

綠空調實踐與應用

Application of the **Green** HVAC Concept



內政部建築研究所

序

台灣位處亞熱帶，氣候濕熱，夏季具極大之空調負荷，並成為夏季尖峰用電吃緊的主要因素之一。根據經濟部統計資料顯示，住宅及商業建築之耗電量約佔全國總用電之 30%。其中，商業建築之用電量約有 40% 為空調系統所造成。目前我國既有建築物佔建築物總量之比率約達 97% 以上，其空調系統普遍超量設計，導致空調主機於大部分時間處於低負載狀態，運轉效率低落；而機齡達十年以上之舊型主機，更因性能劣化造成效率持續遞減；由於空調系統耗電量以空調主機佔最大比例（約 60%），故低效率之主機是造成

空調嚴重耗能的主因之一，亟待加以汰換更新。同時，冰水泵送側及空調送風側之系統設計亦由於未導入節約能源措施，導致整體建築耗能嚴重。

有鑑於此，本所即針對空調系統耗能嚴重之中央廳舍或國立院校等既有建築物，辦理空調節能改善補助計畫。由國立中山大學楊冠雄教授召集，組成北、中、南共 20 位專家學者的技術服務團隊，發函至各機關或院校受理空調系統改善申請，並依嚴謹之選取原則，選出節能潛力較大且能彰顯改善效益之申請案例。經技術服務團隊逐案現場勘查及量測後，依據實測數據分析診斷耗能過大之原因，並針對個案耗能問題擬定整體空調系統之改善策略，包含，汰換低效率之老舊空調主機、減少主機超量設計、強化主機台數控制、導入可變水量(VWV)及可變風量(VAV)控制等節能設計，並據以進行空調系統節能改善工程設計與發包施工。於工程完成後，再由技術服務團隊進行後續運轉之耗能評估，以確認改善後之節能效益。

本計畫於民國 92~96 年間共完成了 97 棟中央廳舍空調節能改善工程。空調主機容量由原先總計之 19,100 冷凍噸減量至 16,400 冷凍噸，共減少 2,700 冷凍噸(14%)之超量設計。實際運轉結果顯示，平均每冷凍噸耗電量自

1.2kW 降低至 0.85kW，提升空調主機效率約 29%，節能效果顯著。合計每年可減少政府機關及院校之用電量約 3,000 萬度，等於節省約 7,500 萬元電費，相當於每年減少約 2 萬噸的二氧化碳排放當量，或種植 67 公頃的自然森林，兼具節能與環保之良好示範作用。

為擴大推廣，並協助相關單位自行進行空調節能改善，本所將歷年執行計畫所運用之空調節能技術彙整集結成冊；以深入淺出之方式作一完整說明，並輔以相關改善案例作詳盡之範例解說，提供建築師、冷凍空調技師及政府部門營繕單位人員等參考運用。在此，本人要感謝本計畫總召集人楊冠雄教授及其團隊多年來鼎力推動空調節能改善補助計畫的成效與貢獻，也對本所的工作夥伴致以謝意。

內政部建築研究所所長

Handwritten signature in black ink, appearing to read '何明' (He Ming).

謹誌

目錄

第一章、前言	1
1. 綠建築之意義及推動現況	1
2. 綠建築日常節能指標之意義	5
第二章、空調主機台數控制系統	9
1. 技術原理說明	9
2. 設計技術及節能對策	12
2-1 台數控制的冷凍機耗能計算	12
2-2 熱源機器台數控制的省能效果	13
3. 實例介紹	15
3-1 案例背景與系統介紹	15
3-2 中央空調主機運轉頻率分析	17
3-3 主機台數最佳化配置及運轉策略分析	20

3-4 小結	24
第三章、儲冰空調系統.....	25
1. 技術原理說明	25
2. 設計技術及節能對策.....	35
2-1 全量儲冰與分量儲冰	35
2-2 儲冰系統注意要項.....	39
3. 實例介紹	39
3-1 案例背景與系統介紹	39
3-2 改善方法與目的	41
3-3 全尺度實驗量測印證	42
3-4 電力負載監控系統.....	44
3-5 經濟效益分析	44
第四章、可變冷媒量 VRV 熱源系統	47
1. 技術原理說明	47

2. 設計技術及節能對策.....	50
2-1 技術優點.....	52
2-2 VRV 空調系統形式.....	52
2-3 全直流變頻技術介紹.....	56
2-4 VRV 運轉於部分負載時之效能.....	58
2-5 空調節能技術評估.....	60
2-6 VRV 系統之特點.....	60
3. 實例介紹.....	62
3-1 案例背景與系統介紹.....	62
3-2 實測數據分析.....	65
3-3 小結.....	67
第五章、CO₂ 濃度外氣量控制系統.....	68
1. 技術原理說明.....	68
2. 設計技術及節能對策.....	71

2-1 CO ₂ 濃度外氣量控制之技術應用	71
2-2 CO ₂ 濃度感測器	73
3. 實例介紹	74
3-1 案例背景與系統介紹	75
3-2 CO ₂ 濃度控制外氣量之測試結果	76
3-2 CO ₂ 濃度外氣量控制系統之節能效益	79
第六章、全熱交換器系統	80
1. 技術原理說明	80
2. 設計技術及節能對策	82
3. 實例介紹	84
3-1 案例背景與系統介紹	84
3-2 全熱交換系統改善前後之溫度比較	86
第七章、外氣冷房系統	87
1. 技術原理說明	87

2. 設計技術及節能對策.....	88
3. 實例介紹	93
3-1 案例背景與系統介紹	93
3-2 外氣冷房控制介紹.....	94
3-3 小結	95
第八章、變風量通風系統	97
1. 技術原理說明	97
2. 設計技術及節能對策.....	99
2-1 變風量通風系統的設計概念.....	99
2-2 變風量系統的控制.....	101
2-3 變頻調速器	108
2-4 耗能比較	110
2-5 感測器類型和安放處	113
3. 實例介紹	118

3-1 案例背景與問題描述	118
3-2 空氣側改善內容	118
3-3 改善後之節能評估	120
第九章、空調泵送系統改善技術.....	121
1. 技術原理說明	121
1-1 變流量與定流量之比較.....	122
1-2 流量與泵耗電分析.....	123
1-3 冰水側主次系統介紹	126
1-4 冷卻水系統之流量控制.....	128
1-5 冷卻水塔之效率與座落位置	132
1-6 變頻器之使用	133
2. 設計技術及節能對策.....	133
2-1 二次側變流量系統(Primary/Secondary System)	134
2-2 一次側變流量設計(Variable Primary Flow)	138

2-3 冷卻水之變流量	139
3. 實例介紹	144
3-1 案例背景與系統介紹	144
3-2 改善方法與目的	147
3-3 改善二次泵效益分析	147
第十章、建築能源管理系統	152
1. 建築能源管理系統定義	152
2. BEMS 之功能與效益	153
3. BEMS 之通訊協定與網路架構	155
4. BEMS 之能源監測介紹	158
4-1 BEMS 之能源監測系統與能源監測中心之架構設計	160
4-2 BACnet 閘道器說明	162
4-3 能源監測資料庫之規劃設計	164
5. BEMS 之系統架構及機能	166

5-1 BEMS 之系統架構	166
5-2 BEMS 之機能	167
6. 綠建築之 BEMS 節能技術應用解說	172
7. BEMS 實際案例介紹	174
7-1 案例背景與系統介紹	174
7-2 問題描述及改善對策	174
7-3 系統導入後成效分析	179

第一章、前言

1

綠建築之意義及推動現況

近年來，人類對於環境的破壞規模，已擴大至地球的尺度，例如地球氣候高溫化、酸雨、森林枯絕、臭氧層破壞、異常氣候等現象已無遠弗屆，人類的生存已遭到嚴重的威脅。有鑑於此，1992 年的「地球高峰會議」，史無前例地聚集了 170 個國家的政府代表以及 118 位的國家元首，共同商討挽救地球環境危機的對策，掀起了地球環保的熱潮。會中更簽署了「氣候變化公約」、「生物多樣性公約」，同時發表了「森林原則」、「里約宣言」、「二十一世紀議程」等重要宣示。

繼此，1993 年聯合國成立了「永續發展委員會」(United Nations Commission on Sustainable Development, UNCED)，展開全面性的地球環保運動。一直到 1998 年的「京都環境會議」，更正式制定了各先進國家二氧化碳排放減量的目標，一再顯示地球環保問題已成為超國境、超政體的國際要務，同時也顯示「永續發展 Sustainable Development」已成為人類最重要的課題。

「永續發展」的浪潮在建築都市政策方面，亦以排山倒海之勢蜂擁而至。1996 年 6 月在伊斯坦堡召開的「居所會議 (Habitat II Agenda)」，針對當今的都市危機研商對策。我國也在同年七月的 APEC 永續發展會議中，承諾推動「居所會議」的決議目標。1996 年我國行政院成立「永續發展委員會」，誓言善盡國際環保職責。為了配合此政策，行政院經建會特別將「綠建築」列為「城鄉永續發展政策」的執行重點。內政部營建署也透過「營建白皮書」正式對外宣示，將全面推動綠建築政策。

人類過去不當的都市建築政策，使居住環境急速惡化，地球環保受到莫大的扭曲。例如都市人口過度集中、人造環境不透水化、建築物通風不良、節能設計不當，造成能源浪費與都市氣候高溫化。為了應付日益炎熱的都市氣候，家家戶戶更加速使用空調、加速排熱，造成都市更加炎熱化的惡性循環。如今台灣的大都會區在夏季市中心與市郊的最高氣溫差，甚至高達 3~4 °C。根據台電的統計，在夏季尖峰外氣溫每上升 1°C，空調耗電量約上昇 6%。如此算來，夏季市中心的空調設備耗電量，比郊外高出四分之一，使都市高溫化效應有如火上加油。為了緩和上述都市建築環境惡化的問題，以環保為導向的「綠建築」乃是建築政策上最有效的對策。在我國政府大力推動「綠建築」政策下，於 1995 年將建築節能設計納入「建築技術規則」中，又於

1998 年初全面擴大節能設計之適用範圍。本法令實施二十年後預計每年可節約空調用電量約 46 億度，相當於每年可減少七百萬公噸的二氧化碳排放量，可減緩地球氣候溫室化效應，對於地球環保有莫大的貢獻。

另一方面，「綠建築」原本是起源於寒帶先進國家的設計理念，其中有許多設計技術並不全部適用於熱帶、亞熱帶國家。過去有些國內的建築思潮，常受到歐美、日本等北方國家的影響，常無視於自己南國的氣候風土，把一些密不通風的全玻璃大樓、無遮陽的玻璃大溫室、水平大天窗等寒帶建築造型抄襲至熱濕氣候來，造成能源浪費、室內環境惡化、機械設備量大增、供電危機、反光公害等嚴重的環保問題。假如我們無法去蕪存菁，建立一套適用於台灣氣候的綠建築評估系統的話，很難有效推動「綠建築」政策。因此為了真正落實「綠建築」政策，為了讓業者、消費者有共同評判的基準，我們需要一套完全本土化的「綠建築評估方法」。



那麼，什麼是「綠建築」呢？簡單來說，就是消耗最少地球資源，製造最少廢棄物的建

築物同時，以人類的健康舒適為基礎，追求與地球環境共生共榮及人類生活環境永續發展的建築設計。我國目前的綠建築評估體系，包含了生態 (Ecology)含生物多樣性、綠化量、基地保水三指標、節能(Energy Saving) 日常節能指標、減廢 (Waste Reduction) 含 CO₂ 及廢棄物減量二指標、健康 (Healthy) 含室內環境、水資源、污水及垃圾三指標等四大部分，共計九項指標。透過此九顆星的「綠建築標章」評估系統，一方面可作為政府獎勵優良民間業者建設綠色建築之依據，另一方面可明確誘導民間投入綠色建築之開發建設，並可依綠建築標章作為促銷產品之依據。最重要的是，一般消費大眾依據綠建築標章購屋確實可達節能、省水、衛生、健康、舒適、環保的目的。

然而，綠建築在推廣上若僅由教育、政令宣導等方面推動，其效果難免薄弱，若能從政府機關建築開始示範性的做起，則更能帶動民間相關產業投入綠建築的工作，藉由綠建築觀念的推廣，讓我們的居住環境品質更健康、舒適。

目前許多全玻璃大樓充斥台灣，玻璃具有「溫室效應」的特性，它可讓短波高溫的日光穿透入室內，但穿入室內後變成一般常溫的長波熱，卻不易消散至室外，使得熱氣在室內累積而越來越熱。而即使採用高反射率的反射玻璃，也僅有減少部份熱負荷的功能，卻產生嚴重的「反光公害」。

過去許多人以為汽車、機械、燃燒等工業方面所佔的耗能比較大，因而其節能效果也較大，同時認為建築部門的耗能比例不大，因此從建築來實施節約能源的效果有限。事實上這是一種錯誤的看法。「日常節能指標」是以空調及照明用電為主的指標，其中尤以空調節能為重點。在台灣，夏日平均建築空調耗電佔了總尖峰用電的三分之一左右，空調節能的重要性由此可見一斑。目前有關建築外殼的節能設計，已經納入「建築技術規則」中成為強制法令。根據成大建研所的解析，本法令實施二十年後預計至少可降低 16% 的建築空調尖峰用電量，相當於 7% 的全國尖峰用電容量，相當於四至五座的火力發電場，或全國所有的水力發電場，或一部大型核能機組。

本「日常節能指標」對於節約能源的要求，比現行「建築技術規則」中的節能合格基準，強化約百分之二十。本指標同時對於空調設備系統、照明、

晝光利用、太陽能利用等節能設計，均設有優惠評估的辦法，可說是一個十分周全的節能指標。事實上「日常節能指標」是「綠建築」九大指標中，最具體、最法制化、最有直接利益的指標。

建築物的生命週期長達四、五十年之久，從建材生產、營建運輸、日常使用維修、拆除等各階段，皆消耗不少的能源，其中尤其以長期使用的空調、照明、電梯等日常耗能量佔最大部分，這部分就是本指標所涵蓋的耗能量範圍。本指標特別以「日常節能指標」之用語以示有別於建材生產能源等日常耗能以外的能源，由於建築外殼的熱性能特性是空調耗能的根源，同時空調與照明的耗能量佔建築物總耗能量中絕大部分，因此本指標以建築外殼、空調及照明設計之能源效率為主要評估對象。本「日常節能指標」的評估，更要求建築外殼耗能的合格基準比現行節能法規約嚴格 20%，同時也加強空調設備及照明系統的節能要求，對於建築的節能設計有更大的保證。



另一方面,建築節能的目的是並非只在於節約能源，它同時也是一種科學化、綜合化的建築風格設計法。由於建築外型設計與空調耗能有密切關係，進

圖 1-2 日常耗能示意圖

行建築節能設計不但可以淘汰一些不合台灣氣候風土的建築造型，同時可塑造台灣亞熱帶氣候的建築風格。因此推行「日常節能指標」的評估，不但對國家能源影響十分重大，甚至可塑造出符合風土的台灣建築風貌，對市容景觀美化將有重大的影響。因此，本書採取深入淺出，淺顯易懂之方式，介紹綠空調(Green HVAC)之節能改善技術，同時配合實際改善案例加以說明，使讀者對於綠空調改善工程之理念獲得良好的了解。

第二章、空調主機台數控制系統

1

技術原理說明

傳統式空調系統之設計，是選取最嚴苛之氣象條件(例如美國 ASHRAE TAC 之危險率 2.5% 或 5.0%)，以計算尖峰空調負載(Peak Cooling Load)，再據此選擇空調系統設備容量。但是，事實上一年之中真正在此種氣象條件下運轉之時數並不多，導致系統於大部分的時間皆運轉於部份負載(Partial Load)之情形下，如圖 2-1 為某建築之冰水主機運轉時數，可看出主機大抵於 30% ~ 50% 之負荷率狀態下運轉。

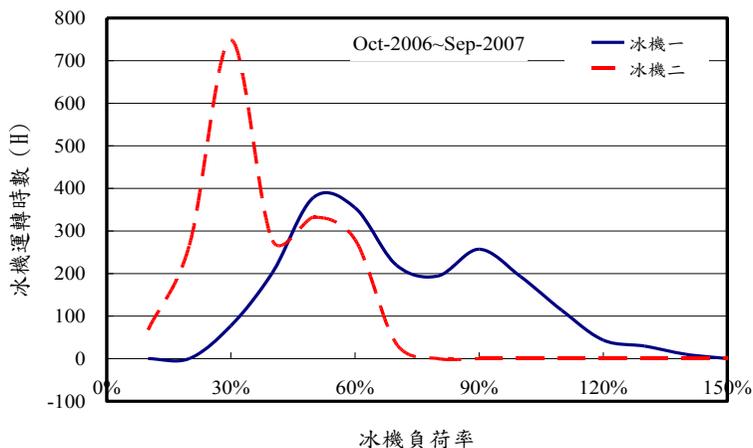


圖 2-1 某建築冰水主機全年負荷率分佈圖

各種主機在部分負載下，對用電輸入功率修正值非 1：1 的直線，若空調系統採取單一主機之設計方式，由圖 2-2 之各主機之性能曲線可看出，當負荷率偏低時，部分之空調主機的輸入功率卻未依比例下降，導致能源耗用量(耗電量)大增。反之，若將之分成兩台(或多台)容量較小之主機，則當負荷率降低時即停轉部份主機，相對地便可提高運轉中的主機之負荷率，避免主機效率的劣化。

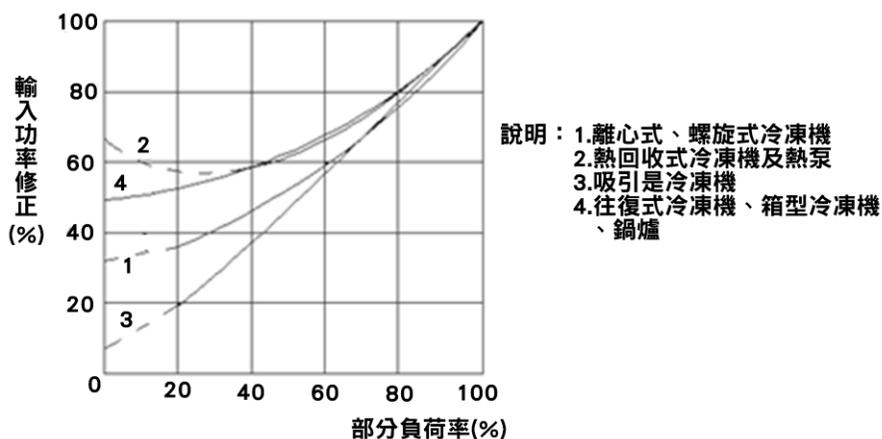


圖 2-2 各主機之標準性能曲線

舉例而言，一台 200RT 主機可供應 200RT 之冷房尖峰負載，但於部分負載時，如夜間加班時段，負載可能只有 60RT，此時負載率將僅有 30%，不但主機效率大減，甚至將導致湧浪(Surging)現象，對主機機件造成損害。

反之，若改採用二台 100RT 主機的設計方式，當負載為 60RT 之時，若關閉其中一台主機，另一台主機的負載率則可提高到 60%。如此一來，不但運轉中的主機效率提高，也可彈性地控制主機開啟台數，同時進行維修保養等工作。

一般來說，利用台數控制的省能效果通常發生於負荷率小於 50% 的情況下，若以負荷率為 40% 為例，只有一台冷凍機時，耗能約為系統輸入功率的 50%，但若為二台冷凍機時，僅須消耗輸入功率的 40% 的能量，如此便可節省近 10% 的耗電。若主機的負荷率小於 50% (大抵發生於春、秋季或夜間加班時刻) 的時間愈長，則台數控制之節能效果將愈明顯。



圖 2-2 主機台數控制示節能意圖

(資料來源：www.eccj.or.jp/office_bldg/07_01.html)

2-1 台數控制的冷凍機耗能計算

以負荷率考慮台數控制之方式有兩種不同類型：

■ 台數控制方法 1：

採並聯式運轉，即負荷由各運轉中的主機平均負擔，即負荷率(ε)：

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{\sum Q_{ci}} \quad (2.2.1)$$

主機的總輸入功率(E_x)：

$$E_x = \sum P_{ci} \times f_i(\varepsilon) \quad (2.2.2)$$

■ 台數控制方法 2：

如果須運轉 n 台機器，則維持 $n-1$ 台於全載($\varepsilon=1$)，不足的部分才由第 n 台負

責，則最後一台的負荷率(ε)：

$$\varepsilon = Q_c - \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ci}}{Q_{cn}} \quad (2.2.3)$$

主機的總輸入功率(E_x)：

$$Ex = \sum_{i=1}^{n-1} P_{ci} + P_{cn} f_n(\varepsilon) \quad (2.2.4)$$

其中

Qc : 空調負荷

Qci : 第 i 台熱源機器的額定冷凍能力

Pci : 第 i 台熱源機器的額定輸入功率

$f_n(\varepsilon)$: 第 i 台熱源機器的部分負荷特性關係式

2-2 熱源機器台數控制的省能效果

表 2-1 是離心式空調主機台數控制的省能效果，採用二台時省電效益最高可達 20.79%，最低為 3.51%，平均為 10.50%；採用三台時，省電效益最高達 25.68%、最低為 8.54%、平均為 13.63%。

表 2-1 離心式空調主機台數控制的省能效果

CASE	一次側總耗電			節省之耗電		省電之百分比	
	一台	二台	三台	二台	三台	二台	三台
	MWH	MWH	MWH	MWH	MWH	%	%
1	259.54	242.31	217.50	17.24	42.04	7.11	19.33
2	494.40	453.21	445.10	41.19	49.30	9.09	11.08
3	660.76	575.03	561.60	85.73	99.16	14.91	17.66
4	200.82	171.62	164.79	29.20	36.03	17.02	21.87

5	478.22	438.08	430.52	40.14	47.70	9.16	11.08
6	757.62	705.98	672.43	51.64	85.19	7.31	12.67
7	238.74	197.66	193.72	41.09	45.02	20.79	23.24
8	455.87	421.92	410.13	33.95	45.75	8.05	11.15
9	776.00	713.01	698.08	62.99	77.92	8.83	11.16
10	217.61	180.66	173.15	36.95	44.47	20.45	25.68
11	516.49	459.19	448.96	57.30	67.53	12.48	15.04
12	748.55	701.86	678.47	46.69	70.09	6.65	10.33
13	304.96	258.56	251.15	46.40	53.81	17.94	21.43
14	571.65	527.41	516.52	44.24	55.13	8.39	10.67
15	678.20	655.19	623.40	23.01	54.81	3.51	8.79
16	321.02	289.12	282.24	31.90	38.78	11.03	13.74
17	547.34	507.29	504.30	40.05	43.05	7.89	8.54
18	582.19	509.42	495.94	72.78	86.25	14.29	17.39
19	278.33	253.75	238.54	24.58	39.79	9.69	16.68
20	601.74	552.06	528.47	49.67	73.27	9.00	13.86
平均	495.41	448.72	435.91	46.69	59.50	10.50	13.63

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為台灣南部某學校之綜合大樓，為地下 2 層，地上 14 層之建築物，室內使用空間包含上課教室、電算中心、電腦教室、視聽教室、行政人員辦公室、老師個人研究室、汽車停車場、機房等，其中停車場及機房為非空調使用區。統計總樓地板面積約為 44,000m²，空調使用面積為 32,000 m²。

該大樓之冰水主機共有 3 台，分別為 2 台 400RT 及 1 台 300RT 之離心式主機。為了計算上的方便，將二台 400RT 的運轉性能曲線視為相同。依據實測所得之數據進行二次多項式迴歸分析，如圖 2-3 及 2-4 所示，可以得到該大樓空調主機的運轉性能公式如下：

$$400RT \quad PLF=19.605 + 0.1275\chi + 0.0155\chi^2$$

$$300RT \quad PLF=29.005 + 0.8205\chi + 0.0022\chi^2$$

式中

PLF(Partial Load Factor)：輸入功率的百分比(%)

χ ：負荷率(%)

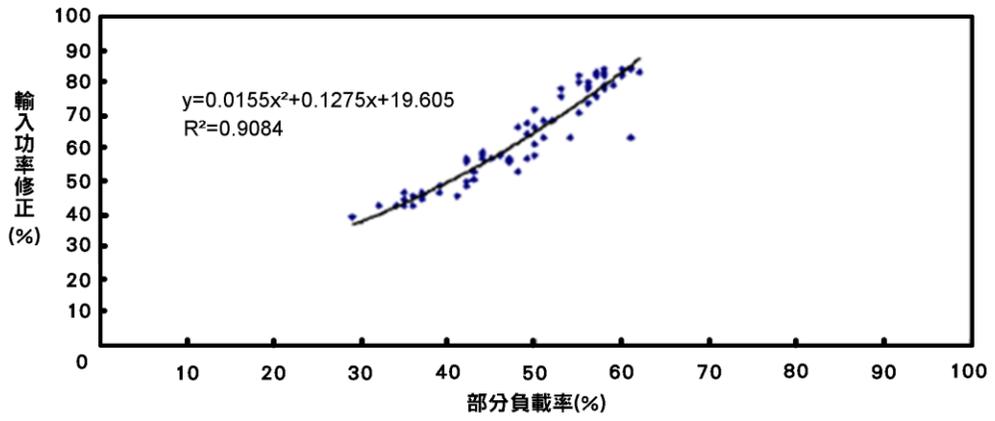


圖 2-3 400RT 空調主機實測之運轉曲線回歸分析

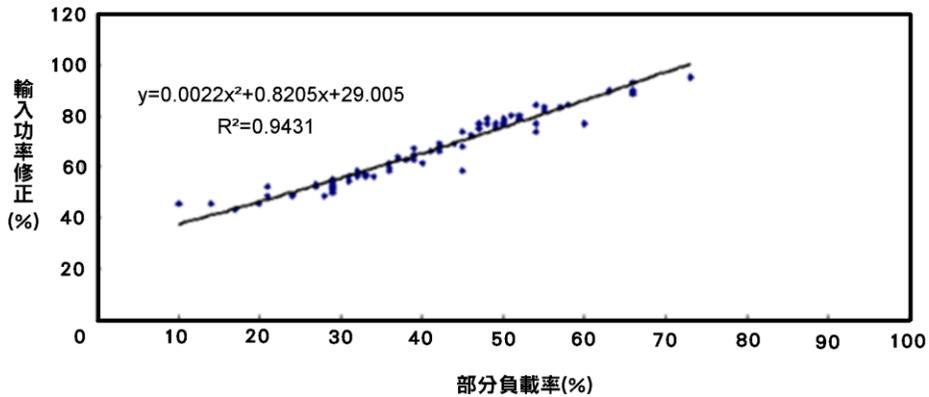


圖 2-4 300USRT 之空調主機實測之運轉曲線回歸分析

3-2 中央空調主機運轉頻率分析

取得空調主機之運轉曲線公式後，再利用電力監測儀器對建築物之空調主機運轉耗電量進行長達一年的紀錄，以獲得完整之全年用電資料，並求出全年中建築物於各月份所需之空調噸數，進行主機台數噸數配置之最佳化控制。

下圖 2-5 為該大樓各月份實測之最大空調負荷量，由圖可看出 5 月份 532RT 為最大之空調負荷；而最小空調負荷則出現於 1 月份，為 212RT，並可得知該建築空調需求量未有超過 600RT 之情形出現。有此可見，原先設計者所設計之空調系統設備容量過大(1100RT)，且未進行空調主機台數最佳化控制。

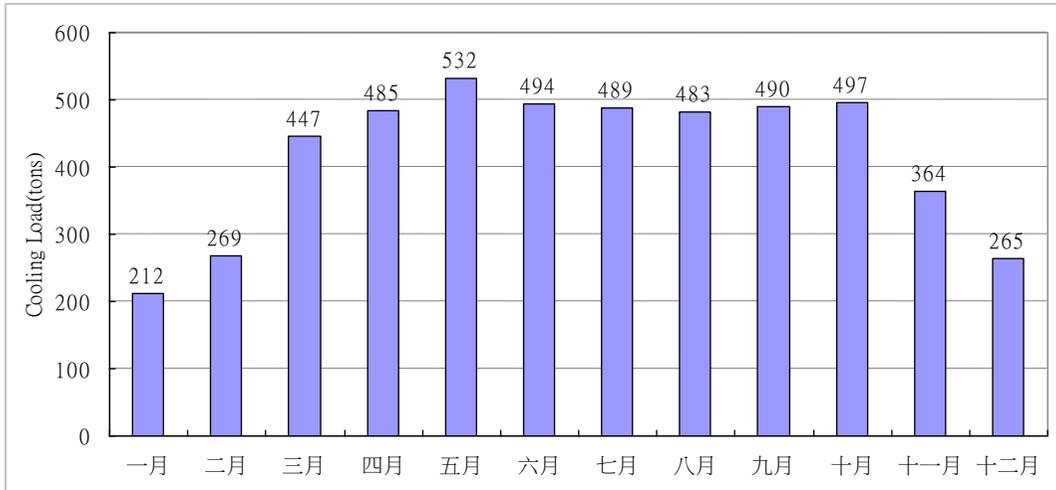


圖 2-5 該綜合大樓各月份之最大空調負荷量

依據長期監測中央空調設備之運轉資料，最後歸納成下圖 2-6 所示，為該綜合大樓全年空調主機之運轉負載頻率。由圖可看出，空調主機主要運轉於 100~200 RT 與 200~300 RT 之間，兩者分別佔總空調主機運轉小時的 30%及 31%。而 300~400 RT 與 400~500 RT 則分別佔 12%及 16%。

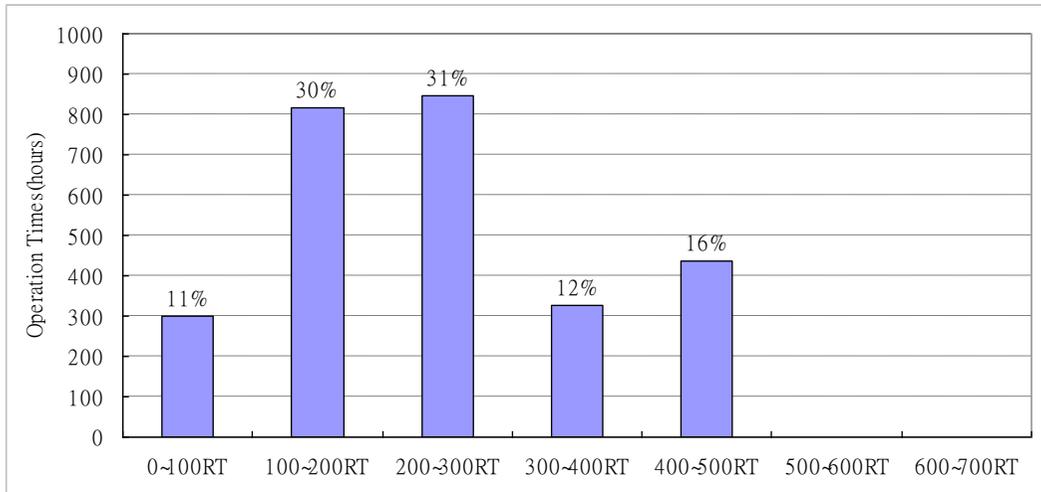


圖 2-6 該綜合大樓各所需空調噸數之運轉負載頻率

由以上之分析可知，原先設計之空調主機容量過大(2 台 400RT 及 1 台 300RT)，且未進行主機台數最佳化控制，導致於冬季時，開啟 1 台 300RT 之主機造成容量過大；於夏季時，單只運轉 1 台 400RT 主機則容量不足，若再加入 1 台 300RT 主機又會使整體容量過大。此容量過大的情形將造成主機常時間處於低負載狀態下，導致主機效率(COP)低落，用電量便急遽增高。

