

DT  
446.7  
7515.1  
100  
225258

國立勤益科技大學

冷凍空調與能源系碩士在職專班

碩士論文

空調系統季節性負載管理策略節能探討

**Energy Conservation Strategy of Seasonal  
Management of Air-Conditioning System**

研究生：陳孟成

指導教授：李靖男



中華民國一〇〇年七月

國立勤益科技大學圖書館



225258

空調系統季節性負載管理策略節能探討

Energy Conservation Strategy of Seasonal  
Management of Air-Conditioning System

研究生：陳孟成

指導教授：李靖男

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士在職專班  
碩士論文

A Thesis  
Submitted to  
Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering  
National Chin-Yi University of Technology  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Design  
in  
Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering

July 2011  
Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇〇年七月

# 國立勤益科技大學

## 博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學  
冷凍空調系\_\_\_\_\_組 99 學年度第 2 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：空調系統季節性負載管理策略節能探討  
指導教授：李靖男

### ■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	■ 中華民國 101 年 7 月 31 日公開
校外網際網路	■ 中華民國 101 年 7 月 31 日公開

授權人：陳玉成

簽名：\_\_\_\_\_

陳 玉 成



中 華 民 國 100 年 7 月 31 日



國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 國立勤益科技大學 碩士班 陳孟成 君  
所提論文 空調系統季節性負載管理策略節能探討  
合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：莊嘉琛  
趙有光  
李靖男  
指導教授：李靖男  
系（所）主管：謝文

中華民國100年 7 月 5 日

## 摘要

本論文主要在探討以最佳空調節能設計為目標，導入先考慮「空調」節能、後考慮「建築」結構的概念為手段。藉由 eQUEST 應用程式進行季節性主機台數及容量控制管理、區域泵變流量控制及冷卻水塔變風量控制的探討。結果顯示，季節性的建築物空調負荷，分析使一般空調主機在春秋及冬季的負載率分別由 67%~76% 及 25%~40%，經由台數控制的負載管理策略，均提昇到 70%~90%。至於區域泵變流量及冷卻水塔變風量的省能效果為 63% 及 40%。故，依季節性的空調負荷作為選機台數控制的依據，除避免主機超量設計，同時可提昇在春秋季及冬季長期處於低負載的狀況，獲得全年均可進行節約能源的潛力。

關鍵字：eQUEST、空調系統、主機台數控制、變速控制、變頻控制

## Abstract

This thesis proposes demonstration the best energy saving design based on considering the air-conditioning energy saving, then the structure construction. The research probes into the number of chillers, volume control management, variable water volume control of secondary zone pumps, and variable air volume control of cooling towers by using the eQUEST program. The HVAC load in spring and autumn are 67% to 76% and in winter are 25% to 40% in general. The strategy of controlling the number of chiller can enhance the load factor to 70% to 90%. Moreover, the effect of energy saving of variable water volume and variable air volume can enhance to 63% and 40%. The results are verified by multiple-chiller controls has annual energy saving potentials. It can avoid over-design problems, and can also advance the low load factor in spring, autumn and winter.

Keywords : eQUEST · HVAC system · multiple-chiller controls · variable-speed control · inverter control

## 誌謝

承蒙 恩師李靖男教授悉心指導與諄諄教誨，嚴謹的治學態度與待人接物處世之道，及專業知識上的啟發與斧正，使學生受益匪淺並得以順利完成論文。謹致上由衷的敬意與感激，師恩浩瀚永誌難忘。

感謝 趙有光教授、莊嘉琛教授費心審閱，給予論文精闢的建議與指導，使本研究內容更臻完備。

感謝 節能技術實驗室中，學長尉棋引領進入eQUEST耗能解析的領域，學弟忠義協助模擬分析與資料彙整；在論文研究應用及分析上獲得莫大助益。學弟則昊、家龍、小平等對於研究的協助與建議。同學益進在研究過程中的相互扶持。

感謝 所有幫助及教導過我的師長、同學、友人。雖未一一臚列，但瞭然於心中，在此論文完成之際，致上衷心的謝忱與祝福。

最後，謹以本論文獻給親愛的家人，並感謝父母親一生劬勞付出。

後學

孟成 于 勤益科技大學

中華民國一〇〇年七月

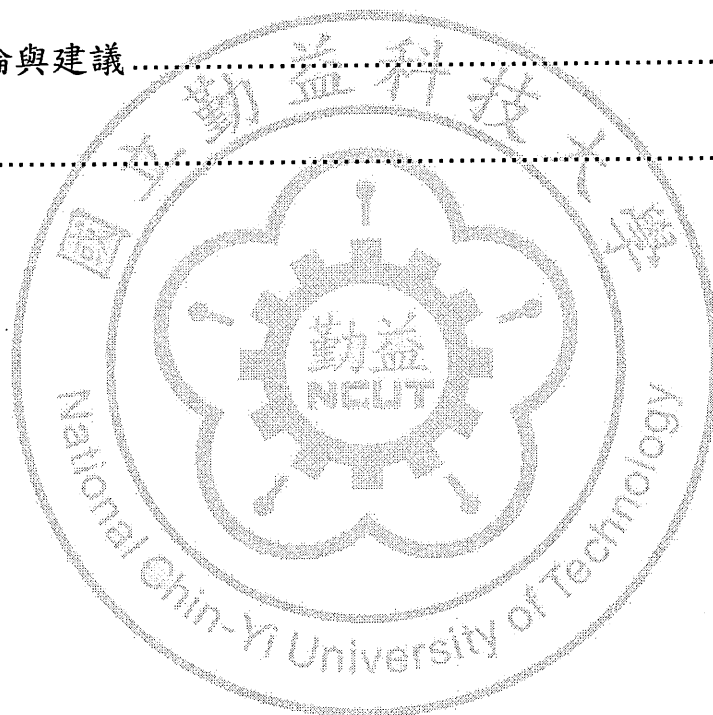
謹誌



# 目 錄

摘 要 .....	i
<b>Abstract</b> .....	ii
誌 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
圖目錄 .....	vi
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機與目的 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	4
1.3 研究內容與架構 .....	7
第二章 空調系統節能策略 .....	9
2.1 空調系統概述 .....	11
2.2 空調節能技術運用 .....	14
2.2.1 季節性與空調系統的關係 .....	17
2.2.2 季節性及容量控制管理策略 .....	19
2.2.3 水側變流量控制 .....	20
2.2.4 冷卻水塔節能控制 .....	25
第三章 空調系統模擬建構 .....	26
3.1 應用程式概述 .....	26

3.2 案例探討 .....	28
第四章 結果與討論 .....	45
4.1 空調系統耗能受季節性空調負荷的影響.....	45
4.2 季節性主機台數及容量控制管理策略.....	47
4.3 冰水變流量控制 .....	56
4.4 冷卻水塔節能控制.....	63
第五章 結論與建議.....	65
參考文獻.....	66



## 圖目錄

圖 1.1 辦公大樓月平均用電消費量變化圖 .....	2
圖 1.2 研究內容及流程 .....	8
圖 2.1 空調系統示意 .....	11
圖 2.2 空調系統最佳節能示意 .....	17
圖 2.3 冰水定流量系統示意圖 .....	20
圖 2.4 冰水變流量系統示意圖 .....	21
圖 2.5 冰水變頻變流量系統示意圖 .....	22
圖 2.6 一般區域泵特性曲線 .....	23
圖 2.7 變頻變流量系統性能曲線 .....	24
圖 3.1 空調系統建構流程 .....	29
圖 3.2 建築物外觀示意圖 .....	32
圖 3.3 建築物壹層平面示意圖 .....	32
圖 3.4 建築物貳至拾貳層平面示意圖 .....	32
圖 3.5 建築物用途及氣象資料設定 .....	34
圖 3.6 建築物人員負荷設定 .....	34
圖 3.7 建築物照明負荷設定 .....	35
圖 3.8 尖峰及離峰用電時間電價 .....	39

圖 3.9 尖離峰用電時段及夏季用電區間 .....	39
圖 3.10 eQUEST 空調系統建置 .....	40
圖 3.11 空調主機性能設定 .....	41
圖 3.12 區域泵功能設定 .....	44
圖 3.13 冷卻水塔風扇功能設定 .....	44
圖 4.1 建築物在夏季、春秋季及冬季逐時空調負荷分佈 .....	46
圖 4.2 一般空調主機運轉負載率 .....	46
圖 4.3 一般空調主機運轉時數及負載率 .....	48
圖 4.4 二台空調主機運轉時數及負載率 .....	48
圖 4.5 三台空調主機運轉時數及負載率 .....	49
圖 4.6 夏季空調主機運轉狀況 .....	53
圖 4.7 春秋季空調主機狀況 .....	54
圖 4.8 冬季空調主機運轉狀況 .....	54
圖 4.9 空調主機一、二及三台逐月耗電量 .....	55
圖 4.10 夏季日逐時冰水流量 .....	57
圖 4.11 春秋季日逐時冰水流量 .....	57
圖 4.12 冬季日逐時冰水流量 .....	58
圖 4.13 區域泵夏季耗電量 .....	60
圖 4.14 區域泵春秋季耗電量 .....	61

圖 4.15 區域泵冬季耗電量..... 61

圖 4.16 水塔風扇逐月耗電量..... 63



## 表目錄

表 3.1 建築物開窗率 .....	30
表 3.2 建築物結構 U 值 .....	31
表 3.3 空調系統運轉時間 .....	31
表 3.4 台中氣象資料 .....	33
表 3.5 建築物尖峰負荷組成成份表 .....	37
表 3.6 空調主機能源效率標準 .....	40
表 3.7 各空調區間最大空調負荷與設計風量 .....	42
表 3.8 空調系統設備逐月耗電量 .....	43
表 4.1 一台空調主機運轉時數與負載率 .....	50
表 4.2 二台空調主機運轉時數與負載率 .....	51
表 4.3 三台空調主機運轉時數與負載率 .....	52
表 4.4 空調主機一、二及三台耗電量 .....	55
表 4.5 區域泵變流量在各季節的運轉效率比數 .....	59
表 4.6 區域泵全年耗電量效益 .....	62
表 4.7 水塔風扇全年耗電量效益 .....	64

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

台灣地處在夏季為高溫高濕的亞熱帶氣候型態，因此為獲得舒適的環境，造成各行各業對空調系統高度的依賴性，尤其在溫室效應日益加劇的氣候變遷下，空調系統耗用能源已逐年增加中，其在主要石油供應國局勢震盪將導致國際油價的攀升及其它天然資源的急速消耗殆盡因素影響下，尤其在能源絕大部分需仰賴進口的特殊能源結構，更是雪上加霜。當務之急，是如何提高空調系統能源使用效率及節約能源。



根據台灣地區辦公室建築耗能總量調查之研究[1]，北中南三都會區辦公大樓用電隨著季節變換起伏，產生不同的用電變化量(參圖 1.1 所示)。

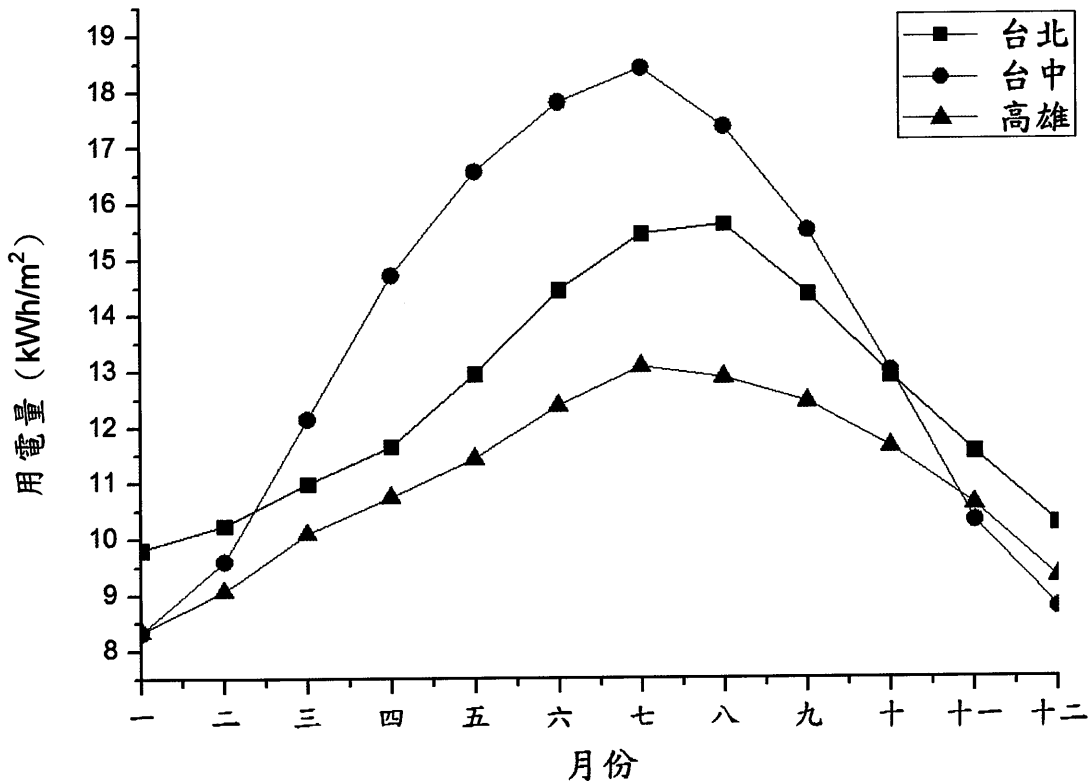


圖 1.1 辦公大樓月平均用電消費量變化圖 [1]

依據商業建築物中用電耗能的佔比，並再深入探究空調系統中各部耗能所佔比重，發現中央空調系統中空調主機耗能所佔比例高達該系統之 60%。可見若能針對我國辦公大樓中之空調系統施以適當之負載管理及節能策略，應可獲得可觀之省能效益。

建築物中所產生的空調負荷除了人員、照明、辦公器具等內部負荷外，還包含建築物受外氣環境如日照、溫度、濕度等外在氣候條件



影響所產生的外部負荷。就空調負荷之特性而言，由於外部負荷的變動遠大於內部負荷，因此，造成我國夏季之用電量遠較於其他季節來得高。台灣電力公司在能源取得不易及新建電廠日益困難下，也只能採取時間電價及宣導節約用電等方式來抑制夏季之用電量。

因此，本研究藉由探討中央空調系統中空調主機與冷卻水塔、區域泵作最佳化策略、最佳化負載之組合與分配，由該結果進行空調系統最佳化節能運轉操作之分析，並探討中央空調系統於不同運轉策略下對系統總耗能之影響，再提出實務運轉可應用之方法。為達上述之結果，本研究選用 eQUEST（建築物耗能動態應用程式）作為研究工具，藉由 eQUEST 電腦模擬，研究解析上揭能耗因子與節能策略。因該軟體具有我國全年度氣象資料庫及可依台灣電力公司所公布的電價進行電費計算之特點，可滿足本研究進行建築物空調主機台數控制、空調主機容量負載分配、區域泵變頻控制及冷卻水塔散熱風扇變速等節能管理策略之模擬分析。

## 1.2 文獻回顧

本文就空調系統熱源側的主機台數控制與負載側的變流量節能策略進行能耗的探討，主要研究工具係利用 eQUEST 應用程式進行，再根據台中地區氣象資料進行耗能模擬分析，相關參考文獻歸納如下：

1997 年李靖男[2]以節約能源的觀點論述冷凍空調系統，理論上「空調系統」等於「空間負荷」謂之最佳化之省能設計，實務上雖不可能實現，但可藉助控制的方式接近此一目標。其方式如下：在空氣側部分，可採變風量 (VAV) 系統；冰水測系統，由定水量 (CWV) 發展為可變水量 (VWV) 系統；冷凍循環系統，則可利用主機台數控制或卸載的特性；散熱系統可利用可變風量。

2005 年吳衍嘉[3]依據一般商業建築實際耗電量測結果顯示：空調系統、照明系統及動力系統的耗電量分別約佔 40%、30% 及 30%。根據前述的空調系統耗電又以熱源側空調主機約佔 60% 為最大宗，其次為負載側的冰水系統約佔 20%。綜合上述，空調主機是空調系統中最耗電的機件，因此空調主機之運轉模式改變，成為節約能源的主要目標之一。

2006 年李浩銓等[4]以台灣某辦公建築物作為模擬案例，進行既有建築物之節能潛力與最佳節費案例分析，並以驗證模擬軟體作為用戶端評估最有利電價之工具。

2006 年林啟發[5]研究在台灣各類中央空調建築物實際用電比例統計中發現，建築物於日常生活中之耗能係以空調為最大宗，其也是造成夏季尖峰負載的最大原因，若能有效的控制此一負荷，不僅可降低全國的耗電總量，對於降低瞬間尖峰負載，應具備良好的成效。

