH 及 L/S 變動結合 UST 於反應時，溫度變化之探討

利用0.5M硫酸調控pH於3.5及4.5作為萃取酸，結合UST系統處理底渣重金屬之析出

過程，L/S分別為2.5及5.0，而震盪強度「100W、30 min」條件，進行酸萃取結合UST反應前後重量變化之探討。

以pH分別調控於4.5及3.5時，底渣經過與萃取酸混合及100W的UST處理30 min後，經初步測定溫度分別為25.6 ℃～27.9 ℃及24.4 ℃～26.1 ℃左右。隨後再經TCLP溶出處理後，經再測定溫度為22.3 ℃及21.9 ℃左右的室溫範圍(詳如**Table 4**)。由結果推斷，由酸浸泡後結合超音波震盪設備處理底渣重金屬溶出過程，經UST反應後其溫度上升至50 ℃～60 ℃，反應後之溫度又下降至室溫。

Table 2 Changes in Weight of Bottom Ashes for Acid Rain Disturbance.

pH	Operation Parameters	After Mixing of Bottom Ash and Acetic Acid for UST Treatment	After UST Treatment	After TCLP Extraction
3.50	100 W、30 min	50.0	47.24	43.92
4.50			47.38	45.58
3.50			46.53	45.29
4.50			46.91	43.64

Unit of Weight : [g]

Table 3 Changes in pH of Bottom Ashes for Acid Rain Disturbance.

pH	Operation Parameters	After Mixing of Bottom Ash and Acetic Acid for UST Treatment	After UST Treatment	TCLP Acid	After Mixing of Bottom Ash and Acetic Acid for TCLP Extraction	After TCLP Extraction
3.50	100 W、30 min	12.10	12.29	2.88	4.01	8.17
4.50		12.25	12.20	2.88	4.15	8.80
3.50		12.16	12.35	2.88	4.32	8.55
4.50		12.36	12.37	2.88	3.97	8.33

Unit of pH : [-]

Table 4 Changes in Temperature of Bottom Ashes for Acid Rain Disturbance.

pH	Operation Parameters	After Mixing of Bottom Ash and Acetic Acid for UST Treatment	After UST Treatment	TCLP Acid	After Mixing of Bottom Ash and Acetic Acid for TCLP Extraction	After TCLP Extraction
3.50	100 W、30 min	19.4	26.1	17.8	22.3	21.7
4.50		19.5	27.9	18.2	22.8	22.2
3.50		19.7	24.4	18.6	23.9	21.9
4.50		20.0	25.6	17.9	23.6	22.3

Unit of pH : [℃]

五、結論

彙整以上試驗結果，研提以下數項結論及建議，期望能作為未來底渣資源場在重金屬排除(Elimination)處理作業上參考之用。

1. 當震盪強度控制於 100W、L/S = 5.0時，經超音波震盪後，其上澄液含有少量的Pb。模擬酸鹼值降低為3.5左右，底渣經UST處理後，底渣上澄液中Pb之析出量或是底渣重金屬Pb之累積溶出量皆較原來模擬酸鹼值為4.5時者為多，唯二者的差異並不顯著。而無論是模擬酸鹼值約為4.5左右或是考量降低資源化風險、增加強度而降低酸鹼值為3.5左右，經超音波震盪後，其上澄液底渣重金屬Cd完全未被檢出。
2. 當pH調控於3.5底渣經過UST處理後，上澄液Pb溶出率僅約一成，底渣中殘留的Pb含有率99％以上。當pH調升至4.5時，底渣經過UST處理後上澄液Pb溶出率皆有下降的跡象。而重金屬Cd部分，底渣經過萃取酸處理後重量削減率高於UST處理過程，且底渣經過萃取酸處理，萃取酸濃度的高低及L/S高低皆對底渣重量之削減有顯著的影響。研判若底渣若長期受到變動pH及L/S環境，其重量應有明顯的減損。
3. 經試驗結果推斷，經酸浸泡後結合超音波震盪設備處理底渣重金屬溶出過程，經UST反應後其pH值趨於中性或弱鹼性，反應後之殘留液因屬中性或弱鹼性，並不會造成相當大的危害或環境衝擊。因此，即使底渣作為級配料道路鋪設用時，現場長期受到變動pH及L/S環境，其道路品質受酸鹼影響應不明顯。
4. 變動pH狀態浸泡後底渣結合超音波震盪設備處理底渣重金屬溶出過程，經UST反應後其溫度上升至50 ℃～ 60 ℃，反應後之溫度又下降至室溫，並不會造成相當大的危害或環境衝擊。

參考文獻

1. 高思懷、孫常榮、李志偉、沈筱菁、林祐全，「底渣再利用製程改善研究計畫」，國賓大地環保事業股份有限公司委託研究案，2004。
2. 洪士傑「焚化底渣掩埋場處理廢酸之可行性研究」，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文，2004。
3. 康敏捷、金恆鑣、王明光，「模擬酸雨對蓮華池森林土壤陽離子之淋溶作用」，中國農業化學會誌，v34，n1，p41-53，1996。
4. 李明國，「酸雨對焚化底灰掩埋滲出污染物之影響」，淡江大學水資源及環境工程學系碩士班論文，2002。
5. Buchollz, B. A. ,Landsberger, S. , “Trace Metal Analysis of Size Fraction Of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash and Its Leaches” ,Journal of Environmental Science and Health , A.28, pp.423-441,1993.
6. Sawell, S. E., Bridle, T. R., & Constable, T. W. , “Heavy Metal Leachability from Solid Waste Incinerator Ashes” ,Waste Management & Research, Vol.8, pp.227-238,1988.
7. Mannings, S., Smith, S. and Bell, J. N. B., 1996, “Effect of deposition on acidification and metal mobilization”, Applied Geochemistry, 11, 139-143.
8. Toxicity characteristic leaching procedure (NIEA R201.13C) of Environmental regulations,Environmental Analysis Laboratory EPA, Executive Yuan, R.O.C,Taipei,2007.
9. Heavy metal detection by sulfic acid and nitric acid digestion(NIEA R216.02C) of Environmental regulations,Environmental Analysis Laboratory EPA, Executive Yuan, R.O.C,Taipei,2003.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第139-148頁

煙道排氣中餘熱結合 CO_2對底渣異味削減效能之評估

A combined of emission heat and CO_2 for odour elimination of bottom ash in incinerator flue

林奇剛[1]　秦孝偉[2]　凌永健[3]　楊廖陞[4]　陳翊君[5]　田辰彥[5]

Chi-Kang Lin[1]　Shiao-Wei Ching[2]　Yong-Jian Ling[3]　Liao-Sheng Yang[4]　Yi-Jyun Chen[5]　Chen-Yan Tian[5]

1東南科技大學　環境與安全衛生工程系　副教授　　2東南科技大學　環境與安全衛生工程系　助理教授
3 國立清華大學　化學系　教授　　4東南科技大學　防災科技研究所　研究生
5東南科技大學　環境與安全衛生工程系　學生
1,2,5.Department of Safety Health and Environmental Engineering, Tungnan University.
3. Chemistry, National Tsing Hua University.　4.Institute of Technology for Hazards Mitigation, Tungnan University.

摘　　要

垃圾焚化後底渣仍有強烈的異味，此對環境生態有明顯衝擊。因此，本研究利用焚化廠焚化後餘熱導回再次處理底渣，進行熱脫附使其內部造成異味的有機物給予去除。本研究的試驗設計利用煙道排氣中餘熱結合 CO_2，期能將底渣內部金屬氧化物因碳化作用(carbonation)轉化成碳酸鹽類，將使造成異味的有機物被包覆而導致異味不易逸散至外部。為確認底渣異味削減成效，於反應前後分別利用電子鼻(Electronic nose)與氣相層析質譜儀(GC-MS)測定氣味強度及其成分之變化。

試驗結果發現，底渣導入 CO_2反應後，其異味經過削減後氣味強度具規則性低減。模擬脫附溫度調控於150℃，反應經150min 後底渣氣味強度可降至56左右。若將溫度調高至200℃時，更可使底渣氣味強度降至35左右，其底渣異味削減效果較溫度150℃時之效果更明顯。不受空氣流量的影響，反應溫度200℃時底渣異味削減效果最佳。當空氣流量提高至3 L/in 以上，因底渣發生部分翻動而排擠有機性氣體導致底渣異味逸散至底渣外，可提升其與餘熱及 CO_2反應之機會。此與未利用空氣擾動試驗的結果比較，發現當空氣流量1.0 L/min、反應經120min 後，利用空氣擾動及未利用空氣擾動的底渣之異味削減量分別為600左右及700左右，但提高氣體流量後，其異味削減可由600提高至740左右。

試驗中經 GC-MS 分析後發現，底渣反應後所含異味氣體成分分別含有酮類、醇類、苯類、烷類及其他成分。其中，相較於反應前，反應後之丙酮、2-丁醇、三氯甲烷、三氯乙烯及甲基異丁烯等五種低毒害性氣體之濃度，不但未削減且有反增之趨勢，而其他氣體削減現象相當明顯。未來，在資源化廠於貯存底渣、前處理操作的過

程上，對於周遭環境衝擊具有實質參考的價值。

關鍵字：焚化底渣、異味去除、電子鼻、餘熱、碳化

ABSTRACT

The characteristics of degradation/conversion of refractory are investigated in laboratory-scale emission heat and CO_2 processes treating bottom ash odor which contains cancinogenic compounds. To confirm the odor elimination effectiveness of bottom ash, the changes of odor intensity in bottom ash odor and its components were monitored with electronic nose and gas chromatography mass spectrometry. After carbonation of 150 minutes treatment, odor intensity of bottom ash decreased apparently from 500 to 65, approximately. However, the change of component of odor in bottom ash was inconspicuous. The optimal flow rate of CO_2 was controlled at 0.1 NL/min. It is revealed that some of cancinogenic compounds such as ketones, alcohols, benzene, alkanes were detected in pre-reaction, and the concentration of cancinogenic compounds were decreased apparently after emitting heat and CO_2. It can be estimated that the enhanced odor elimination efficiency of bottom ash was not only due to the increase in heat-desorption odor removal, but also due to the role of the external metal-oxide into carbonate.

Keywords：Bottom ash, Odor elimination, Electronic nose, Emission heat , Carbonation

聯絡人：楊廖陞 sin_getter_d@yahoo.com.tw (02)8662-5935轉109

壹、研究背景

近年，台灣地區隨著產業發展使得一般廢棄物及事業廢棄物的產量及有害成分不斷增加。依據行政院環境保護署環境資料庫統計資料獲知(2007)，目前全國已有23座大型垃圾焚化廠正式操作營運，焚化底渣之約85.8萬公噸中約佔焚化垃圾量之15.1%。於民國96年台灣地區垃圾產生量達797.6萬噸，較95 年增加23.7萬公噸(約增加3.1%)，而台灣地區垃圾清運量達487.3萬噸，較95年減少15.9 萬公噸(約減少3.2%)。民國89年，全國正式展開資源回收作業後，至民國96年台灣地區垃圾回收量已大幅達至310.2萬噸，較95年增加39.7 萬公噸(約增加14.7%)。此外，民國96年台灣地區資源回收量已大幅達至240.8萬噸，較95 年增加30.1 萬公噸(約增加14.3%)。目前台灣地區已設置23作焚化廠處理垃圾，民國96年垃圾焚化量達568萬噸，焚化後產生之灰渣約有102萬噸，較95年減少15%。其中，包括底渣(Bottom Ash)、飛灰(Fly Ash or APC Residues)等，底渣產量為68.7萬約佔67.35%。因各地方垃圾收集、處理方式的不同，導致垃圾焚化後底渣的成分亦有明顯的差異。垃圾經焚化後所殘留的底渣內除了含有重金屬、氯鹽、

戴奧辛等有害物質，同時尚有異味等污染物對環境衝擊的問題存在。現有焚化底渣回收再利用過程，造成底渣可能產生異味源包括不飽和烴、氮化物、硫化物、氯烴等化合物，是否能被有效脫除，作為級配料的底渣中異味去除是目前最迫切需解決的重要課題之一。

本研究係利用焚化或是再處理後之餘熱及廢氣中之 CO_2，經與底渣內異味源結合後，再予以去除使得底渣級配料可達到無刺激的特性。同時，亦可不浪費現地資源且在利用，實驗中為確認底渣異味削減成效，於反應前後分別利用電子鼻(Electronic nose)與氣相層析質譜儀(GC-MS)測定氣味強度及其成分之變化。

貳、文獻回顧

Wiles(1996)[1]針對焚化爐焚化後垃圾，依不同處理設備及產生位置而異，而產生物大略可分為五種：爐床灰、篩灰、鍋爐灰、洗滌灰、集塵灰等五種。而國內底渣處置及再利用之相關研究李釗(1995)[2]，曾針對垃圾焚化底灰作為水泥混凝土細骨材之可行性探討，其發現焚化底渣顆粒較大，呈球狀或不規則狀，而顆粒表面沈積物多孔隙也較多，大多數之底渣粒徑分佈於20～100mm 之間。環訓所(2001)[3] 針對「臭味」或「惡臭」明瞭闡述，其係指人對於某種氣味(物質)基於主觀的判斷而感到不舒服或感覺厭惡的反應，因而破壞生活環境與品質，即為一般認知之臭味。臭味物質係特指具強烈氣味之物質，且大多為氣相污染物，主要由碳、氫、氧、氮、硫、鹵素等元素構成。一般惡臭物質具備下列幾個共同特性：揮發性高、蒸氣壓大、含氮或含硫化合物、含碳數較低且不飽和化合物及環狀化合物結構等。呂信賢(2000)[4]使用生物電子鼻對臭異味分子分析，依不同的對象組成與不同的模組進行偵測，探討偵測時目標成分和幹干擾成分進行討論其交互作用與產生的偵測訊號間的關連性。Takao Y. (2002)[5]亦利用電子鼻建立高效率的方法來查詢氣味的種類。

垃圾經焚化後所殘留之灰渣物質，主要成分多為無機物，雖焚化化後所剩無幾，但是仍可能為導致底渣異味來源之一，在周家德(2005) [6]曾針對底渣異味分析後歸納出以下幾類，分別為硫化物、氮化物、含氧烴、含氯烴、碳氫類等五大類。Ecke, H. (2003)[7]曾對飛灰穩定方面研究，研究中以粉煤灰進行試驗，發現以二氧化碳(CO_2)當作穩定的方法，可有效降低重金屬等的污染物，尤其以鉛(Pb)及鋅(Zn)。國內宋旻修(2006) [8]也曾針對焚化袋式集塵灰使用二氧化碳(CO_2)進行安定化之研究，其結果發現當水蒸氣與 CO_2混合後氣體，對集塵灰的碳酸化反應有提升的作用。Giulia .Costa 等人(2007)[9]研究報告發現，藉由焚化廠或底渣資源廠中所排放的CO_2能與底渣中重金屬氧化物結合成碳酸鹽類，並進一步將底渣包覆，使異味物質不易逸散，而垃圾焚燒後產生之底渣異味源可能發生原因，包括有灼燒減量過高、未燃燒碳含量較高所造成。

$$CaSiO_3(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + H_2O(l) + SiO_2(s)$$

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2CO_3(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) + H^+(aq)$$

$$Ca^{2+}(aq) + HCO_3^-(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H^+(aq)$$

參、研究方法、材料與設備

本研究主要係利用針對底渣異味氣味強度為主體之電子鼻(Electronic nose Cosmos XP-329III-R)測定裝置，分別以台灣北部數座大型焚化廠所排出之「底渣原物料」。係利用焚化或是再處理後之餘熱及廢氣中之 CO_2，經與底渣內異味源結合後，再予以去除使得底渣級配料可達到無刺激的特性，最後達到去除底渣異味的目的。就底渣異味成分方面，於餘熱及廢氣中之 CO_2碳化處理後，利用氣體採樣泵補採集取底渣逸散氣體，最後再利用氣相層析質譜儀(Gas Chromatography – Mass Spectrophotometer ; GC-MS)進行最後底渣異味氣體濃度之量測，研究架構如 **Fig. 1**所示。

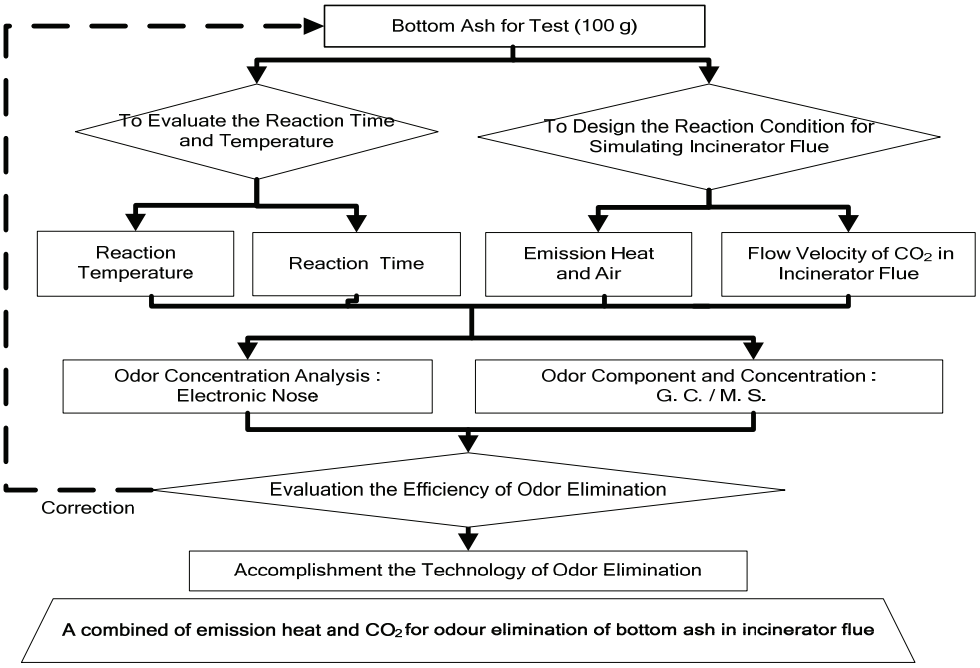


Fig. 1 Flow chart of combination heat and CO_2 odor elimination in bottom ash

3.1 分析方法

一、電子鼻

量測的氣味分子所造成的氧化還原反應、電導度之變化或是接觸電壓變化，計算出氣味強度。

二、底渣異味成份分析

利用 GC-MS 進行最後底渣異味氣體濃度之量測，以吸附管採樣，樣品經 CDS 8000 熱脫附儀脫附後(熱脫附溫度175℃，2.5 min；注入口冷凝溫度-75℃)，注入 Varian® CP-3800 GC / Saturn 2000 Ion Trap MS 氣相層析質譜儀分析(注入溫度200℃，1 min，分流比5：1)。分離管柱係使用 DB-624(或 DB5-MS）毛細管柱(30m×0.25mm×1.4 μm)，層析管柱升溫程式：起始溫度35℃，以5℃/ min 升溫至140℃，再以10℃/ min 升溫至210℃，持續2.0min。載流氣體使用高純度氦氣，流速1.0 mL/ min；離子質譜儀遊離源採用電子撞擊法，電子撞擊動能為70eV；質譜掃描範圍：m/z 29 ~ m/z 200。

3.2 實驗材料與設備

本試驗裝置係模擬垃圾焚化廠焚化爐煙道，主槽體採用半流體化高溫爐，試驗中一般空氣及 CO_2分別由空氣壓縮機(compressor)及鋼瓶導入，導入後氣體經流量計調整流量後，藉由管線進入高溫爐中的反應瓶進行反應，底渣中金屬氧化物與 CO_2氣體進行碳化反應後，排放氣體經管線進入冷凝裝置中，最後利用氣體採集方式，將反應後氣體收集進行分析，其模擬如 **Fig. 2**所示。

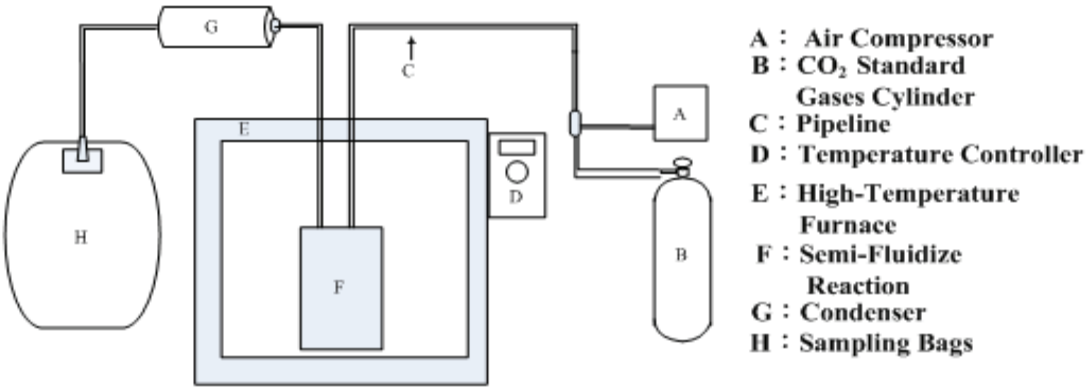


Fig. 2 Schematic diagram of simulation incinerator flue system for odor elimination

3.3 研究步驟

配置100 g 底渣樣品，模擬煙道溫度於150℃、200℃，進行底渣異味脫附，於試驗中反應時間分別設定30、90與150min，反應後利用電子鼻偵測測其底渣氣味強度並進行氣體採樣，利用 GC 偵測反應前後異味成分與其濃度之變化。

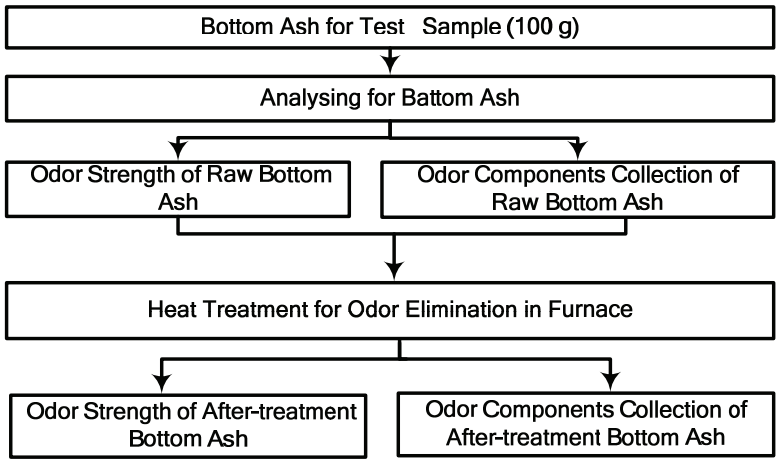


Fig. 3 Experimental procedure of odor elimination by emission heat and CO_2

肆、結果與討論

4.1不同的空氣流速及反應溫度

試驗係導入氣體擾動進行底渣異味削減反應，將一般空氣導入鋼製反應槽中利用設定的氣體流速，促使底渣產生翻動作用形成半流體化，過程中藉由餘熱分解進而將底渣中具有異味之氣體排擠、逸散。試驗中固定空氣注入速度1、2、3及5 L/min，反應溫度分別設定於 100℃、150℃及200℃，探討不同的反應溫度及反應時間對底渣異味之削減效率。

空氣流量1 L/min、反應溫度100℃、150℃及200℃時，在不同反應溫度下，底渣異味隨著反應時間的延長皆有明顯的削減效果，反應經180 min 後可將底渣異味削減至20左右(**Fig. 4**所示)，但整體屬不規則的削減趨勢。因此，為瞭解氣體流量對底渣異味削減效果的影響，將空氣流量提高再觀察其反應。由 **Fig. 5**及 **Fig. 6**結果發現，提高空氣流量至2 L/min、3 L/min 後，反應經180 min 後底渣異味能降至20以下，但底渣異味削減趨勢仍略呈不規則變化，尤其於反應時間60及120 min 下，可明顯發現3種反應溫度之底渣異味削減量差異，整體反應有明顯的削減趨勢，在提高空氣流量後底渣內異味熱脫附效果較強。將空氣流量提高至5 L/min，底渣異味削減迅速，反應至180 min 後可將底渣異味明顯削減至15以下(**Fig.7.**所示)。導入一般空氣結果發現，不受空氣流量的影響反應溫度200℃時，底渣氣體異味削減效果最佳，同時空氣流量提高至3 L/min 以上，因底渣發生部分翻動而排擠有機性氣體導致底渣異味逸散底渣外。空氣流量由3 L/min 提升至5 L/min 時，反應經120min，底渣異味削減率可由84%提升至92%。

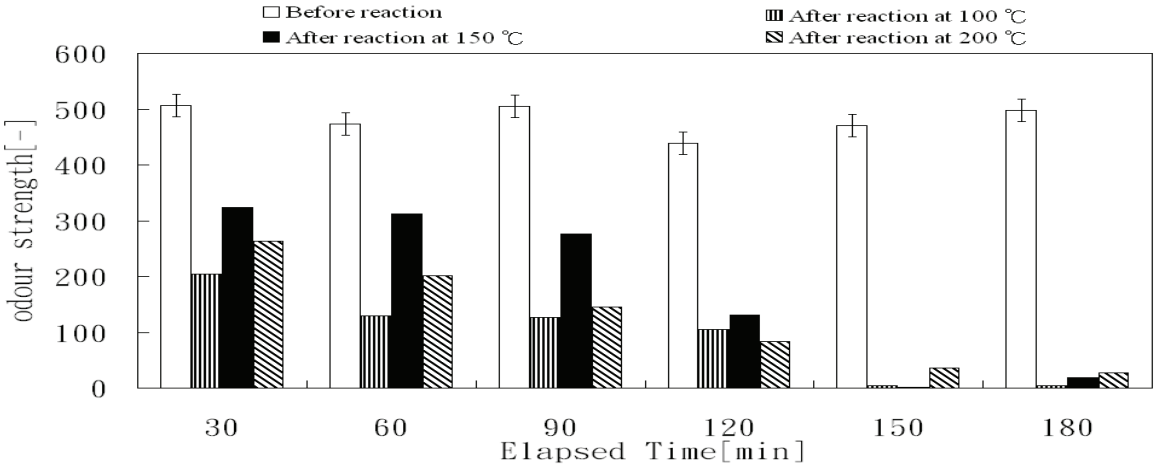


Fig. 4 Effect on temperature on odor strength of bottom ash (air flow 1 L/ min)

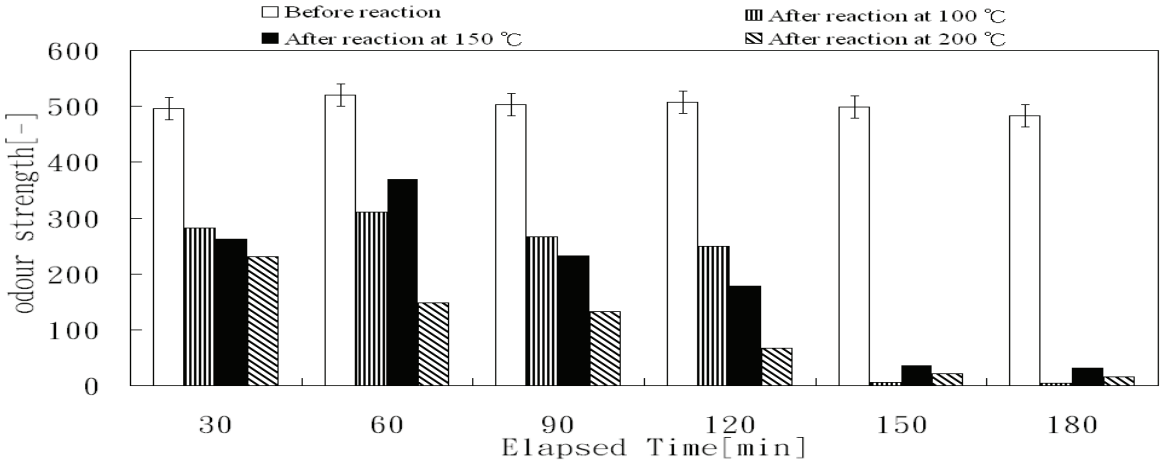


Fig. 5 Effect on temperature on odor strength of bottom ash (air flow 2 L/ min)

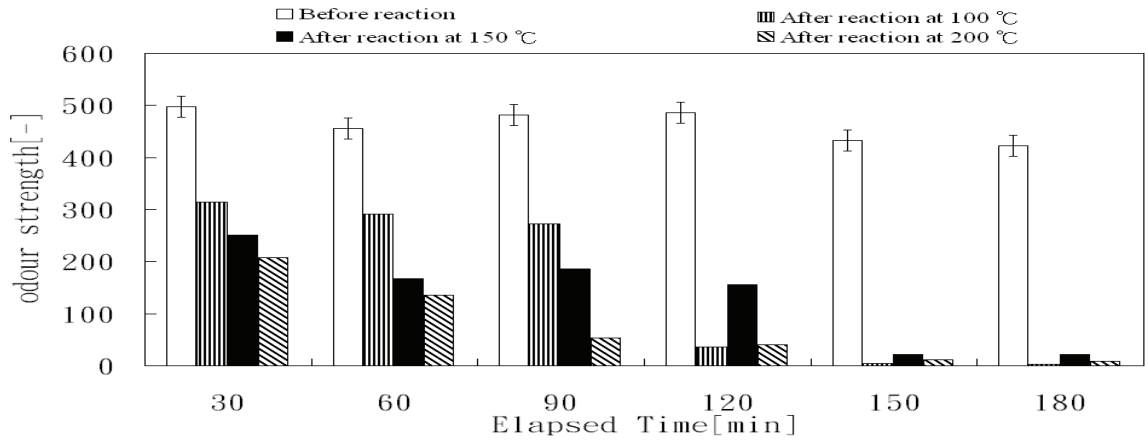


Fig. 6 Effect on temperature on odor strength of bottom ash (air flow 3 L/ min)

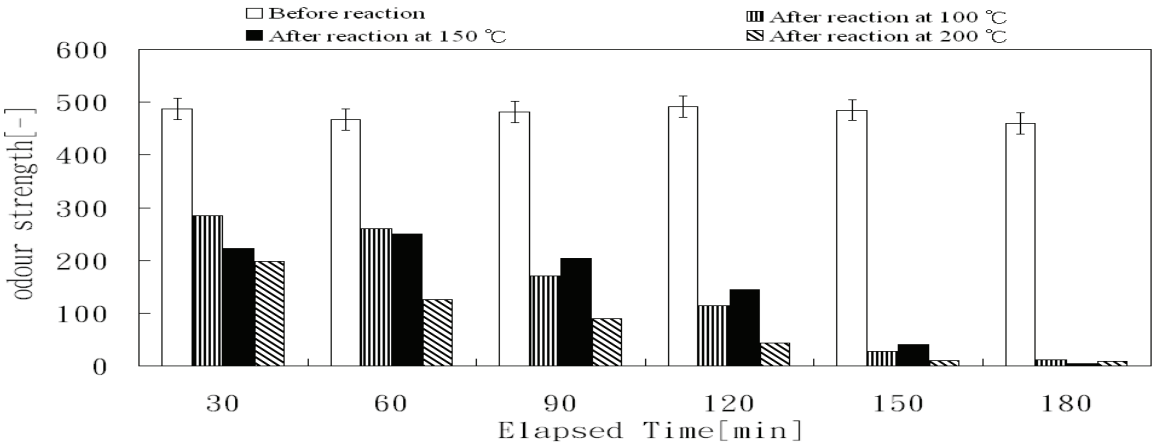


Fig. 7 Effect on temperature on odor strength of bottom ash (air flow 5 L/ min)

4.2底渣異味削減效果之評估

本階段試驗係模擬垃圾焚化廠煙道中餘熱結合所排放 CO_2，焚化廠煙道排氣之溫度約為150～200℃，而煙道排氣中 CO_2排放量約佔10～12%。為模擬煙道排氣而將試驗 CO_2流速設為0.1 L/min，並與一般空氣混合後導入底渣內，藉此與底渣中金屬氧化物結合形成碳酸鹽類，以包覆有機污染物於底渣內部，期能因此降低其異味逸散之可能。由 **Fig. 8**之試驗結果所發現，導入 CO_2至底渣反應後，其異味經過削減後氣味強度明顯削減。模擬脫附溫度調控於150℃、反應經150min 後，底渣氣味強度可降低至56左右。若將模擬脫附溫度調高至200℃時，更使底渣之氣味強度迅速降至35左右，效果較150℃時更明顯。針對此一結果，推測可能為 CO_2與底渣中金屬氧化物結合形成碳酸鹽類後，將有機污染物包覆於底渣內部，繼而降低其異味逸散所造成。若繼續提高 CO_2流速，可能提升底渣氣味強度之削減速率。

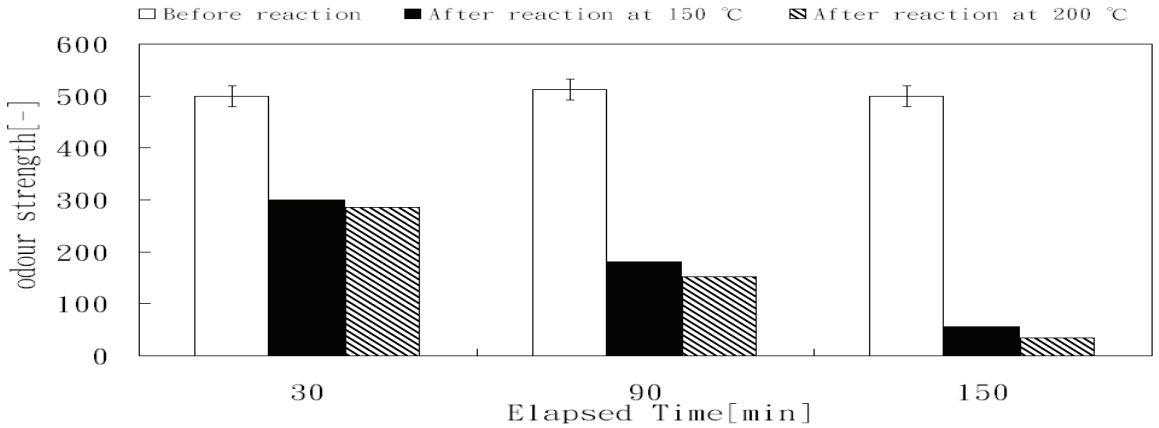


Fig. 8 Change in odor strength of bottom ash by emission heat and CO_2

4.3底渣異味氣體成分變化

本次試驗底渣經分析後，所測出異味氣體成分分別有酮類、醇類、苯類、烷類及其他成分等(詳如 **Table 1**)，其中測出包括苯、二氯甲烷等微量致癌物質，試驗條件及其代號如 **Table 2**所示。試驗分析出其他異味成分，分別包括丙酮、2-丁醇、氯丁二烯、異丁醛、等五類。

經氣體濃度分析結果，由 **Fig. 9**及 **Fig. 10**發現，相較於反應前，反應後丙酮、2-丁醇、三氯甲烷、三氯乙烯及甲基異丁烯等五種毒害性不高之氣體濃度，不但未削減反而有增加之趨勢，除此之外其他氣體皆有相當明顯削減現象。未來，此一現象於底渣資源化廠在貯存、操作與防護設計過程上，具有實質參考之價值。

Table 1 Odor components of bottom ash after treatment by heat and CO_2

Classification	Odor components
Ketones	Acetone, 2-Butanone, 2-Pentanone
Alcohol	2- Butanol
Benzene	Benzene*, Toluene
Alkane	Trichloromethane, Hexane
Vinyl	methylene chloride*, Chlorobutadiene, Trichloroethylene
Aldehyde	Isobutyraldehyde
Others	Trimethylamine, Carbon disulfide

p.s.*: Carcinogenic Gas declared in Material Safety Data Sheet(M. S. D. S.)

Table 2 Codes of bottom ash for Combination of emission heat and CO_2

Operation mode	Code	Reaction Time [day]
Blank Test A	C150-0	0
Reaction Temperature : 150℃ Velocity of CO_2 : 10% (0.1 L/min)	C150-1	30
	C150-2	90
	C150-3	150
Blank Test B	C200-0	0
Reaction Temperature : 200℃ Velocity of CO_2 : 10% (0.1 L/min)	C200-1	30
	C200-2	90
	C200-3	150

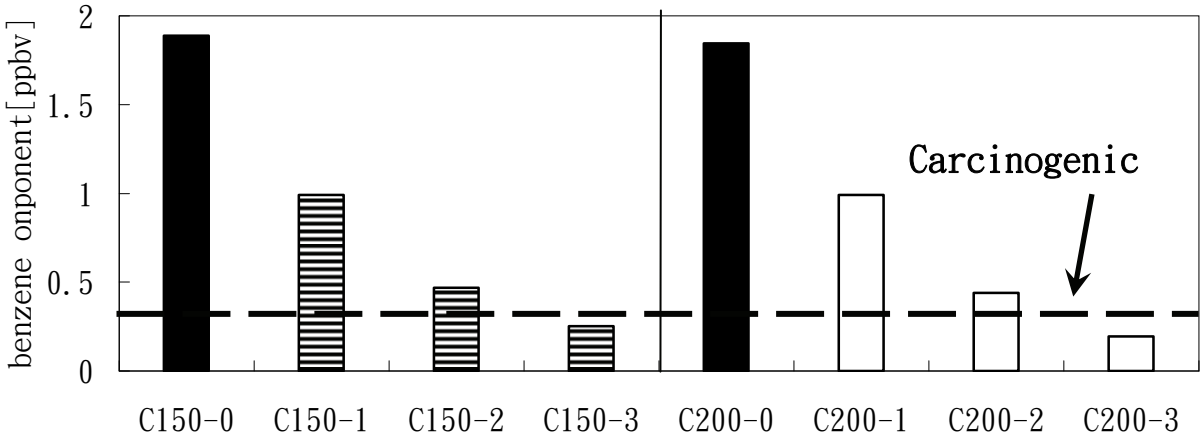


Fig. 9 Change in benzene component for treatment of emission heat and CO_2
(Odor threshold: 2,700 ppbv)

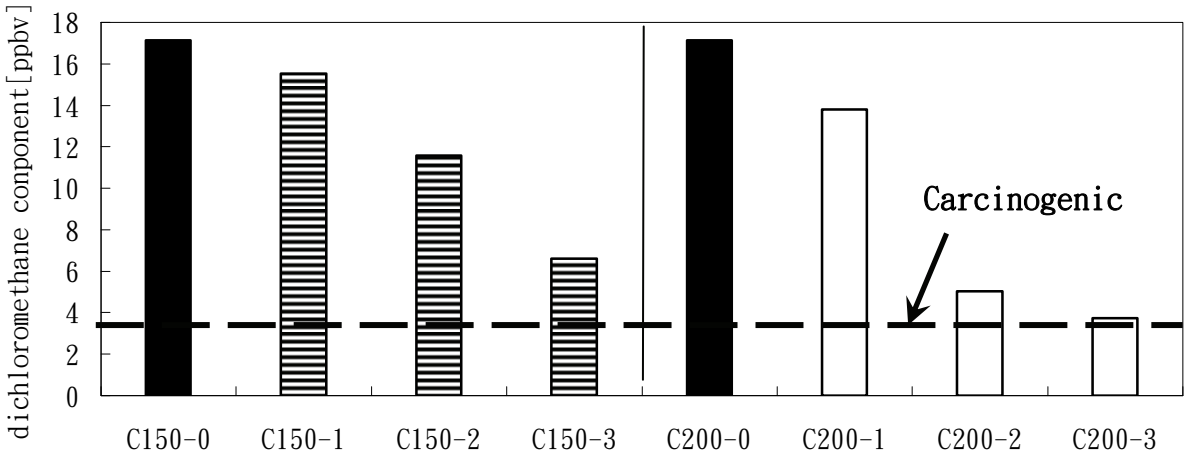


Fig. 10 Change in dichloromethane component for treatment of emission heat and CO_2
(Odor threshold: 160,000 ppbv)

伍、結論

彙整氣體擾動及模擬煙道餘熱結合 CO_2對底渣異味效果的試驗結果，可獲得以下四點結論，

1.不受空氣流量的影響，反應溫度200℃時，底渣氣體異味削減效果最佳。

2.空氣流量提高至3 L/min 以上，因底渣發生部分翻動而排擠有機性氣體導致底渣異味逸散底渣外。空氣流量由3 L/min 提升至5 L/min 時，反應經120min，底渣異味削減率可由84%提升至92%。

3.底渣導入 CO_2反應後，其異味經過削減後氣味強度趨於低弱，且可看出規則性變化。以流量1 L/min 比較，發現反應30min 時底渣氣味強度導入 CO_2，其異味效果略高於導入空氣。

4.導入 CO_2延長至150min 後，底渣氣味強度只能削減至20～30，由此結果推測可能係因 CO_2與底渣中金屬氧化物結合形成碳酸鹽類間接包覆揮發性有機氣體所致。

參考文獻

1. Wiles, C. C., “Municipal solid waste combustion ash ： stage-of-the-knowledge”, Journal of Hazardous Materials , Vol. 47, pp.325-344., 1996.
2. 李釗、江少鋒、郭文田，「垃圾焚化底灰作為水泥混凝土細骨材之可行性研究」，第十屆廢棄物處理技術研討會，1995。
3. 環訓所，臭味及有害空氣污染物控制-甲級空氣污染防制專責人員訓練教材，2001。
4. 呂信賢，生物電子鼻對臭異味分子的偵測及應用，碩士論文，國立東華大學生物技術研究所，花蓮，2000。
5. Takao Y, Odor recorder for multi-component odor using two-level quantization method, 2002.
6. 周家德，飼料乾燥排氣化學洗滌除臭，碩士論文，國立中山大學研究所，高雄，2005。
7. Ecke, H. "Sequestration of metals in carbonated municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash. " Waste Management, 23, 631–640. , 2003.
8. 宋旻修，以二氧化碳安定化含高鹼性垃圾焚化袋式集塵灰之研究，碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系，2006。
9. Giulia Costa & Renato Baciocchi & Alessanda Polettini & Raffaella Pomi & Colin D. Hills & Paula J. Carey “Current status and perspectives of accelerated carbonation processes on municipal waste combustion residues” , 2007.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第149-158頁

汽車修護流程運用豐田生產系統(TPS)成效之探討

Efficiency on the Service Flow Line of Automobiles Maintenance using TOYOTA Production System

黃錦鐘[1]　郭 仰[2]　黃堯添[3]

Jing-Chung Huang[1]　Yang Kuo[2]　Yao-Tien Huang[3]

東南科技大學機電科技學系 [1]副教授，[2]講師　[3]東南科技大學機電整合研究所碩士研究生

[1,2]Department of Mechatronic Technology，Tungnan University　[3]Graduate School for Mechatronic Engineering，Tungnan University

摘　要

本研究探討在汽車售後服務廠中，專業接待過程所生重複動作及遲滯問題現象，並分別透過流程、管理、作業及設備之改善，以有效縮短接待作業時間及統一規範服務專員的標準動作，進而提供高品質的汽車售後服務，以滿足顧客之需求。

研究中運用豐田生產系統(TPS)之理念，將及時化(Just In Time)、看板管理、改善等效率化的做法，運用於汽車售後服務業的專業接待服務流程中，並於服務廠中實際運作驗證，建立專業接待的服務標準流程機制。

經研究驗證結果顯示，具體成效為：將專員負責工作 7 大步驟流程標準化後，時間由改善前平均 33 分鐘，縮短至 45%的 18 分鐘，且在顧客電訪調查中獲得 96%之肯定，在嘉惠全台廣大車主之同時，企業也在效率化的過程中提升了競爭力。

關鍵詞：標準操作程序(SOP)，豐田生產系統(TPS)，服務流程，改善，服務專員

ABSTRACT

This study discusses all the nonsensical actions in the after-service of automobiles maintenance field, and shorten service time efficiently and unify a SOP to service men after some points such as process, management, operation and equipment are improved using TOYOTA production system (TPS).

Efforts identified presents all service time can be shortened down to forty five percent, average eighteen minutes from average thirty three minutes in a period of maintenance time, and gets about ninety six percent of satisfaction by customers from telephone type of enquete。

Keywords : SOP(Standard Operation Process), TPS, Service Procedures, Service Advisor

壹、前言

近年來，台灣汽車市場因為世界整體市場不景氣，再加上台灣的汽車銷售市場已轉趨飽和之下，新車銷售台數大幅下降，顯得完善的汽車售後服務早已成為消費者購車之基本要件，也是公司利潤的重要來源。因此「如何提供物超所值的商品，以滿足顧客的需求」，已成為各行業最重要之課題。

本研究藉由豐田生產系統運用到服務專員接待作業流程中，來維持統一的標準作業品質，提高車主對其廠牌的忠誠度，而此一實證研究，在學術界利用此理論與實務結合之成功案例頗多〔1〕，藉以提升企業競爭力。

貳、服務專員七大步驟問題點

檢討傳統服務專員接待流程作業中，詳細分析其七大步驟現有的問題，主要是人員疏忽及無訂定標準作業流程導致的。其現象及原因，則如**表 1** 所列。

表 1　服務專員七大步驟問題點

分　類	現　象	原　因
1.預約作業	1.預約入廠車輛的委修內容不明確 2.預約車入廠前之提醒動作不落實 3.失約車聯絡機制不健全	• 服務專員疏忽 • 服務專員貪於一時之便 • 作業程序各異 • 無專人負責此項作業
2.接待作業	1.尖峰時間大量車入庫，無法立即接待 2.預約車入廠而技術人員等待閒置 3.接待完成至派工完成的時間花費過長	• 客戶集中到廠 • 接待時間不足 • 預約車未準時入廠
3.填寫委修事項	手寫工單填寫不完全	• 接待疏忽及接待時間不足
4.派工作業	派工組長未能立即有效率派工	• 不熟悉電腦操作，派工計畫不易排定
5.完車檢查作業	沒有全數車輛實施	• 沒有設立指定車位 • 沒有設立專職人員
6.交車作業	1.未使用"元件分解圖"實施完工說明 2.未實施現車說明	• 不習慣 • 無此觀念
7.服務後追蹤	1.未能於接車三日內完成服務後追蹤 2.工作單歸檔方式各廠不一	• 時間不足，沒有 100%實施 • 不瞭解

參、豐田式生產系統概要

豐田生產系統(TOYOTA Production System , TPS)包含兩個重要之基本概念：及時化及自働化〔2〕。在豐田生產制度中，係一生產與存貨控制的管理技巧，是由日本大野耐一氏提出，目的在減少生產過程中所產生的一切浪費。

及時化是一個以拉式作業系統(Pull System)及連續生產流程之作業方式，而產品與服務產出由需求導引來的，而非被生產出來後再推向下一工程或顧客，透過需求來提

供產品的方式，可避免過度生產或庫存之現象〔3，4〕。

所謂自働化是指機器上裝有自動停機的裝置，當機器一發生問題，便可自動停止運轉，以減少浪費。由於豐田汽車公司的機器都裝有這種自動停機裝置，因此當線上出現瑕疵品時，該部機器即自動停機，整條生產線也隨之停止作業〔5〕。

肆、驗證方法

4.1 研究組織

本研究方式係採用現場作業實證研究，成立專案小組共 7 人，並由研究者負責整體規畫及溝通協調，指定位於寶橋路的新店服務廠為示範據點，執行各項改善活動。

其中研究者之一從事一般汽車修護技工及進入豐田汽車廠長服務至今，共計21年實務經驗，已獲得15張有關汽車證照。改善團隊中計有：廠長1名、服務專員7名、引擎修護技術員16名、零件人員3名、助理2名、洗車員2名，合計31名。

接受改善單位的背景：台北縣北都新店廠成立日期為1989年10月；建物面積為1181坪，一般修車位數有18位服務人員，平均服務人員年資13年；車輛保有台數約有12676台，年平均服務收入為8469萬元。

4.2 研究資金需求

費用估算係以每據點設置電子操作看板，其中人事成本、人員訓練及初期費用，除專案人員人事成本及教育訓練成本外，本案研究期間所需費用，共計 138 萬元。

4.3 研究改善期限及驗證據點

研究對象因受限於人力及時間，初期僅能針對指定廠實施，在2007年1月~2007年12月間研究試行。而驗證地點，則設於台北縣新店市寶橋路上的新店服務廠。

伍、具體改善做法

5.1 運用觀念與改善做法

在探討的過程中，運用了「5 Whys」方法、「腦力激盪法」等技巧，藉由這些技巧及結合服務廠現場人員實務經驗，由當事者自己思考，發掘問題，以建立全員參與，並建立改善共識。

此外，以減少服務專員實施不必要的步驟為訴求，將必要作業步驟加以整合，使設備、合併流程、作業程序，訂定如**圖 1** 所示服務專員之最佳標準流程，提供顧客一致化的優質服務〔6〕。

為考量顧客需求及施策方向與施策觀念後，這些想法仍無法在實務上展開，因此藉由這些觀念導入，將這些想法實際結合於服務流程中，再經由實際演練及成效篩選後，發展出最佳作業流程，並將之標準化，且做成標準操作程序 (SOP) 書。

在實際作業改善部分，必須先檢視作業的方式，找出無效與重覆的動作，將實際作業的情形全程攝影記錄起來，再根據動作的屬性區分為工作準備、閒置等待、人員移動、清潔、管理工作等。

接著，共同討論動作內容的合理性，以及能夠減少改善的部分，決定後的動作內容規範服務專員強制實施，並訓練達到一定的水準。最後再以本廠 7 位服務專員實際操作 SOP 中的七大步驟，而單項操作達到 10 次的時間平均值，訂為標準動作時間。

5.2 改善前後七大步驟動作數及時間分析

改善前的七大步驟動作數，如**表2**所列共有59個，而完成一車修護所需時間(一循環)為33分鐘；但經改善後，如**表3**所現，一循環流程仍維持七大步驟，所需動作數精簡為32個，所需時間僅為18分鐘。

表2　改善前的七大步驟

流 程	改 善 前 動 作	動 作 數	時 間(分)
1. 預 約	1.製作工作傳票；　2.主動說明預約制度； 3.充分瞭解顧客入廠需求；　4.主動說明營業時間； 5.主動安排適當入廠時間；　6.優惠活動告知； 7.預估作業及交車時間；　8.預估所需費用； 9.覆誦上述接待事項；　10.填寫小磁板； 11.將小磁板計畫至人工式預約計畫看板上。	11	7
2. 接 待	1.護具鋪設；　2.熱忱歡迎； 3.仔細傾聽；　4.現車確認； 5.環車檢查；　6.車內操作功能檢查； 7.輪胎檢查；　8. 4油3水檢查； 9.備胎功用；　10.後車箱貴重物品有無確認； 11.預先診斷；　12.費用預估及時間預估； 13.活動訊息告知；　14.引導顧客至休息室。	14	7
3. 填 寫 工 作 單	1.查閱維修紀錄；　2.查閱零件庫存； 3.開立工單；　4.開立取車單； 5.再次確認客戶基本資料；　6.付款形式及開立發票種類之確認； 7.主動介紹服務手冊；　8.取得顧客授權簽名。	8	4
4. 派 工 作 業	1.交代組長對顧客特別事項　2.故障現象發生的時機； 3.安排需外包的工作；　4.預約車、重修車訊息告知； 5.交車時間變動須知會顧客； 6.額外工作需事先取得顧客同意； 7.確認進度是否能在承諾時間內完成； 8.作業計畫看板上的小磁板，由計畫中移至作業中。	8	3

5. 完 工 檢 查	1.確認顧客委修事項；　2.預先檢視更換下的零件； 3.確認里程數；　4.確認油表油量； 5.車內各項操作功能確認；　6.確認車內清潔； 7.文件準備；　8.確認完工品質。	8	4
6. 交 車 說 明	1.確認車輛內外清潔度； 2.展示換下的舊零件； 3.說明付費金額及主要委修事項； 4.確認顧客修後追蹤的可聯絡時間； 5.提醒顧客下次保養日期； 6.禮貌送行。	6	4
7. 服 務 後 追 蹤	1.詢問顧客對品質是否滿意； 2.對應不滿意顧客； 3.人工勸誘名冊之管理； 4.人工勸誘資料記錄追蹤結果。	4	4

表3　改善後的七大流程標準動作

流　程	動　作	動 作 數	時間(分)
1.預約	1.充分瞭解顧客入廠需求　2.主動安排適當入廠時間 3.預估作業及交車時間　4.預估所需費用 5.覆誦上述接待事項	5	4
2.接待	1.護具鋪設　2.熱忱歡迎 3.仔細傾聽　4.環車檢查 5.引導顧客至休息室	5	3
3.填寫工作單	1.查閱維修紀錄　2.查閱零件庫存 3.開立工單　4.開立取車單 5.取得顧客授權簽名	5	2
4.派工作業	1.交代組長對顧客特別留意事項 2.故障現象發生的時機 3.額外工作需事先取得顧客同意	3	2
5.完工檢查	1.確認顧客委修事項　2.預先檢視更換下的零件 3.文件準備　4.確認完工品質 5.確認車內外清潔	5	2
6.交車說明	1.展示換下的舊零件 2.說明付費金額及主要委修事項 3.確認顧客修後追蹤的可聯絡時間 4.提醒顧客下次保養日期 5.禮貌送行	5	2
7.服務後追蹤	1.詢問顧客對品質是否滿意 2.對應不滿意顧客 3.電腦自動產生勸誘名冊 4.電腦紀錄追蹤結果	4	3

5.3 具體改善做法

主要目的在於各項施策計畫能夠符合現場操作需求，並運用了「5 Whys」方法、「腦力激盪法」等技巧，自主改善的機制，使現場運作更有效率，此即為豐田持續改善的精神。

操作研究如同用顯微鏡來觀察一件事物，本研究採用現地觀察實際操作現況，然後將每個動作列表記錄，並標示所花費時間。接著，將各項動作予以歸類，藉以區隔出無生產性動作與有生產性動作的內容。

針對無生產性動作再進一步探究原因，在瞭解原因後即可針對其動線、設備、管理面，加以改善，以獲致成效。

在操作研究中，平常不為人所知無意識習慣，均無所遁形，而在改善同時，除針對無效動作外，亦針對硬體設備改良及操作分工搭配進行研究，使及時化、同步化、平準化等 TPS 理念，得以逐步實現，而操作人員亦可更輕鬆、從容地達成效率化操作。

5.4 改善中遭遇到的困擾

流程及作業改變後，對於現行服務人員職掌、獎金、每日接車台數、追加作業的轉換及變動等等，皆會產生適應上的問題。而這些問題在改善小組之堅持及監控下，雖可維持順暢運作，唯在日後時間考驗下，難保不回到原有作業習慣模式，可能使專員標準作業流程與品質之承諾，無法兌現，故持續跟催及搭配制度改變，實不可或缺。

陸、研究成效

6.1 專員七大步驟 SOP 流程

如**圖 1** 所示，經過精簡的流程仍維持七大步驟，僅在「掌握工作進度」步驟可以「追加」手段，補全前面的「填寫工作傳單」工作，以維持彈性。

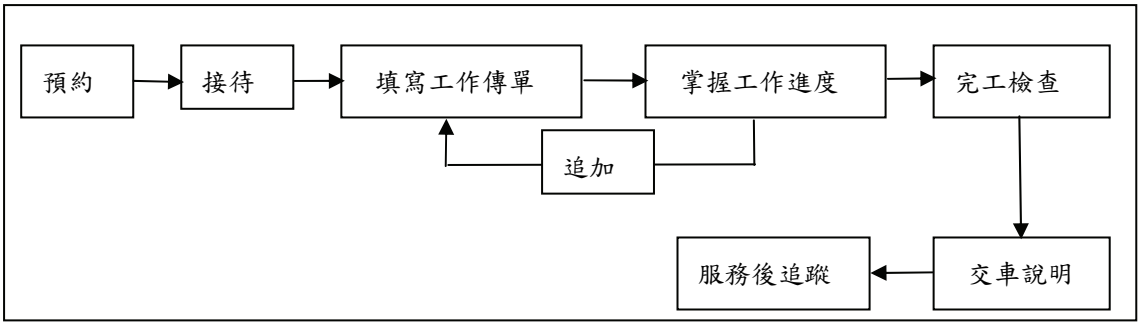


圖 1　七大步驟最佳標準化流程

6.2 七大步驟動作數成效檢討

表 4 為**表 2** 及**表 3** 之整理而得的比較表。此表更清楚顯現改善前後的動作數目變化，以及改善百比率 17～64%(除第 7 個步驟外)，顯示改善幅度平均為 54%之多。

表 4 七大步驟動作數目檢討

步　驟	改 善 前 項 目	改 善 後 項 目	改 善 比 率(%)
1.預 約	11	5	55
2.接 待	14	5	64
3.填 寫 工 作 單	8	5	38
4.派 工 作 業	8	3	63
5.完 工 檢 查	8	5	38
6.交 車 說 明	6	5	17
7.服 務 後 追 蹤	4	4	0
平 均 動 作 數	59	32	46

6.3 專員七大步驟全程平均時間表

其次，如**表 5** 所示，一循環(全程)平均時間在改善前為 33 分，而經改善後為 18 分，改善幅度高達 45%。

表 5　專員七大步驟全程平均時間(分)表

步　驟	1.預約	2.接待	3.填寫工單	4.派工	5.完工檢查	6.交車說明	7.服務追蹤	合計
改善前*	7	7	4	3	4	4	4	33
改善後	4	3	2	2	2	2	3	18

註：＊表示 2006 年 1 月定保車輛入廠紀錄的統計。

6.4 研究績效指標

此外，經本研究結果統計，重要改善指標共計以下四項：

1)每位技術人員服務收入；2)服務專員日接車台數；3)預約車比率；4)顧客滿意度。

由於在工作天數、技術人員工資收入、專員日接車台數等三項指標，為母體資料直接計算而得，數值反應真實情況。而顧客滿意度，則是以電訪方式進行調查，經改善後各項指標確實明顯優於改善前。以下，針對該四項調查進行進一步分析結果，如**表 6** 所示。

表 6　研究績效衡量指標

指　標　項　目	改 善 前	目　標	改 善 後	檢 驗 方 式
1.每位技術人員服務收入(千元/月)	400	460	450	營運分析表
2.服務專員日接車台數(台/天)	10.9	11	11.5	營運分析表
3.預約車比率(%)	52	70	73	營運分析表
4.顧客滿意度(分數)	94	95	96	電話訪問

表中的「每位技術人員服務收入」，改善前為每月 40 萬元，經改善後為 45 萬元，改善幅度 12.5%；「服務專員日接車台數」從改善前的每天 10.9 台，精簡為 11.5 台，改善幅度 5.5%；「預約車比率」由改善前的 52%改善至 73%，改善幅度高達 21%；至於「顧客滿意度」，則由 94%僅增加 2%而已。

由以上數據得知，就目前驗證據點情況而言，僅「預約車比率」仍有改善餘地，而其它三項幾乎達到飽和狀態，似乎很難有大幅進步空間。有關「顧客滿意度」方面，由於題目針對和泰汽車所推出之產品或服務，瞭解顧客使用過的滿意程度。

根據實際操作研究，將滿意度劃分為「硬體設施」、「服務專員」、「維修保養經驗」、「滿意度表現」、「服務後追蹤」等五大構面，而本研究有關顧客滿意度分析，係針對與改善活動直接相關問題，加以統計分析，而相關問題內容〔6〕，則如**表 7** 所列。

本研究的母體界定為研究期間之改善前、後所有回廠實施維修操作之車主，而隨機抽樣法，即母群的每一個個體有同等被抽取的機會，而這樣的抽選方式，稱為隨機抽樣。在群體中隨機抽取若干個體為樣本，群體中之每一個體皆有同等被抽中的機會。

一般調查的方式有兩種：人員訪問、電話訪問，然為求即時掌握顧客意見，並立即對應，本研究採電話訪問方式，每月至少需有 60 份有效樣本，委託中國科技大學資訊系黃郁婷同學、黃詩珊同學、吳夢詩同學，針對每週內入廠對象車主進行調查。

本研究在 2006 年 1 月時(驗證前)的總體樣本數量為 1017 份，而有效的電話訪問數目為 720 份；在 2007 年 1 月時(驗證後)的總體樣本數量為 1057 份，而有效的電話訪問數目為 720 份。

表 7　顧客滿意程度內容

序號	內　　容	滿意度(分數)
A	硬體設施：	
A1	請問您對新店服務廠整體設施整潔方面，滿意度會給幾分？	0～10
A2	請問您對新店服務廠的顧客休息室清潔舒適度方面，滿意度會給幾分？	0～10
A3	請問您對新店服務廠的顧客休息室設備，滿意度會給幾分？	0～10
B	服務專員：	
B1	請問您對接車服務專員在禮貌及親切的服務態度方面，滿意度會給幾分？	0～10
B2	請問您對接車服務專員，認真瞭解您的需求的滿意分數會給幾分？	0～10
B3	請問服務專員是否有向您說明預定維修/保養的項目或費用？	0～10
B4	請問在您保養維修過程中，是否有人跟您報告目前維修狀況？	0～10
B5	保養完成後，請問服務專員是否向您說明維修/保養完成的項目與費用？	0～10
C	維修保養經驗：	
C1	請問那次入廠時，您在門口接待等候多久時間，服務專員才開始接待您？	0～10
C2	請問服務專員有沒有事先告知您預定完成的交車時間，並準時交車？	0～10
C3	請問您那一次入廠時，服務廠有沒有將您委託的項目一次就修好，而不需再次入廠？	0～10
D	滿意度表現：	
D1	請問此次維修／保養項目在零件供應上，有沒有提供不需再入廠一次的服務？	有～沒有
D2	請問服務專員有沒有在預定交車時間內通知您？	有～沒有
E	服務後追蹤：	
E1	請問此次服務出廠後有沒有服務人員以電話或信函致謝？	有～沒有
註：分數 10 表示非常滿意，5 分為滿意，而 0 分表示非常不滿意。		

柒、結論

本研究希望藉由專員標準化作業，來確保服務品質，以滿足顧客對於服務廠的期待，及至顧客滿意度提高後，可吸引顧客持續回廠，進而確保顧客終身價值(Customer Life Value)，企業亦可在效率提升及入廠增加的帶動下，提升其競爭力及獲利能力〔7〕。

研究中，運用豐田生產系統理念，將及時化看板管理與改善等效率化的做法，運用於汽車售後服務業的專業接待服務流程中，並於服務廠中實際運作驗證，以期建立專業接待的服務標準流程機制。

眾所周知的讀者文摘「信譽品牌」，從 1999 年開始舉辦消費者大調查，2008 年 TOYOTA 榮獲第一信譽品牌獎，此皆是經由 TPS 手法持續改善的優良成效〔8〕。

經研究結果顯示，具體成效為：將服務專員七大步驟流程標準化後，時間由改善前平均 33 分鐘，縮短到 18 分鐘，改善幅度高達 45%，且在顧客電訪調查中獲得 96% 車主的肯定。

參考文獻

〔1〕傅和彥，生產與作業管理，前程文化，pp.443~449，2005。

〔2〕日野三十四，豐田式經營研究小組譯，豐田式經營研究---永續成長的原理，和昌出版社，pp.1~17，2003。

〔3〕和泰汽車譯，THE TOYOTA WAY，pp.17~19，2005。

〔4〕William J. Stevenson 著，李易瑜、楊忠銘、林志宏譯，作業管理，美商麥格羅台灣分公司，pp.12~15，2005。

〔5〕小宮和行著，吳廣洋譯，豐田的最強基因---成就百年大業的經營語錄，先覺出版，pp.5~17，2008。

〔6〕和泰汽車譯，基礎服務管理手冊，pp.1~17，1992。

〔7〕賴光雄，汽車售後服務業---豐田是生產線式板噴維修作業成效實例研究，

國立台北科技大學碩士論文，2006。

〔8〕陳家珍，2008 年信譽品牌，自立晚報，資料引自：http://www.idn.com.tw/article/news_content.php?catid=2&catsid=1&catdid=0&artid=20080421clc002，2009。

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第159-168頁

磁流變液裝置之磁路分析

Magnetic Circuit Analysis of MR Devices

郭文化[1]　楊大中[2]　許嘉哲[3]　邱煥哲[4]　林洸浤[4]

[1]東南科技大學機電科技學系 副教授　[2]元智大學機械工程研究所 副教授
[3]元智大學機械工程研究所 研究生　[4]東南科技大學機電整合研究所 研究生

摘　　要

磁流變液（Magneto-Rheological fluid,簡稱 MR fluid）是一種新型的智能材料，是由載液、磁性微粒及界面活性劑所組成。當未施加磁場時，液體具牛頓流體(Newtonian fluid)的特性，在加入磁場後，數微秒內則流體變成賓漢性塑性體(Bingham plastic)，這種變化是連續、迅速、可逆，控制容易，故磁流變液裝置是一種理想的半主動控制元件。

本論文設計磁流變液控制裝置如避震器、離合器及減震裝置等。使用 Magneto V64 磁場分析軟體，對線圈進行磁路及磁場強度分析，探討磁場對磁流變液的剪應力效應。磁流變液使用 Lord 公司製作之 MRF-132DG 磁流變液來進行模擬。由模擬分析結果，電磁場分析軟體可提高對磁流變液裝置分析設計的效益，迅速獲得磁場對磁流變液降服剪應力的影響。

關鍵詞：磁流變液、磁迴路、阻尼器、離合器

ABSTRACT

Magneto-Rheological (MR) fluid is a kind of novel smart material. MR fluid is composed of based fluids, magnetic micro-particles and surfactants. When an external magnetic field is applied, the MR fluid changes from Newtonian fluid into Bingham plastic in few millisecond continuously, rapidly, reversibly, and was controlled easily. Therefore MR devices are ideal semi-active control elements.

