

空調系統空氣側節能 應用技術指引

經 濟 部 能 源 局 指 導

財團法人台灣綠色生產力基金會 編印

中 華 民 國 一 百 零 六 年 十 二 月

目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	VI
前言	1
一、中央空調系統與空氣系統	3
1-1.中央空調系統與熱負載的關係	3
1-2.中央空調系統節能潛力	4
1-3.空氣側系統概述與節能技術	6
二、變風量空調系統	8
2-1.定風量 CAV 與變風量 VAV 系統概述	8
2-2.熱舒適度(Thermal Comfort)	11
2-3.風量控制的方法	14
2-4.靜壓感測器的設置	16
2-5.VAV 終端箱型式	17
2-6.VAV 系統最佳化	19
三、外氣與 CO ₂ 濃度控制	24
3-1.室內污染物的型態與影響	24
3-2.通風方式與換氣量	27
3-3.導入新鮮外氣的節能措施	37
3-4.全熱交換器結構與類型	40
四、外氣冷房系統	43
4-1.原理介紹	43
4-2.外氣冷房節能控制設計技術	44
4-3.外氣引入位置	48

4-4.外氣風門設置.....	49
4-5.外氣冷房設計條件.....	50
4-6.外氣冷房的延伸應用(夜間排風策略與建築預冷控制).....	51
4-7.應用案例說明.....	54
五、濕度影響.....	69
5-1.概述.....	69
5-2.原理介紹.....	70
5-3.化學除濕.....	72
5-4.應用案例說明.....	69
六、參考文獻.....	76

圖目錄

圖 1-1 中央空調系統流程圖.....	3
圖 1-2 中央空調系統熱負載關係圖.....	4
圖 1-3 冰水主機全年各種部分負載之運轉時數統計.....	4
圖 1-4 中央空調節能潛力.....	5
圖 1-5 全空氣系統示意圖.....	6
圖 2-1 可變風量 VAV 系統之簡圖.....	10
圖 2-2 可變風量 VAV 系統之控制流程圖.....	10
圖 2-3 PMV 與 PPD 指標之相關對應.....	12
圖 2-4 ASHRAE Standard 55 中規範之舒適區域.....	13
圖 2-5 不同風量控制之節能比較.....	14
圖 2-6 固定轉速節流與可變轉速變流量比較.....	15
圖 2-7 VAV 系統壓力感測器裝置示意圖.....	16
圖 2-8 壓力感測器置放於不同位置之節能比較.....	17
圖 2-9 VAV 終端單元類型.....	18
圖 2-10 風機壓力優化.....	21
圖 2-11 通風控制技術.....	22
圖 2-12 不佳的通風設計.....	23
圖 2-13 良好的通風設計.....	23
圖 3-1 自然換氣設備.....	27
圖 3-2 建築物周圍氣流.....	28
圖 3-3 換氣種類.....	29
圖 3-4 完全混合和活塞換氣原理示意圖.....	30
圖 3-5 不完全混合和換氣示意圖.....	30
圖 3-6 誘導式換氣系統.....	31

圖目錄

圖 3-7 置換型通風系統範例.....	32
圖 3-8 室內 CO ₂ 濃度與外氣風門開度比例	38
圖 3-9 使用全熱交換器使外氣進入室內降溫降濕	39
圖 3-10 全熱交換器設備概念圖.....	40
圖 3-11 全熱交換器內部熱交換濾芯作用原理.....	41
圖 3-12 靜止型交叉流式全熱交換器.....	41
圖 3-13 轉輪式冷能回收方式示意圖.....	42
圖 4-1 外氣冷房示意圖.....	43
圖 4-2 溫度控制及焓值控制節能效果之差異.....	45
圖 4-3 外氣溫度與引入外氣量之關係.....	46
圖 4-4 外氣冷房之節能控制.....	51
圖 4-5 夜間排風策略與建築預冷異同處.....	51
圖 4-6 醫療大樓六樓 D 區平面圖.....	54
圖 4-7 空調箱供風區域圖.....	55
圖 4-8 第一階段空調箱控制系統圖.....	56
圖 4-9 原始空調箱外氣風門.....	56
圖 4-10 改善後空調箱外氣風門.....	57
圖 4-11 空調箱外氣引入端增設外氣溫濕度計.....	57
圖 4-12 空調箱回風端增設 CO ₂ 計	58
圖 4-13 空調箱外氣溫濕度計、外氣風門、回風 CO ₂ 偵測計安裝位置.....	58
圖 4-14 空調箱外氣需量控制流程圖.....	59
圖 4-15 空調箱外氣風門開度所對應外氣與回風之風量	60
圖 4-16 空調箱外氣風門開度所對應外氣與回風之風量比例	60
圖 4-17 外氣引入量改善前後耗能統計及節能率	61

圖 4-18 外氣需量搭配 VAV 控制之外氣風量與風車馬達耗能統計及節能率...	62
圖 4-19 改善前後空調箱運轉成本與節能率比較	63
圖 4-20 空調箱改善前耗費與改善後節費金額(全年度).....	63
圖 4-21 空調箱設備圖	65
圖 4-22 空調箱 BEMS 系統監控.....	65
圖 4-23 冰水主機改善前後設備圖.....	66
圖 4-24 冰水泵群改善前後設備圖.....	66
圖 4-25 空調箱改善前後設備圖.....	67
圖 4-26 本案例 BEMS 系統之冰水昇位監控圖.....	67
圖 4-27 本案例 BEMS 系統之空調箱監控圖.....	68
圖 5-1 台灣 30 年平均相對濕度.....	69
圖 5-2 除濕路徑比較圖	71
圖 5-3 溶液乾燥劑與空氣熱質傳交換類型示意圖	72
圖 5-4 吸附現象示意圖	73
圖 5-5 現場空調空氣側量測位置.....	74
圖 5-6 改善前後之濕空氣狀態.....	75

表目錄

表 1-1 空氣側改善技術目標.....	7
表 2-1 定風量與變風量系統特性比較.....	8
表 2-2 風機相似定率.....	15
表 2-3 並聯式與串聯式風機終端箱比較.....	18
表 2-4 VAV 終端箱控制模式範例.....	19
表 3-1 主要的室內空氣污染源.....	25
表 3-2 我國環保署公告之室內空氣品質標準.....	26
表 3-3 ASHRAE 62.1 標準(2016 年版)建議最小換氣量.....	33
表 3-4 我國「建築技術規則」第 102 條機械通風系統通風量.....	34
表 3-5 美國 UBC 法規中有關自然通風與機械通風量法規條文.....	35
表 3-6 美國 NBC 建築法規中機械通風量法規條文.....	36
表 4-1 外氣冷房系統溫度與焓值控制之節能效果.....	46
表 4-2 節能改善設置費用與回收年限統計.....	64
表 5-1 除濕方式分析比較表.....	71

前言

政府訂定「綠能」、「亞洲矽谷」、「生技」、「國防」與「智慧機械產業」為國內五大核心產業，其中又以綠能產業最具急迫性。由於我國自產能源甚少，幾乎全賴國外進口，每年耗費巨額外匯，同時亦造成油電價格居高不下及不穩定，易受國際局勢影響。依據經濟部能源局分析國內 2016 年能源供需概況指出，進口能源比重占 98%，自產能源僅占 2%，顯見我國仰賴國外能源之程度，加上政府推動非核家園，國內供電穩定性與安全性面臨挑戰，對國內民生與經濟造成相當大的衝擊。

根據經濟部能源局 2016 年能源統計，全國能源總消費逐年成長，2016 年工業部門占 37.24%、運輸部門占 12.05%、服務業部門占 10.84%、住宅部門占 10.88%，即住商部分占 21.72%。另外，在 2016 年電力消費方面也逐年成長，工業部門占 53.13%、運輸部門占 0.53%、服務業部門占 19.25%、住宅部門占 18.53%，住商部分占了 36.95%且較 2015 年上升了 7.18%。其中耗能較高之系統與設備，包含有製程設備、空調系統、空壓機系統、鍋爐系統與馬達系統等。服務業與住宅部門耗能最多的設備為空調、燈具、家電等項。如何提升空調系統之效率對於降低能源之耗用上如何節流與開源、減少能源浪費及增加能源使用效率甚為重要，而空調系統所占能耗比例相當高，如何提高系統的效能，降低能源使用極為重要。

