

國立交通大學

管理學院碩士在職專班管理科學組

碩士論文

半導體廠生產電力品質管理之研究



**Case Study of Electric System with Using Multivariate Statistical
Process Control**

研究生：陳崇智

指導教授：蔡璧徽 博士

中華民國九十七年六月

半導體廠生產電力品質管理之研究

Case Study of Electric system with Using Multivariate Statistical Process Control

研究生：陳崇智

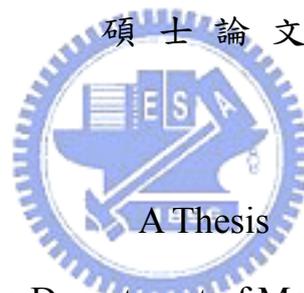
Student: Chung-Chin Chen

指導教授：蔡璧徽

Advisor : Bi-Huei Tsai

國立交通大學

管理學院碩士在職專班管理科學組



Submitted to Department of Management Science

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master in Business Administration

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

半導體廠生產電力品質管理之研究

學生：陳崇智

指導教授：蔡壁徽

管理學院碩士在職專班管理科學組

摘 要

電力系統對於半導體產業而言，是製造生產的中樞神經。一旦電力系統發生故障或供電品質異常，將會引起生產線的機台跳機，而中斷生產流程，且隨著復電時間的延長，時間與金錢的損失上也就愈來愈大。因此，半導體產業對於電力系統品質的好壞相當注重。為了有效監控廠區電力系統品質與異常的變化，本篇論文建構多變量統計製程管制法，來監測電力系統異常。透過所建立的多變量管制圖之監控模式，可在 95%信賴區間下，可以有效監控與預警電壓品質異常之變化，以有效的警報發佈，降低誤警次數，提供現場工程師緊急應變處理之判斷，提升工程師的工作效率。

關鍵字：T² 管制圖、多變量管制圖、主成分分析法、單變量管制圖



Case Study of Electric system with Using Multivariate Statistical Process Control

Student : Chen, Chung-Chin

Advisor: Tsai, Bi-huei

Department of Management Science

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Electric System is like as central nervous system for hi technology industries. As electric system is broken down, it could be lead to the interruption of production line. However, with increasing recovery time of electric system, the cost of time and money becomes huge problems. In order to monitor the change of electric system, this paper utilizes the Multivariate Statistical Process Control method (T-Square, SPC) to predict the qualities of electric voltage. These considered factors refer to Busbar, TR1, TR2, TR3, FAB1 of VA, VB and VC. This paper also sets up MSPC of monitoring model with 95% confidence level. It is not only can supervise and prewarn the changes of voltage, but also reduce the probabilities of fault detection. On site engineers can effectively achieve the fault treatment of electric system.

keywords : T-Square control chart 、 PCA 、 Multivariate control chart 、 SPC

致謝

回顧在交大管科所二年求學期間，感謝指導教授蔡璧徽老師在學業研究上的指導與照顧，並從中學習許多的寶貴的經驗，使學生在學業研究上受益良多，學位方得以順利完成，在此獻上最誠摯的敬意與謝意。同時，感謝口試委員王泰昌教授、沈大白教授與黃仁宏教授，於百忙中撥冗指導，並給與本論文的指正與建議，使本論文更臻完善。此外，感謝元培科大張哲維教授，給與個人寶貴的建議與指教，在此表示由衷的感謝。

感謝班上同學，在求學生活及學業上的相互扶持與學習，讓我留下許多美好的同窗情誼回憶。在此也銘謝，公司同仁在公餘之時協助資料搜集及數據分析的幫忙，使作者研究得以順利完成。

最後，謹以此碩士學位與本論文呈獻給關愛我的家人，感謝親愛的父母親與內人在求學期間，默默的支援與鼓勵，提供我一個無後顧之憂的學習與工作環境，方使作者能專心致力於求學研究。

目錄

摘 要	i
ABSTRACT	ii
致謝	iii
圖目錄	vi
表目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	5
1.3 研究限制	6
1.4 研究流程	7
第二章 文獻探討	9
2.1 QC 七大手法	10
2.2 T ² 管制圖	21
2.3 主成分分析法(Principle component analysis, PCA)	23
2.4 SPC 管制圖	27
2.5 預測方法之研究	29
第三章 建模步驟	42
3.1 多變量管制圖推導過程	44
3.1.1 主成份分析法推導過程	44
3.1.2 T ² 管制圖推導過程	50
3.2 抽樣管制計畫	52
3.2.1 T ² 管制圖	52
3.2.2 主成份分析法管制圖	53
3.3 電腦系統模擬流程	54
第四章 個案研究與分析	56
4.1 個案說明	56
4.2 電腦模擬分析與系統建模程式	57
4.3 訓練組資料建模與異常分析	59

4.4 測試組資料驗證與異常分析	66
4.4.1 GIS 電壓數據分析	66
4.4.2 TR1 電壓數據分析	73
4.4.3 TR2 電壓數據分析	76
4.5 SPC 建模分析.....	81
4.5.1 SPC 建模分析 GIS 電壓數據分析.....	81
4.5.3 SPC 建模分析 TR2 電壓數據分析	87
4.6 小結.....	90
第五章 結果與後續研究.....	93
5.1 結論.....	93
5.2 後續建議.....	94
參考文獻	95



圖目錄

	頁次
圖 1 研究流程圖	8
圖 2 親和圖法	14
圖 3 關連圖法	15
圖 4 系統圖法	16
圖 5 矩陣圖法	17
圖 6 過程決策計畫圖法	18
圖 7 箭形圖法	19
圖 8 矩陣數據分析法	20
圖 9 T ² 管制圖之橢圓管制區塊	22
圖 10 T ² 管制圖	23
圖 11 主成份分析法轉軸概念	25
圖 12 建模步驟	43
圖 13 監測設備電力品質異常狀態與分析流程圖	58
圖 14 以 T-Square 管制圖之顯著水準 $\alpha = 0.01$ 檢定之誤警率	61
圖 15 T ² 模型檢測第 934 點壓降情形	62
圖 16 SPC 管制圖檢測第 934 點壓降情形	63
圖 17 主成分分析法計算造成第 934 點壓降之變數貢獻度	64
圖 18 T ² 多變量管制圖檢測 1103 點異常分析	67
圖 19 主成分分析法檢測 1103 點異常之變數貢獻度	68
圖 20 T ² 多變量管制圖檢測 2029 點異常分析	69
圖 21 主成分分析法檢測 2029 點異常之變數貢獻度	70
圖 22 每分鐘監視一次，連續二或三點超過管制界限再發警報	71
圖 23 顯著水準降至 0.005，連續三點再發佈警報	72

圖 24 T^2 檢定 TR1 變數之電壓模型	73
圖 25 載入 TR1 測試資料之 T-Square 檢定分析	74
圖 26 以 T^2 檢定測試資料 TR1 變數之穩定模型	75
圖 27 T^2 檢定 TR2 變數之電壓模型	76
圖 28 去除異常點之 T^2 穩定性之檢定模型	77
圖 29 載入 TR2 測試資料之 T^2 檢定分析	78
圖 30 以 T^2 檢定測試資料 TR2 變數之穩定模型	79
圖 31 以 SPC 建模分析警報發佈狀況	81
圖 32 以顯著水準 0.005 進行 TR1 變數之 SPC 模型檢定測試資料	84
圖 33 T^2 管制圖分析 TR1 變數資料之異常情形	85
圖 34 SPC 管制圖分析 TR1 變數資料之異常情形	86
圖 35 以顯著水準 0.005 進行 SPC 模型檢定測試資料	87
圖 36 T^2 管制圖分析 TR2 變數資料	88
圖 37 SPC 管制圖 TR 變數資料	89

表目錄

	頁次
表 1 新舊 QC 七大手法之比較.....	12
表 2 新 QC 七大手法.....	12
表 3 灰色理論、機率及模糊理論之區別.....	36
表 4 灰色預測與傳統預測方法之比較.....	37
表 5 訓練組數據說明.....	59
表 6 訓練組數據建模結果分析.....	65
表 7 TR1 資料建模分析與檢定結果.....	83
表 8 T^2 建模分析與檢定結果.....	90



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著科技日漸的進步，用電量劇增，加上自然現象(如雷擊、地震、塵害等)，引起之電力系統故障的問題更是層出不窮(Ranasweera, 1994; Oyama, 1993; Hsu, et al., 1990)。若供電發生異常或故障，容易造成系統之元件或設備之損害、燒毀等；更嚴重可能造成區域性的大規模停電，所以電力系統之供電品質對於用戶影響甚鉅(Eleri, et al., 1988; Sekine et al., 1993; Cho et al., 1997; Duncan, et al., 1987; Anderson, et al., 1977; Bergen, et al., 1999)。



在我國的產業結構中，半導體產業一直位居於舉足輕重的地位，不論是在提升國家競爭力，或是對於國家經濟成長的貢獻，都有其實質的效用及意義。因此，若能有效率、計畫性的實施節能工作，將有助於能源產業的運作及相關單位整體能源的調度及分配作業。由於半導體產業，對於能源需求量大，如何節約能源，一直是半導體產業相當棘手的問題。因此，工業技術研究院能源與環境研究所，研發無塵空調節能、排氣系統、整合型電力監控系統、高效率照明技術等方面，來協助半導體產業真正地落實節能的工作。在整合型電力監控系統應用方面：所謂的電力監控系統，具有可以改善用電的安全、降低用電的費用、減少超約罰款、提供統計數據等效益。然而，完整的電力監控系統的功能應包括：合理需量的評估、

供電品質監視、監視受電與配電設備、各迴路用電資料的統計與分析、電力需量控制與網路資訊的整合等方面。也就是經由合理需量的評估後，考慮全年的負載型態，在基本電費與超約罰款間，尋求平衡點，將可減少超約罰款及電費。另外，藉由整合式的自動讀表技術，可瞭解各用電迴路的負載分佈及長時間的用電資料記錄，做為用電管理與實施節能策略及降低溫室效應的依據。

林家宏(民93)提出電力品質是目前台灣電力公司與工業界共同重視的課題，不良的電力品質包括：諧波、電壓驟降、電壓陡升及電力中斷等事件。為能有效掌握電力品質的狀況，必須長期監控電壓與電流波形，藉由分析結果辨識電力品質干擾變數。近年來由於靈敏電子負載的增加及大量的電腦設備與精密儀器的使用，可靠的電力供應對於工廠用戶變成一個相當重要的問題，雖然電力公司改善系統供電品質與可靠度，但由於電力系統固有性質、電力故障和電壓波動、電壓驟升、電壓驟降等因素，必須採用多重品質之管制方法才能有效監控電力系統品質異常(Tsutomu, 1993; Yang and Huang, 1995; Lee, 2000)。

在生產管理上常用之七大QC手法來管理製程品質，QC七大手法包括如下：(1)管制圖，其特色為抽樣結果連續7個樣本點同時往上或往下代表流程有問題，及代表製程已經出現問題、(2)柏拉圖又稱ABC管制圖，其特色為大部分的問題(80%)來自少數的原因 (20%)，然後把有限的資源獲得最佳

的利用、(3)流程圖其特色為將系統中的各個不同組成，以具有邏輯性的關係串聯在一起的圖形，可協助確認可能發生問題所在、(4)魚骨圖又稱要因圖或石川圖，此管制圖主要目的是探索原因，缺點是探索出來的原因無法串連起來、(5)直方圖其特色為由直立的條狀圖形構成，高度代表問題發生的次數或頻率，可以找到發生最多次的產品或流問題、(6)散佈圖其特色為用來找出兩個變數之間的關係，由資料點的散佈，可知道變數之間是否是正、負相關或不相關，資料點越向45度線集中表示兩者越相關及(7)趨勢圖其特色用來呈現資料隨著時間進展的變化圖，可以清楚看出生產產品的不良是越來越多，還是越來越少，成本及進度績效指標是越來越多，還是越來越少。以上QC七大手法，在生產線上若處理單一變數，檢測效果較為精確；當面對微小製程變化時，仍無法有效診斷出異常變化。

在統計製程管制法主要的有：Shewhart (1924)提出的蕭華特管制圖，此管制圖是利用基本的統計及機率原理，分別訂定出管制圖的中心線及管制界線。此法並未考量歷史數據的變化情況，因此無法迅速有效的偵測到製程的微量變異。Page(1954)提出累和管制圖 (Cumulative Sum, CUSUM)來改善對於微量製程變異來偵測。Lucas (1982)合併蕭華特—累和 (Combined Shewhart—CUSUM) 管制法，此法對於製程大量變異以及累和管制法對於製程微量變化之優良偵測能力，使管制法具有偵測不同程度之製程變異能力。Robert (1959) 提出加權指數移動平均 (Exponentially Weighted

Moving Average, EWMA) 管制法對於製程微量變異，亦具有 CUSUM 管制法近似之偵測能力，此法可對異常製程特性的微小偏移可以很快的偵測及警示出來，對單一品質特性之監控能有良好監測效果。以上單一品質特性管制圖，主要的功能為檢測製程是否穩定，若有異常時可以幫助檢測人員找出干擾製程的可歸屬原因，以達到改善及維持製程品質的目的。但是這些單變量管制圖只能對單一品質特性作個別監控，無法同時對多重品質特性作監控，然而目前產品品質的特性越來越多，因此製程變數的複雜度也日漸提升，為了確保有效監控電力品質，就必須考慮監控更多的變數，因此多變量管制圖的使用就相當重要了。



Logothetis and Haigh (1988) 提出使用統計檢定的基本假設，運用了多元分析、線性規劃和多目標決策分析等多種數理方法來解決多重品質特性製程最佳化的問題，其演算過程較為繁雜，因而使得運用上有所限制。當使用迴歸分析預測品質值特性時，若迴歸係數不顯著時，則結果之正確性更值得商榷。多重品質特性之製程最佳化的方法。蕭鋼衡(民 79)以個別品質特性的 S/N 比之加權和取代多重品質特性之整體 S/N 比來作分析。此法雖然簡單，但易發生各品質特性的權重值不易確定。況且，此方法視品質特性總損失為個別品質損失的權重次方再相互乘積，由田口的損失觀點來看，無法解釋其意義。陳啟斌等(民 89)及陳啟斌和林進財(民 91)運用灰色關聯分析法來解多重品質特性最佳化問題。上述研究方法運用少數樣本來推

論大量樣本之最佳化問題。在電力品質之管制上，面對的是大量樣本與多重品質的問題，檢測上仍有不足之處。

多變量管制圖能夠對多個品質特性和製程變數產生一個綜合統計量，並對此統計量作監控以判別製程變數是否發生異常。由此可知，多變量統計製程管制圖就是利用各種統計方法處理、計算、分析、圖示、列表找出變異的原因，並立即採取修正行動，消除或抑制變異的原因，以達到預先防止管制要求的方法(Kourti, et al., 1996)。

為了有效監控電力品質，本文應用統計製程管制法之多變量管制圖包括： T^2 管制圖及主成分分析法，來建構電力品質異常管理與偵測之評估決策模式，透過所建構之決策分析模式，來偵測製程中非隨機原因發生之異常圖形。統計製程管制法是一種統計的工具，經過產品特性數據的收集來偵測出製程上有無非隨機之變動，在更多不良品被製造出來之前，就先找出製程變異的原因，避免不必要的損失(Anderson, et al., 1977; Graninger, et al., 1998; Acha, et al., 2000)。如此，不但可以清楚地瞭解電力系統的運轉情形，還可在第一時間內發現系統異常的現象。

1.2 研究目的

為了有效監控廠區電力系統(王木連(2005)、吳建欣(2003)、蔡世育(1997)et al.)之電壓及時變化，本篇論文中採用多變量統計製程管制方法，

來分析電力系統數據，並建立預警機制，即時有效管制電力系統，協助工程師做好電力及時監控。本研究有兩個目的，分別敘述如下：

(一) 以多變量統計製程管制方法，方法包括：(1) T^2 管制圖(Mason et al., 1999; Rencher, 1993)與(2)主成分分析法管制圖(Harris et al., 1991; Montgomery et al., 1991; Alwan, 1988)等兩個管制方法，評估並分析電壓數據，當警報發生時，工程師即可做好即時電力的管控。

(二) 透過案例分析協助工程師熟悉多變量統計製程管制之手法，分析案例包括：

(1)GIS 電壓數據分析

(2)GIS.TR1/TR2 相關數據分析：分析變數包括：電流、功率、線圈溫度、油溫與外氣溫度，並找出外氣溫度對線圈溫度與油溫之關係。



1.3 研究限制

本文研究範圍擬以 A 半導體廠之廠務電力系統作為個案研究對象，並針對廠區電力需求來進行多變量管制圖之分析與應用，其驗證研究過程力求客觀、嚴謹，但仍有以下兩點限制：

(一) 本文評選模式之研究對象乃以 A 公司為主，目前尚未對其他半導體廠區電力系統做模式之驗證，其理應針對各類型半導體廠做模式之驗證。

(二) 本文對於半導體廠區電力品質異常管理與評估模式採用 T² 管制圖與主成分分析法兩種方法，因計算過程繁瑣與複雜，對於數量方法較無涉略之評估或決策者，其可能必須克服此難關。

1.4 研究流程

本文的研究過程，首先必須清楚地定義且確認研究主題、範圍與對象，接著蒐集、整理相關之文獻，進而構建出一套半導體廠之廠務電力系統品質異常管理與評估模式。最後，以進行 A 公司實例驗證並加以分析、探討及研究。最後，提出本文之結論與建議。研究流程，如圖 1 所示：





圖 1 研究流程圖

第二章 文獻探討

我國自 1980 年代開始發展半導體產業，由於半導體產業面臨全球化競爭激烈，面臨低成本、高品質、穩定的產品、更彈性的全球化組織設計，半導體製造商常導入品質管理之手法如 6σ 、及時化 (Just-In-Time, JIT) 等其他改善製造效率與週期的製造計畫，面對及時化的製造環境，用少量的存貨來緩和生產問題，製造商開始瞭解供需夥伴策略性與合作關係的重要性與潛在利益。

另一方面企業在面臨提昇企業本身競爭力的同時，還需降低成本，提昇產品競爭力。而降低成本之方法，可在生產線上降低機台當機率及企業節能進行管理。因此，本研究主要是研究半導體廠區及機台電力品質之管控，將低機台當機率，以穩定之電壓達到節能之效果。在半導體廠區需要監控之變數屬於多變量分析，以下針對本研究的研究目的與研究範圍，探討(1) T^2 管制圖、(2) 主成分分析法管制圖等統計製程管制與(3)預測方法等相關的文獻，經由文獻的探討找出切實可行的研究方法與研究範圍，再找出值得投入的研究目標，經過實際資料的驗證，做出結論與建議。

2.1 QC 七大手法

經營環境變化的不確定性因素，常會影響企業的營運，因此，方向正確而有效的經營是企業追求永續盤存的先決條件，然而，有效的經營必須借助有效的方法，早期，「方針管理」被有效應用於全面品質管理(TQM, Total Quality Management)，演變至今，與企業策略規劃相互結合，是一套綜合公司使命、經營理念、公司價值、文化願景、方針目標、策略方案、執行計畫以及公司資源的全面性管理系統，實務上，日本為數不少的企業透過方針管理的實施，適切引領各階層管理者的工作，朝向組織的整體目標邁進，但國內此方面的應用與著墨不多，有者，亦多用於品質管理的領域範疇，因此，國內企業透過方針管理的推動能否為其組織帶來綜效，使企業得以順利達成組織的目標，殊值研究，另外，企業的經營策略須透過其所擁有的資源持續推動，轉化策略為具體行動，使策略目標能夠實現，而策略的執行成果，將表現在經營績效上，惟企業欲藉由方針管理的推動將策略化為具體行動的過程中，常因執行力不佳，造成營運表現無法獲致預期效果。

方針管理涵蓋策略規劃與年度方針展開兩個層面，策略規劃層面係從總公司經營理念、使命、範圍、政策、至遠景的形成，經由環境與趨勢分析制定中長期策略規劃而成為全公司的基本方針；年度方針展開層面係根據經營方針訂定事業單位（或公司）年度目標展開，各機能與各部門根據

上一階的目標逐次展開到執行計劃的負責人，據此將策略依序展開到行動對策與戰術上。

品管七大手法是七種極有用的管理工具，其廣泛應用在製造、服務、商業流程的管理中。七大手法包括如下：(1)管制圖、(2)柏拉圖(3)流程圖、(4)魚骨圖、(5)直方圖、(6)散佈圖及(7)趨勢圖。於 1972 年日本科技聯盟的納谷嘉信教授，從眾多推行全面品質管理建立體系的手法中，研究歸納出一套有效的品管手法，此方法恰巧有七項，且有別於原有的「QC 七大手法」，又稱為「新 QC 七大手法」(納穀嘉信，1990)。新 QC 七大手法主要運用在生活及工作中當遇到問題時，需要透過問題分析與解決的程式加以處理，利用「QC 七大手法」與「新 QC 七大手法」兩個工具搭配使用，能讓我們迅速找到問題解決之道。新 QC 七大手法是將語言數據加以整理、組合，將混沌之問題整理成能夠解決的狀態，在具有計劃階段即能毫無遺漏的引導出創造、發想等特徵，因此可作為 TQM 推行時解決問題的新手法。此法主要運用於全面質量管理 PDCA 迴圈的 P (計劃) 階段，用系統科學的理論和技術方法，整理和分析數據資料，進行質量管理。常用的質量控制方法主要運用於生產過程質量的控制和預防，新的七種質量控制工具與其相互補充(納穀嘉信，2003)。

QC 七大手法早期在生產管理使用時，手法著重在整理問題數值資料取得後的管理手法。新 QC 七大手法著重在整理問題數值資料取得前的管理手

法；兩者都是品質管理手法，彼此並不相衝突。新舊 QC 七大手法比較整理如表 1 所示。接下來將新 QC 七大手法的用途與內容歸納，如表 2 所示(新 QC 七大手法研究會，2003)。

表 1 新舊 QC 七大手法之比較

	新 QC 七大手法	舊 QC 七大手法
形成	以語言為主、圖形為主是思維工具	以數據為主，是整理分析數據的工具
運用特點	預見性強，多用於 P 階段屬於思考型。圖形互法比較靈活，自由度大，難度大，表現比較複雜，一切從實際出發	鑑別性強，多用於調查分析問題，屬於判斷型，多用於 P、C 階段。圖形互法固定，表現清楚，一切從數據出發
應用範圍	主要用於管理決策	主要用於生產現場

表 2 新 QC 七大手法

用途 (當你想要.....)	使用手法	內容說明
釐清問題	親和圖法	當你處於渾沌不清的狀況，想要釐清問題，找出問題時使用。
	關連圖法	
展開方案	系統圖法	針對某一問題事件，尋找解決方法，展開對策步驟階段。
	矩陣圖法	
實施計劃	箭形圖法	將一步步針對問題事件，由大自小的處理手段排列出來，做成實施計畫圖，並具體實行。
	過程決策計畫圖法	
	矩陣數據分析法	

使用新 QC 七大手法有以下五項好處，分述如下：

- (1) 迅速掌握重點：即時掌握問題重心，不似無頭蒼蠅般地找不到重點。
- (2) 學習重視企劃：有效解析問題，透過手法的運用，尋求解決之道。
- (3) 重視解決過程：重視問題解決的過程，不只是要求成果。
- (4) 瞭解重點目標：擁有正確的方向，不會顧此失彼。
- (5) 全員系統導向：強化全員參與的重要性，進而產生參與感與認同感。

新 QC 七大手法，包括以下七項輔助圖來檢視與尋找問題發生的原因，

茲將此七個圖分述如下：



- (1) 親和圖法 (Affinity Diagram)

(A)大意：由繁入簡

(B)用途說明：是將處於混亂狀態中的語言文字資料，利用其間的內在相關關係加以歸類，找出解決問題的方法，針對一件大家想認清的事實做情況分析，親和圖法之圖例，此法針對某一問題廣泛收集資料，按照資料近似程度，內在聯繫進行分類整理，抓住事物的本質，找出結論性的解決辦法。這種方法是開拓思路、集中集體智慧的好辦法，尤其針對未來和未知的問題可以進行不受限制的預見、構思、對質量管理方針計劃的制定、新產品新工藝的開發決策和質量保證都有積極的意義，如圖