3-3 主機台數最佳化配置及運轉策略分析

由上述分析可知，100RT ~ 200RT 與 200 ~ 300RT 兩者之負荷噸數分別佔總主機運轉時數之 30%及 31%。故以原先之 300RT 空調主機負責提供綜合大樓 200 ~ 300RT 之空調負載需求；而 100 ~ 200RT 之空調負載則以 1 台新設之 180RT 之空調主機提供。

之所以選用 1 台 180RT 之空調主機加入運轉策略，係因為於冬季時，該棟建築物 300RT 之空調主機負載幾乎處於 40%之低負載狀態，相當於只有 160RT 之冷房能力。另一方面，100RT ~ 200RT 之負載運轉頻率可細分

為 100 ~ 150RT 與 150 ~ 200RT 兩個區域時，其負載頻率各佔 100 ~ 200RT 之總負載頻率的 48%與 52%，顯示兩者之運轉時數相當。因此將建築物最低需求空調噸數 160RT 再加上設計安全值，採用 180RT 之空調主機並進行最佳化運轉策略。其運轉策略如下：

冬季期間：

於冬季時，該大樓所需之空調噸數為 150RT 左右，如圖 2-7 所示。因此運轉 180RT 之空調主機，提供冬季之空調需求。

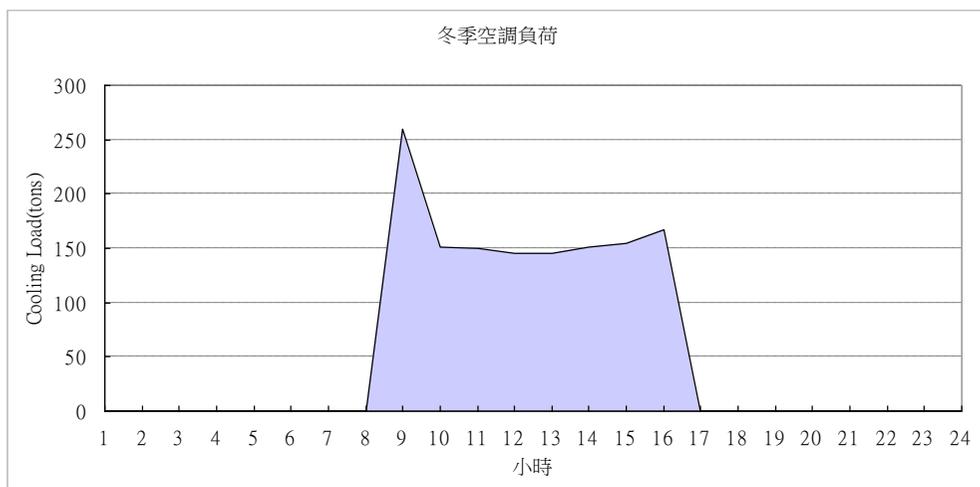


圖 2-7 該大樓於冬季時之空調負荷情形

春、秋季前間：

於春、秋季期間之天氣溫度起伏變化較大，因此該大樓之白天之空調需求約 500RT 左右；夜間則為 300RT 左右，如圖 2-8 及 2-9 所示。



圖 2-8 該大樓於春季時之空調負荷情形

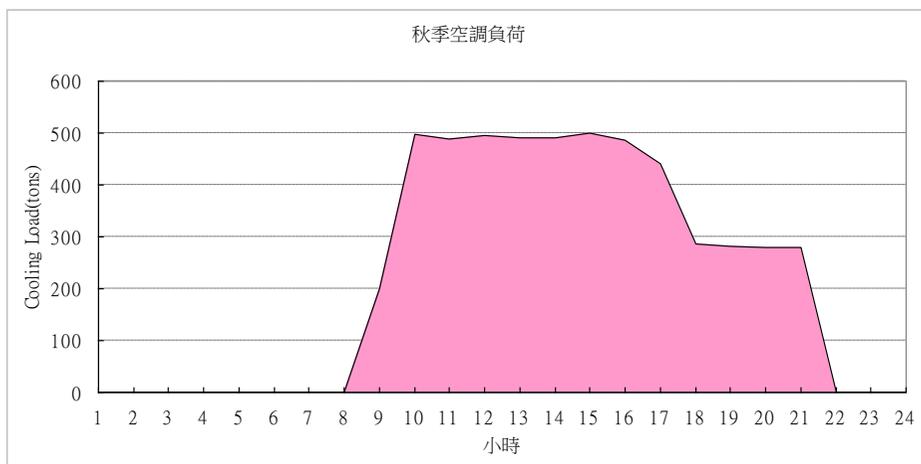


圖 2-9 該大樓於秋季時之空調負荷情形

因此白天主機運轉 1 台 180RT 搭配 1 台 300RT 之空調主機，或是在更炎熱的天氣時，改採 1 台 400RT 之空調主機搭配 180RT 之主機運轉。夜間則運轉 1 台 300RT 或 400RT 之主機即可。

夏季期間：

因該棟建築物為學校類建築，夏季為暑假期間，建築物使用人數大量減少，且中央空調系統只供應至下午 6 點，所以該建築物於夏季之空調主機運轉時數比春、秋兩季少，且最大空調需求噸數也與春、秋兩季接近，如圖 2-10 所示。

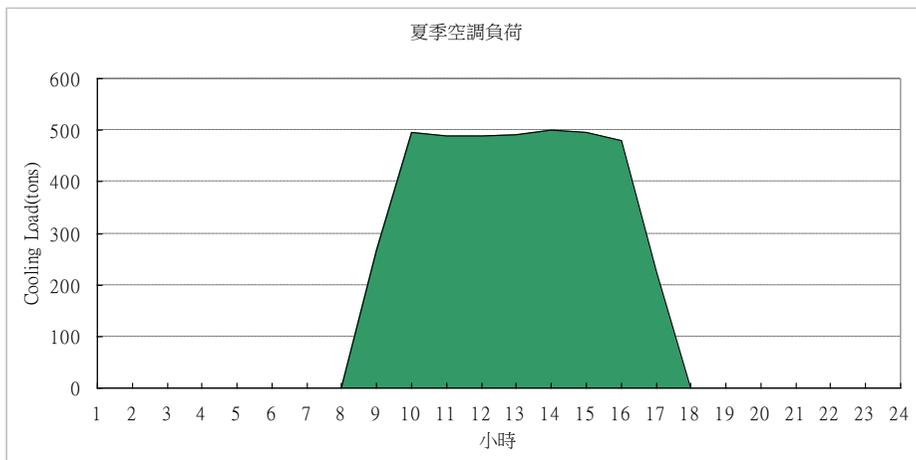


圖 2-10 該大樓於夏季時之空調負荷情形

因此於夏季期間，空調主機運轉 1 台 180RT 搭配 1 台 400RT 或 300RT 之主機，以提供該棟建築物空調需求。

3-4 小結

主機台數最佳化控制約可節省建築物空調 5%~10%之用電，但需依據長期之空調主機運轉資料，才能建立不同季節、不同熱負荷下之運轉策略。而空調主機的型式由往復式(劣的部份負荷特性)，改為離心式(好的部份負荷特性)，省電效果更可提升 3%~5%。此意謂若主機部分負荷特性愈差，愈需要進行台數控制，但是這並不意謂若主機的部份負荷特性曲線為直線(一般為二次曲線)即不須做台數控制，因為空調設備除了主機以外，還有冷卻水塔及水泵，這些設備通常隨著主機運轉而運轉，所以進行空調主機台數控制時，除了可節省主機耗能外，還可帶來其它相關設備的省能效果。

第三章、儲冰空調系統

1 技術原理說明

儲冰空調系統，亦簡稱「熱能儲存」系統(Thermal Energy Storage System，或 TES 系統)。其系統運作原理如下圖 3-1 所示，於夜間時使用便宜的離峰電費驅動空調主機，將冰或冰水儲存於儲冰槽中，等待白天高負載時再將冰水取出供應室內空調。

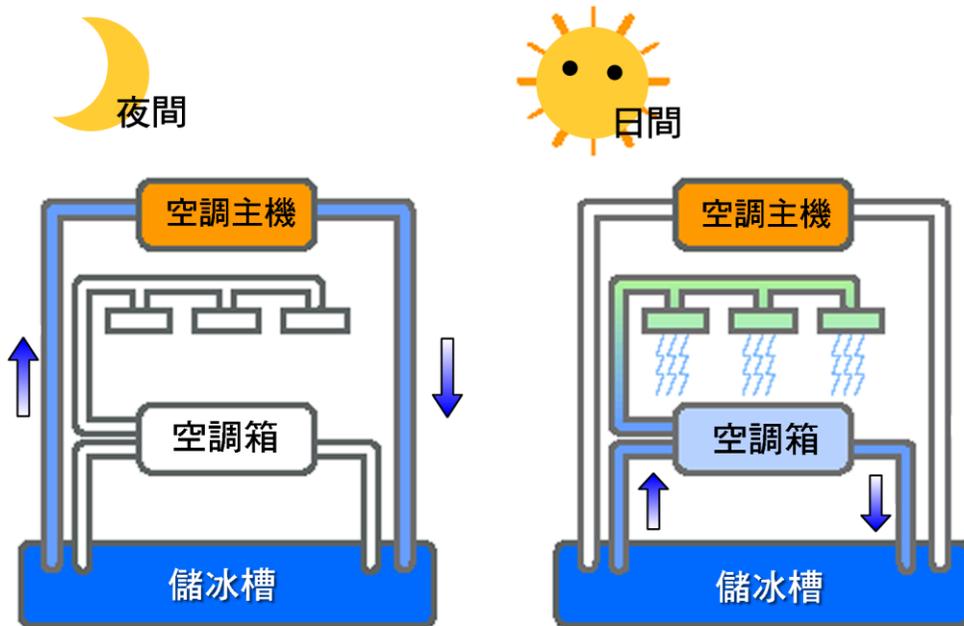


圖 3-1 儲冰空調系統

儲冰空調系統的運轉模式，分成白天與夜間模式，白天為融冰模式，滷水(由 25% 乙稀乙二醇與 75% 的水組成，可降低水的凝固點)不經由主機，直接到達儲冰桶將儲存的冰融解，再將融解的冰水傳送到空調系統，讓我們夏天在室內能感覺到涼爽；於夜間為製冰模式，滷水則不經過負載，改經過冰水主機到達儲冰桶進行儲冰，直到白天再切換為融冰模式進行融冰，其流程圖下圖 3-2 所示。

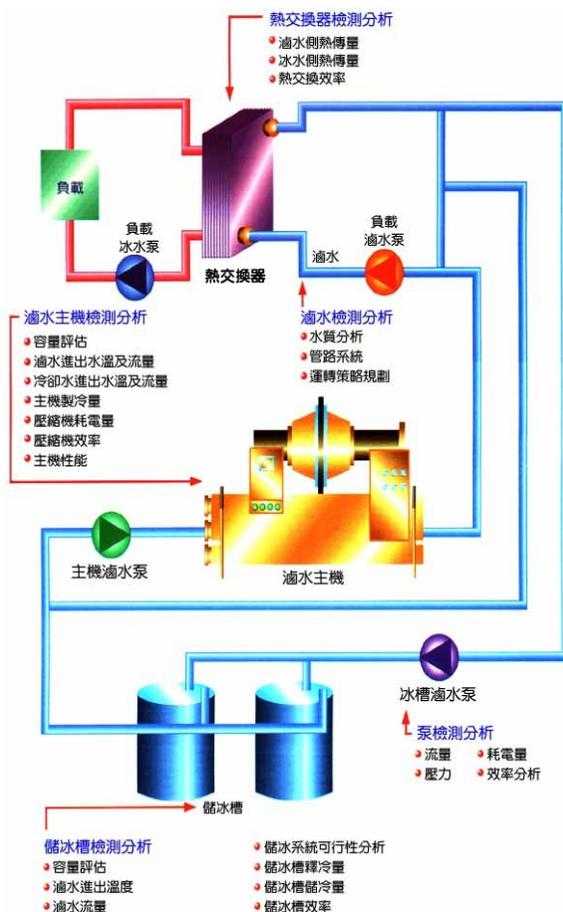


圖 3-2 儲冰空調系統流程圖

(資料來源：<http://www.ctci.org.tw/>)

換言之，就是利用空調主機製冷，而將多餘的冷凍能力儲存起來。那麼，在尖峰時段釋放出來的一種可大量節省運轉電費的空調系統。換句話說，如果利用冷凍主機每天二十四小時連續運轉，而將多餘的冷凍能力使水結冰，儲存起來，那麼，在白天的上班時，只要將這些前晚結的冰融化，作為空調系統的冰水使用，不就可以不必耗電於白天啟動冷凍主機了嗎？這就是儲冰系統最原始的「負荷平移」(Load shifting)觀念。簡單講，白天的電價(尖峰)較貴，吾人即利用夜間較便宜的電價(離峰)來製冰。這是可以想像得出來的一種有利條件，儲能之物質可以是各種會產生「相變化」的化學物質，但以「冰」最為簡便。

再舉個例子，譬如教堂，每個星期只使用一次，亦即星期天早晨四個小時。假設這個教堂可容納 100 個人作禮拜，而此時之空調系統負荷為四十冷凍噸。那麼，傳統之空調主機顯然須設計 40 噸以上方始足夠。結果，除了星期天早上以外，這套設備幾乎都是閒置，或在很低負載下運轉，效率很低。(就好像以時速每小時 10 公里之時速在騎摩托車，機械效率奇低)。總共

所需的製冷能力為 160「噸小時」。反之，以儲冰（儲冷）式空調系統設計的話，則可利用漫長的一個星期，共 168 小時來製冰儲存，即使的保守估計，扣除融冰使用的 4 小時不製冰，也有接近 160 小時左右的時間來運轉製冰。那麼所需要設置的冷凍主機便只需要 1 冷凍噸（1RT）的容量即可！因為，一冷凍噸主機運轉 160 個小時，所產生的製冷能力就是 160「噸小時」。剛好足夠供應需要 40 噸冷氣的教堂使用 4 小時。

由 40 噸冷氣可縮減為 1 噸冷氣主機，是何等誘人的結果？這就是「儲冰空調系統」的另一重要特性：叫「負荷攤平」(Load Leveling)。

上述的「負荷平移」及「負荷攤平」效應，如下圖 3-3 所示，是儲冰空調系統很大的貢獻，用電戶多多利用夜間較便宜的離峰電力，其「負荷平移」的效應便可使得台電的電力負載管理更有效率。

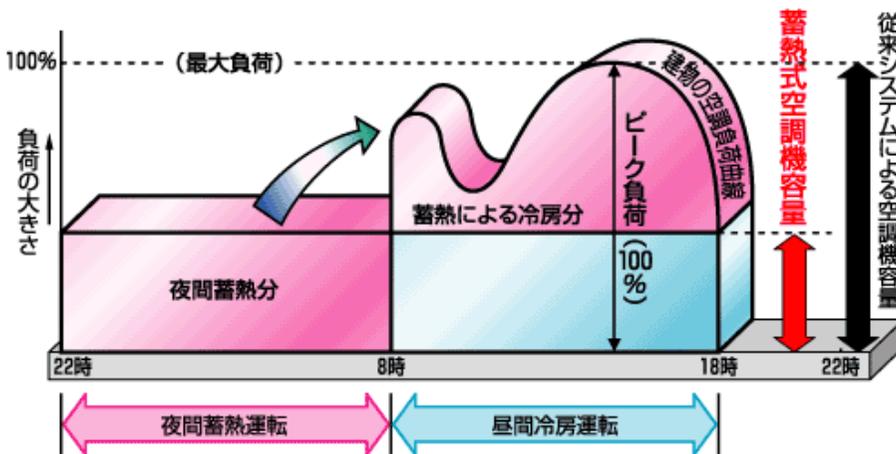


圖 3-3 儲冰之負荷平移示意圖

(資料來源：<http://www.spindle.co.jp/ice/index.html>)

就每日之電力調度而言，台電可說是煞費苦心。因為，每天早晨六時開始，人們逐漸起床，準備上班，因此電燈、電鍋...等等用電開始增加。到八時左右，辦公大樓燈火通明，電腦也打開了，用電又增加。在夏季時，一般在九點開始，大樓冷氣開放了，用電更是劇增，一直到下午二至三時左右外氣溫度最熱時達到最高用電負荷。然後，隨著下午五時下班，冷氣負荷減少甚或關掉，人們又回到家裡做飯，打開電視看八點檔連續劇，又是另一種型態的用電負荷。直到夜十一時，大部分人就寢了(特種營業除外)，電力負荷又減小。因此，一天中的用電情形可說是時刻在變動著，如圖 3-4，其變化情形就叫「負載型態」。

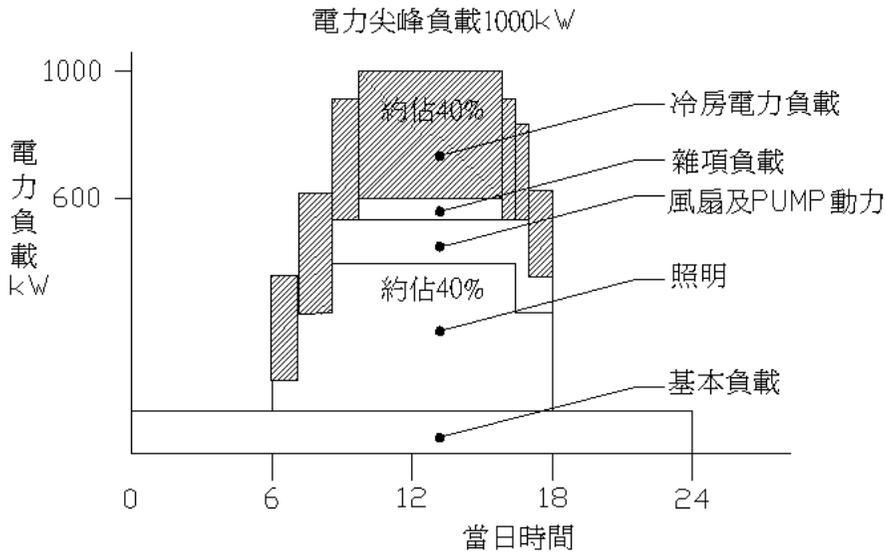


圖 3-4 電力負載型態圖

用電情形如此，那麼台電的輸配電，當然要盡量配合（吻合）這個電力負載型態。否則，送電太多了，剩餘的電只好拿去「餵」明潭水庫的水泵浦，把水打到上池，變成水的位能儲存起來，以後再「伺機」放流下來發電。但如此的能量儲存轉換過程，每一階段都有機械效率損失，因此一一打折扣下去，就「漏失」了不少的能源。

這在數年前，「電動汽車」研究發展之時，本來是另一個很好的蓄電契機。因為，人們可以利用晚上睡眠時把台電的剩電，拿來「餵」電動汽車的蓄電池，如此，隔天一早，人、車皆是精神飽滿，可以上路了。台電則如此一來

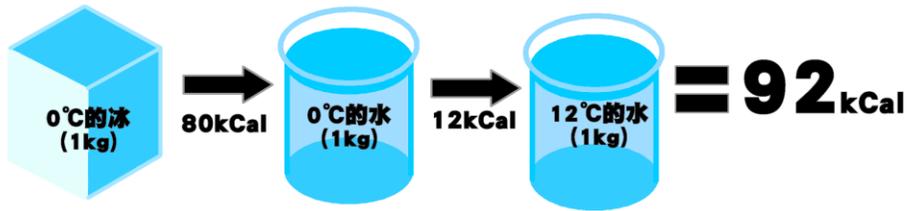
晚上也有很多人用電，因而負載較平均，很容易管理，而不必要隨時：「大林電廠降載 30%，林口降 40%，興達降 30%」的調度，更何況隨著核一、二、三廠的加入，卸載或停機的困擾更多。

為使總發電可應付每年的最熱季節裡，大家把冷氣開到最大的用電負載，目前台電還是必須加蓋電廠。但是，這就好像上述那各教堂的例子，每星期只為了應付那四個小時，卻仍須設置最大容量（四十噸）的冷凍機。而台電為了應付每年七、八月份，大夥冷氣全開的最熱月份，就需投資數百億或千億元去蓋新電廠。

如此，大家應可了解，像上述教堂的例子，冷氣主機由四十噸降為一噸，大家都這麼做的話，台電要應付的全國「尖峰」也許是目前的一半就夠了？蓋新電廠也許就不再那麼急迫？而由於用電戶大量用離峰較便宜的電，因此，台電負載管理也更為有效率。這對國家整體能源架構之幫助非淺。

另外，用電戶方面，主機一下子「縮水」了，當然節省了一筆買主機的費用，但也要多花錢，新購「儲冰(冷)設備」，然後，主機噸數小了，向台電申請的契約容量也小，也是省錢。用夜間離峰電力運轉，電費又省一道。然後，由於是製「冰」，融冰時相變化成水，再吸收室內熱負荷自 0°C至 12°C，可比傳統 5°C之溫差提供更高的冷房能力，如下圖 3-5 所示。因此，冰水量、送風量皆可大減，連帶保溫管徑亦減小，此種系統可節省之運轉費用之相當驚人。

儲冰系統可提供之冷房能力



傳統系統可提供之冷房能力

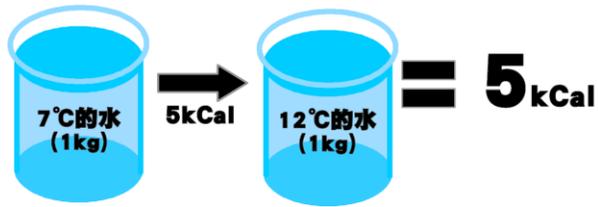


圖 3-5 儲冰系統與傳統系統之提供冷房能力比較示意圖

(資料來源：

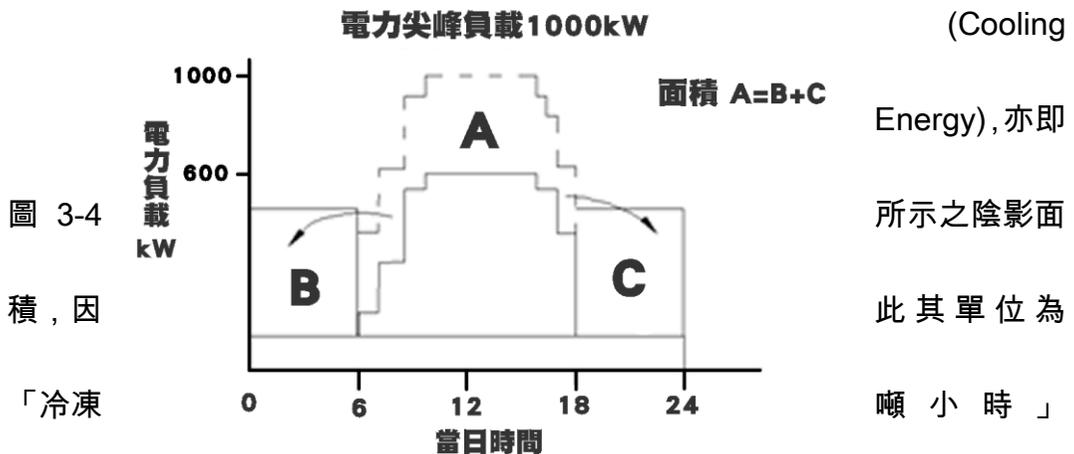
http://www.me.aoyama.ac.jp/~okada/okadaHP/ecoice/What_is_Ecoice.html)

但儲冰系統之設計較複雜，且目前許多儲冰設備皆由國外進口，相當昂貴。我國之冷凍機電製造廠商最近亦已自行開發成功，可略減此缺點之影響程度，並增加了實際引用之便利。如此「截長補短」之比較結果，一般儲冰空調系統，約可於五年左右回收成本，以後則是淨賺的了。在此對台電、用電戶、國家總能源架構皆有利的情形下，經濟部能源局與台電已制訂優惠條件及鼓勵方法，以大力推展此種「儲冰空調系統」，俾對國家總體能源節約有

所助益。

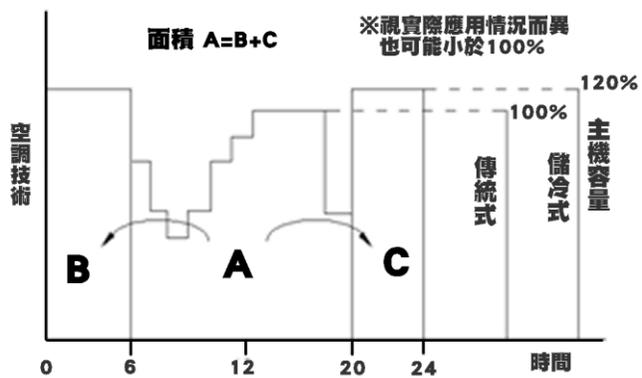
2-1 全量儲冰與分量儲冰

傳統式空調系統設計，係以該地區最嚴酷的氣象條件，做為冷房負荷之計算標準，然後選取主機 (Sizing) 以應付此尖峰負載(Peak Load)。因此，其主要計算結果為尖峰負載的冷凍噸數(Refrigeration Tons)。然而，儲冰空調系統則考量為整個負載型態曲線(Load Pattern Curve)下之總冷凍能量



(Refrigeration Ton-Hours)。如果將此面積所需的總能量「完全」由夜間時段冷凍主機運轉儲冰來提供，而尖峰時段主機不運轉，此即「全量」儲冰(Full Storage)系統，其電力負載示如圖 3-6，而空調負載則示如圖 3-7。

圖 3-6 全量儲冰系統電力負載圖



另一方面而言，若此總能量由全天二十四小時(或以二十二小時)運轉，於夜間時進行儲冰以供應隔日「部分」的冷凍負載能量，白天時主機則正常運轉，亦提供「部分」的冷凍能量，此方式便是「分量」儲冰(Partial Storage)系統，示如圖 3-8。

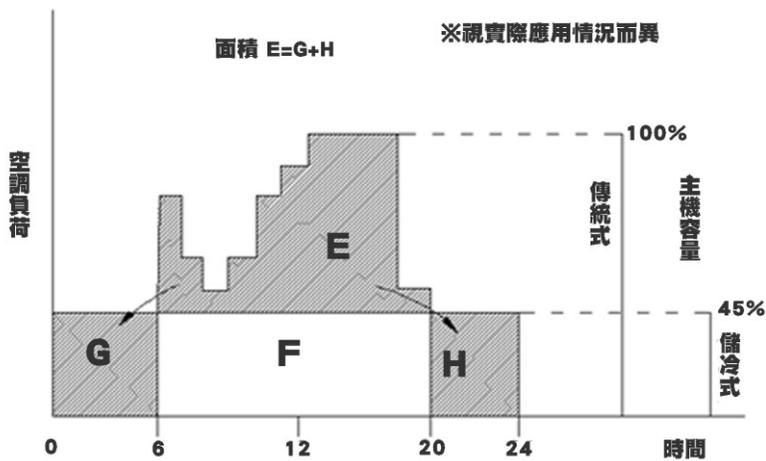


圖 3-8 分量儲冰系統之空調負載圖

顯然，以分量儲冰系統，其主機容量將低於傳統式及全量儲冰者。就有如某項工作原需要一百個「人小時」(Man Hour)的工作量，若預計十小時完成則需派十個人。但若得以一百小時來累積工作量，則只需一個人參加即可。因此，以一般辦公建築而言，需供應的白天十小時冷氣量，今若以二十小時運轉(分量儲冰)則粗略估計主機容量選取約可減小一半，即此道理(注意:以面積估算)。

舉一反三，以全量儲存式則主機容量不一定會小於傳統式者，因二者所運轉時間相差不多。有時甚至全量儲存者會大於原來之傳統式者。那麼，以全量儲存彷彿使用了更大的主機，而得不償失了！但別忘了，全量儲冰式係運轉於大部份或全部離峰時段，傳統式則完全是在尖峰時段。以目前電價結構而言，這又是一比二，也就是一半的節省。當電力公司為應付全國性的尖峰用電而開始力有未逮時，預計此尖離峰之電價比率還會更形拉大距離，已便達到鼓勵用戶多利用離峰電力以平衡負載之效。

簡言之，分量儲冰系統以其高運轉率，使製冷主機及相關配電設施大為減小為特色；全量儲存則以將原系統的運轉時段完全「晝夜顛倒」，而得以用低廉的離峰電價來節省運轉電費。

2-2 儲冰系統注意要項

國內目前已裝設的儲冰槽系統常常出現一些失敗的案例，通常是因為一些儲冰槽系統控制的信賴度不足，或是沒有良好的控制設備與良好的維護人員所致，再加上儲冰設備的高空間投資成本，使得有些業者對之望而卻步，有些則已購置而嫌棄不用，再以傳統方式運轉之，十分可惜。

2

實例介紹

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為台灣南部一國家級海洋生物展示與研究發展單位，該建築物具有商業用途之特性，因鄰近海洋，故氣候屬高濕高溫。而主要分析對象為其中一展示館，設有空調機房與中央監控室，既有空調機房內設備如下：

冰水主機	離心式主機 500USRT × 3
------	-------------------

(Chiller Plants)	白天通常運轉台數：夏日 3 台；非夏日 2 台
	夜間通常運轉台數：1 台
	控制方式：按主機編號依序啟動運轉，每週往後挪一部，依此循環
儲冰系統 (TES System)	採用冰泥式製冰主機，製冰能力 400USRT，為螺旋式壓縮機
	儲冰槽位於空調機房地板下方，使用乙烯乙二醇之滷水作為二次冷媒(Secondary Refrigerants)
	儲冰系統與冰水系統以板式熱交換器進行冷能交換
冰水系統 (Water System)	採用 Primary-Secondary Piping Loop 之一次側、二次側水路設計，各冰水管均保溫良好且有鐵皮保護



圖 3-9 中央空調系統之冰水主機



圖 3-10 空調機房管路壓力計

藉由現場實際走訪與量測後，得知儲冰系統具儲冰槽容量過小、製冰主機製超量設計等問題，即使儲冰槽達製滿水位，且主機並聯運轉的情況下，2 小時左右所儲之冰即告售罄；加上冰泥式製冰方式設有馬達帶動攪拌器，其運轉元件故障率極高，故汰換費用昂貴，故儲冰系統已完全閒置不用。

3-2 改善方法與目的

本案例為一已運轉之系統，如何在既有設備下，不變更其主機、管路系統設計而達到能源效益之改善，為最主要之考量。經整體評估診斷後，系統變更設計如下：

1. 原製冰主機之冰泥式蒸發器改為滷水（乙二醇水溶液）用蒸發器。
2. 原有冰泥儲冰槽內埋設全凍式儲冰排管及不銹鋼配管，並配置相關泵浦設備。
3. 修改既有中央監控系統在儲冰運轉監控設定並進行運轉測試。
4. 設置可獨立運作之三相三線或三相四線式電力監測系統，以進行節能效益之監測、追蹤、印證。