中央空調系統依照組成主要可分成主機側(冷媒)系統、水側系統及風側系統，雖然主機側系統占整體中央空調系統耗能最大，但水側與風側運轉狀況亦會影響到主機側之耗能，可謂是環環相扣。而中央空調之風側系統之效率與耗能除了考量提供空氣流動之流體機械-風機之效能及運轉特性外，風側系統由室外引入外氣之條件亦會影響整體中央空調系統之耗能狀況並會影響室內空氣品質，特別是國內在 2012

年正式公告室內空氣品質管理法後，相關受管制室內場所需有適當之空調通風換氣以維持良好之室內空氣品質。此外，台灣夏季氣候高溫高濕，傳統之空調系統為了降溫除濕以提供舒適之室內環境往往需耗費相當大之能源，主要是傳統之蒸氣壓縮空調系統為了降低空氣的濕度必須將空氣冷卻至露點溫度以下，為了達到所要求之送風溫度又需對空氣再次加熱，造成能源的浪費。因此本手冊加入除濕技術之介紹。

為使一般民眾瞭解中央空調之風側系統相關節能技術，財團法人台灣綠色生產力基金會，乃委請國內節約能源推廣上有專精的專家學者，國立勤益科技大學冷凍空調與能源系吳友烈副教授規劃，並業經陳希立、柯明村與鄭正仁等委員審查修訂，彙編此空調空氣側節能技術指引，希望有助於減少中央空調系統之耗能、降低國內能源使用量。

一、中央空調系統與空氣系統

1-1. 中央空調系統與熱負載的關係

中央空調系統以機械力(馬達)，推動空氣、水與冷媒相互熱交換進行能量(熱能)搬運，使室內空間享有舒適宜人的溫、濕度條件，其系統由眾多組件像是空調箱、水泵、冰水主機與冷卻水塔組合而成，如圖 1-1 所示，然而能量交換與傳遞皆有耗損像管路保溫不佳、馬達耗功轉換成熱能進入系統等，因此熱負載可由圖 1-2 表示，其負載於循環中漸次放大，因此越靠近室內空調負載的環節進行改善，其連帶效益越發顯著，如導入風機省能技術，將連帶使後續環節如冰水泵、壓縮機等環節受惠，另一方面我們若能進一步從建築外殼、遮陽隔熱或室內耗能設備等著手，效益更大於空調系統節能，然本手冊著重於空調空氣側系統節能改善，因此其他系統節能請先進參酌相關指引進行。

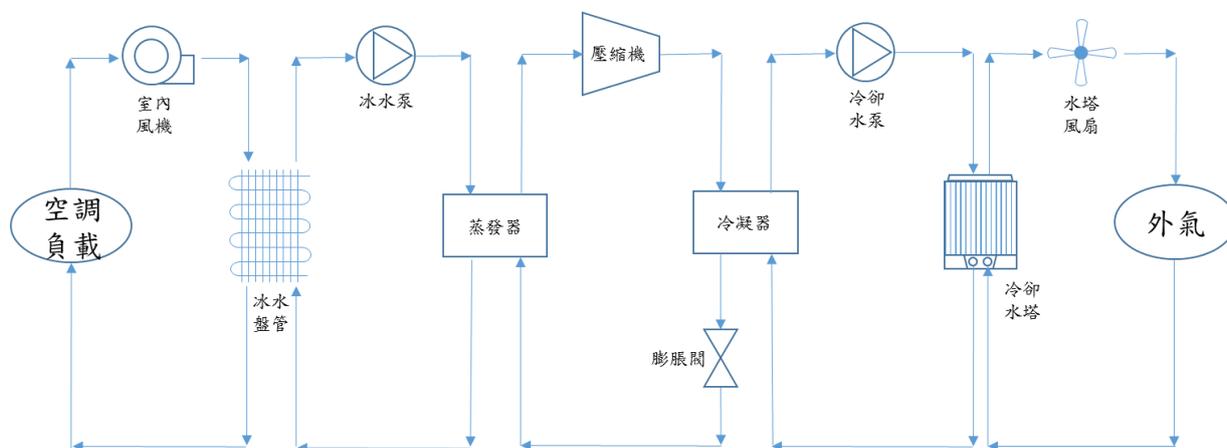


圖 1-1 中央空調系統流程圖【1】

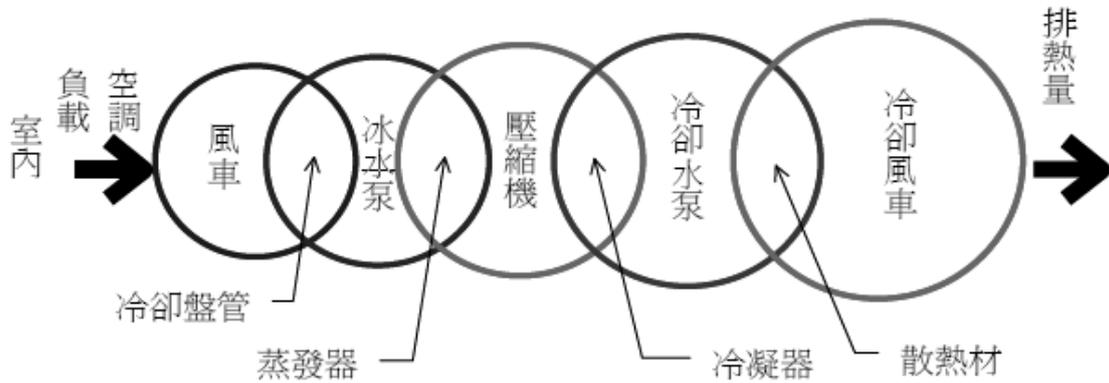


圖 1-2 中央空調系統熱負載關係圖【2】

1-2. 中央空調系統節能潛力

中央空調系統設計之初是假定條件，如人員機具數量、運作型態、使用特性，乃至氣候因素等加以考量，而為滿足上述這些條件，常選擇對應尖峰負荷的硬體設備，然而考量無法預期的因素，像是日後耗能設備擴增、運作型態改變或未來劇烈的氣候變遷，設計上通常會加入安全係數，造成設備容量略大於負荷估算值。然而就統計數據來看(圖 1-3)可見系統全載運轉時數並不多，更遑論設計尖峰與實際運行難免有差異，若建置之初未導入節能設計，使設備於部分負載期間無法有效降載，獲得充分節能效益。

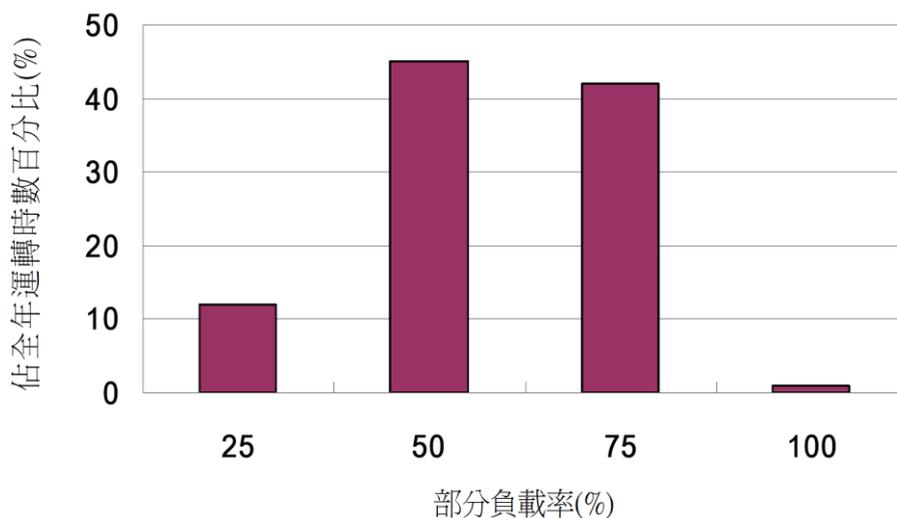


圖 1-3 冰水主機全年各種部分負載之運轉時數統計【3】

中央空調系統各組件節能潛力可參考圖 1-4，顯示空氣側系統導入節能設計前後，能耗可有近十倍的差異，其能源使用占全系統僅次於冰水主機，而空氣側系統於非夏季期間有時為通風需求開啟，全年運轉時數高於冰水主機，因此節能潛力不容小覷，若以需全年使用空調之大型建築物，因其建物縱深關係，不易以自然通風維持室內空間換氣需求，故仰賴機械運作維持室內良好空氣品質，因此空氣側設計與能耗優異與否，幾乎可左右全系統能耗，另一方面來說空調側節能對使用者，係最直接且有效感受空調改善一環，其投資效益不言而喻。