2007 年 Xinqiao Jin [6]等人針對空調系統提出變流量系統及監控系統特性實行策略分析，發現就冷凍水出水溫度及二次泵出水壓力同時調控之組合串聯系統最為節能。

2007 年彭鵬 [7]等人提出空調系統的能耗與氣候具有密切的關係，夏天室外氣溫升高，建築物空調用電量攀升，相對運轉的冷卻水塔、水泵等亦有明顯增加；然而照明及設備耗電量，則較不受氣候影響。以上述關係比較分析空調溫度設定、空調主機 COP 值、室內照明密度與能耗的對應關係的節能潛力。

2008 年梁正穎[8]根據統計資料得知，空調系統是國內高消耗能源的元兇之一。以往空調設計者對於大型建築物之空調系統設計，不僅未能精確之計算或靠經驗法則來估算外，又為防止空調容量不足，因此往往造成超量設計，若又未能建立空調主機台數搭配運轉策略，

亦是造成國內高能耗的元素之一。

2009年楊開翔[9]探討影響高耗能辦公室的主要因子，其研究結論是，對於辦公大樓用電密度的主要影響因素為空調型式，並以中央空調大樓與獨立空調大樓兩種形式之樣本進行探討分析。結果發現中央空調用電密度受到地域性差異影響；然而在獨立空調系統，卻受冬夏季季節變換所影響。

2009年趙尉棋[10]就台灣地理環境及氣候條件利用 eQUEST 應用程式，獲得建築空調全年逐時空調負荷與空調系統間能源使用情形，進行空調冰水系統耗能關係之研究探討，得知空調主機深受季節性空調負荷的影響甚深。

2009 孫勝男等[11]運用 eQUEST 模擬軟體計算不同人員數量，對應全年空調能耗動態變化，並推導出單位面積客流量與全年空調能耗的關聯曲線，作為考量客流量與空調能耗間提供設計時的理論依據。

### 1.3 研究內容與架構

本論文共分為五章，第一章為緒論，主要包含研究背景與動機，再根據研究主題、目的、流程(參圖 1.2 所示)，進行相關文獻探討與回顧。第二章為空調系統節能評估，其內容為空調系統概述、空調系統循環負荷、空調節能技術，並說明空調系統的建構過程，以「先空調後建築」的設計概念，說明空調系統各項設備最佳節能設計與「空調負荷」環環相扣與兼容並蓄的相依性。第三章利用 eQUEST 應用程式為基礎，進行建築物動態負荷之模擬建構及案例分析探討，第四章分別針對各系統變數及節能策略進行的結果與討論與參數變因設定說明，最後在第五章進行結論與建議，就本研究結果，探究空調熱源與負載最佳化控制策略之擬定之策略成效。

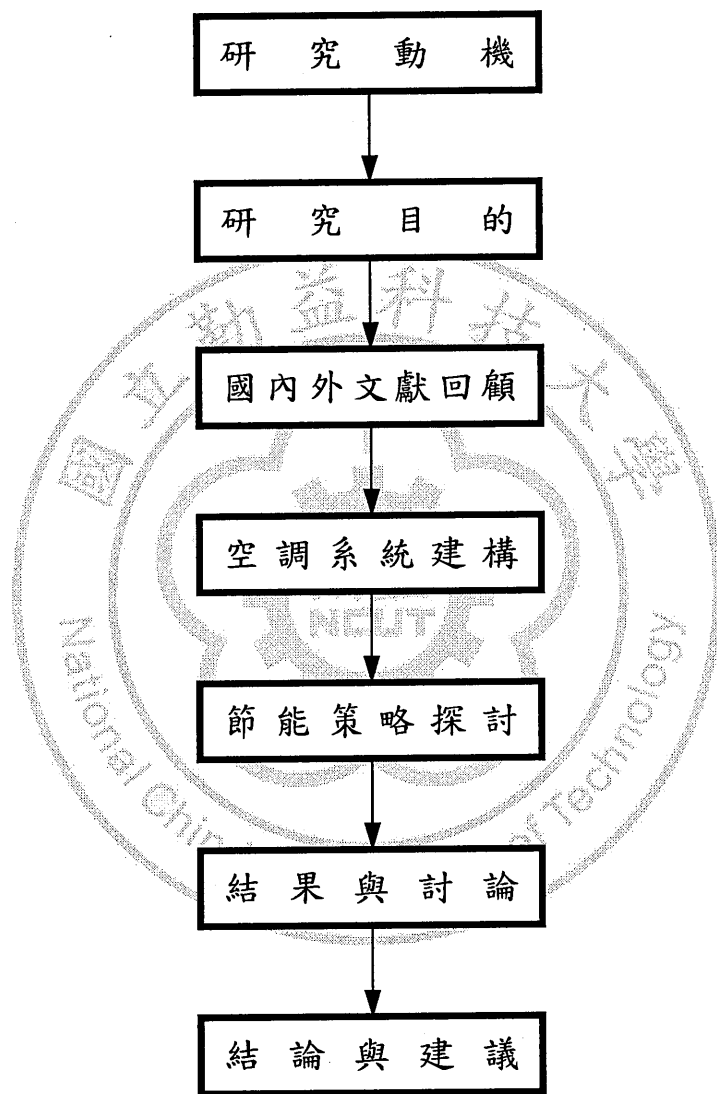


圖 1.2 研究內容及流程

## 第二章 空調系統節能策略

由於高科技產業蓬勃發展與日新月異、國民生活品質之高標準要求，再加上近年來溫室效應導致氣候之變遷，使得我國之用電量屢創高峰，若能在不影響空間溫濕度、舒適度及空調設備的運轉壽命下，降低空調系統用電，不但可減少空調用戶電費的支出，並可有效地降低尖峰限電機率。尤其是在夏季尖峰時段，電力備載容量不足，只要台電發電機組一跳機，就有限電危機，造成了產業不必要的損失。由分析可知，只要天氣一變熱，用電量就會增加，很顯然是由於空調用電量的變化，影響了夏季尖峰耗電量的變化。

又因空調系統成長的速度更是驚人，除了公共場所及家中所使用的冷氣之外，工廠內為了配合人員舒適需求或是因生產製程環境要求所使用的冷氣，更是大幅成長，當產品愈精緻，空氣調節的需求就愈大。因此在不影響空調品質的情況下，減少空調耗電量，即可達到空調節能的目標。

由於我國夏季區間（六月至九月）正值高溫的季節，經由台灣北部某案例之實測資料統計發現，空調耗能之分佈係由低溫高濕處以帶狀方式延伸至高溫低濕處，且發生次數以在高溫低濕時佔大部分。這樣的結果除能了解台灣夏季白天氣候特性外，也發現在高溫低濕下之

空調耗能有相對較高之情形[12]。由此可知，氣候因素（如溫度、相對濕度等）改變空調系統的用電量，也直接影響了夏季尖峰耗電量的變化。

因此，倘若能發展出一套有效的節能評估策略，使其在不影響空調空間之溫濕度、舒適度及空調設備的運轉壽命下，能顯著地降低空調系統用電量，其不但能有效地降低夏季尖峰限電之機率，更可減少用戶對空調耗費的支出，更能減緩因氣候異常所帶來的地球暖化現象。





## 2.1 空調系統概述

為使室內熱負荷能夠順利移轉、釋放至大氣中，必須藉由空調設備的運轉來達成，當室內與大氣間之溫度差愈大者，相對地所需做的功（耗能）也愈大。空調系統能針對室內空間作溫度、濕度、清淨度及氣流之調節，了解空氣調節的過程，以達到節能舒適、安全及健康的工作環境。

空調系統設備必須具備熱處理及氣體交換兩種功能，亦即空調為了控制溫度、濕度而必須具備熱處理的功能，為調節氣流，清淨度而具備換氣的功能，故整體而言，空調設備必須能展現熱處理及換氣的能力，為滿足上述兩者之功能，可藉由各式各樣的變化來組合成一設備系統，以獲得所要求的空調目標。有關冷凍空調系統循環（參圖 2.1 所示）[2]相關定義說明如下[13、16]：

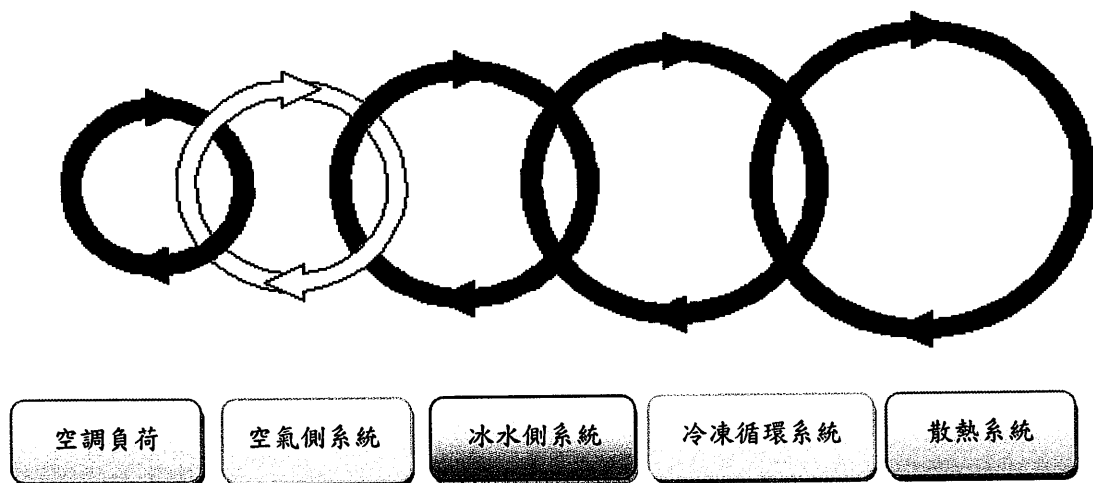


圖 2.1 空調系統示意

- (1) 空調負荷：空調區域中會因為人員動態、燈光照明、設備運轉、外氣通風及太陽輻射等產生熱負載，其中為達舒適條件下所需移至空調區域外之熱負載者，稱之為空調負荷。
- (2) 空氣側系統：空調區域內之較高溫度的空氣經由風管被載運到冷卻盤管，於該盤管中與冰水進行熱交換，使溫度較高之空氣經熱交換後變成溫度較低之冷氣後，再送回到空調區域吸收熱負荷，完成該循環之系統稱為空氣側系統。
- (3) 冰水側系統：空氣側系統中之熱負載經冷卻盤管後，將該熱負荷交換至冰水中，使其成為溫度較高之冰水，該冰水再經由冰水管被運送到蒸發器中，經由蒸發器中之冷媒進行熱交換，變成溫度較低之冰水後，再重複上述循環之系統稱之。
- (4) 冷凍循環系統：冰水側系統中之熱負載經由蒸發器移轉至冷媒，蒸發器之低溫液（氣）態冷媒吸收熱負荷後變成高溫汽態冷媒後，再經由壓縮機之加壓，將高壓高溫汽態冷媒經吐出管被運送到冷凝器，該高壓高溫汽態冷媒在冷凝器中與溫度較低之冷卻水進行熱交換，使該冷媒降溫成為低溫液態冷媒，該冷媒再經由膨脹裝置之降壓，使其再次回到蒸發器之循環稱之。
- (5) 散熱系統：其功能主要將室內之空調熱負荷向大氣進行釋放，而其釋放率則受控於大氣之狀態，如大氣壓力、溫度、濕度及風速、

風向等。冷凍循環系統中冷媒所載運之熱負載傳至低溫之冷卻水後變成為高溫冷卻水，該冷卻水於冷卻水管中經由動力裝置（冷卻水泵）被運送至冷卻水塔內，其經與大氣中被驅動之空氣進行熱交換而降溫為溫度較低之冷卻水後，再次回到冷凝器之循環稱之。



## 2.2 空調節能技術

有關空調主機容量之決定，一般係以空調系統於尖峰負載(Peak Load)時之容量做為選取之參考依據，但在空調系統實際運轉情況顯示，空調主機之運轉於年間大部分均處於部分負載狀況，使空調主機容量在多數運轉時間內均呈現出過大設計的現象，也相對地發生能源流向不合理之現象。因此，為改善上述空調系統耗能不合理之問題，可佐以空調主機台數與變流量等節能控制策略，亦即可由一台大容量空調主機改選配多台小容量空調主機方式，試著以實施主機台數控制作為實現節能技術之一，以不同台數進行耗能分析後，再調配適當的空調主機容量。另依風機定律，可針對於區域泵及冷卻水塔散熱風扇等導入變頻控制技術，將原本的固定轉速之馬達改善為變速馬達，亦能達到省能效果。若再經過適當之負載管理策略下，使「空調循環系統」所產生的冷能，剛剛好可將「空調負荷」移除，也就最佳化的空調節能組態（參圖 2.2 所示）[2]。

以空調系統而言，冰水所搬運之熱能性質主要為顯熱 (Sensible Heat)，其容量主要與冰水流量及溫度差有關，故常見之規劃有固定流量及變流量兩大系統。在節能策略上，一般會採用變流量系統，因為依據泵相似定律可知，流量與轉速成正比，而軸動力則與泵轉速成

三次方正比，如 2-1 式可知，亦即流量將依據空調負荷大小進行冰水流量調節，冰水流量降低時，管路之系統阻抗亦隨之下降，則冰水泵之耗電可因而減低。

$$P \sim N^3 \quad 2-1$$

式中

P：軸馬力

N：泵轉速

由上述分析之節能策略中可知，將固定流量改變為可變流量是達成節能效果之可行方案，而其關鍵則在於帶動風機或泵之電動機，但該電動機如何在固定電源頻率（60Hz）下產生變速功能，則是本研究策略運用的重要元件。

由交流電動機之額定轉速之計算如 2-2 式可知，若欲改變交流電動機轉數時，可改變定子之極數或交流電源之頻率，但定子極數在製造時就已被固定之機械結構，唯一可改變之條件只剩改變交流電源頻率，在目前電力電子技術條件下，改變電源頻率已不再是遙不可及的技術，這也是變頻器商品存在之一大因素之一。

$$N_s = \frac{120}{P} \times f$$

2-2

式中

$N_s$ ：額定轉速

$P$ ：極數

$f$ ：頻率

根據空調系統示意(參圖 2.1 所示)[2]所示第一個圓圈至第五個圓圈會越來越大，這也就表示能源的浪費，為了改善這耗能問題必須利用省能策略(如先「空調」後「建築」、變風量系統、變水量系統、主機台數控制等)來進行節能，將五個圓圈改善成一樣大，也就是最佳化的空調節能系統。為改善高耗能的空調系統係為當前亟需解決的問題，本論文主要的節能方式有空調主機台數控制、區域泵及冷卻水塔進行季節性的省能探討，詳述如下(參圖 2.2 所示)[2]：