In this paper, MR devices that include MR damper, MR clutch, MR mount etc. are designed. Magneto V64 software was used to analyze the magnetic circuit and field strength of MR devices. MR fluid is MRF-132DG made by Lord Company. It analyses shear stress characteristics of MR fluid. From the results of magnetic circuit analysis, we can easily obtain the relationship between the magnetic field and the yield stress of MR fluid. It can improve designing MR devices.

Key words: magneto-rheological fluid, magnetic circuit, damper, clutch, mount

壹、前言

磁流變液是一種可控制流體，在外加磁場的作用下，短時間內由流動良好的牛頓流體(Newtonian fluid)變成賓漢塑性體(Bingham plastic)，而且可逆、反應迅速、效率高、控制容易、安全可靠等優點，因此吸引很多國家投入磁流變液的研究及其應用產品的開發。而這種智能材料用於阻尼器、液壓閥門、煞車器、離合器、高層建築物的減震等許多領域都已經廣泛的在應用，是將來最具有潛力及前途的智能材料之一 [1]-[5] 。

磁流變液與較早發現的電流變液(Electro-Rheological fluid,簡稱 ER fluid)具有類似的控制效應，電流變液只需兩件電傳導的電極即可控制，雖然控制所需功率與磁流變液相當，但需要較高的控制電壓，而且效應較磁流變液小將近十倍，故磁流變液研究有後來居上的趨勢。

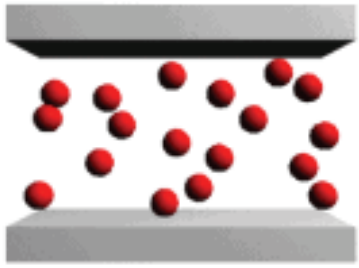
磁流變液相關的研究是 Rabinow 在1948年發現磁流變液現象[6,7]開始，並在1951年申請了美國專利，但在此時期 MR 是使用含水基添加劑，因水具腐蝕的特性，而限制了 MR 的發展。直到1990 年代後，油基底與碳基底之新型磁流變液材料開發成功，才使磁流變液之運用範圍更為廣泛，甚至有取代電流變液的現象[8~9]。Carlson 等發表了一篇磁流變液 與電流變液的黏彈性研究[10]，針對兩種不同材料的降伏應力與應變行為做比較討論。同年，Carlson 與 Weiss 於機械設計 (Machine Design) 期刊發表一篇磁流變液應用的報告，並強調磁流變液比電流變液有更大的降伏強度，並且可在-40℃~150℃的溫度範圍下作用，且磁流變液在製造與使用過程中對雜質較不敏感，而且電化學（Electro-chemistry）不影響磁化機制（Magneto-polarization mechanism），若添加表面活性劑（Surfactants）、分散劑（Dispersants）與耐磨耗劑（Anti-wear agents）等，可增加磁流變液之穩定性，同時磁流變液只需使用低電壓（12~24V）就能控制，電流供應器約1~2A，對應用於商品化產品具有極大優勢。故美國 Lord 公司使用磁流變液，研發了許多相關產品，如磁流變液煞車器、應用於大型建築物之磁流變液減振器及使用於重型車輛椅座減振系統之磁流變液避震器。美國 Lord 亦與 GM、Delphi 等公司分別展開磁流液體材料和智能減振技術的研究。美國福特汽車公司的 Ginder 等[11~12]在磁流變液降伏應力的有限元分析及提高性能的研究。2002年 Lord 公司生產的磁流變液與 Delphi 公司研發磁流變液避震器，使用在 Cadillac 系列的轎車懸吊系統上，其舒適性與平穩性受到企業界與消費者的喜愛與讚賞[13]~[15]。

國內對磁流變液相關的學術研究除了東南科大之外，其它還有成功大學、台灣科技大學及台北科技大學等進行材料及應用相關的研究。本論文針對設計的磁流變液控制裝置，使用 Magneto 電磁場分析軟體作磁路分析，探討控制磁流變液的效應。

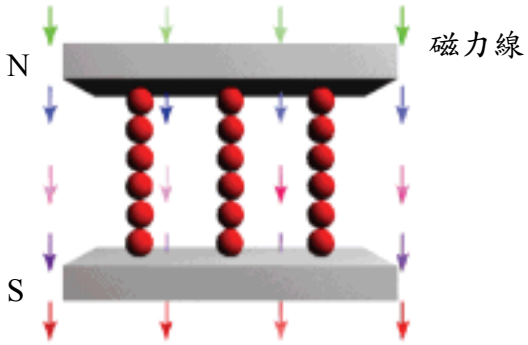
貳、磁流變液特性

磁流變液為微米磁性顆粒、非磁性載液與表面活性添加劑三種材料組成。磁流變液無磁場作用時，為自由流動性的液體，如圖一；在磁場作用下，由液體瞬間變為塑性體，如圖二，且具有極高的降伏剪應力；因此磁流變液具有瞬間液體固體轉換的性質。在工程應用上，則利用此特性設計控制剪應力的應用裝置，通常有三種模式，如

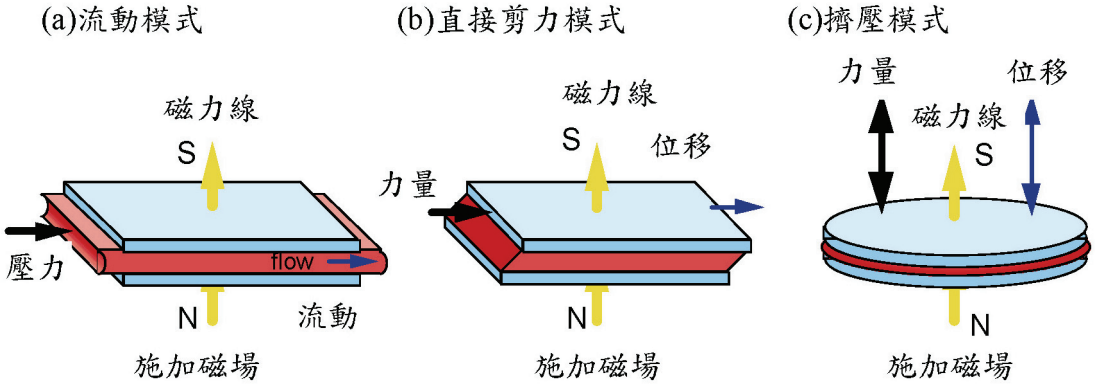
圖三(a)流動模式，(b)直接剪力模式，(c)擠壓模式。(a)流動模式控制可應用於液壓控制、伺服閥、阻尼器、避震器、驅動器等，(b)直接剪力模式控制可應用於離合器、剎車器、夾鎖裝置、阻尼器、拆卸裝置、結構合成等，(c)擠壓模式控制可應用於微小運動控制、高負荷振動控制、振動阻尼控制、減震支座等[16]。



圖一　無磁場作用的自由流動液體



圖二　磁場作用下的塑性體



圖三　磁流變液控制裝置之三種模式

參、磁流變液裝置之磁路分析

磁路計算

首先以簡化磁路計算[17,18]，利用磁路歐姆定律分析磁路中磁通量與磁動勢的關係，計算激磁電流與磁路中磁場強度關係的基本公式，是設計磁流變液裝置的原理和基礎。由圖四磁流變液裝置之簡化磁迴路圖所示，環形鐵心構成磁路，假設 $B=\mu H$ 橫截面積為 S，激磁線圈數為 N 匝，激磁電流為 I，磁路平均長度為 L，並假設鐵心的磁場是均勻，由安培環路定律 $\oint HdL=\sum I$ 得到 $HL=IN$，即

$$H = \frac{IN}{L} \tag{1}$$

上式中 IN 稱為磁動勢，HL 稱為磁壓降，其物理意義為磁路中磁場強度等於作用在磁路單位長度上的磁動勢。從磁感應強度關係式 $B = \mu H$ 和磁通量公式 $\phi = BS$，得到

$$\phi = \mu HS = \mu S \frac{IN}{L} = \frac{IN}{L / \mu S} \tag{2}$$

μ 為鐵心的磁導率。

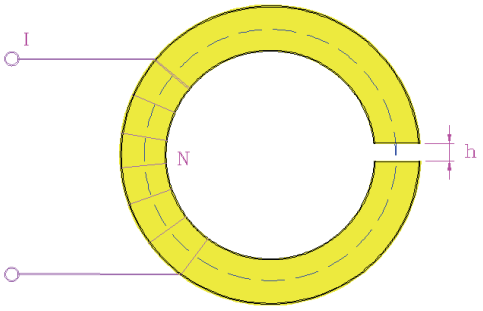
假設

$$R_m = \frac{1}{\mu S} \tag{3}$$

則

$$\phi = \frac{IN}{R_m} \tag{4}$$

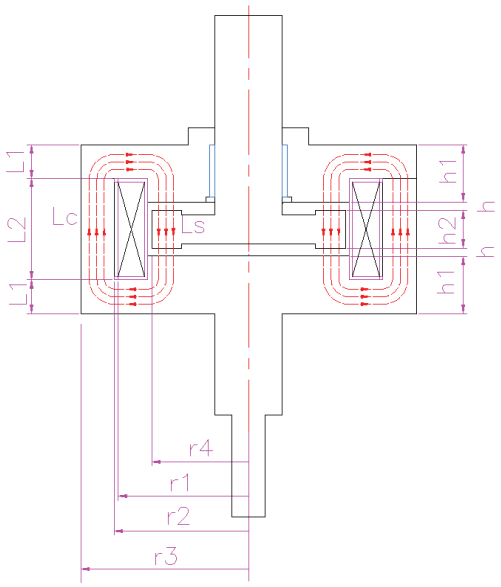
R_m 為總磁阻，即物質對磁通量通過的阻礙作用。由(3)式得知，磁導率 μ 愈大，磁路橫截面積 S 愈大，磁路愈短，則總磁阻愈小。



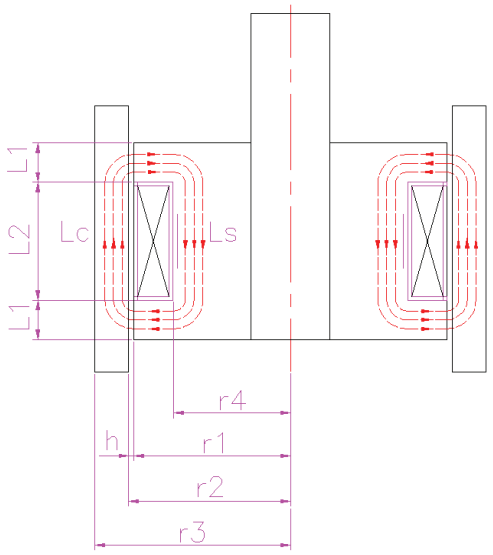
圖四　磁流變液裝置之簡化磁迴路圖

磁流變液裝置之設計，其幾何尺寸為主要決定的參數，首先假設下列參數:

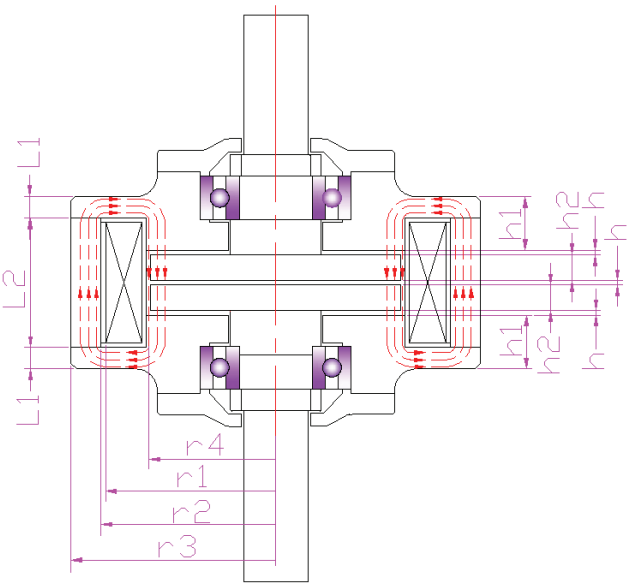
r1為線圈外徑，
r2為外環之內徑，
r3為外環之外徑，
r4為線圈之內徑，
h 為磁流變液裝置磁通之間隙(gap)
L2線圈寬度，
Lc 為在外環的磁極長度，
Ls 為在內部的磁極長度。



圖五 磁流變液支座之磁迴路圖



圖六 磁流變液阻尼器之磁迴路圖



圖七 磁流變液離合器之磁迴路圖

圖五、圖六及圖七各為磁流變液支座、阻尼器及離合器之磁迴路，若忽略漏磁因素的影響，激磁線圈所產生的磁力線是一封閉的迴路，根據封閉磁力線的迴路，可計算出經過氣隙內的磁場強度。

磁迴路中各段的磁阻分別為：

中心軸的磁阻為

$$R_2 = \frac{L1 + L2}{\pi (r4)^2 \mu} \tag{5}$$

軛環磁阻為

$$R_1 = \frac{r1 - r4/2}{\pi(r1)L1\mu} \tag{6}$$

間隙 h 的磁阻為

$$R_0 = \frac{h}{\pi(r1+h)L1\mu} \tag{7}$$

外環磁阻為

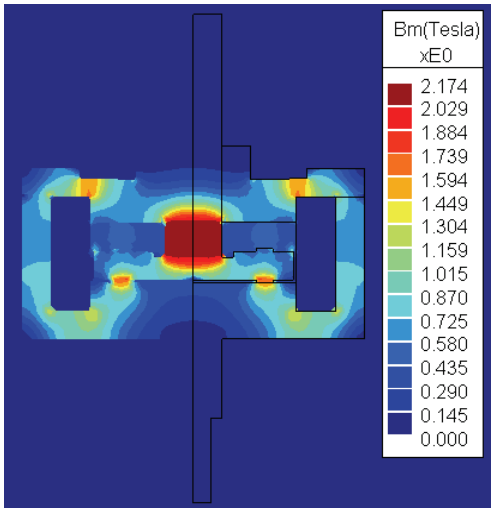
$$R_3 = \frac{L1+L2}{\pi[(r3)^2-(r1+h)^2]\mu} \tag{8}$$

磁路的總磁阻為

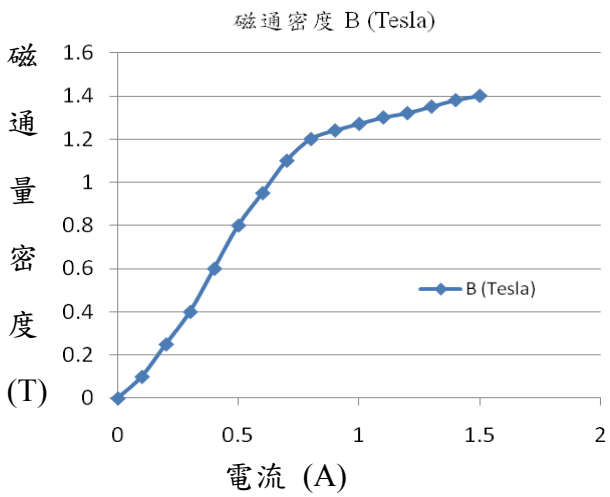
$$R_m = 2R_0 + 2R_1 + R_2 + R_3 \tag{9}$$

將磁路總磁阻代入磁路歐姆定律公式(4)，再以間隙處的磁感應強度公式 $B_0 = \mu_0\mu_r H$，即可進行磁路分析設計[17]。

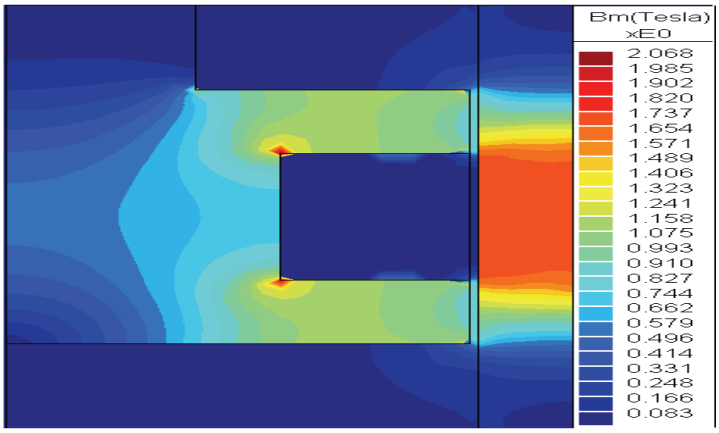
若磁流變液材料使用 Lord 公司[19] MRF-132DG，內外環材料使用 AISI-12L14低碳鋼，線圈線徑為0.5mm，磁流變液支座線圈匝數為740匝，磁流變液阻尼器線圈匝數為495匝，磁流變液離合器線圈匝數為650匝及表一之磁流變液裝置基本尺寸。依據這些基本條件，使用 Magneto V64軟體來分析磁流變液裝置。模擬結果如圖八、圖十及圖十二為磁流變液支座、磁流變液阻尼器及磁流變液離合器之磁通密度分佈圖。由磁通密度分佈圖數據可得到磁通量密度與電流關係，如圖九、十一及十三為磁流變液支座、磁流變液阻尼器及磁流變液離合器之磁通量密度與電流關係圖。磁流變液裝置因輸入電流將在間隙內的磁流變液激磁，使間隙內的磁流變液降服剪應力上升，而對磁流變液裝置產生磁流變效應。其效應可由磁流變液之特性圖，如圖十四磁流變液降伏剪應力與磁場強度關係圖及圖十五之磁流變液磁場特性圖，獲得磁流變液裝置之剪應力與輸入電流的關係，如圖十六磁流變液剪應力與電流關係圖。



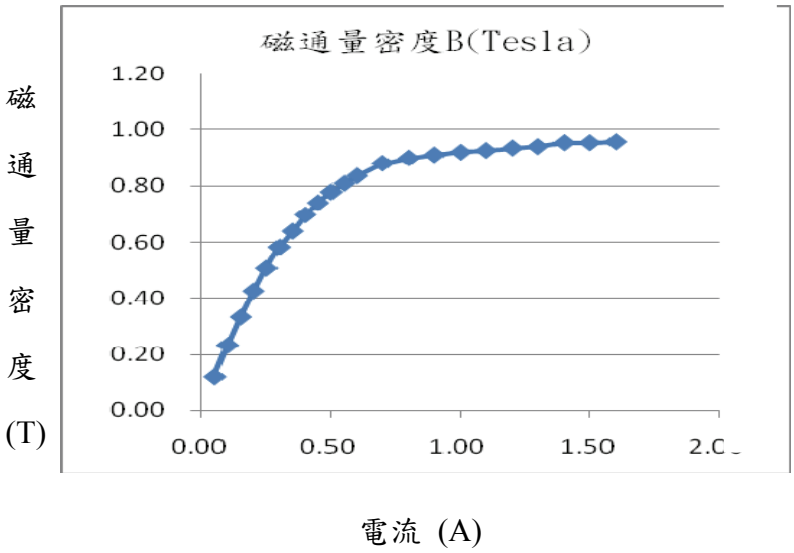
圖八 磁流變液支座磁通密度分佈圖



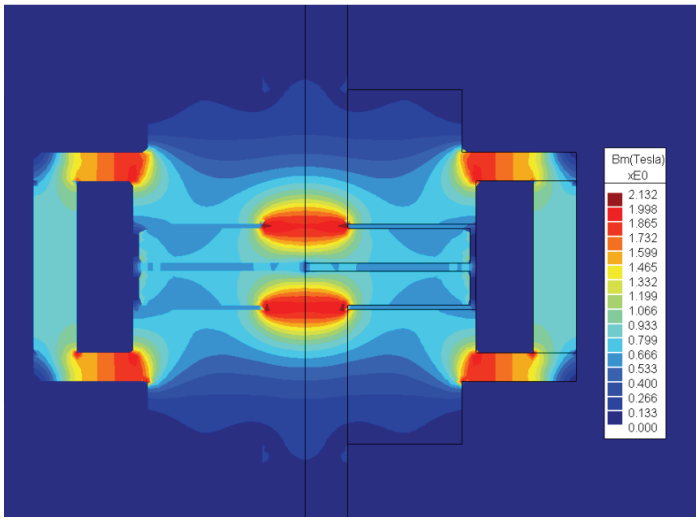
圖九 磁流變液支座磁通量密度與電流關係圖



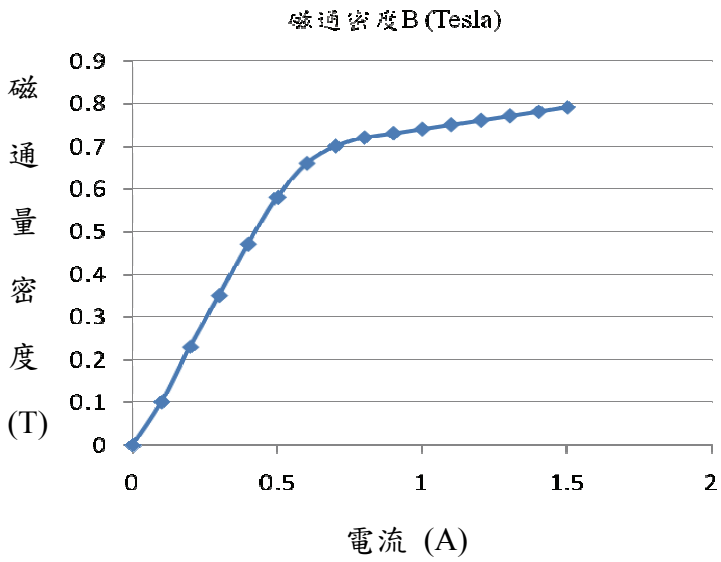
圖十 磁流變液阻尼器磁通密度分佈圖



圖十一 磁流變液阻尼器磁通量密度與電流關係圖



圖十二 磁流變液離合器磁通密度分佈圖

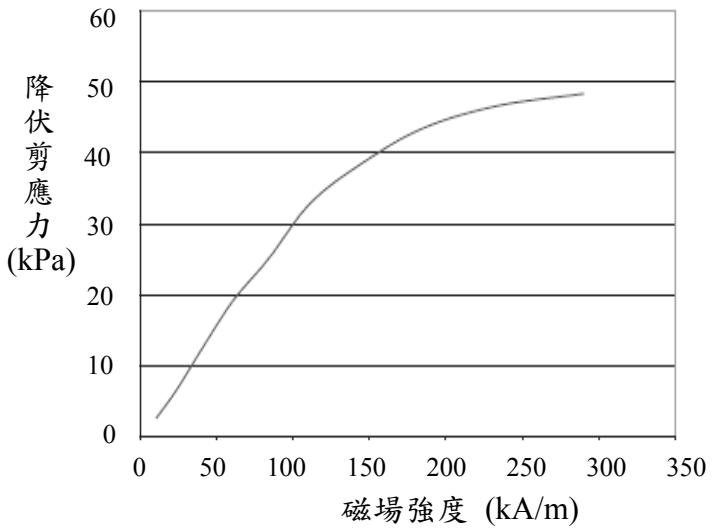


圖十三 磁流變液離合器磁通量密度與電流關係圖

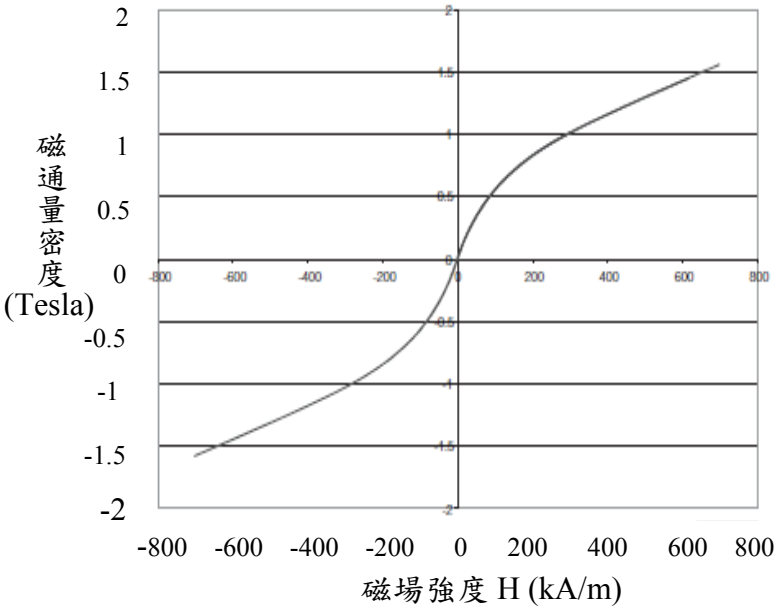
以上三種磁流變液裝置之線圈尺寸及匝數(如表一)，由模擬分析顯示，磁通量密度與尺寸大小影響較小，而匝數影響較大，即磁動勢(NI)是影響磁流變液裝置效應最大的因素。

尺寸	支座	阻尼器	離合器
r1	18	11	38
r4	25	22	44
L2	22	21	24
匝數	740	495	650

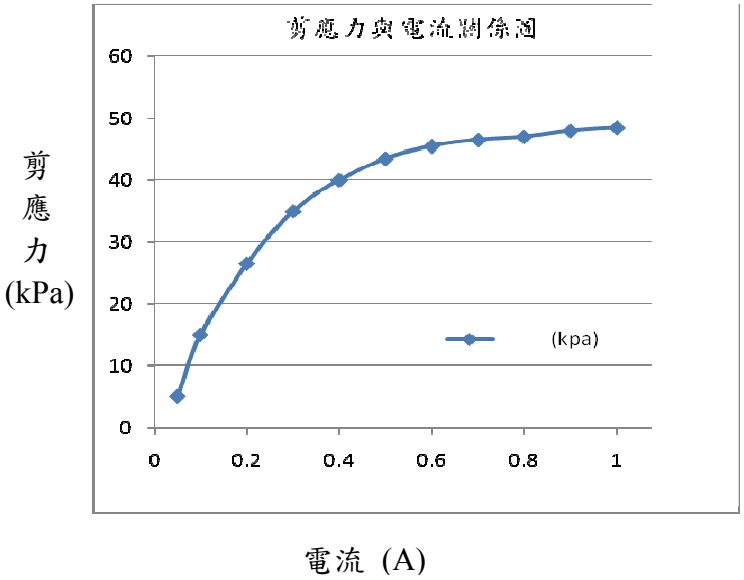
表一 磁流變液裝置之尺寸(單位 mm)及匝數



圖十四 磁流變液降伏剪應力與磁場強度關係圖



圖十五 磁流變液磁場特性圖



圖十六 磁流變液阻尼器剪應力與電流關係圖

肆、 結論

由以上的模擬結果，使用 Magneto 電磁場分析軟體，很快速可獲得磁流變液裝置之降服剪應力與控制電流關係，對於設計磁流變液裝置有很大的助益。目前電磁迴路分析軟體內無線圈產生熱的分析，雖然磁動勢(NI)與線圈匝數成正比，但在有限的空間內，圈數要多，則線徑會越小，容易產生高熱，因而影響磁流變液的特性，

故必須事先模擬分析得到最佳的設計參數。為了印證分析結果，未來將製作磁流變液之裝置進行實驗。

參考文獻

[1] Carlson, J. D. (1994), The promise of controllable fluids, Proc. of Actuator '94, The 4th. International Conference on New Actuators, Bremen, 15-1 7th June, 266-270.

[2] Carlson, J.D. and Weiss, K.D. (1994), A growing attraction to magnetic fluids, Machine Design, Aug.8, 61-66.

[3] Ginder, J. M. and Davis, L. C. (1994), Shear stresses in magnetorheological fluids: role of magnetic saturation, Applied Physics Letters, USA, 65-70.

[4] 周玉豐、陳花玲（2005)，磁流變阻尼器結構改進設計與性能研究，寧夏工程技術，第 4 卷，第 4 期，325-327。

[5] 關新春、歐進萍（2002)，磁流變減振驅動器的響應時間試驗與分析，地震工程與工程振動，第 22 卷，第 6 期，96-102。

[6] Rabinow, J. (1951), Magnetic fluid torque and force transmitting device, U.S. Paten, 360-365.

[7] Rabinow, J. (1948), The magnetic fluid clutch, AIEE Transactions, 308-315.

[8] Weiss, K.D. et al (1993), High strength magneto- and electro-rheological fluids, Society of Automotive Engineers, SAE Paper No932451.

[9] Carlson, J.D. et al (1994), Magnetorheological fluid damper, U.S.Patent5, 277,282 and 5,284,330.

[10] Weiss, K.D., Carlson, J.D. and Nixon, D.A. (1994), Viscoelastic properties of magneto- and electro-rheological fluids, Journal of Intelligent Material System and Structures, Vol.5, 772-775.

[11] Shtarkman , E .M. (1992), Fluid responsive to magnetic field, U.S. Patent 5,167,850.

[12] Ginder, J. M., Davis, L. C. and Elie, L. D. (1996), MR Suspensions and associated technology, World Scientific, Vol. 5, no. 3, 20-25.

[13] 美國福特汽車公司：
http://www.ford.com.tw/servlet/ContentServer?pagename=DFY/LH.

[14] Cadillac 系列轎車；http://delphi.com/manufacturers/auto/chsteer/ride/magneride/.

[15] Carlson J. D. (2005), MR fluids and devices in the real world, International Journal of Modern Physics B, USA, 56-75.

[16] Lord Co.,
http://www.lord.com/Home/MagnetoRheologicalMRFluid/tabid/3317/Default.aspx

[17] Lord Corporation (1999), Magnetic circuit design, Engineering Note.

[18] Magnetic Design, http://www.electronicsee.com/Electronics/Components/Coils.htm.

[19] Lord Corporation,
http://www.lord.com/Home/MagnetoRheologicalMRFluid/Products/MagnetoRheologicalMRFluids/tabid/3360/Default.aspx.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第169-184頁

自由落體實驗量測誤差之研究

A study on the measuring error of the experiment of free-fall object

郭　仰[1]　黃錦鐘[2]　鄭輔仁[3]　呂崇嘉[4]

摘　　要

本文提出一個較符合實際情況的量測誤差模型。根據此模型，我們推導出重力加速度 g 的加權最小平方差故估計值，及其*100(1-α)%* 信賴區間。我們對量測數據作常態分布檢定及變異數相等性檢定，結果顯示，在統計意義下，對應於固定的下落距離 s 的一組時間的測量數據，其分布為常態分布的假設是合理的，而且不同 *s* 間的測量數據變異數是相等的。根據模型我們計算 *g* 的估計值及其95%信賴區間。最後我們計算決定係數 R^2，由於 R^2很接近1，據此我們推論理論的自由落體公式可以很充分地描述自由落體實驗的結果。

關鍵字：自由落體、重力加速度、量測誤差、加權最小平方差故估計值、信賴區間、常態性檢定、變異數相等性檢定、決定係數

ABSTRACT

In this study, we proposed a measuring error model that conforms to the actual experimental situation. According to this model, we derived the weighting least squared estimator for gravity acceleration g, and its 100(1-α)% confidence interval. We tested the normality and the equality of variances of the measuring data. The test results showed that, statistically ,the data within a group of a given distance s are normally distributed and the variances between different distance s are all equal. We then calculated the estimated value of g and the corresponding 100(1-α)% confidence interval。Finally we calculated the coefficient of determination R^2. Since R^2 is very close to 1, we concluded that the theoretical equation of free-fall object can fit the experimental data very well.

Key words: Free-falling object, gravity acceleration, measuring error, confidence interval test for normality, weighting least squared estimator, t est for equality of variances, coefficient of determination

壹、前言

落體運動是一個最簡單且最常見的變速度運動，物體在下落的過程中，速度隨時間連續變化。運動中的物體，其速度隨時間的變化率稱作加速度。在整個運動過程中，加速度的大小與方向保持固定不變不隨時間變化，稱作等加速度運動。當落體下落的距離遠小於地球半徑，若只考慮地球的重力作用，忽略空氣阻力及其他作用力的作用，在地球表面附近的落體運動，可近似為等加速度運動。若加上初速度為0的條件，則稱作自由落體運動。在普通物理實驗課程中，自由落體的實驗非常重要，除了可以觀察並驗證等加速度運動的概念外，其背後隱含的歷史意義對普通物理教學而言也是相當有價值的。

對自由落體最先研究的是古希臘的科學家亞里士多德。亞里士多德把常見的運動分成三類，第一類是地面上的運動，第二類是物體在空中下落的運動，第三類則是天體的運動。亞里斯多德認為，第二類與第三類運動屬於自然運動，地球是宇宙的中心，是一切空中運動的自然歸宿。重物下落是物體自然的屬性，物體的重量越大，其趨向自然的位置的傾向也越大，所以其下落的速度也越大[1]。

亞里士多德的理論支配了其後兩千多年的人類的思想，直到伽利略在提出了相反的意見。伽利略在1636年的《關於兩門新科學的對話》中寫道：「…我大大的懷疑亞里士多德曾否用實驗來驗證過一件事是不是真的：那就是，兩塊石頭，一塊的重量為另一塊的重量的10倍，如果讓它們在同一時刻從同一高度落下，例如從100腕尺高處落下，它們的速率會如此的不同，以致當較重的石頭已經落地時，另一塊石頭還下落得不超過10腕尺。…，如果我們取兩個物體，它們的自然速度不同，很顯然，當把這兩個物體結合在一起時，較快的那個物體就會部分地受到較慢的物體的阻滯，而較慢的物體就會在一定程度上受到較快的物體的促進。…如果這是對的，而且如果一塊大石頭以譬如一個速率8而運動，而一塊較小的石頭以一個速率4而運動，那麼當兩塊石頭被綁在一起時，體系就將以一個小於8的速率而運動；但是當兩塊石頭被綁在一起時，那就成為一塊比以前以速率8而運動的石頭更大的石頭。這個更重的物體就是以一個比較輕物體的速率更小的速率而運動的，…從你那個認為較重物體比較輕物體運動得更快的假設，我怎樣就能推斷較重物體運動得較慢[2]。」伽利略由此推論「大物體和小物體將以相同的速率而運動」，應該不是由其重量決定的。伽利略更進一步證明了「一個從靜止開始以均勻加速度而運動的物體所通過的空間，彼此之比等於所用時段的平方之比。」

以現在的觀點來看，假設物體位於地球表面上方 h 的高度，若 h 遠小於地球半徑 R，則質量為 m 的物體所受到的地心引力為 $F_G=\dfrac{GMm}{(R+h)^2}\approx\dfrac{GMm}{R^2}$($G$ 為萬有引力常數，M 為地球質量)。若地球萬有引力的作用為唯一考慮的作用力，則根據牛頓第二運動定律，再加上 $h<<R$ 的條件下，可以得到在 h 的距離內，落體的加速度隨位置的變化是可以忽略的。也就是說在地球上相同位置與相同高度，自由落體運動可近似地視為等加速度運動。根據等加速度運動的性質，可以很快地推導出自由落體下落的距離 s 與時間 t 的關係[3]

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \qquad \ldots(1)$$

在普通物理實驗中，我們通常要求學生測量 s 與 t，然後代入(1)式，求出 g 值，並與所謂的公認值作比較。

貳、原理

普通物理實驗中的自由落體實驗裝置如圖(1)，鐵架上的電池鐵 A，以耳機線接到光電計時器，而光電管 B 亦連接到光電計時器。當按下光電計時器的歸零鍵後，除了將計時器歸零外，令將電池鐵通電，使電磁鐵產生磁力，可以吸住小鐵球。當按下啟動鍵後，啟動計時器開始計時，同時電池鐵斷電，磁力消失，小鐵球落下。當鐵球通過光電管，因為光遮斷作用，將瞬時產生一訊號使計時器停止計時。此時計時器上的讀數即為自靜止下落到固定距離所需之時間。

圖(1) 自由落體實驗裝置圖

通常大多數的物理實驗課本會要求學生改變不同的距離 s，測量對應的時間 t，然後將測得數據代入(1)式中，求出 g 值。最後將所求出之所有 g 平均，用這個平均值與公認值求百分誤差[4]。這種做法完全沒有考慮到量測誤差。

比較進階的做法是，將所有的量測數據代到(1)式中，用最小平方差法求出使 $\sum_{i=1}^{n}(s_i-\frac{1}{2}\hat{g}t_i^2)^2$ 最小的 $\hat{g}$ 值當作重力加速度 g 的估計值[5]。這種做法相當於找出一條使整體誤差平方和最小的曲線 $s=\frac{1}{2}gt^2$。

考察整個實驗裝置與測量方法，我們發現在實驗時，我們是固定距離 s，然後測量時間 t，距離 s 是自變數，而測量的時間 t 為因變數。上面用最小平方差法曲線擬合的做法，則是將時間 t 視為自變數，固定 t 來測量對應的 s。為了較能反映實際實驗狀況，我們提出量測誤差的模型如下：

$$t_{i,j}=\sqrt{\frac{2s_i}{g}}+\varepsilon_{i,j}\quad (i=1,2,\ldots,n\,;\,j=1,2,\ldots,m)\qquad\ldots(2)$$

其中 ε_i 表示量測誤差，為平均值0，標準差 σ_i 的常態分布隨機變數，並假設所有的量測誤差互相獨立。

定義誤差平方和 $SSE=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(t_{i,j}-\sqrt{\frac{2s_i}{g}}\right)^2}{\sigma_i^2}$。要求 g 的估計值為使得 SSE 為最小之值。

$$\left.\frac{dSSE}{dg}\right|_{g=\hat{g}} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{2}{\sigma_i^2}\left(t_i - \sqrt{\frac{2s_i}{\hat{g}}}\right)\left(-\frac{1}{2}\sqrt{2s_i}\,\hat{g}^{-\frac{3}{2}}\right) = 0 \qquad \ldots(3)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{\hat{g}}} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(t_{i,j}\sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{s_i}{\sigma_i^2}} \qquad \ldots(4)$$

$$\Rightarrow \hat{g} = \left(\frac{\sqrt{2}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{s_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(t_{i,j}\sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}m\sum_{i=1}^{n}\frac{s_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(\sum_{j=1}^{m}t_{i,j}\sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}\right)^2 \qquad \ldots(5)$$

定義 $\overline{t_i} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}t_{i,j}$ ，則

$$\Rightarrow \hat{g} = \left(\frac{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{s_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(\overline{t_i}\sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}\right)^2 \ldots(6)$$

式(6)為 g 的加權最小平方差故估計值。若考慮 $\sigma_1 = \sigma_2 = \cdots = \sigma_n = \sigma$ ，則式(6)可改寫為

$$\hat{g} = \left(\frac{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n}s_i}{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}\sqrt{s_i}\right)}\right)^2 \qquad \ldots(7)$$

在 $g = \hat{g}$ 的條件下，測量值 $t_{i,j}$ 的估計值可寫為

$$\hat{t}_i = \sqrt{\frac{2s_i}{\hat{g}}} \quad \ldots(8)$$

設 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 為 n 個互相獨立的常態分布隨機變數，且 $X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ $(i=1,2,\ldots,n)$,則 $\sum_{i=1}^{n}c_iX_i \sim N(\sum_{i=1}^{n}c_i\mu_i, \sum_{i=1}^{n}c_i^2\sigma_i^2)$ [6]。根據我們測量誤差模型的假設知 $t_{i,j}$ $(i=1, 2, \ldots, n;\ j=1, 2, \ldots, m)$為互相獨立的常態分布隨機變數，$t_{i,j} \sim N\left(\sqrt{\frac{2s_i}{g}}, \sigma_i^2\right)$

(i=1, 2, …, n; j=1, 2,...,m)。由(6)式知$\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}$為$t_{i,j}$的線性組合，故$\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}$亦為常態分布隨機變數，很容易的可以證明其平均值為$\frac{1}{\sqrt{g}}$，變異數(Variance)為 $\frac{1}{2m\sum_{i=1}^{n}\frac{s_i}{\sigma_i^2}}$。(詳細證明見[附錄 A])

考慮$\sigma_1=\sigma_2=\cdots=\sigma_n=\sigma$的情形，令$\hat{S}=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}-\hat{t}_i\right)^2$，[附錄 B]中我們證明$E\left(\hat{S}\right)=\left(mn-1\right)\sigma^2$。因此$\frac{\hat{S}}{mn-1}$為$\sigma^2$之不偏估計量(unbias estimator)，當 mn 很大時，$\frac{\hat{S}}{mn-1}\to\sigma^2$。由於$\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}$為平均值$\frac{1}{\sqrt{g}}$，變異數$\frac{\sigma^2}{2m\sum_{i=1}^{n}s_i}$的常態分配隨機變數。

定義 $z=\frac{\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}-\frac{1}{\sqrt{g}}}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{2m\sum_{i=1}^{n}s_i}}}\approx\frac{\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}-\frac{1}{\sqrt{g}}}{\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}}$，則 z~N(0.1)。z 的100 (1-α) %信賴區間(confidence interval) 為

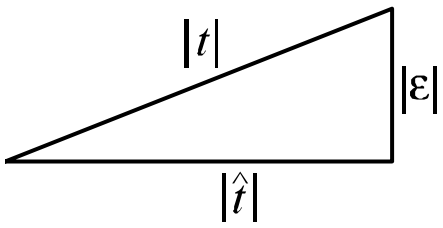
$$-z_{\alpha/2}\le z\le z_{\alpha/2}\qquad\ldots(9)$$

$$\Rightarrow\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}-z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}\le\frac{1}{\sqrt{g}}\le\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}+z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}$$

$$\Rightarrow\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}-z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}\right)^2\le\frac{1}{g}\le\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}+z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}\right)^2$$

$$\Rightarrow\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}+z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}\right)^2}\le g\le\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}-z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n}s_i}}\right)^2}\qquad\ldots(10)$$

由(2)式得 $t_{i,j}=\hat{t}_i+\varepsilon_{i,j}$ ，可以證明 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i+\varepsilon_{i,j}\right)^2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2+\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_{i,j}^2$ (詳細證明見[附錄 C])。這個式子有很直觀的幾何意義，$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2$ ，$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2$ 與 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_{i,j}^2$ 可以看成 mn 維空間中的距離，故此式可以視為畢氏定理在 mn 維空間的推廣，用2維的例子說明如圖(2)。



圖(2) $t^2=\hat{t}^2+\varepsilon^2$

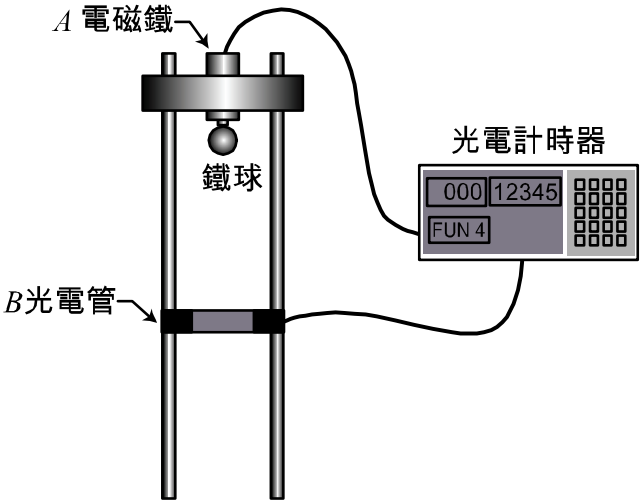
當 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2$ 越接近 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2$ 表示用 $t_{i,j}=\hat{t}_i+\varepsilon_{i,j}$ 這個模型越能充分描述實驗數據。定義決定係數(coefficient of determination) R^2如下[7]

$$R^2=\frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2}{\sum_{j}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2}\qquad\ldots(11)$$

決定係數 R^2為介於0與1間的實數，由前面的討論知，當 R^2越接近1時，表示當 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2$ 越接近 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2$ ，也就是說，量測模型越能反映實際測量數據。在本文中，R^2越接近1相當於說明實驗數據所反映的下落距離 s 與下落時間 t 的關係越接近 $s=\frac{1}{2}gt^2$ 。

參、實驗方法與數據分析

實驗裝置如圖(3)，鐵架上的電池鐵 A，以耳機線接到光電計時器，而光電管 B 亦連接到光電計時器。當按下光電計時器的歸零鍵後，除了將計時器歸零外，令將電池鐵通電，使電磁鐵產生磁力，可以吸住小鐵球。當按下啟動鍵後，啟動計時器開始計時，同時電池鐵斷電，磁力消失，小鐵球落下。當鐵球通過光電管，因為光遮斷作用，將瞬時產生一訊號使計時器停止計時。此時計時器上的讀數即為自靜止下落到固定距離所需之時間。



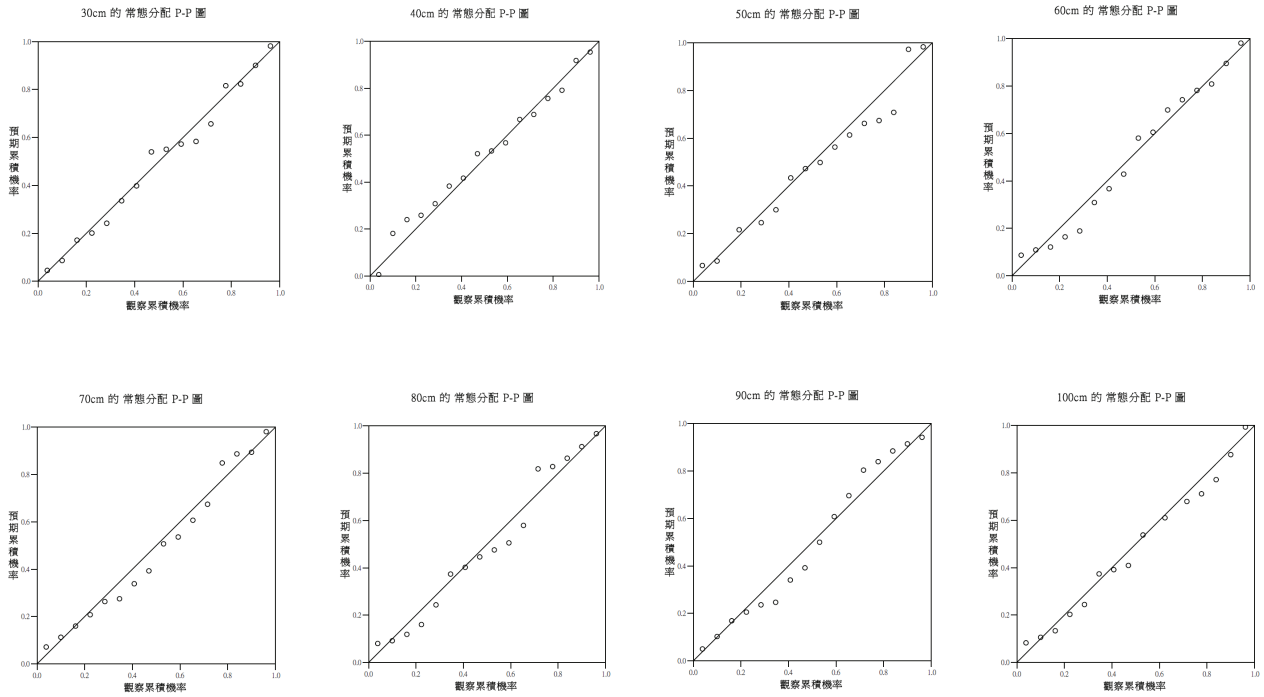
圖(3) 實驗裝置圖

實驗的鐵球直徑0.5cm，實驗過程中，我們固定下落距離，分別為 s=30cm, 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm, 90cm, 100cm。對於每一個固定的 s，我們重複測量16次下落時間。所得數據如表1.。

次數	30CM	40CM	50CM	60CM	70CM	80CM	90CM	100CM
1	0.24642	0.28766	0.32199	0.35000	0.37861	0.40487	0.43031	0.45397
2	0.24724	0.28776	0.32138	0.35067	0.37827	0.40549	0.43018	0.45338
3	0.24767	0.28746	0.32145	0.35006	0.37804	0.40550	0.43035	0.45345
4	0.24630	0.28720	0.32135	0.35012	0.37839	0.40518	0.43043	0.45359
5	0.24696	0.28694	0.32094	0.35082	0.37855	0.40525	0.43047	0.45337
6	0.24725	0.28735	0.32157	0.35027	0.37829	0.40489	0.43063	0.45319
7	0.24706	0.28711	0.32119	0.35015	0.37793	0.40498	0.43095	0.45353
8	0.24666	0.28701	0.32124	0.35070	0.37860	0.40521	0.43034	0.45336
9	0.24657	0.28742	0.32153	0.35037	0.37834	0.40561	0.43055	0.45349
10	0.24738	0.28733	0.32116	0.35004	0.37810	0.40530	0.43080	0.45313
11	0.24676	0.28724	0.32140	0.35063	0.37799	0.40523	0.43090	0.45355
12	0.24661	0.28687	0.32149	0.35059	0.37809	0.40493	0.43070	0.45368
13	0.24695	0.28708	0.32116	0.35051	0.37786	0.40516	0.43101	0.45328
14	0.24699	0.28696	0.32205	0.35049	0.37815	0.40554	0.43027	0.45316
15	0.24698	0.28721	0.32098	0.35032	0.37819	0.40506	0.43084	0.45349
16	0.24682	0.28631	0.32154	0.35108	0.37884	0.40574	0.43007	0.45325
樣本均數	0.2469138	0.2871819	0.3214013	0.3504263	0.378265	0.4052463	0.43055	0.4534294
樣本標準差	0.0003625	0.0003427	0.0003079	0.0003131	0.0002762	0.0002679	0.0002919	0.0002157

表(1)實驗數據
對應於不同下落距離(單位:cm)，測量16次下落時間(單位:s)

對於每一組數據我們採用常態 PP 圖外加 Kolmogrov-smirnov 檢定來檢定其常態性(normality)[8]，檢定的統計量，如表(2)所示，常態 PP 圖如圖(3)所示。由檢定的結果來看，在統計的意義下，有很充分的理由認為常態分布的假設是蠻合理的。



圖(3) 常態分配 PP 圖，直線為理論常態分布之數據落點，數據越接近直線則其分布越接近常態分布。

		30CM	40CM	50CM	60CM
個數		16	16	16	16
常態參數[a,b]	平均數	.2469138	.2871819	.3214012	.3504
	標準差	.00036254	.00034272	.00030794	.00031
最大差異	絕對	.104	.119	.167	.124
	正的	.104	.084	.167	.124
	負的	-.102	-.119	-.097	-.087
Kolmogorov-Smirnov Z 檢定		.417	.476	.667	.495
漸近顯著性 (雙尾)		.995	.977	.765	.967

		70CM	80CM	90CM	100CM
個數		16	16	16	16
常態參數[a,b]	平均數	.3782650	.4052462	.4305500	.4534294
	標準差	.00027619	.00026790	.00029187	.00021573
最大差異	絕對	.107	.131	.128	.103
	正的	.107	.119	.128	.103
	負的	-.099	-.131	-.117	-.083
Kolmogorov-Smirnov Z 檢定		.428	.524	.514	.413
漸近顯著性 (雙尾)		.993	.946	.955	.996

表(2) Kolmogrov-smirnov 檢定：當檢定統計量 Z 小於漸近顯著性，

則推論在統計意義下，樣本分布為常態分布。

其次我們採用 Hartley 檢定[9]來檢定變異數的相等性(eauality of variances)，檢定的統計量，如表(3)所示，由檢定的結果，在統計的意義下，我們有很顯著的證據認定每組的變異數均相等。

檢定假設

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \cdots = \sigma_n^2$$

H_a:並非所有的 σ_i^2 均相等

統計量 $\hat{H} = \dfrac{\max(s_i^2)}{\min(s_i^2)} = \dfrac{0.0003625^2}{0.0002157^2} = 2.82423$

$n=8$，自由度 $df=16-1=15$

$H(0.95;8,15) = 5.19$

$\hat{H} \le H(0.95;8,15) \Rightarrow$ 在統計意義下，有顯著的證據顯示不排除 H_0。

表(3) Hartley 檢定

最後我們用(7)式計算 g 的估計值以及用(10)式計算 g 信賴區間，並用(11)式計算決定係數 R^2，結果列表於表(4)。

$$\sum_{i=1}^{8} s_i = 520$$

$$\sum_{i=1}^{8} \bar{t}_i \sqrt{s_i} = 23.564$$

g 的估計值: $\hat{g} = \left(\dfrac{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} s_i}{\sum_{i=1}^{n} \bar{t}_i \sqrt{s_i}} \right)^2 = 973.9533$

σ的估計值: $\hat{\sigma} = \dfrac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j} - \hat{t}_i\right)^2}{nm-1} = 0.000811535$

$$\sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{2m\sum_{i=1}^{n} s_i}} = 6.29116 \times 10^{-6}$$

α=0.05，$z_{0.05/2} = 1.96$

95%信賴區間下限: $\left(\dfrac{1}{\sqrt{\hat{g}}} + z_{\alpha/2} \sqrt{\dfrac{\hat{\sigma}}{2m\sum_{i=1}^{n} s_i}} \right)^{-2} = 973.204142$

95%信賴區間上限: $\left(\dfrac{1}{\sqrt{\hat{g}}} - z_{\alpha/2} \sqrt{\dfrac{\hat{S}}{2m(mn-1)\sum_{i=1}^{n} s_i}} \right)^{-2} = 974.703323$

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} \hat{t}_i^2}{\sum_{j}^{m}\sum_{i=1}^{n} t_{i,j}^2} = \frac{17.08500852}{17.0850921576} = 0.999995$$

表(4) 重力加速度的估計值及其95%信賴區間與決定係數 R^2，計算結果列表

肆、結論與建議

根據實驗裝置與測量方法，我們提出一個較符合實際情況的量測誤差模型。根據此模型，我們推導出重力加速度 g 的加權最小平方差故估計值，及其100(1-α)%信賴區間。

量測數據顯示，在統計意義下，對應於固定的下落距離 s 的一組時間的測量數據，其分布為常態分布的假設是合理的。另外由 Hartley 檢定推論，在統計意義下，每組 s 固定的時間的測量數據的變異數是相等的，也就是說，對於每個固定 s 的量測值的隨機誤差是相等的。

重力加速度 g 的估計值等於 973.9533 cm/s^2，而其 95% 信賴區間為 $[973.204142, 974.703323]$，也就是重力加速度 g 的真正值有0.95的機率落在這個區間。最後我們計算決定係數 $R^2 = 0.999995$，由 R^2 相當接近1的結果顯示，用公式 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 可以非常好的反映 s 與 t 的關係。我們從維基百科網站查得台北的重力加速度值約為 *979.0cm/s*^{2}[10]，與我們測量的結果相當接近。

對於普通物理實驗教學而言，我們覺得用本文所提出的誤差模型與數據處理方法更能有效地幫助學習者對於物理現象的理解與物理研究方法的訓練。

我們的誤差模型假設了每次對 s 的測量是沒有誤差的，未來我們將進一步討論自變數 s 的誤差所造成的影響。

參考資料

[1] 馬文蔚等，物理發展史上的里程碑，新竹市：凡異出版社(1995)
[2] 伽利略，關於兩門新科學的對話，台北市：大塊文化(2005)
[3] D. Halliday et al, Fundamentals of Physics 8/e, John Wiley & Sons(2008)
[4] 台北科技大學共同科物理組，普通物理實驗，台北市：高立圖書有限公司(2001)
[5] 劉順長，物理實驗上冊，台北市：群冠儀器(2008/4)
[6] D. C. Montgomery et al, Applied statistics and probability for engineers 4/e,John Wiley & Sons(2007)
[7] J. O. Rawlings, Applied regression analysis, Wadsworth & Brooks (1988)
[8] G. W. Snedecor et al, Statistical methods, Ames, Iowa state university press (1980)
[9] J. Neter et al, Applied Linear statistical models, Richard D. Irwin INC.(1990)
[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_gravity

