

# 《清雲學報》第二十七卷 第二期

## ～～目 錄～～

- 微細放電加工機之控制系統設計與實現  
Control System Implementation for Micro Electric Discharge Machine  
林仲廉、王民勝、王阿成 -----1
- PP/SWN 奈米複合材料之製備與機械性質研究  
Study on Mechanical Properties of PP /SWN Nanocomposites in Microcellular  
Injection Molded  
林朝慨、鄭鍵棋、顏守舷、李興煜 -----21
- 負波桑比連桿放大機構研製與模擬分析  
MULTI-LAYER RE-ENTRANT FORMS LINKAGE AMPLIFIER MECHANISM  
OF NEGATIVE POISSON'S RATIO  
林高輝、胡雅慧、黃加閔、蕭棋煌、陳東星 -----31
- 鋼筋尺寸及孔洞空間位置之放射線定位法  
Identifying Reinforced Steel Size and Honeycomb Location Using 3-D Radiographic  
Positioning Method  
陳明正、詹益臨、韋家振、邱顯文 -----43
- 結合衰減全反射與內部全反射原理之微小位移測量儀  
Instrument for measuring small displacement based on the total internal reflection and  
attenuated total reflection theories  
王信福、邱智賢 -----55
- 新型基因演算法研發以設計布萊格光柵參數  
Population-split genetic algorithm for Bragg Grating parameter synthesis  
許菽芳、陳雲鵬、潘犀靈 -----61
- 高雙折射率光子晶體光纖設計  
DESIGN ON HIGHLY BIREFRINGENT PHOTONIC CRYSTAL FIBERS  
葉翰軒、趙遠鳳、洪榮木、孫郁興、葉小玉、鄭任欽 -----71

鎳氫電池模組充放電保護電路設計 CIRCUIT DESIGN ON CHARGING AND DISCHARGING PROTECTION FOR NICKLE-METAL HYDRIDE BATTERY MODULE	
<b>盧樹台</b> -----	79
技職院校「能源科技」課程中電力電子能力提昇之研究 A Study of Promotion Power Electronics Competence at the Energy Technology Course in University and Institute of Technology	
<b>鍾金明、莊浩威</b> -----	89
以無乘法器之 FPGA 來實現梳型濾波器 The Realization of modified comb filter by using Multiplierless FPGAs	
<b>郭孟鑫、曹語璇、饒國安</b> -----	105
全球主要鋼鐵業股價報酬波動外溢效果之研究 The Dynamic Volatility Spillover Effects of Stock Returns: An Analysis from the Global Main Steel Industries	
<b>林恩詒、陳志鈞、黃建中</b> -----	119
產品研發的模糊可靠度分析 THE ANALYSIS OF FUZZY RELIABILITY DESIGN FOR PRODUCT DEVELOPMENT	
<b>許績興</b> -----	141
中共反恐怖鬥爭的國家利益分析 The Analysis of National Interests of China's Anti-terrorism Campaign	
<b>戴春成</b> -----	149
戒菸前、後運動心跳率之差異研究 A Study on Heart Rate Differences Before and After Quitting Smoking During Exercise	
<b>蔡德榮</b> -----	161
人格特質量表之驗證性因素分析 CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS OF THE NEO-FIVE FACTOR INVENTORY	
<b>李惠芳、陳鵬飛、戴興豪</b> -----	179

譚獻詞學發微

Tan Hsien's Study of *Tsyr* Poetry

姚振黎 -----193

## 微細放電加工機之控制系統設計與實現

### Control System Implementation for Micro Electric Discharge Machine

林仲廉<sup>1</sup> 王民勝<sup>2</sup> 王阿成<sup>3</sup>

清雲科技大學 機械工程系

[jlin@cyu.edu.tw](mailto:jlin@cyu.edu.tw)<sup>1</sup>

[M9321015@cyu.edu.tw](mailto:M9321015@cyu.edu.tw)<sup>2</sup>

[acwang@cyu.edu.tw](mailto:acwang@cyu.edu.tw)<sup>3</sup>

#### 摘要

微細放電加工(micro electrical discharge machining)，其原理係利用電極導入電壓，並使電極與工件浸於加工液中，當兩極間達到極微小之間隙而產生放電效應，進而加工於工件表面上。過去於本校實驗室之小型放電加工機台於各子系統之電源供應方面均仰賴簡易式之電源供應器方能驅動及致動，因此本研究自行研發利用同一電源能夠同時驅動各子系統之橋式全波穩壓供電系統，不僅能滿足各系統電源需求，並能降低經濟上之耗費。在位移觀測方面先前之機台僅能取得馬達之步階參數，而無法取得軸位實際移動之距離，因此本研究為克服此缺點，於放電加工平台Z軸加裝光學量測機構，並配合資料擷取介面及結合自行研發之邏輯運算圖控程式，使之獲取軸位進給與退回實際位移量，亦能取得放電加工時之位移模糊區域之完整精度，進而形成一閉迴路之微細放電加工系統。

**關鍵字：**微細放電加工、穩壓供電系統、位移精度控制。

## **Abstract**

Although micro electrical discharge machining (EDM) technology can manufacture precision micro-hole easily, it also has some defect, for example: the low process efficiency, the high electrode wear rate (EWR), the high material remove rate (MRR), and the expanding of micro – hole. Therefore, the main objective of this research is concentrated on the performance improvement of the previous generation micro electric discharge machine which was set up in the Sensor and Control Laboratory at the Department of Mechanical Engineering at Ching Yun University. The first investigation of the bridge type full wave voltage regulation power supply system is well developed in this research. Moreover, in order to overcome shorting of the inaccurate axial displacement for such machine, the linear optical ruler is installed in the system. The controller board with its real-time software interface permits rapid control prototyping in connection with LabVIEW, thus enabling a quick implementation of the proposed closed-loop control approach on the basis of the real-time block model applied in LabVIEW. Experimental results of the proposed improvements show that it is technically and economically feasible to develop a low-cost, reliable automatic, less time consuming controller for micro EDM machine.

**Keywords:** micro electrical discharge machining, voltage regulation power supply system, position control

## I. 緒論

放電加工 (Electrical Discharge Machining, 簡稱 EDM) 是利用電能轉換成工件熱能, 使工件急速加熱融熔的一種加工方法。換句話說, 在放電加工時, 加工液中的電極與工件極微細的間隙中產生過渡電弧放電現象, 進而對工件產生熱作用, 加工液體會受到放電壓力與熱作用的雙重效用而氣化爆發現象, 同時工件融化的部分, 會伴隨液體的氣化現象融入加工液體當中, 工件因放電的作用產生放電痕, 藉由反覆進行此程序而達到希望的形狀完成, 則稱為放電加工 [1]。

近年來放電加工技術日益進步, 微細放電加工能突破以往技術瓶頸, 在加工製程上能替代研銑削、超音波振動及高溫雷射熔接等多種加工方式進行加工, 進而達成各種複雜微型元件成型及孔徑加工, 在經濟成本與環境空間也節省許多。不僅如此, 在工件方面也不受限於材料範圍, 若為金屬導電材質可直接加工, 若為高強度或高韌性之非導體材料, 如陶瓷等高分子絕緣材料亦能以微細放電能量進行加工 [2]。

本研究係以研製微細放電加工機之控制系統為基礎, 在電子控制迴路與程式結構編寫做其改良, 同時針對控制硬體架構進行改善, 包括可調變型 RC 放電檢測迴路、橋式穩壓整流供電系統、光學軸位量測機構以及數位 I/O 極限開關機構校正裝置, 進行新系統的改良及更新。此架構與本實驗室之前所發展之架構 [3] 於控制動作不同之處在於使用圖控迴路控制驅動器的導通與截止, 形成一迴路裝置, 藉以決定步進馬達啟動 (ON)/停止 (OFF)、正逆轉、軸位進給與退回、極限開關

與緊急停止等需求控制動作。並利用可調變型的電容與電阻迴路, 使電極與工件之間的放電能量大小會因 RC 相互搭配而產生不同的放電效能, 同時使用橋式整流穩壓電路來轉換電流並穩定所需的驅動電壓。同時為了使此位移平台量測到更準確的精度, 使用高精密鋼帶光學量測機構應用其放電機台軸位上, 對定位控制動作更能精確之執行。

本論文將從以下討論實驗研究部分著手: RC 放電迴路的設計、程式控制的介面設計、橋式整流穩壓電源供應系統、高精密鋼帶光學量測機構, 以設計與實現微細放電加工機之控制系統。

## II. 實驗設備

本研究所設計之微細放電加工機構主要是以位移防震絕緣平台、軸位元件及驅動系統、橋式穩壓整流供電系統、RC 放電迴路保護裝置、繞射式光學軸位量測機構、放電加工訊號檢測控制系統、極限開關軸位校正系統及加工液排屑循環系統所構成, 圖 1 為放電加工平台實體圖, 圖 2 為放電加工流程圖。以下將分別針對此六項單元逐一探討, 放電加工機台主要是延用先前 [3] 設計之平台以作為整體放電加工架構, 並結合自行設計程式介面之控制迴路, 可達成精確掌控硬體與軟體之參數設定與即時系統偵錯, 進而更容易使故障等問題排除, 以降低控制系統之故障率。

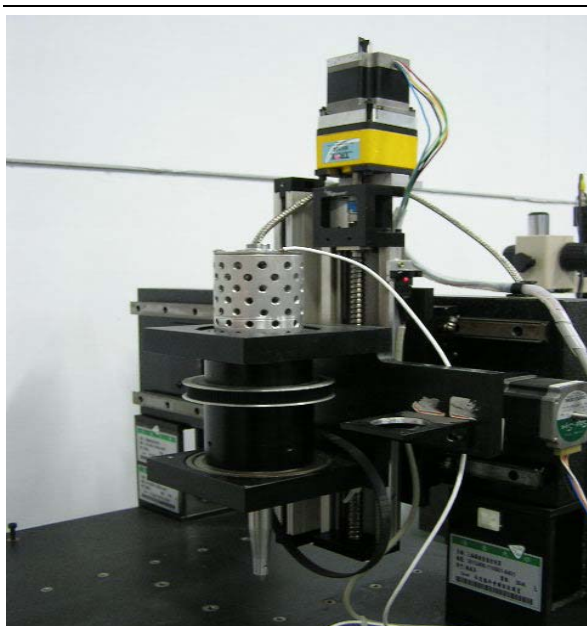


圖 1 放電加工平台實體圖

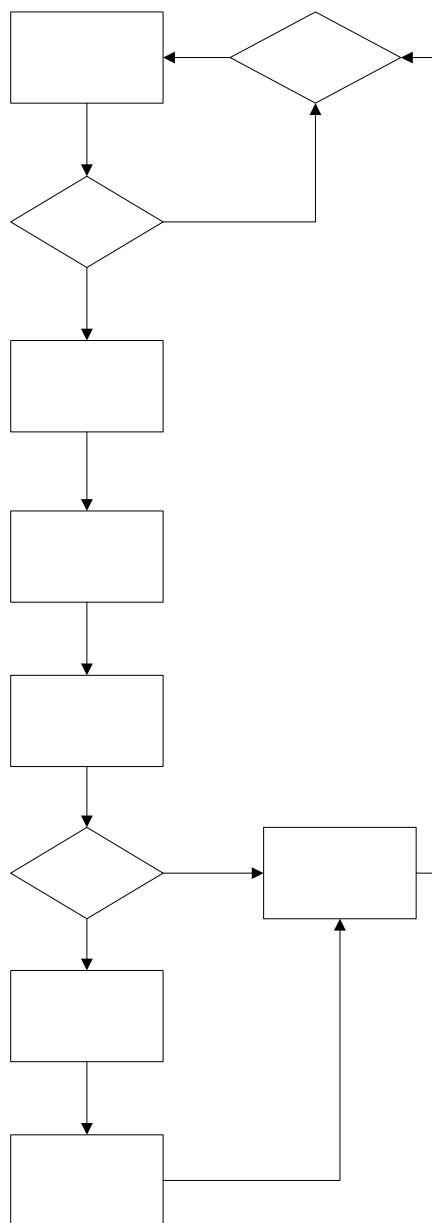


圖 2 放電加工流程圖

### 2.1 位移防震絕緣平台

本研究之放電加工機台主體大致所使用的材料為大理石花崗岩所架構而成，並已作陽極處理以防止漏電及外部干擾之虞，平台上主要是以兩顆步進馬達當作 X 軸與 Z 軸兩處使用，並且聯結搭配導螺桿最作為位移基礎架構，本文主要為 Z 軸位移精度方面之控制，因此 X 軸及其它軸向為日後改善之要點。此加工平台不僅於放電加工使用，同時為提供位移訊號傳輸系統方便作業，在訊號

輸入方面，則是使用運動控制卡(motion control card/PCI-7344)結合資料擷取卡(DAQ card/PCI-6229)，運動控制卡(PCI-7344)主要控制輸出訊號至步進馬達接點。則資料擷取卡(PCI-6229)主要控制數位訊號輸入/輸出與類比訊號之輸入，藉由以上介面連接並編輯圖控程式控制加工平台外部硬體相關接點，進而驅動步進馬達並決定進給、退回、方向、速度及訊號顯示及數值邏輯運算等動作，並使所有的控制電路接點，藉由自行設計的電路板，由於資料擷取卡(PCI-6229)上有 32 pin 數位輸入/輸出(DI/O)，因此使用 DAQ 資料擷取卡上的數位輸入/輸出(DI/O)功能擷取及傳送其數位訊號，以方便在電腦控制介面(PC-BASE)上執行操作。

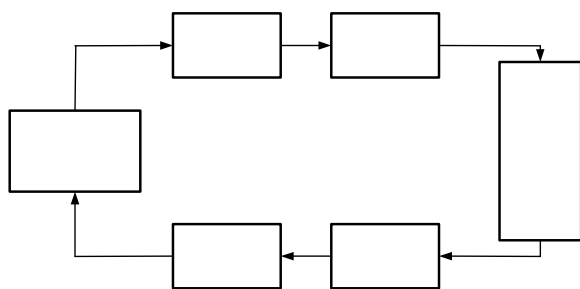


圖 3 位移訊號傳輸流程圖

## 2.2 軸位各部件及驅動系統

由於放電加工機台裝設馬達及導螺桿系統以致驅動，主要由外部系統產生連續脈波至微電腦控制器，將接收到之脈波藉由 PC-BASE 運算後，傳達命令至馬達驅動器，由於驅動器會產生連續相位差之數位訊號，進而將其訊號傳至馬達使之移動。為了節省成本並能達到良好精度控制，同時符合瞬時啟動、急速停止與變換馬達旋轉方向容易等特性，因此使用步進馬達作為本研究系統主要傳動之裝置，本研究使用泰映科技股份有限公司生產之兩相六線式之步進馬達，每一圈數

的週期最大為 200 分割單位，在馬達上端加裝規格為 100 比之減速機構。在步進馬達的驅動器之選用，是使用泰映科技股份有限公司製造之兩相步進馬達驅動器(型號:TR22B，如圖 4)，此驅動器所需要之工作電壓為直流 24 伏特輸入電壓，最小額定電流為 3 安培，在激磁運作同時能夠輸出 5 伏特之脈衝訊號，激磁方式可選用全步進(1.8°/step)與半步進(0.9°/step)兩種方式。基於本研究所使用步進馬達規格，因此選用全步進的激磁方式，每 4 個脈波訊號為激磁一次，內部電晶體呈導通狀態，TIMING LED 燈號也隨激磁而亮一次，反之若無激磁 TIMING LED 燈號則滅。在輸入訊號方面是採用負緣觸發輸入，輸入脈波模式選擇雙脈波(2 pulse)，在驅動器之 CW 端輸入正轉計時脈波訊號，一個脈波時可使馬達正轉一個 step。若在 CCW 端輸入一個逆轉計時脈波訊號，則可令馬達反轉一個 step。輸入一個適當之脈波訊號時，則馬達是以一定之速率旋轉，若輸入訊號為連續脈波時，則馬達旋轉之角度與脈波頻率成正比。

在線性導螺桿則選用台灣 HI-WIN 股份有限公司生產之導螺桿機構，其直徑為  $\phi 12\text{mm}$ ，總長度為 300mm，單一導程距離(pitch)為 5mm，藉由上述導螺桿規格與步進馬達加減速機構之條件，在軸位之移動上可達成最小微細間距 0.25 $\mu\text{m}$ 。

Motion Control Card

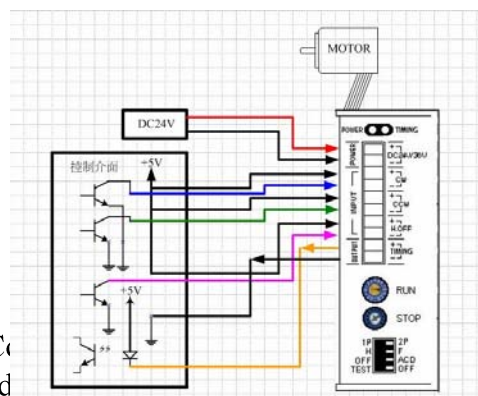




圖 4 馬達驅動器(TR22B) 連接控制介面示意圖

### 2.3 步進馬達之控制設定

本實驗系統所使用之運動控制介面為美商國家儀器(NI)所生產之運動控制卡(PCI-7344)，其運動控制應用軟體為 MAX(Measurement & Automation eXplorer)，運動控制卡與運動控制應用軟體間之傳輸媒介為 UMI-7764 之接線盒，因此以上三者之關係藉由適當設定，方能使步進馬達於位移上獲得最佳狀態。

### 2.4 橋式穩壓整流供電系統

以往實驗所使用的開路供給電壓源絕大部分為使用簡易型交換式電源供應器提供直流電壓以讓各個系統取得所需之工作電壓及額定電流，以使系統整體能夠完全驅動而正常運作，反之若供電不足，會使系統執行延遲緩慢，甚至無法工作。但使用交換式電源供應器其缺點為干擾雜訊過大，縱使能夠供應所需要的直流電壓，但對於高頻電路運算系統，雜訊干擾之產生會嚴重影響輸出邏輯運算而導致系統錯誤。本研究在馬達運動控制系統、馬達驅動器、光學位移量測機構及 I/O 極限校正裝置皆需要額外驅動電源(圖 4)，因此本研究之橋式穩壓整流供電系統可同時供給以上四種裝置。特別於 Z 軸位移機構上有裝設光學量測裝置執行精度觀測及控制，因此在抑制雜訊與干擾上之控制顯得格外重要，若系統能掌握到更完整脈波量測訊號，則系統所需之開路工作電壓必須相當準確，因此本研究所自行設計橋式穩壓整流供電系統，不僅能完整供應系統所需之直流電壓，同時亦能將外界環境所產生的雜訊抑制至最小。

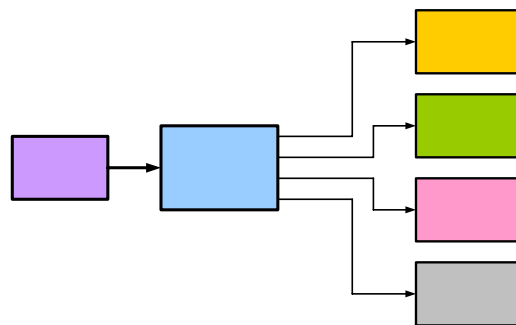


圖 5 供電系統分歧圖

#### 2.4.1 全波整流電路介紹及原理

市面之電器所需用電大多數直接利用變壓器將交流電(一般為 110V 或 220V)降壓至電器額定電壓，如此電器取得變壓器降壓過之額定電壓就能使之運作，但仍有部分電子系統必須仰賴直流電壓才可以完成驅動之效果，因此必須變壓後需另外設計將交流電(Alternating current，簡稱 AC)轉換成直流電(Direct current，簡稱 DC)之穩壓電路達到所要求之電源電壓。由於本研究各迴路系統之驅動電源皆為直流電壓，因此而設計橋式整流穩壓電路系統來個別供應直流電壓至步進馬達驅動器、資料擷取卡、光學軸位量測機構及極限開關軸位校正裝置，使此四項電子迴路系統完整驅動並達到工作之目的。驅動系統為了得到毫無負半週，完全在正半週之電源，因此才能完整利用全波方式替代直流電壓，在此個別以傳統全波整流電路與橋式全波整流電路介紹此兩種電路之基礎原理與優劣性。

##### 2.4.1.1 傳統全波整流電路

傳統全波整流電路其架構主要以中間抽頭式之變壓器(Transformer)、矽二極體(Diode)及負載電阻(Load)所構造而成，如圖 6 所示，此電路可視為等於兩組半波整流電路所組成，變壓器線圈中間引出一條抽頭，將原本僅有一組線圈分割成兩組具對稱性之線

圈繞組，同時成爲大小相等，極性相反之兩組電壓源 E1 與 E2，並構成 E1、D1、負載電阻(Load)及 E2、D2、負載電阻(Load)此兩組導通迴路[4、5]。

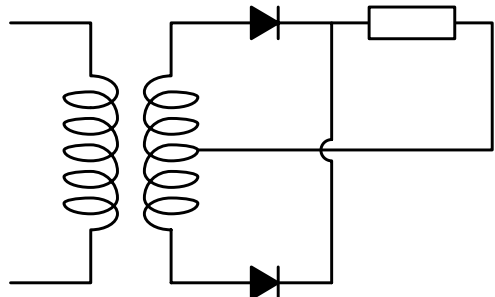


圖 6 傳統全波整流電路

此種整流方式不但利用正半週，更藉由負半週達成完整全波，從而大幅提升整流效率。但因傳統全波整流電路變壓器輸入端需要導引一個使兩端對稱之中心抽頭，在電路製作上顯得較爲繁瑣，另一缺點爲此電路上之整流二極體所能承受最大反向電壓爲變壓器次級線圈電壓最大值之兩倍，當 D1 導通時，D2 所承受之反向電壓會有下半組次級線圈電壓，再加上上半組次級線圈電壓，所以必須選擇至少能夠承受兩倍電壓最大值甚至更高規格耐壓之二極體，在經濟上考量，元件之耐壓規格越大，其價格也隨之昂貴。

#### 2.4.2 橋式全波整流電路

橋式全波整流電路其構造主要由線圈式變壓器、矽二極體及負載電阻所構成(圖 7)，此種全波整流電路與傳統全波整流電路之工作原理極爲相似，在電路上之二極體由兩枚增加爲四枚，這些二極體形成一種橋狀架構，因此也稱爲橋式[4]。

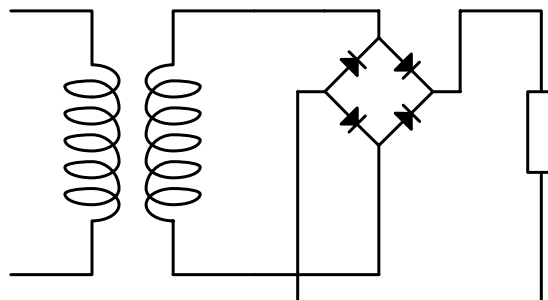


圖 7 橋式全波整流電路示意圖

#### 2.4.3 橋式全波穩壓系統

此系統與橋式全波整流電路相異之處在於負載端是以穩壓器(Regulator)、電容器(Capacitor)，此電路之電容器是由電解電容(Electrolytic Capacitor)與陶瓷電容(Ceramic Capacitor)所組成(如圖 8 與 9 所示)。

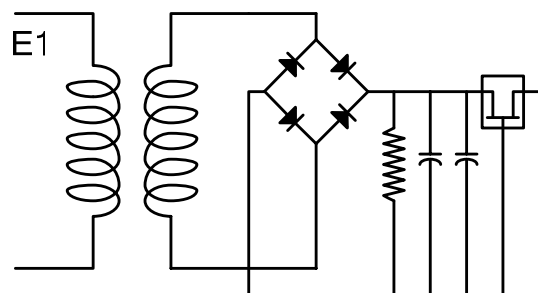


圖 8 橋式全波穩壓電路系統示意圖

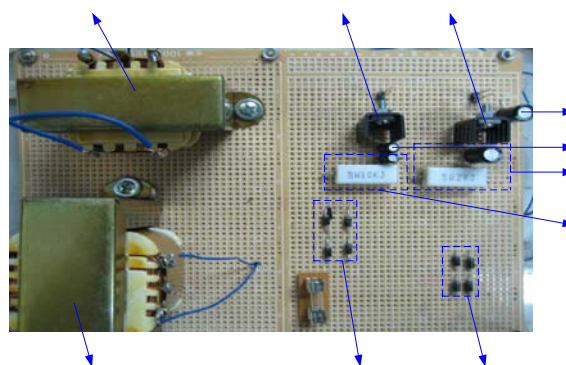


圖 9 橋式全波穩壓電路系統實體圖

穩壓器在本研究係採用全電子式直流穩壓 IC，其特性爲反應速度，可將變壓過後之直流電壓保持規格所限定範圍內，並能維持一定水平之

輸出值[5]，以全波整流後輸出 8V 為例，在使用穩壓器過後，當電壓波形峰值下降至 5V，此時就會截停在 5V 準位上，反覆執行此行為，即可得到完全直流之電壓，以微觀來說是將整流後之直流電壓穩定於定值；若以巨觀來看，卻為一完整地額定直流電壓輸出(如圖 10 所示)。

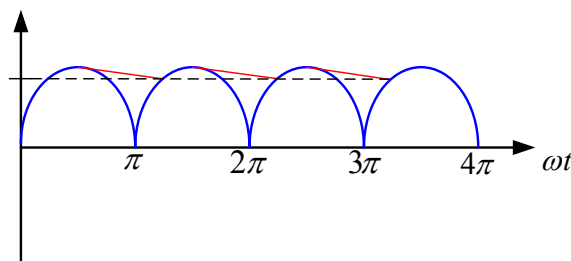


圖 10 使用 5V 穩壓器之波形

在實驗整個迴路系統個別需要 DC 24V 與 DC 5V，以供應各子系統工作，因此在元件選擇上使用 LM7824 與 LM7805 此兩種穩壓器，LM7824 此元件前級負載輸入為電容性負載，後級輸出端為步進馬達驅動器輸入驅使馬達運轉。LM7805 此元件前級負載輸入與 LM7824 相同皆為電容性負載，後級輸出端為光學軸位量測機構輸入、DAQ card(PCI-6229)作電源輸入及極限開關軸位校正裝置輸入。這些負載皆會產生瞬間電流而使元件溫度過熱之情形發生，所以在穩壓器上端均鎖上適合規格之散熱片，以防元件溫度過高而燒毀之虞。

#### 2.4.4 穩壓系統之元件規格配算法則

本研究之橋式全波穩壓系統所使用元件之規格需要個別考量，如提供開路電壓之變壓器、限流之電阻、儲存電壓之電容及穩定電壓之穩壓器等元件，這些構成電路之元件必須額外計算才足以運作，並且不會使元件溫度過高而燒毀，以下是穩壓系統之負載元件配算法則：

$$V_{\max} = e^{-t/RC}$$

( 1 )

$V_{\max}$  :變壓器最大電壓

$t$  :電壓頻率/週期

藉由(1)式可計算出電阻  $R$  與電容  $C$  規格部分，但需要考慮的部分則是額定容量及功率瓦數，以電容來說耐壓伏特數必須大於輸出電壓伏特數，否則會有爆炸之危險；本實驗所使用之電阻必須考量的則是輸入功率，市面之電阻器種類繁多，最大之差異在於開路輸入能量以決定功率多寡，輸入電壓或電流越大，相對地瓦數規格也就越大[5]。

#### 2.5 高抗雜訊濾波穩壓裝置

由於本研究在 Z 軸位移導螺桿上設置光學軸位量測機構，此機構完全依附外在直流電壓提供驅動，但此量測裝置所求電壓準位需要相當精確，不僅如此，周遭環境所產生之非線性雜訊會導致定位系統判斷錯誤，進而降低放電加工之效率，甚至無法執行工作。雜訊之產生完全對應於交流電源方面，使用交換式電源供應器供應電壓雖然簡便，但絕大部分僅適用於只需電壓驅動，而不講究抑制雜訊之電路。

光學軸位量測機構屬於高頻電路系統，所以此系統在直流部分需要精準電壓，在交流部分雜訊干擾需降至最低，至少不影響系統運作。縱使全波穩壓系統能將交流電轉換成爲直流電，但脈波成份較大之因素，在電路負載端會產生漣波，漣波因素(r%)與雜訊干擾成正比，計算公式如(2)所示[4]。

$$r\% = [V_r(rms) / V(dc)] \times 100\%$$

( 2 )

因此在橋式全波穩壓系統後級負載部分並聯兩枚電解電容器，其作用爲交換補足直流中之不平整雜訊，以達到濾除或減少低頻

雜訊所造成之干擾，以圖 11 所示，將示波器調整至量測交換式電源供應器之相同檔位 (TIME/DIV : 1ms; VOLTS/DIV:5V)量測橋式全波穩壓系統，圖 11 所顯示之交流電壓所產生之雜訊遠比交換式電源供應器來的小，如此代表電解電容器已達到濾波並抑制雜訊干擾之成效。

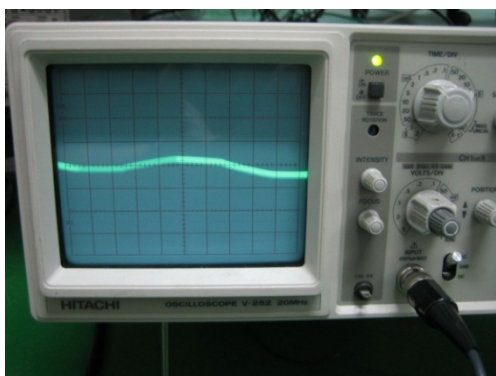


圖 11(b) 交換式電源供應器之雜訊

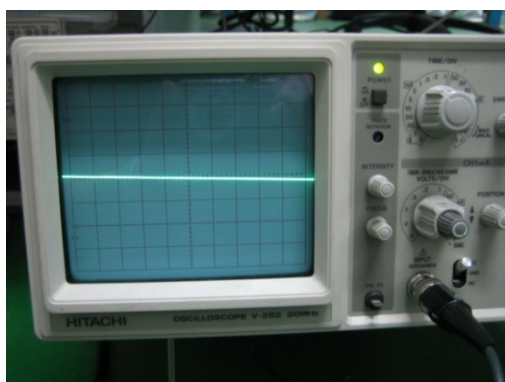


圖 11(b) 濾波電路整合後之雜訊

## 2.5 橋式全波穩壓系統與其它電源供應器之比較

絕大部分之量測機構與訊號處理系統皆須要直流電源以供給驅動，電路系統會依據電壓與電流規格大小決定選擇適當之電源供應，一般常見為 DC5V、DC12V、DC24V 及  $\pm$ DC15V 此四種直流供應電壓，在本研究主要為應用 DC5V 與 DC24V 供給各迴路系統之需求，目前大多數系統之開路電源都以電源供應器作為主要系統電壓供給來源，主要可

分為傳統指針式電源供應器、數位式電源供應器、雙電源式電源供應器、交換式電源供應器、整流變壓器此五種[6]，以下個別介紹並與本研究自行設計之橋式全波穩壓系統比較其優劣性。

- (1) 傳統指針式電源供應器：其缺點為調整電壓時，指針會飄忽不定並控制額定電流不易。
- (2) 數位式電源供應器：其缺點為輸出電壓值微調不易。
- (3) 雙電源式電源供應器：此供應器使用方式與傳統數位式電源供應器類似，最大優點為能夠利用一組供電機台而取得雙組直流輸出電壓，並可將兩組輸出電壓以串並聯方式以提升輸出效果，但其缺點為價格昂貴且不易攜帶。
- (4) 交換式電源供應器：又稱鼠籠式電源供應器，此供應器為單一直流輸出電壓，完全視系統額定需要選擇其供應規格，其優點為攜帶方便，缺點為價格頗高，輸出易產生干擾雜訊，因此不適用於高頻電路。
- (5) 整流變壓器：此種供應器為最簡便之電源供應器，且價格便宜，大部分使用在一般小型 3C 產品上，如 MP3 隨身聽、筆記型電腦上等，但其輸出效果不佳為最大缺點。
- (6) 橋式全波穩壓系統：此系統利用線圈式變壓器、矽二極體、電阻、電容與穩壓 IC 等電子元件達成輸出直流電壓之效果，完全取代電源供應器供給系統所需之直流電壓，克服了以上五種電源供應器之缺點，不僅電路製作方式簡便、輸出電壓穩定、雜訊干擾抑制容易、攜帶便利，更能以最低成本達到最佳之成效 (如表 1~3 所示)。

表 1 橋式全波穩壓系統(輸出 DC24V)元件名稱與價格

元件名稱	所需數量
110V to 24V 交流 AC 線 圈式變壓器	1 組
IN5404 矽二極體	4 枚
10K/5W 水泥電阻	1 枚
1000 $\mu$ F/50V 電解電容	2 枚
LM7824 穩壓 IC	1 枚
價格(Total)	120~170 元

表 2 橋式全波穩壓系統(輸出 DC5V)元件名稱與價格

元件名稱	所需數量
110V to 6V 交流 AC 線 圈式變壓器	1 組
IN5404 矽二極體	4 枚
10K/5W 水泥電阻	1 枚
2.2 $\mu$ F/16V 電解電容	2 枚
LM7805 穩壓 IC	1 枚
價格(Total)	100~150 元

表 3 電源供應器種類及價格比較

電源供應器種類	價格(Total)
傳統指針式電源供應器	4500~7000 元
數位式電源供應器	8500~13000 元
雙電源式電源供應器	25000 至數萬元
交換式電源供應器	800 至數千元
整流變壓器	200~400 元
橋式全波穩壓系統 (本研究所開發系統)	100~170 元

## 2.6 RC 放電迴路保護裝置

由於本實驗所使用之資料擷取卡(PCI-6229)

其最大可接受外界類比電壓範圍為 $\pm 10V$ ，然而放電加工之開路電壓至少皆為 50V 以上，當介面接收超過可容許範圍之電壓值時，會產生高溫而燒燬。為保護資料擷取介面無法負荷較高承載之類比電壓訊號回饋，因此於 RC 放電迴路後設計保護系統(如圖 12 所示)，此系統係為兩枚陶瓷電阻、陶瓷電容及 LED 顯示燈各一枚所組成，其原理為開路電壓進入主要放電電阻 R1 時，利用分壓效應，將部分電壓值分配成介面容許範圍內的數值，並傳輸至資料擷取系統中，進而獲取加工電壓之變化，且達到系統保護之效用。

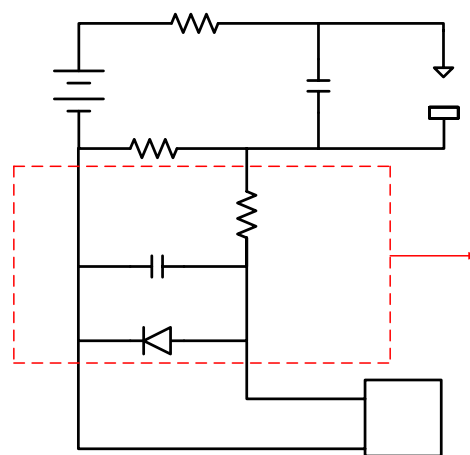


圖 12 RC 放電迴路保護裝置示意圖

## 2.7 繞射式光學軸位量測機構

現今位移平台上如要完整監控自動化系統並能觀測運動狀態及位移精度，則須結合光機電系統方能達成，因此在本實驗為求放電加工時達到良好之精度觀測，並藉由自行編輯圖控程式以執行閉迴路控制之行爲，因此於放電加工機台之縱向 Z 軸上特別架設光學軸位量測機構(SCR-3923)(如圖 13 所示)，並配合美商國家儀器所製造之資料擷取卡(PCI-6229)擷取訊號及經由圖控軟體(LabVIEW)多重運算以達成 Z 軸位移精度完整觀測與分析比較。



圖 13 加工平台結合光學位移量測機構實體圖

## 2.8 放電加工訊號檢測控制系統

此訊號檢測控制系統必須整合硬體實作與環境控制軟體，才能使放電加工平台正常運作與觀測。在環境控制軟體方面為使用美商國家儀器所生產之 LabVIEW 圖控軟體介面，經本研究編輯邏輯運算之圖控程式，將步進馬達驅動設定值(開啓/停止、旋轉方向、運動型態、目標位置)、位移實際方位、光學脈波訊號觀測及放電間隙控制觀測系統融合於同一圖控程式中，並配合運動控制與資料擷取兩種介面，再以圖控程式運算其數值，進而傳輸或回饋至各系統中，以致使放電加工平台於任何工作時，能夠與圖控程式同步執行及即時觀測之效用(如圖 14 所示)。

圖 14 環境控制軟體結合運動控制與資料擷取介面示意圖

### 2.8.1 複合式環境程式介面控制與編輯

本研究主要倚賴環境控制軟體執行放電加工之控制及觀測，由於運動控制與資料擷取介面因此選用同廠生產之 LabVIEW 環境控制應用軟體作為圖控介面，以便於設計放電加工之程式編輯，此圖控介面可編輯各種設定值以便執行加工，主要可分為三個區域，包含馬達進給軸位設定系統、光學精度量測擷取系統及適應性間隙電壓雙重比對系統。這些系統皆為圖控程式所構成(如圖 15 所示)，當進行放電加工中，可同時執行三大圖控系統，以便作即時之控制與觀測。

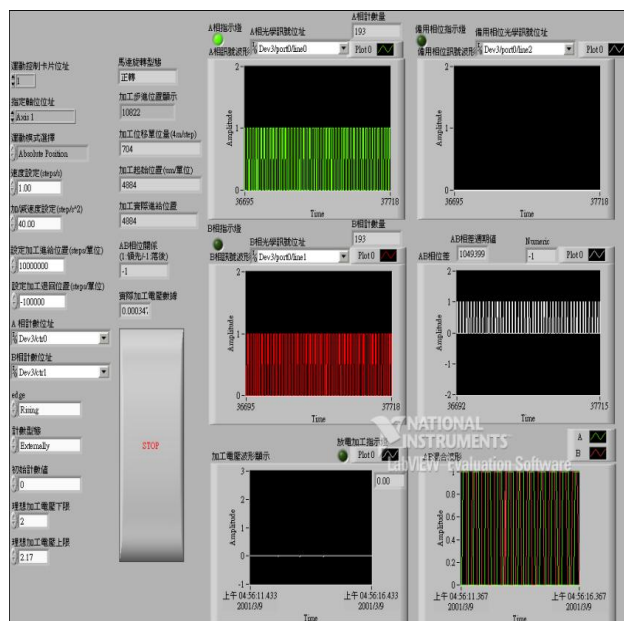
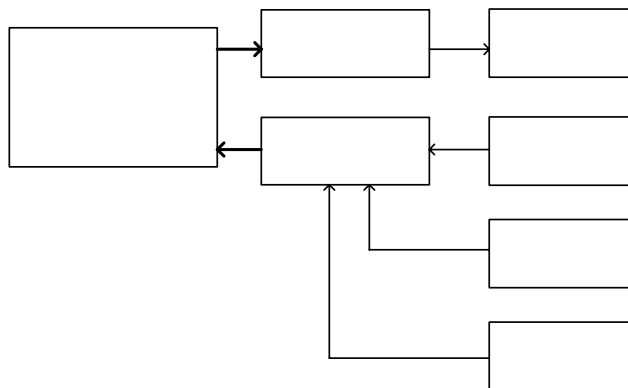


圖 15 複合式放電加工環境程式圖控區



#### 2.8.1.1 馬達進給軸位設定系統

此程式區域主要作用於放電加工位移操作應用上，大致可分為三個設定部分：

##### (1) 軸位與卡片設定

指圖控程式與運動控制介面上之契合設定，當程式發送脈波訊號時，所接收訊號

之卡片型號與軸位接點位置必須與電腦內部實際運動控制介面一致，因此才能使圖控程式與運動控制介面達到同步之效果。

#### (2)位移目標設定

在步進馬達執行位移動作前，必須設定軸位運行最終位置及退回位置，本研究在設定位移目標之前，會將軸位回歸至加工起始位置，再設其目標值，以便於軸位運行取得完整之位移數值。

#### (3)馬達運動模式選擇(Position Mode)

當步進馬達於執行運轉時，馬達運轉之型態會依照不同之模式設定而產生改變，在此程式區共可分為絕對模式、相對模式及速度模式三種模組可供選擇。

#### (4)馬達速度相關設定

指步進馬達在執行位移之動作前，也必須設定馬達之旋轉速度及第二速度(加速度與減速度)，在此速度是以每秒需要產生多少步階訊號而決定其值，然而馬達在執行時會參照設定值而運行，值得注意的是加速度及減速度必須大於速度值，因此才能使之正常運轉。

### 2.8.1.2 光學精度量測擷取系統

此程式系統為當平台上之步進馬達開始執行位移動作時，由於本研究著重於加工位移精度方面，因此利用光學位移量測機構與資料擷取卡兩種硬體配合自行編輯之圖控程式，經由程式擷取位移訊號並加以邏輯運算，以獲得加工位移之實際精度。

#### (1)卡片及接腳設定

此單元與進給軸位設定系統相異之處為使用卡片不同，若以驅動執行為目的，為使用運動控制介面；若以量測擷取為目

的，則使用資料擷取介面，接收及傳輸資料端為依照介面內建接腳數而定，以本實驗所使用之資料擷取介面(PCI-6229)為例，其內建 I/O 數為 48 接腳，因此對應其範圍內之接腳而設定，即可達成傳輸或接收訊號之效用。

#### (2)計數器之型態及初始值相關設定

圖控程式建立兩組計數器，分別藉由資料擷取介面連接光學量測機構之 A 相及 B 相兩訊號源，一旦步進馬達產生位移之動作時，此時圖控程式區之計數器立即隨之計數，並編輯位移運算程式以計算精度。計數器型態可選擇遞增(Count Up)、遞減(Count Down)及雙向控制(Externally Controlled)三種模態，則初始值可任意設定計數開始數值，本研究在計數器設定為當上下移動位移動作停止時，則會立即產生歸零狀態。

#### (3)光學訊號之位移狀態及波形顯示(本研究位移精度取得著重之處)：

當加工平台產生位移動作時，連接於軸位上之光學量測機構會透過資料擷取介面與圖控程式產生即時判斷及觀測之效能。本實驗參照步進馬達配合減速機構兩種規格，經由具有計數功能之圖控程式取樣運算(如式 4 所示)，因此獲得位移實際精度，其證實結果如式所示，過去以往只能藉由程式取得位移之步進數(Steps)，而非實際位移精度，經本研究所設計之圖控程式，可達到同步獲得軸位移動之實際位置(如圖 16 所示)，不僅如此，本圖控程式另外設計波形觀測器(Waveform Chart)，此目的為能夠於位移中即時觀察光學 A 相 B 相訊號源之波形變化性與穩定度。

$$1 \text{ Step} = 0.25 \text{ mm}$$

16 Steps = 1 Count  
1 Count = 16 Steps • 0.25 mm = 4 mm  
( 4 )

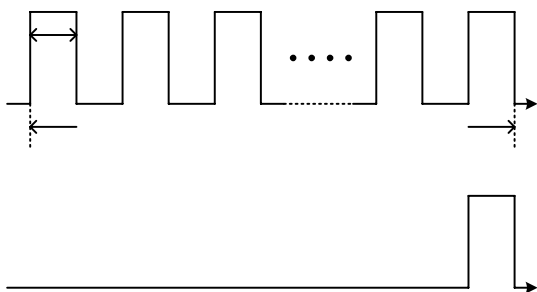


圖 16 光學相位訊號結合計數器示意圖

### 2.8.1.3 適應性間隙電壓雙重比對系統

此控制系統主要應用於電極接近工件，若達到可破壞兩極間絕緣狀態之間隙距離時，此時電極則會釋放脈衝能量至工件目標處，因此藉由電壓檢測迴路擷取放電電壓，將電壓數值傳至資料擷取介面，此時圖控程式利用資料擷取介面之 I/O 功能取得數據，並將其值引入比對運算程式中，同時與馬達進給軸位設定系統產生連動之效果，過去比對間隙電壓程式往往僅設定一參考值[3]，當放電電壓超過其值時，則與電壓比對系統連動之加工位移系統會偵測到實際放電值大於設定參考值，位移系統會下達退回命令使之回歸，若放電電壓低於參考值時，則電壓比對系統會傳進給命令至加工位移系統使之前進，因此當電極愈接近工件，參考電壓反覆比對實際電壓更加顯著，但此現象會造成步進馬達於加工時不斷地前進後退，長期會造成步進馬達之磨損率增加[2、3、8]。本研究因此設計可克服此缺點之雙重比對電壓系統，此系統與以往電壓比對相異之處為可設定電壓參考值之上下限，降低過去比對系統過於靈敏而造成馬達易於磨損之缺點，不僅

如此，工件與電極間產生之電壓也會因電極與工件材料而有所不同，本系統所設計之雙重比對電壓系統可將加工電壓置於比對之上下限範圍中，進而適應於一良好之加工電壓範圍，因此利於放電加工之結果。

### 2.8.2 放電加工能量之波形變化

當在執行微細放電加工過程中，不僅需要考慮到電壓、電阻與電容三大元件因素外，也必須考量放電加工時電壓及電流之變化量與特性，依據各項參數配合實際加工數據加以修正設定，並藉由資料擷取介面及放電檢測迴路獲得電壓值並作比對，反覆修正良好放電範圍，以致使電極消耗狀態及加工表面粗糙度達到最佳成效[9、10]。

### 2.9 極限開關軸位校正裝置

本實驗所使用之放電加工機台，相當著重在位移精度方面之控制，因此於正式放電加工前作軸位校正歸零之動作顯得格外重要，然而本研究在軸位頂端裝置一光遮斷型之極限開關(圖 17)，並藉由資料擷取介面搭配自行研發用於軸位校正之圖控程式，其目的為放電加工前執行校正，將其準位歸零，以利於加工中取得精確之位移精度。其實際裝設光遮斷極限開關於放電加工機之鳥瞰示意圖如圖 18。

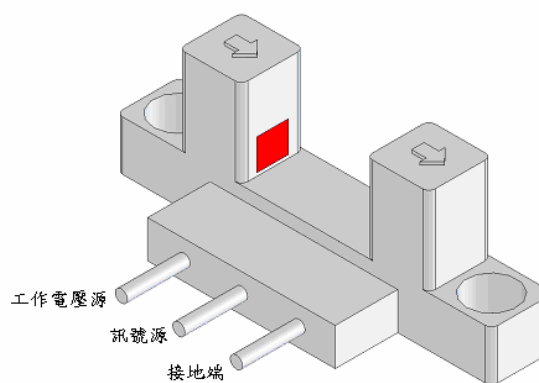




圖 17 光遮斷型極限開關示意圖

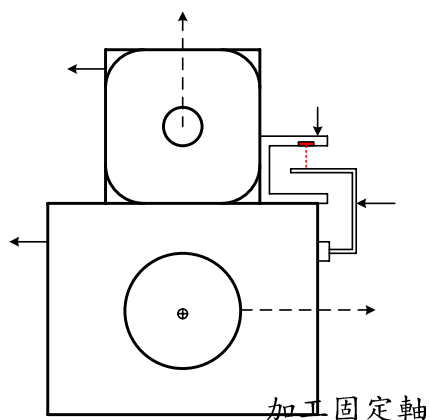


圖 18 實際裝設光遮斷極限開關於放電加工機之鳥瞰示意圖

### 2.10 加工液排屑循環系統

本實驗於微細放電加工過程中，電極與工件之間加工液循環與排屑問題為影響加工重要因素之一，當未加工時，浸泡在兩極間之加工液為潔淨狀態，此時液中未包含因放電效應後而殘留之碳化粒渣，由於潔淨未使用過之加工液，其絕緣效果為最佳狀態，當首次在間隙發生放電作用，加工期間內則會產生粒渣等加工殘留物，此作用雖然可以加快放電速度，但會導致加工液之絕緣能力降低，加工殘留粒渣濃度會隨加工時間而決定，放電時間愈長，濃度愈高，此時會形成架橋現象，進而兩極間產生導電通路，長時間會造成電弧放電等不良放電行為，以導致電極與工件之損害[1、7、8]。不僅如此，加工過程中排屑良好與否，將直接關係到加工速度、加工表面粗糙度、電極消耗比及間隙等加工特性，因此本實驗利用壓克力矩形容器作為置放工件夾具之處，至於加工液供給來源係藉由撓性噴流管與流量調節器抽取新鮮加工液並控制流量大小，則在容器角落底端鑽設一導流孔，以作為放電加工時所產生之碳素及老

廢殘留物流通循環之處(如圖 19、20 所示)，在加工結果影響程度來說，加工屑之排除及加工液之循環與加工特性之變化同等重要，因此獲取良好加工排屑循環系統，以致達到最佳之放電效果。

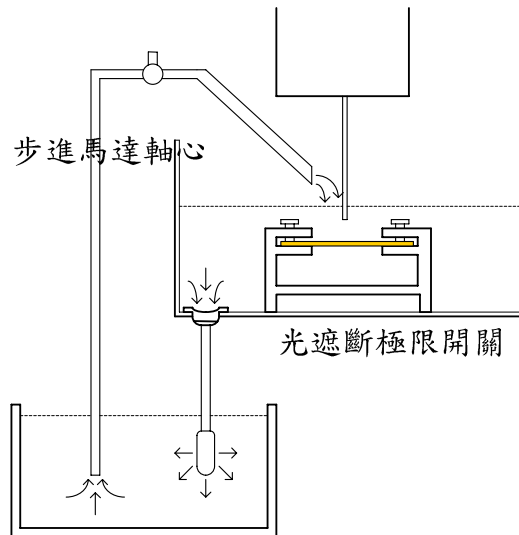


圖 19 加工液排屑循環系統示意圖

薄鐵片

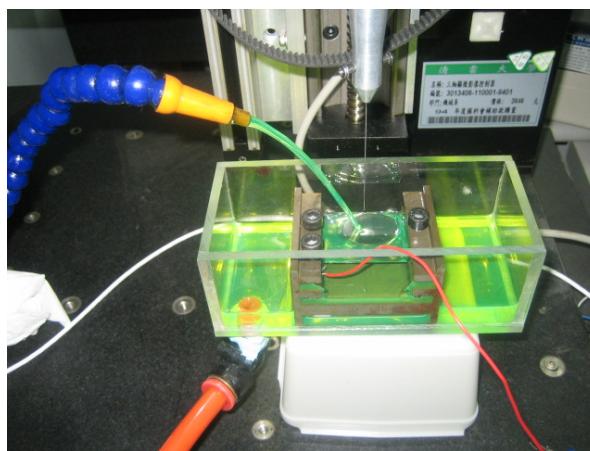


圖 20 加工液排屑循環系統實體圖

置處

## III. 實驗結果

### 3.1 實驗材料[3]

本研究於微細放電加工作業時所使用之電極、工件及加工液，在材質方面必須考量各種加工特性，不同之材料對加工結果影響甚大，電極材質需考慮剛性硬度、熔點溫度及材料密度等物理特性。工件選擇上，則該

考慮傳導係數、熔點溫度及材料密度等物理特性。至於加工液方面，則必須考慮絕緣密度及導電效率多寡而決定[9、10]。

70V/46mA	1KΩ	22000pf	29.09mm	22.15mm
----------	-----	---------	---------	---------

### 3.1.1 電極材料之選擇

由於本實驗著重於加工表面孔徑之變化，然而剛性硬度為首要決定因素，其次考量為熔點溫度，因此碳化鎢相當適合作為微細孔放電之電極材質。

### 3.1.2 工件材料之選擇

本研究所使用之工件材料為不鏽鋼薄板 (SUS 301 型)，此鋼材取得容易，並符合以上絕大部分之考量因素，因而適於作微細孔放電之最佳工件材質。

### 3.1.3 加工液之選擇

本實驗係以專業加工油作為放電加工液，以供其導電及絕緣使用。

## 3.2 實驗分析與成果

### 3.2.1 依各種放電能量對電極消耗之影響

本研究之放電加工所產生之放電能量，主要為依據 RC 放電迴路之不同電阻及電容之搭配，然而取得電極與工件間之脈衝電流也隨之變化，表 4 為各種不同參數對電極消耗之影響，圖 21、22 為各種放電能量參數規格表及 SEM 圖，由圖表數據可得知，電極消耗與電極所釋放出脈衝電流成正比關係，當電流愈大，相對地電極之消耗也愈大。

表 4 各種不同參數對電極消耗之影響

	電阻額定值	電容額定值	加工前長度	加工後長度
70V/7mA	10KΩ	22000pf	29.09mm	27.13mm
70V/20mA	5KΩ	22000pf	29.09mm	25.04mm

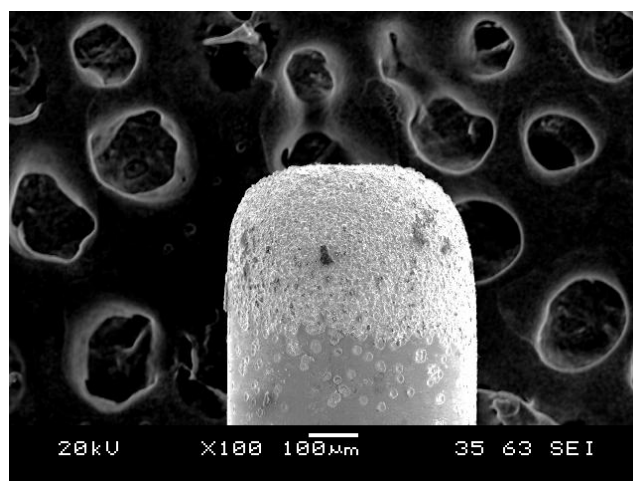


圖 21 70V/7mA 放電能量對電極消耗之 SEM 圖(倍率：100X)

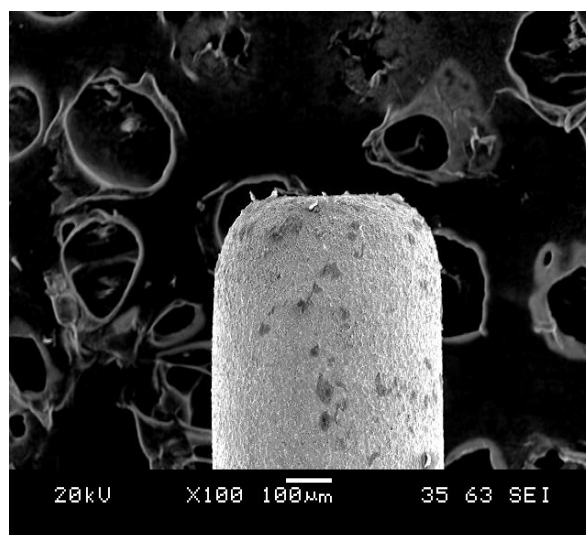


圖 22 70V/46mA 放電能量對電極消耗之 SEM 圖(倍率：100X)

### 3.2.2 依各種放電能量對工件表面擴孔之影響

由於本實驗在放電過程中，電極與工件間所產生之間隙電壓，而因火花效應殘留之加工屑將由加工液排屑循環系統而遷移，然而電極柱之側邊表面會因加工屑之流動，容易形成電場現象，進而導致二次放電情形發生。

藉由 SEM 之觀測結果得知，以 70V/7mA 及 70V/46mA 之不同放電能量執行微細孔加

工使之穿透，相較之下，兩者入口與出口均有明顯差異，若以較小能量加工，電極入口及出口狀況較為吻合且較無毛邊(如圖 23、圖 25 所示)。相反地，若以較大能量加工，電極入口及出口之對比較為強烈，且出口產生之毛邊顯得更為粗糙(如圖 24、圖 26 所示)，同時也容易發生不正常之二次放電。

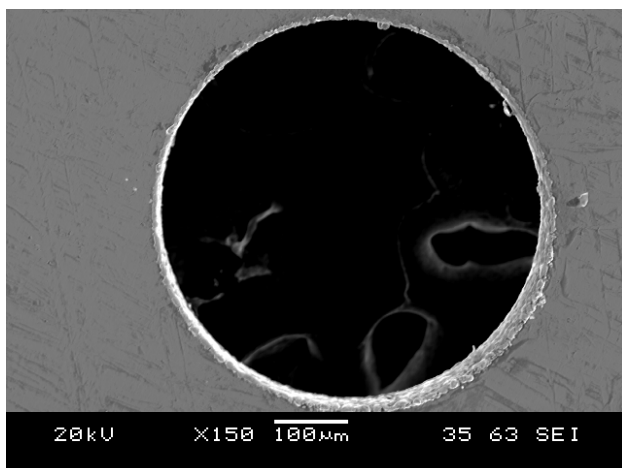


圖 23 70V/7mA 放電能量入口之 SEM 圖(倍率：150X)

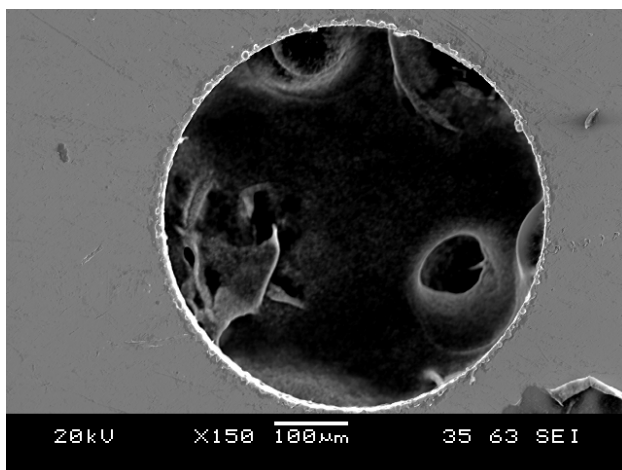


圖 24 70V/46mA 放電能量出口之 SEM 圖(倍率：150X)

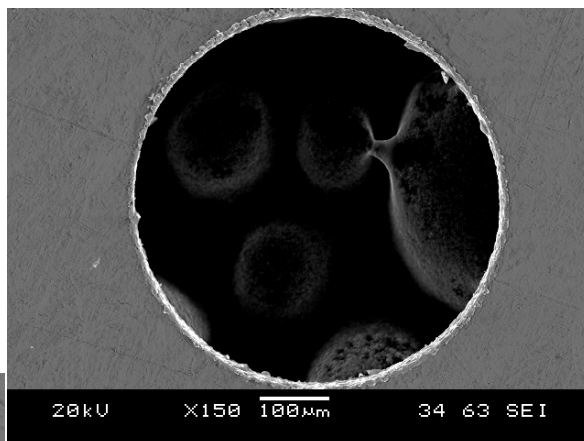


圖 25 70V/7mA 放電能量入口之 SEM 圖(倍率：150X)

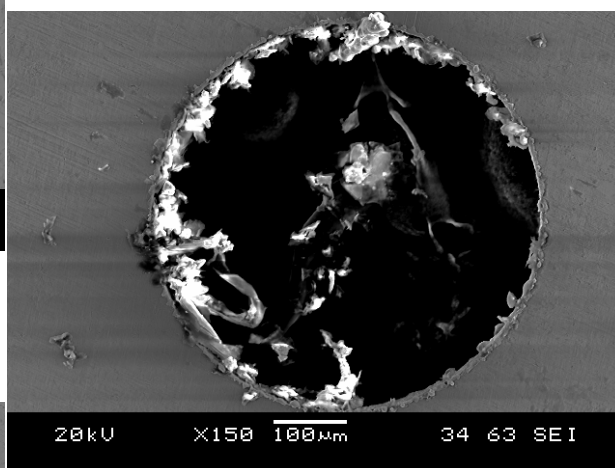


圖 26 70V/46mA 放電能量出口之 SEM 圖(倍率：150X)

### 3.2.3 不同放電極性對加工過程之影響

在放電加工引入不同極性各別銜接電極與工件，大部分傳統放電加工係以電極作為正極端，而工件做為負極端，本研究額外實驗將電極與工件極性相互顛倒，使電極作負極，工件作正極，以下表 5 及表 6 為極性變化對加工過程之影響。依據實驗數據了解正負極性互換之放電加工可使加工速率倍增，但卻易造成加速電極體積消耗之現象。

表 5 正極性加工對各加工特性之影響

	電阻	電容	電極	加工
--	----	----	----	----

	額定值	額定值	消耗量	穿透耗時
70V/7mA(正)	10KΩ	22000pf	1.96mm	3.5hr
70V/20mA(正)	5KΩ	22000pf	4.05mm	2.8hr
70V/46mA(正)	1KΩ	22000pf	6.94mm	1.8hr

表 6 負極性加工對各加工特性之影響

	電阻額定值	電容額定值	電極消耗量	加工穿透耗時
70V/7mA(負)	10KΩ	22000pf	11.42mm	2.3hr
70V/20mA(負)	5KΩ	22000pf	23.08mm	1.5hr
70V/46mA(負)	1KΩ	22000pf	48.65mm	0.7hr

### 3.3 實際放電加工之軸位移動之擷取與控制

本研究於放電加工進給或退回皆使用光學量測機構與資料擷取介面，配合自行研發之圖控程式獲取實際位置，並與適應性間隙電壓控制程式產生比對，以控制並保持於一良好之加工電壓範圍內，在電極尚未接觸至工件(不鏽鋼薄板)時，電壓擷取觀測介面暫為歸零狀態，但光學量測機構仍不斷將馬達之步階訊號回饋至圖控程式，經由編碼計數與邏輯程式之相互運算後，進而獲取位移中之實際位移精度。當兩極間達到一定之間隙(數 $\mu\text{m}$ ~數十 $\mu\text{m}$ )，此時電極與工件間將產生放電能量，圖控程式取得實際電壓後，將其數據導入適應性間隙電壓雙重比對程式中，並比較理想加工電壓上限及下限，當間隙電壓高於上限設定時，比對程式立即傳達退回指令至運動控制之子程式中，並命令馬達執行反轉之動作，持續至間隙電壓低於或等於下限設定時，再依電壓比對程式判斷進給或退回等動作，當加工電壓於比對程式之設限範圍內，則該區域為位移精度模糊地帶(如圖 27 標示處所示)，由於在此範圍會不斷比對實際與理想數值進而使之判斷位移動態，本研究所設計之位移精度圖控程式以每  $4\mu\text{m}$  之微細

距離持續計算，因此最多僅產生 $\pm 4\mu\text{m}$ 之誤差，然而無論電極將工件穿透或加工至設定深度，甚至比對加工電壓過程中，皆能取得正確之加工位移精度，進而形成一完整之閉迴路精度控制系統。而微細放電加工之參數設定，包括 RC 放電迴路之元件變更、兩極間隙所產生的脈衝能量變化與圖控程式所設定之比對數據，均對執行微細加工之位移精度影響甚鉅，然而不良之參數設定而執行放電加工作業時，容易降低加工效率，而導致加工特性變差(如圖 28 所示)；若系統各項參數置於良好之設定範圍內，不僅能夠使加工效率大幅提升(如圖 29 所示)，更能使位移系統運作流暢，進而獲取精確之加工位移精度。

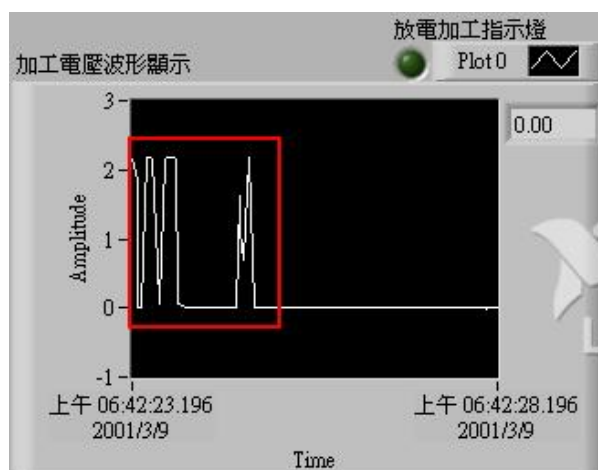


圖 27 位移精度模糊地帶標示圖

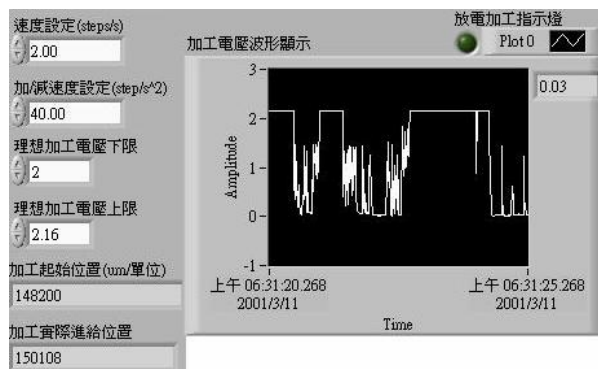


圖 28 參數設定不良之加工特性圖

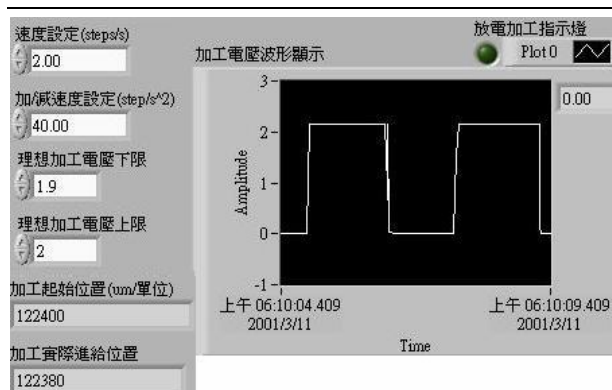


圖 29 參數設定良好之加工特性圖

#### IV. 結論

本文之研究成果為成功將小型放電加工機台與高精度之光學量測機構相結合，並經由資料擷取介面及自行研發之 LabVIEW 圖控程式邏輯運算，已突破文獻[3]僅能偵測步階參數之非實際加工距離階段，經本實驗所研發之圖控程式證實，目前能以每單位  $4\mu\text{m}$  之微步進位移量，可完全契合轉速設定之變化，進而獲得微細放電加工之精確位置。

本研究因應實驗設備之需求，進而開發橋式全波穩壓供電系統，能夠以同一交流電源，轉換為直流電壓，並將電壓平均分散至放電加工平台各系統以供驅動，由於架設於加工軸位上之光學量測機構屬高精度之感測裝置，因此對於雜訊干擾等異常訊號格外靈敏，若訊號處理不當，將嚴重造成機構所量測之加工精度發生錯誤，工作電壓之訊號準位需求也相當嚴格，為了克服此項缺點，此供電系統針對抑制雜訊之處理，成功以電子元件相互搭配轉換為濾波電路，因此可濾除外界環境所產生之干擾訊號，以防止雜訊危害加工系統之整體運作，此系統不僅可用於電源供應方面，對於處理高頻電路等應用技術上，可獲得顯著之成效。

本研究於圖控程式上與實驗設備結合之貢獻頗多，包括光學位移量測系統、軸位驅動系統及極限開關軸位校正裝置。本實驗在此三項圖

控系統上均作最佳化之控制參數設定，因此能完全符合放電加工平台各裝置規格之需求，並將所有之圖控程式融合為一，能夠於執行微細放電加工時，以達同步獲取及分析加工動態資訊，即時監控之閉迴路加工系統。

#### 參考文獻

1. 董光雄，放電加工，復文出版社，台北，民國七十八年。
2. 黃錦鐘，最新放電加工技術，全華科技，台北，民國七十六年。
3. 郭政輝，「複合微細放電加工機研製」，清雲科技大學，碩士論文，民國九十四年。
4. John V. Wait, Lawrence P. Huelsman, Granino A. Korn, Introduction to Operational Amplifier Theory and Applications, McGraw-Hill, New York, 1992.
5. 張順雄、張忠誠、李榮乾，電子元件與電路理論，東華書局，台北，民國八十八年。
6. 李淵全，電機機械實驗，高立出版社，台北，民國八十七年。
7. 蘇品書，特殊加工，復漢出版社，台南，民國九十年。
8. 黃錦鐘，放電加工技術實例，全華科技，台北，民國七十四年。
9. S. Kher, A. Dua, "EDM pulse control: a design approach", Proc. of 38 SICE annual conf., pp.1047-1052, July 1999.
10. Y. Zhang, J. Ying, Z. Chen, W. Chen, "The research on the self adaptive fuzzy control system for electric discharge machining," Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems, pp.364-367, October 1997.
11. Y.S. Tang, C.M. Tseng, L.K. Chung, "A fuzzy pulse discriminating system for electrical discharge machining," Journal of Mechanical Tools Manufacturing, 20, pp.511-522, November 1997.

12. 洪永洲, 「整束電極在大面積放電加工之研究」, 國立雲林科技大學, 碩士論文, 民國九十三年。



PP/SWN 奈米複合材料之製備與機械性質研究  
Study on Mechancial Properties of PP /SWN Nanocomposites in Microcellular  
Injection Molded

林朝慨 宋上漢 陳健忠 鄭鍵棋 顏守舷 李興煜

清雲科技大學 機械工程系

[cklin@cyu.edu.tw](mailto:cklin@cyu.edu.tw)

**摘要**

本研究以聚丙烯作為基材，再利用氮氣作為發泡劑，探討在不同的 SWN 含量，進行超臨界流體微細發泡射出成型件之機械性質。由實驗結果中可以發現，試片衝擊能量隨著 SWN 含量增加而降低；彎曲強度及拉伸強度隨著 SWN 含量增加而降低再微幅增加。添加 3~5%奈米級分散的 SWN 對其機械性質有 3~14%改善的效果。

**關鍵詞：**聚丙烯、SWN、微細發泡射出成型件、機械性質。



### **Abstract**

This study aims to explore the mechanical properties of Microcellular Injection Molded with PP/SWN nanocomposites in various SWN content (wt%). The testing material is polypropylene (PP) which is as matrix and nitrogen (N<sub>2</sub>) which is as foam. Some conclusions are made after study. The increase of SWN content will decrease impact strength, but increase of SWN content firstly will decrease and then decrease bending strength and tensile strength. In other words, we only have 3~5% SWN content in nanocomposites which will enhance 3~14% of the mechanical properties.

**Keywords** : Polypropylene, SWN, Microcellular Injection Molded, Mechanical Properties.

## 一、前言

雖然奈米複合材料[1-9]之研究行之有年,但能夠達到工業化量產並且具有競爭力之成品仍然不多,探討其主要原因即在於生產製程複雜。有機/無機混成複合材未達奈米級時,其卓越性就顯現不出來,欲達到奈米級分散型之複合材料,分散型態的控制與應用亦極為重要。複合材料插層方式[10,11]可分為以下三種:(1)傳統複合材料(Conventional composites)層狀無機物質完整堆疊再一起且分散於聚合物中,兩者並無很強的鍵結,相對地其性質並無突出的地方。(2)嵌合型奈米複合材料(Interclated Nanocomposites)無機層狀材的層間距離雖有擴大,但層狀無機物保有層狀再現性,聚合物嵌於層狀無機材中產生陽離子交換與離子鍵結,形成較強的有機無機鍵結,產生許多不易獲得的特性,包括阻氣性、耐熱性、抗曲折性、耐磨、耐刮、尺寸安定性、耐久、抗紫外線、防蝕、阻水性、強韌性、耐化學品等。其性能比純聚合物要優異許多。(3)剝層型奈米複合材料(Exfoliated Nanocomposites)無機層狀材料散亂的分散於高分子中,產生陽離子交換與離子鍵結,矽酸鹽片層被聚合物打亂,無規則地分散在聚合物主體中的是一片片的矽酸鹽片層,此時矽酸鹽片層與聚合物實現了奈米尺度上的均勻混合,由於高分子鏈輸運特性在層間受限空間與層外自由空間有很大的差異,因此剝離型複合材料具有很強的增強效應,是理想的強韌型材料。

微細發泡[12]是 1980 年代初由麻省理工學院開始發展,主要使用的發泡氣體是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)或氮氣(N<sub>2</sub>)。其製程通常是高分子材料在高壓力和超過高分子玻璃轉化溫度之下含浸發泡氣體,使樹脂氣體形成單一均勻相的系統後,利用系統瞬間熱力學的不穩定狀態,使溶入於樹脂內的氣體在瞬間減少其溶解度造成氣體的析出,進而發泡形成發泡體。基本上發泡體的結構分為閉孔結構和開孔結

構,閉孔結構是大部份氣泡各自獨立,沒有相互聯通;而開孔結構是大部份氣泡相互連接中間沒有氣泡壁,而是通路。

MuCell(Microcellular Foam)製程利用 N<sub>2</sub> 或 CO<sub>2</sub> 具有低超臨界壓力與溫度的本質[13-17],以超臨界流體(SCF)的狀態狀態注入料管中,藉由擴散性佳的超臨界流體擴散效應。該程序是由 Fick 擴散定律:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_r \frac{\partial c}{\partial r} = D \left[ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial c}{\partial r} \right) \right]$$

來主導;

其中 D 是氣體在熔融狀態的聚合物中之擴散係數, c 是未被溶解在融態中的氣體濃度。發泡氣體在熔融的高分子材料中,其溶解度隨著壓力的增加而增加,隨著溫度的增加而減少。當高分子材料在射出機塑化階段處在高溫高壓狀態,發泡氣體的溶解度較高。若未超過飽和溶解度則發泡氣體可完全溶解於高分子材料中形成單一均勻液相。當熔融液進入模具後因瞬間高壓降導致超臨界流體變成過熱氣體,在模內成核而長成均勻微細氣泡,塑料經模具冷卻固化將氣泡包於塑料內,達到微發泡的效果。超臨界流體並非流體亦非氣體,其黏度遠低於熔膠,與熔膠混合後可大幅降低熔膠之黏度(可達 50%),熔膠黏度低所需射出壓力也可以降低(可達 30%)相對所需鎖模力也可降低(可達 40%),黏度低易於充填,成型溫度可以降低(可達 100°C),低成型溫度除可避免塑料過熱裂解外,冷卻所需時間較少,可提高產能。另氣泡成長造成的壓力可以提供作為保壓功能,因此射出可以不需螺桿做保壓動作,氣泡壓力也可以補償不同塑料的收縮率,同一模具可以成型不同之塑料。與傳統物理發泡、化學發泡及一般超臨界流體輔助成型相比, MuCell 成型品具有微小、密度高(10<sup>8</sup>~10<sup>9</sup>cells/cm<sup>3</sup>)氣泡、耐衝擊、韌性高、高耐疲勞特性、產品壽命長、高熱穩定性、低熱傳導及低介電常數等特色。MuCell 製程除可以大量省料,達到輕量化外,並可大幅降低成型壓力及減短成型週期,被認為繼氣體輔助射

出成型後最重要的成型技術。

科技日新月異的時代,許多產品的零組件追求輕巧、質輕、耐用,高功能塑膠製品取代昔日金屬製品,複雜且多樣化的塑膠加工製品愈來愈受重視,所以射出成型成爲近代科技工業最重要的加工技術之一,射出成型應用之產品包括電腦及周邊設備、汽車工業、通訊工業、家電工業及航太工業等等。這些近代高科技工業的產品,需要的是形狀複雜化,重量減輕化,外型重美觀化,品質精密化,這些產品要求的成品品質,需藉助成型技術改良,精確的理論分析與嚴密的參數控制。但由於新近所發展的革新性製程如氣體輔助成型、雙料共射出成型與超臨界流體微細發泡射出成型等新技術製程。在缺乏製程經驗及其他工程應用,對這方面研究問題,存有相當大的空間,新的技術需要新的製程參數,精密的產品需要較精準的製程參數,所以需要更深入研究與探討,方能開發更優良產品。

鑑於奈米複合材料量產上的困難,造成成本居高且效果並不顯著,導致除 Nylon6 外,其他各類高分子奈米複合材料在工業上的競爭力不高。故實驗開始即以工業化的可能性考量,除有效改善聚丙烯的物性之外,如何才能簡化生產流程,降低生產成本是主要重點。由於雙螺桿押出機可提供高的剪切力,在這種情況之下,由機械方面提供的剪切力是否能使黏土的層間距離分散得更開?使得聚丙烯表現出更好的效果?