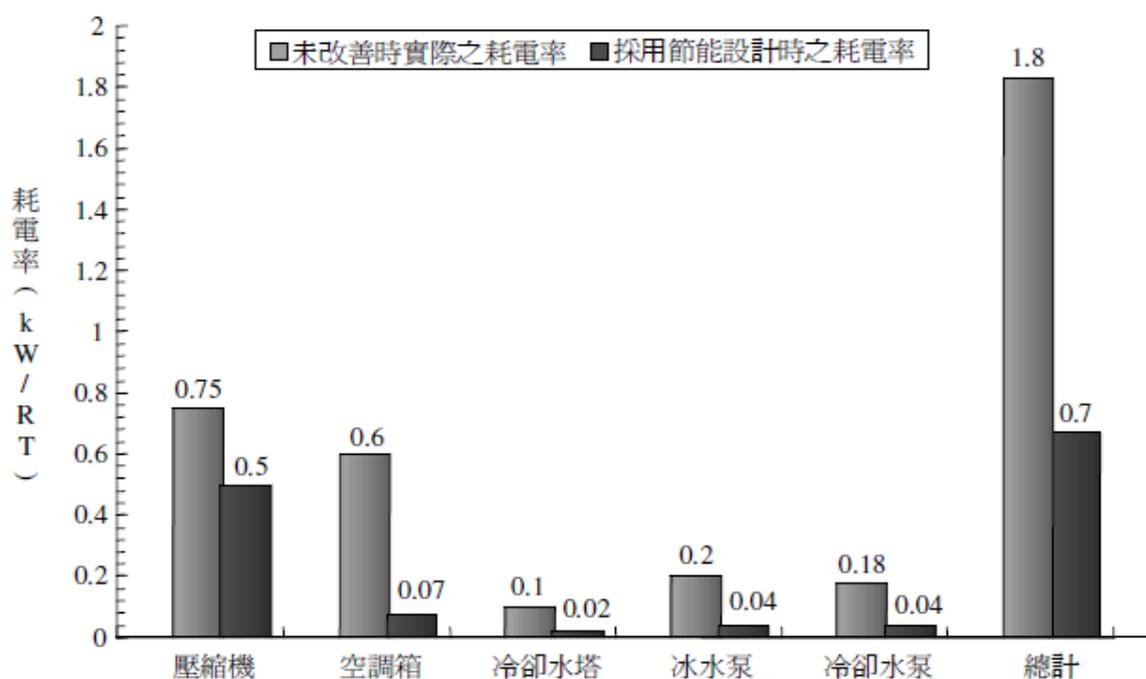


圖 1-4 中央空調節能潛力【2】

1-3. 空氣側系統概述與節能技術

空氣側系統主要是由空調箱(或小型送風機)、外氣及排氣風機、風管、各式風門及配件所組合而成的。此一子系統是中央空調系統與負載的橋樑，亦即是兩者的介面。其功能有如散佈在人體各處的微血管，當空氣側運轉不良，將造成局部區域之空氣條件失控。且由於空氣側是在整個空調系統的上游，若不能有效率的運轉，將使整個空調系統耗能量大增。

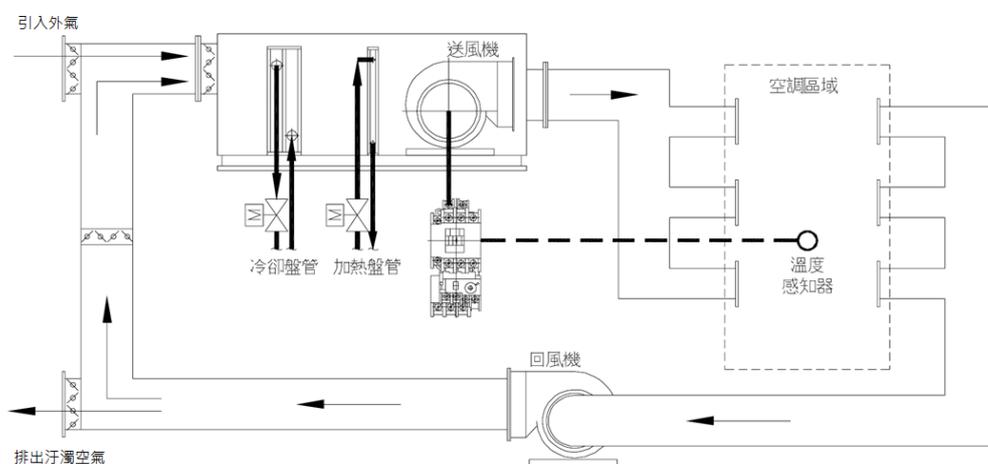


圖 1-5 全空氣系統示意圖【4】

現今空氣側系統所面臨的挑戰，不僅是維持宜人的溫濕度條件，人們更期待邁向節能、健康甚至智慧化等目標，為達成這些人們希望的目標，本手冊就台灣海島型氣候所面臨的挑戰，羅列幾項空氣側系統常見的幾種技術，如表 1-1 所示，以往空調空氣側系統常用定風量系統，然如前一節所述，尖峰負載出現時機不多，全年大部分為部分負載，而 VAV 可變風量系統則為此而生，透過變頻風機與可調風門等組件搭配，將各空間冷暖氣需求回饋至監控系統計算，依此分配風量維持室內設定溫度條件，在舒適條件下兼顧節能，更深入可結合其他空間管理系統智慧化控制。

外氣控制技術相當廣泛，以往由外牆拉設風管裝設固定風門導入外氣，隨後由空調箱自身風機吸入，或專用外氣空調箱引入處理，如全然不管外氣需求量過多抑或不足，以致於夏季增加無謂耗能，而春秋、冬季無法適時利用室外冷空氣取代空調，明顯問題在於為了維持室內空氣品質，我們需要引入需求量的室外新鮮空氣，然而不加以深入管理的後果，即是夏季加重空調耗電、寒流來襲卻還需要開冰水主機之怪事；針對外氣控制區分夏季需量控制、春秋冬季外氣冷房控制等，另全熱交換器係利用空調排氣與外氣進氣做全熱交換，綜上所述技術皆是為了維持室內空氣品質，同時節約能源的目的。

表 1-1 空氣側改善技術目標

改善對象	改善技術	主要目標	次要目標
定風量系統	VAV 可變風量系統	節約能源	智慧化
定量外氣	外氣控制技術	室內空氣品質	節約能源
	除濕技術	人體舒適	節約能源

二、變風量空調系統

2-1.定風量 CAV 與變風量 VAV 系統概述

以往空調系統多以定風量(Constant Air Volume，簡稱 CAV)來供應室內空調空氣，若空調區域負荷變動時，則以改變送風溫度匹配室內負荷，並達到及維持室內溫度於舒適區的條件；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，來匹配空調負荷的變動，其兩者應用領域與特性比較如表 2-1 所示。

在一般的設計規劃中，其風量係在空調尖峰負荷的狀態下所得風量，然而在實際的情況當中，如前一章(圖 1-3)所述尖峰負荷運轉的機會並不多，在室內負荷變動的情況下多半位於 50~75%負荷下運轉，上述之定風量系統為風量固定，以改變送風溫度之方式匹配室內負荷變動，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，因此本章將就 VAV 系統相關技術進行介紹。【5】

表 2-1 定風量與變風量系統特性比較

系統類型	定風量 CAV	變風量 VAV
特性	固定風量 隨負荷調整水閥 改變出風溫度	固定溫度 隨負荷調整風機轉速、 水閥與終端風門開度 改變送風風量
適用環境	小空間或具固定負載特性場所 (設備機房)	具變動負載特性場所 (辦公室、商場、大廳等)

系統類型	定風量 CAV	變風量 VAV
優點	動作元件少可靠性高 維護需求少(僅風機與水閥) 建置價格較低	風機隨負荷變動省電 可分區啟閉與調整設定溫度 磨耗與運轉成本較低
缺點	風機無論負載變化均處於全載 開啟則全區供應空調不易控制 磨耗與運轉成本較高	動作元件多 維護需求多 (風機、水閥與 VAV 風箱) 建置價格較高

