

國立交通大學

工學院永續環境科技學程



半導體廠空調系統節能效益分析
以十二吋 DRAM 廠為例

Performance Analysis of Energy Saving for Semiconductor
Firms with 12 Inch DRAM Fabrication

研究生：黃明德

指導教授：葉弘德 教授

中華民國 101 年 4 月

半導體廠空調系統節能效益分析
以十二吋 DRAM 廠為例

Performance Analysis of Energy Saving for Semiconductor
Firms with 12 Inch DRAM Fabrication

研究生：黃明德 Student : Ming-Te Huang

指導教授：葉弘德 Advisor : Hund-Der Yeh



國立交通大學
工學院永續環境科技學程
碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Environmental Technology for Sustainability

College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science

In

Environmental Technology for Sustainability

Apr 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 4 月

半導體廠空調系統節能效益分析 - 以十二吋 DRAM 廠為例

學生：黃明德

指導教授：葉弘德

國立交通大學工學院永續環境科技學程

摘要

二十世紀發生兩次石油危機，由於能源逐漸短缺，石油費用相對節節升高，面對國內幾十年來經濟持續的成長，國民所得增加，電器使用普及造成用電成長急速增加，尤以夏季冷氣用電造成電力系統尖峰負載，平均每年尖峰負載成長高達 1,000MW 以上。此外，由於新能源開發不易與環保抗爭不斷，使得台電無法應付尖峰負載之需求，導致電力供需無法平衡，每年夏季時有限電發生，影響工業發展與民眾生活，此並非一個高度工業化國家應有的合理現象。

本研究運用統計方法，由空調主機收集各項數據，組成一個以耗電量及時間序列的多項式；經由複回歸分析、複判定係數、主成份分析、變異數分析、及共變數分析等方法，篩選出對耗電量影響較大的因子，推導出耗電量及各影響因子的多項式方程式。接著，由該方程式逐步依各因子影響力大小，配合空調主機可調整的項目，做實機數據驗證，做為空調系統節能的依據。

關鍵字: 空調、統計、複回歸分析、複判定係數、主成份分析、變異數分析、共變數
分析、節能

Performance Analysis of Energy Saving for Semiconductor Firms with 12 Inch DRAM Fabrication

Student : Mingte Huang

Advisor : Hundder Yeh

Degree program of Environmental Technology for Sustainability

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

The 20th century have two times oil crises ,due to gradual shortage of the energy ,the oil price relative elevates successively ,face domestic for decades fears to economic continued of growth ,the national income increased and electrical using universal caused electricity growth rapid increase ,especially to summer air-conditioning electricity caused power system peak load ,average annual peak load growth up to 1,000MW above and new energy development is not easy to and environmental protest constantly ,makes power insufficient to meet tip peak load of demand ,lead power supply and demand cannot balance ,brownouts occur when each summer affecting industry development and people's lives ,this is not a highly industrialized state .

This study used statistical methods various data collected by air-conditioning main frame ,compose the time series and power consumption polynomials and use methods by multiple regression analysis(MRA) ,coefficient of multiple determination (CMD) ,principal component analysis (PCA) ,analysis of variance (ANOVA) ,analysis of covariance (ANCOVA) etc. screen out significant impact on power consumption factor .derived electricity consumption and the impact factor of the polynomial program .then gradually according to various factors influence the size from the party program ,combined with adjustable air-conditioning host projects ,solid data verification ,as a basis for energy saving in air-conditioning system .

Keywords: Air-conditioning 、Statistic 、MRA 、CMD 、PCA 、ANOVA 、ANCOVA 、Energy Saving.

誌謝

在風城求學合計共有十三個年頭，尤其在最後研究所的階段，除了感謝恩師葉弘德教授細心的指導之外，大華技術學院的周正晃副教授、工研院能環所翁博士及楊博士，均對本研究提供非常多具有價值的建議，讓本研究可以如期完成。

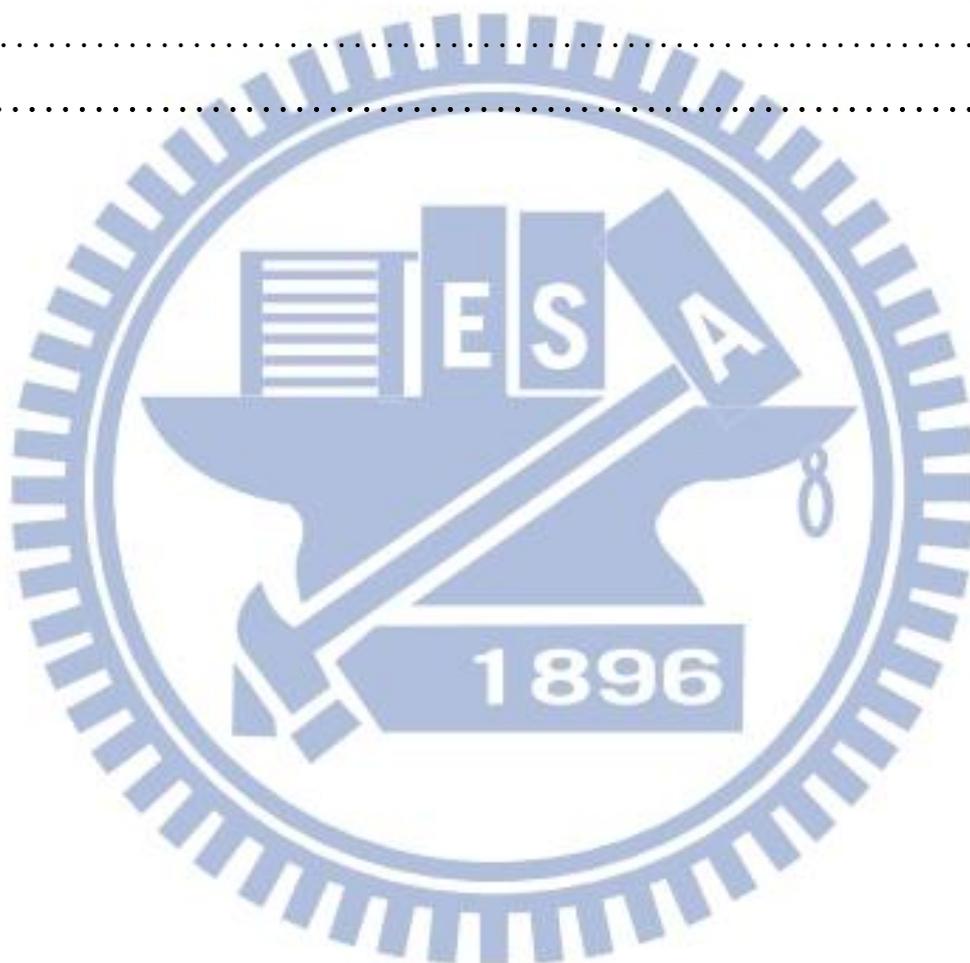
前幾年經歷百年難得一見的金融危機，工作地點亦由風城移轉到台中；在舟車往返的艱難情況下，獲得內人愉絮、可愛乖巧的小女映瑄及家人的強力支持與照料，讓我能盡力完成學業。公司同仁部份；尤其感謝廠務處電力、空調部門的李清諒、謝緯詮兩位副理，在數據與實機驗證上幫忙甚多。加上 Michelle 及 Yen 在精神上的鼓勵；及多位同窗好友(旭峰、家中、宗信與淑慧..等等)互相扶持與砥礪，相信在未來的職場生涯上，可以更上層樓。



目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 國內外政府之能源策略.....	3
1.2.1 歐盟相關政策.....	3
1.2.2 美國相關政策.....	4
1.2.3 日本政府相關政策.....	5
1.2.4 政府相關節能政策.....	6
1.2.5 國內能源供需現況.....	7
1.3 研究目的.....	9
1.4 文獻回顧.....	9
1.5 研究範圍與方法.....	11
1.6 研究流程與架構.....	12
第二章 冷凍空調暨統計原理	13
2.1 冷凍空調系統簡介.....	13
2.1.1 空調系統基本原理.....	13
2.1.2 空調系統構造－冷凍.....	14
2.1.3 空調系統構造－機械式冷凍循環.....	16
2.1.4 空調系統於節能中所扮演的角色.....	17
2.2 統計原理及方法.....	19
2.2.1 統計原理.....	19
2.2.2 統計方法.....	22
第三章 研究方法	24
3.1 研究對象.....	24
3.2 研究方法.....	24
3.3 正常模式運轉條件及數據量測.....	24
3.4 數據處理方法.....	25

第四章 數據分析及預期效益分析	27
4.1 繪製並觀察因變數與自變數關連圖	27
4.2 複回歸計算	28
4.3 主成份分析	29
4.4 最佳化子集分析.....	30
4.5 回歸方程式的預測與分析.....	31
4.6 節能計劃之效益分析	32
第五章 結論與建議	33
5.1 結論.....	33
5.2 建議.....	34
參考文獻	36



表目錄

表 2-1 台灣電力公司住宅用電年統計資料.....	39
表 4-1 相關係數表.....	40
表 4-2 變異數分析表.....	41
表 4-3 PCA 分析表.....	42
表 4-4 最佳化子集分析結果表.....	43
表 4-5 四個變數複回歸分析結果.....	44
表 4-6 節能試算表.....	45



圖目錄

圖 1-1 冰水主機耗能佔 12 吋 DRAM 廠使用能源百分比	46
圖 1-2 研究架構	47
圖 2-1 水的熔化及蒸發潛熱	48
圖 2-2 空調系統的組成與功能	49
圖 2-3 基本冷凍循環圖	50
圖 4-1 耗電量與外氣溫度關連圖	51
圖 4-2 耗電量與水塔溫度關連圖	52
圖 4-3 耗電量與相對溼度關連圖	53
圖 4-4 耗電量與外氣焓值關連圖	54
圖 4-5 耗電量與露點溫度關連圖	55
圖 4-6 耗電量與 9°C 冰水溫度關連圖	56
圖 4-7 耗電量與 5°C 冰水溫度關連圖	57
圖 4-8 變異數分析圖	58
圖 4-9 PCA 分析	59
圖 4-10 殘差值的直方圖	60
圖 4-11 殘差值的 NORMPLOT	61
圖 4-12 殘差值的散佈圖	62
圖 4-13 觀測耗電量與回歸式估算耗電量比較圖	63
圖 4-14 提高 0.5°C 節能比較圖	64

第一章 緒論

1.1 研究緣起

自兩百多年前的工業革命以後，藉由燃燒煤炭產生動力的蒸汽機，大量地取代勞力。隨著工業化及都市化的發展，能源(energy)使用量愈來愈大，從日常生活即可看出對能源有密不可分的關係；各種產品，包含吃的、用的、消費性的產品，從原料的開採（機器設備）、製造過程（機器設備、廠房維護）、成品銷售（保存、運輸）、及產品棄置（機器設備、運輸），均使用到電力及燃料。而電力及燃料的來源，可分為傳統的木材、煤炭、石油、核能及目前發展中的各種綠色能源。

能源是社會繁榮及經濟發展的原動力，且與人類文明有著密不可分的關係，能源是工業的根本、經濟的動力和運輸的泉源。由此可知，能源和我們的生活是息息相關。能源最容易使用的方式為電能，而產生電能的電廠，則絕大部份是以燃燒化石燃料為主。傳統的化石燃料，如煤炭、石油及天然氣等礦產，是古代植物的殘骸，經過數億年長時間受到細菌的生物作用，以及地殼變動、環境高溫、高壓等因素，使這些物質經過煤化、液化作用轉變成的。固態煤主要由古代植物所衍化而成，石油主要來自動物遺骸，天然氣則是動植物遺骸分解時，所產生的小分子碳氫化合物揮發性物質。

石油是屬於黏稠性的液態能源，成分極為複雜。含有上千種的碳氫化合物，主要是烷類(包括直鏈、支鏈及環狀的烷類)和一些芳香烴類，以及各種不定比率的氧、氮及硫化合物，另有微量溶液狀之有機金屬化合物及懸浮膠狀的無機鹽類。剛開採的石油，其用途極為有限，必須經過分餾，才能發揮其經濟效益。原油的分餾是依據各主要成分的沸點作為分餾標準，其分餾產物有石油氣、石油醚、汽油、煤油、柴油、潤滑油和柏油等。原油經分餾後，只能產製 20~25%

之汽油，不僅數量不敷使用，而且品質也不能滿足高壓縮比引擎的要求，所以必須經由裂煉(cracking)、重組(reforming)、異構化(isomerization)、烷基化(alkylation)及聚合(polymerization)等程序，達到增量及改質的目的。化石能源屬耗竭性資源，依據 2010 年英國石油公司統計資料顯示，若以目前的開採速度估計，石油尚有 45.7 年的可開採，天然氣尚有 62.8 年，煤炭的可開採年限最長為 119 年。這些經過至少三億年才生成的化石能源礦產，可能在本世紀末就完全開採殆盡！石油在使用上除了取得較容易外，其缺點是燃燒時會釋放出二氧化碳造成全球氣候變遷，也會釋放出其他化學物質，如硫氧化物和氮氧化物，不但汙染空氣，也會傷害人類、作物、樹木、魚類和其他野生物。儲油槽的滲漏會引起水污染，而且開採石化物伴產的鹽水，若回注水井也會污染地下水。其他諸如核能發電具有放射性污染風險，其核廢料需經百年以上儲存，才能降低其危害；水力及風力發電則有地區性問題，太陽能發電目前則受限於成本偏高。

面對逐漸匱乏的化石能源，惟一的對策就是開源與節流。在開源部份，發展乾淨的能源（例如風力發電、洋流或潮汐發電、太陽能發電等）是目前的趨勢；例如歐洲許多國家藉由政府補貼的方式，發展太陽能發電。德國的風力發電廠裝置容量目前為世界第一，年發電量逾 400 億度；丹麥是世界上風力發電廠最為普及的國家，同時也是全世界風力發電量佔該國整體發電量比例最高的國家（高於 20% 以上）。而節流部份，小至個人，大至公司行號、大型政府機關，均可透過一些小小的改善，以積少成多的方式來節省能源。

根據台電 2008 年的資料顯示，平均一年用電的最高尖峰達 1,443 萬 kW/hr 中，約有 1/3 即 480 萬 kW/hr 為空調設備所消耗的。其中，冰水機組在能源效益上間接地影響到整體冷凍空調或製程冷卻的能源效率。王(2002)針對半導體廠耗能調查所做的統計，半導體廠耗能比例，其中廠務系統耗能佔整廠的 56.6%，製程設備則佔 40.4%，其他公共區佔 3%；而空調系統約佔全部耗能的 40% 是最大的部分。陳(2008)、吳(2006)於用電管理及空調系統研究中指出，空

調系統中以冰水主機 (Chiller Unit) 的耗能佔 24% 最為可觀，如圖 1-1 所示，從此部份著手，相信對節省能源會有相當大的助益。

1.2 國內外政府之能源策略

1.2.1 歐盟相關政策

歐洲聯盟(以下簡稱歐盟)27 個會員國家，自 2007 年 11 月共同訂定能源政策目標(20-20-20 by 2020)，亦即到 2020 年時，能源效率提升 20%、清潔再生能源占比 20% 以上，CO₂ 排放量降至 1990 排放量再減排 20%。為達成此項目標所採行的策略，有下列三項：

一、2007 年 11 月起，推動「歐盟策略能源科技計畫(EU Strategic Energy Technology Plan ; SET-Plan)」，包括：

- 1 集中歐盟國家資源，支援達成目標的科技研究。
- 2 燃煤與燃氣電廠利用碳捕獲與封存技術(2020 年前完成)。
- 3 第二代生質燃料、太陽光電、大規模離岸風力發電、氫燃料電池(再生能源占比 20% 以上，生質燃油占比 10% 以上)。
- 4 第四代核能電廠技術、核融合。
- 5 交通、家電與工業系統節能技術。

二、繼續推動 2006 年 10 月起推動之「能源效率行動計畫(Energy Efficiency Action Plan)，目標為至 2020 年節約能源 20%，相關的項目為

- 1 運輸：高燃油效率車、大眾運輸工具、推廣生質燃油。
- 2 家電：提高能源效率標準、加強標示、部分電器施行強制性能源效率標準。
- 3 建築：改善歐盟建築建材能源效率、修正建築技術規則。

4 提高發電效率與輸配電效率。

5 提供「競爭與創新計畫基金(CIP)」7.2 億歐元(2007 年~2013 年)，並支持智慧型歐洲能源計畫。

三、歐盟欲達成 2020 年之目標，未來 10 年面臨的技術挑戰如下：

1 第二代生質燃料需能取代傳統化石燃油，且其生產過程需為永續生產。

2 促進碳捕獲與封存技術之商業化與應用，需經由工業級規模之示範與系統效率等研究。

3 最大型風機之發電量需加倍，並率先應用於海域風機。

4 大型光電及聚光型太陽發電系統之商業化示範。

5 建構單一與智慧型歐洲電力網，進行大規模整合再生能源與分散式能源系統。

6 擴大建築、運輸與工業等部門之節能產品與系統市場。

7 維持核分裂技術之競爭優勢，核廢料處理的長程解決。

1.2.2 美國相關政策

美國歐巴馬總統上任後，即制訂非常積極的能源政策，加速投資環境友善的能源發展與應用，並強調需仰賴技術解決能源與環境問題，預定未來 10 年內投入 1,500 億美元推動清潔能源計畫（為目前經費的 2 倍），推動政策方向如下：

1. 發展下一代生質燃油及燃油設施。
2. 加速複合動力車之商業化。
3. 發展商業化級規模的再生能源。
4. 推動數位化電力網。
5. 推動燃煤低碳技術之商業化與應用。