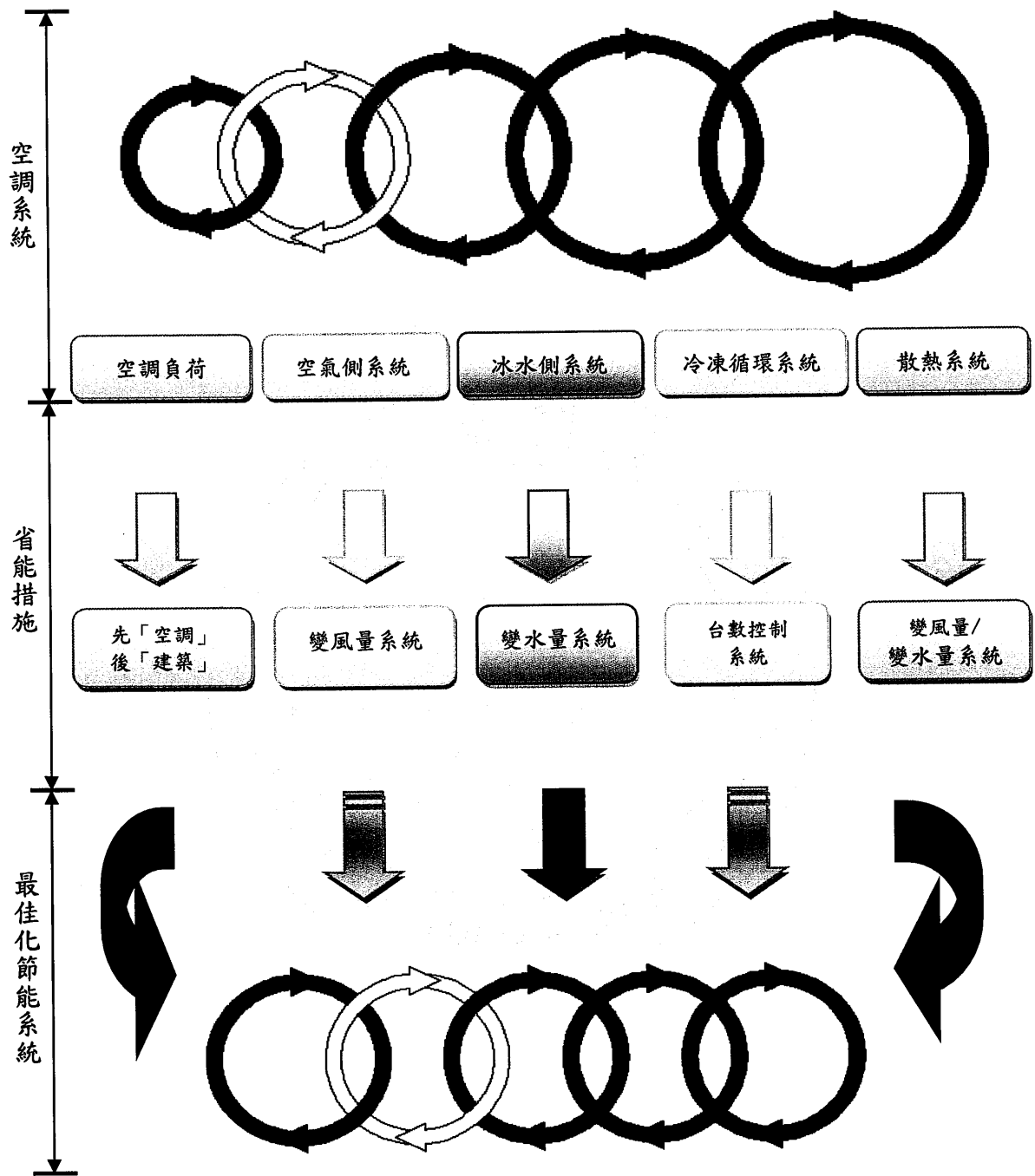


圖 2.2 空調系統最佳節能示意

## 2.2.1 季節性與空調系統的關係

隨著春、夏、秋、冬四季的變化，建築物室內的居住環境之舒適性均與季節性的戶外空氣乾球溫度、濕球溫度和太陽日照有著密切的關係，而夏天建築外殼的熱質量效應(Thermal Mass Effect)產生時滯現象(Time-Lag)造成室內逐時的空調負荷與熱得量無法匹配，選擇空調系統之最高熱負荷，就必須取得外在的天氣參數，作為規劃設計運算或模擬的手段。有關建築物空氣調節概分為自然與機械兩種方式，前者強調對建築物外殼受季節變換的省能環境參數建構，例如建築物方位、開窗率、遮陽、外殼材質構造、浮力通風、季節性通風等；後者則指經由空調系統之供給冷、暖房空氣調節需求，並且以確保使用者的舒適度為前提，同時考慮系統節能的設計，如適量的外氣引進、全熱交換器之運用。涼爽的季節，清涼乾爽熱焓值較低的外氣，可降低空調系統的回風處理。良好的建築物設計，不但可利用外在氣候對室內環境舒適的影響外，且在不犧牲使用者的舒適度情況下，同時可降低機械式之空調負荷，而使空調耗能大幅降低，達到節約能源之功效，由此可知空調系統與季節變化的相依性[19]。



## 2.2.2 季節性及容量控制管理策略

台灣夏季炎熱潮濕，溫濕度大大地影響了空調負荷需求的變化，在既濕且熱的夏季環境下，空調需求亦倍增。建築物耗能與室內熱舒適的影響參數相同，建築外殼暴露在外氣溫度與日照下，溫度、平均輻射溫度、風速、濕度等亦隨之起伏[24]。空調的熱負荷隨著季節而變化，因而空調負載的變化，區域泵及冷卻水泵均處於全速運轉的狀態，造成在低空調負載時能源的浪費。大型空調系統的空調主機通常不採用單一台大容量的空調主機，而使用數台小容量的空調主機。若使用單一台空調主機時，當負載變低時，主機的負載率會因此大大下降，使耗電量大增；相反地，若使用多台空調主機時，當負載變低，則只需開啟部分的空調主機，其餘主機則停止運轉，此舉可提高空調主機的運轉率，避免主機的效率劣化，以及多餘的耗能。變風量系統隨著負載端之熱負荷與氣溫變化，相較於恆定送風系統更具節能效益。由不同的機組性能搭配，產生不同的耗能曲線，以取得最佳的運轉控制策略模式[25、26]。

### 2.2.3 水側變流量控制

一般中央空調系統之冰水系統，係以冰水定流量系統方式，作為流量設計的基礎(參圖 2.3 所示)，而定水流量系統分為一次側定流量冰水系統及二次側定流量冰水系統。一次側定流量冰水系統由各空調主機有各自之冰水泵，以固定流量方式，經由冰水和負載側進行熱量轉移。二次側定流量冰水系統，區域泵隨空調負荷的變化利用三通閥控制進入空調箱之冰水流量，多餘的冰水藉由旁通管流回系統，然而冰水泵及區域泵仍然全速運轉的狀態下，該系統無法隨著空調負荷之下降而降低其耗電量。

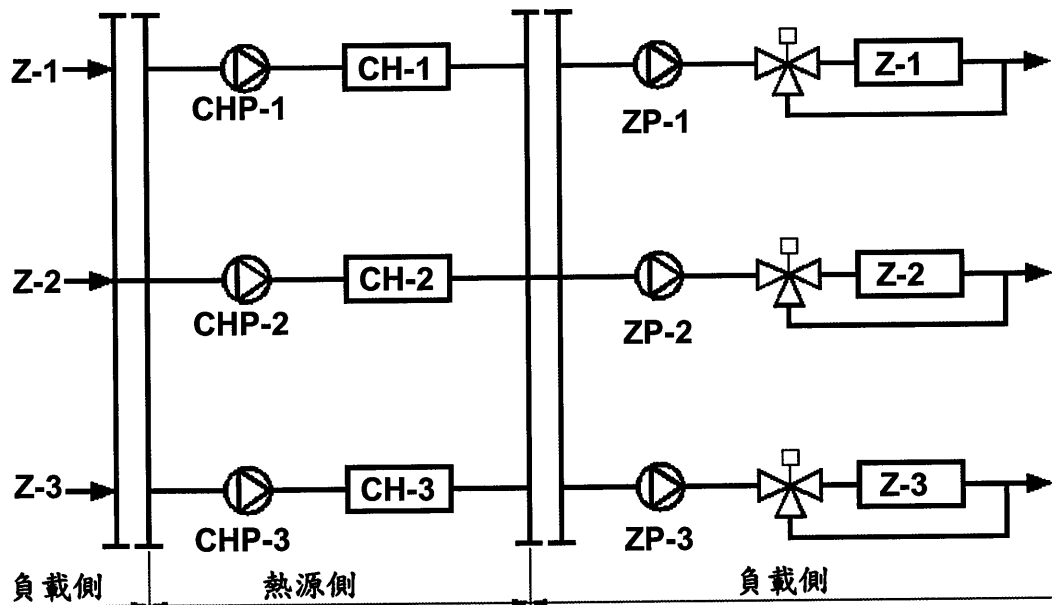


圖 2.3 冰水定流量系統示意圖

為了改善上述空調系統中之冰水系統所造成多餘的耗能，將冰水定流量系統改為冰水變流量系統(參圖 2.4 所示)，在冰水主機與負載側上設置共通管(Common Pipe，又稱為旁通管)，來平衡冰水流量。然而在二次側上使用二通閥隨著空調負荷的變化，進而調節冰水系統流量，該方式導致區域泵效率變差，因此在區域泵使用變頻控制，當空調負荷變小時，則負載側流量降低，流量感測元件將會送出訊號至變頻控制器上(參圖 2.5 所示)，降低區域泵之轉速，形成冰水變流量系統，此系統可隨空調負荷之下降而降低其系統之耗電量，以達到節能效果。

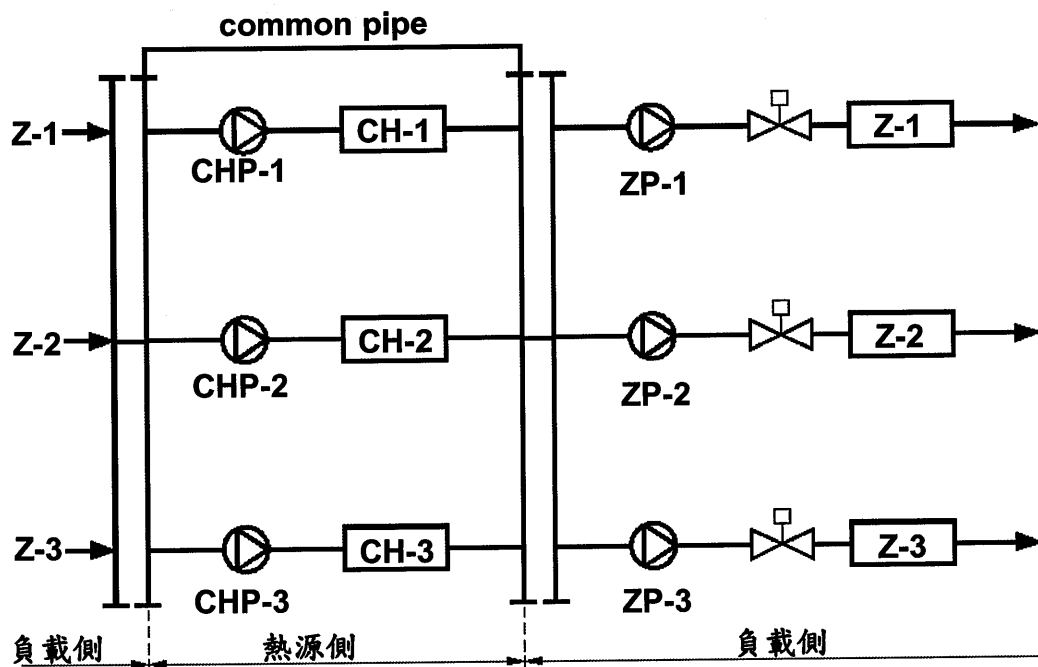


圖 2.4 冰水變流量系統示意圖

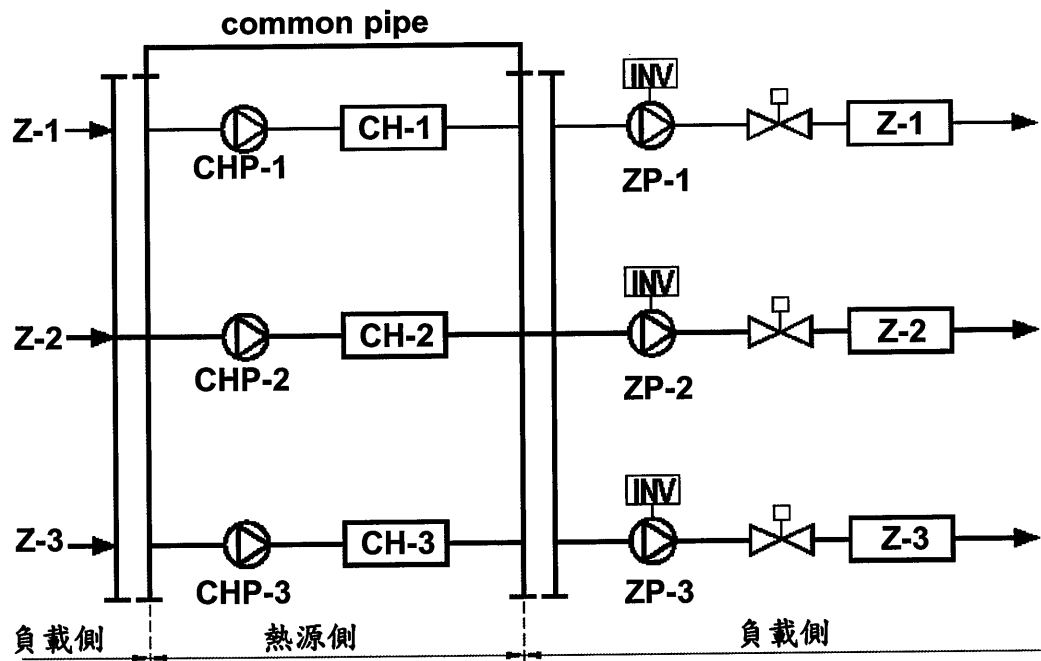


圖 2.5 冰水變頻變流量系統示意圖

圖 2.6 係說明一般區域泵以溫度感知器控制二通閥之開度來調節流量，圖第 1 點為泵浦之設計點，第 2 點因二通閥受冰水溫度的影響，使流量變小揚程變大而達到變流的效果。此方式乃可獲得省能效果，但會影響區域泵之效率。圖 2.7 係將泵浦增設變頻控制器[27]，當系統流量變小，泵浦的性能曲線也跟著變化，因此第 1 點最佳設計點也跟著改變至第 3 點，使區域泵之效率不受影響。