附錄

A. $t_{i,j}$ (i=1, 2, …, n; j=1, 2, ..., m)為互相獨立的常態分布隨機變數，$t_{i,j} \sim N\left(\sqrt{\frac{2s_i}{g}}, \sigma_i^2\right)$

(i=1, 2, …, n; j=1, 2,...,m)。則 $\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\bar{t}_i \sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}$ 之平均值為 $\frac{1}{\sqrt{g}}$，變異數(Variance)為

$\frac{1}{2m\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}$。

證明：

$$E\left(\bar{t}_i\right) = E\left(\frac{\sum_{j=1}^{m} t_{i,j}}{m}\right) = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} E\left(t_{i,j}\right) = \beta x_i$$

$$V(\bar{t}_i) = V\left(\frac{\sum_{j=1}^{m} t_{i,j}}{m}\right) = \frac{1}{m^2} E\left(\sum_{j=1}^{m} t_{i,j}\right) = \frac{1}{m^2}\sum_{j=1}^{m} E(t_{i,j}) = \frac{\sum_{j=1}^{n} \sigma_i^2}{m^2} = \frac{\sigma_i^2}{m}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\bar{t}_i \sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}$$

$$E\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}\right) = E\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\bar{t}_i \sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}\right) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\sqrt{s_i} E(\bar{t}_i)\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\sqrt{s_i}\sqrt{\frac{2s_i}{g}}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{g}}\right)\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}} = \frac{1}{\sqrt{g}}$$

$$V\left(\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}\right) = V\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\bar{t}_i \sqrt{s_i}\right)}{\sigma_i^2}}{\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}\right) = \frac{\sum_{i=1}^{n} V\left(\frac{\sqrt{s_i}\,\bar{t}_i}{\sigma_i^2}\right)}{\left(\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}\right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i \sigma_i^2}{m\sigma_i^4}}{\left(\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}\right)^2} = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}{\left(\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}\right)^2} = \frac{1}{2m\sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\sigma_i^2}}$$

(證明完畢)

B. $\hat{S}=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}-\hat{t}_i\right)^2$ ，則 $E\left(\hat{S}\right)=\left(mn-1\right)\sigma^2$ 。

證明：

令 $x_i=\sqrt{2s_i}$ 且 $\hat{\beta}=\frac{1}{\sqrt{\hat{g}}}$ ，$\overline{t_i}=\frac{\sum_{j=1}^{m}t_{i,j}}{m}$ ，則

$$\hat{\beta}=\frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}x_i\right)}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2}=\frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}x_i\right)}{m\sum_{i=1}^{n}x_i^2}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\text{。}$$

$$\begin{aligned}\hat{S}&=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}-\hat{t}_i\right)^2\\&=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}-\hat{\beta}x_i\right)^2\\&=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}t_{i,j}^2+\hat{\beta}^2\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2-2\hat{\beta}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_ix_i\right)\end{aligned}$$

$$E\left(t_{i,j}\right)=\beta x_i$$

$$E\left(\overline{t_i}\right)=E\left(\frac{\sum_{j=1}^{m}t_{i,j}}{m}\right)=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}E\left(t_{i,j}\right)=\beta x_i$$

$$E\left(t_{i,j}^2\right)=V(t_{i,j})+\left[E(t_{i,j})\right]^2=\sigma^2+\beta^2x_i^2\qquad[]$$

根據模型假設，所有的 $t_{i.j}$ 互相獨立，故對於 $i\neq j$ ，有

$$\begin{aligned}E\left(\overline{t_i}\cdot\overline{t_j}\right)&=\frac{1}{m^2}E\left(\sum_{p=1}^{m}t_{i,p}\sum_{q=1}^{m}t_{j,q}\right)\\&=\frac{1}{m^2}E\left(\sum_{\substack{p=1,\\q=1}}^{m}t_{i,p}t_{j,q}\right)\\&=\frac{1}{m^2}E\left(\sum_{p=1}^{m}t_{i,p}\right)E\left(\sum_{q=1}^{m}t_{j,q}\right)\\&=E\left(\overline{t_i}\right)E\left(\overline{t_j}\right)\\&=\beta^2x_ix_j\quad\left(i\neq j\right)\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
E\left(\overline{t_i}^2\right) &= \frac{1}{m^2} E\left(\sum_{p=1}^{m} t_{i,p} \sum_{q=1}^{m} t_{i,q}\right) \\
&= \frac{1}{m^2} E\left(\sum_{\substack{p=1,\\ q=1}}^{m} t_{i,p} t_{i,q}\right) \\
&= \frac{1}{m^2}\left[\sum_{p=1}^{m} E\left(t_{i,p}^2\right) + \left(\sum_{\substack{p=1,\\ q=1,\\ p\neq q}}^{m} E\left(t_{i,p}\right) E\left(t_{i,q}\right)\right)\right] \\
&= \frac{1}{m^2}\left[\sum_{p=1}^{m}\left(\sigma^2 + \left(E\left(t_{i,p}\right)\right)^2\right) + \left(\sum_{\substack{p=1,\\ q=1,\\ p\neq q}}^{m} E\left(t_{i,p}\right) E\left(t_{i,q}\right)\right)\right] \\
&= \frac{1}{m^2}\left[m\sigma^2 + \left(\sum_{p=1}^{m} E\left(t_{i,p}\right)\right)^2\right] \\
&= \frac{1}{m^2}\left[m\sigma^2 + \beta^2\left(\sum_{p=1}^{m} x_i\right)^2\right] \\
&= \frac{\sigma^2}{m} + \beta^2 x_i^2
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
E\left(\hat{\beta}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_i x_i\right)\right) &= mE\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t}_i x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\sum_{j=1}^{n}\overline{t}_j x_j\right) \\
&= \frac{m}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}E\left(\sum_{i=1}^{n}\overline{t}_i x_i\sum_{j=1}^{n}\overline{t}_j x_j\right) \\
&= \frac{m}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2 E\left(\overline{t}_i^{\,2}\right)+\sum_{\substack{i=1\\ j=1\\ i\neq j}}^{n}x_i x_j E(\overline{t}_i)E(\overline{t}_j)\right] \\
&= \frac{m}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2\left[\frac{\sigma^2}{m}+\beta^2 x_i^2\right]+\beta^2\sum_{\substack{i=1\\ j=1\\ i\neq j}}^{n}x_i^2 x_j^2\right] \\
&= \frac{m}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\left[\frac{\sigma^2}{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2+\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^4+\beta^2\sum_{\substack{i=1\\ j=1\\ i\neq j}}^{n}x_i^2 x_j^2\right] \\
&= \frac{m}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\left[\frac{\sigma^2}{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2+\beta^2\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2\right] \\
&= \sigma^2+m\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^2
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
E\left(\hat{\beta}^2\right) &= E\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2}\right) \\
&= \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2}E\left(\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}x_i\right)\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{t_i}x_i\right)\right) \\
&= \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2E\left(\overline{t_i}^2\right)+\sum_{\substack{i=1\\j=1\\i\neq j}}^{n}\left(x_ix_jE\left(\overline{t_it_j}\right)\right)\right] \\
&= \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2E\left(\overline{t_i}^2\right)+\sum_{\substack{i=1\\j=1\\i\neq j}}^{n}\left(x_ix_jE\left(\overline{t_i}\right)E\left(\overline{t_j}\right)\right)\right] \\
&= \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2\left(\frac{\sigma^2}{m}+\beta^2x_i^2\right)+\beta^2\sum_{\substack{i=1\\j=1\\i\neq j}}^{n}\left(x_i^2x_j^2\right)\right] \\
&= \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)^2}\left[\frac{\sigma^2}{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2+\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^4+\beta^2\sum_{\substack{i=1\\j=1\\i\neq j}}^{n}\left(x_i^2x_j^2\right)\right] \\
&= \frac{\sigma^2}{m\sum_{i=1}^{n}x_i^2}+\beta^2
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
E\left(\hat{S}\right) &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}E\left(t_{i,j}-\hat{t}_i\right)^2 \\
&= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}E\left(t_{i,j}-\hat{\beta}x_i\right)^2 \\
&= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}E(t_{i,j}^2)+E(\hat{\beta}^2)\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^2-2E\left[\hat{\beta}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_ix_i\right)\right] \\
&= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(\sigma^2+\beta^2x_i^2)+\left(\frac{\sigma^2}{m\sum_{i=1}^{n}x_i^2}+\beta^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)-2\left(\sigma^2+m\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right) \\
&= mn\sigma^2+\sigma^2+m\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^2+m\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^2-2\left(\sigma^2+m\beta^2\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right) \\
&= (mn-1)\sigma^2
\end{aligned}
$$

(證明完畢)

C. $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} t_{i,j}^2 = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} \hat{t}_i^2 + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2$

證明：

首先我們證明 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right) = 0$

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right) &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i\left(t_{i,j} - \hat{t}_i\right) \\ &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i t_{i,j} - \hat{t}_i^2\right)\end{aligned}$$

$$\hat{t}_i = \sqrt{\frac{2s_i}{\hat{g}}} \quad , \quad \frac{1}{\sqrt{\hat{g}}} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}\sqrt{s_i}\right)}{\sqrt{2}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} s_i} \quad \Rightarrow \hat{t}_i = \sqrt{2s_i}\,\frac{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sqrt{2}\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p} = \frac{\sqrt{s_i}\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}$$

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i t_{i,j}\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{t_{i,j}\sqrt{s_i}\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}\right) = \frac{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}\sqrt{s_i}\right) = \frac{\left[\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{i,j}\sqrt{s_i}\right)\right]^2}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}$$

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2 = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\sqrt{s_i}\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}\right]^2 = \left[\frac{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}\right]^2\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} s_i = \frac{\left[\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(t_{p,q}\sqrt{s_p}\right)\right]^2}{\sum_{q=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} s_p}$$

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i t_{i,j} - \hat{t}_i^2\right) = 0$$

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} t_{i,j}^2 &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i + \varepsilon_{i,j}\right)^2 \\ &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i^2 + \varepsilon_{i,j}^2 + 2\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right) \\ &= \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2 + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_{i,j}^2 + 2\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right)\end{aligned}$$

因 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{t}_i \varepsilon_{i,j}\right) = 0$，故得 $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} t_{i,j}^2 = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\hat{t}_i^2 + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_{i,j}^2$　(證明完畢)

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第185-196頁

具七個自由度擬人型機械手臂之設計與控制

Design and Control of a 7 DOF Humanoid Robot Arm

張振添[1]　鄭宇勝[2]　林永建[3]　池德明[4]

[1]東南科技大學機電科技學系 副教授　[2]東南科技大學機電整合研究所 研究生　[3,4]東南科技大學機電科技學系 講師

摘　要

本文旨在探討具七個自由度擬人型機械手臂之設計與控制問題。首先利用電腦輔助設計軟體完成擬人型機械手臂之整體機械設計，並提出一獨立關節型式之順滑模態控制法則，以完成機械手臂之運動控制。而在系統之動態模擬上，由於多自由度機械手臂之閉合式動力學模式非常複雜且不易推導，而為克服此困難，本文提出一種動態模擬演算法，此演算法不需要機械手臂之閉合式動力學模式，只需要遞迴式計算扭矩技術就可完成有效率的動態模擬，而不必應用到價格高昂的電腦機構模擬軟體。而在設計上，透過此模擬演算法，可得到機器手臂每一個關節馬達所需之扭矩大小與最大轉速，據此可完成馬達規格之選用，並決定所配置減速機之齒數比。最後，在模擬人類手臂基本動作之動態模擬中，顯示順滑模態控制法則確能有效控制機器手臂，並比傳統 PID 控制器具有更好的各軸軌跡追蹤能力，深具實際應用價值。

關鍵字：擬人型機械手臂，順滑模態控制，動態模擬演算法

ABSTRACT

The main purpose of this paper focused on the mechanical design and motion control of a 7 DOF humanoid robot arm. In mechanical design, the Inventor software is used to achieve the design of robot mechanism. In control problem, because the dynamic model of a humanoid robot arm is highly complicated, a traditional controller is difficult to control it. In this paper, an independent joint sliding mode controller is proposed to control the robot arm. Moreover, in order to overcome the difficulty needing the closed-form model of robot arm in general dynamic simulations, a simple and easily implemented algorithm is also proposed. The simulation algorithm can efficiently finish dynamic simulations, does not need the closed-form arm model, so long as use the recursive computed torque technique. Under

imitating basic movements of human arm, the simulation results confirm that the proposed joint sliding mode controller can achieve better control performance over the conventional joint PID in terms of high payload variation.

Keywords: Humanoid robot arm, Sliding mode control, Simulation algorithm

壹、前言

近年來隨電腦技術、控制技術與數值演算法之精進，使得智慧型機器人科技得以有突破性之發展，尤其是仿人型二足行走式機器人最具吸引力。而智慧型機器人之所以受到先進國家之重視，在於智慧型機器人之研發必須整合機構學、動力學與控制工程等相關技術，不僅是一個國家高科技實力之指標，在實質上更是整體工業技術競爭力之度量。目前智慧型機器人依移動方式可概分為滾輪式機器人、履帶式機器人、二足行走式機器人與多足式行走機器人等，而這些機器人無論是應用於工廠自動化、家庭服務或從事醫療照護等任務時，若能具備一對擬人型機器手臂，則將能完成如人類手臂所能完成之靈巧動作。因此，擬人型機器手臂之發展，也是智慧型機器人產業中之一項關鍵性技術。

人類的手臂在本質上為一具贅餘自由度之靈活運動肢體，一般可視為七個自由度之贅餘手臂，因此欲得到能接近人類手臂般靈巧的機器手臂系統至少應具備七個自由度以上，而事實上此類具贅餘自由度之機器手臂系統已被廣泛研究，有相當多的文獻被發表[1-12]。但實際上，目前應用在智慧型機器人身上的機械手臂，大部分都採用較低自由度的設計，雖可以做一些類似於人類手臂可以做到的簡單動作，但要達到跟人的手臂一樣靈巧，則應具備至少7個自由度(7 DOF)以上。而對具七個自由度擬人型機械手臂設計而言，若能在設計之初，能將機器手臂之運動學觀念考慮進來，將有助於未來之動力學模式建立與控制器設計。在機構設計上，通常先依據運動學觀念決定馬達配置位置，再進行機構部分設計，而馬達規格與配置減速機齒數比之選定，則經由電腦動態模擬取得機器手臂每一個關節馬達所需之扭矩大小與最大轉速，再由現有伺服馬達規格中挑選滿足符合需求且盡量小而輕型的馬達。然後，再將馬達參數用於動態模擬，以驗證所挑選馬達之適用性。有必要，同時也進行局部機構設計之修訂，再經由幾次循環檢驗後，即可得到理想的整體設計。

而在具七個自由度擬人型機械手臂之運動控制方面，目前大部份可應用於一般非具贅餘自由度之機器手臂系統的運動控制演算法，例如基於模式之非線性控制(model based nonlinear control)[9]、類神經適應控制(neutral adaptive control)[10]與順滑模態控制(sliding model control)[13,14]等，仍可直接或稍加修改後應用於具贅餘自由度之機器手臂系統之運動軌跡控制。此外，具贅餘自由度之機器手臂系統在實際操作時，勢必會與環境發生交互作用，因此有關位置與力量混合控制的問題也有被探討[12,15]。但實際上，目前很多商業機器人所使用之控制器主要為獨立關節 PID 控制(independent joint PID control)，而很多的基於模式的控制法則尚受限於模式精確度或太複雜之演算法而未被實現[16]。

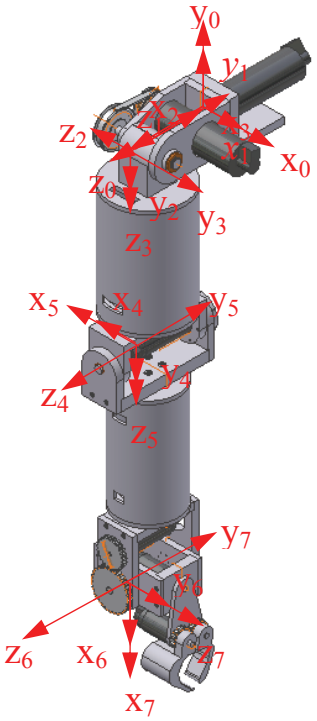
對具七個自由度之擬人型機器手臂而言，由於其動力學模式遠較一般非具贅餘自由

度之機器手臂系統的動力學模式更為複雜，因此採用基於模式的控制法則在實際應用上會有所困難。因此從實際應用上之考慮，仍以獨立關節控制法則較為理想。而事實上，有關機器手臂之獨立關節控制法則的研究一直持續在進行，陸續有相關文獻被發表[17,18]。而因為配合高齒數比減速機之使用，多連桿機器手臂之動態可合理視為對關節馬達動態之干擾，則具強健性之獨立關節順滑模態控制(sliding mode control)法則將為理想之選擇。

而值得注意的，如前所述對具七個自由度之擬人型機器手臂而言，其閉合式(closed form)動力學模式相當複雜且建模不易，而在一般系統動態模擬上，往往又需要用到閉合式動力學模式，這也造成了系統動態模擬之困難。因此，替代的方式是應用高階的電腦機構模擬軟體[1]，例如 MSC ADAMS 軟體，但這類軟體不僅價格不蜚，且學習時間較長。有鑑於此，本文將發展一簡單的動態模擬演算法，此演算法不需要機械手臂之閉合式動力學模式，只需要遞迴式計算扭矩技術就可完成有效率的動態模擬，可避免高階電腦機構模擬軟體取得之困難。而本文中也將應用此模擬演算法來完成馬達規格與配置減速機齒數比之選用，並用以驗證順滑模態控制法則在機器手臂運動控制上之有效性。

貳、具七個自由度機械手臂之機構設計

具七個自由度擬人型機械手臂之設計過程相當繁瑣，本文僅介紹設計結果與所設計機械手臂所具有之運動學特性。在設計擬人型機械手臂前，可先觀察人的手臂基本構造，依構造可以區分為肩部、上臂、手肘，前臂、手腕五個部份。依此構造來看，可將馬達放置這些位置，在肩部附近位置放兩顆馬達，上臂與手肘各放置一顆馬達，前臂放置一顆馬達，而手腕放置兩顆馬達，亦即採用3-1-3機構設計，而設計結果如圖一所示。



圖一　具七個自由度擬人型機械手臂之設計圖

由圖一中可看出，本文所設計之七個自由度擬人型機器手臂，具有以下運動學上之特性：

(1).第1~3軸之 z 軸分別為 z_1 、 z_2 及 z_3 ，此三軸設計經過同一點，且彼此互為正交。
(2).第3與4軸之 z 軸分別為 z_3 及 z_4 ，交於同一點且互為正交。
(3).第5與6軸之 z 軸分別為 z_5 及 z_6 ，交於同一點且互為正交。
(4).第5、6與7軸之 z 軸分別為 z_5 、 z_6 及 z_7 ，交於同一點且互為正交。

而由以上結果可看出，本文所設計之具七個自由度擬人型機器手臂會有較簡化之轉換矩陣[16]，這將會使機器手臂之運動學關係相對較為簡單，也有助於動力學模式之推導、運動控制器之設計與系統之動態模擬。

參、順滑模態控制法則

因為具七個自由度之擬人型機械手臂的機械設計是採用高齒數比之減速機，因此機器手臂動態對馬達軸之動態影響較小，所以可採用個別關節控制方式來設計控制器。考慮第 i 軸之馬達動態方程式如下

$$I_{mi}\ddot{\phi}_i + D_{mi}\dot{\phi}_i = u_i - n_i\tau_i + f_i(t), \quad i = 1,2,\cdots,7 \tag{1}$$

式中 ϕ_i 為第 i 顆馬達之轉角， u_i 為第 i 顆馬達之輸出扭矩， $n_i(<<1)$ 為第 i 顆減速機之齒數比， $f_i(t)$ 為第 i 顆馬達軸所存在包含摩擦效應等之干擾， I_{mi} 為第 i 顆馬達之慣性矩，而 D_{mi} 為第 i 顆馬達軸所存在之阻尼係數。

定義轉角誤差 $e_i(t)$ 為

$$e_i = \phi_i - \phi_{di} \tag{2}$$

式中 ϕ_{di} 為馬達之期望轉角，而由式(2)可得到 $\phi_i = e_i + \phi_{di}$ ，代入方程式(1)可得到

$$I_{mi}\ddot{e}_i + D_{mi}\dot{e}_i = u_i + d_i(t) - I_{mi}\ddot{\phi}_{di} - D_{mi}\dot{\phi}_{di} \tag{3}$$

式中 $d_i(t) = -n_i\tau_i + f_i(t)$ 。因為 $n_i <<1$ ，所以可合理假設 $|d_i(t)| < \delta_i(t)$ ，而 $\delta_i(t)$ 為正值函數。選擇順滑函數 $s_i(e_i)$ 為

$$s_i(e_i) = c_i e_i + \dot{e}_i \tag{4}$$

而順滑平面則為 $s(x) = 0$ 。接著，選擇里亞布諾夫函數(Lyapunov function)為

$$V_i = I_{mi}s_i^2 \tag{5}$$

則可得到里亞布諾夫函數對時間之微分 $\dot{V}_i$ 為

$$\begin{aligned}\dot{V}_i &= 2I_{mi}s_i\dot{s}_i = 2s_i\left(I_i\ddot{e}_{mi} + c_iI_{mi}\dot{e}_i\right)\\ &= 2s_i\left(u_i + d_i(t) - I_{mi}\ddot{\phi}_{di} - D_{mi}\dot{\phi}_{di} - \left(D_{mi} - c_iI_{mi}\right)\dot{e}_i\right)\end{aligned} \tag{6}$$

而由式(6)可看出順滑模態控制法則可設計為

$$u_i = I_{mi}\ddot{\phi}_{di} + D_{mi}\dot{\phi}_{di} + \left(D_{mi} - c_iI_{mi}\right)\dot{e}_i - \left(\sigma_i + \delta_i(t)\right)\frac{s_i}{\|s_i\|} \tag{7}$$

式中 $\sigma_i > 0$，則里亞布諾夫函數對時間之微分 $\dot{V}_i$ 可得到為

$$\begin{aligned}\dot{V}_i &= -2s_i\left(\sigma_i + \delta_i(t)\right)\frac{s_i}{\|s_i\|} \\ &= -2\sigma_i\|s_i\|\end{aligned} \tag{8}$$

所以控制法則式(7)確可使閉迴路控制系統滿足迫近條件。而為避免應用順滑模態控制法所存在之切跳現象，直接引用順滑層理念[19]，以飽和函數來替代切跳函數，則順滑模態控制法則(7)可修正為

$$\begin{aligned}u_i = {} & I_{mi}\ddot{\phi}_{di} + D_{mi}\dot{\phi}_{di} + \left(D_{mi} - c_i I_{mi}\right)\dot{e}_i \\ & -\left(\sigma_i + \delta_i(t)\right)sat\left(s_i, \varepsilon_i\right)\end{aligned} \tag{9}$$

由式(9)可看出此控制法則相當簡單且易於實際應用。

肆、動態模擬演算法

有鑑於一般機器人系統動態模擬中，必須使用到機械手臂之閉合式動力學模式之困難，本文提出一種動態模擬演算法，此演算法不需要機械手臂之動力學模式，只要應用遞迴式計算扭矩(computed torque)技術就能完成有效率的動態模擬。

對於具七個自由度之擬人型機器手臂系統，若直接應用機器人學中之動力學模式的推導方法，理論上雖可以系統化的步驟得到機器手臂之動力學模式，但受限於複雜度，實際上非常困難，但無論如何，其動力學模式可表為以下型式

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q}) + G(q) = \tau \tag{10}$$

式中 $q = \begin{bmatrix}\theta_1 & \theta_2 & \cdots & \theta_7\end{bmatrix}^T$ 為連桿轉角之廣義座標，$\tau = \begin{bmatrix}\tau_1 & \tau_2 & \cdots & \tau_7\end{bmatrix}^T$ 為關節馬達作用在連桿上之控制扭矩，$M(q)$ 為慣性矩陣，$C(q,\dot{q})$ 為離心力與科氏力(Coriolis force)的相關矩陣，而 $G(q)$ 則為與重力有關的矩陣。又馬達動態方程式(1)可表為矩陣形式如下

$$I_m\ddot{\phi}(t) + D_m\dot{\phi}(t) = u(t) - n\tau(t) + f(t) \tag{11}$$

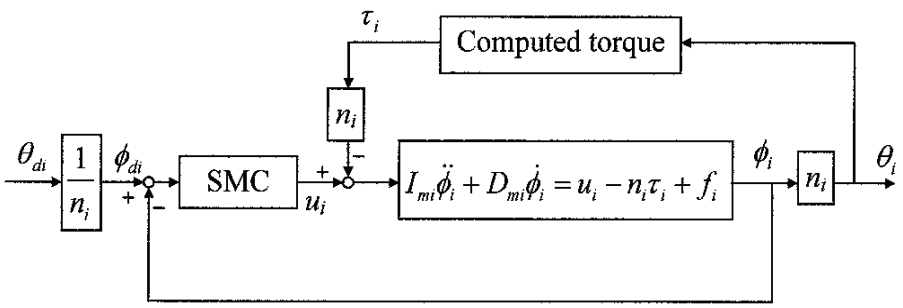
式中 $I_m = \mathrm{diag}(J_1, J_2, \cdots, J_7)$，$D = \mathrm{diag}(D_1, D_2, \cdots, D_7)$，$\phi = \begin{bmatrix}\phi_1 & \phi_2 & \cdots & \phi_7\end{bmatrix}^T$，$u = \begin{bmatrix}u_1 & u_2 & \cdots & u_7\end{bmatrix}^T$，$f = \begin{bmatrix}f_1 & f_2 & \cdots & f_7\end{bmatrix}^T$，而 $n = \mathrm{diag}(n_1, n_2, \cdots, n_7)$。

若將機器手臂之動力學模式(10)代入馬達動態方程式(11)，則可得到

$$I_m\ddot{\phi}(t) + D_m\dot{\phi}(t) = u(t) - n\left[M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q}) + G(q)\right] + f(t) \tag{12}$$

式(12)蘊涵若能由機器手臂動力學模式計算得到作用在連桿之控制扭矩，則由式(12)即可進行動態模擬。但受限於機器手臂動力學模式之推導相當困難，因此本文以遞迴式牛頓尤拉動態扭矩計算法[16]，來取代機器手臂動力學模式，進行即時關節扭矩之計算，由於是以遞迴方式計算，所以非常適合於電腦動態模擬，也會非常有效率。最後，本文所提

出之動態模擬演算法，如圖二所示，而此動態模擬演算法將應用於閉迴路控制系統之動態模擬。



圖二 動態模擬演算法

伍、閉迴路控制系統動態模擬

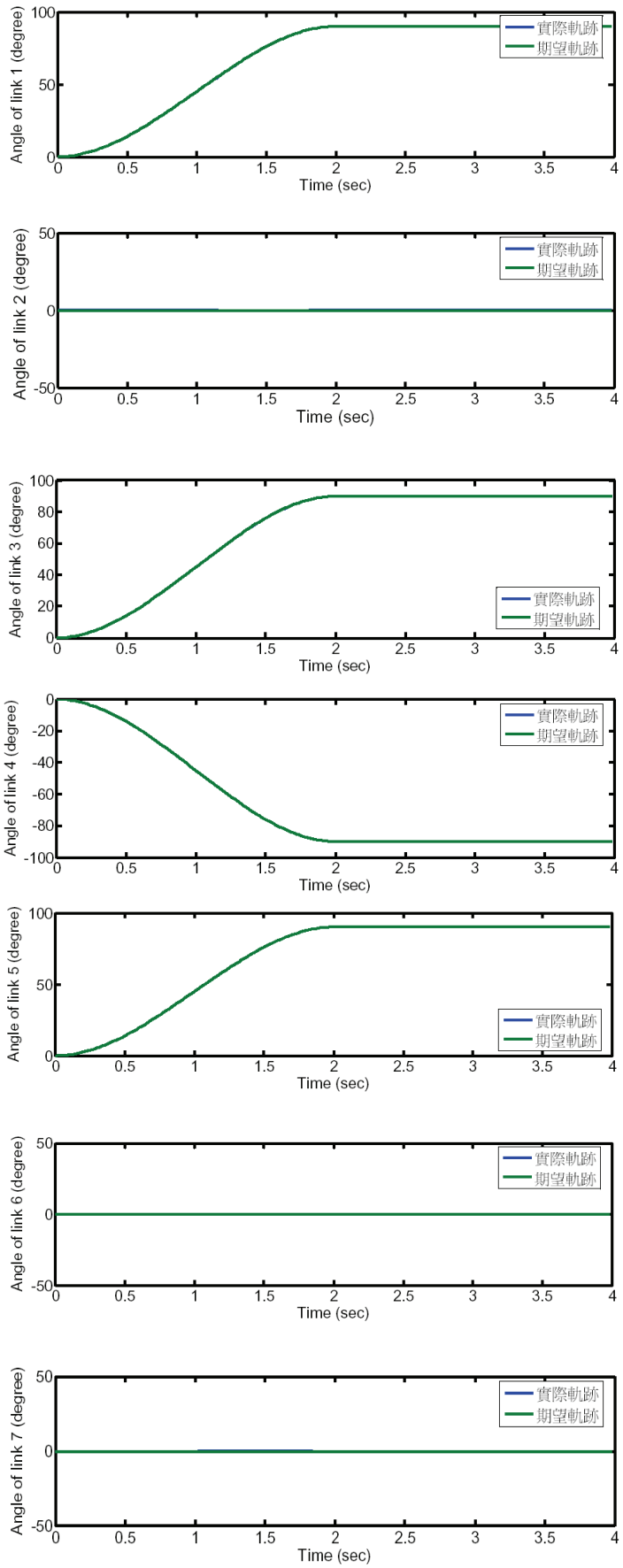
為驗證所發展之順滑模態控制法則應用在具七個自由度機器手臂運動控制上之有效性，並評估控制性能，本節中將應用在第肆節中所提出之動態模擬演算法，來進行順滑模態控制下閉迴路控制系統之動態模擬。動態模擬時所選擇之各軸期望運動軌跡 $\theta_{di}(t)$ 以三次方時間函數來規劃如下

$$\theta_{di}(t) = \theta_{di}^0 + \frac{3}{t_f^2}\left(\theta_{di}^f - \theta_{di}^0\right)t^2 - \frac{2}{t_f^3}\left(\theta_{di}^f - \theta_{di}^0\right)t^3 \tag{13}$$

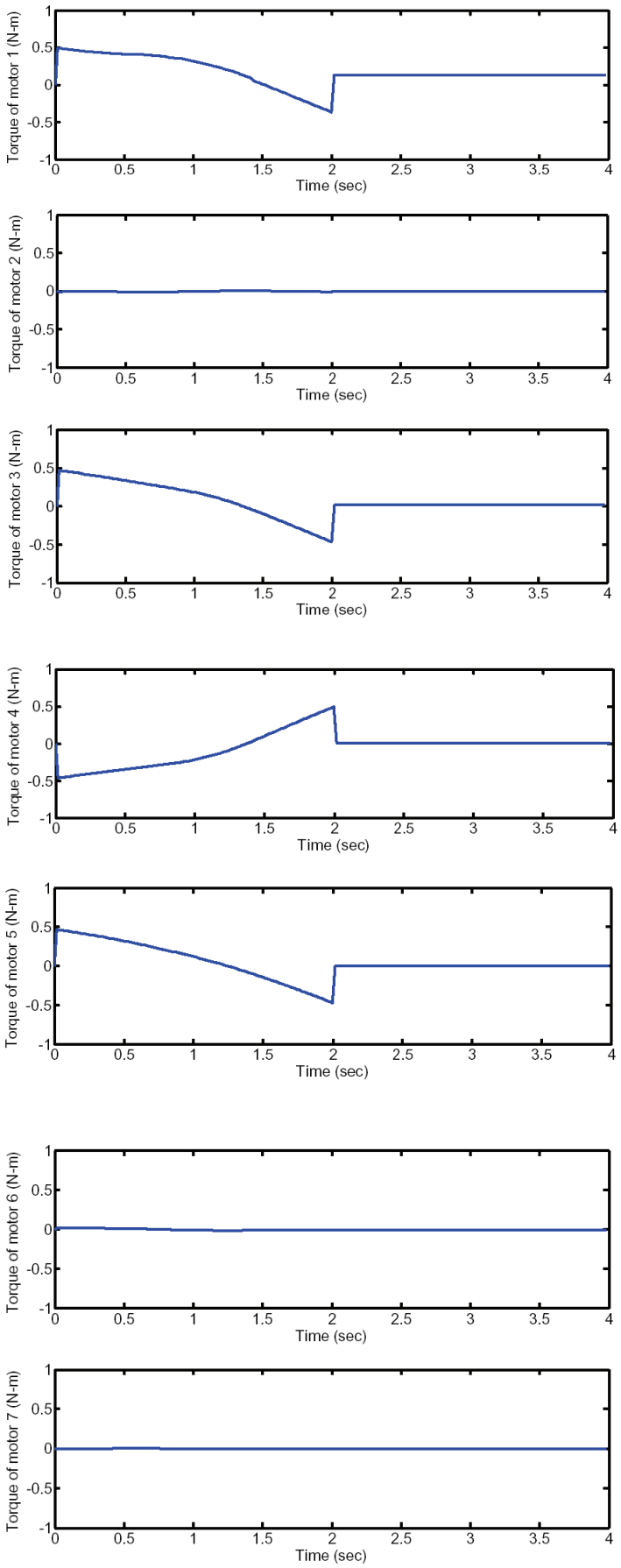
式中 θ_{di}^0 與 θ_{di}^f 分別為期望運動軌跡之起點與終點位置，而 t_f 則為到達期望軌跡終點所需時間，且各軸馬達之期望運動軌跡 $\phi_{di}(t) = n_i\theta_{di}(t)$。又模擬人類手臂的基本動作是以圖1為起使姿態，而最終姿態之各軸轉角為 $\theta_{d1}^f = 90^\circ$，$\theta_{d2}^f = 0^\circ$，$\theta_{d3}^f = 90^\circ$，$\theta_{d4}^f = -90^\circ$，$\theta_{d5}^f = 90^\circ$，$\theta_{d6}^f = 0^\circ$，$\theta_{d7}^f = 0^\circ$。雖然人類手臂的基本動作很多，選擇此模擬動作只是其中之一，但是因為七軸機器手臂在動態上各軸都是高度非線性耦合，因此這模擬動作仍不失一般性。

一、負載變動下模擬人類手臂的基本動作

在負載變動下所進行之動態模擬條件是指七軸機器手臂所抓取之負載為設計控制器增益值時之負載再增加50%。在控制器增益值維持不變下，負載變動之閉迴路控制系統動態模擬結果，如圖三與圖四所示。圖三中依序為第一軸到第七軸之各連桿轉角 θ_i 對時間之響應圖，圖中籃線代表實際軌跡，而綠線則代表期望軌跡。而圖四中則依序為第一軸到第七軸各驅動馬達之輸出扭矩 u_i 對時間之響應圖。由圖三中可看出，在順滑模態控制下，各軸呈現出良好的軌跡追蹤能力，亦即能精確地控制整支七軸機器手臂，完成模擬人類手臂的基本動作，而此結果亦顯示順滑模態控制對負載變動具有相當的強健性。另外，由圖四中則可看出，各軸驅動馬達所需之輸出扭矩值都在合理範圍，且都無切跳(chattering)現象出現。



圖三　第一至七軸各連桿轉角之時間響應圖



圖四 第一至七軸各馬達輸出扭矩之時間響應圖

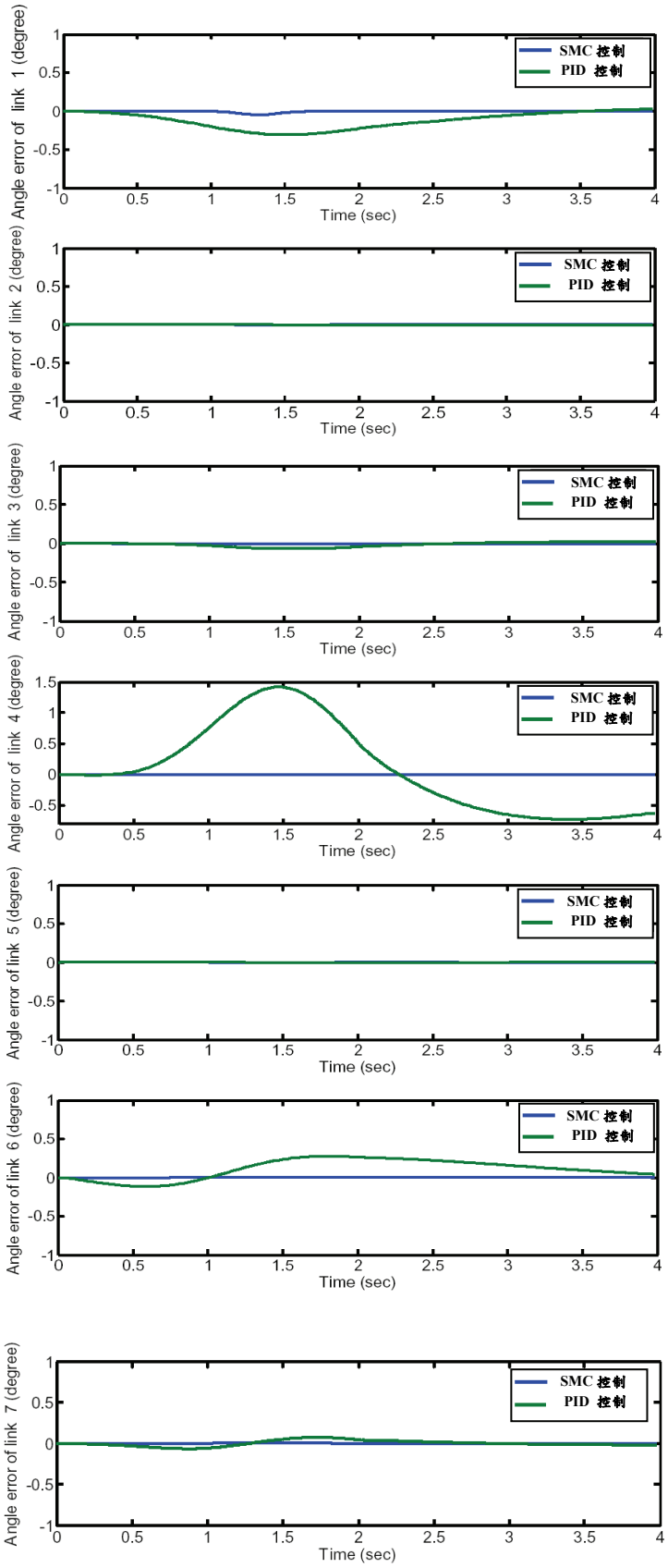


圖5 順滑模態控制與PID控制動態模擬結果之比較

二、順滑模態控制與傳統 PID 控制之性能比較

在負載變動下，順滑模態控制與 PID 控制之閉迴路控制系統動態模擬比較結果，則如圖五中所示，圖中籃線代表順滑模態控制下之軌跡追蹤誤差，而綠線則代表 PID 控制下之軌跡追蹤誤差。由圖五中可明顯看出，在負載變動下，PID 控制之軌跡追蹤誤差相當明顯，而順滑模態控制之軌跡追蹤誤差則相當小，此代表在負載變動下，順滑模態控制之軌跡追蹤控制能力遠勝於 PID 控制，也意味順滑模態控制對負載變動具有良好之強健性。

陸、結

本文已應用電腦輔助設計軟體設計出一具七個自由度之擬人型機械手臂，其自由度分配採3-1-3配置，且前三軸與後三軸之 z 軸都經過同一點且彼此正交，可大幅簡化機器手臂之運動學關係。而在七個自由度擬人型機械手臂的控制問題上，有鑑於系統動力學模式之複雜度，本文中提出了個別關節控制型式的順滑模態控制法則。此外，為克服在系統動態模擬中需要用到機械手臂動力學模式之困難，本文中提出一種簡單的動態模擬演算法，此演算法不需要閉合式動力學模式，只要應用遞迴的計算扭矩技術就能完成有效率的動態模擬。而值得注意的是，此動態模擬演算法可應用於所有個別關節控制型式的多自由度機械手臂，以進行控制器有效性之模擬驗證或與性能之評估。在本文之動態模擬中顯示，即使存在負載變動，順滑模態控制法則都能精確地控制此具七個自由度之擬人型機器手臂完成模擬人類手臂的基本動作。同時，在與傳統 PID 控制器的模擬比較中，也顯示出順滑模態控制在各軸的軌跡追蹤上，遠比傳統 PID 控制器具更良好的軌跡追蹤能力，且結構簡單，易於實際應用。

柒、誌謝

本論文為經濟部編號95-EC-17-A-04-S1-054之計畫，由於經濟部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

1. C. T. Chang, H. P. Huang, and J. Y. Kuan, “Independent Joint Sliding Mode Control of a Humanoid Robot Arm,” The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society , Taipei, Taiwan, pp. 2754-2759, 2007.

2. J. Nakanishi, R. Cory, M. Mistry, J. Peters, and S. Schaal, “Comparative Experiments on Task Space Control with Redundancy Resolution,” 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3901-3908, Aug 2-6, 2005.

3. L. Li, W. A. Gruver, Q. Zhang, and W. Chen, “Real-Time Control of Redundant Robots subject to Multiple Criteria,” Proceeding of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation Leuven, Belgium, pp.115-120, May 1998.

4. W. Chen, M. Yang, S. Yu, and T. Wang, “A Hybrid Algorithm for the Kinematic Control of Redundant Robots,” 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol.5, pp.4438-4443, Oct 10-13, 2004.

5. C. Caldwell and R. G. Roberts, “Fault-Tolerant Kinematically Redundant Robots,” Proceedings of the 34th Southeastern Symposium, pp.381-385, March 18-19, 2002.

6. R. S. Jamisola, A. A. Maciejewski, and R.G. Roberts, ”Failure-Tolerant Path Planning for the PA-10 Robot Operating Amongst Obstacles,” Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation New Orleans, LA, pp.4995-5000, April 2004.

7. L. Li, W. A. Gruver, Q. Zhang, and Z. Yang, ”Kinematic Control of Redundant Robots and the Motion Optimizability Measure,” IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics-part B: Cybernetics, Vol.31, NO.1, pp.155-160, February 2001.

8. B. Cao, G. I. Dodds, and G. W. Irwin, “Task-Oriented Redundancy Resolution and Obstacle Avoidance for Kinematically Redundant Robots,” Proceedings of the 36th Conference on Decision & Control San Diego, California USA, pp.2521-2522, December 1997.

9. E. Zergeroglu, D. M. Dawson, I. Walker, and A. Behal, “Nonlinear Tracking Control of Kinematically Redundant Robot Manipulators,” Proceedings of the American Control Conference Chicago, Illinois, pp.2513-2517, June 2000.

10. A. Benallegue, B. Daachi, and A. R. Cherif, “Stable Neural Network Adaptive Control of Constrained Redundant Robot Manipulators,” Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems EPFL, Lausanne, Switzerland, pp.2193-2199. October 2002.

11. Y. Asari, H. Sato, T. Yoshimi, and K. Tatsuno, “Development of a Model-Based Remote Maintenance Robot System(IV) –A Practical Stiffness Control Method for Redundant Robot Arm-,” Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Yokohama, Japan, pp.1245-1251, July 26-30, 1993.

12. F. Shadpey, F. Ranjbaran, R. V. Patel, and A. J. Robins, “Development and Experimental Evaluation of a Robust Contact Force Control Strategy for a 7-DOF Redundant Manipulator,” Proceedings of the 8th International Conference Advanced Robotics, pp.393-400, July 7-9, 1997.

13. T. Asfour and R. Dillmann, “Human-like Motion of a Humanoid Robot Arm Based on a Closed-Form Solution of the Inverse Kinematics Problem,” Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl, Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada, pp.1407-1412, October 2003.

14. V. Parra-Vega, A. Castillo-Tapia, and M. A. Arteaga-Pérez, "Regressor-free Second Order Sliding Mode Control for Exponential Tracking of Constrained Robot Manipulators," Third International Workshop on Robot Motion and Control, pp.159-164, November 9-11,2002.

15. A. Albu-Schäffer, C. Ott, U. Frese, and G. Hirzinger, "Cartesian Impedance Control of Redundant Robots: Recent Results with the DLR-Light-Weight-Arms," Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation Taipei, Taiwan, pp.3704-3709, September 14-19, 2003.

16. J. J. Craig, Introduction to Robotics: Mechanics and Control, third ed., Prentice Hall, 2005.

17. O. Becker, I. Pietsch, and J. Hesselbach, "Robust Task-Space Control of Hydraulic Robots," Proceedings of the 2003 IEEE, International Conference on Robotics &Automation Taipei, Taiwan, pp.4360-4365, September 14-19, 2003

18. P. Yang, X. Kong, Z. J. Liu, H. Chen, Q. Zhao, and J. Liu, "Hybrid Intelligent Joint Controller for Humanoid Robot," Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, pp.4188-4192, August 18-21, 2005

19. J. J. E. Slotine and W. Li, Applied Nonlinear Control, Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall, 1991.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第197-206頁

直接類神經網路控制器應用於節能空調系統

The direct artificial neural controller applied to Energy-saving air conditioner systems

陳之維[1]　曾國隆[2]　謝建新[3]　朱明輝[4]

[1,2,3,4]東南科技大學機電科技學系

摘　　要

近年來為了達成節能功能，交流變頻器專用馬達與壓縮機有效整合應用於空調系統。但是經由變頻器驅動馬達使用在低轉速的範圍時，馬達溫度上升造成動力效率降低，節能效果降低。採用直流無刷馬達與壓縮機整合應用於空調系統則在廣寬速度範圍操作下沒過熱的疑慮，節能效果優於交流變頻空調系統。本文採用特定學習架構之直接類神經網路控制應用於直流無刷馬達(BLDC)節能空調系統，控制馬達運轉速度具有快速反應，優於交流變頻空調系統。本文應用輸入命令與受控系統輸出誤差及誤差微分之線性組合近似線上訓練所須之倒傳遞誤差項(BPE)，不須估測受控系統靈敏度，可以免於建立受控系統數學模型及模擬器(emulator)，且加快神經鍵加權值之收斂速率。本文以數值模擬證明前述方法應用於BLDC 節能空調系統具有良好效果。

關鍵字：直流無刷馬達，速度控制, 類神經網路，節能空調系統

ABSTRACT

Recently years, the specified AC driver droved by an electrical inverter has been widely used to air conditioner systems for energy saving. But the AC driver will generate high heat dissipation and induce high operating temperature in low speed operation conditions. This will decrease the energy saving efficiency. The air conditioner compressors droved by a Brushless DC motor (BLDC motor) will improve the high heat generation problem in wide operation speed. The DC drivers have better energy saving efficiency. This study utilizes the direct neural control based on the self-tuning control strategy applied to energy saving air conditioner, and the back propagation error (BPE) is approximated by a linear combination of error and error's differential, so that it is not necessary to build the neural emulator to estimate the Jacobian of plant. By this method, and the speed performance of the BL compressor is

better than that with a conventional PID control system.

Keywords：Brushless DC motor, Speed control, Neural networks, Energy-saving air conditioner systems

壹、導　論

近年為了達成節能功能，交流變頻器專用馬達與壓縮機有效整合應用於空調系統。但是經由變頻器驅動馬達使用在低轉速的範圍時，馬達溫度上升造成動力效率降低，節能效果降低。空調系統變頻器專用馬達的設計主要是在使用多頻率驅動下，亦能展現出它最理想的特性。變頻專用馬達有獨立冷卻風扇系統來降低馬達溫度。使它在廣寬速度範圍內操作下卻沒有過熱的虞慮，但是變頻器專用馬達設計困難使製造成本增高。一個標準的馬達經由變頻器驅動所產生的動力會比原先的少一些。空調系統變頻器專用馬達當它使用在低轉速的範圍時，冷卻的效果會惡化，然後馬達溫度上升增加，所以在低轉速範圍操作是必須減少負載轉矩。

另一種方法則是應用交流伺服(AC Servo)技術，使用變頻伺服驅動器讓旋轉磁場由零速一直慢慢隨著轉子的速度增加速度，且讓磁轉隨時保持正交90度, 這種方法可以獲得滿意速度，由於使用變頻伺服馬達，讓同步機的特性很像直流馬達，所以又稱為直流變頻馬達，所以在市面上可以看到 DC 變頻冷暖氣機，它們還是交流同步馬達，另外因沒有碳刷接觸，也較不會故障，再者，因無碳刷所以轉子無需繞線，故容量可以增加。直流無刷馬達的轉子是永久磁鐵。驅動方式是類似步進馬達是利用切換磁場線圈相位。

直流無刷的驅動是利用偵測永久磁鐵的位置角度配合不斷切換線圈相位而使馬達旋轉，其中霍爾 IC 只是偵測器用來偵測轉軸永久磁鐵的位置角度，而驅動器就是利用其偵測資料知道轉軸旋轉角度來產生正確的線圈相位並加以驅動，所以直流無刷馬達是需要驅動器才會旋轉的，現在直流無刷馬達使用十分廣汎，所以有很多專用的驅動 IC 可以使用，只要一顆 IC 就可完成所有驅動甚至 PLL 同步的工作。採用直流無刷馬達與壓縮機整合應用於空調系統則在廣寬速度範圍操作下沒有過熱的虞慮，節能效果優於交流變頻空調系統。如果在低速度範圍中需要100%延伸轉矩，則需要使用直流無刷馬達(BLDC)與壓縮機有效整合應用於空調系統。

直流無刷馬達壓縮機具有非線性與變動負載等特性需要，為了有效整合直流無刷馬達壓縮機應用於空調系統，本文採用特定學習架構之直接類神經網路控制應用於直流無刷馬達節能空調系統。目的在控制馬達運轉速度具有快速反應，優於交流變頻空調系統。

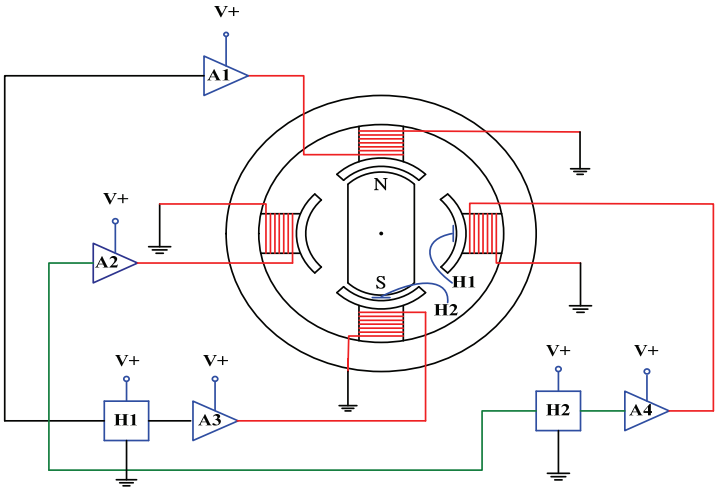
一般利用多層類神經網路控制器進行直流伺服馬達速度控制大多使用間接類神經網路適應控制，使用此種控制架構必須設計離線或線上類神經網路判別器 [1-4]，而判別器必須預先進行離線訓練，系統複雜設計不易，且增加了 CPU 運算時間。在直接類神經網路控制器發展方面 Zhang 及 Sen 於1995年[5]提出單隱藏層類神經網路線上學習

型適應控制器，簡化系統靈敏度計算，只取其正負號，以誤差倒傳遞作線上訓練，他們以模擬船舶航行控制，證明其方法可應用於低反應性之非線性系統，控制器對干擾有良好的適應性；但是，其收斂速率較慢。Lin 及 Wai[6]根據 Zhang 及 Sen 之方法，提出δ適應法則，省略靈敏度之運算，以線上量得之誤差及誤差微分之線性和近似倒傳遞之誤差項，應用於特定學習架構之誤差倒傳遞類神經網路(BPN)，作為永磁同步伺服馬達速度及位移控制之模型參考適應控制器，並以 PID 控制器補償後之系統動態模型為參考模型，經模擬及實驗證明以參考模型結合類神經網路控制高反應系統，亦可以得到良好之收斂性。Lin 等人[7] 並提出證明，將δ適應法則應用於誤差倒傳遞類神經網路，只要適當調整學習速率，其線上訓練結果為收斂。但上述方法仍需建立系統動態模型做為參考模型，其適應控制器為比例積分微分與類神經網路混合型控制器。Chu 等人[8-10]提出誤差適應法則應用於誤差倒傳遞類神經網路，進一步改善多層類神經網路控制收斂性，只要適當調整學習速率，可以改善線上訓練收斂速率。

本研究採用誤差適應法則應用於直接類神經網路控制，不須設計離線或線上類神經網路判別器節省 CPU 運算時間，此外一般之類神經網路控制器，須要建立參考模型，以參考模型輸出與控制系統輸出之誤差進行誤差倒傳遞之線上訓練。本文則採自適應控制結構不須建立參考模型，以輸入之轉速命令與控制系統輸出轉速之誤差及誤差微分之線性和近似倒傳遞之誤差項，訓練類神經網路。可以免於建立數學模型及鑑別系統參數，且可以加快神經鍵權重值之收斂速率。本文以數值模擬證明前述方法應用於 BLDC 節能空調系統具有良好效果。

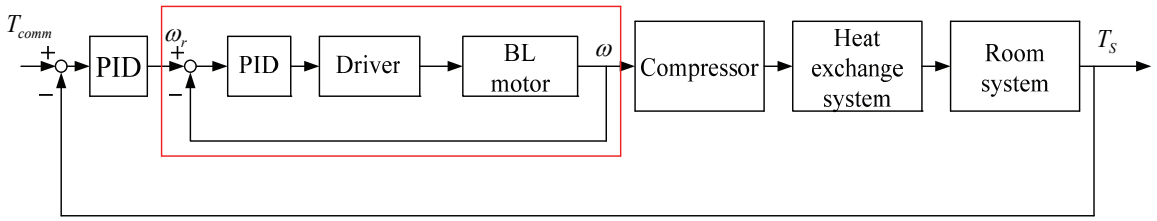
貳、空調系統節能描述

圖一所示為無刷馬達系統之基本構造，H_1、H_2為霍爾元件。



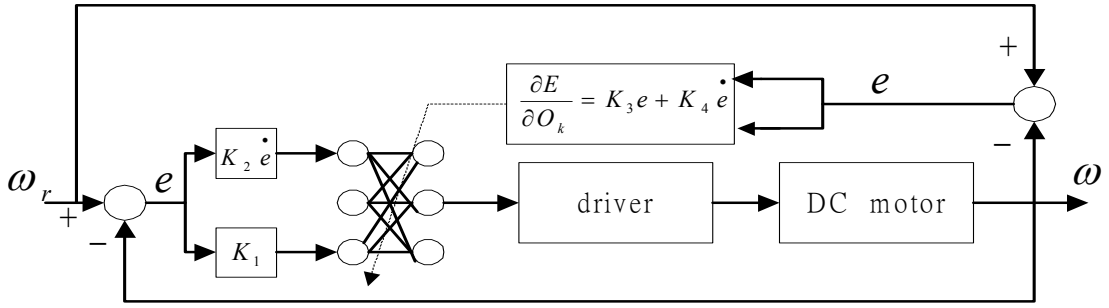
圖一　無刷馬達系統結構

空調系統節能控制方塊圖如圖二之紅色線框內所示。ω_r為轉速命令，ω為馬達輸出轉速。T_{comm}為溫度命令，T_s是圍繞室內溫度。使用一個傳統比例積分微分控制器去控制無刷馬達系統。



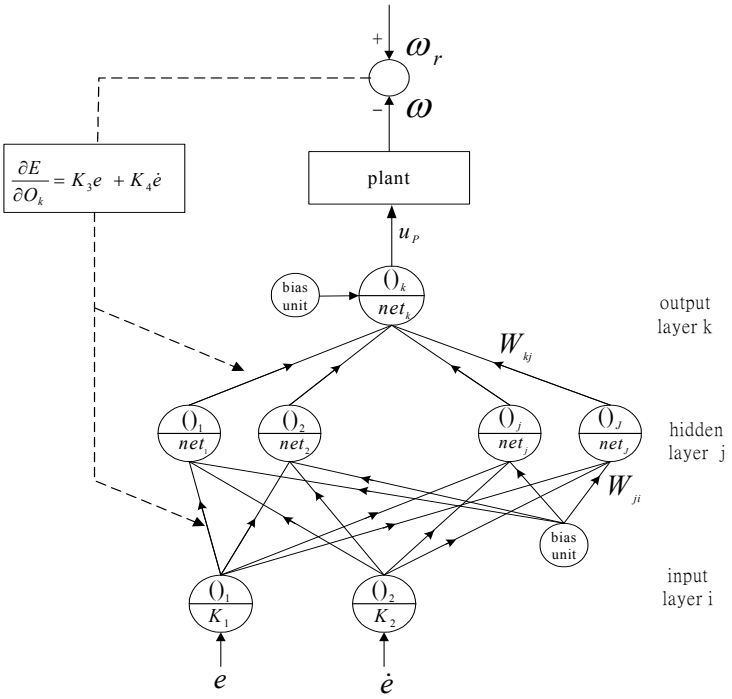
圖二 節能空調系統

直接類神經網路控制應用於直流無刷驅動速度控制顯示於圖三，那是應用一個神經網路控制器去控制無刷馬達系統。



圖三 速度控制系統方塊圖

參、類神經網路控制描述



圖四 類神經網路三層結構

類神經網路控制器，其結構如圖三所示，其類神經網路為三層結構，如圖四所示；含輸入層(以下標 i 表示節點數)、隱藏層(以下標 j 表示節點數)及輸出層(以下標 k 表示節點數)，輸入層須將輸入信號正規化如圖三所示，將輸入信號乘 K_1，K_2，使輸入量正規化至-1與+1之間 ，輸出層及隱藏層節點之轉移函數設計為雙曲正切函數，對於隱藏層節點 j 之輸入為

$$net_j = \sum (W_{ji} \cdot O_i) + \theta_j$$

$$i = 1,2,\ldots I, \qquad j = 1,2,\ldots J \tag{1}$$

節點 j 之輸出為

$$O_j = f(net_j) = \tanh(\beta \cdot net_j) \tag{2}$$

其中 $\beta > 0$ 。同理輸出層節點 k 之輸入為

$$net_k = \sum (W_{kj} \cdot O_j) + \theta_k$$

$$j = 1,2,\ldots J, \qquad k = 1,2,\ldots K \tag{3}$$

節點 k 之輸出為

$$O_k = f(net_k) = \tanh(\beta \cdot net_k) \tag{4}$$

兩式中 W_{ji} 及 W_{kj} 分別代表輸入層與隱藏層之間的神經鍵權重值，以及隱藏層與輸出層之間的神經鍵權重值；θ_j 及 θ_k 分別表示隱藏層及輸出層的偏權值。

對於單一輸入單一輸出之受控系統輸出層節點 k 之輸出 O_k 即為輸入受控系統之輸入量 u_P，對於第 N 次取樣時間之誤差函數定義為：

$$E_N = \frac{1}{2}(X_N - X_{PN})^2 = \frac{1}{2}e_N^2 \tag{5}$$

其中 X_N 及 X_{PN} 分別代表在第 N 次取樣時間下參考輸出及受控系統的真實輸出，在第 N 次至 $N+1$ 次之神經鍵權重矩陣更新為：

$$\Delta W_N = W_{N+1} - W_N = \alpha \cdot \Delta W_{N-1} - \eta \frac{\partial E_N}{\partial W_N} \tag{6}$$

其中 η 代表學習速率，α 為慣性常數。因此，輸出層及隱藏層之間神經鍵權重值對誤差函數之導數為

$$\frac{\partial E}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial net_k}\frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = \delta_k O_j \tag{7}$$

其中定義

$$\delta_k = \frac{\partial E}{\partial net_k}$$

$$= \sum_n \frac{\partial E}{\partial X_P}\frac{\partial X_P}{\partial u_P}\frac{\partial u_P}{\partial O_n}\frac{\partial O_n}{\partial net_k} = \sum_n \frac{\partial E}{\partial O_n}\frac{\partial O_n}{\partial net_k}$$

$$= \sum_{n} \frac{\partial E}{\partial O_n} \beta (1 - (net_k)^2), \ n = 1,2,...K \tag{8}$$