2 所示。

(C)適用於：討論未來問題，或未曾經驗過的問題，還不知道下一步的情況時。如用於認識事實、用於確立觀念、用於打破現狀、用於脫胎換骨及用於籌劃組織。

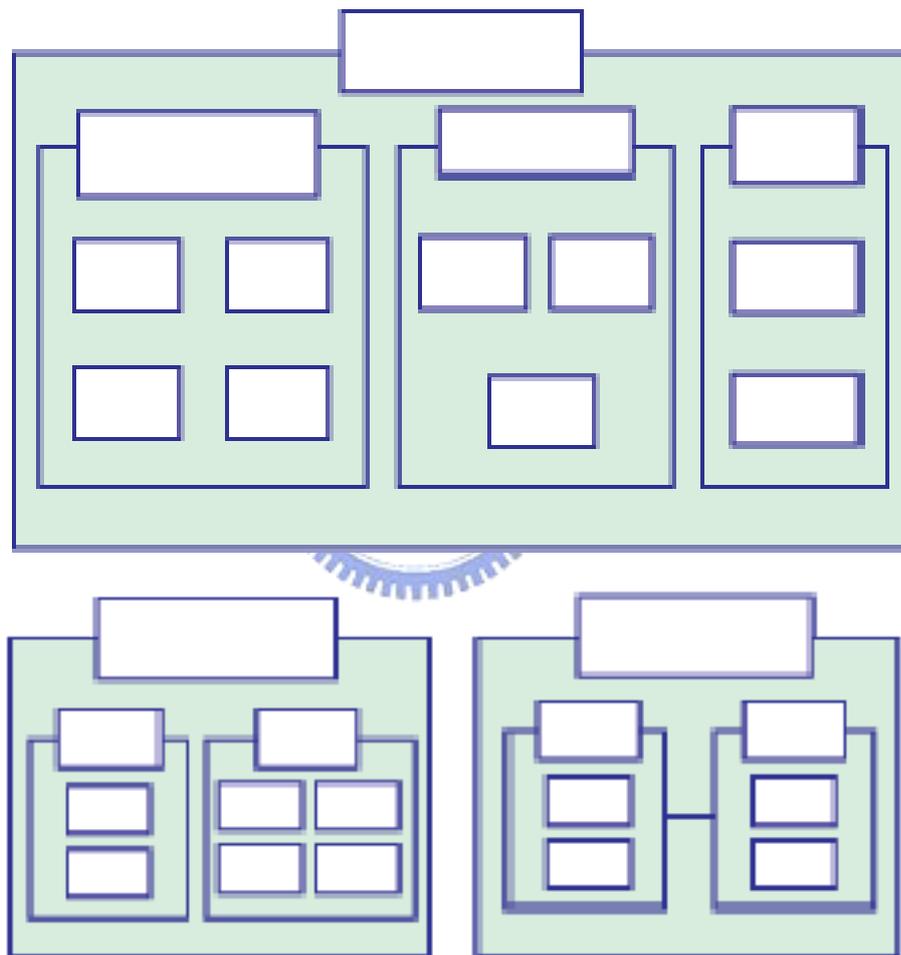


圖 2 親和圖法

(2) 關連圖法 (Mutual Relation Analysis)

(A)大意：顯明關係

(B)用途說明：以「原因—結果」不斷展開進行分析；類似 QC 中的「魚骨圖法」，是用圖示法將主要因素間的因果關係箭頭連接起來，確定終端因素，提出解決措施有效方法。基本形式是把問題和要因用「○或□」把短文、語言圈起來，並以箭頭符號表示共同因果關係。箭頭的方向總是從原因→結果、目的→手段應解決的問題用「◎或回」圈起來。如圖 3 所示。

(C)適用於：適用於：因素間有複雜的關係存在，想要知道會產生什麼樣的結果。

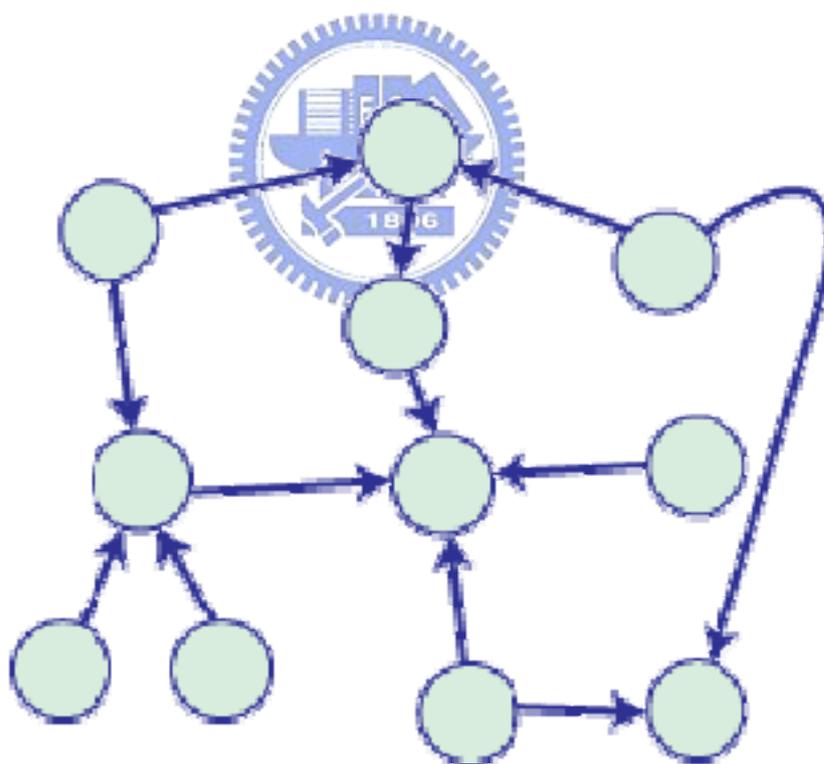


圖 3 關連圖法

(3) 系統圖法 (End-means)

(A)大意：層級清楚

(B)用途說明：以「目的」、「手段」不斷循環展開的進行分析，是尋求實現目前最佳手段的方法，如圖 4 所示。

(C)適用於：利用不斷問「為什麼」尋找彼此間的關係。

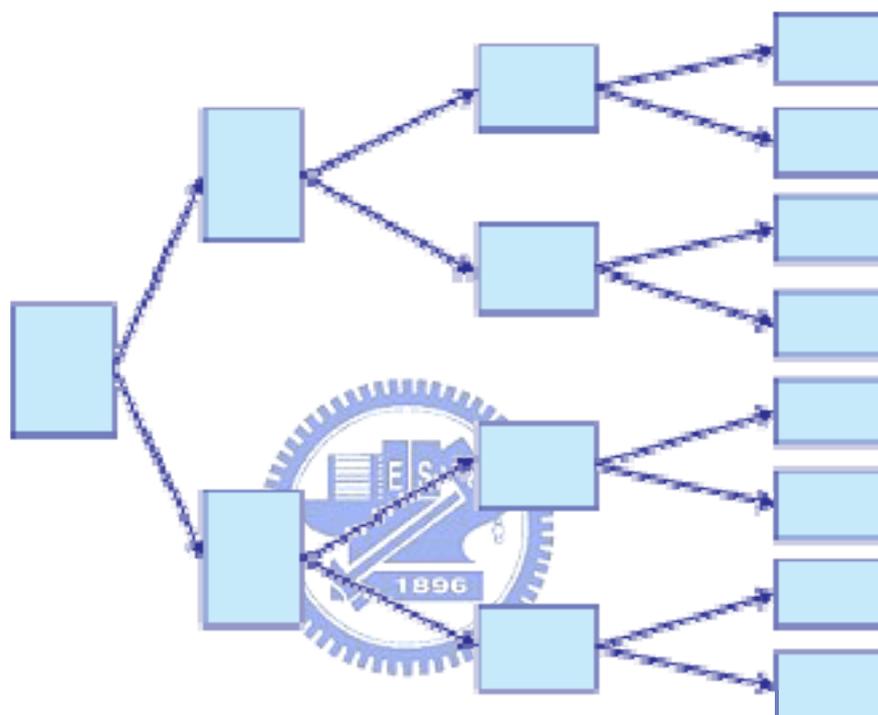


圖 4 系統圖法

(4) 矩陣圖法 (Matrix Diagram)

(A)大意：簡單易懂

(B)用途說明：多方面的思考：不只是一個問題，對一個答案的模式，而是一件事中，多個因素對多個因素的討論，從作為問題的事項中找出對應因素，排列成行和列的形式，然後找出其中的密切關係的關鍵，再尋找解決手段和方法，如圖 5 所示。

(C)適用於：兩種因素以上的問題事件中，尋找解決問題之適當對策。

	:	:	:	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:	:	:	:
XXXXX	:	:	:	:	:	:	:	:
XXXXX	■		□	*	▲		§	*
XXXXXX		⊙		□				□
XXX	△	■	§	□	§	*		●
XXXXX	▲		⊙	*			●	*
XXXXX			□			▲		
XXXXXX		■		⊙		□	§	⊙

圖 5 矩陣圖法

(5) 過程決策計畫圖法 (Process Decision Program Chart)

(A)大意：事先預備

(B)用途說明：為尋找最佳決策的手法，對事態進展過程可以設想各種可能的結果，是在籌學中的整體性原理，動態管理，時空有序化及控制反饋性原理。如圖 6 所示。

(C)適用於：想要預測系統上的結果時使用。

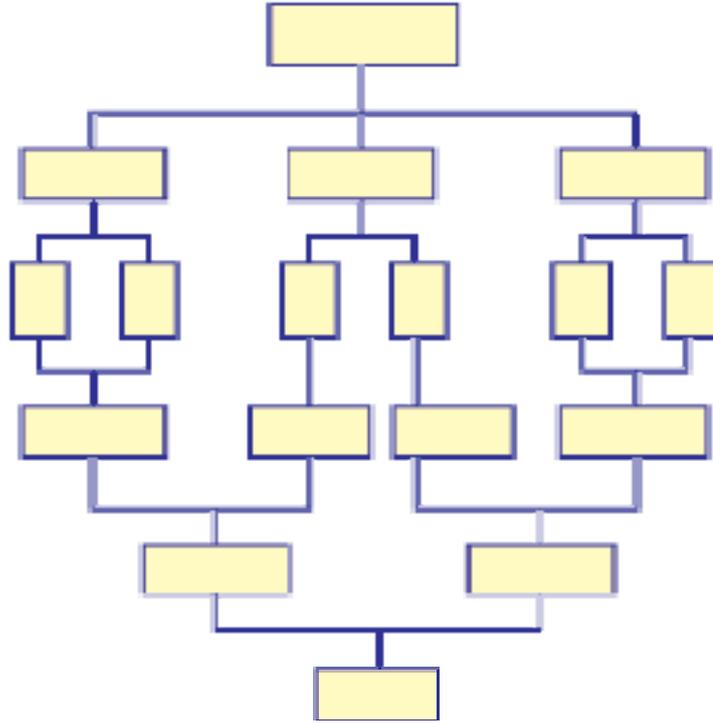


圖 6 過程決策計畫圖法



(6) 箭形圖法 (Arrow Diagram Method)

(A)大意：主導進度

(B)用途說明：由箭、線、基點、虛工序組成，箭頭表示具體活動過程，箭線的方向表示工序進行的方向，箭尾表示工序的開始，箭頭表示該工序結束。想要發現某一工作之進度的路線時，如圖 7 所示。

(C)適用於：需要如期完工或有時間限制的方案。

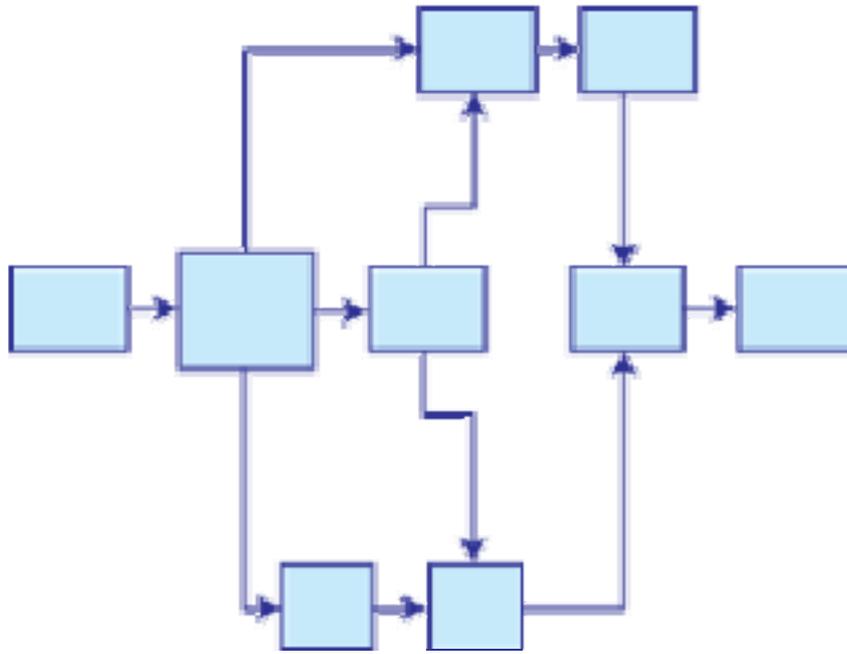


圖 7 箭形圖法

(7) 矩陣數據分析法 (Factor Analysis)

(A)大意：數據完整

(B)用途說明：根據多方面的數字資料及不同狀況，做品質評價整理，以兩個方向上把行和列分析，並用符號或數據在該欄內記入其關連程度圖法，如圖 8 所示。

(C)適用於：複雜多變且需要解析的方案。

XX \ --	A	B	C	D	E	F	G	統計
1	X							□
2			X				X	△
3	X		X					▲
4					X		X	△
5			X					▲
6		X		X				▲
7					X			■
8								▲
9	X	X				X	X	■
10								▲
統計	□	■	▲	□	▲	■	▲	□

圖 8 矩陣數據分析法

使用新 QC 七大手法的好處有以下五點：

- (1) 迅速掌握重點：即時掌握問題重心，不似無頭蒼蠅般地找不到重點。
- (2) 學習重視企劃：有效解析問題，透過手法的運用，尋求解決之道。
- (3) 重視解決過程：重視問題解決的過程，不只是要求成果。
- (4) 瞭解重點目標：擁有正確的方向，不會顧此失彼。
- (5) 全員系統導向：強化全員參與的重要性，進而產生參與感與認同感。

2.2 T² 管制圖

T² 管制圖是 Hotelling 於 1947 年所發展之多變量管制圖，為目前最普遍使用的多變量管制圖，可用來同時監控多個製程變數的問題，主要是透過管制數據離中心點(平均值)之距離，來做檢測，以下介紹有關 T² 管制圖的基本概念。

在圖 9 定義 A 是二維空間的一觀察值，B 是所有歷史資料的平均值，A 與 B 之間的距離 D 表示為： $D^2 = (X_1 - \bar{X}_1)^2 + (X_2 - \bar{X}_2)^2$ 當 A 樣本點離 B 樣本點越來越遠時， D^2 越來越大，當 D^2 大到一定程度時，則 A 樣本點是顯著的。這時忽略 A 與 B 之間的關係，利用 A 與 B 的共變異數(σ_{11} , σ_{12})或 A 與 B 的自我相關性來修正此方程式，得到一個卡方統計量，如：式 1 所示。

$$X_0^2 = \frac{1}{\sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}^2} [\sigma_{22}(X_1 - \mu_1)^2 - \sigma_{11}(X_2 - \mu_2)^2 - 2\sigma_{12}(X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2)] \quad (1)$$

此統計量是自由度為 2 的卡方分配，上式可說是多元管制圖的基礎，其意義即方程式所代表二次平面上橢圓形的軌跡，此方程式在管理義含上，表示橢圓的方程式，根據此方程式，若 $X_0^2 > X_{\alpha,2}^2$ ，則判定製程此時是超出管制界線之外。反之，若 $X_0^2 < X_{\alpha,2}^2$ ，則判定此時製程是控制在這個橢圓的管制圖中，決策者可利用樣本點是否在橢圓形外來判斷製程正常與否，故稱之橢圓管制圖。

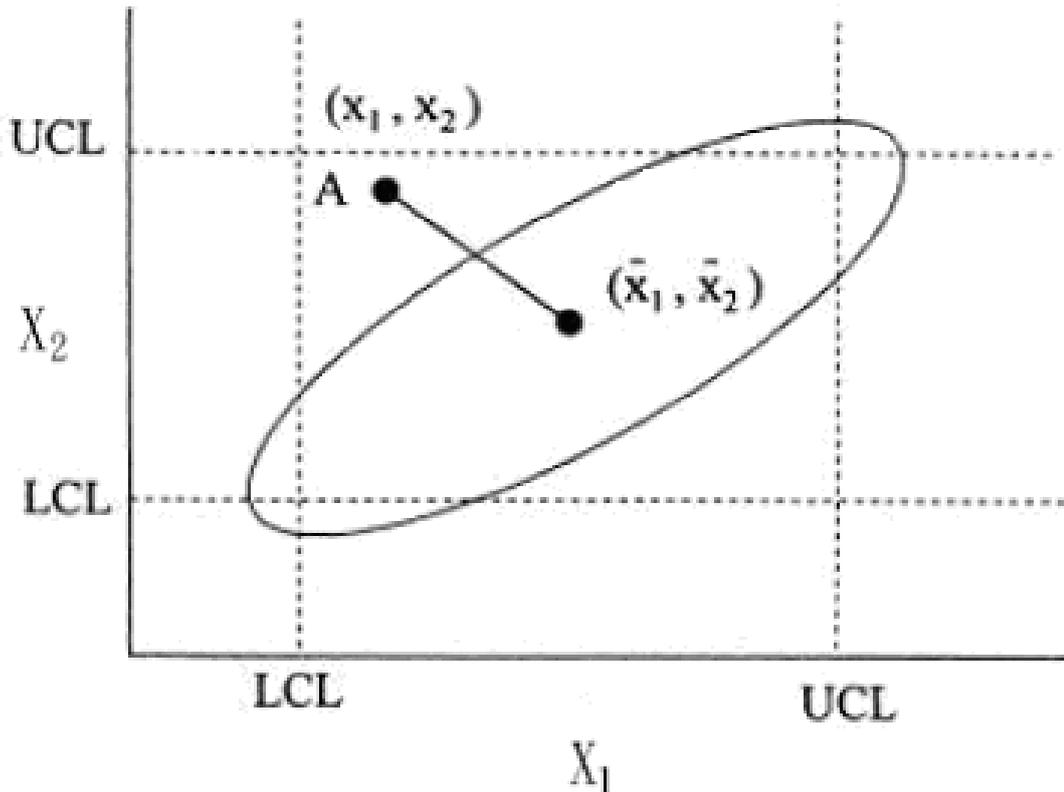


圖 9 T² 管制圖之橢圓管制區塊

以雙變量的橢圓管制圖作為基礎，Hotelling 拓展這個概念成為具有 p 個變數的 T^2 管制圖。若得到一個新的樣本點 $X_0 = [X_{01}, X_{02}, X_{03}, \dots, X_{0p}]$ ，則可用式 2 與式 3 計算出 T^2 統計量與管制圖的管制界線。

$$T^2 = (x_0 - \bar{x})' S^{-1} (x_0 - \bar{x}) \quad (2)$$

$$UCL = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p} \quad (3)$$

其中： $\bar{X} = [\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n]$ 為樣本平均數，

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1p} \\ & S_{22} & & \vdots \\ & & \ddots & \\ & & & S_{pp} \end{bmatrix} \text{ 為樣本共變異數矩陣，}$$

S^{-1} 是樣本共變異數矩陣的反矩陣，

$F_{\alpha, p, m-p}$ 是一個自由度為 p 及 $m-p$ ，且具單邊 α 值的 F 統計量，則判定此觀察值出現異常。

依據上述之數學式子， T^2 管制圖可表示如圖3所示。

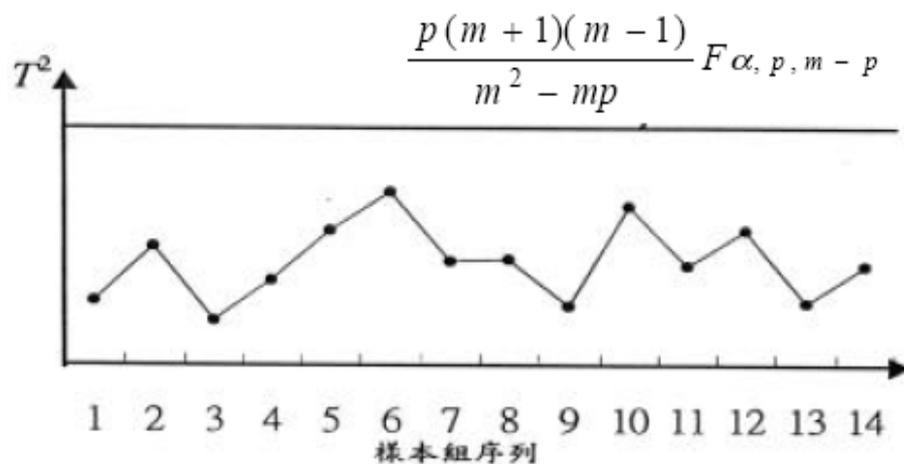


圖 10 T^2 管制圖

2.3 主成分分析法(Principle component analysis, PCA)

使用主成分分析的目的有五項：(1)可概述變數間的關係、(2)可將原來變數轉換成新的沒有相關的變數、(3)可用來簡化多變量資料的維度，即降低變數個數，但亦會喪失部分資訊、(4)可解決迴歸分析裡共線性問題、及

(5)可用來作一組變數的綜合指標。

主成分分析法最常被用來降低緯度(dimensionality)，當要觀察的變數很多時，主成分分析可以利用轉軸的方式，將原始的變數線性組合後產生新的變數，代替原先所要觀察的變數，如此可以幫助決策者減少所需觀察變數的數目(Bakshi, 1989)。因此，主成分分析法是著重於如何「轉換」原始變項使之成為一些互相獨立的線性/組合變數，而且經由線性組合而得的主成分仍保有原變數最多的資訊，其關鍵在「變異數」問題，利用求特徵值(Eigenvalue)及特徵向量(Eigenvector)，過濾出佔最大變異數的型態，此為最主要之型態。以二維為例，假設此兩變數之間為線性關係，設在平面有七點，其關係為 $X_2=2X_1$ ：



X_1	1	2	3	4	5	6	7
X_2	2	4	6	8	10	12	14

經旋轉座標後，此七點的新作標為：

Y_1	2.236	4.472	6.708	8.944	11.180	13.416	15.652
Y_2	0	0	0	0	0	0	0

由上可知，利用新變數 Y_1 即可完全表示其變異，此線性組合為：

$$Y_1=0.447X_1+0.894X_2$$

$$Y_2=0.894X_1-0.447X_2$$

本來需要 X_1 與 X_2 兩個變數來描述的資料，但經過轉軸後，只需用 Y_1 一個變數即可描述這些資料的變異，如圖4所示

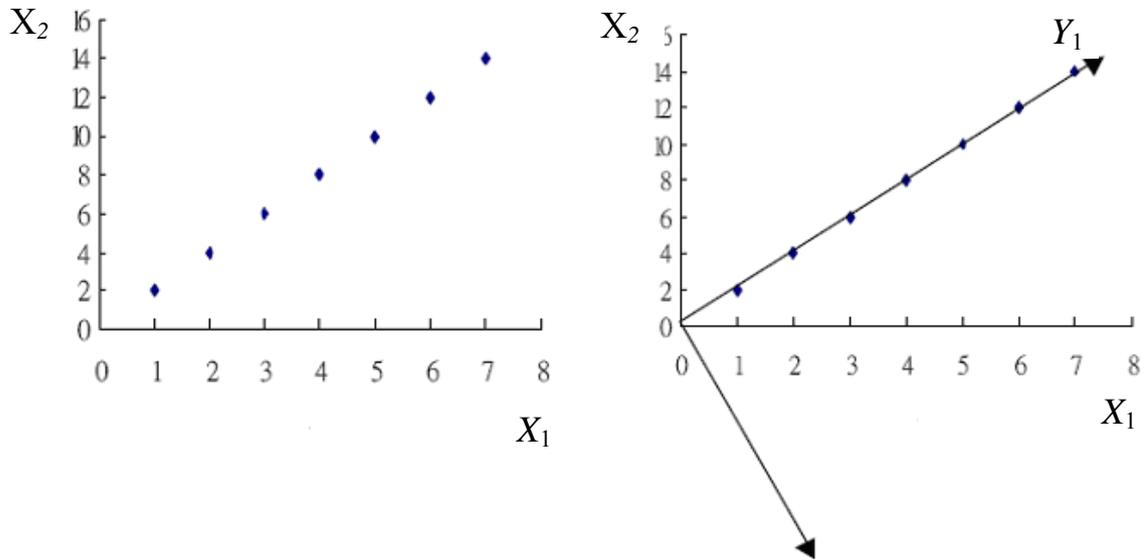


圖 11 主成份分析法轉軸概念

將兩個變數，推廣至 p 個變數時，主成份分析的步驟處理如下：(1)由歷史資料 (X) 求算出共變異數矩陣 S (covariance matrix)。(2)求算共變異數矩陣的 p 個特徵值(Eigenvalue)，並將特徵值依大小順序排列為分別 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ (即 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$)，及特徵值 λ_i 所對應的特徵向量(Eigenvector)為 e_i 。(3)利用 e_i 將第 i 觀察值 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$ 轉換成 $Y_i = (Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{ip})$ ，其轉換的計算式，如式4：

$$y_{ik} = e_k' X_i = e_{k1}X_{i1} + e_{k2}X_{i2} + \dots + e_{kp}X_{ip} \quad k=1,2, \dots, p \quad (4)$$

其中 $e_k' = [e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kp}]$ 為第 k 個特徵向量 $k=1,2, \dots, p$ 。當 $k=1$ 時表示為第一主成份是解釋變異最大的線性組合；當 $k=2$ 時表示為第二個主成份是解釋變異性第

二的線性組合，其餘依此類推。

主成分的重要性質如下：

(1) 第*i*個主成份變異數等於第*i*個特徵值，且各主成份之間的共變數為零表示如下：

$$\text{Var}(Y_i) = \lambda_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = 0 \quad i, k = 1, 2, \dots, p, i \neq k \quad (6)$$

(2) 原始變數的變異數和等於新變數的變異數和，即：

$$\text{tr}(S) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p$$

第*k*個變數所解釋的變異佔總變異的比例 = $\frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p}$

可找前*k*個主成份的新變數來代替原有的*p*個變數，當變數之間相關性高時，所需的*k*就愈小，其能解釋的變異佔總變異的比例也會相對的較高，如此便可以達到降低變數個數的目的。另外，每一個觀察值均可用主成份變數來表示，計算方式如下：

$$\begin{aligned} x_i &= (x'_i e_1) e_1 + (x'_i e_2) e_2 + \dots + (x'_i e_p) e_p \\ &= y_{i1} e_1 + y_{i2} e_2 + \dots + y_{ip} e_p \end{aligned}$$