常見的 VAV 系統主要組成部份如圖 2-1，控制流程圖則如圖 2-2 所示，分別由盤管(冰水閥)、變頻風機與 VAV 終端風箱等元件組合而成，組件各自分工，冰水閥維持設定的恆定出風溫度、變頻風機亦維持恆定靜壓，使經盤管處理的冷空氣沿幹管傳送至管末，VAV 終端箱則依據室內溫度變化啟閉風門，選擇引入更多的冷氣或減少引入量，動作流程簡述如下：

➤ 室內溫度高於設定溫度

VAV 風門開大引入更多冷氣→幹管壓力下降→變頻風機加載→水閥開大維持出風溫度

➤ 室內溫度低於設定溫度

VAV 風門關小減少冷氣量→幹管壓力上升→變頻風機降載→水閥關小維持出風溫度

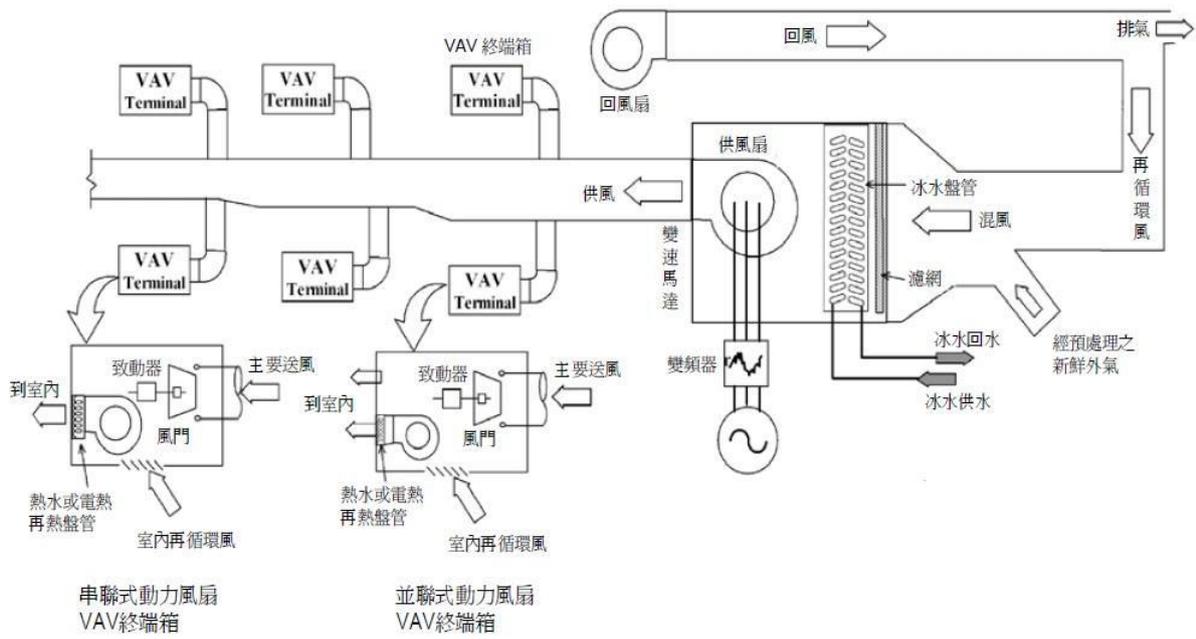


圖 2-1 可變風量 VAV 系統之簡圖【3】

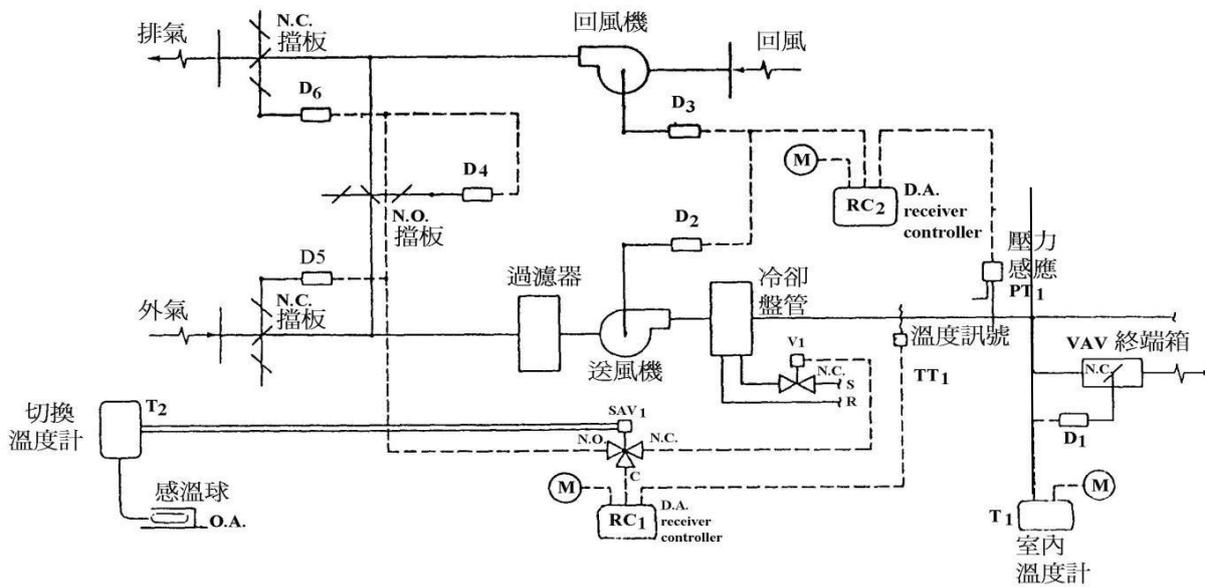


圖 2-2 可變風量 VAV 系統之控制流程圖【3】

2-2.熱舒適度(Thermal Comfort)

影響人體熱舒適度的決定因子非常複雜，當中不但有生理因素更包括了心理因素層面。丹麥學者 Fanger 經由 1300 位左右的檢測人選，將其安置於「人工控制熱環境實驗室」中進行實地檢測，依照其溫度、濕度、氣流、著衣量及工作強度等物理量進行統計分析，以此數據找尋舒適與不舒適度間之範圍，以便進一步建立 PMV 與 PPD 之評估指標。而過去五十年來有非常多熱舒適的標準被提出，其中最受注目的為 (Fanger, 1970) 首度提出熱舒適理論，在 Fanger 的預測平均投票 (predicted mean vote, 簡稱 PMV) 模式中，說明人體內淨熱量與其周遭熱平衡的關係。

PMV 指標提供一個參考平均值，用來衡量人體在一個環境中的舒適度，PMV 可以由單一數字(+3 ~ -3)來指出包含了各參數的舒適度。PMV 指標的產生是來自於許多受檢測者，在特定的測量環境裡，對一些環境條件所做出的主觀評估，從而得到人體熱舒適度之指標，該指標共分為 7 個階段，範圍由-3(極冷)延伸至+3(極熱)，中立點 0 代表熱感適中的狀況。

熱舒適是一種主觀的反應，及個人心智的描述；在一個空調控制的空間中，不見得每個人都滿意當時的熱舒適環境，因此必需在 PMV 下進一步描述不滿意的比率(predicted of percentage dissatisfied, 簡稱 PPD)(Olesen and Bragen, 2004)。

PPD 值為人體對某一環境的感受所不滿意的程度，並已受測人數的百分比表示。假設 30% 則為該環境下受測人數有 30% 感到不舒適。PMV 指標和 PPD 指標相對應關係如圖 2-3，在固定 PMV 值下可以查出其 PPD 值，得知在此環境條件下受測人數有百分之幾感到不舒適。

PMV	熱冷感	PPD
+3	非常熱	99%
+2	熱	75%
+1	稍微熱	25%
0	舒適	5%
-1	稍微冷	25%
-2	冷	75%
-3	非常冷	99%