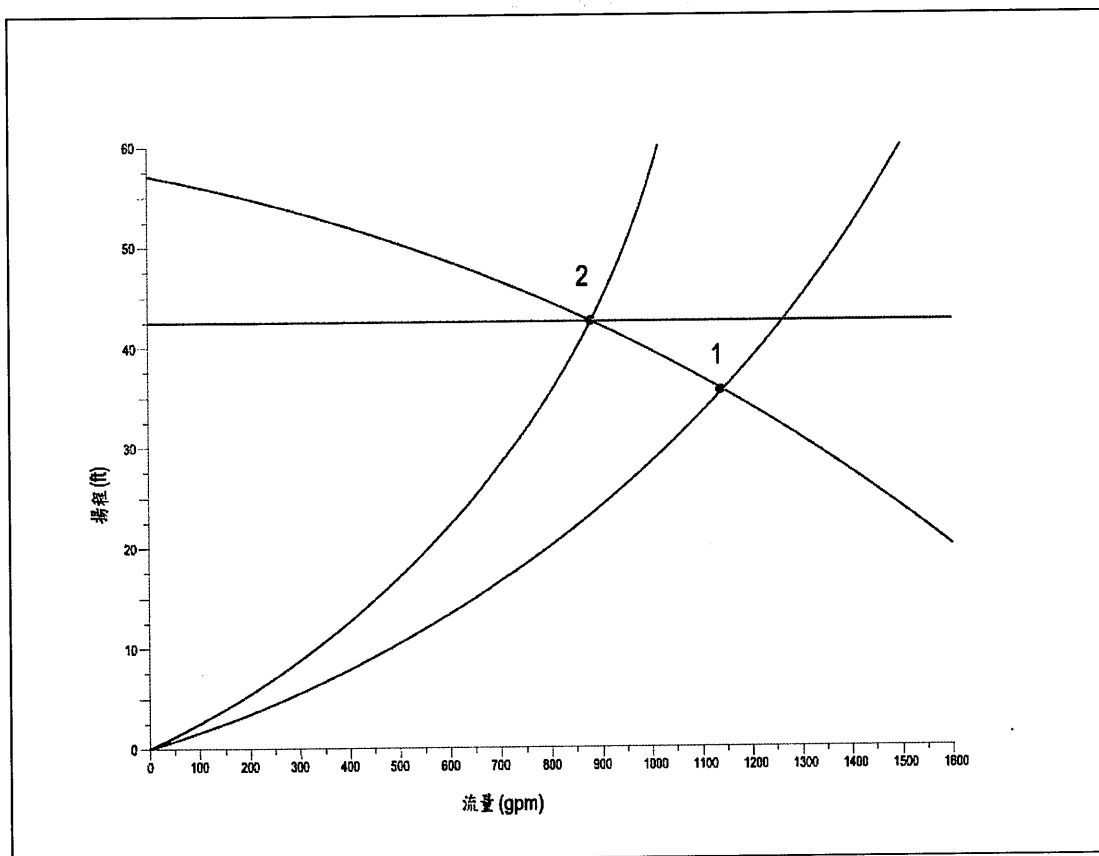


圖 2.6 一般區域泵特性曲線

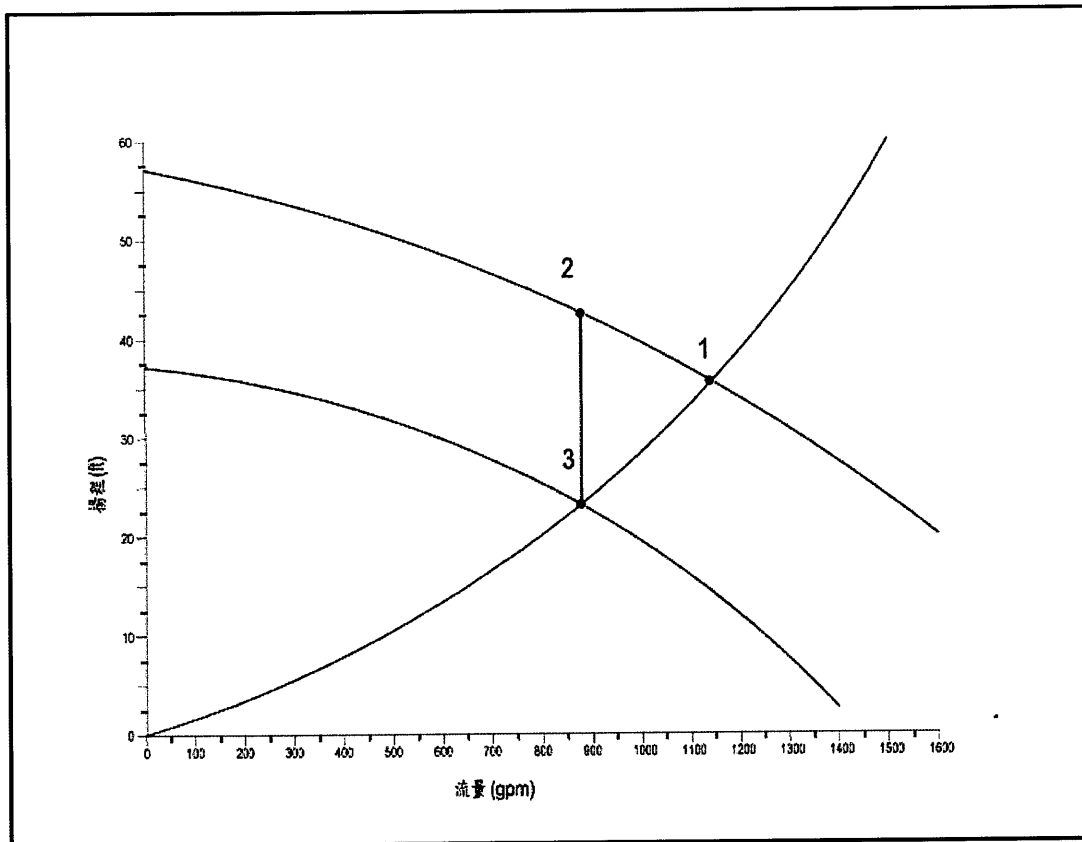


圖 2.7 變頻變流量系統性能曲線

## 2.2.4 冷卻水塔節能控制

冷卻水塔的風扇一般是以定速全載的模式在運轉，利用水與空氣進行蒸發式冷卻，但如果冷卻水塔處於低負載的情況下，冷卻水塔風扇不需全載運轉，故單速全載運轉模式，無法達到有效及節能的目的是，且造成多餘的耗能。因此，為了維持良好的冷卻水塔效率且有效的節能，而改採用無段變速之風扇馬達，依負載進行變速控制。

冷卻水塔的風扇未全速運轉情況下調降風量，則因軸馬力變小，馬達耗電亦隨之變小。實務上，改變冷卻水塔風量的方式，可藉由皮帶式減速機來改變，由風扇轉速與馬達轉速之轉速比值，調整皮帶輪尺寸以改變轉速，惟此一方式，必須停機作業，故鮮少採用。一般則利用變極馬達之雙繞線、雙出線切換變速，或採變頻器，調控變頻來達成調速效果[22]。

在主機正常運轉的情況下，隨著季節和使用情況不同造成所需之冷卻負載均不相同，使冷卻水塔風扇在不同之冷卻負載下其耗電仍維持一定值，造成額外浪費。故在冷卻水塔採用變風量技術，並依冷卻水出口溫度控制風扇馬達起停及高低轉速，使主機能在較低的冷卻水進水溫度下做高效率的運轉，並可減少冷卻水塔之耗電。

### 第三章 空調系統模擬建構

本文以輸入台中地區氣象資料之 eQUEST 應用程式為主要研究工具。為了改善上述耗能問題，本文就空調系統架構中之熱源側的主機台數控制與負載側的變流量、空氣側的變風量等節能策略進行能耗的分析探討，為能獲致較佳的成果。

#### 3.1 應用程式概述

eQUEST 是建構在 DOE-2 基礎上研發而得的建築物耗能動態應用程式(the Quick Energy Simulation Tool)，其主要是由 enhanced DOE-2 + Wizards + Graphics 所組成，能提供設計者規劃設計參考，進行多種類型的建築物耗能模擬及其建築物耗能經濟分析。供學術單位進行研究，藉此了解建築物能耗特性及評估各節能潛力策略之模擬 [3]。

eQUEST 的天氣資料主要係根據 TMY2 平均氣象年來分析建築物的地理位置，TMY2 是由美國再生能源實驗室制定，依據 National Radiation Data Base 之氣象資料庫所完成，中央氣象局也將台灣的全年度氣象資料轉換成 bin 檔，提供 DOE 適用之型式。至於，電費的設定則是依據台灣電力公司所公佈的電價表進行設定，使空調之耗



能費用分別以尖峰、半尖峰及離峰，夏月和非夏月的時間電價進行模擬計價[14、15]。

eQUEST 內建的设计模擬精靈，可由使用者快速建立案例，透過簡易模式及細部模式，選用妥適的模擬步驟，依天氣資料、坐落方位、建築外殼建構、人員、照明及設備等全年使用狀態，模擬演算出全年動態負荷。eQUEST 的基礎設定包含了建築模型，並可透過輸入 AutoCAD 圖檔，協助加速建模，內部熱源、負荷及空調系統模擬設定，俾利使用者做出妥適的應用模擬[17]。



### 3.2 案例探討

建築物中所產生的空調負荷除了人員、照明、辦公器具、動力設備等內部負荷外，還包含建築物受外在氣候條件如日射量、溫度、濕度等影響所產生的外部負荷，故建築物主要耗能元素中又以空調系統最為複雜且耗能最大。以我國而言，耗能最大的季節為夏季，故在規劃空調系統時，一般採以夏季所產生之熱負荷做為建築物最大空調負荷之考量。另外，為避免造成空調效能不足而產生糾紛的考量下，通常會以夏季之熱負荷當作篩選空調主機系統設備容量之主要參考條件。由於上述原因，致使一般建築物空調系統都在效率較差之部份負載情況下運轉，造成空調能源在無形中浪費殆盡。以不同台數進行耗能分析後，再調配適當的空調主機容量，經過負載管理策略的應用，與空氣側系統的調整，在負載側的區域泵及冷卻水塔散熱風扇使用變速、變頻控制技術的變流量方式，再配合熱源側的主機台數與容量匹配的控制模式，最後分析各項數據報表來評估能源消耗，其系統建構流程如圖 3.1 所示。透過節能策略的操作，得到具體的節能解決方案 [21]。

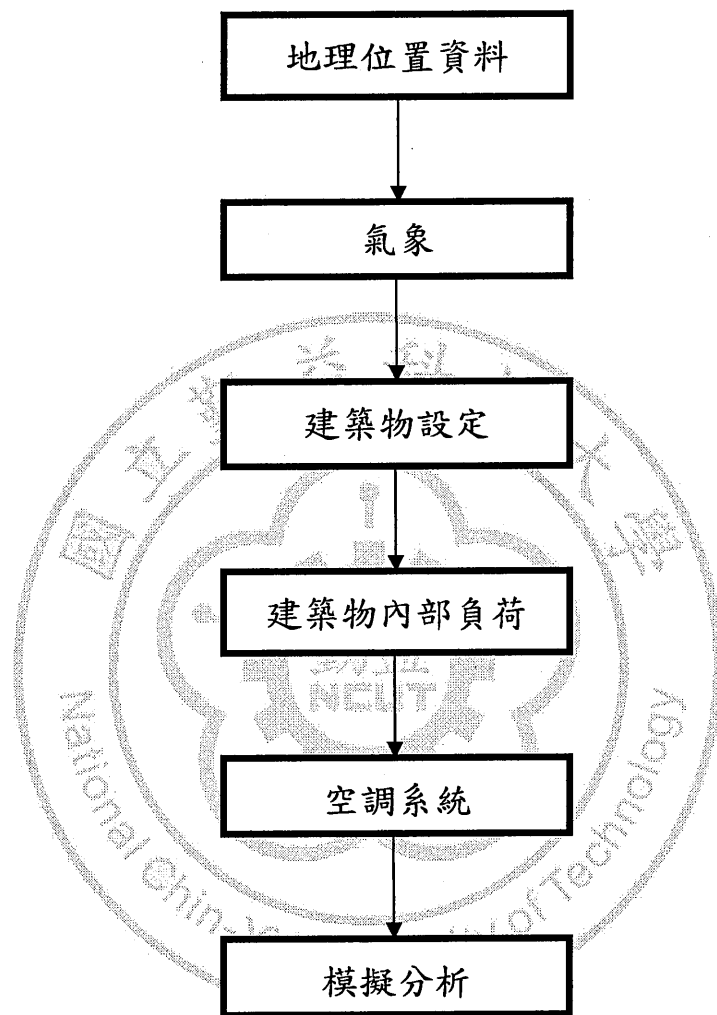


圖 3.1 空調系統建構流程

經由上述系統建構流程，進行幾何模型建模過程，構築建築物構造及外部條件設定，案例建築物說明如下：

1. 地點：台中
2. 建築方位：座北朝南
3. 建築物樓層及類型：地上十二層之辦公大樓
4. 單層樓地板面積：11,148 m<sup>2</sup>
5. 總樓地板面積：133,776m<sup>2</sup>
6. 單層樓高：3.96m
7. 屋頂結構：60cm 鋼筋結構，7.62cm 聚氨脂隔熱層
8. 樓地板結構：15.24cm 混凝土
9. 外牆結構：60cm 鋼筋結構，2cm 纖維材質玻璃表面
10. 窗戶構造：雙層透明玻璃，玻璃層 0.6cm

建築物開窗率，建築物構造 U 值，案例辦公室空調運轉時間，(詳表 3.1-3.3 所示) 作為空調系統之選機參考，各設定參數詳述如下。

表 3.1 建築物開窗率

	東	西	南	北
開窗率	39.6%	39.6%	39.6%	39.6%

表 3.2 建築物結構 U 值

	U 值(W/m <sup>2</sup> K)			
	東	西	南	北
外牆	4.66	4.66	4.66	4.66
窗戶	3.31	2.94	3.31	3.30
屋頂	0.23			
樓地板	2.68			

表 3.3 空調系統運轉時間

	周一至周五	例假日(含國定假日)
運轉時間	08:00~17:00	不運轉

本研究利用 eQUEST 模擬軟體，建構一棟地上十二層辦公大樓 (參圖 3.2 所示，建築物外觀示意圖)，各樓層辦公室配當如圖 3.3、圖 3.4 所示。

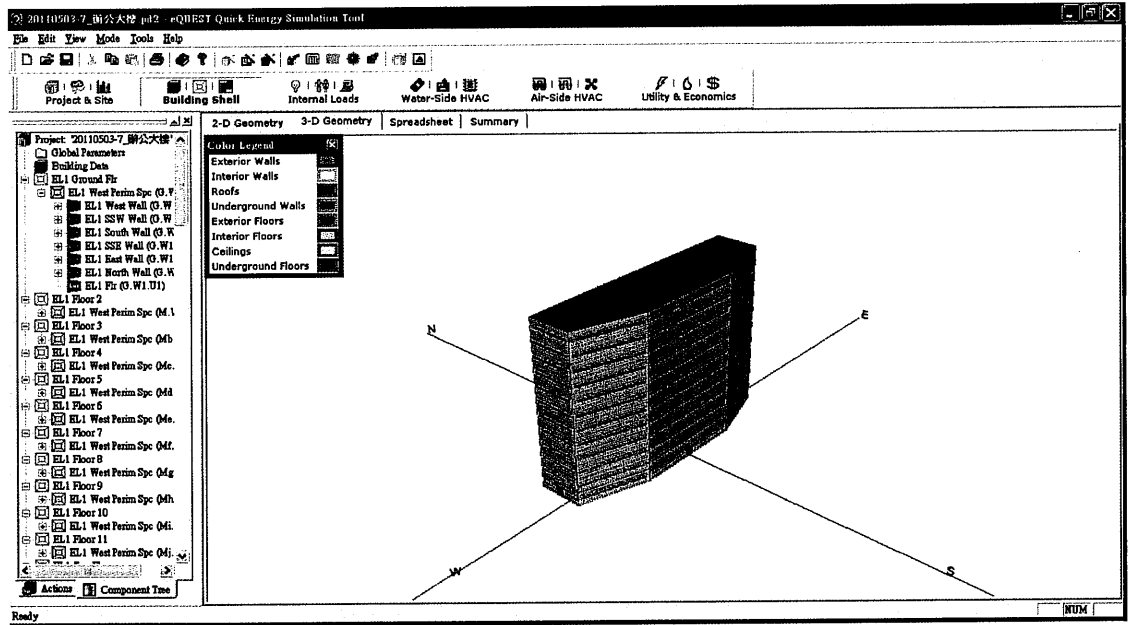


圖 3.2 建築物外觀示意圖

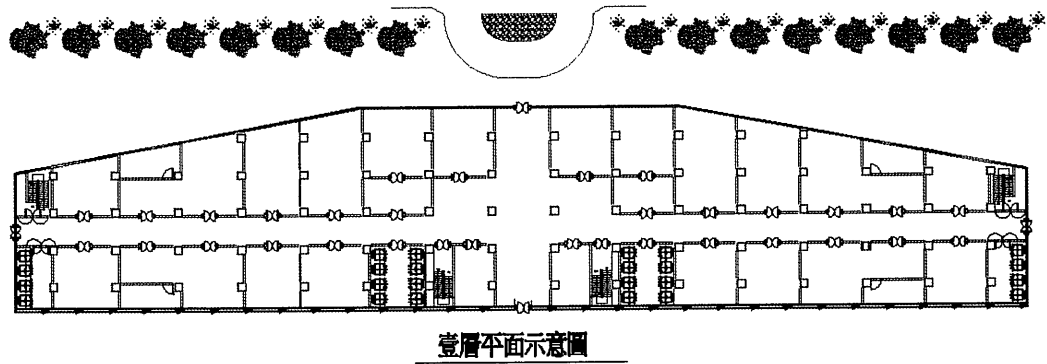


圖 3.3 建築物壹層平面示意圖

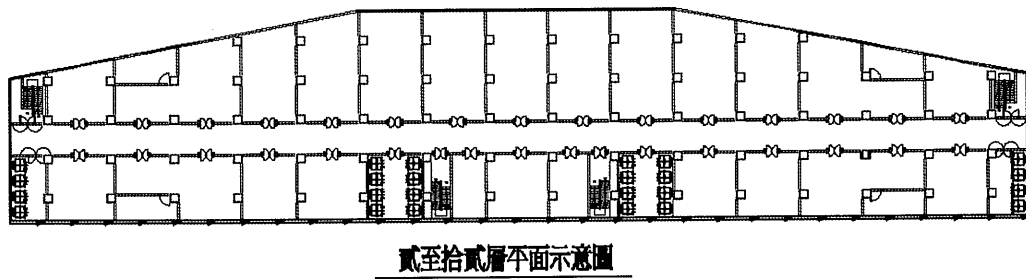


圖 3.4 建築物貳至拾貳層平面示意圖

匯入台中的地理以及氣象資料(參圖 3.5 所示)，考慮建築物外部的天候因素如外部溫濕度，如表 3.4 所示，太陽的輻射熱以及內部熱負荷如人員(參圖 3.6 所示)、設備照明(參圖 3.7 所示)等設定參數，進行其建築物耗能之模擬分析。

表 3.4 台中氣象資料 [10]

平均溫度 (°C) 月份	項目	室外條件	
		乾球溫度	濕球溫度
一		26	19
二		26	20
三		31	24
四		32	24
五		33	24
六		33	23
七		32	27
八		32	26
九		32	25
十		32	25
十一		31	23
十二		29	20