其中 $\partial X_p / \partial u_p$ 為受控系統之靈敏度，由於系統的不確定性，使 $\partial X_p / \partial u_p$ 計算困難，然而對單一輸入單一輸出控制系統控制量只有一個時，根據誤差適應法則，可以將類神經網路之輸出對誤差函數之導數近似為誤差及誤差微分之線性和，即

$$\frac{\partial E}{\partial O_k} = K_3 e + K_4 \frac{\mathrm{de}}{\mathrm{dt}} \tag{9}$$

其中 K_3, K_4 為大於0之常數。同理，輸入層與隱藏層間神經鍵權重值對誤差函數導數為

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ji}} = \frac{\partial E}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} = \delta_j O_i \tag{10}$$

其中

$$\delta_j = \frac{\partial E}{\partial net_j} = \sum_m \frac{\partial E}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial O_m} \frac{\partial O_m}{\partial net_j}$$

$$= \sum_m \delta_k W_{km} \beta (1 - (net_j)^2) \quad m = 1,2,...J \tag{11}$$

輸出層與隱層以及輸入層與隱藏層之第 N 次權重值變量與前一次權重值變量定義為殘留慣量項(momentum term)之關係分別如下：

$$\Delta W_{kj,N} = -\eta \frac{\partial E_N}{\partial W_{kj,N}} + \alpha \cdot \Delta W_{kj,N-1}$$

$$= -\eta \delta_k O_j + \alpha \cdot \Delta W_{kj,N-1} \tag{12}$$

$$\Delta W_{ji,N} = -\eta \frac{\partial E_N}{\partial W_{ji,N}} + \alpha \cdot \Delta W_{ji,N-1} = -\eta \delta_j O_i + \alpha \cdot \Delta W_{ji,N-1} \tag{13}$$

其中，η 及 α 分別為學習速率及慣量項係數，δ_j 及 δ_k 分別由式(11)及(8)所求得，神經鍵權重值矩陣由在第 N 次至 N+1次之更新為：

$$W_{kj,N+1} = W_{kj,N} + \Delta W_{kj,N} \tag{14}$$

$$W_{ji,N+1} = W_{ji,N} + \Delta W_{ji,N} \tag{15}$$

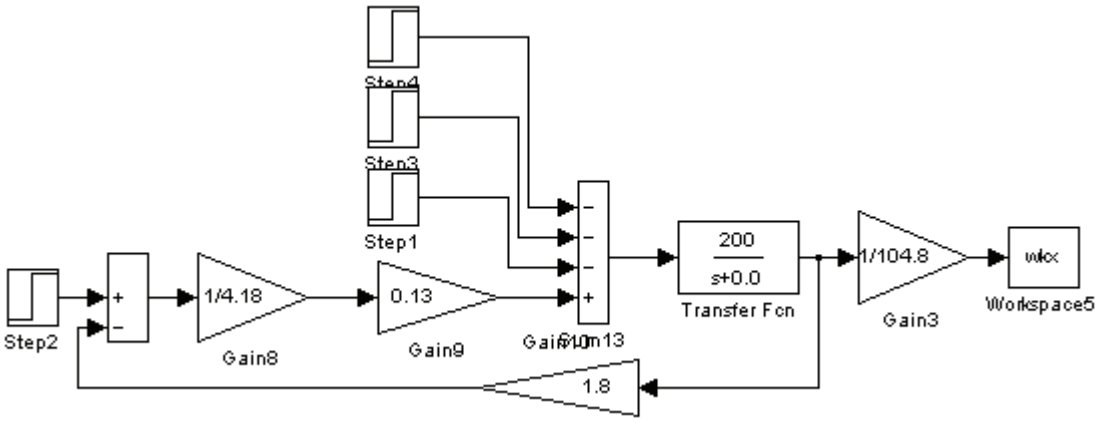
肆、動態模擬

交流空調改變的是壓縮機的供電頻率，從而改變壓縮機工作速度及供電頻率，交流空調供電頻率於 10HZ—150HZ 之間。直流空調改變的是壓縮機的供電電壓，從而改變壓縮機的工作速度。直流空調的壓縮機供電電壓於 150V—260V 之間。模擬之直接類神經網路控制應用壓縮機轉速控制系統方塊圖如圖二及圖三所示，組成元件有 BLDC 馬達規格如表 1 所列、轉速計增益為 1/150.8 V/rad/s (1 V/1000rpm)、驅動器電壓增益為 25、12 位元雙極性(Bipolar) D/A 轉換器輸出電壓範圍為 0V 至＋10V。

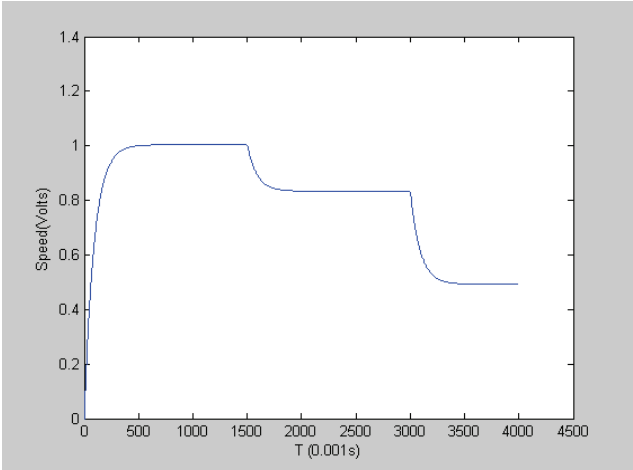
表 1　BLDC 馬達規格參數

Motor resistance R_a	4.18 Ω
Motor inductance L_a	850 mH
Inertia of rotor J	0.005 kgm^2
Torque constant K_T	0.13 N/A
Back emf K_B	1.2655V/rpm

BLDC 馬達模擬之 Simulink 程式如圖五所示，輸入 DC200V 步階信號，假設壓縮機運轉最低負載為 0.33Nm，在 1.5 秒及 3 秒時分別增加負載為 1Nm 及 2Nm 模擬結果如圖六所示，壓縮機運轉在最低負載為 0.33Nm 時轉速為 9998rpm



圖五 BLDC 馬達模擬之 Simulink 程式



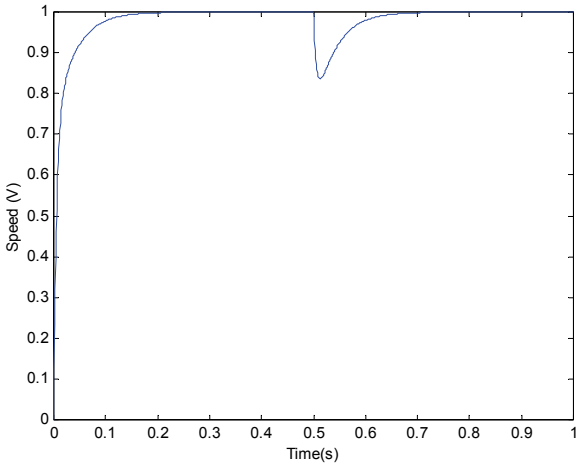
圖六 輸入 DC200V 步階信號模擬 BLDC 馬達速度反應

直接類神經網路控制器輸入層神經元數為2，隱藏層神經元數為5，輸出層神經元數為1，如圖四所示，因為直接類神經網路控制器輸出值大小在－1與＋1之間，故須將其乘一增益值10，再由12位元雙極性 D/A 輸出(控制器輸出＋1時 D/A 輸出＋10V，控制器輸出小於或等於0時 D/A 輸出0V)。

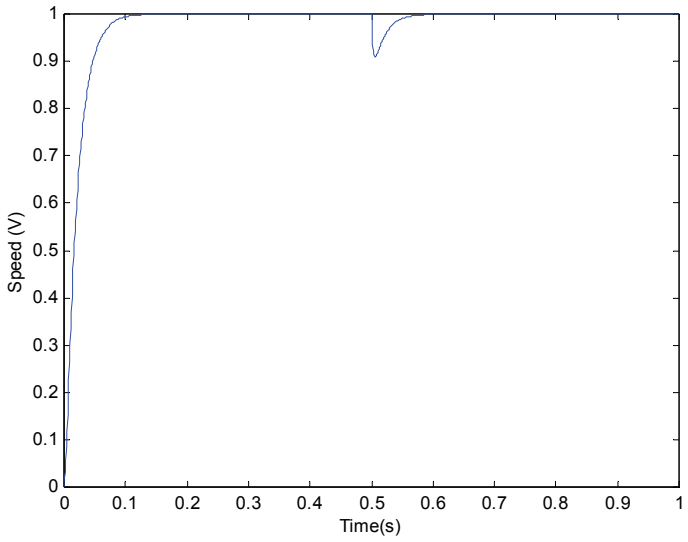
類神經網路控制器須將輸入信號大小正規化在－1與＋1之間，因此正規化之比例參數設為 K_1、K_2。δ 適應法則二參數設為 K_3、K_4。動態模擬取樣時間為0.0001s，類神經網路學習速率選擇0.1，因為轉速命令電壓與實際轉速量測電壓最大誤差值1V，故選擇 $K_1=K_3=0.6$，$K_2=K_4=0.01$使輸入信號正規化至適當值。

模擬採用良好調整之 PI 控制器及類神經網路控制器應用於直流馬達轉速控制系統。模擬設輸入命令為1V 之步階信號(對等於轉速1000rpm(150.8 rad/s))，在時間0.5秒時 (t=0.5s) 輸入外在干擾1 Nm 模擬結果如圖七及圖八所示，圖八(a)為採用類神經網路控制器之轉速反應，圖八(b)為神經鍵權重值反應，顯示各神經鍵權重值呈現收斂。

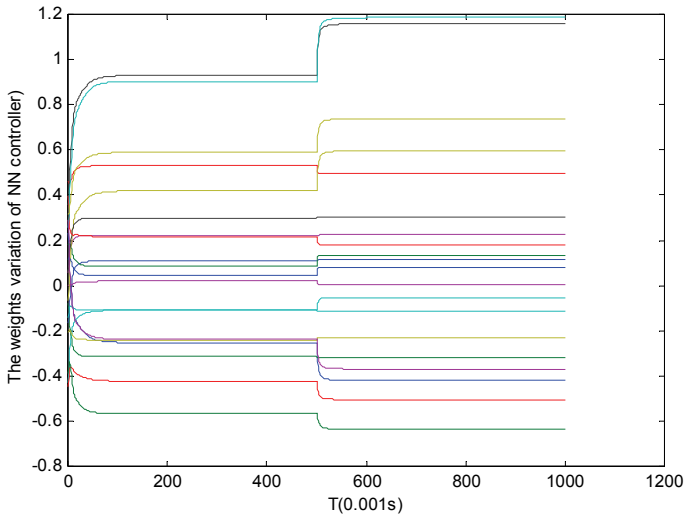
對負載干擾之轉速時間反應顯示 PI 控制器雖然俱有轉速回歸控制能力,但類神經網路控制器有較好的性能。類神經網路控制器速度調節性能優於 PI 控制器。模擬結果顯示類神經網路控制器俱有速度調節實用性，適用於 BLDC 壓縮機系統。



圖七 模擬應用 PI 控制器之馬達速度反應
(在時間0.5秒時輸入外在干擾1 Nm)



(a)馬達速度反應



(b)顯示各神經鍵值呈現收斂

圖八 模擬應用直接神經網路控制器之馬達速度反應
(在時間0.5秒時輸入外在干擾1 Nm)

伍、結　論

本文應用輸入命令與受控系統輸出誤差及誤差微分之線性組合近似線上訓練所須之倒傳遞誤差項(BPE)，不須估測受控系統靈敏度，可以免於建立受控系統數學模型及模擬器(emulator)，且加快神經鍵加權值之收斂速率。本文以數值模擬證明前述方法應用於 BLDC 節能空調系統具有良好效果。

參考文獻

1. R. S. Ahmed, K. S. Rattan, and I. H. Khalifa, “Real-Time Tracking Control of A DC Motor Using A Neural Network”, IEEE Aerospace and Electronics Conference, vol. 2, pp.593-600, 1995.

2. M. A. Hoque, M. R. Zaman, and M.A. Rahman, “Artificial Neural Network Based Controller For Permanent Magnet DC Motor Drives” IEEE Industry Application Conference, Thirtieth IAS Annual Meeting, vol. 2, pp.1775-1780, 1995.

3. A. Rubaai, and R. Kotaru, “Online Identification and Control of a DC Motor Using Learning Adaptation of Neural Networks” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, no. 3, June 2000.

4. F. M. EI-Khouly, A. S. Abdel-Ghaffar, A. A. Mohammed and A. M. Sharaf, “Artificial Intelligent Speed Control Strategies for Permanent Magnet DC Motor Drives,” IEEE Industry Applications Conference, IAS Annual Meeting, vol. 1, pp.379-385, 1994.

5. Y. Zhang, P. Sen, and G. E. Hearn, “An On-line Trained Adaptive Neural Controller,” IEEE Control Systems Magazine, vol. 15, no. 5, pp. 67-75, October 1995.

6. F. J. Lin, and R. J. Wai, “Hybrid Controller Using Neural Network for PM Synchronous Servo Motor Drive,” IEE Proceeding of Electric Power Application, vol. 145, no. 3, pp. 223-230, 1998.

7. F. J. Lin, R. J. Wai, and C. C. Lee, “Fuzzy Neural Network Position Controller for Ultrasonic Motor Drive Using Push-pull DC-DC Converter,” IEE Proceeding of Control Theory Application., vol. 146, no. 1, pp. 99-107, January 1999.

8. Chu, M.-H., Kang, Y., Liu, Y.-L., Chen, Y.-W., Chang, Y.-P., 2006, “An Adaptive Control Using Multiple Neural Networks for the Variable Displacement Pump,” Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol.4031, pp. 760-769. (SCI: 0.302, Ei)

9. Chu, M.-H., Kang, Y., Chang, Y.-F., Liu, Y.-L., Chang, C.-W., 2005, "Model-following Controller Based on Neural Network for Variable Displacement Pump," JSME International Journal : series C 46(1), pp. 176-187. (SCI)

10. Kang, Y., Chu, M.-H., Chang, C.-W., Chen, Y.-W., Chen, M.-C., 2007, “The Self-Tuning Neural Speed Regulator Applied to DC Servo Motor,” LNCS,2007 (SCI:0.513).

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第207-215頁

類神經網路控制應用於直流伺服馬達速度控制取樣頻率研究

The Research of Sampling Frequency for Artificial Neural Networks Applied to DC Servo Motor Speed Control System

朱明輝[1]　陳之維[1]　陳一維[1]　周金源[1]

[1]東南科技大學機電科技學系,台北縣深坑鄉北深路3段152號

摘　　要

本研究採用直接類神經網路控制設計直流伺服馬達之速度控制系統，使馬達保持精確的運轉速度。一般之類神經網路控制器，須要建立參考模型，以參考模型輸出與控制系統輸出之誤差進行誤差倒傳遞之線上訓練。本文則採自適應控制結構不須建立參考模型，以輸入之轉速命令與控制系統輸出轉速之誤差及誤差微分之線性和近似倒傳遞之誤差項，訓練類神經網路。可以免於建立數學模型及鑑別系統參數，且可以加快神經鍵權重值之收斂速率。本文以數值模擬探討取樣時間對前述方法造成之影響並以預先模擬訓練之神經鍵權重值作為類神經網路控制器初始值，則在低取樣頻率條件下可得到優化結果。

關鍵字：直流伺服馬達，速度控制，取樣頻率，類神經網路

ABSTRACT

This study utilizes the direct neural control (DNC) applied to a DC motor speed control system. The proposed neural controller of self-tuning strategy is treated as a speed regulator to keep the motor in constant speed without the specified reference model. A tangent hyperbolic function is used as the activation function, and the back propagation error is approximated by a linear combination of error and error's differential. The simulation results reveal that the proposed speed regulator keeps motor in constant speed with high convergent speed, but the convergent speed is affected by the sampling frequency. In general, the high sampling frequency will make the speed control system have favor performance, but company

with high CPU cost. This study use previous training method to evaluate the appropriate initial values of neural connective weights, then the speed control performance will be improved with low sampling frequency condition.

Keywords:DC servo motor, Speed control, Sampling frequency, Neural networks

壹、導論

一般利用多層類神經網路控制器進行直流伺服馬達速度控制大多使用間接類神經網路適應控制，使用此種控制架構必須設計離線或線上類神經網路判別器 [1-3]，而判別器必須預先進行離線訓練，系統複雜設計不易，且增加了 CPU 運算時間。本研究採用直接類神經網路控制設計直流伺服馬達之速度控制系統，可以不須設計離線或線上類神經網路判別器節省 CPU 運算時間，此外一般之類神經網路控制器，須要建立參考模型，以參考模型輸出與控制系統輸出之誤差進行誤差倒傳遞之線上訓練。本文則採自適應控制結構不須建立參考模型，以輸入之轉速命令與控制系統輸出轉速之誤差及誤差微分之線性和近似倒傳遞之誤差項，訓練類神經網路。可以免於建立數學模型及鑑別系統參數，且可以加快神經鍵權重值之收斂速率。

一般多層類神經網路控制應用鮮少探討取樣時間對類神經網路控制造成之影響。本文則以數值模擬探討取樣時間對前述方法造成之影響並證明增加取樣頻率將使前述方法具有較佳之輸出反應。

在直接類神經網路控制器發展方面 Zhang 及 Sen 於1995年[4]提出單隱藏層類神經網路線上學習型適應控制器，簡化系統靈敏度計算，只取其正負號，以誤差倒傳遞作線上訓練，他們以模擬船舶航行控制，證明其方法可應用於低反應性之非線性系統，控制器對干擾有良好的適應性；但是，其收斂速率較慢。Lin 及 Wai[5]根據 Zhang 及 Sen 之方法，提出δ適應法則，省略靈敏度之運算，以線上量得之誤差及誤差微分之線性和近似倒傳遞之誤差項，應用於特定學習架構之誤差倒傳遞類神經網路(BPN)，作為永磁同步伺服馬達速度及位移控制之模型參考適應控制器，並以 PID 控制器補償後之系統動態模型為參考模型，經模擬及實驗證明以參考模型結合類神經網路控制高反應系統，亦可以得到良好之收斂性。Lin 等人[6] 並提出證明，將δ適應法則應用於誤差倒傳遞類神經網路，只要適當調整學習速率，其線上訓練結果為收斂。Chu 等人[7] 提出誤差適應法則應用於誤差倒傳遞類神經網路，優化線上訓練收斂速率。

本文採用 Chu 等人[7] 提出誤差適應法則應用於誤差倒傳遞演算；以數值模擬探討取樣時間對前述方法造成之影響並以預先模擬訓練之神經鍵權重值作為類神經網路控制器初始值，則在低取樣頻率條件下可得到優化結果。

貳、控制系統描述

直接類神經網路適應控制器應用於直流馬達轉速控制系統如圖1所示。ω_r 為轉速命令，ω 為馬達輸出轉速。Lippmann 於1987年[8]提出單一隱藏層類神經網路足以對應線性與非線性函數輸入與輸出關係，單一隱藏層神經元最大數目應為 $M(N+1)$，M 為輸出層神經元數目，N 為輸入層神經元數目，在實際應用時，使用較少的神經元數目，常常已足夠達成很好的收斂效果。故本文應用單一隱藏層類神經網路選擇隱藏層神經元數為5對應直流馬達轉速動態特性。本文應用之直接類神經網路適應控制器為三層誤差倒傳遞類神經網路，含輸入層(以 i 代號)、隱藏層(以 j 代號)及輸出層(以 k 代號)，輸入層神經元數為2，隱藏層神經元數為5，輸出層神經元數為1。輸出層及隱藏層節點之轉移函數設計為雙曲正切函數，輸入層須將類神經網路之輸入量即轉速命令 ω_r 與馬達輸出轉速 ω 之誤差量及誤差量之微分進行正規化至－1與＋1之間；本文採用 δ 適應法則以系統期望輸出與實際輸出之誤差乘以 K_3，誤差微分乘以 K_4 二者之合近似倒傳遞誤差項，用以訓練神經網路；因為 K_3、K_4 為大於零之常數，可依誤差值範圍加以調整，加速類神經網路收斂速率。類神經網路應用雙曲正切函數做為激發函數，故類神經網路之輸出量為－1至＋1之間，經4.69倍增益後由 D/A 轉換器轉換為類比電壓輸出，輸入伺服放大器以驅動直流馬達。

參、類神經網路控制器與誤差適應法則

類神經網路控制器，其結構如圖一所示，其類神經網路為三層結構，如圖二所示；含輸入層(以下標 i 表示節點數)、隱藏層(以下標 j 表示節點數)及輸出層(以下標 k 表示節點數)，輸入層須將輸入信號正規化如圖一所示，將輸入信號乘 K_1，K_2，使輸入量正規化至-1與+1之間 ，輸出層及隱藏層節點之轉移函數設計為雙曲正切函數，對於隱藏層節點 j 之輸入為

$$net_j = \sum (W_{ji} \cdot O_i) + \theta_j \qquad i = 1,2,...I,\ j = 1,2,...J \tag{1}$$

節點 j 之輸出為

$$O_j = f(net_j) = \tanh(\beta \cdot net_j) \tag{2}$$

其中 $\beta > 0$。同理輸出層節點 k 之輸入為

$$net_k = \sum (W_{kj} \cdot O_j) + \theta_k \qquad j = 1,2,...J, \quad k = 1,2,...K \tag{3}$$

節點 k 之輸出為

$$O_k = f(net_k) = \tanh(\beta \cdot net_k) \tag{4}$$

兩式中 W_{ji} 及 W_{kj} 分別代表輸入層與隱藏層之間的神經鍵權重值，以及隱藏層與輸出層之間的神經鍵權重值；θ_j 及 θ_k 分別表示隱藏層及輸出層的偏權值。

對於單一輸入單一輸出之受控系統輸出層節點 k 之輸出 O_k 即為輸入受控系統之輸入量 u_P，對於第 N 次取樣時間之誤差函數定義為：

$$E_N = \frac{1}{2}(X_N - X_{PN})^2 = \frac{1}{2}e_N^2 \tag{5}$$

其中 X_N 及 X_{PN} 分別代表在第 N 次取樣時間下參考輸出及受控系統的真實輸出，在第 N 次至 $N+1$ 次之神經鍵權重矩陣更新為：

$$\Delta W_N = W_{N+1} - W_N = \alpha \cdot \Delta W_{N-1} - \eta \frac{\partial E_N}{\partial W_N} \tag{6}$$

其中 η 代表學習速率，α 為慣性常數。因此，輸出層及隱藏層之間神經鍵權重值對誤差函數之導數為

$$\frac{\partial E}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = \delta_k O_j \tag{7}$$

其中定義

$$\begin{aligned}\delta_k &= \frac{\partial E}{\partial net_k} \\ &= \sum_n \frac{\partial E}{\partial X_P} \frac{\partial X_P}{\partial u_P} \frac{\partial u_P}{\partial O_n} \frac{\partial O_n}{\partial net_k} = \sum_n \frac{\partial E}{\partial O_n} \frac{\partial O_n}{\partial net_k} \\ &= \sum_n \frac{\partial E}{\partial O_n} \beta(1-(net_k)^2),\ n = 1,2,...K\end{aligned} \tag{8}$$

其中 $\partial X_p / \partial u_p$ 為受控系統之靈敏度，由於系統的不確定性，使 $\partial X_p / \partial u_p$ 計算困難，然而對單一輸入單一輸出控制系統控制量只有一個時，根據誤差適應法則[7]，可以將類神經網路之輸出對誤差函數之導數近似為誤差及誤差微分之線性和，即

$$\frac{\partial E}{\partial O_k} = K_3 e + K_4 \frac{\mathrm{de}}{\mathrm{dt}} \tag{9}$$

其中 K_3, K_4 為大於0之常數。

同理，輸入層與隱藏層間神經鍵權重值對誤差函數導數為

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ji}} = \frac{\partial E}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} = \delta_j O_i \tag{10}$$

其中

$$\begin{aligned}\delta_j &= \frac{\partial E}{\partial net_j} = \sum_m \frac{\partial E}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial O_m} \frac{\partial O_m}{\partial net_j} \\ &= \sum_m \delta_k W_{km} \beta(1-(net_j)^2)\quad m = 1,2,..J\end{aligned} \tag{11}$$

輸出層與隱層以及輸入層與隱藏層之第 N 次權重值變量與前一次權重值變量定義為殘留慣量項(momentum term)之關係分別如下：

$$\begin{aligned}\Delta W_{kj,N} &= -\eta \frac{\partial E_N}{\partial W_{kj,N}} + \alpha \cdot \Delta W_{kj,N-1} \\ &= -\eta \delta_k O_j + \alpha \cdot \Delta W_{kj,N-1}\end{aligned} \tag{12}$$

$$\Delta W_{ji,N} = -\eta \frac{\partial E_N}{\partial W_{ji,N}} + \alpha \cdot \Delta W_{ji,N-1} = -\eta \delta_j O_i + \alpha \cdot \Delta W_{ji,N-1} \tag{13}$$

其中，η 及 α 分別為學習速率及慣量項係數，δ_j 及 δ_k 分別由式(11)及(8)所求得，神經鍵權重值矩陣由在第 N 次至 N+1次之更新為：

$$W_{kj,N+1} = W_{kj,N} + \Delta W_{kj,N} \tag{14}$$

$$W_{ji,N+1} = W_{ji,N} + \Delta W_{ji,N} \tag{15}$$

肆、動態模擬

模擬之直接類神經網路控制直流馬達轉速控制系統如圖一所示，組成元件有15W直流伺服馬達規格如表1所示、轉速計增益為1/150.8 V/rad/s、伺服放大器電壓增益為2.3、12位元雙極性(Bipolar) D/A 轉換器輸出電壓範圍為－4.99V 至＋4.99V。

表 1. 直流伺服馬達規格

Motor resistance R_a	3.18Ω
Motor inductance L_a	$0.53mH$
Inertia of rotor J	$24.3\times10^{-7}kgm^2$
Torque constant K_T	$23mNm/A$
Back emf K_B	0.00241V/rpm

模擬之直接類神經網路控制器輸入層神經元數為2，隱藏層神經元數為5，輸出層神經元數為1，如圖二所示，因為直接類神經網路控制器輸出值大小在－1與＋1之間，故須將其乘一增益值5，再由12位元雙極性 D/A 輸出(控制器輸出＋1時 D/A 輸出＋5V，控制器輸出－1時 D/A 輸出－5V)。

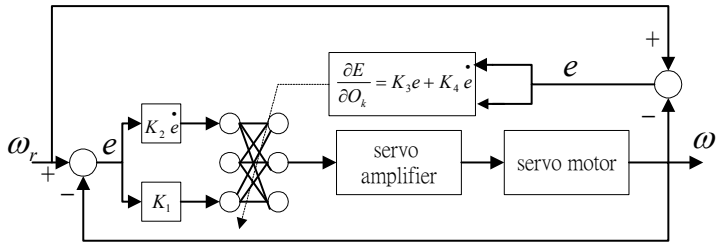
類神經網路控制器須將輸入信號大小正規化在－1與＋1之間，因此正規化之比例參數設為 K_1, K_2。誤差適應法則參數設為 K_3, K_4。類神經網路學習速率選擇0.1，因為轉速命令電壓與實際轉速量測電壓最大誤差值1V，故選擇 $K_1 = K_3 = 0.6$， == 0.01使輸入信號正規化至適當值。模擬設輸入命令為1V 之步階信號(對等於轉速150.8 rad/s)，在時間0.5秒時 (t=0.5s) 輸入外在步階干擾0.015 Nm，動態模擬取樣時間為0.001s，模擬結果如圖三所示，動態模擬取樣時間為0.0001s，模擬結果如圖四所示。圖四 (a) 為採用類神經網路控制器之轉速反應，圖四 (b) 為類神經網路控制器之輸出量，圖四 (c)為神經鍵權重值反應，顯示各神經鍵權重值呈現收斂。證明取樣時間短使馬達有較佳之轉速反應。

此外對負載干擾之轉速時間反應顯示圖四 (a)取樣時間短使馬達對負載干擾有較佳之轉速反應。模擬結果顯示類神經網路控制器適用於高精度速度調節系統。圖五為取樣時間為0.001s 動態模擬結果，模擬結果得到穩定之神經鍵權重值作為類神經網路控

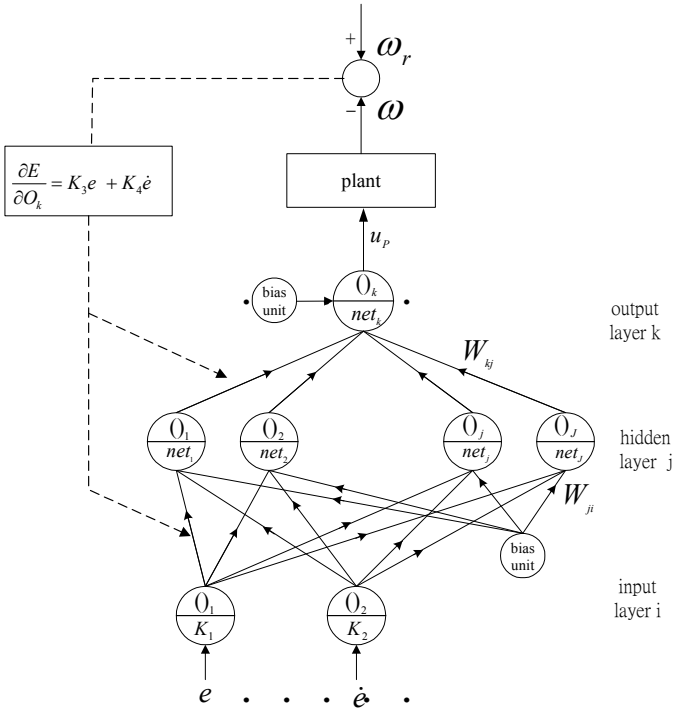
制器初始值，則模擬得到結果如圖六所示，顯示各神經鍵權重值呈現收斂且對負載干擾之轉速時間反應較圖三優化，本模擬得到結論為1. 動態模擬取樣時間為0.0001s 類神經網路控制直流馬達轉速有良好效果。2. 動態模擬取樣時間為0.001s 則預先模擬，模擬結果得到穩定之神經鍵權重值作為類神經網路控制器初始值，則可得到優化結果。

伍、結論

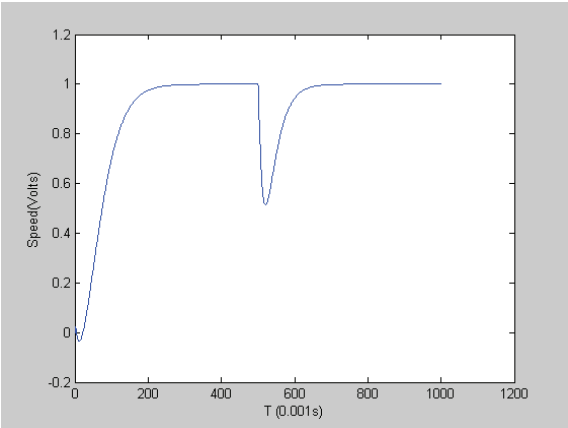
本文提出直接類神經網路適應控制器，不須要對受控系統預求參數，不須要建立系統參考模型，也不須要建立系統判別之類神經網路模擬器，即可完成線上自我學習，使直流伺服馬達保持精確之轉速。本文並以數值模擬探討取樣時間對前述方法造成之影響並提出二點結論:1. 動態模擬取樣時間為0.0001s 類神經網路控制直流馬達轉速有良好效果。2. 動態模擬取樣時間為0.001s 則預先模擬，模擬結果得到穩定之神經鍵權重值作為類神經網路控制器初始值，則可得到優化結果。



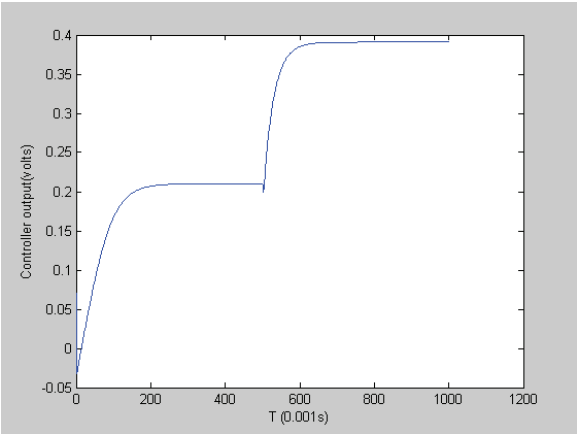
圖一直接類神經網路適應控制器應用於直流馬達轉速控制方塊圖



圖二類神經網路三層結構

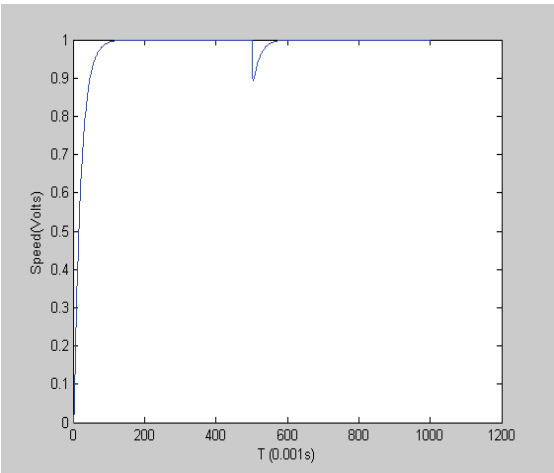


(a)馬達速度反應

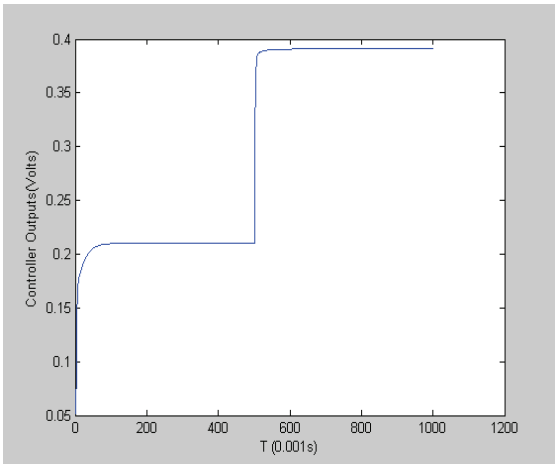


(b)控制器輸出量

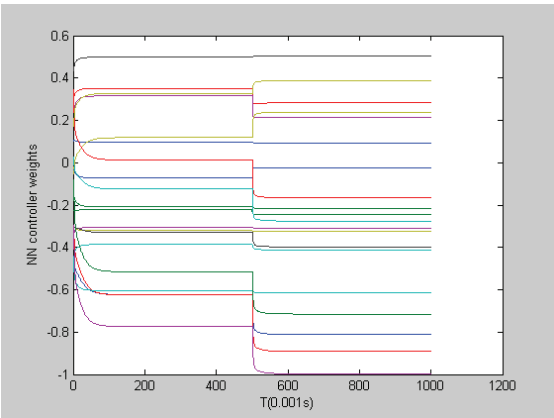
圖三直接類神經網路控制器馬達速度反應
(T=0.001S 時間0.5秒輸入外在干擾0.015 Nm)



(a)馬達速度反應

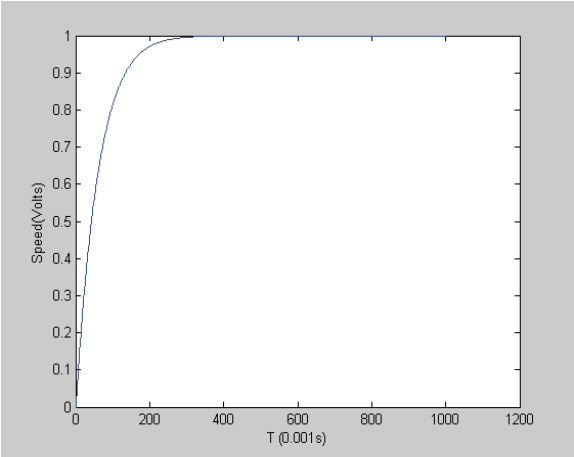


(b)控制器輸出量

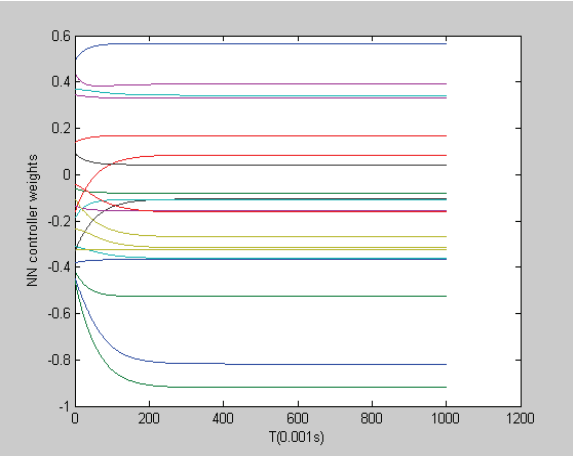


(c)顯示各神經鍵值呈現收斂

圖四直接類神經網路控制器馬達速度反應
(T=0.0001S 時間0.5秒輸入外在干擾0.015 Nm)

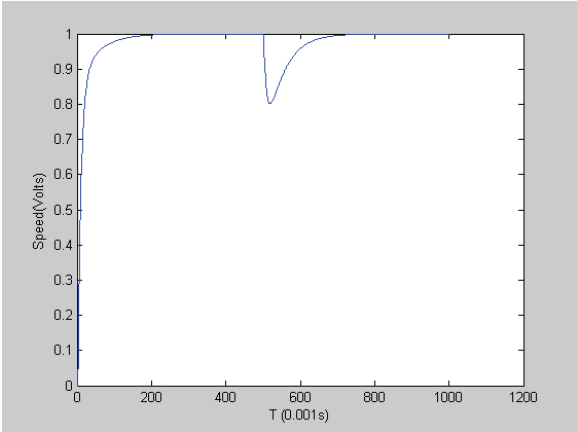


(a)馬達速度反應

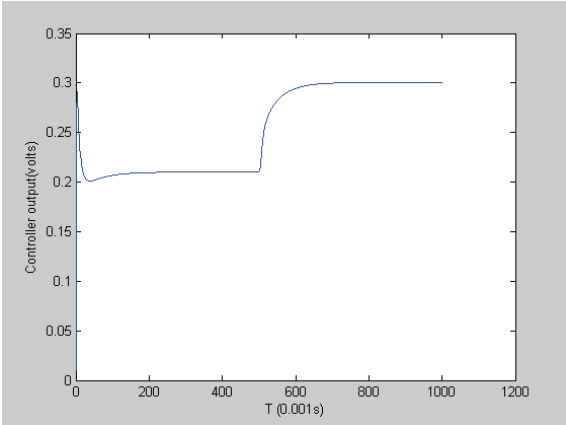


(b)顯示各神經鍵值呈現收斂

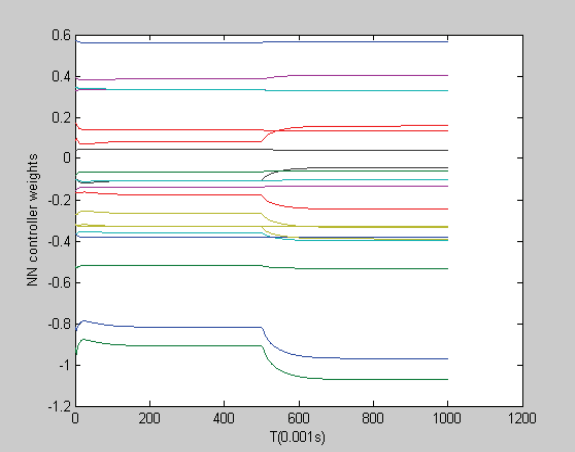
圖五 T=0.001S 直接類神經網路控制器馬達速度反應



(a)馬達速度反應



(b)控制器輸出量



(c)顯示各神經鍵值呈現收斂

圖六直接類神經網路控制器馬達速度反應
(T=0.001S 時間0.5秒輸入外在干擾0.015 Nm)

參考文獻

1. M. A. Hoque, M. R. Zaman, and M.A. Rahman, “Artificial Neural Network Based Controller For Permanent Magnet DC Motor Drives” IEEE Industry Application Conference, Thirtieth IAS Annual Meeting, vol. 2, pp.1775-1780, 1995.

2. A. Rubaai, and R. Kotaru, “Online Identification and Control of a DC Motor Using Learning Adaptation of Neural Networks” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, no. 3, June 2000.

3. F. M. EI-Khouly, A. S. Abdel-Ghaffar, A. A. Mohammed and A. M. Sharaf, “Artificial Intelligent Speed Control Strategies for Permanent Magnet DC Motor Drives,” IEEE Industry Applications Conference, IAS Annual Meeting, vol. 1, pp.379-385, 1994.

4. Y. Zhang, P. Sen, and G. E. Hearn, “An On-line Trained Adaptive Neural Controller,” IEEE Control Systems Magazine, vol. 15, no. 5, pp. 67-75, October 1995.

5. F. J. Lin, and R. J. Wai, “Hybrid Controller Using Neural Network for PM Synchronous Servo Motor Drive,” IEE Proceeding of Electric Power Application, vol. 145, no. 3, pp. 223-230, 1998.

6. F. J. Lin, R. J. Wai, and C. C. Lee, “Fuzzy Neural Network Position Controller for Ultrasonic Motor Drive Using Push-pull DC-DC Converter,” IEE Proceeding of Control Theory Application., vol. 146, no. 1, pp. 99-107, January 1999.

7. Kang, Y., Chu, M.-H., Chang, C.-W., Chen, Y.-W., Chen, M.-C., 2007, “The Self-Tuning Neural Speed Regulator Applied to DC Servo Motor,” LNCS,2007 (SCI:0.513).

8. R. P. Lippmann, “An Introduction to Computing with Neural Nets,” IEEE Acoustics, Speech, and Signal Processing Magazine, pp. 4-22, April 1987.

東南科技大學 東南學報 第三十五期 中華民國九十九年七月出版 第217-226頁

應用類神經網路以移動視窗法及單次訓練法預測台灣加權股價指數變動趨勢

Using Artificial Neural Networks by Moving Window and Single Batch Methods to Predict the Movement of Taiwan Stock Index

朱明輝[1] 陳之維[1] 徐憶文[2] 王嘉娟[2]

Ming-Huei Chu[1] Zhi Wei Chen[1] Yih-Wen Shyu[2] Jia Juan Wang[2]

[1]東南科技大學機電科技學系 [2]長庚大學工商管理學系暨研究所

[1]Dept. of Mechatronic Technology, Tungnan University [2]Dept. of Business Administration, Chang Gung University

摘 要

本文應用基金經理人常用之技術指標作為類神經網路預測模型的輸入變數。基於多層誤差倒傳遞類神經網路（Multi-Layers Backpropagation Artificial Neural Networks，MLBPN）建立類神經網路預測模型用於預測台灣加權股價指數漲跌幅。以2日、5日、10日、15日及22日加權股價指數漲跌幅為模型輸出變數，分別以230日及1095日訓練組數據對進行單次類神經網路訓練及移動視窗法類神經網路訓練，將訓練結果應用於預測台灣加權股價指數變動趨勢進行比較。

實證結果顯示預測2日加權股價指數漲跌幅之方向，準確度最高且訓練完成之收斂誤差最小，其次依序為5日、10日、15日、22日，而1,095日的訓練模型對於2日加權股價指數漲跌幅有最佳的預測準確度，由實證得知以較多的訓練資訊訓練類神經網路預測模型可以得到較高的準確度。

關鍵字： 台灣加權股價指數, 類神經網路, 技術指標, 移動視窗法

ABSTRACT

This research applies technical indexes, which usually used by the fund manager, to be the input variables for a neural predictive model. The neural predictive model based on the Multi-Layers Backpropagation Artificial Neural Networks is used to predict the variations in

sector stock index of Taiwan. The output variables of the proposed neural predictive model are the variations of 2、5、10、15 and 22 days stock indexes. The data pairs of 230 and 1095 days are used to train the neural models by conventional training, and the data pairs of 230 days are also used to train the neural predictive model by moving window training.

The simulation results reveal the prediction of 2 days variations of stock indexes is best accurate with least convergent error, and 5, 10, 15 and 22days prediction is second, third, forth, fifth respectively. The 2 days prediction with 1,095 days training data pairs has the best accuracy. It means more information for training will obtain better predictive accuracy.

Keyword：Taiwan Stock Index, Neural Networks, Technical Indexes

壹、簡介

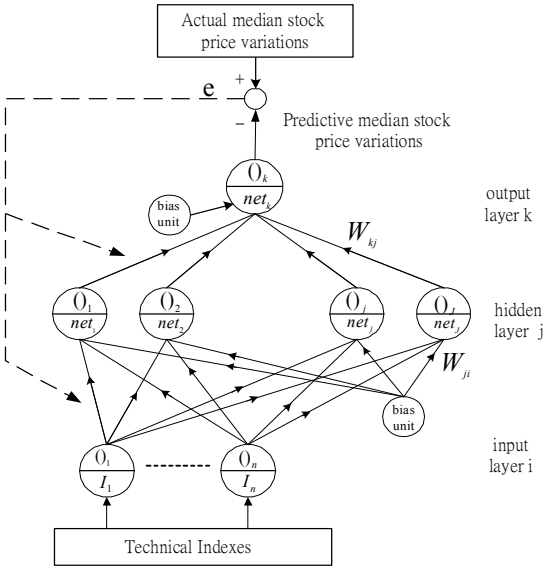
技術分析的基本假設在於「歷史會重複發生」，未來變動和過去有密切相關，可以利用過去資料建構一個分析模式，並且發展出各項技術分析指標，用以對於未來股票市場的變動提出一合理解釋。過去學者研究台灣股票市場發現，即使是投資績效最佳的幾種技術分析操作法則也無法持續地擊敗市場，即技術分析投資報酬的一致性並不存在，以過去有效的技術分析方法來從事股市投資，並不保證未來也能同樣地擊敗市場，即使在一個像台灣這種市場效率性並不高的股票市場，技術分析方法仍然無法持續地擊敗市場。

應用人工智慧科技進行財經分析或預測股價應是現今研究之重要方向，部分學者專家利用股市之價量關係或是技術指標，以倒傳遞類神經網路模型預測其未來價格之走向外，亦有人根據總體經濟面的變化，以類神經網路模型來研判未來股市的走向。部分學者專家利用倒傳遞類神經網路來預測股價指數。朱明輝及徐憶文等[1] 利用倒傳遞類神經網路配合技術指標，來預測台灣加權股價指數漲跌幅。研究結果顯示，倒傳遞類神經網路優於多元迴歸模式，此分析也說明倒傳遞類神經網路預測加權股價指數之可行性。Kimoto 和 Asakawa[2]利用倒傳遞類神經網路配合技術指標和經濟指標，來預測東京股價指數。研究結果顯示，倒傳遞類神經網路優於多元迴歸模式，此分析也說明倒傳遞類神經網路具有處理非線性迴歸之能力。王春笙[3]於股票擇時中應用倒傳遞網路及複回歸來預測台灣股票市場股價的漲跌。輸入值為從32 項技術指標選取10種輸入，並分別預測6 日、12 日、18日後之股價漲跌，研究指出台灣市場是可預測的，其中報酬依次為倒傳遞網路、複回歸模型、買入持有策略，且預測結果以18 日最為準確。吳宗正、溫敏杰、侯惠月[4]（2001）研究1998年9月2日至1999年12月28日之台股指數期貨隔日收盤指數，輸入當日指數開盤價、當日指數收盤價、當日指數最高價、當日指數最低價、當日成交口數、前日未平倉量、當日漲跌、時距、基差、3MA-6MA、6RSI、9KD、DIF –MACD 等13個變數，實證績效最佳模型依序為改良後類神經網路、迴歸模式、類神經網路模式及時間數列模式。

本研究以多位基金經理人及操盤人常用之技術分析指標作為類神經網路模型之輸入值，預測台灣加權股價指數漲跌幅。以2日、5日、10日、15日及22日加權股價指數漲跌幅為模型輸出變數，分別以230日及1095日訓練組數據對進行單次類神經網路訓練及移動視窗法類神經網路訓練，將訓練結果應用於預測台灣加權股價指數變動趨勢進行比較。實證結果得知如果訓練組資料充足對2日漲跌方向的預測準確度可達77.14%，顯示台灣股價指數在研究期間並非隨機漫步，證明本研究提出之方法有效，希望可以提供一般投資人和專業經理人買賣股票操作訊息及政府單位和研究機構對於制定政策的參考資料。

貳、類神經網路模型

本研究應用之類神經網路結構如圖1所示，其類神經網路為三層結構，含輸入層(以下標 i 表示節點數)、隱藏層(以下標 j 表示節點數)及輸出層(以下標 k 表示節點數)，輸入層須將輸入信號正規化，使輸入量正規化至-1與+1之間 ，輸出層及隱藏層節點之激發函數為雙曲線正切函數 $f(net) = \tanh(\beta \cdot net)$ 。



圖一.三層類神經網路結構

倒傳遞類神經網路通常是由三大部分所組成，包括輸入層、隱藏層和輸出層。Lippmann於1987[5]年提出單一隱藏層類神經網路足以對應線性與非線性函數，單一隱藏層神經元數目可為 $M(N+1)$，M 為輸出層神經元數目，N 為輸入層神經元數目，在實際應用時，使用較少的神經元數目，常常已足夠達成很好的收斂效果。所以本研究採用單一隱藏層類神經網路，輸入層使用10個輸入變數、隱藏層有11 個神經元、輸出層有1個神經元，學習速率 η=0.1、慣性量（Momentum）=0.1、激發函數為雙曲線正切函數。輸入層需將10 個輸入變數正規化，使輸入量小於1大於-1，在類神經網路的學習過程中，採用批次（Batch）學習一個訓練範例的方式，直到學習完所有的訓練範例後，才完成一次的學習週期（Epoch）。

參、實証研究方法

每一項技術指標均對加權股價指數的預測有其影響性，且各技術指標大部份是由股價最高、最低、開盤、收盤價、成交值、成交量及成交筆數配合時間序列所計算而得，因此變數的選用上可能會有重線性，惟運用倒傳遞類神經網路具有對權重值自我微調之特性，可以將具有影響的差異性突顯出來，並降低重線性的影響。應用多項技術指標預測加權股價指數漲跌幅，可將市場考慮為一多項輸入變數系統，而系統之輸出即為加權股價指數數漲跌幅。本研究採用倒傳遞類神經網路(BPN)架構建立多層類神經網路模型作為技術分析指標與加權股價指數之間的關係模型，期能改進線性迴歸或統計方法缺點，提昇預測模型的精確度及學習更新能力。

實證模擬研究採用2001年1月2日至2006年2月24日之開盤價、收盤價、最高價、最低價、成交量、成交金額及成交筆數等七項數據計算出10項技術指標 AR5、AR10、BIAS5、BIAS10、DVOL5、PSY5、RIS5、RSV5、RSV10、RSV22，並將其正規化。正規化方法如下：

一、若指標數值均大於0則

$$NI = \frac{Index - Index_{Min}}{Index_{Max} - Index_{Min}}$$

NI 為正規化之技術指標，Index 為當日指標值，$Index_{Min}$ 為研究期間所有指標最小值，$Index_{Max}$ 為研究期間所有指標最大值。

二、若指標數值有大於0及小於0則

$$NI = \frac{Index}{\left|Index\right|_{Max}}$$

其中 $\left|Index\right|_{Max}$

為研究期間所有技術指標值取絕對值後之最大值。

本實證研究加權股價指數漲跌幅，應用5日中位數為當日加權股價指數，因為加權股價指數每日均有開盤、收盤、最高及最低4個數值，且各別指數易受突發因素干擾，因此本研究以5日中位數作為當日加權股價指數，不但可適切表示當日加權股價指數，並且可以將突發的干擾因素影響力降低，有助於建立股價模型的準確度。加權股價指數漲跌幅中位數計算方法如下：

設 I_k 為第 k 天的基本股市交易資料為:

$$I_k = (O_k, H_k, L_k, C_k)$$

其中，O_k 為第 k 天的開盤價，H_k 為第 k 天的最高價，L_k 為第 k 天的最低價，C_k 為第 k 天的收盤價。則 k 日加權股價指數中位數為 P_k：

$$P_k = MEDIAN(\overset{k+2}{\underset{i=k-2}{O_i}}, H_i, L_i, C_i)$$

(取前後二日和 k 日股價中位數)

本研究的輸出變數有五個，分別是2日、5日、10日、15日、22日後之加權股價指數中位數漲跌幅：

$$F_2 = \frac{P_{k+1} - P_k}{P_k}$$

$$F_5 = \frac{P_{k+4} - P_k}{P_k}$$

$$F_{10} = \frac{P_{k+9} - P_k}{P_k}$$

$$F_{15} = \frac{P_{k+14} - P_k}{P_k}$$

$$F_{22} = \frac{P_{k+21} - P_k}{P_k}$$

本實證以誤差倒傳遞類神經網路模型，進行台灣加權股價指數之漲跌幅預測實驗，網路輸入變數與輸出變數如表1所示：

表1

輸入變數	輸出變數
X_1：AR5	Y_1：2日加權股價指數中位數漲跌幅 F_2
X_2：AR10	Y_2：5日加權股價指數中位數漲跌幅 F_5
X_3：BIAS5	Y_3：10日加權股價指數中位數漲跌幅 F_{10}
X_4：BIAS10	Y_4：15日加權股價指數中位數漲跌幅 F_{15}
X_5：DVOL5	Y_5：22日加權股價指數中位數漲跌幅 F_{22}
X_6：PSY5	
X_7：RIS5	
X_8：RSV5	
X_9：RSV10	
X_{10}：RSV22	

評估類神經網路模型多應用之評估標準為一般為 RMSE、MSE 及 MAE，其數值愈小，網路的預測能力就會愈準確。

一、平均誤差平方根（Root Mean Square of Error,RMSE）

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{P=1}^{n}\left(T_p - Y_P\right)^2}$$

二、平均誤差平方(Mean Square Error，MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^{n}(T_P - Y_P)^2}{n}$$

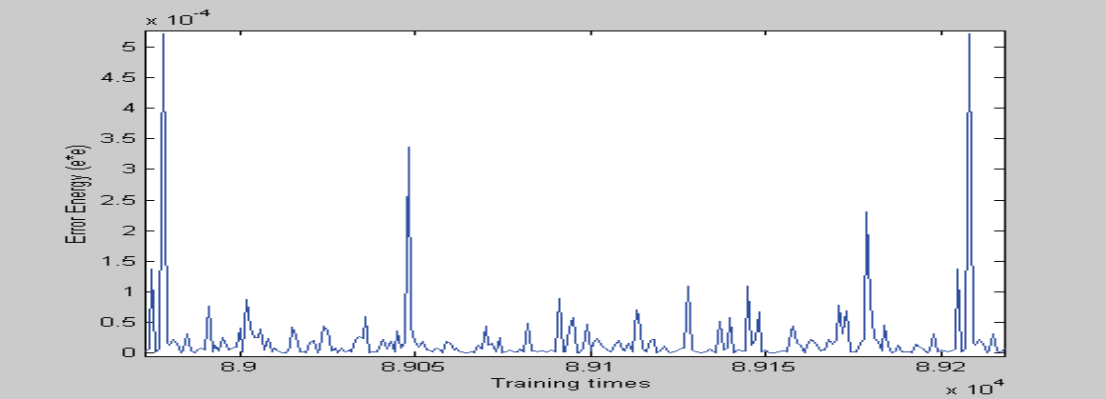
三、平均絕對誤差(Mean Absolute Eerror, MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{p=1}^{n}|T_p - Y_p|}{n}$$

其中T_p為實際值，Y_p為網路預測輸出值，n 為測試範例個數。

A. 230日單一訓練模型

230日單一訓練模型（A）訓練期自2004 年7月5日至2005 年6 月8 日共230個交易日，再以此模型預測2005 年6月13日至2006 年2 月24 日共175個交易日之2日、5日、10日、15日、22日加權股價指數漲跌幅，採用230批次400學習週期，訓練總次數為92,000次。定義輸出值之加權股價指數漲跌幅與實際加權股價指數漲跌幅如果同為正數（或負數）稱同向，若為異號（即一為正數一為負數）稱為異向，實證結果顯示模型（A）在完成92,000次訓練後，其230日的收斂誤差分部佈，因230日的230組數據對每日均有不同的收斂誤差值，故由圖二可觀察2日收斂誤差最大的一日其值為0.00052，5日收斂誤差最大的一日其值為0.00338，10日收斂誤差最大的一日其值為0.0054，15日收斂誤差最大的一日其值為0.0069，22日收斂誤差最大的一日其值為0.0082，可歸納越近期的預測模型訓練，收斂誤差越小。表2顯示2日預測結果同向性最高，其次為5日、10日、15日、22日，表3顯示2日、5日、10日、15日、22日預測之誤差 RMSE、MSE 及 MAE 值。



圖二　模型（A） 2日誤差收斂局部放大圖

表2　模型（A）預測值與實際值之同向性

同向性	2日	5日	10日	15日	22日
模型（A）	74.29%	71.43%	66.86%	60.00%	48.57%

表3 模型（A）之 RMSE、MSE 及 MAE

預測175次	2日	5日	10日	15日	22日
RMSE	0.003996	0.014654	0.025656	0.033024	0.043021
MSE	0.000016	0.000215	0.000658	0.001091	0.001851
MAE	0.003042	0.011497	0.021069	0.027919	0.037198

B.1,095日單一訓練模型

訓練期自訓練期自2001 年1月2 日至2005 年6 月8 日共1,095個交易日，以此訓練模型預測2005年6月13日至2006 年2 月24 日共175個交易日之2日、5日、10日、15日、22日加權股價指數漲跌幅，採用1,095批次400學習週期，訓練總次數為438,000次。實證結果如表4顯示2日預測結果同向性最高，其次為5日、10日、15日、22日，表5顯示2日、5日、10日、15日、22日預測之誤差 RMSE、MSE 及 MAE 值。

表4.模型（B）預測值與實際值之同向性同向性

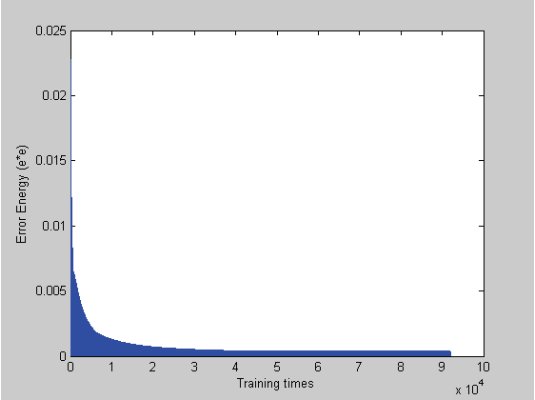
同向性	2日	5日	10日	15日	22日
模型（B）	77.14%	59.43%	61.71%	57.71%	52.00%

表5.模型（B）之 RMSE、MSE 及 MAE

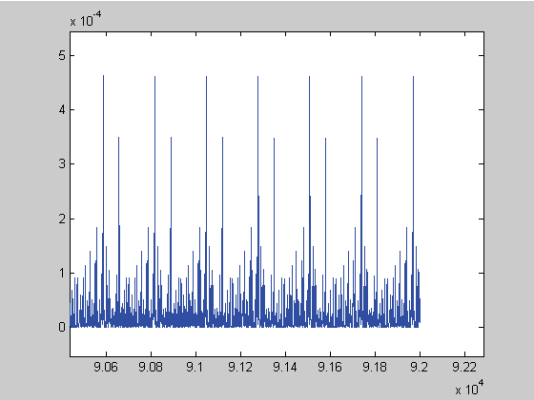
預測175次	2日	5日	10日	15日	22日
RMSE	0.003705	0.01466251	0.02388632	0.03017949	0.04418074
MSE	0.000014	0.00021499	0.00057056	0.0009108	0.00195194
MAE	0.002870	0.01156286	0.01968229	0.02406457	0.03484857