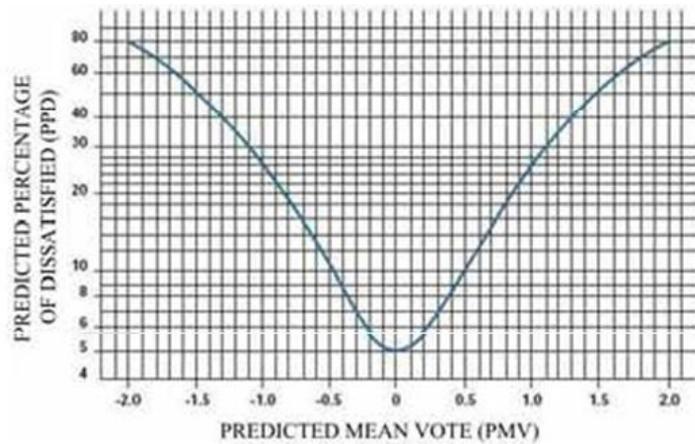


圖 2-3 PMV 與 PPD 指標之相關對應【6】

PMV 主要的影響因子包括四個環境因素(室內溫度、相對濕度、熱輻射及風速)及兩個人為因素(衣著量及工作量)。在室內空調設計上，大都以 PMV 的調查結果做為設計溫度控制的依據(Nicol and Roaf, 2005)。後來的研究也以六個基本因素為主要的對象，也因各地的文化、種族、活動等特性的不同，而有些不同的結果。Humphrey(2005)也認為在設定最佳熱舒適度的六大影響因子有不同的關聯性，其對使用者的主觀感受也會造成不同的結果，如照明與相對濕度對舒適的感覺會有明顯的影響。另外，空氣的流向也會影響人體舒適的感覺，通常空氣流向在頭部及臉部方向的感覺較為舒適，若是流向從腳下及背部經過，會感覺局部過冷的現象，此原因是臉部附近產生的熱源會往上昇，需要利用氣流把熱氣帶走，反之腳下部份溫度較低，若再增加氣流，則會有冷的感受(Zhang,,et al., 2007)。

室內舒適度反應室內使用者對熱的感受，它對建築物的節能提供一項重要的參考依據；室內舒適溫度設計值大都以 ASHRAE 所建議的「舒適區域(comfort zone)」中的有效溫度(ET*)為主；ET*是說明當人員在普通坐姿下，著衣量 0.6 clo，風速在 0.25 m/sec 以下之平穩氣流狀態下，人體冷/熱感的判斷指標。其訂定空調環境熱舒適範圍如圖 2-4 所示，由於人們通常隨著季節天氣變化變更穿著，藉由上述評估指標可以看出，在不同季節中，一般民眾感覺舒適的狀態時，所對應的環境溫度、濕度及風速。

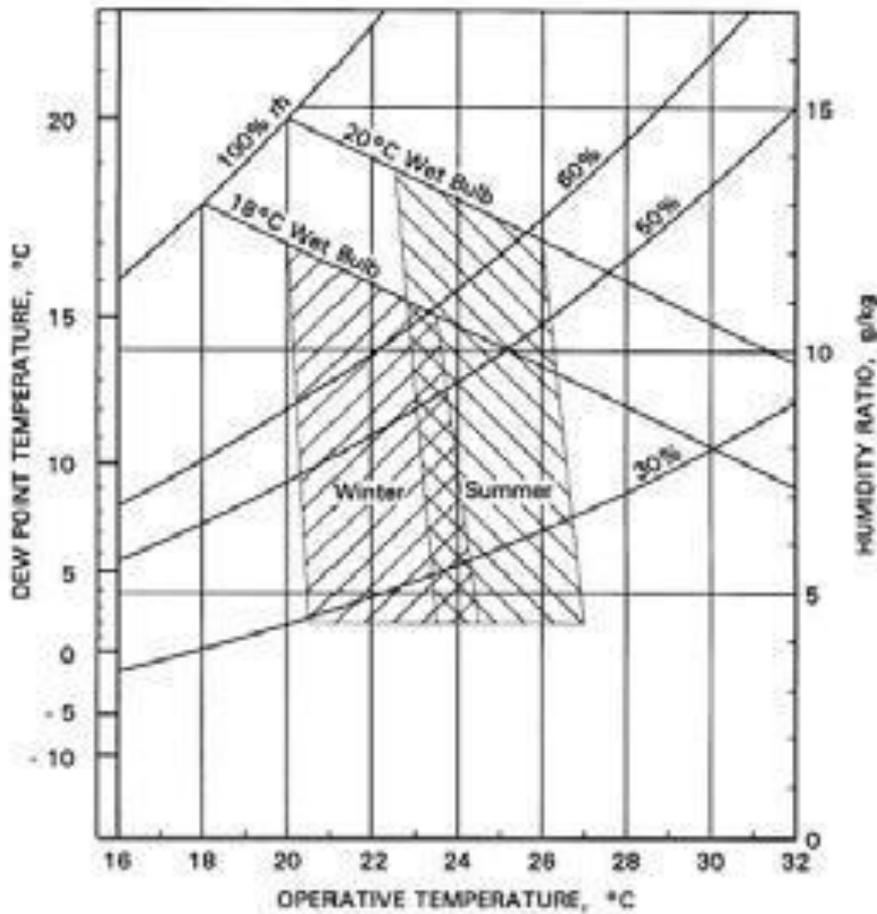


圖 2-4 ASHRAE Standard 55 中規範之舒適區域

2-3.風量控制的方法

調整風量的方式可概略分為三種，改變轉速、調整出風風門與安裝吸入口進氣導葉(IGV)，第一種直接由馬達改變轉速調整流量，後兩種則以另外風門或導葉來增加阻力進行節流，由圖 2-5 我們可以了解改變轉速具有最佳的節能率，係因變頻器直接控制風機的轉速，達到所需的空氣流量和壓力，與其他技術相比並非先由風機加壓，而後以風門節流，使得風機的效率明顯下降。

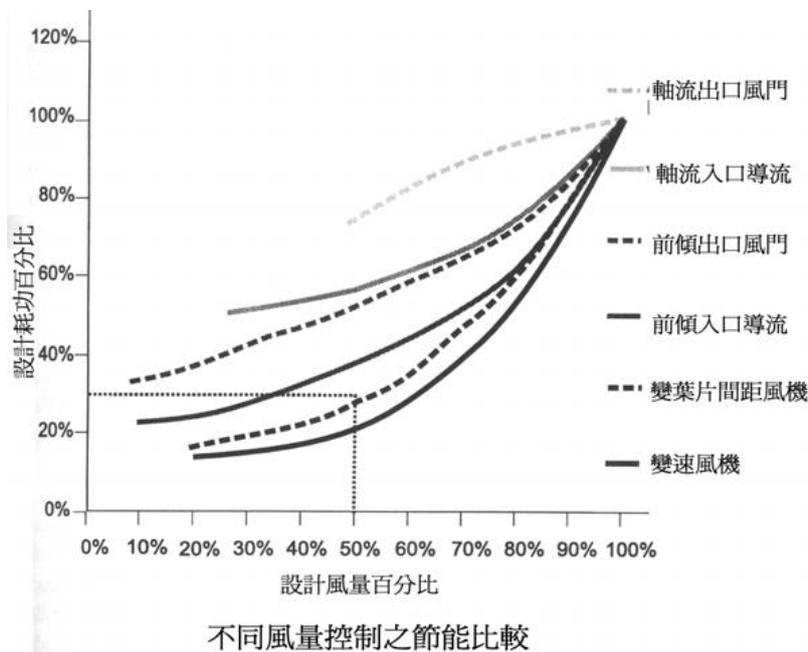


圖 2-5 不同風量控制之節能比較【5】

由圖 2-6 表示風機定轉速用風門節流與變轉速變流量兩者運用差異，首先運轉點 A 的流量 1 與靜壓 P1 表示空調於尖峰負載的設計點，前一章我們提到實際情況多數在 50~75% 負載間變動，接下來為達到現場所需的冷氣需求(流量 2)，如果以風門節流的方式，則系統狀態成運轉點 B，流量是降低但靜壓卻升高，就風管系統來說高於輸送所需的多餘靜壓並沒有益處，若我們改以變轉速來調整流量，則系統狀態為運轉點 C，流量與靜壓均降低，問題在於靜壓不能低於風管系統所需的最低壓力。