當取前*k*個主成份，觀察值*x_i*的近似值，如式7

$$\tilde{x}_i = \sum_{j=1}^k y_{ij} e_j \quad (7)$$

Mardia, et al., 1979 and Jackson (1991)利用主成分變數可將 T^2 管制圖分解成下式：

$$\begin{aligned} T^2 &= (x - \bar{x})' S^{-1} (x - \bar{x}) \\ &= (x - \bar{x})' \left(\sum_{i=1}^p \lambda_i^{-1} e_i e_i' \right) (x - \bar{x}) \\ &= \sum_{i=1}^p \lambda_i^{-1} (x - \bar{x})' e_i (x - \bar{x}) e_i' \\ &= \sum_{i=1}^p \lambda_i^{-1} (y - \bar{y})' (y - \bar{y}) \\ &= \sum_{i=1}^p \frac{t_i^2}{\lambda_i} \end{aligned} \quad (6)$$

由式6 可看出 T^2 值是將每一個 t_i 平方後除上變異數加總後的結果。選出 $\frac{t_i^2}{\lambda_i}$ 較大的幾項；其中， $t_i = \sum_{j=1}^p e_{i,j}' (x_j - \bar{x}_j)$ ，再藉此找出哪些原始變數 x 對 t_i 有較大之貢獻。

2.4 SPC 管制圖

統計製程管制圖無法在製程呈現小偏移時很靈敏的偵測出來，使得管制圖在使用上，必需等到製程超出管制界線外，才會發出異常警訊，而尚失改善品質的機會。因此，Roberts(1959)提出EWMA管制圖，根據資料的先後次序給予不同權數，使得資料呈現指數遞減之狀態，當製程在呈現微小

偏移時，即可有效的偵測出來。

其形式如(7)式所示：

$$Z_t = \lambda \bar{X}_t + (1 - \lambda) Z_{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

其中， λ 表示權重因數，範圍介於0~1之間； \bar{X}_t 表示在時點 t 之分組群組之平均值。

假設 EWMA 管制圖的測量值 X_t 即為實際值 Y_t 以數學式表式為：

$$X_t = Y_t, \quad t = 1, 2, \dots, n$$

假設在製程穩定之狀態下，實際值 Y_t 之分配服從 $N(\mu_0, \sigma_0^2)$ ，並建立管制圖之樣本平均數 $\bar{X}_t \sim N(\mu_0, \frac{\sigma_0^2}{n})$ 。



Loon and Su (1999)使用EWMA管制圖來檢測製程產生微小偏移，並發出警報。在半導體產業，發展EWMA-based 控制器做回饋控制防止因批量生產而產生不穩定之品質特性(Butler and Stefani, 1994; Del Castillo and Hurwitz, 1997; Somerville and Montgomery, 1996-1997)。Alejandro et al., (2001) 應用蕭華特(Shewhart)及EWMA管制圖，來檢測半導體製程特定目標值的偏移。Reynolds and Stoumbos (2001)研究指出，用EWMA管制圖檢測微小偏移的效率較蕭華特管制圖為佳。Chen et al.,(2001)指出二維管制圖，通常用於同時監控制程的平均值與標準差，而作者提出將同時監控平均值與

標準差的兩個EWMA管制圖合併變成一個EWMA管制圖。透過一個EWMA管制圖可同時監控平均值與標準差之變化。

Kourti and MacGregor (1996)認為當有異常值發生時，則此點一定會脫離當初建立的主成份模式。因此，可藉由主成分的近似值與原始值之差，來評斷此新觀察值是否仍在歷史資料所建立的投影。

求法如下：

$$SPC_X = \sum_{j=1}^p (x_{new,j} - \hat{x}_{new,j}) \quad (8)$$

$\hat{x}_{new,j}$ 可由式8求得。當製程在管制界線內時，其 T_k^2 與 SPC_X 值非常小。



2.5 預測方法之研究

企業在做預測時，常用的傳統預測方法有以下幾種：主觀意見預測法 (Subjective opinion forecast)、時間序列分析法、移動平均法 (Moving - Average)、指數平滑法等。近幾年來發展出來的方法包括：灰色預測法與類神經網路等。以下就針對這些方法做一些文獻上的探討，並分述如下：

(1) 主觀意見預測法：

一般企業若資本額或銷售額為達一定規模之前，其預測模式多半使用「主觀意見預測法」，如獨資企業，或中小企業等，必須依照客戶意見，

或股東、企業主、企業領導者的看法，或個人對內外情勢的主觀評估，來對企業未來的銷售做預測。

當主事者為該產業專業人員時，或許預測模式不致偏離過大，反而可能因為人為的判斷，而考慮得到一些無法由單一理論或統計法計所得之變因，如政治情勢、國際局勢、天災、市場劇烈變動等對銷售市場所可能造成的影響。但過於主觀的預測方式，通常會造成企業過多的風險承擔，且無法針對問題有較佳的決策原因解釋，以及說服力。故如果以統計、類神經等預測方式算出來的預測值配合修正。不僅能以較客觀的角度來看待問題，也會使預測的值較為準確，確度也會較為穩定平均。

通常在缺乏或較少歷史資料的狀況下，使用定性分析來做預測，此類別包括：行銷研究、德菲法、市場調查及焦點團體座談法等。主要方式是經由整理收集來的資料或分析或觀察問題，討論問題的經濟面行為，如焦點團體座談法是一種質性研究方法，被認為是瞭解一般人的感覺、看法、意見與態度之最有效方法(Merton et al., 1990)。焦點團體座談法是一種侷限於少數主題且深入探討，並選擇具共同經驗，或類似背景者來參與團體討論。在開放輕鬆的討論空間，期望參與討論者，對某些研究主題的認知、態度與行為之研究方法(Margan, 1996)。於研究進行中，首先設計討論問題與討論指引，訓練討論會之主持人。然後由目標母群體中徵求參與者，討

論一般以8至12人，由具經驗之主持人依事先準備之討論指引，且在參與者不受主導下，對研究主題，自由表達意見，互相討論，並觸及問題之核心(吳淑瓊，民81；胡幼慧，民85；Krueger, 1995)。焦點團體座談法不但可蒐集到非常深入之資料，更重要的是，蒐集到參與討論者真正之看法，並以實況錄影、錄音或筆記方式記錄全程討論，以供分析之用。

主持人是攸關焦點團體座談成敗之關鍵靈魂人物，Stewart and Shamdasani (1990) 提出一位成功的主持人應具備之特質、技巧與角色，分述如下：

(一)特性方面：應具備友善、易處及隨和的個性，易於適應環境、對社會環境具備高度之警覺性、高度企圖心和成就導向、明確、合作、堅定、獨立、有影響他人的願望與支配力、精力旺盛、堅持、對壓力有高度的容忍、及勇於負責等。

(二)技巧方面：包括智慧、有統整概念的技巧、有創造力、人際圓融、口才流利、熟悉團體事務、有組織及行政能力、有說服力、有社會人際處理技巧及自信等。

(三)扮演之角色：

(1)清楚瞭解所要研究之目標，設計焦點團體進行之程式，並成功獲取有效之資料。

- (2) 在參與者與自己之間建立平等互動的關係，消除參與者的疑慮與不安。
- (3) 告知參與者參與座談之目的、目標、釐清問題，並說明座談內容機密程度之等級，及確保成員必須遵守保密原則。事先安排並隨時營造舒適安全的環境與氣氛，使參與者在無顧忌下暢所欲言。
- (4) 控制座談的進行，深入導引參與者陳述完整之經驗；隨時掌控座談方向，避免討論偏離主題，並鼓勵參與者能互動式的參與，而非少數權威式的闡述。
- (5) 掌控口語及非口語之訊息，運用團體動力技巧，引發參與者全面經驗及觀點互動。



焦點團體座談法之優點有：

- (一) 對質與量之研究，提供多元與多用途之方法。焦點團體法於研究中可單獨使用，亦可搭配其他研究方法使用；焦點團體法可做為先驅研究(pilot study)，亦可做為檢核或追蹤其他研究法之研究成果，也可搭配數量方法共同來檢驗經驗與實際之差異，具多元與多用途之特性，使用上非常有彈性。
- (二) 於訪談內容之設定上，具相當的結構性，且在討論中鼓勵團體成員，對目標主題做彈性的互動及觀點之延伸。其他如具備多元現實觀點之特

性，注重研究者與反應者間之多元互動，以描述特別情境中之發現。從多元觀點，對知覺、信念、態度與經驗引發較深入之瞭解，蒐集受訪者工作經驗之質化資料，並記錄其脈絡。

(三)能促進成員勇於表達，引發豐沛之反應。焦點團體法能於放鬆效應下，輕鬆的團體情境中，讓參與者覺得他們的意見與經驗受到重視，便較喜歡公開表達他們的意見和知覺，提供引發各種層次意見之機會。

(四)可在短時間內快速蒐集有意義之資料。

(2)時間序列分析法：



時間序列分析法理論源自1920年代Undy Yule教授，至1970年初由George E. P. Box 與 Gwilym M. Jenkins 兩位教授發展完成自我迴歸整合移動平均模式(Autoregressive Integrated - Moving Average Models)，簡稱ARIMA模式。時間序列分析是一個「根據過去，預測未來」的統計方法，它在商業、貿易、政府及學術研究等領域中廣泛地被運用著。時間序列的方式主要是以「固定時間間隔」做為時間軸的計算模式，時常可見到短期預測使用此模式。依據某變量過去曾發生的資料及過去曾發生的誤差為基礎往前推算，預測尚未發生的變量。

(3) 指數平滑法：

移動平均法是利用平均的方式，對時間序列分析法中某些較大的變數使其平滑，因為資料中差異較大的值在組成一平均數時就會彼此相互抵消一些。移動平均值就是一平均值一直反覆的被修正，當新的觀察值變得可行，數列中的舊值就被刪除，因此保持平均值為最新的。其他還有加權移動平均法（Weighted Moving Average）、指數平滑法（Exponential Smoothing）等均屬為此類作法。移動平均法只適合沒有明顯的長期成長趨勢與季節變動性小的資料模式。同屬時間序列(Time Series)數學方法，但較為複雜的還有 Box-Jenkins 法、自迴歸移動平均模式(Autoregressive Moving-Average Model;ARMA)、雙指數平滑分析法(Double - Exponential Smoothing Method)等。



簡易移動平均法是將期數 T 內所有的觀察值加總後再除以期數。亦即算出最近某一期間的時間數列平均值，並把該平均值視為即將來臨的期間之預測值 X_{t+1} 。二次移動平均法是將簡易移動平均法所得的值再做第二次的移動平均運算。加權平均法是期數內的每一個觀察值，給與不同的權數 α （權數總合為1），最後再求其總合。由於有選擇權數的考慮，它可達到反應出變化的功能。

以指數平滑法及自我迴歸移動平均整合模式做為預測，以MAPE對預測樣本進行精確性評估直到滿意為止。黃庭鍾(民91)以我國主機板製造業廠商

為例討論企業因應長鞭效應之存貨政策研究，為利用指數平滑法為下期加訂修正策略對中游製造商影響。王富恩(民91)，針對不同需求型態對長鞭效應的探討以四種時間序列需求型態及二種預測方法，分別推導零售商及配銷商之訂單變異度，並分析其關鍵因數。王瓊敏(民88)以灰色預測、時間數列、類神經網路等方法建構的價格預測模式，並評估分析各方法之優缺點以及準確度，以供筆記型電腦廠商選擇預測關鍵零組件價格方法之參考。

(4) 灰色預測：

灰色理論之「灰色」，乃結合「黑色」與「白色」而成。「黑色」表示對資訊完全不瞭解；「白色」則為資訊完全；所謂「灰色」則為資訊不完全，即「部分清楚」及「部分不清楚」之資訊貧乏狀態下去，去挖掘系統本身之特性及結構，並適時補充資訊，使系統由灰色狀態轉為白色狀態，發展而成之理論。

在現實的世界中，存在著許多的系統，任何一個系統又隱含著若干個子系統，且同時又被若干子系統所包圍。由於系統的複雜與多層次子系統的集合，若想對一個系統做全面的瞭解，往往會因所得之資訊不完全或不確定，而無法一窺全貌。當面對一個無法具體描述的系統時，稱之為「灰色系統」。Deng(1982)於提出灰色系統理論，主要是在研究系統模型之不確

定性、資訊不完全及運行狀況不清楚下，做系統的關聯分析、模型建立、預測及決策。此理論對事務的「不確定性」、「多變量性輸入」及「離散的數據」能做有效的處理(Deng, 1989；鄧聚龍與郭洪，民 86)。鄧聚龍(民 89)整理灰色理論、機率及模糊理論之特點及適用時機，如表 3 所示。

表 3 灰色理論、機率及模糊理論之區別

	灰色理論	機率論	模糊集
內涵	小樣本不確定	大樣本不確定	認知不確定
基礎	灰朦朧集	康托集	模糊集
依據	信息覆蓋	機率分佈	隸屬函數
手段	生成	統計	邊界取值
特點	少數據	多數據	經驗(數據)
要求	允許任意分佈	要求典型分佈	函數
目標	現實規律	歷史統計規律	認知表達
思維模式	多角度	重複再現	外延量化
信息準則	最少信息	無限信息	經驗信息

資料來源：鄧聚龍，民 89

灰色系統理論將一切隨機變量看成是一定範圍內變化之灰色量，及與時間相關之灰過程。對灰色量之處理並非藉尋找統計規律的方法達成，而是將雜亂無章之原始數據經過處理後，來尋找數的內在規律性，經由處理過後之數列轉化為微分方程，建立灰色模型，之後再以此進行預測，即稱為「灰色預測」。鄧聚龍(民 89)整理灰色預測及幾個傳統常用的預測方法，並比較所需數據、數據型態、數據間隔、準備時間及數學需求等，如表 4 所示。

表 4 灰色預測與傳統預測方法之比較

預測模型	所需數據	數據型態	數據間隔	準備時間	數學需求
灰色預測	4 個	等間距及等間距	短、中或長間隔	短	基本
簡單指數型	5~10 個	等間距	短間隔	短	基本
Holt's 指數型	10~15 個	同趨勢	短或中間隔	短	稍高
Winter's 指數型	至少 5 個以上	同趨勢且具規律性	短或中間隔	短	中等
迴歸分析	10~20 個以上	同趨勢且具規律性	短或中間隔	短	中等
Causal 迴歸法	10 個以上	同型態相互配合	短、中或長間隔	長	高
時間序壓縮法	2 個峰值以上	同趨勢且具規律性	短或中間隔	短(稍常)	基本
Box Jenkins 法	50 個以上	等間距	短、中或長間隔	長	高

資料來源：鄧聚龍，民 89



吳漢雄等(民 85)提出灰色預測具有以下優點：(1)灰色預測需要少數數據。只需根據實際狀況，選擇適當數量的數據即可，而不須大量的歷史數據，甚至只用四個數據就可建模，進行預測，還能得到精確的結果。(2)一般情況下，灰色預測不須太多關聯因素。因此，簡化資料蒐集之工作。(3)灰色預測既可用於短期，也可用於中長期預測。(4)灰色預測精準度高。在相同之少量數據下，比其他法的模型預測誤差還小。

灰生成即為補充資訊之數據處理，是一種就數找數的規律方法，在一些雜亂無章的數據中，設法將其被掩蓋的規律及特徵浮現出來，降低數據中的隨機性，並提升其規律性，此一過程稱為白化過程。江金山等(民國 87 年)整理灰色理論中常用的生成有兩種。一是整體生成又分為累加生成及逆累加生成兩種；另一為局部生成，主要的作用是在非等間距之下，或序列在剔除不當的數據時所出現的空穴 $\phi(k)$ 時，做填補空穴 $\phi(k)$ 數據之用。又可分為差值生成及均值生成兩種。將生成方法分述如下：

(1)累加生成(AGO)：將數據依次累加。

(2)逆累加生成(IAGO)：將序列之數據前後相減，所得之數據。目的是驗證建模後之精確度。

(3)插值生成：這是在序列的空穴 $\phi(k)$ 兩端利用(9)式，取其中間值將空穴 $\phi(k)$ 補齊，主要用於最少數據的原理。

$$\phi(k) = \alpha x(k-1) + (1-\alpha)x(k+1) \quad (9)$$

其中 $\phi(k)$ 為生成數； α 為生成係數， $\alpha \in [0, 1]$ ； $x(k-1)$ 為前鄰值； $x(k+1)$ 為後鄰值。

(4) 均值生成：將(9)式中的 α 取 0.5，即為均值生成。

當數據生成後，即可建立一組灰差分方程與灰微分方程之模式，稱為灰建模。建模方式，一般可以分成 GM(1, 1)、GM(1, N)與 GM(0, N)，將這三種建模之意義分述如下：

(1) GM(1, 1)：表示一階微分，一個輸入變數，一般做預測之用。

(2) GM(1, N)：表示一階微分，N 個輸入變數，一般做多維關聯分析之用。

以 GM(1, 1)模型為基礎，對現有數據進行預測的方法，實際上是找出某一數列中間各個元素的未來動態狀況。

(3) GM(0, N)：表示零階微分，N 個輸入變數，一般做多維關聯分析之用。

灰色預測在人力資源應用方面，洪欽銘與李龍鑣(民 85)，將少量的歷史資料來推估台灣地區高職教師，在未來幾年所需之人數；陳弘旭(民 86)預測未來營造業的就業人口數；梁賢達、劉仁昌(民 87)預測臺北市高職畢業生未來之發展趨勢。

在需求量變化方面，謝坤民(民 86)以台為地區人口數，推估為來台灣人口未來人壽保險投保率；許巧鶯與溫裕弘(民 87)以航空公司客運網路為對象，建構航線運量預測、航空網路型態設計、航線班機頻次規劃與機型指派模式；黃泰林等(民 87)建構兩岸海運需求量之預估模式；林進財等(民 89)以海上航行人員為對象，預測未來航行的船舶數目，及海上航行的人員需求量；許哲強等(民 89)運用灰色預測模型及修正灰色殘差模型，來預測台灣地區之區域用電需求量。



第三章 建模步驟

由第二章的文獻回顧，我們已經對 T^2 及 PCA 管制圖的使用方法有了認識，本章分為兩部份，第一部分為抽樣管制計畫，首先透過 T^2 管制圖進行抽樣，再檢定樣本是否合乎建模要件，再用 PCA 管制圖進行多變量因素之萃取及模式檢定，檢定資料建模是否合適。第二部分則是電腦系統模擬，首先，透過線上擷取的資料，將資料分成訓練組與測試組資料，先用訓練組資料來建立系統評估模型，進行離線品質管制，檢定廠區電力品質異常狀況，並分析造成異常之原因。模式確立後，再以所建構之模型，來進行線上模式測試，若模式無法精準預測，則模型必須重新訓練，直到模型可以被檢驗為止。整個電力品質異常管理與評估之建模過程，如圖 12 所示。



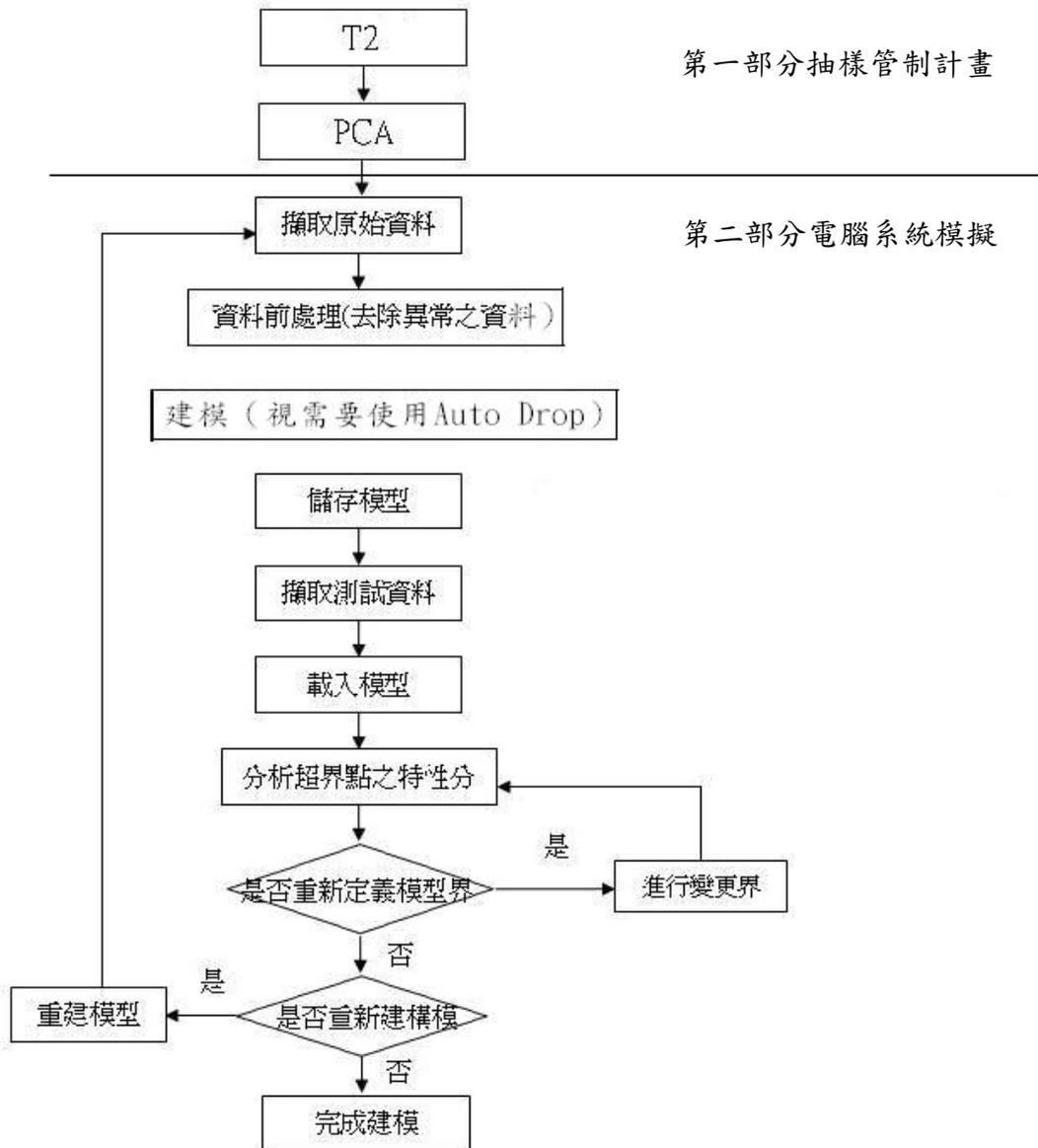


圖 12 建模步驟

3.1 多變量管制圖推導過程

本研究採用 T^2 管制圖與主成份分析法作為監控電力品質異常之研究方法，分別在以下兩小節介紹此兩個研究方法之推導過程。

3.1.1 主成份分析法推導過程

本節中將對主成份分析原理由矩陣運算的代數觀點做一些介紹，主成份分析是一個於資料壓縮和資訊萃取方面常被運用的方法，藉由分析代表變數間相關性的互變異矩陣，找到一組由原始變數經過線性組合而成的新變數，稱為主成份變數，且滿足以下性質：

(性質 3.1) 每一主成份為原來變數的線性組合。

(性質 3.2) 第一主成份必須能解釋最大的資料變異量。

(性質 3.3) 第二主成份必須能解釋扣除第一主成份後所剩餘的最大資料變異量。

(性質 3.4) 第 K 個主成份則解釋扣除前 $K-1$ 個主成份後所剩餘的最大資料變異量。

(性質 3.5) 此 K 個主成份間是不相關的。

由以上性質可以看出，主成份座標中各座標軸互相正交，並且此主成份座標軸為唯一，也就是說在相同難度的空間中，再也找不到比此主成份座標軸可以解釋更多資料變異量的另一組正交座標軸。

假設有一個 $N \times M$ 階原始資料矩陣

$$X = [x_1 x_2 \cdots x_m \cdots x_M] \quad (9)$$

$$= \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nM} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix}$$

$$= \{x_{nm}\} \quad n = 1 \sim N, m = 1 \sim M$$

其中 m 代表變數個數， n 則代表資料點個數， x_m 、 μ_m 、 σ_m^2 分別代表第 m 個變數的行向量、平均數及變異量。

$$x_m = [x_{1m} x_{2m} \cdots x_{nm} \cdots x_{Nm}]^T \quad (10)$$

$$\mu_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{nm} \quad (11)$$

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_{nm} - \mu_m)^2 \quad (12)$$

在進行主成份分析計算之前，首先須將資料矩陣平均置中 (mean-centered)，亦即將矩陣中各元素減去各變數的平均數，使得矩陣中各行向量平均數為零，則可得到

$$\check{X} = [\check{x}_1 \check{x}_2 \cdots \check{x}_m \cdots \check{x}_M] \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{nM} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{N1} & \tilde{x}_{N2} & \cdots & \tilde{x}_{NM} \end{bmatrix} \\
&= \{\tilde{x}_{nm}\} \quad n=1 \sim N, m=1 \sim M
\end{aligned}$$

其中

$$\tilde{x}_{nm} = x_{nm} - \mu_m \quad (14)$$

則經過置中之後的變數平均數均為零

$$\tilde{\mu}_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{x}_{nm} = 0 \quad (15)$$