C.模型（C）移動視窗模型

採用同樣誤差倒傳遞類神經網路模型，第1次訓練期為2004 年7月5日至2005 年6月8 日共230個交易日，以此模型預測2005 年6月13日之2日、5日、10日、15日、22日加權股價指數漲跌幅；第2次訓練期自2004 年7月6日至2005 年6 月9 日共230個交易日，以此模型預測2005 年6月14日之2日、5日、10日、15日、22日加權股價指數漲跌幅，以此類推預測2005 年6月13日至2006 年2 月24 日共計175個交易之日2日、5日、10日、15日、22日加權股價指數漲跌幅。實證結果如圖三表示2日92,000次之誤差收斂過程，圖四表示訓練誤差以達收斂成為穩定值。表6.顯示2日預測結果同向性最高，其次為5日、10日、15日、22日，表7.顯示2日、5日、10日、15日、22日預測之誤差 RMSE、MSE 及 MAE 值。



圖三表示2日第1次移動視窗之誤差



圖四2日92,000次訓練後穩定之誤差

表6.模型（C）預測值與實際值之同向性同向性

同向性	2日	5日	10日	15日	22日
模型（C）	70.29%	57.14%	57.14%	50.29%	43.43%

表7.模型（C）之 RMSE、MSE 及 MAE

預測175次	2日	5日	10日	15日	22日
RMSE	0.003906	0.015156	0.025074	0.035185	0.042657
MSE	0.000015	0.000230	0.000629	0.001238	0.001820
MAE	0.002983	0.011974	0.020682	0.027842	0.035354

肆、實証結果比較

在本節中將不同模型的預測結果進行比較，將以同向性的比率及 RMSE、MSE 與 MAE 做為比較標的，同向性比率愈高表示預測值的漲跌幅方向與實際值越相同，RMSE、MSE 與 MAE 愈低表示誤差愈小，預測值愈接近真實值。由表8.可以知三種模型預測加權股價指數漲跌幅同向性皆以2日為最佳，其中模型（A）預測5、10、15日之同向性較其他模行好；模型（B）不但所預測之2日同向性為所有天期與模型中最高，且在22日之同向性預測上亦優於其他模型。另由實證可得知類神經網路預測加權股價指數漲跌幅時，預測2日之 RMSE、MSE 及 MAE 較預測5日小，即預測2日加權股價指數漲跌幅較準確，同樣現象也發生在預測10日、15日、22日時，即預測2日加權股價指數漲跌幅精確度優於5日，5日又優於10日，預測10日又優於15日、22日。綜上所述以模型（B）預測2日加權股價指數漲跌幅無論在同向性及預測誤差上都優於其他模型及其餘天期。

表8.三種模型之同向性比較表

同向性	2日	5日	10日	15日	22日
模型（A）	74.29%	71.43%	66.86%	60.00%	48.57%
模型（B）	77.14%	59.43%	61.71%	57.71%	52.00%
模型（C）	70.29%	57.14%	57.14%	50.29%	43.43%

表9.三種模型之 RMSE、MSE 與 MAE 比較表

RMSE	2日	5日	10日	15日	22日
模型（A）	0.003996	0.014654	0.025656	0.033024	0.043021
模型（B）	0.003705	0.014663	0.023886	0.030179	0.044181
模型（C）	0.003906	0.015156	0.025074	0.035185	0.042657

MSE	2日	5日	10日	15日	22日
模型（A）	0.000016	0.000215	0.000658	0.001091	0.001851
模型（B）	0.000014	0.000215	0.000571	0.000911	0.001952
模型（C）	0.000015	0.000230	0.000629	0.001238	0.001820

MAE	2日	5日	10日	15日	22日
模型（A）	0.003042	0.011497	0.021069	0.027919	0.037198
模型（B）	0.002870	0.011563	0.019682	0.024065	0.034849
模型（C）	0.002983	0.011974	0.020682	0.027842	0.035354

伍、研究結論

本研究以類神經網路為預測模型，作為台灣加權股價指數之預測。本研究結果顯示訓練組資料充足時對2日漲跌方向的預測準確度可達77.14%，實証分析結果顯示台灣股價指數在研究期間並非隨機漫步，本研究提出之類神經網路模型以技術指標作為輸入變數，可以有效預測台灣股價指數漲跌方向，實証結果並強化對此研究方向的信心。

參考文獻

1. 朱明輝等，應用類神經網路預測台灣股價指數變動，2009 數位科技與創新管理研討會、DTMC，華梵大學,台北縣，2009 年。
2. 關寅麟，技術分析投資報酬一致性之研究──臺灣股市的實證，東海大學企業管理研究所碩士論文，1992 年。
3. 王春笙，以技術指標預測台灣股價漲跌之實證研究-以類神經網路與複迴歸模式建構，國立台灣大學，碩士論文，1996 年。
4. 吳宗正等，類神經網路及統計方法在台股指數期貨預測研究之比較，成功大學學報，第 36 卷，人文社會篇，P.91-109，2001 年。
5. Kimoto、T. and K. Asakawa、”Stock market predication system with modular networks,” IJCNN-90-Wash、1、1-6 , 1990.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第227-237頁

台灣國家級風景區遊客人次預測-灰預測理論之應用

The forecasting of tourists number in National Scenic Area in Taiwan-The Application of Grey Predicting Theory

吳怡彥[1]　陶翼煌[2]　林政逸[3]

Yi-Yen Wu　Yi-Huang Tao　Cheng-Yi Lin

[1]東南科技大學環境管理系助理教授（通訊作者）　[2]東南科技大學環境管理系副教授　[3]國科會社會科學中心博士後研究員

摘　要

觀光需求預測長久以來是觀光遊憩規劃中重要的議題。關於預測方法的運用，據統計達300多種，運用於觀光需求或遊客人次預測之量化評估則多以 ARIMA 預測模型、迴歸分析、重力模型等方式進行實證研究。然而由於上述方法需要大量的資料，往往無法面對環境內外部因子的快速變化。灰色系統理論的產生則可以提供不確定環境灰色因子的建模，透過灰色生成、GM 模型建構與誤差檢測，提供觀光產業預測的新方向。本研究以國家風景區作為實證範圍，透過整併方式，對遊客人次以全國、區域與個別國家風景區的層次進行加總，並進行遊客人次預測。結果顯示灰色系統理論，在各層次所提供的預測值，皆較過去建構之預測模型誤差值更低。且發現透過不同層次劃分，顯示較精細之範圍劃分，所獲得之預測值合併，較經整併後之預測值精確度高。研究結果引導出灰預測模型應用的限制，亦提供經過不同整併方式可提高精確度之建議。

關鍵詞：灰色系統理論、國家級風景區、觀光需求預測

ABSTRACT

The prediction of tourism demand has been an important factor as tourism planning is proceeded. According to some references, the number of prediction methods is more than 300, and these methods used in the estimation of tourism demand are involved with ARIMA, Regression Analysis, Gravity Mode. However, these methods can not afford to deal with the swift transformation of the inner and outer factors, because they need a lot of data. The appearance of Grey System Theory may provide a new direction to solve these problems,

and it can build a model to predict the tendency of tourism demand through Grey Generating and error examination under the unreliable environment. This research try to arrange Taiwanese National Scenic Area in different divisionsn and predict the number of the tourists in National Scenic Area. The result shows that this theory can provide more accurate prediction in any divisions. Furthermore, it also proves that the accuracy can be improved through the predictions of more detailed units rather than an abstract division. As a result, this paper implies the restriction of grey predicting theory and provides more accurate way in predicting the number of tourists with the method.

key word： Grey system theory, National Scenic Area, Tourism Demand Prediction

壹、前言

二十世紀末到二十一世紀間，觀光產業快速崛起，依據世界觀光組織(World Tourism Organization)公布統計資料，觀光產業本身佔全球生產總額已達11％（陳世圯，2001）；國際貿易組織（World Trade Organization）所公布數字，觀光產業相關產值更高達全球貿易總額的三成以上。為配合此國際趨勢，政府近年來亦積極擴展觀光事業，行政院更配合「挑戰2008-國家重點發展計畫」提出觀光倍增計畫。在此一目標下，不僅相繼增設國家風景區，更期盼透過旅遊線的串連、觀光活動舉辦與增設遊憩點等方式活絡觀光產業，進而帶動產業之升級。國內主要觀光遊憩景點人次也從民國86年的4188萬人次大幅成長到93年的1億3千萬6百萬人次，七年內成長3倍多，至96年更提昇至約1億5千萬人次。其中公營遊憩區據點旅次歷年來皆佔總體旅次達7成以上；而國家風景區則是公營遊憩據點中相當重要的一類型，佔整體旅次逐年上升，於民國93年已達全國總遊憩景點人次2成[1]，至民國96年雖有些微下滑，但仍為重要的觀光遊憩區類型。國家風景區遊客人次已然成為國民旅遊成長之指標。

然而依據 Butler(1980)所提的觀光遊憩區生命週期法，觀光產業之成長將在一定週期內遭遇瓶頸，如何讓觀光事業得以永續經營，則需透過合理的觀光旅次評估預測，進而研擬經營管理策略，進行設施的規劃與更新。因此國家風景區遊客人次的成長趨勢分析有其相當之必要性。國內既有對觀光遊憩旅次預測之研究，多以 ARIMA 預測模型、迴歸分析最小平方法乃至動態系統模型進行操作。然而旅次的成長，涉及統計方式本身增列遊憩景點之影響，另外亦有政府觀光政策利多之釋放、公共建設之投入與國民所得成長等因素，其涉入因子相當多元，但又隱晦未明。既然涉及之因子充滿不確定性，如同黑箱（black box）一般，進行預估時如何將其納入，即充滿爭議性。因此本文將嘗試以不確定理論所衍生之灰預測理論（grey predicting theory）對於國家風景區之旅次進行預測，並與既有國家風景區旅次預測之研究相互對照比較討論之。

[1] 依台閩地區主要觀光遊憩區遊客人數統計，各類別中以公營觀光區類最高，達國內主要觀光遊憩區遊客數之32.5%，其後依次為國家風景區、寺廟、民營觀光區與國家公園等。

貳、觀光預測方法與研究架構設計

預測方法的操作，通常是透過對過去發生的事實建立關係，並以此作為對未來趨勢的預估。溫坤禮等（2002）以為一般作為預測之模型有兩種，其一為行為模型，即以全系統作為數據建立模型之基礎，一般認為此類模型為全訊息性。其二為因子模型，乃以影響系統的主要影響因子數列建立之模型，其雖非全訊息性模型，但在有限時間精力下，仍可藉其對於特定因子進行預測。以下概述既有預測模型歸納，進而初探既有關於觀光預測之研究，並就研究架構進行說明。

一、預測方法

在量化方法上主要以時間序列分析（time series analysis）為核心，其運算方式涉及到迴歸方法與類神經網絡等量化模型。此外，與其相關者之計量經濟模型，則有重力模型、馬可夫鍊（Markov）預測法。時間序列是指同一種現象在不同時間上的相繼觀察值排列而成的一組數位序列。時間序列的變化大體分爲四種：趨勢變化、周期變化（季節變化）、迴圈變動和隨機變動。時間序列預測方法分爲兩大類。一是確定型的時間序列模型方法，具體可分爲趨勢預測法、平滑預測法、分解分析法，二是隨機的時間序列分析方法。此外，於質化研究方法上，多數仍以傳統問卷法為核心，亦即透過問卷獲取受訪者對於未來之觀感，並予以評價，進而透過統計的歸納分析，找出共同的評價方向，以為預測之基礎。尤其衍伸出之相關研究方法則有德爾菲法（Delphi，亦稱專家經驗統計判斷法），即透過訪問經過篩選的專家群，進行問卷結果的回饋以獲取共識之意見；此外亦有專家會議法、輔助判斷模型法與模糊德爾菲法等等。

二、觀光預測相關研究

Sheldon（1985）與 Witt(1995)等學者皆曾對過去有關觀光預測之研究進行文獻回顧。並歸納實證方法為三大類，即時間數列模型、計量經濟模型與專家意見法。普遍認為前兩者之量化模型，無單一方法可獲得最佳之預測值。就研究法而言，類神經網路運用(Pattie,etc,1996；Shamsuddin Ahmed,etc,1999)、重力模型（黃昭通，1994）、綜合性自我迴歸與移動平均模型（ARIMA）（尚和生，1992；塗三賢，1999；陳淑女，2000；施瑞峰，2000；陳石麟，2003）等皆曾經被用在過去觀光預測之研究上。就研究範圍而言，主要在各遊憩據點的旅客人次預測上，部分則為國與國間的國際觀光旅次預測，亦有以國際觀光飯店住宿求為研究者（施瑞峰，2000）。總體而言，過去之研究方法，以 ARIMA 運用的最廣，就研究範圍上，則以國家公園、森林遊樂區、特定風景區等遊憩據點最多。原因應與 ARIMA 預測績效較佳，而特定遊憩據點之遊客旅次統計資料較完備有關。灰色理論雖已廣泛運用於各類數據的預測上，但在觀光需求預測之研究則較為少見[2]。本研究整理國內相關文獻，僅有一篇應用於國人出國觀光需求之預測上（左家毓，2004），大陸則廣泛應用在城市旅遊、遊客來源、特定景區等等面向（衛海燕，2000；羅朝霞，張樹夫，2005；何榮國, 鄧國和，2007；黃國宏等，2007）。相關之英文文獻則有 Wang（2004）於 Tourism Management 提出以模糊

[2] 參見國內碩博士論文資料，以灰預測進行數據探討者達178篇，內容則涉及股市、航運指數、績效、用電量等等，不一而足，但應用於觀光預測者，僅有一篇。

時間序列（fuzzy time series）與灰色理論（grey theory）的人工智慧整合介面，以預測台灣、香港、美國與德國的觀光產業需求。另外 Wu 等（2008）則以灰色理論的GM(1,1)模型應用在觀光飯店的表現預測上，皆顯示其高度的精確性。

三、研究架構設計

委於傳統時間序列分析之計算方式過於繁瑣，故多將原始資料予以整併，以簡化冗長之計算過程。然而本文以為在量化分析上如將不同細項之數據，透過空間或類型的整併後再行計算，將造成某種程度的失真。以本研究欲探索的國家風景區為例，過去之研究，將11處國家風景區[3]之遊客旅次，合併為北部、中部、南部與東部四組時間序列數據進行推估(林倉龍，2004)。但因行政體系之編制，歷史過程中各區域內國家風景區的組成是變動的，因此如以整體之總和數據進行預測分析，誤差值恐有變動。如同傳統對於地方行政體系的人口預測，亦可能因為鄉鎮併入市而造成預測之偏誤，因此如能回歸基本行政單位進行預測，再行整併分析，將可進行不同分區方式精確度之比較。此外，灰色理論認為以過於龐大的歷史數據對於未來進行預測，將因為過去與當代政策與社會巨大的差異性，而擴大其誤差；因此建議以近年之少數據為基礎，以推估未來，反而更具有可信度。基於以上理念，本研究之研究設計如下圖所示，即先行確認遊客需求預測於觀光遊憩規劃之重要性，並評估是否有替代方法，可以以更有效率與簡約之方式進行需求預測，以此奠定研究之出發點。並透過文獻回顧與分析以為灰色理論在觀光遊客人次預測運用之基礎。再者，將各國家風景區之相關資料，依據既有研究，劃分為北部區域、中部區域、南部區域與東部區域，並予以整併，獲知各區域之遊客人次；再將整體國家風景區人次予以加總，獲得歷年我國國家風景區之年旅遊人次。且為與林倉龍（2004)研究進行對比，以瞭解灰預測理論對照於傳統預測方法的精確度，本文以該研究所探討之時間序列數據，作為本研究實證之運算之原始序列。

此外，為驗證本研究之假設，即以越基本的行政單元劃分之預測，其準確度當有所變動，本研究透過國家風景區不同層次的單位組合，獲得不同的時間序列數據，進行灰預測模型建構。因此獲得12個國家風景區、四大區域與整體國家風景區，共17個灰預測模型，以為預測年遊客人次預估之基礎。期望彼此間的加總與整併，可以對比其不同層次的精確度。最後，則將不同群組計算結果與既有研究之比較分析以瞭解灰色理論在國家風景區旅客人次預測之可行性。

參、灰預測理論於國家級風景區觀光客預測之實證

為驗證整體個別計算後的整併與區域計算的差異，本文將以灰預測理論對依不同組合單位之原始序列進行預測評估。整體之實證程序，首需確認研究範圍，以掌握固定範圍數據的時間變化；再者，利用原始數據，建構灰預測模型；並以此灰預測模型進行預估，進而檢驗誤差值；最後以灰預測之結果與既有研究相互比較分析之。

[3] 此研究進行之際，雲嘉南濱海國家風景區尚未納入國家風景區範圍。

一、範圍界定

進行時間序列之資料分析前，必須對於原始數據資料來源先行定義。依據「台閩地區主要觀光遊憩區遊客人數統計」的歸類，將遊憩區劃分為國家公園、國家風景區、公營觀光區、縣級風景特定區、森林遊樂區、海水浴場、民營觀光區、寺廟、古蹟與歷史建物、其他等十項。目前部分國家風景區在精省前原屬省級風景特定區[4]，故仍有部分統計資料可尋，部分新增之國家風景區則歷史統計資料相當有限。本文為與既有之研究進行比較分析，則依該研究對於國家風景區整併之方式，分為北中南東四區。

二、灰預測模擬

由於灰預測理論之模型建構，只需要四個原始數列即可以進行推估，考量6處國家風景區為西元2000年後方成立，且為與林倉龍（2004）研究進行對照比較[5]，本研究以四點建模精神為主，取2000年後至2003年共四年之數據作為推估依據，至於2004年後資料，則置於後續結論時輔助之用。其相關數據表示於下表中的$x^{(0)}(k)$[6]。

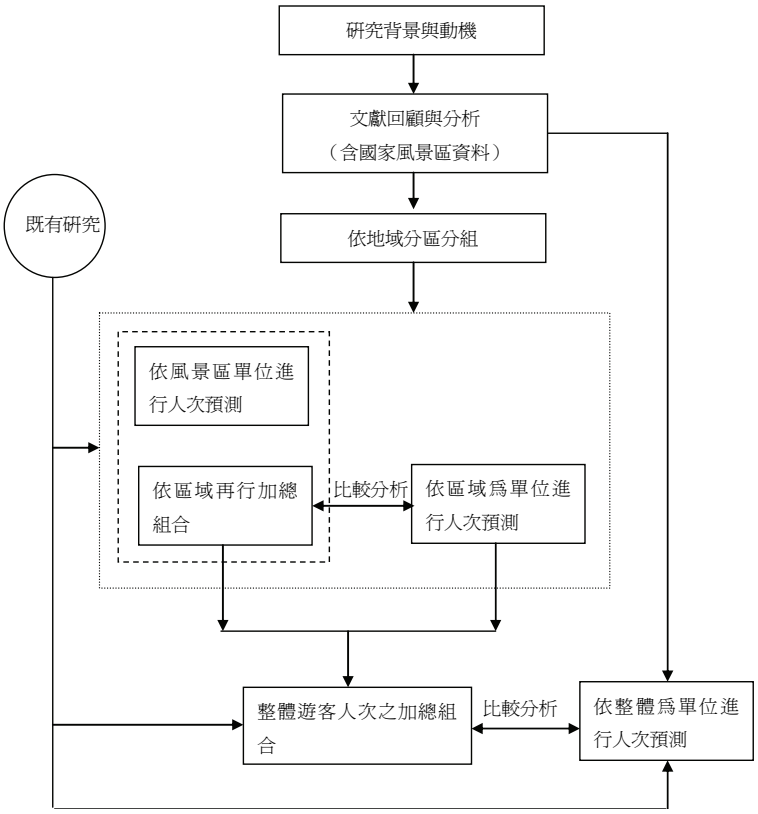


圖1 研究流程圖

[4] 如日月潭國家風景區原有日月潭遊客服務站；參山國家風景區原有的獅頭山、梨山與八卦山三處風景區；北海岸風景區等過去皆屬於省級國家風景區。

[5]林倉龍（2004）乃利用 Box-Jenkins 的四個步驟建立 ARIMA 預測模型及利用迴歸分析最小平方法進行北中南東四大區域國家風景區的實證研究。

[6] 北海岸國家風景區、參山國家風景區、阿里山國家風景區與茂林國家風景區雖皆於2001年後方成立，但因國家風景區內據點，過去屬省級風景特定區，已有部分統計數據，本研究將其納入統計。

（一）各級風景區灰預測模式建模

由於台灣共有12個國家風景區[7]，如全部依照上述灰預測建模程序進行操作，將使本文篇幅過於冗長，因此本文擬以東北角海岸國家風景區進行試算過程。[8]

1.整理原始序列，即 $x^{(0)}=(1053755,1404900,1551824,1989347)$

2.透過灰生成（AGO），整理累加序列 $x^{(1)}=(1053755,2458655,4010479,5999826)$

3.由背景值 $x_1^{(1)}(t)$ 之定義，計算 $z^{(1)}=(1756205,3234567,5005153)$

4.建構 Y 矩陣： $Y=\begin{bmatrix}1404900\\1551824\\1989347\end{bmatrix}$

5.建構 B 矩陣： $B=\begin{bmatrix}-1756205 & 1\\-3234567 & 1\\-5005153 & 1\end{bmatrix}$

6.求解係數 $\hat{a}$ ： $\hat{a}=\left(B^TB\right)^{-1}B^TY$

式中 $(B^TB)^{-1}=\begin{bmatrix}0 & 0\\0 & 2.4312\end{bmatrix}$， $B^T=\begin{bmatrix}-1756205 & -3234567 & -5005153\\1 & 1 & 1\end{bmatrix}$

因此獲得係數 $a=-0.1820787538$ ， $b=1042008.5079286229$ 。將其代回預設式，可獲得灰預測模型，再將序列關係數 k 代入，可求得各年之模擬值。本文將計算所獲得各國家風景區之歷史模擬數據與真實數據整理如下表：

---

[7] 另有西拉雅國家風景區於2005年底成立，相關統計資料有所不足，故未納入探討。

[8] 其模型以 G(1,1)表示之。原式為：
$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b, z^{(1)}(k)=0.5(x^{(1)}(k)+x^{(1)}(k-1))$, 且 $x^{(1)}(\mathrm{k})=(\sum_{\mathrm{m=1}}^{\mathrm{k}}\mathrm{x}^{(0)}(\mathrm{m}))$

表3 國家風景區遊客人次預測表（2000-2003）

類型	國家遊憩區		時間（西元）			
			2000	2001	2002	2003
北部區域	東北角海岸國家風景區	$x^{(0)}(k)$	1053755	1404900	1551824	1989347
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	1353346	1623621	1947872
		e(k)%	---	3.6696	4.6266	2.0849
	北海岸及觀音山國家風景區	$x^{(0)}(k)$	3138530	2944648	3521001	4698272
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	2846351	3621845	4608624
		e(k)%	---	3.3381	2.8641	1.9081
中部區域	日月潭國家風景區	$x^{(0)}(k)$	1040242	1081832	1228421	1593502
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	1043881	1276988	1562150
		e(k)%	---	3.508	3.9536	1.9675
	參山國家風景區	$x^{(0)}(k)$	4736712	9216398	12442561	4163583
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	10737482	8478106	6694146
		e(k)%	---	16.5041	31.8621	60.7785
	阿里山國家風景區	$x^{(0)}(k)$	363176	697220	1079300	913553
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	800695.1	892997.9	995941.3
		e(k)%	---	14.8411	17.2614	9.0184
南部區域	茂林國家風景區	$x^{(0)}(k)$	1049474	1254264	1671642	1963683
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	1290376	1598344	1979814
		e(k)%	---	2.8791	4.3848	0.8215
	澎湖國家風景區	$x^{(0)}(k)$	867406	1008167	704123	906801
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	929032	871362.1	817272
		e(k)%	---	7.8494	23.7514	9.8731
	馬祖國家風景區	$x^{(0)}(k)$	56585	66749	78063	94419
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	66043.91	78666.13	93700.69
		e(k)%	---	1.0563	0.7726	0.7608
	大鵬灣國家風景區[9]	$x^{(0)}(k)$	---	152143	147541	220228
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	---	117517.8	219892.6
		e(k)%	---	---	20.349	0.1523
	雲嘉南濱海國家風景區[10]	---	---	---	---	---
東部區域	東部海岸國家風景區	$x^{(0)}(k)$	2726014	2214003	2244677	3359786
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	2003772	2534294	3205277
		e(k)%	---	9.4955	12.9024	4.5988
	花東縱谷國家風景區	$x^{(0)}(k)$	1462135	1674587	2009724	2037669
		$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	1044609	1517853	2205493
		e(k)%	---	54.8517	24.4745	8.2361

備註：表中 $x^{(0)}(k)$ 為真實統計之遊客人次，$\hat{x}^{(0)}(k)$ 為預測值，e(k)%則為誤差值

[9] 大鵬灣國家風景區欠缺2000年資料，故以2001至2004年資料估計，為配合各風景區年分估計，僅呈現前3年模擬值。

[10] 雲嘉南國家風景區成立於2003年年底，僅有2004年資料，故不予計算。

（二）區域風景區預測模式建模

同理，以四大區域國家風景區歷年之遊客人次進行數據模擬。結果表示如下：

表4 區域風景區遊客人次預測表（2000-2003）

類型		時間（西元）			
		2000	2001	2002	2003
北部區域國家風景區	$x^{(0)}(k)$	4192285	4349548	5072825	6687619
	$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	4198591	5247187	6557670
	e(k)%	---	3.4706	3.4372	1.9431
中部區域國家風景區	$x^{(0)}(k)$	6140130	10995450	14750282	6670638
	$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	12671768	10716658	9063200
	e(k)%	---	15.2456	27.3461	35.8671
南部區域國家風景區	$x^{(0)}(k)$	1967465	2481323	2601369	3185131
	$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	2398344	2734482	3117731
	e(k)%	---	3.3441	5.117	2.1161
東部區域國家風景區	$x^{(0)}(k)$	4188149	3888590	4254401	5397455
	$\hat{x}^{(0)}(k)$	---	3750416	4452693	5286472
	e(k)%	---	3.5533	4.6609	2.0562

三、歷史值誤差驗證

上文中，已將各模擬遊客人次值，透過誤差公式進行估算。其誤差公式可表示為：

$$|e(k)| = \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\%$$

由前列預測表觀察，其誤差值多數在個位數，顯示具相當精確程度之預測能力。就個別風景區而言，12個風景區僅參山國家風景區與花東縱谷風景區有明顯的誤差；就區域尺度而言，僅中部區域有明顯的誤差，而就台灣整體旅次之預測而言，更僅在2002年，有略高於10%的誤差。此外，由於各年份模擬值與歷史值誤差均不相同，另外以平均殘差公式作為瞭解灰預測模型對於歷史值的檢驗能力之工具，其公式可表示如下：

$$\bar{e}(k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^{n} |e(k)|$$

上式中 n 為原始序列數據數，因 k=1時，$x^{(0)}(k)$ 為初始值，未能有模擬值與其對照，故無誤差值，需予以剔除。由此，獲得各分項之殘差值如下表，由表中可以發現多數的誤差值皆低於10%。就個別國家風景區而言，僅有參山國家風景區與花東縱谷偏誤較大；就區域而言，僅有中部區域之國家風景區有明顯誤差，其餘誤差皆低於5%以下；就全國而言，平均殘差值亦低於10%。

表6 國家風景區各層級平均殘差值表（2000年-2003年）

類別	平均殘差值（$\bar{e}(k)$%）	類別	平均殘差值（$\bar{e}(k)$%）	類別	平均殘差值（$\bar{e}(k)$%）
		北部區域	2.95	東北角海岸國家風景區	3.00
				北海岸及觀音山國家風景區	3.00
		中部區域	26.15	日月潭國家風景區	3.00
				參山國家風景區	36.38
				阿里山國家風景區	13.71
		南部區域	3.53	茂林國家風景區	2.70
				澎湖國家風景區	13.82
				馬祖國家風景區	0.86
				大鵬灣國家風景區	11.09
				雲嘉南濱海國家風景區	---
		東部區域	3.42	東部海岸國家風景區	9.00
全國	8.98			花東縱谷國家風景區	29.19

肆、研究結果分析

一、依層次分劃預測之比較分析

傳統量化模型，為計算之便，多將真實生活中之數據，予以概約化處理。如人口學研究，以城市為單位之操作遠多於以鄰里為單位之研究；地理資訊系統(GIS)以50m為邊之方格分割進行空間研究，常無法反應真實的資料分佈。縱使其歸類方式有其科學依據，且研究亦多具價值，然吾人以為灰預測理論因可簡化繁瑣之計算，故可使研究者將精力投注在更貼近真實的細微單位上之估算分析，以提高研究之可信度。以下就本研究之結果，加總為最大之全國國家風景區之遊客人次量進行比較。亦即將各國家風景區之預測值與四大區域國家風景區之預測值分別加總為整體國家風景區預測值， 再與全國遊客人次之單位進行之灰預測值相較。由結果可以清楚的發現，隨著預測單元分劃之細緻，其誤差值明顯的由14%大幅降低到4%，可以證實本研究假設。

表8　2004年各層級預測之全國國家風景區遊客量

全國之真實人次	國家風景區模擬值加總		區域模擬值加總	
	人次	誤差	人次	誤差
27414725	28375723	4%	25691370	6%

二、與既有研究之比較

本文之預測基礎乃奠基在林倉龍（2004）對國家風景區遊客預測之研究上。因此最後結果將以各區域國家風景區遊客人次預測數值與其比較分析。結果顯示，除北部

區域之預測值外，其餘三區域其誤差值皆遠低於既有之研究預測值。但因北部區域過大之誤差，仍無法顯示灰預測理論預測之精確度，故比較全國國家風景區遊客人次總和。結果顯示不同組合方式之灰預測，其誤差值皆遠較既有研究低。由此可知經過細部分割範圍預測，再加總其總量，因內部的灰色數據運作，可大幅降低誤差值；以僅6%的誤差而言實屬精確度相當高，足見灰預測理論在觀光遊憩區域預測之實用性。

表9 與既有研究之預測值比較

類別	真實遊客人次	本研究預測		相關研究預測	
		旅客人次	誤差值	旅客人次	誤差值
北部區域	5450952	8195445	50%	5486228	1%
中部區域	11256067	7664851	32%	6647527	41%
南部區域	4734425	3554694	25%	2851366	40%
東部區域	5973281	6276380	5%	4621472	23%
全國	27414725	25691370.17	*6%	19606593	28%

備註：*此數據為以區域單位進行的灰預測值，依分劃單位之不同，由小到大灰預測結果之誤差依序為4%、6%與14%。

參考文獻

一、中文部份:

1. 史開泉（1994）、灰色信息關係論，台北縣：全華科技圖書股份有限公司。
2. 左家毓（2004）、灰色預測理論應用於國人出國觀光需求預測之研究之研究，義守大學管理科學研究所碩士論文。
3. 交通部觀光局（2002）、交通政策白皮書-觀光客倍增計畫，台北市：交通部觀光局。
4. 交通部觀光局（2007）、觀光統計年報，台北市：交通部觀光局。
5. 何榮國、鄧國和（2007）、桂林市旅遊人數的時間序列預測模型，廣西科學院學報，3：153-156。
6. 吳宗瓊（2002）、淺談生態旅遊，應用倫理研究通訊，24：54-59。
7. 尚和生（1992）、台灣地區國民旅遊人次估計及需求預測，淡江大學管理科學研究所碩士論文。
8. 林倉龍（2004）、國家級風景特定區遊客人次預測之研究，朝陽科技大學休閒管理研究所碩士論文。
9. 施瑞峰（2000）、台灣國際觀光旅館國人住宿率預測之研究，朝陽科技大學休閒管理研究所碩士論文。
10. 陳世圯（2001）、積極規劃三通-繁榮觀光產業，國家政策論壇，1卷5期：102-

110。

11.陳石麟（2003）、資料採礦於預測國人出國觀光需求之應用-以整體、香港和澳門為例，台灣大學資訊管理研究所碩士論文。

12.陳淑女（2000）、台灣地區國家公園遊客量之預測，朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文。

13.黃昭通（1994）、重力模式應用於戶外遊憩需求預測之實證研究-以南投縣境內之遊憩區為例，中興大學森林學研究所碩士論文，台北。

14.黃國宏、謝浩、張安華、宋笑然、郭占勝（2007）、森林公園客流量的灰色預測，河南林業科技，2：87-92。

15.塗三賢、吳萬益、林俊成、任憶安（1999）、台灣地區國有林森林遊樂區遊客人數與營收變動之分析，戶外遊憩研究，12卷4期：61-72。

16.溫坤禮（2002）、灰預測原理與應用，台北縣：全華科技圖書股份有限公司。

17.衛海燕（2000）、上海市日本游客客流量的灰色预测模型，山西大學學報，23(2):76-92。

18.鄧聚龍（1999）、灰色系統理論與應用，台北市：高立圖書有限公司。

19.羅朝霞、張樹夫（2005）、數列灰預測在旅遊統計與預測上的應用－以江蘇省為例，南京師大學報(自然科學版)，28（2）：117-121

二、英文部份：

1. Butler, R.(1980),The concept of a tourist area cycle of evolution. Canadian Geographer, 24: 5-1

2. Pattie Douglas C. and John Snyder(1996), Using a neural network to forecast visitor behavior. Annals of Tourism Research, 23(1): 151-164.

3. Shamsuddin Ahmed and James Cross.(1999), A tourist growth model to predict accommodation night spent in Australian hotel industry, Paper presented at SIRC 99-the 11 Annual colloquium of spartial information research center, 213-222, New Zealand : University of Otago.

4. Wu, W.Y., Hsiao, S.W.; and Tsai, C.H.(2008), Forecasting and evaluating the tourist hotel industry performance in Taiwan based on Grey theory, Tourism and Hospitality Research, 8(2):137-152

5. Wang, C.H.(2004), Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory, Tourism Management, 25(3):367-374.

6. Sheldon,P.J. and T.Vor.(1985),Tourism Forecasting: A Review of Empirical Research., Journal of Forecasting, 14: 183-195.

7. Witt, S.F. and Christine A. Witt.(1995), Forecasting tourism demand: A review of empirical research. International Journal of Forecasting, 11: 447- 475.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第239-245頁

企業流程再造使用資訊科技之研究

A Study on Business Process Reengineering Using Information Technology

蘇承先

東南科技大學資訊管理系 講師

摘　　要

資訊社會今已成型，資訊科技在加強和維護企業競爭上扮演一個關鍵角色，並且當系統發展生命週期的方法論給軟體發展程序帶來一些規則，而資訊工程將該程序實現於企業流程再造活動。再造工程技術用來聯合企業體的每個領域：人、策略、技術和企業處理流程。在企業再造活動中，特別強調開發和維護系統品質。

關鍵詞：資訊科技、系統發展生命週期、企業流程再造

ABSTRACT

The information society has been built already now, the information technology plays a key role in enhancement and maintenance of business competition, and the methodology of system development life cycle brings some rules for the software development procedure, and the information engineering realizes this procedure in the business process reengineering activity. The engineering technology has been applied to Integrate each domain of business organization : people, strategy, technical and commercial process procedure. It has been stressed on development and maintenance of system quality in the business process reengineering activity.

Key words: information technology ; system development life cycle; business process reengineering

壹、緒論

一、背景

社會發展到今天，我們發現除了資本、勞力和土地之外，生產主要因素還包括材料、能源和資訊。隨著世界迅速從一個工業社會經濟轉到服務驅動的經濟，資訊成為經濟發展和變動的催化劑。硬體價格下降、增加了處理能力和擴展的通訊服務都全歸功於商業資訊時代帶來的科技便利。從資訊技術的有效運用所獲得的好處包括成本降低、性能改善、品質改進， 和新產品與服務的建立。

二、目的

世界由工業化國家帶領朝向一個資訊化的社會，並且幾無疑問的對資訊科技(Information Technology, IT)的應用將扮演在加強和維護企業競爭力的一個關鍵角色。這種企業經營方式根本轉變導致很多機構審視其企業運作過程而經常被發現過時和無效率的，所以必須為企業進行流程再造，以鞏固企業競爭優勢地位。

三、重要性

作為企業流程根本性重新考慮和再設計達到在績效表現的重大改善。具體企業流程經過一段時間會自然發生績效遞減，企業資訊系統幾年前的設計結構和可利用的技術與今天大大不同。當系統隨著時間進展需要改善時，他們傾向於維護和提高現有系統功能而不是利用企業再造工程作更深遠的改善。

現行的企業程序大多不合時宜，四點說明如下:

1. 程序的設計，必然和環境需求、科技條件相關
2. 組織結構通常設計來配合程序
3. 科技環境改變，程序之改變一般皆為片面之改進，缺乏整體檢討
4. 必須善加利用環境需求、科技條件改變所帶來的機會，檢討營運模式、流程和組織

所以，企業流程根本性改造是企業當務之急，已不容置疑。

貳、文獻探討

2.1 企業流程再造

企業流程再造 (business process re-engineering, BPR)—由(邁可・韓默 、 詹姆斯・錢辟 Michael Hammer & James Champy, 2005）定義：針對核心企業程序，進行根本的檢討和激烈的重新設計，來達成包含品質、成本和週期等方面突破性的改進，企業再造並不是要修補現狀。企業再造講的是要全部重來，從頭開始，企業再造給組織帶來一種實用方法去再設計和改變過時或太複雜的結構，通常再設計包括改變的工作定義、管理控制、操作步驟和工作理念與行為。資訊系統是推行企業再造工程的利器，

可能使將停止運作的企業組織從根本再設計和達到有效的改善，再造工程展示出以新方式執行舊任務的功能。有超過一半的資訊系統經理反應說協助企業再造工程是重要的職責且可減少研發時間，而集中於客戶/伺服器系統(client/server systems)和規劃再造工程專案是資訊系統經理所面對的重要挑戰(范錚強 C.K. Farn, 1999)。

2.2 資訊系統開發

開發系統比科學需要更多點藝術成分，在交付能用和有用的系統產品的關鍵性成功因素是系統設計師的技能。軟體開發的基本特徵包括(Moad, J., 1993)：

1. 在實際撰寫程式之前，須先發展一個整體計劃
2. 需整合新的和現有系統
3. 系統未能符合用戶需要的可能
4. 建立有用和最新文件的困難
5. 在系統的生命期內，系統的持續維護

2.3企業流程

流程是一組有結構的、可以衡量的活動，替顧客或市場產生特定的產出，來達成特定目的(Cranwick, K., 1994)。

流程的特性：

1. 一連串在不同的地點和時間順序達成的工作步驟
2. 有清楚的開始和結束點
3. 有明確定義的輸入和產出
4. 顧客導向
5. 有清楚的工作描述
6. 有明確的「主管」
7. 具有意義而可衡量的績效指標

現行的企業流程大都不合時宜，四點說明如下(Kendall, K., Kendall, J. , 1988)：

1. 流程的設計，必然和環境需求、科技條件相關
2. 組織結構配合流程設計
3. 科技環境改變帶動流程改變，然而一般皆為片面的改進，缺乏整體檢討
4. 必須善加利用環境需求與科技環境改變所帶來的機會，檢討營運模式

因此，有賴於 BPR 的實施，以改善不適合的企業流程。

參、資訊系統發展方法

我們討論資訊系統發展，包括系統開發生命週期(systems development life cycle, SDLC)和資訊工程(Information Engineering, IE)與軟體工程(Software Engineering, SE)與企業流程再造(Business Process Reengineering, BPR)的關係，傳統資訊系統開發的方法論將 SDLC 分為以下七個步驟：

1. 確認問題、機會和目標
2. 確定資訊要求
3. 系統分析需求
4. 設計被推薦的系統
5. 系統發展和文件說明
6. 測試系統
7. 系統建置、評估和系統維護

SDLC 方法給軟體開發過程帶來了一些依據與步驟，以符合現代企業的資訊要求，可據此來建立一個加強應用軟體功能的方法、工具和技術系統。IT 的進展可能導致轉移傳統角色為 IT 專家和資訊用戶，新一代熟練的用戶將參加重要任務應用的發展，並且 IT 部門從資訊集中資料庫和控制轉入到業務功能區域，客戶端伺服器技術替換計算機主機，營業單位和 IT 的加入可能為即將改進的系統品質和功能提供好的改良機會，IT 不會停止開發企業資訊系統，並且最佳的選擇也許是彼此聯合開發所需的系統。

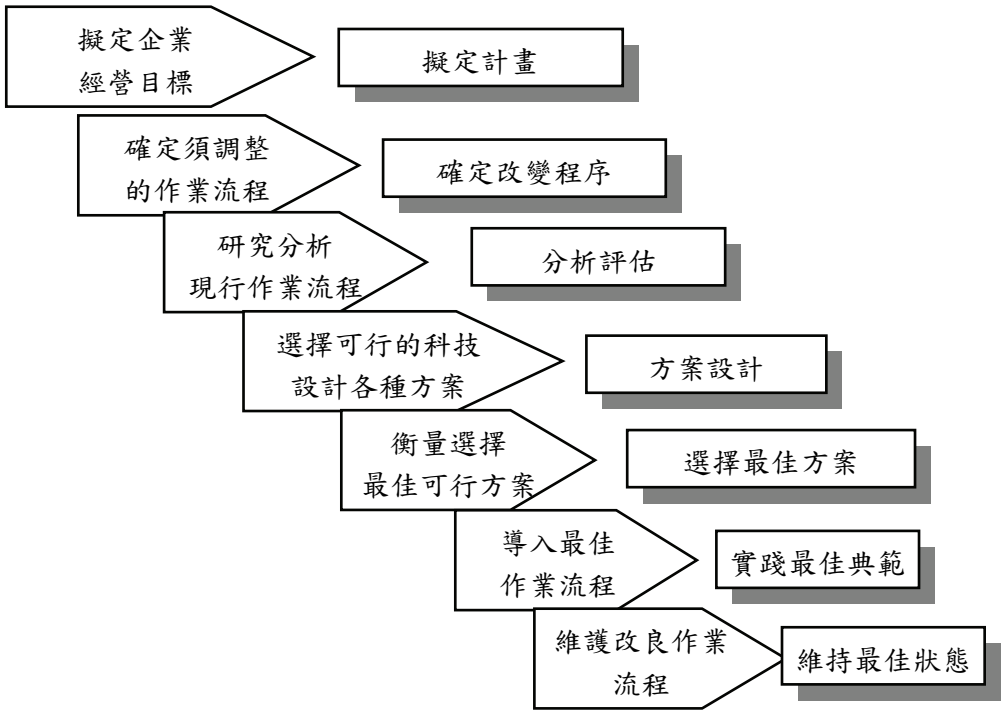
IE 是使用資料驅動分析和設計技術支持系統開發週期的邏輯設計階段，分析員需要清楚地定義被修改的系統的資料要求。IE 從全面資訊系統的發展展開計劃，並且開發資料模組，以要求的資料元素的個體(entities)和關係(relationships)來支持一個具體業務功能。用 IE 方法學建立的系統反映企業的經營戰略或經營計劃，以保證發展一個更加適當的資訊戰略。 以下八項計劃實施步驟描述 IE 成功策略：

1.建立處理變動的框架
2.建立一個 IE 方法學實施計劃為時間、資源需求、項目管理和訓練活動
3.決定衡量實施的進展和成功的方法
4. 確定可利用的充分資源
5. 支持適當的方法學
6. 實施計劃
7. 解決問題
8. 衡量成功應用到下個發展項目

該注意的是多數計劃實施步驟牽涉管理問題而不是技術問題。系統運轉中，軟體很少與經常改善的硬體同步，導致舊程式執行在新的設備，然而新技術的特點無法被充分利用。SE 可以描述為實際應用開發、操作和設計維護程式。軟體工程減少系統複雜性，使未來企業環境品質更好並也簡化程式維護並且增加程式員的生產力，而軟體再造(software re-engineering, SRE)的整體目標是減少維護費用和改進軟體靈活性，現今再造被劃分成一些功能活動，包括：

1. 與硬體和軟體相關的系統再造
2. 軟體工程，包括再造工程和設計補救技術

BPR 給組織帶來一種實用方法去再設計和改變過時或太複雜的結構，下圖一所示”企業流程再造過程”是達到業績重大改善的企業流程和系統與組織結構再設計。企業實施 BPR，其原因可能包括不良財務、市場過度激烈競爭等。



圖一 企業流程再造過程圖

BPR 的根本核心方法學與技術是來自 SRE 方法學，其再造過程的第一步驟是收集資訊。這包括辨認企業需要和要求作為開發手段以完成有效的系統。在這初步期間有重要的二個活動，第一個是估計發展契機，第二個是完成一個為什麼要做它的利益分析。 這兩個活動的發展提案包括：

1. 技術發展活動
2. 資源要求，包括人力、硬體和軟體或軟體開發
3. 完成時間表
4. 獲取、開發或符合指定的資源需求的估計

一旦決定上述步驟後，接下來是發展整個系統要求文件，將進一步定義系統的功能要求。 系統要求文件內含如下：

1. 提供系統解答
2. 作為閱讀了解憑依
3. 確保全部系統項目可一覽無遺
4. 包含硬體工作平台、資料庫伺服器、整個系統可測量性和軟體開發工具。

系統要求文件完成並且描述為每個系統元件提供詳細的功能定義及規格。 一旦計劃到位，再造努力轉移到項目管理問題而不是一個技術問題。 當參加大規模軟體工程項目時的管理特點如下：

1. 有效資源的部署
2. 統一不同和不相容的軟體
3. 創立標準促進互用性
4. 為資料分享系統創造效率
5. 精減完成任務的過程

有關管理再造特點如下：

1. 持續需要的管理和承諾
2. 注意技術、組織和人的方面;
3. 系統包括多餘和錯誤容許(fault tolerance)的功能
4. 合併 SRE 和 BPR
5. 使用分析工具，例如電腦輔助軟體工程工具

肆、研究方法

本研究採用電腦輔助軟體工程(Computer Aided Software Engineering, CASE)工具導向法，CASE 是使用於資訊系統開發工作，提供系統開發一套完整的架構與支援各種設計的方法論，建立企業模型與系統模型，而且 CASE 工具導向法可與 ARIS 方法論作充分的結合，在眾多的企業流程建模與分析的方法論中，如 ARIS(Architecture of Integrated Information Systems)、TOVE(Toronto Virtual Enterprise)、IDEF(ICAM DEFINITION)、PERA(Purdue Enterprise Reference Architecture)等，由於 ARIS 自學理、方法論到軟體工具最為完整，並且支援內建的標準流程模型，ARIS 主要有四個面向：1. 組織 2.資料 3.功能 4.控制，它是以系統性來表現企業流程的狀況，是很好的工具方法，所以採用資訊工程與軟體工程所使用的 CASE 工具發展出來的導向法應用於 BPR。

伍、研究結果與發現

本研究沒有評論 BPR 每種方法和評估明確的工具，然而我們要指出有關於針對模式和方法而使用 CASE 工具來描述流程的一個特點如下：

1. 有必要把流程置於企業模式(Business Model)
2. CASE 工具缺乏充分支援 BPR 設計活動

Business Model 呈現企業的整體運作架構，對於 CASE 工具應用於 BPR 設計上，基礎的企業流程必須呈現在 Business Model 裡；傳統的 CASE 工具常被用來支持 BPR，CASE 使用軟體工程的處理流程描述的階層功能解析方式，各個處理活動雖有資料流連結，然而卻無介面充分表達該資料流的性質內涵，因此 CASE 工具不能充分描繪 BPR 設計活動，較適合對設計過程與結果，予以文件化，然而對較小規模的企業實施 BPR，使用 CASE 工具是一個很好的選擇，因為過程與結果的文件化是 SE 所注重的 IT 品質，致使 SDLC 得以良性發展，裨益 BPR 的實施。

陸、結論

隨著全球企業資訊化的風行，企業面臨與日俱增的競爭壓力，常會利用 IT 來提升企業競爭力，改善作業流程，希望能夠開源節流，以及完成企業策略目標，因此都了解使用 IT 的必要與重要性；然而 IT 軟體開發以傳統方式運作和維護經常是效率很低的，也許是不善於利用當前技術能力，以致無法完全符合組織的資訊要求，軟體工程可以減少系統複雜性，維護程式品質，而軟體再造則能改進軟體靈活性， BPR 的根本核心方法學與技術是來自 SRE 方法學。

IT 是啟動 BPR 的促成者，若沒有 IT 和企業流程間的互動，BPR 將無法充分落實於企業運作；由於企業既有之作業流程會因 IT 環境的進展而隨之改變，若 BPR 未能掌握好開發方法與工具的性能特色，會導致不良的流程再造效果，因此應了解 IT 對企業流程的影響，而提出兩個觀點：

1. 企業隨著 IT 的進展，逐漸體會到利用 IT 實施 BPR，並整合加強其功能是提升企業體質、增強競爭力的首選方式。
2. 是應該好好的開發設計處理流程，再選擇適合的 IT 工具，或是先推出一個 IT 工具，作為 BPR 的最佳典範(best practice)以為遵循，這的確是值得我們深思研究的議題。

綜合言之，企業必須隨著資訊時代的進展，資訊科技日新月異，企業組織、作業流程因而變化，應以妥善的方式，審慎使用 IT 工具，適當改造企業，以面對瞬息萬變的經營挑戰。

參考文獻

1、邁可・韓默 、 詹姆斯・錢辟（Michael Hammer & James Champy），(2005/07/07)，”重組流程，再造企業（Reengineering the Corporation）”，大師輕鬆讀，第135期。

2、范錚強，C.K. Farn， (1999) “Reengineering the New Business Model — The Foundation of Electronic Commerce,” Industrial Automation (in Chinese), Volume 16

3、Cranwick, K., (1994) "Technology's place in business change", Business Review Weekly, 11.。

4、Moad, J., (1993) "New rules, new ratings as IS reengineers", Datamation, 1.。

5、Kendall, K., Kendall. J. (1988), “Systems Analysis, Design”, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, NJ。

東南科技大學 東南學報 第三十五期 中華民國九十九年七月出版 第247-254頁

班級管理資訊系統

A Class Management Information System

蔡佳麟[1] 陳映竹[2] 李唯霜[2] 林士傑[2] 許舒茜[2] 姜宇鴻[2]

Jia-Lin Tsai[1] Ying-Chu Chen[2] Wei-Shuang Lee[2] Shih-Chieh Lin[2] Shu-Chian Hsu[2] Yu-Hong Jiang[2]

[1]東南科技大學資管系 助理教授 tsaijl@mail.tnu.edu.tw
[2]東南科技大學資管系 學士 [s49507052,s49507025,s49507053,s49507029,s49507054]@mail2u.tnu.edu.tw

摘 要

本文介紹一個「班級管理資訊系統 (A Class Management Information System，簡稱 CMIS)」，以東南科技大學(東南科大)資管系99級日四技甲班為實作對象，建置該班之 CMIS。此 CMIS 主要子系統有三項：(1)預警系統、(2)班級資料及(3)導師工作日誌，上述第一項功能之自動通知機制，及後兩項功能並未納入東南科大的校園資訊系統。

本系統為東南科大99級畢業專題成果，此系統已獲得「台南科技大學資管系電子化企業資訊與管理專題競賽」第一名(共十一隊報名)[9]，及「東南科技大學資管系99級實務專題成果展」第二名(共十隊報名)[10]。

關鍵詞:管理資訊系統、ASP.NET、資料庫

ABSTRACT

This paper describes a Class Management Information System (CMIS) developed by a student project team using ASP.NET technique. The CMIS was constructed by three major sub-systems: (1) alarm system, (2) class data system and (3) teacher's work diary.

The CMIS has been developed and won the first place of "The 2009 Student Project Competition of Tainan University of Technology Department of Information Management,[9]" and the second place of "The 99 Degree Student Project Competition of Tung-Nan University of Technology Department of Information Management.[10]"

Keywords: Management Information System (MIS), ASP.NET, Database

壹、介紹

本文為東南科技大學（底下簡稱東南科大）99級畢業專題「班級管理資訊系統之建置(The Development of Class Management Information System」小組的專題成果[11, 12]。為建置此「班級管理資訊系統(A Class Management Information System，底下簡稱CMIS)，首先為 CMIS 小組跟導師進行問題訪談[3]，發現東南科大的校園資訊系統，若以「班級」為單位來分析，存在幾個問題：（1）操行成績與學業成績預警，目前是以人工作業方式通知導師（列印報表），尚未有自動化預警機制，（2）無班級問卷統計資訊，（3）無班級會議記錄數位檔及（4）導師工作日誌。根據上述所發現的問題，CMIS 小組再與專題指導老師進行分組討論[3]及文獻回顧[4-8, 16]，得出底下兩項觀察：**（觀察1）操行成績與學業成績預警，是屬於決策支援系統（Decision Support System，簡稱 DSS）**[2]，若設計成自動寄發操行與學業成績的 e-mail 機制及線上瀏覽的方式，可同時提供導師及學生即時觀看操行與學業成績現況，以擬定相關的因應措施；**（觀察2）「班級」是介於導師與學生之間的團體平臺，一般校園資訊系統只建置導師及學生各別的管理資訊系統**（表1為東南科大，屏東科大，景文科大及銘傳大學四所學校學生資訊系統的功能比較），並無以班級為使用單位的 CMIS。

表1、東南科大，屏東科大，景文科大及銘傳大學學生資訊系統的比較

功能	東南科大	屏東科大	景文科大	銘傳大學
班級問卷統計	無	無	無	無
班級會議數位化	無	無	無	無
導師工作日誌	無	無	無	無
操行成績預警	統計報表 (不含本學期)	統計報表 (不含本學期)	統計報表 (不含本學期)	統計報表
	無信件通知	無信件通知	期末信件通知家長	信件通知
學業成績預警	統計報表 (不含本學期)	統計報表 (含本學習)	期末信件通知家長	統計報表紙本 及老師約談

接續上述兩項觀察，我們再進行 CMIS 的需求分析，歸納出三個 CMIS 常用功能，分別是：（1）預警系統、（2）班級資料及（3）導師工作日誌，另外，CMIS 的使用者角色應分為學生、導師及管理員三種。本 CMIS 專題小組於2009年3月組成，在蔡佳麟博士[14]指導下，進行為期一年的專題研究，設計 CMIS 資料庫，以 ASP.NET 技術，開發以「班級」為單位的網頁應用程式型態的 CMIS，以輔助東南科大的校園資訊系統[3, 13]。

貳、系統比較

本專題之 CMIS 與東南科大校園資訊系統[13]之功能比較如表2所示。根據表2，班級問卷統計，班級會議數位化，導師工作日誌三項功能並未納入東南科大校園資訊系統。此三項功能，分別簡述如下：**（1）班級問卷統計**，我們是以生涯規劃為例，首先設計問卷（附錄一），設計資料庫，然後完成線上瀏覽機制，可查班上同學未來的

規劃、規劃的專長及取得證照的狀況等，（**2**）**班級會議數位化**，目前東南科大的班級會議是紙本形式，並無數位化系統搭配，我們以人工方式掃描歸檔，方便查看與調閱，及（**3**）**導師工作日誌**，設計成線上編輯方式，透過瀏覽器即可隨時隨地編輯，同步進行資料庫的更新，故可明顯節省導師編輯工作日誌的時間，並讓同學可以隨時瀏覽查看。

表2、CMIS，東南科大導師資訊系統及學生資訊系統的功能比較

功能	本專題之 CMIS[4]	東南科大導師資訊系統[6]	東南科大學生資訊系統[6]
班級問卷統計	線上瀏覽	無	無
班級會議數位化	人工掃描歸檔	無	無
導師工作日誌	提供線上編輯	無	無
操行成績預警	統計報表 (含本學期)	統計報表 (不含本學期)	統計報表 (不含本學期)
	信件通知	無	無
學業成績預警	統計報表 (含本學期)	統計報表 (不含本學期)	統計報表 (不含本學期)

另外，CMIS 系統輔助東南科大校園資訊系統，在操行及學業成績預警的部份，是透過學校的學生操行及學業成績資料彙整到 CMIS 成績資料庫。由於學生在意目前操行分數，所以我們會盡可能隨時隨地更新同學本週操行分數，同學只要透過學生帳號，即可瀏覽目前操行分數，也可作為警惕。缺曠課信件通知部分，按東南科大規定，分為 A（≧10節＜20節）、B（≧20節＜30節）、C（≧30節＜40節）、D（＞40節）四種缺曠情況，本系統透過 SQL 語法，批次調閱出這四類學生群組，導師或管理者可批次發信通知學生，告知目前缺曠課的狀況。學業成績部分，則是透過學生帳號登入，可查看目前修課總學分數、必修學分數及選修學分數。

參、系統簡介

3.1 系統架構

3.1.1 MIS 系統架構

本系統採用 ASP.NET 技術來建置，使用開發工具 Microsoft Visual Web Developer Express 2008和 Microsoft SQL Express 2008 資料庫[15]。網站架構是以三層式架構（Three-Tier），因三層式架構比兩層式多一個應用程式伺服器，可減輕資料庫伺服器的負荷[2]。

3.1.2 系統功能架構

圖1是本系統功能架構，根據圖1，第一層主要功能項有：**首頁**、**預警系統**、**班級資料**及**導師工作日誌**，其個別功能說明如下：

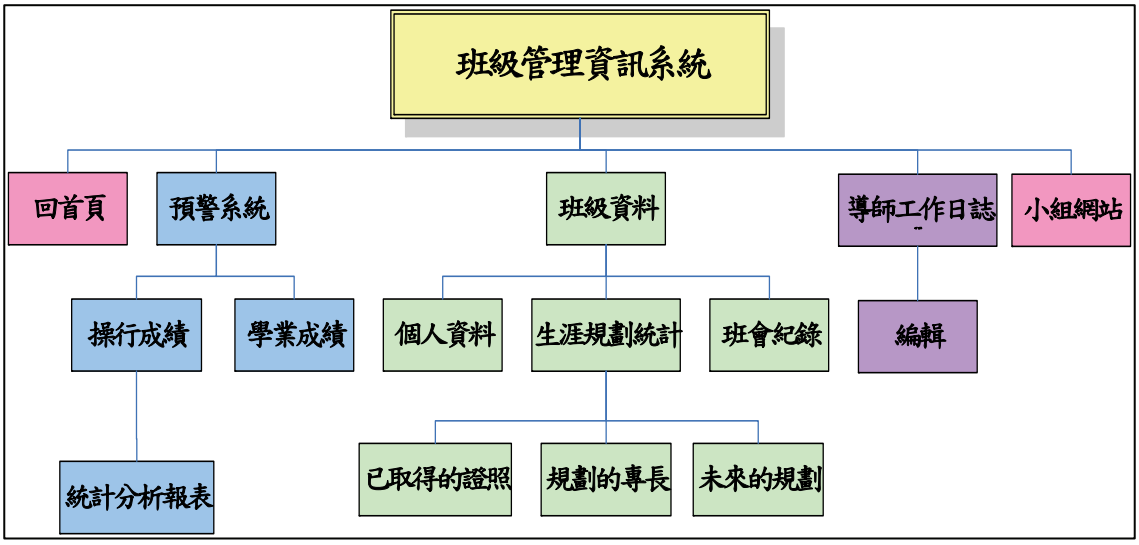


圖1、CMIS 系統功能架構

- **首頁**：主要以最新班級相關資訊、系統資訊及留言板，讓同學第一時間得知重要事件訊息或問題回報，增加老師與同學之間互動；
- **預警系統及班級資料**：我們以同學較關心的資訊為出發點，進行分類，以方便同學能快速點閱相關資訊；
- **導師工作日誌**：導師可以在此記錄工作日誌，提醒學生；學生只要瀏覽網站就可立即知道老師交代以及要進行的項目；學生也可以利用自己的帳號登入，立即可看到自己目前修課總學分數及操行成績，這樣的知識管理模式是對學生相當有幫助的。

我們認為，利用 CMIS 來管理紀錄班級資訊是提昇班級管理的有效工具，也能培養學生自我管理知識，這樣的流程或許也是未來各大專院校發展一個以班級為單位的系統。

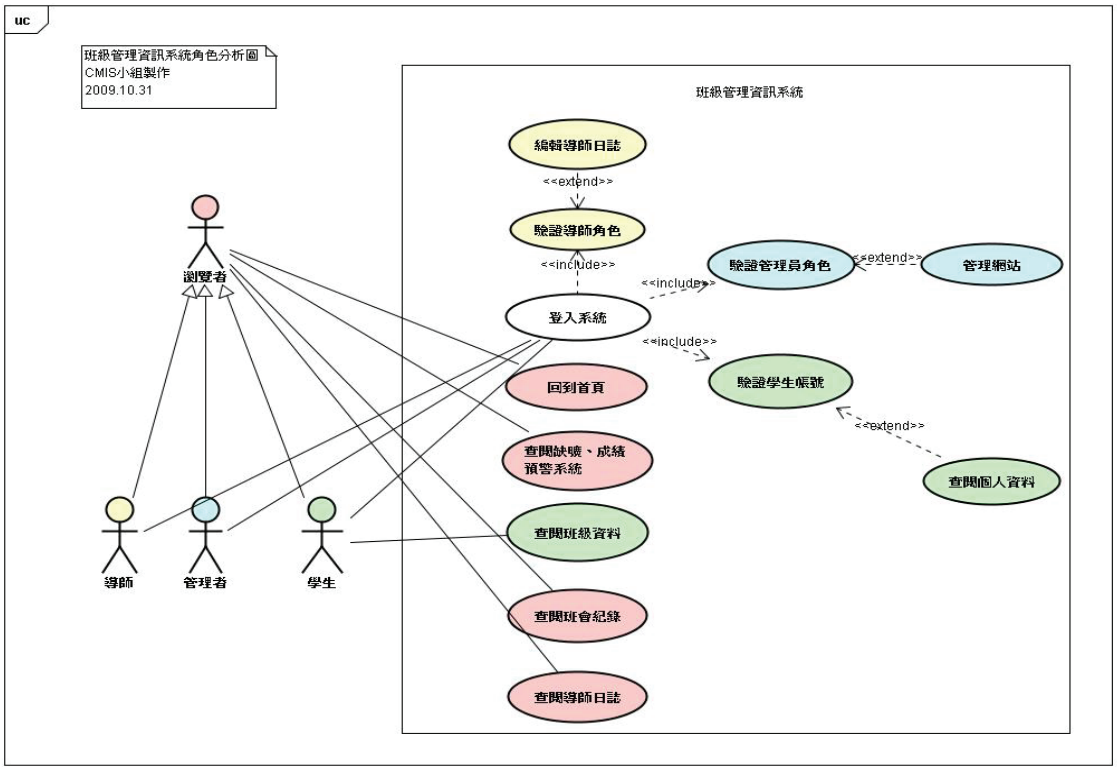


圖2、CMIS 使用案例圖

3.2 系統角色

本小組為了安全性和多元性建立了使用者登入介面，利用這個介面來控管決定角色該往哪個區塊走，系統角色主要是由導師、管理者、學生、瀏覽者四個角色所構成的，角色能使用的功能如表3所示，圖2為 CMIS 之使用案例圖。

表 3、CMIS 系統角色及可使用的功能

角色	瀏覽	登入	導師編輯	個人資料編輯
管理員	可	可	不可	可
老師	可	可	可	不可
學生	可	可	不可	不可
瀏覽者	可	不可	不可	不可

3.3 系統畫面

圖 3及圖4分別為 CMIS 網站首頁及整體配置，分成六大區塊，每個區塊下再細分兩到三個標籤頁面，頁面內容文字和圖片全部都擷取資料庫產生。

圖3、CMIS 網站首頁

圖4、CMIS 網站整體配置

肆、結論

本文實作一個 CMIS 系統[12]，以東南科大日四技甲班（52同學）為實作對象，並設計一份學生生涯規劃表(附錄一)，經問卷調查後，規劃升學5位（9.6%）、同時規劃升學與就業7位（13.5%）及事業40位（76.9%），CMIS 資料由於是以「班級」為單位，所以老師及學生可看到以「班級」為單位的統計資訊（例如上述生涯規劃統計資訊），讓教學單位進行班級輔導規劃修正，而同學也能了解其他同學規劃動向，跟自己的規劃做比較。此 CMIS 是透過 Microsoft Visual Studio 2008 Express 的開發平臺完成，資料庫則是 SQL Server 2008 Express，系統架構為典型的3-Tier（三層式）架構，使用者介面為網頁應用程式導向（Web-based），並設計有三個登入角色（管理者、導師、學生），以單一登入（Single-Sign On）方式控管。

本專題開發的系統，成果取得「台南科技大學資管系電子化企業資訊與管理專題競賽」第一名(共十一隊報名)[9]，及「東南科技大學資管系99級實務專題成果展」第二名(共十隊報名)[10]，並預定參加教育部98年「全國校園軟體設計創意競賽」）。有關本系統之成效評估，預定以使用者滿意度問卷調查方式進行，由於本系統剛開發完成，此問卷調查將在三個月後實施。

致謝

CMIS 小組感謝專題指導老師蔡佳麟博士[14]，推薦本小組將專題成果，寫成學生論文，參加東南學報35期的投稿。此學報論文是本專題預期成果之一，最後指導老師感謝日四技甲班（52同學）的協助配合，班級管理資訊系統 CMIS-全體成員的努力，及審查委員「推薦刊登」的肯定。

參考文獻

英文書籍

[1] Jung, Carl Gustav., Psychological Types, Collected Works of C.G. Jung, Volume 6. Princeton University Press. ISBN 0-691-09774, 1971.