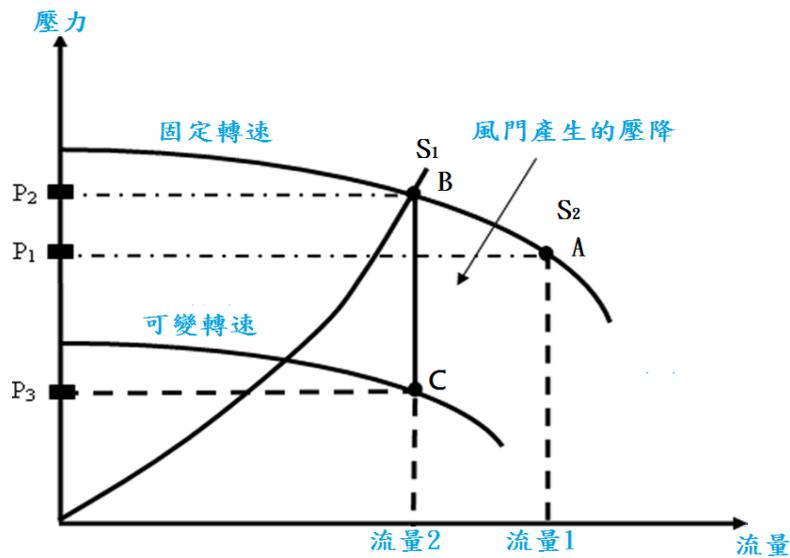


圖 2-6 固定轉速節流與可變轉速變流量比較【5】

因此當部分負載期間的流量 2，定轉速用風門節流的運轉點 B，與變轉速的運轉點 C 兩者差距，即是兩者的能耗差異，同時由風機相似定率(Fan Affinity Laws)，我們可知轉速與流量、揚程、馬力的關係，如表 2-2 所示，當空調於部分負載下，冷氣所需流量降低，轉速將以相同比例降低，然而馬達輸出功率卻可達三次方的幅度降低，顯示變轉速系統在能耗上的優勢。

表 2-2 風機相似定率【7】

功能	比例	公式
流量與轉速	成正比	$Q_2 = Q_1 (N_2 / N_1)$
壓力與轉速	二次方比	$H_2 = H_1 (N_2 / N_1)^2$
功率與轉速	三次方比	$P_2 = P_1 (N_2 / N_1)^3$

2-4.靜壓感測器的設置【5】

前一節我們提到靜壓必須符合風管系統所需的最低壓力，目的就是確保空調箱送出的冷氣，可以克服風管的管路壓降與 VAV 終端箱所需的壓降，若空調箱靜壓低於上述兩者壓降，則輸送至室內的冷氣量可能不足甚至沒有，反之靜壓遠高於所需壓降，則 VAV 終端箱風門為維持冷氣流量必須關閉到很小，造成風量控制不易(過大或過小)且有額外的噪音產生，風機則消耗不必要的能源以維持過高的靜壓。

因此維持恰當的風管靜壓，對於 VAV 系統相當關鍵，故靜壓感測器的設置位置具有很大的影響，常見的設置位置有兩種，第一種安裝於風管內圖 2-7-a，距離 VAV 終端箱前端 2/3 處，可對實際的管道壓降進行補償，並維持 VAV 終端箱所需的靜壓，其系統狀態如圖 2-8-a，可隨負載變化而調整。

另一種則設置於空調箱出口圖 2-7-b，目的為維持最大流量狀態下的管道壓降，壓力設定值將與風機設計壓力相等，在部分負載下風機仍維持高靜壓，無法充分發揮節能潛力，其系統狀態如圖 2-8-b，這種配置優點僅在於簡化施工布線與系統風壓平衡及試俾時的工作量，但無法充分受益部分負載下風機降載時的節能量。

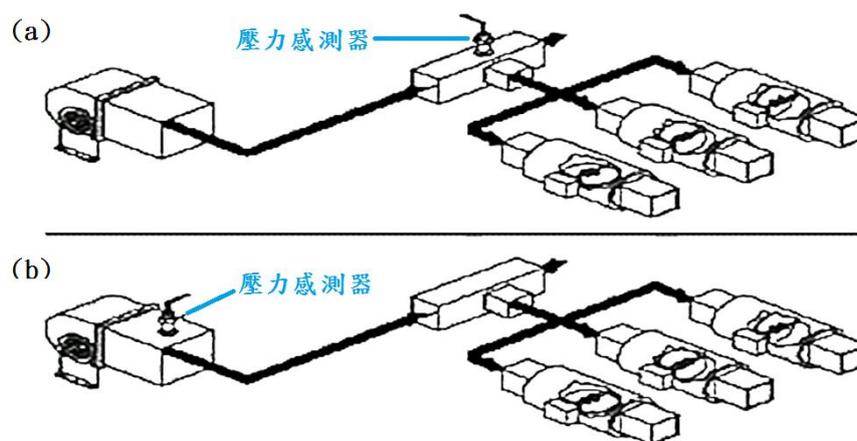


圖 2-7 VAV 系統壓力感測器裝置示意圖【5】

壓力感測器裝置於出風口2/3距離處(a)

壓力感測器裝置於出風口處(b)

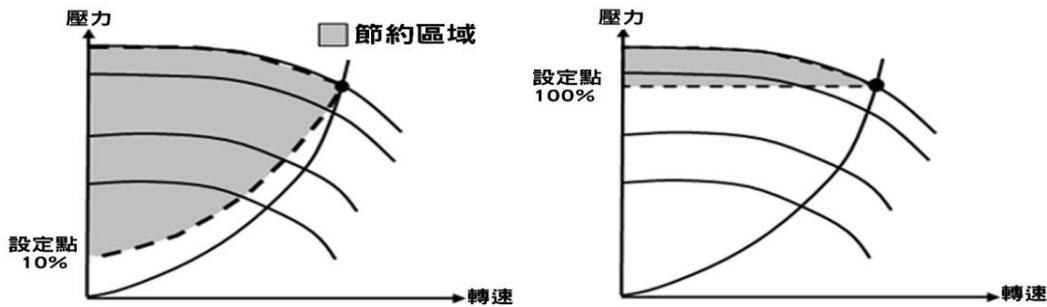


圖 2-8 壓力感測器置放於不同位置之節能比較【5】

2-5.VAV 終端箱型式

VAV 終端箱目的則是分配冷氣維持室內舒適條件，依據安裝於室內的溫度感測器回饋值，使冷氣送達至各個空調區間，隨著空間面積與使用特性不同，終端單元可由一個或數個組成，藉此可依各區域需求調整溫度，進而有不同的送風量。終端單元是由氣流調節裝置(風門或額外風機)、流量感應器(具有壓力獨立控制的元件)組成，若有再熱需求則另有加熱盤管。

VAV 終端單元依需求有數種形式如圖 2-9，最簡單就屬冷氣終端箱圖 2-9-a 結構僅有風門、流量與溫度感測器組成，若有再熱需求則後端加裝電熱盤管圖 2-9-b，然而前述兩者皆由空調箱端供應冷氣，推動室內空氣流動，僅差異再於是否需將冷氣再熱至特定供風條件。

並聯式與串聯式終端箱可由表 2-3 來說明，終端箱加裝風扇都是為了擁有獨立供風動力源，並聯式終端箱圖 2-9-c 目的在供暖時期，空調箱因應室內換氣需求，輸送最少量的新鮮冷空氣，暖氣則由一旁並聯的風扇與加熱盤管供應，而串聯式終端箱圖 2-9-d 目的與前者大不同，為使室內空氣循環不受空調箱冷氣送風量影響，終端箱風機維持室內固定循環風量，因此變成空調箱端變風量，而室內的串聯式終端

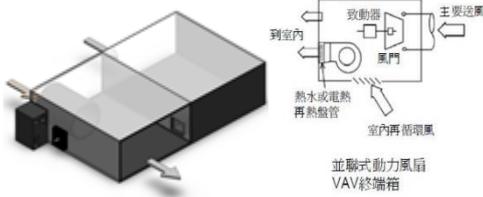
箱維持固定風量，兩者差異部分由室內循環風補足。



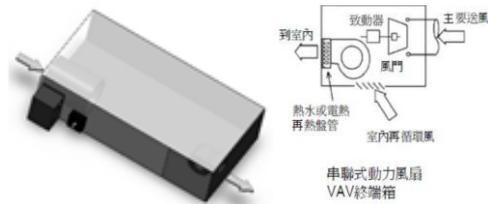
a.冷氣終端箱



b.冷氣加再熱終端箱



c.並聯式風機終端箱



d.串聯式風機終端箱

圖 2-9 VAV 終端單元類型

表 2-3 並聯式與串聯式風機終端箱比較

類型	並聯式風機終端箱	串聯式風機終端箱
目的	冬季期間加熱需求 額外開啟風機循環	維持室內固定循環風量
風機 安裝位置	風機並聯 空調箱送風不經過風機	風機串聯 空調箱送風經過風機
風機 開啟時機	加熱模式與 冷氣送風量最低時啟動	風機具調速功能 持續啟動保持室內恆定 風量