其互變異矩陣(covariance matrix)可以計算如下：

$$S = \text{cov}(\tilde{X}) = \frac{\tilde{X}^T \tilde{X}}{N-1} \quad (16)$$

$$= \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1j} & \cdots & S_{1M} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2j} & \cdots & S_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{i1} & S_{i2} & \cdots & S_{ij} & \cdots & S_{iM} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{M1} & S_{M2} & \cdots & S_{Mj} & \cdots & S_{MM} \end{bmatrix}$$

其中

$$S_{ij} = \frac{\tilde{X}_i^T \tilde{X}_j}{N-1} \quad i=1 \sim M, j=1 \sim M \quad (17)$$

此互變異矩陣為一對稱矩陣，其中對角線上各元素($i=j$)代表了各原始變數的變異數值，而非對角線上的元素($i \neq j$)則為其所在行、列代素的變數間的共變異數(co-variance)。各變數的變異數值顯示出資料點在各變數軸上散佈的寬度，而共變異數則顯示了變數間分佈相關性的多寡。所以藉由計

算此互變異矩陣之特徵值及特徵向量，便可以瞭解資料的分佈情況。

對於一個 $M \times M$ 階的互變異矩陣，其特徵方程式為

$$|S - \lambda II| = \begin{vmatrix} S_{11} - \lambda & S_{12} & \cdots & S_{1j} & \cdots & S_{1M} \\ S_{21} & S_{22} - \lambda & \cdots & S_{2j} & \cdots & S_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{i1} & S_{i2} & \cdots & S_{ij} - \lambda & \cdots & S_{iM} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{M1} & S_{M2} & \cdots & S_{Mj} & \cdots & S_{MM} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

解此 M 次方程式可以得到 M 個特徵值

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_n \geq \cdots \geq \lambda_M$$

相對於第 m 個特徵值的特徵向量 P_m 可以由下式求得

$$|S - \lambda_m II| P_m = 0 \quad (18)$$

則原始的資料點可以由下式轉換到由主成份軸所組成的新座標中

$$\tilde{X} = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T \cdots + t_m p_m^T + \cdots + t_M p_M^T \quad (19)$$

$$= [t_1 \cdots t_m \cdots t_M] \begin{bmatrix} p_1^T \\ \vdots \\ p_m^T \\ \vdots \\ p_M^T \end{bmatrix}$$

$$= TP^T$$

而經由以上計算所得的第 m 個特徵向量即為由原始變數組成第 m 個主成份變數的係數，而所對應的第 m 個特徵值則為其變異數。

一般來說，在所計算出的 M 個特徵值中，可以由設定某個界限的方式選取前 K 個特徵值為重要的特徵值，足以代表所有的資料變異量，即

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_K \geq \lambda_{K+1} \geq \dots \geq \lambda_M$$

其中 λ_{K+1} 以後各特徵值可被忽略，則主成份分析將資料矩陣分解為

$$\begin{aligned} \tilde{X} &= t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + \dots + t_k p_k^T + \dots + t_k p_k^T + E \\ &= TP^T + E \end{aligned} \quad (20)$$

其中，主成份值矩陣(score matrix)

$$T = [t_1 t_2 \dots t_k \dots t_k] \quad (21)$$

$$t_k = [t_{1k} t_{2k} \dots t_{nk} \dots t_{Nk}]^T$$

主成份係數矩陣(loading matrix)

$$P = [p_1 p_2 \dots p_k \dots p_k] \quad (22)$$

$$p_k = [p_{1k} p_{2k} \dots p_{mk} \dots p_{Mk}]^T$$

殘值矩陣(residual matrix)

$$E = [e_1 e_2 \dots e_m \dots e_M] \quad (23)$$

$$e_m = [e_{1m} e_{2m} \dots p_{nm} \dots t_{Nm}]^T$$

在以上分解中， $K \leq \min\{M, N\}$ ，由此可知由主成份分析所產生的新變數所展開的空間將小於或等於原始變數所展開的空間，且通常 K 會遠小於 $\min\{M, N\}$ 。

透過利用原始資料所計算出來的主成份係數矩陣，主成份分析建立了一個成份模型，可以用來描述原始變數間的關係，而由分析新的量測資料是否符合此模型的預測值，則可以用來瞭解變數間的關係是否與原始資料中

所顯示的有所不同。由式(23)，定義主成份模型估計值為

$$\tilde{X} = TP^T = \tilde{X} - E \quad (24)$$

而其中新資料點的主成份值即為新資料點在主成份座標軸上的投影座標值

$$T = \tilde{X}P \quad (25)$$

則式(23)變為

$$\tilde{X} = \tilde{X} + E \quad (26)$$

由此式可以看出，包含於原始資料中的資訊被分成了可以由主成份模型描述以及不能由主成份模型描述的兩個部份。

計算主成份值的互變異矩陣

$$\Lambda = \text{cov}(T)$$

$$= E(T^T T)$$

$$= P^T \tilde{X}^T \tilde{X} P$$

$$= P^T S P$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & \vdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_k & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & \lambda_k \end{bmatrix} \quad (27)$$

其中

$$\lambda_k = \frac{t_k^T t_k}{N-1} \quad k=1 \sim K \quad (28)$$

由式(28)可以看出，主成份分析所作的就是將原始資料矩陣的互變異矩陣轉換成為一個對角矩陣，又因為互變異矩陣中非主對角線上的元素所代表的意義為變數間的相關性，所以經過這樣的轉換之後，原始變數間的相關性就完全被分離開來，主成份分析就是利用這樣的原理來找出多變數系統中互不相關的新變數，以達到降低維度、簡化問題的目的。

本研究將以檢測電力品質做為研究目標，利用討論過的研究方法，做為改善電力的預測品質的方法，運用主成份分析法可簡化多變量資料的變數個數：(1)解釋的變異比例：若只取最大的 q 個主成分代替原有的 p 個變數，則這 q 個主成分解釋的變異比例為

$$R^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_q}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_q + \dots + \lambda_p} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_q}{p}$$

一般以能解釋原有變數變異達 70% 以上為原則。(2)陡坡圖(Scree plot)：由特徵值對特徵值的總和 (即特徵值的個數) 劃散佈圖，找到開始平坦的點，即為所求個數。(3)亦有其他多種統計上正式分析，但並無標準制式規定的分析統計量。

3.1.2 T^2 管制圖推導過程

T^2 值的含意為代表原始資料點的 M 維向量投影在由主成份向量所包含的 K 維向量長度的平方，也就是所觀測的資料點平均數的總偏離量中，可

以由主成份模型解釋的部份，其計算公式如下：

$$T^2 = \sum_{k=1}^K \frac{t_k^T t_k}{S_k^2} \quad (29)$$

式中主成份向量長度平方除以其變異數，將各主成份方向上的主成份值分佈的變異數調整成一，如此便可以避免資料本身單位和數值大小的影響。

Hotelling 由 Student t 分佈導出 T^2 的值大於、等於零，所以 T^2 管制圖只有一個管制界限，可以由查表得到，但是由於 T^2 表並不是很普遍，所以也可以由較常見的 F 分佈值換算求得， T^2 分佈與 F 分佈的換算公式如下：

$$T_{K,M,a}^2 = \frac{K(M-1)}{M-K} F_{K,M-K,a} \quad (30)$$

其中

K：保留在主成份模型中的主成份個數

M：用來建構主成份分析模型的資料點個數

a：I 型錯誤機率

在 T^2 管制圖中，若是觀測點的值超出上限，代表在 a 的 I 型錯誤機率下可以判斷為程式異常情況發生，且其來源為主成份模型範圍內的偏離。

3.2 抽樣管制計畫

在本節所用之多變量抽樣管制計畫包括：(1) T^2 管制圖及(2) 主成份分析法管制圖。進行流程分述如下：

3.2.1 T^2 管制圖

T^2 管制圖可以同時監控多個彼此之間有相關的變數，即使每個品質特性的蕭華特(Shewhart)管制圖都在管制界線之中，也不能確保多個變數結合而成的 T^2 統計量不會超出管制界線。因此，在繪製 T^2 管制圖之前，先依據機台之電力品質參數的資料，個別繪製出用以監控個別單一變數的蕭華特(Shewhart)管制圖。

在比較單變量與多變量的抽樣分析結果後，若在監控多個品質特性時，單變量的蕭華特(Shewhart)管制圖並沒有任何的異常情形，但在 T^2 管制圖的監控表現中卻發生超出管制界線的警訊時，則表示在多變量製程中，若沒有考慮到變數之間的相關性，而僅只以單變量角度的蕭華特(Shewhart)管制圖進行監控，則容易發生製程已發生了偏移。因此，在做 T^2 管制圖應分成兩個階段，分述如下：第一階段為建立管制圖，在此階段先從歷史資料中建構出一個初步的管制圖，經由不斷的測試及修正，最後做出製程在管制狀態下的管制圖。第二個階段是建構好的管制圖，實際監控電力品質。在監控電力品質狀況後，根據實際的資料進行管制圖的製作。判斷第二階

段製程是否存在管制狀態下的公式(2)及公式(3)所示。

3.2.2 主成份分析法管制圖

T^2 管制圖是工業界應用最廣的多變量管制圖，然而當監控變數有數十個甚至上百個時， T^2 指標之共變異數矩陣(covariance matrix)過於龐大，常會導致計算速度變慢。另外， T^2 管制圖雖適用於多變量製程的監控，但當 T^2 統計量顯著而超出管制界線時，卻無法辨識是由哪些變數所造成。為彌補此一缺陷，本文再用主成份分析法來診斷多變量管制圖，以求管制的電力品質之評估模式之精準性。

由公式(4)可將主成份分析法「轉換」原始變項使之成為一些互相獨立的線性組合變數，經由線性組合而得的主成分仍保有原變數最多的資訊，再由公式(5)與(6)找出其關鍵在「變異數」問題，利用求特徵值 eigenvalue 及特徵向量 eigenvector 之方法，過濾出佔最大變異數的型態，此即為最主要之型態。

3.3 電腦系統模擬流程

在電腦系統模擬部分，本文開發先進製程管制平臺(Advance Process Control Suite, APCSuite)，本系統可以整合統計製程管制、監測點資訊、趨勢圖、一般圖表等功能，提供工廠管理者各種進階應用之製程、工安，以執行歷史數據分析與製程預測模擬等。如歷史警報資料擷取分析及及時資料趨勢圖形之建立，提供業者完整的異常診斷平臺，幫助系統工程師早期偵測異常狀態，達到現場安全及設備監控之功能。電腦模擬進行步驟如下：

步驟一：擷取原始資料

資料來源由監控設備擷取資料，擷取變數包括：BUSBAR, TR1, TR2, TR3, FAB1 之 VA, VB 與 VC 電壓值等，共 15 個變數。



步驟二：資料前處理

在建模前，須將無數據時間點剔除，然後再系統進行建模。

步驟三：進行 T^2 建模與分析

在此步驟，透過 APCSuite 系統提供線上警報效能評估(Alarm Performance Assessment, APA)分析，提供人員線上資訊交換中心，對於異常警報點的數值異常監控，並發佈異常警報，可對異常做及時的處理，有助於廠區安全、資料管理、紀錄及查詢提供有用的資訊，協助工程師與操

作員更加瞭解電力品質的特性 提供統計製程管制工具(SPC)，針對製程操作變數對產品的品質變數（或生產安全變數）進行預測性監控。

步驟四：進行主成分分析法之建模分析

由步驟三建模分析所得之結論，進行主成分分析法之建模分析，可以讓工程師瞭解，從 15 個量測與監控電力品質異常變數，造成電力系統品質異常之主要原因，工程師可藉此找出造成電力品質異常的變數，進而建立預警措施，降低工程師線上判斷不準確性的負擔，以增加工作效率。



第四章 個案研究與分析

4.1 個案說明

本案例為某竹科半導體廠，由於廠方廠務負責人員需要瞭解廠房內所有相關電力系統設備不正常電力供應與可能設備劣化問題，造成電力故障與電壓不穩定。同時根據廠方表示，由於這種不正常的電力供應品質，將會影響製程中的良率，造成在生產管理中，重大的經濟損失。因此，在廠區提供內部 15 個重要電力設備供應點，提供廠區電力品質異常管理與評估。並藉由本研究運用 T^2 、SPC 及主成分分析法來開發 APCSuite 之先進製程管制平臺系統進行電力品質評估管理，本研究所開發之系統可以整合統計製程管制、監測點資訊、趨勢圖、一般圖表等功能，提供工廠管理者各種進階應用之製程、工安，以執行歷史數據分析與製程預測模擬等。如歷史警報資料擷取分析及及時資料趨勢圖形之建立，提供業者完整的異常診斷平臺，幫助系統工程師早期偵測異常狀態，達到現場安全及設備監控之功能。而用來電力系統品質供應管理評估的方法，本文應用統計製程管制法之多變量管制圖包括： T^2 管制圖及主成分分析法，用來有效進行監測。

4.2 電腦模擬分析與系統建模程式

在進行半導體設備之電力品質異常與診斷之前，首先要先確認所開發之 APCSuite 監控系統之建模是否準確。因此，提出兩階段之資料建模與驗證分析，以期 APCSuite 監控系統能做出精準的預警，降低現場工程師之誤判情形，減少工程師之工作負荷，進而降低半導體設備因供電系統品質異常而造成當機率。

兩階段建模分述如下：第一階段為從半導體機台現場，蒐集資料，作為訓練組資料，然後再以 T^2 管制圖來檢定供電品質異常之狀況及確認發出警報是否為異常，若確實發生異常，則建立異常分析原因，再由線上工程師確認，發生異常原因，如為供電品質異常，則建入異常警報資料庫，作為異常警報發佈時之比對參考。緊接者再以主成份分析法來從 15 個變數中計算分離出，造成電力品質異常的變數，這些經過縮減後變數可簡化多變量管制圖，提供工程師或決策者作為當電力異常之判斷。第二階段為線上測試，將第一階段所得之結果，直接以 T^2 與主成分分析法所立之模型進行線上監控電力品質，並驗證所建立之模型之有效性及精準性。整體半導體設備之電力品質之異常分析、監控之操作步驟，如圖 13 所示。希望藉由本由就所運用之 T^2 、SPC 及主成分分析法來開發 APCSuite 之先進製程管制平臺系統進行電力品質評估與預測管理。

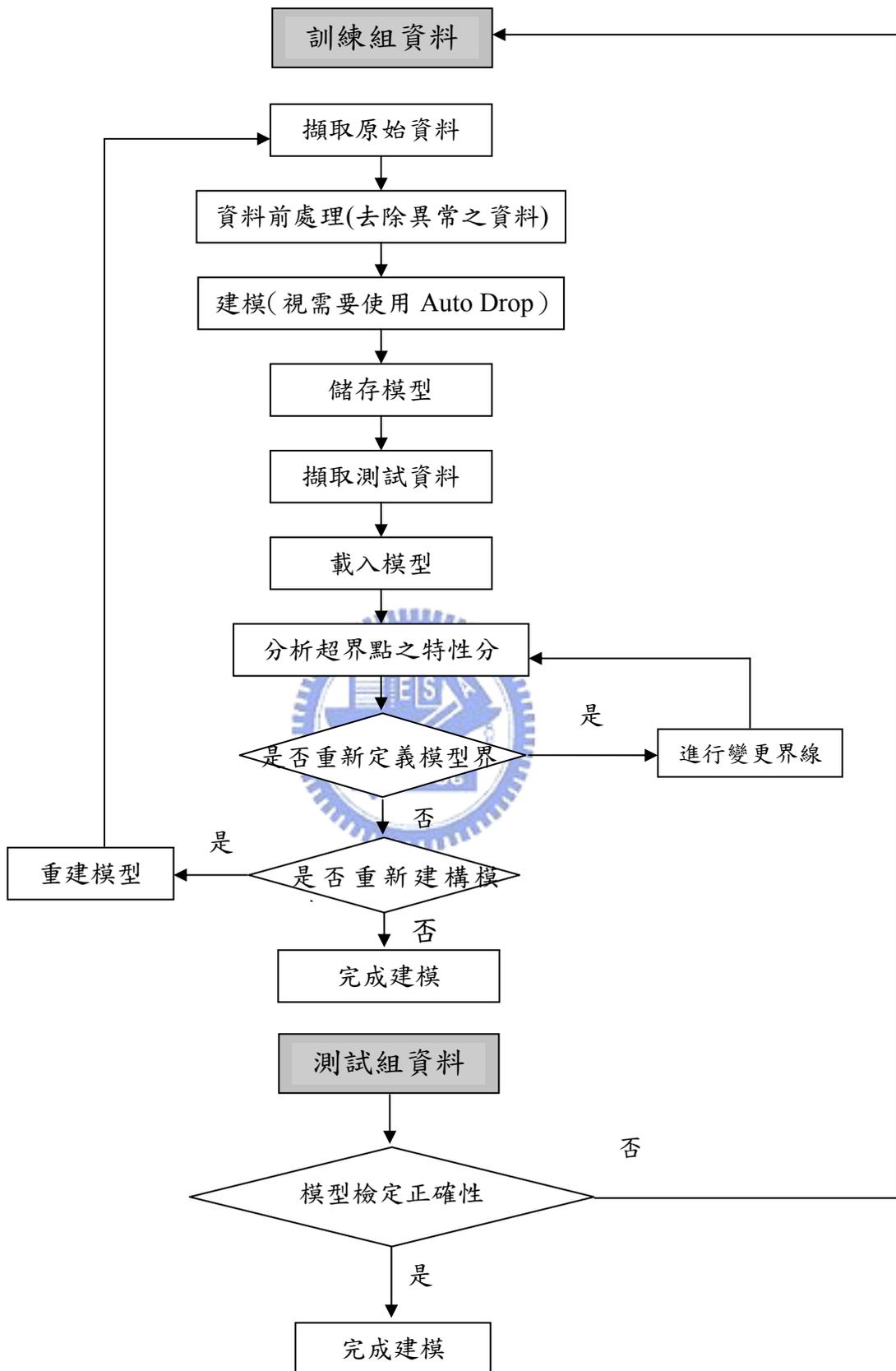


圖 13 監測設備電力品質異常狀態與分析流程圖

4.3 訓練組資料建模與異常分析

測試組資料建模分析流程與步驟分述如下：

步驟一：擷取原始資料

資料擷取時間分別在 94 年 7 月 17 至 18 日與 95 年 1 月 1 至 23 日兩個時段，樣本點取得與分佈如表 5 所示，資料結構與狀況分述如下：

(A)資料擷取時間自 94 年 7 月 17 至 18 日，每分鐘取樣一次，共 2880 筆數據。

(B)資料擷取時間自 95 年 1 月 1 至 23 日，每 30 分鐘取樣一次，去除 9 組無數據時間點，共 1096 筆數據。



表 5 訓練組數據說明

建模數據	變數	訓練組
94/6	BUSBAR, TR1, TR2, TR3, FAB1 之 VA, VB 與 VC 電壓值等共 15 個變數	(1) 94 年 7 月 17 至 18 日，每 min 取樣一次共 2880 筆數據 (2) 95 年 1 月 1 至 23 日，每 30min 取樣一次去除 9 組無數據時間點，共 1096 筆數據

步驟二：資料前處理

根據表 5 所顯示訊息包括：建模資料分析之變數、訓練組取得資料之時間及去除無數據時間點與處理後之結果。在完成資料載入後，進行資料匯入時，若系統發現其中有空白的資料時，系統預設以空白前的資料作為建模資料範圍，但是從原始資料庫取回的資料可能會有一些因為資料品質不良而造成空白數值，所以在匯入時需將資料範圍 End Row 設定為真正資料的最後範圍，在建模時再將空白的資料以平均值帶入即可。

步驟三：T² 進行系統建模分析

使用 T² 管制圖進行建模分析，以顯著水準 $\alpha = 0.01$ 進行模式檢定，結果發現，標示紅色部分為誤警狀況，誤警率 $16 / 1432 = 1.12\%$ ，如圖 14 所示。緊接著分析在第 934 點，也就是在 6/20 11:00 系統發現有發出很大的錯誤警報，直接看電壓趨勢圖發現，在這時間有明顯的壓降情形，如圖 15 所示。為確認 T² 模式所發出之警報之正確性，再以 SPC 管制圖再進行一次確認分析，以確保所建立模型之正確性，分析結果如圖 16 所示。

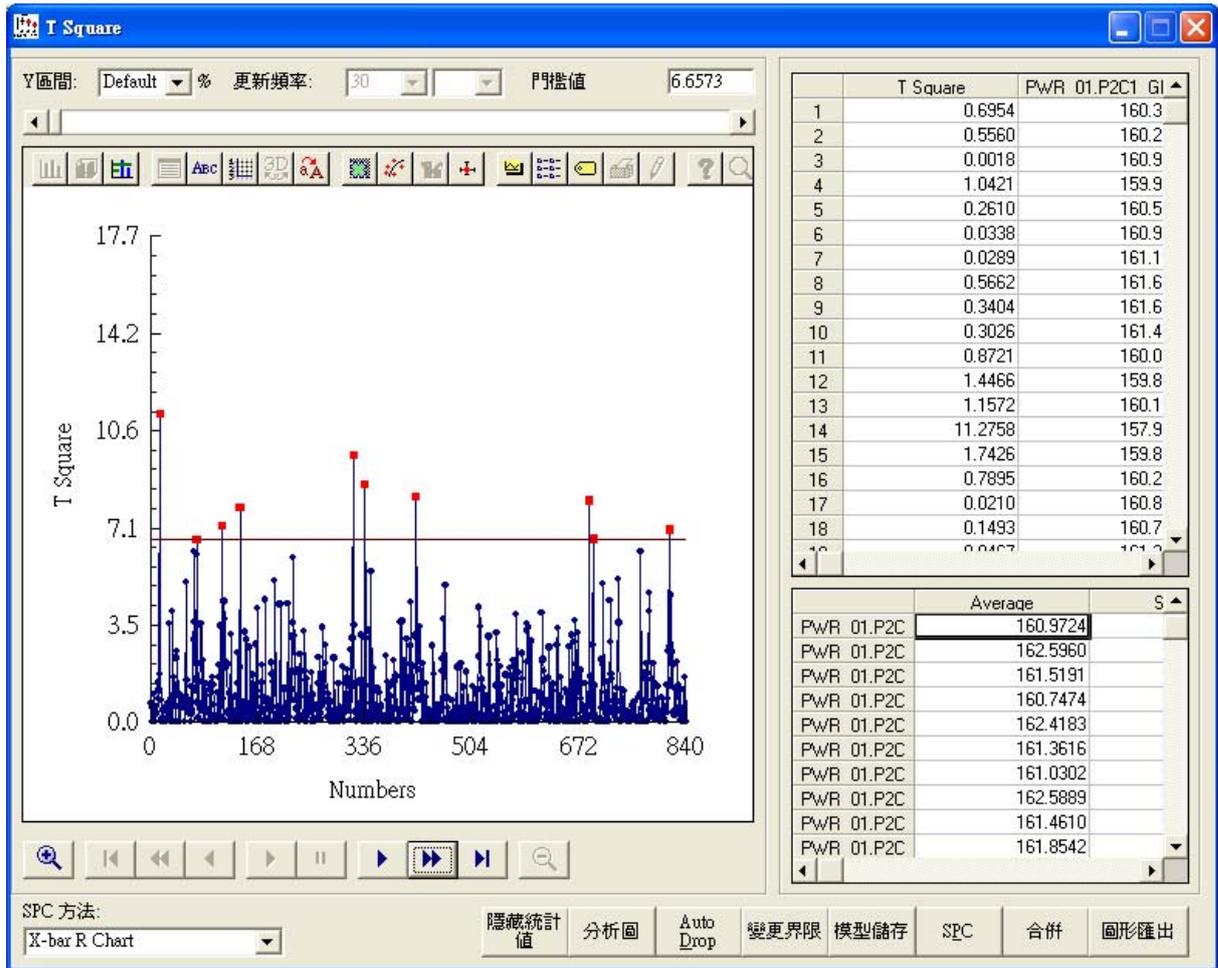


圖 14 以 T-Square 管制圖之顯著水準 $\alpha = 0.01$ 檢定之誤警率

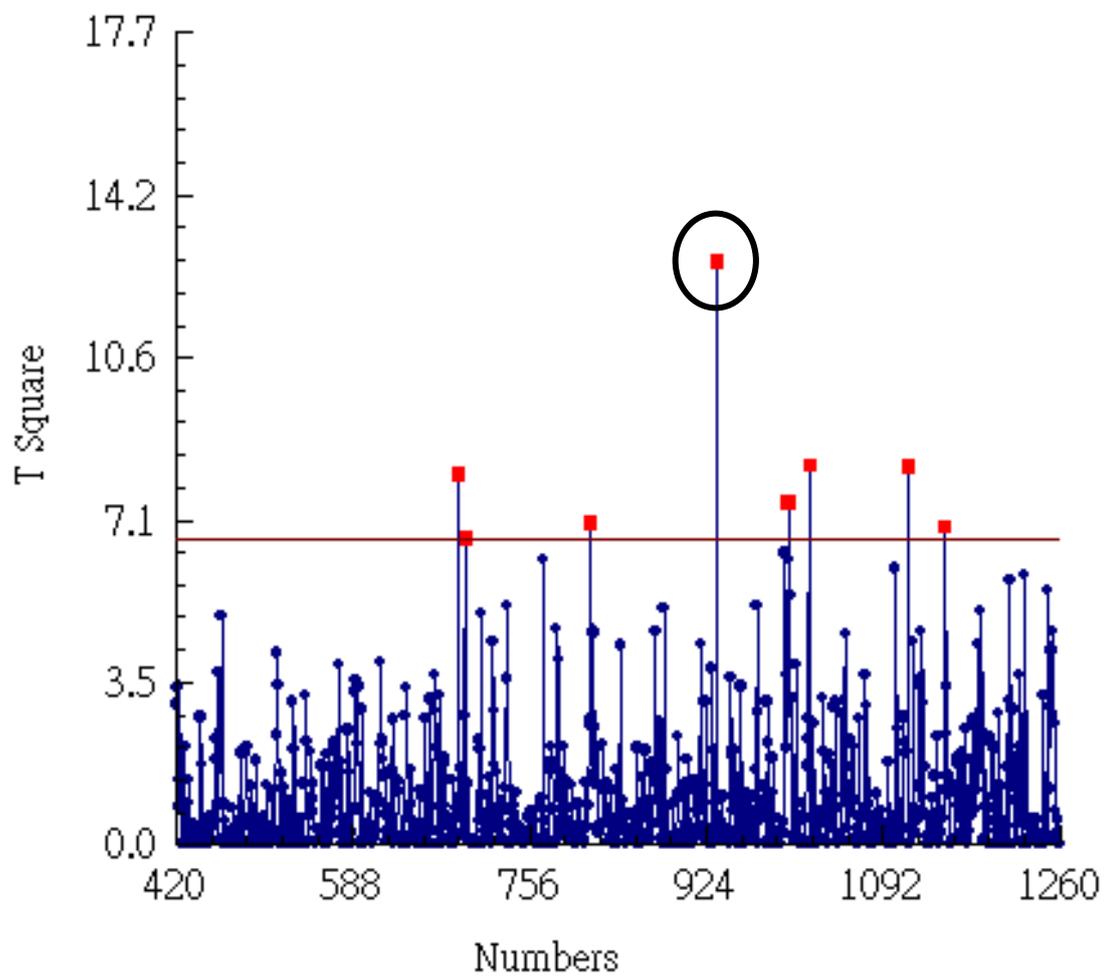


圖 15 T^2 模型檢測第 934 點壓降情形



圖 16 SPC 管制圖檢測第 934 點壓降情形

步驟四：主成分分析法進行系統建模分析

由步驟三所得之分析結果，為更進一步確認，造成異常之原因是從 15 個變數中，由哪些變數所引起電力品質異常。因此，此一步驟運用主成分分析法來篩選出造成電力品質異常貢獻度最大的變數，如圖 17 所示。