中文書籍

[2] 吳仁和，2008，資訊管理-企業創新與價值創造，台灣：智勝出版社。

中文博、碩士論文

[3] 張世傑，民93，國中導師網路班級經營系統需求分析之研究，國立彰化師範大學，工業教育與技術學系碩士論文。

[4] 蔡雪媚，民93，以互動式班級網站協助導師班級經營之研究，國立高雄師範大學資訊教育研究所碩士論文。

[5] 藍金水，民93，班級經營網路化的實施策略與成效，慈濟大學教育研究所教學碩士論文，2004。

[6] 張鋒銘，民95，國小班級網站互動性功能分析以及案例設計研究-以桃園縣國民小學為例，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文。

中文學士論文

[7] 王欣怡，龐治萱，謝詠琳，黃蕙菁，郭耀文，民97， 98級夜二技 A 班級入口網站，東南科技大學資管系學士畢業專題書面報告。

中文學術研討會論文

[8] 蔡佳麟，王欣怡，班級入口網站之研究與建置，2009知識社群研討會論文集，2009年5月。

網站

[9] 台南科技大學資管系電子化企業資訊與管理專題競賽，http://www.tut.edu.tw/webmaster/wwwmis/conference/2009_12/2009_4.html ， 2009年12月17日。

[10] 東南科技大學資管系99級實務專題成果展，http://cm.tnu.edu.tw/IM/modules/Contest-5/index.php?id=3，2009年12月05日。

[11] 「班級管理資訊系統之建置」小組網站，http://140.129.143.208/std_project/99/cmis_team13/project/，2009年。

[12] 「班級管理資訊系統之建置」成果網站，http://140.129.143.208/std_project/99/cmis_team13/portal/，2009年。

[13] 東南科技大學校園資訊系統，http://info.tnu.edu.tw/

[14] 蔡佳麟博士教學網站，http://mail.tnu.edu.tw/~tsaijl/，2005。

[15] 微軟 Microsoft Visual Studio 2008 Express，http://www.microsoft.com/exPress/，2008。

[16] 王欣怡，龐治萱，謝詠琳，黃蕙菁，郭耀文，「98級夜二技 A 班級入口網站」小組成果網站，http://140.129.143.209/std_project/98/n3960_team9/project/，2008。

[17] １０４人力銀行，http://www.104.com.tw/

[18] ＭＢＴＩ職業性格心理測驗，http://8word.net/test/mbti/test.htm

附錄 1

東南科技大學日四技資管99級甲班生涯規劃調查表

親愛的同學們打擾了：

這是一份針對日四技99級『生涯規劃』的調查表，為使班導師及專題導師，瞭解同學們目前的生涯規劃及目標，煩請各位同學配合填寫，謝謝！

D4950班導師：蔡佳麟 20090610

壹、 基本資料

壹.1 學號：_____ 姓名：_____

壹.2 性別：□男 □女

壹.3 年齡：□18以下 □18~19 □20~21 □22~23 □23以上

壹.4 語言能力：1.精通 2.中等 3.略懂

□國語____ □台語____ □英文____ □客家____ □其他_____

貳、 自學規劃狀態

貳.1 您對未來的規劃?（可複選）

□升學(1) □事業(2)

(1) 您將會以何種規劃來計畫升學?

□參加補習班 □在家自學 □請家教輔導 □其他_____

(2) 您將會以何種規劃來計畫事業?

□自己創業 □公司就業 □其他_____

貳.2 您目前已獲得的專業證照？

□SCJP □CCNA □CCNP □其他_____

貳.3 您規劃的專長：（可複選）

□網路管理 □程式設計 □網頁設計 □資料庫 □其他_____

參、 自我測試分析

參.1 如果您是面試新鮮人的考官，您挑選職員項目的重視順序。

請寫出您的順序：1.__，2.__，3.__，4.__，5.__，6.__，7.__，8.__

A.夠專業能力　　E.承受壓力的能力

B.關科系畢業　　F.責任感

C.好表達溝通能力　　G學歷

D.主動積極的態度　　H.虛心學習的態度

參.2.1 在 MBTI 測驗的十六種性格中，您是屬於哪一種職業性格的人？

□ESTJ 大男人型　□INFJ 作家型　□ESTP 挑戰型　□ISTP 冒險家

□ESFJ 主人型　□ISTJ 公務型　□ESFP 表演型　□ISFJ 照顧型

□ENTJ 將軍型　□ISFP 藝術家　□ENTP 發明家　□INTJ 專家型

□ENFJ 教育家　□INFP 哲學家　□ENFP 記者型　□INTP 學者型

參.2.2 您的 MBTI 測驗結果，其符合度為？□符合 □還算符合 □不符合

批示欄	作業單位	班導師	專題導師

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第255-268頁

顧客對於雷射印表機需求重視度之研究

The studies of customer demand satisfaction of the laser printer

林秋堂[1]　　許王曦[2]

Lin Chiu-Tang [1]　　Hsu Wang-Hsi [2]

[1]東南科技大學工業工程與管理系 副教授　[2]東南科技大學工業管理研究所 研究生

[1] Department of Industrial Engineering and Management, Tung Nan University Associate professor

[2] Institute of Industrial Management, Tung Nan University Graduate student

摘　　要

為滿足現代人生活的方便性，資訊產品不斷的推陳出新。然推陳出新的結果，使產品的生命週期縮短了很多，造成了許多的廢棄物，更有部分的廠商因為貪圖方便、原料便宜、成本考量等因素而忽視了環保，使生態與環境遭到嚴重的破壞，因此各國這幾年紛紛開始重視綠色環保。本研究以雷射印表機顧客需求為研究主要內容，共分為四個大層面，成本、外觀、功能、環境，其中包含了19個顧客重視的需求，在問卷結果中發現，顧客最重視為故障率低與耗電量低，可以明顯看出顧客在使用上，特別重視產品的品質，減少故障可以增加顧客使用產品上的滿意度；而耗電量低，不僅可以讓使用者減少電費開銷外，也可以達到節能減碳的效果。

關鍵字：綠色設計、環保指令、雷射印表機

ABSTRACT

In order to satisfaction the convenience of modern's life, the information products bring the new constantly. However, the results of innovation, so that to shorten the product life cycle a lot, resulting in a lot of waste, some because the sake of convenience goods, raw materials cheaper, considering such factors as the cost of the neglect of environmental protection, ecology and environment has been so serious destroyed, therefore all countries over the past few years have started to attach importance to environmental protection. In this study, Customer's demand of the laser printer is divided into four large aspects altogether: cost, appearance, function and environment. Include the demand that 19 customers pay attention to among them, found in the most important customers for the low failure rate and low power consumption. Obviously find out customers are in using, especially pay attention to the quality of the products, reducing the trouble can increase customers and use the satisfaction on the products, and can reduce electric rate, but also can get the result of reducing energy consumption.

Key word: green design, environmental directives, laser printer

壹、緒論

資訊產品不斷的推陳出新，促使工商業活動快速成長，滿足了人類的高品質享受，以及生活上的方便性。然而推陳出新的結果，使產品的生命週期縮短了很多，造成了許多的廢棄物，更有部分的商品因為貪圖方便、原料便宜、成本考量等因素而忽視了環保，使生態與環境遭到嚴重的破壞，如何在產品的發展上又能兼顧環境保護是相當重要的議題，尤其近幾年許多國家紛紛推出環保公約或指令，希望能為環境保育盡一份心，因此本研究是以顧客對於雷射印表機的重視程度進行探討。

貳、文獻探討

本研究主要是以綠色設計的方式，進行雷射印表機的探討，因此在文獻上，將介紹綠色設計，並將雷射印表機的構造與近期相關研究加以探討，茲分述如下；

一、綠色設計

綠色設計（Green Design）也稱為生態設計（Ecological Design），或是環境化設計（Design for Environment），雖然名稱不同，但其基本涵意卻大致相同，都遵守綠色設計的reduce 、reuse、recycle的「3R守則」，並以環境保護為出發點(蔡孟秀，2008)。其重點在於希望可在設計上減少不必要浪費，零組件與相關材料可以重複使用，在產品使用上也可以做到回收，減少不必要的垃圾囤積與造成環境的破壞。有關近期綠色設計一詞，有學者提出不同觀點，整理如表2.1。

表2.1 綠色設計定義

學者	定義
Elkington(1986)	綠色設計其實就是一種「可回收、低污染、省能源」的設計，設計師儘可能透過產品回收再生方式，使廢棄物質再利用或完全回收再生，成為新產品，不再只是單獨設計產品本身，而是一個循環的產品生命週期，在此生命週期間，尋求盡量減少或無損於大環境的現代設計思維。
鄭源錦(1995)	「綠色設計」從產品企劃開始，包括材料的選擇、產品結構、功能、製造過程、包裝與運輸方式、產品的使用乃至產品廢棄後的處理等，均需考慮對環境的衝擊。
Diehl(2001)	成功的綠色產品必須能夠節省材料與能源，並減少對環境的汙染，不但產品擁有了創新設計，同時也有效地減少了資源開銷，這是一種雙贏的結果。
杜瑞澤(2002)	綠色設計之意涵包含「再使用」(Reuse)即再利用、重新使用，發揮現有物品零件的創新應用；主要是以回收品物件直接進行再使用的設計方式，屬於物件本身的一次使用原料，以其物件直接的使用如玻璃杯直接變花瓶的使用，或間接的使用如玻璃酒瓶經切割、重組後變花瓶的使用。
郭財吉(2002)	認為綠色設計要點不僅在於如何回收既有之廢棄物，更重要的是如何使設計師在產品概念發展形成階段，便已事先考慮未來產品對於環境可能帶來的衝擊，進而以減少環境衝擊的角度去設計產品，減少其對生態環境的影響。
Karlsson and Luttropp(2006)	綠色設計就是一種在產品的各生命週期中，將環境改善因素納入考量的設計方法，如：有效利用資源、防治污染、維持生態平衡等，它也是一種生態設計（Eco-design）。

二、印表機的種類

印表機廣義的定義是指將圖形或文字資訊，以紙張或其他媒體輸出的裝置，以便於觀賞、紀錄和傳遞。依列印原理分為撞擊式與非撞擊式，前者因為搖晃振動大且有噪音，解析度不佳，所以應用範圍小，主要用在郵件包裹的封條和存摺的列印；後者可分為光電成像式、噴墨式、熱轉式等，其優點為噪音小、列印速度快、解析度高，且具有全彩列印的功能(劉正川，2005)，本研究將近期雷射印表機相關研究彙整如表2.2。

表2.2 近期有關雷射印表機的相關研究

作者	標題	摘要
蔡獻祥(2007)	雷射印表機送紙機構的動態模擬	利用動態模擬軟體探討雷射印表機列印時，紙張藉由滾輪帶動經由導軌完成運動行為。
陳岳巽(2006)	使用者與產品間故障排除操作之引導性研究－以雷射印表機為例	本研究為探討產品在操作過程中引導性特徵，以使用性的觀點切入，選取三台不同介面類型取向（個人用、小型工作室、團體）之雷射印表機進行使用性問題探究，經由使用性實驗所歸納之印表機操作問題得知：使用者於開機、更換耗材以及特殊列印三項任務之操作效率上有顯著性差異。
林芳名(2006)	雷射印表機產業技術創新價值之探討：以國內彩色LED印表機個案公司為例	若業者發揮核心技術優勢，採用『可昇級』及『超迷你』機器結構，『多容量選擇』與『無法重複使用』碳粉匣、更友善之使用者界面等突破性創新之作法，充份掌握優勢核心能力，以低價入門機種來跨越產業鴻溝，結合知名品牌通路商與國內IT大廠，建構適宜之營運模式，將可為業者創造更大的技術創新價值，進而讓國內雷射印表機產業，無論在營運或技術發展等方面，獲致關鍵性的突破。
廖伯軒(2004)	雷射印表機列印原理與耗材之製作	本研究主要進行雷射列印耗材碳粉接受層之研發及雷射光擴散燈箱片之製作。
蘇森弟(2003)	綠色企業的經營策略研究－以雷射印表機再生碳粉匣為例	透過相關文獻探討、印表機再生碳粉匣產業分析、再生碳粉匣產業公司訪談之研究發現，進而提出再生碳粉匣產業之經營策略，其結果期能提供再生碳粉匣之綠色企業，暢通綠色消費市場，提倡環保原則「（4R），減量（reduce）、重複使用（reuse）、回收（recycle）、修理（repair）」，以推廣環保產品，減少廢棄物，節省綠色資源及成本，增加就業機會，同時也達到創造利潤帶動競爭優勢與永續經營的目標。
林勇杉(2001)	雷射印表機掃描系統之研究	近年來資訊業蓬勃發展，許多資料都需要藉由印表機的工作，來得到完整的文件。印表機的列印工作由早期的點陣式印表機到噴墨式印表機，一直發展至現今的雷射印表機。其中雷射印表機穩定，高解析度的輸出品質，是其漸漸普遍的原因。本文主要是在研究藉由旋轉多面鏡掃描在感光鼓上的雷射光點之大小均勻性問題。因為光點大小的均勻性直接影響了影像輸出的品質，可說是整個掃描系統之心臟部位。

三、雷射印表機的列印原理

雷射印表機無論是黑白還是彩色列印，皆需要充電、曝光、顯像、轉像、定影、清除及除像等這七大步驟，除了定影外，其他步驟都環繞著感光鼓運作。而感光鼓是一種光導體為一種端電阻，其會隨著入射光強度變化的兩端點半導體裝置。材料元件設計上需要感光物質與電子傳遞物質來做為光導體的基礎材料，其原理簡單的說，是利用感光物質接受光能量後會失去電子，再利用電子傳遞物質做為電子傳遞介質達到降低電阻的效果。

有關雷射印表機之成像步驟敘述如下：

1.佈電：為雷射印表機開始進行列印程序的第一步驟。首先，在不照光的情況之下，利用佈電器在表面無電荷的有機光導體表面均勻帶電。為了於電荷傳導層(charge transport layer，簡稱CTL)表面佈負電，必須對有機光導體表面佈負電（charging）使其表面有-650 伏特的靜電。

2.曝光：由於有機感光鼓為一光電材料，照光之前為絕緣體，照光後為導體。當雷射光在有機感光鼓上曝光所欲列印的文樣之後，曝光區域與未曝光區域會在有機感光鼓表面產生電位差，此時稱為”靜電潛像（latent image）”。靜電潛像意指有機光導體表面已經具有由靜電所組成之影像。

3.顯像：所謂的『顯像』即是讓碳粉（toner）利用擦電原理或是電荷注入的方式，使其表面帶靜電，然後在有機感光鼓與顯像滾筒間施加電場，伴隨著電場作用力的牽引，將碳粉轉移至已有靜電潛像的有機感光鼓上，而達到顯影的效果。

4.轉像：經過顯像步驟，顯像碳粉因靜電力的作用下附著在有機感光鼓上。轉像的機制，就是使有機感光鼓上所形成的影像圖案，在有機感光鼓與轉像滾輪之間施予一偏壓，利用此一驅動力，使顯像碳粉轉移至所需要的基材上，如紙張、PET膜。

5.定著：當顯像碳粉轉移時，這時的影像型態從原本的“靜電潛像”轉為可見的“色彩實像”。但轉印的顯像碳粉只是附著在基材的表面上，所以要得到一份完整的檔案色彩輸出，需更進一步的讓顯像碳粉壓融在基材表面。

6.清除：在轉像的過程中，有機感光鼓上的顯像碳粉不會完全轉移至基材上。大約有6％~10％的顯像碳粉會殘留在有機感光鼓上。所以此一清除的程序，就是要完全清除這些殘留的顯像碳粉，否則下次進行列印的動作時，會將產生不必要的顯像碳粉轉移至基材上，造成列印的缺陷。

7.除電：有機感光鼓在列印動作完成之後，其表面還會有殘餘的電荷。若這些電荷沒有完全清除乾淨，將會在下次的靜電潛像顯示出來，而造成列印的重複成像問題(廖伯軒，2005)。

參、研究方法

一、問卷設計與架構

本研究的問卷參考劉正川(2005)「雷射印表機原理-選購指南與碳粉卡匣填充DIY」一書中的相關知識；加上找知名印表機維修店，詢問維修工程師相關問題後，再進行問卷選項的確認與修正，彙整出顧客對於雷射印表機的需求，在劉正川(2005)書中提到消費者購買時會重視的需求項目，如表3.1所示。

表3.1 顧客需求考量項目

1.軟體監控	2.可自行分解模組維修	3.USB、平行埠網路連結
4.料運算與傳輸、暖機時間短	5.列印速度越快越好	6.解析度與列印品質
7.冷光自動偵測紙張類別	8.「Instant On 瞬間啟動熱凝器」技術	9.碳粉卡匣加入計算列印張數晶片
10.外接列印至數位相機不經電腦	11.印表機走向小型可攜式設計	12.產品朝多功能的事務機發展
13.內建雙面列印	14.送紙槽紙張容量與送紙方式	15.處理器處理速度(MHz)越快越好，記憶體(MB)越高越好
16.運轉噪音低較理想	17.列印成本低	18.使用壽命長

資料來源：劉正川(2005)

上述的項目共為18項，由於許多項目並非一般社會大眾所能了解，因此將部份項目加以修正其項目名稱，經由專家建議，共分為四大層面包含：成本、外觀、功能、環保；而四大層面中另外細分為19個問題，其問題如表3.2所示，而研究架構主要分為：

(一)受訪者的基本資料包含性別、年齡、職業、教育程度、平均使用時間、已使用雷射印表機的資歷。

(二)雷射印表機之顧客需求項目(如表3.2所示)。

(三)評比方式：採用五點評量法，將重視的程度分為「非常重視」(5分)；「重視」(4分)；「普通」3分；「不重視」2分；「非常不重視」1分，分數越高代表越重視。

二、第一階段顧客問卷調查

為了降低調查所產生的偏差，乃實際走訪經常性使用雷射印表機的公司行號與教育單位，主要使用的產品以黑白雷射印表機為主；抽樣樣本為50位受訪者，調查日期為97年12月15日至98年2月20日。問卷中詢問受訪者對於雷射印表機的19項品質項目敘述說明如表3.2所示。

表3.2 各項顧客品質項目說明

項目		說明
成本	售價	廠商所訂定的販售金額
	品牌	是否為知名品牌的機種
外觀	造型	印表機整體外觀，包含送紙與出紙槽
	碳粉夾完整	碳粉夾零件無短缺，且符合機種需求
	外觀與尺寸完整	印表機外觀與尺寸的完整性
功能	複合式列印	包含列印、傳真、影印、掃描等功能
	列印清晰	字體與圖片列印清楚不模糊
	列印質感良好	列印文件的品質良好
	不易灑粉	輸出文件紙張乾淨，不會灑粉變髒
	碳粉附著穩定	碳粉附著穩定，不會沾手
	故障率低	使用不易損壞，如夾紙等問題
	耗電量低	整體印表機使用省電、耗電量低
	使用壽命長	機器使用壽命長
環保	有環保節能標章	是否為環保與節能產品
	減少使用有毒包裝	是否減少使用包裝材，如保麗龍之類的產品包裝
	使用材料與零件回收	包含機殼和碳粉夾的回收處理
	減少使用有毒材料	印表機設計與製作，減少使用有毒材料
	列印產生異味與粉塵	列印時高溫產生之異味與粉塵
	生命週期延長	不易被淘汰，淘汰率低

二、問卷資料統計分析方法

本研究主要以 SPSS 軟體進行分析，以下為問卷資料的分析方式：

(一)KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)取樣適切性量數檢定：

KMO 檢定主要是檢測因素取樣的適切性。因素分析時，變項之間需具有一定程度的相關，一群相關太高或太低的變項，皆會造成執行因素分析上的難度。然而題組間的相關程度若太高，則會造成多重共線性的問題，也就是說相關程度特別高的題目，事實上就是同一題拆成數題，如此便不符合設計量表題的原意，也會造成重複解釋、過度膨脹解釋力的後果，因此需要看 KMO 取樣適切性量數情形，KMO 值要在0.5以上，KMO 越接近1，表示量表題目間的相關情形良好，越適合進行因素分析。

(二)因素分析：

因素分析是種相依分析技術，它包含許多減少維度(即因子個數)以簡化資料的技巧，主要目的在於以較少的維度來表現原先的資料結構，而又能保存原資料結構所提供大部分的資訊。換言之，因素分析法是希望能夠降低變數的數目，並於一群具有相關性的資料中，轉換為新的彼此獨立不相關的新因素。

因素分析法步驟如下(林震岩，2006)：

1.計算相關矩陣以估計共通性：若採用主成分分析，則共同性設為1。
2.重相關矩陣中萃取共同因素。
3.決定因素的數目。
4.旋轉因素以增加變數與因素間關係的解釋能力。
5.進行因素命名與結果解釋。

(三)信度分析：

一份衡量工具(或稱量表，含問卷或測驗)的好壞，除了要難度適中且要有較高的鑑別度外，最重要是要有信度(Reliability)。如果信度低或效果不佳，則必須重新設計問卷或重新測驗，否則研究報告或衡量成績的代表性就會受到質疑。信度只有程序上的差別，而不是全有或全無的差別，故量表的信度是相對的而不是絕對的(林震岩，2006)。

分析模式(Model)使用為α，即計算 Cronbach's α係數。此為各份量表內項目間的內部一致性模式。

柯隆巴哈(Cronbach 1951)提出計算一個測量系統(問卷或測量)的信度稱為 Cronbach 的α係數(簡稱α係數)，他克服折半法的缺點，是目前社會科學研究最常使用的信度，他是量測一組同義或平行測量總和的信度。其中科隆巴哈所提出的α係數公式為

Cronbach's α 係數

$$\alpha = \frac{n}{n-1}\left(1-\frac{\sum S_i^2}{S_H^2}\right)$$

此為最常做為信度指標，其中S_i^2表示第 i 個問項X_i的變異數，S_H^2表所有問項總和($H = X_1 + X_2 + ...X_n$)的變異數(即整份測驗分數的變異數)，n 是問像的個數。如果每一問項都與真分數無關，即每一問項只有誤差項，則整份量表分數的變異數等於每問項分數變異數的和，於是α=0；如果所有項目是完全可信，而且量測相同的真分數，則α=1，即$1-\frac{\sum S_i^2}{S_H^2}=\frac{n-1}{n}$。

而標準化後的 Cronbach's α 係數公式為

$$\alpha = \frac{n\rho}{1+(n-1)\rho}$$

其中ρ代表為平均相關係數(陳順宇，2005)。

分析中統計量包含描述統計量中的項目、尺度、刪除項目後之量尺摘要；在摘要內的平均數、變異數、共變異數、相關等；在各份量表內之項目間有相關和共變異數，在 ANOVA 摘要表中選定的檢定方式為 F test。

肆、問卷回收與分析

一、顧客需求問卷基本分析

本研究乃由人員專訪配合實體問卷，訪談地點為台北縣市，抽樣人數為50位，抽樣的顧客主要是以常使用雷射印表機的公司與教育單位，調查時間為97年12月15日至98年2月20日，其問卷的項目包含性別、年齡、職業、教育程度、每星期平均使用天數，以及使用雷射印表機時間長短，基本資料的分析主要以人數和百分比為主，分析資料顯示如表4.1。

在基本資料中可看出填答者主要以男性受訪者較多；而整體年齡層介於20~40歲為主；職業方面主要是學生為主，其次為商和軍公教類的民眾；學歷方面皆有高中職以上的教育程度；在一周使用印表機狀況中，超過一半的受訪者一星期使用超過五天以上；而使用雷射印表機的資歷中也普遍都有三年以上。

表4.1 顧客需求問卷基本資料分析

項目	類別	人數	百分比
性別	男性	31	62%
	女性	19	38%
年齡	10~20歲	0	0%
	21~30歲	21	42%
	31~40歲	16	38%
	41~50歲	8	16%
	50歲以上	5	10%
職業	學生	15	30%
	商	14	28%
	工	8	16%
	軍公教	10	20%
	自由業	3	6%
	其他	0	0%
教育程度	國中(含以下)	0	0%
	高中(職)	12	24%
	大學(含專科)	23	46%
	研究所以上	15	30%
每星期平均使用天數	1~3天	11	22%
	3~5天	11	22%
	5天以上	28	56%
已使用雷射印表機幾年	1年以下	6	12%
	1~3年	9	18%
	3~5年	21	42%
	5年以上	14	28%

二、因素分析結果

(一) KMO 檢定

Kaiser 等人所提的 KMO 指標可以作為資料是否適合做因素分析的判斷方式，目前 KMO 指標並沒有一個相當明確的檢定標準，但根據 Kaiser & Rice(1974)，KMO 愈高愈適合做因素分析，最好高於0.8，若 KMO 小於0.5，表示不適合做因素分析(林師模，2004)，在本研究中 KMO 值為0.596，如表4.2所示，顯示其適合做因素分析。

在 Bartlett 球型檢定是假設變項間的淨相關係數矩陣是單元矩陣，即矩陣非對角線數值(代表淨相關係數)為0，若檢驗結果不能拒絕虛無假設，表示資料不適合進行主成分分析。在表4.2中，Bartlett 球型檢定的值為490.516，自由度為171，有達到顯著水準，因此可以拒絕虛無假設(即拒絕淨相關矩陣不是單元矩陣的假設)，此顯示表4.2適合進行主成分分析。

表4.2　KMO與Bartlett檢定

Kaiser-Meyer-Olkin	取樣適切性量數	0.596
Bartlett 球形檢定	近似卡方分配	490.516
	自由度	171
	顯著性	0

資料來源：本研究經 SPSS 計算之結果

表4.3 信度統計量表

Cronbach's α值	以標準化項目為準的 Cronbach's α 值	項目個數
0.787	0.809	19

表4.3中顯示為 Cronbach's α 值和以標準化項目為準的 Cronbach's α 值，以及項目個數。標準化後的 α 值一般較未標準化的略高，但差異不大。由信度統計量表中得知 Cronbach's α 值=0.787，以標準化項目為準的 Cronbach's α 值=0.809，超過一般學者的下限 Cronbach's α 值必須在0.7以上，故本研究信度尚佳。

表4.4 共同性分析

項目	初始	萃取
售價	1	0.479
品牌	1	0.668
造型	1	0.684
碳粉匣完整	1	0.728
外觀與尺寸完整	1	0.817
複合式列印	1	0.837
列印清晰	1	0.783
列印質感良好	1	0.730
不易灑粉	1	0.648
碳粉附著穩定	1	0.746
故障率低	1	0.726
耗電量低	1	0.745
使用壽命長	1	0.721
有環保節能標章	1	0.776
減少使用有毒包裝	1	0.740
使用材料與零件回收	1	0.769
減少使用有毒材料	1	0.851
列印產生異味與粉塵	1	0.871
生命週期延長	1	0.794

萃取法：主成份分析

共同性乃設定主成分開始萃取時的共同性。表示共同因子對各變數的解釋比例，共同性乃指變數的變異數由主成分決定的比例，共同性越高，表示變項與其他變項所

可測量的共同特質越多；共同性越低，表示該變項越不適合投入主成分分析中。若是相關矩陣則共通性設為1，若是共變數矩陣則共同性為各變數的變異數。在表4.4中，我們只有萃取特徵值大於1的共同因子，共同因子的解釋能力顯示於萃取欄中。在表中若僅萃取特徵值大於1的共同因子，則這些主成分對售價的解釋能力為0.479(47.9%)，對品牌此一變數的解釋能力為0.668(66.8%)。在表中除了售價變數較低外，其餘共同性都很高(超過65%以上)，表示所萃取的共同因子已能解釋各個變數大部分的變異。

表4.5為項目總和統計量表，顯示每個項目與其他項目所構成的尺度相比較之摘要統計量，其中項目刪除時的尺度平均數，乃表示項目(如售價平均為3.22)若被刪除後，其餘項目的平均數(另外18個項目平均的總和)；修正的項目總相關為該項目(如售價平均)與全部項目平均合計之相關係數。相關係數愈高代表該項目與項目總相關的相關度愈高；項目刪除時的 Cronbach's α值乃指該項目(如售價平均)刪除後，其餘項目所計算出的α值，此值愈高，即代表該項目應考慮刪除以提高信度。

表4.5　項目總和統計量表

項目	項目刪除時的尺度平均數	項目刪除時的尺度變異數	修正的項目總相關	複相關平方	項目刪除時的Cronbach's α 值
售價	63.66	62.964	-0.075	0.434	0.808
品牌	62.90	55.602	0.467	0.569	0.770
造型	62.98	55.204	0.517	0.726	0.767
碳粉匣完整	63.40	57.878	0.277	0.642	0.783
外觀與尺寸完整	63.44	55.435	0.409	0.733	0.774
複合式列印	63.12	54.842	0.598	0.768	0.763
列印清晰	63.10	56.337	0.413	0.752	0.774
列印質感良好	63.12	58.149	0.345	0.744	0.778
不易灑粉	63.34	56.800	0.391	0.613	0.775
碳粉附著穩定	63.10	55.439	0.532	0.782	0.767
故障率低	62.82	55.498	0.565	0.649	0.766
耗電量低	62.86	56.776	0.469	0.658	0.771
使用壽命長	63.96	58.692	0.215	0.542	0.787
有環保節能標章	63.28	58.083	0.330	0.630	0.779
減少使用有毒包裝	63.44	58.496	0.282	0.558	0.782
使用材料與零件回收	63.58	54.126	0.570	0.684	0.763
減少使用有毒材料	64.02	55.816	0.443	0.837	0.772
列印產生異味與粉塵	63.96	56.856	0.455	0.833	0.772
生命週期延長	63.76	60.635	0.012	0.499	0.813

(二)敘述統計分析

表4.6項目統計量表

項目	平均數	標準差	樣本數
售價	3.22	1.036	50
品牌	3.98	0.915	50
造型	3.90	0.886	50
碳粉匣完整	3.48	0.953	50
外觀與尺寸完整	3.44	1.033	50
複合式列印	3.76	0.822	50
列印清晰	3.78	0.910	50
列印質感良好	3.76	0.771	50
不易灑粉	3.54	0.885	50
碳粉附著穩定	3.78	0.840	50
故障率低	4.06	0.793	50
耗電量低	4.02	0.769	50
使用壽命長	2.92	0.966	50
有環保節能標章	3.60	0.808	50
減少使用有毒包裝	3.44	0.837	50
使用材料與零件回收	3.30	0.931	50
減少使用有毒材料	2.86	0.926	50
列印產生異味與粉塵	2.92	0.778	50
生命週期延長	3.12	1.380	50

在表4.6中有項目的平均數、標準差和抽樣樣本數，此份問卷設計主要是以顧客重視程度為主，將重視的程度分為「非常重視」5分；「重視」4分；「普通」3分；「不重視」2分；「非常不重視」1分，分數越高代表越重視，平均數的計算公式為

$$\text{項目平均}=\frac{\sum(\text{權重}\times\text{權重人數})}{\text{總人數}}$$

例如售價的平均數計算方式為

$$\frac{(1\times1)+(2\times14)+(3\times13)+(4\times17)+(5\times5)}{50}=3.22$$

而標準差的計算公式為

$$s=\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

如售價的標準差計算方式為

$$\sqrt{\frac{1(1-3.22)^2+14(2-3.22)^2+13(3-3.22)^2+17(4-3.22)^2+5(5-3.22)^2}{50-1}}=1.036$$

分析結果大部分都接近在「普通」這區域，但是某些結果屬於「重視」這區域，

如故障率低和耗電量低比率皆大於4，而品牌和造型是比較接近「重視」的區域；至於「不重視」的區域則是減少使用有毒材料和列印產生異味與粉塵比率皆小於3。

(三)顧客需求問卷項目統計分析

研究項目主要將19項雷射印表機相關選項的分析，並將表格內以重視程度來顯示，統計結果如表4.7所示，算出平均數後，列出了優先改善次序，共分為15個優先改善次序，分別敘述如下：

故障率低是顧客最重視的項目，買一個產品顧客希望是可以長期使用，尤其電子資訊產品，由於購買時單價普遍偏高，若經常需要維修往往造成顧客使用上的困擾，因此故障率低是最重視的項目；第2重視為耗電量低，雷射印表機並非如電腦主機一般的長時間使用，多數時間為待機狀態，若使用上可以減少電力消耗，避免不必要的能源浪費，不僅替地球省能源，也可以減少消費者的電費；第3重視為品牌，現在大家購買雷射印表機，就如同買筆記型電腦一般，普遍還是以市場幾家大主流品牌為主；第4重視為造型，造型上消費者所重視，普遍除了顏色外，大多重視的是體積，由於一般家庭或公司行號空間有限，若雷射印表機體積大太，除了搬運的麻煩外，擺放的空間也是購買時的一大考量；第5重視為列印清晰和碳粉附著穩定，文件最重要就是要清晰，有些印表機印太小的字體或圖片就會模糊不清，所以列印清晰度也很重要，另外碳粉的附著也是很重要，有些碳粉容易沾手，若不小心使用，有時會弄髒文件；第6為複合式列印和列印質感良好，複合式列印主要是將掃描、影印、傳真、列印這四大功能做結合，由於公司空間和金費的考量，普遍都會希望買多功能的機種來使用，而近幾年噴墨印表機由於價位低廉，在複合式列印機上，佔有相當大的市場，列印質感良好也是顧客重視的，尤其一家公司，一天列印的文件可能是上百張紙，若一兩張紙質感不好，也會影響到消費者使用上的不滿意與抱怨；第7為有環保節能標章，目前多數的電子產品都會有環保節能標章，原因在於希望除了可以省電費外，也能替環境盡點心力；第8為不易灑粉，不易灑粉是指印表機列印時碳粉不易外灑，以防止造成文件資料的沾污；第9為碳粉匣完整，碳粉匣完整包含了感光體、套筒、刮刀等元件，若這些元件使用上有瑕疵，將會對印表機的使用上造成莫大的影響；第10為外觀尺寸完整和減少使用有毒包裝，外觀的完整是消費者買東西的重要考量因素之一，至於減少使用有毒材料包裝，包含了保麗龍這類材料，目前有許多的廠商已逐漸將防撞的材質，由保麗龍改成其他環保材質如瓦楞紙板等；第11為使用材料與零件回收，這比較屬於消費者使用後的作法，各大廠商近幾年也都有派專人處理消費者使用後的回收物，如碳粉匣、機殼等物品的處理；第12為售價，這幾年印表機價位不像以往如此的高價，功能上也趨於穩定，所以大家在購買時，雖然會考慮價位，卻不再像以往那樣的重視；第13為生命週期延長是指產品在市場上的流通的時間，生命週期延長對於消費者來說是有利的，因為若週期太短，東西淘汰太快，讓消費者找不到特定機種的零組件，而需要換新的機種，此對消費者而言是一大浪費；第14為使用壽命長和列印產生異味與粉塵，使用壽命長，是指產品使用上不容易損壞，由於目前的機種推陳出新速度快速，所以消費者逐漸比較不重視使用壽命的長短；至於列印產生異味與粉塵可能是民眾一般使用上，由於辦公室有空調冷氣的使用，而且印表機沒有離自己很近，所以並沒有很切身的感覺到；第15為減少使用有毒材料，由於消費者普遍對於有毒材料認知不足，因此填寫不重視的人有比較多的趨勢，有毒材料包含外殼和內部元件都有可能會去使用到，在製造上應該還是要避免使用。

最後將上述15個優先改善次序，區分為4種需求重要度，整理如表4.7的顧客需求項目之統計需求重要度一覽表。

表4.7 顧客需求項目之統計需求重要度一覽表

項目＼重視度	非常不重視	不重視	普通	重視	非常重視	平均數	優先改善次序	需求重要度
故障率低	0	1	11	22	16	4.06	1	4
耗電量低	0	2	8	27	13	4.02	2	4
品牌	0	2	15	15	18	3.98	3	3
造型	0	2	16	17	15	3.9	4	3
列印清晰	1	1	18	18	12	3.78	5	3
碳粉附著穩定	0	1	21	16	12	3.78	5	3
複合式列印	0	2	18	20	10	3.76	6	3
列印質感良好	0	2	16	24	8	3.76	6	3
有環保節能標章	1	3	15	27	4	3.6	7	3
不易灑粉	1	4	18	21	6	3.54	8	3
碳粉匣完整	0	8	18	16	8	3.48	9	2
外觀與尺寸完整	2	5	21	13	9	3.44	10	2
減少使用有毒包裝	1	4	21	20	4	3.44	10	2
使用材料與零件回收	2	5	24	14	5	3.3	11	2
售價	1	14	13	17	5	3.22	12	2
生命週期延長	7	14	9	16	9	3.12	13	2
使用壽命長	5	9	22	13	1	2.92	14	1
列印產生異味與粉塵	3	7	32	7	1	2.92	14	1
減少使用有毒材料	6	5	31	6	2	2.86	15	1

伍、結論

本研究以顧客角度，找出雷射印表機製程到回收中優先改善順序，期許得以提供相關研究人員更多的參考資訊，透過先前的一系列研究與探討後，得到以下的結論：

(一)本研究共列出雷射印表機顧客需求的四個大層面，成本、外觀、功能、環境，其中包含了19個顧客重視的需求，在問卷結果中發現，顧客最重視為故障率低與耗電量低，可以明顯看出顧客在使用上，特別重視產品的品質，減少故障可以增加顧客使用產品上的滿意度；而耗電量低，不僅可以讓使用者減少電費開銷外，也可以達到節能減碳的效果。

(二)顧客較不重視的三項為使用壽命長、列印產生異味和粉塵以及減少使用有毒材料

等。此可得知顧客對於產品的使用，對於外表不容易發現的問題，比較不會特別的重視，此情形還需要多加以宣導。

參考文獻

中文部分

1. 蔡孟秀，「應用 Fuzzy QFD 和 TRIZ 於綠色設計之探討－客戶鏈層級觀點」，真理大學，管理科學研究所，2008 年 6 月。
2. 鄭源錦等編，「綠色設計技術參考手冊-家電產品篇、家具產品篇、資訊產品篇、衛浴產品篇、玩具篇」，中華民國對外貿易發展協會，經濟部工業局，1996 年。
3. 杜瑞澤,「產品永續設計－綠色設計理論與實務」，亞太出版社，2002 年。
4. 郭財吉，「綠色產品設計－綠色品質機能展開」，環境化設計-永續產業發展雙月刊，第 6 期，頁 45-52，2002 年。
5. 劉正川，「雷射印表機原理-選購指南與碳粉卡匣填充 DIY，全華科技圖書股份有限公司」，2005 年 5 月。
6. 蔡獻祥，「雷射印表機送紙機構的動態模擬」，國立高雄第一科技大學，機械與自動化工程所，2007 年。
7. 陳岳巽，「使用者與產品間故障排除操作之引導性研究－以雷射印表機為例」，華梵大學，工業設計碩士班，2006 年。
8. 林芳名，「雷射印表機產業技術創新價值之探討：以國內彩色 LED 印表機個案公司為例」，國立清華大學，工業工程與管理學系，2006 年。
9. 廖伯軒，「雷射印表機列印原理與耗材之製作」，國立清華大學，化學工程學系，2004 年。
10. 林震岩，「多變量分析:SPSS 的操作與應用」，初版，智勝文化事業有限公司，2006 年 1 月。
11. 陳順宇，「多變量分析」，四版，華泰文化事業股份事業有限公司，2005 年。
12. 林師模、陳苑欽，「多變量分析-管理上的應用」，初版二刷，雙葉書廊有限公司，2004 年 8 月。

英文部分

1. Elkington, J.. “The green designer” , Design Council of Great Britain, 1986.

2. Diehl, J. C. et al , “ Ecodesign methodology development within the Indian , European ecodesign program” , Proceedings of Ecodesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing , pp.184-189,2001.

3. Reine Karlsson and Conrad Luttropp. EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue, Journal of Cleaner Production, 14, 15-16, pp.1291-1298, 2006.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第269-276頁

作業動作等級與性別對學習效果之影響探討—以東南科大學生為例

張東孟[1]　　陳慈慧[2]

[1]東南科技大學工業工程與管理系副教授　　[2]東南科技大學工業工程與管理系副教授

摘　　要

以傳統碼錶時間研究制定標準時間需時甚久，且受評比影響甚巨。若能透過學習曲線理論，則將可快速的求算出作業趨近學習曲線平坦區域之初始位置（即臨界點）的時間值，以獲得作業之正常時間，進而使得評比更為客觀。為了瞭解作業的動作等級與性別的不同是否影響操作員的學習效果，進而影響作業標準時間的建立。因此，本論文將考慮不同性別的人員進行不同的動作等級之實驗，收集相關數據，進行動作等級與性別二因子對操作員的學習效果的探討。由實驗檢定結果可知，性別與作業動作等級兩因子皆會影響操作員的學習效果，且兩者間存在交互效果；即性別會影響動作等級對操作員的學習效果，反之亦然。據此結果，將可提供工廠聘任適當作業人員之參考依據，並在生產線進行作業指派時提供指派之參考，進而快速建立其作業標準時間。

關鍵字：學習曲線、學習效果、作業動作等級、標準時間

ABSTRACT

Some limitations, such as rating and timing, are encountered in the traditional time study of stopwatch. Applying the theory of learning curve can deal with the above questions and quickly obtain the normal time of a task. For performing a certain task, the learning effect of an operator which can be affected by gender and motion classifications will be discussed in order to establish the standard time of a task. Therefore, an experiment and analyses of variance for the two factors, the classifications of motions and gender, upon the learning effect of an operator are conducted. According to the results, gender and motion classifications affect the learning effect of an operator and interact with each other upon the learning effect. Based on the consequence, the tasks can be assigned appropriately to an operator on the line so as to promptly establish the standard time of them.

Keywords: learning curve, learning effect, standard time, motion classifications

壹、前言

在國際化的環境下，成本、品質、彈性與時間都是影響企業競爭力的主要因素；又低成本與高品質是企業從事競爭的基本條件。因此企業在國際化的趨勢下，使得企業競爭加劇是在所難免的。在工業工程領域當中，方法工程可用以設計工作，降低成本及提高品質；而時間研究可建立作業的標準時間，進而控制成本。就作業的時間標準來說，其將影響工廠的產能規劃、生產線佈置、生產與存貨控制、原物料、工廠佈置、產品品質、人員安全與成本薪資的計算等。所以建立作業的標準時間可以使企業縮短生產時間並提高生產力，降低生產成本。

工廠管理需要作業的時間標準，若無時間標準則許多重要決策將無法進行。以傳統碼錶時間研究制定標準時間需時甚久，且受評比影響甚巨。因此當操作者達到某作業學習曲線的平坦區域時，可使評比變的更簡單，但要達到平坦區域常需時甚久，故工業工程師常被迫在學習曲線最陡峭時建立標準時間，使得評比無法公平客觀的進行，而造成所建立的正常時間誤差過大；故利用學習曲線的理論，將可快速的求算出作業趨近學習曲線平坦區域之初始位置（即臨界點）之時間值。

但影響學習效果的因素甚多，如何使得操作員執行適當的作業，將有助於工業工程師快速且正確地建立生產線上各操作的標準時間，且可進一步促進生產力的提升。故本論文將探討在組裝作業的過程中，作業之動作等級、性別的不同是否影響操作員的學習效果。若結果肯定，則可據此提供做為進一步之安排人力調配，並可將生產線上之作業適當地指派作業給合適操作員。

貳、相關文獻探討

一、學習曲線

T. P. Wright (1936) 提出學習曲線的理論，其觀察到當累積產量加倍時，累積單位平均時間將以固定的百分比下降。如圖一所示，當學習曲線為一雙曲線時，即 $y_x = kx^n$，式中

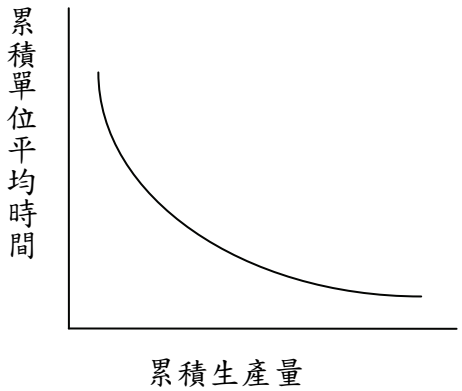
y：累積生產量為 x 時所需累積單位平均時間，

k：生產第一單位所需的時間，

x：累積生產量(週程數)，

n：係數，表斜率。

對於需投入大量人力的重複性裝配以及加工作業而言，透過學習曲線理論的應用則可廣泛運用在建立作業標準時間、成本控制等需求上，以達到提升員工效率，降低工作成本的目的；對企業經營者而言，是提高管理績效的最佳方法。



圖一 學習曲線

Briscoe 和 Roark (1991) 針對生產前的學習(preproduction learning)、作業中的學習(intratask learning)及來自外部組織的學習(exoteric learning)三方面的行為研究方法探討不同階段的學習效果對學習模式的影響。Hatch 和 Mowery (1998)探討半導體業的製程創新與學習效果間的關係，其對改善製程良率與降低成本有何影響。Dada 和 Srikanth (1990)考慮訂價策略與學習效果對多期間的生產規劃模式的影響。在文獻中學習曲線理論可運用於不同領域上如:預測製程的生產績效、衡量半成品的學習效果、探討品質管制過程的學習效果、針對整個組織及組織中的財務部門探討其學習效果的影響及運用學習效果於產品之最適訂價模式等(Blancett, 2002; Globerson and Levin, 1995; Fine, 1988; Chambers and Johnston, 2000; Hodder and Ilan, 1986) 。

張東孟(2001)，探討學習率與週程數(學習效果)間之相關研究。其主要的目的是在研究學習率與週程數之相關性，再藉由實驗來證明彼此之間呈現的相關變動關係，並且求得臨界點之時間值與週程數，以方便提供工業工程師建立客觀且公平的正常時間及作業的標準時間，以提升生產力。此篇研究結論中發現學習率與學習週程數成相反關係，學習率越高則學習週程數就越低，也就是說操作越複雜，則學習困難度就越高。黃嘉豪等人(2003)，探討4M-DATA 與學習曲線理論之實證研究。這份研究主要目的是檢定以學習曲線理論與4M-DATA 所建立之正常時間的結果是否有明顯的差異。利用實驗中蒐集的數據去探討兩者之間的關係是否符合理論。此研究中發現4M-DATA 所分析出來的正常時間值大部分與學習曲線理論所得到的臨界值是一致的。

二、動作等級

根據動作經濟原則可知，作業之動作等級可分為五個等級(Benjamin Niebel & Andris Freivalds, 2004)：

1. 手指動作

   是五種動作等級之中速度最快者，手指動作即僅手指有動作，手臂等其他部位保持不動。食指比其他手指迅速，反覆的手指動作會造成疲勞及與工作有關的肌肉骨骼系統傷害，如累積性傷害。

2. 手指及手腕的動作

以手指與手腕關節為支點之手及手指運動。手指及手腕動作較僅用手指動作費時。

3. 手指、手腕及前臂動作常稱為前臂動作

前臂動作包含肘部以下的前臂運動，而上臂保持不動。因前臂有較強壯的肌肉，此動作常被視為不致引起疲勞的有效動作。但可能因前臂重複的伸展及施力，而引起酸痛。

4. 手指、手腕及前臂及上臂動作

即所謂的第四等級或肩部動作。以肩部關節為支點之臂、手及手指運動。

5. 身體動作

第五級動作包括身體動作，此動作最耗時間。身體動作包括踝、膝、大腿及軀幹的動作。

基本上作業之動作等級越高，執行作業所需時間就越長，且操作員越容易疲勞(劉宏鎰等人，2001)。

參、研究假設與步驟

一、實驗說明(假設或限制)

1. 本實驗針對壁釘、木梢基板組裝以及學習曲率鏡三種組裝作業進行組裝實驗。
2. 劃分作業之動作等級為低、中、 高。設定實驗組裝作業中所使用之動作等級最高為動作等級 2 者為低等級，其對應的實驗操作為壁釘組裝；所使用之最高動作等級 3 者為中等級，其對應之實驗操作為木梢基板組裝；而所使用之動作等級為 4 以上者則為高等級，其對應之實驗操作為學習曲率鏡。
3. 本實驗對象從本校大三、大四學生中隨機抽取男女生各半共 36 人。
4. 實驗進行前都會對受測者進行實驗步驟的說明，以確定操作者了解組裝順序。
5. 各組裝實驗操作皆有其工作站佈置。各組裝作業皆訂出測時之起、終點。
6. 各操作之時間數據已剔除觀測過程中所發生之外來單元。

二、實驗步驟

本論文針對作業的動作等級與性別二因子，探討其對操作業員之學習效果的影響。因此我們利用實驗操作方式收集數據，並進行統計檢定及探討上述因素是否會影響操作員的學習效果。其實驗步驟說明如下：

1. 確認實驗操作

選定具有不同作業動作等級之產品操作，以利實驗進行及數據收集。

2. 決定組裝流程

確定各產品之適當的組裝流程，以利後續實驗操作，劃分單元及佈置工作站之進

行。

3. 劃分單元

將各產品操作進行單元劃分，並確立各單元之起終點及各作業之動作等級。

4. 佈置工作站

根據各產品之組裝流程及劃分單元後，進行工作站之佈置。

5. 進行實驗

為了符合變異數分析的常態性等假設(一般樣本數大於30)，故本實驗隨機抽取36人進行實驗。實驗依碼錶時間研究之程序與規定進行以收集時間數據。

6. 整理分析數據

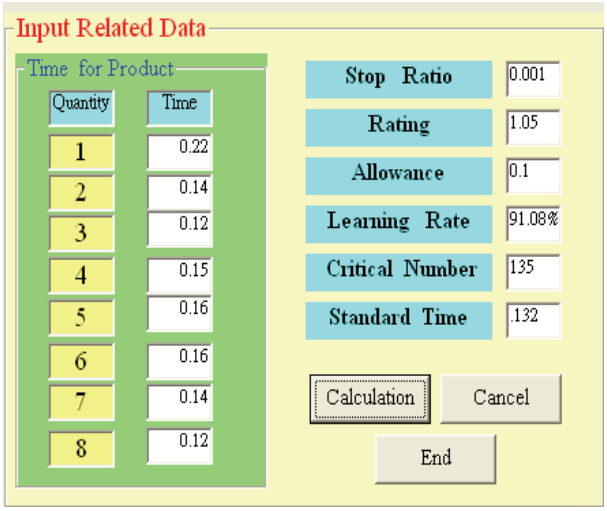
將所收集到的時間數據，利用學習曲線理論得出學習次數，再透過 SPSS 統計軟體，進行二因子分析之變異分析，檢定動作等級與性別二因子對操作員的學習效果的影響。

7. 結果分析與討論。

肆、實驗數據與檢定

根據上述實驗步驟所收集之不同動作等級之操作時間數據，利用學習曲線理論之轉換程式(張東孟等人，2001)將作業時間轉換為學習週程數，如圖二所示，再以 SPSS 統計軟體依性別與動作等級對學習週程數進行二因子變異數分析，其分析結果整理說明如下：

從表1 Levene檢定可知，P值為0.190大於顯著性水準0.05，符合變異數檢定的前提條件--各組母體變異數相等。從表2可知，性別與動作等級對學習效果之交互效果的P值為0.007，其小於顯著性水準0.05，表示性別與動作等級之間有顯著的交互效果。因此須對各因子分別進行單純的主要效果檢定(即對性別與動作等級分別對學習週程數進行一因子變異數分析)。其結果如表3、4所示，動作等級與性別分別對操作員之學習效果有顯著的影響。



圖二 學習曲線程式輸入介面

表1 誤差變異量的Levene檢定等式

F 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
1.602	5	30	.190

表2 受試者間效應項的檢定

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
校正後的模式	158471.556(a)	5	31694.311	12.541	.000
截距	456525.444	1	456525.444	180.647	.000
性別	37377.778	1	37377.778	14.790	.001
等級	90909.556	2	45454.778	17.986	.000
性別 * 等級	30184.222	2	15092.111	5.972	.007
誤差	75815.000	30	2527.167		
總和	690812.000	36			
校正後的總數	234286.556	35			

表3 動作等級對學習效果之一因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	90909.556	2	45454.778	10.462	.000
組內	143377.000	33	4344.758		
總和	234286.556	35			

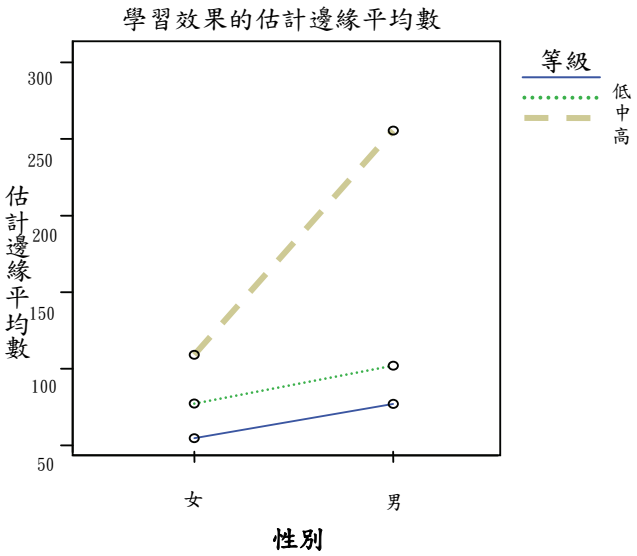
表4 性別對學習效果之一因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	37377.778	1	37377.778	6.454	.016
組內	196908.778	34	5791.435		
總和	234286.556	35			

由表5中的動作等級Scheffe多重比較結果可知，操作員對低等級與中等級之作業的學習效果沒有顯著差異，其 P值大於0.05；而低等級與高等級間及中等級與高等級間則有顯著的效果，其P值皆小於0.05。也就是說在動作等級中低等級與中等級間對操作員的學習效果是沒有差異的。由圖三之折線圖所示，其低等級及中等級動作的直線兩者與高等級動作之直線不是平行的，其與上述多重比較的結果相同，而圖中亦顯示，動作等級愈高則女性的學習效果明顯的比男性高。

表5 動作等級多重比較

等級	等級	平均差異	標準誤	顯著性	98.4% 信賴區間	
					下界	上界
低	中	-23.833	26.910	.679	-106.33	58.67
	高	-16.500(*)	26.910	.001	-199.00	-34.00
中	低	23.833	26.910	.679	-58.67	106.33
	高	-92.667(*)	26.910	.006	-175.17	-10.17
高	低	116.500(*)	26.910	.001	34.00	199.00
	中	92.667(*)	26.910	.006	10.17	175.17



圖三 性別與動作等級之折線圖

伍、結論與建議

據上述實驗的分析結果可知，性別與動作等級皆會影響操作員之學習效果，且性別與作業動作等級兩因子間存在交互效果；即性別會影響動作等級對操作員的學習效果，反之亦然。在各種不同作業動作等級下，女性的學習效果比男性的學習效果好，

其代表女性的學習效率會比男性來得好。又在不同性別下，動作等級越低則學習效果越好。因此本實驗結果可供生產線進行作業指派時，提供指派之參考，即依作業的動作等級的不同而指派適當之人員〈男或女〉，進而快速建立其標準時間，以進一步作為人力資源之安排依據。

由於本研究所選取的實驗對象之範圍有限，且只針對三項組裝性操作為實驗之內容，故未來可針對不同領域之不同對象，及較複雜之生產加工的作業(如機械生產加工)，並考慮其他影響學習效果的因素(如個性、血型等)進行相關研究與探討。

陸、參考文獻

1. 張東孟(2001)，學習效果與週程樹間之相關性研究，東南學報，第24期，123-129頁。
2. 張東孟、藍俊雄、王建良(2001)，制定電力工程作業編準時間工具之發展， 台電工程月刊，第637期，139-144頁。
3. 黃嘉豪等人(2003)，4M-DATA與學習曲線理論之實證研究，東南技術學院工業工程與管理系畢業專題，15-18頁。
4. Wright, T. P. (1936), Factors affecting the cost of airplanes, *Journal of Aeronautical Science*, Vol. 3, No.4, pp.122-128.
5. Hodder, J. E. and Ilan Y. A. (1986), Declining Prices and Optimality when Costs Follow an Experience Curve, *Managerial and Decision Economics*, Vol. 7, No. 4, pp. 229-234.
6. Fine, C. H. (1988), A quality control model with learning effects, *Operations Research*, May/June, pp.437-444.
7. Dada, Maqbool and Srikanth, K. N. (1990), Monopolistic pricing and the learning curve: an algorithmic approach, *Operations Research,* Vol. 38, No. 4, pp. 656-666.
8. Briscoe, Nat R. and Roark, S. (1991), The learning curve and production standards: learning implication, *Review of Business*, Vol.12, No.4, pp.31-35.
9. Globerson, S. and Levin, N. (1995), A learning curve model for an equivalent number of units, *IIE Transactions*, Vol.27, pp.716-721.