5. 更改後之設計為較普及適用的完全凍結式儲冰系統，除可增加滷水用的內融冰管路及泵浦外，既有的外融冰設備亦加入運轉使用，大大增加釋冰時的彈性選擇空間。



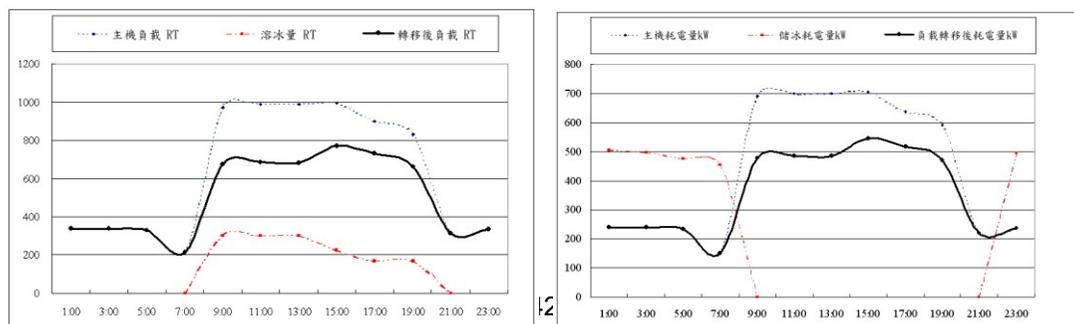
圖 3-11 原有之故障冰泥式蒸發器



圖 3-12 新設之鹵水式蒸發器

3-3 全尺度實驗量測印證

經由全尺度量測與分析得到如下結果，圖 3-13 為夏季某一日之空調負載紀錄，由於採分量儲冰系統設計，因此空調負載由空調主機與儲冰槽釋冷共同負擔。藍色虛線表示原空調系統之負載曲線，其尖峰負載高達 1000RT。紅



色虛線表示儲冰槽之負載曲線，粗色黑線充分顯示出原有系統在加入儲冰系統共同負擔冷房負載，並以智慧型控制策略導入運轉後，將尖峰負載大量轉移並壓低其尖峰值，達到負載平移(Load Shifting)。圖 3-14 顯示出耗電量大量移至夜間離峰時段，而達到負載攤平(Load Leveling)之效果。

圖 3-13 儲冰式空調系統負載平移圖

3-14 儲冰式空調系統負載攤平

3-4 電力負載監控系統

本案例亦裝設電力負載監控系統，監測該建築物一整年儲冰空調系統運轉數據，藉此計算評估獲致之運轉效益，其中包括轉移之尖峰負載用電、節省之流動電費、儲融冰量及比值，可直接證明儲冰空調系統搭配智慧型控制策略後，所能達到節省能源與電費之成效與好處。圖 3-15 為電力負載監控系統之統計資料，經計算估得全年節省之電費，全年節省總電費約為 160 萬元。

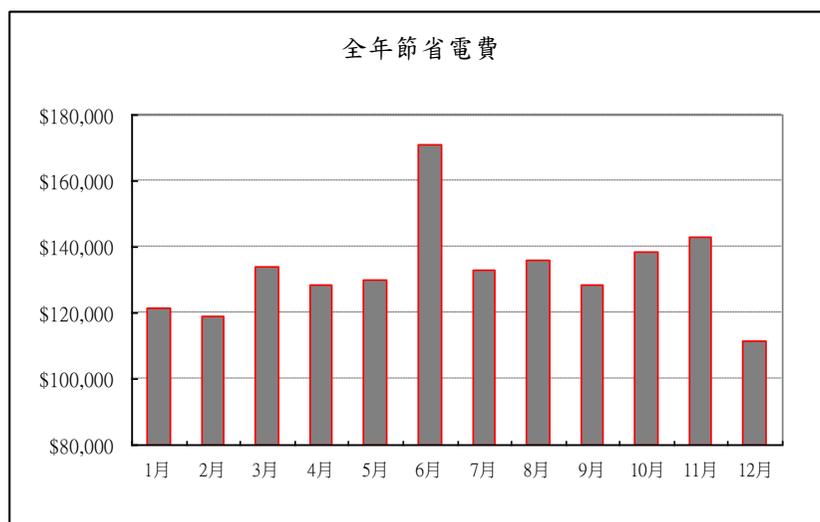


圖 3-15 該建築物全年節省電費

3-5 經濟效益分析

有效率的儲冰空調系統除了能平衡電力尖峰、離峰負載外，對於電力公司所實施的時間電價優惠更可加以充分利用，達到節省電費的目的。然而不管是在初設或改善儲冰系統時均需投資大額費用，以及日後使用過程中增加之維護花費等等，因此在考慮儲冰空調系統之經濟效益分析時，均須考慮「金錢之時間價值」，另外電費價格的上漲亦必須納入考量，如此才能在相同的基礎條件下進行分析。

一般而言，儲冰空調系統使用年限約為 15 年，屬長期性的投資，因此並不適用簡易回收法(Simple Payback)分析。除了設備成本外，其他例如能源通貨膨脹率、貸款利率、市場貼現率、操作維護變動率及折舊率等因素，亦須加以綜合分析，因此以下使用現值分析法推算投資回收年限。

現值=每年所節省的運轉費用×在 n 年內現值的調整因素(PWEF)，其中：

$$PWEF = \frac{[(1+j)/(1+i)]^n - 1}{1 - (1+i)/(1+j)}$$

i = 利息的貼現率; 10 % per year

j = 能源的調整率; 8 % per year

n = 回收年限

以本研究案為例:

$$\frac{[(1 + 0.08)/(1 + 0.1)]^n - 1}{1 - (1 + 0.1)/(1 + 0.08)}$$

\$1150 萬 = \$160 萬 ×

經計算 n = 8.11 year，分析結果如圖 3-16 所示：

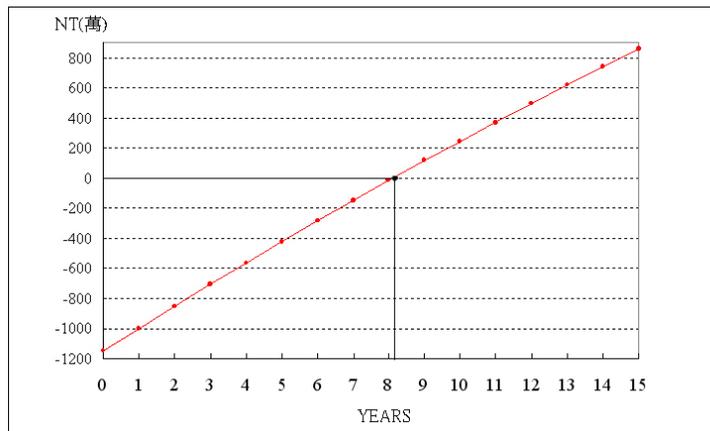


圖 3-16 回收年限分析

第四章、可變冷媒量 VRV 熱源系統

1

技術原理說明



圖 4-2 VRV 系統分區調整室內溫度

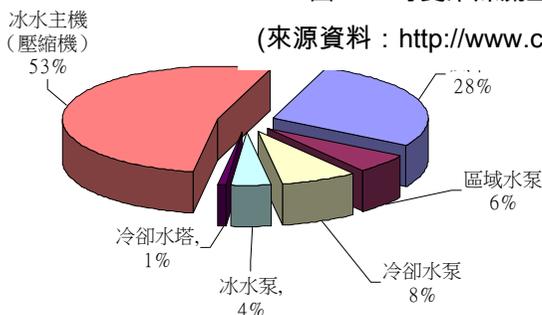
在日常生活中耗能佔首位的空調系統，除了要達成一個舒適、健康的室內空氣環境之外，亦必須兼顧省電與節能之效益，而我們日常所處的舒適性空調，其耗能佔整體建築物逾四成，於夏日尖峰時，

耗能比例達五成者亦佔有相當。在空調之高耗能比例情況下，究竟有無一套空調系統既能達成前述舒適空調的需求，又能符合今日的環保潮流？答案是有的，如下圖 4-1 所示，為可變冷媒量熱源系統（以下簡稱 VRV），可因應室內熱負荷變動來改變冷媒流量，形成獨特的「主機側」之空調節能技術，並可依各區域的用途性質分別選用合適的室內機種，如圖 4-2 所示，輕易的達成分區空調之目的。



圖 4-1 可變冷媒流量(VRV)空調方式

(來源資料：<http://www.conwellcooling.co.uk>)



據國內相關的調查研究顯

示，在一般典型的商業辦公大

樓，其全年空調負荷介於 50~70%之間所佔

的比重最高，如右圖 4-3 所示。也

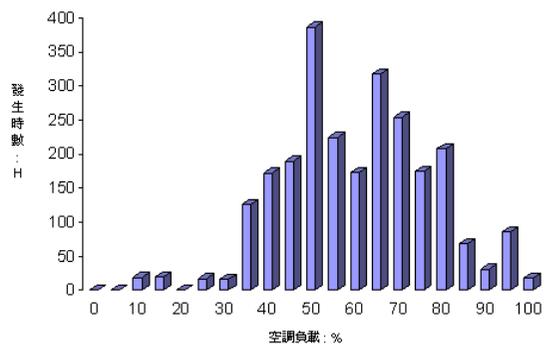
就是空調系統幾乎都處於部份負載

之情況下運轉，由此看來主機容量

調節技術就成為空調系統節能成效

之重要關鍵。

圖 4-3 空調負載值之發生時數



再由耗能比例的角度來看，一個空調系統中，包含冰水主機、泵浦、冷卻水塔及風車等設備，如圖 4-4 所示，而冰水主機之用電至少佔 50%以上。

如果將變頻技術應用於壓縮機上，則可得到相當節能成效，而這樣的系統，即是所謂的 VRV 系統，原文為「Variable Refrigerant Volume」，意即可變冷媒流量空調系統，套一句較為接近民生大眾的說法，就是「採用變頻技術，可區域型操控的大型分離式中央空調系統」。其運作的特性就是“用多少冷氣才耗多少電”，不會有過量或浪費的情形發生，當然也就不會多耗用電能，同時可減少為了發電而產生的 CO₂ 排放，對現今炙手無解的溫室效應也有正向的貢獻。

這樣的系統以「大型分離式」視之，就代表是直接輸送冷媒至各室內以進行熱交換供冷，並採氣冷散熱的運作方式，這裡又點出另一環保上的重點，就是 VRV 系統不耗用任何水資源。單就這一點對目前名列全球第 18 缺水國的台灣而言，就值得大力加以推廣此種 VRV 系統。

VRV 空調系統，是採用變頻式壓縮機，藉由頻率的改變，來控制壓縮機內馬達的轉速，當室內環境溫度改變時，控制系統將視負荷大小輸出不同的頻率。當冷氣開始運轉時，壓縮機會先以較高轉速運轉，使室內溫度急速下降；一旦達到設定溫度點，壓縮機則改以低頻率、低轉速之方式運轉，如下圖 4-5 所示，使室內溫度維持恆溫狀態，不但可節省電力，同時保持人體舒適的感覺。

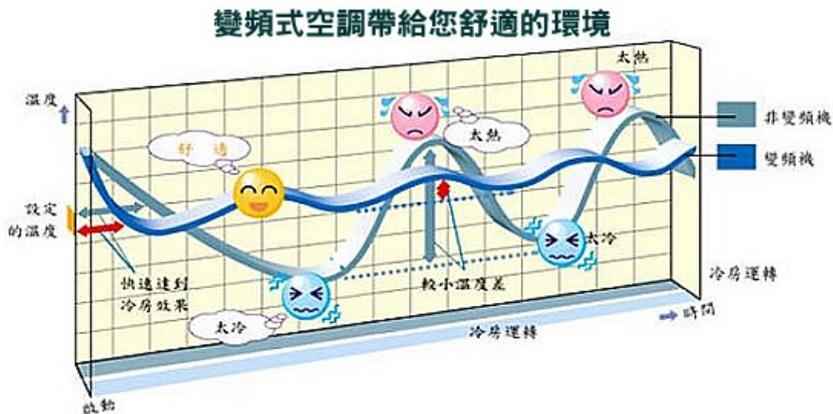


圖 4-5 透過精確之運轉功率調整可使室內溫度保持恆定

圖 4-6 為 VRV 系統與中央空調系統在部分負荷時之比較圖，圖中紅色標記為正運轉中之設備或管路；而綠色斜線部分為具空調需求之區域。由圖可知中央空調系統開啟了主機、冷卻水塔、泵浦等設備，只為了因應部分空間之空調需求；反觀 VRV 系統，可針對部分負載之情況，開啟所對容量之壓縮機設備。相較之下 VRV 系統應用於於具變動的空調負載需求之建築物內，可提供足夠之冷房能力同時彈性地調整空調設備容量。

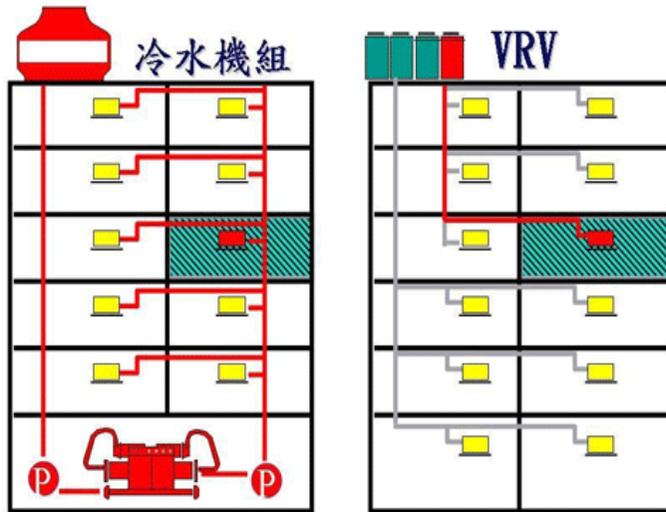


圖 4-6 傳統中央空調與 VRV 系統之部分負荷比較示意圖

(來源資料：http://www.airconditioner.com.tw/product/daikin_17.htm)

2-1 技術優點

1. 靈活性設計：利用變頻技術，獨立控制各室內空間
2. 低運轉成本：變頻調整室外機總空調負荷量，避免不必要之能源消耗
3. 無需備用設備：各機組均獨立，單一機組故障不會影響整個系統之運轉
4. 有效利用空間：無機房之設計，故可騰出空間作為其他用途
5. 安裝時間短：安裝容易，以大樓而言，能逐層進行安裝及使用

2-2 VRV 空調系統形式

VRV 系統發展至今，其系統型式已是多種多樣，為適應各氣候地域、建築以及多區控制的不同需求，VRV 系統又出現了以下型式：特大容量的 VRV 系統（單台室外機容量 20HP）、冷暖可同時供應的 VRV 系統、儲冰式 VRV 系統、末端設變量裝置的 VRV 系統、水熱源 VRV 系統等。以下提出現今一些 VRV 系統的概況。

2-2-1 可同時供冷與供暖，可供用戶任選之的三通路 VRV 系統

室外機與室內機聯接的冷媒管有：排氣管、液管、吸氣管，室外機內裝有熱交換器和變頻壓縮機，其控制器可根據各室內發出的信號自動切換供冷或供熱模式。供冷時，切換冷媒管成吸氣管及液管，冷媒於室內機排管吸收室內熱量同時起蒸發器作用，向房間內散發冷氣；供暖時，冷媒管切換成排氣管和液管，高壓高熱之氣態冷媒在室內機排管散發熱量，同時吸收室內冷空氣冷凝成液體。

室外機可在室外度為 $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的範圍內正常進行製冷循環（室內乾球溫度 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ），在室外溫度 $-10^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ 範圍內能正常進行製熱循環（室內乾球溫度 $16 \sim 27^{\circ}\text{C}$ ）。若在同時供冷與供暖的情況下，室外機內的熱交換

器可不工作，直接在系統內進行熱回收，進而節省冷熱抵消的能量。所以比各區分開設置的空氣熱源熱泵和四管風機盤管系統，全年可節省約 40% 的用電量。

2-2-2 水源式 VRV 系統

顧名思義，這種系統是以水為熱媒進行工作的，水源機組內設變頻式壓縮機和熱交換器，熱交換器一側為冷媒，一側為水。冷媒管則連接多台室內機，水側則連接冷卻水塔或鍋爐及各三通切換閥、循環水泵等。水源機組容量一般為 8HP、10HP，可在室內落地安裝。同一般水源熱泵系統一樣，當不同的水源機組同時進行冷房、暖房循環時，可利用共用的水系統避免冷熱損失，進行熱回收。

2-2-3 儲冰式 VRV 系統

這種系統是在室外機和室內機之間增設一台儲冰槽（通常為玻璃鋼材料），利用低溫冷媒與水進行熱交換來製冰並加以儲存，這時便可利用夜間離

峰時段之低電價製冰，白天則融冰以提供空調需求，以降低尖峰時段用電，達到轉移尖峰負載之目的。

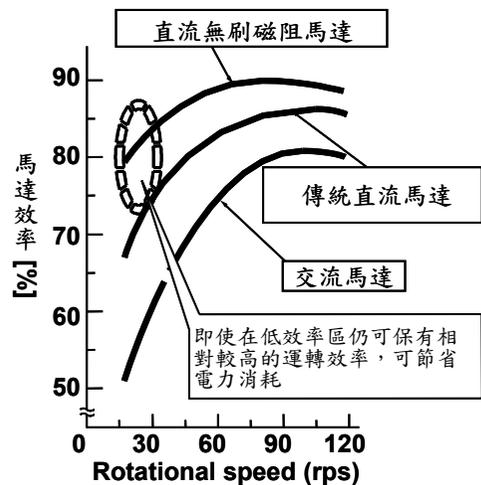
2-3 全直流變頻技術介紹

以往的所謂的「變頻控制」，主要是改變三相交流感應器馬達的交流電源之電壓與頻率，以控制不同轉速下之定扭力，也就說當壓縮機馬達為感應式馬達時，變頻器就可改變運轉頻率，來控制壓縮機的轉速。為了對應定轉負載，當頻率改變後，加諸在馬達電壓也要隨之改變，這就是 V/F 比值一定的控制。

為了讓壓縮機的馬達能達到高效率、低噪音、低振動的運轉，就必須限定近似正弦波的電流流過壓縮機，故高載波頻率的調變也就成為不可缺少的條件，但是載波越高也就會使壓縮的漏電電流增加，及電力驅動元件的切換損失增加等問題，目前大都使用在 3~4kHz 的範圍下。

由於電力電子技術的突飛猛進，加上磁石來源充裕、磁石之製程技術與具永久磁石馬達之轉子的組裝技術成熟，故日本地區的變頻空調系統，逐漸由更省能的直流（簡稱為 DC）變頻控制系統所取代，而且更將全面邁進所謂的「全直流」之變頻控制的空調系統技術。

所謂直流變頻，意指壓縮機原使用之交流感應馬達，改為使用直流無刷馬達 (DC Brushless Motor)，在這裡所謂的直流無刷馬達，其實為永磁式的三相永磁式同步馬達，其馬達定子仍為矽鋼片體進行三相繞線，與原先的三相交流感應馬達之定子結構相似；而其馬達轉子，則為具有永久磁石的矽鋼片體，因為與直流馬達一樣具有永久磁石，但又不像直流馬達具有碳刷來控制驅動運轉，因此稱為「直流無刷」，其實為交流三相感應馬達的變化而已。



由於馬達轉子已具有磁極，故驅動方式與交流感應有所不同，其控制需先解讀轉子磁極的位置，方能施予供應電流的方向而驅動。因此，壓縮機的驅動控制架構便有所不同了，如圖 4-7 顯示各式馬達轉速與效率之比較，一般交流變頻的空調系統可比定頻的空調系統，節約 20%之用電，而直流變頻空調系統又比交流變頻的空調系統，節能達 10%以上。

圖 4-7 各式馬達轉速與效率之比較

2-4 VRV 運轉於部分負載時之效能

空調系統是否節能運轉，其部分負荷的效率值(COP)是相當重要的因素，而 VRV 系統之特性在於部分負荷時的效率較滿載時高，當部分負荷在 40% ~ 60%之間時，其 COP 可達 4 左右。以下之圖表為不同外氣溫度下，負載率與 COP 之間的變化情形。

表 4-1 VRV 系統於不同條件下之 COP 之變化

負載率%	不同外氣溫度下之 COP			
	25°C	29°C	33°C	35°C
20	2.52	2.18	1.96	1.79
30	2.85	2.47	2.22	2.09
40	3.45	3.09	2.59	2.53
50	4.12	3.77	3.20	2.88
60	4.25	3.80	3.33	2.90
70	4.15	3.58	3.23	2.80
80	3.52	3.09	2.75	2.58
90	3.19	2.77	2.48	2.16

100	3.01	2.70	2.22	2.00
-----	------	------	------	------

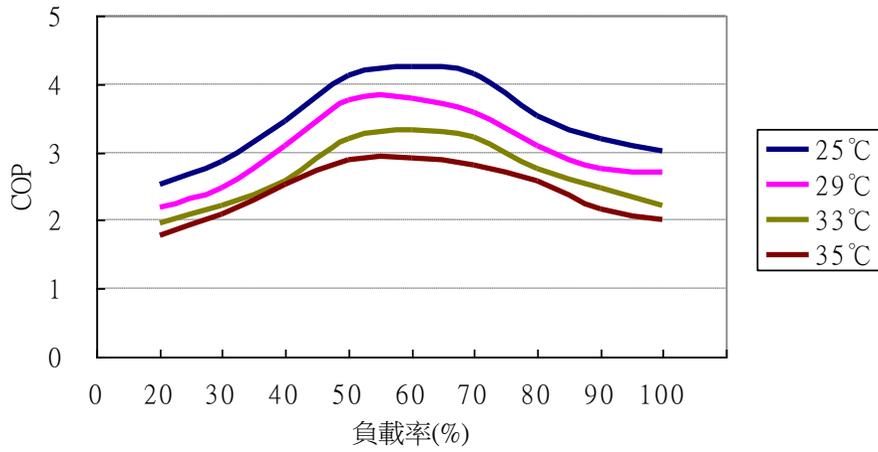


圖 4-8 在不同外氣溫度下負載率與 COP 之變化曲線圖

2-5 空調節能技術評估

一個空調系統中，主供冷設備即壓縮機之，其耗能至少佔一半以上，亦即若將變頻技術應用於壓縮機上，將展現相當傑出的節能效益，這也反映在綠建築之「日常節能指標」EAC 中熱源系統節能係數 α_4 ，具次高之減量值 0.2；其實以 VRV 系統的運轉特性「需求多少，就供應多少」來看，在全年多為部份負荷的情況下，該系統可運轉於高效率之狀態，的確具有優良之節能減碳能力，尤其在台灣這種火力發電高達七成的發電結構下，變頻式空調實在值得大力推廣。

2-6 VRV 系統之特點

線型 VRV 系統

VRV 系統利用變頻器控制壓縮機容量，透過 2 台壓力傳感器，每 20 秒鐘檢測一次壓力值，並由微電腦控制兩台壓縮機（普通電源

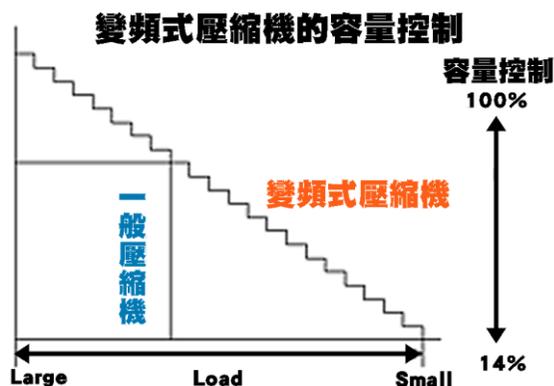
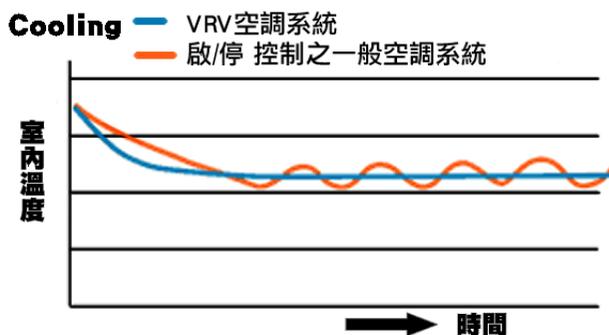


圖 4-9 壓縮機的容量控制示意圖

壓縮機 + 變頻控制壓縮機) 進行 21 級的容量控制 (由 30Hz 到 116Hz) , 使運行更加線型。如圖 4-9 所示。

精準的溫度控制

VRV 與一般空調系統溫度控制之精確度比較，如圖 4-10 可看出，一般空調系統控制溫度



起伏較大且不平穩，而 VRV 則可提供較平穩的溫度控制。

圖 4-10 VRV 系統溫度控制之變化情形

拉長冷媒配管

VRV 系統與傳統系統之最大不同處，在於 VRV 系統可以將冷媒管路拉長到達 150 公尺處，且允許 50 公尺之高度位差，而傳統系統冷媒配管長度最多只到 50 公尺，如圖 4-11。如此一來，VRV 室外主機可彈性地選擇安裝位置，如裝置於屋頂或各樓陽台。

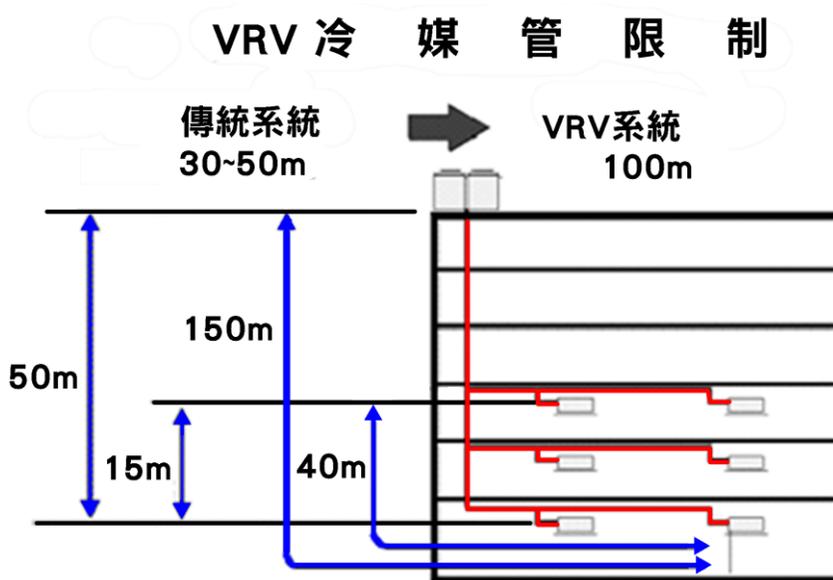


圖 4-11 VRV 系統和傳統系統冷媒配管長度之比較

2

實例介紹

3-1 案例背景與系統介紹

本案例以 VRV 系統搭配一組儲冰槽，供應此區白天之空調及夜間之儲冰運轉，系統之運轉時間白天為 8:00AM~11:00PM 為空調模式，夜間為儲冰運轉模式，時段為 11:00PM~7:00AM，系統總運轉時數最高每日約為 23 小時。

室外機及儲冰槽放置於陽台上，經冷媒管路將冷媒輸送至各室內機組中，以提供各區域之空調需求，儲冰槽設備規格及實際冷媒管路之分佈情況

如下之圖表所示。室內空調使用情況會依室內機設定溫度、使用時數、室內負載情況而略有不同；室外機則易受天候狀況，影響運轉效率。

表 4-2 VRV 儲冰槽之詳細規格

型號	TSSJ355K
成品重量	320kg
運轉重量	1540kg
充填水量	1.22 m ³
最大蓄熱容量	345 MJ



圖 4-12 儲冰槽內冷媒管路分佈情況

表 4-3 VRV 儲冰空調系統之設備規格表

系統序號	面積m ² (坪)	型號	容量 kcal/hr	集中控制編號
1	13.02(3.945)	壁掛型FXYA32	3,150	1-09(NO.10)
2	10.95(3.32)	壁掛型FXYA25	2,500	1-07(NO.8)
3	9.9(3)	壁掛型FXYA25	2,500	1-08(NO.9)
4	126.36(38.29)	風管型FXYS63	6,300	1-00(NO.1)
5	13.87(4.2)	壁掛型FXYA25	2,500	1-02(NO.3)
6	-----	TSSJ355KB	N/A	
7	84.24(25.53)	天吊型FXYP63	6,300	1-05(NO.6)
8	同515-A	天吊型FXYP63	6,300	1-01(NO.2)
9	13.87(4.2)	壁掛型FXYA25	2,500	1-03(NO.4)
10	13.87(4.2)	壁掛型FXYA25	2,500	1-04(NO.5)
11	同516-A	壁掛型FXYA32	3,150	1-06(NO.7)

3-2 實測數據分析

空調時段外氣溫度變化對 COP 之影響

經實際量測 VRV 系統之效率(COP)與外氣溫度後，製成如下之曲線圖，由圖可知，外氣溫度可達近 10 度之溫差，但 VRV 之 COP 仍可維持在 4.5 ~5 之間，當外氣溫度較低時，COP 還略有提升。顯示該 VRV 系統於部分負載或滿載時，皆能保持不錯之運轉效率。

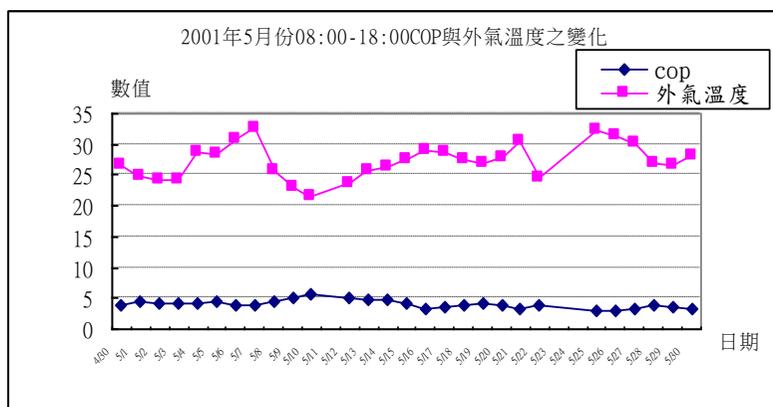


圖 4-13 外氣溫度變化對 COP 之影響

空調時段開機之容量對 COP 之影響

下圖為空調時段開機之容量對 COP 之影響曲線，開機容量在高低起伏變化相當大的情況下，該 VRV 系統仍可維持在高之 COP 運轉。

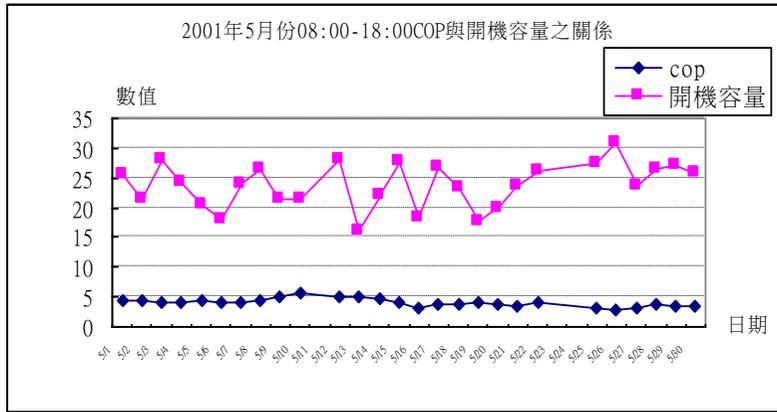


圖 4-14 開機容量對 COP 之影響

儲冰時段外氣溫度變化對 COP 之影響

由於儲冰時段之情況較空調模式時單純，不會有開機台數及總容量之問題，但儲冰模式時由於蒸發溫度較低將造成系統之效率(COP)略微下降，從圖 4-15 為外氣與 COP 變化之關係，其趨勢大致與性能資料相同。