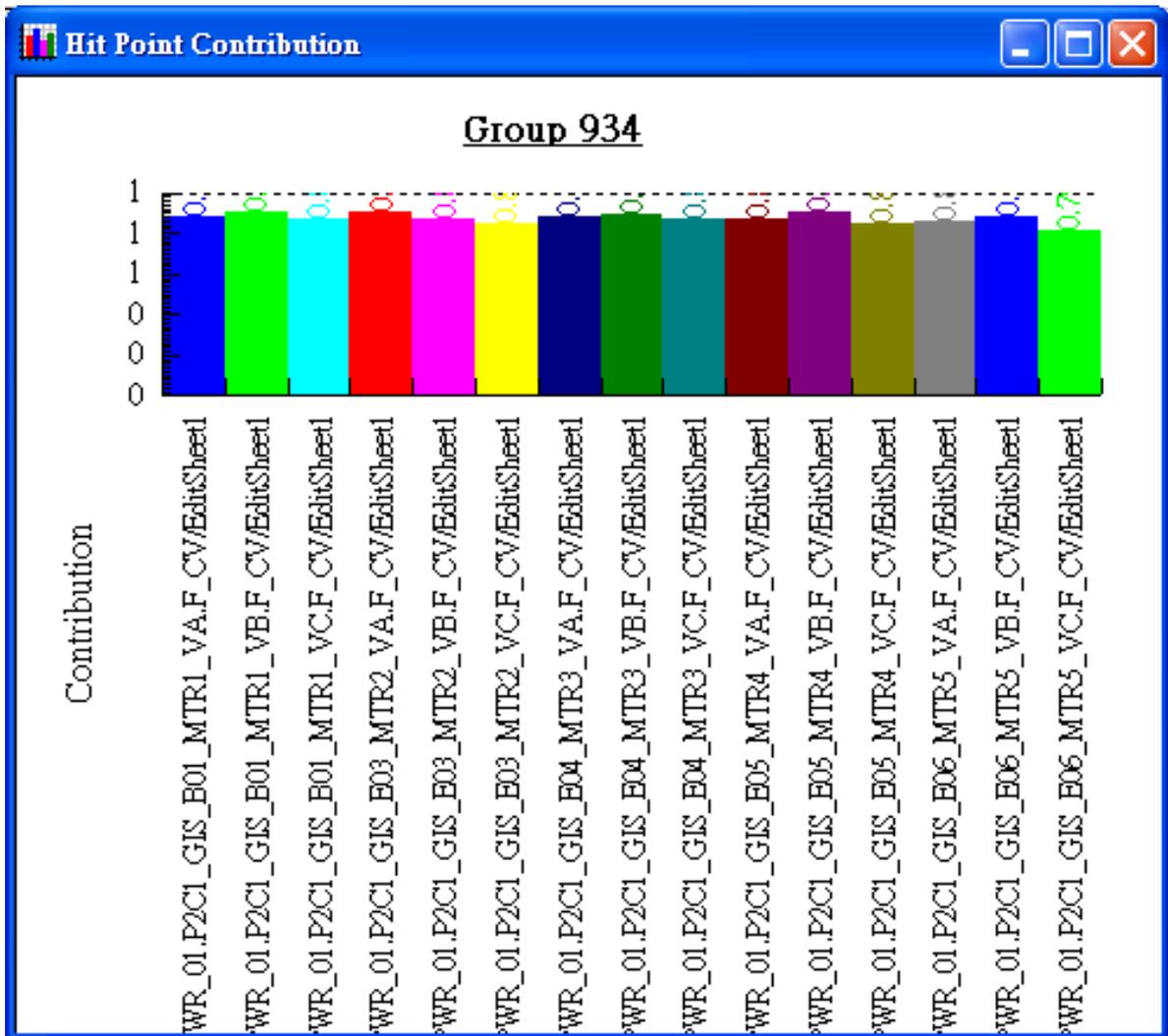


圖 17 主成分分析法計算造成第 934 點壓降之變數貢獻度

步驟五：模型確認分析

根據工程師表示在 7 月 18 日發生 TR2 壓降異常，在 T² 管制圖於 2006/01/18 06:30:00 開始較為頻繁出現異常警報，與實際發生狀況相符，符合系統建模。在 SPE 管制圖分析部分，於 2006/01/02 18:30:00~2006/01/03 05:30:00 亦偵得供電系統品質異常，亦符合系統建模，訓練組之兩個時間點的分析結果，整理如表 6 所示。

表 6 訓練組數據建模結果分析

變數	訓練組	結果
BUSBAR, TR1, TR2, TR3, FAB1 之 VA, VB 與 VC 電壓值等共 15 個變數	(1) 94 年 7 月 17 至 18 日，每 min 取樣一次，共 2880 筆數據	(1) T^2 圖於 2006/01/18 06:30:00 開始較為頻繁出現異常警報
	(2) 95 年 1 月 1 至 23 日，每 30min 取樣一次，去除 9 組無數據時間點，共 1096 筆數據	(2) SPE 圖於 2006/01/02 18:30:00~2006/01/03 05:30:00 偵得異常

運用 T^2 、SPC 及主成分分析法來開發 APCSuite 之先進製程管制平臺系統進行電力品質評估管理，藉由訓練組數據可以精準建構電力品質之預測與監控模式，可提供爾後線上測試之基準。

4.4 測試組資料驗證與異常分析

本節根據訓練組的資料分析與工程師的經驗判斷，GIS, TR1 與 TR2 三個變數常造成電力品質異常之主因，接下來依據訓練組數據所建模之模型，直接置於線上進行測驗分析，針對系統發佈警報時，並分析造成發佈警報之原因，是否為誤警報，以確認本研究所開發 APCSuite 監控系統之準確性及有效性。

4.4.1 GIS 電壓數據分析

以多變量管制圖來進行分析 GIS 電壓異常分析，首先將資料分為兩組，來進行異常點分析。測試組 1 之資料時間為 2005 年 7 月 17 日至 2005 年 7 月 18 日；測試組 2 之資料時間為 2006 年 1 月 1 日至 2006 年 1 月 23 日，資料分析如下：

(1) 測試組 1：2005 年 7 月 17 日至 2005 年 7 月 18 日異常點分析

1. 首先運用 T^2 多變量管制圖進行分析，自 1103 點開始也就是時間點 2005 年 7 月 17 日 18:23:00 開始，APCSuite 監控系統發出較為頻繁出現異常警報，很明顯 2005 年 7 月 17 日 18:23:00 在之後發生電壓異常，如圖 18 所示。再運用主成分分析法來分析造成在 1103 點異常的主要變數，分析結果如圖 19 所示。

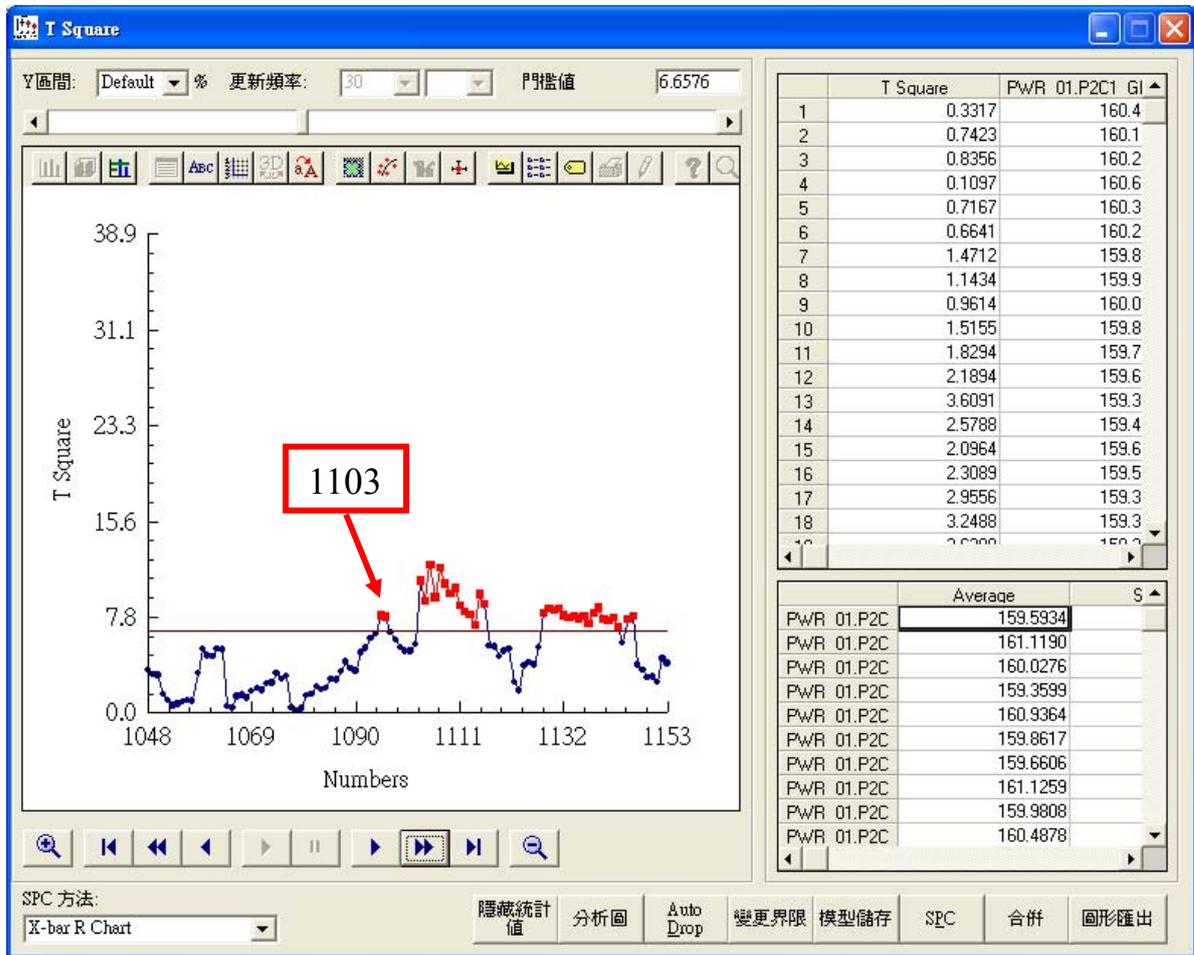


圖 18 T^2 多變量管制圖檢測 1103 點異常分析

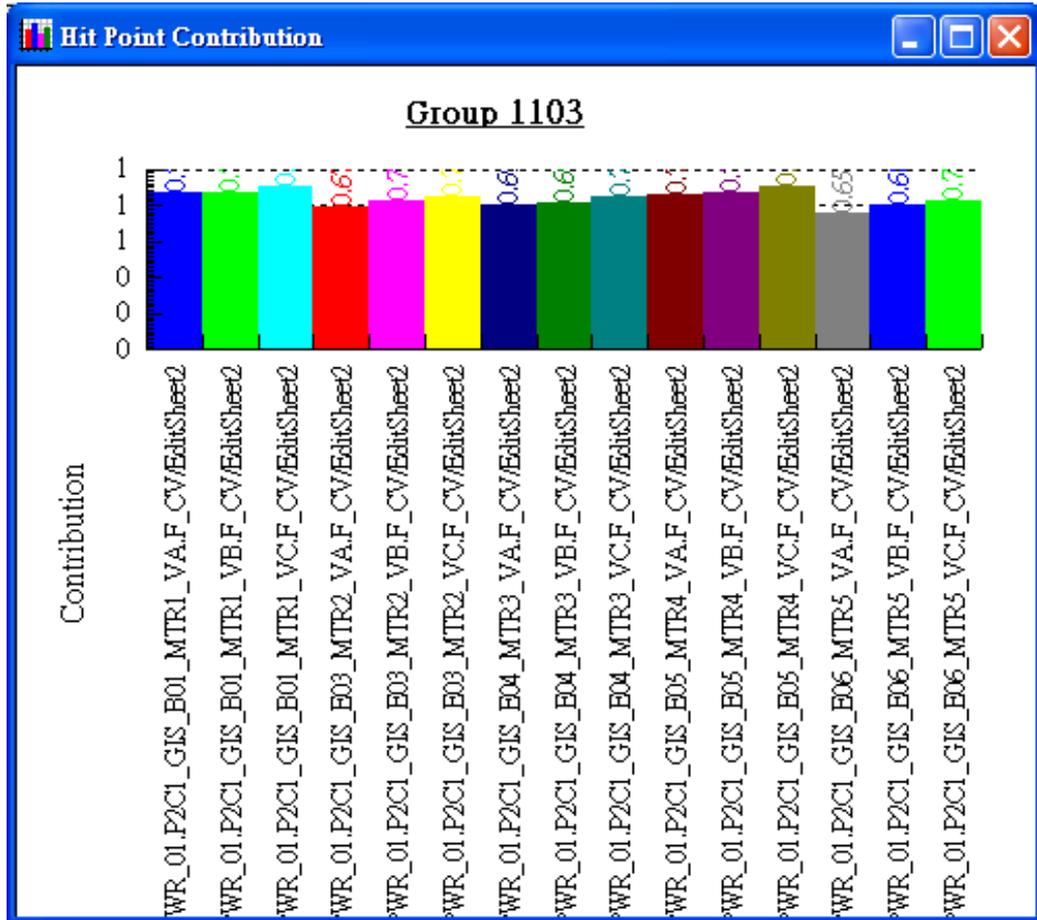


圖 19 主成分分析法檢測 1103 點異常之變數貢獻度

2. T^2 多變量管制圖，在 2029 點時，也就是 2005 年 7 月 18 日 09:49:00 開始，APCSuite 監控系統發出較為頻繁出現異常警報，很明顯 2005 年 7 月 18 日 09:49:00 在之後發生電壓異常，如圖 20 所示。再運用主成分分析法來分析造成在 2029 點異常的主要變數，分析結果如圖 21 所示。

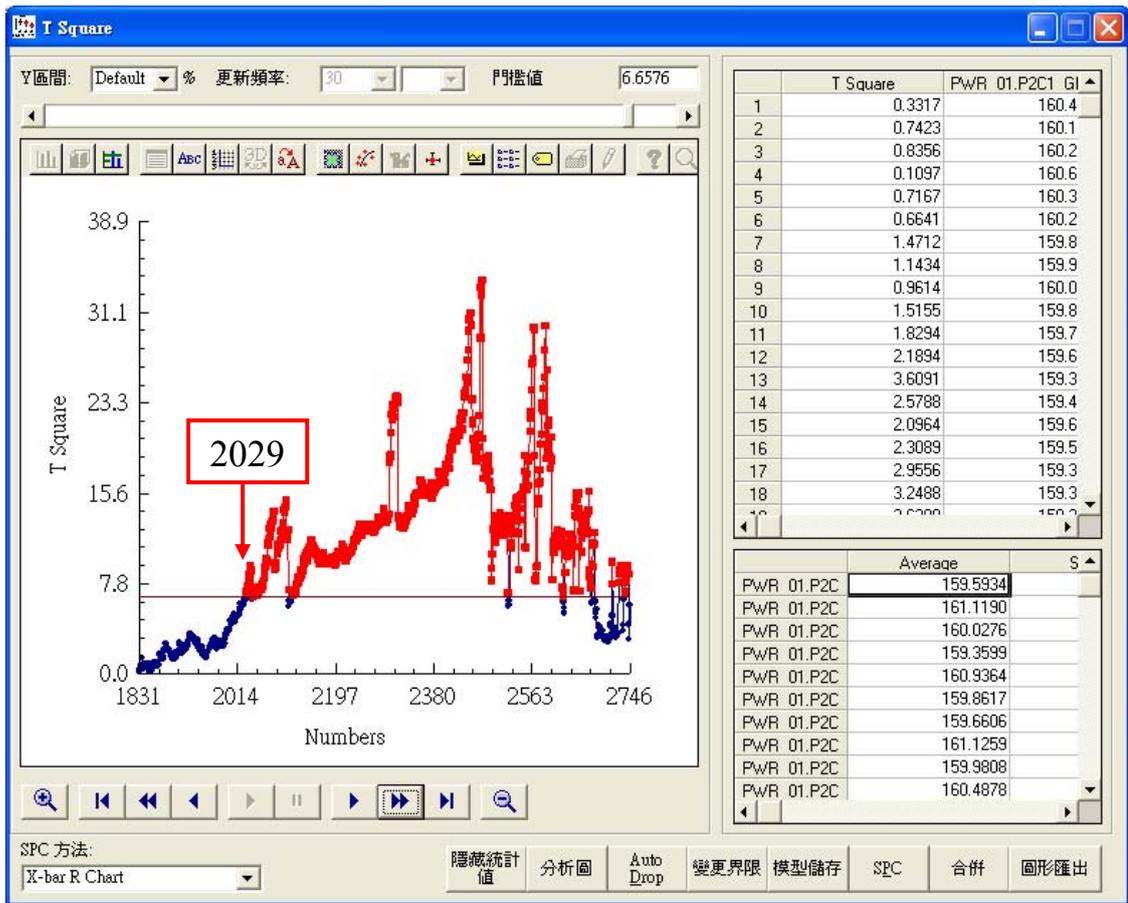


圖 20 T^2 多變量管制圖檢測 2029 點異常分析

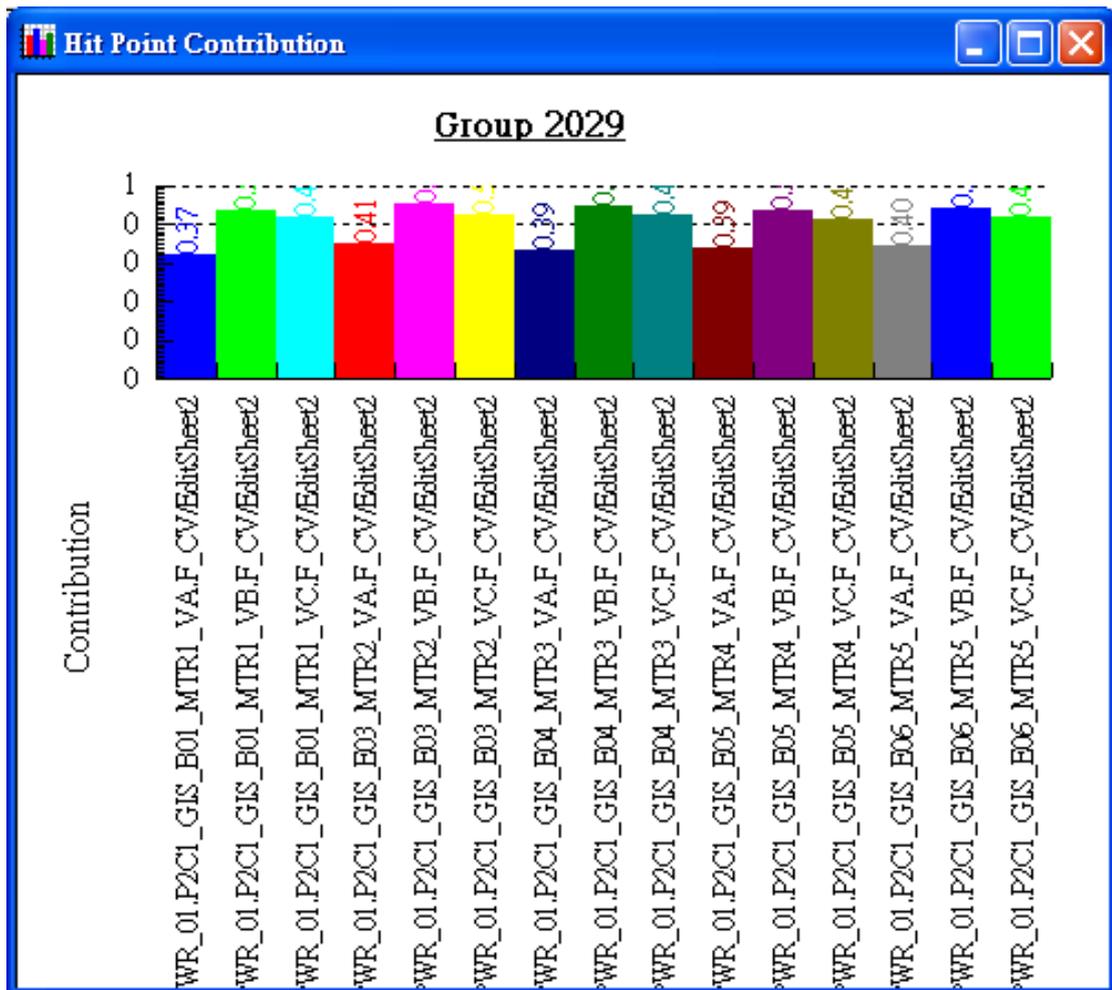


圖 21 主成分分析法檢測 2029 點異常之變數貢獻度

(2) 測試組 2：2006 年 1 月 1 日至 2006 年 1 月 23 日異常點分析

1. 發現有非常多的警報產生，改善方式有兩種方案：(A)降低顯著水準 α ，即提高管制界限，但是會造成偵測能力隨之下降。(B)以每分鐘監視一次，連續二或三點超過管制界限再發警報，偵測能力僅微幅下降，較建議採用此方案。

以(B)方案進行監視，發佈警報之情形如圖 22 所示。

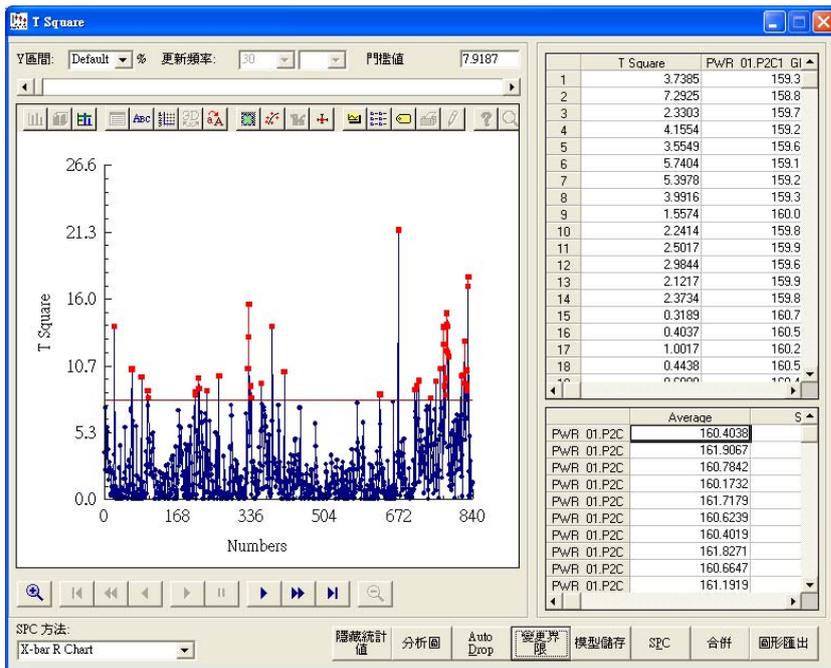
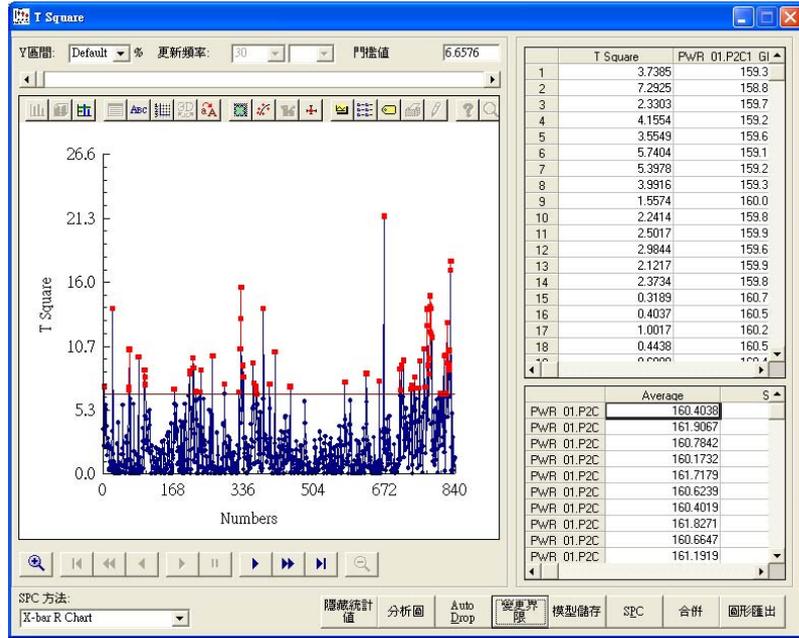