因應上述之想法,我們運用了雙螺桿押出機所提供的剪切力,來製備聚丙烯/SWN 之奈米複合材料,探討微細發泡成型製程中使用奈米複合材料備製各種試片,對其成果之各項性質作進一步的探討,以便與傳統射出成型作比較,並提出先導性的研究分析,配合實驗結果以評估其製程精確性與實用行。

## 2. 實驗規劃

## 2.1 實驗設備與儀器

本研究中所使用之實驗設備有(1)雙螺桿押出機(圖 1),來源:CENTURY EXTRUDERS 型號:SHJ-20(screw L/D:20/1, screw diameter  $\psi=20$ ),機械設定:screw R.P.M.:600, Temp. setting:400°C, Load:28.0Amps, Press:31.0PS。



圖 1 雙螺桿押出機

(2) 射出成型機及超臨界流體產生器射出成型機爲 ARBURG 公司的射出成型機(420 C 1000-350, 最大射出量 139 cm<sup>3</sup>, 最大射壓 2500bar, 最大射速 128ccm/s),此機台不僅可以進行傳統射出成型,附加 Trexel 公司所生產 SCF 超臨界流體產生器單元,可以做超臨界流體微細發泡射出。超臨界流體產生器是美國 Trexel 公司委託德國 Maximator 所生產,可使用的超臨界流體爲氮氣及二氧化碳兩種模組。(3) 拉伸實驗依據 ASTM D638 規範製作試片,圖 2 爲拉伸試片模具。研究之材料試驗機乃採用弘達製造公司出品,機型爲 HT-9102。



圖 2 拉伸試片模具

(4)衝擊實驗依據 ASTM D256 規範製作試片，圖 3 為衝擊試片模具。研究之材料試驗機乃採用弘達製造公司出品，機型為 HT-8041B。(5)彎曲實驗依據 ASTM D790 規範製作試片，圖 3 為彎曲試片模具。研究之材料試驗機乃採用弘達製造公司出品，機型為 HT-9102。



圖 3 衝擊及彎曲試片模具

## 2.2 實驗材料與特性

本研究所使用的是永嘉烯公司所生產的聚丙烯其型號為 1040，其平均密度約  $0.9\text{g/cm}^3$ ，收縮率 0.8~1.8%，熔融指數(MI)值平均為 5，工作溫度約 190~260 °C，聚丙烯具有拉伸強度佳、耐高溫、剛性佳、耐磨性佳等特性。

氮氣是由新中興公司提供，分子量為 28，臨界溫度為-147 °C，臨界壓力為 3.4 MPa，實驗所添加的 SCF 比例為重量百分比。

SWN 為一種合成斯皂土 [18-22](Synthetic Smectite)，屬於葉狀矽酸鹽(phylllosilicate) 礦物，具有能在水中或其他介質中膨潤的結構，它的主要特性在於微細的晶體尺寸以及層狀結構和大的化學活性交換能力，以及形成有機與無機複合的能力。由於天然膨潤土原料的白度、分散性與透明性皆較差，所以開發了水熱法(hydrothermal process)來製備高純度合成斯皂土黏土。具有優異的白度、透明性與流變性質。Lucentite SWN [13]具有的特性：(1)由矽酸鎂和鹼金屬陽離子反應合成具有較佳透明性、白度、及穩定的品質。(2)分散液具有

高粘度與觸變性。(3)具有層間插入的性質，可以形成有機與無機的層間複合材(4)具有大的化學活性表面積，因此有大量的吸附及陽離子交換能力(5)不影響分散介質的透明性。

## 2.3 實驗方法

我們將 SWN 顆粒與聚丙烯，依各比例混合後，在雙螺桿押出機中混煉押出。在押出機內部輸送時，由於聚丙烯之分子鏈與鏈之間在流動過程會有糾結的現象，應可再透過剪切力的作用，使糾結分子鏈運動時，帶動 SWN 的層狀結構運動，使達到更好的分散效果。

接著依據 ASTM 規範，利用超臨界微細發泡射出成型機製備試片，瞭解添加不同之 SWN 含量 (wt%)後，利用萬能試驗機檢測其衝擊、拉伸、彎曲強度的改變。最後將上述成品與原先之工業級聚丙烯各項機械性質作比較，確認是否能改善原先泛用的工業級聚丙烯之機械性質。我們試著使用經過膨潤之 SWN，使用雙螺桿押出機製備聚丙烯/SWN 之奈米複合材料。在押出機內部輸送時，由於聚丙烯之分子鏈與鏈之間在流動過程會有糾結的現象，應可再透過剪切力的作用，使糾結分子鏈運動時，帶動 SWN 的層狀結構運動，使達到更好的分散效果。

## 3. 結果與討論

本研究之目的在添加 SWN 製備 PP 奈米複合材料，故採用同向式雙螺桿押出機，其轉速為 60RPM。當中之 SWN 含量分別為 1、3、5、7、9 wt%。使用超臨界流體微細發泡射出成型機射出標準試片，其射出速度為 90cm/s、熔膠溫度為 200°C、射出壓力為 200bar 及超臨界流體 SCF 為 0.8 wt%。為各種機械性質之實驗結果如下：

### 3.1 衝擊強度

表 1 是在不同 SWN 含量(wt%)下微細發泡射出成型件之衝擊強度量測值而圖 4 是在不同 SWN

含量下微細發泡射出成型件之衝擊強度變化。本實驗 SWN 含量分別為 1、3、5、7 及 9 wt%。在傳統射出製程下，衝擊能量為 0.105 Joule；而依 SWN 含量增加分別為 0.104、0.102、0.099、0.097 及 0.093 Joule。從結果顯示，對於試片吸收衝擊能量隨著 SWN 含量增加而降低，衝擊能量約降低 14%。添加量愈高時，推測過多的無機物質(SWN) 在分子層間的分散情形會有較多的嵌入插層分散，相對吸收衝擊能量的能力會有降低的現象。

表 1 不同 SWN 含量下衝擊強度之量測值

Impact Strength (Joule)						
No.	SWN (wt%)					
	0	1	3	5	7	9
1	0.101	0.115	0.105	0.094	0.094	0.078
2	0.106	0.103	0.094	0.094	0.094	0.094
3	0.105	0.105	0.094	0.110	0.095	0.094
4	0.105	0.105	0.105	0.121	0.098	0.094
5	0.105	0.105	0.105	0.094	0.094	0.094
6	0.107	0.110	0.121	0.105	0.105	0.094
7	0.105	0.099	0.094	0.094	0.094	0.099
8	0.107	0.098	0.110	0.105	0.105	0.094
9	0.105	0.105	0.099	0.084	0.094	0.094
10	0.105	0.096	0.099	0.094	0.094	0.094
Avg.	0.105	0.104	0.102	0.099	0.097	0.093

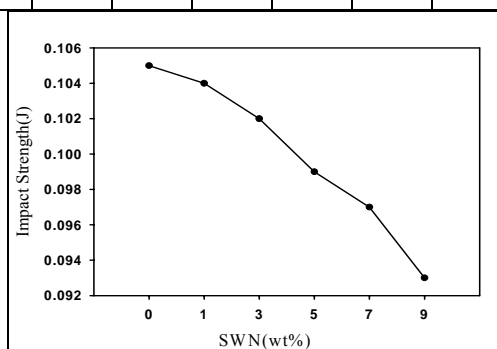


圖 4 不同 SWN 含量下之衝擊強度之變化

透過圖表分析，當我們直接以工業級聚丙烯與已膨潤之 SWN 透過押出機進行混煉時，利用押出機提供的剪切力作分散，雖然層間距離亦有拉開的效果，但因為仍未達到剝離，導致耐衝擊強度隨著

SWN 添加比例的增加而呈現線性下降的趨勢。但添加少量奈米級分散的 SWN 對其耐衝擊強度仍有大幅改善的效果，而 SWN 的重量百分比一旦拉高之後，對物性反而會造成不良的影響。因此在聚丙烯混煉押出中，只需要少量的 SWN 添加量，就會有相當優越的改善效果。

### 3.2 彎曲強度

表 2 是在不同 SWN 含量(wt%)下微細發泡射出成型件之彎曲強度量測值而圖 5 是在不同 SWN 含量下微細發泡射出成型件之彎曲強度變化。本實驗 SWN 含量分別為 1、3、5、7 及 9 wt%。在傳統射出製程下，彎曲強度為 56.80kg/mm<sup>2</sup>；而依 SWN 含量增加分別為 59.64、62.21、63.50、62.68 及 62.37 kg/mm<sup>2</sup>。從結果顯示，對於試片彎曲強度隨著 SWN 含量先增加而後降低再微幅增加。以添加至 5% 有最佳的提昇效果，其彎曲強度約增加 12%，此時合成土分散的情形最佳，添加量愈高時，推測過多的無機物質(SWN) 在分子層間的分散情形會有較多的嵌入插層分散，SWN 的無機結構沒有產生明顯的變化，對聚丙烯彎曲強度沒有產生影響。

表 2 不同 SWN 含量下彎曲強度之量測值

Flexural Strength (kg/mm <sup>2</sup> )						
No.	SWN (wt%)					
	0	1	3	5	7	9
1	56.85	59.69	61.91	61.08	62.96	61.71
2	55.99	58.79	61.21	64.92	61.32	61.84
3	56.47	59.30	59.21	64.00	63.33	65.46
4	57.72	60.61	62.03	62.78	61.61	58.06
5	55.17	57.93	61.99	60.18	61.04	60.72
6	57.72	60.61	63.66	65.14	65.55	62.04
7	56.76	59.59	63.03	64.84	61.26	61.17
8	57.26	60.13	63.25	64.95	62.05	64.48
9	57.25	60.12	63.65	63.78	64.30	64.19
10	56.79	59.63	62.17	63.38	63.33	64.04

Avg	56.80	59.64	62.21	63.50	62.68	62.37
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

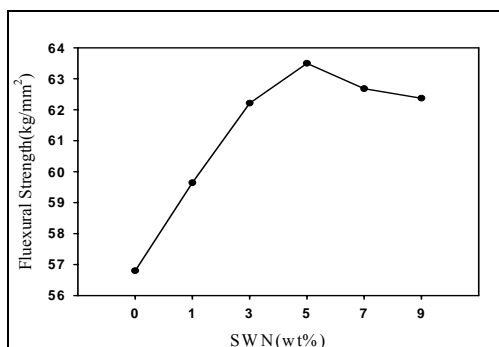


圖 5 不同 SWN 含量下彎曲強度之變化

相較於其他測試物性，如耐衝擊強度，改善的程度亦較穩定，較沒有因 SWN 添加比例提高時導致物性快速下降的現象。

### 3.3 拉伸強度

表 3 是在不同 SWN 含量(wt%)下微細發泡射出成型件之拉伸強度量測值而圖 6 是在不同 SWN 含量下微細發泡射出成型件之拉伸強度變化。本實驗 SWN 含量分別為 1、3、5、7 及 9 wt%。在傳統射出製程下，拉伸強度為 88.05MPa；而依 SWN 含量增加分別為 88.84、90.74、89.65、89.23 及 89.19MPa。從結果顯示，對於試片拉伸強度隨著 SWN 含量增加而降低。添加少量奈米級的 SWN，其拉伸強度約增加 3% 仍有改善的效果。

表 3 在不同 SWN 含量下拉伸強度之量測值

No.	Tensile Strength (MPa)					
	SWN (wt%)					
	0	1	3	5	7	9
1	86.41	90.96	90.22	90.20	89.34	90.91
2	87.29	88.79	91.59	89.35	89.81	88.32
3	88.03	90.87	90.41	89.31	89.66	89.39
4	90.54	87.71	89.72	89.38	88.43	90.15
5	89.49	89.02	91.65	89.44	87.67	89.95
6	86.24	89.00	89.40	89.38	89.45	89.60
7	87.69	87.97	92.05	89.90	88.24	90.61
8	88.27	87.71	90.31	89.59	90.28	86.50

9	88.60	88.63	91.53	89.91	89.96	86.24
10	87.89	87.72	90.49	90.04	89.50	90.19
Avg.	88.05	88.84	90.74	89.65	89.23	89.19

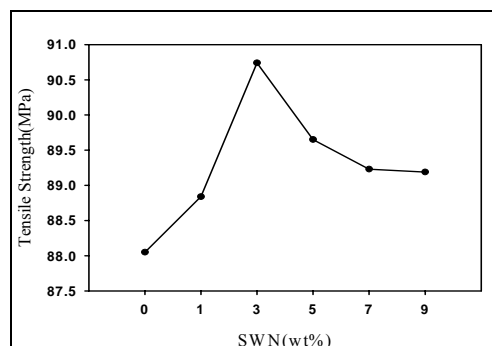


圖 6 不同 SWN 含量下拉伸強度之變化

累積實驗數據，添加 SWN 的比例也所有變化，而添加後的成品之中，雖然 SWN 的結構有達到剝離效果的，也有部份只達到插層的效果，但所測得之抗拉強度變化較小。

### 4. 結論

本研究之目的在添加 SWN 製備 PP 奈米複合材料，當中之 SWN 含量分別為 1、3、5、7 及 9 wt%。

實驗結果顯示，試片的衝擊能量隨著 SWN 含量增加而降低，衝擊能量約降低 14%。試片的彎曲強度及拉伸強度隨著 SWN 含量增加而降低再微幅增加。彎曲強度在 5% 時有最佳的提昇效果；而拉伸強度則在 5% 時有最佳的提昇效果，此時合成土分散的情形最佳。添加量愈高時，推測過多的無機物質(SWN) 在聚合物層間的分散情形會有較多的嵌入插層分散，相對吸收衝擊能量的能力、彎曲強度及拉伸強度會有降低的現象。添加少量(3~5%)奈米級分散的 SWN 對其機械性質有 3~14%改善的效果。

透過各項物性分析結論，我們可以確認，將 3~5%的 SWN 添加入聚丙烯，當達到奈米級分散時，確實可以有效的改善聚丙烯的物性。

在目前的工業界使用設備來講，雙螺桿押出機屬廣泛使用且運用技術成熟之機械設備，故如能有

效利用雙螺桿押出機之剪切力功能與特性，將聚合反應技術與押出技術運用在工業化量產的過程之中，則在產品物性的改善有其相當的改進。

## 5. 參考文獻

1. T. J. PINNAVAIA, G. W. BEALL, Polymer-clay Nanocomposites, John Wiley&Sons, Ltd.. (2000)
2. Xinyu Huang and William J. Brittain , ; Macromolecules 2001 , 34 , 3255-3260 (2001)
3. Masami Okamoto , Satoshi Morita , Hideyuki Taguci , Yong HOON kimm , todao Kotaka , Hiroshi Tateyama , polymer 41, 3887-3890 (2000)
4. Yeong Suk Choi , Min Ho Choi , Ki Hyun Wang , Sang Ouk Kim , YOON Kyung Kim , and In Jae Chung , Macromolecules , 34 , 8978~8985, (2001)
5. Jui-Ming Yeh , Shir-Joe Liou , Ching-Yi Lin , Chiao-Yu Cheng , and Ya-Wen Chang , ; Chem. Mater. , 14 , 154-161 (2002)
6. Xin Tong , Haichao Zhao , Tao Tang , Zhiliu Feng , Baotong Huang , Journal of Polymer Science:Part A:Polymer Chemistry , Vol.40 , 1706-1711 (2002).
7. 王世敏、許祖勳、傅晶編著，納米材料製備技術，頁 220~234。
8. 徐國財、張立德編著，奈米複合材料，頁 206~224。
9. Nielsen, Lawrence, Mechanical properties of polymers and composite, M. Dekker, New York. (1974)
10. 吳人潔，“複合材料”，新文京開發出版股份有限公司（2004）。
11. 漆宗能、尙文字著，聚合物/層狀矽酸鹽奈米複合材料，五南圖書出版股份有限公司（2004）。
12. Okamoto, K. T., (2003), “Microcellular Processing”, Hanser Gardner publications, Inc., Cincinnati, pp 5-13.
13. M. Wessling, (1994), “Carbon Dioxide Foaming of Glassy Polymer” J. Appl. Polym. Sci., 53, pp 1497-1512.
14. B. Krause, (2001), “Microcell Foaming of Amorphous High-Tg Polymers Using Carbon Dioxide,”Macromolecules, p874.
15. Xu, J. and Pierick, D., (2001), J. Injection Molding Tech., Vol. 5, pp 152-159.
16. Lih-Sheng Turng and Hriskikesh Kharbas, (2003), Polym. Eng. Sci., Vol. 43, No. 1, pp 157-168.
17. Y. T. Shieh, J. H. Su, G. Manivannan, Paul Lee, S. P. Sawan and W. D. Spall, (1996), “Interaction of Supercritical Carbon Dioxide with Polymers: 2. Amorphous Polymers”, Journal of Applied Polymer Science, 59, pp.707-717.
18. 德謙企業，SYNTHETIC SMECSME LUCENTITE，合成斯皂土。
19. K. Elert, E. Sebastián, I. Valverde, C. Rodriguez-Navarro(2007), “Alkaline treatment of clay minerals from the Alhambra Formation : Implications for the conservation of earthen architecture”, Applied Clay Science, 25, pp.207-217.
20. Nobuhiro Iwasa, Takeshi Kubota, Kyoko K. Bando, Masayuki Shirai (2004),

- “Hydrodesulfurization of thiophenic compounds over synthetic smectite-type clays”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65, pp. 503–507.
- 21 Zenon Klapyt a.), Taketoshi Fujita, Nobuo Iyi (2001), “Adsorption of dodecyl and octadecyltrimethylammonium ions on a smectite and synthetic micas”, *Applied Clay Science*, 19, pp.5–10
- 22 Changling Hea,, Emil Makovickya, Bjarne Osbæck (2000), “Thermal stability and pozzolanic activity of raw and calcined mixed-layer micarsmectite”, *Applied Clay Science*, 17, pp. 141–161.





## 負波桑比連桿放大機構研製與模擬分析

### MULTI-LAYER RE-ENTRANT FORMS LINKAGE AMPLIFIER MECHANISM OF NEGATIVE POISSON'S RATIO

林高輝<sup>1</sup>、胡雅慧<sup>2</sup>、黃加閔<sup>3</sup>、蕭棋煌<sup>3</sup>、陳東星<sup>4</sup>

清雲科技大學機械工程學系助理教授<sup>1</sup>

南亞技術學院機械工程學系助理教授<sup>2</sup>

台北科技大學機電科技所研究生<sup>3</sup>

中原大學機械工程學系研究生<sup>4</sup>

[khlin@cyu.edu.tw](mailto:khlin@cyu.edu.tw)

#### 摘要

因應微米精密工業的發展，系統小型化與精密定位的需求日漸遽增，所以本研究使用壓電致動器之微量位移及負波桑比之連桿放大機構，完成設計一小型單軸定位平台。

本研究之機構設計係以電腦輔助設計軟體進行有限元素之模擬，分析機構之應力、應變及其之放大倍率之關係並比對實驗結果，本實驗系統是以模具鋼為連桿結構材料，線切割加工方式製作，配合積層式壓電致動器驅動，以線性差動變壓器進行位移量測，最後比對數值模擬與實驗之結果。結果顯示本研究所設計之負波桑比連桿放大機構平台可得到單層連桿機構平台之行程與原始壓電位移行程放大 5 倍以上，雙層連桿機構平台之行程可放大 8 倍以上，單層非對稱連桿機構平台之行程可放大 5 倍以上。

**關鍵字：**壓電致動器、負波桑比

## **Abstract**

The requirement of micro/nano system and positioning system increases in accordance with the development of precision engineering. In this paper, a new signal axis micro-position stage was developed, using the movement engendered from piezoelectric (PZT) actuators and multi-layer re-entrant forms linkage amplifier mechanism of negative Poisson's ratio.

Numerical simulations of the proposed model via the finite element method are compared with experimental results; of witch the model states of stress and strain can be estimated. In the experiment, material of linkage mechanism is the tool steel, the system was achieved by wire electrical discharge machine. The stage was driven by a multi-layer PZT actuator. Linear variable differential transformer measured the displacement. The results show that the displacement of ratio exceeds 5 times as that in signal layer toggle mechanism stage. The ratio exceeds 8 times as that in multilayer stage.

**Keywords:** Piezoelectric actuators, Negative Poisson's rati

## 一、前言

### 1.1 文獻回顧：

隨著工業科技的進步，半導體產業、精密機械工業、光電量測系統及顯微機構等方面，皆朝微小化與精密化的方向前進，而微米或次微米級之定位系統需求量亦與日俱增。由於壓電致動器具有體積小、反應速度快、能量損耗小及高解析度之優點，故常作為微定位平台之驅動方式，而撓性鉸鏈機構之變形特性，則具有放大微奈米平台位移行程之功能，係多自由度運動機構之基礎設計。

1965 年 Paros 與 Weisbord[1]設計一新穎之撓性結構平台，以獲得平滑連續運動之機械模組。1978 年 Fredric[2]利用槓桿原理及 1000 伏之驅動電壓所設計之平台，其壓電致動器之行程可放大 30.3 倍，具有 50  $\mu\text{m}$  之移動行程。1985 年 Mamin 等人[3]利用 bimorph 壓電陶瓷的變形及靜電腳座，設計單步位移 25–400 nm 之二軸長行程微定位機構。1987 年 Matey 等人[4]亦用 biomorph 壓電材料設計 XYZ 三軸定位機構，其敏感度為 0.3  $\mu\text{m}/\text{V}$ ，最大位移量為 120  $\mu\text{m}$ 。此外，1997 年簡宏彰[5]利用有限元素法和模型解析，完成三自由度微定位平台設計、模擬及誤差分析等，最大行程為 18  $\mu\text{m}$ ，解析度為 0.01  $\mu\text{m}$ 。同年，Chang 與 Du[6]利用二組 Scott-Russell 機構，完成最大行程為 100  $\mu\text{m}$ 、解析度 40 nm 的平台設計。1999 年時，Gonda 等人[7]設計一 XYZ 三自由度之微動立體機構，係以線切割放電方式加工，可達行程 10  $\mu\text{m}$ ，側向偏移量為 0.06 %。翌年，朱怡銘[8]以壓電致動器設計三自由度之平台，其中 X 軸與輸出軸最大行程為 50  $\mu\text{m}$ 、Z 軸最大行程為 20  $\mu\text{m}$ 。2001 年蔡奇陵[9]研製一單層六自由度微定位平台，此平台之最大行程為 7  $\mu\text{m}$ 、解析度 8 nm，旋轉解析度為 0.7  $\mu\text{rad}$ 。2001 年黃宜正等人[10]運用撓性鉸鏈

機構為基礎，設計一 XYZ 三軸精密定位平台。2003 年簡揚昌[11]則運用壓電效應，研製奈米定位之精密驅動裝置。此外，吳冬立[12]亦研製 8  $\mu\text{m}$  位移量、250  $\mu\text{rad}$  旋轉量及 10 nm 解析度之並聯式奈米級微定位平台。2004 年 Yamamoto 等人[13]以壓電致動器及撓性結構研發可置於 SEM 電子顯微鏡真空艙體內之三自由度平台。2005 年 Trease 等人[14]發展一新式撓性結構，經電腦模擬驗證係有大行程與高剛性之性能。同年謝清吉及傅建榮[15-16]運用撓性結構及壓電致動器，分別設計微型史都華平台及五軸壓電平台，均輔以電腦分析來驗證其性能。

### 1.2 研究動機與目的：

由上述文獻中得知微定位平台的設計及研製已相當充足，然而其外型尺寸較大，故多不適合在電子顯微鏡或掃描式探針顯微鏡之量測空間中使用，因此位移系統之縮小化為必然趨勢，此外，上述所介紹之撓性鉸鏈機構均係結合「正波桑比」之概念藉由壓電致動器驅動以進行作動，故有元件間隙之問題。

「波桑比」的特性定義為負側向應變/縱向應變，故當一材料進行縱向拉伸動作時，物體的側面會有收縮現象，而進行縱向壓縮時，會有側向膨脹情形，即為「正波桑比」特性物體。反之，拉伸時有膨脹情形，壓縮時有收縮情形者，即為「負波桑比」特性之物體[17]。由於「負波桑比」物體具有衝擊吸收力、損壞抵抗力、平面應變破壞強度、彈回性凹陷抵抗力等[18]，因此相當適合應用於運動機構的設計上。

本研究係以「負波桑比」之概念應用於壓電放大之撓性鉸鏈機構上，故當機構承受外力時，會產生一個往中心方向之作動力，達到減少壓電致動器與放大機構之間隙、提高平台位

移量及增加變形空間之功能。使其結構具有小型化、彈性佳、拉伸變形能力高等優越的機械性質。

1968 年 Lempriere [19] 提出負波桑比之概念，並以彈性應變能理論證明，其中較常見的負波桑比結構有內凹型泡棉結構及纖維粒子網狀結構[20]。1995 年 Sigmund 以模擬方式探討縫紉材料之拉伸特性，此文為較接近負波桑比機構研究案例[21]。雖然上述已有許多的負波桑比材料應用與設計，但實際應用於微動平台的實例甚少。1997 年 Larsen 等人以拓樸之最佳化設計一負波桑比結構，應用於 XY 平台中[22]。2002 年陳耀庭[17]以傳統內凹型蜂巢結構，設計出具負波桑比性質之三維機構。

爲了要發展一套高精度、小型化及長行程之多軸微定位平台，本研究係以壓電致動器與負波桑比之撓性鉸鍊結構設計一新穎之負波桑比連桿放大機構[23]，此機構具有高倍率放大之運動性能及小型化平台之設計目標。經由數值模擬與實測實驗之結果進行運動學分析及理論位移量測，以獲得移動軸輸入與輸出關係比。此外，亦以電腦輔助方式確認此放大機構之剛性，以減少加工組裝及系統誤差，進而完成一單自由度移動平台。

### 1.3 研究方法與步驟：

本研究係發展一組單軸壓電移動平台，此系統係以壓電陶瓷作為壓電平台致動器，驅動三組不同型態之負波桑比撓性鉸鍊結構，分別爲單層、雙層及非對稱放大機構，以達到高精度、小型化且高放大倍率之微量位移平台。

首先，針對撓性鉸鍊機構的設計、應力、應變、角度變化量及型變量進行探討，並與本研究設計之新式結構比較，說明本研究設計之特性。其次，介紹壓電致動器驅動本研究設計

之新式撓性鉸鍊機構的方式，及探討移動軸輸入與輸出變化關係之數值結果。最後，分別探討三組負波桑比撓性鉸鍊之壓電放大機構運動、變形及放大倍率等效應，作為單軸壓電平台之設計基礎。

本研究係以 SolidWorks Cosmos<sup>®</sup>軟體之有限元素法進行數值模擬分析，藉由適當的機構尺寸，計算出最大負波桑比撓性鉸鍊機構之變形量，以達到小型化及大行程之設計目的。在建立元件網格的過程中需考慮機構之尺寸大小，給予不同元素與節點之尺寸，當產生之網格數愈多時，計算結果愈精準，然而計算之時間也愈長，故須在電腦硬體許可的範圍內及計算時間的考量下獲取其模擬數值。

## 二、撓性鉸鍊機構設計與模擬分析

本研究之放大機構係使用撓性鉸鍊結構爲其設計之基礎，此機構是由近似兩支連桿所組合而成，由於此設計係屬於一體成型，故不會產生接觸面干涉或磨耗等情形，且整體之動作平順具有連續性與高穩定性之特性，因此極適合應用在微小定位及微動之要求。此外，當撓性鉸鍊受到外力時，會以尺寸最薄處作為旋轉中心旋轉並產生形變，並達成連桿機構的效果，如圖 1 所示，故相較於一般機構中的旋轉接頭，撓性鉸鍊更具有無餘隙、不需潤滑、沒有摩擦的優點。

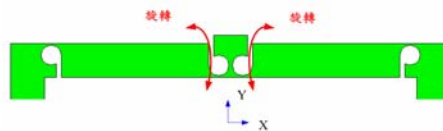


圖1.撓性鉸鍊旋轉做動

一般而言，撓性鉸鍊結構主要可分爲三類：(1) Circular Notch Hinge[24]、(2) Rectangle Cross Section[25]及(3) Corner-filletted[26]。本研究係以數值模擬方式針對上述三種撓性結構及

自行設計之撓性結構，在撓性變形處(厚度均為 0.2 mm)進行最大應力、應變及角度變化值之探討。此外，為求分析結果之正確性，本研究亦建立不同數目之元素與節點數求其收斂曲線，並以達到收斂結果之數值作為探討與比較之對象。

### 2.1 Circular Notch Hinge 撓性結構分析

1965 年 Paros 與 Weisbord 提出 Circular Notch Hinge 撓性結構，本研究以電腦軟體針對此結構進行數值模擬，並計算其應力、應變值。模擬係以撓性結構左端設為固定端，於右側底部施加 1 牛頓之均勻外力，因此其撓性變形處係位於機構中央部位最薄處，厚度為 0.2 mm，示意圖如圖 2 所示。

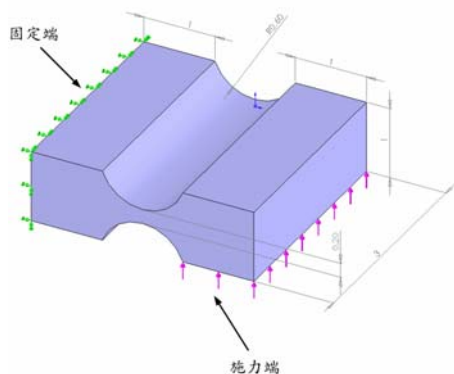


圖2. Circular Notch Hinge撓性鉸鍊

其中，全域網格大小為 0.097 mm，為了更精確了解撓性變形處之變化，因此在變形平面上加設網格數，其網格大小為 0.039 mm，總節點及總元素分別為 299,403 個及 211,412 個。圖 3(a)(b)為收斂平衡後之應力圖、應變，其中最大應力值為  $5.49 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ ，最大應變值為  $1.94 \times 10^{-4}$ 。

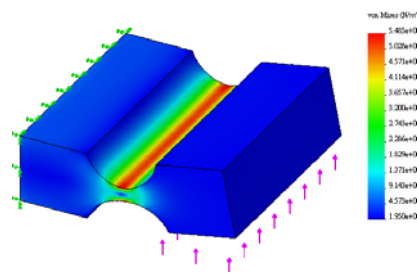


圖3(a). Circular Notch Hinge最大應力圖

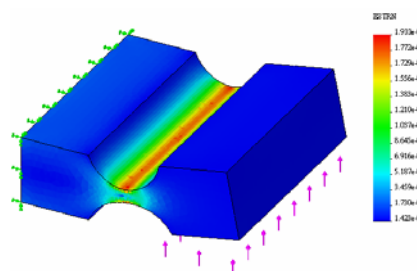


圖3(b). Circular Notch Hinge最大應變圖

### 2.2 Rectangle Cross Section 撓性結構分析

1992 年 Smith 與 Chetwynd 提出 Rectangle Cross Section 撓性結構，本研究亦以電腦軟體針對此結構進行數值模擬，並計算其應力、應變值。撓性結構之固定端與外力設定均與圖 2 相同，其撓性變形處則為左側接縫處，其中分析區域之長、寬及厚度分別為 3 mm、1.2 mm 及 0.2 mm，示意圖如圖 4 所示。

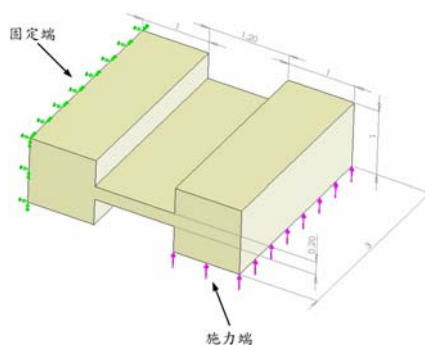


圖4. Rectangle Cross Section撓性鉸鍊

其中，全域網格大小為 0.094 mm，撓性變形面之網格大小為 0.026 mm，總節點及總元素分別為 577,638 個及 409,587 個。圖 5(a)(b)為收斂平衡後之應力、應變圖，其中最大應力值為  $11.59 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ ，最大應變值為  $4.26 \times 10^{-4}$ 。

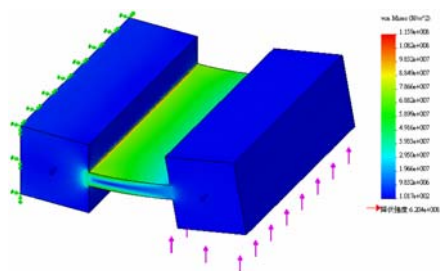


圖5(a). Rectangle Cross Section最大應力圖

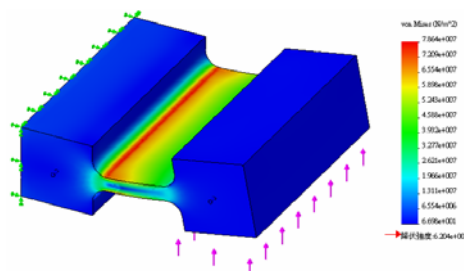


圖7(a). Corner-filleted最大應力圖

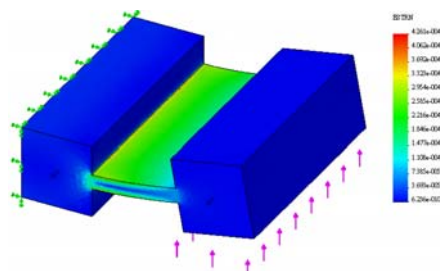


圖5(b). Rectangle Cross Section最大應變圖

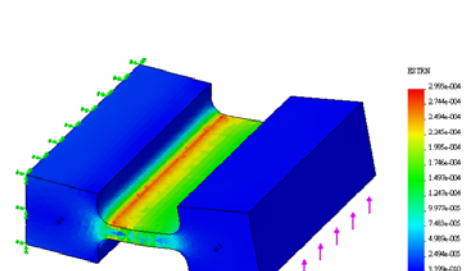


圖7(b). Corner-filleted最大應變圖

### 2.3 Corner-filleted 撓性結構分析

2001 年 Lobontiu 結合 Circular Notch Hing 及 Rectangle Cross Section 之設計, 提出 Corner-filleted 之撓性結構, 本研究以與上述相同之固定端及外力設定進行數值模擬及應力、應變之數值計算, 其中圓角與板型薄件厚度均為 0.2 mm, 其示意圖如圖 6 所示。

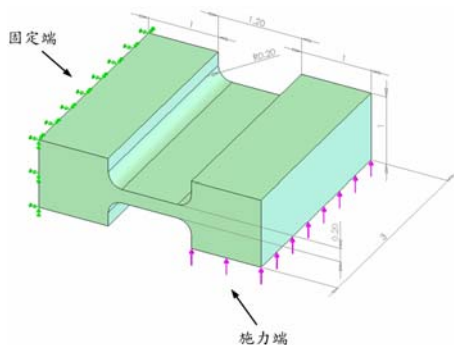


圖6. Corner-filleted撓性鉸鍊

其中, 全域網格大小為 0.094 mm, 撓性變形面之網格大小為 0.025 mm, 網格尺寸控制, 總節點及總元素分別為 521,911 及 371,239 個。圖 7(a)(b)為收斂平衡後之應力、應變圖, 其中最大應力值為  $7.86 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ , 最大應變值為  $2.99 \times 10^{-4}$ 。

### 2.4 新式撓性結構分析

本研究結合上述三種撓性鉸鍊結構設計一新穎之結構, 其示意圖如圖 8 所示。其中, 撓性結構左端為固定端, 右側底部為 1 牛頓之均勻施力端, 最大撓性變形處為上端最薄處, 其厚度為 0.2 mm。

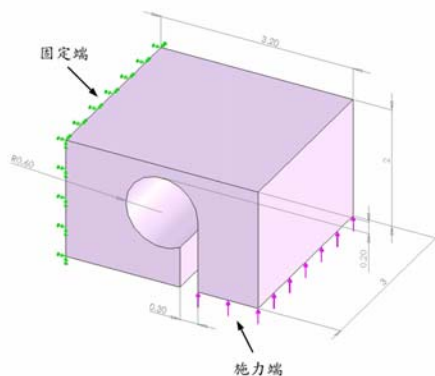


圖8. 新式撓性鉸鍊

其中, 全域網格大小為 0.12 mm, 撓性變形面之網格大小為 0.04 mm, 總節點及總元素分別為 531,293 個及 374,131 個。圖 9(a)(b)為收斂平衡後之應力、應變圖, 其中最大應力值為  $5.71 \times 10^7$ , 最大應變值為  $2.12 \times 10^{-4}$ 。

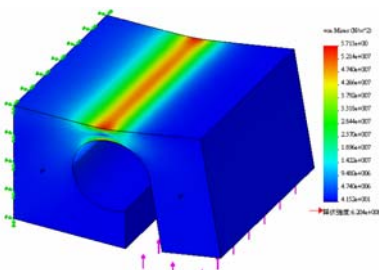


圖9(a). 新式撓性鉸鍊最大應力圖

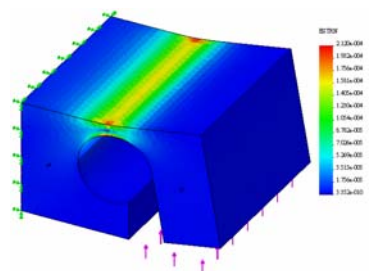


圖9(b). 新式撓性鉸鍊最大應變圖

圖 3、5、7、9 分別表示上述四種撓性鉸鍊機構在不同元素數量下應力、應變及角度變化值之比較結果。其結果得知 Rectangle Cross Section 之撓性結構有最大之應力、應變值，因此最容易產生彈性疲乏現象，而 Circular Notch Hing 之撓性結構有最小之應力、應變值，雖不易有變形現象，但卻會降低整體之移動行程 [26]。而 Corner-filletted 式及新式撓性結構之應力、應變值則介於兩者之間。

由圖 10 及圖 11 中可得到本研究所設計之新式撓性鉸鍊機構的應力、應變值只有 Rectangle Cross Section 撓性結構的 50%，且比 Circular Notch Hing 撓性結構高出 10% 應力與應變值。

圖10. 撓性鉸鍊元素數量與應力分析比較圖

圖 12 顯示新式撓性鉸鍊機構的角度位移量為 Rectangle Cross Section 撓性結構 50%，而較 Circular Notch Hing 撓性結構高出 50% 之位移量。

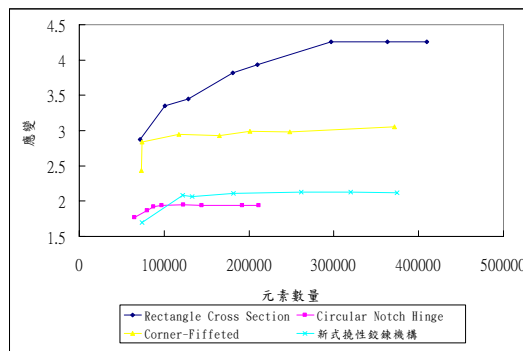
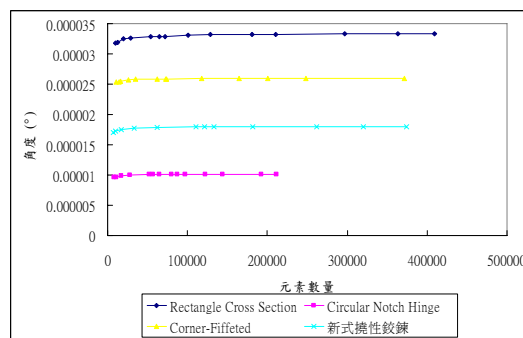
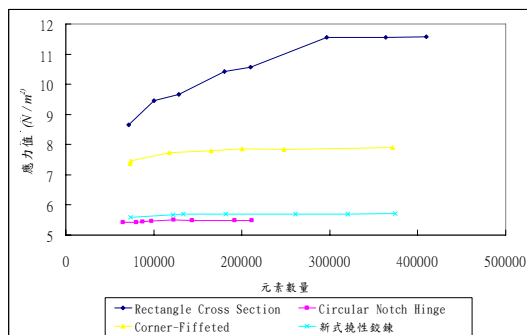


圖11. 撓性鉸鍊元素數量與應變分析比較圖

圖12. 撓性鉸鍊元素數量與角度變化比較圖

此結果顯示，本研究所設計之新式撓性鉸鍊機構，係可有較低之應力值與較高之應變與角度變化情形，時可達到整體機構微小化、高精度、高重覆性及大行程之目的。

### 三、壓電放大機構設計與模擬分析

#### 3.1 壓電放大機構

一般的高精密線性平台多以馬達驅動為主，均會產生餘隙或摩擦等缺點，故本研究係採用具有體積小、反應快、機電轉換效率高解析度高等優點之壓電材料彌補其缺失。但其具有磁滯效應的缺點，但經由適當的控制可達到良好消除成



效，且因其行程過小需加上放大機構使移動量得以放大。

### 3.1.1 壓電放大機構移動量之演算法

本研究設計之放大機構所對應之輸入輸出位移關係如圖 13 所示，由畢氏定理可求出  $ABC$  三角形中  $X$ 、 $Y$  方向伸長量之關係式

$$\begin{aligned} c^2 &= a^2 + b^2 \\ c^2 &= (a + \Delta x)^2 + (b + \Delta y)^2 \\ (a + \Delta x)^2 &= c^2 - (b + \Delta y)^2 \\ (a + \Delta x) &= \sqrt{c^2 - (b + \Delta y)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

移動軸之輸入與輸出變化量的關係式

$$\Delta x = \sqrt{c^2 - (b + \Delta y)^2} - a \quad (2)$$

其中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  為三角形的三邊長，其中  $a$  與  $b$  的夾角為  $90$  度。 $\Delta x$  為  $X$  方向之位移量， $\Delta y$  為  $Y$  方向之位移量。

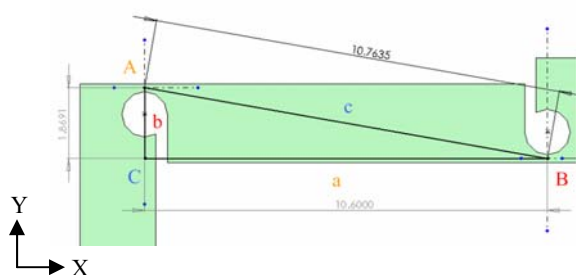


圖13. 放大機構位移關係圖

### 3.1.2 壓電放大機構設計原理

設計放大機構時，需注意其設計關鍵點：(1) 以對稱放大機構為設計原則，可減少撓性鉸鍊變形時，造成輸出軸移動方向改變之缺失。(2) 在不影響系統剛性結構條件下減輕質量，使系統達成微小輕量及提升動作速度之目的。

一般而言，移動平台若要達到微量且高精度之運動，其移動行程相對會降低，若需提高其位移量，則無法達到微米或奈米級之運動需求。因此本研究係採用壓電陶瓷為致動器、以負波桑比之新式撓性鉸鍊機構的變形作為單軸

壓電平台之設計基礎，其中包括有單層、雙層及非對稱三組放大機構，以達到大行程精密定位之目的。

當撓性結構變形與放大機構連桿變形時會損耗壓電致動器的能量，使實際位移與數值位移有差距，故本研究採用適當之機構尺寸，以有限元素法分析其最小變形量與放大誤差量，減低設計錯誤所造成的虧損。

### 3.2 單層壓電放大機構設計與模擬

單層壓電放大機構之外型及位移作動分析圖，如圖 14 所示[23]，在數值模擬條件中，壓電致動器之施力範圍為  $1 \text{ MPa}$  至  $10 \text{ MPa}$ ，設定底部之撓性機構突出處為固定端，當壓電致動器由中心往左右輸入端均分佈施壓時，會使此放大機構往外伸展，增加其位移量，以達到精密定位且長行程移動的效果。圖 15 為單層壓電放大機構施力  $1 \text{ MPa}$  時，不同元素數量下輸入與輸出端之放大倍率關係圖，當元素數量為  $56,000$  個以上時，即達到收斂狀態，其放大倍率為  $5.53$ 。

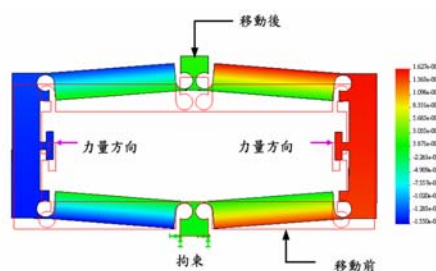


圖14. 單層壓電放大機構位移圖[23]

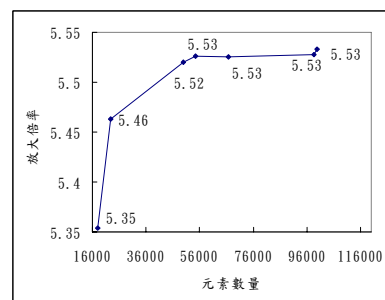


圖15. 單層壓電放大倍率圖

### 3.3 雙層壓電放大機構設計與模擬

雙層壓電放大機構之外型及位移作動分析圖，如圖 16 所示[23]，係以內外層之負波柔比形式組合，數值模擬設定中，壓電致動器之施力範圍亦為 1 MPa 至 10 MPa，此處係設定右側之撓性機構突出處為固定端，當壓電致動器由中心往內層左右兩端輸入端均勻分佈施壓時，會使內層放大機構之上下端往外伸展，其移動效果成為外層機構之輸入端，並帶動外層機構網左右端延伸，並增加其位移量，由於此輸入位移和輸出位移係成高倍率且對稱式之放大關係，故可去除橫向的位移及角度偏差，達到快速線性位移作動。

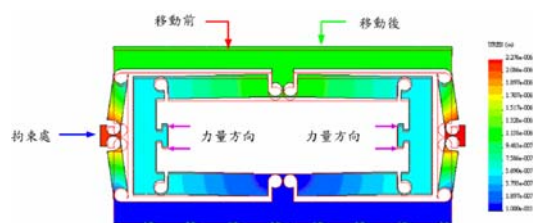


圖 16. 雙層壓電放大機構[23]

圖 17 為雙層壓電放大機構在 1 MPa 時，不同元素數量下輸入與輸出端之關係，當元素數量為 300,000 個以上時可達到收斂狀態，其放大倍率為 8.12，顯示雙層結構之具有較佳的位移行程。此外，亦發現在達到收斂狀態下，雙層結構之元素個數為單層放大機構的 5 倍多，主要原因可能是由於雙層結構之作動方式較複雜，較不容易達到穩定狀態，因此需要較多的網格數才能達到收斂效果。

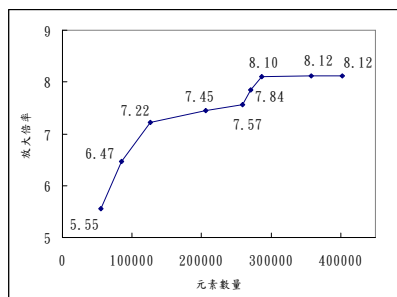


圖 17. 雙層壓電放大倍率圖

### 3.4 單層非對稱壓電放大機構設計與模擬

非對稱機構之主要設計概念源自單層壓電放大平台，其設計理論大致相同，主要差別在於輸入軸與輸出軸方向不平行且不互相垂直，形成輸入軸與輸出軸形成一夾角，其外型及位移作動分析圖如圖 18 所示。數值模擬設定中，壓電致動器之施力範圍亦為 1 MPa 至 10 MPa，此處係設定右下角之撓性機構突出處為固定端，當壓電致動器由中心往左右兩端輸入端均勻分佈施壓時，會使放大機構沿著左上右下的方向伸展，達到其放大效果。

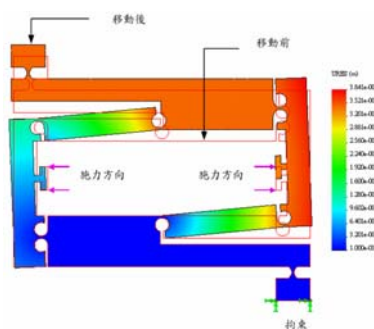


圖 18. 單層非對稱壓電放大機構

圖 19 為單層非對稱放大機構在施力 1 MPa 時，不同元素數量下輸入與輸出端之關係，當元素數量為 100,000 個以上時，可達到收斂狀態，其放大倍率約為 5.82。

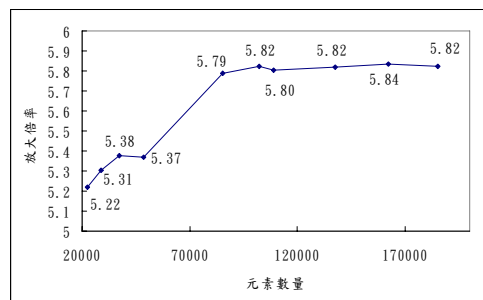


圖 19. 單層非對稱壓電放大倍率圖

## 五、實驗結果與分析

本研究之單層、雙層及單層非對稱放大機構係以直徑 0.20 mm 之黃銅線為電極，進行線切割加工。由於機構撓性處之應力較大，較容易因疲勞

而折斷，因此本研究之三組放大機構均有經過熱處理，以增加其彈性。圖20為單層放大機構實體圖，在完成三組放大機構加工後，係以壓電致動器安裝於放大機構中，即完成一單層壓電式微平台機構，如圖21所示。



圖20 單層放大機構實體圖



圖21 單層壓電式放大機構實體圖

實驗係採用精度 $0.1\mu\text{m}$ 之數位差動變壓器(LVDT)，分別量測PZT壓電陶瓷運動之伸長量與單軸平台輸出伸長量以計算機構放大倍率，如圖22所示。其中所使用之PZT壓電陶瓷為NEC TOKIN之AE0505D16，輸入範圍為 $0\sim 100\text{V}$ ，每次間格 $10\text{V}$ 量測一次，往復量測共計三次。



圖22. 單層壓電放大機構實驗裝置圖

### 5.1 單層壓電放大機構實驗結果

經由LVDT分別量測PZT的伸長量與單層機構之輸出伸長量，結果如圖23所示，經計算結果可獲得實測結果的平均撓性變形比例約為5.38倍的放大倍率，由表1得知數值模擬結果和與實驗結果約有3%之誤差量，顯示模擬與實測結果相當符

合。

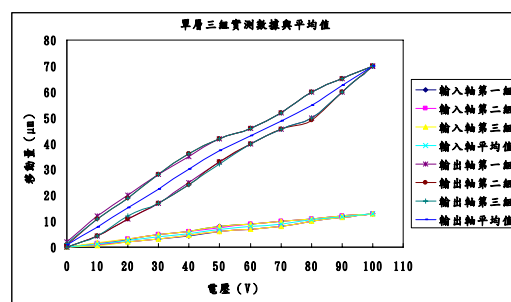


圖23. 單層壓電放大機構實測圖

表1. 單層壓電放大機構模擬與實測比較表

單軸單層	模擬值	量測值
輸入軸移動量 ( $\mu\text{m}$ )	0.1	0.1
輸出軸移動量 ( $\mu\text{m}$ )	0.553	0.538
放大倍率	5.53	5.38

### 5.2 雙層壓電放大機構實驗結果

圖 24 為雙層壓電放大機構實體圖，圖 25 為輸出與輸入移動量之關係圖，計算結果獲得平均撓性變形量為 8.0 倍的放大倍率，由表 2 得知數值模擬結果和與實驗結果僅有 2%之誤差量，顯示模擬與實測結果相當符合。



圖24. 雙層壓電放大機構實體圖

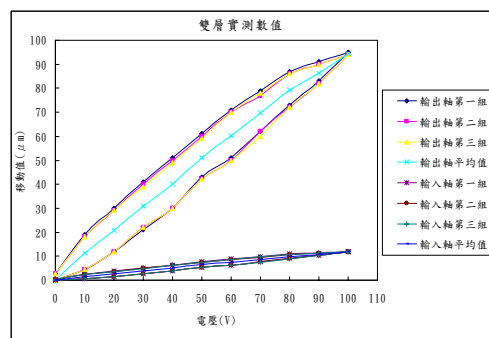


圖25. 雙層壓電放大機構實測圖

表2. 單層雙層放大機構模擬與實測比較表

單軸雙層	模擬值	實測值
第一層 X 軸移動量 (μm)	0.1	0.1
第二層 X 軸移動量(μm)	0.812	0.800
放大倍率	8.12	8.00

### 5.3 單層非對稱壓電放大機構實驗結果

圖 26 為單層非對稱壓電放大機構實體圖，圖 27 為輸出與輸入移動量之關係圖，計算結果獲得平均撓性變形量為 5.7 倍的放大倍率，由表 3 得知數值模擬結果和與實驗結果亦僅有 2% 之誤差量，顯示模擬與實測結果相當符合。

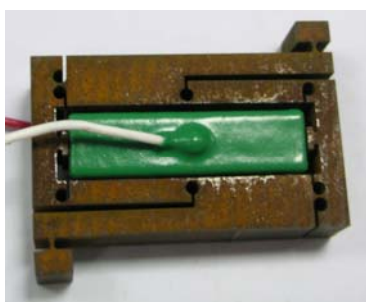


圖26. 單層非對稱壓電放大機構實體圖

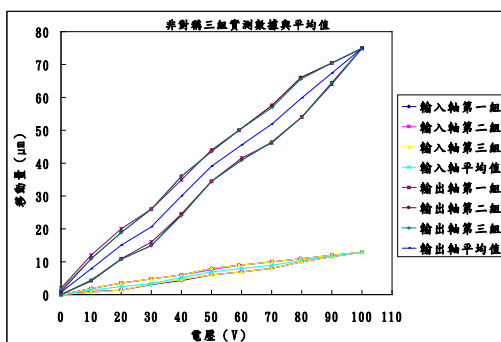


圖27. 單層非對稱壓電放大機構實測圖

表3. 單層非對稱放大機構模擬與實測比較表

單軸非對稱	模擬值	量測值
X 軸移動量	0.100	0.100
Y 軸移動量 (μm)	0.580	0.570
放大倍率	5.800	5.700

六、  
結 論  
與 未  
來 展  
望

### 6.1 研究成果

本研究利用線切割加工方式製作完成微型單軸平台單層、雙層及單層非對稱機構之設計與模擬，並整合壓電致動器於單軸放大機構內，輸入與輸出軸之關係經由數值模擬分析與 LVDT 實測實驗均證實此平台實擁有高倍率放大運動性能及小型化平台之設計目標。

### 6.2 未來研究方向

未來將結合單層、雙層及單層非對稱三組機構成爲一單軸壓電放大機構，並實際應用於盤型六軸平台中，如圖 28 所示，並加入位移回授系統及控制系統，達到高精度、小型化且長行程之定位系統。

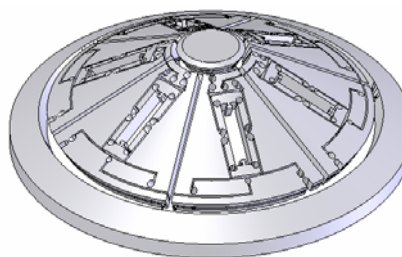


圖 28. 盤型六軸平台

### 參考文獻

- [1] Paros, J. M. and Weisbord, L., "How to design flexure hinge", *Machine Design*, Vol. 37, pp. 151-157, 1965
- [2] Fredric, E., Scire, E. and Teague, C., "Piezodriven 50-μm range stage with subnanometer resolution", *Rev. Sci Instrum.*, Vol. 49, pp. 1735-1740, 1978.
- [3] Mamin, H. J., Abraham, D. W., Ganz, E. and Clarke, J., "Two - Dimensional, Remote Micr - positioner for a Scanning Tunneling Microscope", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 56, No. 11, 1985
- [4] Matey, J. R., Crandall, R. S. and Brycki, B., "Biomorh-Driven X-Y-Z Translation Stage for Scanned Image Misroscopy", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 58, No. 4, 1987
- [5] 簡宏彰, 「三自由度超精密微定位平台之研

- 究」，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文，民國八十六年。
- [6] Chang, S. H. and Du, B. C. "A Piezodriven Precision Linear Mechanism with Large Travel range," Proceedings, 1997 International Conference on Precision Engineering, Taipei, Taiwan, ROC, Nov. 18-21, 1997.
- [7] Gonda, S., Kurosawa T. and Tanimura Y. "Mechanical performances of a symmetrical, monolithic three-dimensional fine-motion stage for nanometrology", Meas. Sci. Technol., vol. 10, pp. 986-993, 1999.
- [8] 朱怡銘,「奈米級 XYZ 三自由度微定位平台之設計製造與分析」, 國立台灣大學機械工程研究所, 碩士論文, 民國八十九年。
- [9] 蔡奇陵,「六自由度超精密奈米定位平台研製」, 國立台灣大學電機工程研究所, 碩士論文, 民國九十年。
- [10] 黃宜正, 謝士渠, 劉保國,「精密微米致動器的設計及實際應用」, 第三屆全國機構與機器設計學術研討會論文集, pp.17~24, 2000.
- [11] 簡揚昌,「壓電長行程定位平台驅動控制器之研製」, 國立台灣大學機械工程研究所, 碩士論文, 民國九十二年。
- [12] 吳冬立,「並聯式六自由度奈米定位平台研究」, 國立台灣大學電機工程研究所, 碩士論文, 民國九十二年。
- [13] Yamamoto, Y., Konishi R., Negishi Y., Kawakami T., "Prototyping Ubiquitous Micro-Manipulation System" Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.709-713,2003.7.
- [14] Trease, B. P., Moon, Y. M. and Kota, S. Design of large-Displacement Compliant Joints, Trans. of the ASME, Vol. 127, pp.788-798, 2005.
- [15] 林高輝, 胡雅慧, 謝清吉, 黃加閔,「微型史都華平台機構設計與數值模擬」, 中國機械工程學會第二十二屆全國學術研討會, C6 174~152 頁, 2005, 中壢。
- [16] 林高輝, 胡雅慧, 黃加閔, 傅建榮,「微型五軸壓電平台之機構設計與模擬」, 清雲學報, 第二六卷第一期, 25~33 頁, 2006。
- [17] 陳耀庭,「負波桑比機構之設計與分析」, 國立中央大學機械工程研究所, 碩士論文, 民國九十一年。
- [18] Chio, J. B. and Lakes,R. S. "Non-linear properties of polymer cellular materials with a negative Poisson's ratio", Journal of Materials Science, Vol. 27, pp. 4678-4684, 1992.
- [19] Lempriere, B. M., "Poisson's ratio in orthotropic materials", AIAA Journal, Vol.6, No.11, pp. 2226- 2227, 1968.
- [20] Lakes, R., Foam "Structure with a Negative Poisson's Ratio", Science, Vol. 235, No. 27, pp. 1038- 1040, 1987.
- [21] Sigmund, O., "Tailoring materials with prescribed elasticproperties", Mechanics of Materials Vol. 20, pp. 351- 368, 1995
- [22] Larsen, U. D., Sigmund, O. and Bouwstra, S., "Design and Fabrication of Compliant Micromechanisms and Structures with Negative Poisson's Ratio", Journal of MEMS, Vol.6, No.2, pp. 99-106, 1997.
- [23] 林高輝, 胡雅慧, 黃加閔, 蕭棋煌,「多層內凹型負波桑比連桿放大機構設計」, 第八屆全國機構與機器設計學術研討會論文集, 第 74~80 頁, 2005, 台北。
- [24] Lobontiu, N., Paine, J.S.N., "Goldfarb, M., and Garcia, E. Corner-Filletted Flexure Hinges", ASME Journal of Mechanical Design, vol. 123, no. 3, pp. 346-352, 2001.
- [25] Paros, J. M. and Weisbord, L., "How to design flexure hinge", Machine Design, Vol. 37, pp. 151-157, 1965
- [26] Xu, Wei; King, Tim "Flexure hinge for piezoactuator displacement amplifiers: flexibility, accuracy, and stress considerations", Precision Engineering, vol: 19, issue: 1, pp.4-10, July, 1996.

## 鋼筋尺寸及孔洞空間位置之放射線定位法

### Identifying Reinforced Steel Size and Honeycomb Location Using 3-D Radiographic Positioning Method

陳明正 詹益臨 韋家振 邱顯文

清雲科技大學土木工程系

[arnold@cyu.edu.tw](mailto:arnold@cyu.edu.tw)

#### 摘要

非破壞檢測(nondestructive testing, NDT)的技巧已廣泛應用於土木工程的品質檢測、驗收。然而目前為止，要快速且準確的檢測出混凝土內部鋼筋尺寸及位置，仍有一些困難。為此本文提出應用一般放射線對物質具有穿透能力的特性，利用影像處理軟體讀取及處理顯示元件之影像，以消除影響影像品質的因素，並配合著影像的放大或縮小倍率及投影幾何原理直接在照片影像上推算混凝土內鋼筋尺寸或孔洞位置，因此本法可使平面影像具有斷層攝影效果。

關鍵字詞：放射線，縮放倍率，投影幾何，鋼筋尺寸，瑕疵位置

## Abstract

Non-destructive testing (NDT) is widely used for quality inspection in civil engineering. However, it is still difficult to accurately identify voids or steel location in highly non-homogeneous concrete. In this paper, a radiographic positioning method is proposed to eliminate factors against image quality. An image positioning software is used to exhibit and modify the target image such that image distortions can be prevented, and the percentage of zooming-in or zooming -out can be calculated by the software. The principle of geometrical projection is directly applied to identify reinforced steel size or honeycomb position from the images. The proposed method can make plane image achieve topographical effect.

Key words: radiation rays, percentage of expansion or minimisation, geometry projection principal, steel size, imperfections positions..

## 一、前言

目前工程界已廣泛利用各種非破壞檢測 (nondestructive testing, NDT) 儀器和技術來執行結構物之缺陷檢測或品質鑑定工作。由於每一種 NDT 的應用方式及原理不盡相同, 因此各有其特點及應用範圍; 例如: Florida Department of Transportation Central Structures Office[1] 應用渦電流原理 (Magnetic Flux Testing, MFT) 探測混凝土內部鋼筋, 雖有一定成效, 但由於電磁效應易受混凝土阻隔及相鄰鋼筋之相互干擾, 因而僅能適用於淺層及稀疏的鋼筋探測。蘇志晃[2] 以超音波檢測 (Ultrasonic Testing) 及有限差分法 (finite-difference) 在實驗室中求得混凝土模型內的鋼筋、裂縫、空洞瑕疵並使立體成像, 然而超音波檢測法在現地混凝土結構上常面臨能量不足的困境。ASTM[3]、Washer[4] 及 Chen[5] 則以應力波 (Stress Wave) 為檢測工具並應用波的走時 (travel time) 及頻譜 (Frequency Spectrum) 來研判裂縫深度或混凝土內部瑕疵位置, 然而受到混凝土表面風化影響, 其表面波速的建立是否正確至今尚有一些爭議。林鎮華[6]、裴廣智[7] 則是利用透地雷達 (Ground Penetrating Radar, GPR) 檢測技術, 探討混凝土內鋼筋及空洞的狀況, 雖也有一定成果但其精度尚不能達到一般工程所需。Roger[8] 則利用 (High Energy Linear Accelerator) 產生高能量之 X-Ray (1.5-6 MeV) 應用於混凝土結構物之鋼筋成像上, 唯平面圖像無法顯示內含物的深度及重疊問題, 雖然 Weng,[12] 提出可利用試體顏色來比對孔洞厚度, 解決部份問題, 但實務上很難同時獲得多個試體進行比對, 尤其是大部分情況會因鋼筋或孔洞位置不在射源與底片的垂線上, 因而使圖像偏移尺寸失真, 也因此放射線成像的應用尚受到了一些限制, Heiskanen [9] 及 Stein[10] 則進一步應用斷層掃描 (Tomography and Stereoradiography) 技術, 使 X-Ray 影像能夠立體成像, 證明放射性可應用於混凝土之內部檢測, 但斷層掃描的儀器過於龐大笨重而且昂貴, 目前為止並不適用於現地的檢測工作。再加上輻射安全的考量, 有些文

獻, 如 Highway Agency, SETRA, TRL, LCPC[11] 等, 甚至建議宜保守選用。

本文目的即是運用電腦處理功能來增強放射線影像的品質, 再以投影幾何及圖像縮放的技巧, 使放射線攝影的平面圖像具有空間座標的解讀效果 (相當於斷層掃描), 用來解決上述缺點。

## 二、放射線檢測基本原理

以放射線檢測鋼筋混凝土, 主要是應用為 X 或  $\gamma$  射線, 對物質有穿透能力的特性。根據 Weng[12] 及 Harold E[13] 的資料顯示, 兩者皆為波長  $10^{12}-10^6$  m 的電磁波, 其照像所能的穿透的厚度與放射線的能譜分佈影響不大, 而是與 X 射線的峰值能量 (peak energy) 或  $\gamma$  射線的平均能量為最重要的影響因素, 因此照像射源可選用連續能譜的制動輻射 (bremsstrahlung radiation) (X 射線) 或源自核轉換之特性輻射 (characteristic radiation) ( $\gamma$  射線)。因此若只考慮以透射為目的的物理性質,  $\gamma$  及 X 射線兩者可視為相同, 統稱為放射線 (radiation)。

### (一). 放射線成像原理

由於放射線檢測可直接由圖像呈現結果, 相當程度降低了一些肉眼無法看見的爭議。此法主要是基於放射線穿透的能力會因物質不同而有差異, 而穿透 (或吸收) 量之大小則隨檢測物體之密度、厚度、原子序等因素而有所不同, 有關放射性對物質的穿透能力可由 Weng,[12] 所述的式(1)表示之。

$$I = I_0 e^{(-\mu D)} [B(x, h\nu, A, L)] \quad (1)$$

式中:  $I_0$  為放射線穿透檢測物體前之能量 (MeV),  $I$  為放射線穿透檢測物體後之剩餘能量 (MeV),  $D$  為放射線穿透厚度 (cm),  $\mu$  為被穿透物對放射線的吸收 (absorption) 系數 ( $\text{cm}^{-1}$ ), 雖然不同物質的吸收系數不同, 但對特定材質則是固定; 一般情況高密度物質可吸收較多的放射線 (如鋼



筋等)，因而到達底片的能量(到達底片的 $I$ )較少，故底片呈現白色，而到達底片的能量較多者(理論上孔洞並不會吸收放射線)則呈現黑色。例如，文獻Weng,[12]、Roger Debaun Owen,[14] and D. Loyd Dixon,[15]指出，放射線的能量由0.5至-10MeV時，常態混凝土的吸收系數 $\mu \approx 0.204-0.054(\text{cm}^{-1})$ ，鋼筋為 $\mu \approx 0.651-0.321(\text{cm}^{-1})$ 。兩者的吸收系數比約為 3.2-4.3倍，因此有足夠能力比對底片的黑白差距，此特性反應在底片上就是感光程度的差別，醫學上即是根據此情況來解讀人體的器官。文獻Weng,[12]指出：被照體對放射線的透光性分為五類：1.very radiopaque：如鉛、鐵等 2. moderately radiopaque：如骨骼、混凝土 3.intermediate：如肌肉、軟組織 4. moderately radiolucent：如脂肪組織 5. very radiolucent：如空氣、混凝土的孔洞等，因此只要將拍攝出的底片放在底片燈上即可根據影像的透光性再加上工程專業知識及現場狀況做正確的診斷判讀。B為增建因子(build up factor)，是一個非常複雜的因數，主要是考慮真實狀況下被穿透物的散射(scatter)所增加的輻射效應，括弧內表示增建因子是依穿透厚度(x)、能量(hv)、面積(A)、底片距離(L)等因素而定，根據文獻Weng, P. S.,[12]所述，其數值可由1-100，因此有時並不容易經由計算來決定照射強度。

## (二).影響成像品質的因素

放射線檢測的過程中，有許多因素會影響成像品質，這些因素包括有：

- 1.鮮銳(sharpness)：影像外緣模糊者謂不鮮銳(unsharpness)，這可能是被照射物移動或焦點(focal spot)太大所造成，相關規定可參考ASME Code[16]。
- 2.解像(resolution)：兩個相近的影像仍然能夠辨識者謂可被「解像」，取決於放射線的減衰程度而定(到達底片的 $I$ 太少)。
- 3.對比(contrast)：相鄰兩點的光子通量(photon fluency)比謂「對比」，基本上，對比會隨著放

射線能量增加或底片顯像時間的減少而降低。

- 4.密度(density)：又謂底片黑度(blackness)，乃指因射線強度不同，因而影像之明暗不同。密度過小，底片對比不佳，密度過大(即底片太黑)則無法清楚顯像。有關底片密度的規定可參考ASME Code[16]。
- 5.底片品質：細粒底片可得高品質影像，高感光度的底片可有較短的曝光時間。
- 6.照射距離與照射時間：底片曝光量與照射強度的平方正比，所需照射時間與照射距離平方正比，照射強度則與曝光時間成反比。

由於X射線是連續能譜，波長範圍分佈廣，因此可任意調整照射強度或照射時間或照射距離三個參數來達到欲測的深度，然而 $\gamma$ 射線是由 $^{192}\text{Ir}$ 或 $^{60}\text{Co}$ 的同位素產生，其能譜並不連續，因此只能控制照射時間或照射距離來達到欲測深度。有關照射曝光曲線(照射時間與照射強度關係)可參看文獻[17]。

本文主要目的是以投影幾何討論檢測物的空間位置，不同於文獻[17](必須考慮成像的輻射強度)，並未觸及成像品質因素的討論，但由於電腦科技已具有sharpness、resolution、contrast等調整影像功能，因此本法也相當程度的解決底片品質問題，並降低照射次數，提昇放射線使用的安全性。

## 三、影像定位原理

放射線成像最大的問題是平面圖像不能解讀深度問題，例如：照片上雖能知道鋼筋或孔洞，但無法判讀保護層厚度、握持長、鋼筋號數或混凝土孔洞的深度及範圍等，為解決這些問題，本文由圖像縮放及投影幾何兩方面探討：

### (一). 圖像縮放分析

放射線的圖像(底片)直接掃瞄到電腦的好處是可調整亮度及黑白對比使模糊的圖像較為清晰，不但可以解決以底片燈觀看不清晰的問題，更重要是也可減低照射的能量，但缺點是螢幕(或

經由列印)圖像經過縮放後,其鋼筋位置及尺寸將會失真,因此必須考慮圖像的縮放問題,說明如下:

### 1.長度修正

若被照射體上有任三點(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>),其中兩點(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>)的連線為水平其原長為 a,另兩點(A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>)的連線為垂直其原長為 b,則(A<sub>1</sub>,A<sub>3</sub>)兩點的原長 l,可由式(2)示之

$$l = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

若照射後的圖像,其(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>)的水平長變為 a',則水平縮小率可由式(3)示之

$$p = \left(1 - \frac{a'}{a}\right) \times 100 \quad (3)$$

式中:p%表示為水平方向的縮小率

同理,若圖像上(A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>)兩點之垂直長度變為 b',則縮小率可由式(4)示之

$$q = \left(1 - \frac{b'}{b}\right) \times 100 \quad (4)$$

式中:q%表示為垂直方向的縮小率

同理,若圖像上(A<sub>1</sub>,A<sub>3</sub>)兩點的長度變為 l',則(A<sub>1</sub>,A<sub>3</sub>)連線方向的縮小率可由式(5)示之

$$l' = l \left(1 - \frac{p'}{100}\right) \quad (5)$$

式中:p'%表示為(A<sub>1</sub>,A<sub>3</sub>)方向的縮小率

若分別將式(3)及式(4)平方相加再代入式(5)可得式(6)

$$l' = l \left[1 - \frac{1}{100} \left(\frac{a^2 p + b^2 q}{a^2 + b^2}\right)\right] \quad (6)$$

比對式(6)及式(5),知(A<sub>1</sub>,A<sub>3</sub>)方向的縮小率 p' % 可由式(7)示之

$$p' = \frac{a^2 p + b^2 q}{a^2 + b^2} \quad (7)$$

若式(6-7)中之 a 及 b 分別代表任意斜方向的水平及垂直邊長,則式(6-7)可用來修正圖像上任意方向的原投影尺寸。

### 2.面積修正

式(7)更深層的意義是:任意方向之縮小應為 p、q 方向的含權平均數(mean value of weight),而 p、q 的權各為水平原長的平方及垂直原長的平方(a<sup>2</sup>及 b<sup>2</sup>),若設任意方向(l)之傾斜角為 θ 時(tan θ = b/a),該方向量的縮小率(p' %)即可由式(8) 示之:

$$p' = p \cos^2 \theta + q \sin^2 \theta \quad (8)$$

同理,與 l 方向垂直的另向,其收縮率(q' %)亦可由式(9)示之

$$q' = p \sin^2 \theta + q \cos^2 \theta \quad (9)$$

P' 及 q' 分別表示相互垂直的任兩方向的圖像縮小率,因此若圖像上有任意孔洞,其相互垂直的邊長為(mxn),則按式(10) 即可用來修正圖像真實的投影面積(A)表真實的投影面積(A)。

$$A = m n \left(1 + \frac{p' + q'}{100}\right) = m n \left(1 + \frac{p + q}{100}\right) \quad (10)$$

### (二).投影幾何公式推導

圖像上的尺寸修正後即可視為無縮小的投影尺寸,因此可應用投影幾何計算被檢測物的真實尺寸及位置,處理步驟如下:

- 1.在欲照射物(混凝土)的背面設置收縮修正之控制點A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>,令(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>)連線及(A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>)連線相互垂直其距離分別為a及b,之後再貼上底片。
- 2.距離照射物頂面T處(A<sub>1</sub>正上方)放置射源(source 1, S<sub>1</sub>)照射後再平移至A<sub>2</sub>正上方(source 2, S<sub>2</sub>),其成像示意圖如圖1、2所示,照射後在圖上量得(A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>)及(A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>)的距離設為a' 及b',此時即可由式(3,4)求得各方向縮小率(p、q),或由式(7,10)求得任意方向及面積之縮小率。
- 3.在影像上量得鋼筋直徑d<sub>1</sub>及d<sub>2</sub>, (S<sub>1</sub>)與鋼筋左側邊緣的平距為y<sub>1</sub>, (S<sub>2</sub>)距鋼筋影像右側的平距y<sub>2</sub>,及鋼筋水平投影長l。
- 4.由圖2,可得鋼筋埋置深度及水平位置的關係為式(11,12)

$$X_1 = D \frac{T + t}{d} - T \quad (11)$$

$$Y_1 = \left( y_1 + \frac{d}{2} \right) \left( \frac{T + X_1}{T + t} \right) \quad (12)$$

式中： $X_1$ 為鋼筋埋置深度， $D$ 為鋼筋真實直徑， $t$ 為試體厚度， $d$ 為鋼筋投影直徑， $Y_1$ 為( $S_1$ )與鋼筋之真實之平距。

同理由圖1及圖2，亦可得鋼筋水平位置及長度( $Y_2$ 及 $L$ )的關係示於式(13-14)

$$Y_2 = \left( y_2 + \frac{d}{2} \right) \left( \frac{T + X_1}{T + t} \right) \quad (13)$$

$$L = l \left( \frac{T + X_1}{T + t} \right) \quad (14)$$

式中： $Y_2$ 為( $S_2$ )與鋼筋之真實之平距， $L$ 為鋼筋真實長度。

若鋼筋直徑 $D$ 已知，即可由式(12-15)求得鋼筋的空間位置( $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Y_2$ )及鋼筋水平長度( $L$ )。雖然傾斜的影像 $d$ 較實際為大( $\geq D_{max}$ )，但由於照射距離大於鋼筋直徑甚多，因此分析上式並未考慮傾斜影響，而取 $d_1$ 或 $d_2$ 的大值當成 $D_{max}$ 。再應用式(15)求得最小直徑 $D_{min}$ 。

$$D_{min} = D_{max} \left( \frac{T}{T + t} \right) \quad (15)$$

5.令 $D_{max} \geq D_n \geq D_{min}$  (式中之 $n=1.2, \dots, k$ )，配合工程師慣用的尺寸(表1)，選擇適合的 $D_n$ 代入式(12)中的 $D$ 可求得  $X_n$ ，再由式(13-15)求得  $Y_{1n}$ 、 $Y_{2n}$ 、 $L_n$ 。

6.若  $Y_{1n} + Y_{2n} = E_n$ ，理論上 $E_n$ 應等於射源平移距離 $Y$ ，因此令式(16-17)用來確保精度，當 $R_n \approx 0$ 時， $D_n$ 即為鋼筋實際直徑，此時之 $X_{1n}$ 、 $Y_{1n}$ 、 $Y_{2n}$ 即為鋼筋空間位置。註：相同步驟亦可用來評估孔洞大小及位置。

$$E_n = Y_{1n} + Y_{2n} \quad (16)$$

$$R_n = |Y - E_n| \quad (17)$$

#### 四、實驗室驗證

兩個混凝土試體模型 25cm×25cm×15cm，其一澆置混凝土，另一作為位置比對之用，內含 4

根鋼筋，自右至左編號為 A、B、C、D，其中 A、D(長 15cm)，B、C(各為 90°彎勾兩端長 15cm)，A、B 直徑為 2.22cm，水平搭接 10cm；C、D 直徑為 1.27cm，上下搭接 10cm。試體底部對應  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  位置各釘 1 根鋼釘，距離各為 10cm，混凝土初凝前(淺處)埋入乒乓球代表孔洞，相關位置，如(圖 3a)，本試驗使用 TOSHIBA, unit model DRX-1603B, Focal spot: 2.0/1.0 mm 之 X 光機，主要設備為 X 光管、控制台、電腦及底片傳輸裝置等，如(圖 3b)。

一般結構物的混凝土保護層厚度不會超過 10cm，只要射源由混凝土內部(必要時鑽洞置入射源)向外照射，其可穿透厚度並不需太大，因此實驗試體厚度定為 15cm(> 10.16cm)，其對應 ASME Sec. V [16]之鮮銳(sharpness)規定，最短照射距離  $T$  應 > 8.3cm，(本實驗採用  $T=45$ cm)。選擇照射強度 100KeV、時間 0.8s，此條件雖低於一般工業用之經驗值，因此在  $A_1$  上方拍攝的照片(圖 4 左)，及在  $A_2$  上方拍攝的照片(圖 4 右)影像並不清晰，但在電腦調整後(圖 5 左及圖 5 右)，其清晰情況大幅改善，這也說明本法可間接降低射源強度而增加使用安全性。在圖 5 上使用 Cool Ruler 軟體的尺規，使  $A_1A_2$  的距離  $a' = 5$ cm 及  $A_2A_3$  距離  $b' = 5$ cm，然後根據式(3-4)計算縮放率( $p$ 、 $q$ )，結果示於表 2。若令與  $A_1A_2$  連線正交的鋼筋分別為  $Aa$ 、 $Ba$ 、 $Ca$ 、 $Da$ ，則在圖 5 上所量得的尺寸，皆可根據表 2 及式(3)修正為真實的投影尺寸，取其  $d_{11}$  及  $d_2$  的大值當成  $D_{max}$ ，並根據式(15)求得  $D_{min}$ ，再配合表 1，即可判斷鋼筋可能的號數，同理所量得的孔洞尺寸亦可按式(6)及式(15)求得  $D_{min}$ ，結果示於表 3。

由於鋼筋直徑約略已知，因此  $Aa$ 、 $Ba$ 、 $Ca$ 、 $Da$  斷面處的空間位置皆可由式(11-14)配合表 3 計算其空間位置，並根據式(16-17)檢核。其結果與真實狀況大致吻合，除列於表 4 外並說明如下：

1.編號 A 鋼筋：射源在  $S_1$  及  $S_2$  時影像皆在右側，因此  $Y_1$  為負，比較  $R_n$ (式 17)，判斷直徑  $D=$

2.22cm，未埋入混凝土的鋼筋已知  $X_1 = 10\text{cm}$ ，因此判斷計算正確。

2.編號 B 鋼筋：圖像上為彎勾，當射源在  $S_1$  時，Ba 斷面與  $A_1$  鋼釘重疊，射源在  $S_2$  時 Ba 斷面右移，代表鋼筋在鋼釘正方，由於水平方向的彎勾其左端的影像(Bb 斷面)較粗且模糊，這表示此部位是向上傾斜，由  $D = 2.22\text{cm}$  代入式(11, 13)求得最左端之  $X_1, Y_2$ 。並由式(14)求水平長後按斜率修正實長。

3.編號 C 鋼筋：射源在  $S_1$  及  $S_2$  時 Ca 斷面的影像皆在左側，因此  $Y_2$  為負，由於水平方向的彎勾其右端影像(Cb 斷面)較細且清晰，因此判斷是向下傾斜，由  $D = 1.27\text{cm}$  代入式(11, 13)直接求得最左端點之  $X_1, Y_2$ 。並由式(14)求水平長後按斜率修正實長。

4.編號 D 鋼筋：射源在  $S_2$  時與編號 C 鋼筋重疊(不知有此鋼筋)，但射源在  $S_1$  時編號 C 鋼筋變粗，表示 C 鋼筋上緣有一根尺寸相同之重疊鋼筋。