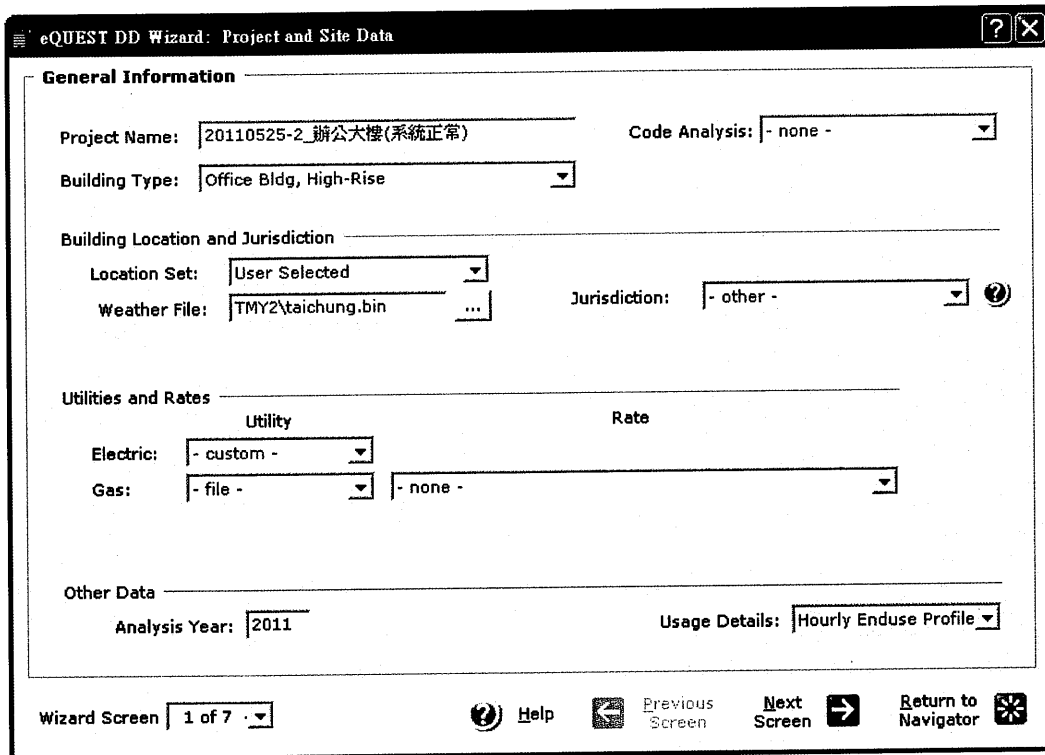


圖 3.5 建築物用途及氣象資料設定

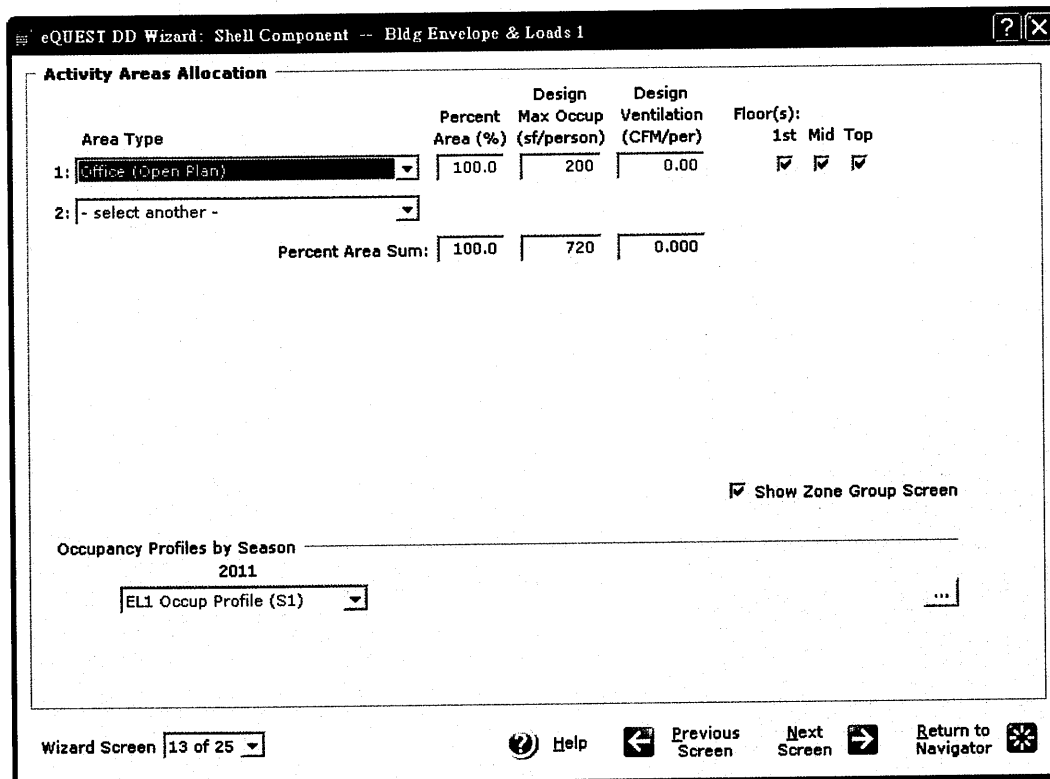


圖 3.6 建築物人員負荷設定



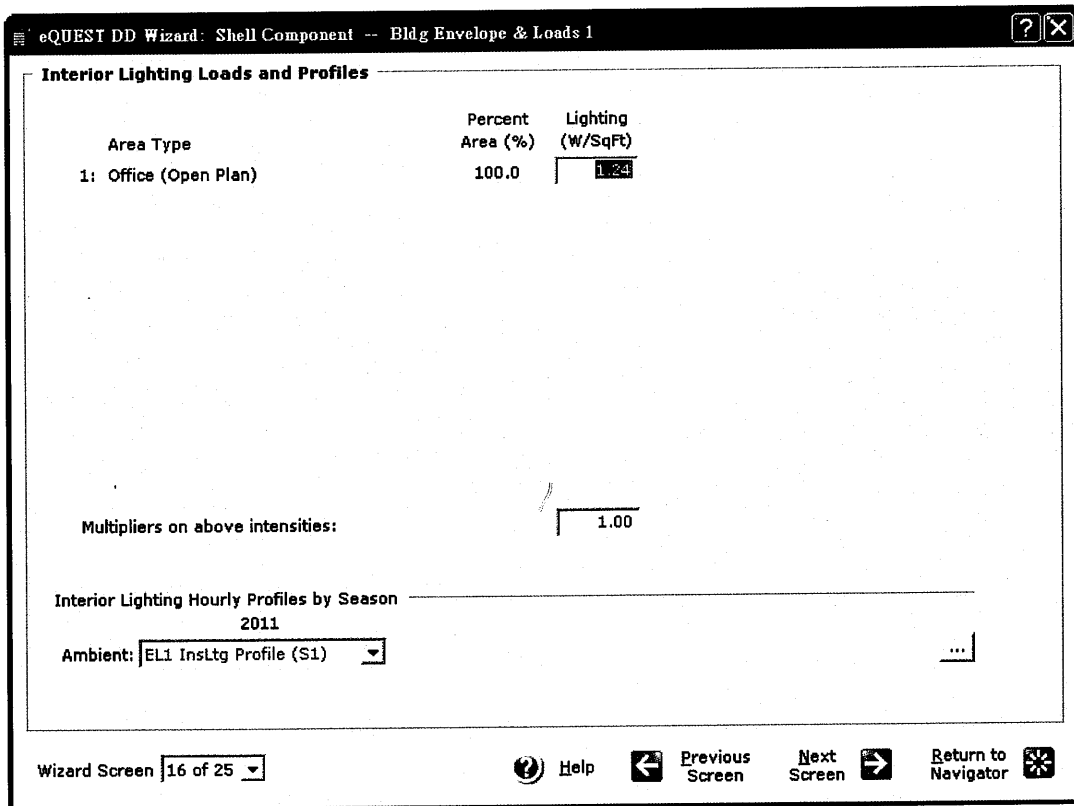


圖 3.7 建築物照明負荷設定

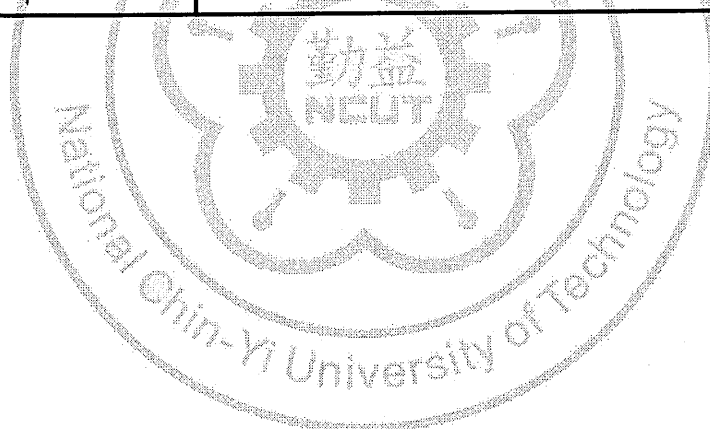
在建築物營運的模擬方面，需考慮到空調供應之環境，由室外氣象資料，並依空調設備使用狀況設定室內條件，以一般辦公室為主要類型，其使用人員數、人員負荷、照明負荷與設備負荷，說明如下：

1. 使用人員：720 人
2. 人體發熱量(BTU/hr/人)：顯熱、潛熱分別為 250 及 200
3. 照明發熱量：1.24 W/ft<sup>2</sup>
4. 設備發熱量：0.92 W/ft<sup>2</sup>

由建築物的尖峰負荷組成成份中進而獲得尖峰負荷，再以尖峰負荷去調整空調系統之負載容量，選用適當的主機設備容量來進行模擬過程，用以避免模擬系統選機中的過大容設計所造成的能耗損失；並由分析結果獲得負荷之模擬報告。由表 3.5 顯示的建築物尖峰負荷組成成份中，得到模擬建築物在全年 8760 小時中所產生的尖峰總熱負荷，尖峰負荷為 24.05 MBTU/hr(約 2004USRT)。

表 3.5 建築物尖峰負荷組成成份表

項目	顯熱 (KBTU/hr)	潛熱 (KBTU/hr)
牆壁傳導熱	1257.035	0
屋頂傳導熱	161.705	0
窗戶傳導熱	5883.372	0
窗戶輻射熱	4763.084	0
門傳導熱	0	0
樓地板熱傳	38.595	0
人員	1161.2	1296
照明	4150.748	0
設備	3383.913	0
間隙風	814.817	1140.262
總熱負荷	21614.469	2436.262
總計	24.05 MBTU/hr	



由台灣電力公司公告之電價表，建構用戶尖峰、半尖峰及離峰用電之時間電價(參圖 3.8 所示)，尖峰及離峰用電時段及夏季用電區間(參圖 3.9 所示)，依據 eQUEST 軟體模擬建築物建構與計算出負荷完整架構後，以尖峰負荷做為空調主機選定的參考條件，計算出總熱負荷 24.05 MBTU/hr 的結果。調整系統模擬主機的冷凍能力，先以一台主機搭 25MBTU/hr 配一次側定流量系統的空調方式，再進行空調主機分配需處理總熱負荷的冷卻能力。逐次遞增為兩台主機 10、15MBTU/hr，最後以三台空調主機分別為 5、10 與 10MBTU/hr 建立空調模擬系統(參圖 3.10 所示)，空調主機能源效率(參表 3.6 所示)則依經濟部能源局，空調主機能源效率標準選機，性能係數為 6.1(參圖 3.11 所示)及冰水迴路設定。分別建構空調模擬系統，進行台數及功能策略分析。



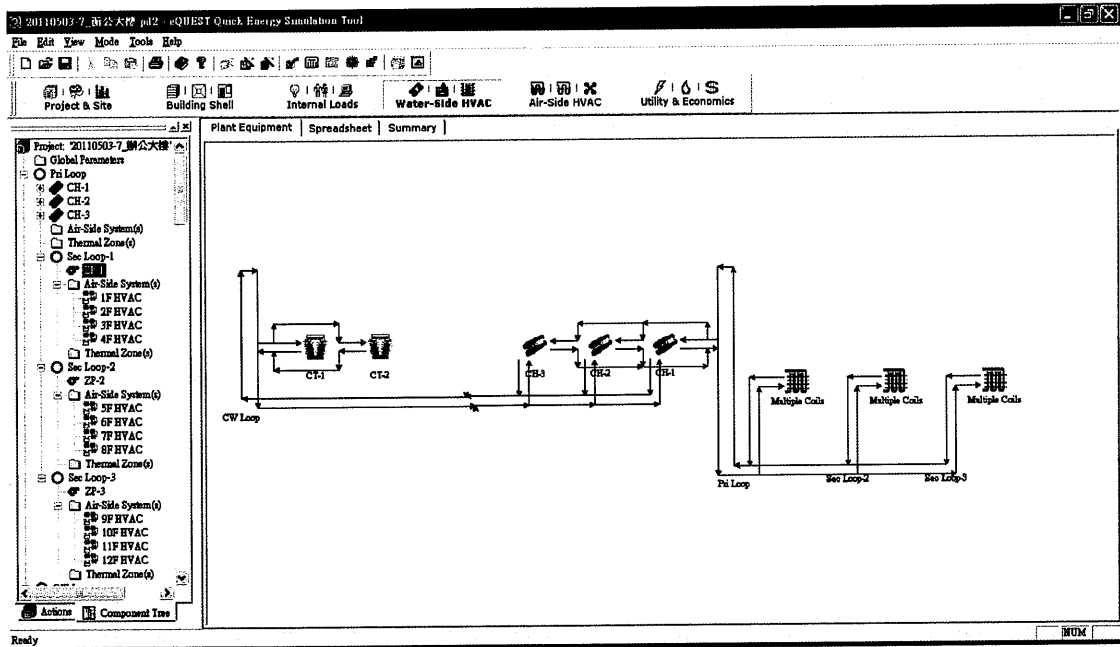


圖 3.10 eQUEST 空調系統建置

表 3.6 空調主機能源效率標準[16]

執行階段		第一階段		第二階段		
實施日期		民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日		
型	式	冷卻能力 等級	能源效率比值 (EER) kcal/h-W	性能係數 (COP)	能源效率比值 (EER) kcal/h-W	性能係數 (COP)
水冷式	容積式 壓縮機	<150RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥ 150RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		≤ 500RT				
		>500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	<150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥ 150RT	4.77	5.55	4.77	5.55
<300RT		4.77	5.55	5.25	6.10	
≥ 300RT						
氣冷式	全機種		2.40	2.79	2.40	2.79

性能係數(COP)=冷卻能力(W) / 冷卻消耗電功率(W)=1.163EER。1RT(冷凍噸)=3024Kcal/h

Chiller Properties ? X

Currently Active Chiller: CH-2 Type: Elec Hermetic Centrifugal

Basic Specifications | Condenser | Performance Curves | Loop Attachments | Miscellaneous

Chiller Name: CH-2

Type: Elec Hermetic Centrifugal

<b>Loop Assignments</b> CHW: Pri Loop CW: CW Loop HW: n/a HTRec: - undefined -	<b>Equipment Efficiency</b> Elec Input Ratio: 0.1690 ratio Heat Input Ratio: n/a ratio Heating EIR: n/a ratio <b>Compressor Configuration</b> Compressors/Ckt: n/a VSD Drive Used: No	<b>Equipment Capacity</b> Capacity: 10.0 MBtu/h Capacity Ratio: n/a ratio Min Ratio: 0.10 ratio HGB Ratio: ratio HGB Ratio HR: n/a ratio Heat/Cool Cap: n/a ratio
--	---	---

<b>Meter Assignments</b> Electric Meter: CH Fuel Meter: n/a	<b>Design vs. Rated Conditions</b> Chiller Specified At: Design Conditions
---	---

<b>Performance Data</b> Wtr Cooled: - undefined - Air Cooled: n/a	<table border="0"> <tr> <td><b>Design Conditions</b></td> <td><b>Rated Conditions</b></td> </tr> <tr> <td>Chilled-Wtr Temp: 44.0 度</td> <td>Chilled-Wtr Temp: 44.0 度</td> </tr> <tr> <td>Condenser Temp: 85.0 度</td> <td>Condenser Temp: 85.0 度</td> </tr> <tr> <td>Design/Max Cap: 0.920 ratio</td> <td>Condenser Flow: 3.00 gpm/ton</td> </tr> </table>	<b>Design Conditions</b>	<b>Rated Conditions</b>	Chilled-Wtr Temp: 44.0 度	Chilled-Wtr Temp: 44.0 度	Condenser Temp: 85.0 度	Condenser Temp: 85.0 度	Design/Max Cap: 0.920 ratio	Condenser Flow: 3.00 gpm/ton
<b>Design Conditions</b>	<b>Rated Conditions</b>								
Chilled-Wtr Temp: 44.0 度	Chilled-Wtr Temp: 44.0 度								
Condenser Temp: 85.0 度	Condenser Temp: 85.0 度								
Design/Max Cap: 0.920 ratio	Condenser Flow: 3.00 gpm/ton								

Done

圖 3.11 空調主機性能設定

依據尖峰負荷，並計算調整建築每個區域的送風量(參表 3.7 所示)，覆核整棟建築物熱負荷實際需求。在空氣側使用變風量系統，每層樓單位面積 (sf) 風量 (cfm) 設定一樓、二至十一樓及十二樓分別為 0.46、0.48、0.49。