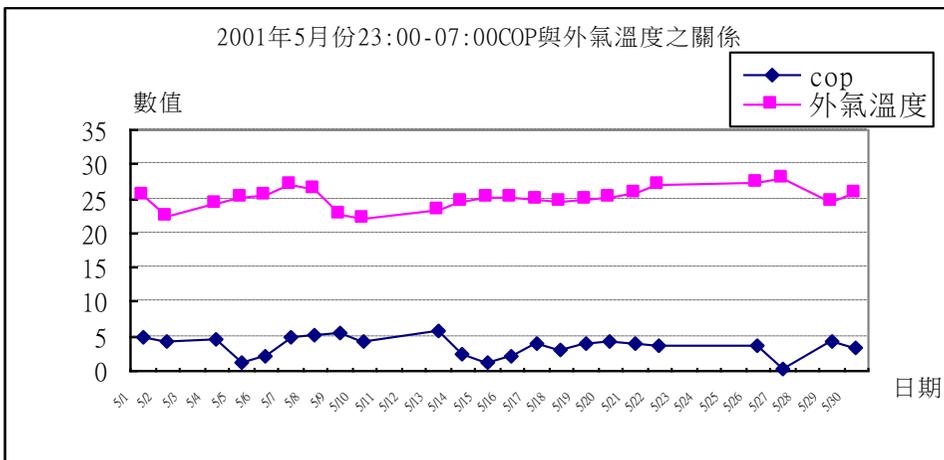


圖 4-15 儲冰時段時外氣對 COP 之影響

3-3 小結

VRV 以無水運作之方式取代了傳統水冷式之空調方式，發展成一種組合與安裝上皆具彈性，並可節約能源之空調系統，其電力消耗量約是空氣的 1/3，水的 1/2。在綠建築評估體系下，因 VRV 系統不需冰水泵之設置，故除了冷媒變頻對主機效率具有優惠之外，於搬運系統之節能亦有助益。另 VRV 系統於部分負載時之運轉效率高之特性，使省能效益可達 30% ~ 40%，值得大力推廣與應用。

第五章、CO₂ 濃度外氣量控制系統

1

技術原理說明

在空調系統中引進新鮮外氣主要是為了維持室內健康的空氣品質，由表 5-1 可知，室內 CO₂ 濃度高低對於室內人員之影響。一般健康的空調室中的 CO₂ 濃度以不超過 1000ppm 為基準，以此條件所設計出的外氣量每人需要約 36m³/hr 外氣量，再以此值乘上大樓的總人數，作為空調系統的總外氣供應量，但是大樓內的人員會隨時間而變動，一但人多出設計量時，空調換氣便有不足之疑慮；若在非人員尖峰時間時以最大換氣量供應空調，將引入過多的外氣量造成不必要之能源浪費。

有鑑於此，CO₂ 濃度外氣量控制系統便是為了降低不必要的外氣量，所作的能源管理，利用室內 CO₂ 濃度指標來自動控制外氣引入量，並以室內回風口作為 CO₂ 濃度的量測點。

表 5-1 二氧化碳濃度與病態症候之關係表

CO ₂ 濃度	症候
--------------------	----

低於 600ppm	無	
600ppm~1000ppm	偶爾抱怨頭痛、 昏睡、悶熱	
高於 1000ppm	以上之抱怨頻繁	

美國 ASHRAE Standard 62(1989)亦是以 1000ppm 為最低標準，況且在國外的調查中發現當室內 CO₂ 濃度在 600ppm 以下時人會覺得空氣品質良好，在 800ppm 時會有一部份的人覺得不舒適感。所以若將 CO₂ 濃度控制設定在 600~800ppm 間，高於 800ppm 則將外氣量提昇，低於 600ppm 時則將外氣量減低至建議標準值，若室內 CO₂ 濃度更低時，可再將外氣引入量降低，如此便可在不犧牲室內空氣品質的情況下，達到空調節能的目的是。

在大部分的建築物中，確認空調需求容量以控制室內溫度，是設計通風系統的第一項重要步驟。在完成設計後，再利用建築物的即時量測系統，控制各設備之運轉參數，來最佳化室內舒適度與能源使用量。但今日大部分之建築物，其引入之外氣量一直保持為固定值或最大值，很少針對外氣通風量作運轉控制。

利用 CO₂ 感測器作通風控制，可補足實際運轉時所缺少之條件變化，達到室內環境品質需求。藉由逐時量測室內 CO₂ 濃度值並繪出趨勢圖，便可輕易顯示是否有足夠之通風換氣量，並評估通風系統的性能，如果濃度有顯著的改變量，建築物業主便可進一步調查原因（例如人員數的變化或故障之設備）。以下 2 點為 CO₂ 濃度外氣量控制之特點：

1. 通風是隨著室內空間的使用與需求有所調整，非設計時的假設值。
2. 室內人員數量改變時，系統會依室內 CO₂ 濃度自動調整外氣量，如果外氣需求超過設計容量時，建築物監控系統會自動發出警示。

2-1 CO₂ 濃度外氣量控制之技術應用

新鮮外氣應供給所有人員可能進出的區域，以避免室內 CO₂ 濃度或其他污染源直接影響人員健康。利用 CO₂ 濃度外氣量控制可最佳化通風設計，在不影響室內環境舒適品質之原則下，針對室內實際需求，彈性調整



圖 5-1 CO₂ 濃度控制示意圖

外氣量引入量，以維持室內空氣品質同時避免能源浪費。如右圖所示為日本

CO₂ 濃度外氣量管理策略，經調整過後，九月份之能源消耗量可減少約 8%。

外氣量通風控制需考慮室內與室外之 CO₂ 濃度的差值，與室內的換氣量需求，在大部分的都市區域，外氣 CO₂ 濃度大多假設為 400ppm，然而，如

果外氣一整天的變化量超過 100ppm，就必須安裝外氣 CO₂ 感測器。個人換氣率決定控制策略的調節範圍，例如，一個人的換氣率為 20 CFM 時，調節範圍為 500 ~ 1100ppm；若換氣率為 15CFM 時，調節範圍則為 500 ~ 900ppm。

CO₂ 濃度感測器用以量測每個主要人員區域的 CO₂ 濃度，感測器放置的區域與溫度調節器(thermostat)相同，但須注意的是其擺設位置不能直接受到人員呼吸所影響(例如咖啡機附近站立平面的位置)。在大型開放空間中，感測器必須控制風量分配裝置，這是因為 CO₂ 就像一般氣體一樣，會快速的擴散並在空間中達到平衡，所以通風控制策略必須隨 CO₂ 濃度上升調整通風量，而不是等到 CO₂ 濃度高於某個設定值才進行調整。

其他通風控制策略，例如提供人員未到時先淨化空間，使得人員進入建築物之初就可享有新鮮空氣的環境。大部分 HVAC 系統使用之標準比例或比例積分控制方法，也可應用在通風控制上，軟體程式也配合一些製造廠商允許模擬控制策略來確認每個人的實際通風量，並對設定人員與人員數改變時提供合理的延遲時間。

2-2 CO₂ 濃度感測器

CO₂ 感測器分別置於各主要之作業區域，每個感測器將輸出信號至轉換器中，轉換器會決定哪個 CO₂ 感測器提供最高的濃度值，並傳遞訊號到外氣風門致動開關，如圖 5-2 所示。外氣風門則以空間內 CO₂ 濃度為基準，線性調整風門開口大小來達到換氣需求。

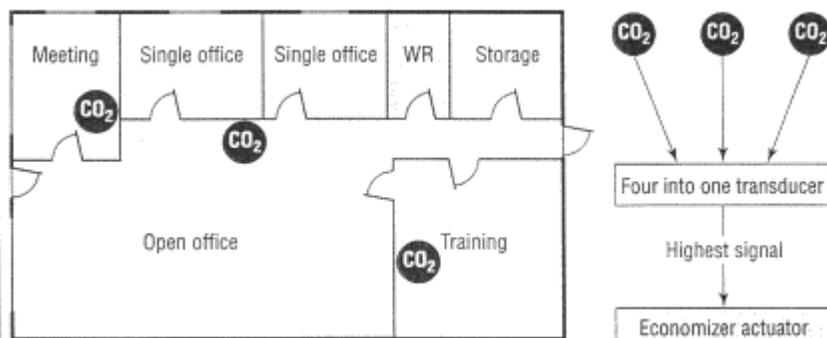


圖 5-2 利用 CO₂ 感測器作各區域之外氣量控制

應用於新建築的區域通風系統，現在許多控制製造廠商將 CO₂ 通風控制方法直接整合入可變風量控制系統，而且增加區域性 CO₂ 控制並不會增加複雜度，如圖 5-3 所示。許多製造廠商為了降低成本，將溫度與 CO₂ 感測器一起整合入 DDC 控制系統，透過控制系統的電腦介面，便可設定每個人所需之基本外氣量與目標外氣量。

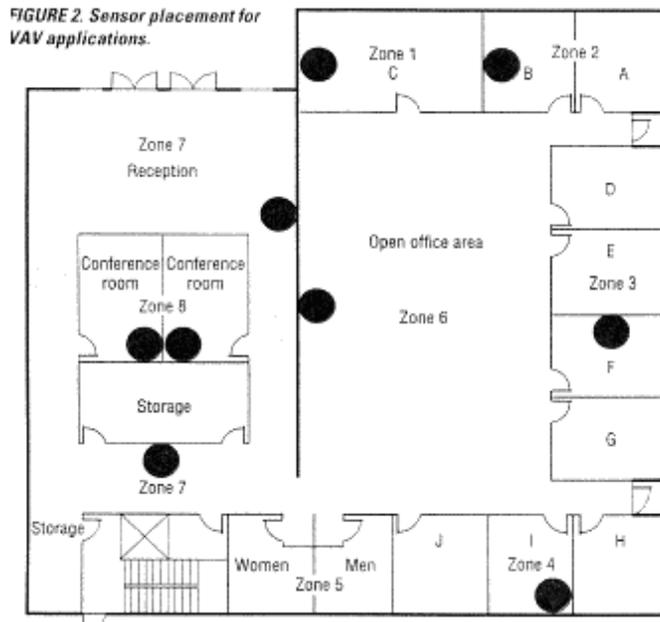


圖 5-3 可變風量系統中 CO₂ 濃度感測器的擺設位置

實例介紹

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為某學校工學院演講廳，使用頻率約一星期 1~2 次，為可容納約 500 人之展覽空間。於室內空調設備部份，採用可變風量系統(VAV System)，並配合各空調箱區間內之溫度控制設備，設置室內 CO₂ 與外氣焓值感測器，同時連線至中央監控系統，可監視 CO₂ 濃度，若達設定值時便自動調整各空調箱外氣換氣率。

空調系統為了確保健康的空調環境，必須將部份回風排出室外並引進新鮮外氣，但為了節約處理外氣之能源，故本案例將外氣量控制設定為：「當 CO₂ 濃度高於 800ppm 時，則外氣風門逐漸打開至全開，當 CO₂ 降至 700ppm 以下時風門關閉」，如下圖 5-4 為監控系統中，室內 CO₂ 濃度與外氣風門開度變化圖。

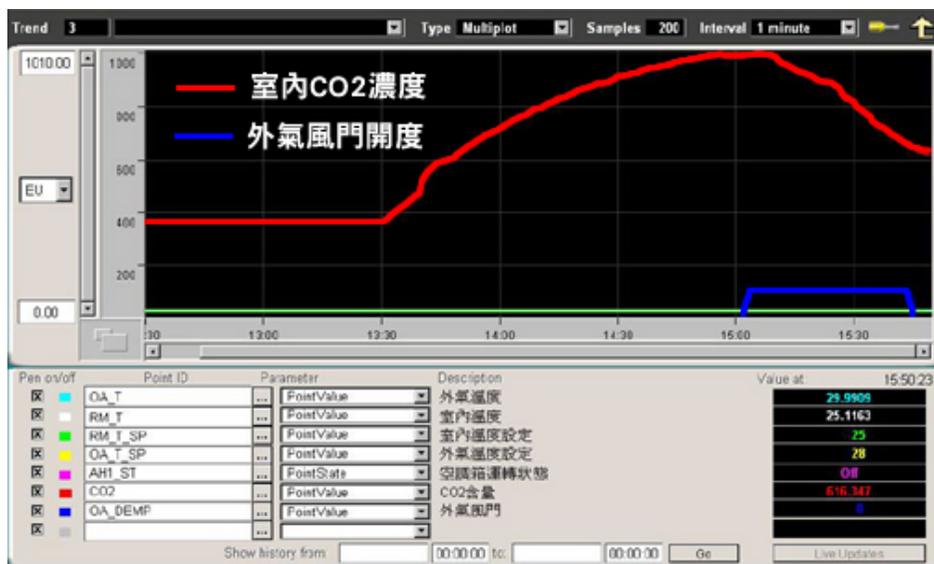


圖 5-4 室內 CO₂ 濃度與外氣風門開度監控圖

3-2 CO₂ 濃度控制外氣量之測試結果

測試結果如下表 5-2 及圖 5-5 所示，其流程如下：

1. 14：30 前禮堂無人，室內 CO₂ 濃度 367.5 ppm
2. 14：30 後開始進場，人數共計約 450 人
3. 此時外氣風門為關閉狀態，僅開冷氣循環，CO₂ 濃度逐漸上升
4. 14：54 CO₂ 濃度超過設定值 800ppm，外氣風門逐漸打開至全開
5. 15：06 CO₂ 濃度達最大值 1005.2ppm，但上升趨勢已逐漸變慢

6. 15 : 48 CO₂濃度降至 636.3ppm , 此時外氣風門也逐漸關閉

表 5-2 CO₂ 濃度控制外氣量之測試結果

時間	外氣濕度 %	外氣溫度 °C	二氧化碳 ppm	外氣風 門開度%	室溫°C	外氣焓 KJ/Kg	外氣風量 CMH
14:00	74.3	30	362.5	0	25.9	81.1	0
14:06	75.1	30	369.5	0	25.9	81.4	0
14:12	74.7	30	367.5	0	25.9	81.7	0
14:18	73.9	30	358.5	0	25.8	81.2	0
14:24	73.7	30	362.5	0	25.8	81.6	0
14:30	73.2	30	367.5	0	24.6	81.0	0
14:36	73.6	30	481.1	0	24.7	81.3	0
14:42	73.6	30	623.7	0	25.2	81.2	0
14:48	73.8	30	789.4	0	25.5	81.4	0
14:54	73.4	30	876.8	0	25.5	81.2	0
15:00	73.8	30	993.8	33.3	25.5	81.5	3725.7
15:06	73.9	30	1005.2	66.7	25.4	81.5	7412.6
15:12	73.5	30	982.9	100	25.5	81.1	11275.3
15:18	73.5	30	934.6	100	25.5	80.7	11290.5
15:24	73.3	30	899.7	100	25.4	80.7	11278.3
15:30	72.5	30	853.3	100	25.3	80.5	11301.2
15:36	71.7	30	769.5	100	25	79.7	11296.6
15:42	71.9	30	690.7	100	24.8	80.0	11314.2
15:48	72.2	30	636.3	33.3	24.7	80.4	7506.7
15:54	71.4	30	616.3	0	25.3	79.7	3707.4
16:00	71.7	30	634.3	0	25.8	79.7	0

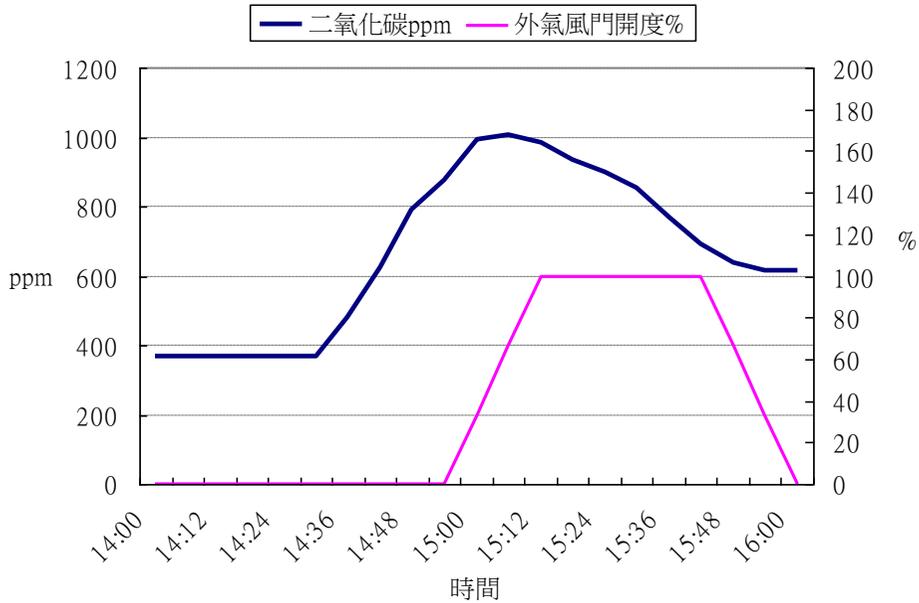


圖 5-5 CO₂ 濃度控制外氣量之測試結果

3-2 CO₂ 濃度外氣量控制系統之節能效益

利用回風 CO₂ 感測器整合設備於通風控制系統中，可反應室內人員的變動，控制調變外氣閘門開度，於不影響室內舒適環境品質原則下引入最低之外氣量，有助於降低空調主機之熱負荷，並降低空調用電量，預計可節省 6% ~ 12% 之能源使用。

第六章、全熱交換器系統

1 技術原理說明

正常空調系統中，通常會引入約 30% 的新鮮外氣與空調回風混合再處理後，再送進室內，故亦有 30% 的室內回風必須排除，以維持室內空氣品質。一般而言，在夏日的空調耗能量當中，約有三到四成是用於處理外氣熱負荷，因此減少外氣負荷量便成為空調節能的重點之一。

這 30% 的室內回風，大多尚接近室內的環境條件，溫、濕度均較室外空氣低，因此若能善用回風低溫低濕的特性，預先為引進的新鮮外氣作降溫減濕的工作，那麼空調主機便可減少處理外氣的能源消耗，而達到節約能源的目的。

下圖 6-1 為所謂之「全熱交換器」，利用透濕透熱性轉輪，將空調回風及新鮮外氣分層交叉穿透其上，進行溫度及濕度的交換，調整外氣熱焓量同時降低外氣熱負荷。

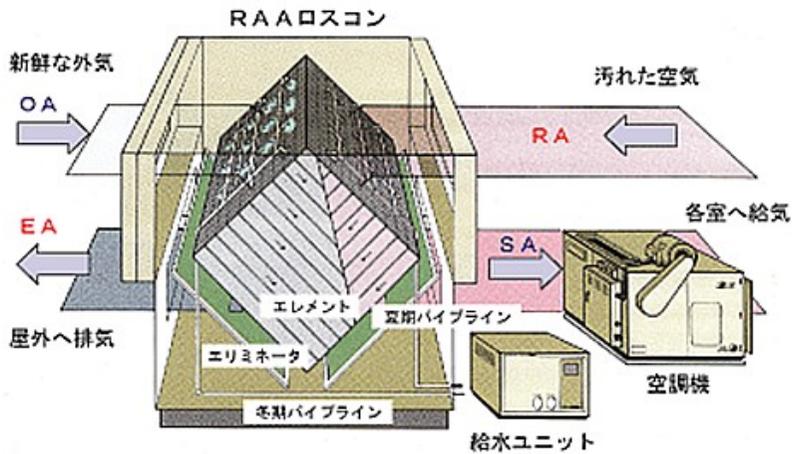


圖 6-1 全熱交換器設備示意圖

(來源資料：<http://www.sinko.co.jp/sk/rosukon.html>)

圖 6-2 為全熱交換器系統運作之示意圖，由圖可看出外氣經過熱交換器設備進行顯熱交換，預先降低新鮮外氣的溫度，再以冷卻盤管將其冷卻至舒適的室內空氣條件，並藉由風管設備輸送至室內提供冷房需求。

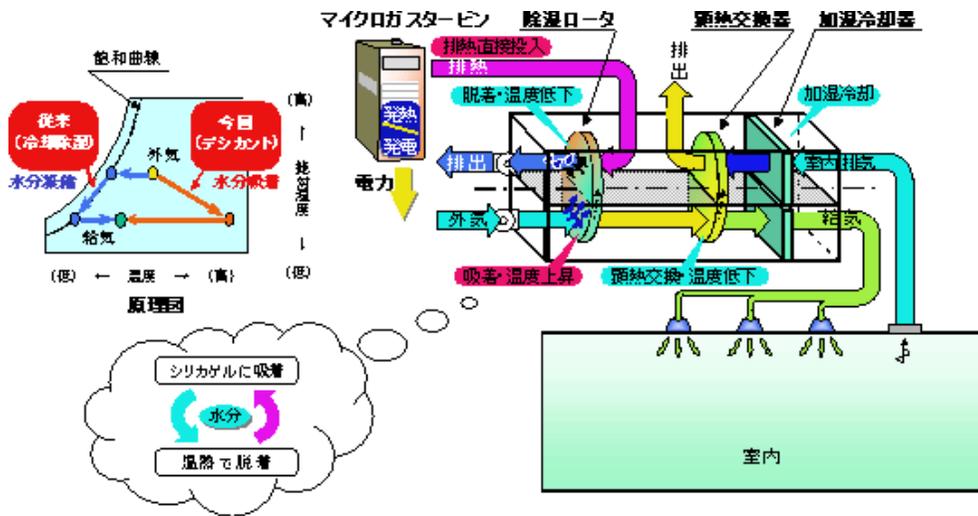


圖 6-2 全熱交換器系統節能示意圖

(來源資料：<http://www.hitachi-pt.co.jp/corporate/randd/technology/desiccant.html>)

設計技術及節能對策

全熱交換器的作用即在回收排風的能量，並用以預冷新鮮外氣，從而減少處理新鮮外氣所需耗用的能源。圖 6-3 說明了全熱交換器在空調系統中擺設的位置，及外氣通過全熱交換器後的狀態變化[林韋旭,1992]。

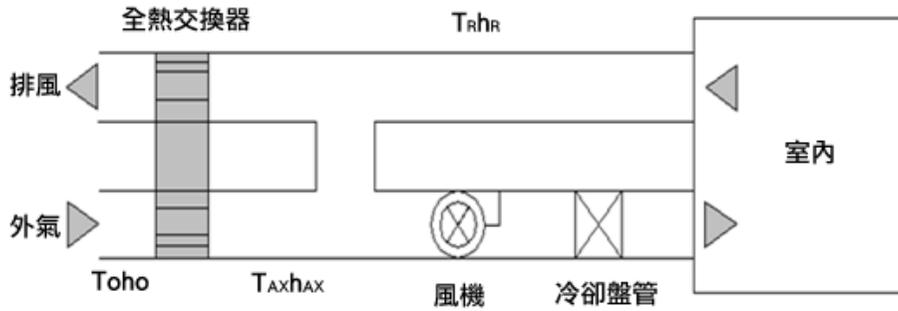


圖 6-3 全熱交換器系統概念圖

按照全熱交換器效率之定義

$$\varepsilon_{EX} = \frac{h_{OA} - h_{AX}}{h_{OA} - h_{RA}} \quad (6-1)$$

採用全熱交換器於冷盤管所節省的空調機負荷為

$$\begin{aligned} \Delta Q_{EX} &= \rho C_P [G_{OA} (h_{OA} - h_{RA}) - G_{OA} (h_{AX} - h_{RA})] \\ &= \rho C_P \varepsilon_{EX} G_{OA} (h_{OA} - h_{RA}) \end{aligned} \quad (6-2)$$

ε_{EX} : 全熱交換器的效率。

G_{SA} : 設計的送風量, m^3/h 。

G_{OA} : 設計的外氣量, m^3/h 。

h_{OA} : 外氣焓值, kJ/kg 。

h_{RA} : 回風焓值, kJ/kg。

C_P : 空氣比熱, kJ/kgC°。

ΔQ_{EX} : 採用全熱交換器控制的節能效果, (kW)。

有些特殊使用的空間之換氣系統為防範氣流供氣與排氣路徑循環形成空氣污染與交叉污染(Cross Contamination), 因此全外氣空調或大量補給外氣的換氣系統, 開始應用於特定之生化實驗室、SPF 動物房、手術房、隔離病房及潔淨室等空調系統中。然而在處理外氣引入所產生之熱負載, 約消耗空調耗能之三到四成, 尤其以台灣地區溼熱的外氣條件, 更是耗費驚人。而京都議訂書之簽訂及二氧化碳之排放總量管制等政策, 已使節約空調用電成為政府能源政策重要的一部份。

當外氣的熱焓值大於室內空氣熱焓值時, 以全熱交換器對外氣進行預冷減濕, 在我國這種高溫多濕之氣候條件下, 將具有相當傑出之節約能源之效。以辦公大樓為例, 在台灣地區使用全熱交換器所節約的全年外氣負荷量, 約可節約空調總耗電量的 8%, 可見全熱交換器可以達到非常好的節能目的。

2

實例介紹

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為醫療復健用途之建築物，建物空間分為：地下一層、地上三層共計四層，其室內空間用途包括辦公室、診療室、復健室、住院房間、會議室等場所；中央空調系統使用時間已達使用年限約 18 年，故主要設備均已老舊，且效率不彰，造成能源之浪費。進而影響室內之空調供應之品質。

原空調箱為定風量系統，且熱交換設備已嚴重堵塞，如圖 6-4 所示，影響能源交換效率。配合本次空調改善工程，於空氣側設備部份，改善成為變風量(VAV)系統，設置可變風量送風機，及溫度控制設備，依據各空間內之溫濕度設定需求，供應足量之空調，並加設全熱交換器，將新鮮外氣進行預冷減濕之動作，減少室內及空調設備熱負荷，以達節能之效果。



圖 6-4 改善前之定風量空調箱設備

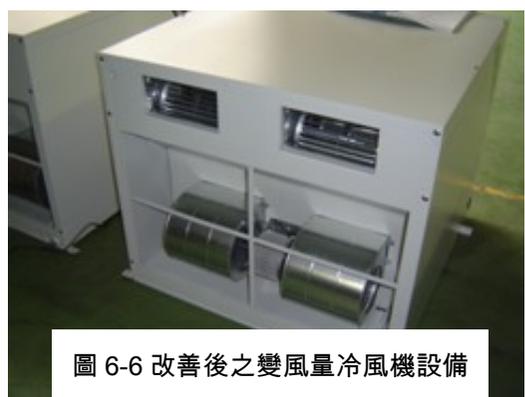
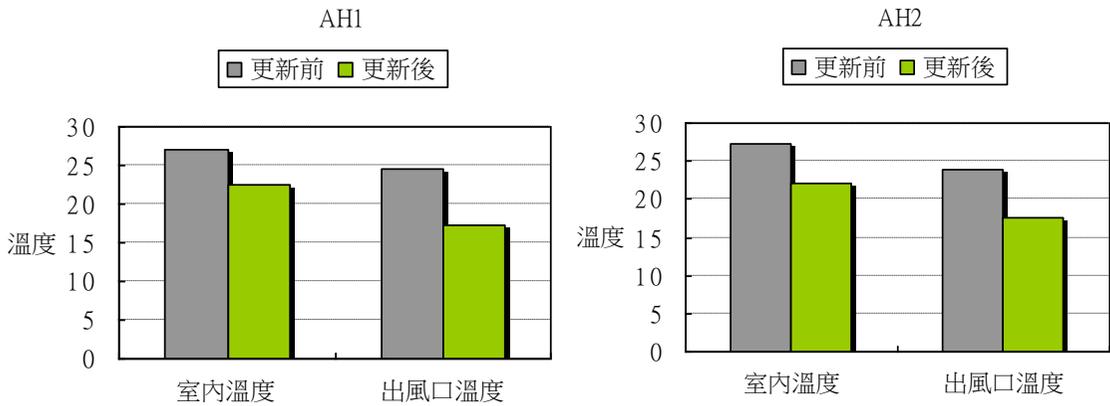


圖 6-6 改善後之變風量冷風機設備

圖 6-5 改善後之空調箱設備

3-2 全熱交換系統改善前後之溫度比較

原室內送風機及空調箱熱交換效率不佳，經汰換更新後並增設全熱交換器進行外氣預冷，其改善前後出風



口溫度與室內溫度比較圖如下所示，預估可節省 8% ~ 10% 之能源使用。

圖 6-7 AH1 改善前後溫度之比較

圖 6-8 AH2 改善前後溫度之比較

第七章、外氣冷房系統

1

技術原理說明

傳統式中央空調系統為維持健康舒適的空調環境，必須將 30%的室內回風排到室外並且引入相當空氣量的外氣，但在某些涼爽的季节、晚間或下雨後的時段中，外氣通常乾爽和清涼，其熱焓可能低於室內回風的熱焓，此時如果停止運轉空調主機，全部利用室外空氣來進行冷房，便可節約空調系統用電。此就是「外氣冷房系統」的構想。

建築物內部空調區受外界氣候影響較微弱，反而受室內人體、照明、機械發熱量影響較顯著，故必須依賴空調設備除去產生之熱量。當外氣溫度降低，內部空調區因室內持續散熱仍啟動空調主機來去除熱量，而造成能源浪費。若採外氣冷房系統，便可於外氣焓值低於室內回風焓值的時間內，直接引進外氣來去除室內熱量(如圖 7-1 所示)，來減少冰水之供應量，甚至停止主機運轉，故對節約能源的使用有正面的幫助。