6. 提高能源效率，2030 年全國能源密集度改善 50 %。

美國新政府的能源政策訂有具體之目標如下：

1. 電力結構：再生能源比例 2012 年 10%；2025 年 25%。
2. 運輸部門：6 年內至少 100 萬輛 150 哩/加侖的插入式電動車在美國道路運行；2025 年以前，車輛燃油效率提高一倍。
3. 能源效率：至 2030 年總體能源效率提高 50%。
4. 對外依賴：10 年內停止美國進口石油。
5. CO₂ 排放：2050 年 CO₂ 排放降至 1990 年排放量之 80%。
6. 其他：發展外海油田鑽探、二次採油(EOR)、碳捕獲與封存、核能等。

美國能源部規劃之推動清潔能源計畫「溫室氣體變遷技術計畫」，係以成立內閣階層之政策指導與評估機制，整合十餘個政府單位共同規劃與協調分配資源，計畫包括再生能源、輸配系統、能源效率、核融合、核能、碳捕獲封存、清潔化石料、及氫與燃料電池等，另外亦推動相關示範計畫與應用計畫。

1.2.3 日本政府相關政策

日本能源政策的主軸以往著重於石油所衍生的問題，強調節約能源與替代石油能源。惟近年來溫室氣體減量相關課題，頗受國際間矚目，2007 年 4 月日本政府提出「Cool Earth 50」計畫，針對全球 2050 年溫室氣體排放減半之目標，認為只利用目前已發展之技術是無法達成，必須開發創新技術才有機會達到溫室氣體排放減半之目標。

日本「Cool Earth—Innovative Energy Technology Program」目前著重於供應端與需求端之效率提升與低碳技術之發展，已選定 21 項優先發展的技術，分下列五項：

- 1.發輸配電：(1)高效率燃氣電廠、(2)高效率燃煤電廠、(3)碳捕獲封存技術、(4)創新光電技術、(5)新核電技術、(6)高效率超導體輸電。
- 2.運輸部門：(1)智慧型運輸系統、(2)燃料電池車、(3)插入式複合動力車/電動車、(4)運輸用生質燃料生產技術。
- 3.工業部門：(1)創新材料生產與加工、(2)創新鋼鐵製程技術。
- 4.住商部門：(1)高效率住宅與建築、(2)下一代高效率照明、(3)定置型燃料電池、(4)超高效率熱幫浦、(5)高效率資訊元件與系統、(6)住宅能源管理系統/建築能源管理系統/區域能源管理系統。
- 5.其他：(1)高性能能源電能儲存技術、(2)電力電子技術、(3)氫能生產運輸儲存技術。

1.2.4 政府相關節能政策

經濟部能源局於 2005 年起編撰「能源科技研究發展白皮書」，並定期修訂發行，以介紹台灣能源技術發展現況，包括政府政策目標、各界有關能源科技推動現況與研發動向、發展策略及重要課題。將永續、安全、效率及潔淨作為核心目標，整合當前國內外能源環境，再經由調合三 E 發展、推動無悔策略、提高自主能源、加強區域合作、強化價格機能、提升能源效率、擴張科技能量及協助潔淨產業等方式，以達成能源安全、環境保護及產業競爭力之三贏和二氧化碳減量之目的。

行政院於 2008 年 6 月通過「永續能源政策綱領」，建構高效率、高價值、低排放及低依賴之二高二低能源消費型態與供應系統，以達到能源、環保與經濟三贏願景。所謂二高二低的能源消費型態與供應系統，即：

- 1.高效率：提高能源使用與生產效率。未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；並藉由技術突破及配套措施，2025 年下降 50% 以上。
- 2.高價值：增加能源利用的附加價值。
- 3.低排放：追求低碳與低污染能源供給與消費方式。
- 4.低依賴：降低對化石能源與進口能源的依存力。

依據經濟部能源局於 2011 年 1 月份所發表的「99-108 年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告」中指出：

- 1.無碳再生能源，於 2025 年占發電系統的 8% 以上。
- 2.低碳天然氣使用，於 2025 年占發電系統的 25% 以上。
- 3.將核能作為無碳能源的選項。
- 4.發電系統中低碳能源占比由 40% 增加至 2025 年的 55% 以上。

其中以太陽光電、生質能、風力發電為主要推動項目，致力技術研發降低成本及提高設置誘因，並輔以其他再生能源發電，如太陽熱能、地熱、水力、海洋能、氫能等，全面有效運用再生資源，以達成 2025 年再生能源累計發電裝置容量達 845 萬瓩。以低碳能源逐步向無碳能源前進，才能永續經營。

1.2.5 國內能源供需現況

能源局統計資料顯示，國內能源供給量從 1990 年的 5,874 萬公秉油當量，成長至 2009 年的 13,806 萬公秉油當量，年平均成長率達 4.60%。然而，由於台灣自產能源匱乏，因此進口能源比例亦逐年提升，由 1990 年的 95.84% 增為 2000 年的 98.77%，2009 年更增加到 99.37%。

政府從 1980 年起，陸續自印尼、馬來西亞進口液化天然氣。以 2009 年來看，在能源總供給 13,806 萬公秉油當量中，石油比重 51.82% 為最

大，煤炭則降至 30.45%，核能發電略升至 8.72%，液化天然氣亦提高至 8.39%，而天然氣僅占 0.23%，水力發電占 0.26%。

在消費部份，由 1990 年的 5,205 萬公秉油當量增至 2009 年的 11,308 萬公秉油當量，年平均成長率達 4.17%。1990 年至 2009 年間，台灣各能源最終消費量與消費結構中，以電力為最主要之能源消費，其所占比重由 1990 年的 41.68% 逐年上升至 2009 年的 49.28%；石油產品則由 1990 年的 46.33% 逐年下滑至 2009 年的 41.35%；煤及煤產品、天然氣於 2009 年分別為 6.80% 與 2.20%。

由能源最終消費部門來看，能源消費部門(2009)約占 96.87%，而非能源消費部門 2009 年則占 3.13%。能源消費部門消費量由 1990 年的 4,989 萬公秉油當量增至 2009 年的 10,953 萬公秉油當量，年平均成長率達 4.23%，1990 年至 2009 年間台灣各部門的能源最終消費量與消費結構中，工業部門為最主要之能源耗用者；2009 年各部門能源消費結構比重仍以工業部門居首，運輸、服務業與住宅次之，而農業部門居末。

工業部門的能源消費量，由 1990 年 2,443 萬公秉油當量逐年增加至 2009 年 5,934 萬公秉油當量，年平均成長率為 4.78%，能源消費結構比重則由 1990 年 46.94% 略升為 2009 年 52.48%。而就工業部門中各產業之能源消費結構比重來看，也隨著經濟情勢的變化迭有變更。近年來，以電力電子機械業及化學材料業的能源消費大幅上昇，導致工業部門能源消費增加。其原因乃國內為全球電子零組件生產大國，從半導體晶片、液晶螢幕到手機用電子軟板等，在全球均佔有相當大的比重；而這些電子工業，除了順利地提高國內 GDP、增加可觀的外匯之外，同時也大幅增加工業部門的能源使用量。

運輸部門之能源消費比重由 1990 年 15.39% 降至 2009 年 13.16%。農業部門所耗用之能源隨農業活動式微而逐漸減少，由 1990 年 2.80% 降至 2009 年 0.89%。住宅部門所消費之能源總量由 1990 年的 11.55% 維持

平穩走勢至 2009 年僅達 11.64%，而服務業等三級產業快速擴張而日漸增加，由 9.59% 增至 11.48%。

影響能源需求量的因子，為經濟成長高低、產業結構分佈、人口成長率、氣溫變化、電價訂定政策及需求面管理等。由上述資料可知，隨著經濟成長愈來愈高，產業結構偏向工業化，國民所得增加後，為使生活更加舒適，大量使用電器產品等，均讓能源需求量逐年增加，其中以工業的能源消費量佔全體需求量的一半以上。而耗能大的電子工業中，冷凍空調佔有的比例最為可觀。

1.3 研究目的

由於廠務冰水主機系統在設計階段，一般以最嚴酷氣候條件下進行尖峰負載計算，做為選取系統容量依據，致使主機超量設計（Over Size Design）。也因此造成絕大部分冰水主機運轉時，長期處於效率較低的部分負載率（Partial Load Factor, PLF）狀態，導致性能（Coefficient of Performance, COP）降低、耗電量增高。一般來說，冰水主機廠商根據選機程式所得到之運轉效率曲線，冰水主機於負載率約 70%~80% 的情況下，具有最高效率，而非滿載時效率最高。冰水主機為中央空調系統的心臟，為中央空調系統中最主要的設備，其耗電力約佔中央空調系統耗電的 60%。因此若能提高冰水主機的能源使用效率，對降低空調使用電力及緩和夏季尖峰用電的成長，會有相當大的幫助。

1.4 文獻回顧

關於冰水主機運轉效率，近年來國內外已有相關的研究與探討。目前針對空調系統節能的文獻中，大致區分為下列三大類型：

1.修改硬體或載體，使系統增加能源效率。例如：曾(2001)規劃數位控制器之硬體架構，應用變頻器於空調控制上，輔以軟體規劃程式及中央監控系統管理，降低電力負載、達到節能目標。陳(2001)研究潔淨室外氣空調箱特性與節能，依外氣空調箱之元件特性，探討外氣空調箱之能源使用現況，從中分析出可能與可行之節能方式，主要內容包括：選定風車最佳運轉點、分析冷卻除濕回溫再冷卻除濕之相互能源耗損、探討減少潔淨空氣洩漏之要領等。黃(2001)則利用吸收式、離心式及螺旋式三種不同類型的主機，針對不同使用場所，分析並規劃出最合適的冰水主機組合，以節省能源。陳(2002)則針對壓縮機採用永磁式同步馬達，在省能及高效率的準則下，獲得最佳的控制策略。

2.藉由軟體最適化設定，降低能源損耗。Schwedler(1997)以電腦分析數據，並研發相關模擬程式，提出空調運轉最佳化的參數調整，以達到節能目的。藍(2000)利用模糊控制器結合灰色理論，配合室外溫度變化做負載預測，讓冷氣維持在最佳設定溫度。簡(2002)針對儲冰系統的控制機制（模式），建立一個數學回歸模型，應用於一般的數位控制器上，藉由試車或實測結果調整控制參數，以達到良好的控制性能，並測試應用於台灣地區之適合性。張(2003)利用模糊理論設計變頻式之空調驅動器，使室內維持在固定的溫度，並同時減少能源損耗。陳(2004)利用直接數位控制器的軟體規劃程式設計方法，進行實際測試調整，並應用變頻器來獲得良好的電力節省管理。施(2004)針對冰水主機之蒸發器與冷凝器，探討水側溫度變化對於冰水主機運轉效率之影響，並以冰水主機原廠電腦選機軟體，模擬運轉負載狀況，以分析數據。發現當蒸發器水側溫度提升或冷凝器水側溫度降低時，都能使冰水主機運轉效率提升，減少能源的浪費。林(2005)以模糊控制程序標準，在傳統PID控制器中，加入模糊控制參數，以改善系統在參數不確定時的追蹤控制功能。曾及涂(2006)研究半導體廠冰水主機及冰溫水間的關係，並設計全自動控制系統。

3.精確控制流體流量，藉此節省能源。Nelson(1997)設計 primary/secondary chilled water systems，以減少能源損耗。吳(2005)及趙(2008)以改變冰水水量方式，

設計依實際負載需要，調變冰水流量以節省能源。莊(2004)及蘇(2006)則採取使用改變冷媒量方式，來節省主機能源消耗。鄭(2007)以精密儀器量測溫度、流體溫度、流量及電力，在夏季量測耗功、冰水流量及揚程，與一次定水量系統和一次定水量/二次變水量系統比較其耗功。

在統計方法的應用上，亦有許多文獻可供參考；王(2002)針對都市公園生態空間特性問題，採用逐步回歸分析法推求最佳影響因子組合，並分析影響因子對空間中影響趨勢及相對影響程度，做為規劃都市公園的依據。李(2006)針對多個影響土壤環境的因子，以逐步回歸分析歸納出最具有預測效力的因子，交叉循環進行檢測，直到保留的因子影響力顯著時，以分析評估土壤環境。陳(2006)將 PCA 應用於制定多變量製程能力指標上，他提出制定新指標 PMC_p 及 PMC_{pm} ，用以反應製程相關性的表現，並藉由評估準則，來判斷產品不良問題，是由偏移還是變異過大所造成。

1.5 研究範圍與方法

本研究是以 12 吋 DRAM 晶圓廠為對象，收集廠務端中央監控系統之各項環境變數與控制變數值，以統計方法、數據模擬，進行空調設定參數優化後，評估改善方法並作效益分析，並依此提出相關的配套措施。即利用廠務端監控系統，讀取冰水主機的相關數據，進行多變量分析。接著，再將分析所得的結果，模擬可控制的自變數改變之後，計算對於整體節能的貢獻度，做為冰水系統運轉性能的預測及節能改善評估的參考；在不影響生產的狀況下，達到最佳的節能效果。

1.6 研究流程與架構

為達成上述研究目的，本研究由操作面及統計模擬數據方面，來驗證經濟效益，並以實績來驗證成果。本研究的內容分為五章，相關架構示於圖 1-2，第一章說明本文的研究動機、目的、方法及研究流程，第二章介紹國內外節能政策與現況、空調節能、統計方法等相關文獻，第三章運用各種統計方法，將所收集的數據進行分析比較，並選定最合適的統計方法進行分析，第四章將提供改善前後數據的差異及比較結果，並評估改善的可行性及最佳化，最後一章為改善後的討論與建議。



第二章 冷凍空調暨統計原理

2.1 冷凍空調系統簡介

2.1.1 空調系統基本原理

遠古時期用來吸收熱量的物質為天然的冰雪，中國人在古代就知道在飲料中加了冰塊後更為可口，古羅馬時代的人自山頂運冰下山用來製造冷卻果實，第一台冷凍機於 1834 年獲得英國國家專利。高橋徹(1993)於冷凍基本技術中指出，20 世紀以來，由於小型壓縮機的開發，使得冰箱普遍的被應用於一般家庭。熱由高溫物體流向低溫物體，與水由高處流向低處，兩者類似。一般來說，熱的傳遞可由下列三種方式來進行：

熱傳導：期間有粒子將熱傳遞到另外一個粒子而形成熱的移動。

熱輻射：輻射和光一樣，以眼睛無法察覺的活動形式做熱的傳遞。

熱對流：對流是利用流體當作媒介而產生熱的傳遞。

物質有三態，即固態、液態、氣態。當固態變成液態，是因吸收熱量而溶解。當液態變為氣態，是因吸收熱量而蒸發。固態不經液態直接變成氣態，是因吸收熱量而昇華，這些溶解、蒸發、及昇華過程，皆會因吸收熱量而降低物質或空間的熱量，產生冷藏或冷氣的效果。以水為例，在一大氣壓下，當固態 0°C 的冰，變成 0°C 的水，會吸收 80 cal/g 的能量，而 100°C 的水變成 100°C 的水蒸氣，則需吸收 540 cal/g 的能量，如圖 2-1 所示。

空調簡單來說，就是將特定空間不需要的熱量，排除至另外一個空間；由於熱量的排除，使得特定空間內的溫度下降，此現象即稱之為冷凍。翁(2005)於化工熱力學中，說明熱力學的第一定律，在質量未改變的狀態下，一個單一

系統的總熱量是不變的，而將系統中的熱量經由空調系統移除，即可使溫度降低。

液態分子在低壓的情況，其沸點較高壓來的低，相對的高壓時則沸點變高。冷凍空調系統利用在不同壓力下，經由相變化（液相變成氣相吸收熱量）作熱交換，將溫度降低。即冷媒(Refrigerant)在高壓時為液態，在流經毛細管及蒸發器時降壓，此時因壓力降低，使得冷媒沸點降低而蒸發成氣體，由於物質的蒸發潛熱不變，故大量吸收熱量而使溫度降低，再透過空氣或水，將吸收的熱量經由熱交換器排除。蒸發後的低壓冷媒，在蒸發器吸收發熱元件的熱能，使冷媒再轉換成高溫氣態冷媒，最後再進入壓縮機壓縮成高溫高壓的液體冷媒，形成一個循環系統，重覆循環，達到冷凍空調系統的組成與功能，如圖 2-2 所示。整個循環熱量的變化，與冷媒的特性、比熱、比容、接觸面積及溫度有關。

2.1.2 空調系統構造－冷凍

由冷凍過程及原理，可將產生冷凍的方法，區分為自然冷凍、非機械方式冷凍及機械壓縮式冷凍等三種，說明如下：

1. 自然冷凍為利用物質三態變化，吸收溫度而產生冷凍的效果，一般可分為
 - (1) 利用固體融解之潛熱，如冰塊融化吸熱。
 - (2) 利用液體蒸發之潛熱，如水蒸發吸熱。
 - (3) 利用固體昇華之潛熱，如乾冰之吸熱。
2. 非機械方式
 - (1) 吸收式冷凍：利用第二種流體(通常為水)來吸收熱能，以蒸發第一種流體，使第一種流體轉變為蒸汽，此第一種流體通常視為冷媒。蒸汽冷媒必須將熱排出，冷凝為原來的液態，由液體混合第二種的流體，吸熱之後再蒸發。如此循環下去。因為第二種流體需吸熱才有能量來蒸發冷媒，

所以可以將室內的熱吸進來作用，如此室溫便可達到下降的目的。此系統通常用於電力系統未能建立的地區，其運轉噪音及振動小、維護簡單、安全性高、容量控制容易、可運用工廠之廢熱作能源、安裝面積小、重量輕等優點；但缺點是排熱量大，且以水為冷媒時，無法獲得較低的溫度。

(2) 熱電式冷凍：

1821年德國物理學家Seebeck發現將二塊不同的金屬以導體連接，從一端加熱，另一端會產生電壓，此現象稱西貝克效應(Seebeck Effect)。如果將其構成回路，則會有電流產生，並從產生電壓端發現有熱放出的現象。此外，法國錶匠Peltier於1834年，從西貝克效應研究相反的現象，利用兩塊半導體連接，自一端施加直流電源，電流在回路導通之後，一端發冷(吸熱)，一端發熱(放熱)，此現象稱皮爾特效應(Peltier Effect)，此為熱電式冷凍系統的基本理論。