5.孔洞：離  $S_1$  及  $S_2$  皆為斜向，因此所量尺寸按式(7)修正，面積則按式(10)修正。

#### 五、結論

本法所強調的主要特色為：1.在執行放射線檢測前，先在待測物上釘上對輻射有高吸收率的物質(如高密度鋼釘)當成平面座標的控制點，並將放射線所射得的影像以電腦處理，用來提高底片的可判讀性，因此可減少照射不佳的失敗比率。2.應用本文所推導的縮放公式解決圖像縮放修正的問題，則任意經由放大、縮小、剪裁或扭曲的圖像皆能還原成真實的投影尺寸。3.本文依據投影幾何原理，直接在照片上推算被照射體(鋼筋尺寸或孔洞)的大小及空間位置。即可使平面圖像具斷層攝影效果。

實驗室證實，本法可行，雖然孔洞位置有些許誤差，但整體言，應該已經符合一般工程鑑定的需求，尤其能使平面圖像具有空間座標的解讀效果，也因此降低檢測時的照射次數及降低射源

強度，而使輻射應用更具安全性，大幅提升輻射在工程上的實用價值。本實驗在實驗室以 X-ray 驗證，但若採用  $\gamma$ -ray 其結果亦應該相同。

註：放射性儀器使用不當會對人體造成危害為本法缺點，因此操作人員必須嚴格遵守原子能相關法規，儀器報廢時其輻射源亦必須委託核能研究所(Institute of Nuclear Energy Research)處理及處置。(Atomic Energy Council 網站：<http://www.aec.gov.tw>)

#### 六、參考文獻

- [1]Florida Department of Transportation Central Structures Office. "Test and assessment of NDT methods for post-tensioning systems in segmental balanced cantilever concrete bridges", State of Florida Department of Transportation. (Feb. 2003).
- [2]蘇志晃，「超音波檢測應用於鋼筋混凝土結構內部成像之研究」，碩士論文，國立中正大學地震研究所，嘉義(2002)。
- [3]ASTM C 1383, "Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method." *Annual Book of ASTM Standards*, Farmington Hills, (1998).ML.Vol. 04.02.
- [4]Washer, G. A., "Developing NDE technologies for infrastructure assessment," Federal Highway Administration, USA, (2001). v63 n4, 44-50.
- [5]Chen, M. C., Huang, C. K. and Wang, C. Y. "A Crack Condition Evaluation Approach for the Deteriorated Girder of RC Bridge." *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, [accepted].
- [6]林振華，「透地雷達數位影像編碼運算處理與圖像辨識之研究」，碩士論文，中華大學土木工程系，新竹(2004)。
- [7]裴廣智、徐鴻發、林東威，「透地雷達檢測斷層影像處理技術之工程應用及實例」，The 12th TWNDT conference (2004)，第 603-610 頁

- (2004).
- [8]Heiskanen K. A., Rhim H. C. and Monteiro P. J. M., "Computer Simulations of Limited Angle Tomography of Reinforced Concrete," Cement and Concrete Research, (1991) Vol. 21, Iss. 4.
- [9]M. Stein, V. A. Kasyanov, V. L. Chakhlov, J. Marjoribanks, and S. Hubbard, "Small-Size Betatrons for Radiographic Inspection," The 16th WCNDT 2004 - World Conference on NDT, (2004).
- [10]Cardarelli, E., and Nardis, D. E., "Seismic Refraction, Isotropic Anisotropic Seismic Tomography on an Ancient Monument ( Antonino and Faustina Temple AD 141)," Geophysical Prospecting, (2001) Vol. 49, pp. 228-240.
- [11]Highway Agency, SETRA, TRL, LCPC, "Post-Tensioned Concrete Bridges," Thomas Telford Publishing, London.(1999).
- [12]Weng, P. S., Introduction to Health Physics, Li-Ming publishing house.(1984) (Taiwan)
- [13]Harold E, John R Cunningham, "The Physics of Radiology" , by Charles C. Thomas, Publisher Ltd; 4th edition ISBN 0-398-04669-7(1984)
- [14]Roger Debaun Owen, "Portable liner accelerators for X-ray and electron-beam applications in civil engineering," NDT&E International, (1998) Vol. 31, No. 6.
- [15].D. Loyd Dixon ; Leslie M. Dugdale., An introduction to Clinical Imaging. (1988)
- [16]ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "ASME Sec. V Nondestructive Examination," American Society of Mechanical Engineers (1998).
- [17]彭朋畿、王仲宇、陳明正、黃進國，「鋼筋混凝土結構物內部鋼筋及缺陷尺寸之放射線檢測」，中國土木水利工程學刊(2007) (接受)

圖表：

表1:鋼筋號數與直徑對照表

號數	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 14
D(mm)	9.53	12.7	15.9	19.1	22.2	25.4	28.6	31.8	34.9	44.5

表 2：實體與電腦圖像的縮放率計算

	試體上尺寸	S2 圖像上尺寸	縮小率，式(3)或式(4)
A1A2	a=10.0cm	a' =5.00cm	式(3)， $p\% = 1-(5.00/100) = 50.0\%$
A2A3	b=10.0cm	b' =5.00cm	式(4)， $q\% = 1-(5.00/100) = 50.0\%$

表 3：修正後的 Dmax 及 Dmin 及可能的鋼筋號數

NO.	d <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)	Dmin(cm)	判斷可能號數
Aa	2.43	2.51	1.82	* 7(2.22cm)或* 6(1.94cm)
Ba	2.42	2.50	1.82	* 7(2.22cm)或* 6(1.94cm)
Ca	1.60	1.53	1.15	* 4(1.27cm) * 5(1.59 cm)
Da	1.58	--	1.19	* 4(1.27cm)
hole	5.40	5.50	4.10	孔洞尺寸 5.50cm~4.10cm

表 4：鋼筋及孔洞直徑、深度、位置長度的計算結果

斷面位置		D,cm	X <sub>1</sub> ,cm	Y <sub>1</sub> ,cm	Y <sub>2</sub> ,cm	混凝土內埋設 Length(式 15)
Try	Aa	2.22	9.96	-2.40	12.35	L=9.7cm，平置
True		2.22	10.00	-2.50	12.50	10cm，縱向平置
Try	Ba	2.22	9.60	0.00	10.00	L=15.7cm，平置
True		2.22	10.00	0.00	10.00	90°彎勾，縱向長 15 cm，平置
Try	Bb	2.22	4.30	13.70	9.20	L=15.6cm，向上傾斜
True		2.22	5.00	14.10	10.00	90°彎勾，橫向長 15cm 向上傾斜
Try	Ca	1.27	4.80	13.00	-2.88	L=14.0cm，平置
True		1.27	5.00	12.50	-2.50	90°彎勾，縱向長 15cm，平置
Try	Cb	1.27	14.70	4.80	11.8	L=15.6cm，向下傾斜
True		1.27	15.00	4.00	11.2	90°彎勾，橫向長 15cm 向下傾斜
Try	Da	1.27	6.27	13.00	-2.88	L=10.0cm，平置
True		1.27	5.00	12.50	-2.50	8.0cm，縱向平置
Try	洞	4.20	2.50	5.80	8.85	A=11.50cm <sup>2</sup>
True		4.00	2.00	5.60	9.01	4.0cm 桌球，投影 A=12.56cm <sup>2</sup>

註：X<sub>1</sub>表埋設深度， Y<sub>1</sub>表分析斷面距S<sub>1</sub>距離， Y<sub>2</sub>表分析斷面距S<sub>2</sub>距離(Try與True比較即為誤差)

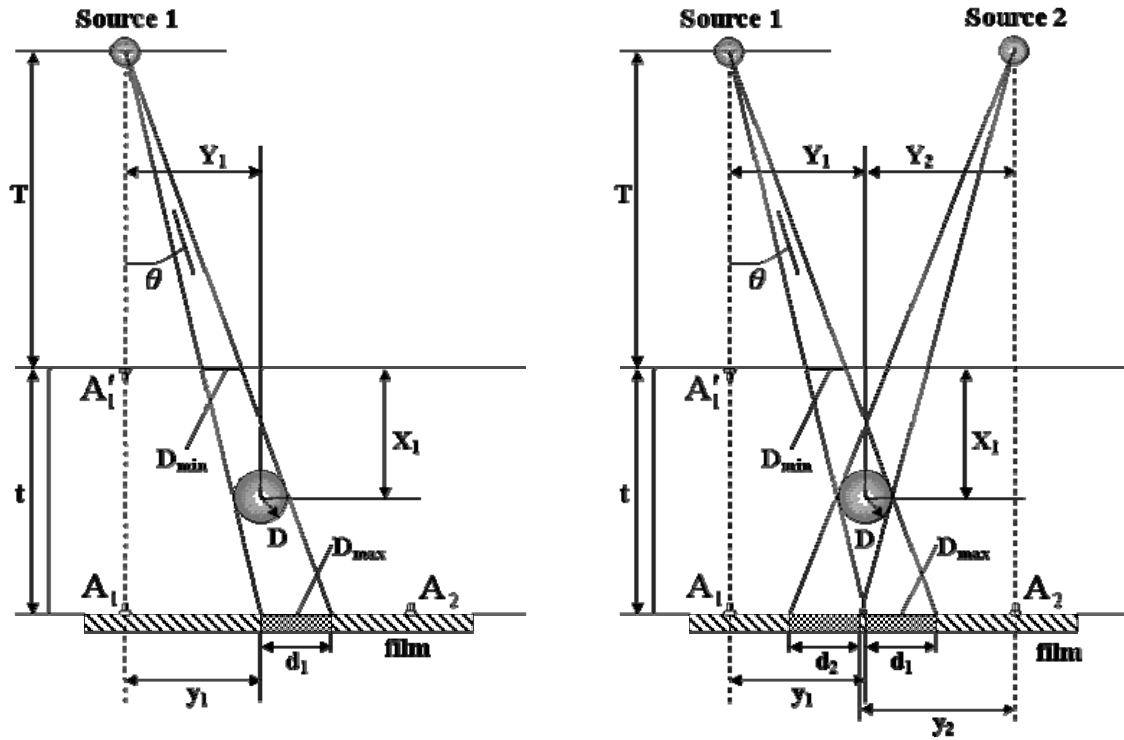


圖1：(左) $A_1$ 正上方放置 $S_1$ 之幾何成像示意圖(鋼筋橫截面)

圖2：(右)平移 $S_1$ 至 $A_2$ 正上方為 $S_2$ ，合併兩次照射之成像示意圖

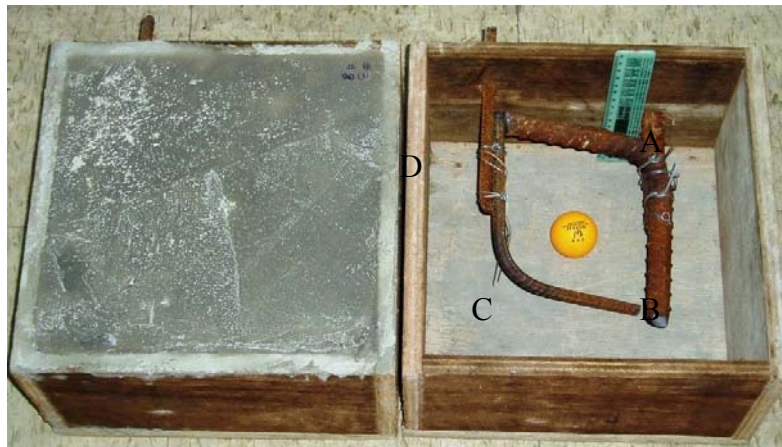


圖 3a：混凝土試體及鋼筋 (A, B, C, D)、乒乓球位置，左已澆置成型，右未澆置混凝土，背面對應  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  位置釘有鋼釘



圖 3b：本試驗所使用 TOSHIBA, unit model DRX-1603B, Focal spot: 2.0/1.0 mm 之 X 光機，主要設備為 X 光管、控制台、電腦及底片傳輸裝置等

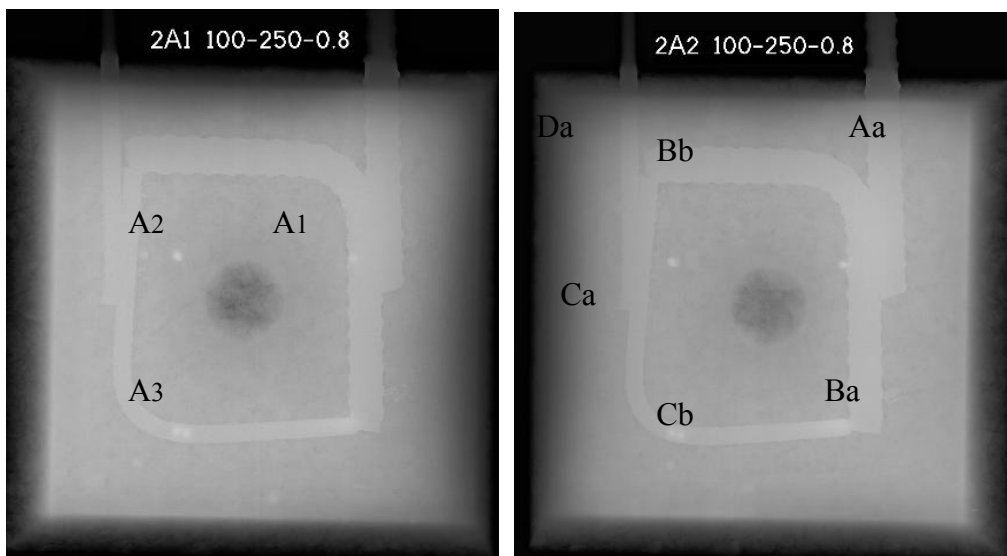


圖 4：左為  $S_1$  (在  $A_1$  上方 60cm) 以強度 100KeV、照射時間 0.8s 拍攝之影像，右為平移到  $S_2$  拍攝之影像，(大寫字母為各鋼筋代號，下標為該處位置)

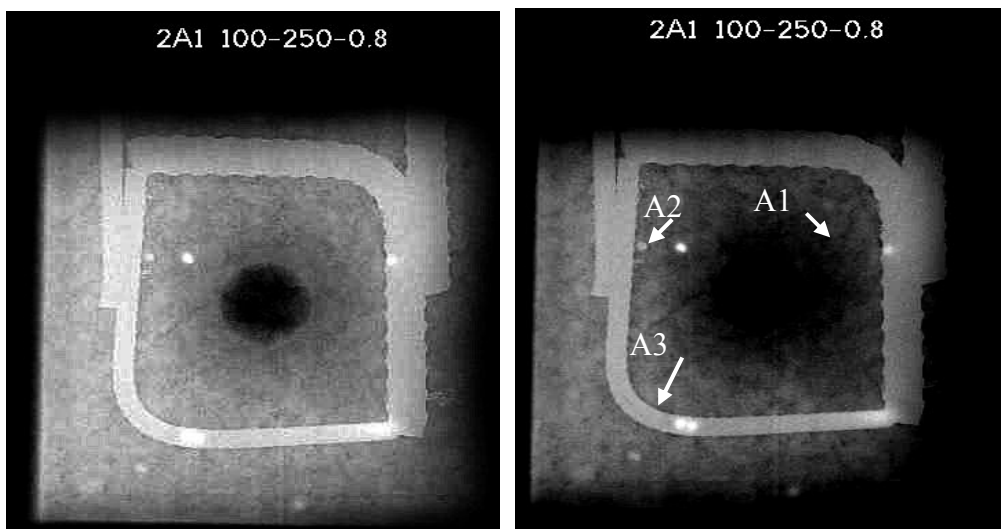


圖 5：將圖 4 左的影像適當調整對比後鋼筋尺寸及混凝土瑕疵(乒乓球) 影像更清晰(左)，或者再調整中間色調使其鋼釘控制點位置(白點)更清晰(右)





## 結合衰減全反射與內部全反射原理之微小位移測量儀

### Instrument for measuring small displacement based on the total internal reflection and attenuated total reflection theories

王信福 邱智賢

清雲科技大學 電子工程系

[sfwang@cyu.edu.tw](mailto:sfwang@cyu.edu.tw)

#### 摘要

在本文中，是利用衰減全反射與內部全反射的原理，來測量微小位移的變化量。吾人將雷射光導入僅有一直角邊鍍有金屬膜之直角稜鏡，我們先求出最佳反應區段，再利用位移轉換角度方式，將所量測之位移變化量轉換成角度變化，吾人經由輸出端偵測光強度之變化量，進而推算出所對應之微小位移的變化量。此新型微小位移測量儀具有不少優點，例如：可即時量測、解析度高、靈敏度高、操作容易以及不受環境干擾等等優點，其量測範圍在 $\pm 5\mu m$ ，解析度可達 1nm。

**中文關鍵字：**微小位移測量、內部全反射、衰減全反射。

## **Abstract**

In this paper, a new instrument for measuring small displacement based on the total internal reflection and attenuated total reflection theories is presented.

As a light source from He-Ne laser focuses on a mirror that is driven by a PZT, the reflected light is incident on a beam-splitter and then its reflected light is refracted into the hypotenuse of a right-angle prism. At first, the light is incident on a side of the right-angle prism (the surface of the side is uncoated metal). And then, the reflected light is incident on the other side that is coated metal. Finally, the light is detected by a 2D photo-detector when it passes through the hypotenuse of the right-angle prism. We measure the light intensities both of two sides on the 2D photo-detector. The displacement variation can be obtained by using some mathematics methods and a computer. The method has some merits, e.g., a simple optical setup, high resolution, rapid measurement, and low cost, etc. Its resolution can reach 1nm in the measurement range of  $\pm 5\mu m$ .

**Keywords:** Small displacement measurement, Total Internal Reflection (TIR), Attenuated Total Reflection (ATR).

## 一、前言

### 1.1 文獻回顧：

眾所周知奈米科技發展日新月異，人們所研究出來的奈米產品種類繁多，因此量測奈米材料特性變成首要工作，要量測奈米的儀器，目前有的文獻有相當的多，例如 1982 年英國的 D.K.HAMILTON 與 T.WILSON【1】發表了利用共焦顯微術的表面三維測量技術來量測表面高度變化；該技術是以共焦顯微鏡術的焦平面位置作基準，在量測探測物表面時，移動樣本的高度使共焦訊號保持在極大值，由探測物表面的移動量就可得知其表面高度的變化。

在國內方面，過去有人改良傳統的共焦顯微技術，使用「差動共焦顯微術」【2】的新型遠場光學顯微術，利用共焦顯微術陡峭的縱向反應來獲得高達 2 奈米的縱向解析率，不過其量測範圍很小；但該系統具有快速即時的顯像能力，對於量測生物薄膜和活生物組織的運動具有特別的優勢，其可應用於測量活細胞對力學擾動的彈性與生化反應。再者，也有學者提出利用臨界角法作共焦顯微鏡之研究【3】，以高解析度及長深度量測的光學量測系統，來增進原有共焦顯微鏡性能。

### 1.2 研究動機與目的：

因此，本文提出一種新型的微小位移測量儀，其乃利用結合衰減全反射與內部全反射的原理的方法來測量微小位移的變化量，此微小位移測量儀不僅可大幅降低生產成本，並可提昇量測的靈敏度及解析度，我們可將其應用於精密工業量測，並提供給我國奈米科技發展之用。

### 1.3 研究方法與步驟

本文提出一種新型微小位移測量儀，其乃利用內部全反射(TIR)與衰減全反射(ATR)的原理，當

位移改變時於輸出端的光偵測器所量得的強度會有所變化，據此推知位移的變化量。本系統有體積小、實驗架構便宜、即時量測等優點，且量測範圍在 $\pm 5\mu m$ ，解析度可達 1nm。

## 二、原理：

### 2.1 TIR 原理介紹

當雷射二極體將雷射光導入偏振片產生水平偏振光在導入兩不同的介質邊界上滿足全反射條件時，光即會發生全反射。此時，由 Fresnel's equation【4】可得

$$r_p = \frac{(n_2/n_1)^2 - i\sqrt{\sin^2 \theta_2 - (n_2/n_1)^2}}{(n_2/n_1)^2 + i\sqrt{\sin^2 \theta_2 - (n_2/n_1)^2}} \quad (1)$$

$n_2$  : 外部介質折射率

$n_1$  : 內部介質折射率

由圖 1 可知當發生內部全反射時，其 P 偏振光，於臨界角附近反射率有明顯變化的情形。

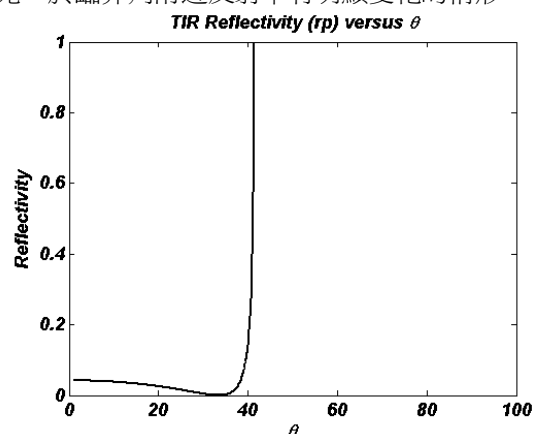


圖 1 水平偏振光  $r_p$  的 TIR 強度變化

### 2.2 ATR 原理介紹

在本文，所採用之直角稜鏡，其一直角邊不鍍任何金屬膜，而另一直角邊則鍍上 2nm 鈦膜以及 45.5nm 金膜。圖 2 所示為四層介質的 Kretschmann 結構【5】，其反射係數的導出可先由 Fresnel 之兩層介質系統公式推導開始，可知其反射係數為

$$r_{12}(\theta) = \frac{\varepsilon_2 k_{z1}(\theta) - \varepsilon_1 k_{z2}(\theta)}{\varepsilon_2 k_{z1}(\theta) + \varepsilon_2 k_{z2}(\theta)} \quad (2)$$

的計算公式來推導其反射率：

$$k_{12}(\theta) = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 \sin^2 \theta} \quad (3)$$

其中  $k_{12}(\theta)$  是入射光於第 1 層與第 2 層交界之波向量的水平分量， $r_{12}(\theta)$  是入射角  $\theta$  時的反射係數，再介紹三層介質的總反射率

$$r_{234}^t = \frac{r_{23}^t + r_{34}^t e^{i2k_2 d_3}}{1 + r_{23}^t r_{34}^t e^{i2k_2 d_3}} \quad (4)$$

由上前述式子可以推導出四層介質的總反射率

$$r_{1234}^t = \frac{r_{12}^t + r_{234}^t e^{i2k_1 d_2}}{1 + r_{12}^t r_{234}^t e^{i2k_1 d_2}} \quad (5)$$

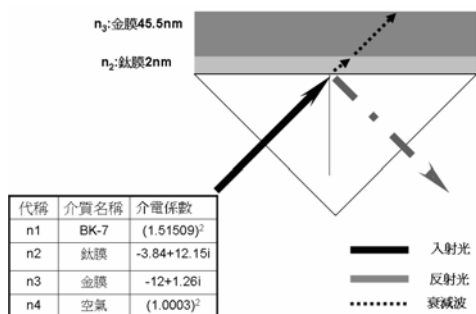


圖 2 四層介面檢視圖

圖 3 顯示水平偏振光 ATR 光衰減情形，當光於共振角（反射率於最小谷底之入射角）附近時，反射率有明顯的線性變化，我們可以採取此特性來進行微小位移之量測。

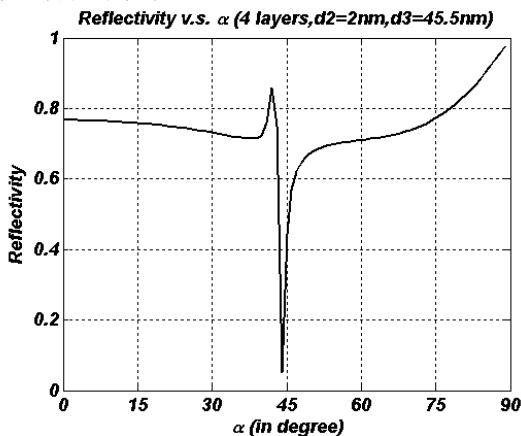


圖 3 水平偏振光 ATR 光衰減情形

### 2.3 物鏡焦距和反射鏡之關係

圖 4 為在透鏡的焦距  $f$  上的反射鏡，位移  $\Delta z$  時的光軌跡情形。在此裝置中，雷射光先經由透鏡打到反射鏡後再被反射鏡反射回去。若反射鏡的位置是在焦點上，反射回去的雷射光則是平行，反射鏡位置若非在焦點上，會產生一個  $\Delta \theta$  或  $-\Delta \theta$  的角度變化，使得雷射光束的大小會產生些許的改變。由於  $\Delta \theta$  或  $-\Delta \theta$  的角度變化是成對稱的關係，因此我們先就  $\Delta \theta$  角度變化作討論。

此現象可由幾何光學中光的追跡來解釋：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \beta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ \beta_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中， $f$  為透鏡焦距， $x_0$ 、 $x_1$  分別為透鏡入射光和穿透光與透鏡交點與光軸之距離， $\beta_0$ 、 $\beta_1$  分別為透鏡入射光和穿透光與光軸所夾的角度，在此實驗中  $x_0$ 、 $x_1$ ，並且

$$\beta_1 = -\frac{1}{f} x_0 + \beta_0 \quad (7)$$

$$x_0 = (f + \Delta z) \tan \beta_0 + \Delta y = \frac{D}{2f} (f + 2\Delta z) \quad (8)$$

其中  $\Delta z$  是指反射鏡離焦點位置的距離，而  $D$  則是代表光束的直徑， $\Delta y$  為光束和反射鏡的交點離光軸的距離。因此我們可得  $\beta_1$  (即  $\Delta \theta$ ) 為：

$$\beta_1 = \Delta \theta = -\frac{D}{f^2} \Delta z \quad (9)$$

此式可改寫為：

$$\Delta z = -\frac{f^2}{D} \Delta \theta \quad (10)$$

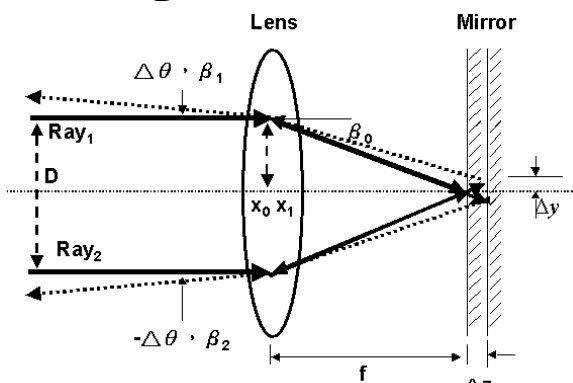


圖 4 物鏡焦點與反射鏡位移關係

### 三、實驗結果:

圖 5 為此新型微小位移測量儀之實驗裝置圖，吾人使用 He-Ne 雷射將光源導入偏振片，將光源偏極化成水平偏極光，將光導入分光鏡分成兩道光，測試光導入透鏡，聚光在焦點處，由移動平台(PZT)控制反射鏡，予以改變(推動)反射鏡位置，使通過透鏡光聚光在非焦點處，在原來光路產生正角  $\Delta \theta$  與負角  $-\Delta \theta$ ，如圖 4 所示。

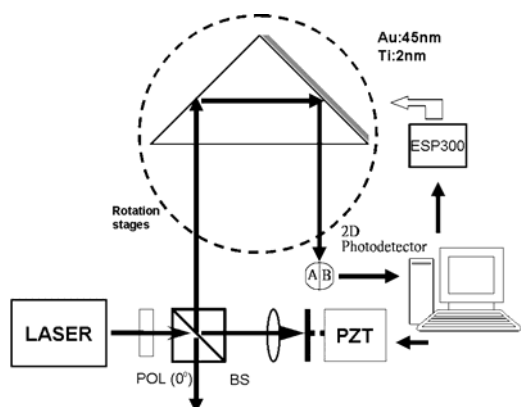


圖 5 精密光學式微小位移測量儀之架構圖

當此光線經直角稜鏡之斜邊入射，先由未鍍任何金屬膜之直角邊反射，再經鍍有金屬膜(鈦膜 2nm 金膜 45.5nm)的直角邊反射，之後穿透直角稜鏡之斜邊；我們可在出射端利用二元偵測器(2D Photodetector)來量取  $+\Delta\theta, -\Delta\theta$  兩側的光強度，分別記錄  $I_1, I_2$ 。

為求方便起見，假設入射的水平偏振光之強度，記為  $I_0$ ，令  $I(+)=\frac{I_1}{I_0} \times 100\%$  且

$$I(-)=\frac{I_2}{I_0} \times 100\%$$

則可經由訊號處理及電腦運算得知  $\Delta I = I(+)-I(-)$ 。

因此，當 PZT 移動位移  $\Delta Z$  時，出射端所量得之光強度變化量  $\Delta I = I(+)-I(-)$  會有顯著的改變。

#### 四、討論:

我們利用電腦模擬位移改變時，光兩側的強度變化情形，在此我們取圖 3 之水平偏振光 ATR 光強度衰減為 50%時為入射之初始角  $\theta_0$ ，此刻  $\theta_0 = -2.576^\circ$ ，而且鍍金屬膜之直角邊的入射角為  $\alpha = 43.3^\circ$ 。則可知光兩側的強度變化情形，如圖 6 所示，由圖可知，當位移改變時，輸出端的光偵測器所量測到的光強度有顯著的改變。此

時，茲定義系統的解析度為  $\mathfrak{R} = \frac{0.01\%}{\frac{\partial(\Delta I)}{\partial \Delta Z}}$  【6】，

吾人利用數值方法予以計算出系統的解析度可達 1nm (如圖 7 所示)，且其量測範圍在  $\pm 5\mu m$ 。

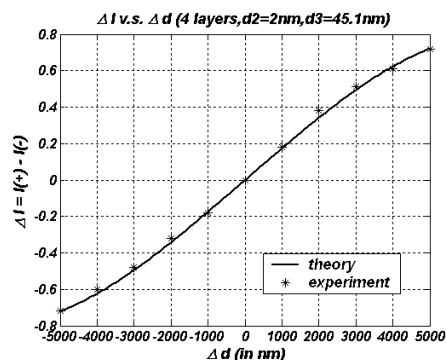


圖 6 實驗結果圖  $\Delta Z$ : 移動量(單位 nm)

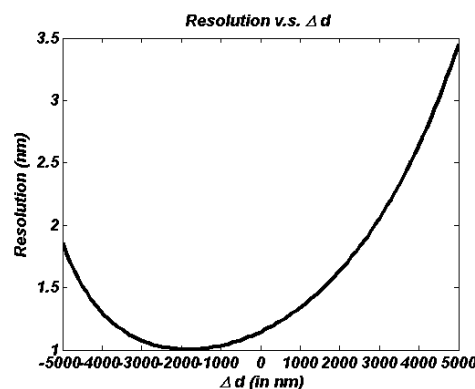


圖 7 解析度對  $\Delta Z$  之關係圖

#### 五、結論:

光源在衰減全反射中，P 偏振光在共振角附近有很高的響應變化。因此，使得位移量測更為敏感，且利用 2D Photodetector 予以提升量測解析度，所以本文所提供對微小位移量測之新方法，具有簡單化、即時、便宜且體積小等等優點。因此，其相當具有學術研究之可行性。

#### 致謝:

本研究承蒙國科會計畫支助，計畫編號: NSC 95-2221-E-231-027

#### 參考文獻

- 【1】 D. K. Hamilton and T. Wilson, "Surface profile measurement using the confocal microscope," J. Appl. Phys. 53 (7), 5320-2 (1982).
- 【2】 C. H. Lee, J. Wang, "Noninterferometric differential confocal microscopy with 2-nm

- depth resolution”, Optics Communications, 135,P233-237(1997).
- 【3】廖淑真，王信福，邱銘宏“以臨界角法作共焦顯微鏡之研究”。
- 【4】M. Born and E. Wolf, “Principles of Optics”, Pergamon Press, Oxford, UK, 1980, pp. 45-50 (Chapter 1).
- 【5】E. Kretshmann, “Die Bestimmung optischer Konstanten von Metallen durch Anregung von Oberflächenplasmaschwingungen,” Z.Phys. 241 , 313-324 (1971).
- 【6】S. Shen, T. Liu, and J. Guo, “Optical phase-shift detection of surface plasmon resonance,” Appl. Opt. 37 1747-1751(1998).

## 新型基因演算法研發以設計布萊格光柵參數

### Population-split genetic algorithm for Bragg Grating parameter synthesis

許菽芳<sup>1</sup> 陳雲鵬<sup>2</sup> 潘犀靈<sup>3</sup>

清雲科技大學 電子工程所<sup>12</sup>

交通大學 光電工程所<sup>3</sup>

[sfshu@cyu.edu.tw](mailto:sfshu@cyu.edu.tw)

#### 摘要

在此研究中，我們提出了一個搭配轉換矩陣之基因演算法，來達成光纖布萊格光柵之參數設計。此光柵設計具備了權重能力，可以供使用者依需要選擇演化特徵。經證實，此方法較文獻上之方法能更快速與準確地演化出結果。藉由無性生殖與有性生殖之交替使用與特殊的繁殖法則，此方法在針對反射頻譜萃取的某些應用中，可以極其準確地演化出正確的結果，使最後的準確度僅受限於介面本身的資料限制。

**關鍵字：**人工智慧,基因演算法,光纖通訊,光學設計,光纖光柵綜合法,光學模擬



## **Abstract**

A special population split genetic algorithm connected with Transfer-matrix is proposed and used to approach the parameter retrieval with weighting ability in the design of a Fiber Bragg Grating filter. This method is proved to be more speedy and precise than previous evolutionary work. Its alternation of asexual and sexual reproductions and special reproduction rules make the final correctness of some spectra depend on data constraint only.

**Key words:** Artificial intelligence, Genetic algorithm, Fiber communication, Optical Design, Optical fiber grating Synthesis, Optical Simulation

## I. INTRODUCTION

Spectra of intracore Fiber Bragg gratings (FBG) change their wavelength centers and shapes according the physical pitch lengths and the refractive index changes have gotten applications in fiber strain and temperature sensing (Huang, LeBlanc, Ohn, & Measures, 1995). In fiber communication, their wavelength selective reflectivity attracts designs of wavelength division multiplexing (WDM) device or optical filter (Ota, Tsuda, Shinozaki, Yodo, Ota, Shigematsu, & Ibusuki, 2000). The synthesis of FBGs that conform to a wanted reflection spectrum has attracted many scientists to develop their methodologies.

Because evolutionary computing gets solution from the assigned environment (Yao, 1999), its ability to weight the environment provides promise for weighting a spectrum. This character attracts interests in applying GA to filter design. J. Skaar etc. used a binary coded genetic algorithm (GA) with a Runge-Kutta algorithm to design filters with specific characteristics (Skaar, & Risvik, 1998). After that, G. Cormier etc. used a real-coded genetic algorithm (RCGA) along with the Transfer-matrix formalism for getting parameters in FBG design under an assumption that the length of each section is an integer fold of pitch length (Cormier, & Boudreau, 2001). Although it contributes to finding parameters in multi-section structure, RCGA is slower and stops converge after a few generations. In the design status of a rectangular spectrum, a high performance evolving technique may get the parameters more fast and precisely under its intrinsic limitations. This paper describes a new GA structure connected to Transfer-matrix that improves both the correctness and speed.

The idea comes from the observation that authors have noticed the great proliferation ability of molds and its life-cycle interchange. Two hyphae of

opposite mating types fuse to form a zygote that develops into the diploid zygosporangium, which forms diploid sporangia that releases spores after meiosis. This process of sexual reproduction takes two black molds as parents to crossover and forms their offspring. When spores are dispersed from sporangium to grow new haploid sporangia, it is an asexual process. This alternative asexual reproduction reproduces new black molds by copying its own genes to form genetically identical offspring (Brum, & McKane, 1989). We imitate its two kinds of reproduction feature.

The proposed new real-coded GA structure called population split genetic algorithm (PSGA) that has been used to recognize laser patterns (Shu, & Chou, 2000) is designed and used to recover various spectrum generated by Transfer-matrix formalism. A wanted spectrum with double rectangles is also retrieved. All these spectra are provided without phase information. Through evolution, PSGA outputs length of grating  $L$ , grating pitch length  $\Lambda$ , and the refractive index difference  $\Delta n$ . These parameters are used to form the retrieved spectra. We will present that PSGA retrieves generated spectra too extremely correctly to make system overflow after achieving order  $10^{-32}$ . PSGA also make the recovered rectangular spectrum from retrieved parameters more precise to target.

## II. SYSTEM STRUCTURE

### 1. Transfer-Matrix

According to the Transfer-matrix synthesis, a FBG filter can be designed with a series of uniform sections. The number of the sections increases from one to an extremely large number when the desired filter changes its character from uniform to nonuniform. Chirps and apodization functions are used as functions of section index to achieve various filters.

A FBG with length  $L$  separated into  $m$  sections can be represented as an expanded multiplication of

m transmission matrixes in Transfer-matrix theory. If total length is L, arbitrary i section has length  $l_i$  and transmission matrix  $[L_{li}]$ . Then  $L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_i + \dots + l_m$ , and total transmission matrix  $[L_T]$  can be represented as (1).

$$[L_T] = \begin{bmatrix} L_{11}^T & L_{12}^T \\ L_{21}^T & L_{22}^T \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= [L_{l_1}] [L_{l_2}] [L_{l_3}] \dots [L_{l_i}] \dots [L_{l_m}]$$

The reflectivity  $R_T(\lambda)$  as a function of wavelength can be calculated by (2).

$$R_T(\lambda) = \left( \frac{L_{12}^T}{L_{22}^T} \right)^2 \quad (2)$$

## 2. Population-split genetic algorithm (PSGA)

The possible FBG optical parameters to make the desired reflection spectrum are represented in real number as genes. These parameters are generated with a random engine every time system starts. To compare with RCGA, we used (3) as object function.

$$G_i = \sum_{\lambda} (R_{target} - R_i)^2 \quad (3)$$

Where  $G_i$  is the error value for arbitrary individual i in population.  $R_{target}$  is the target reflectivity from measured or desired reflectivity spectrum.  $R_i$  is the spectrum recovered from evolved  $i^{th}$  group of parameters. We use 512 wavelength points totally that seems larger than RCGA. The G values for whole population are normalized to  $D_n$  values and sorted descendently. The  $D_n$  is a calibrated and normalized value that would be used in the selection processes.

We prepare two kinds of reproduction by splitting the population into two smaller populations, the POP1 and POP2. The superior portion with better fitness is kept in POP1 and the others in POP2. The

crossover taken between one individual from POP1 and the other individual from the POP1 (crossover 1) or POP2 (crossover 2) imitates the sexual reproduction. The copy taken in POP1 imitates the asexual reproduction. The split populations and their operations are shown in Fig. 1.

Asexual reproduction has no genetic change. The selected individuals for asexual reproduction in POP1 are copied for next generation. The two sexual reproductions take one individual from POP1 with better fitness and the other from either of POP1 and POP2. The crossover 2 with one individual from POP2 always provides higher divergence for system. In each of three reproductions, we can find that there is always one individual from POP1 that can lead the convergent process. Because the asexual reproduction wastes so little computer time that the evolutionary time reduces to a half when ratio of asexual and sexual reproduction is 0.5.

We use a very easy selection scheme; the selection for the asexual reproduction is by a probabilistic random number that select individuals from the better fit part, the POP1. The selection for the sexual reproduction is also by a probabilistic random number to select individuals. A threshold that is for double check the individuals to be crossed over is the  $D_n$  value  $>0.3$ .

To avoid premature convergence, we need a mutation operator. Here we use a new mutation rule (4) that can match the preciseness needs.

$$M_{ratio} = 1 + rnd_1(t) \times 10^x$$

$$x = -rnd_2(t) + \log(\sqrt{G_{min}}) \quad (4)$$

In (4),  $M_{ratio}$  is the ratio of new value to the original value in mutation position,  $rnd_1(t)$  is a random real number generator generating real numbers in  $[-0.1, 0.1]$ . The  $x$  is a calibrating factor in the evolutionary processes. It makes the evolutionary step become smaller as the smallest RMS error in a

generation becomes smaller. The  $\text{rnd}_2(t)$  in  $x$  is a random integer generator generating integer numbers and  $G_{\min}$  is the minimum  $G$  value in each generation. After our test, we find that  $[0, 7]$  is an optimal range for  $\text{rnd}_2(t)$ . As the demonstration from (4), the introduction of  $G_{\min}$  will slow down the mutation that profits the final precise evolution.

After mutation, new population is re-evaluated, and recursively proceeds to next generation. This evolutionary process will stop manually by user or automatically by system with a predefined generation number or  $G$  constraint value.

### III. RETRIEVED RESULTS

Table I shows the retrieved results for different kinds of FBGs. The convergent time depends on the complexity of FBGs. These data were gotten by LabView program in a Pentium III 500 notebook with 64M RAM. The PSGA error values are calculated without normalization from 512 points whereas RCGA seems to have only 200 points. We can conclude that PSGA works more precisely and rapidly as compared to RCGA.

Figure 2 indicates the reflectivity curves for target and retrieved apodized 100-sections of FBG. They are visually totally identical. Table II shows the recognition parameters for this FBG. Figure 3 demonstrates the error curves for retrieving with population size 75 that was announced optimum in (Cormier, & Boudreau, 2001), and with population size 6 for comparison. Case with population size 6 has more rapid convergence after minimum  $G$  equals  $5.38 \times 10^{-5}$ . It passes  $10^{-25}$  and overflows after 3989 seconds. Curve for population size 75 goes to  $2.18 \times 10^{-6}$  when generation index equals 50. The apodized function for the FBG in two cases is (5).

$$\begin{aligned} apo = & 1/2 \left\{ \cos^2 \left[ \pi(k-1-0.5N_s)/N_s \right] \right\} \\ & + 1/2 \left\{ \cos^2 \left[ \pi(k-0.5N_s)/N_s \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

### IV. LOW IN-BAND DISPERSION FILTER

Actually, dispersion is as important as correct spectrum (Skaar, & Risvik, 1998). Error that relates to spectrum in (3) and maximum dispersion or flatness of dispersion in design range is used as an object function. A structure of 100 sections with apodized function is applied and a linear chirp parameter  $\xi$  is used to comprise a flat dispersion approach. The retrieved parameters are listed in Table III.

Figure 4 shows the spectrum and dispersion comparison of different evolutions for getting rectangular filter in 1549.9 ~ 1550.1 nm. The dispersion-weighted case is comparable to work of Skaar (Skaar, & Risvik, 1998) that evolve the complex coupling coefficient not the physical parameters like this work. The dispersion weighting includes 5% maximum dispersion in error function and spectrum weighting trials include 0.01% of maximum dispersion in it. The different cases in the same weighting type are numbered as shown in Fig. 4.

### V. CONCLUSION

This work designs a FBG design tool that has the transfer matrix and population-split genetic algorithm as the core techniques to solve the synthesis problem. User can weight the spectrum and/or the dispersion by inserting ratio value into the goal function of genetic algorithm. The comparison between the RCGA and this GA demonstrates the improvement in speed and preciseness provided by this new structure.

A PSGA is actually a kind of RCGA except

combining several especially well-defined reproduction rules in the processes. An asexual reproduction keeps some better gene compositions by copying without exchanging the genes. This procedure guides the evolution processes and guarantees the convergence. For the same convergent error value criterion, the PSGA is much speedier than the simple RCGA.

## VI. ACKNOWLEDGEMENTS

This research is supported by the National Science Council with grant code NSC-95-2221-E-231-030 and the Department of Education with grant code NICE-95-ET-002-ED.

## REFERENCES

- [1] Brum, G. L., & McKane, L. K. (1989). *Biology: Exploring life* (pp. 587-596). John Wiley & Sons.
- [2] Cormier, G., & Boudreau, R. (2001). Real-coded genetic algorithm for Bragg grating parameter synthesis. *J. Opt. Soc. Am. B*, 18, 1771-1776.
- [3] Huang, S., LeBlanc, M., Ohn, M. M., & Measures, R. M. (1995). Bragg intragrating structural sensing. *Applied Optics*, 34, 5003-5009.
- [4] Ota, I., Tsuda, T., Shinozaki, A., Yodo, S., Ota, T., Shigematsu, T., & Ibusuki, Y. (2000). Development of optical fiber gratings for WDM systems. *Furukawa Review*, 19, 35-40.
- [5] Shu, S. F., & Chou, F. H. (2000). Evolving Optical Parameters by a Population-Split Genetic algorithm. *Journal of Ching-Yun Univ.*, 22, 71-75.
- [6] Skaar, J., & Risvik, K. M. (1998). A genetic algorithm for the inverse problem in synthesis of fiber gratings. *J. Lightwave Technol.*, 16, 1928-1932.
- [7] Yao, X. (1999). *Evolutionary computation* (pp. 2-26, 235-255). World scientific.

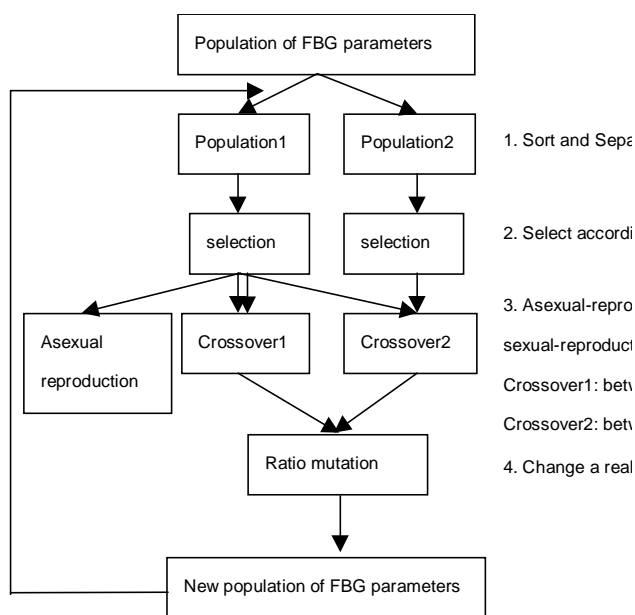


Fig. 1. PSGA structure and its operators

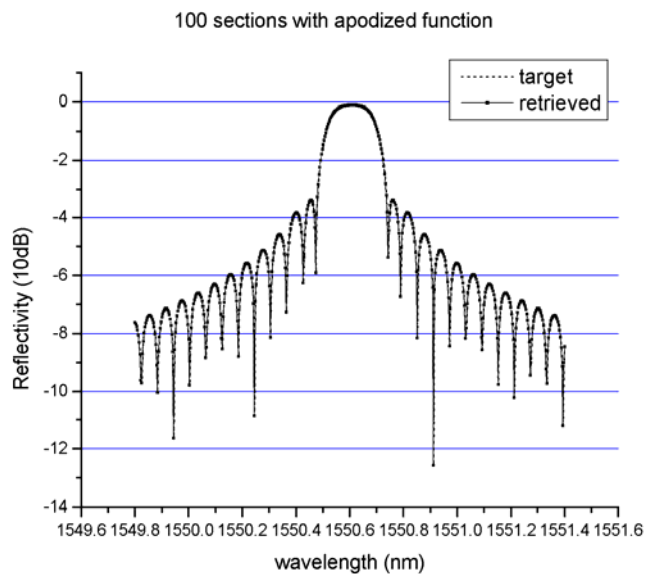


Fig. 2. Reflectivity curves for target and retrieved apodized 100-sections FBG

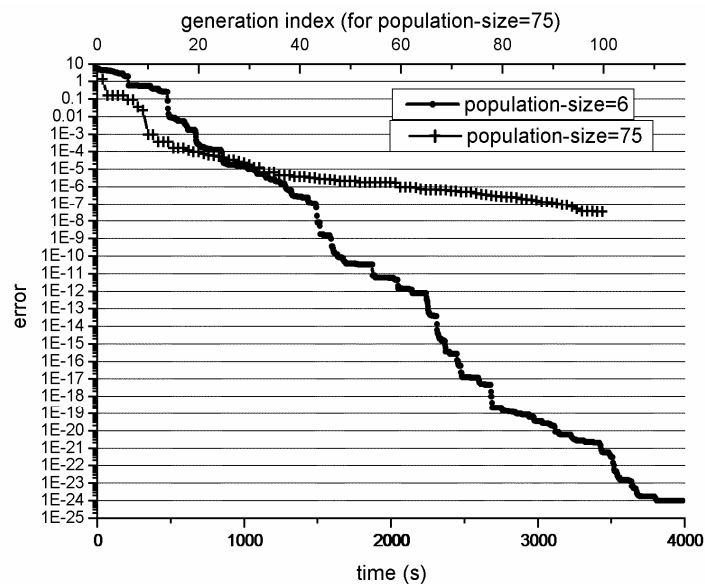


Fig. 3. Error curves for apodized 100-sections FBG with different population size.

Fig. 4. The filter designed with consideration of spectrum and dispersion.

(a) The comparison of spectra from dispersion and spectrum weighting. (b) The dispersion curves for different weighting.

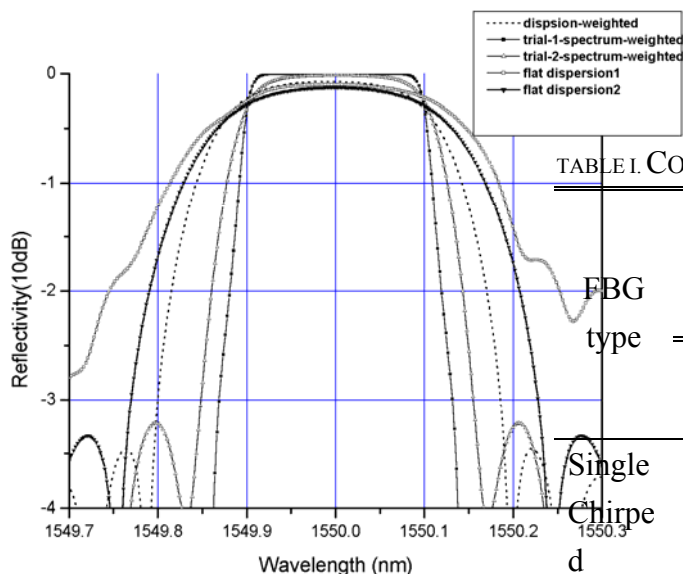


Fig. 4(a)

TABLE I. COMPARISON FOR RCGA AND PSGA

FBG type	Generati on of $10^{-5}$		Final error		PS time	
	RC *	PS	RC *	P S	$10^{-5}$	Fina l
Single	-	28	-	0	15s	62s
Chirped	50	56	$\sim 10^{-6}$	0	500s	425s
Apo-8	-	24	-	0	64s	325s
Apo-100	35	32	$\sim 10^{-6}$	0	100s	398s

\* These data columns are gotten visually from previous paper.

The four types above are: single type represents a single uniform FBG; chirped, a linear chirped FBG; Apo-8, an 8-sections FBG with apodized function; and Apo-100, a 100-sections FBG with apodized function.

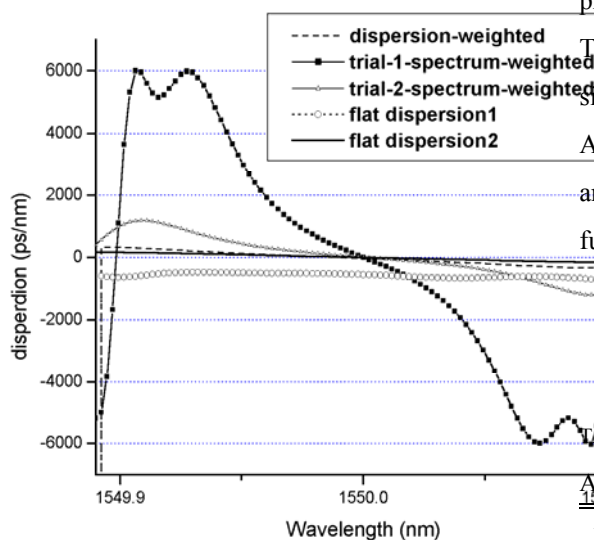


Fig. 4(b)

TABLE II. THE RECOGNITION RESULTS FOR AN APODIZED 100 SECTIONS GRATING

Value	L(mm)	$\Lambda$ (nm)
Target	10	534
Retrieved	9.9999999999951541	534.00000000000000







## 高雙折射率光子晶體光纖設計

### DESIGN ON HIGHLY BIREFRINGENT PHOTONIC CRYSTAL FIBERS

葉翰軒 趙遠鳳 洪榮木 孫郁興 葉小玉 鄭任欽

清雲科技大學 電子工程系

[yfc01@cyu.edu.tw](mailto:yfc01@cyu.edu.tw)

#### 摘要

有別於傳統光纖，光子晶體光纖由於纖核與纖衣區具有較高的折射率差，並可靈活設計對稱與非對稱結構，故可設計成高雙折射率的光纖。本文應用有限元素法分析折射率導模高雙折射率光子晶體光纖，數值模型採用具有二重對稱性的兩種尺寸的橢圓空氣孔，如此一來原先發生簡併的兩個正交模態不再簡併，因而呈現高雙折射率，經模擬分析雙折射率可達  $1.1312 \times 10^{-2}$ ，此結果所呈現的雙折射率較文獻[1]的一般光子晶體光纖高出一個數量級( $3.7 \times 10^{-3}$ )，並高出文獻[2]傳統光纖二個數量級( $5 \times 10^{-4}$ )。

**關鍵字：**高雙折射率、光子晶體光纖、有限元素法

## **Abstract**

Photonic crystal fibers (PCFs) offer new possibilities of realizing highly birefringent fibers due to a higher intrinsic index difference and flexibilities of fabrication process compared to conventional fibers. A kind of highly birefringent index guiding PCF with the finite element method model is analyzed theoretically. Two-fold rotational symmetry was introduced into the fiber structure by creating a regular array of air holes of two different sizes in its cladding. The degeneracy of two orthogonal polarized-modes of the fundamental mode is removed. Our suggested structures can considerably enhance the birefringence in EHPCFs and show that the birefringence can be as high as  $1.1364 \times 10^{-2}$ , which is higher than those obtained from circular air holes PCF ( $3.7 \times 10^{-3}$ ) [1], conventional step-index fiber ( $5 \times 10^{-4}$ ) [2].

**Key words** : high birefringence , photonic crystal fibers, finite element method

## 一. 前言

光子晶體光纖 (photonic crystal fiber, PCF) 是由未摻雜的單一材料 (例如  $\text{SiO}_2$ ) 與空氣孔構成, 在其纖衣 (cladding) 中沿軸向分佈著規則或不規則排列的空氣孔, 圓空氣孔在纖核 (core) 的位置其週期性被破壞形成缺陷, 光便可沿缺陷傳播。這種類型的光子晶體光纖基本上可分為兩類 [3]: 一是平均折射率效應 (Average-index effect) [4], 一是光子帶隙效應 [5,6]。平均折射率效應光子晶體光纖, 其導模 (guide mode) 機制為全反射 [4], 一般不要求纖衣層中的空氣洞呈週期性排列 [7]。光子晶體帶隙導模光子晶體光纖, 其導模機制為光子帶隙效應, 一般要求纖衣層中的空氣洞呈週期性排列 [8,9]。本文針對平均折射率效應光纖進行研究。

由於傳統單模光纖具有兩個正交方向的偏振模態, 這兩個偏振模態幾乎是簡併 (degeneracy) 的, 只要產生很小的微擾, 光纖中的場便很容易從一個偏振模態轉換到另一個偏振模態。如果偏振態因簡併被移去, 偏振模之間場的轉換將大大減小, 光纖便成為雙折射光纖。保偏光纖的概念和製造方法是由 Kaminow 等人首先提出 [10], 經由人為的方式刻意在光纖中引入雙折射, 研製出熊貓型、領結型、橢圓包層與橢圓纖核 (fiber core) 型等多種保偏光纖。並已應用在偏振器、相干光通訊系統及其他感測器的設計上 [11]。隨著光纖通訊的發展, 目前的保偏光纖難以滿足高速發展的需求, 因此研究高性能的保偏光纖已成國內外相關領域研究的重點。

本文擬以有限元素法分析折射率導模高雙折射率光子晶體光纖, 數值模型採用具有二重對稱性的兩種尺寸的橢圓空氣孔, 如此一來原先發生減併的兩個正交模態不再減併, 因而呈現高雙折射率。

## 二. 模擬方法

在本文中使用的有限元素法來計算數值上的分析, 這方法是適用於任何幾何形狀之介質波導, 在光子晶體光纖中, 磁場的馬克斯威爾方程式 (Maxwell's function) 可以表示成 [12][13]:

$$\nabla \times (\epsilon_r^{-1} \nabla \times h) - k_0^2 \mu_r h = 0$$

其中  $h$  是磁場,  $\epsilon_r$  和  $\mu_r$  是相對導電係數和相對導磁係數,  $k_0 = 2\pi/\lambda$ , 是真空中波數 (wave number),  $\lambda$  是波長, 磁場的解可寫成  $h = H e^{-\gamma z}$ ,  $H$  是橫向場的分佈, 當中  $\gamma = \alpha + j\beta$  為一複數型式,  $\alpha$  是衰減常數,  $\beta$  是相位常數, 為了應用於有限元素的程序, 全相量的代數方程式可寫如下 [12][13]:

$$A - \left[ \frac{\gamma}{k_0} \right]^2 BH = 0$$

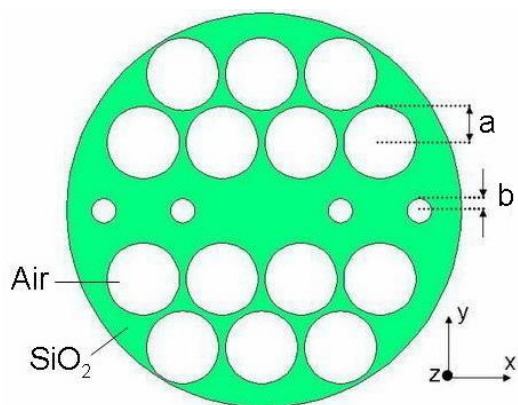
當  $H$  以及特徵值  $\frac{\gamma}{k_0}$  同時滿足, 就可

以得到磁場分佈以及模式的等效折射率。

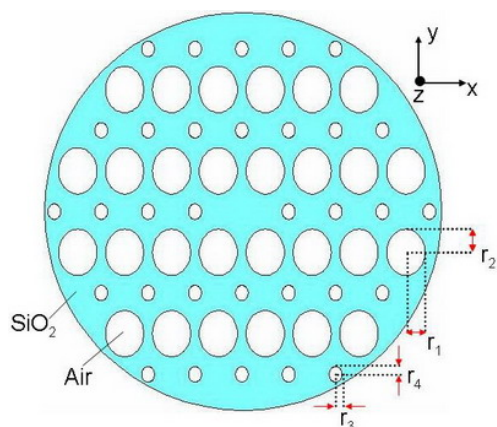
## 三. 數值模型、結果與討論

利用光子晶體光纖中的非對稱結構可以創造高雙折射差特性, 其原因是由於光纖纖衣 (fiber cladding) 兩個正交方向不同的等效折射率差所造成, 而創造這種高雙折射光子晶體光纖的目的是為了要減少基模 (fundamental mode) 正交態的耦合 (coupling), 因而光在此光纖中傳播, 場型易於維持。如圖一為 Russell 等人在 Optics Letter 期刊上所發表有關高雙折射的設計模型 [1], 其中, 大圓孔半徑為  $a$ , 小圓孔半徑為  $b$ , 空氣孔與空氣孔間的距離為  $\Lambda$ , 利用改變光子晶體光纖一個方向的空氣孔大小 (即在光子晶體結構中之  $x$  方向創造線缺

陷，在纖核中加入點缺陷，理論分析結果可達  $10^{-3}$  量級，較傳統光纖 ( $10^{-4}$ ) 多出一個數量級。但此篇文章所提出的結構只針對一個方向的改變，因此，對於增加雙折射的效果尚有改善的空間。



圖一：Russell 等人在 Optics Letter 期刊上所發表有關高雙折射的設計模型[1]

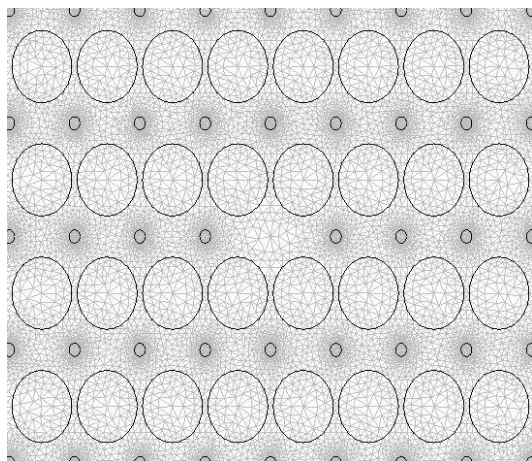


圖二：我們所提出的橢圓形光子晶體光纖結構圖

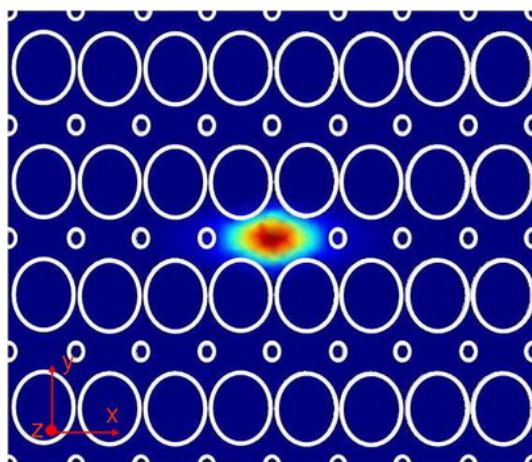
圖二便是我們所提出的模型圖，首先，我們將圓空氣孔改成橢圓空氣孔 (空氣孔  $n=1$ )，再將結構擴大為四圈且  $y$  方向呈規則排列的大小空氣孔。在先前的文獻中 [14]，也得到此種橢圓空氣孔光子晶體光纖

是成功的被製造出來的。在其它部份，背景的部分是採用折射率  $n=1.45$  的二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )，橢圓空氣孔呈三角晶格排列，纖核處 (光纖結構中心點) 減少一個小橢圓空氣孔形成缺陷，光便可以經由全反射在缺陷裡傳播。在此我們定義兩種不同尺寸的橢圓空氣孔，即大橢圓空氣孔短半軸  $r_1$ 、長半軸  $r_2$ ，小橢圓空氣孔短半軸  $r_3$ 、長半軸  $r_4$ ，其比值關係為  $r_1/r_2=r_3/r_4=0.83$  [15]。空氣孔心與空氣孔心間距 (pitch) 定義為  $\Lambda=1.96\mu\text{m}$  [1]，另外定義一比例常數  $\eta=r_1/r_3$  來決定此非對稱結構的尺寸關係。

利用有限元素法 (FEM) 針對對我們所提出的高雙折射差橢圓形空氣孔光子晶體光纖 (如圖二) 進行模擬，模擬結果之光纖模場變化如圖三(b)所示，我們可以清楚看到  $x$  方向的模場寬度大於  $y$  方向的模場寬度，這是因  $y$  方向大大小小的空氣孔對光有較佳的局域性所致。另外可由圖二之數值模型可看出，由於周圍的空氣孔導致纖衣 (cladding) 平均折射率降低，光的模場全集中在較高折射率分佈的纖核 (core) 的部份。不過我們比較關心的是兩個正交方向的平均折射率差，這裡我們定義雙折射率 Birefringence  $\Delta n=|n_x-n_y|$ ，其中  $n_x$  為  $x$  方向的等效折射率、 $n_y$  為  $y$  方向等效折射率。其他模擬參數選定激發源波長為現今通信波長  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ ，模擬結果為  $n_x=1.388207$ 、 $n_y=1.380276$ ， $\therefore$  Birefringence  $\Delta n=|n_x-n_y|=7.937\times 10^{-3}$ 。此結果遠高於文獻 [1] 與文獻 [2] 所呈現的雙折射率差。



(a) 橢圓形光子晶體光纖截面之典型元素分佈圖

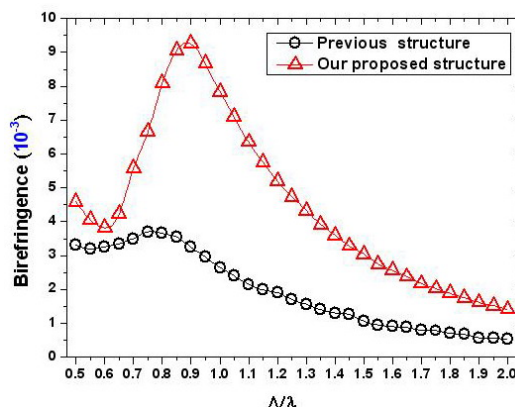


(b) 橢圓形光子晶體光纖模場型(Mode field pattern)

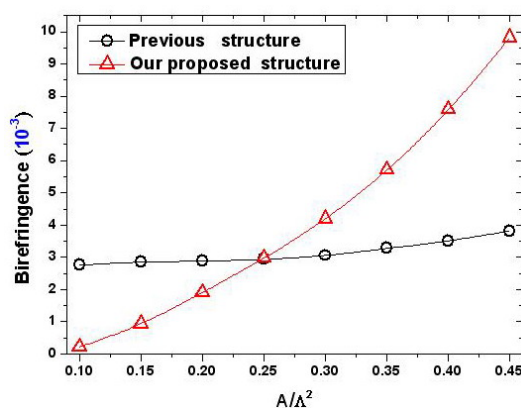
圖三：我們提出之結構在  $r_1=0.9\mu\text{m}$ 、 $r_3=0.18\mu\text{m}$  尺寸下

我們爲了了解不同的正規化頻率 (normalized frequency,  $\Lambda/\lambda$ ) 對光子晶體光纖雙折射 (Birefringence) 差的影響，針對圖二我們所提出的結構比較如圖一文獻 1 所提之先前結構，兩者的結構都是採  $\eta=r_1/r_3=a/b=3$ ，由圖四可以很清楚看到我們所提出的結構之曲線平均都高於先前的結構，當其正規化頻率 ( $\Lambda/\lambda$ ) 比值 1.25 處時

(對應其波長是  $1.55\mu\text{m}$ )，我們提出的結構 ( $\Delta n=4.732 \times 10^{-3}$ ) 也高出於先前的結構 ( $\Delta n=1.7 \times 10^{-3}$ ) 達 2.7 倍。接下來，我們爲了進一步了解每一單胞 (unit cell) 裡所占的空氣孔有效面積 (effective area,  $A$ ) 之比例關係 ( $A/\Lambda^2$ ) 對雙折射的影響，圖五中兩者  $\eta=5.5$  的結構下，我們可以很清楚的觀察到當有效面積增加時，我們提出的結構雙折射增加量大於先前的結構，此原因歸咎於我們所提出的結構具有強烈的非對稱性所致，在  $A/\Lambda^2=4.5$  的情況下，我們提出的結構 ( $\Delta n=9.816 \times 10^{-3}$ ) 明顯高出於先前的結構 ( $\Delta n=3.827 \times 10^{-3}$ )。



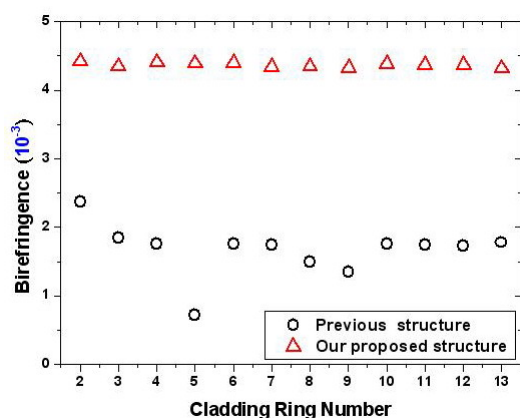
圖四：正規化頻率( $\Lambda/\lambda$ )對雙折射的關係圖



圖五：有效面積( $A/\Lambda^2$ )對雙折射的關係圖

欲了解我們所提出的結構對雙折射率之穩定性，嘗試改變光子晶體光纖纖衣空氣孔的圈數

，觀察雙折射差的變動量。在圖六中，統計的圈數從 2 變動到 13 圈，與先前的結構做比較，由此圖可以看出我們所提出的結構之雙折射差在不同的圈數下其變動量維持在  $10^{-4}$  範圍內，由此可知我們所提出的結構對圈數的改變對雙折射差的影響不大，原因歸咎於纖衣 (cladding) 兩個正交方向強列的非對稱性，相較於先前的結構其非對稱性來自於纖衣 (cladding) 中一排較小半徑的空氣孔，模擬結果在 2、5、8、9 圈跳動較大，由此圖可知我們所提出的結構具有很好的穩定性。

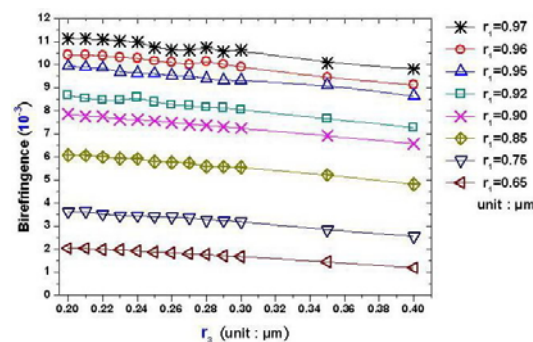


圖六：纖衣(cladding)空氣孔圈數對雙折射的關係圖

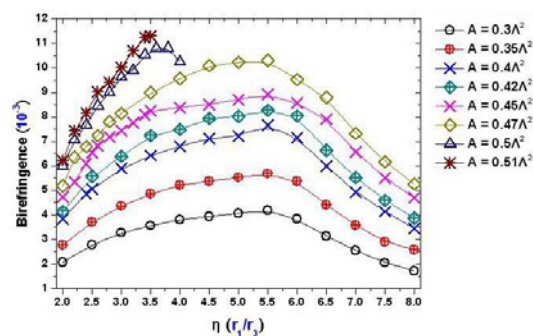
接下來檢視我們所提出結構之雙折射數值變動與橢圓空氣孔尺寸的關係，圖七中，我們針對不同的  $r_1$ (大橢圓孔短半軸)，改變  $r_3$ (小橢圓孔短半軸)，在  $r_1/r_2 = r_3/r_4 = 0.83$ 、 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$  等參數固定的條件下，觀察其雙折射的變動，由圖七可知雙折射是由  $r_1$ (大橢圓孔短半軸) 來主導，因大橢圓空氣孔短軸增加導致面積增大，以致於  $y$  方向等效折射率明顯下降，相較於  $r_3$  (小橢圓孔短半軸) 的改變，只影響到些微的雙折射數值變動，所以當  $r_3$  增加時， $x$  方向折射率微增加，整體曲線才會略微下降。

相較於圖七，我們改變表示方法，利用有效面積 ( $A/\Lambda^2$ ) 與比值  $\eta(r_1/r_3)$  對雙折射的關係，在圖八中，我們隨者不同的有效

面積下，更改大小橢圓孔的比值  $\eta$ ，可以很清楚的看到當有效面積增加時，雙折射數值也會明顯上升，原因是因有效面積增加時，大橢圓孔的面積也會伴隨增加，這與我們在圖七中之推論雙折射主導權在於大橢圓孔的結論是一致的。當有效面積與比值增加時，大橢圓空氣孔會越來越接近，雙折射也會越來越強，本次模擬中，在  $A = 0.51\Lambda^2$  時，大橢圓孔已相當接近，故只取到比值  $\eta(r_1/r_3) = 3.5$  處，不過此時雙折射已可以達到此結構大小的極限，所得到的雙折射 (Birefringence) 為  $\Delta n = 11.312 \times 10^{-3}$ ，已遠大於先前所提出的結構。



圖七：雙折射隨者不同  $r_3$ (小橢圓孔短半徑)的關係圖



圖八：雙折射對  $\eta(r_1/r_3)$  的關係圖

#### 四. 結論

本文成功地以有限元素法(FEM)對高雙折射橢圓形光子晶體光纖進行數值模擬

分析，並證實因正交方向之非對稱結構而使橢圓形光子晶體光纖具有很高的雙折射數值，本文以改變正規化頻率( $\Lambda/\lambda$ )以及有效面積，發現橢圓形光子晶體光纖結構雙折射數值遠大於先前(文獻[1])所提出的結構，另外，針對圈數的改變，亦可得知橢圓形光子晶體光纖穩定性優於先前(文獻[1])提出的結構。最後，經由我們改變橢圓孔短軸及其面積，實現了達  $10^{-2}$  量級的高雙折射差之光子晶體光纖。

## 五. 感謝

本文感謝國科會(計劃編號為: NSC 95-2112-M-231-001)及經濟部(計劃編號為: 95-EC-17-A-08-S1-0006)在研究經費上的補助。

## 六. 參考資料

- [1] A. Ortigosa-Blanch, J. C. Knight, W. J. Wadsworth, J. Arriaga, B. J. Mangan, T. A. Birks, and P. St. J. Russell, "Highly birefringent photonic crystal fibers," *Opt. Lett.*, vol. 25, pp. 1325-1327, Sep. 2000.
- [2] I. J. Noda, K. Okamoto, and Y. Sasaki, "Polarization-maintaining fibers and their applications," *J. Lightwave Technol.* 4, 1071 - 1089 (1986).
- [3] Knight J C, Russell P S. *Science*, 296,276~277 (2002)
- [4] Knight J. C., Birk T. A., Russell P. S. J., *Opt. Lett.*, 21(19),1547~1549 (1996)
- [5] Knight J C, Broeng J, Birk T. A., *Science*, 282, 1476~1478 (1998)
- [6] Cregan R. F., Mangan B. J., Knight J. C., *Science*, 285, 1537~1539 (1999)
- [7] T. M. Monro, P. J. Bennett, N. G. R. Broderick, *Opt. Lett.*, 25 (4), 206~208 (2000)
- [8] T. A. Birks, J. G. Knight, P. S. Russell, *Opt. Lett.*, 22(13),961~963 (1997)
- [9] P. S. J. Russell, J. C. Knight, T. A. Birks, *Optical Fiber Communication Conference, OSA, Technical Digest (Optical Society of America, Washington DC, 2000), Paper ThG1*
- [10] I. P. Kaminow, V. Ramaswamy, "Single-Polarization optical fibers: slab model, *Appl. Phys. Lett.*, 1979, 34 (4), pp. 1071~1089
- [11] J. Noda, K. Okamoto, Y. Sasaki, "Polarization-maintaining fibers and their application." *J. Lightwave Technol.*, 1986, 4 (8), pp.1071~1089
- [12] S. Selleri, L. Vincetti, A. Cucinotta, and M. Zoboli, "Complex FEM modal solver of optical waveguides with PML boundary conditions," *Opt. Quantum Electron.* 33, 359-371(2001).
- [13] D. Ferrarini, L. Vincetti, M. Zoboli, A. Cucinotta, S. Selleri, "Leakage properties of photonic crystal fibers", *Opt. Express* 10, 1314-1319 (2002)
- [14] N. A. Issa, M. A. Van-Eijkelenborg, M. Fellew, F. Cox, G. Henry, and M. C. J. Large, "Fabrication and study of microstructured optical fibers with elliptical holes," *Opt. Lett.* 29, 1336-1338 (2004).
- [15] Y. F. Chau, "study on dispersion properties of elliptic air hole photonic crystal fiber," *Journal of Far East University*, Vol. 23 No.3 , 451-456 (2006)





## 鎳氫電池模組充放電保護電路設計

### CIRCUIT DESIGN ON CHARGING AND DISCHARGING PROTECTION FOR NICKLE-METAL HYDRIDE BATTERY MODULE

盧樹台

Shuh-Tai Lu

清雲科技大學資訊工程系

[Shuhtai@cyu.edu.tw](mailto:Shuhtai@cyu.edu.tw)

#### 摘要

本論文提出一個以單晶片微電腦控制的電動腳踏車用鎳氫電池模組充放電保護電路，用以保護 10 顆公稱值 1.2V 鎳氫電池串聯電池模組的充放電。此電路具有睡眠節電設計，當電池模組充電或放電時，會自動叫醒單晶片微電腦，同時啟動充放電保護機制。保護機制包含每顆電池的過電壓、欠電壓對策，電池模組的過電壓、欠電壓對策，充放電電流與溫度感測等。文中有詳細的電路圖，並且說明保護機制的運作原理。

**關鍵字詞：**鎳氫電池、充電、放電、保護電路

### **Abstract**

A circuit design on charging and discharging protection for Nickle-Metal Hydride battery module is introduced in this paper. The battery module which is used for electric bicycles consists of 10 series Nickle-Metal Hydride battery units. The nominal voltage of each battery unit is 1.2V. A single chip micro-processor is used in the circuit to realize protection functions. The protection circuit is capable of sleeping function for power saving. While charging or discharging, the micro-processor will be woken up immediately. Protection mechanisms include over voltage and under voltage responses for each battery unit, over voltage and under voltage responses for battery module, current and temperature sensing for battery charging and discharging. Detailed circuit diagrams are shown and operation principles are also given in this paper.