外氣冷房示意圖

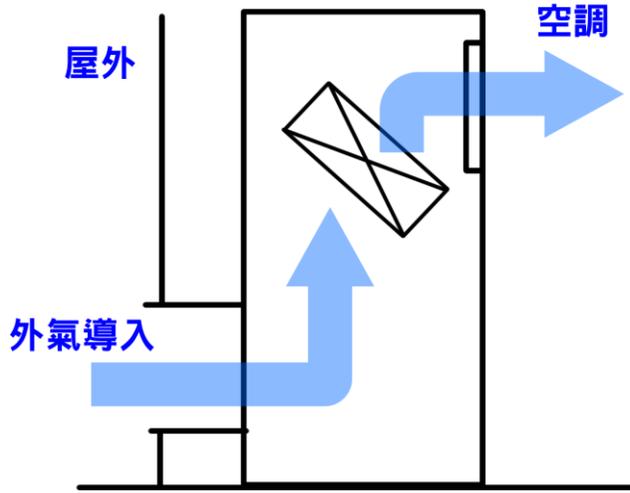


圖 7-1 外氣冷房示意圖

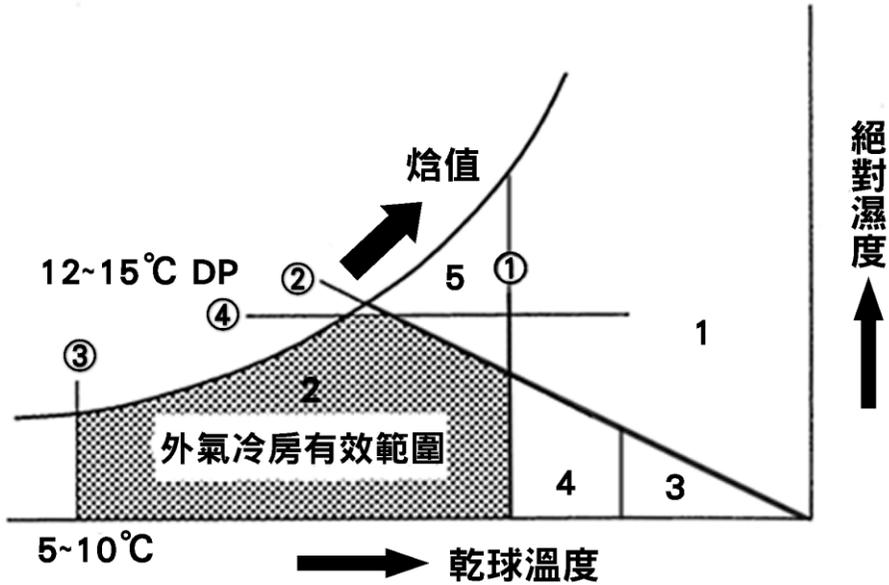
設計技術及節能對策

外氣冷房省能控制是在中間季(甚至冬季)外氣溫度或焓值較低情況下，充分利用外氣做冷源以達最大限度的節約能源。外氣冷房的節能控制有以下兩種類型：(1)按外氣溫度(顯熱)的節能控制，(2)按外氣焓值(顯熱+潛熱)的節能控制。

今以濕空氣線圖來說明顯熱控制與焓值控制在節能效果上的差別，空調送風溫度、回風溫度與焓值將濕空氣線圖劃分為幾個不同的區域(如圖 7-2 所示)，顯熱控制與焓值控制在圖中的斜線區域將有不同的節能效果。除了在區域 3 外，焓值控制均較顯熱控制方式節能，在區域 3 焓值控制會較耗能是因

為外氣溫度過低，在冷卻前需先經淋水加濕，使得空氣焓值升高的緣故。表

7-1 詳列了在各區域顯熱控制與焓值控制的差異。



- ① 外氣溫度 < 室內溫度
- ② 外氣enthalpy < 室內enthalpy
- ③ 外氣溫度 > 下限設定值(5~10°C)
- ④ 外氣露點溫度 < 上限設定值(12~15°C DP)

圖 7-2 外氣冷房系統的外氣適用條件

表 7-1 外氣冷房系統顯熱與焓值控制之節能效果

區域	顯熱控制	焓值控制	較節能者
1	最小外氣	最小外氣	相同
2	最大外氣	最大外氣	相同
3	最小外氣	最大外氣	顯熱
4	最小外氣	最大外氣	焓值
5	最大外氣	最小外氣	焓值

[Shavit 1974,Dickson 1986,Wacker 1992,Nelson,1993]。

採顯熱控制方式之外氣冷房系統，其外氣(T)適用條件為 $T_{\text{外氣}} < T_{\text{回風}}$ ；
 採焓值 (H) 控制方式，其外氣適用條件為 $H_{\text{外氣}} < H_{\text{回風}}$ 。若外氣符合使用
 條件，引入的外氣量與外氣溫度的關係如圖 7-3 所示，當外氣溫度低於 T_A
 時，引入全量的外氣，外氣比為 1；當外氣溫度低於 T_B 時，此時若引入全量
 的外氣將造成室內過冷，故依比例減少外氣的引入量，直到外氣低至 T_C 以
 下，引入的外氣便恢復為小外氣量。

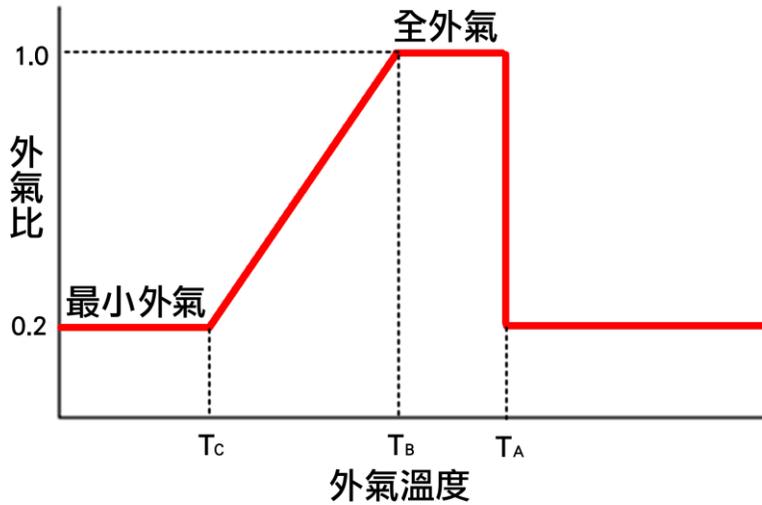


圖 7-3 外氣溫度與引入外氣量之關係

外氣溫度處於 T_A 與 T_B 之間時，因引入全量的外氣，所以空調機送風溫度等於外氣溫度，所以採用外氣冷房所減少的空調機負荷為：

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_{ECO} &= \rho G_{SA}(h_M - h_C) - \rho G_{SA}(h_O - h_C) \\
 &= \rho G_{SA} \left\{ \left[\frac{(G_{SA} - G_{OA})h_R - G_{OA}h_O}{G_{SA}} - h_C \right] - (h_O - h_C) \right\} \\
 &= \rho(G_{SA} - G_{OA})(h_R - h_O)
 \end{aligned}$$

G_{SA} ：設計的送風量， m^3/hr

G_{OA} ：設計的外氣量， m^3/hr

h_{OA} ：外氣焓值， kJ/kg

h_R ：回風焓值， kJ/kg

h_C ：空調機送風焓值， kJ/kg

C_p : 空氣比熱, kJ/kg°C

ΔQ_{ECO} : 採用全熱交換器控制的節能效果, kW

當外氣溫度低於 T_B 時, 此時只需引入外氣就可達到冷房的效果, 所以其

節省的空調機負荷為 :

$$\Delta Q_{ECO} = \rho G_{SA} (h_R - h_C)$$

而此時所需引入的外氣量為 :

$$G_{OA} = G_{SA} \left(\frac{T_R - T_C}{T_R - T_O} \right)$$

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為約可容納 500 人之演講廳，使用頻率約一星期 1~2 次。如下圖 7-4~7-6 所示，為設備改善前後比較圖，原有之冰水主機已相當老舊，經量測結果顯示運轉效率低落，且為冰水定流量及定風量系統，為一耗能且無節能措施之空調系統。

本次改善項目主要為汰換冰水主機，採取一次側變流量策略、更新空調箱設備並改為可變風量系統，如下圖 7-5~7-6 所示，而增設之 BEMS 能源管理系統，可進行 CO₂ 濃度外氣量控制、外氣冷房等運轉管理策略。



圖 7-4 冰水主機改善前後設備圖



圖 7-5 冰水泵群改善前後設備圖



圖 7-6 空調箱改善前後設備圖

3-2 外氣冷房控制介紹

本次改善工程所建立之 BEMS 控制系統，如圖 7-7 及 7-8 所示，可監測在外氣之溫、濕度狀態，並透過電腦計算其焓值，做為邏輯控制的判斷基準。當外氣焓值小於 40 kJ/kg 時，表示目前只要引進外氣就可提供室內之冷房需求，此時冰水主機停止運轉，將外氣風門全開，直接利用外氣代替主機運轉供冷。

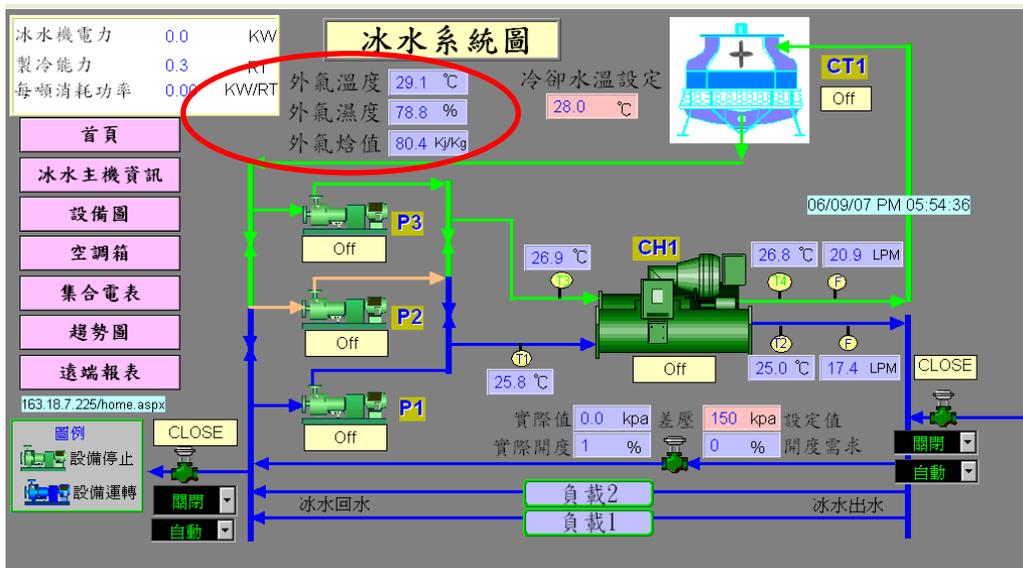


圖 7-7 本案例 BEMS 系統之冰水昇位監控圖

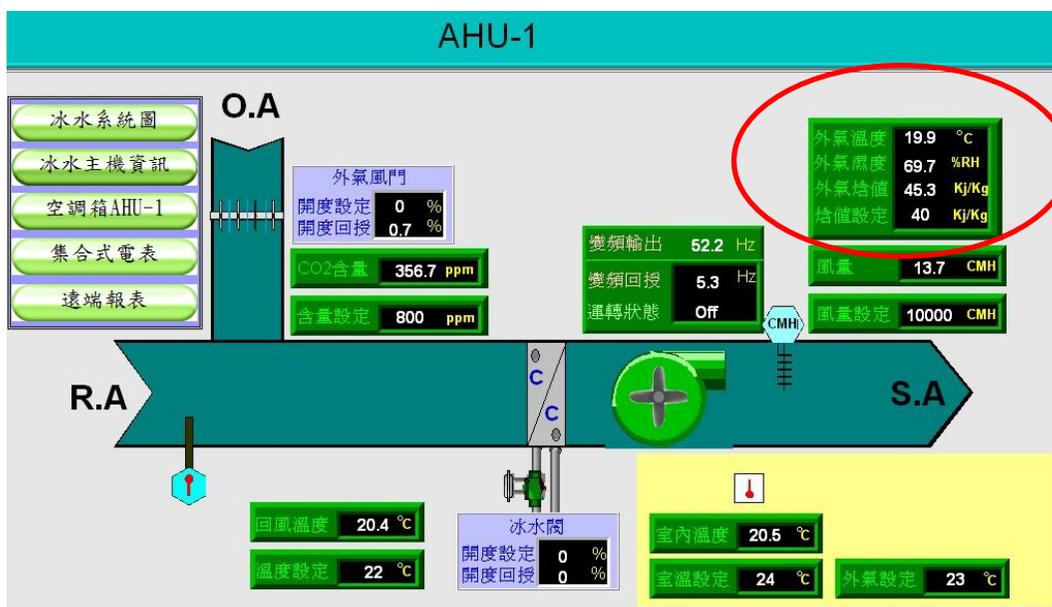


圖 7-8 本案例 BEMS 系統之空調箱監控圖

3-3 小結

建築物的耗能程度取決於該建築物的運轉與維護管理，若將節能改善工

程重點放在低成本或是無成本的運轉策略改善上，如設備時程控制、外氣冷房、CO₂濃度外氣量控制、夜間排風策略及建築預冷控制等，可以立即有效的降低建築物的能源消耗、電費以及溫室氣體的排放量。而這些節能策略，以不影響用戶的舒適度以及服務水平為原則，配合現有的建築物自動化系統（BAS）或建築物能源管理系統(BEMS)，可充分利用數位化管理，進行有效率的運轉策略。相較於直接汰換舊有設備，具有低成本之優點，業主可降低投資成本，達到 5% ~ 10%之節能成效，甚至可使回收年限低達一年以內，兼具省能及經濟效益。

第八章、變風量通風系統

1

技術原理說明

一般的空調系統多以一定風量(Constant Air Volume, 簡稱 CAV)來供應室內空調空氣, 當空調區域負荷變動時, 則以改變送風溫度應付室內負荷, 並達到維持室內溫度於舒適區的要求; 而變風量系統(Variable Air Volume, 簡稱 VAV)係採送風溫度固定, 以改變風量的方式, 來因應空調負荷的變動。

在一般的設計手法裡, 設計的風量係在最嚴苛的狀態下所設計的風量, 但是在實際的情形中, 在此設計狀態下運轉的機會並不多, 在室內負荷變動的情形下, 上述之定風量系統為風量固定, 以改變送風溫度之方式反應室內負荷變動, 所以即使空調負荷降低, 但風機的運轉卻一直處在滿載(100%)的狀態; 但變風量系統為送風溫度固定, 同時配合適當的風機風量控制方式, 來改變風量以減少送風機的耗電量而節約能源。

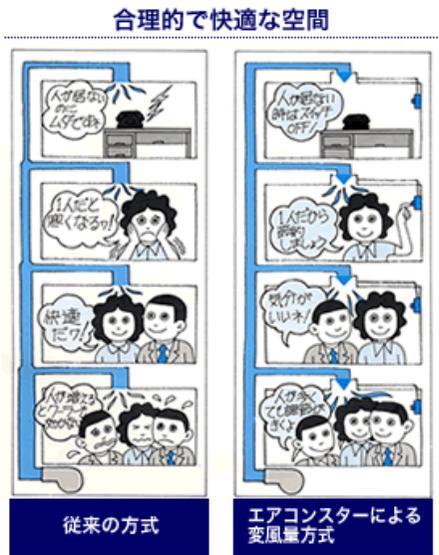
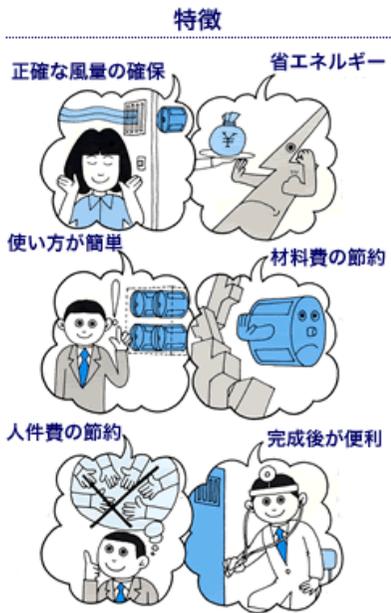


圖 8-1 定風量與變風量舒適性比較示意圖
 (來源資料 : <http://www.airconstar.com/cav/>)

2-1 變風量通風系統的設計概念

變風量通風系統 (VAV) 首先將室外的空氣送入空調箱 (AHU) 中，通過冷卻和加熱盤管熱交換，以調節空氣的溫度和濕度，再由風管將空氣分配給建築物內每一個需空調的區域，而各區域的空氣量則由各自的 VAV 箱所控制，如圖 8-2 所示。

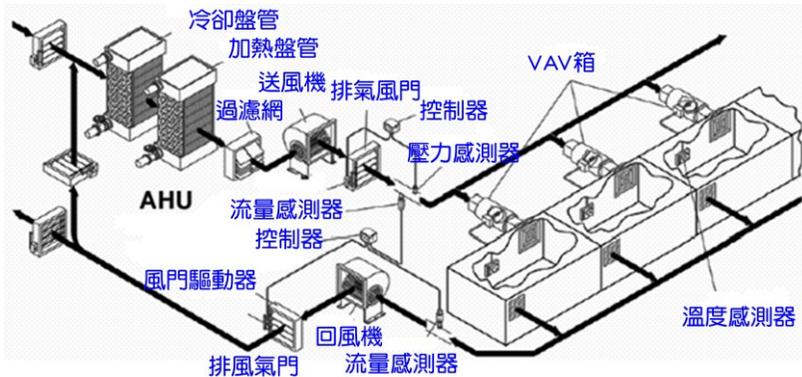


圖 8-2 VAV 通風系統各元件示意圖

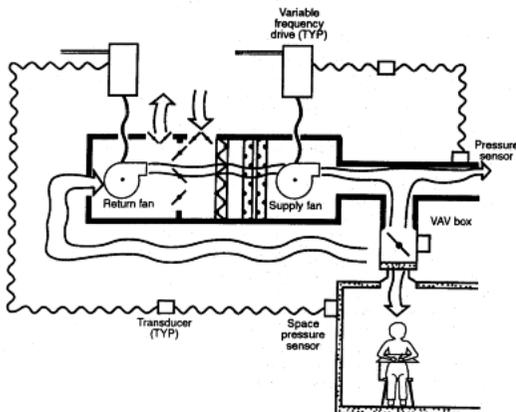


圖 8-3 VAV 風門控制示意圖

VAV 系統在每一個控制的區域均安裝溫度感測器，如左圖 8-3 所示，透過調節 VAV 箱的風門以保持室內設定的溫度，當某一區域的空調

送風溫度滿足需求時，VAV 箱的風門調節就會處於關閉狀態，隨著 VAV 箱限制空氣的流量，風管壓力就隨之而開始上升，送風機藉由壓力感測器量測到壓力上升，便控制轉速調變風量來減少送風機的耗電。

在傳統的設計中，空調箱內都安裝了進氣風門、排氣風門或進氣導向葉輪片 (IGV)，由各自控制器進行控制，以調節風機的送風量。隨著系統中越來越多，VAV 箱越接近低流量狀態時，風門便隨之關閉，以保持風管恒定壓力不變及建築物內的正向壓力不變。然而，這些裝置都會增加進氣管中之阻力，使得風機的效能略為減少。

2-2 變風量系統的控制

在任何負載與操作環境下，建築物內所有空間都必須有適當的通風量，它包含了舒適度、室內空氣品質，及相關法律規章的規定。但空調通風系統之外氣若設定不良，將導致能源成本增加，所以導入適當的外氣量是很重要的，因為超過需求的外氣將會帶來更多的熱負荷，增加能源的消耗。

對於 VAV 系統而言，設計人員在通風的控制策略中，必須考慮在所有操作環境下皆能達到需求換氣量，又不會造成能源的浪費。以下引用一個變動負載的例子，來探討在 VAV 系統於不同通風控制策略的性能，目的在找出一個可行的方案來達到通風的需求又不會產生通風過量(over-ventilation)的現象。

考慮一個簡單的 VAV 系統(如圖 8-4 所示)，在設定好熱負載的條件下，

每一個 VAV 區塊的空氣供給速率，最大值為 1000 CFM，而外氣量根據空間之大小、型態，以及空間的使用方式來決定。前兩個空間之外氣量需求為 200 CFM，第三個空間之通風量需求為 300 CFM，總共 700 CFM 的外氣需求量，佔總體氣流量 3000 CFM 的 23%，以 30%的比例來滿足此區域的最高外氣量需求。

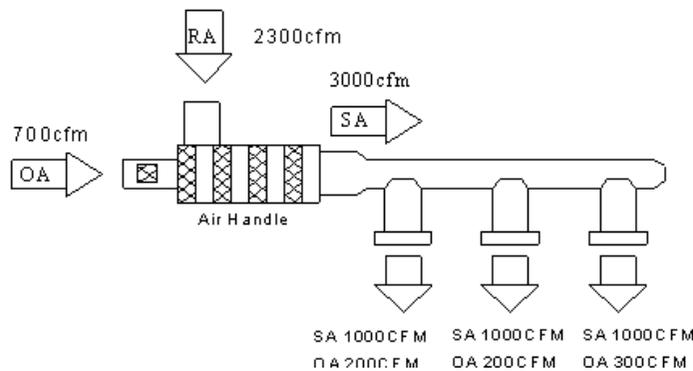


圖 8-4 典型 VAV 系統設計概念

根據 ANSI/ASHRAE 標準 62-1999：可接受之室內空氣品質通風標準，是針對一般系統(包含 VAV)多個空間中的適當通風需求所訂出之規定，並參考空間的型態來定義通風與換氣量，此標準包含方程式 8-1，它是用來計算所有操作環境下的通風需求量。

$$Y = X + [1 + X - Z] \quad (8-1)$$

Z：所有區域中外氣佔該區最高之比例

X：系統提供每一區域氣流量與最小外氣量總和所佔的比例

Y：為系統的外氣部分，或是系統提供的氣體中，外氣所佔之比例，其值比 Z 來的低，因為它包含了未被使用的外氣，此外氣來自通風過量的空間中被循環利用，如同直接從戶外引進空氣。

每一個部分的通風比例計算出來後，最高值即為所謂的關鍵區域，也就是 Z 因子，在此設計環境下將所得之 Z 與 X 代入方程式 8-1：

$$Z = \frac{300cfm}{1000cfm} = 0.3$$

$$X = \frac{(200cfm + 200cfm + 300cfm)}{3000cfm} = 0.23$$

$$Y = X \div [1 + X - Z] = 0.23 \div [1 + 0.23 - 0.3] = 0.25$$

意味在此操作點下 25 % 的空氣供給必須直接來自外氣，接下來，如果我

們將系統空氣總量 3000 CFM 的 25%由外氣提供，也就是在此條件下必須導入 750 CFM 的外氣才能使系統得到適當的通風。下表 8-1 為不同的控制方式，通風與能源效率比較表，可供控制策略評估之參考。

表 8-1 各外氣風門之通風控制策略比較表

外氣風門	控制方式	是否符合 Standard 62-1999	耗能量	應用
固定	最小外氣量	否	外氣量小，耗能低	應用在多數的建築物內
固定	最大外氣量	是	外氣量大，耗能高	為符合 Standard 62-1999 所設計
可變	最大外氣量	是	有時外氣量有過大的情形	為越來越普遍的外氣風門設計
可變	可重置風量	是	設備最佳化運轉	利用建築物自動控制系統達到最佳化設計

定調節閥，最小外氣策略

接下來，將 Standard 62-1999 對於通風的要求與一般常用的氣流端控制策略（將外氣調節閥固定在最小的位置）進行比較，在這情形下每個區域通風量的總和為 700 CFM 或 23%，然而，調節閥若固定在 23%將無法達成 ASHRAE 指定之三種情況下的最小換氣要求。當系統部分負載時，總體氣流供給減少，外氣量亦減少到遠低於 ASHRAE 標準所規定的需求。

這個方法所定出來的外氣量無法符合 Standard 62-1999，所以在任何場合中皆無法適用，包含 VAV 系統。

氣流控制，最大外氣策略

加入量測與控制外氣進入系統的功能，可以改善前述室內空氣品質不佳的狀況，但不是簡單的調節控制閥位置而已，在此策略中，氣流測量設備將外氣量精確的控制 933 CFM，當系統總風量改變時，必須調整外氣調節閥維持在 933 CFM 的外氣量，此策略使系統符合 Standard 62-1999 在所有情況下的外氣需求。

雖然這個策略減少了一些外氣量，但在有些狀況，如系統設計點與部分負載的情況下，會導入超過需求的外氣，這讓人聯想到利用氣流即時重置外氣量設定點動態控制策略的可行性。

氣流控制，通風重置策略

利用直接數位控制(Direct digital control; DDC)系統，可動態重置每一區之外氣導入系統的總量，並符合 Standard 62-1999 的設計。第一個步驟是將區域的通風需求量除以目前全區域氣流供給量，以得到每一區對於 VAV 區塊的通風比例，利用監控空氣流量，經由 VAV 箱的回報各區通風量，空氣處理系統控制器就能夠以方程式 8-1，得到系統通風率，進而重置外氣設定點。

參考表 8-1 的效能評估，此控制策略可最佳化通風系統，並藉由動態計算外氣總需求量，所以實際導入系統的通風量就不會產生過量的情形，故採用策略的結果就是 VAV 系統得到了適當的通風，且避免了通風過量所造成的浪費。

實用性能的考量

在適當通風量與最小能源消耗的前提下，評估了上述幾種控制策略，而通風重置的控制策略已經證實能夠符合節能要求，但系統設計者仍需考慮 VAV 單元大小、硬體、軟體等相關問題來實踐此控制策略，最終完成一穩定且可靠的控制系統。

大樓的自動化系統(BAS)，其硬體與軟體皆包含 DDC/VAV 控制系統，並且能夠使用這些設備去動態計算實際的外氣需求量，同時提供相關通風重置的功能，以 VAV 箱以及空氣流量計所監測到的參數，解出方程式 8-1 後，進行所需的通風量控制。

DDC/VAV 系統若缺乏量測外氣量的設備，就無法控制其流量，因此外氣調節閥就只能維持固定值，當控制閥內的壓力改變時將會導致流量改變，因此加裝一個流量測量設備來控制外氣量，而不再只是進行簡單的調節閥定位。在不需要其他特殊控制來完成通風重置的工作時，許多 HVAC 與控制公司都可提供經濟、不受環境壓力干擾的外氣量監測控制技術，此系統架構如圖 8-5 所示。

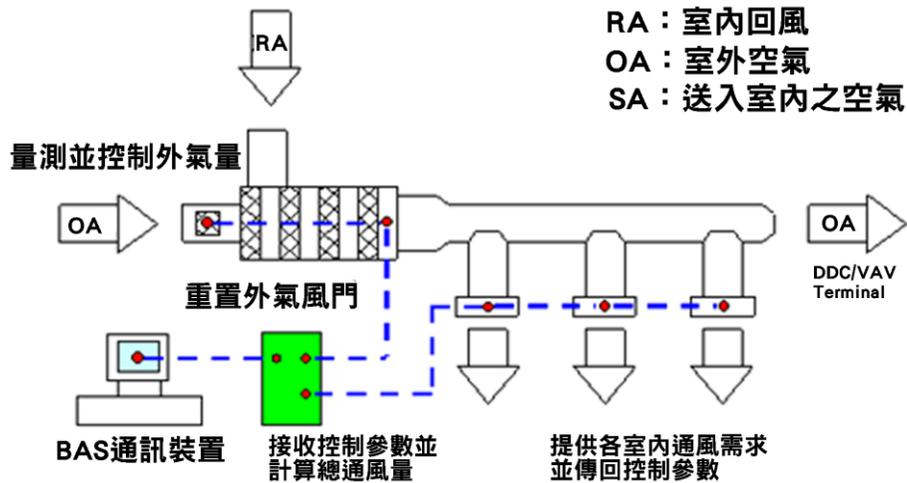


圖 8-5 通風重置策略系統架構圖

2-3 變頻調速器

採用變頻器不但可以減少系統的複雜性，改進系統控制狀況，更可大大的節約能源。變頻器不會如風門般產生額外的壓降，或如進氣導向葉輪片 (IGV) 導致風機效率降低，而是直接地控制風機的轉速。如圖 8-6 所示，透過改變供風和回風機馬達的轉速，可準確達到所需要的空氣流量和壓力，而達到整個系統的需要，並輕易地改善規格過大的風機及平衡相關的系統。

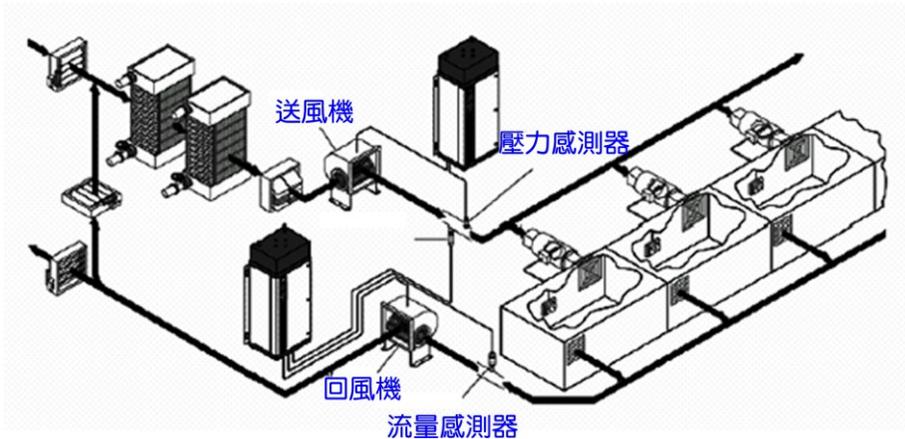


圖 8-6 採用變頻調速器的 VAV 系統

變頻器內具有比例積分微分控制器(PID)，可以準確地對風機進行控制，因此不需要額外的控制裝置。此外變頻器採用電子控制方式控制風機速度，因此相對於機械控制裝置系統，免去了設備的定期維護以及其費用。

在使用排氣風門或進氣導向葉輪片時，風機效率會明顯下降，但採用變頻器卻可以保持風機高效率運轉，依風機的空气流量與耗能間的比率公式，降低流量可節約大量的能源，下圖 8-7 為固定轉速及可變轉速運行之間的區別。

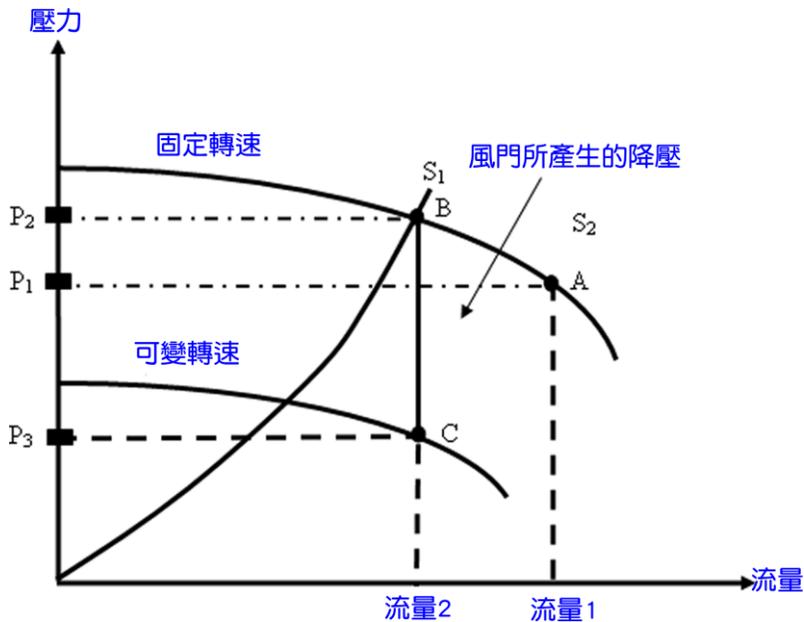


圖 8-7 固定轉速與可變轉速之比較

最大設計流量 A 點，通常是部分時段才需要，而大部分時段所需流量則較小。當系統的流量降至流量 2 時，固定運轉的系統曲線使風機曲線上移至 B 點，風機在該運行點所產生的壓力 P_2 則遠高於系統所需。該壓力差必須由風門加以吸收。而可變轉速運行時，風機曲線沿著系統曲線移動，而建立起新的運行點 C，所產生的壓力 P_3 正好是系統所需要的。由於風機耗能為流量乘上壓力再除以風機效率，所以 B 點和 C 點的壓力差就產生了明顯的耗能差異。