熱電式冷凍系統在小型系統較有利，因無機械運動，所以不會有因磨擦而引起之故障、振動及噪音問題；而變化電流即可輕易的調節冷凍容量，並且可逆轉電流，產生加熱的效果。此系統加熱或吸熱的效率非常高，但缺點是相同冷凍容量時，成本較高，且功率係數較壓縮系統低。

(3) 磁性冷凍：將順磁性鹽置於液態氦所包圍的中央，液態氦蒸發時會不斷自順磁鹽中帶走熱量，使順磁鹽溫度降低；此時若將強磁場移至已冷凍的順磁鹽，冷凍的順磁鹽分子將受磁場的作用而再度重新排列，因熱反映分子活動力大小，所以分子移動將再度放出熱量，並繼續被蒸發中的液態氦帶走。此時若將順磁鹽處於絕熱狀態，移去液態氦及磁場，已冷凍中的順磁鹽之磁性分子因失去磁場，恢復原有排列狀態，因分子變動又將吸收熱量，但此時冷凍順磁鹽已被隔熱，無法由外界獲得能量，只能從本身吸收，故造成本身溫度再降低，如此可達到 0.0004°K 。

- (4) 蒸汽噴射式冷凍：由鍋爐產生的高溫高壓蒸氣，進入噴嘴膨脹，並以高速流動，使噴嘴出口處造成很低的壓力，讓蒸發器中的水在低溫下汽化，由於水氣化時需從未氣化的水中吸收潛熱，因而使未氣化的水溫度降低，產生冷凍效果。
3. 機械壓縮式：以機械能來使冷媒產生高低壓的變化，經凝結、膨脹、蒸發等過程，不斷的循環，達到製冷的效果，此為國內中央空調使用最普遍之冷凍方式，故本文以此為研究主題。

2.1.3 空調系統構造－機械式冷凍循環

機械式冷凍循環為利用壓縮機產生系統之高低壓力，讓冷媒一面氣化吸熱，一面液化散熱，循環不已。冷凍循環系統包括下列四個主要元件：

1. 壓縮機(Compressor)：壓縮氣態冷媒，促使冷媒循環，使低溫低壓的氣態冷媒經壓縮後，變成高溫高壓的氣態冷媒。
2. 冷凝器(Condenser)：將壓縮後的高溫高壓的氣態冷媒，經由水冷或氣冷的散熱，冷卻為常溫高壓之液態冷媒。
3. 膨脹閥(Expansion Valve)：將常溫高壓之液態冷媒，經降壓節流後，成為低壓低溫之液氣冷媒。
4. 蒸發器(Evaporator)：將經過膨脹後的低壓低溫之液氣冷媒，在蒸發器內吸收大量蒸發潛熱，產生冷凍效果，成為低溫低壓的氣態冷媒。

冷凍循環系統如圖2-3所示，其原理為利用壓縮機產生系統之高低壓力，讓冷媒一面氣化吸熱，一面液化散熱，循環不已。其中移除之熱量，等於吸收的熱量加上壓縮機所作的功；即 $Q_c = Q_e + W$ ，其中 Q_c 代表移除的熱量， Q_e 代表吸收的熱量， W 則代表壓縮機所作的功。

冰水主機是由壓縮機與驅動馬達、蒸發器、冷凝器等主要裝置所組成，其中流動的介質有冷媒、冰水(Chilled water)、冷卻水(Cooling water)等，在中央空調系統中，主要目的是製造冰水，供應工業製程及商業空調使用，而冰水主機之主要運作，即處理前述三種介質的循環、熱交換，產生冷凍效果。三個裝置的主要工作介質，壓縮機是冷媒，冷凝器是冷媒及冷卻水，蒸發器是冷媒及冰水。

冰水主機以壓縮機之型式分類為下列四種：往復式(Reciprocating type)、螺旋式(Screw type)、離心式(Centrifugal type)及渦卷式(Scroll)。離心式與螺旋式冰水主機因具效率佳、容量範圍大、保養容易等優勢，目前多為半導體、TFT LCD 等高科技電子廠所採用。

蒸發器型式可分為直接膨脹式(Dry expansion)與滿液式(Flooded)，其中直接膨脹式的蒸發器，冷媒量控制性良好、施工容易、成本低廉，但蒸發器總熱傳效率較低，當高壓側的操作條件低於設計條件或於部分負載時，系統效率無法隨之提升，適合使用於中、小型冰水機。滿液式蒸發器常與離心式壓縮機或螺旋式壓縮機配合使用於中、大型冰水機，系統效率佳，且可擁有較高的部分負載效率，但製造成本及技術困難度較高。

黃等(2004)探討冷卻水塔冷卻能力不足原因，將冷凝器型式區分為：水冷式(Water cooled)、氣冷式(Air cooled)及蒸發冷卻式(Evaporative cooled)三種。由於冷卻效率的考量，目前大型中央空調系統實際上大多以水冷式冷凝器為主，氣冷式與蒸發冷卻式則應用於中小型空調系統。

2.1.4 空調系統於節能中所扮演的角色

半導體產業之生產廠房，皆以二十四小時連續生產為主，不論是半導體業或是光電業，都在恆溫恆濕且潔淨的環境中生產，一般都是運用無塵室。為了提供穩定的生產環境，必須 24 小時供應高可靠度電能，因此半導體產業的用電特性，與一般工業截然不同。在生產掛帥的前提下，鮮少注意到節約能源

問題，其能源消費以電力消耗佔 93.4% 為最大，其次為石油產品佔 4.7%，天然氣佔 1.9%，主要的耗能設備包括製程設備、空調設備及空壓設備。以半導體工廠為例，生產環境需使用不同等級之無塵室，以維持生產環境的溫溼度及潔淨度，致使空調設備耗能約佔全廠用電量的 40%，製程機台用電雖然比重也相當高（40.4%），但由於其中牽涉到製程穩定性及產品良率等問題，因此，本研究優先考慮改善廠務的空調系統，此不但可節省能源，且不會影響半導體廠的運作（意即提供合適的環境，而維持相同的產能與良率）。

李(1993)於空調節能技術中說明，廠務的空調系統節能，一般常見的作法，包含冰水側變頻設計、雙溫度冰水系統設計、高溫差冰水系統設計、及冰水管路壓差控制設計等。若修改設計，會涉及更改或新增現有管路，或變更半導體廠的設備架構，對於已經運轉之工廠，會有一定的衝擊與影響。若在操作面上作修改，一般常見的做法，包含冰水主機最佳化運轉排序、冷卻水塔變頻控制、提高冰水出水溫度、及降低冷卻水溫度等。但是對於整個系統，包含空調箱、泵浦、冰水主機、及冷卻水塔的整體耗能狀況，是否均運轉在最佳狀態，以及系統的運轉效率是否在最佳狀態，均值得做分析與探討。

主機若長期運轉於效率較低的部分負載率狀態，會導致性能劣化、耗電量增高。一般來說，冰水主機廠商根據選機程式所得到之運轉效率曲線，冰水主機於負載率約 70% ~80% 的情況下，具有最高效率，並非滿載時效率最高。在所有電力負載中，耗電約佔夏季尖峰用電的 30% 以上，而冰水主機為中央空調系統的心臟，為中央空調系統中最主要的設備，其耗電力約佔中央空調系統耗電的 60%。因此若能提高冰水主機的能源使用效率，對降低空調使用電力及緩和夏季尖峰用電的成長，定有助益。

冰水主機系統有四類轉動設備，四類轉動設備所耗費能量佔冰水主機系統之比例，分別為冷卻水塔風扇 10%、冷卻水泵 15%、冰水主機壓縮機 60% 及冰水泵 15%。國內半導體廠系統設計冷凍容量，於尖峰時段約為 15,000 冷凍噸，主要供應無塵室空調系統、辦公大樓空調及製程冷卻等。為了符合製程上

CLASS 100 潔淨室之溫度 21~23°C、相對溼度 40~45%RH 之特殊負載需求條件，外氣除濕與潔淨室循環氣流的冷卻，是最耗能的部分。因此改變冰水系統之設計與運轉策略，為節約能源極重要目標之一。若以一般總需求冰水負載約 10,000 冷凍噸之半導體廠為計算基準，冰水主機效能若提升 1 個百分點，效能由目前平均效能 0.778kW/冷凍噸增加至 0.768kW/冷凍噸，以每度電費 2 元來計算，每年約可節省 86.4 萬度的電力，若依台灣電力公司的統計資料，如表 2-1 所示；這些電力可以供應 2,800 戶民宅一個月的用電。

2.2 統計原理及方法

2.2.1 統計原理

優良的參數估計量，具有不偏性、有效性及一致性等三種特性。不偏性是在重複多次抽樣，所得到估計量分佈的平均值，等於被估計的參數。有效性是指抽樣分佈裡，具有最小變異數的估計量；當變異數愈小，即表示資料愈接近平均數，此為最有效的估計量。而一致性則是指當樣本數越大時，參數估計值的分佈，越集中於母體的參數值。

統計理論中，所謂簡單回歸分析，通常指最小平方法(Ordinary Least Square)，其數學式可寫為： $Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$ ，其中 Y_i 為第 i 個因變數， X_i 為第 i 個自變數， a 、 b 分別為截距與斜率， ε_i 則為殘差項，代表計算值與觀測值的隨機誤差值。又多於一個自變數所構成的方程式，即稱為多變量方程式，其統計模型為複回歸模型。一般而言，自變數愈多的模型，對其方程式的解釋能力愈高，且其計算求解的過程會愈複雜。複迴歸為簡單線性迴歸的延伸，其基本的計算方式相同；複迴歸方程式為：

$$Y_i = a + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \cdots + b_nX_{ni} = a + \sum_{j=1}^n b_jX_{ji} + \varepsilon_i$$

其中 $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$ 為第 i 組自變數值，而 Y_i 為由 X_{ij} 決定的第 i 個因變數； b_1, b_2, \dots, b_n 為估計式中的參數。而且 $E(\epsilon_i) = 0$ ， $\text{Var}(Y_i) = \text{Var}(\epsilon_i) = \sigma^2$ ， ϵ_i 之間為相互獨立，並且為散佈於迴歸線附近的誤差值。若自變數有 n 個，通常透過矩陣運算，可計算出 $n+1$ 個參數值。

今以簡單回歸式說明，由多組數據推估方程式的各項參數值如下：

方程式： $Y_i = aX_i + b + \epsilon_i$ （其中 a 即為斜率， b 則為截距）

$$\epsilon_i = Y_i - aX_i - b$$

$$\epsilon_i^2 = (Y_i - aX_i - b)^2$$

今為使誤差值極小化，故可取誤差值平方 $S = \epsilon_i^2$ ，

對 a 及 b 做偏微分，可得知其切線的斜率為零時，平方誤為極小值，如

此可解 a 、 b 參數值。計算式如下：

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2(Y_i - aX_i - b)(-X_i) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2(Y_i - aX_i - b)(-1) = 0$$

再以聯立方程式即可解相關系數 a 、 b 值分別為：

$$a = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})}{n} - a \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})}{n} \right)$$

$$\text{即：} a = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\text{或：} a = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\text{var}(X)}$$

$$\text{而 } b = \bar{Y} - a\bar{X}$$

利用此方式，於複迴歸方程式中，可利用矩陣行列式的方法，將 n 個自變數中的 $n+1$ 個參數值計算出來。

複迴歸中，各自變數的 P-Value 定義：在虛無假設(H0)成立的條件下，抽樣時會看到至少與手上樣本的機率(一般設定的臨界機率为 5%)。

回歸式的總誤差 (Sum of Squared Total variation; SST)，區分為可解釋的回歸變異 (Sum of Squares due to Regression; SSR) 與隨機殘差變異 (Sum of Squares due to Error; SSE)，可解釋變異占總變異的比例為判定係數 R^2 ；判定係數為回歸方程式是否合適之依據：

$$Y_i - \bar{Y} = \varepsilon_i = SSE$$

$$\bar{Y} - \hat{Y} = SSR$$

$$SST = SSE + SSR$$

$$\text{則 } R^2 = \frac{SSR}{SST} \text{ 或 } R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

在簡單回歸，判定係數的根號值 r 即為線性相關係數，其數值介於 0 與 1 之間， r 愈接近 1，顯示所得到的回歸模型愈合適來套配數據。

在複回歸模型中，判定係數並不等於應變數與任一自變數之相關係數的平方(因為還存在其他的自變數係數)，而是應變數與所有自變數共同間的複相關係數的平方，當自變數增加時，SSE 會變小，導致 R^2 變大，故需調整判定係數為 \bar{R}^2 ：

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k}$$

自變數間的相關性過高，會產生共線性問題，將影響估計參數的統計顯著性，易造成誤判解釋結果。故自變數間的相關性愈低愈佳。

2.2.2 統計方法

本研究採用主成份分析(Principal Components Analysis ; PCA)、逐步回歸分析(Stepwise Regression)及最佳化子集回歸分析(Best Subsets Regression)等，常用於多變量分析之方法。其主要理論分別扼要敘述如下：

PCA 是由英國統計學家 Pearson 於 1901 年所提出,而 Hotelling(1933)再加以發展的一種統計方法。PCA 將原有的觀測點，利用座標軸往特定的方向旋轉，讓數據資料轉換，使變異數變大，而產生新的變數量，小於原有自變數的數量，用來降低計算上的困難。例如：原本 X_1 的變異數為 85， X_2 的變異數為 43.57，取 $X_2 - \bar{X}_2$ 為縱軸， $X_1 - \bar{X}_1$ 為橫軸，當旋轉角度為 20° 時，可得新變數：

$$X_1^* = \cos \theta * X_1 + \sin \theta * X_2$$

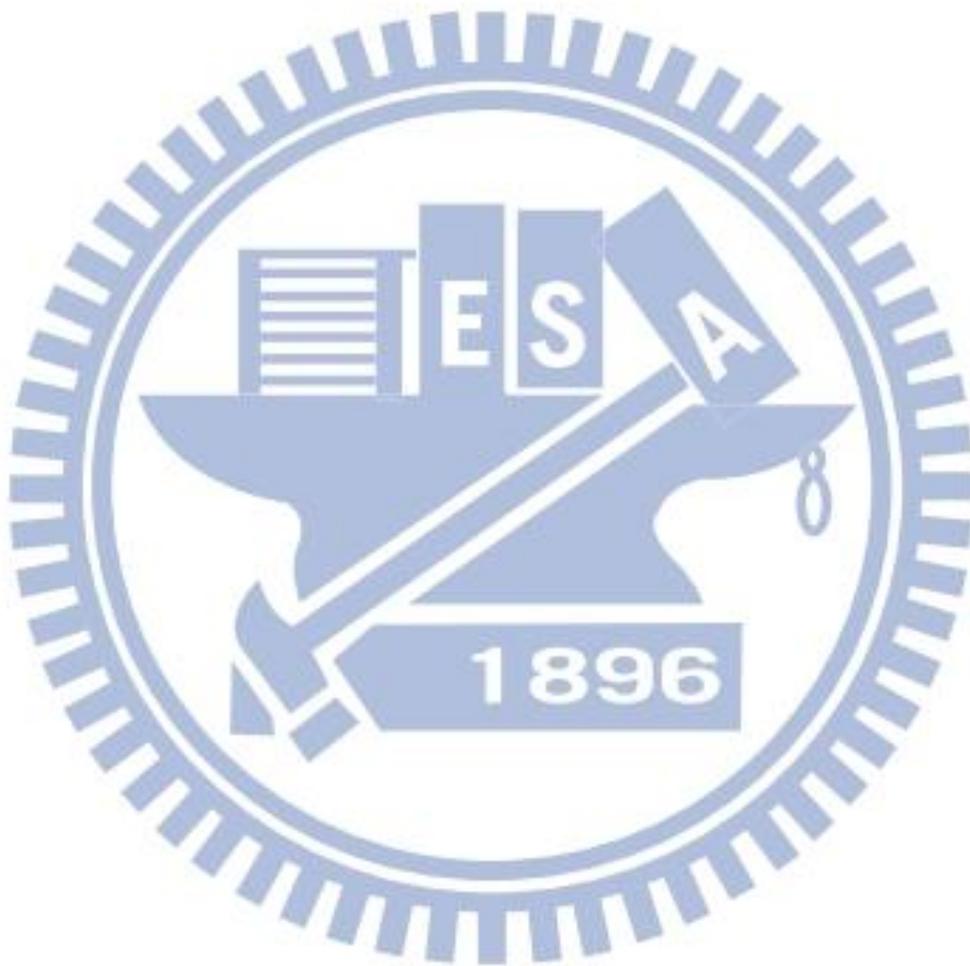
其 X_1^* 的變異數提高到：

$$\cos 20 * X_1 + \sin 20 * X_2 = 0.94 X_1 + 0.34 * X_2 = 96.51$$

藉由統計軟體，可快速的找出新變數 X_1^* 的最大值。當變異量佔總變異同樣有 80% 水準，且新變數的數量明顯低於原先的自變數數量時，即可有效地減少方程式的複雜性。此分析方式由於可以降低自變數的數量，故廣泛地用於工業中的製程控制。

逐步回歸分析方法，是在多變量系統中，由判定係數 R^2 最高的單因子，加入次高的因子，逐步計算加入因子後判定係數 R^2 及 P-Value 的變化，並以 F 值來檢定，當加入的因子無顯著性時，或一個以上無顯著差異時，則排除 F 值最小的一個因子；如此用來反覆進行計算，篩選因子，找出較具影響力的因子。如此可去除影響力較低的因子，減少方程式的複雜度。