   Hatch, N. W. and Mowery, D. C. (1998), Process innovation and learning by doing in semiconductor manufacturing, *Management Science*, Vol. 44, No. 11, pp.1461-1477.
10. Chambers, S. and Johnston, R. (2000), Experience curves in services: macro and micro level approaches, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20 No. 7, pp. 842-859.
11. Blancett, R. S. (2002), Learning from productivity learning curves, *Research Technology Management*, Vol.45, pp.54-58.
12. Benjamin Niebel & Andris Freivalds (2004), Method, Standards, & Work Desing, Tenth Edition, WCB, McGraw-Hill, pp.633-639.

東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第277-286頁

地圖檔案數位典藏於地方文史研究上的應用

林惠娟

東南科技大學通識教育中心講師、中國地圖學會理事、臺灣古地圖史料文物協會理事

摘　　要

回顧人類歷史發展的時空變遷，只有極少數的遺址可以經由考古挖掘後，以現地保存方式呈現，供後人憑弔，事實上大多數地表各種現象的空間變遷，以及人類活動的軌跡，若未經吾等以不同形式工具加以紀錄，則會在事件發生後即遭人遺忘而消聲匿跡；為了紀錄人類歷史發展的時空背景，人們透過文字描述、表格條列、影像紀實、錄音錄影、繪畫寫生及地圖測繪等方式，將時間與空間的歷史演進過程，以不同形式的檔案媒材呈現，企圖重現歷史現場。

欲紀錄一個地區地理環境的時空變遷，最理想的方式係透過不同時期的地圖檔案加以比對分析，然而古今中外以紙本出版的地圖檔案數量龐大，且分散在各地圖書館、檔案館中典藏，要加以研究利用談何容易。以台灣地區為例，龐大的地圖檔案資料，有些因年代久遠而紙質脆化、蟲蛀、發霉或收縮變形，有些因早年戒嚴管制未能公開，有些因疏於管理以致迭散，還有因眾多單位各自製作及典藏致難以整合運用等因素影響，民眾在借閱瀏覽與複製使用上極不方便，因此政府各單位為使前人留下的地圖文化資產作最有效的管理與運用，目前已著手將擁有地圖典藏的政府單位加以整合，並積極進行地圖檔案的數位化，俾讓全民共享前人的智慧結晶。

本文內容包括台灣地圖檔案數位化現況及地圖數位典藏的活用實例，以木柵地區為研究區，開創以數位典藏之數位地圖，套疊現今衛星影像地圖，分析聚落變遷之軌跡，期使數位典藏之各類地圖檔案，得以擴大研究及加值利用之效果。

關鍵字：地圖檔案、地圖數位典藏、地圖檔案應用

壹、前言

凡是將地表及地下各類事物，以空間分佈形式，表現在地球圖面者，均可稱為地圖。地圖的表現方式可以是二維的形式，如一般常見的紙圖、掛圖及電子地圖等，也可以是三維的形式，如地球儀、立體地形模型等。

在產出地圖時，可以是依周詳精確的科學方法，測繪出地表真實位置的地圖，也可以是依繪圖者主觀認知而繪出的「心智地圖」。前者所謂真實位置的地圖，是按照一定的數學法則，將地面上的自然和社會經濟(人文)現象符號化，運用一定製圖方法，將符號縮繪在平面上的圖形，以表達它們數量和質量特徵，在空間上的分布及時間上的變化；在製作過程中，需力求表達地面上最重要、最本質的事物和特徵，捨去或簡化次要、非本質的內容。而後者所謂「心智地圖」，多是依繪圖者主觀認知而繪出的地圖，經常不經嚴謹的測繪技術，可能僅表現出相對位置，對於地圖中的距離、方向、高度等空間要素並不在乎，甚至誇大主題，導致地圖中地理位置的變形。

古代地圖不普及，地圖常成為執政者統治天下的武器，但今日擁有地圖即擁有權利的時代已過去了，隨著人類知識的發達，世界各國各類地圖的產出量與日俱增，不止地圖，所有的書籍、期刊均面臨產出量過大，導致各機關、學校檔案館及圖書館，紛紛面臨倉儲空間不足的窘境，同時龐大的地圖檔案資料，有些因年代久遠而紙質脆化或收縮變形，有些因早年戒嚴管制未能公開，有些因疏於管理以致迭散，還有因眾多單位各自製作及典藏，致難以整合運用等因素影響，民眾在借閱瀏覽與複製使用上極不方便。

隨著 Google Earth 衛星影像的免費下載開放查閱，許多大比例尺的地形圖不再列為機密，紛紛開放給民眾申請使用。近年來網路資訊快速進步，政府各單位為使前人留下的地圖文化資產，作最有效的管理與運用，目前已著手將擁有地圖典藏的政府單位加以整合，編列大筆經費推動數位典藏計畫，並積極進行地圖檔案及二次世界大戰前後美軍拍攝的航空影像加以數位化，俾讓全民共享前人的智慧結晶，透過教育訓練、網路宣導，鼓勵民間及學術界在研究地方史時，可將數位典藏的圖資加值利用。

貳、台灣地圖檔案的數位典藏概況

進入二十一世紀數位科技快速發展，人類文明的記錄和傳承，已經從紙上轉變到網路上，因此世界各資訊大國與重視傳統文化的國家，無不致力於數位典藏計畫的發展。

各機關檔案庫房中存有許多昔日的珍貴空間史料，多數已屆臨物理年限，逐漸開始腐損，同時因散置各處缺乏系統化的編目管理與良善的保存，造成使用者查詢應用的不便與資料價值的隱藏不揚，若任由毀損而不知，則珍貴國寶毀於一旦，則將造成永久的遺憾。

有鑑於此，各機關多已意識到數位典藏的重要性，紛紛投入檔案數化的工作。重要的數位典藏計畫如火如荼展開，舉例如下：

一、中央研究院的「地圖與遙測影像數位典藏計畫」[1]

中央研究院人文社會科學研究中心及計算中心著手進行「**地圖與遙測影像數位典藏計畫**」，廣泛蒐集台灣與大陸地區最主要的各類地圖與航空照片資料，予以數位化後保存，積極建立「中國歷史文化地圖」與「台灣歷史文化地圖」等系統基礎架構，累積了大量的台灣與中國大陸地區歷史空間資訊。[2]建立分散式時間與空間整合資訊運用環境，提供各類相關資訊應用與服務。建構探查大量時空資料以及知識發掘的有效機制，以有效促進更便利的學術研究資源應用環境，亦促進資料之分享、加值、與應用，求取最大內涵價值之發揚。

該計畫主要典藏資料包含歷史地圖與遙測影像二大部分，共計超過百萬幅。歷史地圖依涵蓋地區與製作時間可分為三大類：

（一）日治時期台灣出版之主要地形圖：共約 38,850 幅至 120,000 幅左右，因總督府檔案部分為公文書之附件，共有約 200,000 件，尚未完成全部資料之清查，預估其中地圖部分約佔 1/3 至 1/2）。

（二）光復後台灣出版之主要地形圖：共約 5,400 幅。

（三）其他台灣與大陸地區各類地圖（因數量眾多且目錄資料並不完整，故獨立分類）：共約 20,000 餘幅，其中大陸地區各類地圖即前開內政部之庫存地圖予以數化。

遙測影像數位典藏概況：國內主要的遙測影像來源，在1970年代之前只限於軍事用途，之後才有農委會農林航空測量所利用航照製作相片基本圖等資料進行其它的應用。目前軍方擁有中國大陸及台灣地區自1940年代迄今之航空照片底片，累計共超過百萬張之空照底片，堪稱為舉世含蓋上述地區最珍貴且完整之歷史記錄，惟許多底片已屆物理年限，或因儲存環境未盡理想，正逐漸腐損中。因此如何謀求重要文化資產之妥適與長久保存，並進而發揚其價值乃成為當務之急。空照底片（典藏）處理程序複雜費時，故本計畫利用五年時間優先處理1962-1974年較高解析度之航照底片約800,000 張進行掃瞄數位化後建檔。由於此批航照時間、內容俱為近代史上極重要的部分，且解析度極高，同時該底片現今全世界僅有二套（另一套存於美國國家檔案館，且已開放各界查閱使用）外，僅有我國保有航線資料，故優先處理，可據以得知每張底片的實際航蓋範圍與拍攝情形。數位化處理後的航照影像，可經由申請，供學術上研究使用，對地方文史變遷的研究貢獻極大。

至於數位化過程的技術、設備、操作程序、內容等詳細資訊，可上該計畫網站詳閱，網址：http://www.ascc.sinica.edu.tw/gis/soda/main.html。

二、國立故宮博物院的「數位典藏計畫」[3]

國立故宮博物院自2000年起，積極將故宮典藏的文物加以數位化。針對器物、書畫、圖書文獻、院藏明清輿圖類文獻及文物保存修護紀錄進行數位典藏，並建置文物

---

[1] 中央研究院人文社會科學研究中心及計算中心：地圖與遙測影像數位典藏計畫，http://www.ascc.sinica.edu.tw/gis/soda/main.html。

[2] 跨越時空－鳥瞰地圖與數位地球的結合，http://gis.ascc.net/STIS/index_b.html

[3] 國立故宮博物院數位典藏計畫http://www.npm.gov.tw/digitization/introductions/archives.htm

知識庫，展開推廣與應用，其中院藏明清輿圖以極高解析度數位化處理，不需接觸原圖，即可在電腦上閱讀，減少對原件損傷。

數位典藏計畫，以最新的數位科技，將一件件藏寶的圖像、資料、文字介紹等內容，全部收納在電腦系統中。透過電腦螢幕，不論書畫、器物或古籍文獻等各式收藏，都將清楚展現在您的面前。數位博物館計畫，結合資訊科技與網際網路，建置了一個多國語言的全球資訊網，將故宮文物推廣到全世界。其中，除收羅「藝術史討論區」、「故宮電子報」等服務網頁之外，還有各式數位博物館主題網站。此外故宮文物數位學習計畫，透過最新的網路與多媒體技術，開發豐富便利的數位學習資源，如建置「故宮 e 學園」學習網站，提供中英文版文物系列課程，幫助民眾了解故宮的藝術收藏。

三、內政部典藏地圖數位化影像製作專案計畫[4]

1949年中央政府播遷來臺時，內政部方域司(現併入地政司)輾轉運抵臺北的庫存地圖檔案約有四萬餘幅，2001年中央研究院主持「國家典藏數位化專案」，其中子計畫專責國內重要空間資訊之數位典藏，具有專業知識經驗與精良數位化設備，內政部遂與該院洽商協助內政部地政司，將所典藏地圖掃瞄存檔並建立數位化管理系統事宜。雙方為保存國家地圖史料，並增進學術研究之互助合作，研擬「內政部典藏地圖數位化影像製作合作計畫」，由內政部提供圖料，中央研究院提供專業技術、場地及設備資源，期能將內政部所典藏的近代中國地區（含大陸與台灣）的各式地圖，予以數位化後，賦予適當的詮釋資料，永久保存，並建立分散式時間與空間整合資訊運用環境，提供各類相關資訊應用與服務。第一階段圖資共計 30372 幅，已掃瞄 30353 幅，因故未能掃瞄 19 幅。

四、內政部地籍圖資網[5]

內政部地政業務電腦化工作，從1978年開始推展，原以「數值地籍測量系統」及「地籍資料電子處理系統」開始試辦；1993年先後於全台灣各縣市辦理基層地政事務所業務電腦化工作，迄2001年底完成全國地政事務所及金門縣地政局業務電腦化之基本目標。

內政部在整合各單位資源，將全台灣紙本地籍圖數位化後，同時加速進行數位測量工作，採用數位測量儀器及電腦製圖技術，使台灣地籍管理全面採用數位座標，達到迅速精確便民的目標。

內政部建立地籍圖資網路便民服務系統，(一）免費提供土地位置資訊查詢，並結合地籍圖、交通部運研所路網圖、正射影像圖套繪顯示。（二）分析計算坐標系統轉換參數資訊，使土地位置查詢結果可直接連結 Google 地圖（Google Map）及數位地球（Google Earth），俾結合新科技以強化應用效益。

五、交通部運輸研究所路網數值圖[6]

交通部運輸研究所於2008年9月建置發行「2008年版路網數值圖」，提供台灣民眾詳實便捷的網路地圖，該圖除取得各類可靠圖源（如福爾摩沙二號衛星影像、農航所

[4] 內政部典藏地圖數位化影像製作專案計劃http://webgis.sinica.edu.tw/map_moi/?cid=633
[5] 內政部地政司地籍圖資網 http://easymap.land.moi.gov.tw/index.htm
[6] 交通部運輸研究所路網數值圖 http://www.iot.gov.tw/public/Attachment/81151516771.pdf

彩色正射影像圖、都市各縣市地址門牌資料、公路總局第4次公路清查資料、各縣市政府回報道路異動資料、各單位回報圖資勘誤資料□等等）之各圖層，包括一般道路、行政區界、河流湖泊、地標地物、鐵路捷運、橋梁隧道中心點等資料外，並針對臺北市、臺中市、高雄市進行重要幹道雙線數化處理作業，除了讓路網資料更精細且路名更充實，以符合行車規則，且巷弄與路名資料更加完整，並提供都市單行道與轉向限制資料，對發展應用系統或加值產品，可提供更正確完整的資訊，對於市場日漸普及的汽車導航系統產品或線上電子地圖產品，能提供更佳的圖源，本系統之路網數值圖不僅協助國家交通之改善與管理現代化提供莫大之助益，民眾也將得以享有更佳的行旅品質與服務，提昇民眾行旅之安全與便利。

前述列舉的數位典藏成果，可歸納為二大類別，一大類是將傳統紙圖以數位攝影或掃描進行數位化，以數位圖檔形式呈現，讀圖者只是從紙上閱讀，改為在電腦上閱讀，可減少紙張因翻閱而受到損傷，其次是減少讀圖者奔走於各館際之間費時費力，該類數位化地圖圖檔，除非讀圖者利用該圖檔作為底圖，重新將圖資分層數化，否則每一圖檔是靜態的、不可變更的，在地圖的意義上，以保存歷史檔案不至損毀為主，如中央研究院的「地圖與遙測影像數位典藏計畫」、國立故宮博物院的「數位典藏計畫」中的地圖數化、內政部典藏地圖數位化影像製作專案計畫等，均是屬於將傳統紙圖數位化，中研院及內政部的地圖數位化成果，已先後開放國人於網路上免費下載使用，研究者可透過圖層套疊，分析一地的變遷。另一類是數值地圖，如內政部「地籍圖資網路便民服務系統」、交通部運輸研究所路網數值圖，均是將各種地理資訊分門別類建立不同圖層，地圖透過軟體系統疊合後呈現，數值地圖是動態的、可變更的、可查詢的、互動的，管理者可依據讀者不同的需求，選擇不同圖層，呈現不同的主題地圖，滿足讀圖者的需求。

參、地圖檔案數位典藏之應用層面

數位典藏國家型科技計畫始於2002年，承襲行政院國家科學委員會「數位博物館計畫」、「國家典藏數位化計畫」、「國際數位圖書館合作計畫」三個計畫的經驗，依據政府整體發展，重新規劃而成。此國家型計畫是一個人文與科技並重的計畫，也是目前唯一著重人文內涵的國家型計畫。數位化國家典藏，可有效的提升知識的累積、傳承與運用，是知識經濟的重要基礎環節。國際間，各國正積極推動數位化工作，例如聯合國的世界記憶計畫、美國的美國記憶計畫，為加速文化資訊產業升級，確保學術發展優勢，台灣也積極推動數位典藏計畫。[7]

前述各單位數位典藏的地圖、航空照片及遙測影像，不應只是單純的為了數位化而數位化，應讓這些文化資產活化，得以加值再利用。

一幅地圖的產生，不僅僅只是技術層面上「地圖如何繪製」的問題，更深層的可以傳達我們生存空間的真實現象、繪圖者的主觀意識及時代文化背景的境況與價值觀。

一張地圖、航空照片或遙測影像，能提供圖像繪製或拍攝時的地表概況，每一圖

[7] 數位典藏國家型科技計畫http://www.ndap.org.tw/1_intro/intro.php

像均記載著圖面中某一個時期自然的（如地形、山川、河流等）及人為的（土地利用、聚落分佈、行政疆域等）景觀狀況，為該時空環境下所有人、事、物的最佳註解，同時也反映出其時其地之文化記錄，對於探究過去的舊貌、地形地物與社會文化的變遷演化等，提供了最真實的證據。檢視同一處不同時期之地圖，將可瞭解該地的環境、社會與文化變遷情形。而檢視同一時期不同地點之地圖，亦可得知彼此之環境特性與發展差異。[8]

光緒21(1895)年甲午戰爭清政府戰敗，台灣割讓給日本，新的統治者急於掌控台灣大局，自登陸台灣開始，由北至南一路挺進作戰的同時，陸地測量部沿路迅速展開測繪地形的工作，以三角測量的技術，繪製了31張等高線地形圖，隔年繼續完成台灣多套大比例尺的基本套圖，這是台灣地區首次以實測的科學繪圖方法，呈現清末的台灣地形地貌地圖，內容包括地形等高線、行政區劃、河川、農地、聚落建物等圖資，其中包括二萬分一及五萬分一「台灣地形圖」等套圖，明治28-30(1895-1897)年間完成全台山地以外平原和丘陵，以及東部縱谷到海岸的實測地形圖繪製工作，為台灣留下珍貴的空間分布史料。

中央研究院在「地圖與遙測影像數位典藏計畫」中，將上述地圖數位化，所建置的「台灣歷史文化地圖」為例，將1900年代的台灣堡圖及1940年代台北地區舊航照圖，與 Google Earth 相結合，將可透過不同時期所出版的地圖，來觀察分析台灣地區是如何由農村轉變成都市化的過程。

地圖紀錄著特定區域中地形地物的空間位置、方向與距離等資料。以筆者家鄉台北市文山區木柵地區為例[9]，分別將木柵地區不同年代出版的地圖，如明治28 (1895)年「公館街」地形圖(局部)[10]（圖一）、明治37(1904)年「景尾」地形圖(局部)[11]（圖二）、1951年木柵地區航空相片[12]（圖五）及2001年經建版二萬五千分一文山深坑圖(局部)[13] （圖七）加以比較分析，可以比對聚落發展的變遷過程、宗族的分布、埤塘的消長、土地的開發、植被的變化、交通路線的建設及古代的地名等。此外，能將不同年代出版的地圖分別與 Google Earth 相疊合，可以得到老聚落、老地名的確切位置，或河川改道、土地開發的地形變化狀況，對於地方史的研究，提供新的方向。還可將不同時期已數位化的地籍圖與 Google Earth 相疊合，可以得知台北市實施市地重劃前後，對地方聚落發展及土地利用變遷的影響。（圖九、圖十）[14]

透過地圖數位化，嘗試運用發達的空間資訊技術，進行古地圖與現今各種形式地圖的整合與比對，能從中發現許多地貌變遷的現象，體驗穿梭時空的樂趣。

---

[8] 中央研究院地圖與遙測影像數位典藏計畫http://www.ascc.sinica.edu.tw/gis/soda/main.html

[9] 林惠娟 (2008年12月)，地圖檔案中木柵地區的時空變遷，歷史視野中的中國地方社會比較研究學術研討會論文集，中央研究院近代史研究所。

[10] 「公館街」地形圖，明治28 (1895)年，二萬分之一，日本國立國會圖書館收藏，史料調查，台灣都市史研究室，明治31 (1898)年複製出版。中央研究院地圖室提供。

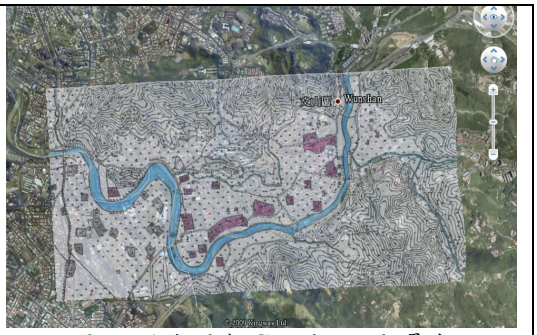
[11] 「景尾」地形圖，二萬分之一，臨時台灣土地調查所，明治37(1904)年調製。台灣日日新報社，大正十（1921）年八版出版。中央研究院地圖室提供。

[12] 1951年木柵地區航空相片，中央研究院地圖室提供。

[13] 2001年經建版二萬五千分一文山深坑圖，內政部地政司出版，中央研究院地圖室提供。

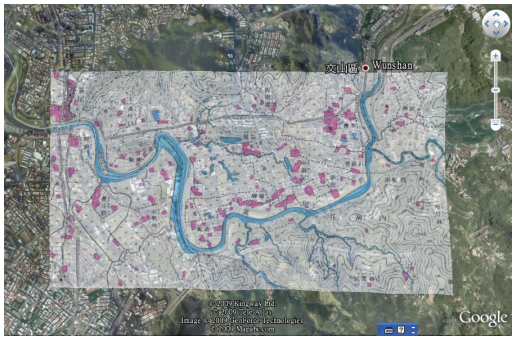
[14] 台北市政府編印，台北市木柵區第一期市地重劃報告書，1987年6月，頁4。

圖一1895年「公館街」地形圖(局部)



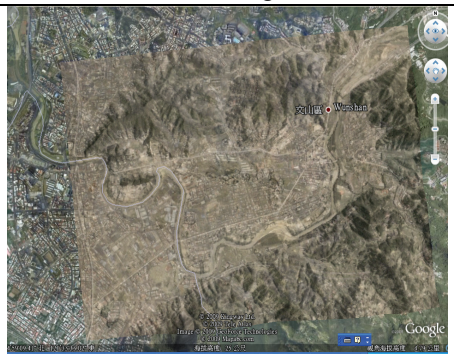
圖二 將左圖與 Google Earth 疊合

圖三1904年「景尾」地形圖(局部)



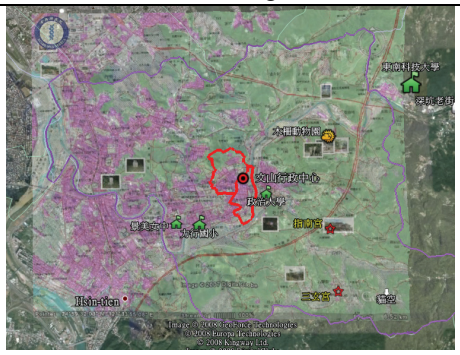
圖四 將左圖與 Google Earth 疊合

圖五1951年木柵地區航空相片



圖六 將左圖與 Google Earth 疊合

圖七2001年經建版1/25000文山深坑圖(局部)



圖八 將左圖與 Google Earth 疊合

圖九 1979年市地重劃前地籍圖

圖十 1981年市地重劃後地籍圖

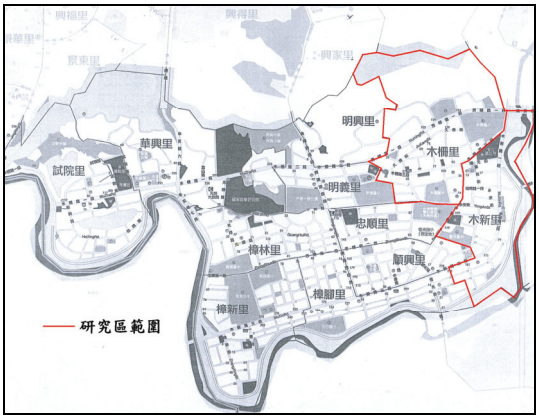
肆、以木柵地區地方文史研究及聚落變遷為例

一、木柵的行政區劃沿革[15]

清乾隆時期，木柵地區在行政區劃上稱為霧里薛內湖庄；同治時期將內湖庄劃分為三庄：木柵庄居中(今木柵里、木新里)、內湖庄(位於木柵庄以西及以南之地區)、頭前溪庄(位於木柵庄以東及以北之地區)；光緒時期又合併為內湖庄。

日據時期，木柵地區行政區劃分為二區，將前述之木柵庄及內湖庄合併稱內湖、頭前溪庄稱坡內坑。

民國35年，木柵地區重新劃分為9村(木柵村、中興村、樟腳村、老泉村、指南村、興隆村、頭廷村、博嘉村、富德村)。本研究案即以前開之木柵村為研究範圍。木柵村在民國54年分割成木柵村及木新村。民國56年台北市改制，升格為直轄市，次年將景美鎮及木柵鄉併入台北市內，改稱景美區和木柵區，因此將木柵村及木新村改為木柵里及木新里。民國63年12月至79年3月間，木柵里及木新里曾再分出木盛里及木榮里。民國79年3月，臺北市調整行政區為十二區時，景美區和木柵區合併成文山區[16]，又恢復成木柵里及木新里。本研究區以光復初期之木柵村為主要研究範圍(圖十一)[17]，即今木柵里及木新里，位於木柵地區的中心位置，其範圍北以山稜線與萬芳里、萬美里為界，東至景美溪，西至文山第一分局、明道國小、台灣戲曲專科學校、保儀路、景文高中一線往南至景美溪止，面積約為0.89平方公里，人口數為17,450人，人口密度每平方公里高達19,606人(臺北市政府民政局97年09月)[18]。



圖十一 木柵地區各里行政區圖

圖十二將研究區標示在 Google Earth

將研究區利用 Google Earth 衛星影像加以標示(圖十二)，該影像雖不是及時現況，但大致地表地形地物的變化並不會太大異動，已能滿足一般文史工作者的需求。昔日衛星影像的取得門檻過高、費用昂貴使人卻步，但 Google Earth 衛星影像的免費公開使用，確實對文史研究貢獻良多。

為了要了解一百多年來木柵地區的聚落變遷狀況，著手由相關地圖檔案及航照相片中，尋找木柵村由農村轉變成都市化聚落的變化軌跡。對木柵這樣的小聚落，既非

---

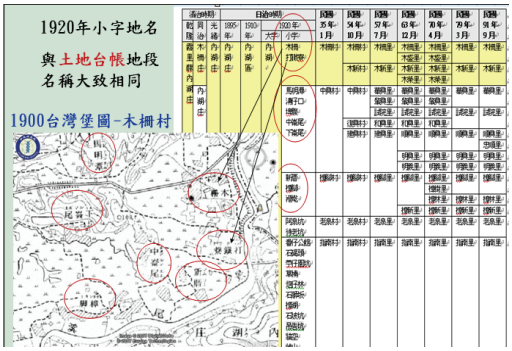
[15] 林惠娟（2006年），文山區志土地篇，文山區公所，頁24-25。
[16] 湯熙勇，臺北市地名與路街沿革史，臺北市文獻委員會，2002年，頁92-95。
[17] 台北市政府民政局，2003台北市區里界說，民國92年8月，頁121。
[18] 台北市政府文山第一戶政事務所各里人口數、戶數統計表 ttp://w2.ws1hr.taipei.gov.tw/psum/9709.doc

都心亦非要邑，前人留下來木柵地區的影像紀錄及繪畫寫生等並不豐富，因此，要了解木柵地區是如何由農村轉變成都市化的過程，除了文字記載和土地權力契約書外，也可透過不同時期所出版的地圖來觀察分析。

經研究發現木柵地區各里名稱演變中，(圖十三)1920年小字地名不僅與土地台帳地段名稱大致相同，同時與1904年出版的台灣堡圖-景尾(圖三)中地名相對應，圖中繪出聚落真形、地物符號、道路、河川、池塘、水圳、等高線等，將圖三與 Google Earth 相疊合(圖四)，可由疊合的衛星影像地圖中了解一百年前聚落分布概況、相對位置及土地利用概況，這對小區域文史調查研究是一大突破。

也可利用我國及美日軍方於1940年代拍攝之航空照片(圖五)，與 Google Earth 相疊合(圖六)，可由疊合的衛星影像地圖中，追蹤地表變化的軌跡，如日軍當年在木柵地區的軍事布局、油庫、水圳等珍貴資料一一呈現，了解確切位置，也可將早期各宗族三合院的確切位置加以定位、諸多逝去的記憶得以重新紀錄。

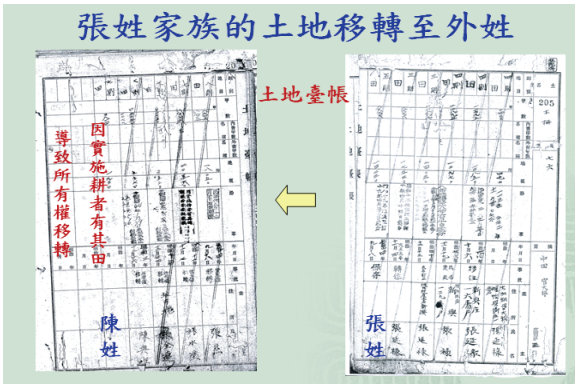
此外也可將前輩的手繪地圖如張傳生先生回憶1925年時的木柵村圖[19]與 Google Earth 相疊合(圖十四)，研究圖中聚落註記之位置，發現若配合土地測量總隊的地籍數化重測前地籍圖中土地地號(圖十五)及日治時期的土地台帳之番號，逐一加以列表比對，竟可發現土地移轉的變化，進而分析宗族勢力的消長(圖十六)，這對小區域文史調查研究又是一大突破。



圖十三 1920年小字地名與台灣堡圖的對應

圖十四 張傳生回憶1925年時的木柵村圖

圖十五 重測前地籍圖(地號七七)



圖十六 土地台帳(番號七七)分析土地移轉的變化

[19] 張傳生於1995年手繪1925年木柵村的地圖〈木柵1925秋天〉

伍、結語

一、在電腦數位科技的熱潮影響之下，數位典藏計畫的進行，政府單位積極進行地圖檔案的數位化，使前人留下的地圖文化資產得以永久保存，作最有效的管理與運用，俾讓全民共享前人的智慧結晶。

二、隨著人類知識的發達，世界各國各類地圖的產出量與日俱增，不止地圖，所有的書籍、期刊均面臨產出量過大，導致各機關、學校檔案館及圖書館，紛紛面臨倉儲空間不足的窘境，透過地圖的數位典藏，可降低紙圖的產出量，朝向製作數位地圖發展。

三、龐大的地圖檔案資料，有些因年代久遠而紙質脆化或收縮變形，有些因早年戒嚴管制未能公開，有些因疏於管理以致迭散，還有因地圖分散在眾多單位，致難以整合運用等因素影響，民眾在借閱瀏覽與複製使用上極不方便，經由地圖的數位典藏，可透過網路整合，民眾經由申請即可在家中電腦閱覽及下載，大為提高地圖檔案的再利用。

四、經由數位化後的老地圖，可與現代科技結合，透過與 Google Earth 相疊合或 GIS（地理資訊系統）圖層處理，可以用在超時空的學術研究上，開啟地方文史調查研究的另一個紀元，提升學術研究新視野。

五、本文內容包括台灣地圖檔案數位化現況及地圖數位典藏的活用實例，以一個位居全台首善之都台北市近郊的衛星小聚落木柵村為例，利用國家數位典藏計畫中的數化地圖及數化航空相片，或圖畫式的手繪地圖，套疊 Google Earth 衛星影像地圖，由不同時期的地圖套疊，分析木柵村的聚落變遷之軌跡，期使數位典藏之各類地圖檔案，得以擴大研究及加值利用之效果，並為地方文史調查研究工作，提供一條新的研究方法。

六、未來將以此研究方法，落實在聚落變遷之研究上，進一步以數位地圖檔案，分析出木柵地區的百年發展脈絡，亦期待專家學者不吝提供意見與指教。

陸、參考文獻

1.台北市政府(1987)，台北市木柵區第一期市地重劃報告書，臺北市，頁4。
2.林惠娟（2006），文山區志土地篇，文山區公所，頁24-25。
3.湯熙勇（2002），臺北市地名與路街沿革史，臺北市文獻委員會，頁92-95。
4.台北市政府民政局(2003)，2003台北市區里界說，頁121。
5.林惠娟 (2008)，地圖檔案中木柵地區的時空變遷，歷史視野中的中國地方社會比較研究學術研討會論文集，中央研究院近代史研究所。
6.「公館街」地形圖，明治28 (1895)年，二萬分之一，台灣都市史研究室，明治31 (1898)年複製出版。中央研究院地圖室提供。
7.「景尾」地形圖，二萬分之一，臨時台灣土地調查所，明治37(1904)年調製。台灣日日新報社，大正十（1921）年八版出版。中央研究院地圖室提供。
8.木柵地區航空相片（1951），中央研究院地圖室提供。
9.經建版二萬五千分一文山深坑圖（2001），內政部地政司出版。
10.〈木柵1925秋天〉，張傳生於1995年手繪1925年木柵村的地圖。

東南科技大學 東南學報 第三十五期 中華民國九十九年六月出版 第287-308頁

美學取向之統整課程教學研究--以美學經濟之文創產業為議題之探討

Integration Curriculum of Teaching Research Based on Aesthetics —Discussion over an Issue of Aesthetic Economy: Cultural Creative Industry

王 玫[1] 吳啟銘[2]

[1]東南科技大學通識教育中心講師 [2]萬能科技大學化妝品管理與應用系副教授

摘 要

因應後現代主義思潮，教育朝向多元文化、流行文化、鄉土文化等方向開展，並自生活選取題材。本課程以「永續經營-美學經濟」為題，教師運用科際統整課程模式，以美學經濟之文創產業做為議題的重大概念(big ideas)，結合歷史、藝術、文化、社會、政治、經濟…等跨學科領域，將藝術與人文統整。並以永續的精神出發，用多元文化的角度探索，讓學習者接受美學的涵養。期使學生在學習過程中，創造人與環境間的對話，產生人文關懷行動。並進而運用人類累積的文化資本，發揮創意，締造經濟效應，為人類生存環境開創恆久經營的道路。

以美學經濟出發的文創產業也逐漸以非主流之民俗藝術、工藝等民間在地藝術為發展重點，傳遞了地方文化藝術之價值與美感經驗。本課程結合學校周邊深坑老街，做為社區文化資源，以此激發學生對週遭文化與環境的關懷及認同。

關鍵詞: 文化創意產業、多元文化、後現代主義、美學經營、社區文化資源

ABSTRACT

Education is going toward multi-cultures, popular cultures, folk cultures …etc, due to the trend of post-modernism. This curriculum named “Sustainable Management- Aesthetic Economy” was taken as an example in the general education research. Interdisciplinary integration curriculum model was adopted as a teaching method and meanwhile the big ideas of the topic was talking about “Aesthetic Economy- Cultural creative industry” which

included history, arts, culture, society, politics, economy…. All of these subjects of cross-fields integrated arts and humanities. This curriculum based on the spirit of sustainability and explored knowledge with an ankle of multi-cultures in order to bring aesthetics to learners. The purpose of this learning process was to supply a conversation between human and our environment so as to improve humanity concern action. Furthermore, we are supposed to apply culture properties left from history as well as people's creativities on development of aesthetic economy.

Folk and craft arts which come from local characteristics and diverse cultural values become important resources in development of cultural creative industry. This research combined curriculum with neighborhood Shen-keng old street as a community cultural resources for the sake of helping students with cultural concern and identification.

Key words: post-modernism, aesthetic economy, cultural creative industry, multi-cultures, community cultural resources

壹、前言

被視為美學經濟的文化創意產業已是世界各國相繼投入的文化軟實力(soft power)競賽。台灣擁有多元社會的文化資本，包含殖民與後殖民、傳統與現代、大中華與與本土多元價值，自是發展文化創意產業提供絕佳的豐潤土壤。但放眼望台灣，滿街樣式雜亂醜陋的各色招牌、機車飛竄的街弄巷道、鐵窗牢籠般的舊式公寓、毫無特色的觀光小販、沒有創意的形象商圈、聞之色變的公共廁所，即使在文建會努力推動的地方文化藝術節，也多熱鬧有餘卻內涵不足，常常慶典結束，人潮退去，什麼也沒留下。就算每年斥鉅資所舉辦如貢寮海洋音樂祭，活動過後竟留下頗受批評的垃圾、毒品與濫交。而從媒體廣為宣傳的泰山娃娃村-芭比的故鄉，卻是陳舊鄉民活動中心所號稱的娃娃博物館，讓人大失所望。這種種都反映台灣文化創意產業預達到:「國人自我認同」、「改善生活環境」、「台灣文化行銷」、「全球的競爭力」等願景，仍有許多努力的空間。

文創產業乃符號消費的經濟行為，在世界各國為挽救勞動外移，經濟轉型的過程中，均朝向用文化做為資本的軟實力行銷政策，其所創造的龐大美學商機，扭轉許多國家與城市的命運，像英國的哈利波特、韓國的大長今、西班牙畢爾包古根漢美術館…等，這些全都是美學經濟的最佳例證，也唯有朝此方向前進，才是永續發展的經驗法則。台灣目前也不斷以在地的文化做為資本進行行銷，舉凡客家文化藝術節、或由舊鐵路串連的鐵道藝術村、舊糖廠或酒廠改建文化園區等，處處呈現文創產業所締造的美學經濟之效應。開設此課程之目的，即是想以美學、生活、經濟、教育等面向去理解並以實踐行動改變生活態度。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

2009年年初行政院即邀請諸多文化界重量級人物進行文創圓桌論壇，此即揭示國家對文化創意產業的重視，並將以此作為台灣未來迎向國際挑戰，發動第三波經濟革命的企圖心。在專家學者的建議下，除政府部門應投注更多經費、法令的修改外，教育的培養是一項大部分學者文化人所共同關心的議題。即便政府灑下龐大經費，建起超炫博物館、演藝廳或藝文中心，創意人展出無數絕佳作品，但沒有觀眾或消費者，一切只是空談。因此經營藝文參與人口即是我等從事通識藝術教育工作者不遑多讓可扮演的重要角色。藉由課程鋪陳，將精緻與大眾流行藝術介紹給學生，鼓勵實際參與藝文活動，將美感駐足於學生的經驗生活中。

文化生活本可視為一系列文本的交互作用，特別是現今無限串連的超文本(hypertexts)[1]，許多跨國企業如 McDonald's、Nike、Coca Cola…等許許多多符碼("I'm loving it"或"Just do it")無所不在，而文本存有各種可能被質疑和創造的空間，觀者與創作者在其中能進行重建的、解構的創造性對話。因此教育學生如何在此現今資訊流通爆炸的時代，從視覺文化中建立批判、反思、創造性態度來賦與學生更多的選擇、自主性及賦權增能(Empowerment)，益發顯得重要(張美艷, 2007)。

文創產業也逐漸以非主流之民俗藝術、工藝等民間在地藝術為發展重點，傳遞了地方文化藝術之價值與美感經驗。本課程企圖結合學校周邊深坑老街社區為題材，此可激發學生對週遭文化與環境的關懷，及自我文化認同，並以學習者為核心，透由小組實地調查參訪，建立起獨立、合作、溝通、分享與自主學習的價值，並以此發展出解決問題的能力，以因應未來社會艱巨的挑戰。

二、研究目的

(一)探討通識藝術教育與文化創意產業的關連性。

(二)探討以美學取向之統整課程的教學理念與內容。

(三)探討結合社區文化資源的藝術課程之意義。

(四)評析以美學取向之統整課程的可行性。

---

[1]所謂「超文本」(hypertexts)，是指讀者或觀者，面對「影像文本」時，能夠在詮釋的過程中，將所有的知識相互地串接和連結，如同網路系統建立自己的觀點，所以「超文本」的詮釋，甚至「跨文本」，是一種解構主義的詮釋方式，具有創造性。

參、文獻探討

一、文化創意產業運用於課程的理念

(一)美學經濟之文化創意產業的重要發展

近年來「美學」伴隨著知識經濟快速的興起，已成為顯學。面對新世紀創意文化城市的需求，文化資源的利用和創意文化的生產蘊含著很高的經濟價值，形成「美學經濟」。同時，包括表演與視覺藝術等文化創意活動能夠創造優質的生活美感與文化氛圍，因之得以提昇民眾對國家文化的認同與自信。文化越來越成為國際間國力競爭的重要因素。「文化創意產業」納入「挑戰2008：國家發展重點計畫」，顯示台灣經濟發展面臨轉型的殷切，已是全國的共識。在全球市場邁入新經濟時代，「全球思考、在地行動」已然成為主流思維，並在全球化與科技化兩股力量的推波下，大家都在思考如何透由藝術創作和商業機制的結合，彰顯發揚各地文化特色，將文化內涵強化創意設計動力，以推展永續經營的城市美學。

(二)何為文化創意產業

政府於91年5月提出「挑戰二○○八—國家發展重點計畫（2002-2007）」提出「文化創意產業」，積極以產業鏈的概念形態，重新定義文化產業的價值，期開拓創意領域，結合人文與經濟以發展兼顧文化積累與經濟效益的產業。政府在定義文化創意產業時，除需探討「個人創造力與文化積累」與「智慧財產權的開發與運用」以外，尚須考量是否具有「創造財富與就業機會」的潛力，以促進整體生活環境的提昇。根據文建會的定義，將文化創意產業分為：1.視覺藝術，2.音樂及表演藝術，3.出版，4.工藝，5.設計產業，6.設計品牌時尚，7.電視與廣播，8.電影，9.廣告，10.建築設計，11.文化展演設施，12.數位休閒娛樂，13.創意生活等十三類。(文建會網站)

(三)文化創意產業如何推行

目前文建會有幾項施政要點:1.推動組織再造；2.扶植文創產業；3.充實文化設施；4.活化文化資產；5.培養文化公民；6.拓展文化外交(張譽騰，2008)。

這其中第3項、第4項與第5項與本研究欲利用地方社區文化資產為教學資源有關，因此予以詳細說明:

(1)推廣與深化地方活動

目前係以「藝術、人文、創意、學習」為定位，彰顯地方文化特色的目標，透過空間活化經營，交通動線串連、連結區域景觀及產業資源，形塑「文化生活圈」。

(2)文化資產之活化與再利用

推動以古蹟、歷史建築為中心之區域型再利用方案；建構聚落與文化景觀、遺址保存與活化機制。強化文化資產之活化再利用。

(3)社區藝文推展

社區是大社會的縮影，因此致力於推動社區總體營造的工作，以凝聚社區共識，提升全民文化參與，彰顯地方文化特色創造與分享在地文化資源。

以上三項對於地方文化資產利用的重視，皆與本研究運用於教學研究的方向是相契合的。在課程設計中，研究者以本校鄰近之深坑社區老街為教學資源，就其真實的情境，親近的位置，正適合做為活體教材。藉由其所形塑的「文化生活圈」為樣本，將其中之文化景觀、古建築、再造工程、地方特色納入課程實施，並結合地方文史工作室，以體現文化創意產業與通識藝術教育之生活連結。

(四)通識藝術教育與文化創意產業的關連性

本研究設計的方向乃因應時代的潮流，讓學生認識此一美學產業，教師運用科際統整課程模式，以美學經濟之文創產業做為議題的重大概念(big ideas)，結合歷史、藝術、文化、社會、政治、經濟…等跨學科領域，將藝術與人文統整，並以永續的精神出發，用文化探索、美學藝術的概念做為媒材，期使學生在學習過程中，聽到人與環境間的對話，產生人文關懷行動。並進而運用人類累積的文化資本，發揮創意，締造經濟效應，為人類生存環境開創恆久經營的道路。科技大學雖無法養成專門藝術人才，但其為著眼於人、文化與社會、自然環境之間的感知教育，並企圖藉由課程實施培養學生閱讀風氣、拓展藝文欣賞人口、建立文化參與制度、增加文化設施使用率、全面提升國民美學觀。美學運動需要集體的參與，唯有全面提升審美價值，台灣才有可能朝向文化永續發展的目標前進。

二、美學取向之統整課程設計理念

(一)統整課程的意涵

鄭明憲(2002)指出當今課程整合與文化研究的重要性，課程思考的重心是如何讓學習內容更具學科特質、文化意涵、與生活結合。藝術與人文課程統整是一種有組織的、整合式的教學活動設計，以探求藝術品隱含的文化意義，連接其他相關學科(歷史、社會、語言…等)，在課程設計中融入學生的生活、經驗、社區文化、大眾文化、視覺文化…等，藉以探討人、人與人、人與環境的關係。本課程即以此理念，依據「科際統整課程」模式編寫課程計畫，統合藝術、美學、生活、人文領域做為課程內涵。

(二)科際統整課程

這是一種結合不同學科的研究方法與觀點，針對「共同主題、事件、問題或經驗」進行檢查與探討的統整課程。科際統整課程的目的在讓教師與學習者學習處理及統整對於一個主題來自不同角度的訊息與看法，經由更深入與更廣的了解，提升其思考層次的範圍，以期能更宏觀地、更客觀地判斷與解釋此一主題的本質與意義、關鍵問題、相關現象、改善策略、及未來發展的趨勢。(黃議瑩，1998)。

(三)美學取向教學與文化環境中心的教學

過去強調美學取向與文化環境中心取向的教學，由於其教學不易看到成效，教學的內容與方法研究較少，師資、設備也不足，因此較不受重視。但近幾年因應後現代藝術教育的思潮，強調多元文化、跨領域、生活中心、鄉土文化等，因此藝術教育除創作外也應包含美學與文化方面的學習。

通識藝術教育應格外強調美感與文化環境中心取向的鑑賞能力之培養，尤其應使

學生深切體悟藝術是人類最偉大的成就與資產，使其尊重不同文化形式與美感價值，並了解不同時代、國家、社會、階層的人與不同文化的差異性，使學生對多元文化有深切的認識。

後現代藝術教育強調藝術與生活結合，藝術課程是教學生想要的，以探究式的教學法，培養學生思辯能力、判斷能力、合作能力等；幫助學生了解個人，擴大生活經驗，加強與他人之間的接觸，及學校與社區的接觸；協助學生認同自己，也尊重不同背景、不同價值的他人；並將多元文化形式與美感經驗帶入學生的美感認知中。

(四)小結

基於以上討論，本研究之重要研究目的，在探討現今重視美學經濟之發展，欲創造新一波經濟革命而致力於開發文創產業的同時，通識藝術課程可適時扮演的角色。文創產業涵蓋項目廣泛，藝術課程正足以孕育社會參與的一股重要新興勢力。為因應後現代教育思維，強調多元文化、地方特色、彼此尊重，同時呼應文創產業對地方文化資產，社區再造的更新與重建。本研究設計以美學取向之統整課程，其整合面向如圖2-1所示，其反映實際社會的需求，並與生活連結，單元課程納入深坑社區的文化資產為教學資源，藉由熟悉的教學場域，讓學生參與一場美學與環境的對話，也讓環伺於學園週邊的文化資產得以重新被認識。而在地方政府於規劃老街重整的同時，本研究提供官方、學習者、觀光客一個思辯、批判、反省的契機:老街的視覺文化、攤販設計、宣傳行銷是否又會落入其他老街的文化複製模式，看不到自己的特色？這是當今台灣在發展文化觀光的同時必須正視的問題。

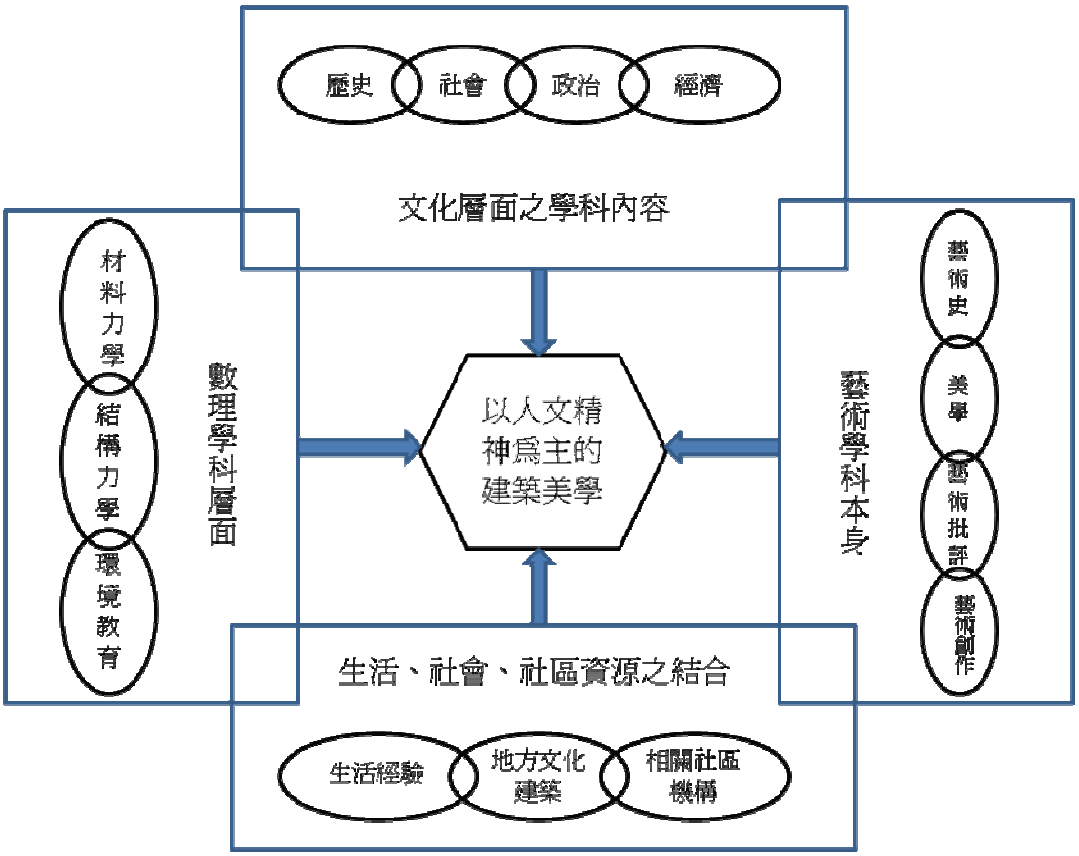


圖3-1 美學取向統整課程之整合面向

肆、研究方法

一、教育行動研究法

本研究採取的研究方法為教育行動研究。並以教師反思日誌、資料分析(學習單、學生網上討論、學生作業)、學生回饋單、質量評量分析解釋作為本計畫的研究工具。

教學行動研究主要研究對象是教育問題，主要研究人員是教育實務工作者，主要研究目的是改進教育的工作情境，企圖使教育實際與教育理論密切結合，並促成教育實務工作者的專業成長(蔡清田，2000)。美學教育課程因應後現代主義思維的發展，重視與人文素養的連結，研究者將之視為教學歷程的一項革新與挑戰，以後現代主義藝術教育的理念發展成本行動研究的目標，藉本研究開創新的通識藝術教育課程，希望學習者透過本研究的課程設計，學習從議題關注發展為有意義內涵的美學訓練，並於探究議題過程中，培養人文社會關懷的情操。

二、行動研究歷程圖:

依本研究所設計之行動研究歷程圖如下所示:

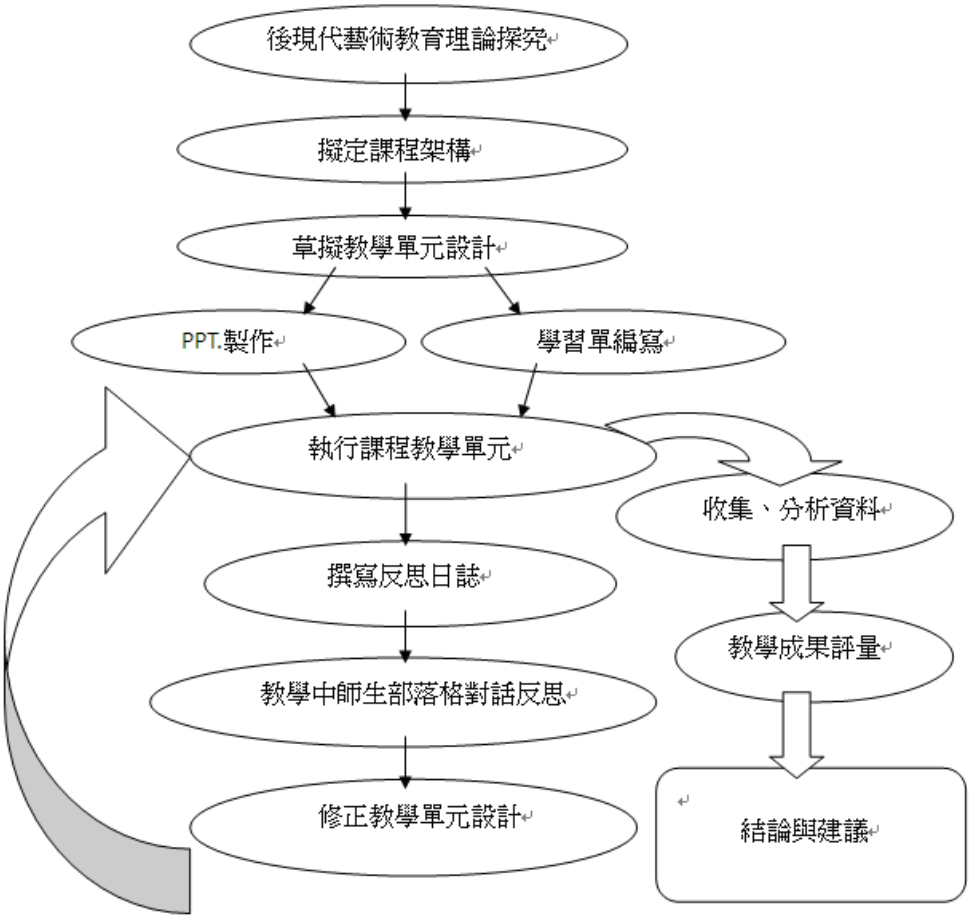


圖4-1 本行動研究歷程圖

三、研究對象

本研究對象為東南科技大學97學年度第二學期修習「永續經營-美學經濟」通識課程之選修學生，學生來自不同科系，共計59名。該課程獲得教育部大學校院辦理永續發展通識課程之補助計畫。

伍、美學取向之統整課程內容及執行情形

一、課程實施說明

本課程設計基於全球化浪潮與符號消費的趨勢下，以文化創意結合靈感、文化資產、美學等概念發展的知識經濟，成為台灣轉型及永續經營的神聖法則。

課程以探討台灣的新興消費社會概況論起，目前消費群已從過去對功能的需求轉向於商品背後抽象價值之符號消費的滿足。隨著社會的富裕，購買一雙 Nike 跟夜市的布鞋，感受是完全不一樣的。生活品質的提升，使得商品也轉向由工業設計、產品包裝、廣告行銷主宰的美學領域。美學的經濟處處存在於我們的生活中，舉凡商品、城市行銷、社區發展、國家形象...，連博物館都加入美學經濟的行列，這些美感價值的提升，全都能創造無限商機。而當國際間的界線不斷在模糊的同時，文化便成為一項最珍貴的資產，它是不可被複製的。藉由文化創意的美學經濟概念，台灣可以他國成功經驗為師，運用自身知識與環境的優勢，去創造龐大的美學商機。

課程分成三大主題，第一單元【文化創意・城市美學】-他山之石，從斯德哥爾摩、巴黎、都柏林、安特衛普、阿姆斯特丹、東京、北京及上海的美感價值運用在商品設計、科技產業、生活風格、城市空間、歷史文物、社區活化、企業精神等的經驗為借鏡，尋求台灣殺出自己創意風格的可能。

第二單元【文化創意・城市美學】-發現台灣，介紹台灣意象之美，包括人文歷史與自然生態，這些都足以發展成國際級的觀光景點。「文化是個好生意」，台灣特有的歷史背景，醞釀出多元精緻的華人社會。海島民族的韌性易於吸收外來資訊並融滲於自身文化裡。台灣令人驚豔的創意無數，舉凡:精品汽車旅館、誠品書店、檳榔西施、婚紗攝影、劇場文化、台灣美食、周杰倫的音樂、法藍瓷等工藝美學...。

第三單元【活化地方文化資產】介紹社區文化的永續發展。台灣經歷九二一大地震，震垮了家園，卻垮不了台灣人的意志，課程中介紹災後社區的重建規劃與成果。也介紹台灣山區原住民生態保育的社區營造及地方產業與環境生態的平衡發展。

而本課程結合深坑文史工作室、在地居民及深坑鄉公所的資源，為學生進行地方文化資產的導覽與介紹。深坑老街為本校鄰近社區，深坑豆腐雖遠近馳名，假日遊客如織，絡繹不絕，但其休閒品質卻相當令人感到不悅。雖其以焦香豆腐聞名，但店家攤販卻未能提供舒適的用餐環境給訪客，餐色也幾乎毫無創意與變化，更別提整體招牌及店家裝潢的視覺感受。其中不免感慨一座歐洲中世紀山城或日本古鎮，徜徉其間的放鬆與沉浸，為何不能複製在台灣的文化小鎮中呢？老街具上百年歷史，擁有非常豐厚的歷史文物，而其週邊還座落近百年歷史的古厝群，且深坑四寶除豆腐聞名外，還有黑豬肉、綠竹筍及茶葉，延伸近區更可直達蒼翠蓊鬱的世外桃源，享受歌林野宴

的快活。若能發揮創意，羅織新意，賦與老街新生命、新面貌，將能帶動更多觀光及回流的客源，令訪客帶走的不是失望與抱怨，而是滿滿的記憶，這正是文創產業亟欲推動社區總體營造之宗旨。

本課程搶搭政策列車，賦與同學此一課題，以學生為主動學習者中心，讓他們發現問題、探索問題、討論問題、紀錄問題並解決問題。而教師的工作即提供學生學習理論的依據，從國際觀與在地化的個案引介，將美的論述及觀點陳述出來，協助學生從藝術與創意著手，進行耆老、百年老店或在地藝術家的訪談；繪製文化或生態動線地圖；設計創意豆腐餐、特色招牌、宣傳海報及週邊商品；拍攝創意廣告；整理深坑大事紀；編寫在地故事…等。而因應目前學生對許多電腦軟體應用非常熟悉，諸如flash、cool360等，可將深坑文化特色製作成3D 動畫、360度環狀影像及互動式行銷廣告等，輔以音樂、文字、語言等多媒體形態，將創意無限揮灑，並將選出創意個案，提供深坑鄉公所在未來發展的參考之用。學生同時也可在 Google Earth 中進行定標、繪製文化與古道路徑圖，並將文字說明及照片上傳，經此衛星定位及導航系統製作，深坑老街將在國際間增加其能見度，讓地球村的居民都能認識深坑文化。本課程之綱要內容如附件一所示。

二、教師反思日誌

研究者於每周課程結束當日，必定完成教學日誌表，趁上課記憶鮮明，記下課程中與學生的對談與交流，學生會引發教學者延伸的題材討論，常常在既定的內容之外，這些往往是課程意外的收穫，經此反思日誌，不僅可以將延伸的內容做為未來課程的加值，更可藉此過程，看到自己需要改進的地方。節錄課程之一的反思日誌於附件二所示。

三、活化深坑老街社區參訪行動的意義及省思

課程規劃中帶領同學走訪深坑老街，善用社區文化資源，作為生活教材。深坑老街參訪記錄如附件三所示。

本研究以美學取向為課程重要執行方向，而運用學校附近的深坑社區文化資源，是最可親可近的重要資產，讓學生透過實地親探社區文化特色，以達到文化認同與關懷。

在此次老街走訪中，讓學生看到深坑不一樣的面貌，除了攤販與遊客所羅織成的熱鬧景象外，深坑其實蘊藏著百年來累積的深厚文化底蘊。除三級古蹟永安居外；還有巴洛克的德興居及號稱深坑最美麗房子的興順居。參訪過程中，學生得以實地走進不對外開放的古老私宅，一探其中精雕細琢之建築之美及文化內涵，以此引發學生對深坑歷史文化進一步探索的興味。