2-6.VAV 系統最佳化【8】

前面我們對 CAV 與 VAV 系統進行比較，也就 VAV 系統組件的不同配置，從節流方式到靜壓控制進行討論，然而即便擁有最符合自身需求的配置組合，若操作調整不當，也無法充分反應其節能優勢，以下就啟停控制、靜壓重置及通風控制技術，三個主題進行討論。

1. 啟停控制

以往 CAV 系統特性為空調箱一開，則全區皆有空調供應，反之無關全關，所面臨的問題則是當各區域使用條件不一時，無人使用的空間卻仍供應空調，或為了少數特定區塊要求，往往延長開啟時間，在導入 VAV 系統後，應將各 VAV 終端箱視為獨立的小區塊控制，依據各區塊的需求可有不同的設定(溫度與啟閉時間)，我們由表 2-4 舉例說明，控制模式僅供參考，實際仍應不同建築物與使用目的有所調整。

這些個別的啟停控制，目的在於透過軟體自動控制與操作者微調，補足溫度感測器的不足，藉由建築物自動化系統(BAS)，由 VAV 控制箱回傳室內溫度與冷氣流量變化數據，可回饋給軟體與操作者進行決策，甚至由軟體找出最佳啟停控制時間點與順序。

表 2-4 VAV 終端箱控制模式範例

位置	控制模式	說明
建築外周區	早開晚關， 溫度設定略低	靠近大樓外牆受輻射熱影響 加強冷氣供應
建築內周區	晚開早關，溫度設定正常	不受外牆輻射熱影響 正常操作

位置	控制模式	說明
會議室	無人使用，送最低通風量 開會時依溫度正常操作	依人員使用條件操作
辦公室	上班時間，正常操作 加班時間，依加班申請操作	未申請加班區送最低通風量 加班區正常供風或提高溫度

2. 風機靜壓重置

隨著空調負載的變動，VAV 終端箱的動作讓風管內靜壓隨之變動，系統則仰賴變頻器改變風機轉速，將靜壓維持恆定，在 2.4 節提到靜壓是為了克服風管的管路壓降與 VAV 終端箱所需的壓降而存在，然而風管靜壓設定值，並非初始設定過就不再去追蹤，我們以圖 2-10 為範例做說明，變速風機依據靜壓感測器設定與實測值，維持風管的恆定靜壓，四個終端風箱，分別依據溫度感應器及其設定值調整風門，維持室內恆溫，由於四號終端風箱距離風機最遠管路最長，靜壓感測器的壓力就是為了維持四號終端風箱正常出風，也因此該終端風箱風門應該接近全開，以最小阻力的方式讓冷氣通過。

透過建築物自動化系統(BAS)的幫助，偵測四個終端風箱風門位置，進而重新設定變速風機新的靜壓設定值滿足終端風箱需求，使風機能以最低能耗下運轉，當然就操作者角度而言，因各空間使用特性不一，負載又時時刻刻變化，或許不是如此容易判斷哪個終端箱風門要在什麼開度，然而簡單的判斷方式，就是至少有一台終端風箱風門會接近全開，以圖 2-10 範例，若所有終端箱風門皆全開，空調負載需求量大或靜壓不足等就應進行檢查，反之所有終端箱風門都幾乎關閉，那麼可能就是空調需求少或者靜壓設定過高，風機應繼續降載。

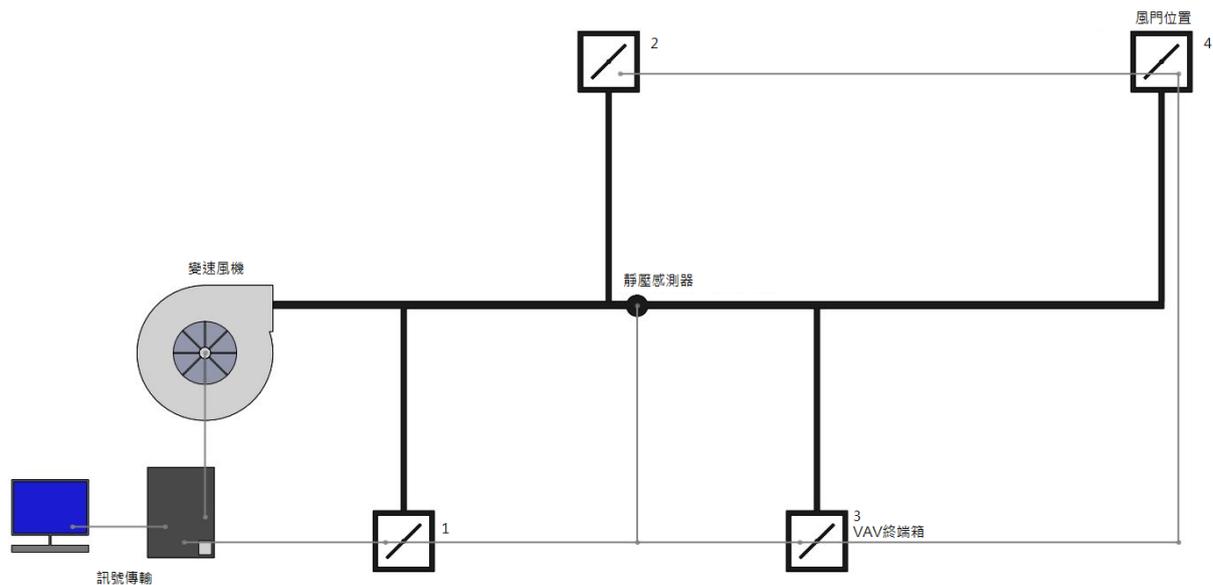


圖 2-10 風機壓力優化【8】

3. 通風控制技術

通風控制從室內空間使用者的角度來討論這件事情，VAV 終端箱隨著負載變化分配冷氣風量時，室內循環風量隨之改變，衍伸出室內空氣品質與冷氣分配均勻性的問題，這兩個議題，我們在以下逐一討論，首先空氣品質部分隨著人們在室內活動必然會產生二氧化碳(CO₂)，更有室內家具(甲醛)與設備運作(臭氧)等氣體產生，適當的通風換氣是必要的，然而於部分負載期間，終端箱送風量降低代表著新鮮空氣引入量也同步降低，因此配合空間使用情境，安裝適當的感測器，結合外氣風門控制，導入適當的外氣量以匹配室內所需的新鮮空氣量，即通風需量控制器(DCV)，如圖 2-11 簡單介紹三種控制器

(1) CO₂ 感測器

適合安裝於大空間或人員密集的区域，透過偵測現場 CO₂ 濃度調整外氣風門開度，另外也有案例安裝於空調箱回風管道偵測 CO₂ 總濃度，但須注意安裝於回風管道只能表示各空間混和後的濃度，無法代表各別空間的空氣品質。

(2) 空間使用感測器(occupancy sensors , OCC)

適用小空間或人數不多的場所，透過偵測空間是否有被使用，進而調整 VAV 終端箱啟閉，當空間無人使用時，VAV 終端箱忽略溫度控制器，僅提供室內最低通風需求。

(3) 時程控制(time-of-day , TOD)