2-4 耗能比較

圖 8-8 表示產生空氣流量變化的幾種控制方式和能耗的比較情況。曲線 1 表示基本風機定律的理論能耗；曲線 2 表示變頻器的運行性能情況；曲線 3 和 4 是使用風門和雙速馬達 (半 / 全速和 / 全速)；曲線 5 是使用進氣導向葉輪片 (IGV) 的恒速馬達；曲線 6 是使用排氣風門的恒速馬達。變頻器最接近風機定律的能耗，因此能源效率最高。

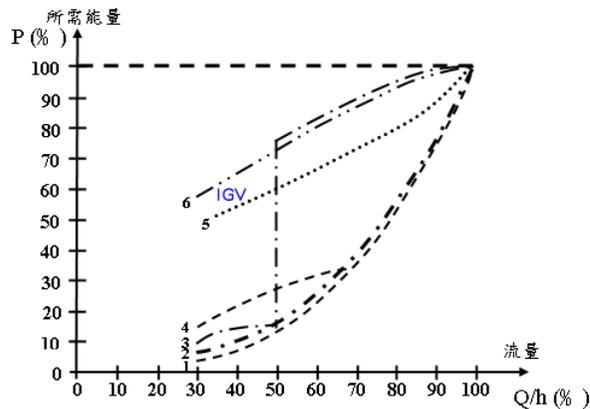


圖 8-8 不同控制方法下空氣流量與其能耗關係圖

要計算潛在的節能，就要觀察實際的負荷圖，而負荷圖指的是系統為滿足某特定時段內的負荷要求所需的風量，如圖 8-9 便是一個 VAV 系統典型的負荷圖。

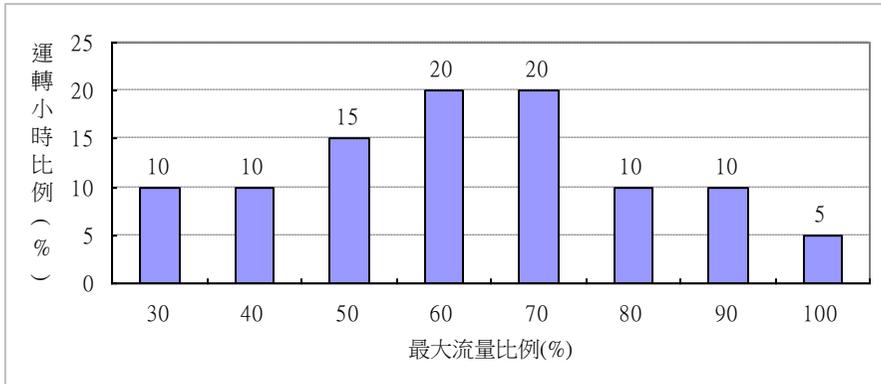


圖 8-9 VAV 系統典型的負荷狀況圖

在下面的計算例子中，一台 40Hp 風機依圖 8-9 之負荷量運轉，現以變頻器及定轉速排氣風門進行比較，算出它們在一年中分別所需的能耗，如下表 8-2 所示，採用變頻器可節省全年 116,070 kWh 之用電量，相當於節省 55% 的用電。

表 8-2 節能比較表

流量 (%)	時數 (%)	運轉時數	所需電能(kW)		40Hp 風機馬達用電量 (kWh)	
			定轉速	變頻器	定轉速	變頻器
30	10%	876	18	2	15,768	1,752
40	10%	876	19	3	16,644	2,628

50	15%	1314	21	5	27,594	6,570
60	20%	1752	24	8	42,048	14,016
70	20%	1752	26	11	45,552	19,272
80	10%	876	27	17	23,652	14,892
90	10%	876	28	23	24,528	20,148
100	5%	438	30	31	13,140	13,578
總計	100%	8,760hrs			208,926kWh	92,856kWh

2-5 感測器類型和安放處

在感測器安裝的位置對 VAV 系統具有很大的影響，若要達到最佳的節能效果，就必須於正確的位置安裝感測器，如圖 8-10(a)所示，壓力感測器應放置於風管內，距離供風機出口約 2/3 的位置，以針對實際的管道壓降進行補償，無論流量大小風機只產生 VAV 箱所需的壓力。可滿足系統要求的最低設定點，並發揮其節能潛力。

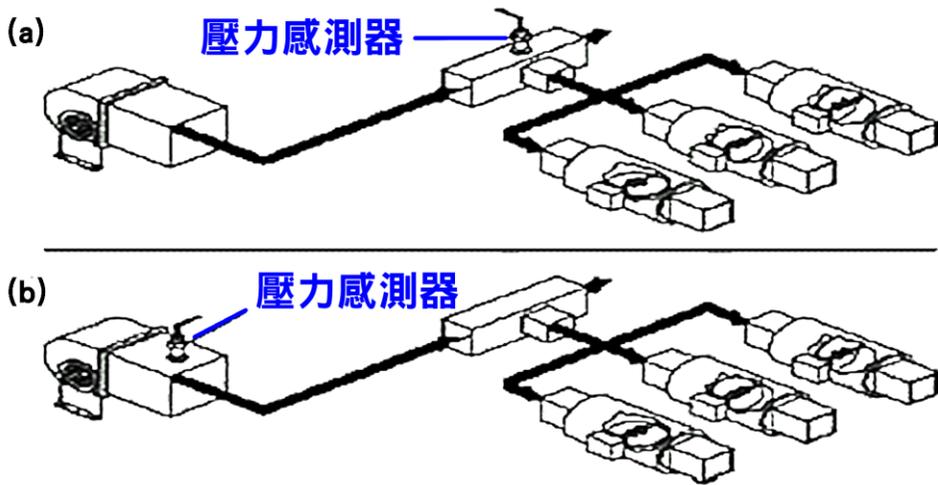


圖 8-10 VAV 系統壓力感測器裝置示意圖

如圖 8-10(b)所示，如果靜壓感測器直接安置在風機排氣口處，為使 VAV 箱正常運作，就必須考慮最大流量狀態下的管道壓降，因此壓力設定點將與風機設計壓力相等。隨著氣流量的減少，即使管道中的壓力損耗已大大減少了，風機依然產生高壓力，結果 VAV 箱提供了比其正常工作所需更大的壓力。儘管這種方式仍具有節能效果，但沒有充分發揮節能潛力，因為未達到全流速時的過壓造成了能源浪費。

風機系統的目標是在 VAV 箱之進氣端保持所需的最小靜壓，這樣可使 VAV 箱正常工作，並均勻地將空氣分配給各室內區域。風機的排氣壓力是將 VAV 箱所需靜壓，與全流量狀態下風管內預計的壓降加在一起，然後再設置一個安全係數，用於安裝過程中無法預見的設計修正。

圖 8-11 說明了感測器安置對節能的影響，最低設定點越小，變頻器操作風機的速度會越慢，便可節省更多的能源。

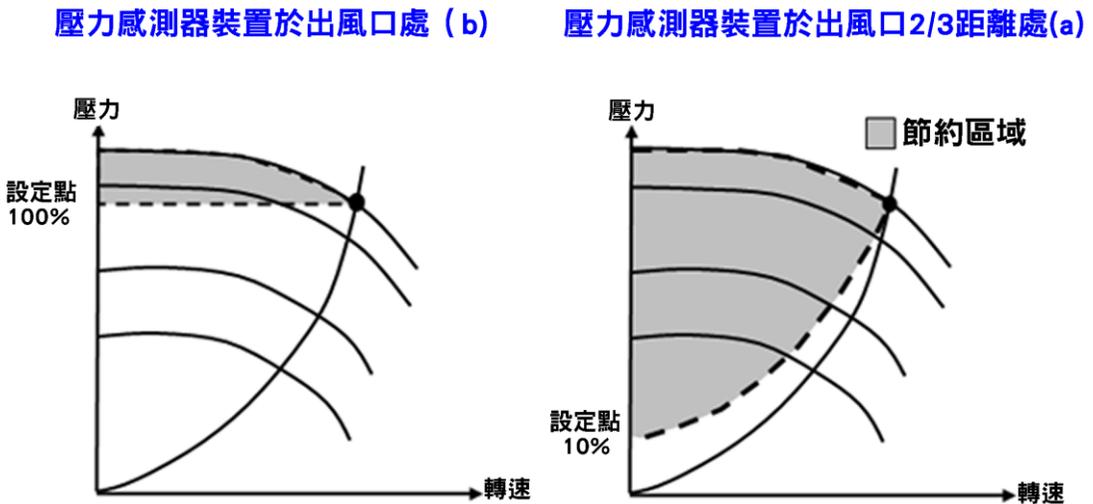


圖 8-11 壓力感測器置放於不同位置之節能比較

部分已裝有變頻器的空調箱設備，其壓力感測器已裝置在風機出風口，儘管這種結構佈局不能發揮最大的節能潛力，但它提供不少應用上的好處，

由於風機最大速度和負載容易控制，所以簡化了系統風壓平衡及試車時的工作量，且壓力不受 VAV 終端裝置控制，在 VAV 終端進口處產生的壓力變化便無關緊要。

3-1 案例背景與問題描述

本案例位於台北市，為地下一層、地上三層之學校類建築物，其室內空間包括辦公室、研究室、電腦教室、圖書室、會議室、自習室等場所。而中央空調系統運轉已達使用年限，主機及空氣側設備已老舊，影響熱交換效率，且為一定風量(CAV)運轉系統，故能源使用效率低落，同時也影響室內空調舒適品質。

3-2 空氣側改善內容

於空氣側部分，將已達使用年限之空調箱汰換更新，並配合 VAV Box 及各空間內之溫度控制設備(Thermostat)，設置變頻式空調箱，以改善空氣側系統成為可變風量 VAV 通風系統，新設之空調箱風量可依據室內溫度訊號回饋至風量控制元件，同時調校合理之設定值，提供之適量及舒適空調冷房。



圖 8-12 改善前之空調箱設備圖

空調箱風機配合外氣溫度感測器信號，可程序優先調節變風量控制系統或冰水閥開度與外氣比例，由 30% ~ 100%無段調變，預估可節省 15%之能源使用。



圖 8-13 改善後之空調箱及 VAV 箱設備圖

3-3 改善後之節能評估

本案例依據不同時段的室內負載需求，量測空調箱風機馬達於變頻狀況下之耗電量 (如下表 8-3 所示)，並分析量測而得之數據，以設定監控電腦之最佳管路壓差值及變頻器之運轉頻率，同時控制風機馬達之轉速及出風量，達到節約能源的目的。

表 8-3 改善前後空調箱運轉耗電量量測結果

AH1			AH2		
改善前	改善後		改善前	改善後	
耗電量 (kW)	耗電量(kW)	頻率(Hz)	耗電量(kW)	耗電量(kW)	頻率(Hz)
16.4	16.5	59.8	18.2	18.2	59.9
16.4	11.7	54.0	18.2	13.7	53.4
16.4	8.40	45.4	18.2	9.60	44.5
16.4	3.60	36.8	18.2	4.20	40.4

第九章、空調泵送系統改善技術

1 技術原理說明

空調系統佔商業及辦公大樓總耗電的 40%~50%，而泵送系統耗電則佔空調總耗電約 20%。雖然空調主機可隨空調負荷變化調變負載節省能源，但泵送系統若無節能設計，相關泵之設備將隨空調開啟而持續全載運轉。以一般辦公建築為例，空調主機之全載運轉時數若有 1000 小時以上，則泵送系

統便可能高達 2000 小時以上。如圖 9-1 各負載狀況之統計時數顯示，空調部份負載之時數佔大比例，假如泵系統可隨空調負載調變流量，便可節約大量的能源。

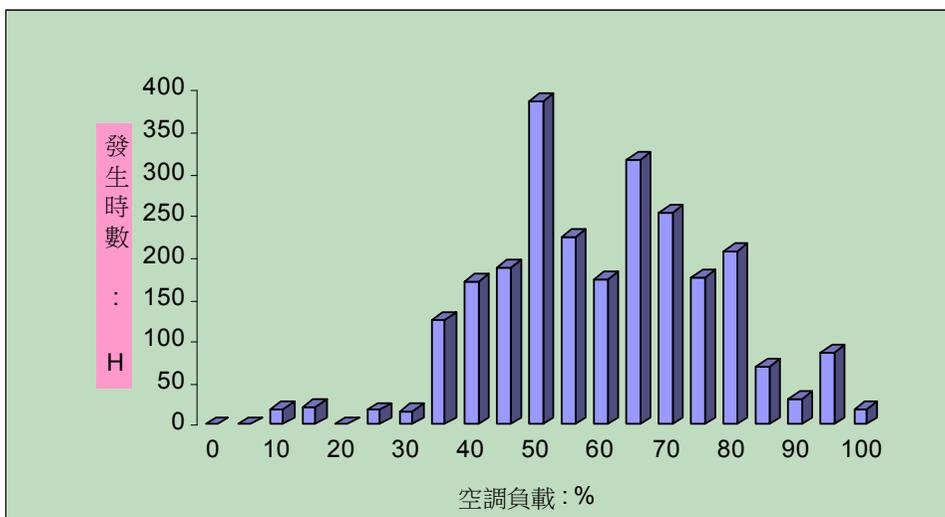


圖 9-1 某建築在一年內各空調負載率之統計時數

1-1 變流量與定流量之比較

定流量(Constant Water Volume，簡稱 CWV)系統便是上述無論空調負載如何變化，泵設備皆全速運轉之系統，主要是以三通閥來改變流經盤管之流量，當負載低時將旁通量提高以減少流經盤管之水量，降低冷卻能力來因應負載變化，如圖 9-2 所示。如此，泵設備所搬運之總水量不會因負載降低而改變，所耗費的能量也不會減少，這種設計只能調節負載端之冷房能力，

但無法節約能源。而可變流量系統(Variable Water Volume，簡稱VWV)是指水流量可因應空調負載變化而改變，並以控制閥減少水流量而實際達到泵設備節能之目的。

簡要的說，定流量系統是採一定水量的泵浦控制方式，以三通閥與旁通管路改變流經負載端的水量，來因應部分負荷的情況；而變流量系統以一定的水溫供應室內空調需求，並採二通閥配合變頻器來改變冰水之送水量。與定流量系統相比，可降低泵浦輸送之動力，並達到節約能源的效果。

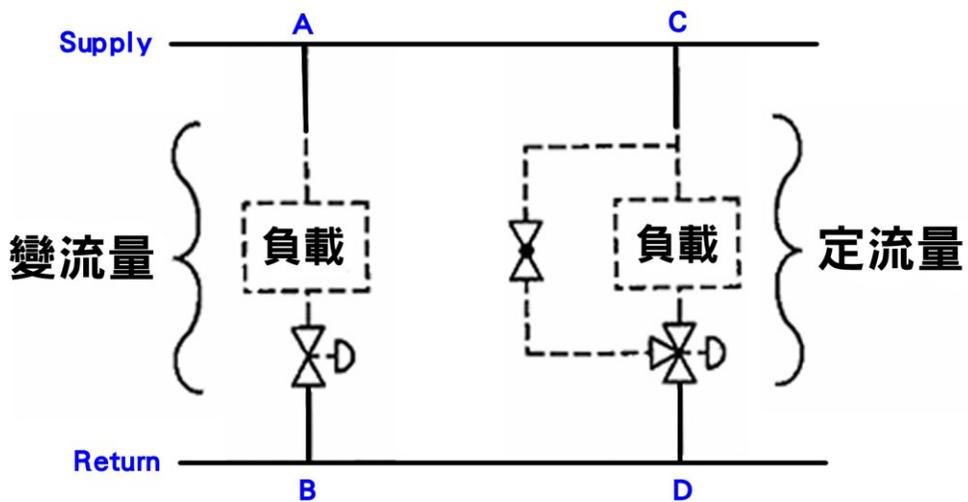


圖 9-2 定流量與變流量系統比較示意圖

1-2 流量與泵耗電分析

依照風扇定律(Fan Affinity Laws)流量率 Q 、揚程 H ，以及制動馬力 BHP

之間的關係如下：

(1) $Q_1/Q_2=N_1/N_2$, 水量與轉速成正比

(2) $H_1/H_2=(N_1/N_2)^2$, 揚程與轉速平方成正比

(3) $BHP_1/BHP_2=(N_1/N_2)^3$, 制動馬力與轉速三次方成正比

一般而言，每一冷凍噸(RT)分別需要 10 LPM (Liter/Min)及 13 LPM 之冰水與冷卻水的流量，此流量值根據 5°C 之水溫差估算得之；而冰水機壓頭損約 6m 水柱，200m 等效長度管路壓頭損約 8m，共 14m。以泵馬達總效率以 50% 計算，需耗電約 46W，綜合冰水與冷卻水，每 RT 之泵耗電將超過 100W。

若採用可變流量系統，便可降低泵的轉速及降低揚程與流量，更可大量的降低泵之耗電量，依照風扇定律，流量與耗電成 3 次方正比的關係。由圖 9-3 可看出當流量下降至 80% 時耗電量可下降至 50%，省能的效益是非常可觀的，且變頻器直接驅動控制泵的馬達，可以很精確平順地控制馬達轉速，同時減少能量損失。

泵流量與耗電量關係圖

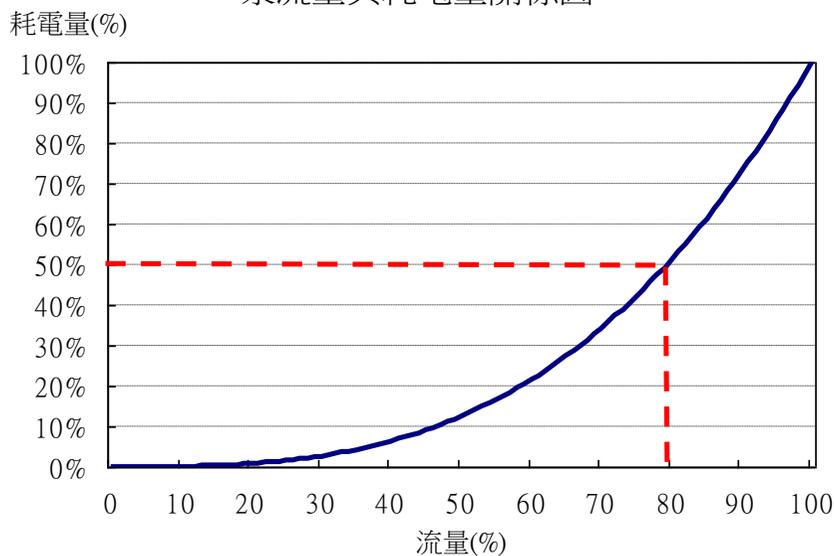


圖 9-3 泵耗電量與流量之關係

在一般空調系統中，冰水之送回水溫差為 5°C ，此時若能將溫差提昇至 10°C ，如利用儲冰系統之冷能，便能減少送水量，進而減少泵運轉之耗能，此所謂低溫送水系統設計。以一儲冰系統如圖 9-4 為例，在白天融冰時將製冰機組作為空調機使用，冰水經空調機作一次冷卻後再流至儲冰系統，如此可供應更低溫之冰水，水溫差便可設計高於 5°C ，甚至到 10°C 。如此冰水流量就可以降低至一半，而節約大量的泵耗電。

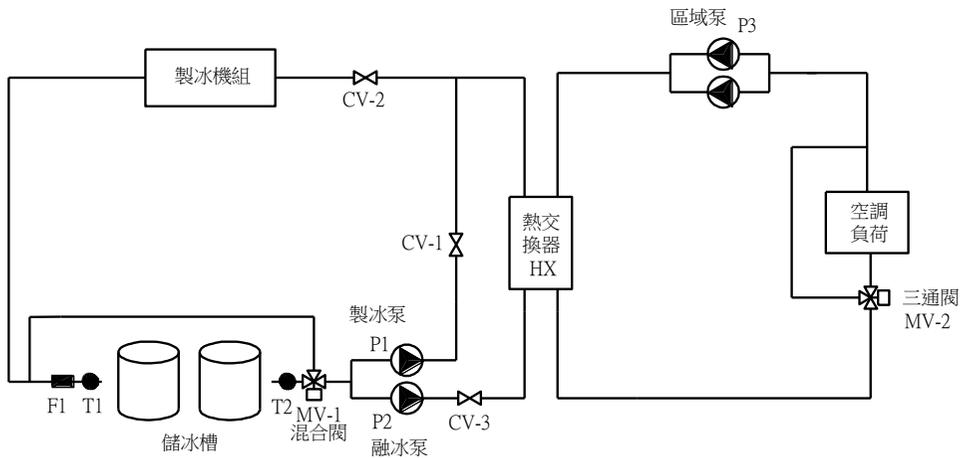


圖 9-4 空調主機與儲冰系統串連之低溫送水系統示意圖

1-3 冰水側主次系統介紹

所謂主次系統(Primary-Secondary System)，是在冰水側使用一種達到「流力分離，熱力耦合」的冰水系統，這種系統也被稱為「Decouple System」(如圖 9-5)。一次側迴路 (Primary Loop) 為冰水主機及機房內之水路循環系統，各主機有一個主機泵負責定量送水，其總循環量為開啟主機水量之總和。主機之開啟依負載而定，負載小時減少主機開啟台數，由於一次側送水距離短，且送水量會隨主機開啟台數變化，耗能較小。

二次側迴路 (Secondary Loop) 主要是從冰水機房出去之後到現場負載的管路，二次側泵馬力較大，因為它們必須克服二次側管路、配件、閥、熱交換器盤管和一些相關的摩擦損失，為管路系統主要耗能的地方，一次側、二次側之介面皆以共通管 (Common Pipe) 為調節兩邊流量的管道；負載單元(如空調箱)則以二通閥控制流量。若為可變流量系統，二次側迴路之泵送便可因應負載需求改變送水量而節約能源。

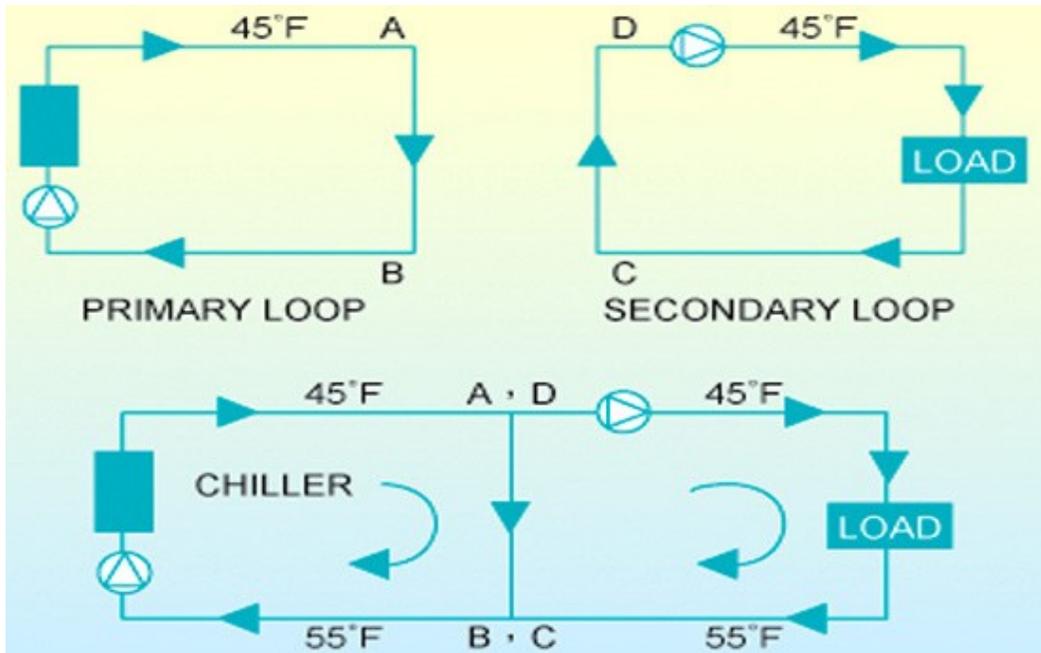


圖 9-5 一次側/二次側可變流量冰水系統

(來源資料：http://www.ecct.org.tw/print/53_3.htm)

1-4 冷卻水系統之流量控制

冷卻水塔或其他的冷卻設備之冷卻能力通常以冷凍噸(tons)來計算。1 英制冷凍噸 (1RT) 的定義是將 1 噸 (2000lb), 32°F 的冰 (冰的融解熱為 144 BTU/lb), 在 24 小時內融解成 32°F 的水時所吸收的熱量(2000lb×144 BTU/lb ÷24Hr = 12000 BTU/Hr)。

要了解冷卻水塔如何減少其用水量之前，必須先了解冷卻水塔是如何運轉。在冷卻水塔中，溫水被噴灑經過空氣流，造成部份水量之蒸發，水溫因此而降低。水滴在空氣流中，經由輻射(radiation)、傳導(conduction)、對流

(convection)及大部份由蒸發(evaporation)的方式將熱從水塔中帶出。

當水份蒸發時，它必須從液相變成氣相，這種不同相之變化所需能量正好可由溫水中之熱能來提供。這種散熱之程序與人體本身之散熱功能非常相似。這種能量被稱為潛熱(latent heat)。另外有些熱量，有時可能高達總熱量的三分之一，是靠傳導與對流的方式將熱量散去。此種方式的散熱量，取決於水及空氣的溫度差。至於以輻射方式所散失的熱量很小，往往可被忽略。

在提升冷卻水塔的運轉效率方面，需考慮以下設計要點：

1. 多台冷卻水塔並聯運轉時，水量必須平均分配至各水塔。
2. 冷卻水塔的座落位置應留有足夠的空間，使得空氣可自由地進入冷卻水塔；同時排出的濕熱空氣應避免被抽回進風口。
3. 冷卻水塔並聯運轉，且設定之冷卻水溫應隨外氣濕球溫度重置(Reset)。
在中或大的系統冰水主機台數偏多，使得搭配之冷卻水塔台數亦多，而冷卻水溫度每降低 1°C，約可節省 1.5%~2%耗電，因此，冷卻水入口溫度應在符合冰水主機特性及外氣濕球溫度的限制下，儘可能地降低來節約冰水主機用電。
4. 經常檢視灑水管灑水情形是否正常均勻，從四面進入水塔內的空氣是否平均，塔內散熱材有無受損引起水流氣流不平均，及塔側上方檢視孔蓋是否脫落。
5. 減少冷卻水循環量，可降低冷卻水泵耗電量。以往在決定冰水流量時會取冰水主機冷凍噸數的 10 倍(亦即 IRT=10 Lpm)，而冷卻水量則是冰水量的 13 倍(亦即 IRT=13 Lpm)，這是以 5°C 之設計溫差為準之參考流量倍率。一般冷卻水塔合理的設定溫度為 3°C，避免因設定溫度過低而消

耗太多的冷卻水塔耗電。

6. 冷卻水溫不可以無限制地降低，最低設定溫度應配合冰水機之設定參數。若能配合冰水機與冷卻水塔選擇較大溫差之設計時，水流量即可降低，因而減少冷卻水泵之初設費用及運轉費用。

1-5 冷卻水塔之效率與座落位置

冷卻水塔的座落位置應注意以下幾點，以圖 9-6 ~ 9-8 說明之，圖取自 Energy Efficiency Manual。

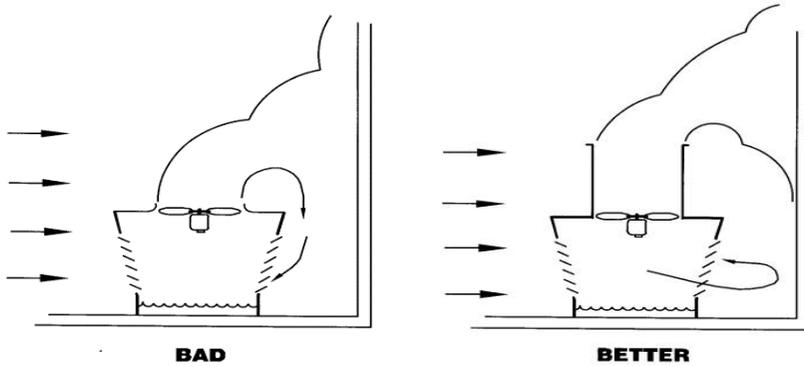


圖 9-6 提高排熱氣高度減少氣流短路

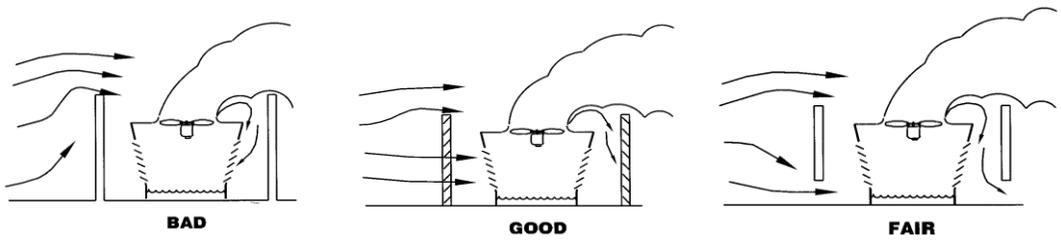


圖 9-7 避免進氣受阻

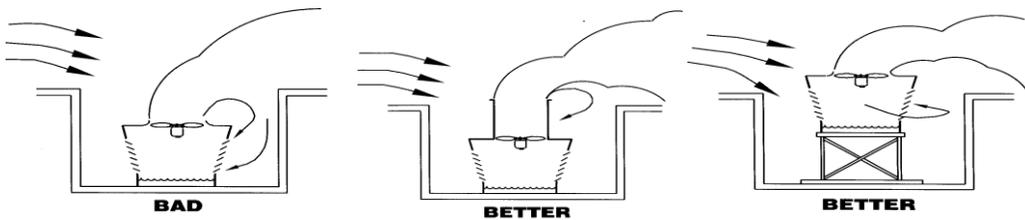


圖 9-8 必要時墊高冷卻水塔，但要注意地震與颱風的影響

1-6 變頻器之使用

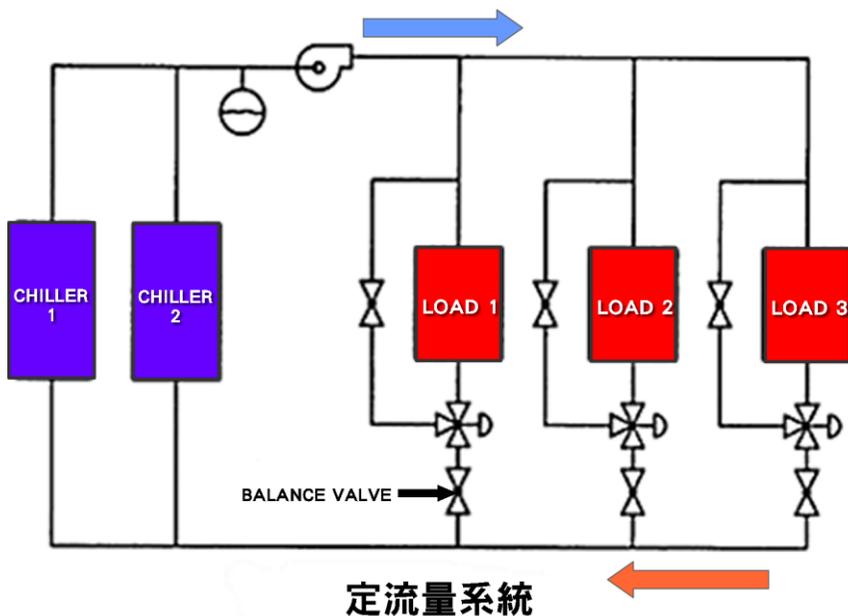
現今皆普遍使用變頻器應用於可變流量之設計上，其節能之優點如下：

1. 較低的維護成本，變頻器只需基本維護。
2. 變頻器之轉換效率高，皆可在 95%以上。
3. 具工程改善之便利性，可附裝於現有之泵浦設備。
4. 可遠端遙控，控制簡便。
5. 維護變頻器時，可旁路控制，不影響系統基本功能。