最佳化子集回歸分析方法則是用於多變量系統中，指定固定數量的自變數，嘗試用不同的組合，並計算出組合後的判定係數 R^2 ，以供篩選自變數及其數量。



第三章 研究方法

3.1 研究對象

本研究以座落於中部科學園區，某一個 12 吋記憶體(Dynamic Random Access Memory, DRAM)製造廠為研究對象，該廠因標準型記憶體景氣波動過大，且高階製程核心技術一直掌握在國外大廠手中，易於景氣低迷時，造成嚴重虧損。目前經由產品轉型，逐年降低標準型記憶體產出，改生產利基型記憶體(Specialty DRAM)、行動記憶體(Mobile RAM)、繪圖記憶體(Graphics DRAM-GDDR)、類靜態記憶體(Pseudo SRAM)、及 NOR Flash 等五項產品，提供電腦、消費性和通訊領域客戶完整的解決方案；為國內外 Total Solution 之領導廠商。

3.2 研究方法

該 DRAM 製造廠的空調系統，最耗電力者為冷卻水塔及冰水機組，所以本研究將空調冰水系統中的總耗電量，選為因變數，嘗試以 5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度、外氣溫度、冷卻水塔溫度、相對溼度、外氣焓值、露點溫度等為七個自變數，運用線性回歸分析，尋找出合適的多變量方程式，用以推估節能比率，以達到最低之冰水主機及水塔總耗能。

3.3 正常模式運轉條件及數據量測

該廠的空調系統，可透過監控設備量測並記錄耗電數據。該廠現有的設備包含 9°C 冰機 7 台、5°C 冰機 3 台、熱回收冰機 3 台、冷卻水塔(Cooling Tower, C/T)24 台及監控系統。由於 24 台 C/T 的耗電(kW/hr)數據是先由可編程序控制

器 (Programmable Logic Controller, PLC) 讀入後，再用通訊方式由 PLC 主動將數據傳至模組化監控單元 (Building Control Unit, BCU) 中，故為確定上述數據之完整性及正確性，PLC 系統要確定能正確讀到 C/T 耗電 (kW/hr) 數據，並正常傳到 BCU。

該廠一般操作的模式，即為正常模式，依程式自動切換冰機設備運轉。本研究每隔 10 分鐘量測下列資訊，並連續記錄 10 天，共得 1,440 個數據，供未來作回歸分析。其量測數值分別為：

- (1) 系統耗電量：9°C 冰機系統耗電、5°C 冰機系統耗電、C/T 系統。(不含熱回收機的耗電。)
- (2) 5°C 冰水溫度。
- (3) 9°C 冰水溫度。
- (4) 外氣濕球溫度。
- (5) 冷卻水塔溫度。
- (6) 相對溼度。
- (7) 露點溫度。
- (8) 外氣焓值。

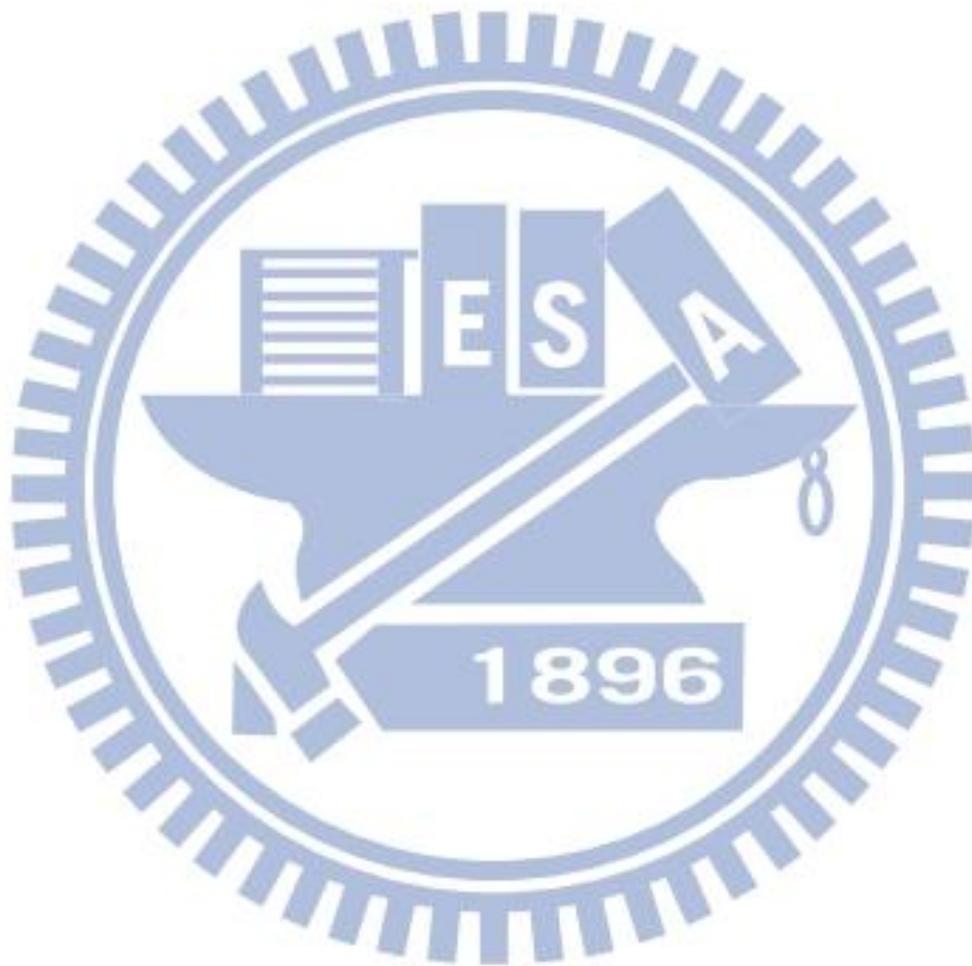
3.4 數據處理方法

由廠務端量測並記錄之數據，藉由統計軟體讀入，設定因變數為總耗電量，5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度、外氣濕球溫度、冷卻水塔溫度、相對溼度、露點溫度、外氣焓值等為自變數；以統計軟體繪圖分析各自變數與因變數之間的圖形關係，可初步觀察各變數間的變化。

藉由統計軟體產生七個變數的複回歸方程式，檢視各變數的 P 值及 R 值，以判斷此複回歸方程式是否具有解釋能力及預測能力。再則，採用其他統計常用的方法分析篩選 (PCA、逐步回歸分析及最佳化子集等回歸分析方法)，以降低變數因子數量，重新產生降低變數後的複回歸方程式；同樣檢視各變數

的 P 值及 R 值，以判斷此複回歸方程式是否具有解釋能力及預測能力；並且繪製殘差值的直方圖、Norm plot 及散佈圖，觀察殘差值圖形是否符合常態分佈。

將所獲得的複回歸方程式經驗證後，與原耗電量曲線比對，觀察是否一致；再以選擇可供調整的變數，進行節能計算，用以評估節能效率。



第四章 數據分析及預期效益分析

4.1 繪製並觀察因變數與自變數關連圖

本研究將收集所得資料，分別以外氣濕球溫度、冷卻水塔溫度、相對溼度、外氣焓值、露點溫度、9°C 冰水溫度及 5°C 冰水溫度為自變數，對負載耗電量(因變數)，分別畫圖 4-1 到圖 4-7。

圖 4-1 為耗電量對外氣濕球溫度的關係圖，此圖顯示外氣濕球溫度增加，負載耗電量有明顯上升趨勢。由於空調系統乃藉由外部散熱，故理論上外氣濕球溫度愈高時，散熱效果愈差；如此會增加空調製冷負荷，進而增加空調機組整體的耗電量。故可以判斷出外氣濕球溫度與耗電量是具有正相關的線性關係。

耗電量對冷卻水塔溫度的數據，繪於圖 4-2，顯示兩者關係不明顯，但把耗能 2,500 單位以上的數據對照冷卻水塔溫度，即只看圖 4-2 上半部數據，可發現冷卻水塔溫度愈高時，負載耗電量有明顯上升趨勢；冷卻水塔溫度同屬空調系統的外部散熱設備，故理論上冷卻水塔溫度愈高時，散熱效果愈差；亦會增加空調製冷負荷，進而增加空調機組整體的耗電量，故可看出冷卻水塔溫度與耗電量是具有正相關的線性關係。至於耗能 2,500 單位以下時，關連性不佳，可能與最低運轉負荷有關。

圖 4-3 為耗電量對相對溼度的數據圖，顯示兩者無明顯的線性關係。相對溼度為某一溫度下，大氣溼度與飽和溼度之比值。同樣具有 50% 的相對溼度，在溫度 15°C 與 30°C 的散熱效果是不同的，故在圖中無法顯現出關連性，而呈現近似較均勻(常態)的分佈。

圖 4-4 為耗電量對外氣焓值的關係圖，當外氣焓值愈高，代表空氣所攜帶的熱量愈高，相對散熱效果會愈差。此關係圖顯示外氣焓值增加時，所需

要的冷凍能源隨即增加，圖形不但呈現正相關，而且成線性關係。由此可見，耗電量與外氣焓值有明顯的線性關係。

以耗電量對露點溫度作圖，列為圖 4-5，顯示兩者有線性關係。露點溫度為水氣因降溫而達飽和時之溫度，可反應為空調散熱系統是否容易於空氣中散熱。當露點溫度低時，散熱容易，空調系統能源消耗低；反之，則能源消耗量高。圖中約略分為左右兩部份，在圖的左側露點溫度介於 0-15，即露點溫度較低時，耗電量隨露點溫度上升而增加，不過上升的趨勢比較平緩。當露點溫度高於 15-20 以上時，耗電量隨露點溫度上升而增加，而上升的趨勢比較陡峭；這表示當露點溫度過高時，會增加較高的能源的消耗量。

以耗電量分別對 9°C 與 5°C 冰水溫度作圖，結果列於圖 4-6 和圖 4-7，可發現耗電量只分佈於特定的溫度值，9°C 冰水溫度固定於 8.9°C~9.3°C，5°C 冰水溫度固定於 5.75°C~5.95°C，溫差分別為 0.4°C 及 0.2°C。主因半導體製造對溫度極度敏感，溫度的差異，易使晶片在製造過程累積垂直或水平應力，造成良率下降或影響成品使用壽命，故在冰水機溫度的控制上，回饋週期設計的很短，讓溫度的差異變動不大。

4.2 複回歸計算

上述的變數，包括 5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度、外氣溫度、冷卻水塔溫度、相對溼度、外氣焓值及露點溫度，分別以 x1 到 x7 代表，而總耗電量設定為 y，並去除因加機啟動、減機關閉時，產生耗電量瞬間增加或減少的離群值後，以統計軟體 Minitab 作複回歸，得到下列方程式：

$$y = 1912 - 313 x_1 - 478 x_2 + 19.7 x_3 + 153 x_4 + 3.57 x_5 + 53.1 x_6 - 36.9 x_7 \quad (1)$$

上式右邊自變數的係數，包含正與負兩類。x1、x2、x7 係數(分別代表 5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度及露點溫度)為負，代表增加這些變數值，可以減少耗

電量(y)。在實務上，提高 5°C 冰及 9°C 冰水控制溫度，可減少空調系統負荷，而外部露點溫度低，則代表空調系統散熱良好，所以均可以有效地降低能源使用。而變數係數為正的，分別有 x3、x4、x5、x6，若減少這些變數值，亦可減少耗電量(y)。上述四個變數均與散熱系統有關，當外氣溫度(x3)、冷卻水塔溫度(x4)及相對溼度(x5)較低時，空調系統較易散熱，能源耗用較低，而外氣焓值(x6)較低時，則代表外氣可帶走的能量較高，同時也增加空調系統散熱效率，因而減少耗用能源。

由 Minitab 經回歸分析，所得各變數因子與回歸方程式的相關係數值，列於表 4-1，由於 R-Sq 相當的高(97.4%)，表示此回歸方程式具有相當好的解釋能力。不過在相關係數部份，外氣溫度(x3)與相對溼度(x5)的 P 值大於 0.05，表示此兩個變數在一般正常 5%的信心水準下，與總耗電量的關係較不明顯的。由於去除上述兩個 P 值大於 5%的變數之後，自變數的數量仍然有 5 個之多，故需採用其他方法來簡化方程式。此外變異數分析結果列於表 4-2，其中 F 檢定統計量為 6,705，遠大於 $F_{7,1247,0.05}=2.103$ ，且 P 值趨近於 0，遠小於 $\alpha=0.05$ ，顯示此回歸模型可以接受，自變數與因變數有顯著關係，亦表示此方程式具有解釋能力。

以各自變數的變異對總變異作圖，結果列於圖 4-8，顯示外氣溫度的變異佔總變異最高，達 62.3%；9°C 冰水溫度次之，佔 22.6%；5°C 冰水溫度、水塔溫度、相對溼度及外氣焓值則都介於 0.4%到 7.3%間。由於外氣溫度與相對溼度的 P 值大於 0.05，去除此兩項變數後，其他自變數的變異值比率會增加。

4.3 主成份分析

由於變數數量很多，本研究先以主成份分析利用較少數量的新變數，來取代原有的七個變數，讓方程式簡化而具有適當的解釋能力。

首先，將上述數據利用 Minitab 進行 PCA 分析，得到的結果，列於表 4-3。

由 Proportion 項可知；主成份 1 (PC1) 可解釋 51.5%的變異，主成份 2

(PC2) 可解釋 19.5% 的變異，而累計 PC1 到 PC5 可解釋 99.9% 的變異，但此時新的變數數量仍有 5 個，如圖 4-9 所示。因此本研究嘗試以別的方法來簡化多項式，讓方程式在合理的誤差範圍下，降低變數的數量。

4.4 最佳化子集分析

利用 Minitab 的最佳化子集做分析，得到的結果列於表 4-4，表中顯示，當變數(Vars)的數量為 4 時，R-Sq 值可達 97.3%，此 4 個變數分別是 5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度、水塔溫度及外氣焓值。我們若以這 4 個變數當做此多項式的變數，可解釋 97.3% 的變異，算是相當好。

將上述 4 項變數設定為 $x_1 \sim x_4$ ，耗電量設定為 y ，重新做複回歸分析，得到下列回歸方程式：

$$y = 2751 - 320 x_1 - 543 x_2 + 161 x_3 + 46.8 x_4 \quad (2)$$

表 4-5 顯示，4 個自變數的 P 值均趨近為 0，表示在 $\alpha=5\%$ 的顯著水準下，這 4 個自變數對因變數(總耗電量)的影響是非常顯著的。此外，R-Sq 值(判斷係數)說明自變數可以解釋應變數總耗電量中的 97.3% 變異性，而納入回歸模式中自變數個數的結果，為修正後的 R-Sq(adj)值同為 97.3%；此兩個值均大於 90% 以上，代表此回歸模型對數據的解釋很充分。由於 R-Sq 與 R-Sq(adj) 的值幾乎相等，所以此回歸模型頗符合數據，而且可以有正確的預測能力。

理論上，隨機誤差值最好能呈現常態分佈，為了驗證此回歸模型的合理性，觀查預測結果是否會符合多變量複回歸分析的各種假設，故以此回歸模型計算殘差值(Residual)，繪製殘差值的直方圖 (Histogram)，列為圖 4-10。殘差值的 Normplot，列為圖 4-11。而殘差值的散佈圖，列為圖 4-12。

圖 4-10 殘差值的直方圖可明顯看出，殘差值略向中央集中，且呈接近常態分佈。圖 4-11 顯示左右邊各有幾個離群值(偏移量過大者)，此為冰機自動因負載大小不同，為增加或減少冰機數量，瞬間啟動或停止時，所發生的耗電量大幅增加或減少產生的偏移量。為不影響回歸程式的準確性，去除大於 3 個標準差以上的離群值。圖 4-12 為殘差散佈圖，顯示殘差值的分佈為不規律，亦無特別集中成某一區域，故可視殘差值的分佈為隨機。以上三個圖顯示此四變數回歸模型很適合用來描述所測得的數據。

4.5 回歸方程式的預測與分析

上一章節所得之簡化後的回歸方程式，已將變數降至 4 個，並從 F 分配、R-Sq(adj)、變異數分析、殘差分佈圖等資料分析，顯示此回歸模型能用來描述該 DRAM 製造廠空調系統與耗電量相關的各項觀測數據。

此 4 個變數中，大氣焓值係指外部大氣所攜帶能量的大小，通常與大氣本身的溫度，及空氣中水蒸氣含量多寡有關，故為人力無法改變之因子。又水塔溫度雖然可藉由人工加裝散熱設備來降低溫度，不過依熱力學原理，將損耗更多能源，增加成本；故只剩下 2 個因子可做調整，即 5°C 冰水溫度與 9°C 冰水溫度。

5°C 冰水主機主要為調節廠內溼度用，而 9°C 冰水機則為調節廠內溫度。以交換溫度而言，溫差較大者，耗損的能源將比溫差較小者來的多，故本研究將控制溫差較大者(5°C 冰水機)，用以模擬節能效率。

由方程式(2)可得知：當增加 5°C 冰水溫度 1 度時，可降低 320kW/hr 的耗電量。此外，將觀測值帶入方程式(2)中，可得到冰水系統耗電量的估算值，以此與原耗電量數據，繪製於圖 4-13 作比較，其中黑線代表觀測值，虛線代表估計值。比對兩組曲線後，可知方程式(2)預測值與觀測值相當吻合。

4.6 節能計劃之效益分析

考慮以 5°C 冰水機控制溫度，當溫度由 5°C 增加到 6°C，而其他變數不改變，每增加 0.05°C 時，依方程式(2)預測節省的耗電量，如表 4-6 所示。若考慮其他變數的影響，實際節省幅度可能會較低。

當 5°C 冰水出水設定溫度向上調，相對的，冰水主機的效率將會提升。由於矽晶圓在製造過程中，半成品對環境溫度敏感性極高，稍有偏差，輕則導致產品電性、良率或耐用度變低，重則整批晶圓報廢，其損失可能高達百億元，故變更生產線的環境溫度，必須非常審慎。以本研究之標的工廠來說，經使用端評估風險及調整相關應變措施後，認為最高可上調至 5.5°C。故以上調設定溫度至 5.5°C 做模擬計算後，由方程式(2)，可觀察調整前後耗電量曲線；其中估計值的耗電曲線(虛線)，明顯較原耗電曲線低(黑線)，如圖 4-14 所示。