唯美中不足者乃台灣文化複製的「功力」。參訪後的討論中，教師與學生提出對老街文化複製的批判與反省。深坑老街雖已進行第一期舊牌樓街道整建工程，但對修復後的景貌會不會如同鶯歌或大溪老街般，在硬體文化還原後的街道牌坊與騎樓間，一樣買的到九份的芋圓、深坑的豆腐，毫無在地特色的規劃，無法凸顯自我文化的獨特性。這是目前台灣在美學經濟發展的過程中所要面對的瓶頸。

尤其令人生厭的台式招牌，整條老街在近十年隨豆腐打開知名度後，車潮人潮於假日塞暴週邊，為搶奪生意，不僅攤位突出騎樓，將優美的拱形廊道完全包裹覆蓋，

店家毫無創意的制式招牌，這從南到北的台製招牌文化，更徹底打垮文化老街的美學意象。即便是修復後的其他老街，制式鍛鐵而無靈魂的框架，也完全無法突顯店舖的的吸引力。

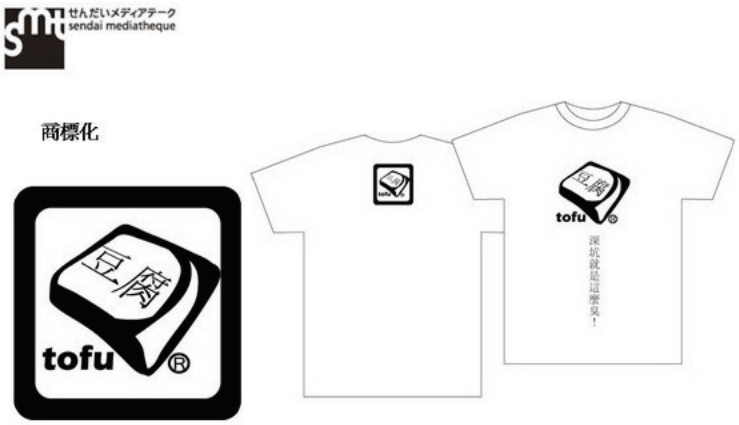
台灣老街文化總讓人感到時空錯置，勝興舊車站與內灣、菁桐等同樣以鐵道文化為賣點的景觀，似乎總給人似曾相識的感覺。地方政府與店家利用文化複製，把地方特色給淹沒了。雖然台灣地景原本歷經日治時期，如初一撤，但地方文化的特殊性與店舖的裝飾卻可以藉助美學認知與涵養突顯出來。唯在於地方政府的用心與否，若只是將硬體規劃爾爾，而忽略軟實力的重要性，那就太輕忽台灣人民對美感價值的體認。中央或地方官員若真要振興地方經濟，就應將文化的軟實力與硬體建設交相融滲，先行教育地方百姓，得到自我文化的認同，而不只是想著如何大賺觀光客的錢財。尤其目前開放陸客來台，走在深坑老街，已常聽到不同腔調與語言交織期間，這代表深坑已走向更廣大的客群印象中。經營景點與經營餐廳一樣，回流率是致勝的關鍵。巴黎的小街能讓人流連忘返，自有其獨特魅力，即使離開，心卻常嚮往之。若推動地方社區文化的發展，能讓觀光客有如此感受，那就是成功的經營原則。如何讓深坑居民對自我文化產生極大認同，引以為傲，先感動自己，才能感動他人，這是是否能吸引人的關鍵所在。

深坑既是一塊文化瑰寶，就應以其豐富的人文歷史為素材，精緻規劃其樣貌，如同歐洲的每一座山城，每一家小舖，呈現自己獨特的樣子，而美學扮演其中關鍵的魔法棒，當地方變美了，對自己的文化有自信了，它自然產生一種社區的凝聚力與向心力，也更會為自己居家與店舖的美麗來較競。畢竟文化是不能被複製且具備獨一無二的特性。

四、學生作業成果

就「活化深坑老街行動報告」中，學生透過實地參與深坑老街活化改造的問題情境，看到深坑老街存在的問題，未能帶給消費者理想的休閒品質環境，以自身經驗洞察問題，進行反思性、挑戰性及批判性思考，找到改進的方案。藉此社區參訪的經驗中，運用先前課堂與閱讀的理論知識(認知)、情感的投入(情意) 及技能的運用(技術)，將理論與實務結合。以下是學生所設計之特色招牌、宣傳海報及行銷商品等。

案例(一):學生設計之深坑 LOGO、T-shirt、宣傳旗幟，並強調將深坑豆腐商標化與品牌化，以便走入國際。



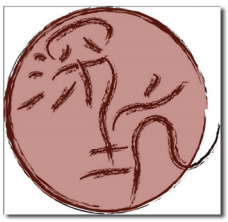
案例(二):學生所設計蘊含懷舊情意之老樹、老屋、老街、老鋪為意象之行銷商品書籤、DM 封面及 Logo

書籤

深坑 DM 封面

深坑 LOGO

深坑老街 . Shen Keng



學生於參訪老街後，對老街文化跳脫舊式雜亂的外貌印象，能以更深刻的感受層次去體現對深坑的情意。以文化創意的角度，學生設計出許多創意商品、招牌等；也有學生設計新穎的豆腐全餐；更有學生以深坑文化製作行銷廣告與文宣。原來學生的創意是無限的，應用在地文化資產作為教學資源，大大開發學生的潛能，也讓學生在創作中找到以美學出發的創意趣味。

多數小組均運用豆腐為深坑宣傳與文化建設的意象，顯示在視覺文化的印象中，豆腐早已創建出等於同深坑的文化符號。如何把這深植人心的符碼意象化為有利的宣傳密碼，將視地方文化建設者有沒有成功掌握這項地方文化優勢，願意聘請設計人才花費巧思營造創意思維。

陸、執行成果分析與檢討

一、量化分析

為了解學生對「永續經營-美學經濟」課程實施的滿意度，本研究發展「學習滿意度問卷」，並於期末進行調查。問卷內容共10題，以了解修課學生對課程內容幫助性。總計本課程問卷回收有效問卷計42份，以下為各部份統計結果的說明:

在課程內容幫助性部分，主要在了解學生對於課程教材內容的領域知能、批判思考引導及提升藝術美學與視覺文化素養的滿意程度。修課學生對於本課程內容的反應結果的統計參見下表。

表6-1: 「永續經營-美學經濟」通識課程學習滿意度統計(課程內容幫助性)

		同意程度(得分高到低) N=42					平均
		5	4	3	2	1	
課程內容幫助性							
1	我覺得老師準備的課程教材相當多元而豐富，能擴展我的美學鑑賞視野。	21	17	4	0	0	4.40
2	我覺得課堂介紹的藝術鑑賞面向與範例說明能幫助我分析並了解視覺文化圖像的意涵。	16	22	3	1	0	4.26
3	我覺得透由課程的鋪陳讓我對文化與生活議題進行更多的批判與反思。	12	20	9	1	0	4.02
4	我覺得對美學經濟與文化創意產業相關議題的探討有助於將視覺文化融入我的生活美學中。	15	19	7	1	0	4.14
5	我覺得對國外城市社區及建築規劃的介紹有助於讓我的國際視野更加開闊。	21	14	6	1	0	4.30
6	我覺得對國內城市社區公共藝術及建築的介紹有助於我對台灣公共環境的關切。	12	19	10	1	0	4
7	我覺得課程中對台灣文化創意產業的介紹有助於未來我對這個議題得關切。	13	17	11	1	0	4
8	我覺得課程中對社區營造的介紹有助於我關心自己所居住社區的事物。	14	17	10	1	0	4.04
9	我覺得部落格的迴響意見有助於反思及建立自己的美學判斷。	9	17	12	4	0	3.73
10	「深坑社區參訪」戶外教學活動讓我重新認識深坑的古蹟建築與人文風情。	14	16	10	2	0	4.12
分量表總平均							4.09

根據表6-1，統計結果顯示修課學生相當肯定本課程教材內容的豐富度與多元性，滿意度達4.40，為所有題項中最高者。其次是對國外城市社區及建築規劃的介紹，有助於讓學生的國際視野更加開闊，其滿意度高達4.30。學生也反應出課堂中介紹的藝術鑑賞面向與範例說明能幫助其分析並了解視覺文化圖像的意涵，滿意度有4.26。對美學經濟與文化創意產業相關議題的探討有助於學生將視覺文化融入於自我的生活美學中，滿意度達4.14。「深坑社區參訪」戶外教學活動讓學生重新認識深坑的古蹟建築與人文風情，滿意度達4.12。

而第9項關於部落格的迴響意見有助於反思及建立自己的美學判斷，滿意度僅3.73，為平均分最低者，顯示學生對於應用部落格做為學習工具或表達自己意見仍有待加強。

二、教學成果分析

(一)教學優點

1.科際統整課程模式激發學生主動學習的意願

本研究基於科際統整觀點，以美學經濟之文化創意產業為議題，運用美學為貫穿的題材，彙集不同學科，聚流而成的教學計畫。將觸角從世界、生活、社區各種不同文化的角度進行探討。在這樣的統整教學模式中，課程帶領同學從台灣觀看世界，從在地經驗銜接世界文化，提供學生開闊的視野與廣闊的天空。藉由美的思維，進行視覺文化的探索，學生學習動機強烈。

2.美學課程帶給學生藝術鑑賞與美學概念的能力

從學生評量與學習單的回饋得知，學習者於此課程中對建築、藝術、文物、設計、環境、文化創意、美學概念都有鑑賞能力的進步。在建築方面尤其獲得許多迴響，其中特別令學習者印象深刻的作品包括瑞士雙人組(Jacques Herzog 和 Pierre de Meuron)的「鳥巢」；伊東豐雄的「冥想之森」火葬場；萊特的「落水山莊」；安藤忠雄的「水教堂」；還有北投的綠建築圖書館及深坑社區的古厝群等。在設計方面，學生對北歐設計的人因工學的椅子；台灣澄果的創意設計；台藝大學生的垃圾桶設計；Allesi 的清宮糖鹽罐的設計等印象鮮明。在環保藝術與環境方面，對台灣海洋意象與珊瑚礁等均體現了對環境的關懷與美感的價值。綜合各項對藝術與美學的品鑑，學生在美學涵養上必定更上層樓。

3.透過以議題的探討可以滋潤人文素養

本課程以美學經濟之文創產業為議題，進行整體課程鋪陳，其所探討的內容以文化為出發點，從多元文化之特性展現創意的永續精神，看到台灣在經濟轉型的過程中，可以運用的元素，發揮的文化資源，以做為恆久經營的目標。而在探索文化資產的學習中，因而直接滋潤涵養了學生對人文素養的內涵，了解人類文明的進程中，所累積的深厚底蘊。

4.運用社區文化資源進行課程統整激發文化認同

本課程以深坑社區做為教學資源，以因應後現代主義對多元及鄉土文化的尊重。在教材編撰上從生活周遭取材，重視自我與環境的互動，配合鄉土藝術、民俗藝術與社區性或地域性之特色。深坑盡藏的文明資產，是發展觀光的美學經濟之重要題材。從深坑文化生活圈-歷史、人文與古蹟的介紹與實地參訪的過程中，學生才深深了解到深坑社區其實蘊藏著文化的寶藏。透過文史工作室的介紹，我們踏進外人無

法進入的私人古厝與後院中，由家傳的故事裡，體會當年建厝的歷史及曾有的風光歲月。從建築的每一個小細節，銃眼、門廊、磚雕、剪黏、彩繪、燕尾、護龍、廚房、門閂…等，均可遙想當年工匠師傅與風水師，如何運用嫻熟的技法為富戶官宦之家，打造如此蘊含智慧、人文、風水、功能及美觀的華宅。透過這樣的行動教學，學生跳脫以往對深坑吵雜擁擠的老街印象，重新看待我們的鄰居。藉由文化的認同，一起努力提供文化創意的發想，建造永續經營的社區文化。

(二)所面臨的困難

1.資訊太多難以取捨

課程中對外國城市美學的介紹，帶進文化差異的討論，例如北歐人對環境資源的珍惜與地處極地的關連，其民主社會主義制度下對不同階級人權的關懷及表現在設計精神上；巴黎人對文化資產保存的積極態度；東京人對禮儀態度的潔癖，及其不擾人的大和精神應用在消費文化上；北京人對新舊文化的衝擊與折衷；上海人對中西合璧文化行銷的利用…。於課堂中就城市美學、建築及文化的討論，引發學生的興趣。但可為借鏡的文化城市實在太多，加以設計、文化、民族、歷史、經濟等要帶進的討論子題多到難以取捨，幾乎每個子題都可發展成為一個大題目，因此也造成教學者每每上課時間不夠，徒留一堆未完成的故事。

2.審美能力不易量化

本研究課程以美學為取向，教學目標自是定在涵養審美價值上。從評鑑結果顯示學生美學鑑賞的視野有擴展之評比很高。但美的能力其實是不易量化的。再加上個體的感知能力及家庭背景都足以影響其對美感層次的體悟，因此課程實施完畢，卻難掌握審美能力提升的具體數據，實是本研究所面臨的難題。

3.解決作業深度不足的問題

本次課程作業與報告設計部分，共分藝文心得、期中報告:《品牌之風格美學》與期末報告:《活化深坑老街行動報告》。學生還有兩次專題演講、兩次融滲式協同教學與參訪行動的學習單，份量其實不小，但顯深度不足。藝文心得的目的不外是藉由藝文活動的參與，拓展藝文欣賞人口、建立文化參與制度，這方面從學生回饋中可見成效。但期中報告與期末報告，學生多以投影片(PPT)製成繳交，圖像優美，而內容不足，而其中圖片或可能來自網路的拼貼或挪移，這可能是數位科技時代來臨，許多老師都必須面對的問題。因此，往後在作業設計上，應盡可能避免讓學生可以便宜行事的方法，而要著重文字的敘述，自我觀點的表達與陳述。

柒、結論與建議

以下提出幾項結論與建議：

一、結論

(一)探討通識藝術教育與文化創意產業的關連性

1.文創產業為新時代的產業

文創產業以美學經濟的形式掀起全世界的跟進。文化具有故事性與獨特性，文創產業即是運用其「文化加值」的特性，創造出龐大的產業型態。而文創產業的根基除

運用文化為底蘊外，美感的附加價值才是擄獲人心的關鍵。隨著生活水準的提升，及人們產生的集體懷舊意識，文創產業可以推向電影、音樂、老建築、新設計、出版、休閒……等多面發展。這也是台灣目前急欲推展的目標。

2.通識藝術課程提供學生文化參與的培育

文創產業經文建會擘畫出美好的願景。但社會集體的參與才是其能否成功之關鍵。大學教育除提供專業外，帶領學生走向全人教育乃為通識精神的核心。美學鑑賞與涵養正是為其對文化參與作準備，只在擁有美學認知與美感的精神價值存在時，才會有人願意從荷包中掏錢，去體驗其難以言喻的真實感受。

(二)探討以美學取向之統整課程的教學理念

1.科際統整課程為教學模式

科際統整課程模式是一種透過共同主題進行探討的統整途徑，強調以不同的領域及角度思考與解決同一個問題。在具體的文化-社會的情境中選取一個社會所共同關注的題材，使學生感到動機強烈、自主性高，以及學習是有意義的。本研究應用此統整理念整合藝術、文化、生活、社區及其他學科等層面。透過對美學經濟的議題探究，從不同角度與面向提升思考的層次，並掌握未來發展的方向。

2.美學取向與文化環境中心取向

以美學取向與文化環境中心取向的教學內容，乃藉由美學的功能，促使社會更美好，希望藉由社會議題的概念探討，使學生在潛移默化中獲得美感薰染陶冶，而將藝術生活化，進而提升生活的品質與品味，把藝術當作生活的本體，當作生命的本身。因應後現代教育的理念，藉由美學結合文化導向，教導學生對多元文化的尊重，懂得接納與欣賞非主流文明。

(三)探討結合社區文化資源的藝術課程之意義

1.培養學生對在地文化的認同

本研究結合校園週邊之深坑社區文化做為教學資源，進行戶外教學與行動報告。學生從實際走訪中深刻體會深坑老街所蘊含的文化價值，並非如觀光客對地方淺薄的豆腐印象。經文史工作室老師的介紹，學生看到更細緻的文化表現與建築深蘊，其記載著唐山過台灣所流傳的文化延遞。同時，藉學生行動報告中，看到經過文化深探與認同後，創作作品所表現出的文化內涵。

2.激發對台灣視覺文化的批判與省思

「活化深坑老街社區參訪行動」後，於課程中的討論，激發對台灣既存的文化景觀產生嚴厲批判。大溪與鶯歌乃活生生的例子，老街的修復似乎振興了地方經濟，卻看不到美學的素樸與涵養。這樣結合地方老建築的文創產業，似乎只像一場熱鬧的嘉年華，帶來人群與攤販，卻抹去文化深刻的意涵。唯有強化在地居民文化認同，才能凝聚共識，競相爭艷表現自我特色與美感，創造不一樣的老街文化。

(四)評析以美學取向之統整課程的可行性

1.培育人文素養與美學應用的能力

開設藝術與人文類群通識課程之目的，即在於提供學生專業之外人文素質的培育，文化創意產業的發展為永續的經營策略，更有美學經濟的價值。但此知識產業的推動並非一朝一夕能達成，其成效乃在於學校教育溫火慢燉中，悉心培育學生對藝術生活的品味及涵養。台灣經濟需要轉型，政府機關扮演主導地位，專門學校培育專業人才養成，而一般大學教育引動更大的集體參與，啟動學生對視覺文化的關心，文化創意產業才有發展成效的可能。再者，文化創意產業所需人力並非僅限藝術設計專才，本校管理學院學生可能因本課程引介，對藝術行政管理及策展人等相關行業產生興趣，而有所發揮。休閒管理系更對文創產業中結合社區總體營造與新故鄉計畫，培育資產保存、地方特色與文化觀光的經營人才等，有更多相關。對工學院學生而言，修習本課程具強化其工藝美學的精神，可運用於未來工業製造與設計上。對機電學群而言，學生沉浸於網路視覺影像之中，更應學習運用美感知識表達視覺圖像，讓文創產業在視訊科技媒材運用上更具美感價值。期使透過本課程的鋪陳介紹，將美學、工學與商學作完美的結合。

2.提升藝術文化的參與與批判思考

本課程從學生的生活經驗、社會議題出發，將美學、文化、日常生活做結合。透過介紹文化創意產業的美學經濟，探討如何能發展出永續經營的法則，以因應國際競爭下的現實環境。同時，思考社會如何刺激藝術核心的成長，提高全民對藝術文化之參與率及生活品味的提升。文化創意產業的永續發展能使台灣從代工製造業轉向為創意經濟產業，藉由課程設計傳遞美學知識與概念，美不僅是一種生活品味，同時能活絡社區、振興經濟，透由美學經濟的概念，讓學生對生活週遭有形無形的消費符號多一點思考，期望能培養學生帶得走的能力。並試圖整合各知識背景的學生，藉此通識課程對視覺文化有深切的討論，提供學生對社會發展有更多視角的觀察、批判、價值澄清及永續經營的道德思考。

二、建議

(一)、教學者的角色變為催化者企圖更貼近學生

建構式的課程觀使教學者已從過去教室主導角色改變，在學習過程中，教師必須創造能引起學習者學習動機之教學環境，教學者的角色由主導者轉變為催化者或資源提供者。課程教師的專業能力在於以和諧的方式，提供概念性的知識、指示學習方法與資源、提供討論與驗證的機會、多元的學習與表現的機會、合作學習機會、師生對話機會、幫助學生覺知自己學習歷程，使學生成為有能力的人(陳新轉，2001)。為使課程內容更豐富，與學生現實生活更貼近，教師在應用後現代藝術教育教學法時，應蒐集大眾流行視覺文化的相關議題，企圖拉近與學生的距離與視線。但藝術教學的本質卻不能在流行文化嘻嘻鬧鬧中被活動掩蓋，在流行文化中教學者應找到足以讓學生思考、批判、反省的切入點，用批判教育學取向帶領學習者看到問題，而不是被文化編撰者主導與操弄。

(二)、跨領域的統整教學為後現代教育的必然趨勢

以後現代主義的觀點，強調多元化與跨領域的整合，已是因應時代轉變教育發展的趨向。研究者建議完善充實的課程計畫，應以學生的學習需求為優先考量。就人力而言，非得有一群充滿熱忱，認同新課程觀且具新課程教育信念的教師，透過對話、腦力激盪、爭辯等機制組織起來。目前科技大專院校不乏充沛的人力與教學資源，應捐棄學科本位的立場，組織學習型成長團隊，其可採用「教師專業能力分組」、「協

同教學」、「班群教學」、「教師成長團體」、「教師專業對話工作坊」、「跨領域學科研討會」等，目的在使教學資源共享，以發揮教育最大效應。一位受過新課程觀薰陶的教師，應於學校中尋找有共識的同事，建立課程合作模式，讓不同知識、不同領域、不同範疇的學科可以統整起來，不論是以共通的邏輯結構統整，或是以社會生活中心採取的統整，都將對現今多元社會的需求，擦撞出亮麗的火花。

(三)、以美學教育為基點擴散其感染力

美學已成顯學，不論城市美學、建築美學、生活美學、公民美學、機械美學、環境美學、生態美學、常民美學、庶民美學、電影美學、暴力美學…走入現代人生活均與美學相關，這也呼應政府提出的三品教育-品德、品質與品味。美學教育在於提升審美價值，而美的價值可以提振心靈、淨化人性、重視質感、提高品味。因此美學教育可以成為最大公約數，統整結合各家學門，讓其成為一種普世價值。歐洲許多國家之所以素養極高，即在於美學教育生活化，她已是生活的共通法則。因此建議未來任何科目在設計內容與教材，均可以美學為基點，向外擴散其美的影響力，讓全人教育中都沾染美的氣息。

參考書目

李美蓉（2001）。＜後現代思考（一）＞。《美育》。第121期。

徐靜嫻（2001）。＜從不同的課程統整選擇型態談統整的概念與設計＞。台東師院學報，12期（上），21-44。

陳新轉（2001）。＜九年一貫課程統整之特性＞。《竹縣文教》。第23期。

張學騰，(2008)。＜文化政策的妳定與實踐＞。2008海峽兩岸文化藝術管理論壇。台北:國立台北藝術大學，2008，19-26。

黃議瑩 (1998)。＜課程統整之意義探究與模式建構＞。《國家科學委員會研究會刊:人文及社會學科》，8(4)，616-633。

張美艷，(2007)。＜當代藝術教育中的批判取向:以文化工業為探索脈絡＞。《台北:國際藝術教育其刊》，52，235、237。

教育部（2003）。《國民中小學九年一貫課程綱要》。台北市：教育部。

詹皓宇（2005）。＜儒道思想闡發現代人文關懷之蘊義＞。《中國語文》，第96卷，第三期。

蔡清田(2000)。＜教育行動研究＞。台北:五南圖書出版公司。

鄭明憲（2003）。＜藝術領域課程整合的模式＞。《美育》。第132期。

鄭淑媛(2007)。《結合社區文化資源之國民小學藝術課程設計-以桃園縣南門國小為例》。國立台北教育大學藝術系碩士班碩士論文。未出版

謝攸青（2003）。＜後現代藝術教育的理論建構與實例設計＞。台北市：師大書苑。參考網址:文建會官方網站取自 http://cci.cca.gov.tw/page/p_01.php

附件一 課程綱要

科目中文名稱	永續經營-美學經濟	任課教師	**
科目英文名稱	Sustainable Management-The Economy of Aesthetics		
上課時間	2009年2月~2009年6月 星期五下午5、6節	教室	圖書館演講廳
學分	2	人數	59
授課對象	四技二年級各系學生		
一、課程目標	知識:藉由課程讓學生認識視覺文化背後的社會意涵，藉由美學的知識與涵養，讓學習者對社會文化有更清楚的價值判斷。 情意:透過視覺美學的薰陶，陶冶心性、涵養氣質，沉澱心靈並促進學習者對自然人文的關懷及對生活質感的重視。 技能:將美感價值的訓練應用於工藝技術、商業管理、休閒管理與數位資訊科技上，以創造美學的經濟。		
二、教學進度	第一週：簡介課程綱要 何為美學經濟及文化創意？ 第二週：1.商品與消費的美學經濟→設計與創意 2.文化的美學經濟-探索全球及台灣新興的消費社會 第三週：【文化創意・城市美學】-- 他山之石 1.西方城市創意美學《瑞典國寶》—瑞典 斯德哥爾摩 2.《小美人魚的故鄉》—丹麥 哥本哈根 3.北歐美學價值觀-「人與自然和諧共處」的設計精神 第四週：1.閱讀天使與魔鬼遊歷羅馬城 2.販售「全球獨一無二的巴黎歷史」 3.都柏林經驗-台灣發展「創意生活產業」的需要與必要 4.安特衛普的夏天-意念美學的小店鋪 5.阿姆斯特丹-「運作全球事業」的海洋精神 6.視覺文化環境與美學教育關係 第五週: 1.東方城市創意美學—日本 東京 2.新・東京建築美學 3.日式公民美學與常民美學 第六週: 1.東方城市創意美學—中國 北京 2.新建築與老靈魂 3.東方城市創意美學—中國 上海 4.殖民風的西式洋樓、名人遺址、石庫門、工業遺址再利用 5.視覺文化產業與文化消費 第七週: 專題演講:「看」的方法、政治與美學 —「視覺性」(visuality)理論的反思與導引 (台灣藝術大學文創學程教師 孫瑞穗老師) 第八週:1.博物館的美學經濟 2.建築的美學經濟 3.時尚美學-時尚品牌的 DNA 第九週: 協同教學-工藝美學(東南科大機械系林寬泓副教授) 第十週: 【文化創意・城市美學】--發現台灣 台灣消費文化隨著時代的變遷而轉型 第十一週:1.台灣文化之多元特質-殖民與後殖民文化遺產 2.台灣意象之美—台灣人文與生態美學 第十二週:文化產業新形象之美學價值-台灣的文化創意 第十三週:專家演講: 『創意、設計、美學』 (國立台灣藝術大學 視覺藝術系主任 林柏賢副教授) 第十四週:【活化地方文化資產】		

	台灣社區總體營造與新故鄉計畫-日本岐阜縣古川町的故事 (1).「地動的花蕊」-九二一重建社區 (2).生態保育的山美-鄒族自覺與社區營造 (3).生產希望的白米-「白米木屐村」地方產業與環境生態的平衡 第十五週: 深坑文化生活圈-歷史、人文與古蹟 第十六週:「活化深坑老街社區」參訪行動- 深坑文史工作室導覽 第十七週: 三峽藍與鶯歌紅-深坑改造的借鏡與改進 第十八週: 期末成果發表
三、指定用書	詹偉雄(2005)，美學的經濟，台北：風格者出版 施百俊(2009)，美學經濟的密碼，台北：商周出版社
四、課程要求	本課程著重對問題意識的掌握與討論。評量重點以上課的參與表現和個人報告為主。此外，為了檢驗學生對基礎知識的掌握，將舉行期中與期末考試，以申論題為主，試題著重測試學生對美學內涵的吸收、社會價值的批判、產業市場的分析。期望透過多元化的評量方式，鼓勵學生充分發揮多方面的表現特質。
五、作業設計	1.藝文活動參與心得報告期中與期末各一份。 2.期中報告-「品牌之風格美學」: 以「美學經濟」的角度，「軟實力」為指標，尋找具風格創意的品牌，找到其品牌經營的理念、精神、哲學、價值、人才、符碼及其經營成功之道。 3.協同教學、專題演講與深坑參訪學習單。 4.期末成果報告-「活化深坑老街行動報告」。

附件二 教學反思日誌

單元15：【發現台灣-社區營造與永續經營】		教學日期：2009年6 月 15 日
學生表現檢核	參與度 專心聽講 討論發言	今天上課營建系幾個女生非常愛講話，有些打擾教學，課堂幾度因此而打斷，也許快接近期末，學生心情難免浮動。
	關心社會資訊、脈動	今天介紹台灣社區發展的個案情況，政府近年來一直努力推行新故鄉計畫及社區總體營造，即使政府頭家換人做，這個對活化社區的發展計畫之原則與方向是沒有改變的。這證明政客的紛擾與混亂並不會影響該走的大方向之政策方針。說起台灣對地方社區營造的努力，一定要提到日本岐阜縣古川町，這個位於本州中部飛驒山區不到兩萬人口的社區，是台灣從事社區營造值得借鏡觀摩的典範。 古川町的故事從一條流經市區的小圳溝開始。居民首先合力清理一條名為「瀨戶川」的溝渠，將其從一條被廢棄的臭水溝慢慢改造成一條有數千尾錦鯉魚悠游其中、周邊植樹綠化的帶狀休閒步道。為了瀨戶川的魚，居民每年必須在下雪前將魚撈起來送到較深的水塘過冬，同時也藉這個機會把水圳清理乾淨；春天，雪開始融化時，大家又一起把錦鯉放回川裡。就這樣，在瀨戶川養魚成了動員社區的新事物，而美麗的瀨戶川成了大家共同的驕傲。 有了瀨戶川的經營經驗，古川人繼續推展一件件令人讚嘆的社區營造工作。其在政府的補助與專家學者的意見協助下，將許多在地的文化資產結合當地木匠，以傳統「土藏造」做法，興建了一座「飛驒木匠博物館」，充分展現出當地數百年的木匠技藝。之後又興修一座展現當地伐木產業的「山樵館」以及記錄表現當地「太鼓祭」無形文化財的「晨之太鼓會館」，裡頭典藏當地木匠的集體工藝表現。小小一座古社區竟在居民齊心協力下，經營出水準極高的

		地方文化設施。不僅提供當地學童最佳的鄉土學習場所，也是外來遊客認識古川的最佳去處。優遊古川，看的到乾淨的街道、開滿花的路邊花圃、清澈的水流、豐富的地方博物館，還有由社區組織合作經營的「味處古川」在地風味餐廳。在這裡，隨時可以看到古川居民自動自發照顧公共空間，猶如照顧自家般，充分展現對自己文化的深刻認同與關懷。 在台灣，我們也可以看到許多公園造景池塘，常常池水邊矗立幾台飼料販賣機，兼賺點飼料費。但古川卻不使用如此粗糙的手法，他們釘置了幾座像神龕般的木製小房子，裡面放置許多麵包條，還有一個開著小小投幣孔的抽屜，人們可以自行捐獻後取用麵包餵魚，完全信任遊客，也不破壞景觀。從那小抽屜被磨得泛白的投幣孔來看，這樣的信任關係是被成功地建立起來了，這同時是一個非常好的生活教育。 古川的經驗值得被複製，但文化的內涵則無法移植。像距離深坑很近的菁桐、平溪、十分一帶，其實就文化創意產業發展的角度而言，也算蠻成功的，其將在地文化資產也做了極大的發揮，像礦工便當、煤礦博物館、舊鐵道、菁桐鐵道故事館、菁桐礦業館、「煤」味道 café shop…等，特別是看到有古早味道的火車票，腦中頓時溢滿裝載濃濃兒時記憶的片段。只可惜每到假日人多嘈雜，常會破壞興致。 台灣擁有在地特色的地方很多，人文、歷史、生態、美食，無盡的資產可以利用。我看了日本岐阜縣古川町的例子，深為感動，倘若我們自己的社區也能發揮這般團結的精神 ，大家的生活會更美好。

附件三 深坑老街參訪記錄

學生校外教學參觀返校報告表					
填表日期： 98年6月13日		填表老師：王玫			
課程名稱:永續經營-美學經濟		學制	四技	班別	二年級
參訪地點:深坑社區		導覽人員:林惠娟老師、黃紫煌先生			
97學年度第 2 學期98 年 6 月 12 日 13 時 0 分 至17 時 0 分					
應到人數	59 人	實到人數	55 人	缺席人數	4 人
校 外 教 學 參 觀 活 動 概 況 敘 述					

參訪路線:
學校→永安居→深坑老街→德興居→深坑國小→興順居→麻竹寮福安居→阿柔坑母子樹→回程解散

本次校外參訪行程由深坑文史工作室林老師及在地居民黃紫煌先生帶領同學探訪深坑社區及其周邊文物、古蹟。

黃家被稱為深坑擁有最多古厝群的家族，以孝友傳家，而其古厝中又以永安居保存最為完整，堪稱全台三合院建築之佳構。它不僅有建築形制上的特點，更是家族與地方墾拓史的見證，非常具有保存的價值與意義。

永安居建造於大正元年(西元1912年)左右，至大正四年(西元1915年)完工，至今已有八十年之歷史。黃氏為當時地方的望族，以茶道致富，因此由永安居的建造形式可看出當時的豪門宅邸建制，以及考究的細部手法。

永安居是一座單進三開間四護龍的三合院民居建築，其利用台階為處理落差的手法，

並突顯出正廳之尊貴。但在空間配置上則以個別類似的護龍與廚房所形成的生活空間所組成，循長幼有序的倫理觀念原則主宰配置法則。三開間的正身，明間退凹，中央開雙扇時新板門。門框、窗框及正面窗下均為當地出產的砂岩所造，左右次間上堵則用紅磚，型成強烈對比較牆上的海棠為福建居民常用的窗式，而剪黏與彩繪的細緻與精美也是本建築的特色之一。

永安居的建材除木材為購自唐山的福州杉之外，石材採自永安居對面山上的砂岩，而牆體與內外牆大量的磚材是購自台北由日人所經營的窯場。

防禦設施的完善是永安居最重要的特色。永安居整體的防禦體系可分為二個層次，一是宅第興建時的總體形勢系統，透過山勢環抱與宅第間格局的關係，以背山而建、居高臨下的地勢來達到整體防禦的效果。第二個層次則是於宅第內設置防禦設施（如銃眼、銃樓）來加強局部的防衝體系，永安居內部共有三十三個眼銃，相較於其他古厝的防禦系統更為嚴謹。整棟住宅從各個銃眼望出皆在視野之中，足以構成火網。

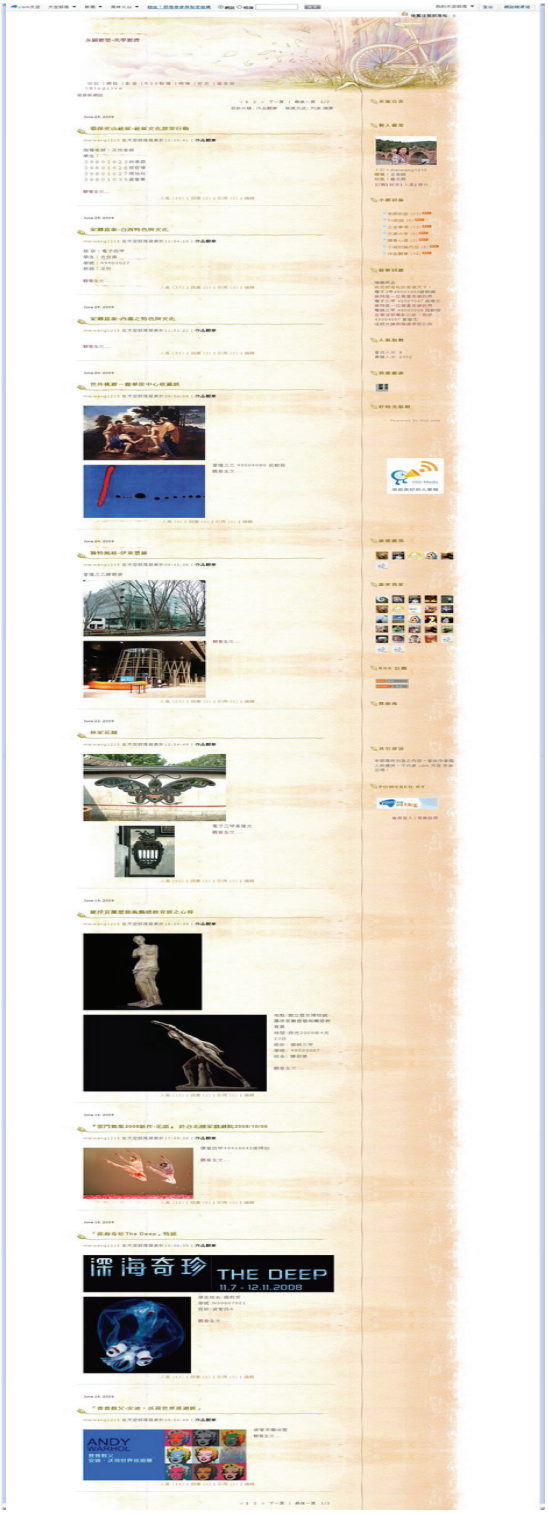
深坑在地居民黃先生熱心帶領同學參觀私人古厝，號稱深坑最美麗的房子--興順居68號，並介紹導覽古厝內的設施、器具用途、古井、磚瓦、鳥踏、馬背、槍孔、燕尾等，而燕尾代表著當年官宦人家的標誌，並讓同學進入屋內，解釋門閂上老祖宗留下智慧型的設計，聽著黃先生描述當年祖先到唐山請建築師及工匠組團來台，為大戶人家服務，前三年找地，勘查地形，中間三年進行建築工程，再三年負責修補，歷時九年方能完成此一宅邸，堪稱工程浩大。期間還有風水師負責看風水，完成工程回鄉，所得也大約可安享晚年。黃先指著牆上紅磚，印有 S 及 T.S 的字樣，其為當年外商來台設廠燒製，牆的砌成由石灰混和糯米及黑糖，非常堅固，歷經百年仍未傾倒，而古井中的水竟仍十分清澈，不經令人讚嘆老祖宗的智慧創意，造出如此宜人、完美且人性的設計。歷經此一難得參訪經驗，領悟到深坑古厝其文化資產的保存價值。

黃先生帶我們參觀另一幢位於深坑老街上的巴洛克建築-德興居，從其正門的華麗雕刻，可以遙想當年的繁華榮景。但歷經百年歲月，已在其門廊上看到滄桑。,據黃先生描述，牆上使用之花雕凸面瓷磚當年從日本進口，飄海來台，屋主為中法戰爭的大將，難怪有如此雄厚的財力。可惜年久失修，瓷磚立面已染上厚厚的灰垢，讓這些文化遺產失了原本的樣貌。

慶幸的是，老街已展開復修工程，希望能很快還原其本來面容。深坑老街近年來由於成為台北近郊的熱門景點，遊客如織，因此許多店家便紛紛從其門前連續拱形迴廊前拓展出去，擺起攤位，導致原本建築形制遭到壞破。在我們參訪老街時，整建復原第一期工程已順利展開。老街已有百年歷史，我們走訪過程中，看到正進行工程的房舍內部，許多以木頭為支撐的樑架已不堪白蟻蛀蝕，需要重新更換，以夯土做成的牆壁也需補強，我們遇見屋主，他告訴我們約50年前小時後，此地的景貌，街道對面的警察局於日據時期就是警察廳，現在的報案台下正蘊藏著一口深井，屋主描述著曾經在此玩捉迷藏的兒時記憶。

經過這次深坑導覽，我才發現深坑真是一塊瑰寶，除永安居，還有巴洛克的德興居、號稱深坑最美麗的房子興順居，雖然深坑老街雜亂陳舊，跟台灣所有觀光景點差不多，整體環境實在欠佳，但經此次導覽，可喜的是深坑已進行第一期舊牌樓街道整建工程，未來會持續進行，我之所以說深坑是瑰寶，因為以前未深入了解它，只是去吃吃豆腐，外在的視覺環境實難給來訪者好的感受，嘈雜、喧鬧、制式的招牌、了無新意的豆腐餐，我覺得相當可惜。深坑既有如此豐厚的人文歷史與古蹟，應該拿來好好做行銷策略，一方便增加美學產業經濟效應，一方面發揚在地文化，而我們學校為其鄰居，未來在教學上，我會加入更多社區人文關懷，讓大家認識深坑之寶，進而擁有文化認同。

附件四　課程部落格討論　　部落格網址:http://blog.yam.com/meiwang1215



東南科技大學　東南學報　第三十五期　中華民國九十九年七月出版　第309-318頁

俱樂部會員休閒運動參與動機之研究－以台中市慢速壘球俱樂部為例

The Research on the Club Members Motivate on Participating in Leisure Movement-Take Slow Pitch Softball Club in Taichung City as an Example

楊欽城[1]　沈宗仁[2]　黃俊傑[3]　張光達[4]

Chin-Cheng Yang[1]　Tsung-Jen Shen[2]　Jun-Jeh Huang[3]　Kuang-Ta Chang[4]

[1]朝陽科技大學體育室　[2]東南科技大學體育室　[3]僑光科技大學體育室　[4]南開科技大學體育室

摘　　要

本研究主要目的在探討慢速壘球俱樂部會員之休閒運動參與動機。透過自編之「俱樂部會員之休閒運動參與動機」問卷之調查，分析、探討慢速壘球俱樂部會員之休閒運動參與動機情形。本研究共發出問卷220份，有效問卷183份，有效回收率為83.2%。藉由問卷調查之資料，以SPSS for windows 12.0進行統計分析。研究結果發現：一、台中市慢速壘球俱樂部會員以男性居多；主要年齡層為41-50歲組和51歲以上；學歷以國中和高中較多；平均薪資以2萬至4萬元的人最多。二、休閒運動參與動機得分最高的構面為「精神狀態需求」，其次依序為「身體健康需求」、「社會需求」、「成就需求」及「感性需求」。三、不同性別會員在休閒運動參與動機的五個構面中，有「身體健康需求」、「社會需求」及「感性需求」達顯著差異，且女性會員得分皆高於男性會員；年齡在休閒運動參與動機五個構面中，則有「精神健康需求」及「身體健康需求」達顯著差異。精神健康需求，51歲以上會員得分大於41-50歲會員；身體健康需求，21-30歲得分大於51歲以上。本研究結果期能提供政府、民間團體、休閒運動社團與後續研究者之參考，對提升民眾休閒運動認知及促進全民休閒運動參與能有所幫助。

關鍵詞：慢速壘球、俱樂部、參與動機

ABSTRACT

The main purpose of this research is to discuss the slow-pitch softball club members motivate on participating in leisure movement. This research analyzed and discussed leisure participated motivation of slow pitch softball club members through the questionnaire “The club member motivation on leisure and exercise participating”. The 220 samples were

sampling by randomly without adjustment, only 183 samples, effective return-ratio is 83.2%, used in this paper. The statistical analysis in this paper is used by SPSS for window 12.0. As the result, the researchers discovered: First, the majority of the Slow Pitch Softball Club members are male, the ages are in 41-50 and over 51 years old; the education levels are in middle high schools and high schools; the average salary is between 20,000 to 40,000. Second, the highest construction in participating motivation of leisure movement is “the needs in mental condition”, and then is “the needs in health”, “the needs in social”, “the needs in achievement”, and “the needs in perceptual”. Third, base on the sex differential, the club members motive on participating in the leisure movement among five constructions, “the needs in health”, “the needs in social”, and “the needs in perceptual” have significant differences, and the female has higher score than male members; base on the age, “the needs in mental condition”, “the needs in health” are significant in the five constructions. For “the needs in mental condition”, the age over 51 gets higher score than the ages between 41 to 50, For “the needs in health”, the age between 21 to 30 gets higher score than the age over 51. We have expected this research can be a reference for our government, private sectors, leisure athletic organization, and latter study, and we have also expected this study would improve the recognizing and participating in leisure exercises.

Key words: Slow Pitch Softball, Club, Motivation

壹、緒論

一、研究背景與動機

動機是指引起個體活動並維持此活動朝某一目標進行的內在歷程（張春興，1991）。動機之所以和個體的行為活動有密切關係，乃是因為有了動機，個體得以保持對活動的熱誠，並能持續進行該活動；反之，個體沒有了動機，則會對活動失去興趣就可能進而中止該項活動。運動參與動機的繼續和維持，是使個人想要積極參與運動的最大動力。休閒運動之參與能減低焦慮、沮喪、以及疲勞等負向情緒。養成規律休閒運動習慣有助於個人維持正向情緒之發展，不但是可以調節人體緊張的作用，亦能改善生理和心理狀態，是生活中壓力的最佳緩衝劑。不論何種形式的休閒活動，其最終目的都在均衡生活體驗、健全生活內涵，並提升民眾生活品質（高俊雄，1995）。從事運動性的休閒活動，不僅可以放鬆身心，更可改善身體健康（程紹同，1994）。胡家欣（2000）針對大學生休閒運動體驗之研究結果發現，參與休閒運動可以獲得放鬆、減壓並享受美好生活。張宏亮(1997)的研究也指出，運動對於預防憂鬱症與控制體重更有很大的幫助。因此，有愈來愈多的人們透過運動來紓解工作壓力，提昇健康體能、增進生活品質，並且能夠實現自我及增加週遭人們和環境的關係。

根據行政院主計處民國97年公佈的國情統計報告顯示，政府全面實施週休二日

後，提供了民眾追求價值與自我實現的機會，台灣地區民眾休閒的時間有顯著的提升。休閒運動是目前被公認可以延緩老化並促進身體健康之方法之一，休閒運動可以加強文的文明意識與道德修養、有效的調節人的情緒狀態、提高人體適應環境的能力、提高身體基本活動能力(呂惠富，2008)。但由於近年來經濟不景氣使得一般民眾有越來越高的比例，希望花費較少、且能使自己達到健康的休閒活動。因此，國人越來越重視一些如慢速壘球、爬山、健走、游泳等較便宜且可達到運動與休閒效果的活動。

在眾多休閒運動項目中，慢速壘球之所以受到國人歡迎，是因它不像棒球運動為高度專業技術的競技運動項目，反而打起來很輕鬆，使人有成就感，以國人的身材體型、個性而言，它是很適合全民一齊參與的休閒運動（徐運標，1998）。慢速壘球在促進長期健康及體適能能力方面扮演一個相當重要的角色(黃俊傑，2007)。因此，本研究針對台中市慢速壘球俱樂部會員做休閒運動參與動機之研究，期能瞭解參與慢速壘球者的休閒運動動機，進而促進慢速壘球運動風氣之發展，且提供往後相關研究領域之參考。

二、研究目的

根據上述之研究背景與動機，本研究提出具體之研究目的如下：

(一)瞭解台中市慢速壘球俱樂部會員人口統計變項。

(二)瞭解台中市慢速壘球俱樂部會員休閒運動參與動機情形。

(三)比較不同人口統計變項之慢速壘球俱樂部會員在休閒運動參與動機之差異。

三、研究問題

根據本研究之研究目的，本研究所要探討的問題如下：

(一)台中市慢速壘球俱樂部會員人口統計變項為何？

(二)台中市慢速壘球俱樂部會員之休閒運動參與動機為何?

(三)不同人口統計變項之慢速壘球俱樂部會員在休閒運動參與動機上有無差異？

四、名詞操作性定義

(一)慢速壘球俱樂部會員：每月固定時間參與慢速壘球運動，包括需繳費及協辦台中市慢速壘球活動支援等工作之民眾，總稱之為台中市慢速壘球俱樂部會員。

(二)人口統計變項：本研究所採用之人口統計變項包括：性別、年齡、教育程度及每月薪資等四項。

(三)動機：所謂動機（Motivation）係指引起個體活動，維持已引起的活動，並導使該種活動朝向某一目標進行的一種內在歷程（張春興，1991）。動機是一種促使人類採取某種特定行為，好滿足某種需求的力量（林靈宏，1994）。

貳、方法

一、研究對象

本研究係以參與台中市慢速壘球俱樂部220位會員為研究對象。共計發放問卷220份，回收問卷196份，問卷回收率為89%，有效問卷183份，有效問卷率為93.4%。

二、研究工具

本研究量表乃參考張良漢（2001）和林昌國（2007）所編製之休閒運動動機量表的論點及構面為基礎，來作為本研究的工具。「俱樂部會員之休閒運動參與動機調查問卷」，問卷內容分為二部份，第一部份為休閒運動參與動機量表；第二部份為會員個人基本資料。此量表採用李克特(Likert)五分量表方式評分，從「非常同意」、「同意」、「沒有意見」、「不同意」、「非常不同意」，分別給予5、4、3、2、1分的分數。量表經『探索性分層因素分析』後，得到五個因素。其中「精神狀態需求」構面，Cronbach's α 係數值為.75，解釋變異量為55.71%；「身體健康需求」構面，Cronbach's α係數值為.72，解釋變異量為61.05%；「社會需求」構面，Cronbach's α係數值為.73，解釋變異量為49.71%；「成就需求」構面，Cronbach's α 係數值為.73，解釋變異量為49.36%；「感性需求」構面，Cronbach's α 係數值為.74，解釋變異量為48.92%，總量表的 Cronbach's α 係數值為.85。分析結果顯示，本量表具有良好的因素效度以及可接受的內部一致性。

三、資料分析處理

(一)本研究使用SPSS for windows 12.0進行統計分析，並以α＝.05 為顯著水準進行統計考驗。

(二)根據研究目的，本研究在考驗研究假設上所使用之統計方法如下：

1.次數分配百分比及描述性統計分析台中市慢速壘球俱樂部會員之人口統計變項及休閒運動參與動機情形。

2.以獨立樣本**t**考驗分析不同性別之休閒運動參與動機差異情形。

3.以單因子變異數分析（one-way ANOVA ）及雪費（Scheffe）事後檢定分析不同年齡組別之休閒運動參與動機差異情形。

參、結果

一、人口統計變項調查

(一)性別

在本研究問卷填者的性別分佈情形如表一所示，以「男生」為最多，共有146人，

佔79.3%；而「女生」則為38人，佔20.7%。

表一　性別分佈情形

性 別	次 數	百分比	累計百分比
男生	146	79.3	79.3
女生	38	20.7	100.0
總和	184	100.0	

(二)年齡

在本研究問卷填者的年齡分佈情形如表二所示，以「41-50歲」和「51歲」組為最多，分別有68人、88人，佔37.0%與47.8%，而「21-30歲」組最少，只有8人，佔4.3%。

(三)學歷

在本研究問卷填者的學歷分佈情形如表三所示，以「國中以下」和「高中職」組為最多，分別有83人、78人，佔45.1%與42.4%，而「大專以上」組較少，只有23人，佔12.5%。

表二　年齡分佈情形

年齡組別	人 數	百分比	累計百分比
21-30歲	8	4.3	4.3
31-40歲	20	10.9	15.2
41-50歲	68	37.0	52.2
51歲以上	88	47.8	100.0
總 和	184	100.0	

表三　學歷分佈情形

學 歷	次 數	百分比	累計百分比
國中以下	83	45.1	45.1
高中職	78	42.4	87.5
大專以上	23	12.5	100.0
總 和	184	100.0	

(四)薪資

在本研究問卷填者的薪資分佈情形如表四所示，以「2萬至4萬」組為最多，有91人，佔49.5%，而「2萬以下」組最少，只有19 人，佔10.3%。

表四　薪資分佈情形

薪 資	次 數	百分比	累計百分比
2萬以下	19	10.3	10.3
2萬至4萬	91	49.5	59.8
4萬至6萬	62	33.7	93.5
6萬以上	12	6.5	100.0
總 和	184	100.0	

以上研究資料可知，性別分佈情形中以「男生」為最多；年齡分佈情形中以「41-50歲」和「51歲」組為最多；學歷分佈情形中以「國中以下」和「高中職」組為最多；薪資分佈情形中以「2萬至4萬」組為最多。

二、俱樂部會員之休閒運動參與動機情形

由表五得知，會員之休閒運動參與動機得分最高的構面為「精神狀態需求」，其餘依序為「身體健康需求」、「社會需求」、「成就需求」及「感性需求」。會員休閒運動參與動機各構面的平均得分介於3.99-4.49分，其顯示參與慢速壘球運動的休閒運動動機非常高。

表五　俱樂部會員休閒運動參與動機得分情形

參與動機構面	個數	平均數	標準差	得分次序
精神狀態需求	184	4.49	0.47	1
身體健康需求	184	4.40	0.43	2
社會需求	184	4.21	0.45	3
成就需求	184	4.05	0.43	4
感性需求	184	3.99	0.43	5

三、俱樂部會員休閒運動參與動機之差異性分析

(一）性別之差異性分析

由表六得知，男、女生在「精神狀態需求」構面未達顯著 (t=-1.208，p=.231），表示男、女生在精神狀態需求是沒有差異的。在「身體健康需求」構面上達顯著差異

（t=-4.961，p=.000），表示女性在身體健康需求上明顯高於男性（女=4.63＞男=4.37）。在「社會需求」構面上亦達顯著差異（t=-2.985，p=.003），表示女性對社會需求的重視明顯高於男性 (女=4.30＞男=4.05）。在「成就需求」上未達顯著，也就是男、女生在成就需求表現上沒有差異。在「感性的追求」構面達顯著差異（t=-3.116，p=.002），表示女性在「感性的追求」上明顯優於男性（女=4.17＞男=3.92）。

表六　性別在休閒運動參與動機的獨立樣本*t*檢定摘要表

參與動機層面	性別	個數	平均數	標準差	t 值	P 值
精神狀態需求	男生	146	4.47	0.48	-1.208	.231
	女生	38	4.56	0.38		
身體健康需求	男生	146	4.37	0.42	-4.691	.000**
	女生	38	4.63	0.27		
社會需求	男生	146	4.05	0.45	-2.985	.003**
	女生	38	4.30	0.44		
成就需求	男生	146	4.02	0.46	-1.256	.210
	女生	38	4.11	0.48		
感性需求	男生	146	3.92	0.43	-3.116	.002**
	女生	38	4.17	0.35		

*P＜.05 ； **p＜.01

(二)年齡之差異性分析

本研究將年齡區分為21-30歲、31-40歲、41-50歲、51歲以上，並作為自變項，以休閒運動參與動機之精神狀態需求、身體健康需求、社會需求、成就需求、感性追求各層面作為依變項進行單因子變異數分析，如達顯著水準，再以薛費（Scheffe’method）進行事後比較，以了解不同年齡層在休閒運動參與動機各層面的差異情形。由表七得知，年齡組別在休閒運動參與動機的五個層面中有「精神狀態需求」及「身體健康需求」達顯著差異水準。

由表八不同年齡層在精神狀態需求與身體健康需求之事後比較得知，在「精神狀態需求」層面，年齡「51歲以上」組較「41-50歲」組有著更為強烈的精神狀態需求；在「身體健康需求」層面，年齡「21-30歲」組較「51歲以上」組更注重身體健康需求的滿足。

表七 年齡組別在休閒運動參與動機各層面單因子變異數分析摘要表

參與動機層面	變異來源	DF	SS	MS	F值	P值
精神狀態需求	組間	3	2.500	0.83	4.215	.007**
	組內	180	35.582	0.19		
身體健康需求	組間	3	1.616	0.53	3.195	.025*
	組內	180	30.352	0.16		
社會需求	組間	3	1.209	0.40	1.986	.118
	組內	180	36.52	0.20		
成就需求	組間	3	0.511	0.17	0.816	.486
	組內	180	37.551	0.20		
感性追求	組間	3	0.471	0.15	0.855	.465
	組內	180	33.018	0.18		

*p＜.05 ；**p＜.01

表八 不同年齡層在精神狀態需求與身體健康需求之事後比較

參與動機層面	年齡層	平均數	標準差	事後比較
精神狀態需求	21-30歲(N=8)	4.57	0.40	
	31-40歲(N=20)	4.45	0.41	
	41-50歲(N=68)	4.35	0.49	
	51歲以上(N=88)	4.58	0.41	51歲以上＞41-50歲
身體健康需求	21-30歲(N=8)	4.79	0.20	
	31-40歲(N=20)	4.36	0.35	
	41-50歲(N=68)	4.47	0.48	
	51歲以上(N=88)	4.35	0.37	21-30歲＞51歲以上

肆、結論與建議

一、結論

(一)台中市慢速壘球俱樂部會員以男性居多；主要年齡層為41-50歲組、51歲以上；學歷以國中與高中較多；平均薪資以2萬至4萬元的人最多。

(二)台中市慢速壘球俱樂部會員休閒運動參與動機以精神狀態需求、身體狀態需求分數較高，而社會需求、成就需求、感性需求大都能達相當水準。

(三) 不同性別會員在休閒運動參與動機的五個構面中，有「身體健康需求」、「社會需求」及「感性需求」達顯著差異，且女性會員得分皆高於男性會員；年齡在休閒運動參與動機五個構面中，則有「精神健康需求」及「身體健康需求」達顯著差異。精神健康需求，51歲以上會員得分大於41-50歲會員；身體健康需求，21-30歲得分大於51歲以上。

二、建議

(一)對台中市慢速壘球俱樂部經營者之建議

根據前述結論，慢速壘球俱樂部之經營管理單位可據此研究結果擬定適當的行銷策略，以下為具體之建議：

1.經營者首先應針對年齡及教育特性進行招募規劃。例如至各級學校針對學生免費短期會員資格證，其次可針對職業特性會員或地方紳士尋求配合款使俱樂部營運。

2.設計具有吸引力之廣告海報及活動宣傳；以及針對附近之學校，派會員進行運動推廣，並給予技術指導或建教合作支援。

3.由於本研究受試者的休閒運動參與動機因素排序依次為：「精神健康需求」、「身體健康需求」、「社會需求」、「成就需求」、「感性需求」， 因此領導者應針對動機設計能滿足會員主要需求的活動內容、比賽氣氛，使得會員更願意參與活動。

4.大部份的慢速壘球俱樂部均很少針對會員進行意見調查，因此會員的意見很多不能正確傳達至經營者，所以俱樂部應該依實際狀況與經濟考量，設計簡易性問卷，定期對會員辦理聚餐聯誼活動。

(二)對相關慢速壘球俱樂部之建議

可加強學生在此領域的會員人數，因為有年輕社員的加入，俱樂部才能永續經營，也為學生開拓另一健康休閒管道。未來針對學生參與動機進行調查，是以提升學生族群的運動習慣，維護國人身體健康從小培養起，使國人生活更健康更活潑更快樂。

參考文獻

呂惠富 (2008)。休閒運動之參與動機與休閒效益關係之研究。休閒產業管理學刊，第一卷，第一期，41-53。

林靈宏（1994）。消費者行為學。台北市：五南圖書。

林昌國（2007）。台北市社區大學學員休閒運動參與動機與滿意度之相關性研究。嘉義大學體育健康休閒期刊。6 (2)，25-28。

胡家欣（2000）。大學生的休閒認知、涉入與體驗—兼論人格特質的影響。未出版之碩士論文，高雄醫學大學醫學系，高雄市。

高俊雄（1995）。台北市健康體適能俱樂部經營管理型態初探，大專體育，22，39-42。

高俊雄（1996）。跨世紀運動休閒之舞台經營。運動休閒管理論文集(一)。

徐運標（1998）。淺談慢跑運動。大專體育，37，83-85。

張春興（1991）。張氏心理學辭典。台北市：東華書局。

張宏亮（1997）。運動與健康，台北市：健康文化事業股份有限公司。

張良漢（2001）。休閒運動參與動機、現況及需求之研究。載於2001國際高等教育體育學術研討會論文集。台北市：國立臺灣師範大學。

陳美燕（1995）。運動動機量表之信度與效度分析。國立體育學院論叢，5（2），185-192。

黃俊傑(2007)。大專學生參與慢速壘球運動動機之研究-以亞洲及逢甲大學慢速壘球興趣選項爲例。2006年中華民國大專院校體育學術研討會專刊，291-296。

程紹同（1994）。體育發展的新趨勢-運動休閒管理。中華體育，7（4），25-28。

Comrey,A.L.,（1998）.Factor analytic methods of scale development in personality and clinical psychology.*Journal of Consulting and Clinical Psychology,56,754-760.*

Mull, R. F., Bayless, K. G., & Ross, C. M.,（1987）. Recreational sports programming,*Journal of LeisureResearch, 21, P.53~59.*

東南學報

第三十五期

出版者　　：東南科技大學
創辦人　　：蔣志平
編輯者　　：東南學報編輯委員會
主任委員　：周文賢
總編輯　　：林寬泓
編輯委員　：黃家智、劉振源、陳坤男、黃錦鐘、林明贊、蘇世豐、蘇堯銘、林玉斌、廖文蘭、何俊明、徐貴新、游聖謹、林思毅、詹　瑋、董益吾
執行編輯　：王　華
學校地址　：台北縣深坑鄉北深路三段一五二號
學校電話　：(02)8662-5900（總機）、(02)8662-5828（綜合業務組）

印刷廠　　：健榮國際有限公司
印刷廠電話：(02)2738-7729
出版日期　：中華民國九十九年七月