表 3.7 各空調區間最大空調負荷與設計風量

最大空調負荷	(KBTU/hr)	cfm	cfm/ton	cfm/sf
1 樓	2025.297	55620	330	0.46
2 樓	2132.157	57090	331	0.48
3 樓	2150.779	57090	331	0.48
4 樓	2099.649	57090	331	0.48
5 樓	2165.861	57090	331	0.48
6 樓	2167.947	57090	331	0.48
7 樓	2168.986	57090	331	0.48
8 樓	2169.8	57090	331	0.48
9 樓	2170.676	57090	331	0.48
10 樓	2170.749	57090	331	0.48
11 樓	2171.184	57090	331	0.48
12 樓	2185.022	58610	331	0.49



本研究以空調系統設備逐月耗電量(參表 3.8 所示)，分析全年負載狀況。

表 3.8 空調系統設備逐月耗電量

每月用電值 (kWh)	主機	冷卻水塔	泵浦	送風機
1 月	149678	15574	29555	172441
2 月	157121	16400	31364	165143
3 月	208028	23501	39305	199916
4 月	219660	26636	37395	182553
5 月	252450	33229	37999	182553
6 月	273724	35350	39808	191246
7 月	250427	33188	36189	173860
8 月	285552	38030	41617	199939
9 月	258605	33734	37999	182553
10 月	246019	32580	36189	173860
11 月	198077	21876	34682	173860
12 月	173308	19193	33977	181654
總和	436079	2672649	329291	2179578

以不同台數進行耗能策略分配後，再調配適當的空調主機容量，經過負載管理策略的應用，與空氣側系統的調整，在負載側的區域泵、冷卻水泵及冷卻水塔散熱風扇(參圖 3.12-3.13 所示)使用變速或變頻控制策略分析，藉由調整風量、水量來抵消各種變動的負荷。

**Pump Properties** [?] [X]

Currently Active Pump: ZP-1

**Basic Specifications**

Pump Name: ZP-1

Number of Pumps: 1

Head (per pump): ft

Flow (per pump): gpm

Head Ratio: 1.20 ratio

Flow Ratio: 1.00 ratio

Max Pump Ratio: 1.30 ratio

Head Setpoint: ft

Head Setpoint Ratio: ratio

Electric Meter: ZONE Pump

Pump Power: kW

Motor Efficiency: ratio

Mech Efficiency: 0.77 ratio

Minimum Speed: 0.40 ratio

Motor Class: High Efficiency

Capacity Control: Variable Speed Pump

Pump Head f(flow): Pump-Head-fFlow

Pump Power f(flow): Pump-Power-fFlow

Pump Pwr Exponent: 3.05 ratio

Done

圖 3.12 區域泵功能設定

**Heat Rejection Properties** [?] [X]

Currently Active Heat Rejection: CT-1 Type: Open Tower

**Basic Specifications** | Fluid and Dry Coolers | Performance Curves | Attachments | Miscellaneous

Heat Rejection Name: CT-1 Type: Open Tower

Loop Assignment CW: CW Loop

Meter Assignment Electric Meter: CT

Design Parameters Wetbulb: 78.0 華 Approach: 7.0 華 Range: 10.0 華

Equipment Capacity Total Cap: MBtu/h Capacity Ratio: ratio Num of Cells: 1

Cell Control Cell Ctrl: Minimum Cells Cell Max Flow: 2.00 ratio Cell Min Flow: 0.33 ratio

Fan Efficiency Fan kW per Cell: n/a kW Elec Input Ratio: 0.0226 ratio

Fan Control Cap Ctrl: Variable Speed Fan

Fan Off Flow: 0.01 ratio

Fan Low Flow: n/a ratio

Fan Low Elec: n/a ratio

Min Fan Spd: 0.40 ratio

Min Reset PLR: n/a

Max Reset Speed: n/a ratio

Done

圖 3.13 冷卻水塔風扇功能設定

## 第四章 結果與討論

本研究利用 eQUEST 模擬軟體進行空調系統耗能探討，以建構建築模型與當地氣候環境條件為手段，主要針對冰水側系統、台數控制系統、散熱系統的節能手法進行策略分析，詳述如下。

### 4.1 空調系統耗能受季節性空調負荷的影響

根據台灣地理環境全年建築物的空調負荷可區分為夏季、春秋季及冬季三類空調負荷的特性，本文探討的案例（如圖 4.1 所示）夏季最大空調負荷約為 25MBTU/hr，春秋季及冬季則分別為 16 及 12MBTU/hr。根據一般空調設計經驗得知，空調主機容量係常以夏季最大空調(25MBTU/hr)為選取的基準，利用 eQUEST 應用程式進行分析探討，(參圖 4.2 所示)，結果顯示空調主機在夏季、春秋季及冬季的負載率分落別在 84%~92%、67%~76%及 25%~40%。根據空調主機耗電深受負載率的影響，因此在春秋季及冬季的空調主機的負載率不高，將造成空調系統耗能增加的主因。

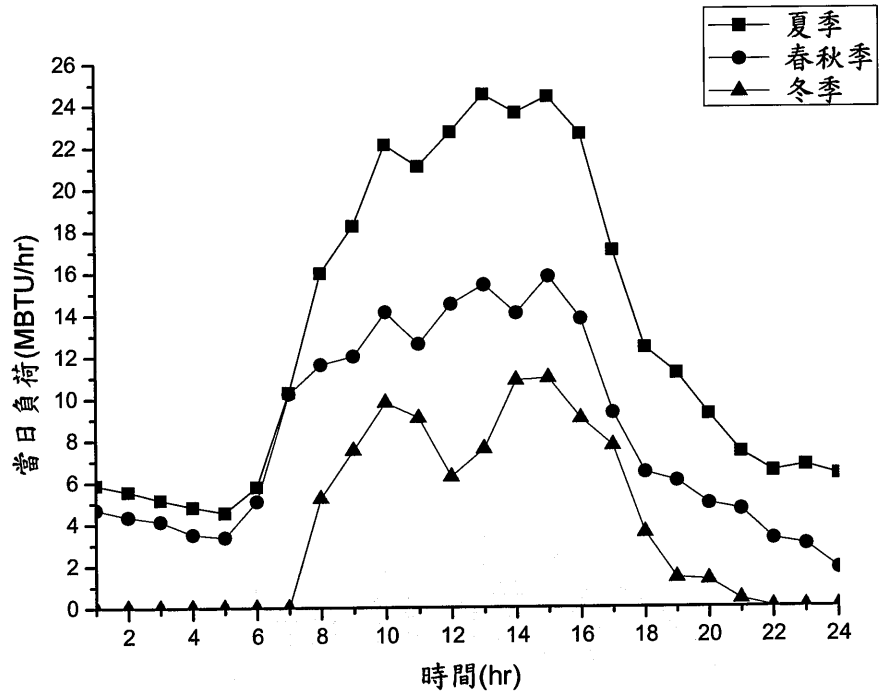


圖 4.1 建築物在夏季、春秋季及冬季逐時空調負荷分佈

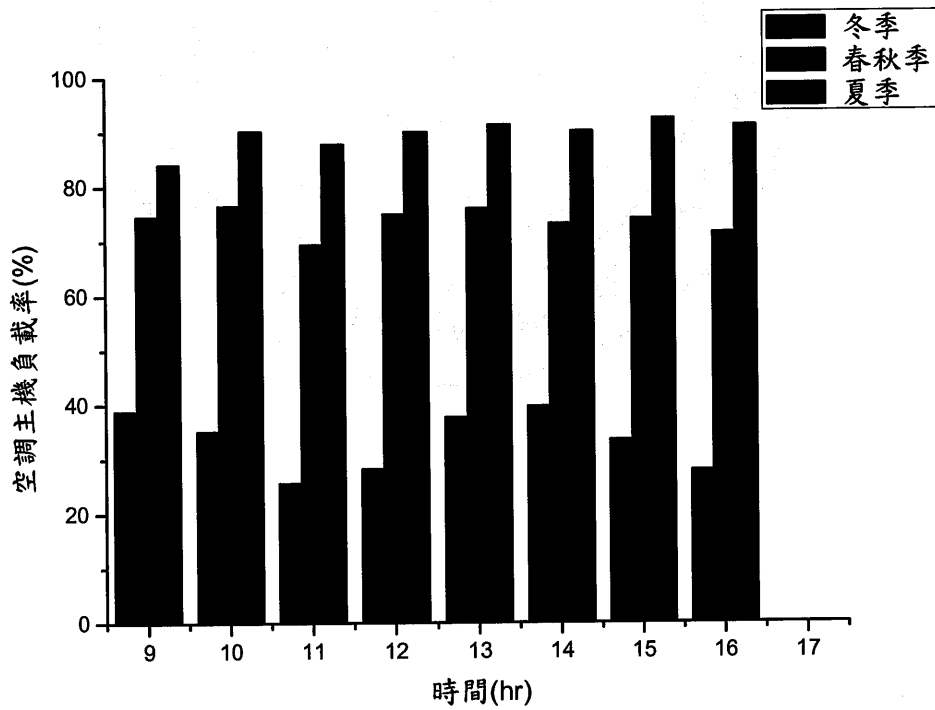


圖 4.2 一般空調主機運轉負載率

## 4.2 季節性主機台數及容量控制管理策略

根據 4.1 節所述空調主機全年負載率不佳，乃造成耗能不合理的現象。因此，本節針對空調主機台數及容量匹配控制的方式進行負載率的改善，主要的負載管理策略係空調主機分別以一台、二台及三台的方式進行全年 8760 小時的逐時負荷分析，前述一台空調主機的容量為 25 MBTU/hr，至於二台及三台的容量分別為 10 及 15MBTU/hr 兩台與 5、10 及 10MBTU/hr 三台。結果由圖 4.3 得知一台空調主機的負載率分布在 10%~90%，而在圖 4.4 顯示二台主機的負載率分布在 50%~90%，至於圖 4.5 所示係三台空調主機負載率約集中在 70%~90%。由此可知主機台數控制的管理可提高空調主機的負載率。

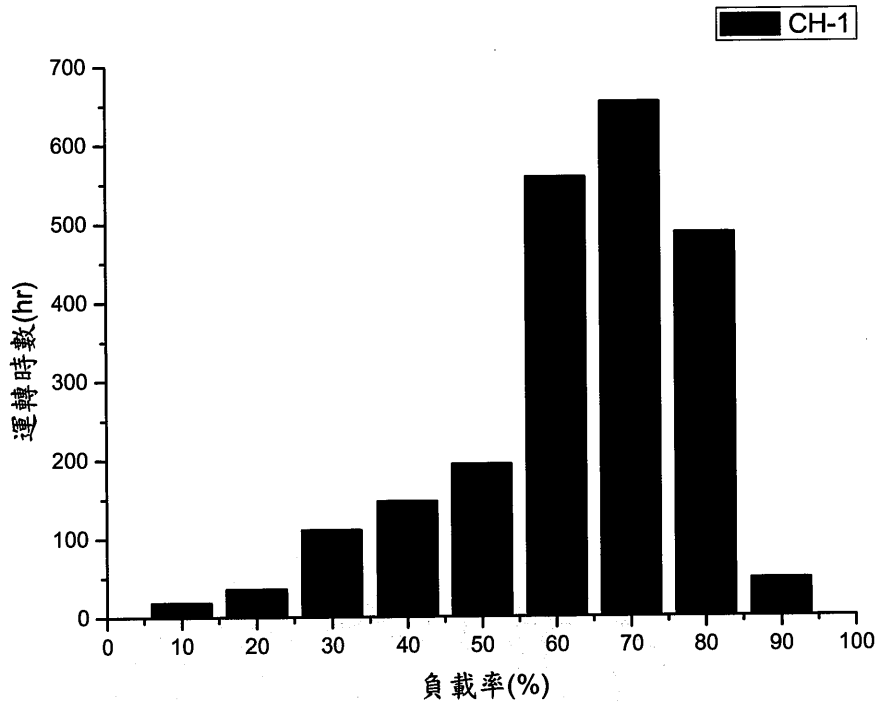


圖 4.3 一般空調主機運轉時數及負載率

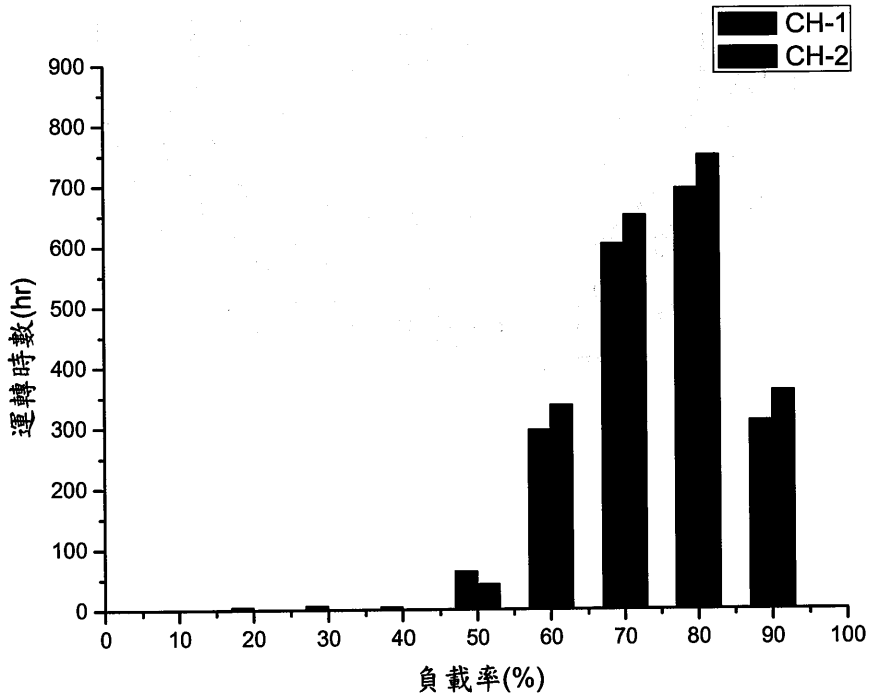


圖 4.4 二台空調主機運轉時數及負載率

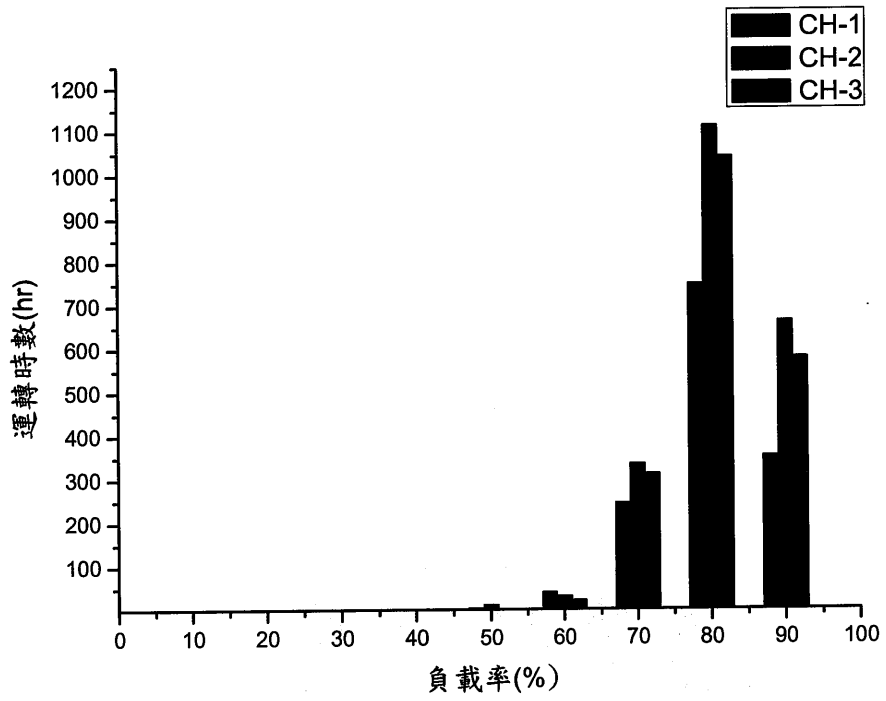


圖 4.5 三台空調主機運轉時數及負載率

表 4.1 一台空調主機運轉時數與負載率

運轉率(%)	主機運轉時數(hr)	空調主機運轉時數比(%)
10	19	1
20	36	1
30	111	4
40	147	5
50	194	8
60	558	13
70	653	26
80	487	29
90	48	13
100	0	0
總計	2253	100