**Key words:** Nickle-Metal Hydride battery, charge, discharge, protection circuit

## 前言

目前作者正在進行一種腳踏車用鎳氫電池模組的充放電保護電路研究，電路已經設計完成，製作出的原型機已經過實驗室測試，目前的研究成果得到合作廠商佳燁科技股份有限公司的認同，因此將研究成果整理成論文，希望能與讀者一起分享。

本論文所提出的單晶片微電腦控制充放電保護電路，是用來保護電動腳踏車用的鎳氫電池模組，該電池模組是利用 10 顆公稱值 1.2V 鎳氫電池單體串聯而成。保護電路具有睡眠節電設計，當電池模組充電或放電時，會自動叫醒單晶片微電腦，同時啟動充放電保護機制。保護機制包含每顆電池單體的過電壓、欠電壓對策，整個電池模組的過電壓、欠電壓對策，充放電電流與溫度感測等。

國內外對於電池的研究很多[1-18]，車用電池一般皆以鉛酸電池(lead-acid battery)為主，由於歐盟 RoHS (電子電機設備限用危害物質指令)環保新規定已在 2006 年 7 月 1 日正式上路實施，國內廠商預見鉛酸電池被其他材料的電池取代是遲早的事，因此開始尋求對策，本論文研究即是在這樣的時空環境配合下蘊釀而成。

鎳氫電池沒有毒性，可以大電流快速完成充電動作[10]，但是在電池充放電時若無適當保護措施，導致電池過度充電或過度放電，容易造成鎳氫電池損壞。作者與合作廠商討論之後，初步訂定鎳氫電池模組的充放電保護電路功能需求如下：

- a. 電池模組充電溫度高於 50°C 時應停止充電。
- b. 電池模組放電溫度高於 70°C 時應停止放電。
- c. 電池模組的單位時間溫度變化  $dT/dt$  高於一定值時應停止充電。
- d. 電池模組的充電電壓達到 16V 時應停止充電。
- e. 各電池單體的充電電壓達到 1.6V 時應停止充電。

- f. 電池模組的放電電壓達到 8V 時應停止放電。
- g. 各電池單體的放電電壓達到 0.8V 時應停止放電。
- h. 電池模組充電的單位時間電壓變化  $dV/dt$  達到一定值時應停止充電。
- i. 各電池單體充電的單位時間電壓變化  $dV/dt$  達到一定值時應停止充電。
- j. 電池模組於電壓過低時、無負載電流時或手動設定時，皆可進入睡眠節電模式。
- k. 電池模組於外部電壓大於電池電壓時、有負載電流時或手動設定時，皆可叫醒電路進入保護模式。

以下，作者逐步對上述 a 至 k 項的功能需求，進行電路設計探討。為了顧及合作廠商的權益，電路圖中元件的型號及電阻的數值多數被抹除，作者為此先向讀者們致歉。

## 壹、溫度感測電路設計

圖 1 是作者設計的溫度感測電路，VMP 為 3.3V 的直流電壓源， $R_{87}$  為一負溫度係數的熱敏電阻，THMO 為單晶片微電腦的類比至數位輸入腳。利用圖 1 的正相放大器，在 THMO 端點得到的輸出電壓  $V_{THMO}$  如方程式(1)

$$V_{THMO} = \frac{R_{85} \cdot V_{VMP}}{R_{79} + R_{85}} \times \frac{R_{86} + R_{87}}{R_{87}} \quad (1)$$

由方程式(1)可知，適當的選取圖 1 中的元件值，可以得到相對應的溫度  $T$  與輸出電壓  $V_{THMO}$  的關係。

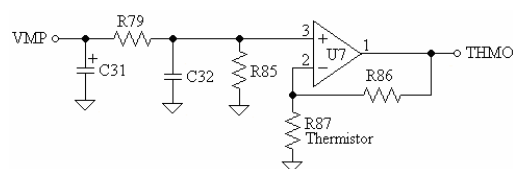


圖 1 溫度感測電路圖

雖然方程式(1)中， $V_{THMO}$  與  $R_{87}$  並非線性關

係，而事實上溫度  $T$  與  $R_{87}$  亦非線性關係，因此在單晶片微電腦中需建立  $V_{THMO}$  與溫度  $T$  的校正表，利用查表法來測得實際的溫度。藉此溫度測量電路，功能需求 a 至 c 項就可以被實現了。

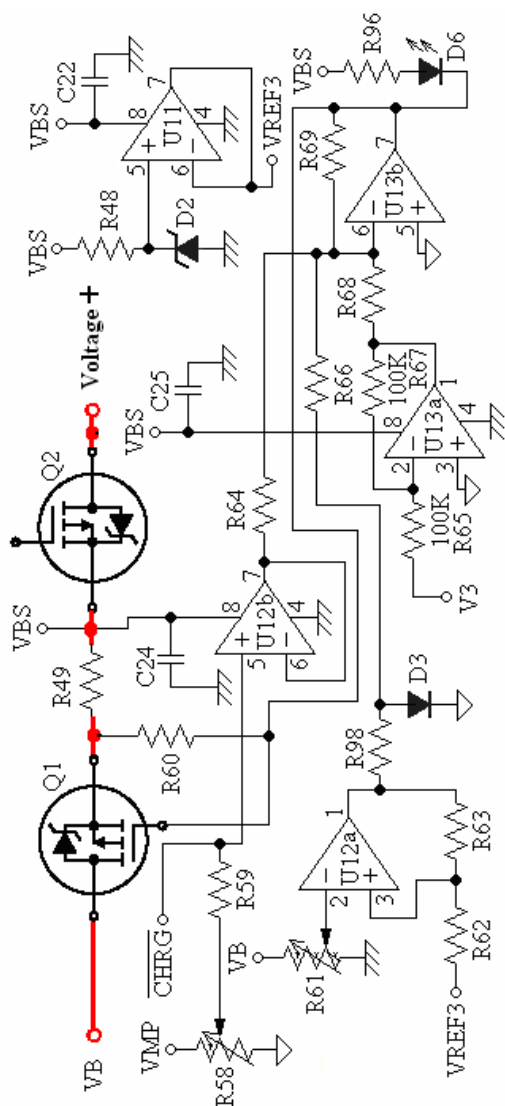


圖 2 充電過電壓保護電路圖

## 貳、充電過電壓保護電路設計

圖 2 是作者設計的充電過電壓保護電路，VB 是電池模組的正極， $\text{///}$  符號表示通往電池模組的負極， $\nabla$  符號表示電路系統的接地點，位置在 10 顆串聯電池的中央。Q1 是控制充電用的 MOSFET，利用單晶片微電腦的數位至類比輸出/CHRG，可達成定電流充電功能。

請參閱圖 2 電路， $R_{62}$ 、 $R_{63}$  與  $U_{12a}$  構成史密特觸發(Schmitt Trigger)電路， $V_{REF3}$  是一定值參考電壓(詳圖 2 中由  $R_{48}$ 、 $D_2$  與  $U_{11}$  構成的電路)。利用  $R_{61}$  電位計，當電池模組端電壓  $V_{VB}$  上升到 16V 時， $U_{12a}$  會輸出低電壓將  $Q_1$  關閉，達成功能需求 d 項的保護功能。 $R_{98}$  與  $D_3$  形成截波電路(Clumper)，在  $U_{12a}$  輸出高電壓時予以限制，避免  $U_{13b}$  輸出飽和，影響單晶片微電腦數位至類比輸出/CHRG 之定電流充電控制功能。

請參閱圖 2 電路， $R_{65}$ 、 $R_{67}$  與  $U_{13a}$  構成反相放大電路， $V_3$  是一定值參考電壓，使  $U_{13a}$  輸出一定值低電壓，以控制  $U_{13b}$  的直流輸出位準。 $U_{12b}$  是緩衝器，作為/CHRG 信號之緩衝； $R_{58}$  與  $R_{59}$  為測試用電路，在單晶片微電腦電路完成前，用來產生測試用的/CHRG 信號。 $R_{64}$ 、 $R_{66}$ 、 $R_{68}$ 、 $R_{69}$  與  $U_{13b}$  構成反相加法器， $U_{13b}$  的輸出用來控制  $Q_1$  的閘極，因  $Q_1$  為包含源極電阻( $R_{49}$  與  $Q_2$  導通電阻)的共源極組態，該組態的負回饋機制(Negative Feedback)使電路穩定，故可利用調整/CHRG 信號大小的方式，來控制充電電流的大小。

在電池模組端電壓未達到 16V 時， $Q_1$  的閘極電壓  $V_{G1}$  可計算如方程式(2)，其中  $V_{D3}$  是二極體  $D_3$  兩端的順偏電壓：

$$V_{G1} = -\left(\frac{V_{I/CHRG}}{R_{64}} + \frac{V_{D3}}{R_{66}} - \frac{V_3}{R_{68}}\right) \times R_{69} \quad (2)$$

由方程式(2)可知， $Q_1$  的閘極電壓  $V_{G1}$  與單晶片微電腦輸出之/CHRG 信號電壓  $V_{I/CHRG}$  成線性關係。當功能需求 a,c,d,e,h,i 項條件被達到時，單晶片微電腦輸出之/CHRG 信號電壓  $V_{I/CHRG}$  應降至最低，使  $Q_1$  關閉以達成鎳氫電池模組之充電保護。

## 參、放電欠電壓保護電路設計

圖 3 是作者設計的放電欠電壓保護電路，

其中的 VREF3 與圖 2 相同。請參閱圖 3 電路，  
R<sub>56</sub>、R<sub>57</sub> 與 U<sub>14</sub> 構成史密特觸發電路。利用 R<sub>53</sub>  
電位計，當電池模組端電壓 V<sub>VB</sub> 下降到 8V 時，  
U<sub>14</sub> 會輸出高電壓將 Q<sub>2</sub> 關閉，達成功能需求 f  
項的保護功能。當功能需求 b,f,g 項條件被達到  
時，單晶片微電腦之/DSCG 應輸出高電壓(此時  
Q<sub>3</sub> 及 Q<sub>4</sub> 導通)，使 Q<sub>2</sub> 關閉以達成鎳氫電池模組  
之放電保護。

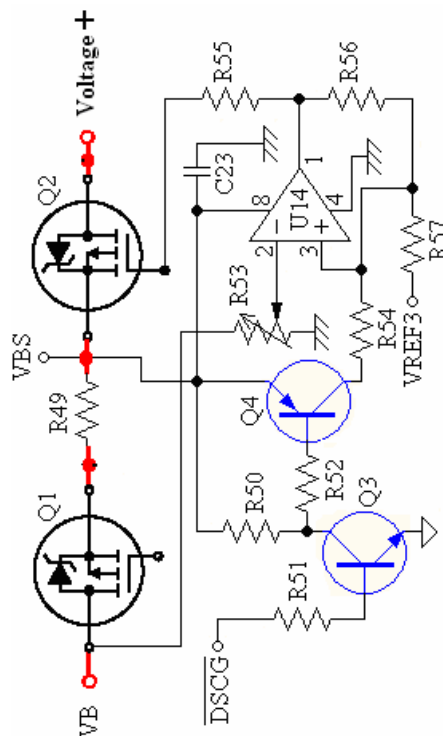
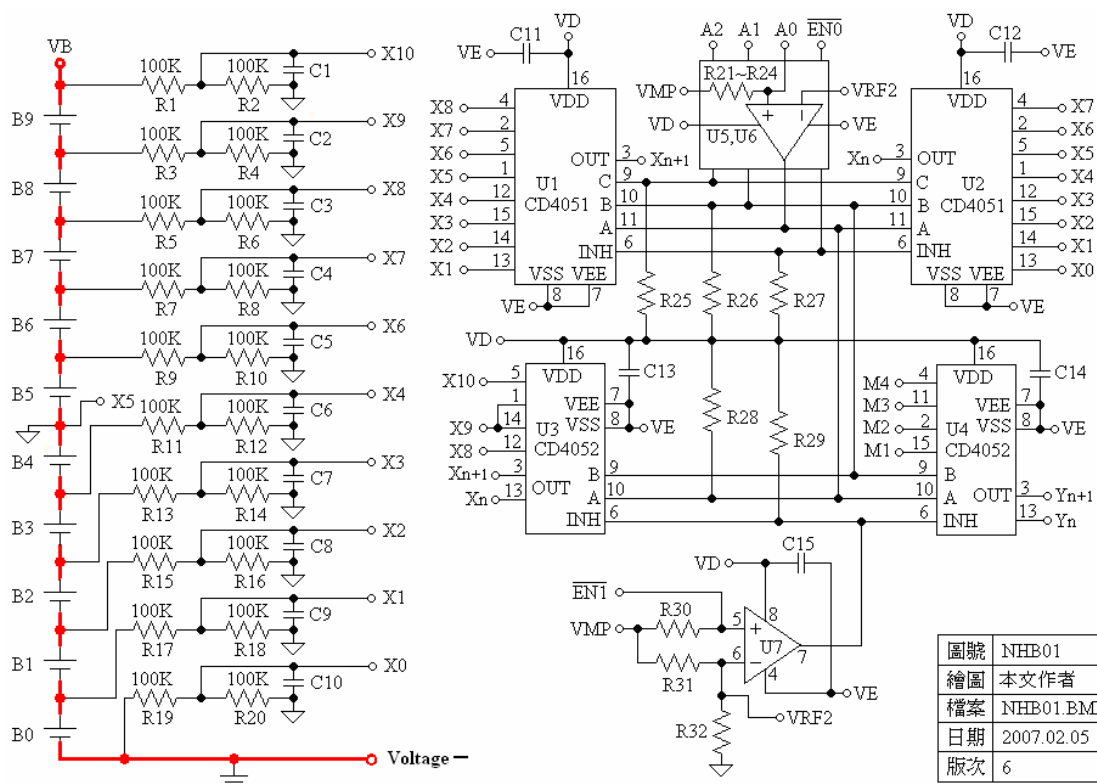


圖 3 放電欠電壓保護電路圖



圖號	NHB01
繪圖	本文作者
檔案	NHB01.BMP
日期	2007.02.05
版次	6

圖 4 單體電池電壓選擇電路圖

### 肆、單體電池電壓感測電路設計

圖 4 與圖 5 是作者設計的單體電池電壓感測電路，其中的 VD 與 VE 為睡眠節電電路所控制的正負電源(詳如第伍節內容)。圖 4 中的 B<sub>0</sub> 至 B<sub>9</sub> 是串聯的 10 顆鎳氫電池，電阻 R<sub>1</sub> 至 R<sub>20</sub> 為分壓電阻，分壓的目的在確保電壓範圍可使後續的線性放大電路能正常工作。U<sub>1</sub>、

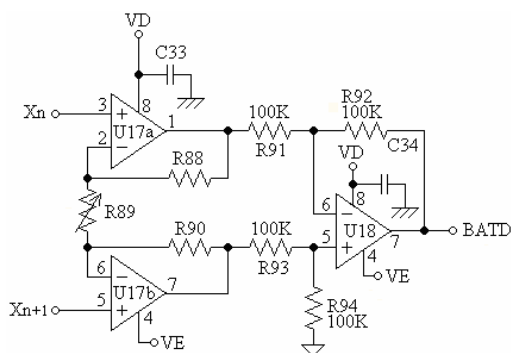


圖 5 儀表放大器

U<sub>2</sub>、U<sub>3</sub> 及 U<sub>4</sub> 是多工器，利用單晶片微電腦輸出

/EN0、/EN1、A<sub>0</sub>、A<sub>1</sub> 及 A<sub>2</sub>，可以選擇到所需測量單體電池的兩端 X<sub>n</sub> 及 X<sub>n+1</sub>。再利用圖 5 中的儀表放大器(Instrument Amplifier)，就可測得單體電池的端電壓了。

例如，我們想測得單體電池 B<sub>7</sub> 的端電壓 V<sub>B7</sub>，可令(/EN0、/EN1、A<sub>0</sub>、A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>) = (0、1、1、1、1)，其中的 0 表示低電壓，1 表示高電壓，則 V<sub>B7</sub> 與 U<sub>18</sub> 的輸出電壓 V<sub>BATD</sub> 關係如方程式(3)

$$V_{B7} = \frac{2V_{BATD} \times R_{89}}{R_{88} + R_{89} + R_{90}} \quad (3)$$

觀察方程式(3)可知，V<sub>B7</sub> 與 V<sub>BATD</sub> 為線性關係，而 BATT 為單晶片微電腦的類比至數位輸入腳，因此我們可以利用單晶片微電腦測得各單體電池的端電壓，且功能需求中的 d,e,f,g,h,i 項都可以被實現。

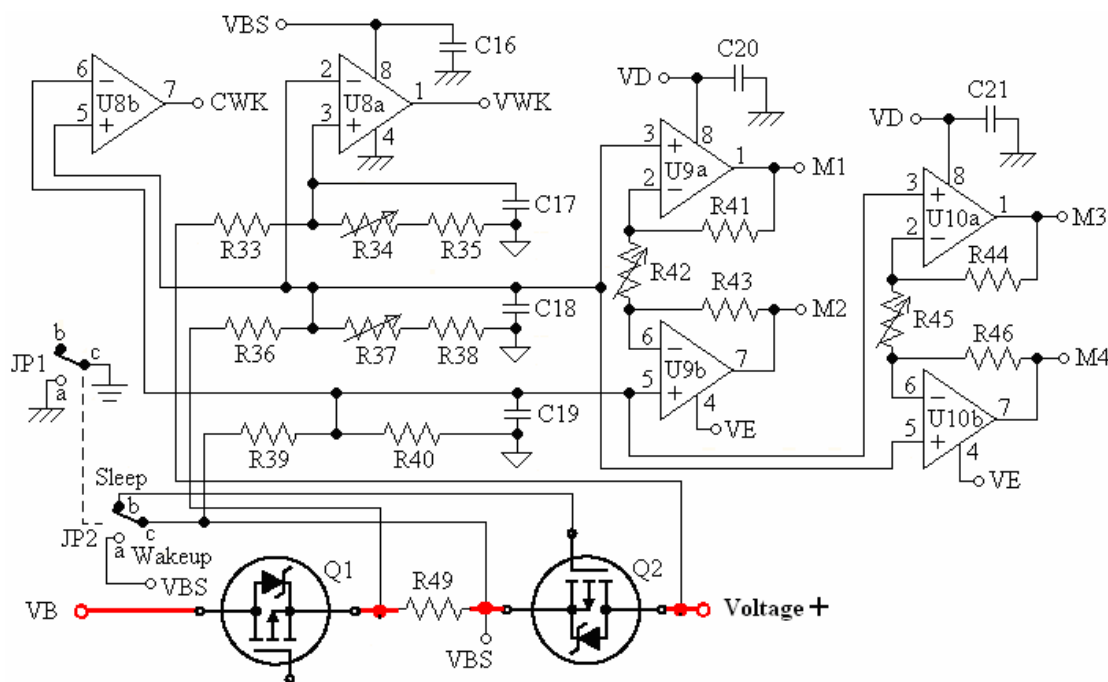


圖 6 充電或有載叫醒電路圖

### 伍、睡眠節電與叫醒電路設計

圖 6 是作者設計的充電或有載叫醒電路，R<sub>49</sub> 為感測電流的錳銅線電阻，若其上有負載電

流時，U<sub>8b</sub> 輸出端 CWK 會成為高電壓，促使圖 7 中的 Q<sub>7</sub> 導通，進而使 Q<sub>5</sub> 及 Q<sub>9</sub> 一併導通，令 VD 與 VE 提供電路電源。當無負載時，我們應

調整  $R_{37}$ ，使  $U_{8b}$  的反相輸入端電壓略大於非反相輸入端電壓，以令  $Q_5$  及  $Q_9$  截止，使電路進入睡眠節電模式。圖 7 中的 U16 在此電路中，扮演了比較器的功能。

若外部充電電源電壓大於電池電壓時，圖 6 中的  $U_{8a}$  輸出端 VWK 會成為高電壓，促使圖 7 中的  $Q_6$  導通，進而使  $Q_5$  及  $Q_9$  一併導通，令 VD 與 VE 提供電路電源。當無外部充電電源時，我們應調整  $R_{34}$ ，使  $U_{8a}$  的反相輸入端電壓略大於非反相輸入端電壓，以令  $Q_5$  及  $Q_9$  截止，使電路進入睡眠節電模式。

當單晶片微電腦下達停止充電或放電命令時， $R_{49}$  上不會有電流，為了避免電路進入睡眠模式，使單晶片微電腦的命令失效，我們應讓/DSCG 先輸出高電壓，促使  $Q_8$  導通，進而使  $Q_5$  及  $Q_9$  維持導通，令 VD 與 VE 繼續提供電路電源。

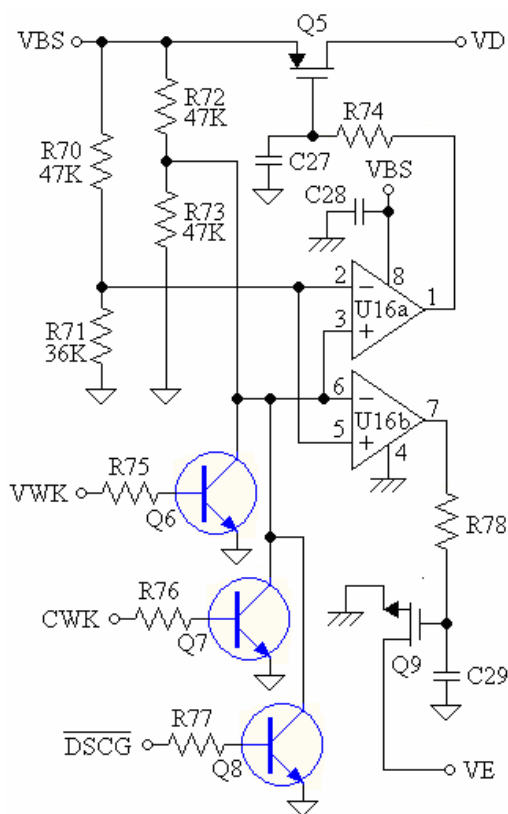


圖 7 無載節電電路圖

圖 6 中的 JP1 與 JP2 為連動開關，用來實

現手動設定睡眠及手動設定叫醒模式。經由上述說明，讀者應該已經看到功能需求中的 j,k 項都可以被實現。

圖 6 中還有一點是未包含在功能要求 a 至 k 項，而作者也已經完成的功能：放電與充電電流測量。圖 6 中的  $M_1$ 、 $M_2$  及  $M_3$ 、 $M_4$  信號被送往圖 4 中的  $U_4$ ， $U_4$  的輸出再送至圖 8 的差動放大器，經由單晶片微電腦類比至數位輸入端 LDC，我們就可測得充電或放電的電流，進一步可提供有關電流參數方面的保護動作。

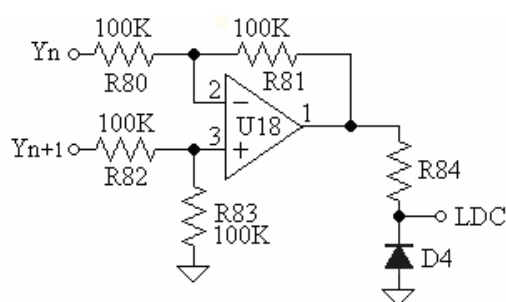


圖 8 差動放大器

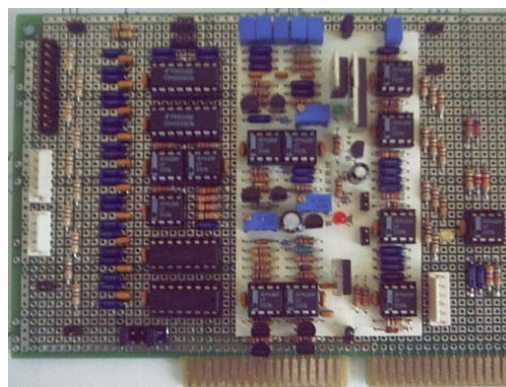


圖 9 原型電路成品照片

### 陸、結論

本論文所提出的單晶片微電腦控制充放電保護電路，是用來保護電動腳踏車用的鎳氫電池模組，該電池模組是利用 10 顆鎳氫電池單體串聯而成。保護電路具有睡眠節電設計，當電池模組充電或放電時，會自動叫醒單晶片微電腦，同時啟動充放電保護機制。保護機制包含每顆電池單體的過電壓、欠電壓對策，整個電



池模組的過電壓、欠電壓對策，充放電電流與溫度感測等。論文中所用到的史密特觸發 (Schmitt Trigger) 電路、儀表放大器及差動放大器等電路之學理，在一般的電子學教科書都可以找到[19]。

圖 9 是作者完成的原型電路成品，經過實驗室測試，已具備論文中所提 a 至 k 項所有的功能需求，研究成果得到合作廠商佳燁科技股份有限公司的肯定，電路已由該公司開始發包試做。未來還需要經過一段時間的測試，經過細部修正後，再考慮量產事宜。

### 柒、致謝

本文感謝行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 95-2622-E-231-017-CC3 及佳燁科技股份有限公司提供研究經費，特此致謝。

### 參考文獻

[1] H. A. Kiehne, "Battery Technology Handbook," Expert Verlag, Germany, 1989.

[2] J. P. Gun, J. N. Fiorina, M. Fraisse and H. Mabboux, "Increasing UPS battery life main failure modes, charging and monitoring solutions," *Telecommunications Energy Conference*, 1997.

[3] Z. M. Salameh, M. A. Casacca, and W. A. Lynch, "A mathematical model for lead-acid batteries", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 7, no. 1, 1992, pp. 93-98.

[4] O. Caumont, et. al., "Energy Gauge for Lead Acid Batteries in Electric Vehicles," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 15, Issue. 3, pp. 354-360, Sept. 2000.

[5] 孫清華編譯，"可充電電池技術大全"，全華科技圖書。

[6] T. Yanagihara and A. Kawamura, "Residual Capacity Estimation of Sealed Lead Acid Batteries for Electric Vehicles," *Power*

*Conversion Conference*, pp. 943-946, 1997.

[7] J. H. Aylor, A. Thieme and B. W. Johnson, "A battery state-of-charge indicator for electric wheelchairs", *IEEE Industrial Electronics*, vol. 39, 1992, pp. 398-409.

[8] G. E. M. D. C. Bandara, R. Ivanov, and S. Gishin, "Intelligent fuzzy controller for a lead-acid battery charger", *IEEE Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 6, 1999, pp.185-189.

[9] A.H. Anbuky and P.E. Pascoe, "VRLA Battery State-of-Charge Estimation in Telecommunication Power Systems", *IEEE Industrial Electronics*, vol. 47, 2000, pp. 565-573.

[10] J. A. Martin, Gonzalez, M. A. Perez, F. J. Ferrero and J. Diaz, "A microcontroller-based intelligent fast-charger for Ni-Cd and Ni-MH batteries in portable applications", *IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 3, 1998, pp. 1638-1643.

[11] T. Palanisamy and P. O. Box, "Charging techniques for a universal lead-acid battery charger", *Power Sources Symposium*, 1990, pp. 72-76.

[12] E.M. Valeriote, T.G. Chang and D.M. Jochim, "Fast charging of lead-acid batteries", *Battery Conference on Applications and Advances*, 1994, pp. 33-38.

[13] C.C. Hua and M.Y. Lin, "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles", *IEEE Industrial Electronics*, vol. 1, 2000, pp. 135-140.

[14] K. A. Buckle and J. W. Luce, "Battery vehicle charger design eliminates harmonic current generation", *Bringing Together Education, Science and Technology*, 1996, pp. 561-564.

- [15] S. Sato and A. Kawamura, "A new estimation method of state of charge using terminal voltage and internal resistance for lead acid battery", *Power Conversion Conference*, vol. 2, 2002, pp. 565-570.
- [16] A. Kaswamura and T. Yanagihara, "State of charge estimation of sealed lead-acid batteries used for electric vehicles", *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, vol. 1, 1998, pp. 583-587.
- [17] 張弘昇, "電池充電方法與殘量預估之研究", 國立彰化師範大學電機所碩士論文, 民國 93 年 6 月。
- [18] 李明駿, "鉛酸電池之快速充電技術研究", 國立中央大學電機所碩士論文, 民國 92 年 6 月。
- [19] M.H. Rashid, "Microelectronic Circuits: Analysis and Design", PWS Publishing Company, ISBN 0-534-95174-0, 1998.



## 技職院校「能源科技」課程中電力電子能力提升之研究

### A Study of Promotion Power Electronics Competence at the Energy Technology Course in University and Institute of Technology

鍾金明 莊浩威

清雲科技大學 電機工程系

[cmchung@cyu.edu.tw](mailto:cmchung@cyu.edu.tw)

[m9412018@cyu.edu.tw](mailto:m9412018@cyu.edu.tw)

#### 摘要

本研究旨在探討技職院校「能源科技」課程中電力電子能力提升之研究，為達成研究目的，本研究使用的研究工具包括：「前測量表」、「成就量表」與「學後滿意度調查表」等；本研究以清雲科技大學電機系共 59 人為研究對象，分為兩組，其中控制組 16 人、實驗組 43 人，實施為期 8 週的準實驗教學。透過文獻分析、專家訪談，建構「能源科技」課程中電力電子內涵，藉由能力內涵之確立，提升學生學習之成效。本研究於實驗教學前先對樣本進行前測，其目的主要在瞭解實施實驗教學前學生在專業基礎能力上的差異。實驗過程中，控制組採傳統教學方式處理，實驗組採用傳統教學方式與融入式教學策略進行實驗處理，教學八週後實施「能源科技」電力電子課程學習課程成就量表，實驗組則增加融入式教學策略的學後看法滿意度調查問卷。

本研究採用獨立樣本 t 考驗、單因子共變數分析及描述統計方法考驗研究假設。茲將本研究所獲得的結論敘述如下：

- 一、不同教學策略，於「能源科技」課程中電力電子能力前測上，均無顯著差異
- 二、不同教學策略，於「能源科技」課程中電力電子能力後測上，具有顯著差異，且融入式教學策略顯著優於傳統教學方式。
- 三、對於融入式教學策略的看法，經滿意度問卷調查結果顯示，融入式教學策略普遍受到學生的接受，實驗組學生認為融入式教學策略是值得學習的策略。

**關鍵字：**科技大學、能源科技、電力電子、融入式教學策略

## ABSTRACT

The study explores the power electronics promotion at the energy technology course in university and institute of technology university. The instruments of this study were consisted of Pretest Scale, Achievement Scale, The posttest included satisfaction questionnaires. This study by the Ching Yun university electrical department of students there were 59 subjects , divides into two groups , in which control group 16 subjects , experimental group 43 subjects , implements for the eight weeks of quasi-experiment teaching .Through exploring literature reviews and experts interview. We establish the content of power electronics at the energy technology course . In order to establish the content of ability , promote the learning efficiency of students. Before the experimental teaching. We proceed the pretest for the sample. The purpose realize the difference in professional basic ability for students , before carting out the experimental teaching . In the experimental process, the control group was taught through the traditional teaching strategy, and the experimental group was taught through the infused teaching. After eight weeks to carry out the power electronics in the energy technology course of achievement scale , experimental group add to the satisfaction. questionnaire of infused teaching strategy .

The study adopted in dependent t-test. One-way analysis of covariance (ANCOVA) were conducted to analyze the data. The major findings of this study were as follows.

- 1.The different teaching strategy in the course at pretest the power electronic in the energy technology no significant difference.
- 2.The different teaching strategy in the course, at posttest the power electronics in the energy technology, the was significant difference, and infused teaching strategy better than traditional teaching.
- 3.As regards the view of infused teaching strategy , after the satisfaction questionnaire, experimental groups's students on the generalized acceptance infused teaching strategy that is worthy of promoting the teaching strategy.

**Key Words:** Technology University, Energy Technology, Power Electronics, Infused Teaching Strategy

## 壹、緒論

### 一、研究背景與動機

隨著科技的進步及人口增加，人類每天生活必需依賴能源，它可以提高人類的生活品質以及帶來國家的經濟發展，代表能源已成為支持我國產業發展、維持人民生活福祉所不可或缺的重要投入產品。

1973 年爆發全球能源危機後，石油價格日漸上漲，生活於當今石油的依賴下，我們正面臨著石油能源日漸短缺以及所帶來的全球逐漸暖化、海平面水位上升等溫室效應問題，帶給環境無限的衝擊與變遷。為了避免全球逐漸暖化與溫室效應問題，1992 年 5 月 9 日，超過 155 個國家在紐約聯合國總部談判，通過「聯合國氣候變化綱要公約」(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)。並在同年 6 月的巴西里約舉行的地球高峰會議，會中有 155 個國家共同簽署「聯合國氣候變化綱要公約」，此條約於 1994 年 3 月 21 日正式生效，1997 年「聯合國氣候變化綱要公約」於日本京都召開第 3 次締約國大會 (COP3)，通過「京都議定書」，達成管制各國溫室氣體排放量的協議，並在歷經長達七年的爭議後，於 2005 年 2 月 16 日正式生效。

自「京都議定書」生效後，為了達到溫室氣體排放量的限制，現今絕大多數工業化國家已積極尋求以太陽能、風力、潮汐、生質能、地熱等再生能源代替化石能源，雖然我國並未被列入「京都議定書」締約會員國，但隨著我國經濟成長，化石燃料的大量使用更是造成溫室氣體排放量不斷增加的因素，加上我國百分之九十七的能源需依賴進口，因此開發較低污染的再生能源技術是目前符合永續發展的策略之一。

清華大學動力機械系楊鏡堂教授，在 2005 年能源會議裡說明，能源效率提升是世界公認的無悔策略，藉由能源科技研發，如太陽能、風力能、

生質能、燃料電池等的利用，可解決石化燃料不穩定的特性，提升使用效率，降低進口依賴，再生能源技術發展成為各先進國家投入大幅研發資源發展之重要課題(楊鏡堂，2005)。

因此，我國未來能源科技的研發策略，經由歷次全國能源相關會議中達成共識，除應滿足能源供需政策外，還應整合產、官、學、研各方面資源與人才，集中資源搶占有利先機，促進綠色能源產業發展，建立適合國內發展的利基能源產業(曲新生，2005)。

針對目前各界所討論的再生能源技術，如太陽能、風力能、燃料電池等，在能源轉換過程中需要用到電力電子技術，將能源有效率的提升，才能充分地發揮出能源使用性，因此，電力電子在能源科技中扮演著重要的角色。

綜合上述，本研究以科技大學「能源科技」課程中電力電子能力提昇之研究為基礎，編製「能源課程」教材，利用課程時間，進行能源教育課程傳統式教學方式與融入式教學方式之實驗研究，配合編製能源問卷，從教學中了解學生學習的效果，進而達到教學目標，以有效提昇科技大學學生在能源科技教育方面的內涵。

### 二、研究目的

基於上述研究背景與動機，本研究的目的如下：

- (一)確立能源科技電力電子能力內涵。
- (二)編製一套以電力電子為基礎「能源科技」教材。
- (三)發展以「能源科技」為主題的教學網站。
- (四)探討傳統式教學(講述式教學)與融入式教學(問題解決與數位學習式教學)對於學生學習成效之影響。
- (五)依研究結果提供相關教學機構作為參考。

### 三、研究範圍與限制

### (一)研究範圍

本研究以能源科技課程中的電力電子相關為主題，建構能源科技電力電子之課程發展，將發展的「能源科技」電力電子能力教材建置在傳統式教學(講述式教學)與融入式教學(問題解決與數位學習式教學)上，並以清雲科技大學電機系日間部四技四年乙班學生與進修部四技四年甲班學生為研究對象，且假設兩班之基本能力內涵皆相等。

### (二)研究限制

- 1.本研究基於原班級建制、時間及人力的限制，並無法將全部有關再生能源科技作為研究範圍，僅針對目前再生能源技術中，太陽能、風力、燃料電池發電系統的電力電子應用為主題。
- 2.本研究基於人力、經費、時間及環境設備的限制，無法對全國科技大學進行研究，故僅針對清雲科技大學學生進行為期八週的準實驗研究。

## 貳、文獻探討

### 一、能源科技相關理論

能源的原意是活動的意思，是指可以利用能量的物質，凡是能產生熱、動力、電力的都是能源。能源大至上可分為再生能源和非再生能源兩大類。再生能源指的是存在自然界，用完後可以不斷產生的一種循環性能源，例如太陽能、風能、水力能、海洋能、生質能、地熱能等；非再生能源指的是存在自然界，用完後就不能再用的一種消耗性能源，例如煤、石油、天然氣等(臺中高工綠色能源網，2006)。

近年來石油價格迅速飆漲，京都議定書的制定，可謂是人類為共同對抗氣候變遷而跨出一大步，使得能源議題自 1973 年石油危機後再度成為全球關注的焦點。台灣自有能源嚴重缺乏，進口能源依存度從 1985 年的 88.2 % 上升至 2005 年的 97.9 %，進口石油來源多集中於政治與軍事不穩定的中東地區，使油源供應的穩定性潛藏許多風險(經濟部能源局，2005)。

邁入二十一世紀的今天，人類生活在科技日新月異的時代，拜科技之賜，促進工業迅速發展，帶動經濟成長，科技是「人類為了滿足慾望及需求，將資源有系統性的處理，藉以控制物質環境的方法與過程」(王金沼，2003)，

科技不斷滿足人類生活需要，為人類解決問題、創造財富；科技是一種塑造抽象的經濟文化和社會價值的過程(Wetjen,W.B., 1993)，換句話說，一個國家經濟成長與科技發展息息相關。如今，科技的進步可謂一日千里，人類對科技更加依賴。

我國所訂的現行能源研發方向包括再生能源技術、節約能源技術、能源新利用技術等三大主軸，各主軸重點研發方向說明如下(曲新生，2005)：

- 1.再生能源技術：發展替代能源技術，推動較成熟技術及符合經濟效益者作為規劃方向；主要研發項目包括太陽能、風能、生質能源等。
- 2.節約能源技術：運用已建立核心技術，加速新產品、新技術及製程省能技術開發；加強業界合作，將研發成熟技術商品化、量產化生產並實地應用示範推廣；主要研發項目包括冷凍空調、LED 高效率照明、建築節能、節能技術推廣等。
- 3.能源新利用技術：開發更高效率及更具環保意識能源利用技術，並保護環境永續發展作為規劃方向；主要研發項目包括燃料電池等。

### 二、電力電子相關理論

二十一世紀是發展高科技、資訊化的時代，要有效的利用電力電子技術來控制電力與能源，達到高效率之能源轉換，電力電子係指利用半導體元件將電力、電子與控制結合，作功率變換與開關控制，以提高效率與節能的一項綜合技術。簡單的說，電力電子是由控制電源到負載間的功率轉換(張英彬、謝飛虎，2005)。

再生能源技術包括太陽熱能、太陽光電、風力、水力、生質能、燃料電池等，越來越受到世界各國的重視，由於自然界所產生的電力無法有

效的掌控電壓與能量大小，因此必需與電力電子技術結合，藉以達到能源有效轉換效率以及動態補償。本文以太陽能、風能、燃料電池發電技術需要用到電力電子部份來加以探討。

爲了有系統化學習電力電子，將圖 1 之電源轉換器依其輸入、輸出的形式來分類，各級間由一些電感與電容等儲能元件所區隔，因此瞬時輸入功率不一定等於順時輸出功率(江炫彰，1997)。

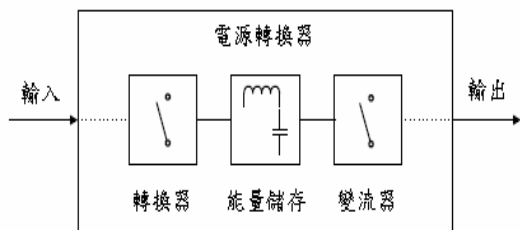


圖 1 電源轉換器構造

而太陽能、風能、燃料電池電源轉換器一般可分爲直流對直流轉換器(DC/DC Converter)與直流對交流變流器(DC/AC Inverter)，以下將分別詳述說明：

#### (一)直流對直流轉換器(DC/DC Converter)

一般常見的直流對直流轉換器(DC/DC Converter)種類眾多，有非隔離型的降壓式轉換器、升壓式轉換器、升/降壓式轉換器等三種與隔離型的順向式轉換器、推挽式轉換器電路、返馳式轉換器電路等三種，以下將分別詳述說明(梁適安，2004)：

##### 1.降壓式轉換器(Buck Converter)

降壓式轉換器(Buck Converter)電路架構如圖 2 所示， $V_s$  爲輸入電壓， $L$ 、 $C$  分別爲電感與電容，其作用在於傳送與儲存能量，亦可當作濾除交流雜訊波使用， $Q_1$  爲功率開關， $D$  爲開關二極體，藉由兩者交替導通與截止來決定能量的儲存與傳送之方向，以獲得小於輸入之電壓，達到降壓的目的，以下將說明動作原理：

當功率開關  $Q_1$  導通時，二極體  $D$  爲逆向偏壓，電感  $L$  上的電壓爲  $V_L=V_s-V_o$ ，因此  $i_L$  呈線性上升。當功率開關  $Q_1$  截止時，電感  $L$  上的電壓極性會相

反，二極體  $D$  爲順向偏壓， $L$  上的電壓爲  $V_L=-V_o$ ，因此  $i_L$  呈線性下降。

其輸入電壓與輸出電壓之關係式爲公式(1)所示：

$$D=V_s/V_o, D \leq 1 \quad (1)$$

因此，輸出電壓永遠不可能大於輸入電壓。

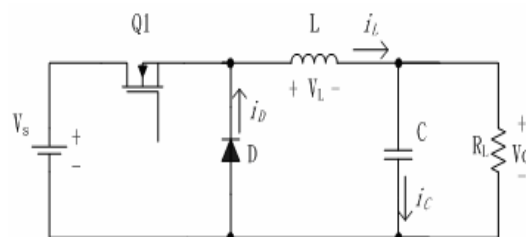


圖 2 降壓式轉換器電路圖

##### 2.升壓式轉換器(Boost Converter)

升壓式轉換器(Boost Converter)電路架構如圖 3 所示，其中  $V_s$  爲輸入電壓， $L$ 、 $C$  分別爲電感與電容，其作用在於傳送與儲存能量，亦可當作濾除交流雜訊波使用， $Q_1$  爲功率開關， $D$  爲開關二極體，藉由兩者交替導通與截止來決定能量的儲存與傳送之方向，就可得到比輸入高的電壓輸出，已達成升壓的目的，以下將說明動作原理：

假設電容  $C$  已充電，當功率開關  $Q_1$  導通時，電感  $L$  上的電壓爲  $V_L$  等於輸入電壓  $V_s$ ，輸入電壓  $V_s$  所輸入能量會儲存在電感  $L$  上，此時二極體  $D$  爲逆向偏壓，輸出負載能量改變，極性會變相反，此時電感  $L$  上的電壓爲  $V_L=-(V_s-V_o)$ ，二極體  $D$  爲順向偏壓，輸出負載能量由電感  $L$  來提供。

其輸入電壓與輸出電壓之關係式爲公式(2)所示：

$$1/1-D=V_o/V_s, D \leq 1 \quad (2)$$

因此，輸出電壓永遠不可能小於輸入電壓。

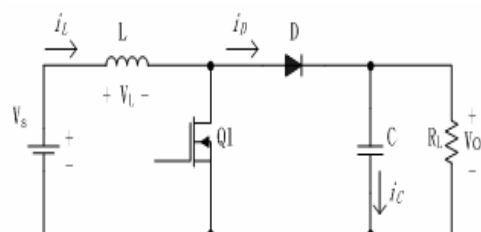




圖 3 升壓式轉換器電路圖

### 3.升/降壓式轉換器(Buck-Boost Converter)

升/降壓式轉換器電路架構如圖 4 所示，升/降壓式轉換器電路是將升壓轉換器與降壓轉換器串聯。此轉換器具有升壓與降壓的功能，至於是何種功能則是由功率開關導通的時間來決定以下將說明動作原理：

假設電容 C 已充電，當功率開關  $Q_1$  導通時，電感 L 上的電壓為  $V_L$  等於輸入電壓  $V_s$ ，輸入電壓  $V_s$  所輸入能量會儲存在電感 L 上，此時二極體 D 為逆向偏壓，輸出負載能量由輸出電容 C 來提供。當功率開關  $Q_1$  截止時，電感 L 上的電壓極性會相反，二極體 D 為順向偏壓，L 上的電壓為  $V_L = -V_o$

其輸入電壓對輸出電壓之關係式為公式(3)所示：

$$D / 1-D = V_o / V_s, D \leq 1 \quad (3)$$

因此，輸出電壓藉由適當的調整 D 值之大小，可得到升壓或降壓的功能。

由以上非隔離的電源轉換器可以衍生出具有隔離效果的電源轉換器。使用變壓器隔離可以避免雜訊經由共地而耦合到電路中影響電路的運作，同時也適合次級繞組多輸出的應用。

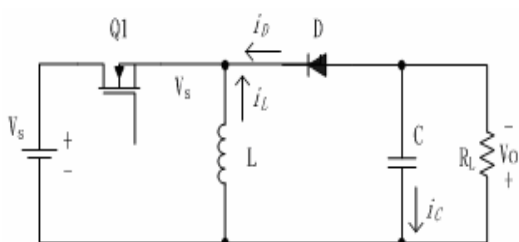


圖 4 升/降壓式轉換器電路圖

### 4.半橋式轉換器(Half-bridge Converter)

半橋式轉換器電路架構如圖 5 所示，適合用於高電壓輸入、低輸出功率，因為在高電壓下可藉由兩個 MOSFET 開關將輸入電壓分攤掉，讓每個 MOSFET 之耐壓減少一半，此外藉由

交替的切換兩個 MOSFET 來提高輸出功率。同樣的半橋式轉換器為降壓式轉換器電路的演變，因此其輸入電壓對輸出電壓之關係式為公式(4)所示：

$$D * (N_2 / N_1) = V_o / V_s, D \leq 1 \quad (4)$$

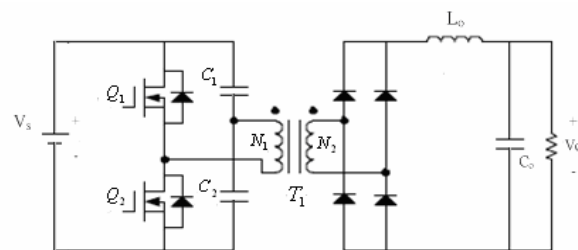


圖 5 半橋式轉換器電路圖

### 5.全橋式轉換器(Full-bridge Converter)

全橋式轉換器電路架構如圖 6 所示，適合用於高電壓輸入及高功率輸出，其為所有 DC/DC Converter 中輸出功率最大之架構，然而相對的元件數目最多成本也最高，一般應用在 1kW 以上之場合，同樣的全橋式轉換器為 Buck Converter 的衍生，因此其輸入電壓對輸出電壓之關係式為公式(5)所示：

$$2D * (N_2 / N_1) = V_o / V_s, D \leq 1 \quad (5)$$

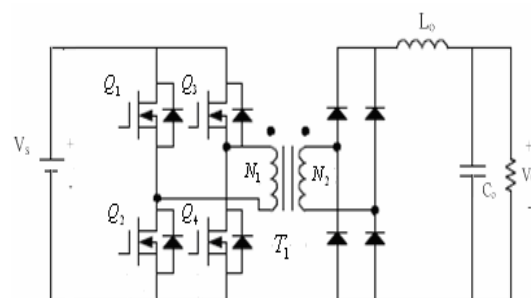


圖 6 全橋式轉換器電路圖

### 6.順向式轉換器(Forward Converter)

順向式轉換器(Forward Converter)電路架構如圖 7 所示，分別為功率開關  $Q_1$ ，變壓器  $T_1$ ，二極體  $D_1$ 、 $D_2$ ，輸出電感  $L_o$  與輸出電容  $C_o$  所組成。是由降壓式轉換器加上一個高頻變壓器所演變出來的隔離式轉換器，為了能做到有效的能量轉移，輸出端必須有電感器，作為二次側感應的能量儲

存元件，其動作原理分述如下：

當功率開關  $Q_1$  導通時，輸入電壓  $V_s$  會供應至初級繞組  $N_1$  上，此時次級繞組  $N_2$  與初級繞組  $N_1$  具有相同之極性，所以此能量就會轉移至次級繞組  $N_2$ ，並經由二極體  $D_1$  順向偏壓與輸出電感  $L_o$ ，傳送到負載端。當功率開關  $Q_1$  截止時，變壓器  $T_1$  上之繞組極性反轉，二極體  $D_1$  會變成逆向偏壓，二極體  $D_2$  則為順向偏壓，此時由  $L_o$ 、 $C_o$  所儲存之能量提供至負載端。

其輸入電壓與輸出電壓之關係式為公式(6)所示：

$$D \cdot (N_2 / N_1) = V_o / V_s, \quad D \leq 1 \quad (6)$$

一般輸入訊號若為交流電時，必須先將交流電壓整流為直流電壓，經電容  $C_o$  濾波後，可以獲得平滑之直流輸出電壓，即可做為順向式直流轉換器的電壓輸入訊號。

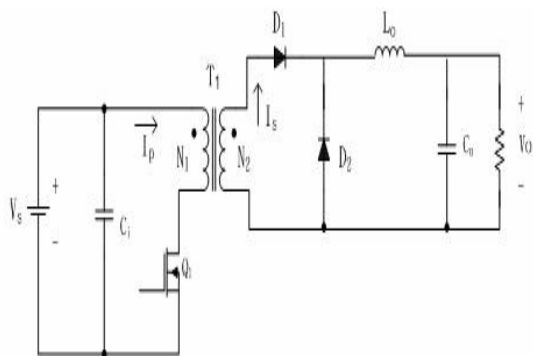


圖 7 順向式轉換器電路圖

### 7. 推挽式轉換器 (Push-Pull Converter)

推挽式轉換器 (Push-Pull Converter) 電路架構如圖 8 所示，此電路是由兩個順向式轉換器所組成，電路中的二個開關交互導通，在每一半週時，均會將能量從一次側傳送至負載，此外，推挽式轉換器電路二個開關之責任週期不能大於 0.5，以避免二個開關同時導通造成電源短路 (H. W.

Whittington, B. W. Flynn, and D. E.

Macpherson, 1997)。其動作原理分述如下：

當功率開關  $Q_1$  導通時，則一次側繞組  $N_{p1}$  就會有輸入端電壓  $V_s$  之電壓降產生，此時繞組之起始端會產生正電壓 (黑色圈圈標記之處)，二極體

$D_1$  會呈順向偏壓，電流則經由電感  $L_o$ ，流至輸出負載與輸出電容器  $C_o$  中，同時，能量則會儲存在電感  $L_o$  中。

當功率開關  $Q_2$  導通時，則變壓器繞組上會有電壓感應產生，此時二極體  $D_2$  會呈順向偏壓，電流經由電感  $L_o$  流至輸出負載與輸出電容器  $C_o$  中，能量會儲存在電感  $L_o$  中。

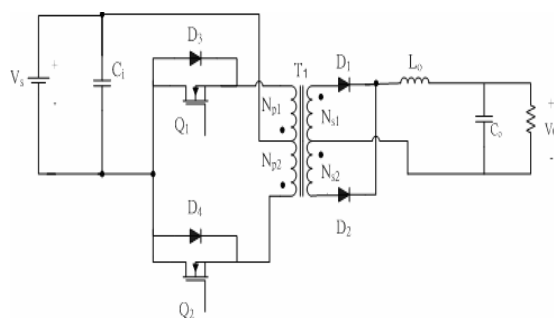


圖 8 推挽式轉換器電路圖

其輸入電壓與輸出電壓之關係式為公式(7)所示：

$$2D \cdot (N_2 / N_1) = V_o / V_s, \quad D \leq 1 \quad (7)$$

### 8. 返馳式轉換器 (Flyback Converter)

返馳式轉換器 (Flyback Converter) 電路架構如圖 9 所示，亦稱為振鈴扼流圈轉換器，是由昇降壓式轉換器演變而來，分別為功率開關  $Q_1$ 、變壓器  $T_1$ 、二極體  $D_1$ 、輸出電感  $L_o$  與輸出電容  $C_o$  所組成，其動作原理分述如下：

當功率開關  $Q_1$  導通時，變壓器  $T_1$  之初級繞組會有  $I_p$  電流流過，由於變壓器極性相反，因此，二極體  $D_1$  為逆向偏壓，輸出電容  $C_o$  會提供能量至輸出負載。

當功率開關  $Q_1$  截止時，變壓器  $T_1$  之初級繞組上  $I_p$  電流會降為零。當磁通密度往負的方向改變時，全部繞組上之電壓極性將會反轉，並使二極體  $D_1$  為順向偏壓，儲存在變壓器上之能量會經由  $D_1$  二極體，傳送至輸出電容器  $C_o$  與負載上。

其輸入電壓與輸出電壓之關係式為公式(8)所示：

$$D(1-D) \cdot (N_2 / N_1) = V_o / V_s, \quad D \leq 1 \quad (8)$$

由此可知，返馳式轉換器具有電路架構簡單與低成本之優點，所以經常被拿來用在系統於睡眠模式時所需的輔助電源來使用。

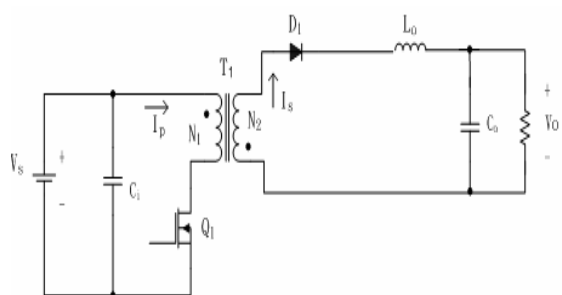


圖 9 返馳式轉換器電路圖

圖 10 單相半橋式變流器電路圖

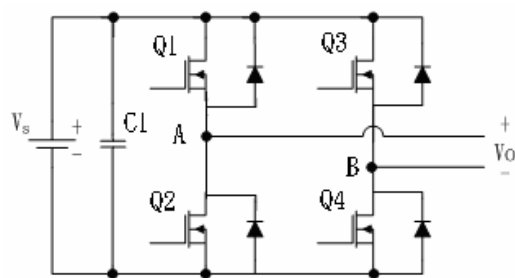


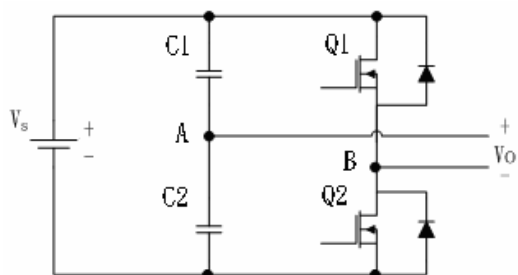
圖 11 單相全橋式變流器電路圖

### (二) 直流對交流變流器(DC/AC Inverter)

單相變流器橋式電路架構，一般可分為圖 10 的半橋式(Half-Bridge)和圖 11 的全橋式(Full-Bridge)兩種結構，是由功率開關、電容及二極體所組成，在相同的輸入電壓下，全橋式變流器的輸出電壓為半橋式變流器的兩倍，也就是在相同輸出功率下，全橋式變流器的輸出電流與開關電流僅為半橋式的一半，故通常在高功率的應用上一般均使用全橋式變流器。

全橋式變流器如圖 11 所示，由四個開關元件  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 、 $Q_4$  及四個二極體組合而成，其基本動作原理分述如下：

當  $Q_1$  和  $Q_4$  同時導通  $V_o = V_s$ ， $Q_2$ 、 $Q_3$  同時截止，負載電流方向是由電流流經  $Q_1$  和  $Q_4$  來決定；當  $Q_2$ 、 $Q_3$  同時導通  $V_o = -V_s$ ， $Q_1$  和  $Q_4$  同時截止，負載電流方向是由電流流經  $Q_2$ 、 $Q_3$  來決定，如此藉著控制開關元件的導通，我們將直流電轉換成交流電輸出。



### 三、建構能源科技電力電子之課程架構及發展策略

#### 略

課程一詞，眾說紛紜，至今無一公認的標準，在西方教育史上，斯賓塞(H.Spencer)首先提出了課程這一術語。該詞源於拉丁語「currere」，原意是跑道(recourse)，規定賽馬者的行程，運用在學校的課程，即教學的內容和計劃(the course to be run) (Todd, E. A.,2001)。

早期的課程係建立在教師用某種教學方法，將教學的內容傳授給學生，如圖 12 所示。

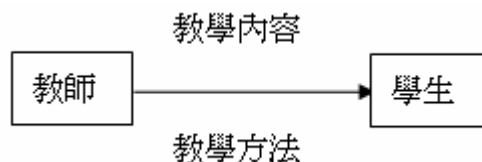


圖 12 傳統課程概念

近來西方學者逐漸強調課程應建立課程理論之上，注重教學內容的選擇、教材的安排，如圖 13 所示。

早期的學者將課程視為一組教學目標，課程發展是根據目標設計學習的藍圖。課程設計是透過需求評估，發現適當目的並化為目標，選擇適當教材與學習活動、組織，達成教育目的(歐用生，1996)。

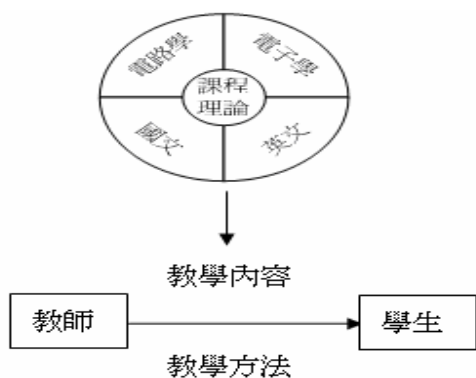


圖 13 當前課程概念

課程發展理論，如圖 14 所示，首先目標確認，這些目標是依學習者的需要、社會生活需要、且經過學科專家們的意見來擬定，再根據選擇目標的教育經驗，加以統整組織，最後設計評量工具，將融入式教學應用在科技大學「能源科技」電力電子上，探討融入式教學在學生電力電子上是否有提昇。

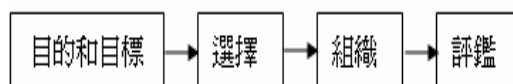


圖 14 泰勒(Tyler)模式

本研究課程發展模式採用泰勒(Tyler)的直線

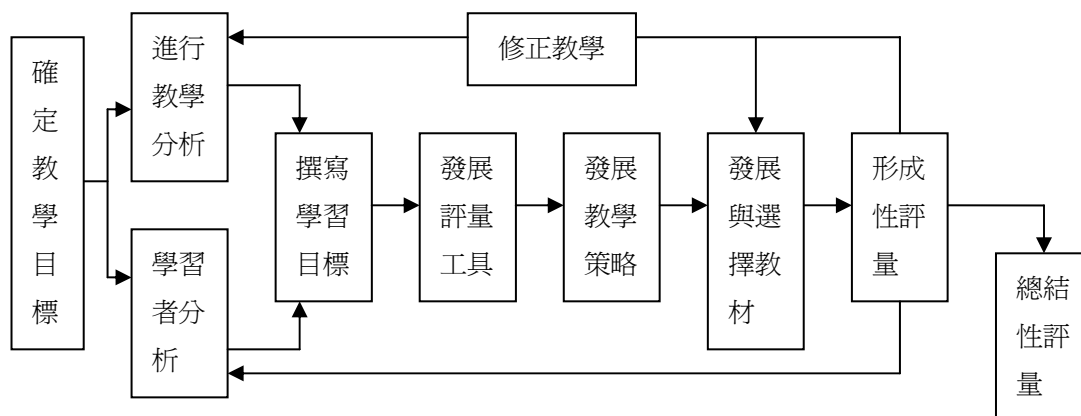


圖 15 Dick 與 Carey model 教學設計模式

本研究課程架構以 Dick 與 Carey model (1996) 系統化教學設計模式，做為能源科技

總結性評量是對整體教學設計做最終的評估，亦即在教學活動後透過質化或量化的分析，來了解學習目標達成的情形。

課程教學系統設計的參考依據。如圖 15 所示。

首先透過目標的確立，才能決定教材的內容設計，並依據教學的目標，進行教學內容認知、技能、情意的分類，以確定學習目標的學習方向，進一步了解學習者的特性，來設計適當的學習活動，作為課程設計與發展學習教材的基礎。

在發展多媒體教材時，應考慮教學的課程內容、普及性、成本效益、使用者難度、學習者認知程度與基本媒體素養，而再依據教學目標與同時配合適當的教學策略，並根據學習者特性，來決定使用符合經濟效益的媒體或教材。

## 參、研究方法

### 一、研究架構

依據本研究之研究目的與相關文獻探討，提出本研究的理論架構，如圖 16 所示。

由圖中可知，科技大學之學生在能源科技課程中對於電力電子能力之提昇可能因教學策略的不同而有差異，或者是由於學生專業基礎能力、教師能力、教材性質等因素而對學習成效產生直接或間接的影響。

針對本研究之研究架構，將有關變項說明如下：

(一) 控制變項

控制變項是實驗處理上為避免影響實驗結果而必須加以控制的變項。

1. 學生專業基礎能力：指四技學生專業基礎「電路學、能源概論、電子學」。經統計分析，瞭解兩組學生的起點行為或開始學習的程度是否顯著差異。
2. 教師教學能力：指該教師擔任「能源科技課程之教學能力，包含專業知識及教學經驗、方法，因此由實驗過程來加以控制。
3. 教材及評量：指「能源科技」課程教材內容及評量工具。

(二) 自變項

教學策略：本研究旨在探討不同教學策略對科技大學電機系學生「能源科技」課程學習成效之影響。採用準實驗研究法，研究樣本分為實驗組與控制組進行教學。

- (1) 控制組：採用一般傳統之講述教學，配合電腦輔助教材講解與分析學習單元。
- (2) 實驗組：除以與控制組相同講述教學外，還另外加上問題解決教學法與數位學習法進行教學。

(三) 依變項：主要探討實驗組與控制組學生在

「能源科技」課程學習成就的差異情形。

二、研究對象

本研究以清雲科技大學電機系學生為對象，於民國九十五年十月二日開始分組進行教學實驗。其中電機四技四乙（日間部）43 人為實驗組，於「能源科技」課程中，採融入式教學法；電機四技四甲（進修部）16 人為控制組，於「能源科技」課程中，採傳統式教學法，來進行為期八週二十四小時的準實驗教學。

三、研究工具

本研究使用之研究工具包含：「能源科技」電力電子能力前測量表、「能源科技」電力電子能力學習成就學科量表、「能源科技」課程中電力電子能力滿意度調查問卷。茲將其分別詳述如下：

(一) 「能源科技」電力電子能力前測量表

編製前測量表內容包含能源概論，太陽能發電、風力發電、燃料電池及電力電子之基本概念。以確立控制組與實驗組在學習「能源科技」課程之前，能源概念之基礎能力是否達到

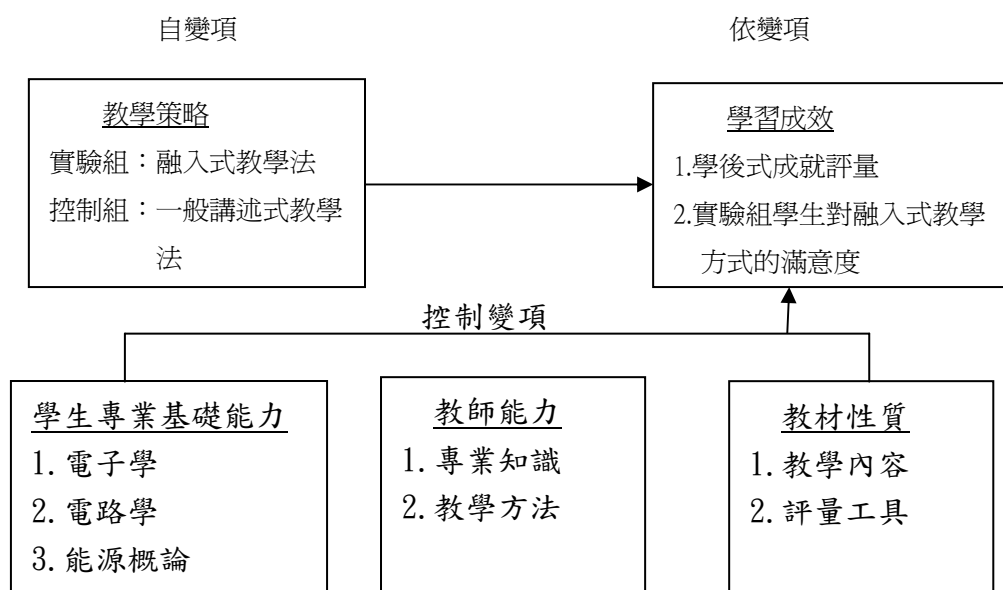


圖 16 研究架構圖

顯著差異。依據欲測之教材內容及教育目標，並參酌專家學者意見，編製「能源科技」課程之前測量表 30 題，經過試題分析後，以試題難度指數 (item difficulty) 以接近 0.5 之試題最佳(郭生玉，1995)。依據各題之難度與鑑別力，經考量各因素後，歸納刪除 5 題難度與鑑別力較差之試題，其餘 25 題為「能源科技」電力電子能力課程之前測正式量表。

### 1.信度分析

本量表之信度是採用 Kuder-Richardson 20(KR-20) 求「能源科技」課程之前測量表之內部一致性。經由統計分析之結果，本量表之 KR-20 係數之值為 0.541。

### (二)「能源科技」電力電子能力學習成就學科量表

本量表是根據研究目的編製而成，以測量受試學生於實驗教學後，其「能源科技」課程的學習成就量表。

本量表是依據相關文獻，學者專家與經濟部能源局之整合教材內容與教學目標建構而成。本量表包含：太陽能、風力、燃料電池與電力電子等部分，為確保樣本試題足以具有代表性，預試成就量表題數為 60 題，經由專家學者審核後定稿，並編製雙向細目表，如表 1 所示。依據各題之難度與鑑別力，經考量各因素後，歸納刪除 20 題難度與鑑別力較差之試題，其餘 40 題成為「能源科技」電力電子能力學習成就正式量表。

### 1. 信度分析

本量表之信度是採用 Kuder-Richardson 20(KR-20) 求「能源科技」課程之前測量表之內部一致性。

表 1 「能源科技」課程成就量表試題雙向細目表

教學目標 教材內容		知識	理解	應用	合計
		題數			
太陽能		6	7	2	15

風力能	6	4	5	15
燃料電池	5	8	2	15
電力電子	7	4	4	15
合計題數	24	23	13	60
百分比	40%	38%	22%	100%

經由統計分析之結果，本量表之 KR-20 係數之值為 0.861，具有信度考驗。

### 2.效度分析

本量表編製是經由文獻探討，發展研究架構，以瞭解科技大學學生對於「能源科技」課程之學習成效，並透過專家學者諮詢討論。迭經嚴謹修飾與增潤，方將量表編製完成。因此本量表具有內容效度。

### (三)實驗組學生對「融入式」教學策略的學後看法問卷。

本問卷主要在瞭解實驗組學生對「融入式」教學策略的學後看法。題目初稿完成後，經由專家學者提出修正意見後完成。

## 肆、資料分析

本研究採用 SPSS 10.0 作為資料分析的工具軟體，本章針對正式參加實驗的受測者，所得的基本資料與各變數進行統計上的分析，採用獨立樣本 t 考驗、單因子共變數分析(ANCOVA)，並藉此檢定研究的假設是否成立。

### 一、樣本基本資料分析

本研究樣本以清雲科技大學電機系學生共 59 人為研究對象。其中電機四技四乙(日間部) 43 人為實驗組，佔總參與實驗人數的 73%，於「能源科技」課程中，採融入式教學法；電機四技四甲(進修部) 16 人為控制組，佔總參與實驗人數的 27%，於「能源科技」課程中，採一般講述教學法，如表 2 所示。

表 2 實驗教學組別人數分佈表

組別	參與人數	百分比
實驗組	43	73%
控制組	16	27%
合計	59	100%

### 一、不同教學策略在專業基礎能力之差異性分析

表 3 為各組學生在專業基礎能力（前測）量表中所得的描述性資料。資料顯示  $t = -.723$ ， $p = .141 > .05$ ，未達顯著水準，即二組學生接受專業基礎能力測驗的平均數未達顯著差異水準；換言之，二組學生接受專業基礎能力（前測）量表之  $t$  檢定分析後，並無顯著差異，表示兩組學生未接受實驗前基本專業能力上無差異存在。

表 3 不同教學策略在專業基礎能力（前測）量表之  $t$  檢定分析表

組別	人數	平均數	標準差	t 值	p 值
實驗組	43	70.93	9.590	-.723	.141
控制組	16	72.81	6.575		

\*  $p < .05$

### 三、專業基礎能力(前測)為影響之共變數，對學習成就測驗(後測)之差異性分析

不同教學策略分組之學生，以「專業基礎力量表」分數為影響共變項因素，在「能源科技」課程中電力電子成就學科量表(後測)之差異性分析。

由表 4 組內迴歸係數同質性考驗結果  $F$  值=.142； $p=.707 > .05$ ，未達顯著水準。符合組內迴歸係數同質性之基本假設，即可進行共變數分析（ANCOVA）分析。

表 4 二種教學法在學科後測之迴歸係數同質性考驗摘要表

變異來源	SS	DF	MS	F	p 值
組間(迴歸)	13.476	1	13.476	.142	.707

係數)

組內(誤差) 5204.876 55 94.63

\*  $p < .05$

由表 5 顯示出共變數分析的結果可知，在剔除「專業基礎力量表分數之影響」之共變量後，二種教學法在學科後測表現上之結果達顯著差異( $F$  值=14.082； $p=.000<.05$ )，由此可知，實驗組學習成效優於控制組。

表 5 二種教學法在學科後測之共變數分析摘要表

變異來源	SS	DF	MS	F 值	p 值
組間(組別)	1312.26	1	1312.26	14.082	.000
組內(誤差)	5218.35	56	93.18		

\* $p < .05$

### 四、電力電子對不同教學策略在學習成就測驗(後測)之差異性分析

表 6 為各組學生在學習成就測驗(後測)量表中所得的描述性資料。不同教學法在學科後測電力電子能力表現上之結果達顯著差異( $t=4.431$ ， $p=.033 < .05$ )，即二組學生接受學科後測電力電子能力表現上之結果可知，實驗組學習成效優於控制組。

表 6 不同教學策略在學科後測電力電子之  $t$  檢定分析表

組別	人數	平均數	標準差	t 值	p 值
實驗組	43	13.1395	5.03243	4.431	.033
控制組	16	7.1875	3.01040		

\*  $p < .05$

### 五、學生對融入式教學之滿意度分析

本研究「能源科技」課程採用融入式教學後滿意度調查問卷，如附錄六所示，主要在瞭解實驗組學生在「能源科技」課程中電力電子能力的看法與感受。根據文獻探討及專家意見將此問卷

分成認知、技能、情意等三個向度，李克特氏五點量表方式製成，選項為「非常同意」、「同意」、「沒意見」、「不同意」、「非常不同意」五個選項，五等量尺計分，以 5，4，3，2，1 分別表示融入式教學後的滿意程度，得分越高表示學習滿意程

度越高，其分析結果如表 7 所示，各題的平均數均在 3.5 以上，作 t 檢定時，全都達顯著水準，即表示實驗組學生對於融入式教學都給予正向評價。

表 7 融入式教學後滿意度問卷之 t 檢定分析表

題數	人數	平均數	標準差	t 值	p 值
1.我覺得這門課程很有意義	43	4.02	0.707	37.731	.000
2.我覺得此課程的教材內容豐富	43	3.98	0.672	38.795	.000
3.我已經了解這門課程的基本概念	43	3.91	0.610	42.000	.000
4.我會在課後複習老師所教的課程	43	3.72	0.734	33.225	.000
5.我對此課程的教學方式感到滿意	43	3.91	0.718	35.702	.000
6.我會在上課做筆記	43	3.58	0.852	27.575	.000
7.上這門課程時，我會專心聽講	43	3.67	0.644	37.390	.000
8.我會常上「能源科技」的教學網站	43	3.58	0.879	26.712	.000
9.對於「能源科技」教學網站的測驗題目難易度適中	43	3.93	0.884	29.168	.000
10.透過「能源科技」教學網站來學習此課程，讓我覺得有興趣	43	3.67	0.892	27.002	.000
11.透過「能源科技」教學網站來學習此課程，讓我覺有很大的收穫	43	3.84	0.843	29.842	.000
整體	43	3.8	0.806	45.691	.000

\*  $p < .05$

## 伍、結論與建議

本研究旨在探討科技大學「能源科技」課程中電力電子能力提升之研究為達研究目的，本研究透過文獻分析、專家訪談，建構「能源科技」課程中電力電子內涵，編製成就量表。使用的研究工具以專業基礎能力量表、「能源科技」電力電子課程學習成就量表、實驗組學生對於融入式教學策略的學後看法滿意度調查問卷等，以瞭解實施不同教學模式對科技大學學生於「能源科技」課程中電力電子能力提昇之學習成效。本研究於實驗教學前先對全體進行前測，其目的主要在瞭解實施實驗教學前學生在專業基礎能力上的差異。實驗過程中，控制組採傳統教學方式處理，實驗組採用融入式教學策略進行實驗處理，教學

八週後實施「能源科技」電力電子課程學習課程成就量表，實驗組則增加融入式教學策略的學後看法滿意度調查問卷。經過前述有關的文獻探討、研究設計與實施、資料分析之後，本章在綜述主要研究發現，並提出結論與建議。

### 一、研究發現

(一)根據實驗組學生在「融入式教學」後，透過問卷調查的結果，有超過八成接受「融入式教學」的學生，認為「融入式教學」，能增加學習能力，促進學習內容的瞭解，也能增進其自身電腦素養。

(二)本研究建立能源科技內涵，包括太陽能、風力、燃料電池，其發電過程需要用到電力電子技術，因此電力電子技術扮演著重要的角色。



- (三)實驗組學生對融入式教學(問題解決與數位學習),都給予正向評價,都認為可以有系統幫助學生解決「能源科技」課程的認知與瞭解。
- (四)實驗組學生必須花費時間在問題解決的學習上,學生反應在教學過程中,可以提昇創造與思索的能力。
- (五)使用融入式教學,可以突破時間與時空限制,讓學生可以無時無刻有自主性學習。

## 二、結論

本研究經「能源科技」電力電子課程之教材發展、教學網站的建置以及八週「能源科技」電力電子課程的實驗教學及觀察,歸納出以下之結論。

### (一)採以「融入式教學」方式學生,在「能源科技」課程學習成效上,優於「傳統式教學」方式

學生在排除前測成績的影響後,實驗組與控制組學生接受「融入式教學」與「傳統講述式教學」兩種不同的教學法之後,在「能源科技」課程後測總分上有顯著差異。接受「融入式教學」的學生,在學科後測的平均成績上優於接受「傳統講述式教學」的學生。

### (二)不同教學策略在專業基礎能力差異性比較分析,在前測上均沒有顯著差異

由表 4、表 5 可知,實驗組與控制組學生在不同教學策略前之專業基礎能力前測上均無顯著差異,表示接受「融入式教學」的學生與接受「傳統講述式教學」的學生在專業基礎能力一樣。

### (三)不同教學策略在電力電子能力差異性比較分析,在後測上「融入式教學」優於「傳統式教學」

由表 7 可知,接受「融入式教學」的學生,在後測電力電子能力的平均成績上優於接受「傳統講述式教學」的學生。

### (四)實驗組學生透過滿意度調查,對於「融入式教學」接受度高

實驗組學生在接受「融入式教學」方式後,

透過滿意度問卷調查得知,所得到的滿意度極高,表示大部份學生對於「融入式教學」的正面肯定,有助於學生的學習。

## 三、建議

本研究經「能源科技」電力電子課程之教材發展、教學網站的建置以及八週「能源科技」電力電子課程的實驗教學及觀察,分別對教學應用與未來研究者提出建議。

### (一)對教學應用上的建議

- 1.隨著溫室氣體排放增加,全球不斷暖化,落實能源教育是當前不可遲緩的計畫,未來建議各校應開設許多有關「能源科技」一系列課程,提昇學生對「能源科技」的認知與素養。
- 2.電腦多媒體輔助教學的特性,畫面的活潑性和內容更能吸引學生的注意力,藉由電腦的互動與回饋讓學生從中提升學習的動機,因而學習成效更良好。
- 3.本研究之教材以文字說明為主,圖片為輔。研究者認為加入音效或將教學過程錄製成影片檔,使教材內容更加生動、活潑。
- 4.教師應積極參與進修活動,充實自我能力,提昇教學成效,增進授課技巧,提高教學品質。
- 5.在科技發展快速的時代,教師應藉由電腦網路,編製生動、活潑教材,打破「傳統講述式教學」只在課堂上所吸收到的知識,落實個別化、多元化教學,以達良好的學習成效。

### (二)對未來研究上的建議

#### 1.增加樣本數

本研究僅以清雲科技大學電機系日間部四技四年乙班學生與進修部四技四年甲班共 59 名學生為樣本,分二組進行實驗教學,在統計分析上無法推估全國科技大學學生學習「能源科技」課程中電力電子之成效,因此,建議後續研究者可增加樣本數,並針對不同年齡學生進行分析與比較,以期研究結果更為準確。

#### 2.增長實驗教學時間

本研究教學實驗過程時間緊湊，無法呈現良好效果，建議延長實驗教學時間，以提昇學生對「能源科技」的認知與增加實驗的準確性。

### 3.增加其它變項探討

本研究僅以獨立樣本 t 檢定、單因子共變數分析之研究設計，對於不同教學策略、不同課程等未能進一步探討，建議後續研究者可以加入相關變項或採多因子的實驗設計做深入探討。

## 參考文獻

### 中文部份

- [1]王金沼(2003)，「南部地區國小自然與生活科技領域教師科技素養之研究」。國立台南大學自然科學教育學系自然科學碩士班論文，台南。
- [2]臺中高工綠色能源網(2006)，  
<http://ge.tcivis.tc.edu.tw/>
- [3]江炫樟(1997)，電力電子學，全華書局，台北。
- [4]李大偉、王昭明(1989)，技職教育課程發展理論與實務。師大書苑。
- [5]梁適安(2004)，交換式電源供給器之理論與實務設計，全華科技書局，台北。
- [6]經濟部能源局(2006)，中華民國 94 年臺灣能源統計手冊。
- [7]張英彬、謝飛虎(2005)，電力電子學。高立圖書有限公司，台北。
- [8]歐用生(1996)，課程與教學革新，台北。
- [9]綠色能源發展與提高能源使用效率(2005)，楊鏡堂，全國能源會議。
- [10]綠色能源發展與提高能源使用效率(2005)，曲新生，全國能源會議。
- [11]郭生玉(1995)，心理與教育測驗，精華書局，台北。

### 英文部份

- [12]Dick, W., and Carey, L. (1996). The systematic design of instruction (4thed.). New York: Harper Collins College Publishers.

- [13] Todd, E. A(2001)., A Curriculum Definition and Approach.Retrieved August 16, 2002 from the World Wide.
- [14] Wetjen,W.B(1993). “Entropy and technology learning : A cognitive approach.” ,The Journal of Technology Studies19 (2),29-40. from the Philippines andWest Germany.



## 以無乘法器之 FPGA 來實現梳型濾波器

### The Realization of modified comb filter by using Multiplierless FPGAs

郭孟鑫<sup>1</sup> 曹語璇<sup>2</sup> 饒國安<sup>3</sup>

清雲科技大學 電機工程系

[M9412025@cyu.edu.tw](mailto:M9412025@cyu.edu.tw)<sup>1</sup>

[M9512008@cyu.edu.tw](mailto:M9512008@cyu.edu.tw)<sup>2</sup>

[goanrau@cyu.edu.tw](mailto:goanrau@cyu.edu.tw)<sup>3</sup>

#### 摘要

數位濾波器是數位信號處理之一大應用，而現場可規劃閘陣列(FPGA)已成為 ASIC 設計的一種新趨勢，本論文中提供一個無需乘法器之快速又有效的 DSP 演算法並使用時勢所趨之硬體設計方式（VHDL /FPGA）來實現以下的濾波器，其包含：2 階移動平均低通濾波器、2 階移動平均高通濾波器、梳型濾波器、修飾梳型濾波器。

**關鍵字：**現場可程式邏輯閘陣列，梳型濾波器，大量的位移，修飾梳型濾波器、有限長度脈衝響應濾波器、無限長度脈衝響應濾波器。

## **Abstract**

An efficient and inexpensive technique for implementing linear-phase filters that use a comb pattern that do not contain a multiplication unit is presented . The multiplierless Xilinx Spartan field programmable gate arrays (FPGAs) are used to implement the filtering algorithms . A barrel shifter and pipeline adder are constructed to accelerate the processing speed . This FPGA-based approach is superior to the traditional method of using programmable digital signal processor (PDSP) .