圖 22 每分鐘監視一次，連續二或三點超過管制界限再發警報

2. 若將顯著水準改以 $\alpha = 0.005$ ，而且連續三點異常才進行系統發佈異常警報，經 APCSuite 監控系統偵測出在以下七個區間發出異常警報的時間點如下：(1)327~329，(2)773~775，(3)777~783，(4)824~827，(5)870~873，(6)924~928，(7)1038~1040。經現場工程師分析發現，在 T^2 產生尖峰值時，就是發生電力品質異常，且壓降急遽，容易引起瞬間壓降，導致機台供電不穩，而產生跳機或當機之情形，如圖 23 所示。

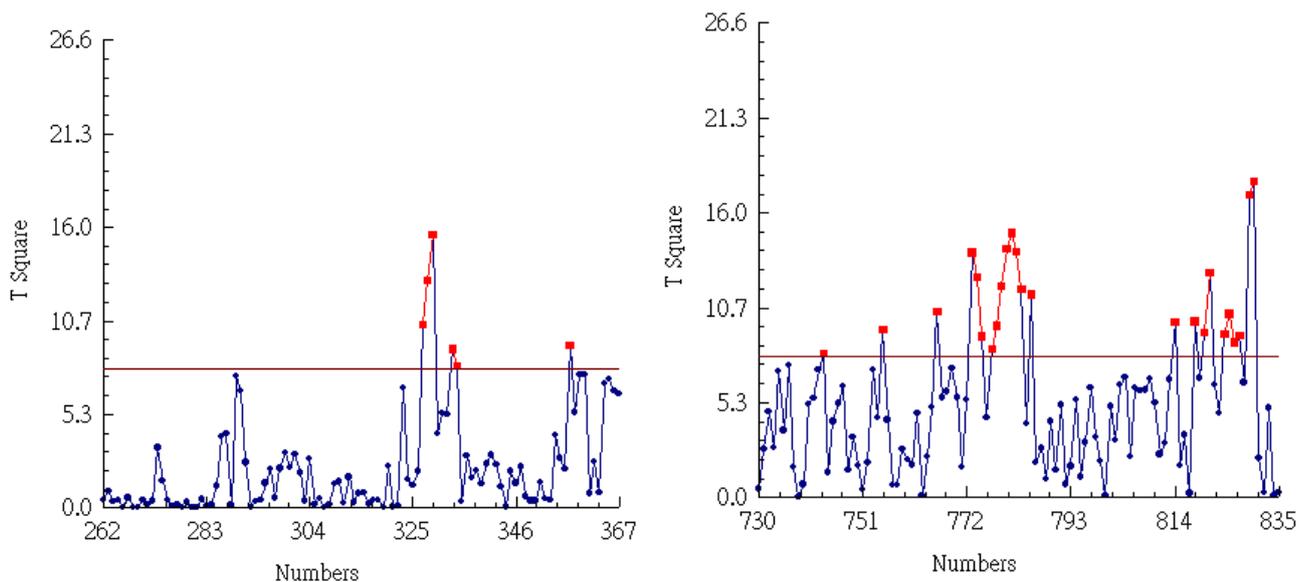


圖 23 顯著水準降至 0.005，連續三點再發佈警報

4.4.2 TR1 電壓數據分析

以多變量管制圖來進行分析 TR1 變數之電壓異常分析，首先從線上蒐集資料，蒐集頻率以每分鐘取樣一次，取樣時間分為(1)2005 年 7、8、11 與 12 月份、及(2)2006 年 1 月 1 日至 1 月 23 日。在做數據分析前，將 2005 年 7 月異常數據先去除，時間點包括(1)TR1 電流較高時期(約 7 月 5 日 05:30 前)及(2)壓降現象時期(約 7 月 17 日 16:00~7 月 19 日 08:30)。首先，將異常數據剔除，再遺失資料之重建，以平均值『Series mean』進行資料重建，然後再以 T^2 進行建模與檢定，並與 X-bar R Chart 繪製模型檢定圖，如圖 24 所示。

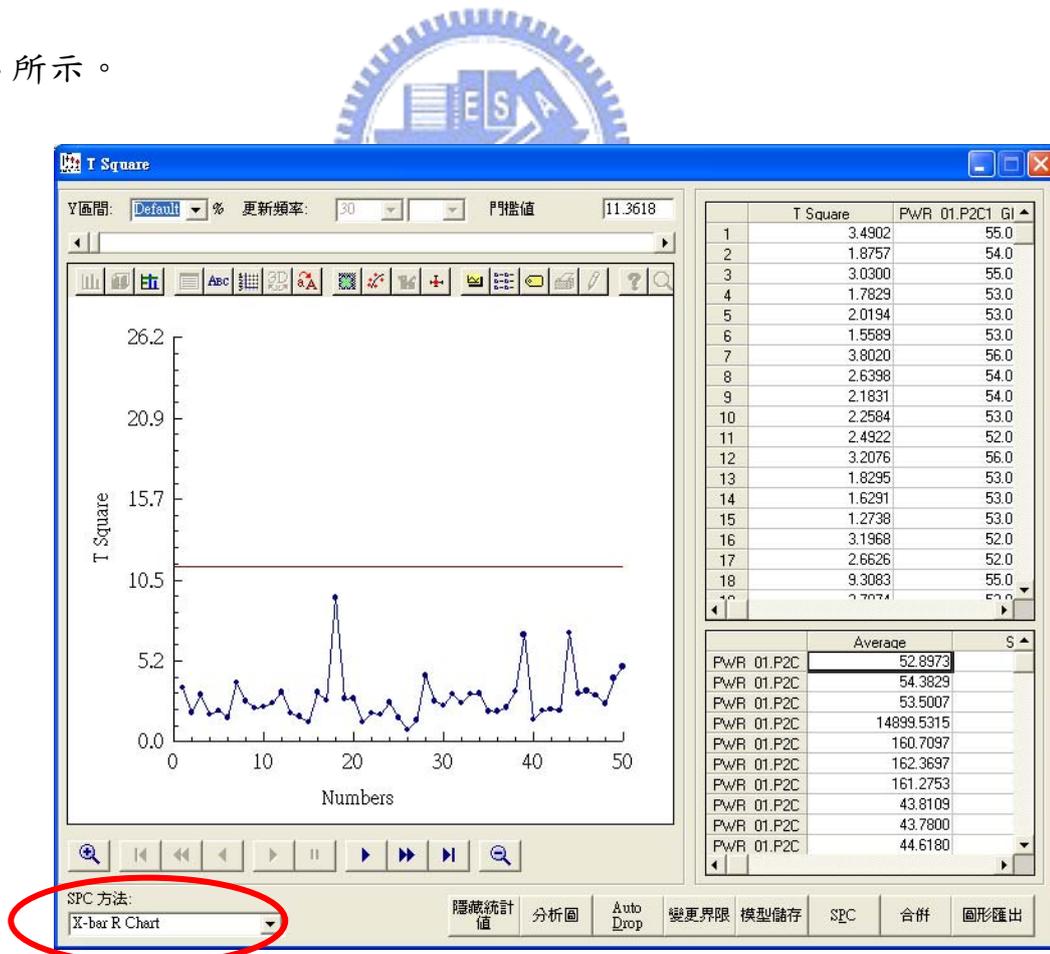


圖 24 T^2 檢定 TR1 變數之電壓模型

以 T^2 檢定發現仍然有異常點，系統亦發出異常警報，此時須將異常點去除，以 T^2 模型重新計算後，發現檢定模型穩定，此時將 T^2 模型進行儲存，作為系統檢定之比對基礎。重新匯入測試資料，去除異常點之 T^2 檢定之穩定模型進行分析，如圖 25 所示。在圖 25 中發現，APCSuite 監控系統有許多誤警，需要重新變更管制界線，以變更顯著水準為 0.005。檢定結果，誤警率大為降低，如圖 26 所示，可以利用此模型進行線上電力品質。

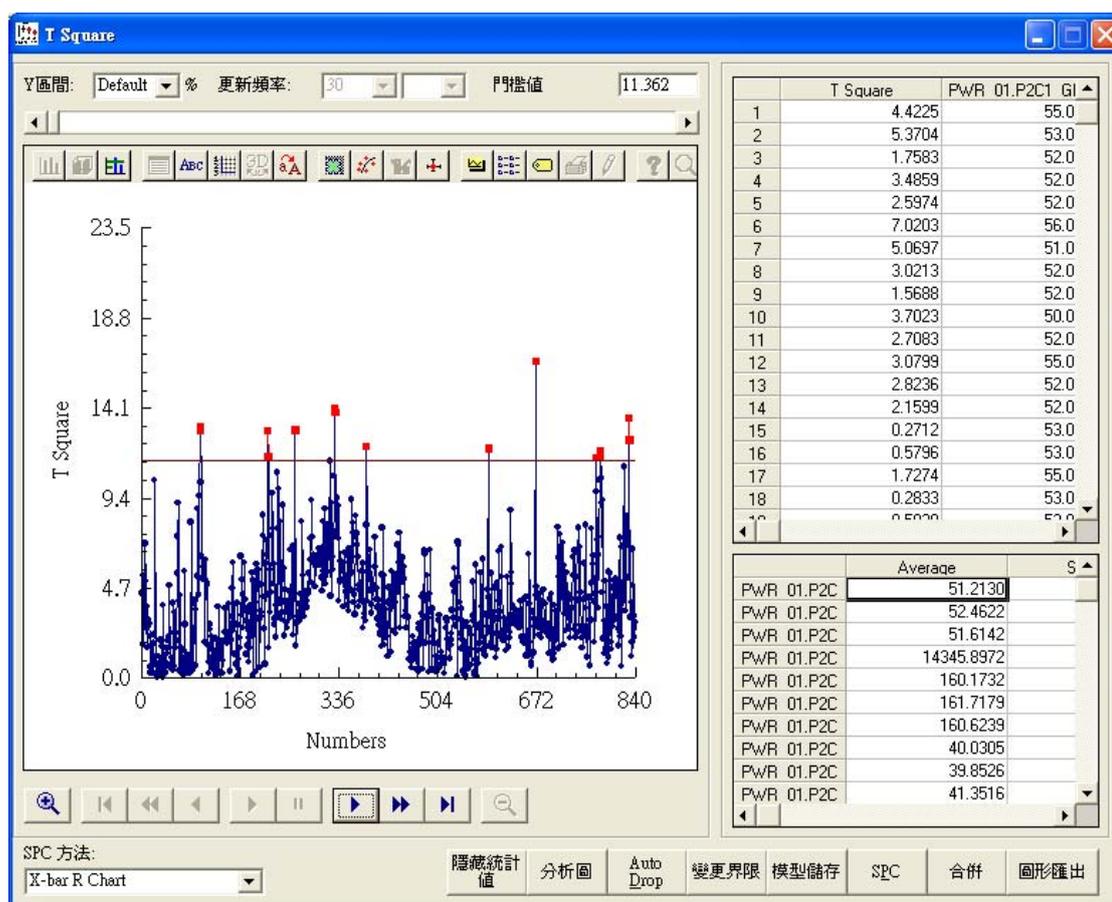


圖 25 載入 TR1 測試資料之 T-Square 檢定分析

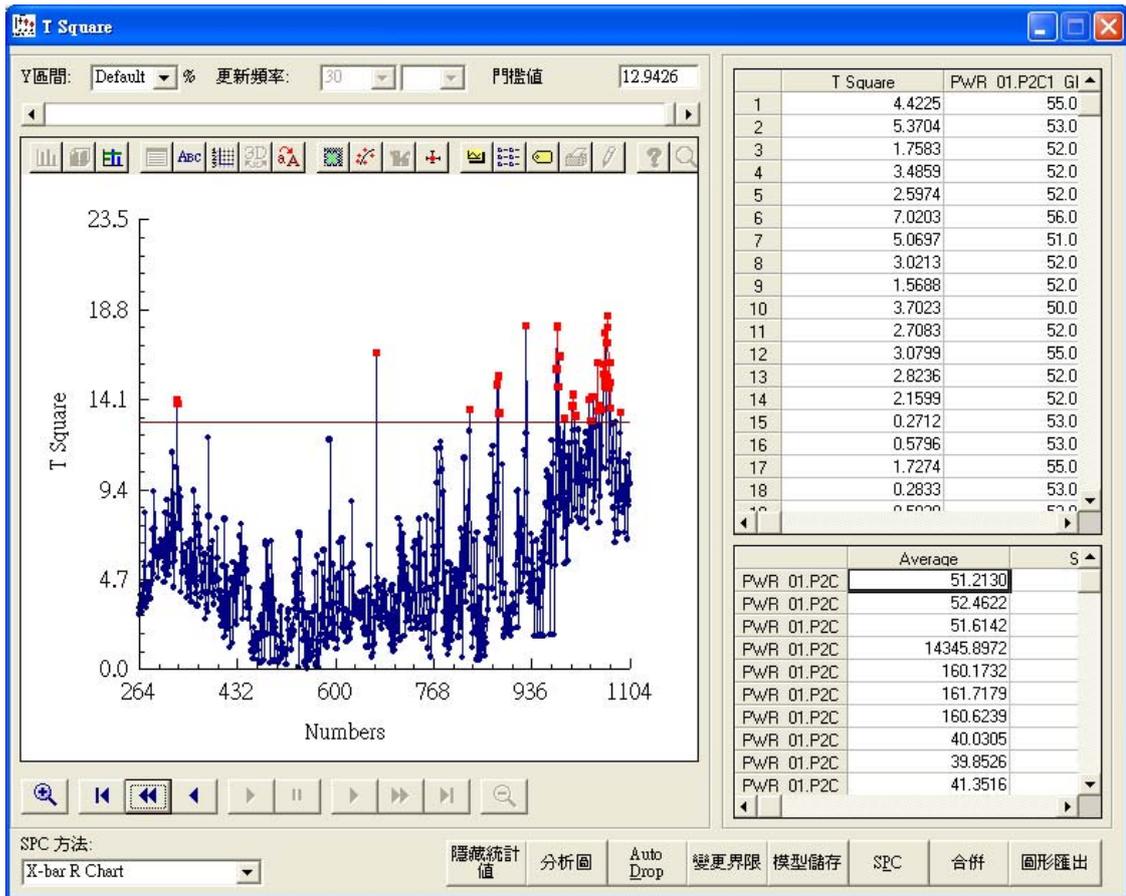


圖 26 以 T^2 檢定測試資料 TR1 變數之穩定模型

由圖 26 結果可發現，在 2006 年 1 月份之資料，進行 T^2 異常點分析，發出電壓異常警報之時間點如下：(1)自 829 點，也就是 2006 年 1 月 18 日 06:30:00 開始較為頻繁出現異常電壓警報、(2) 2006 年 1 月 18 日 06:30:00、(3) 2006 年 1 月 19 日 06:30:00~ 2006 年 1 月 19 日 08:00:00、(4) 2006 年 1 月 20 日 07:00:00、及(5) 2006 年 1 月 21 日 09:00:00~2006 年 1 月 23 日 07:30:00，發現 APCSuite 監控系統發出異常警報，最主要是電壓與 IA 的異常所引起電力品質之異常。

4.4.3 TR2 電壓數據分析

以多變量管制圖來進行分析 TR2 變數之電壓異常分析，首先從線上蒐集資料，以百分比檢定，進行變數百分比檢定。計算時若發生資料遺失時需以平均值 Series mean 進行資料重建，然後再以『T-Square』進行建模與檢定，並與 X-bar R Chart 繪製模型檢定圖，如圖 27 所示。

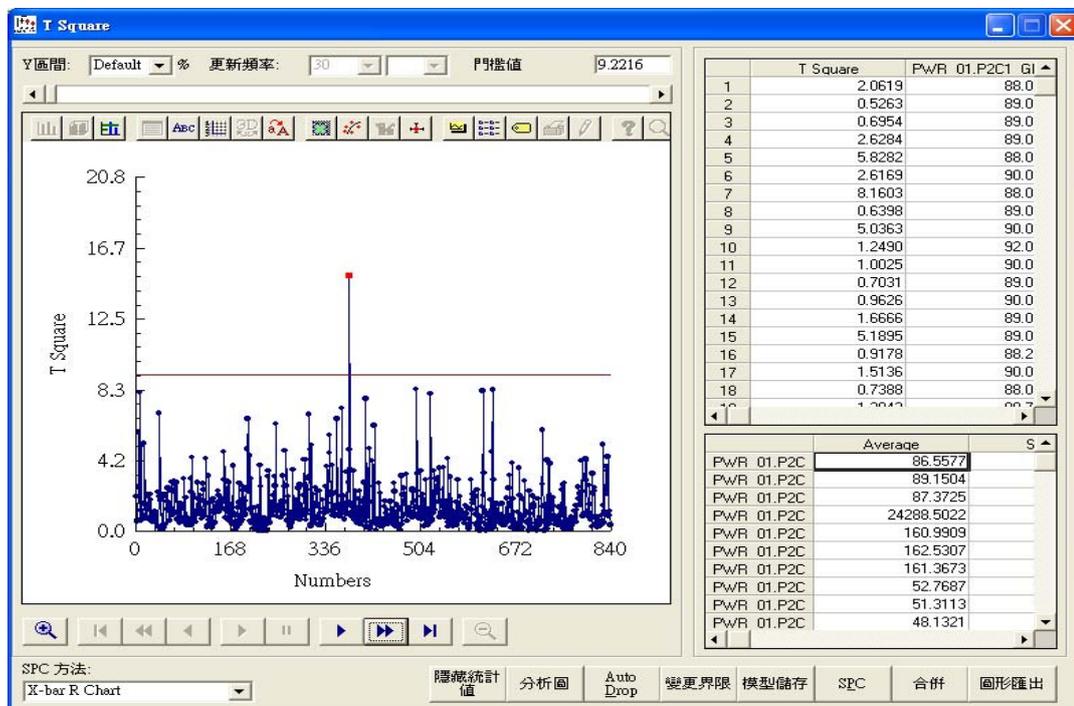


圖 27 T² 檢定 TR2 變數之電壓模型

在圖 17 中，以 T-Square 檢定發現有異常點存在，需進行異常點去除，並從新重以 T² 計算，發現檢定模型穩定後，儲存 T² 檢定模型，如圖 28。

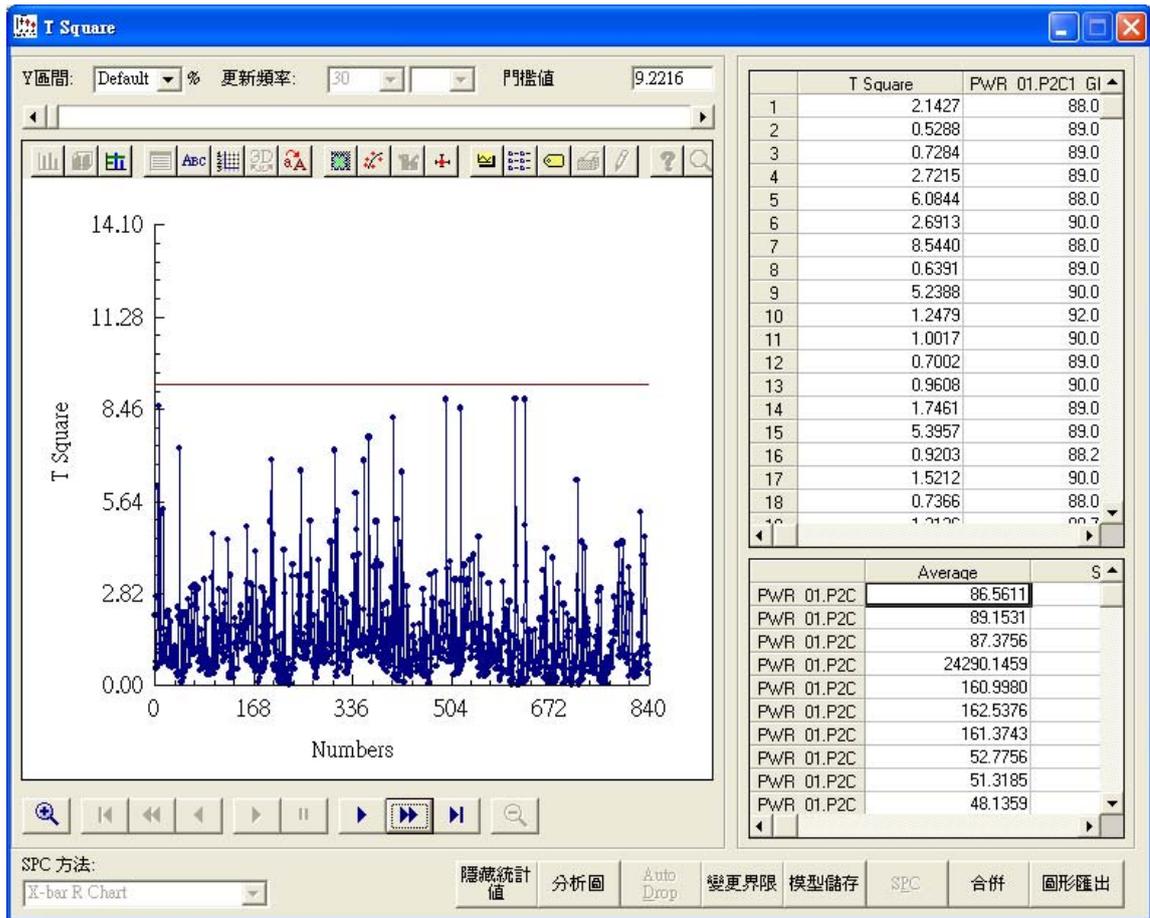


圖 28 去除異常點之 T^2 穩定性之檢定模型

匯入 TR2 變數測試資料，需要變更資料範圍至 End Row 為 1105，載入去除異常點之 T-Square 檢定之穩定模型進行分析，如圖 29 所示。在圖 29 中可以發現系統有許多誤警，需要重新變更管制界線，以變更顯著水準為 0.005 進行檢定。以 APCSuite 監控系統進行檢定結果發現，誤警率大為降低，如圖 29 所示，可以利用此模型進行監控。