因耗電與流量成三次方之變化，在送水量降至 50%時耗電可降至 20% 以下。但變頻器不宜過低負載，當負載過低時馬達效率亦降低，將產生變頻器效率下降及散熱不良等問題。

2-1 二次側變流量系統(Primary/Secondary System)

空調系統皆將主機與負載側之送水系統分開控制，其控制介面為一個共同管(Common Pipe)，如圖 9-9 之變流量系統所示。共同管之左側為主迴路(Primary Loop)，為空調主機機房內之水循環系統，各主機有一個泵浦負責送水(定量)，故其總循環量為開啟主機水量之總和，主機之開啟台數依負載而定，負載大時開啟之主機多，負載小時便減少主機之開啟數量。



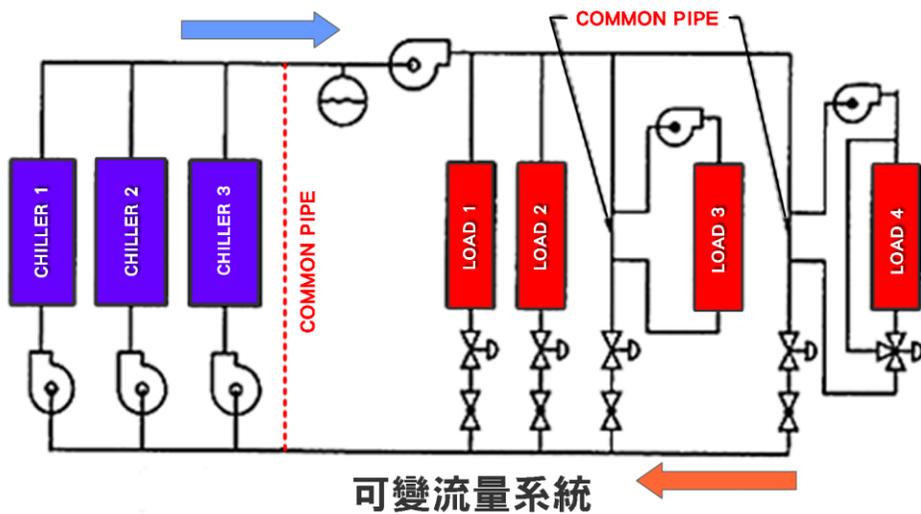


圖 9-9 可變流量與定流量系統之比較

主機側之送水距離短，且送水量隨主機之開啟數變化，耗能較小。在負載側方面，送水系統(或稱二次迴路，Secondary Loop)亦需有泵浦作為動力運輸，因送水之距離長，為送水系統之主要耗能之處，亦是可變流量系統主要節能之處。

二次側變流量系統之控制操作原理如下：

1. 可用水壓(或溫度)控制二次側之送水量，如負載低時減少開啟泵之數量，

或用變頻技術調節送水量，節約泵浦輸送之耗能。

2. 負載處(如風機盤管)以二通閥控制流量，不需旁通管路，二通閥之開度依盤管之出水水溫作比例控制，當閥關小時水流阻力加大，經控制系統降低二次泵送水量，並達到節能效果。
3. 當二次側之冰水需求量減少時，多餘之冰水經共同管流回主機。流經共同管旁通之水量一旦變多時，流回主機之水溫則會降低，此時主機便依需求減少開啟台數，減少一次側之水循環量。
4. 當負載需求變大時，二次側系統就會有一部份回水經共同管反向流到供應側，如此會提高供應冰水之溫度，並啟動多台空調主機，以補充空調冷房能力。

上述之可變水量(VVV)系統，流量與泵耗電成三次方正比之關係，可節約近一半冰水搬運耗能，而主機側與空氣側之供水動力以共通管區隔，避免相互影響，且主機側水泵須依主機開啟台數控制，使循環水量在額定範圍內。若系統具有一台以上冰水機，當一台冰水機關閉時，則必須自動減少相對的冰水機流量。

採用二通閥的二次負載迴路，如圖 9-10 所示，以二通閥取代三通閥，由一控制器決定二通閥之開度。假設圖中二次迴路的設計流量為 100 Gpm，假設供水溫度 $t_s = t_p$ (一次水溫度)，在全負載下平衡時 A 處 T 型管路進來的設計流量，會被二次泵全吸走，因而在共通管中無流通。在 B 處也一樣，冰水將離開二次迴路後流經二通閥進入主回水路。當部份負載時，流過管盤流量假設為 60 Gpm，此時只有 60 Gpm 會從 A 點的 T 型管流入且流至泵浦，其餘經共通管流至 B 處，其溫度控制器在 C 處，主要用途為固定盤管兩端之溫差。

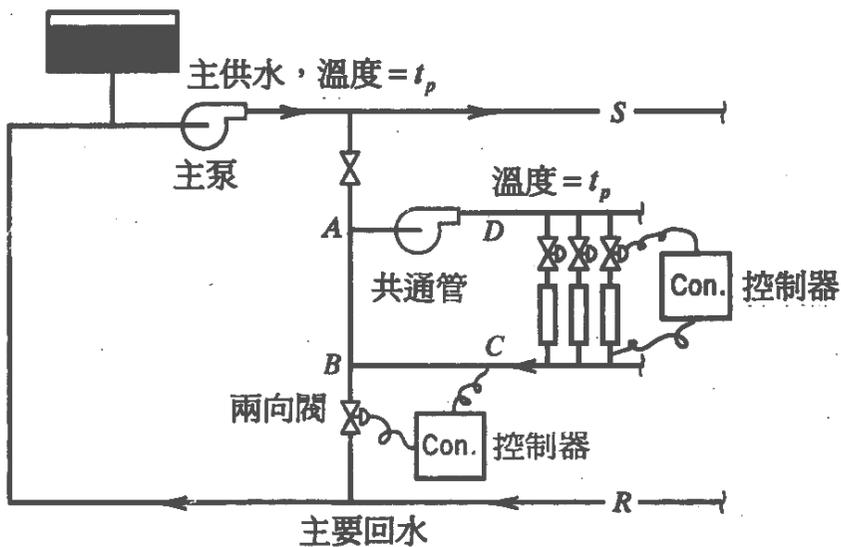


圖 9-10 溫控設備之二次負載迴路圖

主供水迴路水溫 t_p 通常低於二次回路所需的溫度 t_s 。在這種情形下，溫度感測器將自 C 處移至 D 處，此設置將可將部分二次側冰水流入共通管，且在 A 處混合造成 D 處的溫度為 t_s ，可達到控制二次供水溫度之目的。

2-2 一次側變流量設計(Variable Primary Flow)

較小的空調系統不適用 Primary/Secondary 設計，因管路較短，由主機泵送水較為節能，以避免過於複雜之設計，但通過空調主機之流量關係到主機內之流場特性及熱傳問題，故考量通過主機之最低流量，如圖 9-11 所示，其控制之要點為：

1. 送水量由二通閥控制，以達到變流量之目的，但二通閥之開度不宜太低。
2. 當二通閥開度改變時會造成系統壓差(ΔP)產生變化，而系統 ΔP 則控制泵之轉速，並與泵轉速之二次方成正比，當 ΔP 不足時便提升泵轉速，以維持系統於適當之 ΔP 範圍內。
3. 由溫差(ΔT)控制冰水機之負載，主機依出廠設定值提供適當之 ΔT 。
4. 當空調負載降低時，盤管之二通閥開度變小，此時使 ΔP 上升，但若流量

已達最小值無法再降低流量時，調變控制閥便負起旁通之功能，使部份供水經旁通管流回主機，亦可用一流量計作為控制旁通量用。

5. 一般而言，流經主機之流量不宜降至全載之 60% 以下。

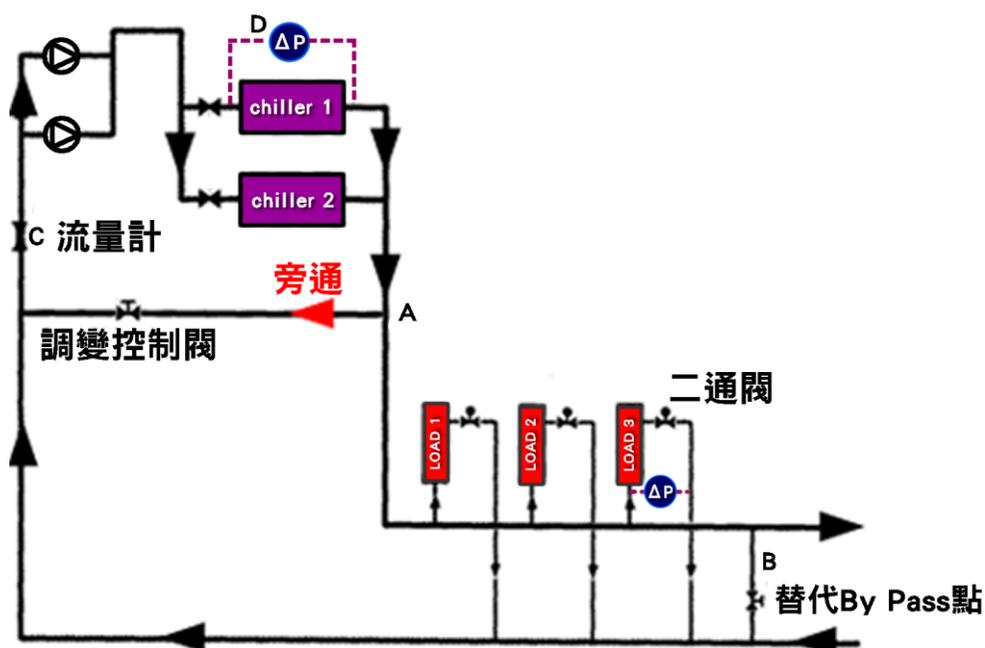


圖 9-11 一次側變流量系統

2-3 冷卻水之變流量

冷卻水變水流量系統為較新之節能技術，雖可將冷卻水溫差設計在 5°C，但冷卻水溫低有助於提升空調主機之效率。一般而言，空調主機製造廠皆有設定其產品可接受之最低冷卻水溫，當溫度過低時可採變風扇轉速設

計以節約泵耗電。圖 9-12 為驅動冷卻水塔風機變轉速之控制示意圖，兩組冷卻水塔並聯運轉，並由冷卻水送水溫度回餽至變頻器以控制冷卻水塔風車轉速，如此可獲得較低之冷卻水溫，並提升空調主機之效率；然如於冬季外氣溫度較低或系統處於部份負載時，便可依冷卻水回水溫度比例調降將冷卻水塔之風機轉速，以節約能源。

冷卻水塔通常會設計備用容量，以防止故障維修時大樓之空調可正常運轉。而冷卻水塔之散熱能力與風機之風量大致呈正比關係，如果讓所有冷卻水塔連同備用水塔同時一起運轉，在相同負載下每個冷卻水塔的風量便可減少，根據風車定律每一水塔的風車耗電量也會隨風量的三次方減少，而達到節能效果。

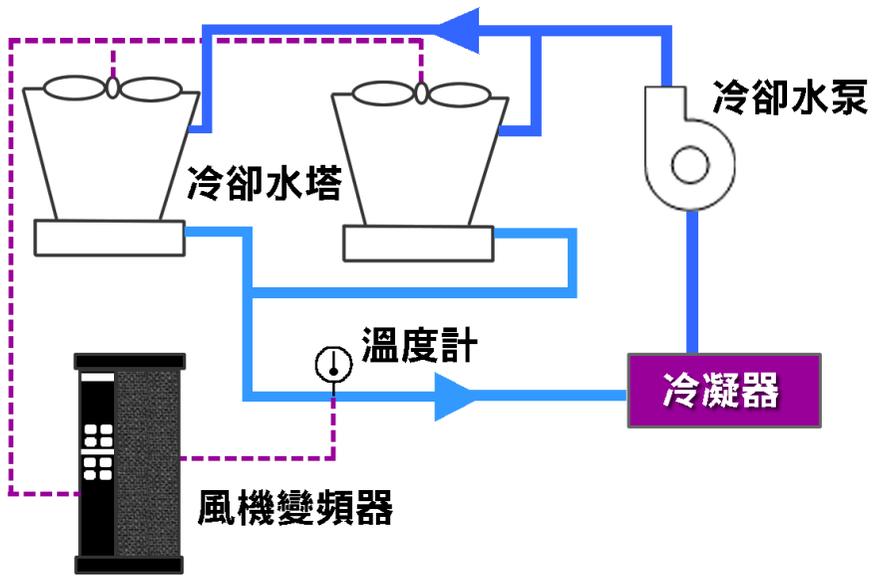
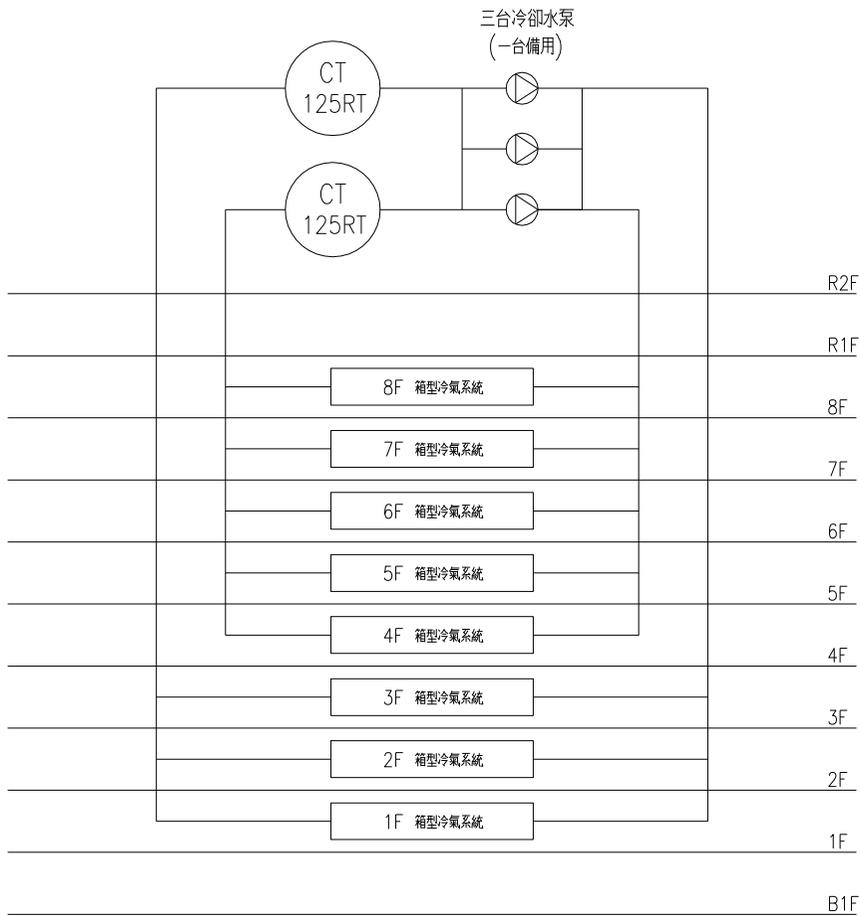


圖 9-12 冷卻水塔風機變轉速控制示意圖

當一冷卻水塔用於多台箱型冷氣機時，由於會有部份箱型冷氣機沒啟用，而使冷卻水塔經常處於部份負載，全流量運轉將會浪費能源。如圖 9-13 為例，可設計旁通管路，冷卻水只流入已啟動之箱型冷氣，如此只需在每層樓管路維持足夠之水壓，冷卻水泵只需改變轉速便可因應不同負載需求，以節約泵浦用電。



備註：箱型機在1~3F系統約有17台，而在4~7F系統約有14台。

圖 9-13 冷卻水塔用於多台箱型冷氣機

以下為冷卻水塔變流量之設計要點：

1. 控制水泵轉速以保持流量需求，可使用流量計量測水流量以確保有足夠的流量。

2. 降低冷卻水設定溫度會增加冷卻水塔風機的負荷，只有當負荷降低至冷卻水塔風機停止時，才能控制水泵轉速以回水溫度控制冷卻水溫。
3. 風機變頻器為優先之控制，並利用 PID 控制器確保最佳的流量，設定點可儲存於變頻器並自動控制風機轉速，以適應不同的環境條件。

3-1 案例背景與系統介紹

本案例為地下 2 層,地上 18 層之辦公大樓,總樓地板面積約 50,300 m²,地下二樓為機電空調機房及休息區,為一 RC 結構之建築。其空調設備狀況如下:

1. 使用分量儲冰系統,利用夜間離峰時間製冰,平衡尖峰負載用電。
2. 設置離心式滷水主機 730USRT 二組並聯運轉,冷媒為 R-11 非環保冷媒;滷水主機現況老舊耗電,效率不佳,且設備零件及冷媒充填取得不易且價格高昂。
3. 於白天融冰模式時,進水、出水溫分別為 4.4°C、10°C,溫差為 5.6°C;夜間製冰時進水、出水溫分別為-0.3°C、-3.9°C,溫差為 4.2°C。
4. 熱交換器系統設置兩組板式串聯設備,流體採一次滷水(4.4°C→10°C, 12,795Lpm)/二次冰水(11.1°C→5.6°C, 12,151 Lpm)設計;但熱交換設備已老舊且效率不佳。
5. 具七組儲冰槽,但儲冰系統儲冰率及釋冰率皆不佳的狀況下導致系統製

冷能力不足，於夏季時則明顯影響大樓室內空調環境。



既設 730RT 滷水機設備



既設滷水主機設備



既設空調滷水泵



既設空調二次冰水泵



既設滷水↔冰水熱交換器



既設儲冰槽



既設工業型冷卻水塔



既設冷卻水泵

3-2 改善方法與目的

1. 拆除失效之儲冰系統，並修改相關管路以建立 P/S 冰水管路系統及二次冰水泵之變頻設備，同時檢討現場二次系統變水量之運轉控制策略，配合負載側二通閥改變冰水流量，以達節能效果。
2. 原滷水主機修改為冰水主機，新主機之冷凍能力、水泵流量揚程及空氣側終端箱負載空調能力，均配合流體特性及使用溫度不同重新計算。改善後之冰水進出溫度修正為 5.6°C 及 11.1°C，
3. 新設 400USRT 及 200USRT 高效能冰水主機兩組，配合空調負載變化進行台數控制，以提高冰水主機群整體運轉效率，冰水主機效率均符合經濟部能源局 94 年公告標準並使用 R-134A 環保冷媒。
4. 重新計算二次冰水泵低負載運轉策略，並設置低容量水泵以提昇整體運轉效率。
5. 廢除儲冰設備後，將原系統所使用之滷水(25%乙二醇)妥善回收處理。

3-3 改善二次泵效益分析

本案例改採可變流量系統控制水泵轉速，系統設置了壓差感測器以量測並監視負載端的進口與出口的壓力差。當負載需求變小，盤管溫度降低至設定溫度時，管路中的二通閥控制將冰水流量關小，系統的壓力則會上升，當系統壓差值與設定值不同時，水泵的轉速將視壓差自動調整使負載端保持在設定的壓差值，如實際壓差值高於設定值時，則控制器會控制水泵降低轉速直至實際壓差值與設定值保持一致，若實際壓差值與設定值一致時則轉速會保持不變。

依照上述分析二次泵運轉模式，記錄某日二次冰水泵運轉狀況如下：

表 9-1 超音波流量計之量測數據表

頻率	SCHP-3		SCHP-4	
	超音波測試		超音波測試	
HZ	LPM	GPM	LPM	GPM
60	6698	1770	3280	867
55	6153	1626	3013	796
50	5609	1482	2736	723
45	5060	1337	2459	650
40	4505	1190	2165	572
35	4035	1007	1915	506
30	3942	876	1659	438

二次泵增設變頻器運轉流量曲線

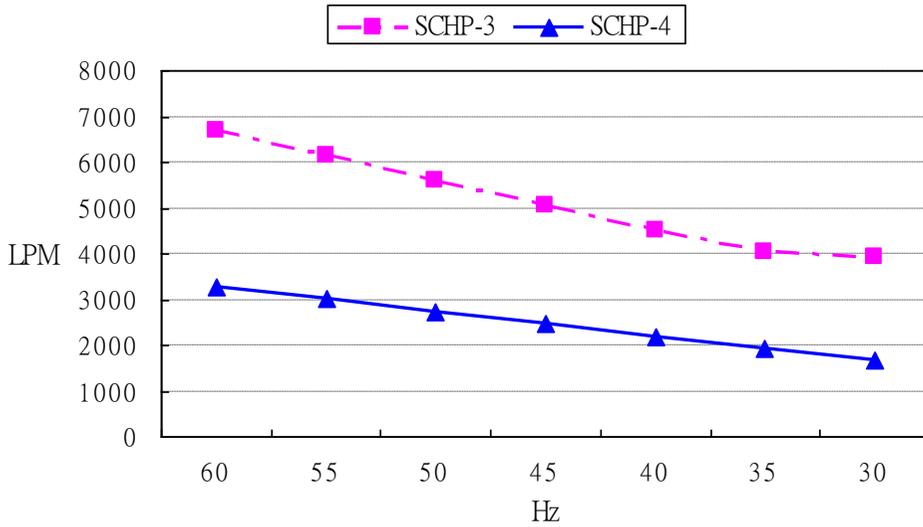


圖 9-14 二次泵增設變頻運轉頻率與流量曲線圖

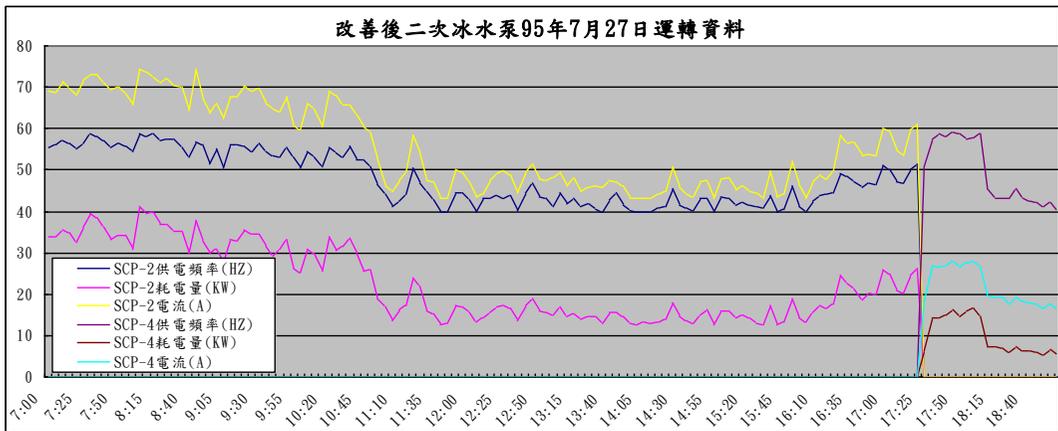


圖 9-15 改善後二次泵運轉逐時耗電量曲線圖

可變水量系統透過變頻器，依空調負載需求無段調變冰水流量，來降低馬達運轉耗電量，其節能效益約有 20%；另搭配建築物能源管理系統(BEMS)更可有效監控系統運轉，達到管理能源使用之目的。

第十章、建築能源管理系統

1 建築能源管理系統定義

根據國際能源總署(IEA)對於「建築能源管理系統」(Building Energy Management System , 簡稱 BEMS) 之定義為：建築能源管理系統係為電力控制及監測之系統，該系統應具有可在控制點(監測點) 及終端操作設備間進行資料傳訊之能力，並整合所有建築之控制及管理功能，包含空調系統(HVAC)、照明系統、消防系統、保全系統、維修管理系統及能源管理系統(如下圖 10-1 BEMS 之示意圖所示)。

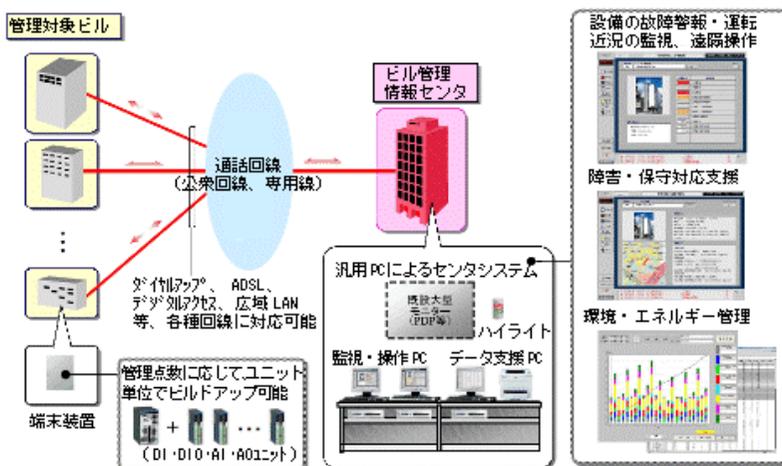


圖 10-1 BEMS 之示意圖

(來源資料：<http://www.okiwintech.co.jp/solution/EEE/manage.html>)

建築物內的所有設備通常都需要控制，如最簡單的燈具開關，就具有能源管理的意義。近年來，BEMS 已廣泛應用在大型建築物內，且相關的附屬硬體也有很大的進步，如邏輯運算控制、感測器、通訊設備、網路頻寬及通訊協定等。由於 BEMS 系統結合所有建築物之控制及管理功能，故為資訊溝通之重要角色，於中央終端設備接收各建築設備運轉現況，或物理環境等資訊後，再經程式邏輯運算，便可將控制指令傳送到遠端之驅動器以控制相關設備，使設備運轉及環境物理條件達到最佳化的狀態，來提高能源使用效率。同時，BEMS 也具備歷史資料查詢功能，可自動計算能源使用結果，並輸出圖形化之報表，例如耗能量之趨勢圖、耗能比例圓餅圖、警示紀錄等。



BEMS 之功能與效益

BEMS 應具有以下之功能：

1. 設備自動開關或自動起停控制
2. 設備系統運轉最佳化控制，例如：冰水主機可根據建築熱負荷進行自動

加卸載與台數控制、鍋爐加熱設備定時自動控制

3. 設備系統運轉及建築環境等狀況之監測與紀錄
4. 提供能源管理資訊
5. 電力負載管理
6. 遠端監測及控制

建築物採用 BEMS 後將具有如下之效益：

1. 可最佳化系統運轉現況並增加能源使用效率
2. 提升建築環境之健康與舒適條件
3. 提升建築設備之驗收、確效及設計之標準
4. 提升能源管理及設備維修水準，例如：提供能源流向、耗能及建築性能資料，以作為節能改善措施應用之評估與決策判斷
5. 改善消防、保全及其他緊急設備之運作機制
6. 更有效率之集中化管理

早期之 BEMS 多為封閉式通訊協定，各家設備廠商通訊協定不同，造成建築設備系統整合困難，並造成日後維修與擴增之困擾。由於 BEMS 整合了所有建築物之控制及管理功能，擔任資訊溝通之重要角色，因此建議採用開放架構式的通訊協定。而目前之開放式網路通訊架構如 TCP/IP(Transport Control Protocol/Internet Protocol)、BACnet(Building Automation and Control Networks)等。其中 BACnet 係由美國 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 針對建築自動化網路控制，所建立之開放式架構通訊協定標準，可提供一個共通的通訊平台並整合不同建築物自動化數位控制產品。自 1987 年開始，由製造商、用戶、政府機關、學術團體成立計劃委員會研擬後，於 1995 年公佈成為美國國家標準 ANSI/ASHRAE Standard 135-1995，並於 2003 年成為 ISO 編號 16484-5 的國際標準通訊協定。

此協定主要應用於監測和控制建築物內之冷、暖空調 (HVAC) 系統以及其它的各项數位控制設備，例如，照明、門禁管理、消防、保全等，並透過開放式的資料通訊架構完成系統整合的工作。由於建築節能工作必須由許

多的控制或監測設備相互配合，藉由各設備量測之資訊來進行節能之控制策略。

ANSI/ASHRAE Standard 135-1995 所提供的資料顯示，BACnet 是符合國際標準組織 ISO 的 OSI (Open System Interconnection) - 七層參考模型中的四層架構的簡化模型 (如圖 10-2 所示)，BACnet 四層通訊架構中除了應用層之外其它三層都是做為網路連結之用，因此網路層的作用為有關網路定址，資料鏈結層負責網路存取管理及錯誤檢查等工作，實體層則負責實體網路之連線，而應用層則提供各種控制指令及訊息交換的功能以取得 BACnet 網路上所流通的各種資訊。

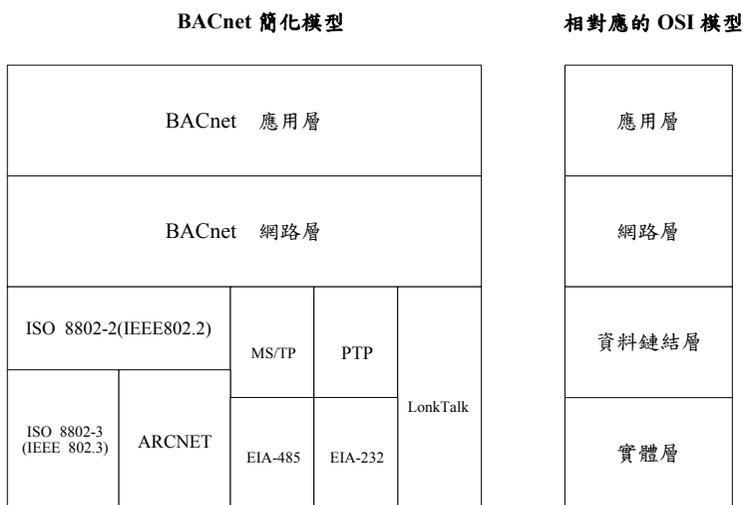


圖 10-2 BACnet 簡化模型對應 OSI 模型示意圖

圖 10-2 說明 BACnet 由資料鏈結層與實體層的組合提供了四種區域網路選擇及一個點對點 (PTP) 的網路連線方式，以上所述之資料鏈結層與實體層構成了 BACnet 五種網路型式，說明如表 10-1，其中以以太網路(Ethernet, ISO 8802-3)及點對點之網路連線方式應用最廣，本方針即利用此兩種網路連線方式應用在建築能源監測系統中，其餘網路連線方式可與現有網路系統架構搭配使用。

表 10-1 BACnet 所支援之五種底層傳輸協定

網路型式	實體層標準	實體媒介	傳輸速度	特性和應用方式
Ethernet	ISO 8802-3	同軸電纜、光纖、雙絞線	10-100Mbps	做主要傳輸骨幹
ARCnet	ATA/ANSI 878	同軸電纜、光纖、雙絞線	150k-7.5Mbps	做主要傳輸骨幹
MS/TP	EIA 485	雙絞線	9.6k-76kbs	低階控制器
PTP	EIA 232	Multiple conductor	9.6-56kbs	點對點
Lontalk		光纖、雙絞線、RF、	78kbs-	低階控制器、