**Keywords:** Field programmable gate array(FPGA), comb filter, barrel shifter, pipeline adder, modified comb filter, Finite Impulse Response (FIR), Infinite Impulse Response (IIR) .

## 一、前言

在數位信號處理技術發展的初期，人們只是在通用數位計算機上進行演算法的研究和處理系統的模擬。儘管人們已經認識到數位系統的優越性，並將其應用在處理信號的實際系統之中，但由受到速度、成本和體積的限制，使數位信號處理系統還只是美好的期望。快速傅立葉轉換方法的提出和積體電路技術的發展，使得用硬體來實現各種數位濾波器和 FFT 有極大的改善，從而導致了近二十年來 DSP 的技術與元件極為迅速的發展。自從 40 年代第一臺數位式電子算機問世以來，計算機科學與技術飛速的發展。尤其是微處理器與微電腦的出現和迅速推廣應用，為科學技術的發展、國民經濟、人民生活乃至觀念，都帶來了革命性的變革。通用型微處理器，採用的是馮·諾依曼結構，即程式指令和資料共用一個儲存空間和單一的位址與資料匯流排。為了進一步提高運算速度，以滿足即時數位信號處理演算法的要求，當前的 DSP 都採用了與通用微處理器不同的結構，放棄了馮·諾依曼結構，採用了哈佛結構。所謂哈佛結構，是將程式指令與資料的儲存分開，各有自己的位址與資料匯流排。這就使得處理指令和資料可以同時進行，從而大大提高了處理效能【13】。在這裡我們無意詳細列舉與介紹這個發展過程中出現過的眾多元件與系統，這不是本論文的主要目的。本論文的主要目的，是利用無乘法器之 FPGA 來實現 DSP。設計 FPGA 系統時，所要考慮的第一個問題是取樣頻率，依據取樣定理我們可以知道取樣頻率至少應大於所欲處理的信號頻寬兩倍以上，FPGA 處理器系統運算架構方塊圖如(圖一)所示，輸入是一串 0101... 的數位信號，經過 FPGA 處理器的乘加移位等運算後，輸出具有某特定頻率響應的另一串 1010... 的數位信號，具有此種數位信號處理的功能，稱之數位濾波器。有別於傳統的類比濾波器，它是由主動元件像運算放大器或被動元件電阻電容所組成，相較之下，數位濾波器具有以下的一些優點【15】：

(1) 可程式化的系統易於修改，較能可得到想要的濾波響應。

(2) 不容易受到溫度影響。

(3) 不必考慮電感、電容會不會受到環境影響，沒有電感、電容所以穩定性也比較高。

接下來，本篇論文將探討四個部分，分別為：數位濾波器 DSP 實現、修飾梳型濾波器、用 FPGA 來實現梳型濾波器、結論。

## 二、數位濾波器 DSP 實現

數位濾波器依照脈衝響應序列來分類，可分為有限長度脈衝響應濾波器(Finite Impulse Response, FIR)及無限長度脈衝響應濾波器(Infinite Impulse Response, IIR)，它們都可以用差分方程式分別來表示如下【11】【12】：

(1) FIR 差分方程式：

$$y[n] = \sum_{i=0}^M b_i x[n-i] \quad (1-1)$$

(2) IIR 差分方程式：

$$y[n] = \sum_{i=0}^M b_i x[n-i] + \sum_{k=1}^N a_k y[n-k] \quad (1-2)$$

分別由差分方程式(1-1)式和(1-2)式可以看出輸出只與輸入有關，跟過去的輸出沒有關係，稱為 FIR 濾波器。IIR 濾波器輸出不但與輸入有關，也與過去的輸出有關，也就是說過去的輸出會影響到現在的輸出值【12】。

有限長度脈衝響應濾波器(FIR)優於無限長度脈衝響應濾波器(IIR)具有下列優點【12】：

(1) 具有嚴格線性相位。

(2) 永遠為穩定。

(3) 設計方法一般為線性。

(4) 可有效的用硬體實現。

(5) 濾波器之啟動瞬間具有有限時間區段。

在設計 IIR 濾波器時，我們首先從類比濾波器轉移函數  $H(s)$  下手，透過雙線性轉換，將 S 域內的轉移函數轉換到 Z 域，就可以將類比的轉移函數  $H(s)$  求得希望的數位轉移函數  $H(z)$ 。FIR 濾波器則使用傅立葉級數的方法和矩形函數相乘。在下一部份，我們將說明梳型濾波器的原理。依

照脈衝響應序列來分類，此濾波器是屬於 FIR 濾波器型式。

### 三.修飾梳型濾波器

一個系統的轉移函數假設我們定義為下列式子：

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (1-3)$$

極點就是讓分母  $A(z)$  為 0，而且  $H(z)$  為無限大，也就是說極點的位置是根據  $A(z)$  的根而來。零點就是讓分子  $B(z)$  為 0，使  $H(z)$  之值為零的  $Z$  值，也就是說零點的位置是根據  $B(z)$  的根而來。數位濾波器設計，最主要也就是在複數平面擺置極點跟零點。當信號趨近零點時系統響應變小，若信號落在零點上響應為零。另外當信號趨近極點時系統響應變大，若信號落於極點上則系統響應為極大。固系統之響應是以極點與零點擺設牽扯來決定。在特殊的情形下，若吾人在單位圓佈置等距離  $M$  個零點， $M$  個極點在原點，則產生的增益響應形狀類似像梳子，所以這種系統稱為梳型濾波器，其極零點位置及頻率響應圖如圖

(二)、圖(三)所示。

$M$  階梳型濾波器之  $Z$  轉換如下所示：

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{M} \times \frac{(z - zero_1) \dots (z - zero_M)}{z^M} \quad (1-3)$$

若在單位圓的零點對稱，則  $M$  階梳型濾波器之  $Z$  轉換則表示如下：

$$H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{1}{M} \times (1 - Z^{-M}) \quad (1-4)$$

(1-4)式經由反  $Z$  轉換可得到下列的差分方程式：

$$Y(n) = \frac{1}{M} [X(n) - X(n - M)] \quad (1-6)$$

觀察(1-6)式若將  $M$  取為 2 的乘幂次方，這時我們可以用移位暫存器來取代乘法器，當暫存器向右移一位等於將結果乘以  $\frac{1}{2}$ ，舉例來說：當  $M=8$

時則(1-6式)的差分方程式則變成：

$$Y(n) = \frac{1}{8} [X(n) - X(n - 8)] \quad (1-8)$$

(1-8式)差分方程式中的  $\frac{1}{8}$  使用移位暫存器右移 3 位，則可完成乘  $\frac{1}{8}$  的效果。此方法非常簡單吾人可用 FPGA 之數位邏輯功能來架構移位暫存器進而來實現梳型濾波器。

為了得到低通濾波器、高通濾波器、帶通濾波器，將梳型濾波器其中一個極點修改放置在單位圓角度為 0 的零點上，使得極零點重疊吾人可以得到一個低通濾波器，這個稱為修飾低通梳型濾波器。高通濾波器是將梳型濾波器加以修改，將一個極點放置單位圓角度為  $\pi$  的零點上，使極零點重疊互相相消，可以得到一個高通濾波器，這個稱為修飾高通梳型濾波器。帶通濾波器是將梳型濾波器加以修改，將兩個極點分別放置於單位圓角度為  $\pm \frac{\pi}{2}$  的零點上，使極點與零點重疊，可以

得到一個修飾帶通梳型濾波器。修飾低通梳型濾波器、修飾高通梳型濾波器、修飾帶通梳型濾波器，極零點位置如圖(四)、圖(五)、圖(六)所示，這些濾波器之差分方程式分別表示如下：

極點在  $e^{j0}$ ：

$$y(n) = \frac{1}{M} \times [x(n) - x(n - M)] + y(n - 1) \quad (1-9)$$

極點在  $e^{j\pi}$ ：

$$y(n) = \frac{1}{M} \times [x(n) - x(n - M)] - y(n - 1) \quad (1-10)$$

極點在  $e^{\pm j\frac{\pi}{2}}$ ：

$$y(n) = \frac{1}{M} \times [x(n) - x(n - M)] - y(n - 2) \quad (1-11)$$

修飾梳型濾波器是極點覆蓋零點，使用此種方法時必須非常的小心，因為極點和零點的位置需要相當非常準確的計算，才能夠讓極點跟零點完全的相消。若系統極點跟零點沒有完全相消，

則會使系統不穩定。

#### 四.用 FPGA 來實現梳型濾波器

數位信號處理 (DSP) 一般來說需要 A/D、D/A，而我們用無乘法器之 FPGA 來實現 DSP。以梳型濾波器來舉例，濾波器需要的硬體組成如下：A/D 轉換，Xilinx Spartan FPGA，D/A 轉換，A/D 轉換是將類比信號轉換成數位信號，FPGA 的輸入信號則用轉換完成的數位信號為輸入，FPGA 是使用 DSP 的演算法將輸入信號轉換成合適的輸出信號。D/A 的轉換則將 FPGA 的輸出數位信號轉換成類比信號。

利用 VHDL 的語言將 FPGA 成為 2 階移動平均低通濾波器、2 階移動平均高通濾波器、梳型濾波器、修飾低通梳型濾波器、修飾高通梳型濾波器、修飾帶通梳型濾波器。修飾低通梳型濾波器的硬體電路是由四個區塊所構造，如圖 (七) 所示，第一個區塊為輸入延遲，每延遲一次就抓住前一個輸入資料，避免任何資料損失。第二個區塊為加法電路。第三個區塊為位移，多位元的位移可於同一個 CLOCK 時間內完成，第四個區塊為輸出延遲一次再相加。至於 2 階移動平均低通濾波器、2 階移動平均高通濾波器、修飾高通梳型濾波器、修飾帶通梳型濾波器硬體電路，依據差分方程式根據以上的硬體稍加修改就可得到，在此就不再詳細的說明。

本論文的實驗結果，我們首先以 2 階移動平均低通濾波器和 2 階移動平均高通濾波器來作解說，最後再以 M=8 梳型濾波器來作解說，其餘的大同小異。表 (一)、表 (二) 取樣頻率為 22KHz，我們可從取樣定理得知輸入最大頻率為 11KHz，表 (一) 的數據可知當輸入頻率越高時，峰對峰值 (Vm) 逐漸的下降，這顯示出 2 階移動平均低通濾波器的特性。由表 (二) 的數據可知當輸入頻率越高時，峰對峰值 (Vm) 逐漸的上升這正顯示出 2 階移動平均高通濾波器的特性。M=8 梳型濾波器如圖 (一) 所示，當我們輸入信號  $f(t)$  為一個弦波時，利用 VHDL 的語言使 FPGA 成為梳型濾波器硬體電路圖 (八) 所示。其輸出經 D/A

轉換後顯示波器量測的結果如圖 (三) 所示。圖 (三) 之取樣頻率為 22KHz，依據取樣定理可知，容許之輸入最大頻率為 11KHz，由圖 (三) 的頻率響應圖我們可知當輸入信號由 0KHz 至 1.6KHz，輸出的峰對峰值 (Vm) 從 1.4V 逐漸的上升到 3.2V，輸入信號 1.6KHz 至 2.65KHz 輸出峰對峰值 (Vm) 從 3.2V 逐漸下降到 1.4V，輸入信號 2.65KHz 至 3.5KHz 輸出峰對峰值 (Vm) 從 1.4V 逐漸上升到 3.2V。由圖 (三) 可知某個頻率的範圍峰對峰值逐漸上升，某個頻率範圍峰對峰值逐漸下降，這種依序上升依序下降的頻率響應圖其形狀酷似梳子，所以稱為梳型濾波器。

為了證明際與理論相符合，(表三)、(表四) 是由 MATLAB 所模擬出來的結果。(表三) 所示為 M=8 修飾梳型濾波器，標準截止頻率為  $0.11\pi$ ，通帶和止帶分離在  $-9db$ 。(表四) 所示為 M=16 修飾梳型濾波器，通帶和止帶的分離在  $-10db$ ，標準的截止頻率則降低到  $0.055\pi$ ，若要改變截止頻率則需改變 A/D 的取樣頻率。

#### 五.結論

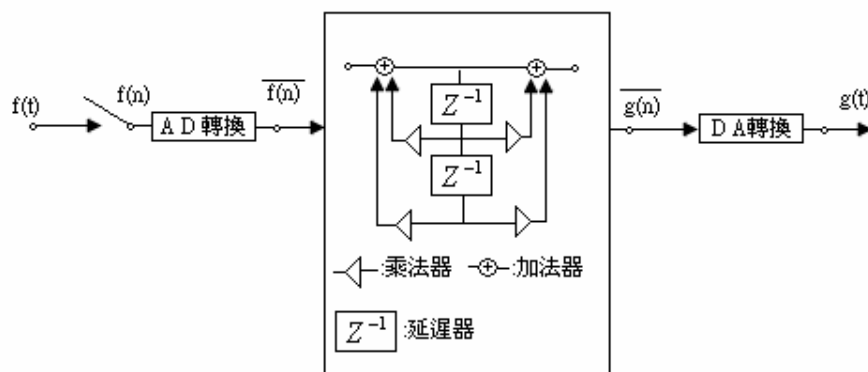
數位電路的蓬勃發展，使得許多傳統的類比信號處理漸被數位系統所取代，而濾波器可說是信號處理中最重要的一環，濾波器硬體實現上，乘法器佔非常重要的角色，本論文提供了一個無需乘法器之快速又有效的方法來實現。當濾波器的規格要求不是很嚴格時，可用此方法來實現。

#### 參考文獻

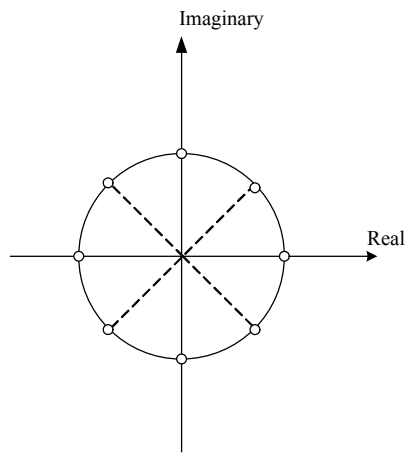
- 【1】P.Lapsley, J. Bier, A. Shoham, E. LEE: DSP Processor Fundamentals (IEEE Press, New York, 1997)
- 【2】D Shear: "EDN 's DSP Benchmarks," EDN 33, 126-148 (1988)
- 【3】E. LEE "Programmable DSP Architectures: Part I," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine PP. 4-19 (1988)
- 【4】E. LEE "Programmable DSP Architectures: Part I," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and



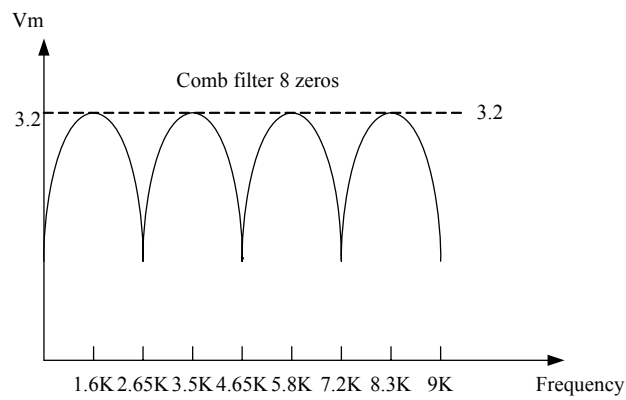
- Signal Processing Magazine PP . 4-14 (1989)
- 【5】J . Villasenor , B . Hutchings: “The Flexibility of Configurable , ” IEEE Signal Processing Magazine pp . 67-84 (1998)
- 【6】Leibowitz: “A simplified Binary Arithmetic for the Fermat Number transform, ” IEEE Transactions on Acoustics, Speech and signal Processing 24, 356-359 (1976)
- 【7】蔡瀚賜、饒國安, “Xilinx FPGAS Spartan 硬體構分析”,清雲學報第二五卷第一期,民國 94 年 3 月。
- 【8】蔡瀚賜、饒國安, “映射、放置和繞線: 未實現 Xilinx FPGAS 的關鍵”,清雲學報第二四卷第二期,民國 93 年 9 月。
- 【9】郭孟鑫、饒國安, “Xilinx FPGAS Spartan 和 Spartan-3E 硬體構分析”,清雲學報第二六卷第二期,民國 95 年 9 月。
- 【10】國家晶片系統設計中心 “FPGA Design with ISE Foundation”
- 【11】Sanjit K.Mitra 編著、貝蘇章教授推薦, 數位訊號處理, 二版, 旗標出版, 台北市, 民國九十二年十二月。
- 【12】董紹平等編著, 數位訊號處理基礎, 儒林出版, 台北市, 民國八十二年一月。
- 【13】澎啓琮等編著, DSP 與即時數位訊號處理, 儒林出版, 台北市, 民國八十八年六月。
- 【14】李宜達編著, 數位訊號處理 - 從設計到實現, 全華出版, 台北市, 民國九十四年一月。
- 【15】杜中明等譯, 數位訊號處理, 儒林出版, 台北市, 民國八十年三月。



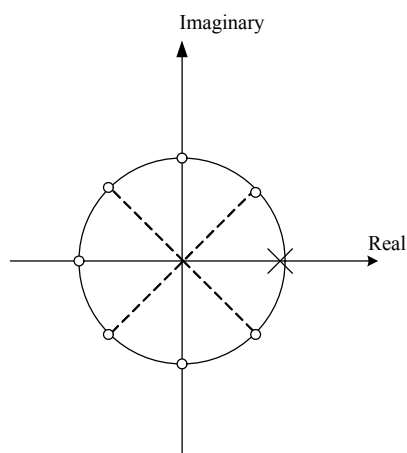
(圖一) FPGA 處理器系統運算架構方塊



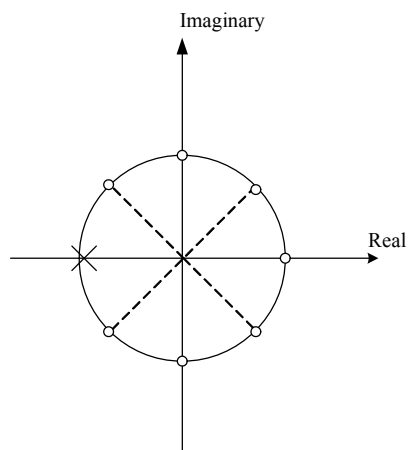
(圖二) M=8 梳型濾波器



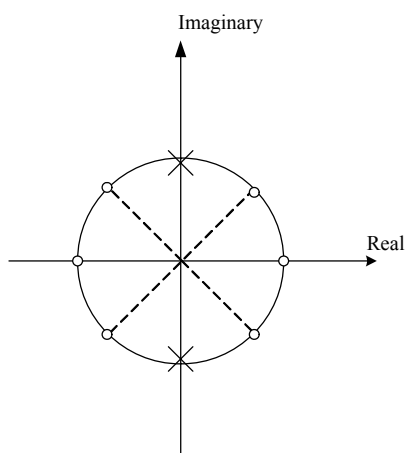
(圖三) M=8 梳型濾波器頻率響應



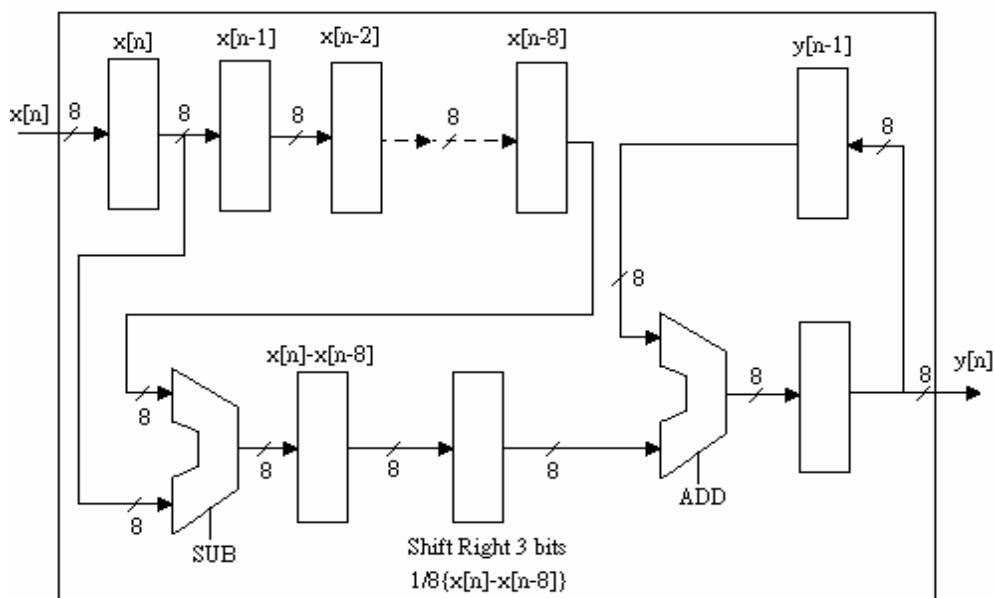
(圖四) 修飾低通梳型濾波器



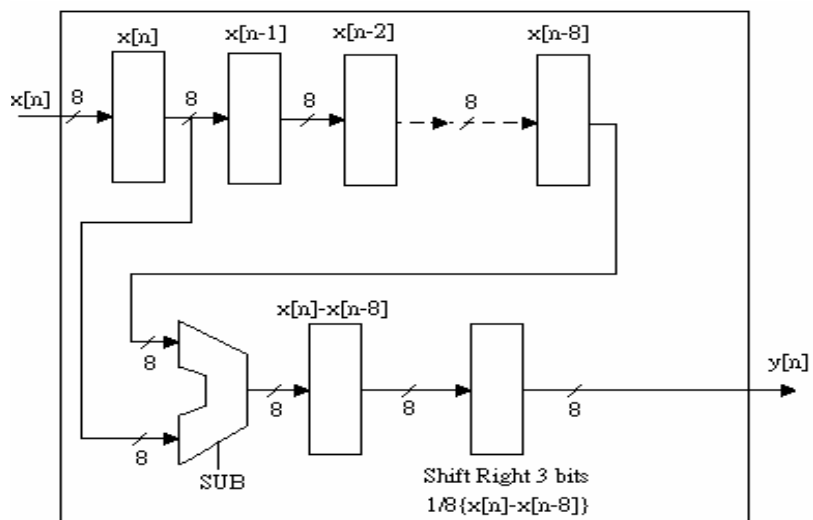
(圖五) 修飾高通梳型濾波器



(圖六) 修飾帶通梳型濾波器



(圖七) 修飾低通梳型濾波器硬體電路圖



(圖八) 梳型濾波器硬體電路圖

頻率	峰對峰值 (Vm)
0.25kHz	5.2v
1kHz	5.12v
2kHz	4.96v
3kHz	4.8v
4kHz	4.24v
5kHz	4.16v
6kHz	3.84v
7kHz	3.68v
8kHz	2.8v
9kHz	2.4v
10kHz	2.24v
11kHz	2v

(表一) 二階移動平均低通濾波器

頻率	峰對峰值 (Vm)
0.25kHz	1v
1kHz	1.8v
2kHz	2.4v
3kHz	3.2v
4kHz	4.2v
5kHz	4.6v
6kHz	4.8v
7kHz	5v
8kHz	5v
9kHz	5v
10kHz	5v
11kHz	5v

(表二) 二階移動平均高通濾波器

	低通	高通	帶通
標準切斷頻率	$0.11\pi$	$0.89\pi$	$0.39\pi \sim 0.61\pi$
切斷頻率 ( $f_c$ ) $f_s = 8KHz$	440Hz	3560Hz	1560~2440Hz
切斷頻率 ( $f_c$ ) $f_s = 16KHz$	880Hz	7120Hz	3120Hz~4880Hz

(表三) M=8 修飾梳型濾波器

	低通	高通	帶通
標準切斷頻率	$0.055\pi$	$0.945\pi$	$0.445\pi \sim 0.555\pi$
切斷頻率 ( $f_c$ ) $f_s = 8KHz$	220Hz	3780Hz	1780~2220Hz
切斷頻率 ( $f_c$ ) $f_s = 16KHz$	440Hz	7560Hz	3560Hz~4440Hz

(表四) M=16 修飾梳型濾波器











全球主要鋼鐵業股價報酬波動外溢效果之研究  
The Dynamic Volatility Spillover Effects of Stock Returns:  
An Analysis from the Global Main Steel Industries

林恩詒<sup>1</sup>、陳志鈞<sup>2</sup>、黃建中<sup>3</sup>

清雲科技大學財務金融學系助理教授<sup>1</sup>

元智大學管理研究所博士生<sup>2</sup>

金橋電子實業股份有限公司電子市場部經理<sup>3</sup>

[shaobin@mail.cyu.edu.tw](mailto:shaobin@mail.cyu.edu.tw)

摘要

本文目的在探討國際鋼鐵業之股價報酬波動外溢效果，研究對象為台灣中鋼(China Steel)、日本新日鐵(Nippon Steel)、盧森堡亞塞洛(Arcelor)和印度米塔爾(Mittal)四個國際主要鋼鐵企業，以各鋼鐵公司之每日收盤股價資料來進行研究，研究期間為 2002 年 2 月 19 日至 2006 年 6 月 30 日。文中先配適 EGARCH 模型以探討各鋼鐵廠股票報酬是否具有波動外溢的現象，再利用 VAR 模型檢測股價報酬波動間的短期互動關係。結果發現，就長期而言，國際主要鋼鐵公司並無長期均衡關係，但短期間則可能會因地域性與淡旺季的差異而有不同衝擊效果。在 EGARCH 模型檢測是否具有股價報酬波動外溢的效果方面，結論發現國際鋼鐵股價反應十分快速，且部分公司具有波動群聚的現象發生，即為大(小)波動伴隨著大(小)波動。因此對長期投資鋼鐵業的投資人而言，或可針對不同區域及不同產品之鋼鐵公司作分散投資，以達到降低非系統風險的目的。在短期股票報酬波動傳遞方面，衝擊反應函數結果顯示，當亞塞洛、中鋼與新日鐵股票報酬發生波動時，對其他樣本企業之股票報酬具有顯著的衝擊影響，即同產業股票報酬具有高度連動關係，且反應時間相當迅速。在此前提下，鋼鐵業者或短期股票投資人必須相當重視此一短期連動關係，同時需善加利用衍生性金融商品，以降低投資風險。

**關鍵字：**鋼鐵產業；EGARCH 模型；衝擊反應函數

## **Abstract**

The purpose of this paper is to investigate the spillover effects of return volatility among the international steel industry. The four steel enterprises in this research are China Steel, Nippon Steel, Arcelor, and Mittal. The sample period spans from February 19, 2002 to June 30, 2006. The Exponential Generalized Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity (EGARCH) model is also used to test the spillover effects and VAR model is used to test the short run relationships. The results show that there is no long-run equilibrium relationship among our sample steel firms. In the short-run, the stock returns of steel firms will impact with each others because of regional factors and the off- and peak-seasons. The result of EGARCH model displays a spillover effect. In conclusion, the responses of stock returns of these steel firms are quite fast and some companies had the volatility clustering situation. The large (small) fluctuations would follow the large (small) fluctuations. To long-term investors, they could scatter their investment in different regions and different products to achieve the hedge objective; to short-term investors, as the stock response is quite fast, some companies had the volatility clustering situation. In terms of Impulse Response Function, when China Steel, Nippon Steel, and Arcelor were under impulse, there was a notable influence on other sample enterprises. Taking this as the premise, the short-term investors of the steel industry must seriously value this short-term trade relationship.

**Keyword:** Steel Industry; Exponential Generalized Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity Model; Impulse Response Function

## 1. 前言

時至 1999 年至 2001 年間，由於國際鋼鐵產品供貨與產能過剩加上需求不振，國際與國內鋼鐵價格的各項指標於 1999 年跌幅均介於 -0.57%~-17.01%之間。持續至 2001 年，各項指標跌幅仍維持在 -3% 左右，導致在 2001 年時已跌至近 23 年來的新低。<sup>1</sup> 因此迫使美國伯利恆鋼鐵場(Bethlehem Steel Corp)和 LTV Steel Corp 等眾多鋼鐵企業向法院申請破產的保護。經濟合作暨發展組織(OECD, Organization for Economic Co-operation and Development)於 2001 年 12 月在法國巴黎召開鋼鐵生產國會議，結論提出國際鋼鐵製造國縮減鋼鐵之產能的建議，並擬定世界主要鋼鐵業的策略聯盟，以防止鋼鐵製品供過於求的現象持續下去。<sup>2,3</sup>

然而，短短幾個月後於 2002 年初，國際與國內鋼鐵價格的各類指標卻迅速反彈，短短半年漲幅最高達四成。<sup>4</sup> 探究鋼鐵價格大幅上漲的主要因素，為美國於啟動 201 貿易安全防衛措施，在高達 30%進口保護關稅稅率下，美國國內鋼價每噸大漲 100 美元以上。<sup>5</sup> 加上中國獲得 2008 國際奧林匹克(Olympic)運動會主辦權與其基礎建設對於鋼鐵產品的需求量大增，使國際

鋼鐵價格大幅上漲。<sup>6</sup>

而歐盟、東南亞與南美洲等國亦為避免國際鋼材傾銷而至，紛紛跟隨美國腳步實施進口保護措施，造成世界各地鋼品價格大漲。由於鋼材為許多工業、民生產品的原物料，替代品少、需求的價格彈性極小，使全球鋼鐵價格漲勢驚人。再加上 OECD 減產、大陸市場需求強勁、俄羅斯鋼品不再流血輸出等供需因素的配合，讓國際鋼價上漲一發不可收拾。

由於鋼鐵價格持續上揚，加上鋼鐵產業中下游及中國大陸市場需求強勁，使得國際鋼鐵廠的獲利由 2001 年的一片慘澹與經營不善的惡夢中甦醒，於 2002 年各國廠商獲利大多呈現大幅度提升的情況。<sup>7</sup> 鋼鐵產業景氣的谷底出現在 2001 年底到與 2002 年初間，以中國大陸進口熱軋鋼價格為例，於 2001 年 1 月跌至 200 元以下，歷經一年盤整，鋼價從 2002 年初起漲，一路上漲至 2003 年高點。國際鋼鐵股股價變化更領先於國內鋼鐵價格，約在 2001 年 9 月就已觸底，至 2003 年 9 月，國際鋼鐵類股漲幅多高達 100%，以國內鋼鐵產業龍頭中鋼為例，短短兩年不到股價也上揚 100%以上。在臺灣地區的鋼鐵股上市公司中幾乎皆獲利大增，2002 年與 2003 年可說是鋼鐵產業豐收的一年。<sup>8</sup>

隨著兩岸的關係日益密切，加上全球化與自由化的潮流，以及國際性與區域性之貿易組織的相繼成立，國與國、地區與地區之間的貿易與資金往來較以往更為頻繁與密切。再加上資訊科技與網際網路的發達，國際資本市場之間跨時或跨區的重大資訊得以迅速地傳送到世界各地，進而也使得各個市場之間存在相當的

<sup>1</sup> 國際鋼鐵價格來源自英國鋼鐵工業和市場分析公司 MEPS (<http://www.meps.co.uk>)。國內鋼鐵價格來源自行政院主計處-國情統計通報網站 (<http://www.dgbas.gov.tw/>)。國內鋼鐵價格指標則包含進口物價指數年增率(基本金屬與鋼鐵製品類)、躉售物價指數年增率(金屬基本工業產品類)與營造工程物價指數年增率(金屬製品類)。

<sup>2</sup> Bethlehem 與 LTV 公司於當時為美國鋼鐵業排名前五大之企業。

<sup>3</sup> 經濟合作暨發展組織 OECD 於 2001 年 12 月 17,18 日於法國巴黎舉行會議，會議記錄網址如下：  
[http://www.oecd.org/document/29/0,2340,en\\_2649\\_201185\\_2697437\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/29/0,2340,en_2649_201185_2697437_1_1_1_1,00.html)。

<sup>4</sup> 國際與國內鋼鐵價格的各類指標資料來源同註腳 1。

<sup>5</sup> 201 貿易安全防衛措施，為美國於 2002 年 3 月啟動貿易法第 201 條款，主要探討協助產業為因應進口競爭所做積極調整之措施。

<sup>6</sup> 中國大陸鋼鐵需求資料主要來自中國聯合鋼鐵網，網址如下：<http://www.custeel.com/>。

<sup>7</sup> 以日本新日鐵(Nippon Steel)股價為例，於 2001 年 9 月 21 日最低點 146 塊，至 2002 年 3 月 4 日股價已漲為 213 塊，漲幅高達 45%。

<sup>8</sup> 中鋼於 2001 年 9 月股票價格約 12 塊~13 塊間，至 2003 年 9 月股票價格約 27 塊~28 塊間。台灣鋼鐵產業除中鋼外，亦包含春源、春雨、燁隆、豐興、嘉益、千興與新光鋼等。

關聯與互動。以 2007 年 226 股災事件為例，可深刻發現國際金融市場確實存在密切的運動關係。面對國際市場日趨整合的情勢，國際投資者若能充分了解各國股票市場間股票報酬的波動行為，便可達到提高投資報酬並降低投資風險之目的。

一般而言，影響該企業股票市場價格波動的因素可歸因於下列三項：公司因素、產業因素及市場因素(經濟因素)。<sup>9</sup> 而隨著國際上政治及經濟之關聯性逐漸增加，再加上企業朝向國際化的趨勢，導致了各個不同的資本市場之整合。舉例來說，現今多國籍公司紛紛成立，同一家公司在不同國家的證券市場上市，不但使世界各國政治、經濟與社會之關聯性增加，也因而加強國際間彼此的經濟及企業之共移性(co-movement)。透過各種資訊管道的傳達，使得許多重大事件之發生，例如奧林匹克(Olympic)運動會、上海世界博覽會、紐奧良風災與 2007 年 226 股災等事件，不僅同時影響了世界上所有的資本市場，且對各國股市所產生的影響也是極為類似的。

基於前述的動機，本研究採用單變量指數型一般化自我迴歸條件異質變異數模型(Exponential Generalized Autoregressive Conditionally Heteroskedasticity Model, EGARCH Model)，對台灣-中鋼(China Steel, CS)及另外世界三個主要鋼鐵生產廠-日本-新日鐵(Nippon Steel, NI)、印度-米塔爾(Mittal, MT)與歐洲盧森堡-亞塞洛(Arcelor, AR)的鋼鐵證券價格，分析各大鋼鐵廠的股價波動的傳導行為和波動外溢效果(volatility spillover)。目的在檢測於研究期間內，在鋼鐵業股價上揚的趨勢帶動下，國際主要鋼鐵股價是否具有長期均衡關係與波動外溢的效果。同時，進一步利用向量自我迴歸模型(Vector Autoregression Model, VAR)分析這四家鋼鐵廠股

價之報酬波動短期互動效果為何。<sup>10</sup>

由以上說明可知，不管投資者是否有國際投資的可能，皆不能不關心國際資本市場的動態及國際政治、經濟局勢的變化。因此，在研究股票市場時，若能將國外的影響因素一併納入考慮，則對投資者而言將更具參考價值。而本文擬從觀察各鋼鐵公司之股價彼此間的關聯程度，以提供從事國際鋼鐵股票市場及國際鋼鐵業投資組合決策的依循。本文除第一部份為前言外，第二部份將回顧過去相關文獻，包括國際資本市場整合理論過去相關之研究，第三部份說明本文之樣本資料與研究方法，第四部份說明實證結果，第五部份為結論。

## 2. 文獻探討

在國際股市連動關係之議題，近代已被廣泛的學術研究者所討論中，一般過去關於國際股市連動之研究，多採二觀點進行實證研究，即為「整合(integration)市場理論」與「區隔(segmentation)市場理論」。而所謂整合市場理論，主要是認為國際股市間存在著高度相關性，即可透過分析他國之股市進而分析本國股市。而所謂區隔市場理論，主要是認為國際各國之股市多為獨立之個體，互相間之關連性較低，即可透過投資組合的策略，達到分散風險的可能性。

隨著國際貿易的蓬勃發展，國際股市欲成為獨立個體，不受他國之經濟因素所影響似乎較困難。Hamao *et al.*(1990)以美國、英國和日本三國為探討對象，Johnson and Soenen(1993)、Maysami and Koh(2000)與 Yang *et al.*(2003)則以世界主要國家為樣本進行研究，皆支持整合市場

<sup>9</sup> Johnson and Soenen (1993), Maysami and Koh(2000)與 Yang *et al.*(2003)。

<sup>10</sup> 2004 年以前亞塞洛鋼鐵公司之產值排名世界第一，2005 年以後則以米塔爾鋼鐵公司居世界第一、新日鐵第二。而本研究期間內，此三家鋼鐵公司之世界排名均佔世界鋼鐵產業前三大公司，故選取此三家鋼鐵公司為研究樣本，並加入台灣最大之鋼鐵企業中鋼(世界排名第 17)為樣本進行研究。

理論，發現國際股市間，國與國之間確實存在著連動關係。國內方面，劉祥熹與曾建國(2003)等學著亦針對亞洲股市進行研究，也發現亞洲股市之間的相關性不容忽視。<sup>11</sup> 然研究結果可能會因研究時間區間的差異而有所不同，但普遍皆認同國際股票市場間具有共移性是合理的。

Darbar and Deb(1997)、Theodossiou *et al.*(1997)與 Cheng(1998)研究世界主要股市之共移性，發現國際股市間具有整合的效果，但是影響的程度與持續性有所差異。Meric and Gulser(1989)亦發現國際股票市場存在相互暫時的穩定關係，但亦會受到研究期間與各總體經濟因素的不同，而造成連動關係有所改變。Koutmos and Booth(1995)更是將報酬波動外溢效果之不對稱性加入探討，發現美國、英國與日本三國雖然皆有顯著的波動外溢現象，但是在不對稱性現象，日本較其他兩國來的明顯。

但國際股市的連動關係會受到許多重要事件的影響，如全球股市大崩盤、亞洲金融風暴與墨西哥金融危機等事件。如 Arshanapalli and Doukas(1993)研究全球股市大崩盤前後，世界主要股市之連動關係，發現在全球股市大崩盤之後，雖然日本股市與歐洲股市不具相關性，但美國股市對歐洲股市的連動性增加，為一獨立的不完全整合市場。Sorin and Zwick(2001)、Shamsuddin and Kim(2003)與 Emmanuel *et al.*(2003)進一步以亞洲金融風暴作為分隔點，結果皆發現不論是在金融風暴前或金融風暴後，樣本國家的股價皆無法完全隔絕他國股市之衝擊。Forbes and Rigobon(2002)則以墨西哥金融危機為分隔點，亦發現金融危機前後時期，所研究之樣本股市皆具有共整合或因果關係。

而過去研究大多支持國際各主要股市不論是長期或是短期皆具有共移性。而若將研究地區的範圍縮小，如 Choudhry(1997)、

Choudhry(2000)與 Titman *et al.*(2004)以鄰近的國家之股市進行研究，發現鄰近國家股市具有連動關係的現象有更加明顯的現象。同時指出在長期均衡下，鄰近國家間彼此關係的調整速度是很慢的，且存在長期均衡關係。<sup>12</sup> 再者，Miyakoshi(2001)研究美國、日本與亞洲主要股市，發現美國股市具有領導的效果，此亦說明國際股市連動關係，並非以地域性為唯一主要的影響因素，及並非日本股市為影響亞洲各國股市之主要因素。此可發現，地域性是影響股市連動的主要因素之一，但似乎仍有其他的因素亦會影響國際股市之連動關係。

Santis and Imrohorglu(1997)以新興金融市場為研究對象，發現興新市場之股票報酬雖然較成熟的市場有較大的波動幅度，但仍具有連動關係。Erb *et al.*(1994)以 G-7 工業國為研究對象，發現任何二個國家在同樣景氣蕭條的情況下有著高度的相關性，而當景氣復甦時二個國家的相關性就變低。但不論在何種景氣條件下，皆不會有任何一國股市能完全隔絕與他國股市之影響。此可發現，景氣與同產業等因素亦是影響股市連動。

再者，Becker *et al.*(1992)則以高頻率之日內資料(intraday data)研究美國與日本之股票市場，其發現當地市場的報酬很快地反應了由其他市場所提供的訊息。研究也發現當地市場的波動性真實的且一致的跟隨著其他市場大規模價值的變動而改變，正好證明了這二個市場自然的趨於整合。

國內過去針對國際股市連動關係之研究不勝枚舉。葉銀華(1991)、徐守德與林恩右(1993)、宋瑞蛟和顏錫銘(1993)、蘇永成和蔡玠施(1996)、董澍琦等(2004)、李文雄等(2005)與邱建良等(2005)也都發現國際股市間多少皆存在

<sup>11</sup> 如林基煌與徐政義(2004)、董澍琦等(2005)。

<sup>12</sup> Choudhry(1997)以拉丁美洲六國與美國為樣本，Titman and Wei(1999)以亞洲主要國家股票市場為樣本，Choudhry(2000)以環太平洋之各國股票市場為樣本。

著連動關係。由上述過去之相關文獻，可發現在國際股票市場似乎無法成為獨立個體，完全不受他國之影響，不論是以主要股市進行研究，亦或以地區性之股票市場、相同之發展程度之國家進行研究，甚至以高頻率資料進行分析，皆得到相同之結論。

值得一提的是，部份研究亦針對國際間相同產業或相同型態之個股報酬連動進行分析，Huang *et al.*(2007)研究 2004 年 12 月 26 日的亞洲海嘯事件，對亞洲主要國家旅遊產業的股價變化，發現海嘯事件對於旅遊產業股確實產生影響。而國內方面，許馨尹(1998)、鄧仙雯(1999)與陳萱倫(2001)皆針對台灣與美國高科技之電子產業類股連動關係進行研究；而莊惟傑(2003)與王兆勤(2005)則研究美國與台灣 DRAM 廠商之股價連動性；其他亦有吳美真(2001)針對美國與台灣的生物技術產業類股，蔡博任(2004)針對香港的國際企業股與台灣的中國概念股進行分析，張賢米(2004)研究日本、韓國與台灣的面板產業股價連動關係與陳肇安(2005)針對國際運輸類股之連動性進行研究。

根據上述之過去相關文獻，可發現相同產業之國際個股股票報酬間皆可能互相影響，儘管個股可能於不同國家上市，但因出口國相同、供應商來源與全球景氣的影響，皆會造成國際個股間產生連動關係。特別是全球鋼鐵礦產源本來就相當稀少，且集中於少數幾個國家，這將使得國際間鋼鐵產業的股票價值更容易產生交互影響，此亦為本文主要研究動機之一。

本文主要針對世界主要鋼鐵製造商，包含目前市值與產量皆為世界第一大的印度米塔爾鋼鐵。第二家是在米塔爾未合併美國鋼鐵之前，產量為世界第一，目前產量世界第二大的歐洲亞塞洛鋼鐵。第三家是以市值計算世界第二大的新日本製鐵，第四家則是目前世界第 17 大，台灣鋼鐵業龍頭的中國鋼鐵公司。針對此四家公司股價進行研究，探討在近幾年鋼鐵股

價大幅上揚的時期，世界主要鋼鐵公司股價之連動關係。

### 3. 研究方法

在了解研究之背景與過去國內外相關研究之文獻後，本文在此章節將敘述實證所利用之研究方法，包括單根檢定、共整合檢定、單變量 EGARCH 模型與 VAR 模型，最後描述資料來源與樣本選擇。

#### 3.1 單根檢定(Unit Root Test)

一般實證模型都必須在定態序列資料下進行，故須先檢驗資料中的經濟變數是否恆為定態。根據Granger and Newbold(1974)之研究指出，對於兩個非定態的時間序列所建構的迴歸方程式將會出現「假性迴歸」(spurious regression)的現象。本文所選取為時間數列的資料，在進行此類資料之分析時，皆必須先要求數列達到恆定(stationary)後，再使用模型進行估計與分析，如此方具有意義。如果數列資料呈現不恆定(non-stationary)情況，則可以使用適當的轉換程序使數列成為恆定狀態。通常檢定數列是否恆定，是利用單根檢定法(unit-root)，本文亦使用由Dickey and Fuller (1979)所提出的Augmented Dickey-Fuller (ADF)檢定法。ADF檢定法的內涵與意義如式(1)：

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 t + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

$$\alpha_1 = \rho - 1$$

其中， $Y_t$  為一時間數列， $t$  為線性時間趨勢， $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ ， $Y_0 = 0$ ， $\varepsilon_t$  服從白色噪音(White Noise)過程的殘差項， $p$  為落後期數。其假設檢定如下：

虛無假設  $H_0 : \rho - 1 = 0$  ( $Y_t$  為非恆定狀態數列)

對立假設  $H_1 : \rho - 1 \neq 0$  ( $Y_t$  為恆定狀態數列)。

進行 ADF 檢定時，須先決定最適落後期數  $p$ ，再檢驗虛無假設  $H_0$ 。本文乃根據 AIC(Akaike Information Criterion)準則進行最適落後期之選取，由 AIC 準則之結果顯示，最適落後期數為 2 期。<sup>13</sup> 若無法拒絕  $H_0$  則表示該數列存在單根，即該數列呈非恆定性狀態，故應先經過一階差分轉換處理後再進行單根檢定，直到數列呈恆定狀態為止，如此方能依據該數列所設定之動態統計模型估計模型中自變數的係數。

### 3.2 落後期數的選取與共整合檢定

進行 VAR 模型分析之前，亦須先選定模式內變數的最適落後期數。一般常用的判定準則有 AIC 與 SBC(Schwarz Bayesian Criterion) 準則以及 Sims(1980)的 X2 判定準則，本研究擬採用 AIC 準則來選定模式內變數的最適落後期數，AIC 準則的如式(2)與式(3)所示：

$$AIC(P) = \text{Min}\{AIC(k) | k = 0, 1, \dots, m\}$$

$$AIC(k) = \ln \sigma + 2k/T$$

其中， $P$  為最適落後項期數。 $k$  為模式內變數的個數。 $T$  為觀測值個數。使用 AIC 準則來選定模式內變數的最適落後期數的目的，即在求取最終預測誤差的最小值。

本文以 Johansen and Juselius(1990)共整合檢定，來驗證各國股價間是否具有共整合的關係。此法的優點在於對共整合向量的個數及經濟俚論變數關係的限制均可直接估計。Johansen 提出概似比統計量  $\lambda_{trace}$ ，以檢定共整合向量  $r$  的個數，其假說為：

$$H_0 : \text{rank}(\Pi) \leq r$$

$$H_1 : \text{rank}(\Pi) > r$$

$$\lambda_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^p \ln \left( 1 - \hat{\lambda}_i \right)$$

其中  $T$  為樣本個數， $\hat{\lambda}_i$  為估計的特徵值。如果具有共整合關係時，可以藉由 Johansen 共整合檢定中求得共整合向量。共整合檢定的詳細臨界值則必須參考 Johansen and Juselius(1990)。

### 3.3 單變量 EGARCH 模型

許多總體經濟的資料具有波動聚集性(volatility clustering)的現象，即為大(小)波動伴隨大(小)波動。Engle(1982)以自我迴歸條件異質變異數模型 (Autoregressive Conditionally Heteroskedasticity model, ARCH model)來說明此現象。此說明條件變異數為過去誤差平方的函數，具有時變性(time-varying)，並利用拉式乘數(LM, Lagrange Multiplier)來檢定殘差項的變異數是否具有 ARCH 效果。爾後，Bollerslev(1986)更將落後期的條件變異數加入 ARCH 模型，稱為一般化自我迴歸條件異質變異數模型 (Generalized Autoregressive Conditionally Heteroskedasticity model, GARCH model)，此模型使條件變異數之結構設定更具有彈性，達到參數精簡原則。

Black(1976)的實證結果發現不對稱效果的產生原因，爾後在學術研究裡並有許多針對此不對稱性效果與波動外溢效果進行研究分析。Nelson(1991)提出單變量指數型一般化自我迴歸條件變異數模型(exponential GARCH model)，許多學者皆利用 EGARCH 模型來檢測市場的報酬率波動的不對稱性，結果發現各國股市具有波動不對稱情形，即代表負面(壞消息)所帶來的衝擊比正面(好消息)所帶來的衝擊為大。<sup>14</sup> 本文利用單變量 EGARCH 模型的條件均值如式(5)，條件變異數如式(6)：

<sup>13</sup> 根據國內文獻黃玉娟與徐守德(1997)、王高文與毛維凌(2004)和李文雄等(2005)與國外文獻 Liu *et al.*(1998), Racine and Ackert(2000) and Ludwig and Torsten(2004)皆利用 AIC 準則來選定模式內變數的最適落後期數。

<sup>14</sup> Braun *et al.*(1995)、Koutmos and Booth(1995)、Geoffrey *et al.*(1997)與林景春等(2003)。



以台灣中國鋼鐵(CS)為解釋變數時之條件平均方程式，其餘國家以此類推，

$$R_{CS,t} = \alpha_0 + \alpha_1 R_{CS,t-1} + \alpha_2 R_{NI,t} + \alpha_3 R_{NI,t-1} + \alpha_4 R_{MT,t} + \alpha_5 R_{MT,t-1} + \alpha_6 R_{AR,t} + \alpha_7 R_{AR,t-1} + \varepsilon_{CS,t}$$

$$\varepsilon_{CS,t} | \Omega_{t-1} \sim N(0, h_{1,t})$$

條件變異方程式：

$$h_{CS} = \exp \left\{ \beta_{CS} + \gamma_{CS} \ln h_{CS,t-1} + \rho_{CS} f(z_{CS,t-1}) \right\}$$

$$f(z_{CS,t-1}) = |z_{CS,t-1}| - \sqrt{2/\pi} + \theta_{CS} z_{CS,t-1},$$

$$z_t = \varepsilon_t / \sqrt{h_{CS,t}}$$

其中  $R_{CS}$  為台灣中國鋼鐵股票報酬率， $\varepsilon_{CS,t}$  為誤差項， $h_{CS} = \text{var} \left\{ \varepsilon_{CS,t} | \Omega_{t-1} \right\}$  係條件變異數， $\Omega_{t-1}$  為  $t-1$  期的資訊集合， $z_t = \varepsilon_t / \sqrt{h_{CS,t}}$  係標準差衝擊，服從常態分配。另模型中之落後期數為 2 期。

在估計單變量 EGARCH 模型時，本文設定誤差項為條件常態分配的假設下，採用與最大概似值(maximum likelihood method, MLE)估計法係出同源的準最大概似值(quasi maximum likelihood method, QMLE)估計法，利用反覆演算法(iterative algorithm)的計算過程來求出函數的極值與參數的估計值，本文選用 Bollerslev(1986)建議之 Berndt *et al.* (1974)的 BHHH 演算法來進行參數向量  $\theta$  的估計，對數概似函數如式(7)：

$$L(\theta) = -\frac{1}{2} NT \times \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \left( \ln \left| \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right| + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)$$

### 3.4 VAR 之衝擊反應函數分析

本文在單變量EGARCH模型之分析後，進一步將各變數之條件波動方程( $h$  值)進行VAR測試，以了解各變數間之短期互動關係。本研究根據Sims(1980)所建構的向量自我迴歸模型(Vector Autoregressive Model, VAR)來進行分析，VAR檢定是直接由資料本身特性來決定動態的模式，屬於一種時間序列的動態模式。在VAR模型中，不必擔心變數中的因果關係，因為在模式中會將各變

數視為內生變數，且每一迴歸方程式皆以變數之落後項為解釋變數，因為在時間序列分析方法中，認為變數的落後項已涵蓋了所有相關訊息。且模式由落後項所組成，可反應模式內變數的動態互動關係。因此，VAR模型的優點能有系統且逐步的檢測變數間所有動態關係的檢定，且能避免一般兩變數的因果關係檢定(Granger causality test)對兩變數單向關係假設的限制因而產生的偏誤，所以利用VAR模型檢定結果應較因果關係檢定完整且正確。

本文依據VAR模型設計共有四家樣本鋼鐵公司之股價指數包含中鋼、新日鐵、米塔爾鋼鐵及亞塞洛鋼鐵，其報酬互動模式如式(8)：

$$\begin{aligned} h_{CS,t} &= \alpha_1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{1j} h_{CS,t-j} + \sum_{j=1}^n \alpha_{2j} h_{NI,t-j} + \sum_{j=1}^n \alpha_{3j} h_{MT,t-j} + \sum_{j=1}^n \alpha_{4j} h_{AR,t-j} + \varepsilon_{1t} \\ h_{NI,t} &= \beta_1 + \sum_{j=1}^n \beta_{1j} h_{CS,t-j} + \sum_{j=1}^n \beta_{2j} h_{NI,t-j} + \sum_{j=1}^n \beta_{3j} h_{MT,t-j} + \sum_{j=1}^n \beta_{4j} h_{AR,t-j} + \varepsilon_{2t} \\ h_{MT,t} &= \delta_1 + \sum_{j=1}^n \delta_{1j} h_{CS,t-j} + \sum_{j=1}^n \delta_{2j} h_{NI,t-j} + \sum_{j=1}^n \delta_{3j} h_{MT,t-j} + \sum_{j=1}^n \delta_{4j} h_{AR,t-j} + \varepsilon_{3t} \\ h_{AR,t} &= \gamma_1 + \sum_{j=1}^n \gamma_{1j} h_{CS,t-j} + \sum_{j=1}^n \gamma_{2j} h_{NI,t-j} + \sum_{j=1}^n \gamma_{3j} h_{MT,t-j} + \sum_{j=1}^n \gamma_{4j} h_{AR,t-j} + \varepsilon_{4t} \end{aligned} \quad (8)$$

其中， $h_{CS,t}$ 、 $h_{NI,t}$ 、 $h_{MT,t}$  與  $h_{AR,t}$  分別為中鋼、新日鐵、米塔爾鋼鐵及亞塞洛鋼鐵報酬率之條件變異數。模型中之落後期乃根據 AIC 與 SBC 準則，選出最適落後期數為 3 期。

### 3.5 資料來源與樣本處理

本文的研究對象選擇四個國家的鋼鐵產業-盧森堡的亞塞洛(Arcelor)鋼廠、印度的米塔爾(Mittal)鋼鐵、台灣的中鋼(China Steel)與日本的新日鐵(Nippon Steel)，並以各鋼廠之股價指數日資料來進行研究，研究的期間為 2002 年 2 月 19 日起至 2006 年 6 月 30 日止，去除非共同交易日共有 983 筆日資料。<sup>15</sup> 由於各國股市假日的不一

<sup>15</sup> 亞塞洛於巴黎證券交易所上市，股票代碼為 ES.LOR，於 2001 年初，由三所歐洲鋼鐵廠合併合成，組成一家全球最大的鋼鐵公司亞塞洛集團，2002 年 2 月 18 日，新公司正式掛牌經營。這家全球鋼鐵巨擘年產鋼鐵達 4600 萬公噸，銷售額近 300 億歐元，擁有員工 11 萬人，總部設在盧森堡。產量規模大大超過日本新日鐵和韓國浦項鋼鐵公司。米塔爾於紐約證券交易所上市，股票代碼為 MT，於 2005 年 3 月 11 日，米

致，因此本實證採用週一至週五的收盤股價指數，同時利用 Hamao *et al.*(1990)經實證方法驗證所得的結論，將同一實證模型中有任一國家股市當日沒有交易行為，則其餘國家同一日的交易資料也予以刪除，Hamao *et al.*(1990)指出此種方法處理各國股市非同步交易的問題，並不影響研究結果之正確性。

#### 4. 實證結果分析

##### 4.1 樣本敘述

本文欲了解樣本資料之基本型態，故於【圖 1】繪出四家樣本公司之股價指數趨勢圖，由【圖 1】可看出各家鋼鐵股價多呈上揚趨勢，除 2005 年 2 月因巴西礦產宣佈調高售價而影響中國鋼鐵與印度米塔爾之股價指數外。會造成鋼鐵股價多頭行情的大部分的原因都是拜中國大陸的快速崛起，市場需求量大增所賜，但一家鋼廠從規劃、興建到完工投產，少說也要十年的時間，也因為如此，供給速度來不及滿足需求，造成鋼價大漲，各家股價也就隨著水漲船高。

四家的股價趨勢圖中，新日鐵與亞塞洛的股價趨勢較為接近，其原因是兩家鋼廠在技術及實質上的合作。亞塞洛公司不但與新日鐵簽定了一項捆綁協議，規定兩家公司在高端汽車用鋼領域中實現部分關鍵生產技術的共用；亞塞洛還與中國寶鋼、日本新日鐵看準中國汽車業的興起，合作於上海成立鋼鐵廠，專門生產汽車用鋼板。

塔爾鋼鐵公司宣布獲准併購美國國際鋼鐵集團，新組建的米塔爾鋼鐵公司將成為全球最大的鋼鐵生產企業，年產鋼鐵 7000 萬噸，遠遠超過此前排名第一的歐洲亞塞洛鋼鐵集團，其公司市值也將超過日本新日鐵公司，達到 185 億美元，目前名列全球第一位。中鋼於台灣證券交易所上市，股票代碼為 2002，研究期間鋼鐵產值排名世界第 17。新日鐵於東京證券交易所上市，股票代碼為 JP:5401，研究期間鋼鐵產值排名世界第 2。

----【圖 1】插入於此----

而【表 1】顯示四個主要樣本公司股市日報酬率之平均數、標準差、最小值、最大值、偏態係數及峰態係數及 Jarque-Bera 的常態分配檢定統計量。<sup>16</sup> 由【表 1】中得知四個主要樣本公司股價的平均日報酬率均為正，可發現此四個主要樣本公司股票市場成穩定獲利之勢，亦即全球鋼價呈現普遍上揚的局面。四個樣本公司中米塔爾與亞塞洛之標準差數值相對較大，由市場面推斷似乎都是受到進軍中國併購中小型鋼廠的消息所影響，2003 年 11 月，亞塞洛與中國寶鋼、日本新日鐵看準中國汽車業的興起，於上海成立汽車用鋼鋼廠；2004 年 1 月印度米塔爾鋼鐵公司首度進入中國於遼寧省營口耗資 10 億美金設廠，2005 年 3 月 11 日，印度米塔爾鋼鐵公司宣布，已獲准並購美國國際鋼鐵集團，此次併購使米塔爾成為全球最大的鋼鐵生產企業，其公司市值也超過日本鋼鐵公司，達到 185 億美元，名列全球第一位。關於此點亦可由最大值的差異中得知。

另外，在各公司股價日報酬率資料之偏態係數，四個主要樣本公司只有中鋼為左偏、其他三家皆為右偏。而在峰態係數方面，四家皆為顯著。另經由 Jarque-Bera 常態分配檢定發現，各國股市的 JB 統計量皆顯著拒絕各國股市日報酬率為常態分配的假設。

----【表 1】插入於此----

【表 2】為各樣本公司股價間日報酬之相關係數矩陣，由於在全世界各地的技術合作及交

<sup>16</sup> 茲將本文中樣本鋼廠之每日股價指數以下列的型式轉換為日報酬率： $R_{i,t} = (\ln P_{i,t} - \ln P_{i,t-1}) \times 100$ ，其中  $R_{i,t}$  為第  $i$  公司第  $t$  期的日報酬率。 $P_{i,t}$ ：為第  $i$  公司第  $t$  期的收盤股價指數；而  $\ln P_{i,t}$  為收盤指數取自然對數。 $P_{i,t-1}$ ：為第  $i$  公司第  $t-1$  期的收盤股價指數。

叉持股，新日鐵與亞塞洛的股價呈現最大的相關係數；相較於亞塞洛，中鋼與新日鐵僅存在少部分產品的技術合作因此相關係數較低。米塔爾一直以來皆以合併或收購為手段在擴充，且其擴充的區域以印度、中亞、東歐及舊俄羅斯地區為主。另外，由於米塔爾宣布要併購亞塞洛鋼鐵的時間是 2006 年 1 月 27 日，與本文的取樣日期無關，因此與其他三家的關連性皆不高。

----【表 2】插入於此----

#### 4.2 單根與共整合檢定

本文採用 Johansen 的最大概似估計法來對四個主要樣本公司股價指數進行共整合檢定。在進行共整合分析前，須先確定資料是否為定態，也就是先對四個主要樣本公司股價指數進行單根檢定，並確認資料是否具有相同的整合級次，因為如果無法確認資料是否具有相同的整合級次，則共整合分析就無法進行。本文所使用的單根檢定方法為 ADF 檢定法，若實證結果發現數列資料拒絕單根的虛無假設，表示數列資料為定態  $I(0)$  序列；若經過一次差分之後的序列通過單根檢定，就屬於定態序列，而該序列即為  $I(1)$  時間序列。

對各樣本公司原始股價指數進行單根檢定結果列於【表 3】，由此表可發現四個主要樣本公司股價指數在研究期間之統計量都無法拒絕序列有單根之虛無假設，表示中鋼、新日鐵、米塔爾及亞塞洛的股價指數無論做時間切割與否，皆為非定態之時間序列。由於各個主要樣本公司原始股價指數皆無法拒絕單根之存在，故將各個主要樣本公司數列資料進行一階差分轉換，繼續進行單根檢定。由【表 3】顯示檢定結果在 1% 的顯著水準下均明顯的拒絕單根之存在，所以序列經過一次差分後即為定態序列，此表示四個主要樣本公司股價指數原始序列在兩段期間皆為  $I(1)$  時間序列，有相同的整合級

次。

----【表 3】插入於此----

經過單根檢定的分析後，可知各個主要樣本公司股價指數皆屬於  $I(1)$  序列，有相同的整合級次，就表示序列可能存在長期的共整合關係。首先，必須選取共整合 VAR 中的最適落後期數，因為 Johansen 的最大概似估計法其 VAR 模型之殘差項必須滿足無序列相關且分配服從常態分配之白噪音，而 VAR 模型常利用適當落後期的選取來達成此項要求，本文則選取以 AIC 作為評估準則。結果列於【表 4】，由表可看出最適落後期數為 1 期，選出最適落後期數後，便可對各個主要樣本公司股價指數之原始序列進行共整合分析，本文將以 Johansen 最大概似法估計四個主要樣本公司股票市場間之長期均衡關係。

----【表 4】插入於此----

一般而言，共整合檢定方法共分兩種，即所謂的 Engle and Granger (1987) 及 Johansen and Juselius (1990)，然而 Engle and Granger 所提出的檢定方法只能檢定出體系內是否存在共整合現象，無法檢驗出體系內存在的共整合向量個數，而 Johansen 最大概似檢定法是在假設誤差項為常態分配的前提下，有考慮所有可能影響變數的因素，故本文利用 Johansen 檢定法來診斷各國股市間是否存在共整合關係。Johansen 檢定法提供了兩組檢定統計量，分別最大特性根 (Likelihood-Max, L-max) 及 Trace 統計量作為評估標準。

共整合模型中僅有四個變數，模型最多只會有三個共整合關係(即 rank 最多為 3)，結果列於【表 5】。而若特性根的 L-max 或 Trace 統計值小於其 90% 的臨界值，即無法拒絕虛無假設，由表中可看出統計值為顯著的無法拒絕虛無假

設  $H_0: r = 0$ ，意即四個主要樣本公司股價皆未建立長期均衡關係，推論造成以上結論的原因可能是四家鋼廠的產品及主要市場有相當大的差異性，中鋼主要著重於內銷市場及少部分在中國大陸的台資企業，新日鐵則是亞太地區的汽車製造業市場及高單價的特殊鋼材及不鏽鋼，米塔爾主要是生產建築用鋼及鋼胚，亞塞洛的產品與新日鐵的相似度有少許重疊，且有技術上的合作，但是其著重區域是在歐陸及中南美洲，其市場特性不同，由其中南北洲與亞太地區的淡旺季剛好完全相反，故四家鋼鐵無法建立長期的均衡關係。

----【表 5】插入於此----

#### 4.3 單變量 EGARCH 模型分析

在傳統的計量經濟模型中，一般皆假設誤差項之變異數為固定，但是大部分金融資產的時間序列資料並不符合此一假設，因此本文採用 EGARCH 模型進行實證研究，強調時間序列資料誤差項之異質性，以及其波動的不對稱性；而利用單變量 EGARCH 模型來分析的優點，便是可以利用其檢驗出過去創新所產生的不對稱衝擊對各國股市波動性所造成的影響，進一步探討世界主要鋼鐵公司股價間的不對稱波動性及傳導效應。

本節的主旨在探討世界主要鋼鐵公司股價間的傳導效應，故所採用的樣本國家不只一個，在國內外有關此主題的文獻中，股價報酬率大多採用 AR(1)模型，在估計四國股市的 EGARCH(1,1)-AR(1)模型參數之前，首先必須檢定四個樣本市場股市日報酬率之 AR(1)過程之殘差項是否存在 ARCH 現象。採用 Ljung-Box 之 Q 檢定對日報酬率模型所產生的殘差項及殘差項平方做序列相關檢定，若殘差項不具序列相關，而殘差項平方具有序列相關，顯示有 ARCH 效果存在，在【表 6】中世界主要鋼鐵公司股價間的殘差項仍有序列相關存在，但值得注意的

是，上述檢定方式只是原則而非定理，一般在實證上有時無法完全滿足  $\varepsilon_t$  與  $\varepsilon_{t-i}$  無關的條件。

----【表 6】插入於此----

因 GARCH 模型中條件變異數  $h_t$  與干擾項 ( $\varepsilon_t$ ) 的平方有關；與  $\varepsilon_t$  的正負符號無關，故無法顯示不同的訊息對波動度的不對稱影響，Nelson(1991)指出因為干擾所造成的影響可能為非對稱，例如，好消息使波動增加的幅度，通常小於壞消息對波動幅度產生的影響。許多實證研究也發現，未預期報酬衝擊與未來的報酬波動存在負向關係，例如 Christie(1982)提出的融資槓桿效果(financial leverage effect)中指出，當公司股價或報酬率下降時，使得公司的負債對權益的比重增加，則公司的財務槓桿程度加大，風險提高，則公司的股價未來的報酬率波動度會提高。故本文採用 EGARCH 模型應更能符合股票報酬的特性。此部分將結合樣本公司之股價(中鋼、新日鐵、米塔爾與亞塞洛)互動的領先(lead)或落後(lag)關係和四國股市間波動性的傳導過程，也就國外非預期的波動衝擊對各國股市波動的影響程度為一實證模型。

【表 7】為全樣本時期四個樣本公司股價之 EGARCH 模型分析結果，可發現  $\gamma_{CS}$ 、 $\gamma_{NI}$ 、 $\gamma_{MT}$  與  $\gamma_{AR}$  四項其絕對值皆小於 1 且顯著，可知整個多變量模型已達穩定的條件。係數  $\alpha_{CS,0}$ 、 $\alpha_{NI,0}$ 、 $\alpha_{MT,0}$  與  $\alpha_{AR,0}$  表示中鋼、新日鐵、米塔爾與亞塞洛當期對應變數的影響，可發現除了中鋼與米塔爾之間當期互相沒有影響，其他皆呈現顯著之正相關，此似乎可發現鋼鐵股價在國際間反應相當快速。而在落後 1 期方面( $\alpha_{CS,1}$ 、 $\alpha_{NI,1}$ 、 $\alpha_{MT,1}$  與  $\alpha_{AR,1}$ )，除了亞塞洛對自己落後 1 期有顯著之正相關外，其他樣本股價則無顯著之反應。從落後 1 期的數

字觀察，雖然部分樣本公司會對落後 1 期的觀察值產生影響，但是大部分在當日已產生反應，此可發現鋼鐵股價間之連動關係似乎是相當有效率。

由  $\rho$  係數可知中鋼與新日鐵受其他樣本公司的非預期干擾的衝擊可迅速且完全反應他國股市的非預期波動，在過去的文獻中，大多統稱為平均波動性外溢效果(mean volatility spillovers effect)，造成此結果的原因可能在於國際金融市場隨著電腦及科技的進步，使得資訊可以即時的傳遞，加上市場自由化的發展，種種因素造成國際股市對這些衝擊快速且完全的反應。根據  $\rho$  值可發現，中鋼與新日鐵  $\rho$  係數為正相關，即為大(小)波動伴隨的大(小)波動，即有波動群聚的現象。

另外，模式鑑定本文採用標準化衝擊序列以診斷模式的適切性，在條件平均方程式 EGARCH 之模型中，由【表 6】可知殘差項 Ljung-Box 的  $Q$  統計量皆不顯著，無法拒絕虛無假設殘差無序列相關，顯示多變量 EGARCH 之模型確能掌握各國股市之平均報酬波動性。而不對稱波動效果，根據 Engle & Ng (1993) 所提出符號偏誤檢定(sign bias test, SBT)、負程度偏誤檢定(negative size bias test, NSBT)、正程度偏誤檢定(positive size bias test, PSBT) 與聯合偏誤檢定(joint test, JT)之診斷方法，來對模型中不對稱的效果進行檢驗的效果最佳，故本文採用之。

由【表 7】中可看出三個國家並沒有因預期到的正面或負面衝擊產生對於其波動性額外的影響。根據【表 7】顯示，各序列之正程度及負程度偏誤檢定的  $t$  值均十分顯著。表示較大的正報酬衝擊與較大的負報酬衝擊對條件波動性之影響比較小的正向報酬衝擊或較小的負報酬衝擊對於條件波動的影響為大。亦即報酬衝擊與條件波動呈正向關係。除買權交易量外，經由  $F$  統計值之觀察，亦可發現兩估計係數相加顯著不為零且為負，其表示負向程度報酬衝擊對於條件波動之影響效果大於正向程度報酬衝

擊對於條件波動之影響效果。可知兩者的不對稱效果存在。

----【表 7】插入於此----

#### 4.4 VAR 模型分析

##### 因果關係檢定(Granger causality test)

本文以中鋼、新日鐵、米塔爾與亞塞洛之 EGARCH 模型所求出之  $h$  值進行因果關係檢定(Granger Causality test)，分析變數兩兩間是否存在雙向的回饋關係，或僅有單向的因果關係，甚至為互不影響的獨立關係。此檢定的結果如【表 8】。

----【表 8】插入於此----

因為在利用 VAR 模型進行衝擊反應分析時，會由於模型中變數排列順序不同，而影響到衝擊反應分析的結果，但當因果關係檢定結果對變數的排序並無明確的準則或結果時，則以經濟理論進行變數排列。由【表 8】可說明中鋼、新日鐵、米塔爾與亞塞洛之  $h$  值序列間的因果關係，可發現中鋼與亞塞洛顯著影響新日鐵，其他則無統計上顯著的影響，本研究針對 Granger 因果關係檢定所求出之數據，將變數排列為亞塞洛、中鋼、新日鐵與米塔爾。

而此因果關係之成因應非開盤時間先後所造成，因為本文在進行時序模型時，已先將開盤時間先後調整為一致(也就是晚 12 個小時開盤者則將其交易日往前調一天以對齊)，故我們並不能此推斷其因果關係是開盤時間先後所造成之結果。同時，過去許多國內外文章為消除因開盤時間先後所產生可能的問題，亦透過調整其交易日的方式來克服此問題。

##### 衝擊反應函數(Impulse response function)

在求得亞塞洛、中鋼、新日鐵與米塔爾之  $h$  值之間的因果關係後，本文將進一步以衝擊反

應函數來進行四變數間衝擊的相互跨期影響。衝擊反應函數圖所得結果，如【圖 2】。【圖 2(A), (B), (C), (D)】為亞塞洛、中鋼、新日鐵與米塔爾之 h 值之間的衝擊反應函數圖。衝擊反應函數所得結果，由【圖 2】可以看出，不論是亞塞洛、中鋼、新日鐵與米塔爾，其在面對來自本身股價衝擊(一單位標準差干擾項)的反應程度均最為激烈；然分析此受自身衝擊之影響，發現新日鐵、米塔爾與中鋼均在第 2 期時開始收斂，到第五期漸趨於 0，而亞塞洛則是在第 5 期時才漸趨收斂並趨近於 0，顯示與其他三家相比，亞塞洛自我衝擊之資訊傳導效率性較強。

另外發現，中鋼、新日鐵與亞塞洛的股價均對米塔爾造成明顯的衝擊，其中尤以面對新日鐵的反應最為強烈並出現正負相間之衝擊，且持續到第 7 期後才趨於收斂；但是當米塔爾面對中鋼及亞塞洛的衝擊時卻是截然不同的反應，當面對中鋼時，所呈現的是負向反應且持續到第 7 期才收斂；但是面對亞塞洛時在第三期前皆呈現微幅的負向反應，但到了第 4 期卻出現強烈的正向反應一直到第 7 期之後才漸趨收斂。

有趣的是，雖然各家的股價皆對米塔爾有顯著的衝擊效應，但從【圖 2(B)】卻發現米塔爾的股價卻對其他三家的衝擊反應呈現不顯著。出現這樣的結果，其原因可能與各家鋼鐵企業的鋼廠所在位置、佔有的市場及其生產的產品有關；米塔爾的鋼廠大部分位於中亞、印度、東歐及舊蘇聯地區，大多屬於新興地區市場，所生產的鋼產品亦屬於較上游且附加價值較低的產品，與其他三家相較之下相對技術密集度較低，其中又以其與新日鐵之間的技術差異最大。故其股價與其他三家只呈現單向的衝擊效果。

----【圖 2】插入於此----

## 5. 結論

本文以 2002 年 2 月 19 日起至 2006 年 6 月 30 日止四年間，全球鋼鐵市場前三大及台灣本土最大的鋼鐵廠商之股市收盤價格為研究對象，旨在探討國際鋼鐵業股價報酬的關連性，利用單根檢定、落後期數與共整合、單變量 EGARCH 模型、因果關係檢定與衝擊反應函數分析等研究方法。本結則對研究之實證結果作成綜合性的結論與建議，並提出未來進一步研究可能發展方向之建議，以提供給投資者與後續研究者做唯一參考依據。

首先針對研究所選取之樣本公司股價間是否具有長期均衡關係，以共整合進行分析，發現國際主要鋼鐵公司長期並無法達到均衡關係，可能因各公司的特性不同與各市場淡旺季有所差異，故造成無法建立長期關係。本文並以 EGARCH 模型檢測是否具有波動外溢的效果，結論發現國際鋼鐵股反應相當快速，且部分公司具有波動群聚的現象發生，即為大(小)波動伴隨著大(小)波動。最後本文將 EGARCH 模型所求出之條件變異數進行 VAR 分析，檢測樣本公司報酬波動之間的短期互動關係。結果發現在因果關係之變數排列結果為，亞塞洛、中鋼、新日鐵與米塔爾。在衝擊反應函數方面，發現亞塞洛、中鋼與新日鐵發生衝擊時，對其他樣本企業有顯著的影響，但米塔爾反應較不顯著，其原因可能與各家鋼鐵企業的鋼廠所在位置、佔有的市場及其生產的產品有關；其所生產的鋼產品與其他三家相較之下相對技術密集度較低，其中又以其與新日鐵之間的技術差異最大。故其股價與其他三家只呈現單向的衝擊效果。

因以共整合模型進行分析結果發現國際主要鋼鐵公司長期並無法達到均衡關係，因此對長期投資鋼鐵業的投資人而言，可針對不同區域及不同產品之鋼鐵公司作分散投資，以達到避險的目的；但對短期投資者而言，由於國際鋼鐵股反應相當快速，部分公司具有波動群聚的現象，在衝擊反應函數方面也發現亞塞洛、

中鋼與新日鐵發生衝擊時，對其他樣本企業有顯著的影響，以此為前提，短期的鋼鐵業投資者必須相當重視此一短期之連動關係。

### 參考文獻

王兆勤(2005)，「台灣半導體產業股價與美國半導體產業關聯性之研究-以DRAM業為例」，中國文化大學國際貿易研究所碩士論文。

王高文與毛維凌(2004)，「單一方程式共整合—GARCH模型：台灣股市之實證研究」，經濟論文叢刊，32:1，1-24。

吳美真(2001)，「美國與台灣生物技術產業股價連動性暨泡沫性研究」，成功大學企業管理研究所碩士論文。

宋瑞蛟與顏錫銘(1993)，「臺灣與亞太各國股票市場收益率之序列相關與關聯性實證研究」，臺灣銀行季刊，44:4，171-200。

李文雄、陳志鈞與陳君達(2005)，「亞洲主要股市報酬關聯性之研究-以日本股市歷史低點前後為例」，企業管理學報，67，1-30。

林基煌與徐政義(2004)，「東亞地區新興市場匯率與股價指數之關係-金融風暴前後的實証分析」，中華管理學報，5:1，23-39。

林景春、邱建良與李命志(2003)，「國際股市報酬關聯性與波動傳遞不對稱現象之研究」，企業管理學報，56，63-85。

邱建良、李彥賢與鄒易凭(2005)，「金融風暴對股市間波動性的連動性影響-ARJI模型」，真理財經學報，13，1-22。

徐守德與林恩右(1993)，「台灣與國際股市價格波動幅度之互動關係」，台北市銀月刊，24:6，68-100。

張賢米(2004)，「台灣明星產業TFT-LCD面板與日本、韓國TFT-LCD面板產業之股價連動關係」，開南管理學院企業管理研究所碩士論文。

莊惟傑(2003)，「美國主要電腦廠商的股價對台灣DRAM廠商的股價影響」，東華大學國際企

業研究所碩士論文。

許馨尹(1998)，「國際產業關聯性對股票報酬訊息傳遞之影響-台灣與美國電子業之研究」，輔仁大學金融研究所碩士論文。

陳萱倫(2001)，「台灣、美國、日本半導體產業股價連動關係」，成功大學企業管理研究所碩士論文。

陳肇安(2005)，「台灣運輸類股指數與BDI等國內外相關指數連動性之研究」，中山大學財務管理研究所碩士論文。

黃玉娟與徐守德(1997)，「台股指數期貨市場價格動態關聯性之研究」，證券市場發展季刊，9:3，4-27。

葉銀華(1991)，「台灣股票市場成交量與股價關係之實證研究-轉換函數模式」，台北市銀月刊，22:21，57-70。

董澍琦、楊聲勇與蔡佳宏(2004)，「大陸資本市場受美、日股市報酬與波動性外溢效果之研究」，台灣金融財務季刊，5:3，15-35。

董澍琦、楊聲勇與藍淑鳳(2005)，「股票報酬與經濟成長-亞太新興國家之實證研究」，東海管理評論，7:1，285-304。

劉祥熹與曾建國(2003)，「共整合系統中隱含共同因子之估計與應用-亞太華人地區股市關聯性之分析」，企業管理學報，56，31-61。

蔡博任(2004)，「台灣加權股價指數、台灣中國概念股股價與香港國企股股價指數關聯性之研究」，淡江大學中國大陸研究所碩士論文。

鄧仙雯(1999)，「美國與台灣高科技產業股市連動現象探討-訊息衝擊反應」，台灣大學財務金融研究所碩士論文。

蘇永成與蔡玠施(1996)，「亞洲新興市場間波動性及報酬之波及效果」，證券市場發展季刊，8:1，67-88。

Arshanapalli, B. and J. Doukas (1993), "International Stock Market Linkages: Evidence from the Pre- and Post-October 1987 Period." *Journal of Banking & Finance*, 17, 193-208.