以本研究之標的工廠 2009 年冰水系統平均用電量 2,650kW/hr 試算，節省率可達 5.96%，估計每年可節省用電量 1,383,554 kW/hr，若以 2.15 元 kW/hr 計算，共節省電費 2,974,641 元。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究以某 12 吋 DRAM 晶圓廠為對象，針對該廠的空調系統，收集該空調冰水系統之各項數據，如總耗電量、5°C 冰水溫度、9°C 冰水溫度、外氣溫度、冷卻水塔溫度、相對溼度、外氣焓值及露點溫度等數據。首先利用多變量複回歸分析，以總耗電量為因變數，其他變量為自變數，配合實際量測的數據，建立空調機組各變數與能源耗用的回歸方程式。接著利用複判定係數、主成份分析、逐步回歸及最佳化子集等方法，降低回歸方程式的變數數量，最後再從中挑選出可供調整的變數。本研究結果，可得下列結論：

1. 經變異數分析、主成份分析、逐步回歸分析及最佳子集回歸等方法，篩選出影響空調系統耗能的四個因子，分別為：外氣焓值、水塔溫度、9°C 冰水設定溫度及 5°C 冰水設定溫度。以這四個變量，重新以複回歸分析，並以複判定係數、F 分配檢定及殘差值分析，驗證其回歸模型的適合性。
2. 外氣焓值及水塔溫度兩個變數為無法調整項目，5°C 冰水機作用在於去除溼度，且比 9°C 冰水機溫差大，容易產生熱損耗，故選定此變量做節能控制項目。
3. 回歸方程式(2)顯示每調高 1 單位的 5°C 冰水設定值，可節省 320 單位的耗能。若將 5°C 冰水溫度上調 0.5°C，可節省 5.96% 能源。
4. 最後以實機驗證，經調整設定值後，由廠務端監控系統中追蹤，其節能效率為 3.68%，若依照年度平均每小時用電量計算，每年可以節省用電量 854,274 kW/hr，估計每年實際節省電費可達 1,836,692 元。其未達預估 5.96% 的原因，乃因本研究工廠在建廠時，已將空調機組建置為變頻式系統，以運轉參數最佳化節能的方法，會降低預估值(節省幅

度有部份被變頻式系統取代)。一般改良式程式最佳化對於舊式非變頻式系統有幫助，以同樣生產 DRAM 並位於中科他廠的運作，原非變頻式系統的空調設備經系統優化後，在長時間運作下，節省 8~12% 的能源。但針對已安裝變頻式系統的半導體廠，其系統優化所節省的能源僅有 0.09%，最主要的原因乃變頻式系統在長期運轉下，本身就比同容量的系統減少 8~15% 的能源。

5.2 建議

從上述的研究，針對半導體廠冰水系統耗電問題，有下列建議：

1. 由於外氣焓值為不可控制因子，但如果現場通風良好、可完全散熱，讓水塔區域的外氣焓值降低，理論上可以降低耗能。此點可為後續工廠有新增、擴建廠房時，增加空調機組之參考。
2. 半導體工廠在全面轉換成新一代製程時，通常會將所有廠務供應端電力、水力、氣體供應及環境溫度等，調回標準預設值，以節省轉換時間，並避免遇到生產良率瓶頸。故需一段時間，待製程良率穩定後，才能依當時空調系統的負荷狀況，再行調整節能措施，必要時可使用試產時的空調系統參數記錄。針對新的製程，利用本研究所提供之方法，能求得新的複回歸方程式，可用來評估新製程的節能效率，使新製程更有效率地運轉。
3. 於調整冰水機出水溫度後，如遇到空調系統負載過低問題，需調降設定溫度，以免空調系統效率低落。工廠如因產業景氣常期低迷，必須長期減產致造成空調負載過低時，除調回原設定值外，亦可由減產後收集的空調數據，重新計算回歸方程式。
4. 未來將生產單位的環境溫度變數，併入此優化系統中運作，讓程式依生產需求數據，如投片量、機台稼動率等，自動調整溫度，則空調系統較能節能。但在製程良率與節能間作取捨，有待進一步研析。主因半導體的生產

週期長達 2~3 個月，在製品於無塵室生產線中，庫存的數量大約是月產能的 2~3 倍，如果因為空調系統出現問題，也可能導致很大的損失。



參考文獻

西文部份：

Commission of the European Communities, European Strategic Energy Technology Plan (SET-PLAN), 2007

[http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm]。

International Energy Agency, The Impact of the Financial and Economic Crisis on Global energy Investment , (May 2009) [<http://www.iea.org>]。

Nelson, K. P., 1997, Dynamics of primary/secondary chilled water systems, ASHRAE Transactions, 1999, Vol.105, Part.2. pp.128-148.

Schwedler, M. C., J. R. Hage, D. R. Dorman and M. J. Stiyer, February 11 1997, Near optimization of cooling tower condenser water, United States Patent.

Fan, S., L. Chen, W. J. Lee, 2008 ,Machine learning based switching model for electricity load forecasting, Energy Conversion and Management, vol. 49, pp.1331–1344.

佐藤誠及石田建一,2004,使用 H E M S 對家庭節能效應的驗證(第二部分)空調節能效果的推算,日本建築學會大會學術演講概要集 D-2.

中文部份：

- 王智聖，2002，都市公園生態空間特性之研究，台南市，成功大學碩士論文。
- 王吉一，2002，節能之冷卻水塔研究，新竹市，交通大學碩士論文。
- 台灣電力公司，2008年9月15日，”最新電價表”，〔www.taipower.com.tw〕。
- 李希聖，1993，空調節能技術，台北市，徐氏基金會。
- 李思亮，2006，台灣南部地區之土壤環境因子對天然鐵氧礦物催化 Fenton-like 氧化效率之影響，屏東縣，屏東科技大學碩士論文。
- 吳漢龍，2006，華邦中科廠冰溫熱水供應系統，台中，華邦電子廠務訓練資料。
- 吳衍嘉，2005，大型圖書館建築之空調節能改善分析全尺度實驗印證，高雄，中山大學碩士論文。
- 林文奇，2006，模糊比例積分混合微分控制於冰水主機自動化之應用，台北，大同大學碩士論文。
- 林純穗，2006，多變量回歸模型之最適校準設計，高雄，中山大學博士論文。
- 施宜輝，2004，廠務空調系統冰水主機水側溫度節能實務分析，桃園，中原大學碩士論文。
- 高橋徹，1993，冷凍基本技術，台北市，全華科技。
- 翁文爐、夏一民，2005，化工熱力學，台北市，高立出版社。
- 張一岑，1991，能源特論，台北市，徐氏基金會。
- 張文師，1999，太陽熱能利用與製冷，台北市，五南書局。
- 張載享，2004，以模糊理論設計變頻式之空調驅動器，台中，逢甲大學碩士論文。
- 莊逸宏，2004，VRV 空調系統於濕熱氣候下之建築物省能效益分析與全尺度實驗印證，高雄，中山大學碩士論文。
- 陳建中，2005，高科技廠房機電空調中央監控系統節能效益之研究，台南市，成功大學碩士論文。
- 陳詠漢，2008TPC，電費探討及用電管理查詢，台中，華邦電子廠務教育訓練資料。

- 陳良銅，2000，潔淨室外氣空調箱特性與節能之研究，台北市，台北科技大學碩士論文。
- 陳彥廷，2006，主成份分析法在制定多變量製程能力指標上之應用研究，台南市，成功大學碩士論文。
- 黃文良、黃昭睿，1993，能源應用，台北市，東華書局。
- 黃有財，2001，吸收式空調系統能源應用最佳化解析，台北市，台北科技大學碩士論文。
- 黃旭明，2006，潔淨室空調系統介紹，台中，華邦電子廠務教育訓練資料。
- 黃錦文、劉杰文、鄭益志，2004，冷卻水塔冷卻能力不足之原因探討，能源資訊網，
〔 <http://emis.erl.itri.org.tw/searea/sepro/upt.asp?con=1&pageno=2&uid=&con=&cid=&year=&month=&day=&key=&p0=33> 〕。
- 曾錦鍊、涂明國，Feb 2006,半導體廠冰水主機及冰溫水全自動控制系統設計，台北市，中華水電冷凍空調月刊，vol.#, pp 18-31。
- 曾偉智，2001，高效率變頻空調壓縮機驅動器之研製，高雄，中山大學碩士論文。
- 經濟部，2009，能源局 98 年年報。
- 趙尉棋，2009，中央空調變流量冰水系統省能探討，苗栗，勤益科技大學碩士論文。
- 鄭錫譯，2007，中央空調冰水一次變頻系統之節能研究，台北市，台北科技大學碩士論文。
- 簡銘賢，2002，空調儲冰系統節能運轉模式與電腦控制程式之研究，台北市，台北科技大學碩士論文。
- 藍宏智，2001，結合灰色理論與模糊控制之空調系統舒適及節能之研究，彰化，彰化師範大學碩士論文。
- 蘇 倫，2006，變冷媒量(VRV)空調系統於日常節能指標 EAC 應用之研究，高雄市，中山大學碩士論文。

表 2-1 台灣電力公司住宅用電年統計資料

電價與消費支出

項目	97年	96年	95年	94年	93年
家庭用每度電平均售價(元)	2.58	2.59	2.57	2.51	2.49
消費者物價指數(95年=100)	105.39	101.8	100	99.41	97.17
平均每戶家庭每月用電量(度)	308	319	322	328	313
平均每戶家庭每月電費支出(元)	796	824	826	823	779

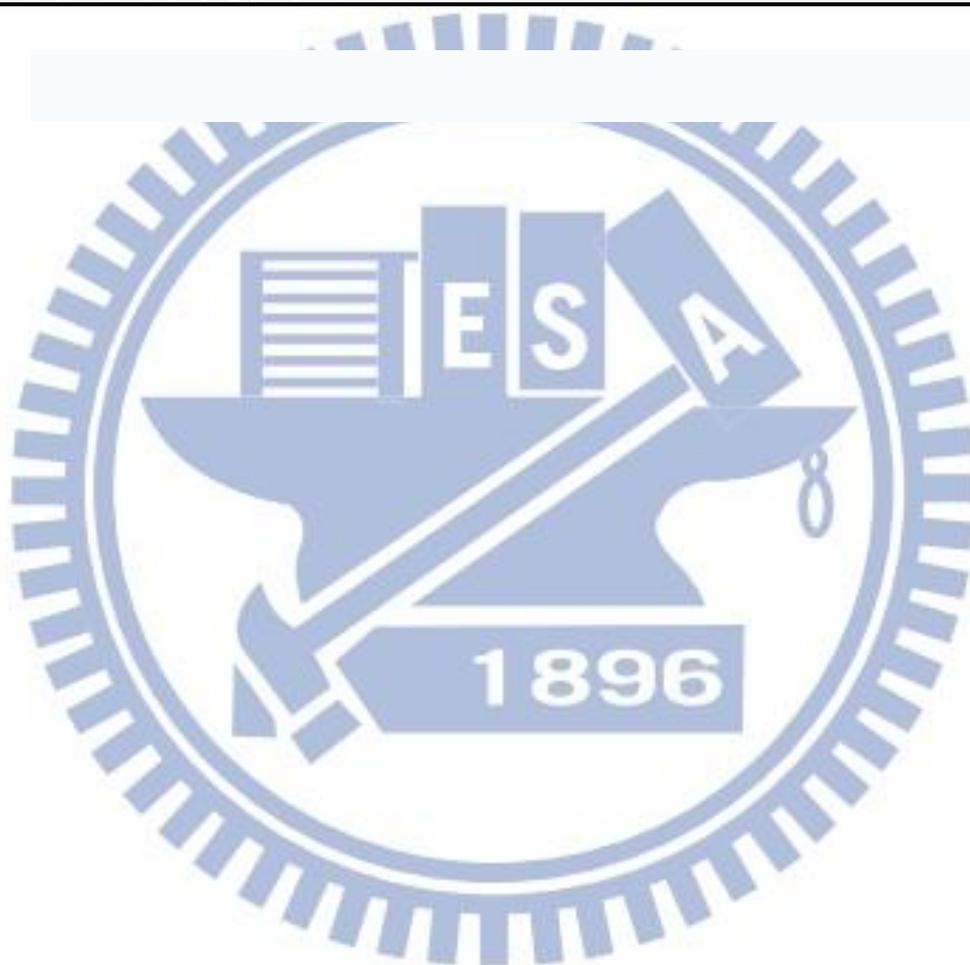


表 4-1 相關係數表

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1912.4	456.9	4.19	0.000
x1	-312.71	34.95	-8.95	0.000
x2	-477.76	29.37	-16.27	0.000
x3	19.73	12.75	1.55	0.122
x4	152.668	5.588	27.32	0.000
x5	3.565	3.07	1.16	0.246
x6	53.06	4.48	11.84	0.000
x7	-36.9	15.81	-2.33	0.020

S = 89.5722 R-Sq = 97.4% R-Sq(adj) = 97.4%



表 4-2 變異數分析表

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	376,583,734	53,797,676	6,705	0.00
Residual Error	1,247	10,004,895	8,023		
Total	1,254	386,588,629			

Source	DF	Seq SS
x1	1	27,472,183
x2	1	85,148,637
x3	1	237,844,788
x4	1	12,662,645
x5	1	12,092,242
x6	1	1,319,564
x7	1	43,674

表 4-3 PCA 分析表

Principal Component Analysis : x1 , x2 , x3 , x4 , x5 , x6 , x7

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Eigenvalue	3.6042	1.3665	0.805	0.6784	0.5406	0.0037	0.0017
Proportion	0.515	0.195	0.115	0.097	0.077	0.001	0
Cumulative	0.515	0.71	0.825	0.922	0.999	1	1

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
x1	0.335	-0.303	-0.213	-0.446	-0.743	0.004	-0.003
x2	-0.315	-0.297	-0.039	-0.776	0.457	-0.011	-0.001
x3	0.499	0.201	0.058	-0.159	0.222	0.516	0.605
x4	-0.15	0.487	-0.857	-0.071	0.021	0.027	-0.004
x5	-0.04	-0.725	-0.434	0.406	0.157	0.075	0.3
x6	0.513	0.032	-0.087	-0.048	0.267	-0.796	0.143
x7	0.502	-0.128	-0.142	0.029	0.306	0.305	-0.723

表 4-4 最佳化子集分析結果表

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	S	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
1	91.6	91.6	161.21						X	
1	88.2	88.2	190.74			X				
2	96.3	96.2	107.58				X		X	
2	94	94	136.13						X	X
3	97.1	97.1	94.483		X		X		X	
3	96.6	96.6	101.77				X		X	X
4	97.3	97.3	90.887	X	X		X		X	
4	97.2	97.2	92.604		X		X		X	X
5	97.4	97.4	89.61	X	X		X		X	X
5	97.4	97.4	89.696	X	X		X	X	X	
6	97.4	97.4	89.585	X	X	X	X		X	X
6	97.4	97.4	89.622	X	X		X	X	X	X
7	97.4	97.4	89.572	X	X	X	X	X	X	X

表 4-5 四個變數複回歸分析結果

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2750.5	372.3	7.39	0.00
x1	-319.52	31.65	-10.1	0.00
x2	-542.94	27.63	-19.65	0.00
x3	160.534	4.674	34.35	0.00
x4	46.7931	0.2931	159.63	0.00

S = 90.8873 R-Sq = 97.3% R-Sq(adj)

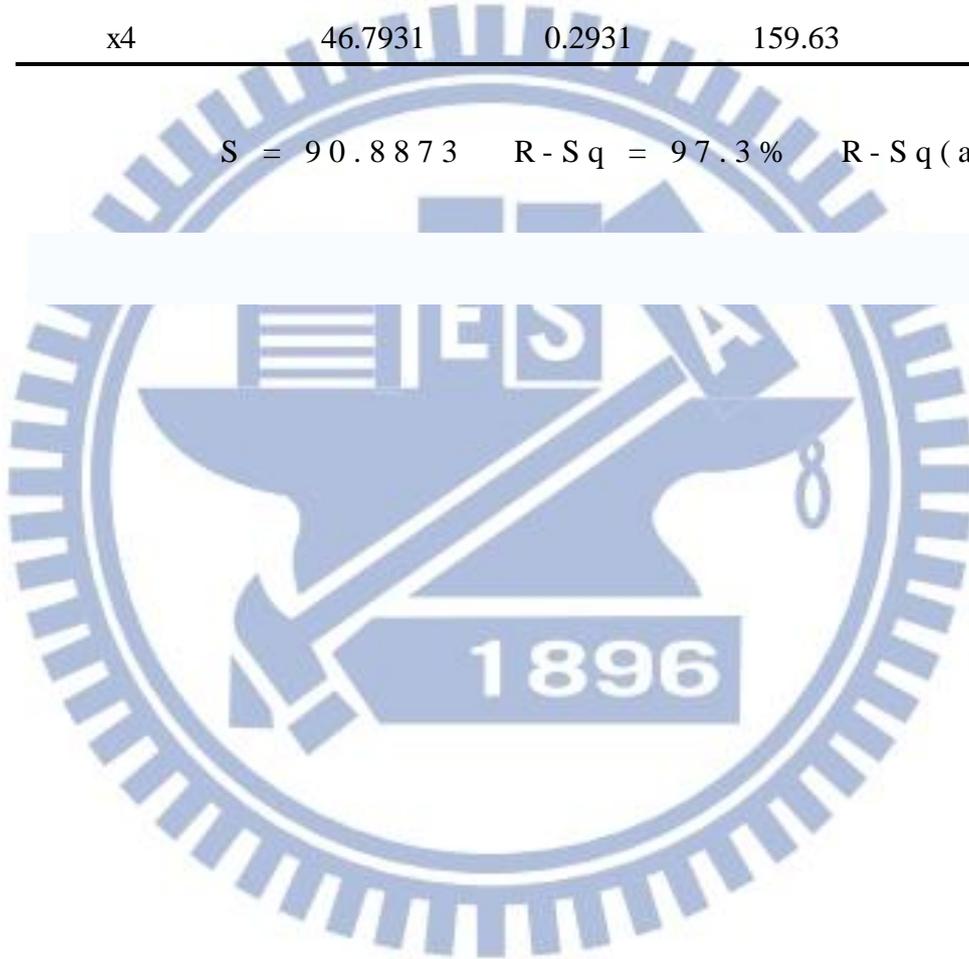


表 4-6 節能試算表

5°C 冰機溫度	理論耗電量節省幅度
5.0°C	0.00%
5.0°C	0.60%
5.1°C	1.19%
5.1°C	1.79%
5.2°C	2.38%
5.2°C	2.98%
5.3°C	3.57%
5.3°C	4.17%
5.4°C	4.76%
5.4°C	5.36%
5.5°C	5.96%
5.5°C	6.56%
5.6°C	7.15%
5.6°C	7.75%
5.7°C	8.34%
5.7°C	8.94%
5.8°C	9.53%
5.8°C	10.13%
5.9°C	10.72%
5.9°C	11.32%
6.0°C	11.91%