		Power line	1.25Mbps	智慧型感應器
--	--	------------	----------	--------

1 BEMS 之能源監測介紹

對原無電力監測之建築電力系統,建議使用數位式電錶(如圖 10-3 所示)作監測與連線。數位式電錶為一種可拆式比流器 (Split-core CTs) 之裝置,優點為便於安裝於已架設完成之電力系統中,且可用 RS-485 網路標準連線,以工業上常用之 Modbus 通訊協定進行資料傳輸。其中電力監測資料輸出方面應包含三相電壓值(V)、三相電流值(A)、耗電量(kW)、伏安數(VA)、虛功量(VAR)及功率因數(PF)。

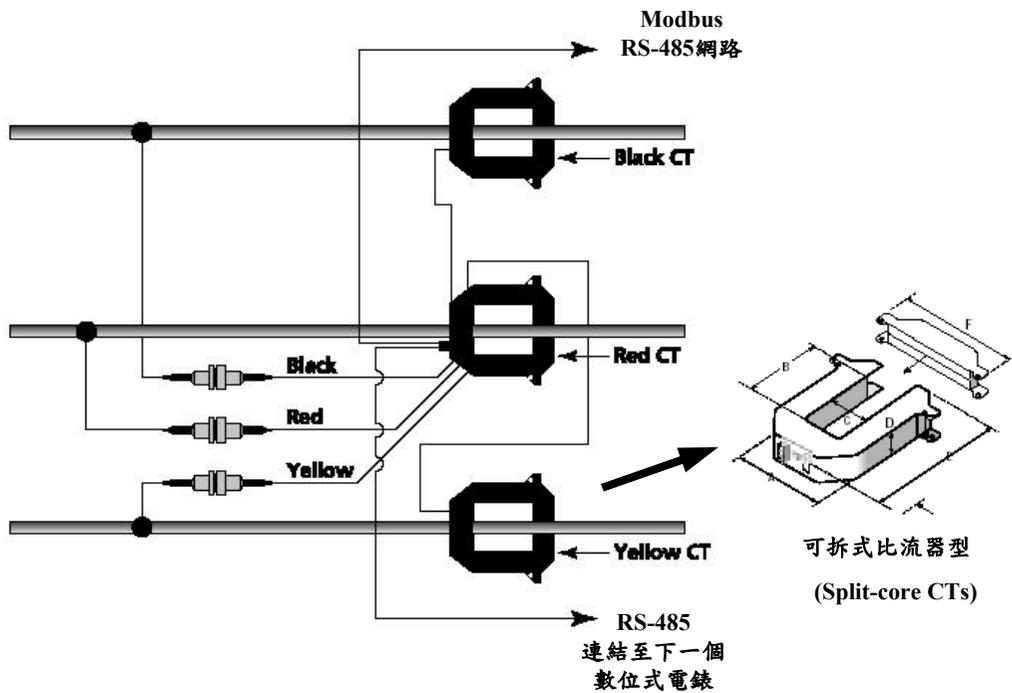


圖 10-3 可拆式比流器 (Split-core CTs) 型數位式電錶

4-1 BEMS 之能源監測系統與能源監測中心之架構設計

為了取得各項耗能資料，以數位式電錶裝置於建築物內各耗能項目之分電盤上，並以 RS-485 的連線方式串接所有電錶形成一個網路，數位式電錶最終端的雙絞線再與 BACnet 閘道器的 Modbus 連接埠連線，BACnet 閘道器再透過集線器 (Hub) 與監測電腦的網路卡連線，如此一來就可以將監測系統的硬體架構完成，如圖 10-4、圖 10-5 所示。

各監測點都具有開放式架構之 BACnet 網路系統，故遠端之能源監測中心即可利用 BACnet 強大之網路整合之能力，將分散各地的監測點之資料匯集至能源監測中心，若監測的建築物本身沒有網路系統，則選擇使用 BACnet 之 PTP 連線方式，透過數據機的撥接來完成遠端連線的工作，如圖 10-4 所示。若建築物內已具有一般泛用型之對外連線網路系統，則可以利用 BACnet 網路廣播管理裝置 (BACnet Broadcast Management Device, BBMD) 與遠端能源監測中心進行連線工作，如圖 10-5 所示。

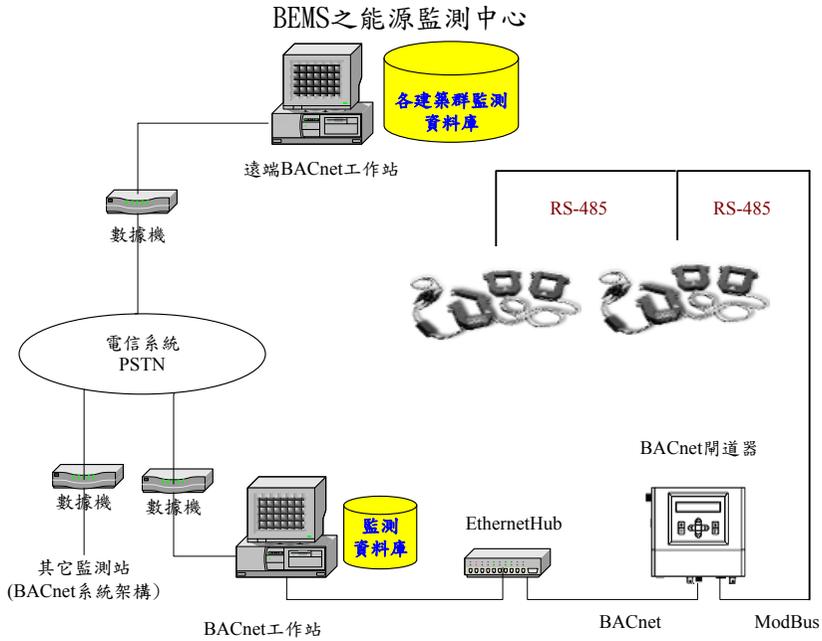


圖 10-4 以 BACnet 之 PTP 進行遠端連線

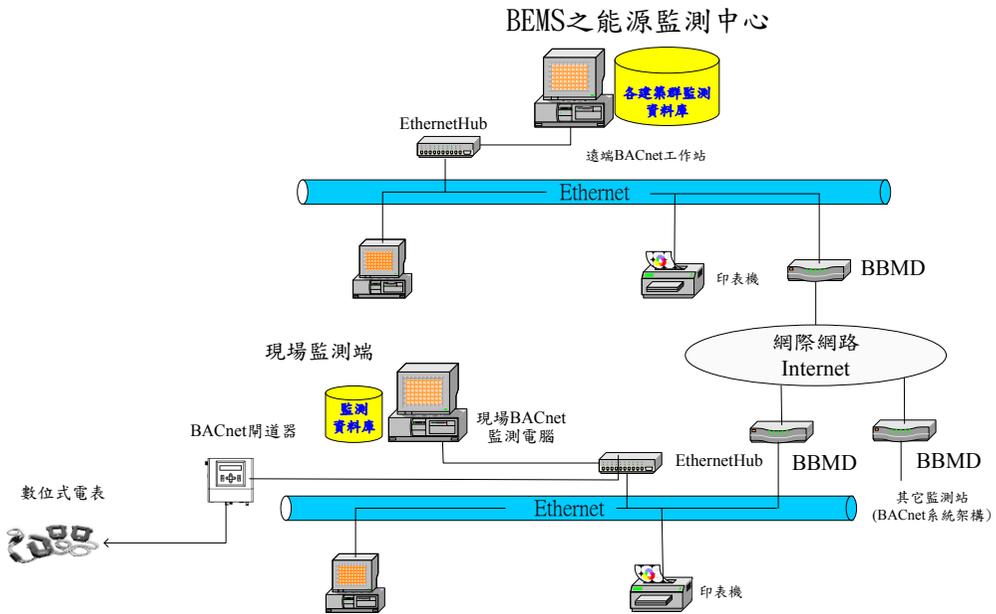


圖 10-5 以 BACnet 之 BBMD 進行遠端連線

4-2 BACnet 閘道器說明

能源監測工作必須要配合數位式電錶的使用才得以完成，但由於大多數之數位式電錶都沒有支援 BACnet 通訊協定，基於以開放式架構之通訊協定做為整合之前題，因此必須配合 BACnet 閘道器之使用，將數位式電錶整合至開放式架構之通訊網路系統中。數位式電錶通常採 Modbus 通訊協定，而 Modbus 是由 Modicon 公司所推出的一種通訊協定，由於協定內容相當簡單，因此在業界之數位式電錶或是其他控制設備都經常使用。

圖 10-6 說明 BACnet 閘道器中 BACnet 與 Modbus 通訊協定相互轉譯之傳遞流程，由於有關電錶的相關數值都包裹在 Modbus 應用層中，所以 BACnet 閘道器應用層會將包裹在 Modbus 通訊協定中的電錶相關資料分解出來再包裹成 BACnet 通訊格式的封包再透過網路的連線連結至 BACnet 的網路上。

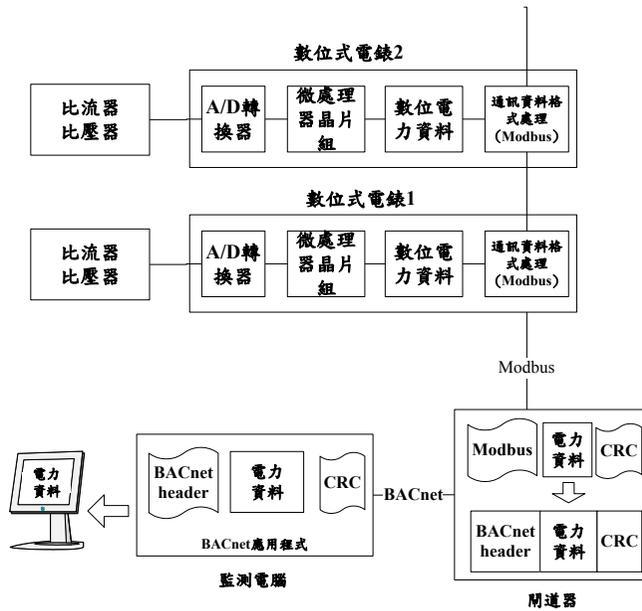


圖 10-6 兩組通訊協定的傳遞流程圖

圖 10-7 說明 BACnet 閘道器中 BACnet 及 Modbus 兩種通訊協定之網路架構相互對應之關係, 透過應用層將 Modbus 網路與 BACnet 網路加以整合, 因此, 若是電力系統監測站已裝設其它通訊型態 (非 BACnet 及 Modbus) 之數位式電錶, 亦可透過其數位式電錶與 BACnet 之網路通訊架構之比較設計其專屬之 BACnet 閘道器與 BACnet 系統整合。

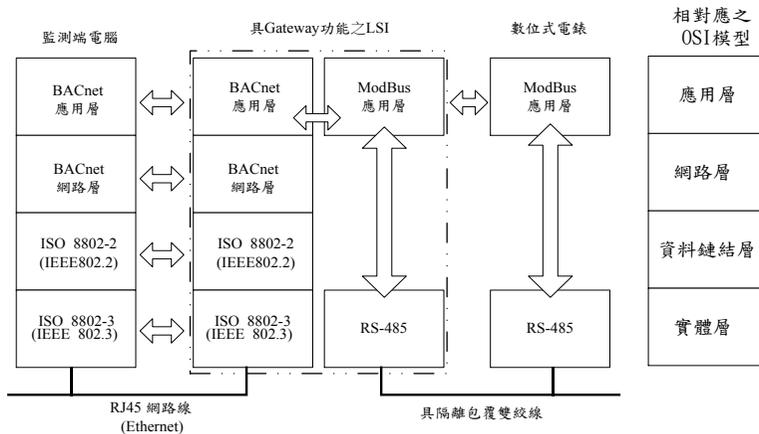


圖 10-7 兩種通訊協定之網路架構相互對應之關係

4-3 能源監測資料庫之規劃設計

能源監測工作必須長期且詳細地收集建築物內各項耗能資料，監測記錄建議以 1~5 分鐘紀錄一筆資料，並必須使用資料庫管理系統加以儲存才能有效管理監測所得之龐大資料，使其變成可分析利用的資訊。例如利用具資料庫管理功能之 Access 資料庫系統來彙整日積月累的數據，透過資料庫管理系統的查詢及計算功能，將所有耗能資料整理成有用之圖表資訊，圖 10-8 為各項設備耗能資料經資料庫管理系統彙整流程之範例。

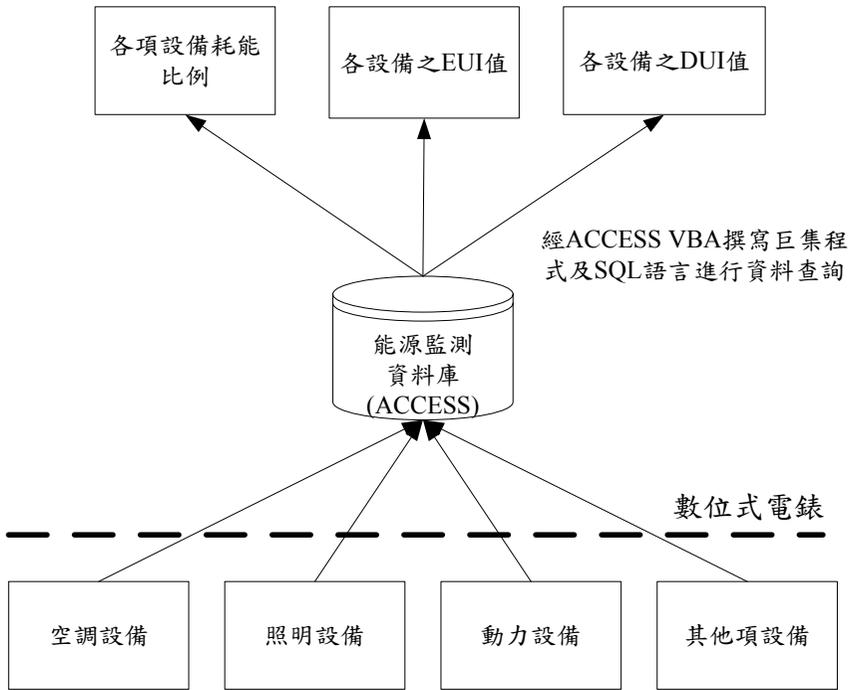


圖 10-8 Access 資料庫系統彙整耗能資料之流程圖範例

5-1 BEMS 之系統架構

BEMS 依建築規模大小不同,其功能有所差異,以採用 BACnet 之 BEMS 為例,一般之系統架構大致如圖 10-9 所示。各設備系統之監測與控制都具有開放式架構之 BACnet 網路系統, BEMS 終端管理中心即可利用 BACnet 具網路整合之能力,將分散各地的監測據點資料以 BACnet 的方式匯集至管理中心,經過電腦綜合運算判斷後,將控制訊號發送至遠端驅動器或直接數位控制器(DDC)。

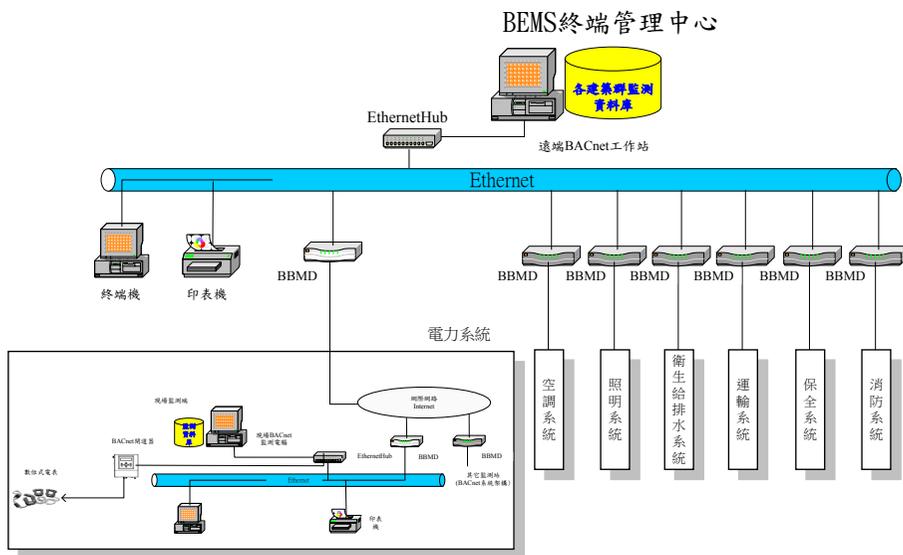


圖 10-9 BEMS 系統架構示意圖例

5-2 BEMS 之機能

BEMS 之功能如表 10-2 所示之內容。

表 10-2 BEMS 之機能

分類	管理機能項目	分類	管理機能項目
共通功能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 設備與環境狀態監視與紀錄 ■ 機器的動作異常故障監視 ■ 上下限監視 ■ 群組量測 ■ 日報作成 ■ 月報作成 ■ 個別遠方控制/群組遠方控制 	空調設備管理機能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 冷凍機台數控制 ■ 冷卻水塔台數控制 ■ 蓄熱運轉控制 ■ 送水幫浦台數控制 ■ 室內溫度控制 ■ 最佳起動時間決定控制 ■ 空調機器排程控制 ■ 送水溫度設定控制

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 操作/動作記錄 ■ 異常/故障記錄 ■ 資料記錄 ■ 維修資料收集 ■ 維修建議 ■ 運轉建議 ■ 耗能及能源流向分析 ■ 耗能及能源流向歷史紀錄 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 外氣冷房控制 ■ 最小外氣量控制 (CO₂) ■ 需求控制(地域冷暖房) ■ 空調機夜間運轉控制 ■ 風門控制 ■ 冷水溫水自動選擇控制 ■ 依風門調節壓力控制 ■ 室內溫濕度設定 ■ 變頻轉數控制 ■ 間歇運轉控制 ■ 負荷預測控制
--	--	--

			<ul style="list-style-type: none"> ■ 冷溫水混合損失防止控制 ■ 自然換氣控制 ■ 設定值排程管理 ■ 停車場換氣控制
<p>電力設備管理功能</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 照明控制 ■ 電力監視 ■ 電力需量控制 ■ 功率因素控制(無效電力控制) ■ 停電處理 ■ 發電運轉時負荷控制 	<p>給排水衛生設備管理機能</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 整體自來水管理 ■ 強制運轉管理 ■ 排水幫浦尖峰管理 ■ 連續運轉時間監視

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 復電處理 ■ 異常時負荷選擇遮斷處理 ■ 事故復歸處理 ■ 晝光利用照明點滅控制 ■ 變壓器台數控制 		
<p style="text-align: center;">保安全管理機能</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 保全設備電源排程控制 ■ 侵入者警戒監視 ■ 緊急出口控制 ■ 電氣鎖監視控制 ■ ITV 照相自動選擇控制 	<p style="text-align: center;">防災設備管理機能</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 火災發生確認 ■ 火災類型決定 ■ 防災設備的動作監視 ■ 空調機器停止控制 ■ 緊急廣播系統內容選擇控制 ■ 避難誘導控制

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 巡回監視/巡回計録 ■ 照明空調連動控制 ■ 電梯運轉監視控制 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 緊急強制運轉控制 ■ 緊急出口控制 ■ ITV 照相自動選擇控制 ■ 監視員教育訓練
<p style="text-align: center;">其他自動控制系統</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 維修零件庫存管理 ■ 費用自動計算 ■ 風量控制 ■ 自動檢查 ■ 付款通知單自動作成報表 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電梯控制 ■ 特殊動力排程控制 	

在我國綠建築評估系統當中，日常節能指標包含建築外殼節能評估指標 (EEV)、空調系統節能評估指標(EAC)及照明節能評估指標(EL)。EAC 指標具有空調節能技術優惠計算之公式，而在所有空調節能技術當中，BEMS 之優惠計算對於整體指標值具有全面之加權影響，因此 BEMS 常被業主列為優先採用之節能技術。BEMS 之功能完整性常因建築預算及建築規模而有所差異，因此在綠建築評估手冊當中，共分別列有三種不同優惠計分之 BEMS 類別，如表 10-3 所示。通常業主皆期盼以較高的 β_3 效率標準值，也就是 0.1，來獲得較為有利的 EAC 指標值，但是根據表前文關於 BEMS 之定義，較為完整之 BEMS 功能應該包含建築設備之監視、警報、耗電計測儀器、耗能計測儀器與效率計測儀器、監控管理、及具最佳化策略控制管理之邏輯策略判斷。因此，在綠建築送審之報告書當中，應針對不同效率指標值，參考前文關於系統架構、系統機能及監測儀器等原理說明，檢附表 10-3 所規定之送審設計圖說以茲審核。

表 10-3 空調節能技術之 BEMS 評估表

效率	效率標	送審設計圖說
----	-----	--------

	準值	
β ₃	0.03	監視、警報、計測儀器之系統流程說明
	0.05	監視、警報、耗電計測儀器、耗能計測儀器與效率計測之系統流程及監控管理說明
	0.1	監視、警報、耗電計測儀器、耗能計測儀器與效率計測儀器之系統流程及監控管理、具最佳化策略控制管理之邏輯策略判斷說明

7-1 案例背景與系統介紹

本案例位於屏東縣，為一地下 1 層，地上 7 層之醫院類建築，總樓地板面積約為 8,100m²。早期之契約容量為 650kW，但因該建築用電量年年增高，於夏季時常有超約受罰之紀錄，因此契約容量增加至 720kW。

建築主要用途可分為掛號門診、手術室、藥庫及大禮堂。其中 1 樓做為平時掛號門診及急診之用，使用人數約 200~350 人。2 樓為開刀手術用途，3~6 樓為病房用途，使用人數約 170~200 人。

7-2 問題描述及改善對策

問題描述：

- 水路一次側部分採用 7.5 馬力之泵浦 4 台，無二次側冰水泵及變頻設計，且部分泵浦已老舊，運轉效率不佳
- 冷卻水塔熱交換效率差，風扇無轉速控制

改善對策：

- 針對空調使用情形，作主機起停控制，並導入可變水量控制策略，以變頻泵浦調節冰水量並節省能源使用
- 導入建築能源管理系統(BEMS)，同時監測即時外氣溫濕度值，以調整冷卻水塔風扇轉速，並提散熱系統之運轉效率

能源監控管理系統工作的第一要步，即是取得各設備用電數據，以利分析耗能之原因，並針對問題點，利用管理控制之改善方式對症下藥，以節約能源使用。透過有效的能源監控管理系統及控制策略除了將耗能集中管理上的方便外，並能夠節省年平均超過 10%以上能源使用，達到節能的目標。

如圖 10-10、10-11 所示，為本次改善所增設之 BEMS 中央監控系統的空調昇位監視畫面，在本畫面中便包含了約 20 個數位控制器及感測器，並即時呈現空調系統之運轉現況，包括：1.各主機之冰水出水及回水溫度 2.主機目前之負載噸數 3.冰水出水水端及回水端之壓差 4.冷卻水及回水溫度 5.系統冰水流量等級各區域空調箱之運轉狀態等。

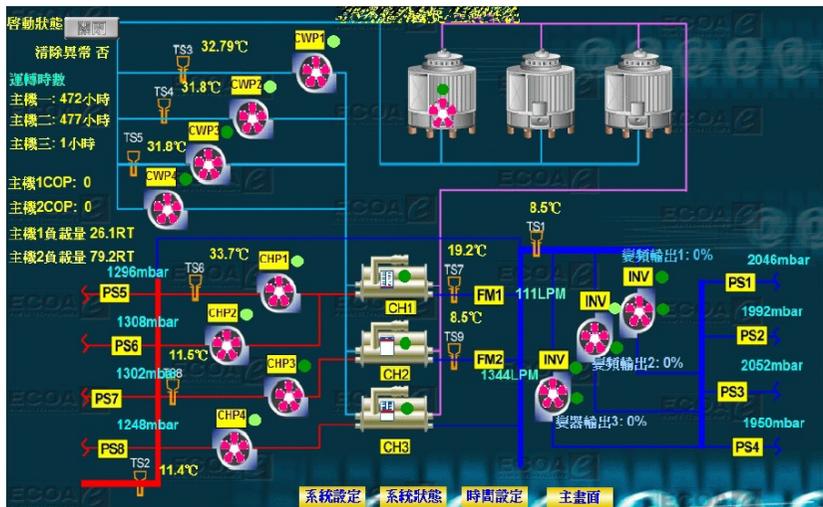


圖 10-10 空調系統昇位圖監控畫面

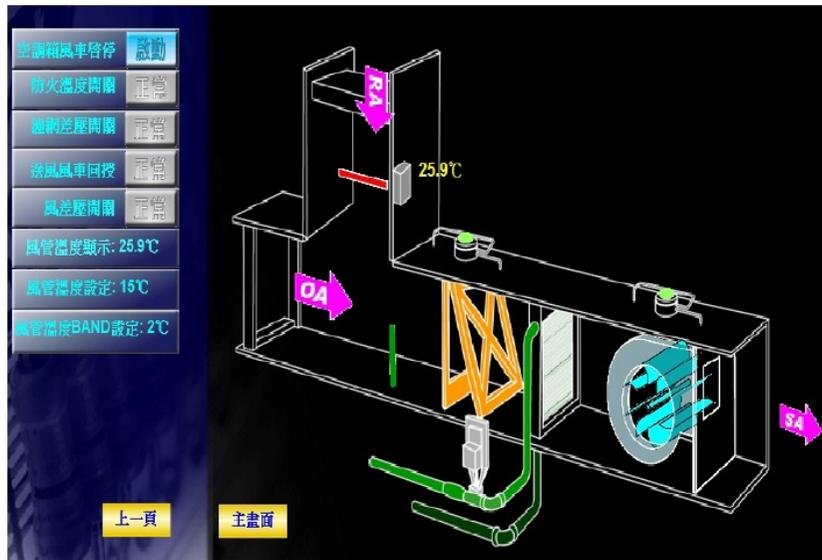


圖 10-11 空調箱狀態監控畫面

增設之 BEMS 系統可讓管理者於電腦前隨時進行監控外，也具備外部網路的連線功能，隨時都可藉由網際網路登入系統，以利遠端監視控制空調設備的運轉狀況(如圖 10-12 所示)，同時也具備歷史資料查詢功能，可選擇欲查詢之時間區段，分別以數據或圖形方式輸出呈現。圖 10-13 所示為空調系統各部之時間溫度趨勢圖，途中之曲線為系統每 15 分鐘紀錄一筆資料所構成，另建築用電資料也可透過歷史資料查詢而呈現，並整合印表機之列印功能，進行圖表紙本輸出。



圖 10-12 遠端監控之登入畫面

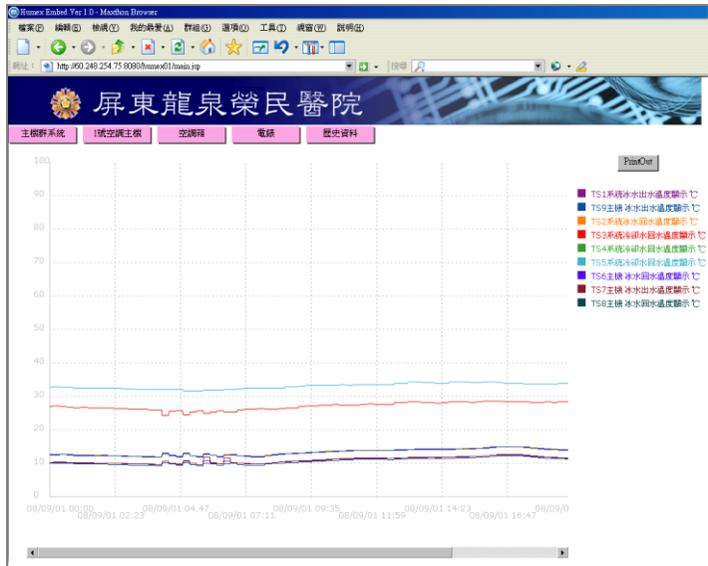


圖 10-13 空調系統之時間溫度趨勢圖

7-3 系統導入後成效分析

改善後所增設之 BEMS 系統，運轉已達一年以上，較改善前同月份期間之運轉相比較，如圖 10-14 所示，可節省約 16%之耗能，節省電量約 75kWh，相當於減少約 50kg 之 CO₂ 排放量。在全負載運轉時之單位用電密度(EUI)也較改善前明顯降低，如圖 10-15 所示，在相同全負荷運轉時間下，EUI 減少代表提高了能源使用之效率。

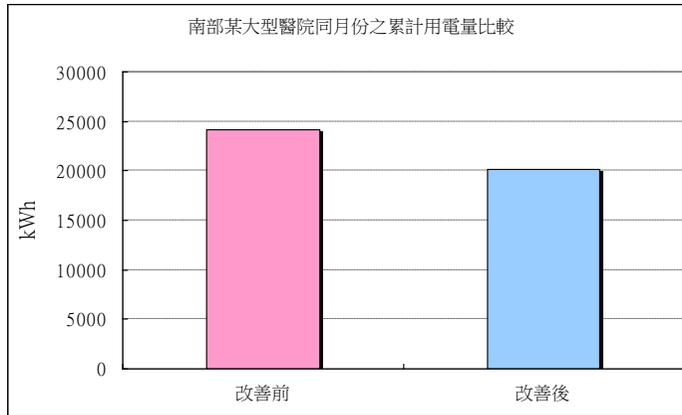
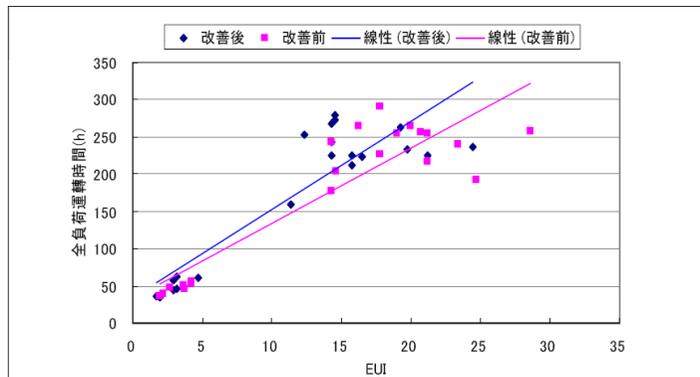


圖 10-14 改善前後系統耗能比較圖



10-15 改善前後系統 EUI 耗能趨勢比較圖

在節能減碳的精神下，BEMS 系統不僅本身具備有提高建築物能源使用效率之優點，在經濟效益上更具有回收年限快之優勢；相較於對空調設備進行大刀闊斧的汰換更新，BEMS 系統的導入不但可能具有較低的投資成本，也免除了設備長期的維護保養經費甚至折舊之成本。

國家圖書館出版品預行編目資料

綠空調實踐與應用=Application of the green HVAC concept

/楊冠雄主編.--臺北縣新店市：內政部建研所，民 97.08

120 面；26 公分

綠空調實踐與應用

編者：楊冠雄

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

出版年月：97 年 8 月

版 次：第一版

定 價：新台幣 250 元

展售處：政府出版品展售門市-五南文化廣場：台中市中區綠川東街 32 號 3
樓 (04)22210237

政府出版品展售門市-國家書店松江門市：台北市松江路 209 號 1
樓 (02) 25180207 <http://www.govbooks.com.tw>

本所員工消費合作社：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓
(02)89127890 分機 224

著作權利管理資訊：(02) 89127890 轉 275，李振綱

GPN：1009701736

ISBN：978-986-01-4640-0