- Becker, K. G., J. E. Finnerty, and A. L. Tucker (1992), "The Intraday Interdependence Structure between U.S. and Japanese Equity Markets." *Journal of Financial Research* 15:1, 27-37.
- Black, F. (1976), "Studies of Stock Market Volatility Changes." *Proceedings of the American Statistical Association Business and Economics Studies Section*, 117-181.
- Bollerslev, T. (1986), "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity." *Journal of Econometrics*, 31, 307-327.
- Braun, P. A., D. B. Nelson, and A. M. Sunier (1995), "Good News, Bad News, Volatility, and Betas." *Journal of Finance*, 50:5, 1575-1603.
- Cheng, A. C. S. (1998), "International Correlation Structure of Financial Market Movements - the Evidence from the UK and the US." *Applied Financial Economics*, 8:1, 1-12.
- Choudhry, T. (1997), "Stochastic Trends in Stock Prices: Evidence from Latin American Markets." *Journal of Macroeconomics*, 19:2, 285-304.
- Choudhry, T. (2000), "Meltdown of 1987 and Meteor Showers among Pacific-Basin Stock Markets." *Applied Financial Economics*, 10:1, 71-80.
- Christie, A. (1982), "The Stochastic Behavior of Common Stock Variance: Value, Leverage and interest Rate Effects." *Journal of Financial Economics*, 10:4, 407-432.
- Darbar, S. M. and P. Deb (1997), "Co-Movements in International Equity Markets." *The Journal of Finance Research*, 20:3, 305-322.
- Dickey, D. A. and W. A. Fuller (1979), "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root." *Journal of American Statistics Association*, 74, 427-431.
- Emmanuel, A., Sanjay R., and H. Thiewes (2003), "Return Dynamic across the Asian Equity Markets." *Managerial Finance*, 29:4, 1-23.
- Engle, R. F. (1982), "Autoregressive Conditionally Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation." *Econometrica*, 50, 987-1007.
- Engle, R. F. and C. W. J. Granger (1987), "The Effect of International Diversification on Corporate Financing Policy." *Econometrica*, 55, 251-276.
- Engle, R. F. and V. K. Ng (1993) "Measuring and Testing the Impact of News on Volatility." *Journal of Finance*, 48:5, 1749-1778.
- Erb, C. B., C. R. Harvey, and R. E. Viskanda (1994), "Forecasting International Equity Correlations." *Financial Analysts Journal*, 50:6, 32-45.
- Forbes, K. and R. Rigobon (2002), "No Contagion, Only Interdependence: Measuring Stock Market Comovements." *Journal of Finance*, 57:5, 2223 - 2261.
- Geoffrey B., T. Martikainen, and Y. Tse (1997), "Price and Volatility Spillovers in Scandinavian Stock Markets." *Journal of Banking and Finance*, 21, 811-823.
- Granger, C. W. J. and P. Newbold (1974), "Spurious Regressions in Econometrics." *Journal of Econometrics*, 2, 111-120.
- Hamao, Y. R., R. W. Masulis, and V. K. Ng (1990), "Correlation in Price Changes and Volatility across International Stock Markets." *The Review of Financial Studies*, 3, 281-307.
- Huang, C. J., S. H. Ho, and C. Y. Wu (2007), "The Impact of the Asian Tsunami Attacks on Tourism-Related Industry Stock Returns." *Journal of American Academy of Business*, 12:1, 77-82.
- Johansen, S. and K. Juselius (1990), "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Applications to the Demand for Money." *Oxford Bulliten of Economics and Statistics*, 5,



- 169-210.
- Johnson R. and L. Soenen (1993), "Stock Market Reaction to EC Economic and Monetary Integration." *European Management Journal*, 11, 85-92.
- Koutmos, G. and G. G. Booth (1995), "Asymmetric Volatility Transmission in International Stock Markets." *Journal of International Money and Finance*, 14:6, 747-762.
- Liu, Y. A., M. S. Pan and J. C. P. Shieh (1998), "International Transmission of Stock Price Movements Evidence from the U.S. and Five Asian-Pacific Markets." *Journal of Economics and Finance*, 22:1, 59-69.
- Ludwig, A. and S. Torsten (2004), "The Relationship between Stock Prices, House Prices and Consumption in OECD Countries." *Topics in Macroeconomics*, 4, 1114-1139.
- Maysami, R. C. and T. S. Koh (2000), "A Vector Error Correction Model of the Singapore Stock Market." *International Review of Economics & Finance*, 9:1, 79-92.
- Meric, I. and M. Gulser (1989), "Potential Gain from International Portfolio Diversification and Inter-Temporal Stability and Seasonality in International Stock Market Relationships." *Journal of Banking and Finance*, 13:2, 627-640.
- Miyakoshi, T. (2001), "Notes on volatility spillover effects from Japan and the US to the Pacific-Basin." Speech in National Normal University Taiwan.
- Nelson, D. B. (1991), "Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach." *Econometric*, 59:2, 347-370.
- Racine, M. D. and L. F. Ackert (2000), "Time-Varying Volatility in Canadian and U.S. Stock Index and Index Futures Markets: A Multivariate Analysis." *The Journal of Financial Research*, 23:2, 129-143.
- Santis, G. D. and S. Imrohorglu (1997), "Stock Returns Volatility in Emerging Financial Markets." *Journal of International Money and Finance*, 16:4, 561-579.
- Shamsuddin, A. F. M. and J. H. Kim (2003), "Integration and Interdependence of Stock and Foreign Exchange Markets: an Australian Perspective." *International Financial Markets Institutions and Money*, 13:1, 237-254.
- Sims, C. A. (1980), "Macroeconomics and Reality." *Econometrica*, 48, 1-48.
- Sorin, A. T. and B. Zwick (2001), "The Effects of the Asian Crisis on Global Equity Markets." *The Financial Review*, 36:2, 125-142.
- Theodossiou, P., E. Kahya, G. Koutmos, and A. Christopfi (1997), "Volatility Reversion and Correlation Structure of Returns in Major International Stock Markets." *The Financial Review*, 32:2, 205-224.
- Titman, S., K. C. J. Wei, and F. Xie (2004), "Capital Investments and Stock Returns." *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 39:4, 677-702.
- Yang, J., W. K. James, and M. Insik (2003), "Stock Market Integration and Financial Crises: The case of Asia." *Applied Financial Economics*, 13, 477-499.

【表1】樣本基本統計量

統計量	中鋼	新日鐵	米塔爾	亞塞洛
平均數	0.0450	0.0926	0.3435	0.0405
標準差	2.0213	2.1373	3.4909	2.3430
最小值	-16.9788	-7.3427	-14.7154	-8.8796
最大值	8.0761	7.6110	31.4067	17.7087
偏態係數	-0.7433	0.1515	1.4548	0.5854
峰態係數	8.7574	0.5872	11.6759	4.7066
Jarque-Bera	2833.9100 ***	15.6805 ***	5200.4765 ***	844.8464 ***

註：\*、\*\*和\*\*\*分別代表10%、5%和1%顯著水準。

【表2】各樣本公司股價日報酬之相關係數矩陣

變數名稱	中鋼	新日鐵	米塔爾	亞塞洛
中鋼	-----			
新日鐵	0.1252	-----		
米塔爾	0.0224	0.0892	-----	
亞塞洛	0.1393	0.2394	0.1745	-----

【表3】四變數原始序列與差分後序列之ADF單根檢定

	中鋼	新日鐵	米塔爾	亞塞洛
<b>各樣本公司原始股價指數之 ADF 單根檢定</b>				
含截距項與趨勢項	0.1417	1.8584	-0.0573	0.7520
含截距項無趨勢項	-1.0247	-1.3572	-2.0279	-2.0699
不含截距項與趨勢項	-1.5752	1.0766	-1.1108	-0.1472
<b>各樣本公司股價指數日報酬之 ADF 單根檢定</b>				
含截距項與趨勢項	-29.5718 ***	-29.3371 ***	-15.1731 ***	-7.5268 ***
含截距項無趨勢項	-29.6096 ***	-18.7883 ***	-28.4936 ***	-7.7256 ***
不含截距項與趨勢項	-29.5712 ***	-18.6922 ***	-28.4654 ***	-7.5411 ***

註：\*、\*\*和\*\*\*分別代表10%、5%和1%顯著水準。

【表4】AIC準則之最適落後期數

落後期數	1	2	3	4	5	6	7	8
	7.0013*	7.0118	7.0100	7.0360	7.0553	7.0725	7.0528	7.0745

註：\*表依據AIC準則所選取之最適落後期數。其中，模型分別為  $y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^6 \beta_i y_{t-i} + \varepsilon_t$ 。

【表5】共整合檢定-Johansen最大概似法

Eigenv.	L-max	Trace	H <sub>0</sub> : r	p-r	L-max90	Trace90
0.0145	12.57	28.44	0	4	18.03	49.91
0.0086	7.45	15.87	1	3	14.09	31.88
0.0051	4.37	8.42	2	2	10.29	17.79
0.0047	4.05	4.05	3	1	7.50	7.50

註：Eigenv.為檢定量之特徵值；L-max為最大根統計量；Trace為軌跡檢定所求出之統計量；L-max90表示L-max90%之臨界值；Trace90表示軌跡檢定所求出之統計量90%之臨界值。

【表6】各樣本公司股價AR(1)模型殘差項分析

	中鋼	新日鐵	米塔爾	亞塞洛
$Q(22)$	25.2668	21.0535	62.2164 ***	58.3412 ***
$Q^2(22)$	93.8490 ***	56.1347 ***	185.6360 ***	148.3276 ***

註：1.  $R_t = \mu + \gamma R_{t-1} + \varepsilon_t$ ；2.\*、\*\*和\*\*\*分別代表10%、5%和1%顯著水準。

【表7】各樣本公司股價單變量EGARCH分析

	中鋼	新日鐵	米塔爾	亞塞洛
$\alpha_{CS}$	-0.0025	$\alpha_{NI}$ 0.0516	$\alpha_{MT}$ 0.3899 ***	$\alpha_{AR}$ -0.0564
$\alpha_{CS,1}$	-0.0453	$\alpha_{NI,1}$ -0.0417	$\alpha_{MT,1}$ 0.0347	$\alpha_{AR,1}$ 0.0856 **
$\alpha_{NI,0}$	0.0892 ***	$\alpha_{CS,0}$ 0.1131 ***	$\alpha_{CS,0}$ -0.0143	$\alpha_{CS,0}$ 0.1182 ***
$\alpha_{NI,1}$	0.0279	$\alpha_{CS,1}$ 0.0119	$\alpha_{CS,1}$ 0.0422	$\alpha_{CS,1}$ -0.0976 ***

$\alpha_{MT,0}$	0.0013	$\alpha_{MT,0}$	0.0398 **	$\alpha_{NI,0}$	0.1447 ***	$\alpha_{NI,0}$	0.2333 ***
$\alpha_{MT,1}$	0.0123	$\alpha_{MT,1}$	0.0192	$\alpha_{NI,1}$	0.0210	$\alpha_{NI,1}$	0.0500
$\alpha_{AR,0}$	0.0892 ***	$\alpha_{AR,0}$	0.1792 ***	$\alpha_{AR,0}$	0.2843 ***	$\alpha_{MT,0}$	0.1076 ***
$\alpha_{AR,1}$	0.0952 ***	$\alpha_{AR,1}$	0.0488	$\alpha_{AR,1}$	-0.1232 ***	$\alpha_{MT,1}$	0.0262
$\beta_{CS}$	1.1837 ***	$\beta_{NI}$	1.1764 ***	$\beta_{MT}$	2.1497 ***	$\beta_{AR}$	1.3308 ***
$\rho_{CS}$	0.0267 ***	$\rho_{NI}$	0.0626 **	$\rho_{MT}$	0.0026	$\rho_{AR}$	-0.0423
$\gamma_{CS}$	0.1967 ***	$\gamma_{NI}$	0.2207 ***	$\gamma_{MT}$	0.3961 ***	$\gamma_{AR}$	0.4069 ***

Engle and Ng 模式診斷

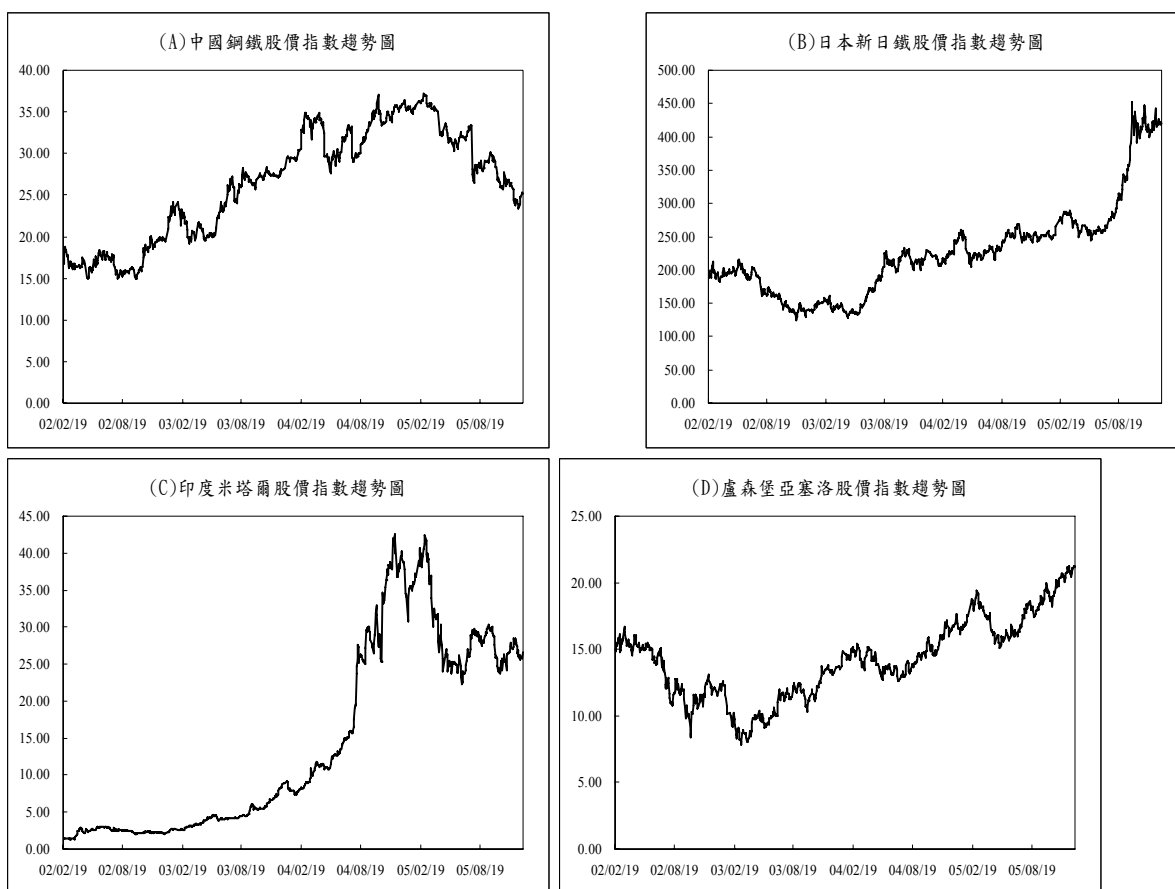
SBT	0.5695	0.4322	0.7562	0.1355
NSBT	-0.0428 **	-0.0164 ***	-0.0543 ***	-0.0666 **
PSBT	0.0936 *	0.0372 ***	0.0331 ***	0.0454 **
JT	16.5830 ***	14.4436 ***	16.4755 ***	12.1111 ***

註：1. \*、\*\*和\*\*\*分別代表 10%、5%和 1%顯著水準。2. 符號檢定： $(V_{j,t}/\sigma_{j,t})^2 = a + bS_{j,t} + e_{j,t}$ ，負程度偏誤檢定： $(V_{j,t}/\sigma_{j,t})^2 = a + bS_{j,t}\varepsilon_{j,t-1} + e_{j,t}$ ，正程度偏誤檢定： $(V_{j,t}/\sigma_{j,t})^2 = a + b(1 - S_{j,t})\varepsilon_{j,t-1} + e_{j,t}$ ，聯合偏誤檢定： $(V_{j,t}/\sigma_{j,t})^2 = a + b_1S_{j,t} + b_2S_{j,t}\varepsilon_{j,t-1} + b_3(1 - S_{j,t})\varepsilon_{j,t-1} + e_{j,t}$ 。

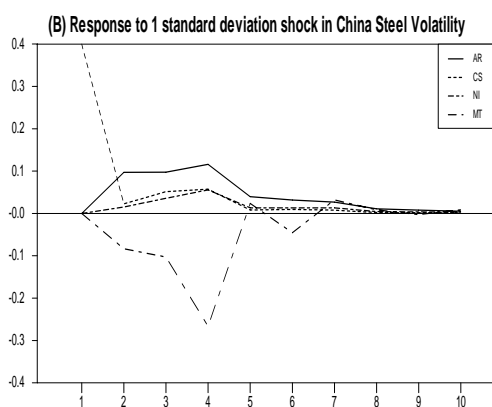
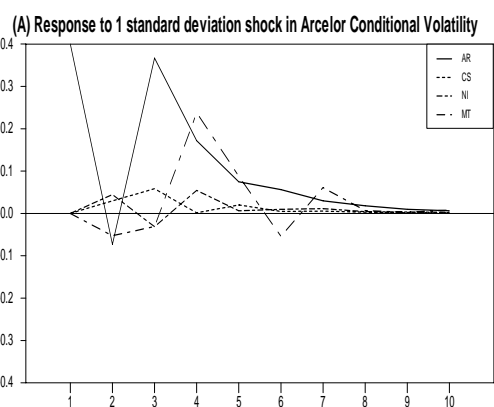
【表8】各變數*h*值間之Granger因果關係檢定統計表

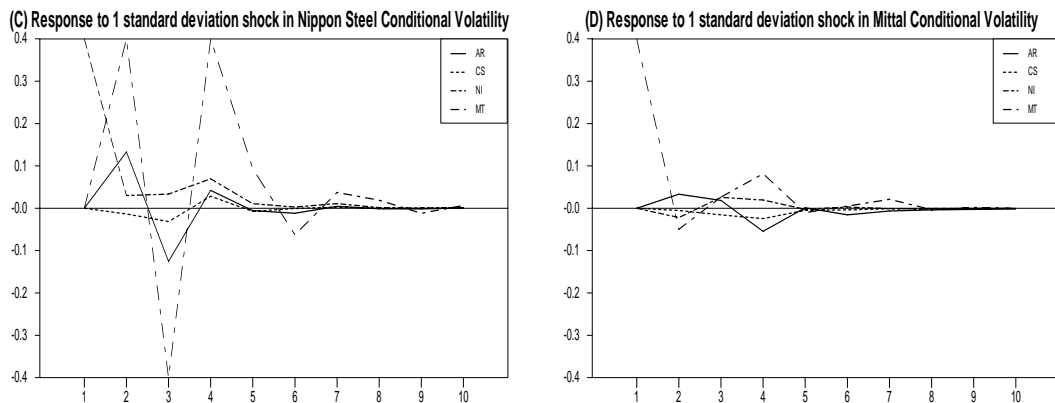
F-值	P-Value	F-值	P-Value
$H_0$ : NI 不影響 CS		$H_0$ : CS 不影響 NI	
0.6929	0.5565	3.0875	0.0265 **
$H_0$ : MT 不影響 CS		$H_0$ : CS 不影響 MT	
0.2811	0.8391	0.0821	0.9698
$H_0$ : AR 不影響 CS		$H_0$ : CS 不影響 AR	
1.6111	0.1853	1.7843	0.1486
$H_0$ : MT 不影響 NI		$H_0$ : NI 不影響 MT	
0.9594	0.4113	1.5714	0.1948
$H_0$ : AR 不影響 NI		$H_0$ : NI 不影響 AR	
4.1613	0.0061 ***	1.8997	0.1281
$H_0$ : AR 不影響 MT		$H_0$ : MT 不影響 AR	
0.0867	0.9674	0.2436	0.8659

註：1.\*、\*\*和\*\*\* 分別代表10%、5%和1%顯著水準下，係數顯著異於零。2. CS、NI、MT與AR分別表示中鋼、新日鐵、米塔爾與亞塞洛。



【圖1】樣本資料之股價指數趨勢圖





【圖2】四變數之衝擊反應



## 產品研發的模糊可靠度分析

### THE ANALYSIS OF FUZZY RELIABILITY DESIGN FOR PRODUCT DEVELOPMENT

許績興

清雲科技大學 工業工程與管理系

[chh@cyu.edu.tw](mailto:chh@cyu.edu.tw)

#### 摘要

在新產品開發之初，除了考量產品功能性、可靠度外，還需滿足體積、重量、成本等的需求。有些需求可能不夠明確，所以本研究應用模糊理論，來處理研發初期的可靠度分析問題。本研究針對具有並串聯複合特性的新產品，探討模糊可靠度最佳化模式的應用，並以數值案例說明本研究所提出的方法。

**關鍵字：**可靠度、並串聯複合、模糊理論



## **ABSTRACT**

In initial product design, except for the function and reliability design, there are some requirements: volume, weight, and cost should be considered. Under the vagueness of information, the fuzzy theory is applied to the reliability design problem. The research presents a redundancy optimization model with a fuzzy goal and fuzzy constraints. In addition, an example by fuzzy theory is illustrated.

**Keywords:** Reliability; Redundancy model, Fuzzy theory

## 一、前言

可靠度設計係考量產品在既定的時間內，於特定的使用條件下執行特定性能或功能，成功達成任務的機率。在新產品開發及設計之初，除了考量功能性及可靠度的需求，需進一步考量維護度、支援度、可用度、生命週期成本等的效益分析[1]，以及體積、重量的需求等。再加上產品開發之初，需求不夠明確及資訊不夠完整，因此結合模糊理論來處理產品的可靠度設計評估是可行的方法[2,3,4]。

本研究係針對具有並串聯複合特性的新產品，發展模糊可靠度最佳化模式，處理產品開發之初，需求不夠明確及資訊不夠完整的分析；並以數值案例說明本研究所提出的方法

本研究提出的方法，可進一步發展為模糊非線性整數規畫模式，並可結合其他最佳解的搜尋方法。

## 二、模糊可靠度的數學模式

可靠度係產品在規定的條件下和規定的時間內，達到功能需求的能力。「可靠度」設計的要害有四項：操作環境、設計功能、統計機率及任務時間。可靠度的度量，常用的特徵量有：故障機率、故障密度、平均壽命等。而可靠度係以平均失效時間(MTBF)為比較基準。

自美國政府於1943年成立可靠度研究小組開始，可靠度的研究已經有長期的歷史。國際間一些標準化組織也訂定很多有關可靠度的標準，例如：國際電工委員會標準-IEC 60300系列，美軍標準規範MIL-STD-785「系統與裝備研發與生產可靠度計畫」、MIL-STD-470「系統與裝備維護度計畫需求」、MIL-STD-756「可靠度模式與預估」、MIL-STD-2068「可靠度發展實驗」等。可靠度的領域很廣，舉凡可靠度的管理、可靠度的設計分析、可靠度的實驗均為研究的領域。以可靠度的設計工作而言，包括：可靠度模式的選擇及建立、可靠度配當、可靠度預估、失效模式與效應分析、失效樹分析、

電子零件及電路容錯分析、潛藏線路分析、可靠度成長分析、料件標準化、可靠度關鍵項目訂定等工作。以可靠度的實驗工作而言，包括：可靠度統計實驗、可靠度篩選實驗、可靠度壽命實驗、可靠度環境實驗、可靠度成長實驗、可靠度加速壽命實驗等工作。

模糊理論適用於處理人類語意函數，以及不夠明確完整的資訊[5]。最近可靠度結合模糊理論的研究頗多，有關「模糊可靠度」模式的發展有：PROFUST (PRObability FUZZY STate)、POSBIST (POSSibility BINARY STate)、POSFUST (POSSibility FUZZY STate)等模式[6,7]，也有相關「模糊可靠度」、「模糊失效樹」的應用研究。「傳統可靠度」與「模糊可靠度」的差異在於前者以「二元邏輯」為基礎，後者允許「多元邏輯」的存在。

近年來結合模糊理論應用在可靠度問題上，已有顯著的研究成果。其中包括串—並聯問題型態的可靠度最佳化，以及發展最佳化的搜尋方法[8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]。本研究藉由上述的基礎，探討模糊線性整數規畫的應用模式，以求得合適的解答。

模式中考量一個  $N$  階段並串聯複合系統，系統中的元件只有單一失效率型態(single type of failure)。假設第  $i$  階段中，由  $1+n_i$  個獨立且相同的元件並聯組成，該元件具有可靠度  $r_i$ 。同時產品因體積、重量、成本等的需求，而有  $m$  個線性限制式，且  $c_{ik}$  表第  $i$  階段中單一元件對第  $k$  條限制式的影響係數， $k=1,2,\dots,m$ 。此外，由於產品開發時，需求不夠明確及資訊不夠完整，本研究以模糊化處理目標函數及限制式，符號“ $\sim$ ”表示“模糊化”。

本研究所探討的問題是針對串並聯複合特性的系統或產品，尋找最佳解  $n_1, n_2, \dots, n_N$ ，以最佳化系統可靠度，其數學模式如下所示：

$$\text{Max} \tilde{R}(n_1, n_2, \dots, n_N) = \prod_{i=1}^N (1 - (1 - r_i)^{1+n_i})$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^n c_{ik} n_i \lesssim c_k - \sum_{i=1}^n c_{ik} \quad (1)$$

$$k = 1, 2, \Lambda, m$$

式(1)為一模糊非線性整數規劃問題，當系統設計複雜度增加，變數與限制式往往以等比級數成長，最佳解的搜尋更困難。

式(1)若經由對數 log 的處理可轉成線性化。其限制式為：

$$\sum_{i=1}^n c_{ij} (n_i + 1) \lesssim c_j, \quad (2)$$

$$j = 1, 2, \Lambda, M_i \quad i = 1, 2, \Lambda, N$$

$M_i$  表示階段  $i$  最大複聯個數， $i = 1, 2, \Lambda, N$ 。此外，假如第  $j$  個複聯元件被使用，則  $x_{ij} = 1$ ，否則為 0，且  $\sum_{j=1}^{M_i} x_{ij} = n_i$ 。

### 三. 模糊線性整數規畫

#### 3.1 具有模糊目標及限制式的模式

一模糊線性整數規畫模式 (0-1 線性規畫)，具有模糊目標及限制式，其數學通式可表成：

$$\text{Max } \tilde{Z} = \sum_j c_j x_j$$

subject to

$$\sum_j a_{ij} x_j \lesssim b_i$$

$$\text{且 } x_j = 0, 1 \quad (3)$$

此處  $\sim$  表模糊關係。

#### 3.2 模糊目標與限制式的歸屬函數

模糊目標的歸屬函數可定義如下

$$u_{\tilde{Z}}(x_1, \Lambda, x_n) = \begin{cases} 0 & Z \leq Z^l \\ \frac{1}{Z^u - Z^l} (Z - Z^l) & Z^l \leq Z \leq Z^u \\ 1 & Z^u \leq Z \end{cases} \quad (4)$$

式中的  $Z^l$  為原線性規畫模式 (去模糊化) 的最佳值， $Z^u$  為放鬆限制條件後的最佳值，即式(3)

的最佳解。

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + d_i, \quad (5)$$

$$x_j = 0, 1$$

限制式部份，一般以連續歸屬函數處理。本研究採三角歸屬函數處理模糊限制式，將其定義為

$$u_{\tilde{C}_i}(x_1, \Lambda, x_n) = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \\ 1 - \frac{1}{d_i} (\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - b_i), & b_i \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + d_i \\ 0 & b_i + d_i \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \end{cases} \quad (6)$$

式中  $d_i$  是限制式的寬鬆值，由決策者依實際需求決定。

#### 3.3 模糊決策的求解

依據 Bellman and Zadeh[5,18]所提出的模糊決策及 max-min 規則，模糊決策可定義為

$$\tilde{D} = \tilde{G} \cap (\cap_i \tilde{C}_i) \quad (7)$$

其對應的歸屬函數定義為

$$u_{\tilde{D}} = \min \{u_{\tilde{G}}, u_{\tilde{C}_1}, \Lambda, u_{\tilde{C}_i}, \Lambda\}$$

$$= \min \{u_{\tilde{G}}, u_{\tilde{C}_i}\} \quad (8)$$

同時明確最佳解可經由下式求得。

$$\max_x \min_i \{u_{\tilde{G}}, u_{\tilde{C}_i}\} \quad (9)$$

整合式(4)、式(6)、及式(9)，模糊線性整數規畫模式 (式(3)) 之明確最佳解，可由下式求得：

$$\max \lambda$$

$$\text{subject to}$$

$$1 - \frac{1}{d_i} \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - b_i \right) \geq \lambda \quad \text{且}$$

$$\frac{1}{Z^u - Z^l} \left( \sum_{j=1}^n c_j x_j - Z^l \right) \geq \lambda$$

$$\lambda \geq 0, \quad x_j = 0, 1 \quad (10)$$

#### 四. 案例分析

本研究以二階段並串聯複合系統，說明所提模式及求解過程。在式(1)中，假設其相關參數如下：

$$N = 2, \quad r_1 = 0.9, \quad r_2 = 0.8,$$

$$c_{11} = 5, \quad c_{21} = 2, \quad c_1 = 12,$$

$$c_{12} = 3, \quad c_{22} = 3, \quad c_2 = 10$$

因此，對應於式(1)的數學模式可寫成

$$\text{Max} \tilde{R}(n_1, n_2) = (1 - (1 - 0.9)^{1+n_1}) (1 - (1 - 0.8)^{1+n_2})$$

subject to

$$5(1 + n_1) + 2(1 + n_2) \leq 12$$

$$3(1 + n_1) + 3(1 + n_2) \leq 10 \quad (11)$$

將式(11)轉換為模糊線性整數規畫，可得下式之線性整數限制式：

subject to

$$5 \sum_{j=1}^4 x_{1j} + 2 \sum_{j=1}^4 x_{2j} \leq 5$$

$$3 \sum_{j=1}^4 x_{1j} + 3 \sum_{j=1}^4 x_{2j} \leq 4 \quad (12)$$

對式(12)去模糊化並求解，可得最佳值  $n_1 = 0$ ， $n_2 = 1$ 。

其次，決策者依據實際的需求放寬限制條件。其中，第一條限制式放寬 16 單位、第二條限制式放寬 10 單位，即  $d_1 = 16$ 、 $d_2 = 10$ 。此時，

可得放寬條件後的新目標最佳值  $n_1 = 2$ ， $n_2 = 2$ 。再來，訂定模糊目標及模糊限制的歸屬函數，分別是式(13)、及式(14)。

$$u_{\tilde{R}}(x_{11}, \Lambda, x_{14}, x_{21}, K, x_{24}) =$$

$$\begin{cases} 0 & R \leq 0.864 \\ \frac{1}{0.127}(R - 0.864) & 0.864 \leq R \leq 0.991 \\ 1 & 0.991 \leq R \end{cases} \quad (13)$$

$$u_{\tilde{C}_1}(x_{11}, \Lambda, x_{14}, x_{21}, K, x_{24}) =$$

$$\begin{cases} 1 & t_1 \leq 5 \\ 1 - \frac{1}{16}(t_1 - 5), & 5 \leq t_1 \leq 21 \\ 0 & 21 \leq t_1 \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{其中 } t_1 = 5 \sum_{j=1}^4 x_{1j} + 2 \sum_{j=1}^4 x_{2j}$$

$$u_{\tilde{C}_2}(x_{11}, \Lambda, x_{14}, x_{21}, K, x_{24}) =$$

$$\begin{cases} 1 & t_2 \leq 4 \\ 1 - \frac{1}{10}(t_2 - 4), & 4 \leq t_2 \leq 14 \\ 0 & 14 \leq t_2 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{其中 } t_2 = 3 \sum_{j=1}^4 x_{1j} + 3 \sum_{j=1}^4 x_{2j}$$

最後，利用式(10)可得下式

$$\max \lambda$$

$$\text{subject to}$$

$$1 - \frac{1}{16}(t_1 - 5) \geq \lambda$$

$$1 - \frac{1}{10}(t_2 - 4) \geq \lambda \quad (16)$$

$$\frac{1}{0.127}(R - 0.864) \geq \lambda,$$

$$\lambda \geq 0, \quad x_{ij} = 0, 1 \quad j = 1, \Lambda, 4, \quad i = 1, 2$$

對式(16)求解，當值當值  $\lambda = 0.6803$ ，此時  $n_1 = 1$ 、 $n_2 = 1$ 、系統可靠度  $R(n_1, n_2) = 0.9504$ 。

由演算過程中的數據，可以發現模糊規畫後的可靠度值介於限制式放鬆前後的最佳值之

間。

## 五. 結論

本研究探討模糊可靠度最佳化模式的應用，適合處理產品開發之初，需求不夠明確及資訊不夠完整的分析問題。在案例部份以並串聯複合特性的可靠度分析方式說明。

本研究的觀念可擴充應用在可靠度多目標的模式；可進一步應用在組件更複雜的產品組合分析。另外，可靠度結合灰色理論、類神經網路是可行的研究方向。

## 誌謝

本研究為國科會計畫的部份成果；計畫編號：NSC-93-2213-E-231-006。

## 參考文獻

1. 卓長模、戴久永，”可靠度與成本效益分析”，中華民國品質管制學會第二十九屆年會徵文集，頁 245-250 (1993)。
2. 許錫美、楊國隆、鄭景俗、張起明，”模糊統計量數之可靠度分析模式”，中華民國第四屆可靠度與維護度技術研討會論文集，頁 243-255(2001)。
3. 郭儒洋，”模糊可靠度運用網圖評核術之研究”，義守大學管理研究所碩士學位論文，(2000)。
4. 韓慧林、張起明，”模糊理論運用在可靠度工程之發展”，中華民國第二屆可靠度與維護度技術研討會論文集，頁 75-79 (1997)。
5. Bellman, R. and Zadeh, L.A., “Decision-making in a fuzzy environment”, *Management Science*, Vol. 17, pp. B-141-164 (1970).
6. Cai, K.Y., Wen, C.Y. and Zhang, M.L., " Fuzzy Variables as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in the Possibility Context ", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.42, pp.145-172 (1991).
7. Cai, K.Y., Wen, C.Y. and Zhang, M.L., “Posbist reliability behavior of typical systems with two types of failure”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 43, pp.17-32 (1991).
8. Chen S.M., “Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp.31-38 (1994).
9. Cheng C.H. and Mon D.L. "Fuzzy System Reliability Analysis by Interval of Confidence", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.56, pp.29-35 (1993).
10. Dunyak, J., Saad, I.W. and Wunsch, D. “A theory of independent fuzzy probability for system reliability”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 286-294 (1999).
11. Gupta, S.D. and Al-Musawi, M.J. “Reliability optimization in cable system design using a fuzzy uniform-cost algorithm”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 37, no. 1, pp. 75-80 (1988).
12. Huang, H.-Z. “Fuzzy multi-objective optimization decision-making of reliability of series system”, *Microelectron. Reliability*, Vol. 37, no. 3, pp. 447-449 (1997).
13. Mon, D.L. and Cheng, C.H. “Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp. 145-157 (1994).
14. Prasad, V.R. and Raghavachari, M. “Optimal allocation of interchangeable components in a series-parallel system”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 47, No. 3, pp.255-260 (1998).
15. Singer, D., " A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.34, pp.145-155 (1990).
16. Utkin, L.V., Gurov, S.V. and Shubinsky, I.B. “A method to solve fuzzy reliability optimization problem”, *Microelectron.*

- Reliability*, Vol. 35, No. 2, pp. 171-181 (1995). (1991).
17. Weber, D.P., "Fuzzy fault tree analysis", *IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference*, Orlando, FL, USA, pp. 1899-1904 (1994).
18. Zimmermann, H.J., *Fuzzy Set Theory – and its Applications*, Kluwer Academic Publishers

## 中共反恐怖鬥爭的國家利益分析

### The Analysis of National Interests of China's Anti-terrorism Campaign

戴春成

國立中山大學大陸研究所

[v2023@ms17.hinet.net](mailto:v2023@ms17.hinet.net)

#### 摘要

自 1990 年代以來，新疆境內、外的東突團體逐漸走向組織化，且為達到其建立「東突厥斯坦國」之獨立目的，東突分離主義分子不斷策動及製造各類恐怖暴力活動，不僅嚴重衝擊與影響新疆社會安定，並對中共政權造成一定程度之威脅。另一方面，國際恐怖主義並未隨著以美國為首的國際反恐聯盟所發起的反恐戰爭而絕跡，全球各地恐怖活動仍持續不斷。911 事件後，反恐怖鬥爭成為中共對內、對外的重要任務，且攸關其國家主權完整與週邊環境安全。中共反恐，所考量及追求的既是國內政治意義上的國家利益，也是國際政治範疇的國家利益，包括政治利益、安全利益、經濟利益、外交戰略利益及文化利益等，都是其當前重要且普遍的國家利益。

**關鍵詞：**中共、東突、恐怖主義、反恐怖鬥爭、國家利益

## Abstract

East Turkestan independence movement groups in and out of Xinjiang have organized and carried out continuous campaigns of terror since 1990 for East Turkestan's independence, seriously damaging Xingjiang's social security and bringing about certain threats to PRC's government. Meanwhile, international terrorism has not been ended by the International Anti-terrorism league led by the USA, and instead terrorism has continued to spread around the world. Since 9-11 Event, anti-terrorism has become an important mission for PRC's government due to its territory completeness and national security. PRC's government carries out anti-terrorism campaign due to its national interests in a domestic political sense as well as its national interests in an international political sense, such as interests of politics, security, economics, diplomacy, culture and so on.

**Key words:** China, East Turkestan, terrorism, anti-terrorism campaign, national interest



## 壹、前言

雖然目前國際上對恐怖主義尚無確切、統一的定義，但中外學者對於構成恐怖主義此一概念的一些基本要素，如具有政治動機、實際使用或威脅使用非常規暴力、傷害對象具有很大的隨意性等，看法仍是相當一致的。<sup>1</sup>

在中共以往的認知裡，新疆分離主義，也就是東突厥斯坦伊斯蘭運動（簡稱東突），是其反恐怖鬥爭的主要對象。然而，911 事件後，隨著恐怖活動的國際化及 2008 年北京奧運的來臨，反恐已不再侷限於新疆，而已成為足以影響其國家安全與國際形象的國家議題。事實上，在任何一個主權國家，國家利益的實現和維護，絕對高於一切，而以東突分離運動為主要打擊對象的反恐怖鬥爭，攸關中共國家生存和發展甚鉅，也是一項外交手段和籌碼，當然是其重要的國家利益。

反恐不可能脫離特定國家利益而單純存在，尤其美國向來善於利用危機來獲取其國家利益。911 事件後，美國藉由組成國際反恐聯盟進行反恐合作，其中可能包含多種含義，例如：消除單邊主義、為貿易談判創造良好合作環境、儘早實現經濟復甦等細緻入微的考慮。<sup>2</sup>911 事件後，布希政府將反恐視為美國制定政策的首要目標，在全球範圍內積極打擊恐怖主義，並在很大程度上重新界定了他國對美國的價值，因為美國需要取得多數國家的支援，盡可能集中一切反恐資源，以應付恐怖主義此一首要威脅。<sup>3</sup>事實上，通過反恐合作，美國暗地裏確實收穫了多重的國家利益。不過，美國藉由反恐合作雖然獲得不少的國家利益，但是另一方面，中共支持反恐，同樣也是以追求國家利益為最高考量，而且美國也會在可以接受的範圍內，默許中共爭取與完成這些國家利益。畢竟，任何形式的國際合作，都需要公平有效地協調各國的國家利益，才能達到預期的目標。

<sup>1</sup>有關恐怖主義之定義，請參考 Michael Radu, *Terrorism After the Cold War: Trend and Challenges*, (Orbis, 2002), p. 275. Benjamin Netanyahu, *Fighting Terrorism* (New York: Farrar Straus Giroux, 1995), p.7-8. 王逸舟主編，*恐怖主義溯源*（北京：社會科學文獻出版社，2002 年），頁 7-13 及 胡聯合，*當代世界恐怖主義與對策*（北京：東方出版社，2001 年），頁 1-17。

<sup>2</sup> Stephen M. Walt, “Beyond bin Laden”, *International Security* (Massachusetts), Winter (2001), p. 67.

<sup>3</sup> Barry R. Posen, “The Struggle against Terrorism”, *International Security* (Massachusetts), Winter (2001), p. 43.

國外學者對中共外交主要的研究途徑基本上有 9 種，<sup>4</sup>其中包括「國家利益研究途徑」。國家利益研究途徑主張，中共和其他西方國家一樣，會根據自身的政治、經濟和軍事力量，以國家利益為最高前提，考慮內、外部環境對其國家利益之影響，理性地制定有利於國家利益之各種政策。本研究命題基本假設中共反恐怖鬥爭主要目的在於「追求國家利益」，中共反恐怖鬥爭，不僅是其內政問題，更是外交戰略，因此本文選擇「國家利益研究途徑」，作為切入探討中共反恐問題之準則，進而分析中共在進行境內、外反恐怖鬥爭時，會考慮或獲得那些國家利益。

## 貳、中共反恐怖鬥爭之背景與作為

### 一、中共反恐怖鬥爭之背景

中共在 1960、70 年代，對於恐怖主義的威脅認知仍不清晰，因為當時國際恐怖組織並沒有將中共作為攻擊對象，也未威脅到中共政權的統治和國家利益。不過，中共從 1978 年 11 屆 3 中全會實施改革開放政策後，與西方國家在政治、經濟、安全上互動日益頻繁，開始認同並參與國際組織，促使中共對恐怖活動的威脅逐漸重視。中共學者王逸舟甚至提出警告，從冷戰後到 21 世紀初，恐怖攻擊已經不分國家與人民，包括中共、俄羅斯、印度、開發中的非洲國家、中東國家、巴爾幹半島等，均是頻繁發生恐怖活動的地區。<sup>5</sup>

1990 年代以來，新疆境內、外的東突團體逐漸走向組織化，且為達到其建立「東突厥斯坦國」之獨立目的，東突分離主義分子開始策動及製造暗殺、綁架人質、爆炸、劫持交通工具、武裝襲擊、縱火等各類恐怖暴力活動，嚴重衝擊並影響新疆社會安定，並對中共政權造成一定程度之威脅。

<sup>4</sup> 包括：國家利益、決策領袖個人、歷史文化、意識型態、派系政治、決策系統、戰略三角、國際體系結構及多元因素等。參見倪世雄等著，*當代西方國際關係理論*（上海：復旦大學出版社，2002 年），頁 250-305。轉引自 Hans Morgenthau, *In Defense of the National Interests* (NY: Alfred A. Knopf, 1951), pp.30-45. James Rosenau, *International Politics and Foreign Policy* (NY: The Free Press, 1962), pp.162-184. Samuel Huntington, “The Erosion of American National Interests”, *Foreign Affairs* (September/October 1997), pp.28-49. Joseph Nye, “The New National Interest”, *Foreign Affairs* (July/August 1999), pp.22-35.

<sup>5</sup> 王逸舟主編，*全球化時代的國際安全*（上海：上海人民出版社，1999 年），頁 259。

「東突」是「東突厥斯坦」的簡稱，也就是新疆分離主義，被中共認定為當前對其具威脅性的恐怖組織。東突獨立運動被中共稱為「三股邪惡勢力」，所謂「三股勢力」，指的是「恐怖主義、民族分離主義、極端宗教主義」，中共有時甚至直接將「三股勢力」與東突劃上等號。<sup>6</sup>東突作為一個政治活動概念，早在 1933 年就已出現了，911 事件後，東突一夕之間被中共定位為「國際恐怖主義」組織，東突在中共政治語境中，成了恐怖主義的代名詞。2002 年 8 月 29 日，美國國務院將「東突伊斯蘭運動」列為國際恐怖主義組織，凍結該組織的資金，並禁止美國政府或私人機構為其提供任何形式的支援；<sup>7</sup>2002 年 9 月 11 日聯合國安理會正式將「東突伊斯蘭運動」列入安理會頒布的「恐怖主義組織和個人名單」；<sup>8</sup>2003 年 12 月 15 日，中共公安部進一步公佈了第一批認定的 4 個東突恐怖組織，包括：東突厥斯坦伊斯蘭運動、東突厥斯坦解放組織、東突厥斯坦新聞信息中心、世界維吾爾青年代表大會等 4 個東突組織，以及艾山·買合蘇木 (Hasan Mahsum) 等 11 名東突恐怖分子成員的名單，<sup>9</sup>全面展開反恐鬥爭。

## 二、中共反恐鬥爭之作爲

中共因認知自身也是遭到恐怖主義威脅的國家，為切斷國際恐怖主義與東突的結盟，自 1996 年起，不斷主導將「上海五國」轉型，並於 2001 年 6 月擴大成立「上海合作組織」，成員國包括中國、俄羅斯、哈薩克、吉爾吉斯、塔吉克及烏茲別克，將合作的內涵由反恐之安全議題，逐步拓展到經濟、軍事、外交等領域。

911 事件後，反恐鬥爭成為中共對內、對外的重要任務。相關之反恐作為，對內方

面，分別在重點省、市、區成立反恐中隊、反劫機中隊或特警部隊；在 7 大軍區設立特種作戰大隊，駐紮在新疆、西藏、內蒙古等少數民族動亂地區；<sup>10</sup>在公安部成立反恐局、設立洗錢犯罪偵查處、反恐協調小組等。對外方面，提出了「堅持與鄰為善，加強區域合作」之策略，<sup>11</sup>參加國際反恐公約，與中亞國家舉行聯合軍演等，<sup>12</sup>積極強化各種反恐作為。

## 參、中共反恐怖鬥爭的國家利益

「國家利益」一詞出現得很早，在古希臘、羅馬帝國興盛時期，便可以在政治家的演說中經常找到它的痕跡，那時候的統治者常以國家利益為理由，號召本國公民投入對鄰國的戰爭。<sup>13</sup>國家利益的概念不是一成不變的，會隨著內外環境的變化而不斷調整，如美國政治學教授 Alvin Rubinstein 認為「國家利益是一個彈性很大、易被隨意解釋的語詞，在任何一個特定時間內佔優勢的國家利益概念，只不過是各種政策動機的混合物」。<sup>14</sup>而美國喬治華盛頓大學的 Martha Finnemore 教授也認為，「國家利益是根據國際上公認的規範和理解來定義的，規範的語境會隨著時間而改變，當國際上公認的規範和價值觀發生變化時，它們就會引起體系層面上的國家利益和行為發生相應的轉變」。<sup>15</sup>

國家利益是國家對內對外行為最基本的動因，也是一國制定各項國家戰略的根本依

<sup>6</sup>高永久、秦偉江，「對上海合作組織發展的制約性因素的研究」，*新疆社會科學*（烏魯木齊），2006 年第 2 期，頁 45-49。

<sup>7</sup>“美方將東突列入恐怖份子，中國表示歡迎讚賞，”  
<http://www.ettoday.com/2002/08/28/163-1345074.htm>  
，2002 年 8 月 29 日。

<sup>8</sup>“安理會認定東突為恐怖組織，中國對此積極評價，”  
<http://news.chinesewings.com/cgi-bin/site/c.cgi?code=big5&id=20020912114742449>，2002 年 9 月 12 日。

<sup>9</sup>“首批公佈的「東突」恐怖組織、恐怖分子基本情況，”  
[http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/newscenter/2003-12/15/content\\_1232565.htm](http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/newscenter/2003-12/15/content_1232565.htm)，2003 年 12 月 15 日。

<sup>10</sup>黃榮嶽，「恐怖主義與反恐怖的辯證關係——談中共反恐怖鬥爭作為，」*中共研究*（台北），第 37 卷第 11 期（2003 年 11 月）：頁 19-21。

<sup>11</sup>中共國家主席胡錦濤在 2003 年 12 月 31 日透過中央人民廣播電臺和中央電視臺，發表 2004 年新年賀詞，強調中共奉行獨立自主的和平外交政策及「堅持與鄰為善、加強區域合作」的方針，進一步發展與周邊國家及廣大發展中國家的友好關係。參見

<http://big5.huaxia.com/xw/00162207.html>，2004 年 1 月 1 日。

<sup>12</sup>李孟勳，*九一一後中共反恐作為之研析，展望與探索*（台北），第 1 卷第 9 期（2003 年 9 月）：頁 58-60。

<sup>13</sup>白希，*現代國際關係導論*（北京：中國政法大學出版社，1991 年），頁 54。

<sup>14</sup>Alvin Z. Rubinstein, *America's National Interest in a Post-Cold War: Issues and Dilemmas* (Boston: McGraw-Hill, Inc., 1994), pp. 39-41.

<sup>15</sup>Martha Finnemore, *National Interest in International Society* (NY: Cornell University Press, 1996), p. 27.

據。探討國家利益內涵是國家利益研究的重要起點，西方學者如 Hans J Morgenthau<sup>16</sup>、Donald Nuechterlein<sup>17</sup> 等人，對國家利益內涵均做出了經典表述。中共學者如方長平、閻學通等人，對國家利益內涵也做了積極的探索<sup>18</sup>。每個國家在不同時期會有不同的國家利益，例如，1960 年代中蘇關係惡化，蘇聯的擴張主義嚴重威脅中共的北部安全，所以當時中共的國家安全利益是防禦蘇聯的軍事攻擊；1990 年代冷戰結束後，大大改善了中共的安全環境，這時中共的國家利益重點是避免捲入軍事衝突，防止分離主義破壞國家統一。<sup>19</sup>

國家利益是一切國家行為的根源，只要探討的對象是國家的動機，就不可能離開國家利益，<sup>20</sup>國家利益也是一國政策制定的基石和出發點，更是檢驗一國對內統一和對外發展成敗得失的根本標準。2000 年 8 月，美國國家利益委員會完成一份關於美國國家利益的研究報告，報告中將美國國家利益定義較為廣泛，按照次序排列了美國國家利益的四大等級序列：即核心國家利益、極其重要國家利益、重要國家利益和次要國家利益。該報告將中共和俄羅斯定位為美國潛在戰略對手，並明確將確保美國價值觀能夠持續地對外國文化產生積極影響作為美國重要的國家利益。<sup>21</sup>

中共認為，當前東突恐怖組織不僅在其境內從事恐怖活動，而且與國際恐怖組織融為一體，受到國際恐怖組織在資金、武器和人員上的支持，在其他國家進行恐怖活動。因此，中共反恐鬥爭，攸關其國家主權完整與週邊環境安全，所追求的既是國內政治意義上的國家

利益，也是國際政治範疇的國家利益，是其當前重要且普遍的國家利益。具體而言，當前中共積極反恐所欲達成之國家利益包括生存和發展兩方面，亦即確保國家領土完整與主權獨立、消除安全威脅、持續經濟發展、建立良好外交關係及防止北京奧運恐怖攻擊事件以提升國家形象等。以下分別就政治、安全、經濟、外交戰略及文化等國家利益分別析述之：

## 一、政治利益

主權指的是現代民族國家對內最高統治權力和對外獨立的權利，前者即「對內主權」，意指針對特定的領土和人口，實施最高決策和執行的統治權；後者即「對外主權」，指的是國家的獨立自主或獨立權。<sup>22</sup>鄧小平認為，國家主權是不可談判的，國家對其領土的獨立管轄權是國家主權重要內容之一。1982 年 9 月，當英國企圖在 1997 年以後繼續管治香港時，他斬釘截鐵地對柴契爾夫人表示：「關於主權問題，中國在這個問題上沒有迴旋餘地。坦率地講，主權問題不是一個可以討論的問題」。<sup>23</sup>易言之，對中共來說，國家主權是一個國家不受外來干預、獨立自主地處理國內和對外事務的最高權力，任何國家一旦失去主權，就根本談不上捍衛國家利益。

目前中共境內大約有 2000 萬左右信仰伊斯蘭教的穆斯林，其中大都聚居在西北尤其是新疆地區。在歷史上，新疆與中亞地區無論在種族、語言或宗教上，關係向來十分密切。然而，自 1990 年代以來，新疆已成爲「泛伊斯蘭主義」<sup>24</sup>和「泛突厥主義」<sup>25</sup>滲透的主要目標，

<sup>16</sup> Hans J. Morgenthau. *The Dilemmas of Politics* (Chicago: University of Chicago Press, 1958), p. 65.

<sup>17</sup> Donald Nuechterlein, *The Concept of National Interest: A Time for New Approach* (Orbis, 1979), pp. 73-92.

<sup>18</sup> 方長平，*國家利益的建構主義分析*（北京：當代世界出版社，2002 年），頁 12-42。

<sup>19</sup> 張家棟、沈丁立，「恐怖語境下的恐怖主義」，*世界經濟與政治*（北京），第 12 期（2003 年）：頁 1。

<sup>20</sup> 唐永勝、徐棄郁，*尋求複雜的平衡：國際安全機制與主權國家的參與*（北京：世界知識出版社，2004 年），頁 174。

<sup>21</sup> Joseph Nye. *The Paradox of American Power: Why the World's Only Superpower Can't Go It Alone* (New York: Oxford University Press, 2002), pp. 141-171.

<sup>22</sup> Graham Evans and Jeffrey Newnham eds., *The Dictionary of World Politics* (New York: Wheatsheaf, 1995), p. 369.

<sup>23</sup> 「我們對香港問題的基本立場」，1982 年 9 月 24 日，鄧小平文選，第三卷（北京：人民出版社，1993 年），頁 13。

<sup>24</sup> 泛伊斯蘭主義 (Pan-Islamism)，又稱大伊斯蘭主義，興起於 19 世紀後半葉，創始人為伊朗人哲馬路丁·阿富汗尼，他主張將全世界信仰伊斯蘭教的穆斯林聯合成一個統一的實體，振興伊斯蘭世界，並與西方文明特別是基督教文明相抗衡，最終目的是建立政教合一的神權國家，把伊斯蘭教政治化。當今世界，從北非大西洋沿岸向東一直延伸到南太平洋，擁有最大多數穆斯林的地區，在「穆斯林大團結」口號下，它與近代幾乎

中共認為，民族分裂勢力、宗教極端勢力、國際恐怖勢力這「三股勢力」是當前新疆與中亞各國所面臨的主要威脅來源。近年來，跨國民族問題不僅對新疆與中亞國家的民族關係產生了很大影響，同時也對中共的政治安全構成了嚴重的威脅。<sup>26</sup>另外，中共一再對外表示，有部分東突分離組織與伊斯蘭極端勢力和國際恐怖主義分子如塔利班（Taliban）、基地組織（Al-Qaeda）有密切聯繫。面對以上種種非傳統安全威脅，中共迫切需要同俄羅斯、中亞國家攜手合作開展反恐鬥爭，共同打擊三股勢力，以維護新疆地區的穩定和中共的國家統一。

長期以來，中亞各國都存在著穆斯林武裝派別之問題，這些派別受阿富汗塔利班組織之鼓舞，有強烈的分離傾向，中共和俄羅斯則分別面臨東突分裂勢力和車臣（Chechnya）叛軍的威脅。從 20 世紀 90 年代以來，是東突活動最密集、最頻繁的時期，對中共社會及政權的危害與威脅也最嚴重。中共一方面將異議人士列為恐怖份子，取得打擊的合法性，以極佳的內控能力，鎮壓新疆分離主義的恐怖暴力活動；另一方面對國際恐怖主義保持高度警覺，並透過上海合作組織與週邊及各友好國家進行多次反恐軍演，以強力措施防範各種國外勢力對其影響，使國際恐怖主義無法對中共內部

構成實質性威脅，在政治上有效確保並維護國家對內、外的獨立自主權，鞏固中共統治的穩定。誠如中共學者張濤於 1995 年指出，「國際恐怖主義的猖獗，不禁使國人擔心，但由於中國政府的態度和卓有成效的努力，我國至今仍是未被恐怖主義染指的一方淨土」。<sup>27</sup>而這也是中共反恐所欲達成的最主要國家政治利益。

## 二、安全利益

### （一）確保中共西北及中亞安全：

9 11 事件後，大國以反恐為名積極在中亞進行軍事與權力競逐，對中共西北地緣構成了新的威脅。例如，美國透過經濟援助、政治和軍事合作等手段長駐中亞，企圖填補該地區的權力真空、打壓俄羅斯戰略生存空間並遏制中共的崛起；俄羅斯則向來將中亞當成自己的後院，運用獨聯體集體安全條約組織和歐亞經濟共同體，對中亞的政治、經濟、軍事進行整合，進一步加強與中亞國家的聯繫；而伊朗、沙烏地阿拉伯、土耳其等伊斯蘭世界國家也利用與中亞穆斯林在宗教、文化上的密切關係，擴大在中亞的影響力；另外，歐盟、日本等大國則積極尋找進入中亞的途徑。由於大國在中亞爭雄競逐，逐漸在中共西部形成了一道由大國構築的相互交織的力量網，不僅極大地限制了中共的戰略生存空間，而且直接威脅到其西北安全。

鄧小平主張，處理國家間關係不應以社會制度和意識型態為依據，而應從國家自身的戰略利益出發，以國家利益為最高準則；在國家利益的重要性方面，始終要把國家的安全和主權放在第一位。<sup>28</sup>國家的一切活動都是建立在國家安全的基礎之上，國家安全與國家主權有著相輔相成的密切關係。西北地區是中共國家安全的西部門戶，而新疆則是中國西部開發的戰略省份，也是中共與中亞國家開展反恐合作

所有的伊斯蘭政治思潮和運動，諸如泛阿拉伯主義、泛突厥主義、伊斯蘭現代主義和伊斯蘭原教旨主義等，都有著千絲萬縷的關係，而西亞及其毗鄰的中亞一帶則是伊斯蘭世界的中心地區。參見：潘志平，「泛伊斯蘭主義簡論」，《西北民族研究》（甘肅蘭州），2004 年第 2 期（總第 41 期），頁 20-30。

<sup>25</sup> 泛突厥主義（Pan-Turkism）萌生於 19 世紀 80 年代，創始人為俄國克裏米亞的韃靼人伽思普林斯基。泛突厥主義是一種主張將土耳其、俄羅斯、伊朗、阿富汗、中國及中亞諸國內所有講突厥語的民族聯合起來，建立「大突厥斯坦」的跨國民族主義勢力和思潮。參見：閻學通、金德湘，*東亞和平與安全*（北京：時事出版社，2005 年），頁 282-283。

<sup>26</sup> 張宏莉，「新疆與中亞跨國民族問題對我國安全的影響」，《蘭州大學學報》（甘肅蘭州），2005 年第 3 期，頁：55-56。

<sup>27</sup> 張濤，「恐怖主義：國際社會關注的一個焦點」，《時事》（北京），1995 年第 4 期，頁 53。

由於 1995 年是恐怖主義陰影下的一個重災年，從東京地鐵毒氣殺人事件，到埃及總統穆巴拉克遇刺、巴黎系列爆炸案，以色列總理拉賓遇刺身亡，到俄羅斯的劫持人質（1995 年 6 月 14 日，車臣武裝恐怖組織在俄羅斯南部，劫持了近千名俄羅斯人質，要求俄羅斯停止攻擊格羅茲尼），無不充滿著恐怖與血腥，而中共境內卻未發生重大恐怖攻擊事件，難怪張濤會作如此表述。

<sup>28</sup> 「國家的主權和安全，要始終放在第一位，」1989 年 12 月 1 日，鄧小平文選，第三卷（北京：人民出版社，1993 年），頁 330-348。

的重要基地，蘇聯解體後，中共西北邊疆的安全形勢發生了巨大的變化，中亞地區誕生了 5 個新獨立國家，加之蘇軍撤出阿富汗，來自蘇聯的軍事入侵危險基本消除，大大緩解了中共西北邊疆面臨的安全壓力。另一方面，由於反恐合作，使中共與中亞五國在推動建立中亞無核區問題上的立場漸趨一致，這在很大程度上也消除了來自中亞方面可能對中共構成的核子威脅。冷戰後，中亞國家之間的邊境安全並不完全是傳統國家之間的領土和軍事對峙問題，更涵蓋了許多非傳統安全問題，諸如走私、犯毒，非法移民，恐怖活動等。由於恐怖主義往往同其他問題相互結合，也因此成為 90 年代後影響中亞各國邊境安全的最大威脅根源。<sup>29</sup>基於此，中共必須就這些非傳統安全問題同俄羅斯和中亞國家進行安全合作，支援和配合各國的打擊恐怖主義行動，方能擁有一個更安全的周邊環境，以確保其領土與邊境之安全。

1996 年 4 月 26 日，中共、俄羅斯、哈薩克斯坦、吉爾吉斯斯坦、塔吉克斯坦在上海舉行首次五國元首會晤，並簽署了〈五國關於在邊境地區加強軍事領域信任的協定〉；1997 年 4 月 24 日，上海五國在莫斯科簽署〈五國關於在邊境地區相互裁減軍事力量的協定〉，有效期至 2020 年 12 月 31 日，由此形成了五國元首每年一次的定期會晤制度，在政治、經貿、安全、外交等各個領域開展全面互利合作，形成所謂的上海五國地區安全合作機制。在上海五國機制的框架內，中共透過雙邊和多邊外交，加強與中亞國家的友好合作關係，促進了邊境問題的最終解決。而經由合作反恐，中共在排除新疆境內的分離分子的外部支援方面，亦獲得了支援，在許多公開聲明

<sup>29</sup> Rajan Menon and Hendrik Spruyt, "The limits of Neorealism: Understanding Security in Central Asia", *Review of International Studies* (London), no.25 (1999), pp. 101-104; Pauline Jones Luong and Erika Weinthal, "New Friends, News in Central Asia", *Foreign Affairs* (New York), Vol. 81, no.2 (March/April 2002), pp. 65-70.

中，中亞領導人都保證向中共提供協助。<sup>30</sup>目前中共已經與俄羅斯和中亞三國達成協定，基本解決了邊界問題，消除了中共西北安全的最大隱患。

## (二) 與美國的競爭與合作：

美國的反恐戰略，是指美國為抗擊恐怖主義(Counter - terrorism) 而制定的國家戰略。<sup>31</sup>對中共國家安全來說，美國反恐戰略的推進是一把「雙刃劍」，其影響是深遠且是多層面的。就地緣安全角度而言，美國掀起全球反恐浪潮有利於中共打擊活動於境內和周邊的恐怖分子和民族分離勢力，但是美國借此增強在亞太地區軍事部署，對中共的周邊安全環境無疑也是一種威脅。911 事件後，美國把反恐列為國家安全政策的首要目標，並且將美軍進駐中亞，但是美國的目的是為了打擊阿富汗的恐怖主義，中亞本身的安全並非美國關心的優先議題，因此上海合作組織對中共及中亞地區的安全與穩定，仍有一定的重要性。此外，中共參與反恐，亦能淡化美、歐及週邊國家對其軍事力量逐年擴張之疑慮，讓外界認為它正轉為內向型的軍事戰略。同時，在上海合作組織架構下，可名正言順實行軍事演習，而不會引起外界緊張與批判，有利於營造和平發展的國際環境。<sup>32</sup>

<sup>30</sup> M. Taylor Fravel, "Regime Insecurity and International Cooperation: Explaining China's Compromises in Territorial Disputes," *International Security* (Massachusetts), Vol.30, no.2 ( Fall 2005), pp. 79-80.

<sup>31</sup> 因美國反恐戰略目標為擊敗(Defeat) 恐怖主義分子及其組織，杜絕(Deny) 對恐怖主義分子的資助及支援和庇護，減少(Diminish) 恐怖主義分子企圖利用的基礎條件及保衛(Defend) 國內外的美國公民和利益，故又稱為「4D 戰略」。見白宮於 2003 年 2 月 14 日公佈之「抗擊恐怖主義國家戰略」。http://:usinfo. state. Gov/regional/ea/mgck/archive03/0303nsct . htm。2006 年 8 月 15 日。

<sup>32</sup> 有關中國國防政策及其內外安全情勢之介紹說明，請參閱中共於 2006 年 12 月 29 日公布之第 5 部國防白皮書—「2006 年中國的國防」。該白皮書全文約 26,000 字，分別論述中共的安全情勢、國防政策、人民解放軍、人民武裝警察部隊、國際安全合作等情況。  
http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/politics/2006-12/29/content\_5

冷戰後，美國作為世界上惟一的超級大國，是最有實力對中共構成威脅的國家，而且其歐亞地緣戰略又與中共的安全利益存在重大的衝突，是中共地緣戰略壓力的主要來源，可以說，在中共周邊安全環境中，美國是最具影響力的國家。另外，美國還視中國為有能力挑戰其全球利益的主要對手。雖然 911 事件後，美國將反恐和防止大規模殺傷性武器擴散作為國家安全戰略的首要任務，在一定程度上緩解和淡化了中美矛盾，但中美之間的戰略分歧和戰略利益衝突並未消失，美國防範和遏制中共的戰略目標並未改變，而中共周邊地帶則是美國遏制中共、危害中共安全利益的主要場所。當然，目前美國對中共安全的威脅大都是間接和潛在的，而且中美建設性合作關係的發展，也有助於抑制和延緩兩國的緊張關係。

美國學者 Denny Roy 及 David Shambaugh 曾表示，反對和打擊恐怖主義是每個國家義不容辭的責任和義務，作為兩個大國，中美合作不僅對於整個國際反恐活動、甚至對於維護中共的國家安全，都具有十分重要的意義，中美之間的合作是十分必要的，符合雙方的利益需要。<sup>33</sup>值得一提的是，以往美國認為其傳統利益在歐洲，但是在後冷戰時期，隨著亞太在全球經濟地位的日益上升，美國的安全戰略中心日益向亞太轉移，這將增加中國因素在美國安全戰略中的力量，未來美國對地處亞太中心的中國將更加依賴。

### 三、經濟利益

隨著經濟全球化的進一步發展，冷戰結束後，世界局勢一個最為顯著的特徵是各國競爭焦點的轉移：由軍事之間的競爭與對抗轉化為以經濟、科技為核心的綜合國力的競爭。今後，世界爆發的衝突甚至戰爭，將更多更直接地起因於經濟利益的衝突，而經濟利益的得失，也將在更大程度上決定各國的戰略走向。經濟層面的考慮，可說是中共反恐怖鬥爭所追求的另一個重要國家利益，其中包括：

#### (一) 有利於西部大開發：

新疆面積廣達 166 萬平方公里，可直接利用的土地面積達 10 億畝，占中共全國的 10 分之 1 以上，且天然資源富集，已發現礦產資源 138 種，其中探明儲量的有 117 種，儲量居全國前 10 位的達 43 種，石油資源量達 208 億噸，占全國陸上石油資源量的 30%，天然氣資源量 10 萬億立方米，占全國陸上天然氣資源量的 34%，煤炭資源預測儲量 2119 億噸，占全國煤炭資源的 40%，居全國首位。<sup>34</sup>新疆是中共戰略資源的重要儲備區，也是其經濟發展的新支點，在新疆進行反恐，打擊境、內外東突恐怖分子，可使中共營造一個穩定的周邊環境與加速西北地區的繁榮，對其經濟的持續發展具有重大戰略意義，有助於西部大開發。

#### (二) 穩定油源及提升與中亞國家經貿互動關係：

近年來，由於全球製造業湧入中國，使中共成為「世界工廠」，但在經濟高速發展的同時，卻也面臨了嚴重的能源危機，遭逢所謂「能源關」的考驗，其國內能源供給已遠遠不能滿足需求，對外依存度逐年提高。<sup>35</sup>中共目前是僅次於美國的世界第二大石油消費國，其進口石油的來源主要為中東、北非和東南亞等三個地區，而中亞裏海地區豐富的油氣資源，使中共視中亞為石油能源戰略的替代地。新疆是中共從中亞輸入能源的主要通道，通過加強與中亞的油氣合作，中共不僅能從中亞獲取油氣資源，而且還可從俄羅斯、中東獲取長期、穩定的油氣供應，拓寬了其進口石油的來源地。再者，新疆地處歐亞大陸腹地，使得新疆具有了連接東、中、南、北亞的交通樞紐的戰略地位。同時，由於中亞各國沒有出海口，所以經由中共新疆、甘肅，再取道江蘇連雲港通往太平洋的「新亞歐大陸橋」，就成為中亞國家通往太平洋的出海捷徑，而這條通道也是中共從中亞進口油氣資源的便利通道。此外，中共與中亞國家間存在著巨大的經貿合作空間，中亞國家獲得獨立後，為中共的經濟發展提供了一個廣大的原料來源地和產品銷售市場。而且，近年來隨著中共對中亞投資規模和領域的不斷擴大，也間接刺激了中亞國家的經濟發展，增強其經濟的造血功能，中共與中亞國家的反恐合作互動，可說是互蒙其利的雙贏關係。

546076.htm。2006 年 12 月 30 日。

<sup>33</sup> Denny Roy, "China and the War on Terrorism," *Orbis*.no.3(Summer 2002), pp.511-512; David Shambaugh, "Sino-American Relations Since September 11," *Current History*(Philadelphia), (September 2002), pp.245-246.

<sup>34</sup> 徐亞清、秦偉江，「中國西北地緣戰略的發展演變，」*西北師大學報*(甘肅蘭州)，第 43 卷第 6 期(2006 年 11 月)，頁 135。

<sup>35</sup> 劉鏞，「影響中國經濟安全的國際因素，」*科學決策月刊*(北京，第 3 期)，(2006 年 3 月)，頁 7。

上海合作組織自 2001 年 6 月 15 日成立迄今，組織間各項合作議題不斷擴增，其內涵由邊境裁軍、軍事互信，逐漸擴充至經貿、投資等多元化與多層次之交流合作。其中經濟合作係從 2003 年在北京通過之〈上海合作組織成員國多邊經貿合作綱要〉正式展開，其後又分別於 2004 年及 2005 年通過了〈綱要落實措施計畫〉、〈落實措施計畫的實施機制〉，把交通、能源、電信、農業及家電、輕工、紡織等領域列為優先方向，<sup>36</sup>使成員國間的經濟合作內容更為具體。由於上海合作組織在地理上橫跨歐、亞兩大洲，佔歐亞大陸 5 分之 3 土地面積，油、礦及農牧資源豐富，並擁有全世界 4 分之 1 的人口，透過該組織之合作，中共可從中獲得極大之經濟利益。

### (三) 進一步深化與美國經貿合作：

911 事件之前，中共與美國雙方經貿關係經常遇到美國國會等的阻撓，如對中共入世設置障礙、經貿問題政治化等。但在 911 事件後，美國為換取中共在反恐方面的幫助，加大力度支持中共滙入世界市場，終使中共於 2001 年 12 月順利加入世界貿易組織，中美經貿關係得以順利發展，並與政治脫鉤，雙邊經貿關係進一步深化。就經濟層面觀察，美國還不認為中共是一個主要威脅者，如美國喬治華盛頓大學教授（George Washington University）、著名中共問題專家 Harry Hardhing 於 2002 年 9 月在接受媒體記者訪問時談到：「對美國而言，中共還不是一個直接的競爭者，經濟並不是一場一方得益另一方就會相應蒙受損失的遊戲。也就是說，並不是一個國家繁榮起來，其他國家必然就會有同樣程度的衰落」。<sup>37</sup>據中共海關統計，從 2002 年起，美國即成為中共第 2 大貿易夥伴，中共則是美國第 4 大貿易夥伴，2003 年中共取代日本成為美國第 3 大貿易夥伴。<sup>38</sup>由於需要中共在反恐方面的支援，布希政府基本上放棄了克林頓政府時代經貿與政治、人權等問題掛鉤的政策，並且向前邁進了一大步。例如兩國在貿易逆差、人民幣匯

率、反傾銷與反補貼、勞工保障、環境標準等問題上，都可以在世貿組織多邊框架內相對公正地予以解決，使中共獲得極大的經濟利益。

當前中共經濟持續成長，而反恐是普世價值，極具合理性與正當性，打擊境、內外東突恐怖分子，可使中共營造一個穩定的周邊環境，有助於西部大開發，促進經濟發展。

## 四、外交戰略利益

1995 年江澤民把鄧小平確定的中共外交主要目標概括為兩個：一是反對霸權主義，維護世界和平；二是增進國際合作，促進共同發展。<sup>39</sup>說明了冷戰以來，中共在外交方面的國家利益就是反對美國單邊霸權主義及促進國際共同發展合作。

### (一) 反對美國單邊霸權主義：

Harry Hardhing 在其大作《美國和中國 1972 年以來的脆弱關係》（A Fragile Relationships: The United States and China Since 1972）中指出，共和美國在許多有直接利害關係的重大問題上分不開，這些問題包括維護朝鮮半島的和平、保持西太平洋的均勢、保護國際環境、全球經濟發展、防止大規模毀滅性武器擴散、建立維護全球和區域安全的新體制等，無論我們對中共的政治制度持何種看法，忽視這樣一個國家都是愚蠢的。<sup>40</sup>中共一向重視與美國的關係，認為雙方在許多國際事務上雖存在著既合作又競爭的關係，但也有不少共同利益，其中尤以外交戰略最直接而明顯，是中共所追求的重大國家利益。

冷戰結束，美蘇超強兩極對立之國際格局雖已不復存在，但是冷戰後的世界並不平靜，原有的一些問題仍未消除，新的衝突熱點又已出現。<sup>41</sup>隨著美國實力的相對下降，它不得不更多地借助聯合國的影響來處理一系列的國際及地區問題。中共與美國都是聯合國安理會常任理事國，如果沒有中共的適度合作，美國

<sup>36</sup>參閱：上海合作組織區域經濟合作網，  
<http://www.sco-ec.gov.cn/crweb/scoc/index.jsp>。2006 年 5 月 30 日。

<sup>37</sup> 苗迎春，“中美經貿往來創造雙贏，”《國際金融報》（北京），2002 年 9 月 2 日，版 4。

<sup>38</sup> 居前兩位的是加拿大、墨西哥。由於兩者是北美自由貿易區國家，享有免關稅優惠，因此實際上，從正常關稅貿易角度衡量，中共已經成為美國最大的貿易夥伴。

<sup>39</sup> 王泰平，鄧小平外交思想研究論文集（北京：世界知識出版社，1996 年），頁 2。

<sup>40</sup> Harry Hardhing, *A Fragile Relationships: The United States and China Since 1972* (Washington D.C.: The Brookings Institution, 1992), pp.410-425.

<sup>41</sup> 劉麗雲、張維英、李慶四，*美國政治經濟與外交概論*（北京：中國人民大學出版社，2004 年），頁 124。

在處理重大國際事務上將處處被掣肘，甚至寸步難行。911 事件後，反恐一躍而為美國對內外的首要之務，也成為美國界定與他國外交戰略關係的重要標準。在布希總統「不是朋友，就是敵人」的現實語境下，中共支持反恐，成為兩國利益的契合點。在反恐領域，兩國在雙向互利的基礎上取得進展，不僅建立了中長期反恐怖主義交流與合作機制、設立了中美反恐工作組、定期交換意見、共用反恐情報，而且在中方的要求下，美國將東突厥斯坦伊斯蘭運動列入了美國國務院恐怖組織名單，極有利於中共對內打擊分裂勢力。

過去布希政府曾多次指出，中共不是美國的「戰略夥伴」，而是「戰略競爭對手」。許多美國學者甚至認為，「中共經濟的增長會擴大其在亞洲的影響，從而擾亂了國際政治」；<sup>42</sup>「中共的崛起是大規模戰爭的潛在根源」；<sup>43</sup>「即使中共不大可能對美國利益構成威脅，美國也很可能會與中共打仗」；<sup>44</sup>「中共的近期目標是取代美國成為遠東的主宰，長期目標則是在全球範圍內挑戰美國的主宰地位」。<sup>45</sup>在在顯示了美國對中共的敵意，言下之意十分明確，就是：一個經濟發達的中共是對亞洲及世界和平的威脅。然而，隨著國際社會反恐鬥爭的深入進行，在國際反恐背景下，布希政府不得不對中美關係重新定位，從所謂「戰略競爭對手」關係轉變為「建設性合作」關係。且 911 事件後，布希總統一再重申中共是一個偉大的國家，美國政府高度重視與中共的關係；中共不是美國的敵人，而是美國的朋友；美國致力於同中共發展建設性合作關係，中共是美國在外交上攜手面向 21 世紀威脅的夥伴。<sup>46</sup>與美國關係是中共的重點外交工作，因此，藉由支

持美國及國際社會反恐，中共大大改善了美外交關係，並使蘇聯解體後失去共同戰略基礎的中美關係獲得了新的支點，有效防堵美國霸權與單邊主義之發展，從中獲得了明顯而直接的外交利益。

2001 年 4 月 1 日，距布希總統上臺不到三個月，發生了美中撞機事件，事件發生後，中美兩國中斷了事先商定的軍事交往，一年多時間裏，兩軍沒有任何往來，使美外交關係陷入空前惡化僵局。<sup>47</sup>一直到 911 事件後，美國為尋求中共支援反恐，從全球戰略出發，沒有在中國申請加入世界貿易組織和申辦 2008 年奧運會這兩件大事上作梗，中美關係逐漸緩和，美國對中共戰略定位發生轉折，中美關係「由冷轉暖」，美國政府明顯地改變了原來強硬的立場，兩國領導人高層互訪頻繁，開展了一系列戰略對話。據統計，雙方在四年中的會晤共計超過 10 次，其頻度在中美關係史上實不多見。<sup>48</sup>911 事件的爆發，使中共與美國找到一個新的利益結合點—反恐，進入了所謂的「後 911 時代」，這是冷戰結束以來中美關係史上最好的時期。

所有研究中美外交關係的學者幾乎一致認同，改善中美關係的唯一辦法，就是儘可能擴大兩國之間共同利益。911 事件的確第一次為中美兩國提供了重大的戰略利益，而支持反恐確實也滿足了中共多方面的國家利益。問題是，隨著國際反恐鬥爭的進一步發展或弱化，反恐是否還能繼續成為中共與美國之間強大的共同利益基礎？仍有待後續觀察。

## （二）促進國際共同合作發展：

俄羅斯和中亞國家對中共的地緣政治和國家利益至關重要，藉由合作反恐，中共可進一步加強與俄羅斯及中亞國家的睦鄰友好關係，徹底消弭來自北部和西北邊境的威脅，同時可突破自 1996 年美國與日本重新定義美日安保同盟條約後對中共的圍堵，反制美國霸權，加速世界多極化的進程。<sup>49</sup>

<sup>42</sup> Samuel P. Huntington, *The Clash of Civilizations and Remaking of World Order* (New York: Simon & Schuster Inc., 1997), p.218.