表 4.2 二台空調主機運轉時數與負載率

負載率(%)	CH-1		CH-2	
	運轉時數 (hr)	運轉 時數比 (%)	運轉時數 (hr)	運轉 時數比 (%)
10	1	0	0	0
20	5	0	0	0
30	7	0	0	0
40	5	0	0	0
50	63	4	42	2
60	296	15	337	16
70	603	30	650	30
80	694	35	749	35
90	311	16	360	17
100	0	0	0	0
總計	1985	100	2138	100

表 4.3 三台空調主機運轉時數與負載率

負載率(%)	CH-1		CH-2		CH-3	
	運轉時數(hr)	運轉時數比(%)	運轉時數(hr)	運轉時數比(%)	運轉時數(hr)	運轉時數比(%)
10	2	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
50	5	0	12	0	0	0
60	41	3	32	1	22	0
70	246	18	336	8	312	15
80	749	54	2342	61	1041	55
90	353	25	1111	30	580	30
100	0	0	0	0	0	0
總計	1397	100	3834	100	1955	100

接下來，由圖 4.6~4.8 所示得知三台主機經過依季節性調整負載管理，亦即，在夏季時須開啟三台空調主機運轉，以滿足夏季的空調負荷，負載率約在 80%，由於建築熱質量效應(Thermal Mass Effect)，使得建築物於夜間蓄積之熱量，造成早上八點開機時需全部將空調主機投入，方可滿足空調需求。至於在春秋季的運轉現況得知，除了在剛開機時為滿足前述蓄熱效應開啟三台外，其餘時段皆須開啟兩台空調主機，負載率也維持在 90% 左右，在冬季則因空調負荷偏低，僅開啟一台空調主機，此時的負載率也維持在 60%~95% 之間。

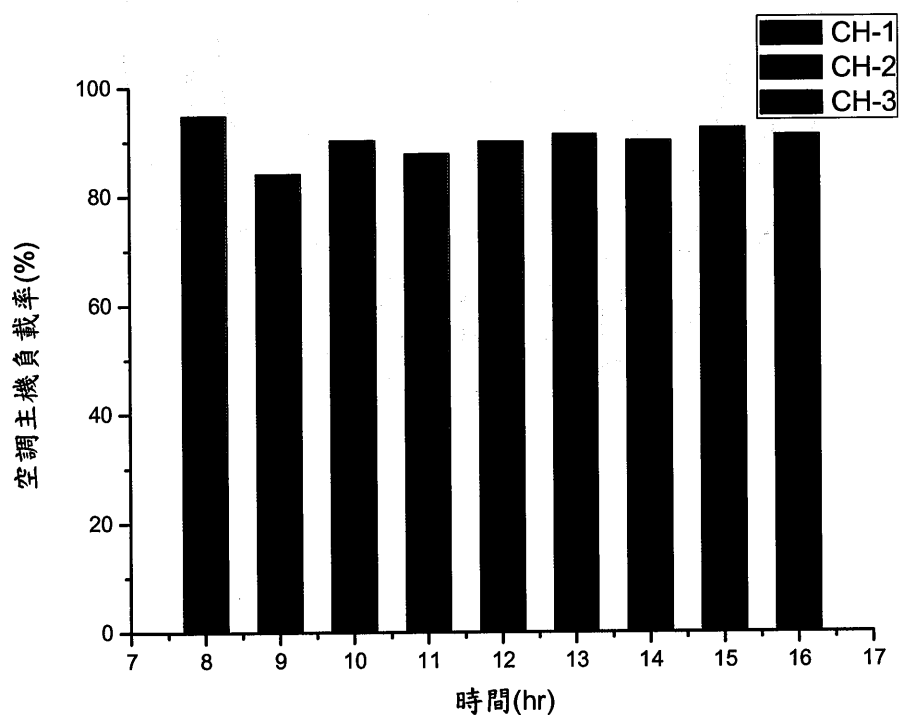


圖 4.6 夏季空調主機運轉狀況

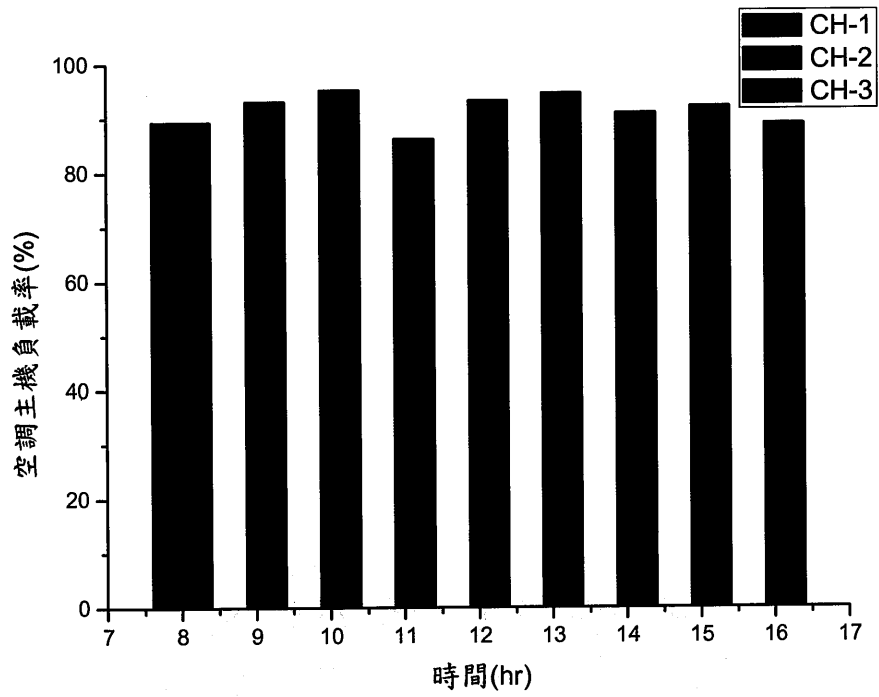


圖 4.7 春秋季空調主機狀況

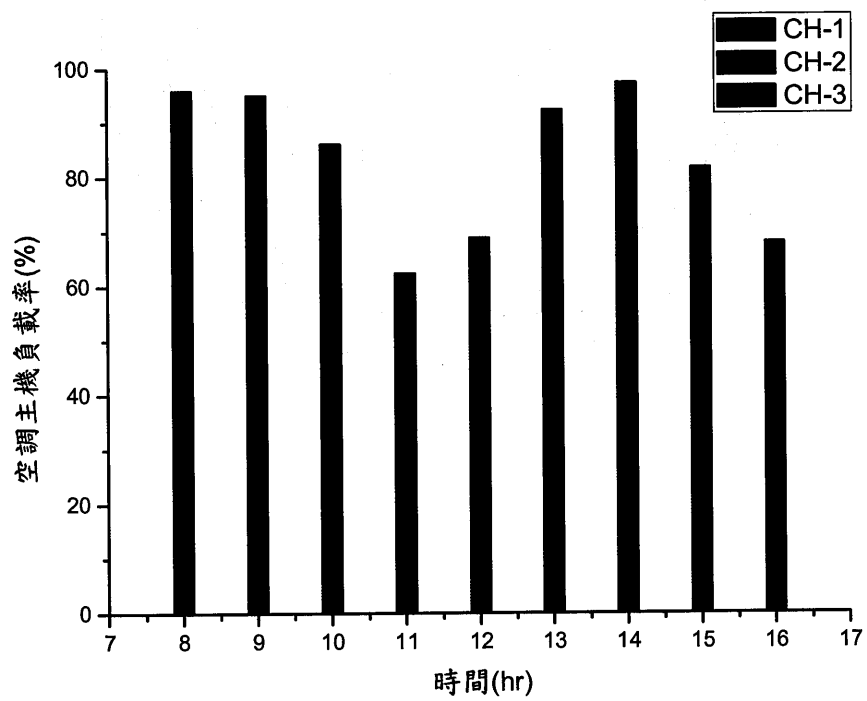


圖 4.8 冬季空調主機運轉狀況

再根據圖 4.9 空調主機台數控制的逐月耗電量，指出在冬季時因空調負荷之故，致使一台大容量的空調主機的負載率差，導致冬季耗電量大，至於使用三台適合容量的空調主機的耗電量，反而使負載率增大，整體全年耗電量可由表 4.4 空調主機一、二及三台耗電量得知。

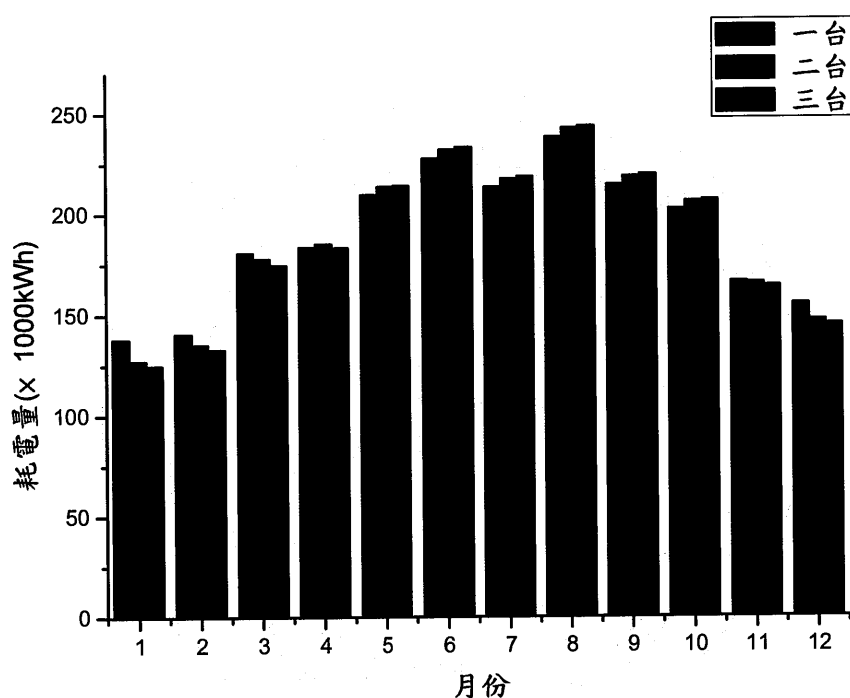


圖 4.9 空調主機一、二及三台逐月耗電量

表 4.4 空調主機一、二及三台耗電量

台數控制	一台	二台	三台
耗電量 (kWh)	2270474	2268441	2260858
省能效果 (kWh)	-	2033	9616

### 4.3 冰水變流量控制

一般空調系統（區域泵）的流量為定流量系統，亦即，隨著空調負載的變化，圖 4.10~圖 4.12 得知定流量系統無論夏季、春秋季及冬季，區域泵之冰水流量均處於固定流量及揚程在 1657GPM、44ft 的狀態，則相對的區域泵耗電量均為定值，造成在低空調負載時能源的浪費。根據水泵相似定律，區域泵採用一般區域泵及變頻區域泵方式，進行變冰水流量，又從圖 4.10~圖 4.12 得知採用一般區域泵及變頻區域泵，可獲得相同變冰水流量的效果，但一般區域泵之揚程因冰水流量變化而改變在 50~59ft 之間，變頻區域泵可控制泵浦轉速，以致於揚程變化趨近於穩定在 37~38ft 之間。以圖 4.12 所示冬季冰水流量的變化量最為強烈，得知在冬季定流量系統改善為變流量系統，節能潛力最佳。由表 4.5 得知依夏季、春秋季及冬季區域泵改善前後之效率提升分別為 3%、6%及 8%。

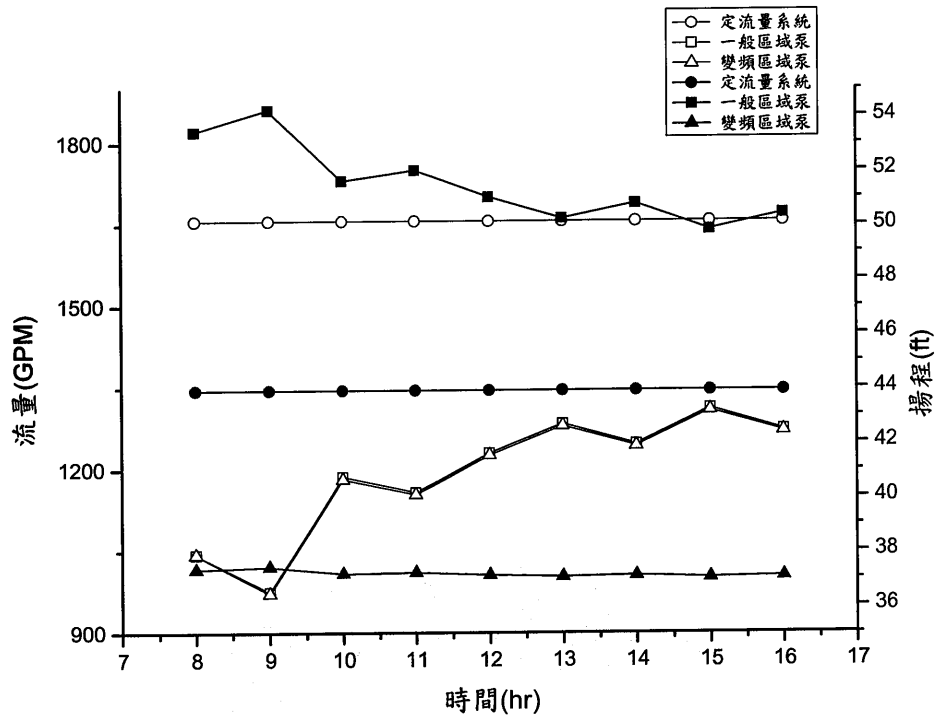


圖 4.10 夏季日逐時冰水流量

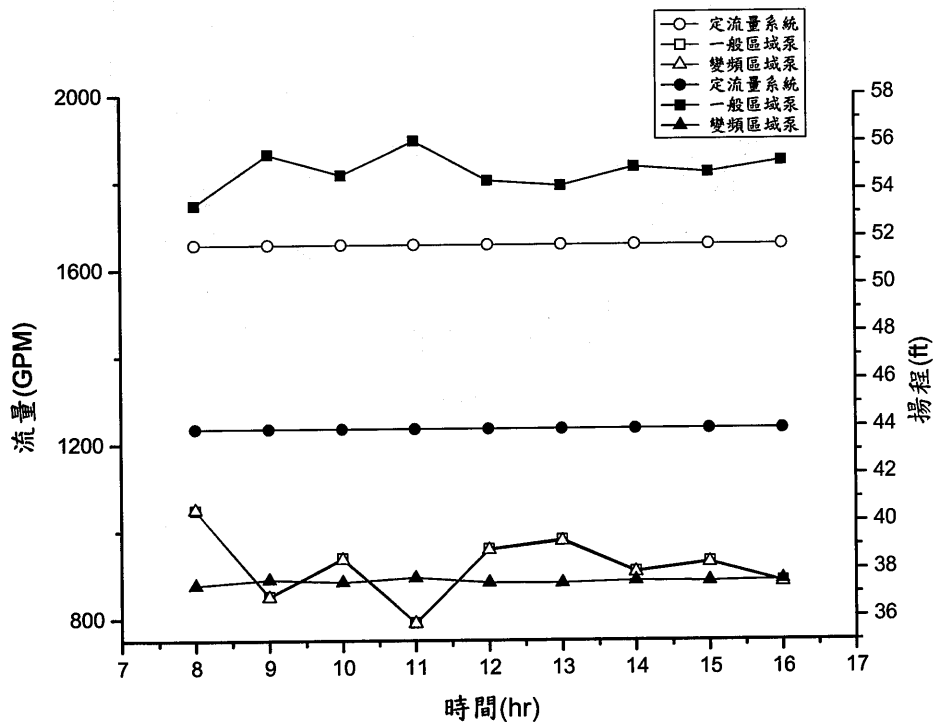


圖 4.11 春秋季日逐時冰水流量

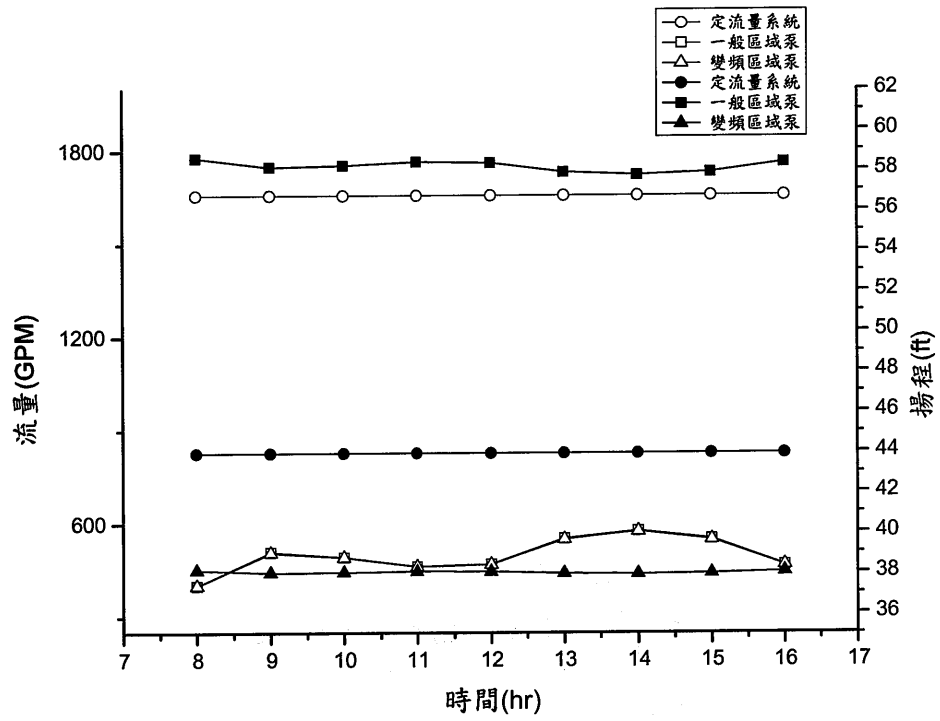


圖 4.12 冬季日逐時冰水流量



表 4.5 區域泵變流量在各季節的運轉效率比數

時間	冬季		春秋季		夏季	
	一般區域 泵(%)	變頻區域 泵(%)	一般區域 泵(%)	變頻區域 泵(%)	一般區域 泵(%)	變頻區域 泵(%)
8	54	62	90	95	90	95
9	64	73	84	90	88	94
10	63	72	87	93	94	97
11	61	69	81	88	93	96
12	61	70	88	93	94	97
13	67	76	88	94	95	97
14	69	77	86	92	95	97
15	67	76	87	92	95	97
16	61	70	85	91	95	97