冰水系統現況

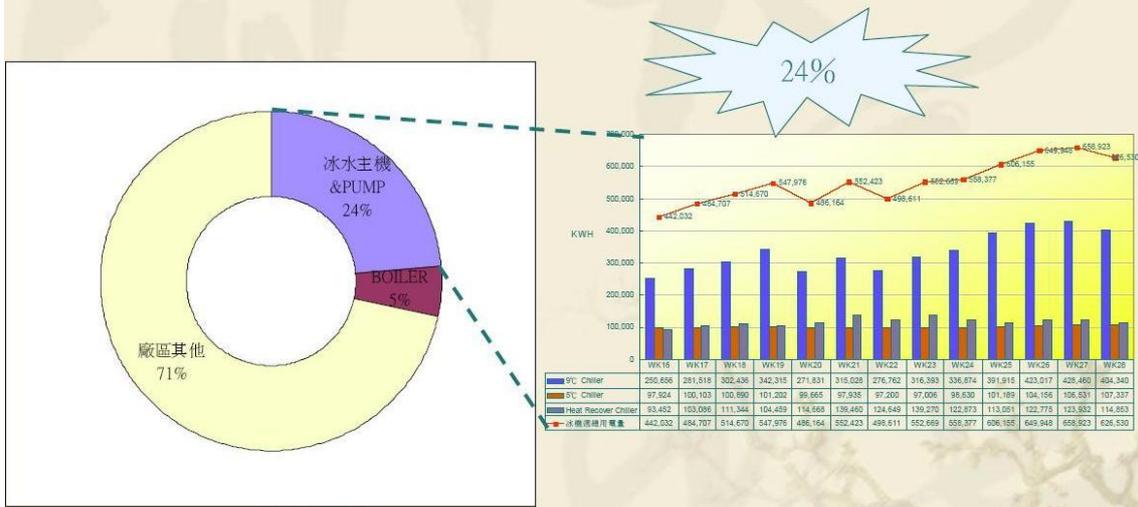


圖 1-1 冰水主機耗能佔 12 吋 DRAM 廠使用能源百分比



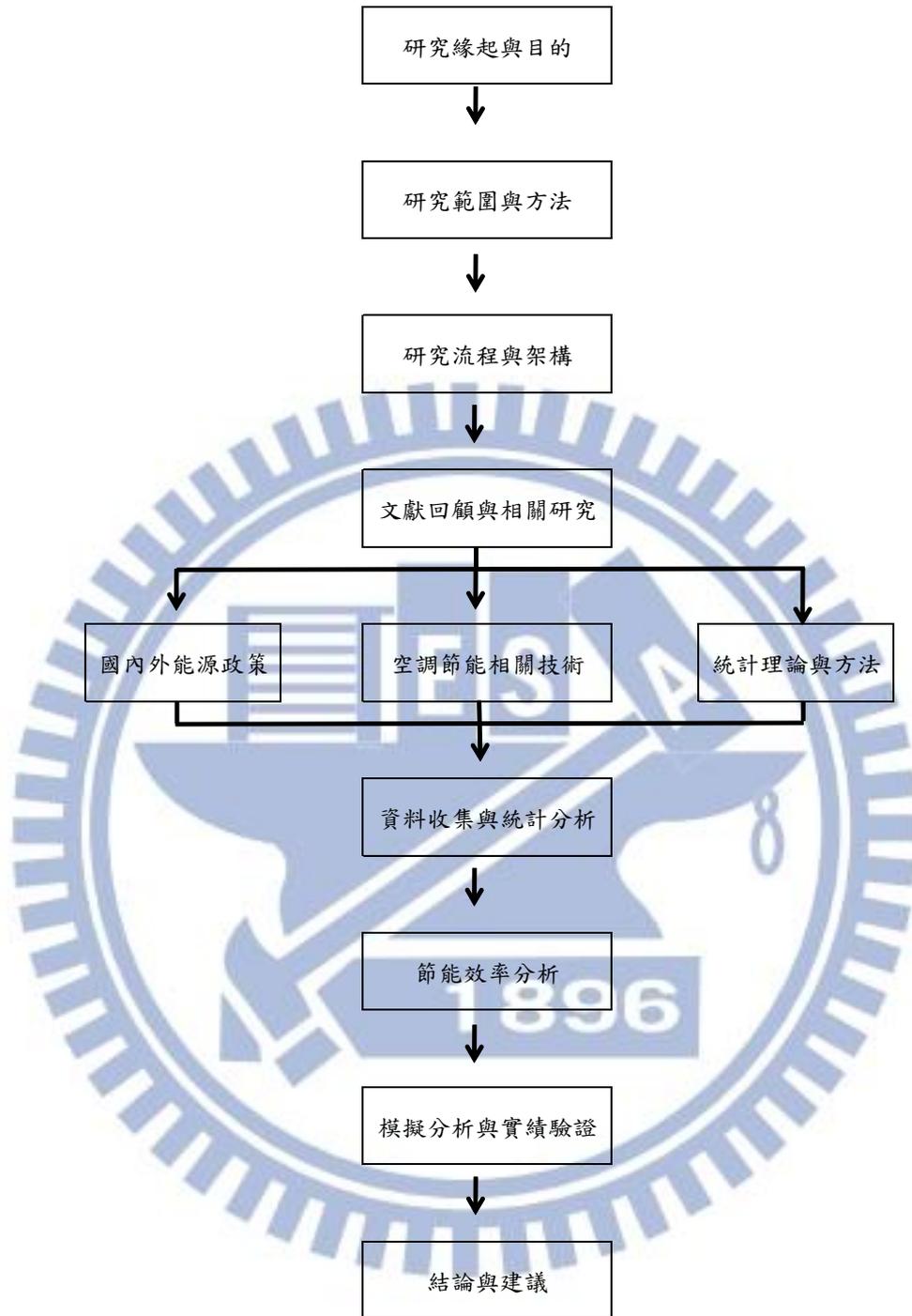


圖 1-2 研究架構

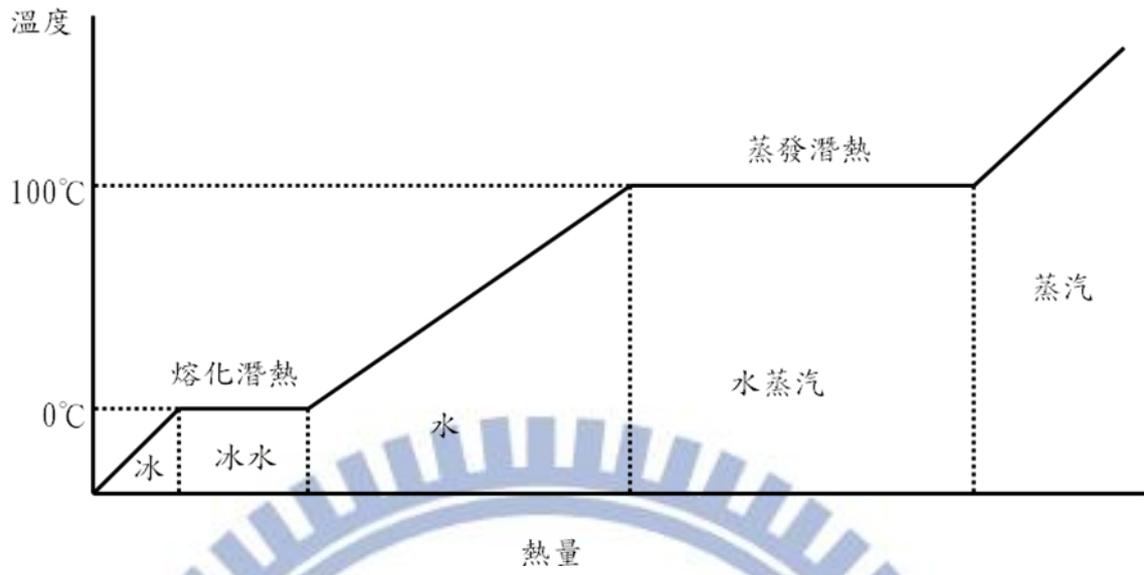


圖 2-1 水的熔化及蒸發潛熱

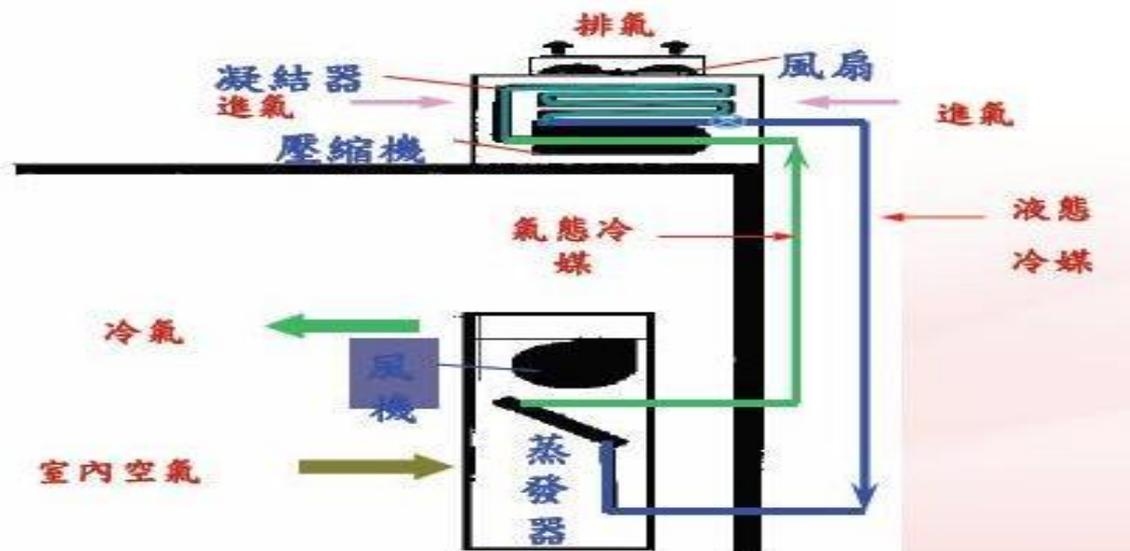
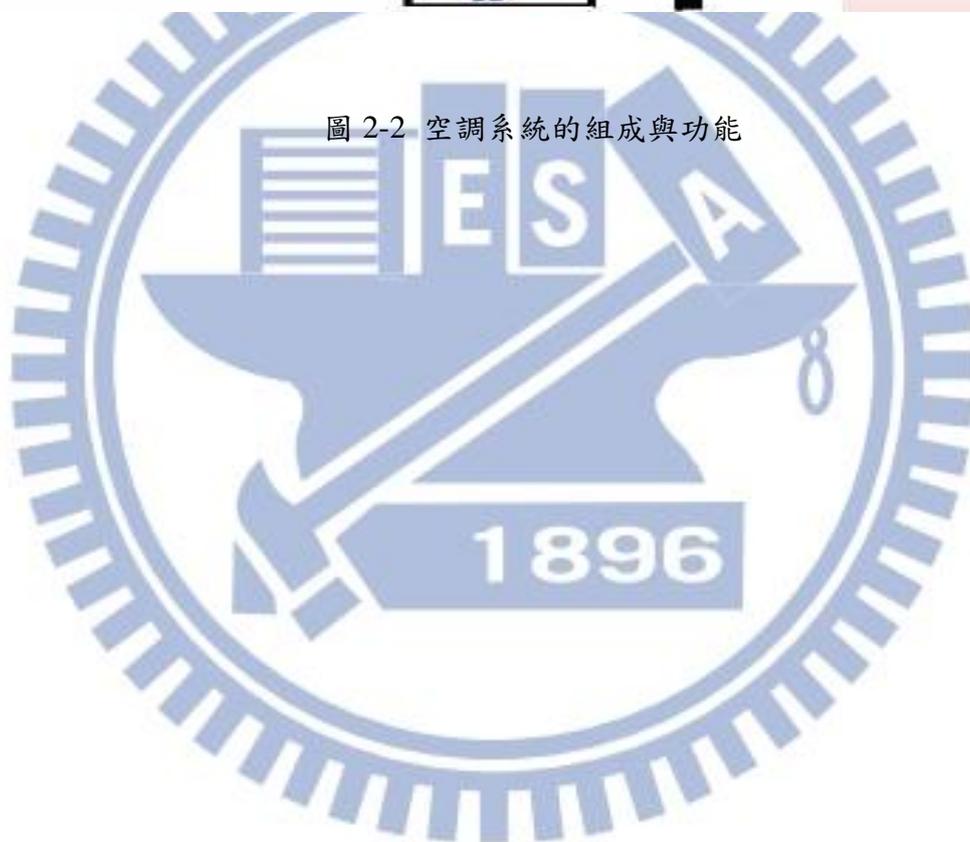