<sup>43</sup> Ibid., p. 208.

<sup>44</sup> Richard K. Betts and Thomas J. Christensen, "China: Getting the Questions Right," *The National Interest* (Washington D.C.:The Nixon Center, Winter 2000), P.17.

<sup>45</sup> Robert Kagan, "What China Knows That We Don't," *The Weekly Standard* (Washington D.C.:News America Inc.,Jan 1997), p.20.

<sup>46</sup>2003 年 2 月 10 日布希總統訪問北京與江澤民會晤時之談話，參見「推進中美建設性合作關係新發展」，

<http://big5.huaxia.com/zt/2002-04/78291.html>。2005 年 6 月 2 日。

<sup>47</sup> 陶文釗，「布希當政以來的中美關係」，*同濟大學學報*(上海)，第 15 卷第 2 期(2004 年)，頁 1-10。

<sup>48</sup> 有關 911 事件後，中共與美國兩國高層互訪與對話情形，請參閱中華人民共和國外交部網站「外交動態」，

<http://www.fmprc.gov.cn/chn/wjdt/default.htm>。2006 年 4 月 3 日。

<sup>49</sup> Avery Goldstein, "The Diplomatic Face of China's



另外，中共倡導成立上海合作組織，不僅能與中亞國家在能源、經貿上建立合作關係，同時又可在某種程度上建立軍事、外交同盟，與美國的單邊主義相抗衡，具有戰略方面之國家利益；值得一提的是，上海合作組織已與聯合國亞太經社理事會等多個國際組織建立聯繫平台，並於 2004 年 12 月正式獲得聯合國大會觀察員之地位，參加聯合國安理會反恐委員會，中共亦可藉此攫取外交方面之國家利益。<sup>50</sup>

## 五、文化利益

文化利益是毛澤東國家利益觀的重要內涵之一。<sup>51</sup>毛澤東時期倡導和力行的「井岡山精神」、「延安精神」、「雷鋒精神」等歷史條件下家喻戶曉的口號，是當時中共億萬工人、農民、士兵和知識分子贊同、效仿和踐行的內在動力。毛澤東特別重視思想政治教育和主流意識形態教育，對爭取與維護國家文化利益也不遺餘力。他心目中所設想的新中國願景，不僅僅只是一幅物質文明高度繁榮的圖象，而是一幅精神文明與物質文明交相輝映的景象。在毛澤東心中，人的精神狀態、社會的道德水準甚至遠比物質文明的成就更具有價值。<sup>52</sup>

2008 年 8 月，第 29 屆奧運會即將在北京舉行，這是舉世矚目的重大賽事，也是中共第 1 次承辦奧運會。鑒於近年來國際上恐怖襲擊事件接二連三發生，加上奧運史上曾發生一些恐怖攻擊事件，如 1972 年慕尼黑奧運發生過恐怖分子劫持奧運選手、1996 年亞特蘭大奧運發生奧林匹克公園爆炸事件等，使 2008 年北京奧運的反恐及安全工作，受到中共當局及世人高度重視，如何防範恐怖攻擊，在奧運期間做到滴水不漏，已成為中共舉國上下最重要的當務之急。與其說 2008 年北京奧運反恐攸關中共的國家安全利益或外交利益，不如說這是文化利益，因為確保 2008 年北京奧運賽事順利進行，關係中共國家形象至鉅，絲毫閃失不得。奧運期間，一旦發生恐怖攻擊事件，將會

對北京及中共的國家形象造成不可估量的損失。

國家形象是一個綜合體，它是國家的外部公眾和內部公眾對國家本身、國家行為、國家的各項活動及其成果所給予的總的評價和認定，國家形象具有極大的影響力、凝聚力，是一個國家整體實力的體現。<sup>53</sup>它是國際社會公眾對一國相對穩定的總體評價，<sup>54</sup>也是一個主權國家和民族在世界舞臺上所展示的形狀相貌及國際環境中的輿論反映。<sup>55</sup>從傳播學角度來看，國家形象是一個國家在國際新聞流動中所形成的形象，或者說是一國在他國新聞媒介的新聞言論報道中所呈現的形象。<sup>56</sup>

中共一向以「文明大國」、「和平大國」自居，積極建立所謂的「大國形象」。事實上，無論是國家形象的塑造還是國家外交戰略的制定與實施，目的都是為了最大限度地服務於國家利益。大國形象作為軟實力的重要內容，是國家利益與國家實力的重要組成部分。大國形象所反映的是國人對自身所處位置的重新定位，對國際社會某種新的承諾，代表著歷史的進步和一種深層次的文化思考。<sup>57</sup>

奧運會發展至今，已不僅僅是世界上規模最大、參賽國最多、競賽項目最全的體育盛會，同時也是受關注程度最大、社會影響最深遠、一次資金投入最多的國際活動之一，也是一個國家展現「軟實力」、建立國家形象的絕佳機會。尤其當今在全球化時代，通訊、交通與資訊具有開放性和公用性，移動通信、電視衛星、國際互聯網和其他傳媒技術已經被恐怖主義組織當作蒐集情報和傳遞資訊的高效作案工具。<sup>58</sup>中共為防止北京奧運期間發生任何恐怖攻擊事件，危害其國家形象，進而維護並

Grand Strategy”, *China Quarterly* (London), Vol.168 (December 2001), pp.835-864.

<sup>50</sup> 張益銘，中亞區域組織發展的新焦點—上海合作組織，第六屆台灣與中亞論壇國際學術會議，桃園，2006 年 11 月，頁 14。

<sup>51</sup> 張俊國，“對毛澤東國家利益觀評價的若干思考”，*湘潭大學學報*（湖南省湘潭市），第 31 卷第 3 期（2007 年），頁 10。

<sup>52</sup> 何顯明，*超越與回歸：毛澤東的心路歷程*（上海：學林出版社，2002 年），頁 61。

<sup>53</sup> 管文虎，*國家形象論*（成都：成都科技大學出版社，2000 年），頁 23。

<sup>54</sup> 楊偉芬，*滲透與互動—廣播電視與國際關係*（北京：北京廣播學院出版社，2000 年），頁 25。

<sup>55</sup> 李壽源，*國際關係與中國外交—大眾傳播的獨特風景線*（北京：北京廣播學院出版社，1999 年），頁 305。

<sup>56</sup> 徐小鶴，國際新聞傳播中的國家形象問題，參見劉繼南主編：*國際傳播—現代傳播論文集*（北京：北京廣播學院出版社，2000 年），頁 27。

<sup>57</sup> 王逸舟，*探尋全球主義國際關係*（北京：北京大學出版社，2005 年），頁 256。

<sup>58</sup> Audrey Kurth Cronin, “Behind the Curve: Globalization and International Terrorism”, *International Security* (Massachusetts), Winter (2002), pp.30-58.

發揚其「文化利益」，乃一再透過國際媒體報導，宣示其對內、對外反恐之決心。相關反恐規劃包括：由公安部、國家安全部和軍方負責，提升反恐層次，成立更高級別的反恐指揮機制；規劃建立一支以反恐怖主義活動為重點的專業化快速反應特別部隊，於北京奧運期間投入 10 萬名安保人員，包括 4 萬名警察、近 3 萬名武警、1 萬名保安和其他志願者等。<sup>59</sup>

#### 肆、結語

911 事件後，東突由中共的內政問題轉變為大國關係中的國際問題，促使中共對東突的「反恐怖鬥爭」，從中央到地方、從官方到民間、從治安部門到各個領域，全方位地啟動。而美國也一直強烈懷疑中共藉反恐之名，行迫害維吾爾族人權之實。<sup>60</sup>

而在國際反恐合作方面，美國政府希望中共加入反恐，以期建立一個完整的反恐聯合陣線，並藉反恐在中共周邊開展政治、外交、軍事攻勢，將當前的反恐與長遠的防範、遏制中共的戰略意圖結合起來；<sup>61</sup>中共願意與美國在反恐問題上合作，則是希望在加入國際反恐聯盟的同時，也能有效打擊東突等境內分離組織，並希望美國不要把中共看作是它的潛在對手或敵人。反恐雖然在表面上有效加強了中共與美國之間的合作及改善關係，但是如果從國家利益的角度去分析，就不難看出以反恐作為中美兩國關係新戰略基礎的片面性、侷限性、脆弱性和短暫性。

事實上，經由本文以上的分析，吾人可以有一個清晰的概念，那就是中共無論對內向東突進行反恐怖鬥爭、主導成立上海合作組織，或是對外宣示支持美國打擊國際恐怖主義，其真正意涵就是追求「國家利益」。國家利益有多個面向，而中共反恐怖鬥爭所追求的是「維護國家領土與主權完整」的政治利益、「打擊新疆分離主義」的安全利益、「加強能源開發與促進合作」的經濟利益、「防止美國霸權、單邊主義」的外交戰略利益以及防止北京奧運遭恐怖攻擊的國家形象利益。可以預見，未來中共在制定其反恐政策或與中亞各國及美、俄等大國反恐互動時，均會以前述國家利益為最

高考量，並盡力使這些國家利益極大化。

19 世紀的英國人帕默斯頓 (Palmerston) 伯爵曾說過：國家之間沒有永恆的朋友，也沒有永恆的敵人，只有永恆的利益，這些利益是我們責無旁貸的追求。<sup>62</sup>。中共透過反恐，雖可獲得、維護或爭取以上若干國家利益，然而，在瞬息多變的國際大環境中，國家間利益的競合或排異，隨時都有可能發生變化，不容易掌握。

<sup>59</sup> 北京奧運啟動反恐防暴規劃：10 萬保安保安全，  
<http://big5.huaxia.com/gd/jctj/00207902.html>，  
2004 年 2 月 6 日。

<sup>60</sup> “美抨擊人權問題惡化，中共反彈，” *中央日報*，2005 年 3 月 2 日，版 6。

<sup>61</sup> 潘志平，*中南亞的民族宗教衝突*（烏魯木齊：新疆人民出版社，2003 年），頁 176。

<sup>62</sup> Richard N.Hass, "What to Do With American Primacy," *Foreign Affairs*(N.Y.), vol.78, no.5(Sep/Oct 1999), p. 74.

## 戒菸前、後運動心跳率之差異研究

### A Study on Heart Rate Differences Before and After Quitting Smoking During Exercise

蔡德榮

清雲科技大學

[liuph@ncit.edu.tw](mailto:liuph@ncit.edu.tw)

#### 摘要

本研究之目的在於探討戒菸前、後運動心跳率的差異性。受測對象為清雲科技大學教職員工 30 人。以「戒菸前、後心跳率測量紀錄表」為測量工具，測驗與評量的項目為：血壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心心跳率與恢復期心跳率等五項。將填寫及測量所得之資料，以 SPSS for Window 10.0 版統計軟體進行分析，所得結果如下：(一) 戒菸前之血壓、安靜心跳率、運動前心跳率以及恢復期心跳率比戒菸後高，且均呈顯著性之差異。(二) 戒菸前與戒菸後第二週之運動中心心跳率並無顯著性差異。從研究中發現：戒菸前與戒菸後的血壓與各項心跳率均呈顯著的差異性。本研究結果之傾向指出：吸菸行為可能影響血壓及心跳率的狀況；關於吸菸與否對運動中心心跳率的差異性，亦可作為後續研究之參考。

**關鍵詞：**戒菸、血壓、運動時間、運動心跳率。

## **Abstract**

The purpose of this study is to explore the difference in heart rates before and after quitting smoking. Thirty members of the faculty at Ching Yun University were selected to be tested. They were given a form—*Heart Rates Before and After Quitting Smoking Chart*, and recorded their progress in the following five components : blood pressure, resting heart rate, heart rate before exercise, exercise heart rate and recovery heart rate. The data was then analyzed through SPSS for Windows. The following are the results of this study : (1) Before quitting smoking, blood pressure, resting heart rate, heart rate before exercise and recovery heart rate not only higher than after but also showed the significant differences. (2) No significant difference was found in exercise heart rates on the second week after quitting smoking. Thus, it can be concluded that smoking potentially affects blood pressure and heart rates. Additional researches need to be done in exercise heart rates for smokers and non-smokers.

**Keywords:** quitting smoking, blood pressure, exercise time, exercise heart rate.

## 壹、緒論

### 一、研究問題與背景

隨著台灣經濟的發展、國民生活水準的提高，國人生活方式跟著改變，對公共衛生的認知也相對的提升；醫學科技研發的成果一日千里，使過去一些威脅人類健康及生命的傳染病，已幾乎可以加以控制，取而代之的肇因為人類生活行為習慣的改變與壽命的延長，導致增加社會負擔的慢性疾病及退化性疾病。而當前公共衛生工作的重點，已由急性病症的治療轉為慢性病的防治。

自 1980 年代以來，健康促進的觀念在世界各地風起雲湧，政府與民間機構均積極推動，以強化個人實行健康生活的能力，進而達到延年益壽並提升生活品質。然而在諸多危害健康的行為當中，吸菸是造成疾病與死亡的最危險因素之一；吸菸會引起肺癌、口腔癌、咽喉癌等各種癌症，以及心血管疾病、慢性阻塞性肺氣腫、慢性支氣管炎等，並會引起早產、死胎及新生兒體重不足（US Dept of Health, Education and Welfare, 1990）。吸菸的危害早在 400 年前已被懷疑，直到 1964 年美國公共衛生署長才做有系統化的科學性報告，吸菸有礙健康的事實，一再地被確定（US Dept of Health, Education and Welfare, 1975）。

儘管菸害的證據確鑿，但長久以來，吸菸行為被認為是個人的選擇與權利；近三十年來，在流行病學與臨床醫學研究均證實了吸菸對人體的危害，不僅主動吸菸（active smoking）會造成許多疾病與加重病情，而所謂的被動吸菸（passive smoking）也使得不吸菸者罹患肺部及心血管系統疾病的機率增加（Gantz 等，1991）。

世界衛生組織更將吸菸所引起的疾病稱為「可預防的最嚴重生理疾患」，可見菸害與禁菸已成為公共衛生的重要課題。吸菸導致肺癌及慢性肺疾病的機轉，已漸為吾人所了解。吸菸與心臟血管疾病間，有充分流行病學上的證據

支持其因果關係（US Dept of Human Service, 1990）。因為心臟血管疾病如高血壓、冠狀動脈心臟病、中風及週邊血管疾病等皆屬於多重致病機轉及因子的疾病，涉及人體代謝、循環、神經、內分泌、血液等系統，十分複雜，較不易研究，然而菸害在醫學上的機轉及證據，也在科學家們的努力下逐漸浮現（US Dept of Human Service, 1990）。

### 二、研究動機

研究者從事體育教學與各項運動訓練工作三十年，發覺在校的青年學子吸菸行為相當普遍，而研究者吸菸習慣已有四十年，由於年齡漸增，深感心肺功能急速衰退，可能與長年吸菸習慣有相當之關連，於是收集有關菸害資料，深入了解香菸對人體的影響，發覺自身的身體狀況與各專家學者研究菸害的結果（心肺耐力的急速衰退與胃疾的罹患…等）大致吻合；在言教不如身教的理念下，於是邀請有多年吸菸習慣的同仁，一起參與戒菸活動，以做為有吸菸習慣學生的榜樣與示範作用。

為了能更有力的佐證吸菸對人體生理的負面影響，因此進行【戒菸前、後運動心跳率之差異研究】，比較吸菸、不吸菸、戒菸前與戒菸後，在固定的跑步速率及運動時間下，探討人體運動心跳率的差異性。

### 三、研究目的

本研究之目的在於：

探討吸菸組、不吸菸組及戒菸組戒菸前、後之血壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心心跳率及恢復期心跳率的差異。

### 四、研究假設

本研究之假設為：

吸菸組、不吸菸組及戒菸組戒菸前、後之血壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心心跳率及恢復期心跳率有顯著性差異。

## 五、研究限制

本研究之限制，乃因本校無生化科技之學系，且缺乏生化之儀器及技術人員，僅能以現有之設備從事運動心跳率之研究。而受試者測試時之交感神經的活動與身體核心溫度的上升、測試前之睡眠是否足夠以及生活中是否受二手菸的影響，無法掌控。

## 六、名詞解釋

- (一) 固定跑步速率及運動時間：本研究乃以受試者於 Johnson Vision T 8500 跑步機上，在坡度 0.00%，以每小時 4.00 英哩之固定速度，從事 15 分鐘之跑步運動及 5 分鐘之恢復期（動態之休息）。
- (二) 心跳率：生理指標中，心臟每分鐘跳動的次數。
- (三) 安靜心跳率：本研究以坐下休息 30 分鐘後測量所得之心跳率為安靜心跳率。
- (四) 運動前心跳率：指受試者於跑步機測試之前，由 POLAR F1™ 心跳率測量器所測得之心跳率為本研究之運動前心跳率。
- (五) 運動心跳率：受試者在相同運動時間（15 分鐘）與固定的跑步速率（4.00 英哩/時）之運動 15 分鐘中，由 POLAR F1™ 心跳率測量器所測得之心跳率為本研究之運動心跳率。
- (六) 恢復期心跳率：運動後心跳率恢復的狀況，就是利用在跑步機以 4.00 英哩/時之速度跑 15 分鐘截止後的第 1、3 與 5 分鐘【第 15 分鐘速率降為 1.00 英哩/時，第 16 分鐘速率降為 0.80 英哩/時，第 18 分鐘速率降為 0.50 英哩/時。（因受試者年齡均為 50 歲以上之中年人，基於安全上的考量，無法運動結束即以安靜休息狀態測量恢復期心跳率。）】，由 POLAR F1™ 心跳率測量器所測得之心跳率為本研究之恢復期心跳率。

## 貳、研究方法

### 一、研究對象

本研究之研究對象，以清雲科技大學教職員工年齡 50 歲以上之男性（排除有罹患高血壓、心律不整、心血管疾病或退化性關節炎者。）計 36 人，為本研究之研究對象。（實驗期間有 6 人無法全程參與測試，共計 30 人全程完成實驗，完成率為 83.33%。）分成吸菸組、不吸菸組與戒菸組（戒菸前及戒菸後）共三組。三組成員的定義如下：

- 1、吸菸組：本研究對吸菸組的成員是指受試者的吸菸年齡為 20 年以上，吸菸量為 20 支/日以上；於實驗測量期間仍持續吸菸者。
- 2、不吸菸組：本研究對不吸菸組的成員是指受試者過去完全不曾吸菸；於實驗測量期間亦不吸菸者。
- 3、戒菸組：本研究對戒菸組的成員是指受試者的吸菸年齡為 20 年以上，吸菸量為 20 支/日以上，在接受第一次心跳率測量完成後至實驗全程測量完成期間，完全不吸菸者。

### 二、研究工具

本研究所使用的工具如下：受測者須知及同意書（如附錄一）、戒菸前、後心跳率測量紀錄表（如附錄二）、身高體重器（Super-View full automatic Hight & Weight Scale, HW-999—台灣，如附錄三）、POLAR F1™ 心跳率測量器（19024888.01GEN(ENG)/FRA B，如附錄四）、ALP K2 血壓測量器（sphygmomanometer—Japan 如附錄五）、Johnson Vision T 8500 跑步機（Vision Fitness Lake MILS WL, ETL Listed Conforms to UL STD 1647 Certified to CAN/GSA C22-2 No 68-92, 如附錄六）、身高體重測量實況（如附錄七）、血壓測量實況（如附錄八）與心跳率測量實況（如附錄九）等。

### 三、測量方法及流程

#### (一) 測量方法

受試者於測量前均未服用影響心跳速率和血壓之食物、飲料或藥物等。

#### A、身高：

- 1、受測者脫鞋站在身高體重測量器上，雙足併攏、直立，使頭部枕骨、背部、臀部及腳後跟四部分均緊貼量尺。
- 2、受測者眼向前平視，身高體重測量器的橫板輕微接觸頭頂和身高體重測量器的量尺成直角。

#### B、體重：

- 1、受測者在餐畢兩小時後測量，並著輕便服裝，脫去鞋帽及厚重衣物。
- 2、受測者站立於身高體重測量器上，測量此時之體重。

#### C、血壓：

- 1、受測者坐下休息 30 分鐘後，以 ALP K2 血壓測量器測量收縮壓與舒張壓。
- 2、受測者以坐姿測量血壓。
- 3、血壓的測量單位為 mmHg。

#### D、心跳率：

##### 1、安靜心跳率：

- a.受測者將 POLAR F1™ 心跳率測量器的感應器中心點固定於心窩處，顯示器戴在左手手腕處後打開開關，每分鐘心跳次數即顯示於顯示器。
- b.受測者坐下休息 30 分鐘後，顯示器所顯示的心跳率即為受測者的安靜心跳率。
- c.安靜心跳率的測量單位為次/分。

##### 2、運動心跳率：

- a.受測者將 POLAR F1™ 心跳率測量器的感應器中心點固定於心窩處，顯示器戴在左手手腕處後打開開關，每分鐘心跳次數即顯示於顯示器。
- b.受測者於 Johnson Vision T 8500 跑步機（設定於 P1，速率為 4.00 英哩/時，坡

度為 0.00%。）跑步中顯示器所顯示的心跳率為受測者的運動心跳率。

c.運動心跳率的測量單位為次/分。

##### 3、恢復期心跳率：

- a. 受測者將 POLAR F1™ 心跳率測量器的感應器中心點固定於心窩處，顯示器戴在左手手腕處後打開開關，每分鐘心跳次數即顯示於顯示器。
- b.受測者於 Johnson Vision T 8500 跑步機（設定於 P1，速率為 4.00 英哩/時，坡度為 0.00%。）跑步 15 分鐘截止後 1 分鐘、3 分鐘與 5 分鐘【第 15 分鐘速率降為 1.00 英哩/時，第 16 分鐘速率降為 0.80 英哩/時，第 18 分鐘速率降為 0.50 英哩/時。（因受試者年齡均為 50 歲以上之中年人，基於安全上的考量，乃以動態的休息方式測量恢復期心跳率。）】顯示器所顯示的心跳率為受測者的恢復期心跳率。
- c.恢復期心跳率的測量單位為次/分。

(二) 測量流程：實施測量流程如圖 2-1。

### 四、實驗程序

本研究的實驗，經過受測者同意後開始實施。

本研究的實驗程序如下：

#### (一) 受測者測量時間

本實驗從 2006 年 4 月 1 日起至 2006 年 4 月 30 日止每星期五下午 13:00 至 17:00 於清雲科技大學體適能中心實施。

#### (二) 實施方法

研究者於測量時間，事先與受測同仁聯絡並告知測量前不可服用影響心跳速率和血壓之食物、飲料或藥物等，於測量時間內依照測量流程完成施測手續。（跑步機之速率

固定為 4.00 英哩/時；跑步時間固定為 15 分鐘，恢復期固定為 5 分鐘；體適能中心室溫設定為 27°C 恆溫。)

### (三) 資料收集

本研究參與施測之人員有 36 人，共有 6 人無法全程完成施測手續（吸菸組有 3 人因施測時心跳率高於 180 次/分，無法完成施測手續；戒菸組 2 人於施測期間無法完全戒除吸菸習慣，1 人因施測時心跳率高於 180 次/分，無法完成施測手續。）實際參與人數為 30 人，完成率为 83.33%；其中吸菸組 9 人、不吸菸組 12 人與戒菸組 9 人。將資料整理、編碼輸入電腦進行統計分析。

## 五、資料處理

本研究資料以 SPSS for Window 10.0 版統計軟體進行分析，所使用統計方法如下：

由於樣本數小，統計方法使用無母數檢定。

1. 吸菸組、不吸菸組與戒菸組 3 組，使用 Kruskal-Wallis test 分析。
2. 戒菸組戒菸前與戒菸後，使用成對樣本 Wilcoxon signed-rank test 檢定。
3. 以比較平均數法描述受試者之基本資料。顯著水準定於  $P < 0.05$ ，小數點取至 2 位。

## 參、結果與討論

根據前述之研究方法，將實驗測試所得之資料加以整理、分析並討論之。本章分以下六部分：一為基本資料之分析；二為血壓之分析；三為安靜心跳率之分析；四為運動前心跳率之分析；五為運動中心心跳率之分析；六為恢復期心跳率之分析。說明如下：

實驗測量結果之差異考驗如表次：參與實驗研究者之基本資料如表 3-1；吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前的血壓及心跳率如表 3-2；戒菸組戒菸前與戒菸後的血壓及心跳率如表 3-3。

## 一、基本資料之分析

本研究實際參與實驗研究人數為 30 人，完成率为 83.33%；其中吸菸組 9 人，不吸菸組 12 人，戒菸組 9 人，參與實驗研究者之基本資料如表 3-1 所示。於基本資料上，三組間均無顯著性之差異。本研究之基本資料與蔡德榮（2005）及李素箴等（2002）之研究結果相類似，均無顯著性之差異。

## 二、血壓之分析

吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前之血壓所測量的結果分析如表 3-2 所示；其結果顯示，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之血壓比不吸菸組高。

戒菸組戒菸前、後之血壓所測量的結果如表 3-3 所示；其結果顯示，戒菸前、後之血壓有明顯的差異性存在。本研究與 Laustiola 等（1988）、Rose 等（2001）及 Pickworth（2002）之研究結果：有吸菸習慣者之血壓均高於不吸菸者；相類似。

## 三、安靜心跳率之分析

吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前在安靜心跳率所測量的結果分析如表 3-2 所示；其結果顯示，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之安靜心跳率比不吸菸組高。

戒菸組戒菸前、後之安靜心跳率所測量的結果如表 3-3 所示，戒菸前與戒菸後一至四週均呈顯著性之差異。本研究與蔡玉敏（2006）及 Laustiola（1988）等、USDHHS（1994）及 Bolinder（1997）之研究結果相類似：吸菸者之安靜心跳率均高於不吸菸者。

## 四、運動前心跳率之分析

吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前在運動前心跳率所測量的結果分析如表 3-2 所示；其結果顯示：三組之間並無顯著性之差異，但吸菸組與戒菸組戒菸前之運動前心跳率比不吸菸組



高。

戒菸組戒菸前、後之運動前心跳率所測量的結果如表 3-3 所示；戒菸前與戒菸後第一、二及第四週均呈顯著性之差異，而與戒菸後第三週則無顯著性之差異。本研究與 Laustiola 等（1988）研究結果相類似。

### 五、運動中心心跳率之分析

吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前在運動中心心跳率所測量的結果分析如表 3-2 所示；其結果顯示，三組之間並無顯著性之差異，但吸菸組與戒菸組戒菸前之運動中心心跳率比不吸菸組高。

戒菸組戒菸前、後之運動中心心跳率所測量的結果如表 3-3 所示；戒菸組戒菸前與戒菸後第二週運動中心心跳率、第三週運動後十五分鐘及第四週運動後五分鐘無顯著性之差異；其餘均呈顯著性之差異。為何於戒菸後第二週於運動中無顯著性之差異？值得作進一步之研究。Bolinder(1997)研究結果：吸菸者之運動中心心跳率均較不吸菸者高；與本研究結果大致吻合。蔡玉敏（2006）研究結果：吸菸未必會影響運動成績。與本研究戒菸後第二週之結果相類似，吸菸是否會影響運動能力與運動成績，值得做進一步的探討。

### 六、恢復期心跳率之分析

吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前在恢復期心跳率所測量的結果分析如表 3-2 所示。其結果顯示：三組之間並無顯著性之差異，但吸菸組與戒菸組戒菸前之恢復期心跳率比不吸菸組高。

戒菸組戒菸前、後之恢復期心跳率所測量的結果如表 3-3 所示；戒菸組戒菸前與戒菸後第二週恢復期心跳率無顯著性之差異；其餘均呈顯著性之差異。本研究與蔡玉敏（2006）研究結果：吸菸會延遲運動後的恢復能力，相類似。Shetler 等（2001）在 1987 年至 1999 年，針

對 2193 名男性有胸痛的病患為對象，進行最大十分鐘的個別漸增負荷跑步基運動，並且紀錄運動後心跳率恢復情形。研究發現運動後一分鐘存活者、死亡者的恢復心跳下降分別為  $11.8 \pm 8.2$  次/分、 $8.9 \pm 7.0$  次/分，運動後二分鐘心跳下降分別為  $33.1 \pm 12.9$  次/分、 $25.8 \pm 12.4$  次/分，運動後三分鐘心跳下降分別為  $41.5 \pm 14.5$  次/分、 $34.9 \pm 14.5$  次/分，運動後五分鐘心跳下降分別為  $43.8 \pm 15.0$  次/分、 $37.9 \pm 15.1$  次/分；研究結果發現運動後一分鐘心跳下降小於或等於 12 次/分、運動後二分鐘心跳下降小於 22 次/分，能夠有效的預估胸痛病患的死亡率。其研究結果顯示：心臟病患存活者運動後恢復期心跳率每分鐘下降的次數比死亡者多。本研究結果顯示：戒菸後之恢復期心跳率每分鐘下降的次數比戒菸前多，且呈顯著性之差異。

## 肆、結論與建議

### 一、結論

依據前章研究結果之分析與討論，本研究得到下列五點結論：

（一）血壓方面：吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前之血壓，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之血壓比不吸菸組高。戒菸組戒菸前與戒菸後之血壓則呈顯著性之差異。

（二）安靜心跳率方面：吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前之安靜心跳率，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之安靜心跳率比不吸菸組高。戒菸組戒菸前與戒菸後均呈顯著性之差異。

（三）運動前心跳率方面：吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前之運動前心跳率，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之運動前心跳率比不吸菸組高。戒菸組戒菸前與戒菸後均呈顯著性之差異。

（四）運動中心心跳率方面：吸菸組、不吸菸組

與戒菸組戒菸前之運動中心跳率，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之運動中心跳率比不吸菸組高。吸菸組戒菸前與戒菸組戒菸後第二週運動中心跳率、第三週運動後十五分鐘及第四週運動後五分鐘無顯著性之差異；其餘均呈顯著性之差異。

(五) 恢復期心跳率方面：吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前之恢復期心跳率，三組之間並無顯著性之差異；但吸菸組與戒菸組戒菸前之恢復期心跳率比不吸菸組高。戒菸組戒菸前與戒菸後第二週恢復期三分鐘的心跳率無顯著性之差異；其餘均呈顯著性之差異。

從以上的研究結論發現：戒菸前與戒菸後之收縮壓、舒張壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心跳率以及恢復期心跳率大多顯出顯著的差異性存在。本研究可證實吸菸對血壓和心跳率的影響。總而言之，有吸菸習慣的人，爲了自身心肺功能健康著想，且爲了能擁有健康的生活及環境，應考慮立即戒除吸菸的不良習慣，讓自己逐漸恢復健康的身體，使社會擁有更健康的環境。

## 二、建議

根據本研究的結論，戒菸前與戒菸後對人體之血壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心跳率及恢復期之心跳率測量的結果大多呈顯著的差異性。因此本研究提出三方面的建議：

### (一) 對於社會層面的建議

研究顯示，吸菸對人體之血壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心跳率及恢復期之心跳率大部分都呈顯著性差異。由戒菸組成員口述得之：戒菸四週當中不但心跳率明顯改善，生理方面亦自覺有相當大的助益。因此，有關菸害的相關資訊，得須積極加以宣導，尤其是教育單位更應積極加強宣導；使國人能從年輕學習階段即能遠離菸害，使社會能擁有健康的環境。

### (二) 對有吸菸習慣者的建議

研究發現，戒菸前與戒菸後，不論收縮壓、舒張壓、安靜心跳率、運動前心跳率、運動中心跳率及恢復期心跳率之測量結果與吸菸習慣都呈負相關，而且多數（運動中心跳率除外）都呈顯著性之差異。有吸菸習慣者應好好考慮：該戒除吸菸的不良習慣，以免疾病纏身，後悔就來不及了！

### (三) 對未來研究的建議

本研究結果顯示：不論在血壓、安靜心跳率、運動前心跳率以及恢復期心跳率之測量結果，戒菸組戒菸前都與戒菸組戒菸後大多呈顯著性差異；而運動中之心跳率，戒菸組戒菸前與戒菸後第二週均呈無顯著性差異，值得做進一步的探討。爾後可繼續探討持續戒菸的心跳率變化情形；並針對運動中心跳率的差異做進一步的探討，藉此討論吸菸與運動成績的相關性。

## 參考文獻

### 一、中文部分：

李素箱、許志祥等人 (2002)。國立中興大學進修部學生吸菸行爲、運動習慣及身體質量指數探討。**興大體育**，第六期，51-79。  
蔡玉敏 (2006)。抽菸對非最大運動後的恢復能力之影響。**運動生理暨體能學報**，第三期，31-38。

蔡德榮 (2005)。**運動選手健康體適能與吸菸的相關性研究**。輔仁大學體育學系碩士論文，未出版，台北縣。

### 三、英文部分：

Bollinder, G. (1997) Long term use of smokeless tobacco and physical performance in middle-aged men. *European Journal of Clinical Investigation*, 27, 427-433.  
Gantz, S.A & Parmley, W.W (1991). Passive smoking and heart disease: epidemiology, physiology and biochemistry. *Circulation*, 83, 1-12.  
Laustiola, K.E; Lassila, R & Kaprio, J (1988). Decreased  $\beta$ -adrenergic Receptor density

- and catecholamine response in male cigarette smokers: a study of monozygotic twin pairs discordant for smoking. *Circulation*, 78, 1234-1240.
- Pickworth WB, et al(2002) "Sensory and physiologic effects of menthol and non-menthol cigarettes with differing nicotine delivery." *Pharmacology, Biochemistry & Behavior*, 71(1-2): 55-61.
- Rose, J. E, et al (2001). Acute effects of nicotine and mecamylamine on tobacco withdrawal symptoms, cigarette reward and ad lib smoking. *Pharmacology, Biochemistry & Behavior*, 68(2): 187-97.
- Shetler, K; Marcus, R; Froelicher, V. F; Vora, S; Kalisetti, D; Prakash, M; Do, D;& Myers, J (2001). Heart rate recovery : validation and methodologic issues.*Journal of the American College of Cardiology*, 38, 1980-1987.
- US Department of Health & Human Services(1994). Preventing Tobacco Use Among Young People : *A Report of Surgeon General*.
- US Dept of Health, Education and Welfare (1975). The Health Benefits of Smoking. *US Dept of Health, Education and Welfare, Public Health Services. Centers for Disease Control. DHHS Publication*.
- US Dept of Human Service (1990). The Health Benefits of Smokin Cessation. *DHHS Publication No.(CDC), 90-8416*.

表次

表 3-1 參與實驗研究者之基本資料

項目	組別	吸菸組 (n=9)	不吸菸組 (n=12)	戒菸組 (n=9)	P 值
年 齡 ( 歲 )		55.00±4.36	51.67±1.53	55.00±1.00	.27
身 高 ( 公 分 )		173.00±1.73	176.50±7.77	171.33±2.89	.89
體 重 ( 公 斤 )		72.33±2.52	79.33±7.37	71.30±3.51	.12
身體質量指數(公斤/公尺 <sup>2</sup> )		24.17±1.02	26.39±1.44	24.26±0.65	.88
吸 菸 年 齡 ( 年 )		33.33±6.11	--	28.67±5.51	.27
吸 菸 量 ( 支 / 日 )		22.00±3.46	--	21.00±1.73	.79

\*P<.05

表 3-2 吸菸組、不吸菸組與戒菸組戒菸前的血壓及心跳率

項目	組別	吸菸組 (n=9)	不吸菸組 (n=12)	戒菸組 (n=9)	P-值
收 縮 壓 ( m m H g )		123.34±5.77	122.00±5.29	133.00±2.65	.09
舒 張 壓 ( m m H g )		74.00±10.39	72.00±3.46	81.67±2.89	.16
安 靜 心 跳 率 ( 次 / 分 )		80.67±7.51	71.67±1.53	87.33±2.08	.07

運動前心跳率 (次/分)	94.00±3.46	82.33±4.04	94.00±5.20	.11
運動 5' 心跳率 (次/分)	141.00±12.12	131.00±9.54	131.67±1.53	.15
運動 10' 心跳率 (次/分)	147.33±11.00	136.33±7.64	144.00±3.00	.55
運動 15' 心跳率 (次/分)	153.67±9.82	139.00±6.56	147.33±4.62	.22
恢復期 1' 心跳率 (次/分)	136.67±4.62	113.33±12.70	129.00±2.00	.06
恢復期 3' 心跳率 (次/分)	122.00±8.66	99.00±12.29	111.67±0.58	.07
恢復期 5' 心跳率 (次/分)	113.67±2.89	95.00±12.17	107.00±1.73	.07

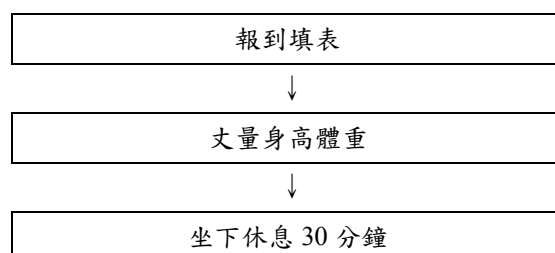
\*P < .05

表 3-3 戒菸組戒菸前、後的血壓及心跳率 (N = 9)

項目	組別		P 值	組別		P 值	組別		P 值
	戒菸前	戒菸一週		戒菸二週	戒菸三週		戒菸四週		
收縮壓 (mmHg)	133.00±2.65	114.67±3.06	*.05	106.67±3.06	*.05	105.33±5.77	*.04	112.00±7.21	*.05
舒張壓 (mmHg)	81.67±2.89	72.00±3.46	*.04	72.00±2.00	*.04	72.00±2.00	*.04	72.00±2.00	*.04
安靜心跳率 (次/分)	87.33±2.08	74.00±3.46	*.04	74.67±2.31	*.04	71.00±4.36	*.05	70.00±2.00	*.05
運動前心跳率 (次/分)	94.00±5.20	79.00±4.58	*.04	82.67±3.06	*.04	78.33±8.51	.07	81.33±1.53	*.04
運動 5' 心跳率 (次/分)	131.67±1.53	126.33±3.79	*.04	126.33±7.51	.51	118.67±9.61	*.05	121.33±9.50	.12
運動 10' 心跳率 (次/分)	144.00±3.00	131.00±3.61	*.05	132.67±7.23	.07	124.67±10.60	*.05	130.33±7.02	*.05
運動 15' 心跳率 (次/分)	147.33±4.62	132.00±5.29	*.04	135.67±7.23	.12	129.67±11.59	.07	131.67±9.24	*.04
恢復期 1' 心跳率 (次/分)	129.00±2.00	111.00±2.00	*.05	113.33±10.07	*.05	109.00±14.80	*.05	109.67±4.73	*.05
恢復期 3' 心跳率 (次/分)	111.67±0.58	97.33±2.52	*.04	103.00±8.00	.07	94.67±9.29	*.04	95.33±5.69	*.04
恢復期 5' 心跳率 (次/分)	107.00±1.73	93.33±1.53	*.04	97.67±8.51	*.04	89.33±7.10	*.04	90.33±3.79	*.04

\*P < .05

### 圖次



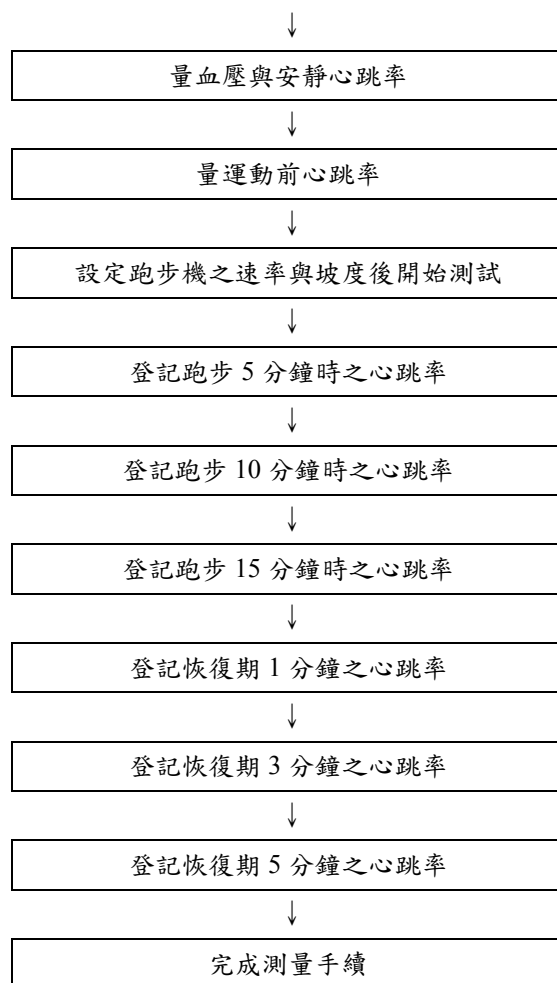


圖 2-1 測量流程圖

## 附錄

### 附錄一 受試者須知及同意書

研究題目：戒菸前、後運動心跳率之差異研究

研究者/聯絡電話：蔡德榮/0963051226

服務學校：私立清雲科技大學

地 址：中壢市健行路 229 號

依據研究規定，研究者應將研究過程向受試者說明清楚，並應盡其所能保護受試者的健康和權益，且隨時解說受試者所提之問題。倘若受試者在實驗過程中感到身體不適時，可隨時中止且不受任何限制。而參與本研究的受試者須了解並遵守下列事項：

一、實驗日期：自 年 月 日 至 年 月 日 止。 時間：每週 PM 13:00-17:00

二、實驗地點：私立清雲科技大學體適能中心

三、實驗內容：受試者先丈量身高體重後將心跳率測量顯示器帶上，坐下安靜休息 30 分後量血壓及登記安靜心跳率之次數，然後至跑步機前準備測試；跑步機速率固定為 4.00 英哩/時，跑步時間為 15 分鐘，上機前登記運動前心跳率，運動至第 5、10、15 分鐘時登記運動心跳率次數；第 16、18、20 分鐘時登記恢復期心跳率次數，第 15 分鐘時將速率降至 1.00 英哩/時，第 16 分鐘時將速率降至 0.80 英哩/時，第 18 分鐘時將速率降至 0.50 英哩/時，至第 20 分鐘時下機，實驗完成。

四、實驗獲得之資料僅供研究用，並絕對保密以保障受試者隱私。

五、本實驗受試者必須無罹患高血壓、心律不整、心血管疾病或退化性關節炎等疾病；受試者於測量前不可服用影響心跳速率和血壓之食物、飲料或藥物等。

本實驗需要受試者的參與和合作，使研究結果有助於提供吸菸者戒菸之參考資訊。敬請受試者於簽名欄簽名，表示同意受試者須知及同意書內所列的事項。

受試者簽名：

試驗主持人簽名：

日期： 年 月 日

附錄二 戒菸前、後心跳率測量紀錄表

姓名：                      出生年月日： 年 月 日      吸菸年齡： 年 月  
 身高： 公分      體重： 公斤      身體質量指數：  
 血壓： / mmHg      心跳率： 次/分

跑步機速率：4.00 英哩/時      運動時間：15 分鐘      恢復期：5 分鐘

時間	前測	1 週	2 週	3 週	4 週
心跳率					
血壓					
安靜心跳率					
運動前心跳率					
運動 5 分鐘					
運動 10 分鐘					
運動 15 分鐘					
恢復期 1 分鐘					
恢復期 3 分鐘					
恢復期 5 分鐘					

附錄三 身高體重測量器 Super-View full automatic Hight & Weight Scale, HW-999—台灣





附錄四 POLAR F1™心跳率測量器 19024888.01GEN(ENG)/FRA B



附錄五 ALP K2 血壓測量器 sphygmomanometer—Japan



附錄六 Johnson Vision T 8500 跑步機 Vision Fitness Lake MILS WI. ETL Listed Conforms to UL STD  
1647 Certified to CAN/GSA C22-2 No 68-92.



附錄七 身高體重測量實況



附錄八 血壓測量實況



附錄九 心跳率測量實況





## 人格特質量表之驗證性因素分析

### CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS OF THE NEO-FIVE FACTOR INVENTORY

李惠芳<sup>1</sup> 陳鵬飛<sup>2</sup> 戴興豪<sup>3</sup>

Hui-Fang Lee<sup>1</sup>, Peng-Fei Chen<sup>2</sup>, Hsing-Hao Tai<sup>3</sup>

清雲科大 體育運動組<sup>1</sup> 樹人醫專 通識中心<sup>2</sup> 清雲科大 體育運動組<sup>3</sup>

[hfllee@cyu.edu.tw](mailto:hfllee@cyu.edu.tw)<sup>1</sup>, [pengfeichen@hotmail.com](mailto:pengfeichen@hotmail.com)<sup>2</sup>, [hhtai@cyu.edu.tw](mailto:hhtai@cyu.edu.tw)<sup>3</sup>

#### 摘要

本研究使用 NEO-FFI 五大人格特質量表檢測台灣地區健身運動中心工作人員人格特質，並且應用驗證性因素分析考驗量表信、效度與整體適配度。研究者以集群隨機抽樣與簡單隨機抽樣收集樣本資料，應用平均數、標準差、偏態、峰度、因素負荷量、建構信度與聚合效度進行量表分析與描述。本研究以全台 46 個健身運動中心為問卷調查對象，經以電腦統計軟體 LISREL 8 對 428 份有效問卷進行分析。研究結果顯示量表具有良好的建構信度、聚合效度與整體適配度。研究結果可做為健身運動中心工作人員人格特質的有效測量工具，以及協助高階經理人更有效地雇用和留任優秀的工作人員。

#### <sup>1</sup>關鍵字詞

健身運動中心、五大人格特質量表、驗證性因素分析

## **Abstract**

This study used the NEO-Five Factor Inventory (NEO-FFI) to determine the staff's personality traits, and examined its factor structure in using confirmatory factor analysis. A cluster random sampling and a simple random sampling design were used to gather the data, the researchers used mean, standard deviation, skewness, kurtosis, factor loading, structure reliability, and convergent validity to analyze and describe the NEO-FFI. From the sample of 46 fitness centers in Taiwan, 428 valid questionnaires were obtained. LISREL 8 Statistic Analysis was used to analyze the data collected. The statistically significant findings show the NEO-FFI has good construct reliability and convergent validity; in addition, all model fit indexes are within the acceptable levels. The results of the study are expected to be helpful for understanding the personality traits of fitness center staffs in Taiwan, and thereby assisting upper-level managers in effective hiring and employee retention.

**Key words:** fitness center, the NEO-five factor inventory, confirmatory factor analysis

## Introduction

In the business world, success is largely determined by effective employees. Prosperity, therefore, depends on hiring the right person (Crowley, 1999; Johnson, 2000). Prudent hiring can save organizations considerable money on training, effort, and time, improve retention rates, and reduce turnover. Hiring, then, should be a process of thorough preparation and deliberation. In order to select the appropriate individual to fill a position, an organization must first identify the talents and skills a new hire should have, then recruit prospective staffs possessing those talents and skills. The organization will need information to decide how to select the right person among the applicants. There is much research that can contribute to this selection process. Gomez-Mejia, Balkin, & Cardy (2001) suggested that personality tests can be good predictors of employee performance. Attempts to conceptualize personality measurement have increased as a result of studies demonstrating that personality variables predict one's ability across a diverse array of occupational groups (Barrick & Mount, 1991; Hough, Eaton, Dunnette, Kamp, & McCloy, 1990). In this study, the researchers used the NEO-Five Factor Inventory (NEO-FFI) to determine the personality traits of fitness center staffs in Taiwan. Earlier studies have examined the reliability and validity of the NEO-FFI, but none have empirically examined its factor structure using Confirmatory Factor Analysis. Therefore, in this study, the researchers examined the five-factor, 60-item structure of the NEO-FFI to build a construct model.

## Literature Review

Personality is a set of characteristics and processes that establish a relatively stable combination of behaviors in reaction to ideas, objects, or people in the environment (Daft, 2002). Individual characteristics influence a person's behavior; therefore, an individual's response to any kind of situation will be different because of her or his personality (Barron, 1953; Ross & Nisbett, 1992).

There has been a clear resurrection of personality studies since the early 1990s (Mount & Barrick, 1998) as a result of the Five-Factor Personality Model. This model suggests that five broad factors - neuroticism, extraversion, openness, conscientiousness, and agreeableness - constitute the primary variances in personality measures (Wiggins & Trapnell, 1997). Various personality psychologists have concluded that the Five-Factor Model (FFM) is a suitable catalogue of a personality (De Raad & Doddema-Winsemius, 1999; John & Srivastava, 1999; Wiggins & Trapnell, 1997). The model is effective for multiple reasons: (a) it leads the categorization of personality characteristics into a meaningful classification; (b) it offers an ordinary framework and uses five factors to do its research; and (c) it attempts to cover the whole, broad range of personality.

Although personality catalogues can tell us much about personal contextual relations, they do not promise a general concept. On the other hand, personality traits can predict the possible designs of acting and reacting that are distinctive to individuals (McCrae &

Costa, 1999). Because of the key role that leaders play in the retention of good employees, using the FFM to measure supervisor traits and appraise their influence on the aggregate attitudes of employees can be effective, as previous research has suggested. The NEO-FFM is a test that provides a reliable and valid measure of the five major dimensions of personality (Costa & McCrae, 1992). The five factors and their basic definitions are as follows:

*Neuroticism* is a negative emotionality that consists of feelings of sadness, tension, and depression, and is a contrast to emotional stability and even temperedness (Clark & Watson 1999; Costa & McCrae, 1992). High neuroticism scores correspond to decreased performance in a number of achievement areas, such as computer data-entry (Mahar, Henderson, & Deane, 1997), computer-based learning (O'Neil & Richardson, 1977), and mathematics (Anton & Klisch, 1995). High neuroticism scorers also have more negative cognitions (Clark, Beck, & Stewart, 1990).

*Extraversion* indicates an active approach to the social and material world, and includes traits like sociability, activity, assertiveness, and positive emotionality (Clark & Watson 1999; Costa & McCrae, 1992). Extraversion also includes traits and characteristics like dominance, assertiveness, self-confidence, talkativeness, and being comfortable meeting new people that all influence behaviors in group settings (Daft, 2002).

*Openness* to experience describes the breadth, depth, originality, and complexity of an individual's mental and experiential life

(Clark & Watson 1999; Costa & McCrae, 1992). Researchers have publicized that persons who score high in Openness are more motivated to engage in new experiences and training programs, and that they are likely to benefit from the training (Barrick & Mount, 1991).

*Agreeableness* refers to an individual's capacity to get along with others and to be cooperative, compassionate, understanding, and trusting (Daft, 2002). Agreeableness represents a public orientation without antagonism, and comprises traits such as altruism, tender-mindedness, trust, and modesty (John & Srivastava, 1999). Agreeableness also includes a person's flexibility, generosity, sympathy, cooperation, courtesy, helpfulness, and tolerance (Digman, 1990; Barrick & Mount, 1993).

*Conscientiousness* is defined as socially-prescribed impulse control that assists task- and goal-directed behaviors. Being conscientious includes such characteristics as thinking before acting, delaying gratification, following rules and norms, planning, and organizing. Therefore, conscientiousness scores are positively correlated with long-term career success (Judge, Higgins, Thoresen, & Barrick, 1999), and also marital stability (Kelly & Conley, 1987; Tucker, Kressin, Spiro, & Ruscio, 1998).

## Method

### *Research Design*

This study was designed to assess personality traits through survey approach. The upper-level managers, middle-level managers, and staff members of selected



fitness centers were asked to complete a 60-item NEO-FFI scale to determine their personality traits.

### *Selection of the Sample*

Kelloway (1998) indicated that a sample of at least 200 completed responses is needed to meet the statistical requirements of structural equation modeling for data analysis. In 2000, the Aerobic Fitness & Health Association of the Republic of China reported that the total number of fitness centers in Taiwan was 129. Sixty percent of these centers were in the north, 15 percent in central Taiwan, and 21 percent in the south. In 2004, Liu updated the number to 140 centers. The target population in this study included upper-level managers, middle-level managers, and employees in all 140 fitness centers in Taiwan. The sample size of the study was 46 fitness centers. One-third of these fitness centers were selected to comprise the sample; 27 in the north, 8 in central Taiwan, and 11 in the south. The total number of participating upper-level managers was 39; the total number of participating middle-level managers was 68; and the total number of participating employees was 321. For this study, 428 valid questionnaires were obtained, which is much larger than the suggested 200. This study used a cluster random sampling and a simple random sampling design. Cluster random sampling was used to select fitness centers based on northern, central, and southern Taiwan, and simple random sampling was used to choose staffs at each center.

### **Instrument**

The NEO-Five Factor Inventory (NEO-FFI) was developed by Costa and McCrae (1992), and is a shortened form of the NEO-PI-R. The NEO-FFI accounts for about eighty-five percent of the variance of the longer NEO-PI-R, which is a 240-item scale based on the same Five Factor Model theory as NEO-FFI.

The NEO-FFI used in this study was a Chinese version translated from English. The researchers submitted an application to Psychological Assessment Resources, Inc., for permission to conduct the study, and received a formal permission letter from Molly K. Montgomery, permissions specialist, on July 2006. The NEO-FFI was available from Psychological Assessment Resources, Inc., at a cost of \$ 0.50 per Chinese version copy.

The NEO-FFI consists of a 60-item scale for self-reporting. Participants read each item and score it on a five-point Likert scale: one being *strongly disagree*, two being *disagree*, three being *do not know/neutral*, four being *agree*, and five being *strongly agree*.

Two hundred and eight college students were tested and retested by Costa and McCrae (1992) to determine the reliability of the five domains, which ranges from .73 to .86. Internal consistency is estimated at alpha .86(N), .77(E), .73(O), .68(A), and .81(C).

### **Data Collection Procedures**

#### *Step 1*

In September 2006, the researchers

made appointments with the 46 research sites and explained the purposes of the research to the upper-level managers by phone. Personal interviews and communications by the researchers with the upper-level managers were means for improving the response and return rate. The upper-level managers granted permission for data collection. The instruments were then mailed with letters detailing the research and providing instructions for completing the questionnaires. In addition, upper-level managers received informed consent forms for middle-level managers and employees, which were later collected by the upper-level managers. The researchers received the questionnaires from the upper-level managers.

#### **Step 2**

The research instrument contained one questionnaire. Each of the 600 upper-level managers, middle-level managers, and employees participating in the study received the questionnaire. Each instrument was labeled with a code number in order for the researchers to track the return of the instruments and ensure the return rate. Ten fitness centers received the instruments from the researchers personally and 36 fitness centers received these instruments by mail.

#### **Step 3**

One month after delivering and mailing the instruments, the researchers made follow-up telephone calls. Tracking the code numbers of the instruments allowed the researchers to know which fitness centers did not return the instruments. Telephone calls were made to those fitness centers not responding.

#### **Step 4**

The formal questionnaires were sent to 600 participants; after one month the researchers collected the responded instruments from ten fitness centers. Instruments from the other 36 fitness centers were received by mail. Upon completion of the study, the researchers sent thank you cards to each fitness center. A total of 490 questionnaires were returned, a response rate of 81.67 percent. Sixty-two questionnaires were incomplete; therefore there were 428 usable questionnaires, a usable response rate of 71.33 percent.

#### **Data Analysis**

The research instrument includes one five-point Likert scale. In order to get a better understanding of the population, LISREL 8 Statistic Analysis (Jöreskog & Sörbom, 1993) was used to compute all statistical data collected in this study. The descriptive information on these variables is shown by *Confirmatory Factor Analysis*.

*Confirmatory Factor Analysis (CFA)* enables an estimation of the validity and reliability of individual items, factors, and the overall instrument. This study included a range of fit indexes, including Chi-square ( $\chi^2$ ), degree of freedom (df), normed fit index (NFI), non-normed fit index (NNFI), comparative fit index (CFI), and root mean square error of approximation (RMSEA). Hwang (2004), Hu and Bentler (1999) suggest that a score of 1.0 to 3.0 indicates a reasonable fit in the ratio of  $\chi^2$  to df. Scores of .90 or higher are considered evidence of a good fit in NFI, NNFI, and CFI. Scores

between .05 and .08 are considered evidence of a good fit in RMSEA. In this study the researchers used *mean, standard deviation, skewness, kurtosis, factor loading, convergent validity, and construct reliability* to analyze and describe the NEO-FFI.

*Skewness* is tested to fit a normal distribution. The skewness score should be lower than  $\pm 3$  (Hwang, 2004; Kline, 1998). *Kurtosis* is tested to fit a normal distribution. The kurtosis score should be lower than  $\pm 10$  (Hwang, 2004; Kline, 1998). *Convergent validity* is an estimate of the validity of the observed variable. A *t* value score higher than 1.96 and an observed variable with significant difference indicates that the observed variable has convergent validity in the latent variable (Hwang, 2004; Anderson & Gerbing, 1988). *Construct reliability* is a measure of internal consistency in CFA. The structure reliability score must be higher than .20 in the observed variable and higher than .60 in the latent variable (Hwang, 2004; Bentler & Wu, 1993).

### Results

The factors assessed by the NEO-FFI scale include the five major personality domains of Neuroticism (N), Extraversion (E), Openness (O), Agreeableness (A), and Conscientiousness (C). The mean, standard deviation, skewness, and kurtosis are shown in Table 1. The mean and standard deviation were based on a five-point Likert Scale to describe central and variation distributions. As shown in Table 1, the mean scores of the latent variables were 2.76 (N), 3.79 (E), 3.35 (O), 3.53 (A), and 3.68 (C), while the mean scores of the observed variables were between

2.57 and 3.83. The highest standard deviation was .922 and the lowest was .708. The skewness score was between -.584 and .665, and the highest kurtosis was .823, and the lowest was -.683. These results indicate a normal distribution.

Table 1  
*Descriptive Statistics of Observed Variables in NEO-FFI (N=428)*

Latent variables	Observed variables	Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
Neuroticism (N)		2.76			
	X 1	2.60	0.922	0.466	-0.039
	X 2	2.57	0.851	0.665	0.147
	X 3	2.87	0.884	0.120	-0.683
	X 4	2.82	0.860	0.404	-0.475
Extraversion (E)		3.79			
	X 5	2.94	0.842	-0.083	-0.385
	X 6	3.83	0.799	-0.265	-0.398
	X 7	3.81	0.732	-0.508	0.310
Openness (O)		3.35			
	X 8	3.72	0.735	-0.317	-0.038
	X 9	3.30	0.887	-0.056	-0.553
	X 10	3.41	0.800	-0.182	-0.151
	X 11	3.45	0.740	-0.163	-0.353
Agreeableness (A)		3.53			
	X 12	3.25	0.828	-0.102	-0.398
	X 13	3.46	0.872	-0.471	-0.169
Conscientiousness (C)		3.68			
	X 14	3.60	0.898	-0.391	-0.268
	X 15	3.49	0.773	-0.030	-0.381
	X 16	3.68	0.786	-0.142	-0.389
	X 17	3.83	0.708	-0.584	0.823
	X 18	3.67	0.717	-0.443	0.098
	X 19	3.68	0.718	-0.514	0.196
X 20	3.71	0.763	-0.271	-0.190	

Table 2 shows the latent variables and observed variables of construct reliability in the NEO-FFI. The construct reliability measures the internal consistency of the instrument. In this study, the construct reliability coefficients for latent variables are .74 (N), .67 (E), .70 (O), .59 (A), and .79 (C). For observed variables ( $R^2$ ), the lowest score was .24. According to Hwang (2004), Bentler and Wu (1993), a latent variable with a score higher than .60 and an observed variable with a score higher than .20 indicate

that the scale is statistically reliable.

Table 2  
*Latent Variables and Observed Variables of Reliability in the NEO-FFI (N=428)*

Latent variables	Observed variables	R <sup>2</sup> (Reliability)	Construct reliability
Neuroticism			0.74
	X 1	0.38	
	X 2	0.32	
	X 3	0.45	
	X 4	0.34	
Extraversion	X 5	0.30	
	X 6	0.33	0.67
	X 7	0.42	
Openness	X 8	0.48	
	X 9	0.27	0.70
	X 10	0.30	
	X 11	0.40	
Agreeableness	X 12	0.53	
	X 13	0.33	0.59
	X 14	0.51	
Conscientiousness	X 15	0.24	0.79
	X 16	0.38	
	X 17	0.58	
	X 18	0.37	
	X 19	0.37	
	X 20	0.43	

Table 3 shows the Confirmatory Factor Analysis model fit indexes for the NEO-FFI. The model fit indexes were expressed as follows: the ratio of Chi-square to degree of freedom ( $\chi^2/df$ ) = 2.91, root mean square error of approximation (RMSEA) = 0.067; normed fit index (NFI) = 0.90, non-normed fit index (NNFI) = 0.92, and comparative fit index (CFI) = 0.93. All fit indexes are within acceptable levels (Hwang, 2004; Hu & Bentler, 1999).

Table 3  
*Confirmatory Factor Analysis Fit Indexes for the NEO-FFI (N=428)*

Model	$\chi^2/df$	RMSEA	NFI	NNFI	CFI
NEO-FFI	479.65/165 (2.91)	0.067	0.90	0.92	0.93
Good fit indexes	1.0 ~ 3.0	0.05~0.08	>0.90	>0.90	>0.90

Table 4 shows the observed variables of coefficients in the NEO-FFI. Each observed variable's *t* value was used to estimate the convergent validity of the latent variables. The lowest *t* value score was 4.96, and all observed variables have significant difference at the level of .05. According to Hwang (2004), Anderson and Gerbing (1988), a *t* value score higher than 1.96 and an observed variable with significant difference at the level of .05 indicates that the scale is statistically valid.

Table 4  
*Observed Variables of Coefficients in the NEO-FFI (N=428)*

Coefficients	Un-standard structural coefficients	Standard error	<i>t</i> value	Standard structural coefficients
$\lambda_1$	0.58	---	---	0.62
$\lambda_2$	0.48	0.06	8.77*	0.57
$\lambda_3$	0.59	0.06	9.71*	0.67
$\lambda_4$	0.50	0.06	8.90*	0.58
$\lambda_5$	0.46	0.05	8.54*	0.55
$\lambda_6$	0.46	---	---	0.57
$\lambda_7$	0.47	0.05	9.38*	0.65
$\lambda_8$	0.51	0.05	9.71*	0.69
$\lambda_9$	0.46	---	---	0.52
$\lambda_{10}$	0.44	0.06	7.59*	0.55
$\lambda_{11}$	0.47	0.06	8.13*	0.63
$\lambda_{12}$	0.60	0.07	8.47*	0.73
$\lambda_{13}$	0.50	---	---	0.57
$\lambda_{14}$	0.64	0.13	4.96*	0.72
$\lambda_{15}$	0.38	---	---	0.49
$\lambda_{16}$	0.49	0.06	8.55*	0.62
$\lambda_{17}$	0.54	0.06	9.39*	0.76
$\lambda_{18}$	0.44	0.05	8.49*	0.61
$\lambda_{19}$	0.44	0.05	8.47*	0.61
$\lambda_{20}$	0.50	0.06	8.81*	0.66

Note. \* means *p*-value is significant at the 0.05 level.

--- means a reference index.

Table 5 shows the coefficients between first-order and second-order factors in the

NEO-FFI. Each first-order factor *t*-value is used to estimate the convergent validity. The lowest *t* value score was 5.02, and all first-order factors have significant difference at the level of .05. According to Hwang (2004), Anderson and Gerbing (1988), a *t* value score higher than 1.96 with significant difference at the level of .05 indicates that the scale is statistically valid.

Table 5  
 Coefficients between First-order and Second-order Factors in the NEO-FFI (N=428)

Coefficients	Un-standard structural coefficients	Standard error	<i>t</i> value	Standard structural coefficients
$\gamma_1$	0.44	0.07	6.46*	0.44
$\gamma_2$	0.96	0.09	10.30*	0.96
$\gamma_3$	0.52	0.08	6.70*	0.52
$\gamma_4$	0.82	0.09	8.74*	0.82
$\gamma_5$	0.47	0.09	5.02*	0.47

Figure 1 shows the five first-order factors and one second-order factor Confirmatory Factor Analysis model for the NEO-FFI. The five first-order variables were neuroticism (N), extraversion (E), openness (O), agreeableness (A), and conscientiousness (C); the second-order variable was personality traits (PT). The N variable included items 26, 36, 41, 51, and 56; the E variable included items 7, 22 and 37; the O variable included items 13, 43, 53, and 58; the A variable included items 14 and 39; the C variable included items 10, 25, 35, 40, 50, and 60. The highest score of disturbance was .76, and the lowest was .42. The results of factor loading show that the lowest coefficient was .49. All coefficients were higher than .40, so they were reasonable to retain (Wu, 2000).

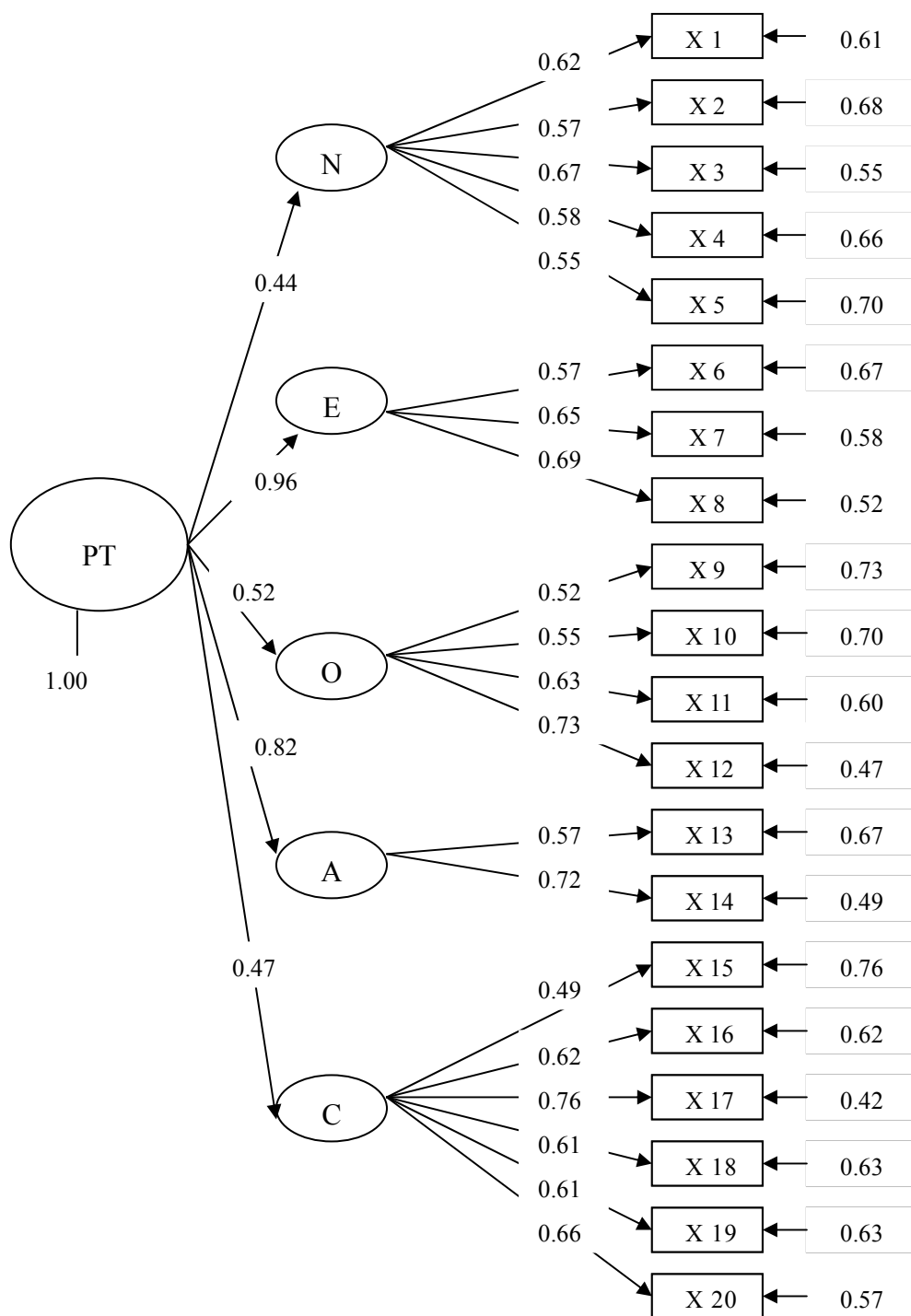


Figure 1. Five first-order factors and one second-order factor confirmatory factor analysis model for the NEO-FFI.

### Discussion

The NEO-Five Factor Inventory (NEO-FFI) was used to examine the personality traits of participants. Confirmatory Factor Analysis of the NEO-FFI shows that the scores of skewness and kurtosis were within the acceptable level, which implies a normal distribution. The standard structural coefficients for the personality traits of neuroticism (N), extraversion (E), openness (O), agreeableness (A), and conscientiousness (C) were .44, .96, .52, .82, and .47, implying that the E factor had the highest contribution in personality traits and the N factor had the lowest contribution. All latent variables were higher than .60 and observed variables higher than .20, indicating that the scale is statistically reliable. In addition, the model fit indexes for the scale were fit in the acceptable levels; all *t* value scores were higher than 1.96, and observed variables had significant difference, indicating that the observed variables had convergent validity in the latent variables. Therefore, the researchers retained the 20 items with scores higher than .40 in factor loading.

### Conclusion

Confirmatory Factor Analysis (CFA) indicates that the instrument of the NEO-Five Factor Inventory (NEO-FFI) was statistically valid and reliable, and that all fit indexes of the structure model were within the acceptable levels. Therefore, the NEO-FFI should be considered a valuable and reliable tool to be implemented by human resource management of fitness centers in Taiwan. For internal employment, an organization might

use the NEO-FFI to develop a curriculum that teaches employees how to access the structure model in a working environment. It may also be used to match an employee's personality traits with a specific job position. For external employment, the structure model can be used as a recruiting screening tool to measure potential candidates.

In order to support organizational structure, fitness centers must find ways to recruit, train, and retain ideal employees. This study may attract upper-level managers' interest because of its potential influence on employee behavior.

### References

- Aerobic Fitness & Health Association of Republic of China. (2000). *The study of facility and management of fitness center in Taipei*. Taipei, Taiwan: The national council on physical fitness & sports, Republic of China.
- Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103, 411-423.
- Anton, W. D., & Klisch, M. C. (1995). Perspectives on mathematics anxiety and test anxiety. In C. D. Spielberger, & P. R. Vagg (Eds.), *Test anxiety: Theory, assessment, and treatment* (pp. 93-106). Washington, DC: Taylor & Francis.
- Barrick, M. R., & Mount, M. K. (1991). The big five personality dimensions and job performance: A meta-analysis. *Personnel Psychology*, 44, 1-26.
- Barrick, M. R., & Mount, M. K. (1993).**

- Autonomy as a moderator of the relationships between the big five personality dimensions and job performance. *Journal of Applied Psychology*, 78, 111-118.**
- Barron, F. (1953). Some personality correlates of independence of judgment. *Journal of Personality*, 21, 287-297.**
- Bentler, P. M., & Wu, E. J. C. (1993). *EQS/Windows user's guide*. Los Angeles: BMDP Statistical Software.
- Clark, L. A., Beck, A. T., & Stewart, B. (1990). Cognitive specificity and positive-negative affectivity: Components or contradictory view on anxiety and depression? *Journal of Abnormal Psychology*, 99, 148-155.
- Clark, L.A., & Watson, D. (1999). Temperament: A new paradigm for trait psychology. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of psychology* (2nd ed., pp. 399-423). New York: Guilford Press.
- Costa, P. T., & McCrae, R. R. (1992). *Revised NEO Personality Inventory (NEO PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO FFI) Professional Manual*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Crowley, B. D. (1999). Hiring the right person for your hospitality industry, *The Bottomline*, 14(1), 13-15, 26.
- Daft, R. L. (2002). *The Leadership Experience*. Orlando, FL: Harcourt College Publisher.
- De Raad, B., & Doddema-Winsemius, M. (1999). Instincts and personality. *Personality and Individual Differences*, 27, 293-305.
- Digman, J. (1990). Personality structure: Emergence of the five-factor model. *Annual Review of Psychology*, 41, 417-440.
- Gomez-Mejia, L. R., Balkin, D. B., & Cardy, R. L. (2001). *Managing human resources* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Hough, L. M., Eaton, N. K., Dunnette, M. D., Kamp, J. D., & McCloy, R. A. (1990). Criterion related validities of personality constructs and the effect of response distortion on those validities. *Journal of Applied Psychology*, 75, 581-595.
- Hu, L.-T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6(1), 1-55.
- Hwang, F.-M. (2004). Theory and application for structural equation modeling. Taipei, Taiwan: Wunan.
- John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The "Big Five" trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. In L. Pervin, & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality: Theory and research* (2nd ed., pp. 102-138). New York: Guilford Press.
- Johnson, E. (2000). *Who are you hiring? Pre-employment screenings help you find out*. Retrieved November 7, 2005, from [http://www.hotel-online.com/Neo/Trends/EI/EI\\_PreScreenings.htm](http://www.hotel-online.com/Neo/Trends/EI/EI_PreScreenings.htm)
- Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8. Structural equation modelling with the SIMPLIS command language*. Chicago, IL: Scientific Software



- International.
- Judge, T. A., Higgins, C. A., Thoresen, C. J., & Barrick, M. R. (1999). The big five personally traits, general mental ability, and career success across the life span. *Personnel Psychology, 52*, 621-652.
- Kelloway, E. K. (1998). *Using LISREL for structural equation modeling*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Kelly, E., & Conley, J. (1987). Personality and compatibility: A prospective analysis of marital stability and marital satisfaction. *Journal of Personality and Social Psychology, 52*, 27-40.
- Kline, R. B. (1998). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: Guilford Press.
- Liu, Y.-H. (2004). *The study of leisure participation, career development and burnout of exercise instructor in sport & health club*. Unpublished master's thesis, National Yunlin University of Science & Technology, Yunlin, Taiwan.
- Mahar, D., Henderson, R., & Deane, F. (1997). The effects of computer anxiety, state anxiety, and computer experiences on users' performance of computer based tasks. *Personality and Individual Differences, 22*, 683-692.
- McCrae, R. R., & Costa, P. T. (1999). A five-factor theory of personality. In L. A. Pervin, & O. P. John (Eds.), *Handbook of psychology* (2nd ed., pp. 339-359). New York: The Guilford Press.
- Mount, M. K., & Barrick, M. R., (1998). Five reasons why the "Big five" article has been frequently cited. *Personnel Psychology, 51*, 849-857.
- O'Neil, H. F., Jr., & Richardson, F. C. (1977). Anxiety and learning in computer-based learning environments. In J. E. Sieber, & H. F. O'Neil, Jr., & S. Tobias (Eds.), *Anxiety, learning, and instruction* (pp. 133-147). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ross, L., & Nisbett, R. E. (1992). Perspectives on personality and social psychology: Books waiting to be written. *Psychological Inquiry, 3*, 99-102.
- Tucker, J. S., Kressin, N. R., Spiro, A., & Ruscio, J. (1998). Intrapersonal characteristics and the timing of divorce: A prospective investigation. *Journal of Social and Personal Relationships, 15*, 211-225.
- Wiggins, J., & Trapnell, P. D. (1997). Personality structure: The return of the Big Five. In R. Hogan, J. Johnson, & S. Briggs (Eds.), *Handbook of personality psychology* (pp. 737-765). San Diego: Academic Press.
- Wu, M.-C. (2000). *Education research- basic concept and method analysis*. Taipei, Taiwan: Wunan.



譚獻詞學\*發微  
Tan Hsien's Study of *Tsyr* Poetry

姚振黎

清雲科技大學

[chenliyao@cyu.edu.tw](mailto:chenliyao@cyu.edu.tw)

[minn@cc.ncu.edu.tw](mailto:minn@cc.ncu.edu.tw)

摘要

近代詞壇，繼清朝前、中期，一破元、明冷寂局面而「中興」之後，揚波逐流，湧現出中國詞學史上最後一個高潮。當龔自珍「能為飛仙劍客之語」以填詞後，鄧廷楨、蔣春霖、譚獻、莊棫及「清末四大詞人」王鵬運、鄭文焯、朱祖謀、況周頤等名家輩出，詞話、詞譜、詞選……相繼問世，在詞學的理論總結與整理考訂方面，都有相當成績。其中譚獻的《復堂詞話》、陳廷焯的《白雨齋詞話》、況周頤的《蕙風詞話》、及馮煦所輯的《宋六十一名家詞選》、王鵬運校刊的《四印齋所刻詞》、朱祖謀編校的《彊村叢書》等都名重一時，影響較大。這些編著大都沿常州詞派，再做若干發展與折衷。其中又以譚獻推行常州派詞學理論，並揚長矯弊、擇善而從，提高清詞意境格調，重振清代詞風，振響於近代詞壇，下開清末詞家之風氣，在詞學上獨探本源，兼窮蘊奧，轉移風會，於同、光之世處於領袖地位；在當時詞壇上享有盛名，堪稱「常州派後勁」。

本文探究譚獻詞學，包括：復堂詞論之時代背景、淵源、詞學理論、創作要領、著作鑑賞及其影響。寫作方法為務使文學批評與文學研究合一，是故包括「理論」、「創作」與「鑑賞」三項，同時以分析、比較、歸納、演繹諸方法，蘄欲達成探究譚獻詞學是非利病所在，進而去短擷長，以期有利於詞學之創作與鑑賞。

**關鍵詞：**譚獻、詞學、《復堂詞話》、《篋中詞》、常州詞派

\*本文題為「詞學」，蓋與詞論相通。依龍沐勛所言：「推求各曲調表情之緩急悲歡，與詞體之淵源流變，乃至各作者利病得失之所由，謂之詞學。」見《詞學季刊》第一卷·第四號〈研究詞學之商榷〉一文。

## **Abstract**

The research of *tsyr* poetry in the late Ching era was a continuation of the research conducted in the early and middle Ching eras. This represented a change from the Yuan and Ming eras where *tsyr* poetry research had not taken place.