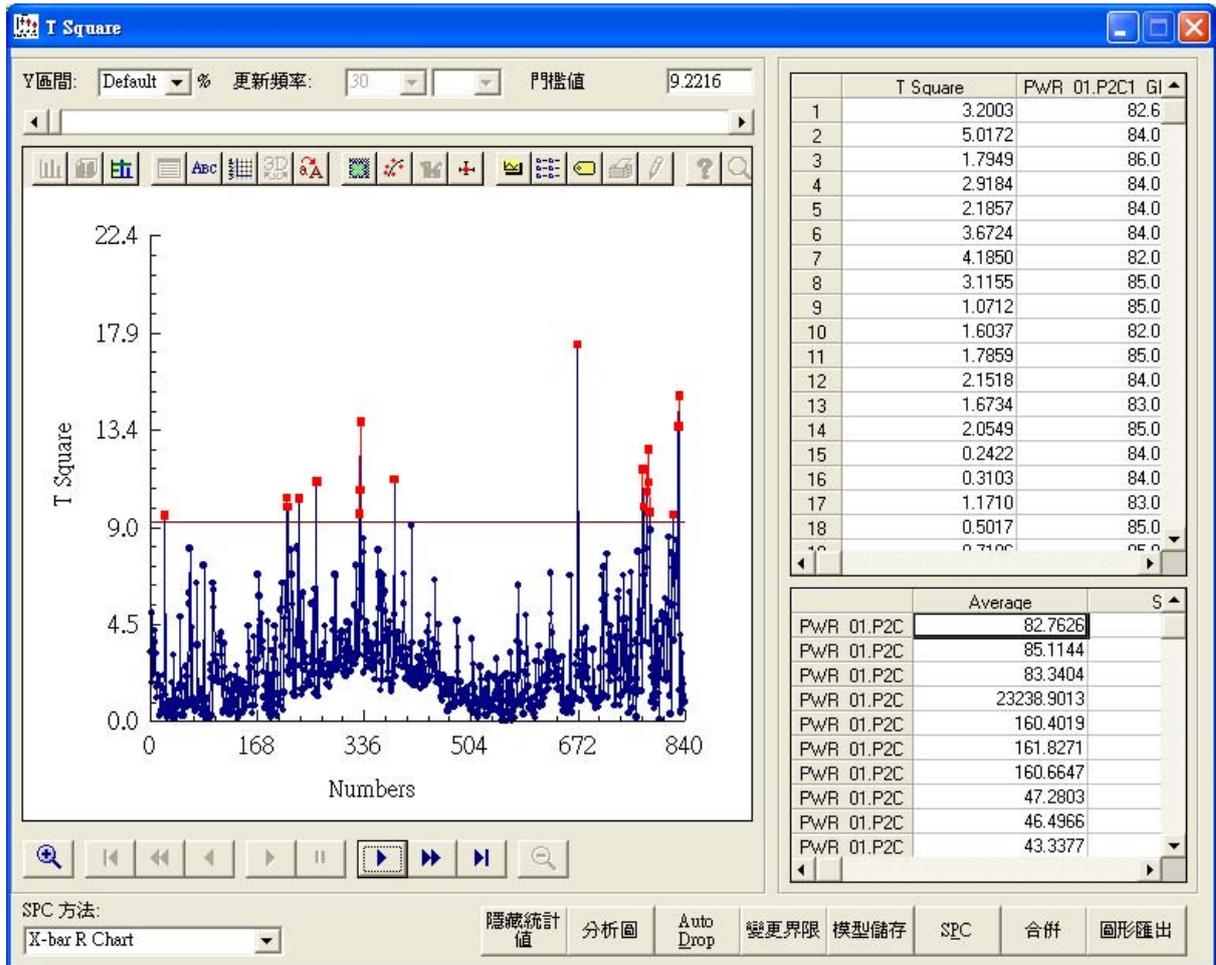


圖 29 載入 TR2 測試資料之 T^2 檢定分析

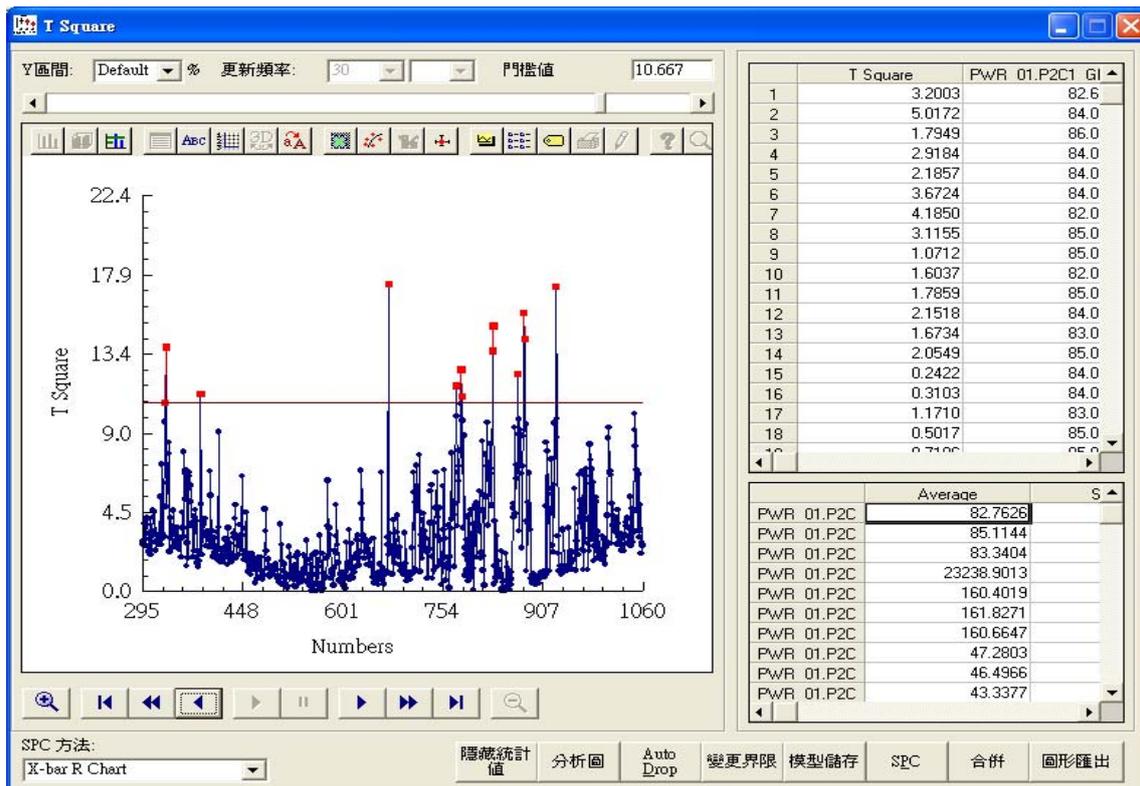


圖 30 以 T^2 檢定測試資料 TR2 變數之穩定模型

由圖 30 結果可發現，以 2006 年 1 月份之資料，進行 T^2 異常點分析，發出電壓異常警報之時間點如下：

- (1) 2006 年 1 月 2 日 17:30:00 至 2006 年 1 月 3 日 8:00:00。
- (2) 2006 年 1 月 2 日 17:30:00，發出系統異常警報，主要是由電壓與電流所造成。
- (3) 2006 年 1 月 2 日 18:30:00，發出系統異常警報，分析結果發現，造成電壓異常原因主要是由電流異常、功率異常、線圈溫度、及油溫異常所造成。

(4) T^2 管制圖於 2006 年 1 月 17 日 02:30:00 開始出現較為頻繁之警報。

(5) 2006 年 1 月 17 日 02:30:00 開始出現電壓異常。

(6) 2006 年 1 月 19 日 03:30:00 開始出現電壓與溫度相關異常。

(7) 2006 年 1 月 21 日 01:30:00 之後密集出現電壓與溫度相關異常。

本研究運用 T^2 、SPC 及主成分分析法來開發 APCSuite 之先進製程管制平臺系統進行電力品質評估管理，當系統發出異常品質警報時，藉由工程師專業判斷，可以清楚得知問題發生之原因，可做為現場危機處理及電力緊急調度，以平衡廠區電壓，以減少機台因電壓不穩而產生當機或跳電之危機。



4.5 SPC 建模分析

4.5.1 SPC 建模分析 GIS 電壓數據分析

將測試組資料分為兩組，以 SPC 管制圖進行分析，來進行異常點分析。測試組 1 之資料時間為 2005 年 7 月 17 至 18 日；測試組 2 之資料時間為 2006 年 1 月 1 至 23 日，並無偵測出警報發佈，如圖 31 所示。因此，以 SPC 進行 GIS 建模，無法即時偵測電系品質異常，此模型完全無法使用。

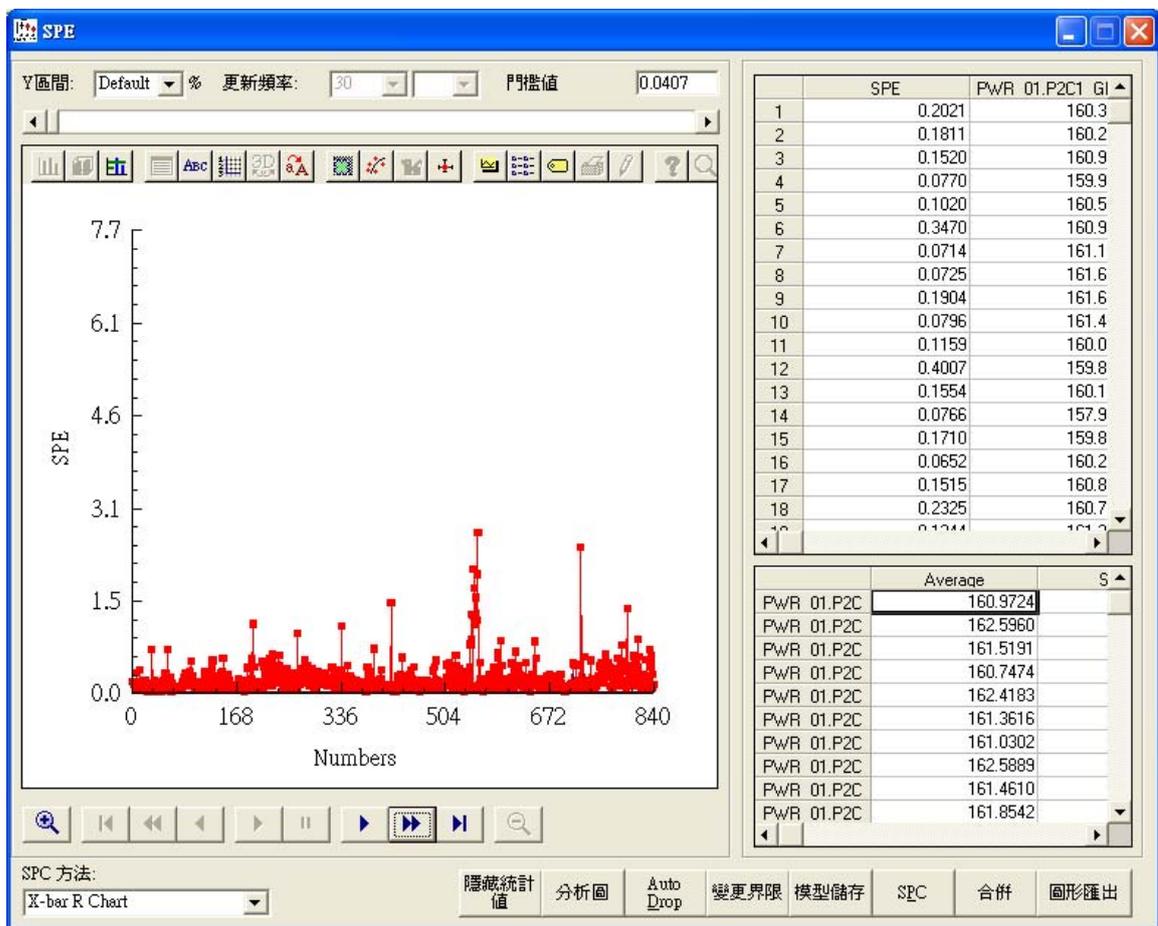


圖 31 以 SPC 建模分析警報發佈狀況

為了改善誤警之發生可以採用以下兩種方式，分述如下：

- (1) 降低顯著水準 α ，但是管制界限提高，偵測能力隨之下降。
- (2) 以每分鐘監視一次，連續二或三點超過管制界限再發警報，此法偵測能力僅微幅下降，較建議使用。

針對 T^2 管制圖與 SPC 管制圖進行模型檢定分析比較如下：

- (1) T^2 管制圖能有效偵測壓降現象，SPC 管制圖可偵測趨勢下降之壓降現象，且較 T-Square 管制圖更早偵得。
- (2) SPC 管制圖對速移(shift)之壓降現象則無法偵測，但 T-Square 管制圖可立即偵得。
- (3) SPC 管制圖可有效偵測變數間之關係改變情形，且非常靈敏，但易產生過多誤警。

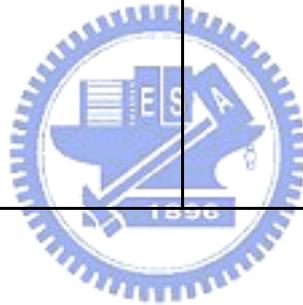


4.5.2 SPC 建模分析 TR1 電壓數據分析

資料來源，以每分鐘取樣一次，將測試資料匯入 APCSuite 監控系統，取樣時間分為(1)94 年 7、8、11 與 12 月份、及(2)95 年 1 月 1 日至 1 月 23 日。在做數據分析前，將異常數據先去除 (1) 時間點包括 94 年 11 月 12 日 12:30 與 11 月 18 日 14:00 兩時間點及(2) I、Kw 過低。資料來源整理如表 7 所示。將顯著水準變更為 0.005 進行模型檢定，檢定結果如圖 32 所示。

表 7 TR1 資料建模分析與檢定結果

建模數據	變數(TR1)	測試組	結果
94 年 7,8,11,12 月	I, Kw, V, T, T _{air}	95 年 1 月	<p>1. T² 圖於 2006/01/18 06:30:00 開始較為頻繁出現異常警報</p> <p>2. SPC 圖於 2006/01/02 18:30:00~2006/01/03 05:30:00 偵得異常</p>



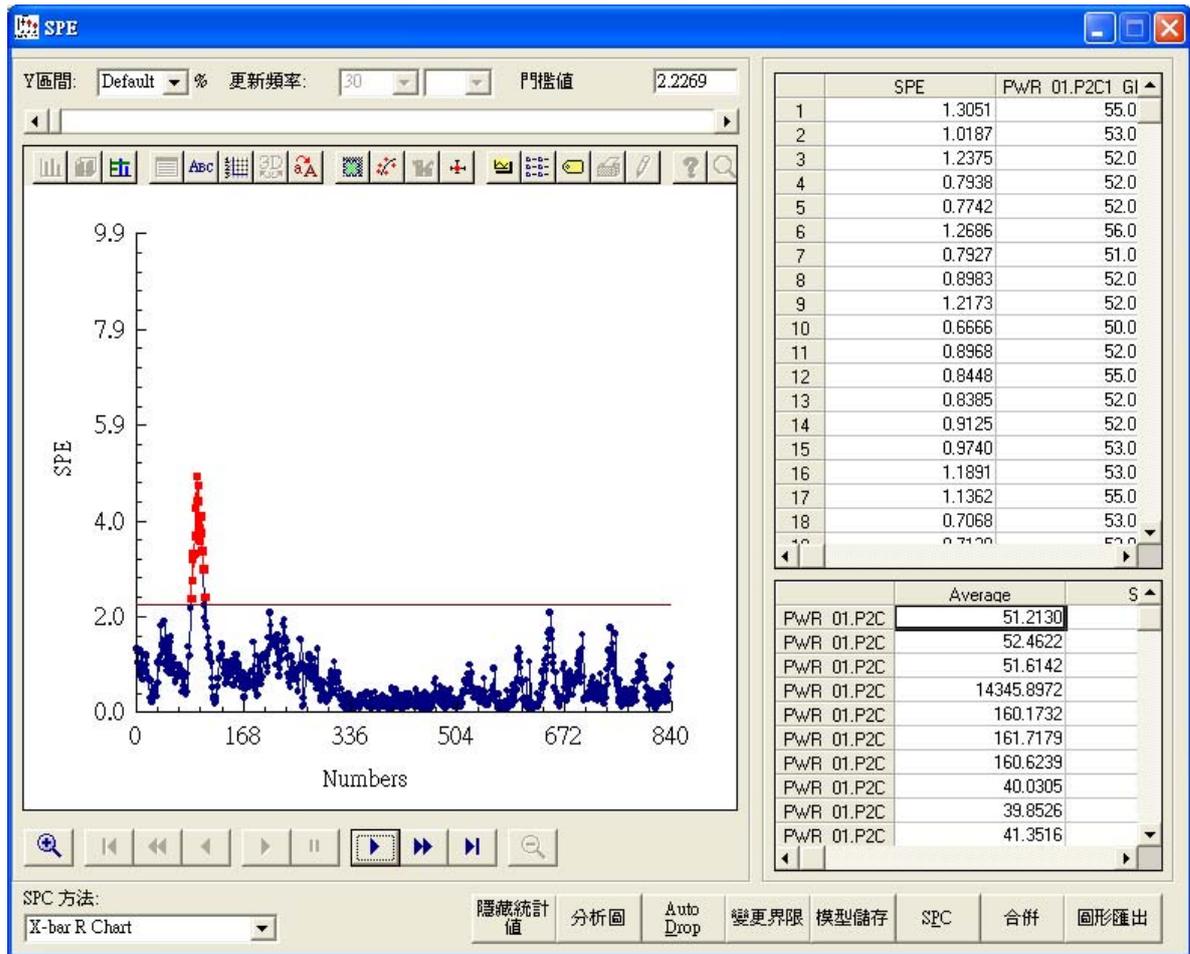


圖 32 以顯著水準 0.005 進行 TR1 變數之 SPC 模型檢定測試資料

在圖 32 中以 SPC 模型進行異常點分析，發現在 2006 年 1 月 2 日 18:30:00 至 2006 年 1 月 3 日 05:30:00 發現 APCSuite 監控系統出現全系統異常，分析原因為：一開始最主要是線圈溫度與油溫異常，接下來變成全系統異常，緊接著發生電壓的異常。

將 TR1 壓降時期作為測試資料進行分析如下：

(1)將 TR1 在線上資料拿來分析，發現幾乎所有資料都是超界，如圖 33 所

示。初步研判無法作管制，嘗試以兩個主成分及三個主成分的模型也是相類似的結果。因此，認為 TR1 之電流與功率操作平均值經常改變，導致 T² 管制圖不適用。

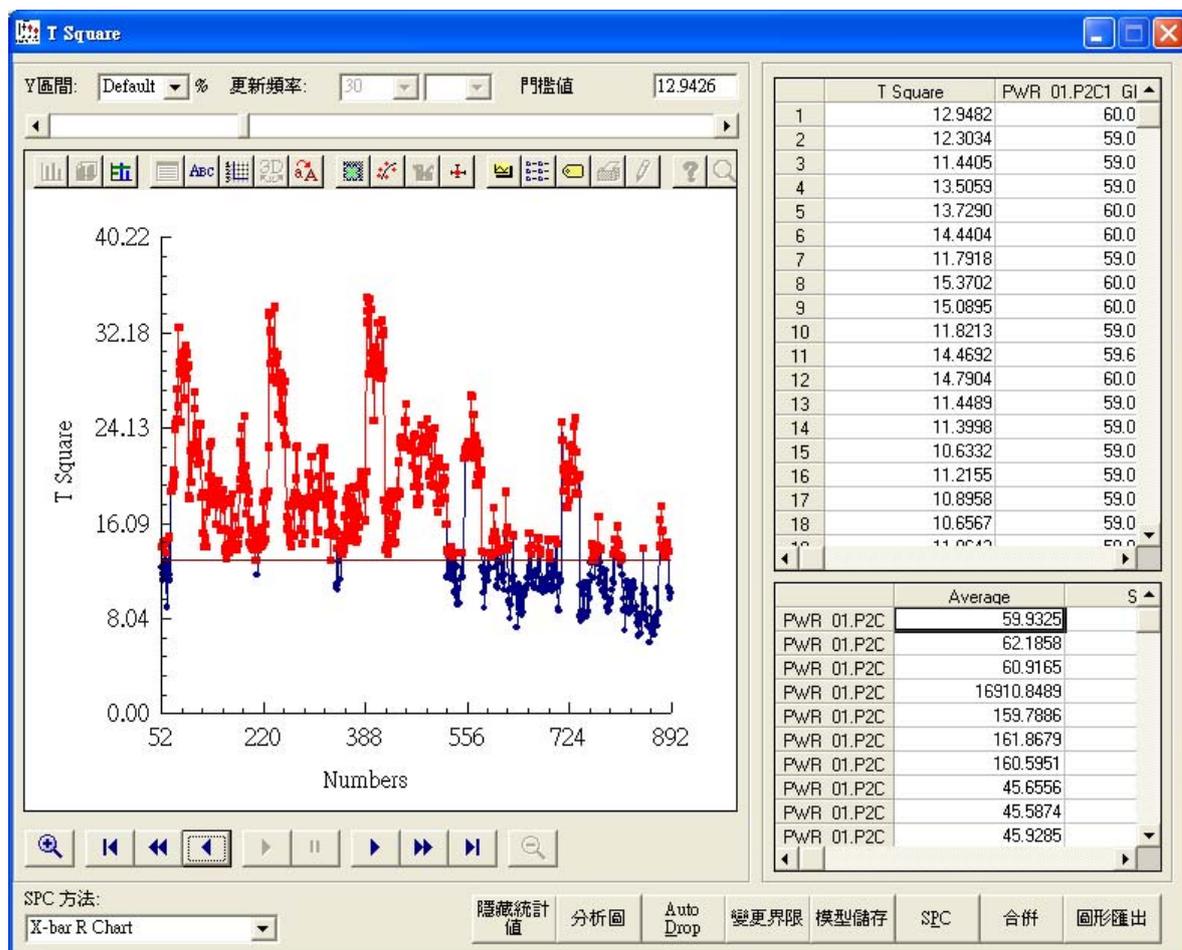


圖 33 T² 管制圖分析 TR1 變數資料之異常情形

(2)從線上重新採集 TR1 變數進行資料，進行 SPC 模型進行檢定，發現都沒有超界，如圖 34 所示。

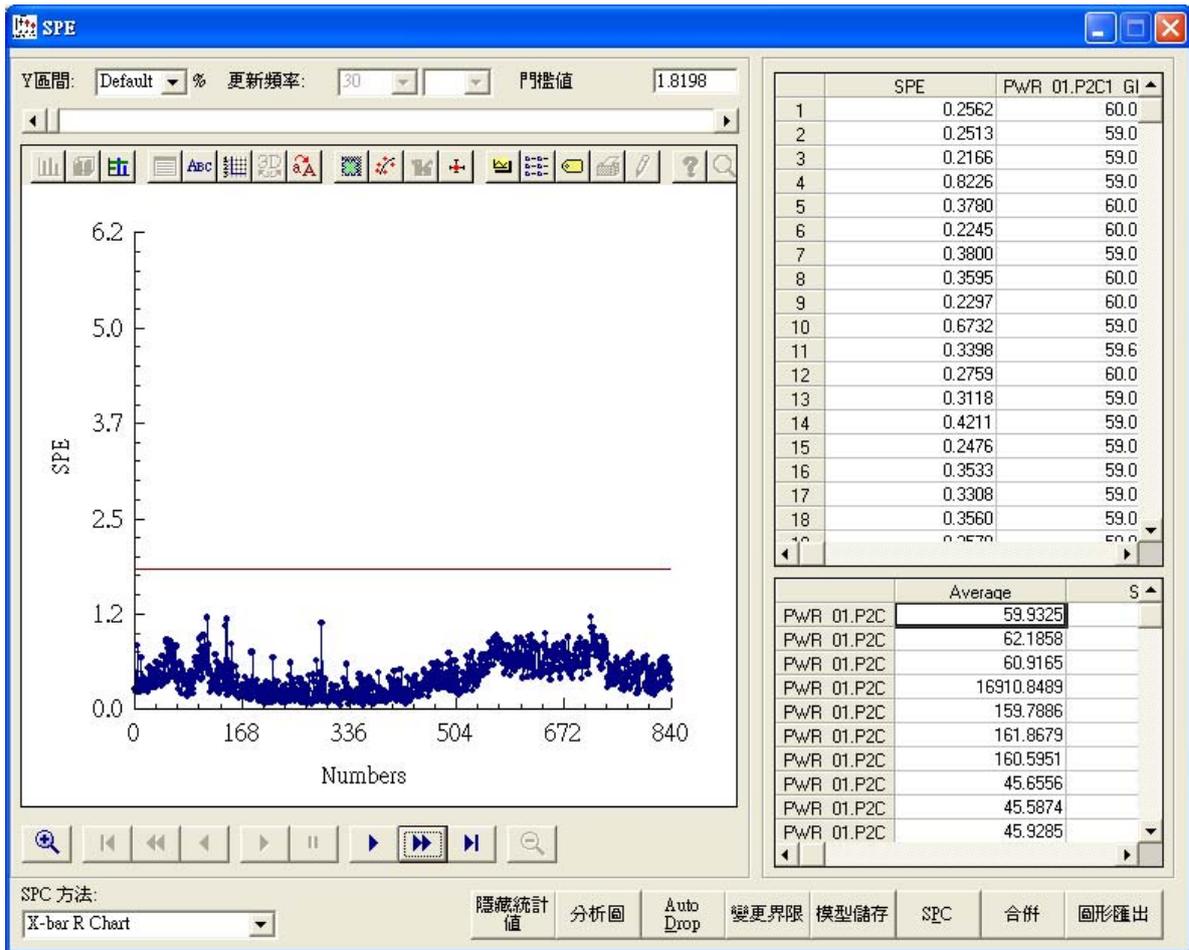


圖 34 SPC 管制圖分析 TR1 變數資料之異常情形

(3)藉由長時間範圍之數據所建之 MSPC 模式，可有效偵測電流、功率、線圈溫度與油溫之異常現象，由此模式之 Loading Plot 可看出外氣溫度與線圈溫度、油溫具有密切關係。由於 TR1 之電流與功率之操作值仍經常改變，因此 T^2 管制圖並不適用，但仍可以 SPC 管制圖監控。最後，將 T^2 與 SPC 兩管制圖偵測模型發出警報之狀況整理，結果整理如表 7。