圖 2-2 空調系統的組成與功能



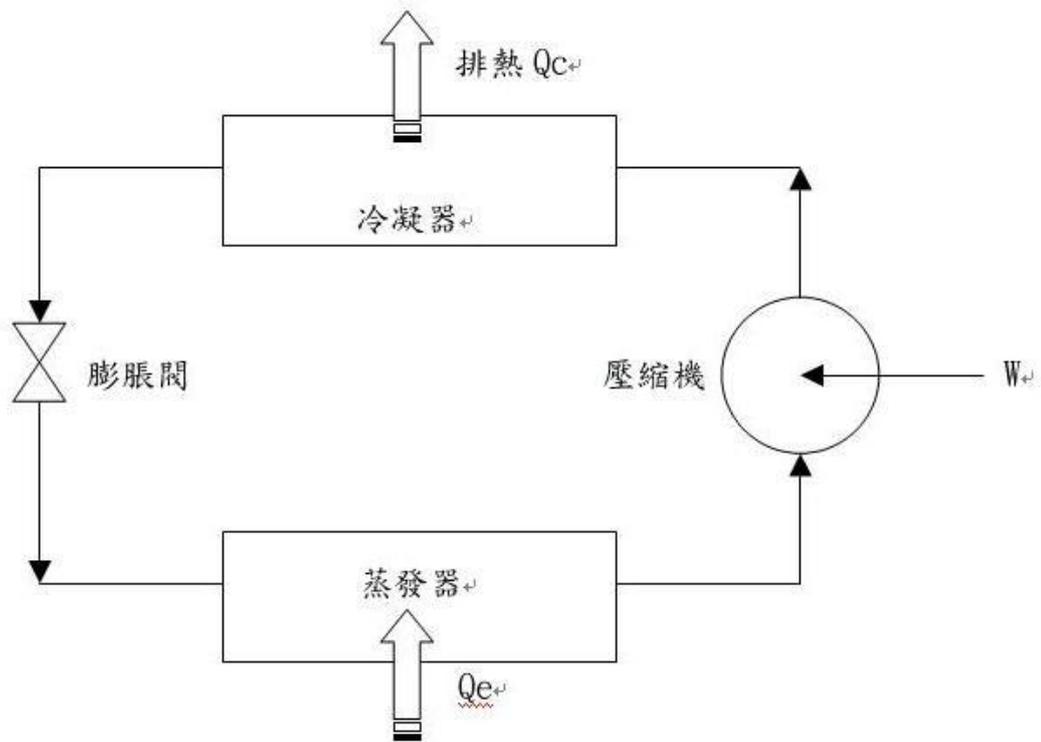


圖 2-3 基本冷凍循環圖



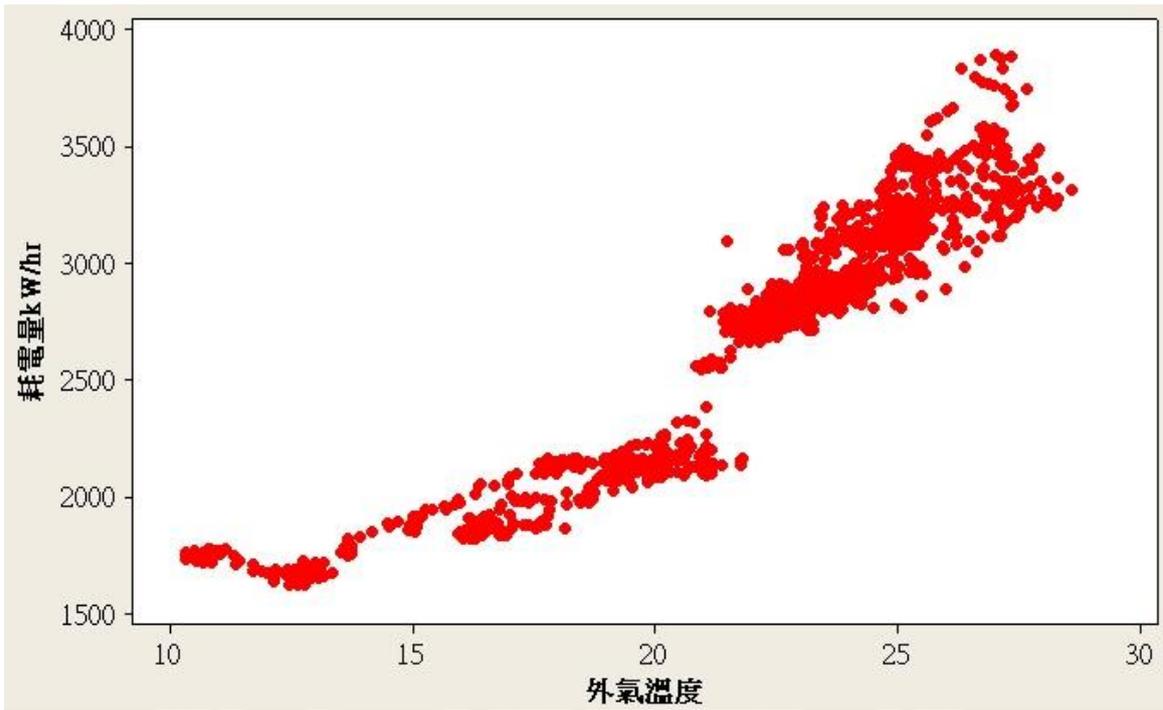


圖 4-1 耗電量與外氣溫度關連圖



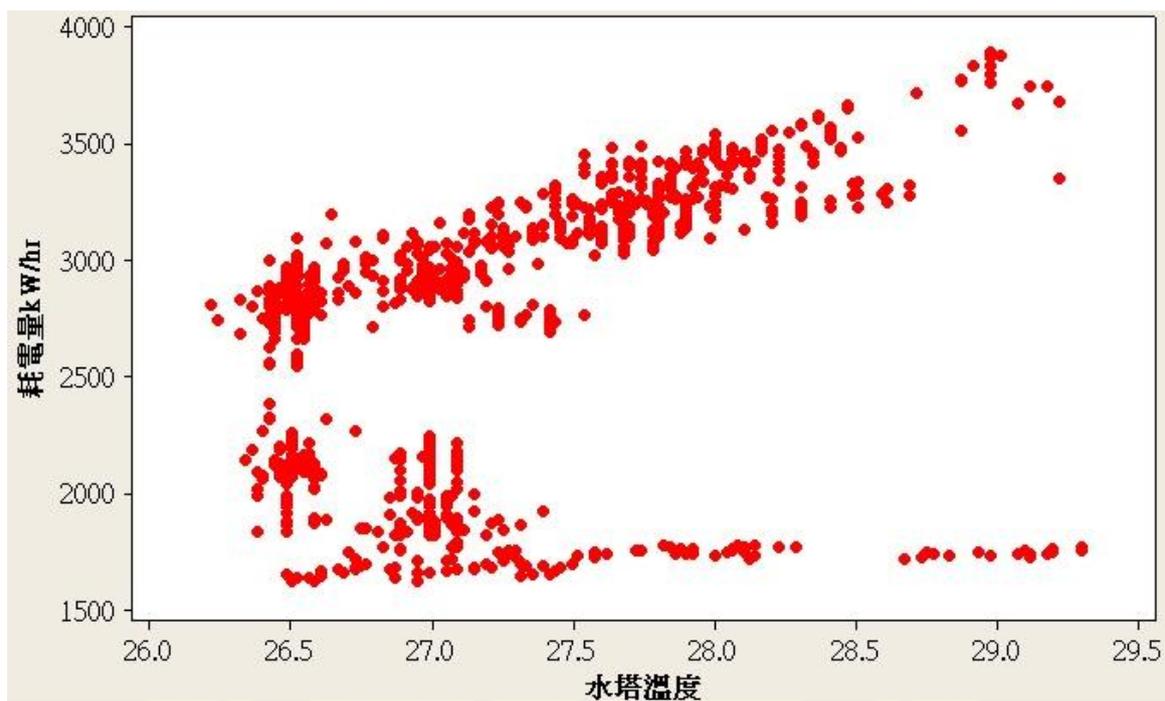


圖 4-2 耗電量與水塔溫度關連圖



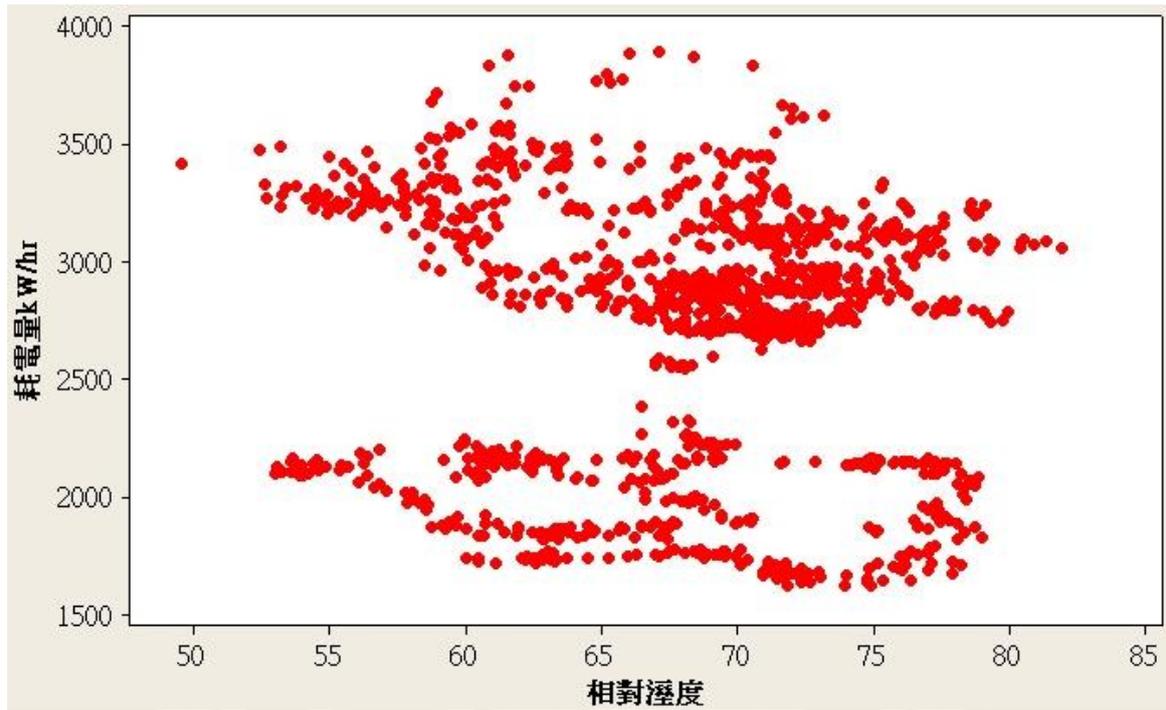


圖 4-3 耗電量與相對溼度關連圖



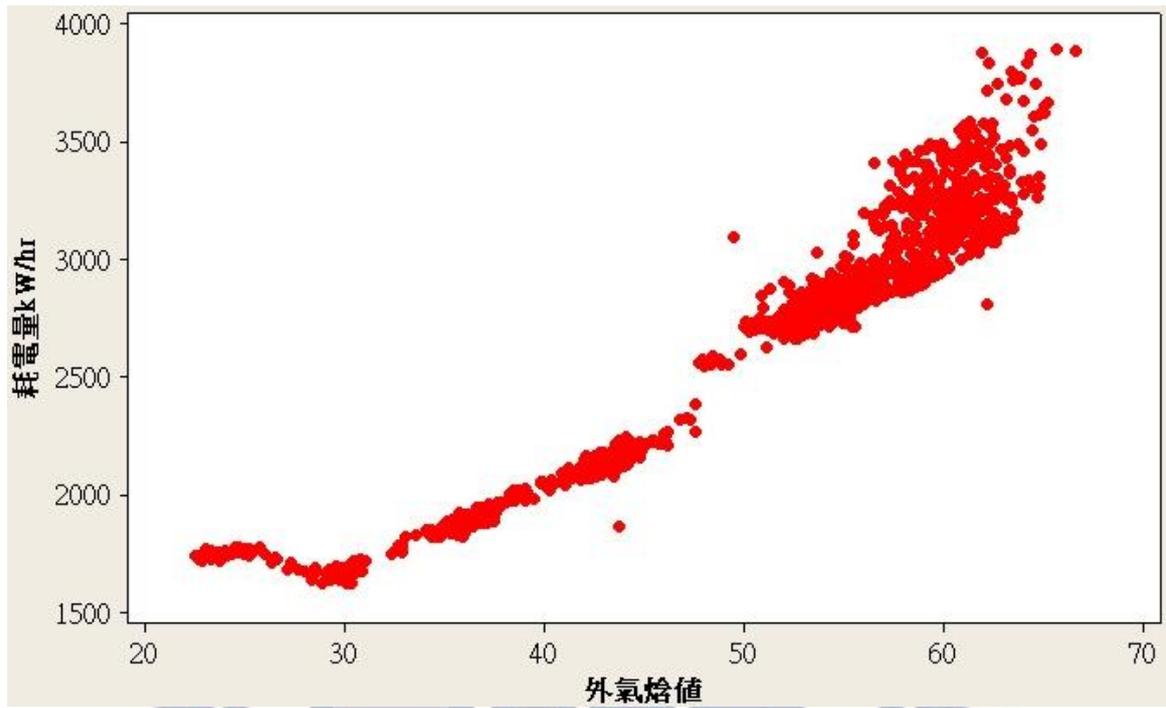


圖 4-4 耗電量與外氣焓值關連圖



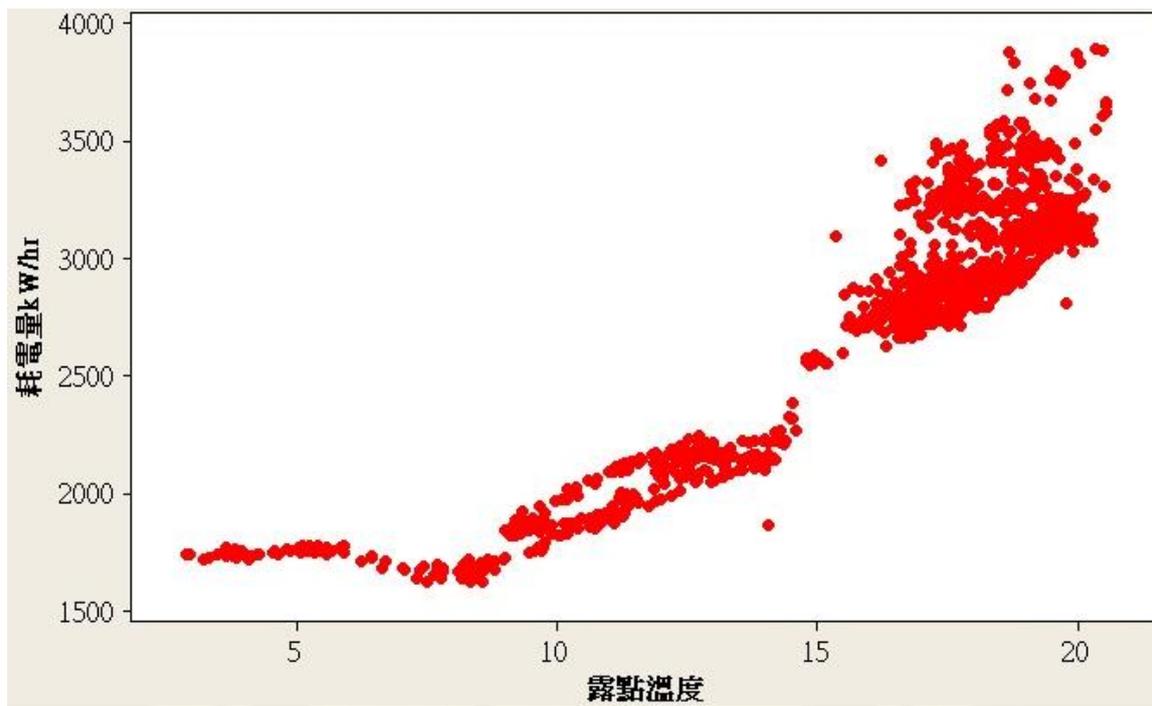


圖 4-5 耗電量與露點溫度關連圖



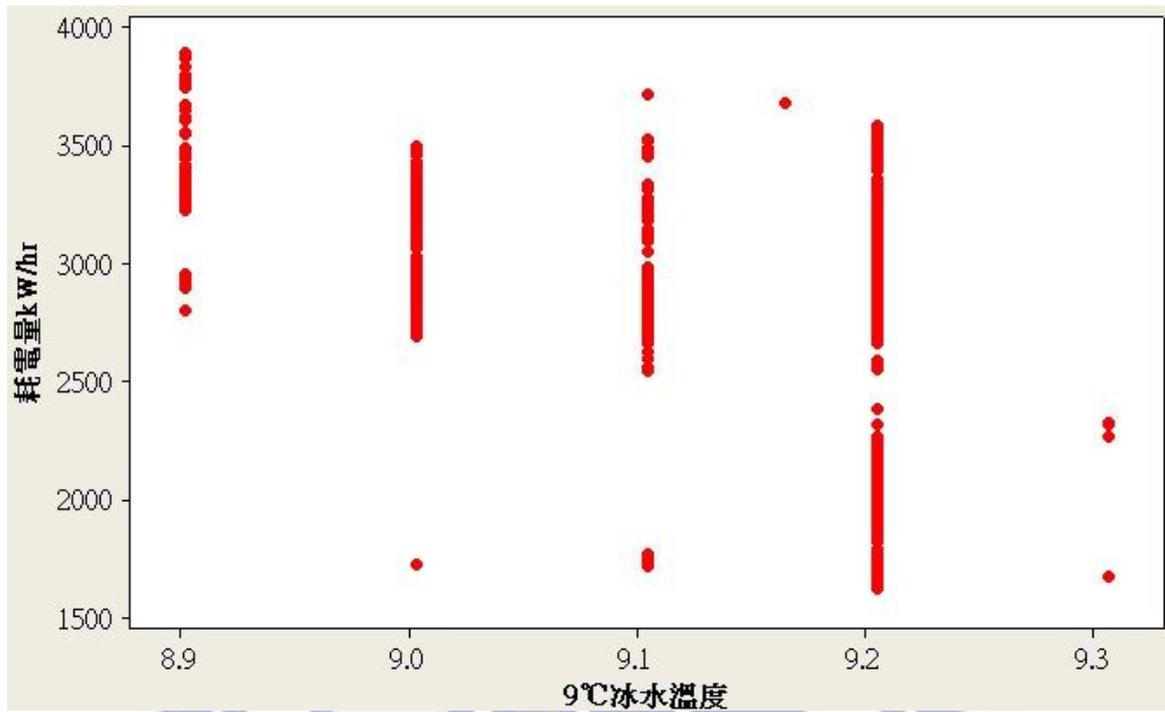


圖 4-6 耗電量與 9°C 冰水溫度關連圖



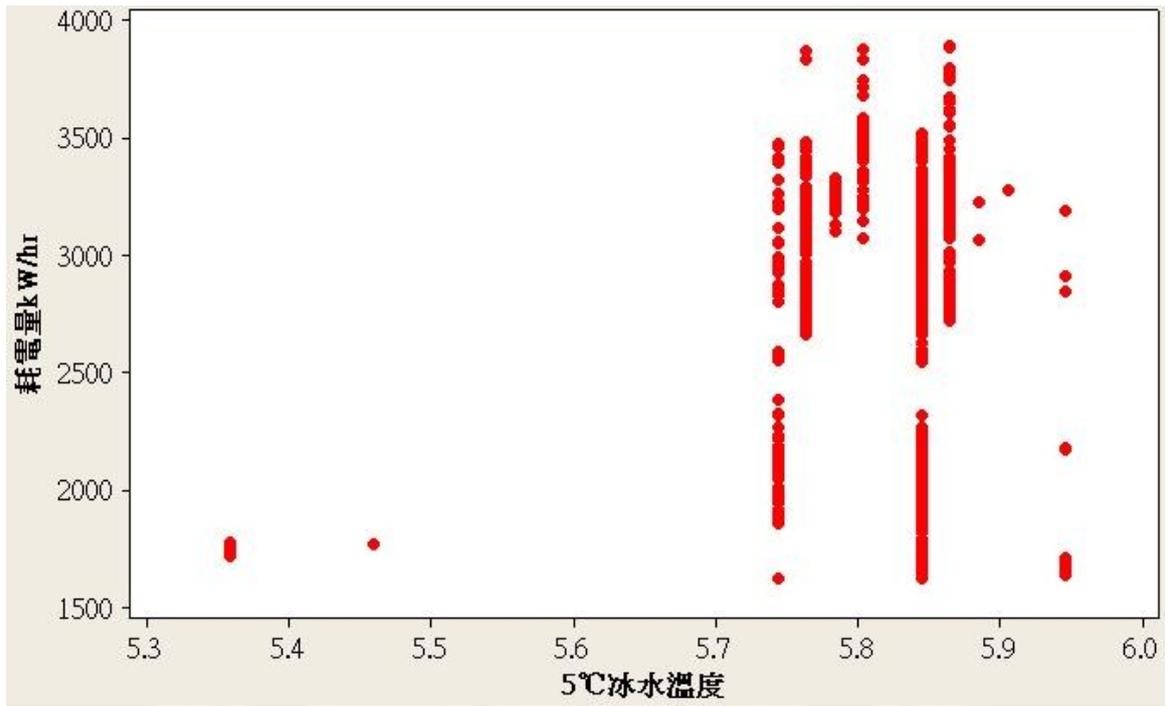