經由前述說明定流量系統、一般區域泵及變頻區域泵，各季之流量及揚程變化，分析後，由圖 4.13~圖 4.15 所示，左維座標為耗電量標示，右維座標為空調負荷量標示。定流量系統無論空調負荷變化耗電量均為 57kWh，而一般區域泵及變頻區域泵因採用變流量系統，使耗電量隨空調負荷變化，夏季耗電量分別約為 50kWh、35kWh，省能效果為 14%及 40%，春秋季耗電量分別為 44kWh、28kWh，省能效果 23%及 51%，至於冬季耗電量分別為 35kWh、20kWh，省能效果 40%及 65%。再由表 4.6 所示一般變流量及變頻變流量全年省能效果為 48%及 63%。

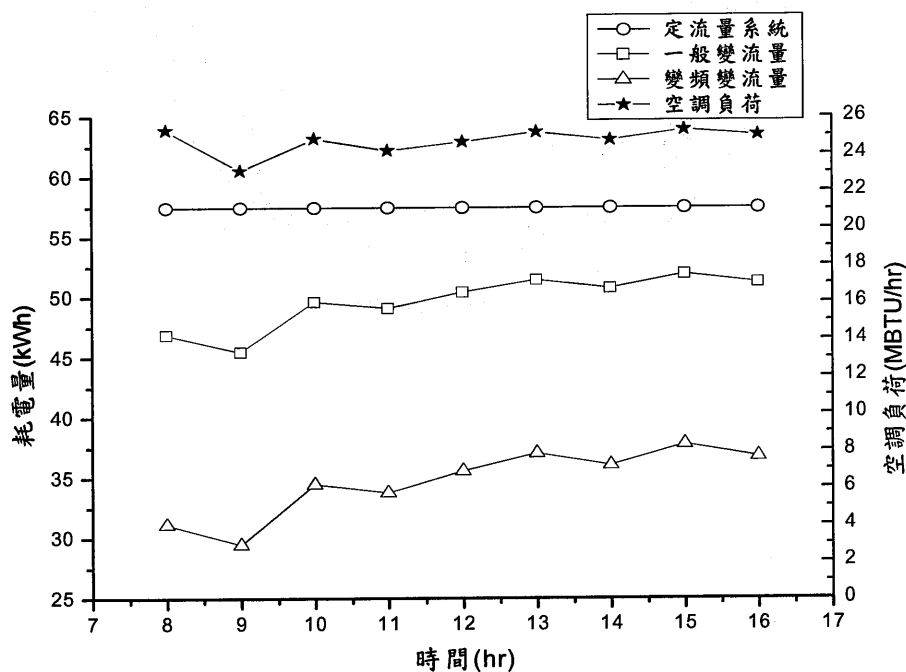


圖 4.13 區域泵夏季耗電量

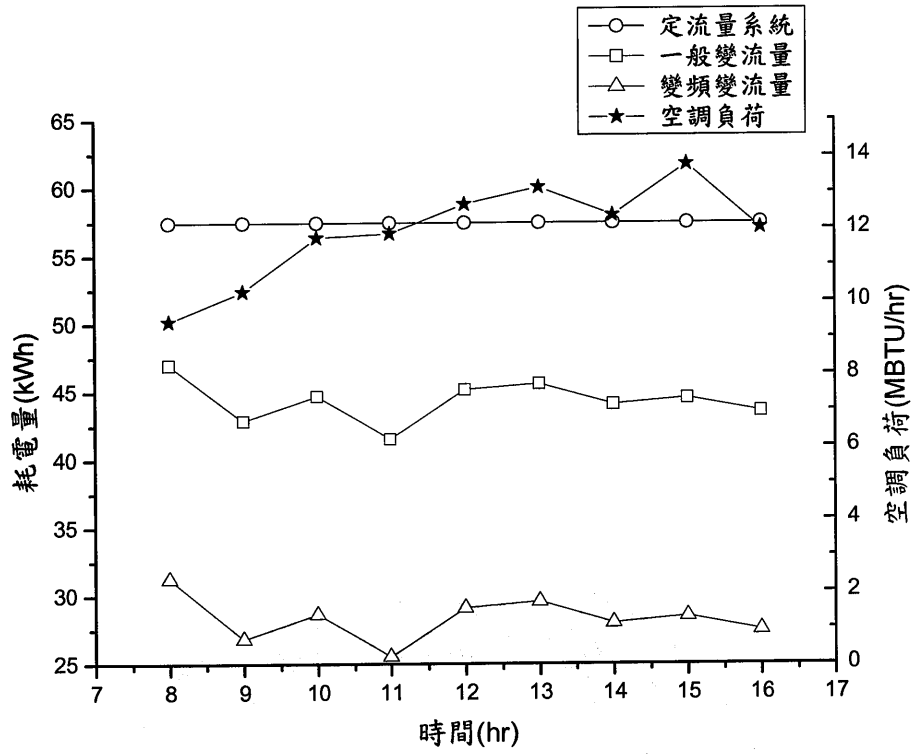


圖 4.14 區域泵春秋季耗電量

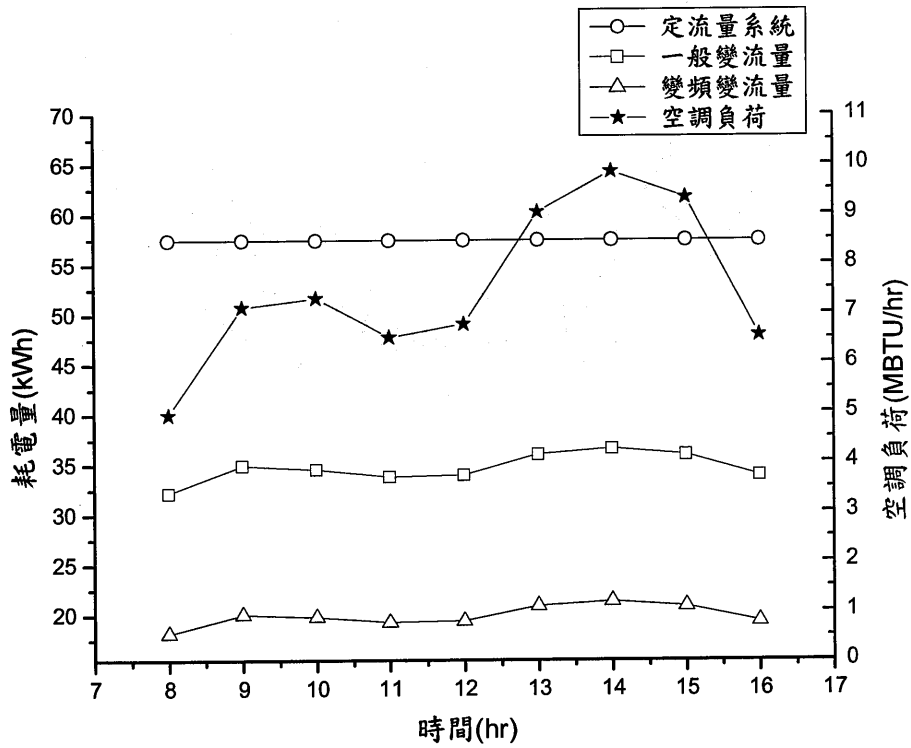


圖 4.15 區域泵冬季耗電量

表 4.6 區域泵全年耗電量效益

控制方法	定流量系統	一般區域泵	變頻區域泵
耗電量(kWh)	192746	101019	70982
省能效果 (kWh)	-	91727	121764
省能效果 (%)	-	48	63



#### 4.4 冷卻水塔節能控制

圖 4.16 說明冷卻水塔進行一段及變頻控制的運轉現況，如表 4.7 變頻控制的省能效果為 39.9%，由於冷卻水塔在單速控制下，並未隨著主機卸載而卸載，為因應夏季散熱需求，在水塔風扇過大設計情況下，冷卻水塔因而產生過大的耗能現象；因此導入水塔風扇變速、變頻裝置，可以有效改善在低負載狀況下之水塔風扇過度耗能的現象[18]。

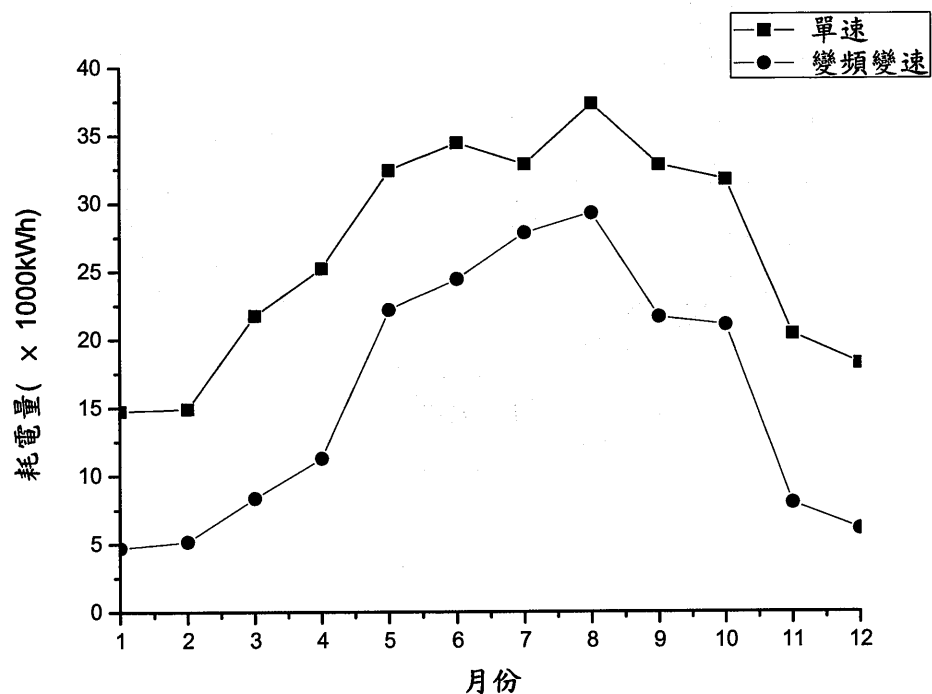


圖 4.16 水塔風扇逐月耗電量

表 4.7 水塔風扇全年耗電量效益

水塔風扇	定頻 (60Hz)	變頻變速
水塔耗電量(kWh)	316772	190093
省能效果(kWh)	-	126679
省能效果 (%)	-	40



## 第五章 結論與建議

本研究其最終目的是為本案例建築物，提供最可靠的節能策略方案，過程中分次漸序地建立不同的策略模型，由模擬結果中可以看出，空調系統之耗能與季節性具有密切相關，冬季時因使用一台大容量的空調主機其運轉率差，導致冬季耗電量大於使用三台適合容量的空調主機耗電量。一台空調主機在 10%~90% 的效率並不理想，經過控制策略後三台主機在效率提升 10%，且都集中在 70%~90%。然而水側變流量以變頻區域泵，進行二次側變冰水流量，其省能效果高達 63%，冷卻水塔風扇使用變風量策略，省能效果也達 40%。

本論文利用提出季節性的空調負荷當作選機台數控制的依據，除避免主機超量設計，同時可提昇在春秋季及冬季長期處於低負載的狀況，獲得全年均可進行節約能源的潛力。

## 參考文獻

- [1] 黃漢泉，辦公室類建築耗能總量調查之研究，內政部建築研究所，2000
- [2] 李靖男，冷凍空調系統之“奧運”標誌，中國冷凍空調雜誌，第 35 期，pp.116-121，1997
- [3] 吳衍嘉，大型圖書館建築之空調節能改善分析與全尺度實驗印證，國立中山大學，碩士論文，2005
- [4] 李浩銓、楊秉純、林振源，辦公建築節能潛力與最佳電費模擬分析，台電工程月刊，第 694 期 pp.76-83，2006
- [5] 林啟發，亞洲地區辦公室建築外殼節能計劃，國立成功大學，碩士論文，2006
- [6] X. Jin, Z. Du, X. Xiao, Energy evaluation of optimal control strategies for central VAV chiller system, Applied Thermal Engineering, pp. 934-941, 2007.
- [7] 彭鵬、朱磊，某辦公樓動態耗能模擬與節能分析，節能，第 12 期，pp.50-52，2009
- [8] 梁正穎，建築耗能系統節能改善策略分析與應用，國立中山大學機械與機電工程研究所，碩士論文，2008
- [9] 楊開翔，高耗能辦公大樓耗能因子解析之研究，國立成功大學建築研究所，碩士論文，2009
- [10] 趙尉棋，中央空調變流量冰水系統省能探討，國立勤益科技大學冷凍空調與能源系，碩士論文，2009
- [11] 孫勝男、張旭、王松慶、蔣丹丹，大型鐵路客運站空調負荷特性分析，建築熱能通風空調，第 28 卷第 6 期，pp8-11，2009
- [12] 施順鐘，應用類神經網路於醫院空調短期電力預測，國立台北科技大學電機工程系，碩士論文，2005
- [13] 林文祥，節能技術與案例介紹，財團法人台灣綠色生產力基金會，2009



- [14] 林憲德、黃國倉，台灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用，中華民國建築學會第九屆建築研究成果發表會論文集，2004
- [15] 台灣電力公司電價表(低壓、高壓、特高壓供電)，2008
- [16] 經濟部能源局，空調系統能源查核與節約能源案例手冊，2006
- [17] 官信良、蔡尤溪、彭柏翰、蘇水波，大型地下化車站節能潛力研究，冷凍空調與能源科技，pp74-81，2010
- [18] 財團法人綠色生產力基金會，空調系統能源管理與節能手冊，2008
- [19] 李靖男，建築物節約能源設計分析與全尺度實驗驗證，國立中山大學機械與機電工程研究所，博士論文，2002
- [20] 林秉鋒，冰水系統二次側泵浦壓力控制分析，國立台北科技大學冷凍空調工程系碩士論文，2003
- [21] Y. Zhu, Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study, Energy and Buildings, Vol. 38, pp. 421 - 428 , 2006
- [22] 陳國珍，冷卻水塔撰鑑，良機國際集團，2004
- [23] 林明鴻，空調系統變頻節能應用技術暨一次側泵浦變流量系統，電機月刊，pp.194-217，第十二卷第一期，2002
- [24] 陳瑞鈴、黃瑞隆，辦公建築物外周區節能系統設計與 PMV 熱舒適度指標分析研究，內政部建築研究所，2002
- [25] F. Engdahl, D. Johansson, Optimal supply air temperature with respect to energy use in a variable air volume system, Energy and Buildings, Vol. 36, pp. 205 - 218 , 2004
- [26] 鄭鴻彬、林紀暘、蔡憲旻，市政大樓能源管理系統與操作維護管理之個案探討，電機技師雜誌，第 138 期，pp96-110，2009
- [27] 劉長壽，泵浦的流量控制與能源節約，化工技術，第三卷第十一期，pp.116-121，1995