4.5.3 SPC 建模分析 TR2 電壓數據分析

將測試資料匯入，選擇三個主成分，進行 SPC 建模分析。將顯著水準變更為 0.005 進行模型檢定，檢定結果如圖 35 所示。

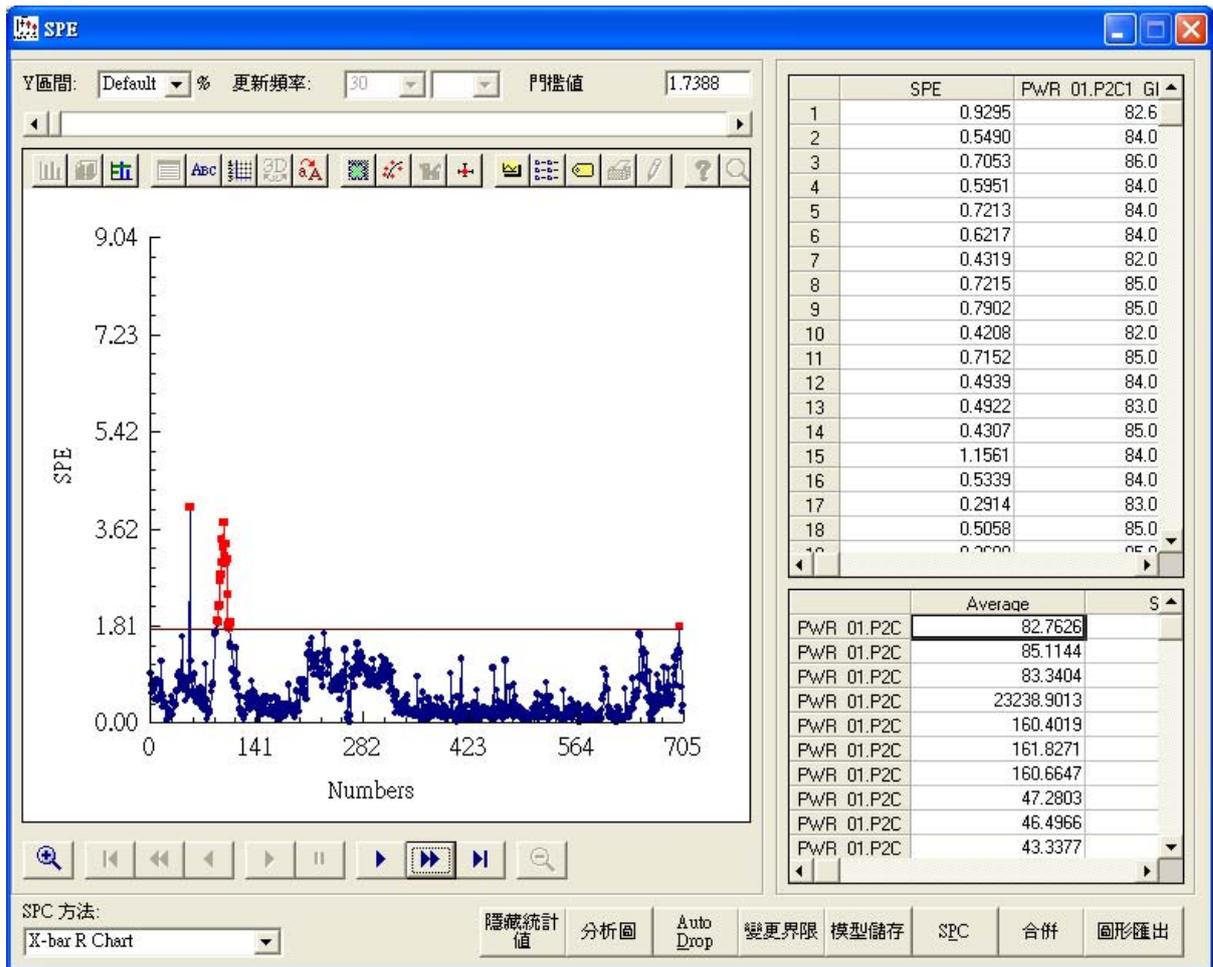


圖 35 以顯著水準 0.005 進行 SPC 模型檢定測試資料

以 SPC 模型進行異常點分析，發現在 2006 年 1 月 2 日 19:00:00 至 2006 年 1 月 3 日 APCSuite 監控系統發出異常警報，分析發出警報之原因主要是電流、線圈溫度、及油溫異常所造成。

將 TR2 壓降時期作為測試資料進行分析如下：

(1)將 TR2 資料，拿來用 T^2 進行分析，發現在 2006 年 4 月 4 日 15:29:00 至 2006 年 4 月 4 日 15:58:00 期間偵得異常，如圖 36 所示，在此期間發生電流及功率異常。

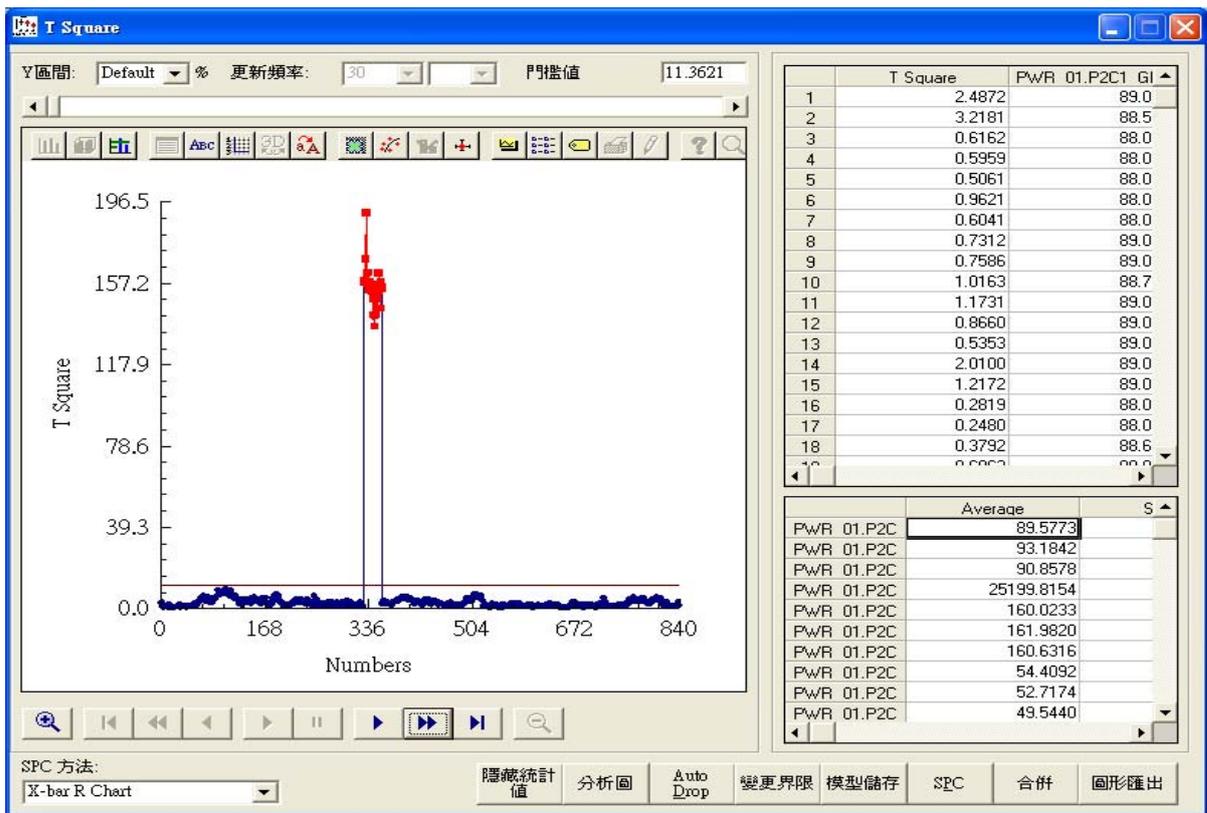


圖 36 T^2 管制圖分析 TR2 變數資料

(2)將 TR2 變數資料，拿來用 SPC 方法亦可以在 2006 年 4 月 4 日 15:29:00 至 2006 年 4 月 4 日 15:58:00 期間偵得異常，如圖 37 所示，其異常原因也顯示發生電流及功率異常。

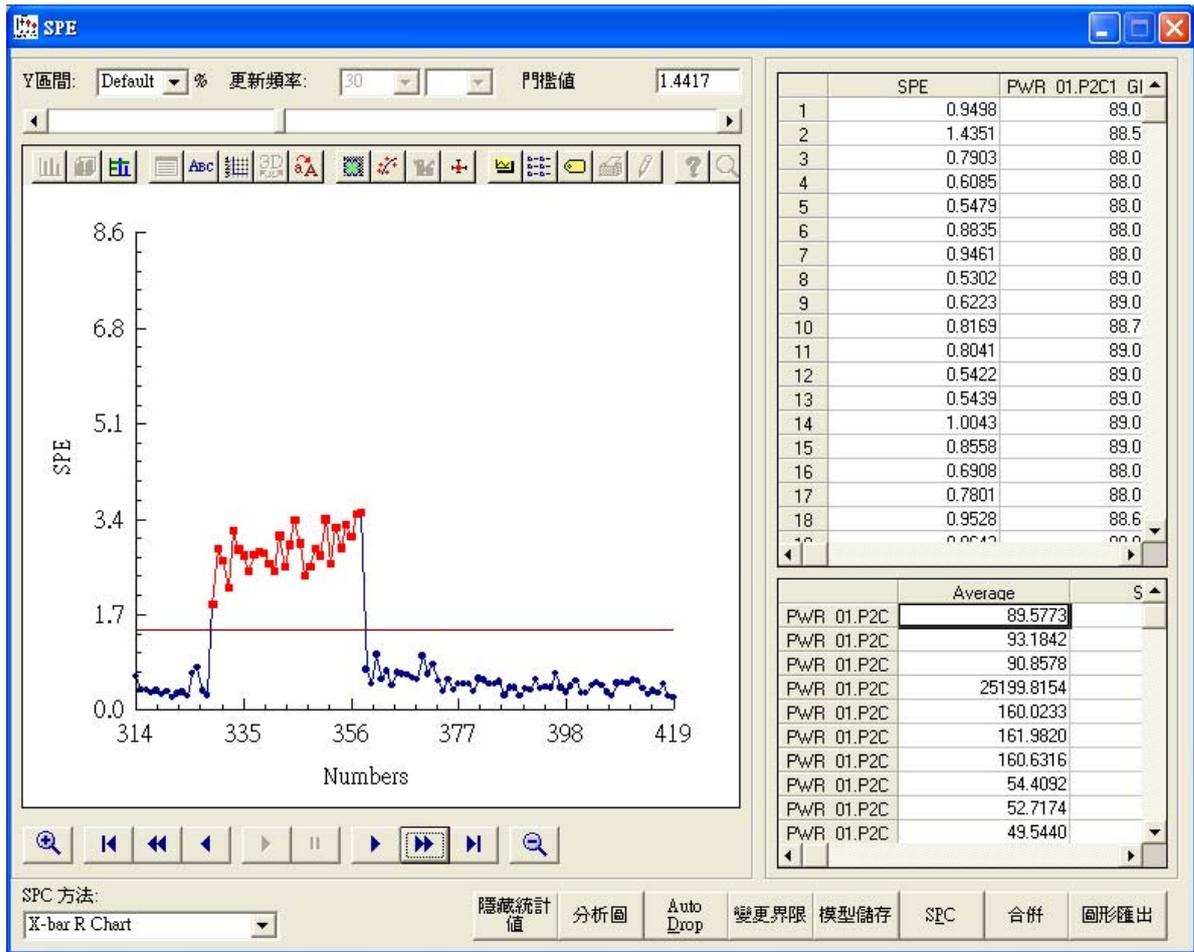


圖 37 SPC 管制圖 TR 變數資料

以圖 36 與圖 37 兩圖之結果顯示 T^2 與 SPC 兩管制圖進行模型分析，兩管制圖同時在 2006 年 4 月 4 日 15:29:00 至 2006 年 4 月 4 日 15:58:00 期間，APCSuite 監控系統偵得異常警報，造成警報之原因為電流及功率異常，分析結果整理，如表 8 所示。

表 8 T² 建模分析與檢定結果

建模數據	變數(TR2)	測試組	結果
94 年 7,8,11,12 月	I, Kw, V, T, T _{air}	95 年 1 月	<ol style="list-style-type: none"> 1. T² 圖於 2006 年 1 月 2 日 17:30:00~2006 年 1 月 3 日 08:00:00 偵得異常 2. T² 圖於 2006 年 1 月 17 日 02:30:00 開始出現較為頻繁之警報 3. SPE 圖於 2006 年 1 月 2 日 19:00:00~2006/01/03 04:00:00 偵得異常

由以上分析結果可得知，本研究運用 T²、SPC 及主成分分析法來開發 APCSuite 之先進製程管制平臺系統，系統能準確發出異常電力品質警報，藉由工程師專業判斷，可以清楚得知 GIS, TR1 與 TR2 變數間問題生之原因，可做為現場危機處理及電力緊急調度，以平衡廠區電壓，以減少機台因電壓不穩而產生當機或跳電之危機。

4.6 小結

分析案例為 GIS, TR1 與 TR2 三個變數之相關數據分析，分析變數包括 TR1 與 TR2 之 Ia、Ib、Ic、Kw、Va、Vb、Vc、HT、LT、OT 與外氣溫度

之 MSPC 分析，透過變數之間的關係來找出外氣溫度對 HT、LT 與 OT 之間關係。預測與建模分析數據以每 30min 取樣一次，時間包括：94 年 7、8、11 與 12 月份與 95 年 1/1 ~ 1/23，但是育有壓降時期採取每 1min 取樣一次，發生期間為 95/04/04 10:01 ~ 95/04/05 03:00，共發生兩次壓降，兩次時間點為 4/4 14:29 隨後 TR2 之 I、Kw 有下降現象及 4/5 00:49 I 與 Kw 並未伴隨下降，但在 TR1 之 I、Kw 皆未伴隨下降。在分析建模前將 94/07 數據先刪除，原因為 TR1 電流較高時期（約 7/5 05:30 前）與壓降現象時期（約 7/17 16:00 ~ 7/19 08:30）





第五章 結果與後續研究

5.1 結論

T^2 為目前最普遍使用的多變量管制圖，但當被監控之變數發生異常時，無法辨識出異常是由哪個或哪些變數所造成，通常須透過主成分分析來找出異常發生之變數。在本研究針對 GIS, TR1 及 TR2 電壓品質分析，所得之綜合結果如下：

- (1) GIS 電壓品質分析： T^2 管制圖能有效偵測壓降現象，但是，針對趨勢下降之壓降現象，SPC 管制圖較為靈敏偵測變數間之關係改變情形，但是，容易產生過多誤警情形。但能比 T^2 管制圖更早發出預警機制。另外， T^2 管制圖可立即偵得速移之壓降現象，SPC 管制圖則否。
- (2) 以 TR1 電壓品質之數據所建之 MSPC 模式，能有效偵測電流、功率、線圈溫度與油溫之異常現象。由於 TR1 之電流與功率之操作值仍經常改變，因此 T^2 管制圖並不適用，但可用 SPC 管制圖進行監控。
- (3) 以 TR2 電壓品質之數據所建立之模型， T^2 與 SPC 兩管制圖進行模型分析，可同時偵得異常警報，且發生之原因為電流及功率所造成之異常。
- (4) 外氣溫度改變對線圈溫度、油溫皆有影響，但有時間延遲效應，其影響約於 4.5~6.5 小時後達最大。

(5) 外氣溫度與線圈溫度與油溫之關係會隨時間、外氣溫度範圍及電流大小而改變。

為了改善 APCSuite 監控系統誤警之發生次數可以採用以下兩種方式，

(1)降低顯著水準 α ，但是管制界限提高，偵測能力隨之下降、與(2)以每分鐘監視一次，連續二或三點超過管制界限再發警報，此法偵測能力僅微幅下降較建議使用。最後，以本研究所建立 APCSuite 監控系統之多變量管制圖之監控模式，可有效監控與預警電壓之變化，並能以最少之誤警，提供現場工程師作為狀況處置之研判，提升工程師之工作效率。



5.2 後續建議

本研究開發 APCSuite 監控系統之多變量管制圖之監控模式，來監控廠區內之電壓品質，此系統並未做到預測與專家決策。在預測部分建議可以運用類神經網路及灰色預測來構建預測模式。在專家決策部分，可以開發人工智慧系統，當預測電壓產生異常時，可精確發出異常警報，並提供異常發生的原因及處理對策，減少線上工程師判斷異常原因或產生誤判，而導致廠區內跳電，造成嚴重之損失，也可達到節能減碳的效果。

參考文獻

一、中文文獻

1. 王富恩，「長鞭效應在不同需求型態下關鍵影響」，國防管理學院，碩士論文，民國 91 年。
2. 王瓊敏，「電腦關鍵零組件之價格預測模式」，國立中央大學，碩士論文，民國 88 年。
3. 江榮城，電力品質實務(一)，全華科技圖書股份有限公司，2000。
4. 吳淑瓊，「焦點團體研究法」，研考雙月刊，第十六卷第一期，民國 81 年，頁 44-50。
5. 吳漢雄、鄧聚龍、溫坤禮，灰色分析入門，高立圖書有限公司，第一版，民國 85 年。
6. 林家宏，「電力系統適應性故障診斷及電力品質偵測之研究」，國立中山大學，博士論文，民國 93 年。
7. 林進財、王淑滿、江長慈，「台灣地區海上航行員人力供需問題之研究」，交大管理學報，第十九卷第二期，民國 89 年，85-101 頁。
8. 洪欽銘、李龍鏞，「台灣地區高職教師人數需求之灰色預測模式」，研究教育資訊，第四卷第三期，民國 85 年，104-119 頁。
9. 胡幼慧，焦點團體法，臺北：巨流出版社，民國 85 年。
10. 納谷嘉信，方針管理，先鋒企管，2003。
11. 納穀嘉信，研究開發與 TQC：研究發展的管理實務，中國生產力中心，1990。
12. 張文英、林恆德、陳耀武、段建華、吳光超、賴政宏，「電力變壓器故障診斷專家系統之開發研究」，台電工程月刊第 551 期，71-86 頁，1997。
13. 梁賢達、劉仁昌，「北市高職畢業生發展趨勢之灰色預測」，南港高工學報，第十六卷，民國 87 年，131-143 頁。
14. 許巧鶯、溫裕弘，「應用灰色預測與灰色聚類於航空公司航線運量預測與型態設計」，模糊系統學刊，第四卷第二期，民國 87 年，51-62

頁。

15. 許哲強、賴正文、陳家榮，「臺灣地區區域需電預測—改良型灰色殘差修正模型之應用」，能源季刊，第三十卷第三期，民國 89 年，43-57 頁。
16. 陳弘旭，「營造業就業人口之灰色預測」，高苑學報，第六卷第二期，民國 86 年，327-331 頁。
17. 陳啟斌、林進財、張哲維、何正斌，「灰色關聯分析應用於解田口方法多重品質特性問題」，技術學刊，第十五卷第一期，民國 89 年，頁 25-33。
18. 陳啟斌和林進財，「多重品質特性之製程最佳化」，科技管理學刊，第 7 卷第 1 期，民國 91 年，頁 19-36。
19. 黃庭鍾，「企業因應長鞭效應之存貨政策研究--以我國主機板製造業廠商為例」，國立東華大學，碩士論文，民國 91 年。
20. 黃泰林、王小娥、陳垂彥，「灰色理論在兩岸海運貨櫃運量預測之應用」，長榮學報，第二卷第一期，民國 87 年，103-123 頁。
21. 新 QC 七大手法研究會，簡單·易懂·實用的新 QC 七大手法，先鋒企管，2003。
22. 鄧聚龍，灰色系統理論與應用，高立圖書股份有限公司，民國 89 年。
23. 鄧聚龍、郭洪，灰預測原理與應用，全華科技圖書股份有限公司，民國 86 年。
24. 謝坤民，「應用灰色預測於人壽保險投保率之探討」，高雄科學技術學院學報，第二十七卷，民國 86 年，345-356 頁。

二、英文文獻

1. Acha, E., Anaya-Lara, O., Parle, J. and Madrigal, M. “Real-Time Simulator for Power Quality Disturbance Applications”, IEEE 2000. Proceedings of the 19th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 3, 763-768, Oct. 2000.
2. Alwan, L. C., “CUSUM quality control-multivariate approach” , Communications in Statistics-Theory and Methods, 15, pp. 3531-3543, 1986.
3. Alwan, L. C., and Roberts, H. V., “Time-Series Modeling for Statistical Process Control”, Journal of Business & Economic Statistics, 6(1), pp. 87-95, 1998.
4. Anderson, P. M.; Fouad, A. A., Power system control and stability, Ames, Iowa : Iowa State University Press, 1977.
5. Bakshi, B. R. “Multiscale PCA with application to multivariate statistical process monitoring” , AIChE Journal, 44(7), PP. 1596-1610, 1989.
6. Bergen, A. R. and Vittal, V., Power System Analysis, Prentice-Hall, 1999.
7. Borrór, C. M. Montgomery, D. C. and Runger, G. C. “Robustness of the EWMA Control Chart to Non-normality”, Journal of Quality Technology, 31(3), pp. 309-316, 1999.
8. Cho, H. J. and Park, J. K. “An expert system for fault section diagnosis of power systems using fuzzy relations” , IEEE Trans. on Power Systems, 12(1), pp. 342-347, 1997.
9. Deng, J., “Control Problems of Grey Systems,” System & Control Letters, 1(5), pp. 288-294, 1982.
10. Deng, J., “Introduction to Grey System Theory,” The Journal of Grey System, 1(1), pp. 1-24, 1989.
11. Eleri, C. and Sarosh N. T., “A Distributed Expert System for Fault Diagnosis”, IEEE Trans. on Power Systems, 3(2), pp. 641-646, May, 1988.
12. Glover, J. D. and Sarma, M. Power System Analysis and Design, 1987.
13. Goel, A. L. and Wu, S. M. “Determination of A.R.L. and a Contour Nomogram for CUSUM Charts to Control Normal Mean” ,

- Technometrics, 13, pp.1-12, 1971.
14. Graninger, J. J. and Stevenson, W. D. Power system Analysis, McGraw-Hill International Editions, 1998.
 15. Hamilton, M. C. and Crowder, S. V. “Average Run Lengths of EWMA Control Charts for Monitoring a Process Standard Deviation”, Journal of Quality Technology, 24(1), pp. 44-50, 1992.
 16. Harris, T. J., and Ross, W. H. “Statistical Process Control Procedures for Correlated Observations”, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 69, pp. 48-57, 1991.
 17. Hsu, Y.Y., Lu, F.C., Chien, Y. Liu, J.P., Lin, J.T., Yu, H.S. and Kuo, R.T. “An Expert System for Locating Distribution System Faults”, IEEE Trans. on Power Delivery, 5(2), pp. 366-371, April, 1990.
 18. Kourti, T. and MacGregor, J. F., “Multivariate SPC methods for process and product monitoring”, Journal of Quality Technology, 28(4), pp. 409-428, 1996.
 19. Krueger, R. A., “The Future of Focus Group,” Qualitative Health Research, 5(4), pp. 524-530, 1995.
 20. Lee, H. J., Ahn, B. S. and Park, Y. M. “A Fault Diagnosis Expert System for Distribution Substations”, IEEE Trans. on Power System, 15(1), pp. 92-974, January, 2000.
 21. Logothetis, N and Haigh, A., “Characterizing and Optimizing Multi-response Process by the Taguchi methods”, Quality and Reliability Engineering International, 4(2), pp.159-169, 1988.
 22. Lucas, J. M. “Combined Shewhart-CUSUM quality control schemes”, Journal of Quality Technology, 14(1), pp. 51–59, 1982,.
 23. Lucas, J. M., and Saccussi, M. S., “Exponentially Weighted Moving Average Control Charts: Properties and Enhancements”, Technometrics, 24, pp. 216-231, 1992.
 24. Margan, L. D., Focus Groups as Qualitative Research, Californai: SAGE Publications Inc, 1996.
 25. Mason, R. L. and Young, J. C., “Improving the sensitivity of the T^2 statistic in multivariate process control”, Journal of Quality Technology, 31(2), 1999.
 26. Merton, R. K., Fiske, M. and Kendall, P. L., The Focused Interview: A Manual of Problems and Procedures, 2nd Ed., New York: The Free Press,

1990.

27. Montgomery, D. C., and Mastrangelo, C. M. "Some Statistical Process Control Methods for Autocorrelated Data", Journal of Quality Technology, 23(3), pp. 179-204, 1991.
28. Nelson, L.S. "The Shewhart Control Chart: Tests for Special Causes" , Journal of Quality Technology, 16, pp. 237-239, 1984.
29. Oyama, T. "Fault Section Estimation in Power System Using Boltzmann Machine", Proceedings of Second Forum on Artificial Neural Network Applications to Power Systems (ANNPS'93), Japan, pp. 1-7, 1993.
30. Page, E. S., "Continuous inspection schemes", Biometrika, 41, pp. 100-114, 1954.
31. Pgnatiello, J. J. and Runger, C. C., "Comparisons of Multivariate CUSUM Chart" , Journal of Quality Technology, 22(3), pp. 173-186, 1990.
32. Ranasweera, D. K. "Comparison of neural network models for fault diagnosis of power systems", Electric power systems research, 9(2), pp. 99-104, 1994.
33. Rencher, A. C. "The Contribution of Individual Variables to Hotelling's T^2 , Wilks' and R^2 " , Biometrics, 49, 479-489, 1993.
34. Roberts, S. W., "Control chart tests based on geometric moving averages", Technometrics, 1, pp. 239-250, 1959.
35. Santoso, S., Powers, E. J. and Grady, W. M. "Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Method", IEEE Trans. on Power Delivery, 12(3), pp. 1250-1255, 1997.
36. Stewart, D. W. and Shamdasanti, P. N., Focus Groups- Theory and Practice, Sage Publications, Inc., 1990.
37. VanBrackle, III, Lewis N. and Reynolds, Jr., Marion R. "EWMA and CUSUM Control Charts in the Presence of correlation" , Commun.Statist. Simula, 26, pp. 979-1008, 1997.
38. Yang, C., Yokoyama, A. and Sekine, Y. "Fault section estimation of power system using color time Petri nets", Proc. 4th Syrup, Ewert System Applications to Power Systems (ESAPS), Melbourne Australia, pp. 321-326, 1993.
39. Yang, H. T. and Huang, C. L. "Power System Distributed On-Line

Fault Section Estimation Using Decision Tree Based Neural Nets approach”, IEEE Trans. on Power Delivery, 10(1), pp. 540-546, January, 1995.