圖 4-7 耗電量與 5°C 冰水溫度關連圖



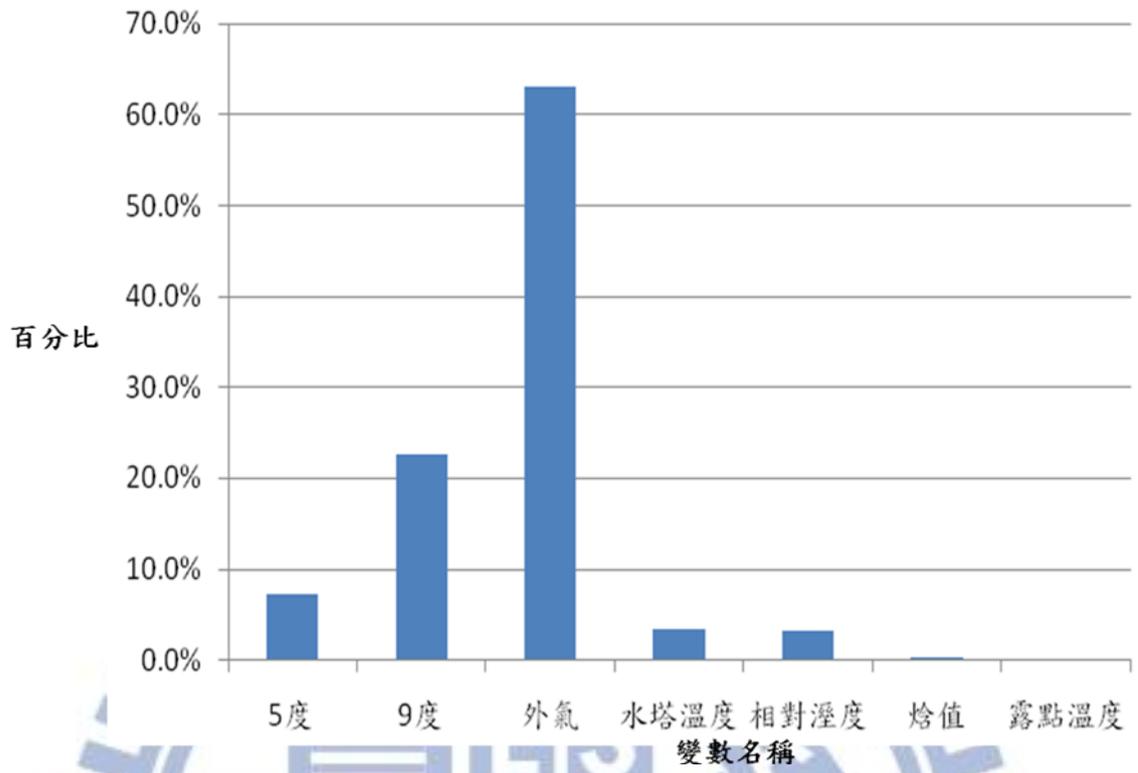
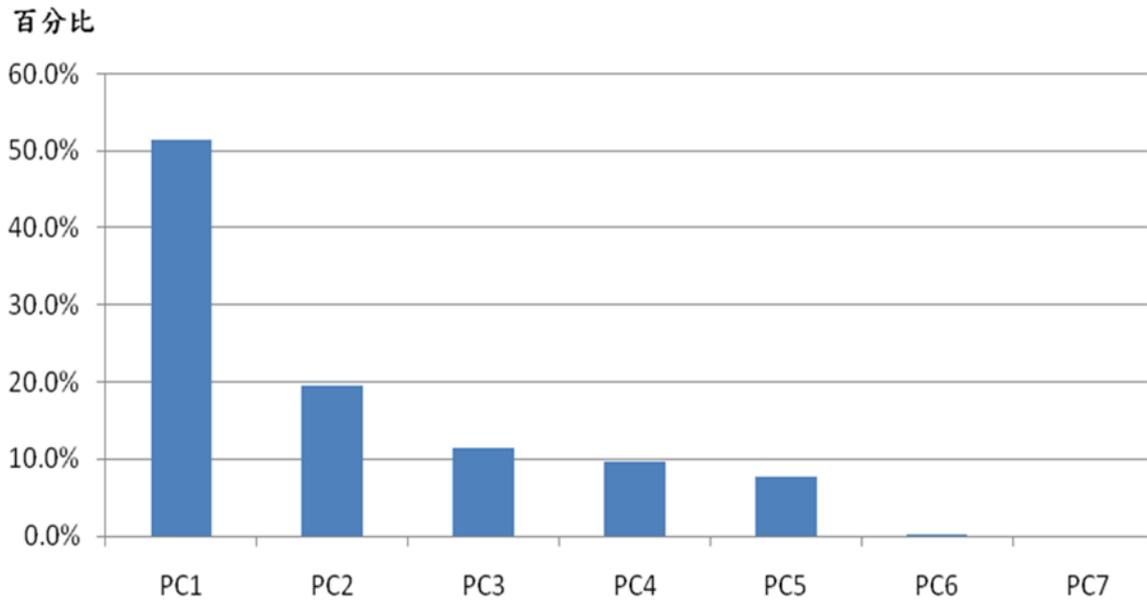


圖 4-8 變異數分析圖





主成份

圖 4-9 PCA 分析



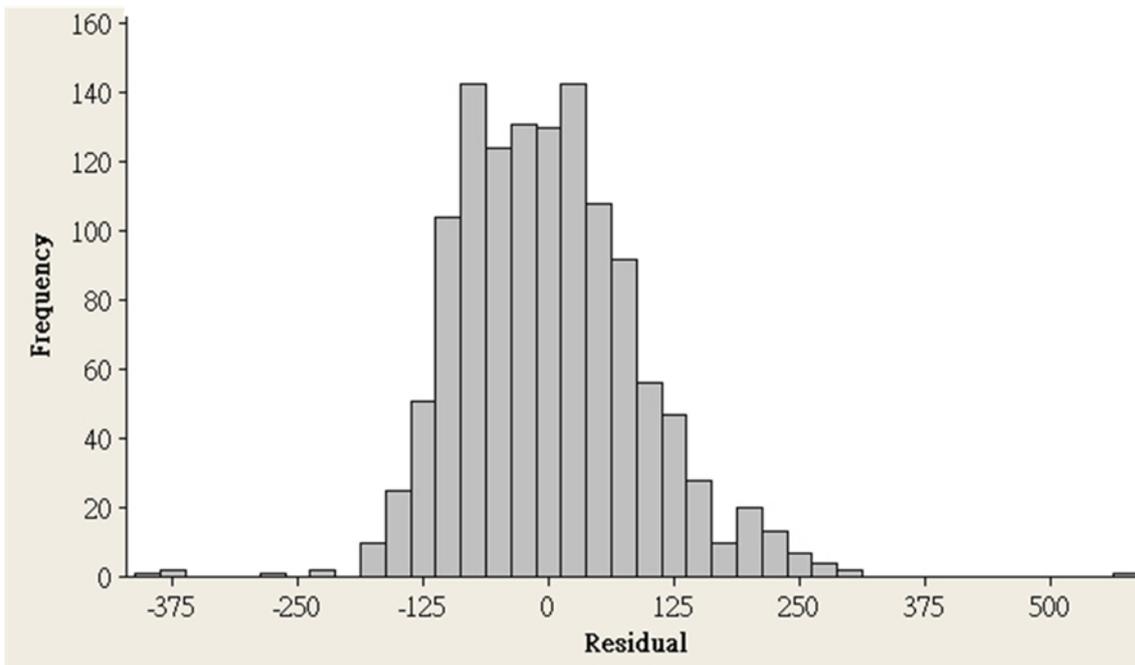


圖 4-10 殘差值的直方圖



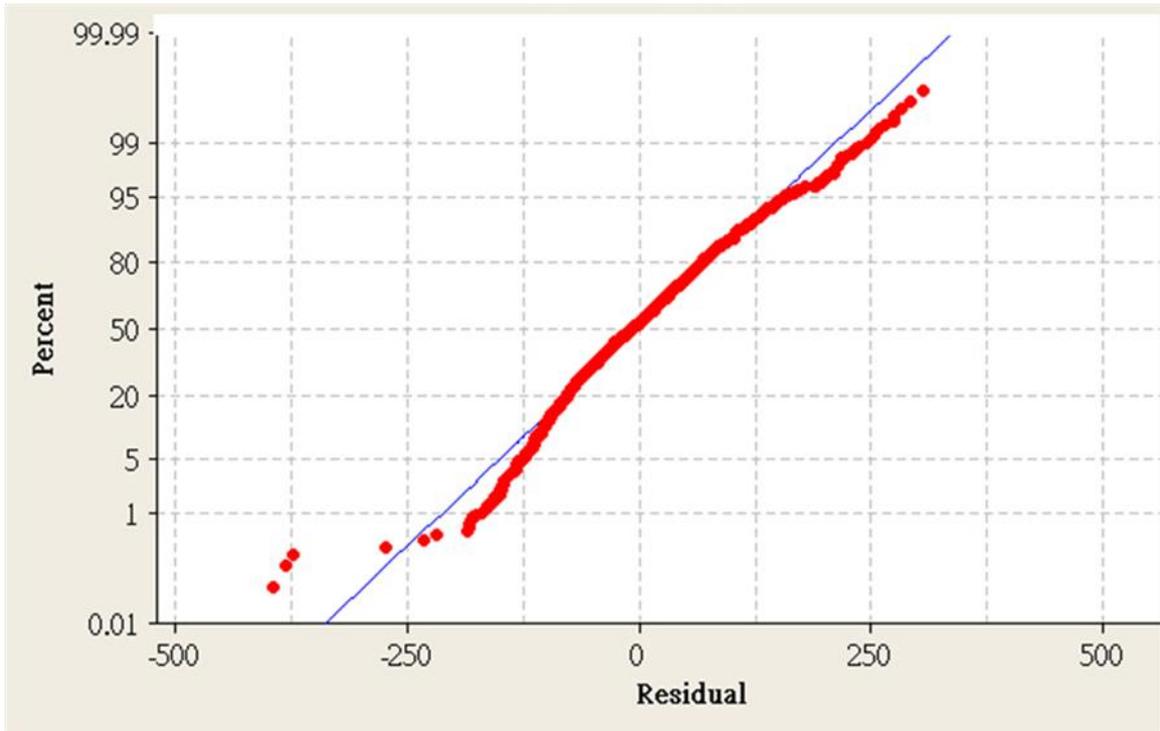


圖 4-11 殘差值的 Normplot



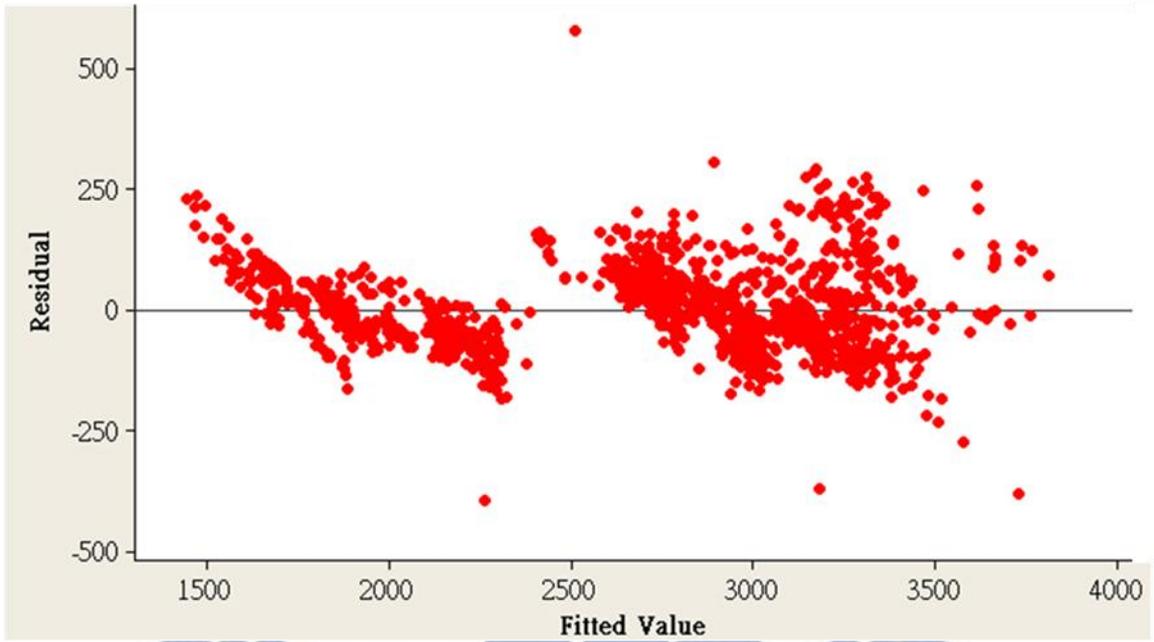


圖 4-12 殘差值的散佈圖



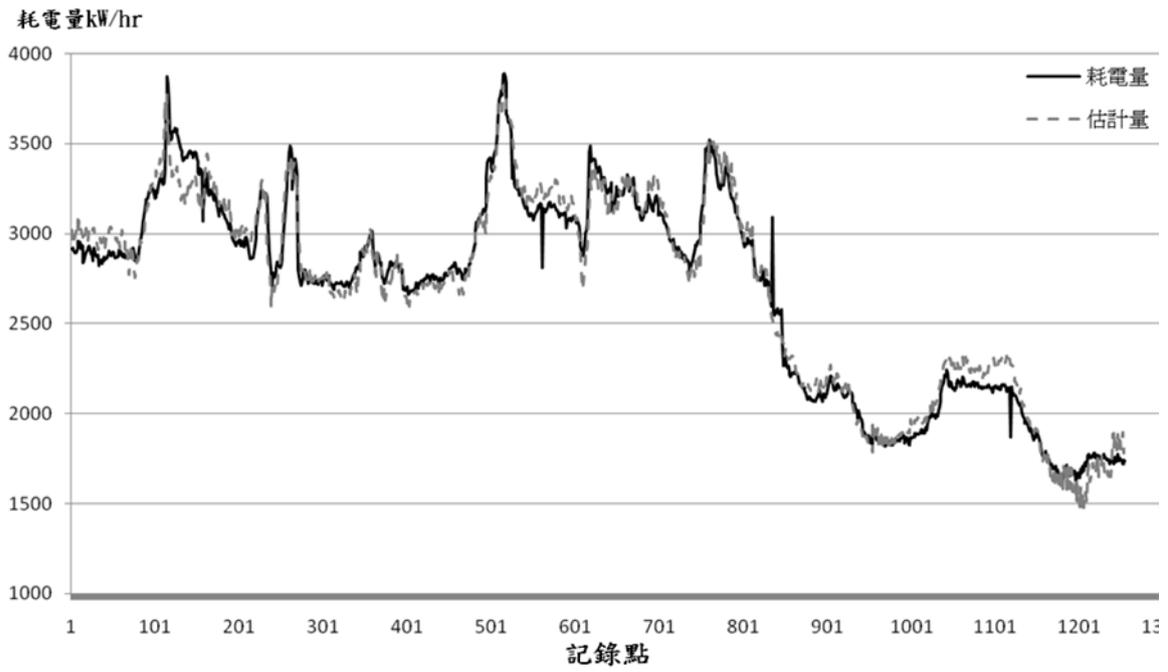


圖 4-13 觀測耗電量與回歸式估算耗電量比較圖



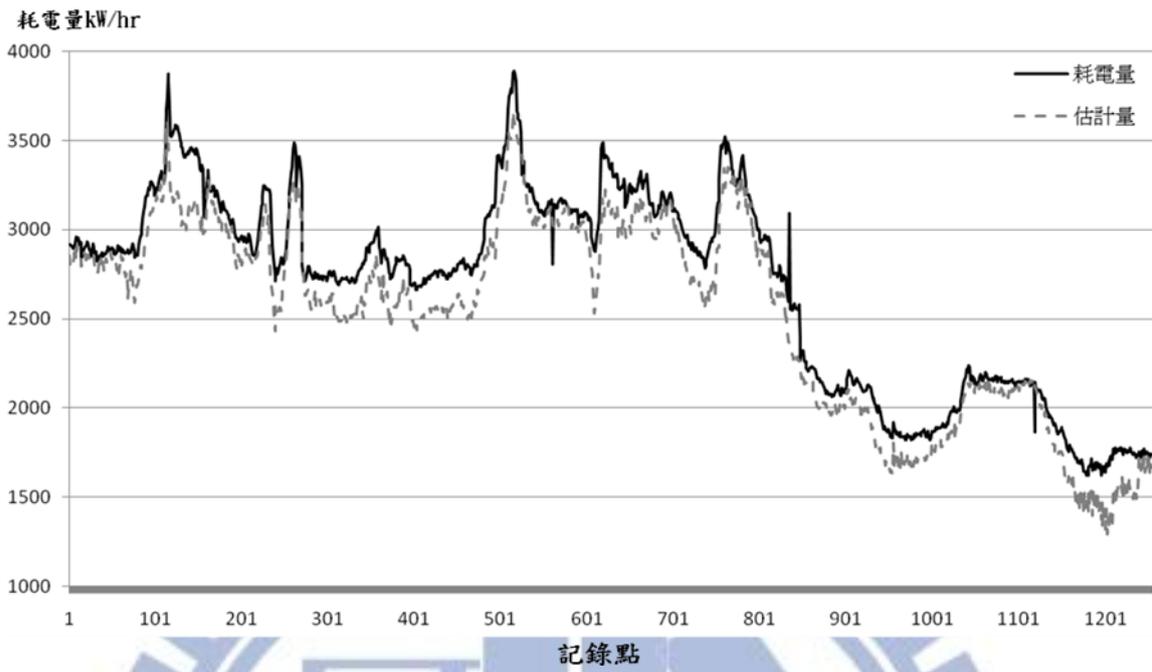


圖 4-14 提高 0.5°C 節能比較圖