One of these researchers was Tan Hsien, who developed the Chang-chow school of thought, promoted the artistic style of Ching *tsyr* poetry, and caused a revival of this poetry, and which influenced late Ching *tsyr* research.

The methodology used in this paper combines literary criticism and literary research. Therefore, it includes theory, creative works, and how to appreciate these works. At the same time, it adopts the methods of analysis, comparison, induction and deduction. The goal is to find out the unique aspects as well as the weaknesses of Tan Hsien's research. It is the hope of this author to supplement areas of weaknesses in Tan Hsien's research.

**Key words:** Tan Hsien, *tsyr* poetry, literary criticism

## 壹、譚獻詞論之時代背景

譚獻（1830-1901），原名廷獻，字仲修，號復堂，浙江仁和（今杭州）人。生於清道光十年，卒於光緒二十七年。幼年孤貧，少學詩，後又學詞，同治六年（1867）中舉，屢應進士試不第。曾入福建學使徐樹藩幕，歷任浙江秀水縣教諭，安徽歙縣、全椒、合肥、宿松等縣知縣。後辭官歸里，銳意著述。晚年應張之洞之請，主講湖北經心書院，年餘，辭歸。

自謂「獻十五而學詩，二十二……乃始為詞，……年至五十，其見始定。」<sup>1</sup>其詞作委婉蘊藉，多傷感之情。門人徐珂跋《復堂詞話》云：「先生以詞名於世；與丹徒莊中白先生棫齊名，稱『譚莊』。」治詞學「尊倍張皋文、周保緒先正之言。」<sup>2</sup>數十年「銳意為之」。

譚獻於詩學、詞學、經學皆有成就，尤以詞學最為傑出。其詞學宗主張惠言、周濟等人所創導之常州詞派，又推重常州詞派，極力尊詞體，以「詞為詩餘，非徒詩之餘，而樂府之餘也。」<sup>3</sup>「上之言志永言，次之志潔行芳，而後洋洋乎會於風雅。」<sup>4</sup>「大旨近雅」，「殆雅之變」，「其為體，固不必與莊語也，而後側出其言，旁通其情，觸類以感，充類以盡。」<sup>5</sup>於清代詞學理論貢獻頗多。著有《復堂類集》、《復堂詩錄》、《復堂文錄》、《復堂日記初錄》。《復堂詞》存詞一百四十六首。其論詞文字由弟子徐珂輯錄成《復堂詞話》，流傳遂廣。葉恭綽云：「仲修先生承常州派之緒，力尊詞體，上溯風騷，詞之門庭，緣是益廓，遂開近三十年之風尚。」<sup>6</sup>為常州派重要理論家之一。<sup>5</sup>

### 一、政治因素

#### （一）內因

乾、嘉以前，清朝以入主中國為時不久，欲遏止漢人反清排滿，故實行軟硬兼施政策；對漢人箝制與安撫並陳，高壓圍堵與懷柔利誘兼顧。此一政策見諸學術界，即是一方大興文字獄，一方提倡文學、表彰儒術。是故雍正年間，作詩、選文、論史、注經，動輒獲罪；<sup>6</sup>乾隆年間，詩詞及字書之獄，均被比附妖言悖逆，或棄於市，或治其罪，而四庫之開館，可謂較大興文字獄更積極有效遏止漢人「反清排滿」；蓋以四庫開館為防範於前，而大興文字獄乃懲儆於後。郭伯恭曰：

蓋高宗遠鑒於明末述作、關於遼事者之眾多，近察於漢人之反清觀念深植於社會，於是乃藉「弘獎風流」「嘉惠後學」為名，一方面延攬人才，編纂《四庫》，使其耗精敝神於尋行數墨之中，以安其反側；一方面藉收書之機會，盡力搜集漢人數千年以來之典籍，凡不如己意者，悉使之淪為灰燼。此高宗編纂《四庫全書》之唯一政治作用也。<sup>7</sup>

四庫開館係以弘獎學術、提倡文學為標的，實則為箝制思想、安定反側。在此風氣下，步入「較漆簡、定遺經。」<sup>8</sup>正謬誤、補闕遺；標榜漢學、排斥宋學之路乃是必然。王易有言：

史館詞科，士悉歸於羈繫；文獄書禁，氣則被其摧殘。由是好學者入於鑿險絕幽；

<sup>1</sup> 見《復堂詞話·一》。以下引文凡未注出處者，均見此書。引該書時，只標條號。

<sup>2</sup> 《復堂諭子書·一》

<sup>3</sup> 《復堂詞錄·序》

<sup>4</sup> 《廣篋中詞·卷二》

<sup>5</sup> 按《清史稿·卷四百九十一·文苑三》有譚獻傳，附李慈銘傳後。

<sup>6</sup> 見金兆豐《清史大綱·第八章》；蕭一山《清代通史·卷上·第二十九章》。

<sup>7</sup> 郭伯恭《四庫全書纂修考·第一章》。

<sup>8</sup> 吳偉業《木蘭花慢》詞句。

而能文者逃於吟風弄月。成績雖異，避患則同。<sup>9</sup>

王士禛〈秋柳詩〉於嘉慶初年被追劾<sup>10</sup>，洪亮吉上書痛陳時事被流放伊犁<sup>11</sup>，俱見當時文網之密。康熙時，文網大彰，迨乾、嘉之際，復又加厲，擗管操觚之士，遂重漢儒考據，而憚宋儒鬯言義理、發表議論。<sup>12</sup>

且清朝皇帝獎勵文學、牢籠士子，僅就詞學而論，康熙《欽定詞譜》、《御選歷代詩餘》，已富鼓勵作用，足開清代詞學風氣之先。

## (二) 外緣

乾、嘉時期為清朝由盛而衰之關鍵，是時雖國勢號稱極盛，實則已趨向衰落，接近強弩之末。迨乎嘉慶以後，內亂外患紛至沓來，以內亂為例，苗疆之變、川楚白蓮教及幾輔天理教之變、以至太平天國崛起，均使清廷疲於應付，譚獻二十餘歲「始為詞」之時，太平天國起；就外患言，鴉片戰爭以致與英國訂立〈南京條約〉，發生於譚獻九歲時。繼而英法聯軍進師京津、俄國侵略東北邊疆，並列強企圖瓜分中國。外患接踵而至，使清廷束手無策，誠如朱希祖所云：

乾隆嘉慶之際，考據之學為極盛時期，一時聰明才智之士，既多專治古學，不問時事；於是政治經濟，無正直指導之人，貪庸當道，亂階由是醞釀。迨道光咸豐，遂一敗而不可收拾！<sup>13</sup>

於此情況下，擗管弄文之士，既怕文網嚴密，復憂時事艱難，因此深曲其言、隱約其辭。

<sup>14</sup>於此環境，有助於常州詞派「寄託說」之產生。念述有謂：

張惠言在嘉慶二年開始提出「意內言外」的微言，周濟隨後標榜「感慨所寄」的詞史，正是清代文學受了數十年之久的壓抑迫害之後，隨著歷史變動，乘時以發的曲折表現。<sup>15</sup>

誠如譚獻〈古詩錄序〉所云：

島夷索虜，兵革相尋，天下因之鼎沸，民命幾欲斃絕，雖春秋記載弑君滅國，有其過之。<sup>16</sup>

外被動盪不安之時局所刺激，復以個人學識志趣，《清史稿·本傳》謂復堂「少負志節，通知時事，國家政制典禮，能講求其義。治經必求西漢諸儒微言大義。」其治經重今文經學，好言天下治亂得失，故其日記所列師儒表中，首將近代講求微言大義之公羊派莊存與、龔自珍、魏源等列為「絕學門」，推崇備至。論詩重時代特徵，以為「世盛則草野皆和平之音，世亂則衣冠皆嗷殺之音。」<sup>17</sup>此一精神乃張惠言所論「緣情造端，興於微言」之延續，亦傳承常州派之文學主張：直接或間接反映清代統治沒落，應在文學上恢復表現之重要意義。

## 二、社會環境

### (一) 詞學復受重視

毛奇齡《西河詞話》以詞被視為小道，專供抒情、酬唱之用，故適於歌筵命筆、酒座分題，或宜於天涯悵遠、客館傷離，唯不能登大雅之

<sup>9</sup> 王易《詞曲史·第九章》。

<sup>10</sup> 文廷式〈琴風餘譚〉，《同聲月刊》三卷·三號。

<sup>11</sup> 呂培等編《洪北江先生年譜·嘉慶四年條》。

<sup>12</sup> 吳宏一《清代詞學四論》聯經出版事業公司（民79）。頁84-86。

<sup>13</sup> 蕭一山《清代通史·卷上·序》。

<sup>14</sup> 吳宏一《清代詞學四論》聯經出版事業公司（民79）。頁88。

<sup>15</sup> 念述〈試談周濟介存齋論詞雜著〉。

<sup>16</sup> 譚獻《古詩錄敘》，《復堂類集》文一。

<sup>17</sup> 《復堂類集·明詩》

堂。然此一觀念，於康熙、雍正之時，卻適用於清廷與時代所需。

蓋乾隆以前，文網大張，文士為求自保，致浙派治音鍊字之學風靡大江南北，復以康熙《欽定詞譜》、《御選歷代詩餘》行世，而乾隆、嘉慶均善詞章，時與臣下酬唱，直接或間接鼓勵社會致力於詞章研習之風。所謂「上有好者，下必有甚焉。」如朱筠、朱珪兄弟賞識江浙文士，阮元大開壇坫、講掖後進並重構曝書亭，又彼時經師鴻儒亦偶為小詞，皆使被視為小道之詞學，漸受重視。

且明清之交，詞集與詞學論著既鮮少刊行、流傳，而刊行、流傳之《花間》、《草堂》、《嘯餘譜》等復訛誤失審；乖違誤人者多，精當可取者少。<sup>18</sup>而康熙之後，別集、選集、詞韻、詞話等如雨後春筍，相繼問世，非僅數量多，且內容亦遠較前人精審謹嚴，詞學復受重視，由諸多事例可證知。

## (二) 江浙學風特盛

晚清詞風興盛，雖與皇帝提倡文學不無關係，然值得注意者，凡此詞學著述，作者幾乎均為江南、兩浙地方人。

清代學者之眾，首推江蘇省，幾占全國三分之一，第二為浙江省，第三為安徽省，故梁任公曰：清代學術幾為江浙皖三省獨占。<sup>19</sup>江浙學風之盛，由是可見一斑。是故乾隆於四庫開館初期，查禁明末清初「罔顧名義、顯悖王章」之書籍時，其所下諭旨中時常提及江浙：

江浙為文物所聚，藏書之家，售書之肆，皆倍於他省。<sup>20</sup>

李兆洛〈小湖詩鈔序〉亦謂：

余每憶三十年前吾鄉風俗之美，物力之豐，家有中人產以上，輒躡然向學，子弟之才美可造者，必延名師而教之。

民風既是「躡然向學」，且清兵入關時，江浙為南明根據地，故清廷入主中國後，大興文字獄以壓制反動，復獎勵仕進，提倡文學、表彰儒術以牢籠士子，<sup>21</sup>於此地尤甚。如《重修安徽通志·學校志》記載：乾嘉年間，屢增三吳兩浙童生學額，即為明顯之例。是知古文之桐城派、陽湖派，詞之浙派、陽羨派、常州派均源自於此地，未始不與興盛學風有關。

江浙文風既然素盛，<sup>22</sup>文人士子大多俯首帖耳，埋首訂史考經者，成為經師與樸學家；從事浮豔之詞者，以詩詞為敲門磚，歌詠太平，浙派詞風於焉形成。<sup>23</sup>

## 三、文學思潮

顧炎武《日知錄·卷二十二·詩體代降條》曰：「三百篇之不能不降而楚辭，楚辭之不能不降而漢賦，魏晉之不能不降而六朝，六朝之不能不降而唐也，勢也。」王國維《宋元戲曲史·自序》云：「凡一代有一代之文學，楚之騷、漢之賦、六朝之駢語、唐之詩、宋之詞、元之曲，皆所謂一代之文學，而後世莫能繼焉者也。」文學代有偏勝；繼唐詩、宋詞、元雜

<sup>20</sup>趙錄綽〈清高宗之禁燬書籍〉《國立北平圖書館刊》第七卷·第五號。

<sup>21</sup>王易《詞曲史·第九章》有云：像「世祖之於尤侗，聖祖之於姜宸英，世宗之於閻若璩，高宗之於沈德潛。或誦其文，或耳其名，或欽其學，或愛其詩，皆以特識殊遇，拔自寒微。」

<sup>22</sup>吳宏一《清代詞學四論》聯經出版事業公司（民79）。頁87。

<sup>23</sup>念述〈試談周濟介存齋論詞雜著〉一文。

<sup>18</sup>見鄒祇謨著《遠志齋詞叢》，詞話叢編本。

<sup>19</sup>陳鐵凡〈清代學者地理分布概述〉《東海大學圖書館學報》第八期。

劇與散曲，詞家大量減少，雖仍有少數，如：薩都刺寫出〈登石頭城〉之佳篇，唯陳廷焯《白雨齋詞話》稱：「元代尚曲，曲愈工而詞愈晦。」「元詞日就衰靡，愈趨愈下。」況周頤《蕙風詞話》亦謂：「詞衰於元」。王國維《人間詞話·卷上》又曰：

四言敝而有楚辭，楚辭敝而有五言，五言敝而有七言；古詩敝而有律絕，律絕敝而有詞。蓋文體通行既久，染指遂多，自成習套，豪傑之士，亦難於其中自出新意，故遁而作他體，已自解脫，一切文體所以始盛終衰者，皆由於此。故謂文學後不如前，余未敢信，但就一體論，則此說固無以易也。

《白雨齋詞話》又謂：「詞至於明，而詞亡矣。」吳梅《詞學通論》稱：「詞至明代，可謂中衰之期。」眾咸以為明詞成就不及元詞，更無論兩宋。是故，元明兩代詞學衰微，其成就無法與宋詞比擬，顯得一蹶不振。

洎乎清代，情況出現極大變化。有清一代，人文蔚起，學術稱盛，不僅超軼元明，且遠追兩宋，媲美漢唐。二百六十八年間，於漢儒之考據、宋儒之義理、佛老之心性、歐西之曆數，既多所發明；於漢魏之辭賦、六朝之駢儷、唐宋之詩詞、元明之戲曲，亦悉多專詣。<sup>24</sup>就其治學方法言，則無論是古籍之訓詁、校勘、箋注、輯佚或古器物之發掘、考釋，大都能熔鑄舊說新知於一爐，以實事求是之精神，謹嚴縝密之態度以從事，是以每有突破前人、垂範後學之功。即以詞學而論，也頗有度越前修之處。自詞家與詞作數量言，清葉恭綽〈清名家詞序〉云：

余嘗論清代學術有數事超軼明代，而詞居其一。蓋詞學濫觴於唐，滋衍於五代，極

於宋而剝於明，至清乃復興。朱陳導其流，沈厲振其波，二張周譚尊其體，王文鄭朱續其緒。二百八十年中，高才輩出，異曲同工，並軌揚芬，標新領異，迄於異代，猶綺餘霞。今之作者固強半在同光宣諸名家籠罩中，斯不可不謂之極盛也已。

葉恭綽又編《全清詞鈔》，並於該書後記稱：收得清人詞集近五千種，編成後，尚存三千一百九十六家，選詞八千二百六十餘首，其數量已極為可觀，然僅為清詞選本，而非清詞全部。是故，如清初選本《瑤華集》，僅收清初順治、康熙兩朝詞，已選有五百零七家，共二千四百六十七首；葉恭綽亦統計，清代詞家約為兩千人左右，且「此僅就庚辛間所見詞集，擗摧言之，其嗣後徵集，及散見各選本者，尚不在此數。」<sup>25</sup>清代詞學發達興盛之狀，由此可見一斑。<sup>26</sup>

眾多派別、眾多作家，有如璀璨群星，熠耀於清代詞壇。與元、明兩代相比，無論詞之創作，抑或理論，均超越前代遠甚；詞作數量，亦度越以前各朝，尤以詞學理論，顯見發達。

#### 四、譚獻與常州詞派之關聯

明末清初，詞壇首現陳子龍與一些愛國遺民詞作家，彼時時代背景特殊，致使渠輩詞作表現沈痛鬱塞之風。南社領袖柳亞子對《湘真集》稱道，嘗有詩句云：「平生私淑云間派，除卻《湘真》是《玉樊》<sup>27</sup>。」此外，朱彝尊、陳維崧各自代表浙派與陽羨派出現於清初詞壇；朱之風雅綺旎，陳之豪放雄健，均為清代詞壇增色。厲鶚承繼朱之浙派詞風，使浙派日益壯大。其後常州詞派與浙派分庭抗禮，可謂清代影響

<sup>24</sup>見王易《詞曲史·第九章》

<sup>25</sup>見黃孝紓〈清名家詞序〉。遐 即葉恭綽。

<sup>26</sup>見吳宏一《清代詞學四論》聯經出版事業公司（民 79）頁 72。

<sup>27</sup>指夏完淳《玉樊集》



最著之詞派。常州派自張惠言、周濟，至後來之譚獻，延續迄晚清，產生影響甚鉅。

譚獻在當時可謂一通今博古之學者，且用力於詞學頗深。據其自述，填詞始於咸豐四年（1854）館於紹興村舍時，初傾心於朱彝尊、厲鶚、郭麐等浙派大家，然未能深觀，旋又棄去。「三十而後，審其流別，乃復得先正緒言，以相啓發。」<sup>28</sup>其所遵奉之「先正」，即張惠言與周濟，自此，譚獻轉宗常州詞派，並以常州派傳人自許。朱祖謀〈望江南〉詞云：「皋文說，沆瀣得莊譚。感遇霜飛憐鏡子，會心衣潤費鑪煙，妙不著言詮。」《彊村語業·卷三》即謂譚獻與莊棫二人闡揚張惠言「比興說」之功。光緒四年（1878）纂錄本朝人詞作，成《篋中詞》五卷，續編一卷，收詞人二百零九家、詞作五百九十餘首，並自述編輯初衷為「以衍張茗柯、周介存之學。」<sup>29</sup>又曾取周濟《詞辨》所選之唐宋佳作逐首品評，成《譚評詞辨》一書，示弟子徐珂以入門津筏。光緒二十六年（1900），徐珂經譚獻同意，將其散見各書及日記中之論詞評語一百三十一則輯為一書，乃錄自〈復堂詞錄序〉、〈篋中詞敘〉、〈周氏止庵詞辨跋〉、〈復堂詞自敘〉。譚評《詞辨》、《復堂日記》及《篋中詞》等書，訂名《復堂詞話》，譚獻之主要詞學理論俱見於該書。

自周濟去世至譚獻編成《復堂詞錄》，其間相隔四十餘年。譚獻《復堂詞話》本諸「衍張、周」而「冶千金」之宗旨，對歷代詞家，包括清代詞家，予以廣泛評論。例如：譚獻繼承浙西、常州二派之說，於推尊詞體外，佐以「麗淫麗則，辨於用心。」〈篋中詞·敘〉之說，以為作者之「用心」，決定作品高下；《復堂日記·甲戌》云：「以有寄託入，以無寄託出，千古辭章之能事盡，豈獨填詞為然。」視周濟寄託說為千古文學創作之普遍法則，可謂推崇

備至；《復堂日記·丙子》云：「周介存有『從有寄託入，以無寄託出』之論，然後體益尊，學益大。」

認為其說足以提升詞之地位，使詞學研究日益博大精深。然譚獻詞論仍有異乎皋文、止庵者，即以「柔厚」為例，譚獻更要求風格上之溫厚和平。<sup>30</sup>

是知譚獻詞論有推行常州派之說者，亦有獨得之見者，凡此皆使常派詞論愈益發揚光大<sup>31</sup>，龍沐勛稱其為「常州之嫡派」<sup>32</sup>，良有以也。

## 貳、譚獻詞論之學術淵源

### 一、世變日亟、經世致用之經學觀

凡論及清代社會，均不可能迴避一基本畫分，即以鴉片戰爭（1840）為界，鴉片戰爭以後之清代社會，屬於中國近代史範疇。

中國近代史起於一八四〇年中英鴉片戰爭，迄於一九一九年「五四」運動，即十九世紀中期至二十世紀初期之七、八十年間，涵蓋清道光、咸豐、同治、光緒、宣統五朝與清亡後北洋軍閥統治時期。鴉片戰爭後，中國歷經亙古未有之變局，政治、社會、經濟、文化發生巨變，復以反對外來欺凌之愛國情緒高漲，悲壯、遒勁、激昂成為此一時期文學之主導風格。如何以詞描摹時變，傳達亂世中之情緒與感受，譚獻一生經道光、咸豐、同治、光緒四

<sup>30</sup>林玫儀《晚清詞論研究·第四章·第一節·一》論譚獻詞學理論、柔厚之旨。「柔厚除了要在技巧上不落痕跡外，還必須有溫婉和厚的風格。……這種寓寄託而不落言詮的看法，和周濟之無寄託，基本上是相同的。但就詞作的品評標準言，無寄託只代表一種技巧上的極詣，而譚氏還要求風格上之溫厚和平，此又與周濟之說並非全同。」台大中研所博士論文（民68）。頁151。

<sup>31</sup>包根弟〈譚獻《復堂詞話》析論〉，第三屆近代中國學術研討會論文集（民86）國立中央大學中文系。頁262。

<sup>32</sup>《中國韻文史》下編詞曲

<sup>28</sup>《復堂詞話》

<sup>29</sup>《復堂日記·丙子》

朝，又未嘗自外於此一中國近代思潮；《碑集傳補·卷五十一》載夏寅官〈譚獻傳〉，譚氏學術思想傾向於今文經學派，此實有脈絡可循。

蓋清代學術，於道光年間由文字訓詁轉向經世致用；放棄以東京路數治經之傳統而提倡經世致用。經世致用就思想方法言，乃發揚今文經學之傳統，當時復興今文經學之中堅為常州學派。<sup>33</sup>皮錫瑞論及清代經學演變大概云：

國朝經學凡三變。國初，漢學方萌芽，皆以宋學為根柢，不分門戶，各取所長，是為漢、宋兼採之學。乾隆以後，許、鄭之學大明，治宋學者已是少。說經皆主實證，不空談義理，是為專門漢學。嘉、道以後，又由許、鄭之學導源而上，《易》宗虞氏以求孟義，《書》宗伏生、歐陽、夏侯，《詩》宗魯、齊、韓三家，《春秋》宗《公》、《穀》二傳。漢十四博士今文說，自魏、晉淪亡千餘年，至今日而復明。實能述伏、董之遺文，尋武、宣之絕軌。是為西漢今文之學。<sup>34</sup>

皮錫瑞為今文經學家，故將唐宋斷為經學之「變古時代」，認為宋學導致經學衰變，非經學傳承之正宗。其將道光年間復盛之今文經學視作取代乾、嘉漢學，乃直接復興西漢今文經學。

錢穆亦曰：「言晚清學術者，蘇州、徽州而外，首及常州。」<sup>35</sup>梁啟超論常州學派之源頭云：「欲知思潮之暗地推移，最要注意的是新興之常州學派。常州派有兩個源頭，一是經學，二

是文學，後來漸合為一。」<sup>36</sup>誠為的論。關於常州學派之文學傳統，錢鍾書亦嘗簡要論述，曰：

龔定盒〈常州高材篇〉可作常州學派總序讀，於乾、嘉間吾郡人各種學問，無不提要鉤玄。論詞章則曰：「文體不甚宗韓歐」，此陽湖派古文也。又曰：「人人妙擅小樂府，爾雅哀怨聲能道。」此常州派詩餘也。而於常州人之詩，獨付闕如。故篇中人物，與袁隨園「常州五星聚文昌」一絕所舉者，惟孫季述一人相同，然不稱為奇才，而推其絕學。按孫氏《冶城遺集·遊隨園呈袁太史》云：「我愧千秋無第一，避公才筆去研經。」又云：「有懷知己平生語，無復才奇氣尚奇。」洪稚存《北江詩話》載所撰詩評，揚抑時輩，人系八言，惟於孫曰：「孫觀察星衍少日詩，如天仙化人，足不履地。」管絃若《韞山堂文集·卷二·漢學說》亦曰：「同里孫觀察星衍本以詩名，駸駸入古人之室，緣少通《說文》小學，忽去而說經為漢學。」定盒自言：「勿數者耄數輩，晚矣勿及瞻前修。」甌北、北江遂皆未掛姓名，而兩家子姪如孟慈、味辛，以年輩相接，始遭題目，其識季述，已在季述避去研經之時矣。然征之〈破戒草〉，則定盒瑰麗俳郁之才，未嘗無取於甌北清麗流易之體。《談藝錄》

此即說明：（一）常州學派為文之修辭特色，與宗韓歐之陽湖派詞章相近。陽湖派雖為桐城派一支，然其宗韓歐，已不似桐城派之拘謹枯淡。所謂「不甚宗韓歐」，就詞章言，「取法於六經史漢、旁及諸子雜書」為其語言特點；「散行中時時以八字駢語」則為其寫作手法之特色。（二）常州學派之詞作，與常州詞派之詞作在創作原則上一致。常州詞派由張惠言開創，周濟承先啓後。周濟反對詞作恍惚迷離、

<sup>33</sup>王茂、蔣國保、余秉頤、陶清《清代哲學》安徽人民出版社（1992）頁 804。

<sup>34</sup>《經學歷史·十·經學復盛時代》

<sup>35</sup>《中國近三百年學術史·第十一章》

<sup>36</sup>《中國近三百年學術史·四·清代學術變遷與政治的影響·下》

無病呻吟，提倡詞要有「論世」功用，以為「詩有史，詞亦有史，庶乎自樹一幟矣。」此即要求詞須反映現實，批評現實，充分發揮其社會作用。此外，常州學派詩作與趙翼等人詩作之創作原則相通。蓋趙翼反對盲目崇古之詩壇偏見，強調詩隨歷史進化而發展，所謂「詩文隨世運，無日不趨新。」〈論詩〉認為詩乃一代新於一代，代代相承，各領風騷，「未可以榮古虐今之見，輕為訾議也。」<sup>37</sup>可知常州學派「變古開放」之文學精神，與其經學上反東京傳統，而發揚西京傳統為一致。

錢鍾書以為可作為常州學派總序一讀之〈常州高材篇〉，係龔自珍所作古體詩一首，其中對常州學派之文學源頭有所涉及外，更對常州學派所發揚之經學傳統有所說明。

乾嘉輩行能悉數，數其派別征其尤：易家人人本虞氏，緯戶戶知何休。

由是可知常州學派在經學上所發揚之傳統為今文經學傳統，且尤精春秋公羊學，梁啟超遂謂「他們的經學是公羊家經說——用特別眼光去研究孔子的《春秋》」。<sup>38</sup>既知常州學派之學術源頭，其代表人物莊存與（方耕）（1719-1788）為常州學派創始人，標榜「獨得先聖微言大義於語言文字之外。」<sup>39</sup>摒棄乾嘉考據瑣碎之風，以復古為外衣，推行新思想。章學誠（實齋）（1738-1801）力繼清初黃宗羲、顧炎武等經世派之傳統，倡言「六經皆史」，其《文史通義》被梁啟超譽為「乾嘉後思想解放之源泉」。<sup>40</sup>至若顏元（習齋）、李塉（剛主）之實踐主義一派，更主張學問須有益於人生，重行而不重知。譚獻於經學尊奉常州學派，偏好莊存與、述祖（葆琛）叔姪二人之學；於史學服膺章學誠《文史通

義》、《校讎通義》等書，《復堂日記·甲子》曰：

於書客故紙中搜得章實齋先生《文史通義》、《校讎通義》殘本，狂喜與得《晉略》同。章氏之識，冠絕古今，予服膺最深。

又「盛推武進莊方耕侍郎、會稽章實齋為當代絕學。」復以為清代學術之變遷，至「顏習齋、李剛主，實踐樸學，折中六藝，為命世之儒也。」故「二十五、六以後，潛心經訓故紙，有志於微言大義。」故其順應道光以後漢學衰微、宋學復興之學術大勢，心儀並主張經世致用、關心國計民生之實踐學派。譚獻在實踐主義思想家之理論、主張影響下，亦面向現實，貼近政治，關心社會，迥異於乾、嘉學者，而有積極入世精神。

## 二、憂生念亂、崇先法古之文學觀

帝國主義輪番入侵，太平天國與義和團運動驟起，震動朝野，亦搖撼譚獻心靈，其對當世動亂時代之感應，遂概括為「憂生念亂」四字，從而以此作為考察歷代與當代詩詞作品內容思想之總結。例如，評價著名愛國將領鄧廷楨詞作：

然而三事大夫，憂生念亂，竟似新亭之淚，可以覘世變也。<sup>41</sup>

論及董士錫子、董毅詩，曰：

而憂生念亂，則不能無悲悼感憤之辭。<sup>42</sup>

上溯金元詩歌時，發現金元時代與當世社會特徵之相通處：

<sup>37</sup> 《甌北詩話·卷十》

<sup>38</sup> 《中國近三百年學術史·四·清代學術變遷與政治的影響·下》

<sup>39</sup> 《味經齋遺書·卷首》

<sup>40</sup> 《清代學術概論》

<sup>41</sup> 《篋中詞》

<sup>42</sup> 《學宛堂詩敘》，《復堂類集》文一。

感威柄之褻越，悼征賦之繁重，上帝甚蹈，下民孔哀，予輒錄當時憂生念亂之言，以求世變之亟。<sup>43</sup>

凡此論點，均本諸儒家詩論之傳統政教觀，亦即譚獻所謂「詩可以觀政，可以觀化。何以明之？賢士君子，哀樂過人，以詩爲史，風諭得失，陳說疾苦，而當時德禮政刑之跡，閱千載而如見。」<sup>44</sup>確實反映其注目時代變亂、「世變之亟」的特徵，並力圖憑藉文學作品以「崇古法先」；觀察時代風貌、審視社會政治之文學觀。

因經世與實踐之思想影響譚獻文學觀，毋寧具進步之時代意義。然進步與守舊在譚獻學術思想中，卻又並行不悖。當清季大批志士仁人努力實踐維新主張，並爲之奮鬥以至犧牲時，譚獻仍熱中於闡道翼教，崇先法古。其確信「同治中興」，感嘆「今海內多事」，又宣稱「亂端漸已，承平且復。」<sup>45</sup>「學人潛心大道折中禮義，爲專門之著述。」<sup>45</sup>譚獻期待經由政治自救之方式，改變王朝衰微；自儒家傳統思想中順應世變之論點，從而將其文學觀表述爲「以憂生念亂之時，寓溫厚和平之教。」<sup>46</sup>

### 三、溫厚和平、折中柔厚之詞學觀

#### (一) 溫柔和平

「溫厚和平之教」即儒家詩教。譚獻推崇詩教大義，首先立基於文學與政教相通之社會功能。其篤信漢儒「變風變雅」之論詩原則：

世治則可以歌詠功德，揚威烈於無窮；世亂則又托微物以極時變，風諭政教之詩，得綢繆婉篤於倫理之中。<sup>47</sup>

譚獻企圖以詩歌挽救世道人心，所謂「詩也者，根柢乎王政，端緒乎人心。」<sup>48</sup>此與常州詞派開創者以儒家詩教推尊詞體相契合。然在業已進入近代社會之中國，卻面臨挑戰。<sup>49</sup>

唯細究譚獻「溫厚和平」之詩教精神，實與「憂生念亂」之時代感應有血脈相通處。蓋清代經世派知識分子欲變革社會之根本觀念傳自孔孟，至章學誠《文史通義·內篇一·詩教上》論及詩教之旨：「比興之旨，諷諭之義，……是以委折而入情，微婉而善諷也。」譚獻循此而發揮詩教之義，云：

凡夫學者本末，皆有合於微言大義者也。……獻嘗服膺會稽章先生之言，曰：「詩教至廣，其用至多。」而又師其論文之旨，持以論詩，求夫辭有體要，萬變不離其宗，進退古今，以求其合，蓋千一而絀然一代政教，一時風尚則可以觀焉。世盛時草野皆和平之音，世亂則衣冠皆噍殺之音。流連風月，奔走聲氣，雖甚繁鄙，而可觀靈長；悲悼感憤。窮蹙酸嘶，雖甚迫狹，而可識兵凶。嚴刑峻法，世變日亟，則群樂放廢，家家自以爲老莊；放僻邪侈，名實不副，而不恥干進，人人自以爲屈賈之數，幾相感召，如環無端，無病呻吟樂憂者，非人情耳。<sup>50</sup>

譚獻論詞體之性質，則源自孔子之興觀群怨，漢儒之變風變雅；蓋《毛詩·序》曰：「至

<sup>43</sup> 《金元詩錄敘》，《復堂類集》文一。

<sup>44</sup> 《稼書堂詩敘》，《復堂類集》文一。

<sup>45</sup> 〈明詩〉，《復堂類集》文一。

<sup>46</sup> 〈明詩〉，《復堂類集》文一。

<sup>47</sup> 《學宛堂詩錄》《復堂類集》文一。

<sup>48</sup> 《唐詩錄敘》《復堂類集》文一。

<sup>49</sup> 方智範《中國詞學批評史》中國社會科學出版社（1994）頁 343。「實為不合時宜」

<sup>50</sup> 〈明詩〉《復堂類集》文一。

於王道衰，禮義廢，政教失，國異政，家殊俗，而變風、變雅作矣。」

在晚清「世變日亟」之時代變遷下，得以成爲摠發「悲悼感憤」情感之理論依據，合於「微言大義」宗旨。譚獻據此轉而論詞之體性，謂：

愚謂詞不必無頌，而大旨近雅，於雅不能大，然亦非小，殆雅之變者歟？<sup>51</sup>

又以爲詞體可擔負政治社會之重大功能：

其感人也尤捷，無有遠近幽深，風之使來：是故比興之義，升降之故，視詩較著，夫亦在於為之者矣。上之言志，永言次之。志潔行芳，而後洋洋乎會於風雅。<sup>52</sup>

譚獻詞學觀即源自經世致用之政治、學術思想，並以儒家詩教爲基石之文學觀，引申而來。

## (二) 折中柔厚

若謂「憂生念亂，溫厚和平」爲譚獻學術背景之精髓，故大力闡揚「折中柔厚」之旨，即爲譚獻詞學觀之核心。譚獻以爲「折中柔厚」四字，係從常州詞派先正處薪盡火傳推行而來的獨得之秘：

及門徐仲可中翰，錄《詞辨》索予評估，以示矩範。予固心知周氏之意，而持論小異：大抵周氏所謂變，亦予所謂正也。而折中柔厚則同。仲可比類而觀，思過半矣。<sup>53</sup>

按周濟《詞辨》分正、變兩卷，<sup>54</sup>並未提出「折中柔厚」，譚獻則聲稱，其與周濟在正、變畫分雖有小異，而論詞之根本爲「折中柔厚」則爲共同處。然有「蘊藉深厚」、「歸諸中正」云云，確與周濟意思相近。且周濟於評論詞作時，亦曾以「莊雅」爲本，發揮與「折中柔厚」相類之觀點，如評溫庭筠詞，曰：

飛卿醞釀最深，故其言不怒不懾，備剛柔之氣。

評歐陽脩詞，云：

永叔詞只如無意，而沈著在和平中見。

評秦觀詞，謂：

少游最和婉醇正。

評王沂孫詞，曰：

碧山胸次恬澹，故黍離麥秀之感，只以唱嘆出之，無劍拔弩張習氣。<sup>55</sup>

至於周濟《宋四家詞選目錄序論》云：「問塗碧山，歷夢窗、稼軒，以還清真之渾化。」又「清真渾厚，正於鉤勒處見。」<sup>56</sup>其所謂之「渾化」「渾厚」等說，與譚獻「柔厚」詞意相類似。

「折中柔厚」既爲譚獻「寓溫厚和平之教」文學觀於詞學批評之具體化，又自道德倫理規範視之，譚獻極爲強調詞乃「風詩之遺」。其解釋何爲「詩餘」時，稱詞係「樂府之餘」，「樂府之官廢而四始六義之遺蕩焉泯焉。」依

<sup>51</sup> 《復堂詞錄敘》

<sup>52</sup> 《復堂詞錄敘》

<sup>53</sup> 《周氏止庵詞辨·跋》

<sup>54</sup> 周濟《詞辨序》：卷一為「正」，錄溫庭筠以下「莫不蘊藉深厚」，「諷頌絀繹，歸諸中正」之作品；卷二為「變」，錄李後主以下「駿快馳騁，豪宕感激」之作，因其「皆委曲以致其情，未有亢厲剝悍之習。」周濟視爲「正聲之次」。

<sup>55</sup> 以上見《介存齋論詞雜著》

<sup>56</sup> 唐圭璋編《詞話叢編》總頁 1630。

遵先聖「禮失而求諸野」之古訓：風詩不傳後，「生今日而求之似，不得不有取於詞矣。」<sup>57</sup>儒家論風詩之精神，最重「發乎情，止乎禮。」「怨而不怒。」「樂而不淫，哀而不傷。」其要義即在以理節情，其實質則由中庸思想引申而得之道德倫理規範。譚獻所謂之「折中」，即為「中庸」之同義詞；而「柔厚」即溫柔敦厚，亦包含以理節情之意，要求主觀感情有所節制，反對態度強烈鮮明，排斥「獷氣」、「盛氣」。是故，從韋莊〈菩薩蠻〉「洛陽城裡春光好」，寫故國之思，以低回委婉之語道出抑鬱之情，譚獻評曰：

項莊舞劍，怨而不怒之義。

韋莊謂「洛陽才子他鄉老」、「凝恨對殘暉，憶君君不知」，說得欲露不露，譚獻視為以理節情之最佳範例；評晏幾道〈臨江仙〉（夢後樓台高鎖）末二句：「名句，千古不能有二。所謂柔厚在此。」叔原此詞抒發懷人之思，未結「當時明月在，曾照彩雲歸。」言情而措詞委婉高妙，正合先儒「思無邪」之標準，故以「柔厚」論之。其他如評清陳澧〈甘州〉謂「柔厚衷於詩教」，評周密〈解語花〉謂「柔厚至此，豈非風詩之遺。」並以「溫厚」、「忠厚」等「柔厚」之同義詞評價諸詞作，對作品立意與情感表達之要求，須符合儒家中庸之道。反觀清代詞壇，陽羨派難免「狂呼叫囂，以為慷慨」之病，浙派起而矯其弊，然又易落入平庸；「叫囂」與「平庸」，均有違柔厚之審美原則。譚獻謂此為「薄」與「滑」；乃「柔厚」之反義與對立。其曰：

予初事倚聲，頗以頻伽（郭麐）名雋，樂於風詠；繼而微窺柔厚之旨，乃覺頻伽之

薄。又以詞尚深澀，而頻伽滑矣。後來辨之。<sup>58</sup>

譚獻好友莊棫（中白）為《復堂集》作序，亦以為「風詩」體現儒家詩教之典範，曰：

自古詞章，皆關比興；斯義不明，體制遂舛。狂呼叫囂，以為慷慨，矯其弊者，流為平庸。風詩之義，亦云渺矣。

譚獻與莊棫「以比興柔厚之旨相贈處者二十年」，對莊棫「風詩之義」自是贊同。譚、莊之詞學觀以為：達到柔厚宗旨之最佳途徑，即詞用比興，「斯義不明，體制遂舛。」唯無論「比興柔厚」或「折中柔厚」皆排斥放筆直書、直露顯豁之抒情方法，力主義隱旨遠，朦朧多義，有含蓄蘊藉之致。根據「秘響旁通，伏採潛發」<sup>59</sup>與「委折而入情，微婉而善諷」<sup>60</sup>之傳統要求，詞之創作須重情思而輕事實，重在傳達抒情主體與現實若即若離之心境意緒，誠如徐珂論述讀譚獻詞感受：「讀其詞者，則云幼眇而沈鬱，義隱而旨遠，膈臆而若有不可於名言。」徐珂《清稗類鈔》所詠不過風花雪月、流連光景，而其中隱約傳導出身世之嘆、家國之感。譚獻認為詞體最宜用比興寄託，以達「柔厚」之旨：

又其為體，固不必與莊語也，而後側出其言，旁通其情，觸類以取，充類以盡。<sup>61</sup>

昔人之論賦曰：「懲一而勸百」，又曰：「曲終而奏雅」，麗淫麗則，辨於用心；無小非大，皆曰立言：唯詞亦有然矣！<sup>62</sup>

「莊語」乃謂較重大之政治或社會題材，「側出」、「旁通」、「觸類」、「充類」則為《易

<sup>57</sup> 《復堂詞錄敘》

<sup>58</sup> 《篋中詞》

<sup>59</sup> 《文心雕龍·隱秀》

<sup>60</sup> 章學誠《文史通義·內篇一·詩教上》

<sup>61</sup> 譚獻《復堂詞錄敘》

<sup>62</sup> 譚獻《篋中詞·敘》

經》對卦爻之象「語小旨大」、「言此意彼」等特性之概括。是故譚獻以為入詞題材「無小非大」，即無所謂大或小，不必如詩之出以「莊語」，僅需運用「引而申之，觸類而長之」比興手法，即可指向具有重大意義之主題。如是詞作，方可謂之立言。昔揚雄論賦體「詩人之賦麗以則，詞人之賦麗以淫。」《法言·吾子》苟能運用比興寄託手法，可藉艷詞綺思以表達正確且重大之情志，是以譚獻曰：「唯詞亦有然矣。」運用比興寄託，則與詞之內在品性相合。譚獻繼承並發揮常州詞派張惠言「意內而言外謂之詞」<sup>63</sup>之著名論點，且蘊含儒家詩教之義，揭櫫中國傳統之悠遠審美原則。

### 參、譚獻詞論探究

#### 一、詞學理論

##### (一) 尊詞體：為樂府之餘

所謂尊詞體，即推尊詞體，使其與詩賦同為諷誦之流。蓋自唐宋以降，一般人即薄詞為小道，故晏幾道以為詞之為用，但在「析醒解慍」抒懷記事而已。<sup>64</sup>法秀道人語黃庭堅曰：「詩多作無害，豔歌小詞可罷之。」<sup>65</sup>且陸游自序詞集亦謂：「予少時汨於世俗，頗有所為，晚而悔之。」與放翁類似之王士禛初好倚聲，入朝後，位高望重，即絕口不談，視《花間》《草堂》乃雕蟲小技。<sup>66</sup>投注心力於詞作，晚或悔之，或羞於啓齒，詞被薄為小道，由來久矣。

究其因，或詞之體制纖弱香軟，其文小，其質輕，宜於「言閨闈事，故語懦意卑。」<sup>67</sup>素為風雅之士所不取。其後，詞學愈趨衰微，不受重視；詞被視為婉而近情之文體，乃遣興抒情之主要形式。宋張炎即謂：「風弄月，陶寫性

情，詞婉於詩。蓋聲出鶯吭燕舌之間，稍近乎情可也。」<sup>68</sup>詞近於情，故易被看作「艷科」、「小道」，文人以「謔浪遊戲」之態度填寫，故詞格愈卑，幾成浮花浪蕊、柔靡側艷之作的別稱。清朝雖號稱詞學中興，唯嘉慶以前，亦僅求字句、音節之冶鍊諧暢，其間雖偶見元初仇遠評牛希濟《臨江仙》曰：

芹綿溫麗極矣，自有憑弔悽愴之意，得詠史體裁。

然未見專著闡發其旨，常州詞派欲挽頹波，其入手處即為推尊詞體，亦為矯正浙派與陽羨派末流之弊端，（謝章铤《賭棋山莊集·第四章·第三節》）提高詞之意格，亦即託體風雅騷歌，講求寄託比興。張惠言《詞選·敘》曰：

傳曰：意內而言外謂之詞。其緣情造端，興於微言，以相感動，極命風謠里巷、男女哀樂，以道賢人君子幽約怨悱不能自言之情，低徊要眇，以喻其致，蓋詩之比興，變風之義，騷人之歌，則近之矣。然以其文小，其聲哀，放者為之，或跌蕩靡麗，雜以昌狂俳優，然要其至者，莫不惻隱盱愉，感物而發，觸類條鬯，各有所歸，非苟為雕琢曼辭而已。

將詞比之於「變風之義，騷人之歌」，以男女哀樂之詞面，寄寓幽約怨悱之情緒。周濟《介存齋論詞雜著》復補充張氏之說，指出詞當脫離抒寫個人際遇之狹隘範疇，而將感慨繫於世道之盛衰，其眼界已較張氏開闊。譚獻受鴉片戰爭後時代文學風氣與「中丁亂離，瀕死者數」生活經歷之影響，試圖進而從觀念改變吾人對詞體之看法，遂提出「詞近變雅」說。

詞源出於樂，與詩經、楚辭既是同源而異流，故詞與風騷等量齊觀。譚獻企圖以詩歌挽

<sup>63</sup>《詞選序》

<sup>64</sup>見晏幾道《小山詞·自序》

<sup>65</sup>見《冷齋夜話·卷十》

<sup>66</sup>見朱東潤《中國文學批評史綱》頁 329

<sup>67</sup>王炎《雙溪詩餘·自序》

<sup>68</sup>《詞源》

救世道人心，所謂「詩也者，根柢乎王政，端緒乎人心。」<sup>69</sup>此實源自常州詞派開創者以儒家詩教推尊詞體，譚獻曰：

凡夫學者本末，皆有合於微言大義者也。……獻嘗服膺會稽章先生之言，曰：「詩教至廣，其用至多。」而又師其論文之旨，持以論詩，求夫辭有體要，萬變不離其宗，進退古今，以求其合，蓋千一而絀然一代政教、一時風尚則可以觀焉。世盛時草野皆和平之音，世亂則衣冠皆嗷殺之音。流連風月，奔走聲氣，雖甚繁鄙，而可規靈長；悲悼感憤，窮蹙酸嘶，雖甚迫狹，而可識兵凶。嚴刑峻法，世變日亟，則群樂放廢，家家自以為老莊；放僻邪侈，名實不副，而不恥干進，人人自以為屈賈之數，幾相感召，如環無端，無病呻吟樂憂者，非人情耳。<sup>70</sup>

試將譚獻《復堂詞錄敘》所云：「愚謂詞不必無頌，而大旨近雅；於雅不能大，然亦非小，殆雅之變者歟？」與《復堂類稿》中〈明詩〉、〈學宛堂詩敘〉中有關「世治則可以歌詠功德，揚盛烈於無窮；世亂則又託微物以極時變，風諭政教之得失」等論述參照讀之，則知：譚獻提出詞近變雅之用意，一為使詞託體更尊，甚至有別於「多出於里巷歌謠之作，所謂男女相歌詠，各言其情者。」（朱熹語）之風詩，以更為高雅之詞面，表達深廣憂憤；二為強調詞近「變」雅，當是亂世之音，故應託微物以亟時變，諷政教以諫得失，然又須不失雅詩怨悱不亂之風度。<sup>71</sup>

## （二）明正變：蘄反應現實

<sup>69</sup>《唐詩錄敘》，《復堂類集》文一。

<sup>70</sup>〈明詩〉，《復堂類集》文一。

<sup>71</sup>任訪秋主編《中國近代文學史·第六章·清末常州詞派》河南大學出版社（1988）頁 279-280。

自明張綖「詞體大略有二，一婉約，一豪放」之說行世，吾人即常以婉約與豪放品評詞家，而又以婉約為詞之「正格」，柔情曼聲、香弱綿麗為當行本色；以豪放為詞之「變格」，銅琶鐵板之音遭受鄙薄。常州詞派承襲此一正變觀傳統。張惠言選《詞選》以深美閎約為準，所選多為婉約之作，其選蘇、辛詞，亦是近柔美風格者；吳文英詞未能選入，李煜詞被斥為雜流。周濟著《詞辨》將所選詞分正、變二卷，卷一為「正」，錄溫庭筠以下，歐陽脩、周邦彥、吳文英等十七家為正，「莫不蘊藉深厚」，「諷詠絀繹，歸諸中正」之作品；卷二為「變」，錄南唐後主以下，蘇軾、辛棄疾等十五家「駿快馳騫、豪宕感激」之作，因其「皆委曲以致其情，未有亢厲剽悍之習。」周濟視為「正聲之次」。<sup>72</sup>

譚獻對周濟將詞區分為正、變之做法補正道：「予固心知周氏之意，而持論小異，大抵周氏所謂變，亦予所謂正也，而折衷柔厚則同。」<sup>73</sup>是將駿快馳騫、豪宕感激之作與蘊藉深厚者同列為正格，譚獻以此正變觀為準，故對張惠言斥為雜流、周濟列入變集之李煜詞評價極高，謂後主詞「雄奇幽怨，乃兼兩難，足當太白詩篇，高奇無比。」《復堂詞話》稱蔣春霖為「第一流」詞人，又評曰：

文字無大小，必有正變，必有家數。《水雲樓詞》固清商變徵之聲，而流別甚正，家數頗大，與成容若、項蓮生二百年中分鼎三足。咸豐兵事，天挺此才，為倚聲家杜老。……惟三家是詞人之詞，與朱、厲同工異曲，其他則旁流羽翼而已。

譚獻視蔣春霖為近代第一大詞人，實因蔣詞並非花間樽前消閒之作，而多能面對社會動亂，結合個人際遇，情感真摯，寄寓深遠，為

<sup>72</sup>周濟《詞辨序》

<sup>73</sup>〈周氏止庵《詞辨·跋》〉



前後詞人所不及，故譚獻將其比為「詩史」之杜甫；視作「詞史」可也。再如評鄧廷楨詞云：

鄧嶸筠督部《雙硯齋詞》，宋於廷序之，忠誠悱惻，咄口昔乎騷人，徘徊乎變雅，將軍白髮之章，門掩黃昏之句，後有論世之人者，當以為歐、范之亞也。

甘劍侯主講六安書院，寄鄧嶸筠督部《雙硯齋詞》寫本。其才氣韻度，與周稚圭伯仲，然而三事大夫、憂生念亂，竟似新亭之淚，可以覘世變也。

鄧廷楨為兩廣總督，嘗協助欽差大臣林則徐查禁鴉片著有事功，又整頓海防，堅決抗英，繼而遭誣，充軍伊犁，不以詞名家，然其詞作反應歷史事件，飽霑憂國憂民之情，譚獻讚其「徘徊乎變雅」，「可以覘世變」，予以高度評價。至若《篋中詞》評莊棫詞「於時事多所根觸，非苟作也。」謂孔廣森〈百字令〉（荒涼如此）為「憂患之言，不嫌太盡」，稱王憲成〈揚州慢〉（水國魚鹽）及汪清冕〈齊天樂〉（燹餘歸里）為「杜詩韓筆，斂抑入倚聲，足當詞史。」「浩劫茫茫，是為詞史。」均鮮明標示譚獻詞論要求描繪「世變」，以「變」為「正」，真實反映時代劇變，表達作者憂思。

是故譚獻對常州派所持詞格之正、變觀有所修正，而所謂「變」，實指亂世之音。《詩·國風·關雎序》云：「至於王道衰，禮義廢，政教失，國異政，家殊俗，而變風變雅作矣。」譚獻肯定詞人應正面反應現實事變，表達憂患意識。

### （三）重寄託：倡意內言外

譚獻將哀悼感慨、駿快豪宕之作列入正格，係對常州詞派批評觀之修正，唯仍堅持以「柔厚」二字概括其審美經驗。所謂「柔」，係運用深微婉約，委曲以致其情之筆法，表現優雅

形象與柔美意境；所謂「厚」，指蘊藉深厚，重立意，求寄託，並非「文焉而不物」。亦即語言莊雅、敦厚，然非流於雕琢曼辭、破碎尖新。其「柔厚說」與張惠言「深美閎約說」、周濟「渾厚說」，實為一脈相承。

自張惠言提出「意內言外」，常州派詞人遂將「緣情造端，興於微言」視作以詞體表現內在感情或思想之指導方針，提倡詞人以深隱含蓄之言，藉助香草美人、曉風殘月等抒情形象以言外；將家國、身世之感，磊落不平之氣，或藝術境界、心理情緒，自然和婉而不留痕跡，發而為詞，以臻意內與言外水乳交融，常州詞派將講求寄託作為提高詞意與風格之大法。

常州派詞論產生於鴉片戰爭前後，乃歷史大變革之際，所提：寓寄託、意內言外，至其後譚獻所云：「島夷索虜，兵革相尋，天下因之鼎沸，民命幾欲剝絕，雖《春秋》記載弑君滅國，有其過之。」<sup>74</sup>歷史形勢既如春秋末期，社會亦進行歷史大更替；舊制將廢，新制醞釀誕生，譚獻以為：「學人」只需「潛心」於封建「大道」，為統治者謳歌昇平<sup>75</sup>即可。故其所言詞之於政治，根本作用在於「根柢乎王政，端緒乎人心。」<sup>76</sup>雖為後世部分詞學研究者貶抑，然於此一基本形勢下，譚獻之儒家詩教觀，鼓吹詞人宜恪守：

折衷禮教，為專門之著述，於憂生念亂之時，寓溫厚和平之教。<sup>77</sup>

鈞玄提要，文人用心，揚風抑雅，儒者立教。<sup>78</sup>

依仁據義，履中蹈和，則上合六義。<sup>79</sup>

<sup>74</sup> 《古詩錄序》，《復堂類稿》文一。

<sup>75</sup> 〈明詩〉

<sup>76</sup> 《唐詩錄序》，《復堂類稿》文一。

<sup>77</sup> 〈明詩〉

<sup>78</sup> 《唐詩錄序》

如是詞學論點，貫穿於譚獻詞評，且其賡續提倡張惠言、周濟以降所倡導之「比興」與「意內言外」，故曰：

常州派興，……而比興漸盛。

周介存有『從有寄託入，以無寄託出』之論，然後體益尊，學益大。

並讚美周濟此說為「千古填詞之能事，豈獨填詞為然。」<sup>80</sup>強調「比興」、「寄託」等，對於矯正清初以來清空詞風具積極意義，雖譚獻亦批評周濟所倡比興，「不無皮傅」，於發展中「佻染鉅釘之失，而流為學究。」<sup>81</sup>然提倡「意內言外」同時，譚獻亦力主藝術表現之含蓄，對於痛快淋漓、雄猛豪放，最能表現時代變革之詞，則與其他常州派作者相同；均採取輕視甚至排斥之態度。<sup>82</sup>譚獻以為，作者創作，盡可達到「側出其言，旁通其情」，讀者則能「觸類以感，充類以盡，甚且作者之用心未必然，而讀者之用心何必不然。」<sup>83</sup>唯重寄託之藝術創作，力主意內言外，勢必為詞作賞析帶來困難，甚至為寄意而穿鑿附會。

## 二、創作要領

### (一) 含蓄美：潛氣內轉

常州詞派自張惠言發源，替代浙西詞派地位而講「寄託」，「意內言外」，「比興諷諭」，且有別於浙派之重要處，在於：重視詞作之思想內容，包括政治思想，且欲藉由「重拙大」之形象，以表達含蓄曲折。實則此乃對待世變之態度，至譚獻遂有「於憂心念亂之時，寓溫厚和平之教。」

故其評辛棄疾〈水龍吟〉（登建康賞心亭）云：「裂竹之聲，何嘗不潛氣內轉。」<sup>84</sup>「潛氣內轉」一語原出三國繁欽〈與魏文帝箋〉：「潛氣內轉，哀音外激。……淒入肝脾，哀感頑豔。」<sup>85</sup>似指內在、深入臟腑之真情流動，因其內在，故益見淒惋動人。譚獻以此語評辛詞，或揣摩稼軒當年登樓時報國之情，慷慨激越，勢可破竹，故「哀音外激」，唯出之以詞，故將此一縱橫豪宕之氣深藏掩抑，筆筆側鋒，語語能留，百煉鋼遂化為繞指柔。「此一內在流動之真情，使典故之運用千回百轉又渾然一體，此與南宋姜、張一派『善用虛字呼喚』、講究字面上轉接騰挪的手法異趣。」<sup>86</sup>故「潛氣內轉」為詞作中所呈現之追求含蓄蘊藉之美。

譚獻洞見鴉片戰爭以來之世變，誠為前古所未有，惜其以為「同治中興」已經扭轉局勢，「將卜天下復見太平」。朱祖謀在八國聯軍大屠殺之下於北京，閉門專力學詞；王鵬運自道：其詞境從此日渾，氣息日靜，格調高簡，風度矜莊，將譚獻詞作理論，正式付諸實現。<sup>87</sup>

### (二) 整體美：返虛入渾

王沂孫〈高陽台〉（殘雪庭陰）抒寫與越中諸友離別之情，發摠亡國哀感，卻不涉國變家亡之事，然藉由「小帖金泥，不知春是誰家？」「更消他，幾度東風，幾度飛花」等語，傳達時過境遷之感傷，表達內心幽怨，雖不可指實，而意蘊深厚。譚獻評曰：「《詩品》云：反（返）虛入渾，妙處傳矣。」<sup>88</sup>復以「運掉虛渾」評張炎〈高陽台〉（西湖春感）；<sup>89</sup>以「時造虛渾」

<sup>79</sup> 〈明詩〉

<sup>80</sup> 上列三處引文，均見《復堂日記》

<sup>81</sup> 《復堂日記》

<sup>82</sup> 敏澤《中國文學理論批評史》下（明清時期）北京：人民文學出版社（1981）頁 1073-1076。

<sup>83</sup> 《復堂詞錄敘》

<sup>84</sup> 譚獻評〈詞辨〉

<sup>85</sup> 《全上古三代秦漢三國六朝文·全漢文·卷四十六》

<sup>86</sup> 方智範、鄧喬彬、周聖偉、高建中合著《中國詞學批評史》中國社會科學出版社（1994）頁 348-9。

<sup>87</sup> 陳邇冬、王利器編選《中國近代文論選·前言》上。北京：人民文學出版社（1981）頁 7。

<sup>88</sup> 譚獻評〈詞辨〉。

<sup>89</sup> 譚獻評〈詞辨〉。

評蔣春霖〈水雲樓詞〉，<sup>90</sup>大意相似。按唐司空圖《詩品》論「雄渾」一品：「返虛入渾，積健為雄。……超以象外，得其環中。」郭紹虞云：「何謂渾？渾，全也，渾成自然也。所謂真體內充，又堆砌不得，填實不得，板滯不得，所以必須復還空虛，才得入於渾然之境。」「一方面超出乎跡象之外，純以空運，一方面適得環中之妙，仍不失乎其中，此即所謂『返虛入渾』。」<sup>91</sup>超出跡象，渾成自然，正是詩詞意境，且不限「雄渾」之品。

譚獻總評馮煦《蒙香室詞》曰：「唯由澀筆，時有累句，能入而不能出。此病當救以虛渾。」按馮煦學清真、夢窗一路，思致幽深，能得澀意，然「澀筆」卻是累句，不復可取，因其破壞詞之整體美感，故須以「虛渾」救之。對照譚獻「金碧山水，一片空濛。此正周氏所謂『有寄託入，無寄託出』也」<sup>92</sup>之詮釋，「返虛入渾」之說顯係指有別於圭角分明、著跡露象之寄託，所得在於詞之整體美。<sup>93</sup>

### (三) 曲折美：一波三折

詞之章法要求富於變化，有離合吞吐之筆致。譚獻評項鴻祚詞曰：「澀氣迴腸，一波三折，有白石之幽澀，而去其俗；有玉田之秀折，而無其率；有夢窗之深細，而化其滯。」<sup>94</sup>吾人不必深究《憶雲詞》是否當此評語，然譚獻認為合幽澀、秀折、深細於一體，即成「一波三折」之妙，而可避免詞家大忌之俗濫、粗率與呆滯等病，確是道出詞之章法大要。蓋沈祥龍《論詞隨筆》嘗明白開示：「詞能幽澀，則無淺滑之病。」「一波三折」即相對於妥溜以至滑易而言，宋張炎詞所病即在「處處妥當」，<sup>95</sup>

浙派翕然宗之，難免淺滑之誚，故譚獻為近代詞壇痛下針砭，欲以提倡章法曲折之美相救也。

又譚獻打破詩、文、詞之畛域，借用古文與長詩之章法、布局以論詞之結構，使讀者眼界別開。如其評辛棄疾〈漢宮春〉（立春）云：「以古文長篇法行之。」評其〈蝶戀花〉（元旦立春）云：「旋撇旋挽。」評王沂孫〈齊天樂〉（蟬）：「此是學唐人句法、章法。」評周邦彥〈六丑〉（薔薇謝後作）：「但以七言古詩長篇法求之，自悟。」評周密〈解語花〉（暗絲買蝶）：「層折層續，熔煉瀝液。」<sup>96</sup>如此評語，頗開近代風氣，至清末陳洵《海綯說詞》亦謂清真、夢窗詞，喜用古代文章學之術語詳加剖析。<sup>97</sup>

### (四) 格律美：音律協暢

譚獻承前期張、周餘緒，亦十分注重音律。其謂：「詞為詩餘，非徒詩之餘，而樂府之餘也。」嘗批評龔定盒「詩佚宕曠逸，而豪不就律，終非當家。」復以為「文字無大小，必有正變，必有家數。」因之稱道蔣春霖「水雲樓詞，固清商變徵之聲，而流別甚正，家數頗大。」正確理解詞與音樂之依存關係。

## 三、著作鑑賞

### (一) 詞作之部

晚清時期詞學研究之風炙盛，尤以咸豐以降詞論家輩出，清代最著名之論詞作品多產生於此際，如劉熙載《藝概》中〈詞概〉、陳廷焯《白雨齋詞話》等。此外，編有《六十一家詞選》之馮煦《蒿庵論詞》亦頗孚盛名，惜論詞名家之創作每多令人失望。若劉熙載

（1813-1881）可謂出色之文藝理論家，然不以詞名家；《昨非集》附錄之詞，實屬一般。又

<sup>90</sup>譚獻《復堂日記》戊辰。

<sup>91</sup>《詩品集解》

<sup>92</sup>譚獻評〈詞辨〉

<sup>93</sup>方智範《中國詞學批評史》中國社會科學出版社（1994）頁 349-350。

<sup>94</sup>《篋中詞》

<sup>95</sup>周濟《介存齋論詞雜著》。

<sup>96</sup>以上評語均見譚獻評〈詞辨〉。

<sup>97</sup>方智範《中國詞學批評史》中國社會科學出版社（1994）頁 350。

如陳廷焯（1853-1892）於《詞話》中專言「沈鬱」，且陳義甚高，然其銳意復古，遂致創作受侷限，雖《白雨齋詞鈔》云：「天下後世見我詞者，皆當興起無窮哀怨，且養無限忠厚也。」<sup>98</sup>其實規行矩步，正少動人處。即若馮煦《蒿庵詞》亦過於墨守「婉約」之旨，殊少新意。相較於譚獻有詞作百餘首，輯為《復堂詞》，尚不失名家風貌。其弟子徐珂記曰：獻於「薄書餘暇，輒招邀朋舊，為交酒之宴集。吮毫伸紙，搭拍應付，若不越乎流連光景之情文者。讀其詞者，則云幼眇而沈鬱、義隱而指遠，膈臆而若有不可於名言。蓋斯人胸中，別有事在，而官止於令，犖然不能行其志，為可太息也。」<sup>99</sup>

莊棫《復堂詞·序》亦曰：「仲修年近三十，大江以南，兵甲未息，仲修不一見其所長，而家國身世之感，未能或釋，觸物有懷，蓋風人之旨也。」譚獻詞具現實感受而後發為譜調之聲，復因其信奉常州詞派比興寄託之說，恪守前人模式，盡力煉「意」至深沈含蓄，然煉意太甚，將致真率減淡，且損傷「氣」之流貫自然，等而下之者，終將導致泯滅自家面目，而成千人一面。譚獻已洞見此一弊端，《復堂日記》丙子年（1876）記載：

填詞至嘉慶，俳偕之病已淨，即蔓衍闌緩，貌似南宋之習，明者亦漸知其非。常州派興，雖不無皮傳，而比興漸盛。故以浙派洗明代淫曼之陋，而流為江湖，以常派挽朱、厲、吳、郭佻染餽釘之失，而流為學究。

是故譚獻在其詞作中，雖藉助物象，而能較真切抒寫感受，即本乎此。《復堂詞》長調勝於小令，其長調較有生氣，而小令往往藏而失真，陳而不新。如〈渡江云〉（大觀亭同陽湖趙

敬甫、江夏鄭贊侯）雖仍藉意象以含蓄其「意」，然寫兵荒馬亂時事氣氛，有切近感。<sup>100</sup>

大江寒日夜，空亭浪捲，千里起悲心。問花花不語，幾度輕寒，恁處好登臨？春幡顛裊，憐舊時人面難尋。渾不似，故山顏色，鶯燕共沈吟。六朝裙屐，百戰旌旗，付漁樵高枕。何處有、藏鴉細柳，繫馬平林？釣磯我亦垂綸手，看斷雲、飛過荒潯。天未暮，帘前只是陰陰。

譚獻生當內亂外患不已之時，家國身世之感，於詞中隱約可見；鴉難藏身，馬無繫處，繁華化為荒蕪，實屬特定年代之感受。面對大江、空亭，謂「舊時人面難尋」、「不似故山顏色」，抒發戰亂後人物皆非之悲憤，而自稱「釣磯我亦垂綸手」，卻總為斷雲陰帘所隔，壯志難酬。又如〈金縷曲〉（江干待發）抒寫志不得伸、才未能盡而又不甘絕望之情懷，雖屬詞人老生常談式之命題，然寫來真切，不故作外在浮面之描述。<sup>101</sup>

又指離亭樹。恁春來、消除愁病，鬢絲非故。草綠天涯渾未遍，誰道王孫遲暮？腸斷是、空樓微雨。雲水荒荒人草草，聽林禽、只作傷心語。行不得，總難住。今朝滯我江頭路，近篷窗、岸花自發，向人低舞，裙釵芙蓉零落盡，逝水流年輕負。漸慣了單寒羈旅。信是窮途文字賤，悔才華、卻受風塵誤。留不得，便須去。

怨而不怒、溫柔敦厚之忠愛情懷，使譚獻自怨自艾者僅為身際亂世窮途，諸如「劫換紅羊，巢換紫燕」等傷感事，流露於字裡行間者，苟非時序混亂，則不至「文字賤」，「滯我江南路」矣。

<sup>98</sup> 〈蝶戀花〉「采采芙蓉秋已暮」一闋小序。

<sup>99</sup> 《清稗類抄》；任訪秋主編《中國近代文學史》河南大學出版社（1988）頁 281。

<sup>100</sup> 嚴迪昌《清詞史》江蘇古籍出版社（1990）頁 510。

<sup>101</sup> 嚴迪昌《清詞史》江蘇古籍出版社（1990）頁 511。

譚獻一生，以詞人名世，其〈摸魚兒〉（用稼軒韻自題復堂填詞圖）中「短衣匹馬天涯客」，「草草青春，紅袖歸黃土。」可謂辛酸之自我畫像。〈百家令〉「種柳光陰，牽羅紳士，付與誰憐？」又〈天悶〉（早雪）「淒緊，在人境，比臥老空山，一般孤回已誤了華年。那堪重省！」可謂字字傷感。唯傷感之中，不無自信與清高：

我是琴賦嵇康，依然病懶，卻漸忘龍性。  
留得廣陵弦指在，無復竹林高興。裁制荷衣，稱量藥裏，況味君同領，清輝遙夜，碧天飛上明鏡。〈壺中天慢〉

譚獻詞以清雋深婉見稱，其取徑在晚唐五代。若〈蝶戀花〉組詞，寫男女二人相識、相親與別後相思，其中「語在修眉成在目，無端紅淚雙雙落。」「遮斷行人西去道，輕軀願化車前草」等句，將女方情態以細膩、委婉呈現，極具溫韋風韻。大體言之，譚詞屬清靈一流，故陳廷焯謂其「蓋於碧山深處，尙少一番涵詠功也。」<sup>102</sup>然又謂其自作詞小令、慢詞兼長，「品骨甚高，源委悉達。窺其胸中眼中，下筆時匪獨不屑爲陳（維崧）、朱（彝尊），盡有不甘爲夢窗（吳文英）、玉田（張炎）處。所傳雖不多，自是高境。」<sup>103</sup>唯譚獻詞煉意而不傷情，又慢詞掃卻陳言，辭意特出，用力最深。是故論譚獻之能事，實在長調。於家國之痛中，反能奮筆疾書，直截了當，遠較令詞真切矣。<sup>104</sup>

## （二）詞選之部

葉恭綽曰：「仲修先生承常州派之緒，力尊詞體，上溯風騷，詞之門庭，緣是益廓，遂開近三十年之風尚，論清詞者，當在不祧之列。」<sup>105</sup>譚獻詞學蔚爲大影響之首要因素爲其選唐至

明詞千餘篇，爲《復堂詞錄》十卷，又選清人詞爲《篋中詞》六卷，收清初吳偉業等至清末詞人二百餘家，詞六百首，「以比興爲本，庶幾大廓門庭，高其墻宇。」<sup>106</sup>續集四卷，收邊浴禮等一百九十餘家，詞三百七十餘首。此書爲清末詞壇重要讀本，影響至鉅。

光緒四年（1878）譚獻自敘：《篋中詞》正集六卷，爲其歷時「二十餘年，而後寫定。」此爲譚獻「以衍張茗柯、周介存之學。」<sup>107</sup>正集六卷收詞五百餘首，自吳偉業至莊棫共二百零九家作品。《篋中詞續》四卷仿補人補詞之例，錄入自邊浴禮至許增止共一百九十餘家，詞約三百七十首。《篋中詞》，爲清人選清詞之權威選本，亦爲晚清時期詞壇流傳甚廣之詞選。

光緒八年（1882）又編成《復堂詞錄》十卷，其中前集一卷、正集七卷、後集二卷，錄由唐至明三百四十餘詞人、一千零四十七首詞作，此時已「年至五十，其見始定。」<sup>108</sup>以爲詞學觀念與理論至此方臻成熟。

## （三）詞評之部

譚獻論詞最著之觀點爲：「作者之用心未必然，而讀者之用心何必不然。」此乃周濟寄託說「有寄託入，無寄託出」之發揮，且係由批評方法論述之。譚獻自道讀詞「喜尋其旨於人士，論作者之世，思作者之人。」蓋於詞中知人論世。「讀者之用心何必不然」即爲再創造過程。如能避免隨意性或牽強附會之索隱弊病，則爲傳統「以意逆志」法之深化，並賦予更多理論。此一觀念對譚氏自身創作有影響；其詞作能不泥古，亦非一味擬古，當得力於此。

<sup>102</sup>《白雨齋詞話》；任訪秋主編《中國近代文學史》河南大學出版社（1988）頁 282。

<sup>103</sup>陳廷焯《白雨齋詞話·卷五》

<sup>104</sup>沈軾劉、富壽孫選編《清詞精華》安徽文藝出版社（1896）

<sup>105</sup>《廣篋中詞·卷二》

<sup>106</sup>《復堂日記》

<sup>107</sup>《復堂日記·丙子》

<sup>108</sup>《復堂詞錄·序》

譚獻實欲在其詞作中能寄託「人事」變易之旨也。<sup>109</sup>

### 肆、結語：譚獻詞學對後世之影響

清代擁有數量極為可觀之詞家與詞作，又自詞學理論觀之，亦有諸多探索、研究。<sup>110</sup>沈曾植《彊村校詞圖序》即謂：「詞莫盛於宋，而宋人詞為小道，名之曰詩餘。及我朝而其道大昌。」《白雨齋詞話》亦謂：「詞興於唐、盛於宋、衰於元、亡於明，而再振於我國初，大暢厥旨於乾嘉以還也。」梁啟超《清代學術概論》對清代文學大多有貶詞，然對清詞，則稱：「清代固有作者，駕元、明而上。」

譚獻為自浙西派引渡至常州詞，並光大之而集其大成者。其「折中柔厚」說實為體現詞之含蓄美、整體美、曲折美、音律美之統一律。此一論點，既是譚獻對古代婉約詞之創作藝術成就予以總結，且是對周濟「寄託出入」說與「渾化」說之重要闡發，並對常州派詞學理論進一步推衍。姑不論其「折中柔厚」說關於道德倫理之迂腐說教，<sup>111</sup>吾人應肯定譚獻於詞學理論、創作、鑑賞所作之貢獻。此外，提出以讀者為鑑賞主體，所云之「作者之用心未必然，而讀者之用心何必不然。」<sup>112</sup>有突破性之探究；賦予「比興寄託」說更寬廣之發揮空間與立論根據。雖此論或有陷詞作於穿鑿附會、浮濫而無所歸之境地，致使譚獻嘗評常州派之流弊為

「不無皮傅」，<sup>113</sup>雖或遭評為「已說卻又更流於此弊端，不可不謂為一大缺失。」<sup>114</sup>，然其使詞之鑑賞從客體（詞作）轉至主體（讀者），影響後世文學評論與美學鑑賞，令人深思。

### 參考書目（依姓氏筆畫排序）

方智範、鄧喬彬、周聖偉、高建中合著《中國詞學批評史》北京：中國社會科學出版社（1994）

王 易《詞學史》台北：廣文書社（民 60）

王 茂、蔣國保、余秉頤、陶清《清代哲學》安徽人民出版社（1992）

王運熙、顧易生主編《清代文論選》北京：人民文學出版社（1999）

包根弟〈譚獻《復堂詞話》析論〉第三屆近代中國學術研討會論文集，中壢：國立中央大學（民 86）頁 249—266

任訪秋主編《中國近代文學史》開封：河南大學出版社（1988）

沈軼劉、富壽蓀選編《清詞菁華》安徽文藝出版社（1986）

吳文治主編《中國古代文學理論名著題解》黃山書社（1987）

吳宏一《清代詞學四論》聯經出版事業公司（民 79）

馬興榮、吳熊和、曹濟平主編《中國詞學大辭典》浙江教育出版社（1996）

<sup>109</sup>嚴迪昌《清詞史》江蘇古籍出版社（1990）頁 512

<sup>110</sup>詞話如徐鉉《詞苑叢談》、周濟《介存齋論詞雜著》、張宗橈《詞林紀事》、陳廷焯《白雨齋詞話》、況周頤《蕙風詞話》、劉熙載《藝概·詞概》等，均具影響。再如江順治《詞學集成》、毛先舒《填詞名解》、趙鑰、曹毫武《詞壇》、萬樹《詞律》、王奕清《欽定詞譜》、仲桓《詞韻》、戈載《詞林正韻》、吳綺《選聲集》、賴以汾《填詞圖譜》、查繼佐《古今詞譜》等，至今仍有較大之學術價值。

<sup>111</sup>參看敏澤《中國文學理論批評史》下（明清時期）北京：人民文學出版社（1981）；時萌《中國近代文學論稿》上海古籍出版社（1986）頁 294 之評論。

<sup>112</sup>《復堂詞敘錄》

<sup>113</sup>《復堂日記·丙子》

<sup>114</sup>包根弟〈譚獻《復堂詞話》析論〉第三屆近代中國學術研討會論文集，中壢：國立中央大學（民 86）頁 262。

- 桑咸之《晚清政治與文化》北京：中國社會科學出版社（1996）
- 黃 霖《近代中國文學批評史》上海：古籍出版社（1993）
- 舒 蕪、陳邇冬編選《中國近代文論選》北京：人民文學出版社（1959）
- 譚 獻輯《篋中詞》台北：鼎文書局（民 60）
- 譚 獻《復堂詞話》北京：人民文學出版社（1984）
- 葉恭綽《廣篋中詞》台北：鼎文書局（民 60）
- 錢基博《現代中國文學史》台北：明倫出版社（民 60）
- 嚴迪昌《清詞史》江蘇古籍出版社（1990）。
- 蕭新玉《譚獻詞學研究》高師大國研所碩士論文（1992）
- 郭延禮《中國近代文學發展史》濟南：山東教育出版社（1991）
- 邱世友〈譚獻論比興柔厚——常州派詞論之三文學評論叢刊〉18 輯，北京：中國社會科學出版社（1983）頁 351-373
- 黃曼君主編《中國近百年文學理論批評史》（1895-1990）湖北教育出版社（1997）
- 梁啓超《清代學術概論》台北：啓業書局（民 61）
- 敏 澤《中國文學理論批評史》下（明清時期）北京：人民文學出版社（1981）
- 時 萌《中國近代文學論稿》上海：古籍出版社（1986）
- 後記：本篇原為指導國立中央大學中文所研究生之示範寫作，從未發表，僅經學生 BBS 傳觀。任何抄襲，甚或轉載，均未經本作者許可。





# 《清雲學報》第二十七卷

## 第二期

發行人／楊潔豪

出版者／清雲科技大學

總編輯／姚振黎

編輯委員／

理工：林仲廉（清雲科技大學機械工程系所）

王孫崇（中央大學生物資訊與系統生物研究所）

史建中（淡江大學機械與機電工程學系）

李天錫（中央大學機械工程學系）

林妙香（中央研究院統計科學研究所）

林宜清（中興大學土木工程學系所）

陳正光（台北科技大學機械工程系）

黃豐元（中央大學機械工程學系）

韓 斌（中興大學精密工程研究所）

資電：姚嘉瑜（台灣科技大學電機工程系所）

張弘文（中山大學光電工程研究所）

張宏鈞（台灣大學光電工程學研究所）

黃元豪（清華大學電機工程學系）

廖顯奎（台灣科技大學光電工程研究所）

劉添華（台灣科技大學電機工程系所）

鄭國興（中央大學電機工程學系）

商管：巫木誠（交通大學工業工程與管理系所）

徐千婷（中央銀行經濟研究處）

游張松（台灣大學工商管理學系）

系）

人文：林冠群（中正大學歷史系所）

齊茂吉（中央大學歷史研究所）

醫學：賀萬靖（台北長庚紀念醫院心臟科）

出版日期／2007 年 9 月 15 日

出版地點／台灣桃園縣中壢市健行路

229 號 清雲科技大學

Ching-Yun University,

Chung-Li, Taiwan 32097

E-mail :

[chenliyao@cyu.edu.tw](mailto:chenliyao@cyu.edu.tw)

[minn@cc.ncu.edu.tw](mailto:minn@cc.ncu.edu.tw)