主要應用於規律可預測的環境例如餐廳，透過排程控制在空間使用時間自動啟閉。

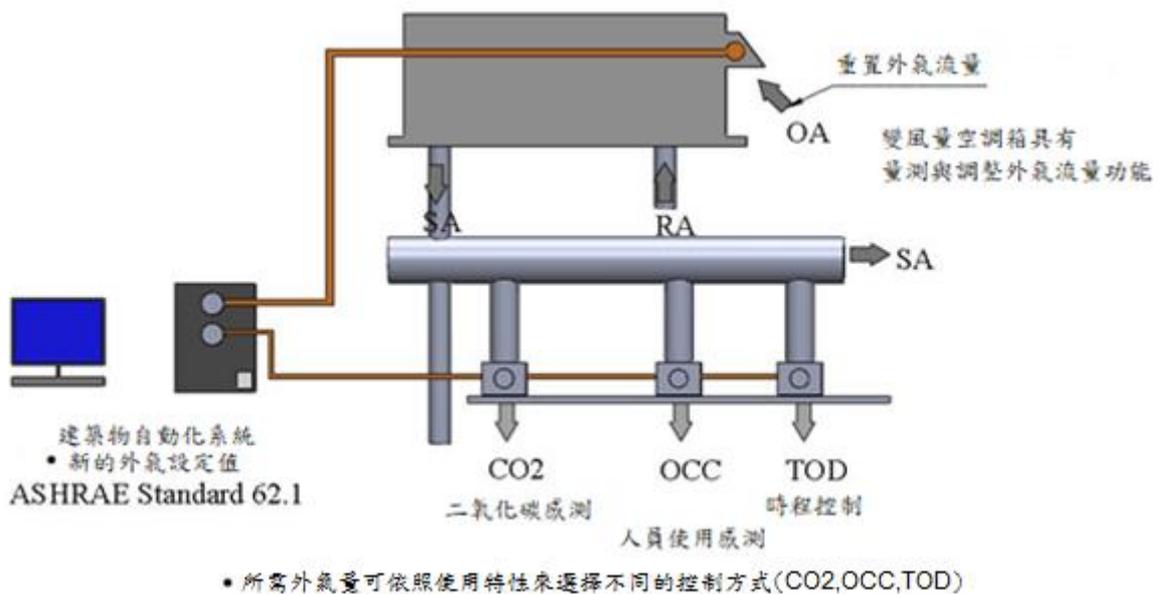


圖 2-11 通風控制技術【8】

(通風需量控制器 DCV +系統通風重置)

在冷氣分配均勻性上，若風量降低太多或出風口擴散器(Diffuser)選擇不當(圖 2-12)，在部分負載期間 VAV 終端箱調降風量，使擴散器無法有效將冷氣均勻送達室內每個角落，造成冷氣集中某一區域過冷，而旁邊卻因收不到冷氣而過熱，因此在 VAV 系統上出風口擴散器

(Diffuser)的選擇與分布，應匹配 VAV 終端箱可調整風量範圍進行選型與配置，確保此風量範圍內，出風口擴散器的水平射程(Throw)與垂直下降高程(Drop)涵蓋室內空間(圖 2-13)。

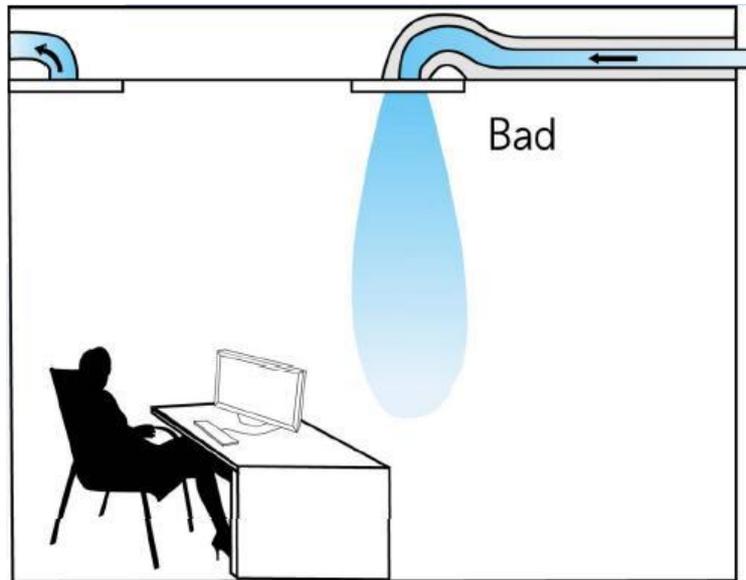


圖 2-12 不佳的通風設計【9】

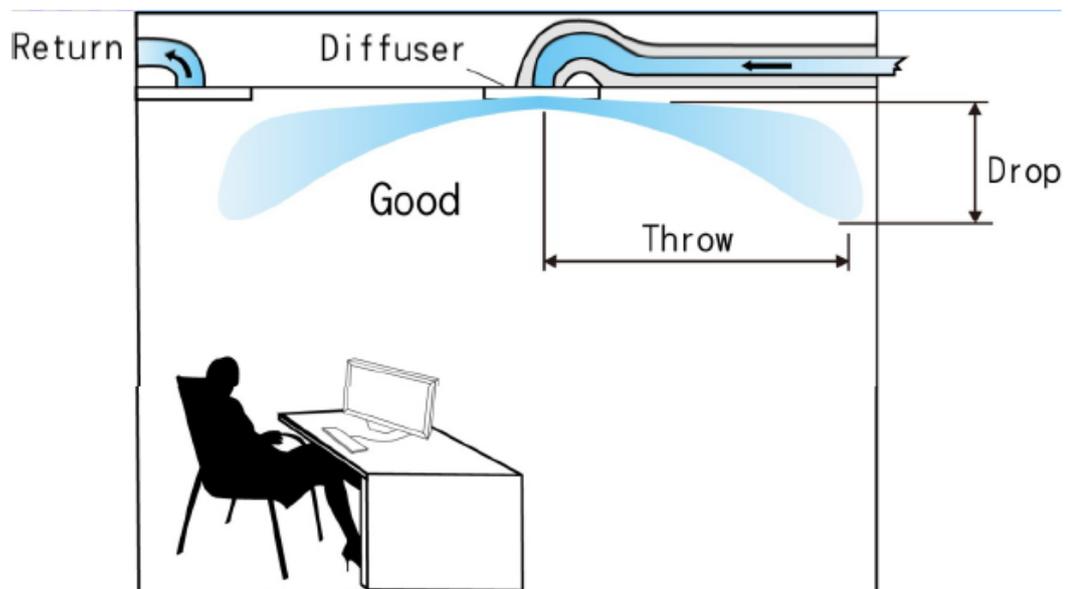


圖 2-13 良好的通風設計【9】

三、外氣與 CO₂ 濃度控制

3-1. 室內污染物的型態與影響

我們每天有八成的時間生活在室內，因此室內環境品質直接影響到人們的身心靈健康，同時隨著居住建築物水泥化與生活都市化等因素，在台灣溫暖海島型氣候下，舒適空調已是不可或缺的生活必需品，然而空氣調節不僅僅講求控制溫、溼度營造舒適環境，人們更期望走向健康與節能的方向，因此維持優異的室內空氣品質成為我們的任務之一。

由表 3-1 我們可知主要的室內空氣污染來源，可約略分為室外引入與室內活動產生，或者分成氣狀與粒狀等類型，而污染物的移動方式係從高濃度往低濃度擴散，因此若能透過此一自然機制將污染物濃度降低，不失為一個低成本高效益的手段，例如以室外新鮮空氣取代室內污濁空氣。

空氣污染物的處理可概略分為稀釋(換氣)、過濾與吸附(吸收)等方式，就住宅與商業性質的舒適性空調來說，因為沒有受特殊化學品影響多半採用換氣與過濾，即可維持優異的空氣品質，而工業則須視產線製程與環境要求，可能需要三者並用，而污染物的移除，從源頭管理是最有效的手段，例如選擇揮發性有機化合物(VOCs)含量較低的合格綠建材、避免在室內吸菸，或是污染源隔離等，其次則是透過工程設計與改善，將污染物有效的排除或淨化處理，本章主要為讀者介紹後者相關控制技術，但讀者在操作管理面上仍需儘量從源頭管理的基本功下手，而非一味加裝各式設備。【10】

表 3-1 主要的室內空氣污染源【10】

	說明
室外空氣污染源	室外的空氣可藉由自然通風或機械通風而進入室內，使室內空氣品質受到不同程度的影響。室外的空氣污染源主要是交通運輸與工商活動所產生的空氣污染物。
室內燃燒源	烹飪與取暖是室內最普遍的燃燒行為。來自瓦斯爐、電爐、暖爐、壁爐等設備燃燒木材、煤、油、瓦斯等產生的空氣污染物主要為一氧化碳、一氧化氮及二氧化氮。
建材	主要產生甲醛等揮發性有機物及石棉。室內裝潢時所用的合板與隔板，因使用含有甲醛樹脂的接合劑，會刺激皮膚及黏膜。此外，過去廣為使用的石棉瓦也是一種致癌的污染物。
油漆及塗料	主要產生甲醛等揮發性有機物。
辦公室事務機	主要產生臭氧。
清潔產品	主要產生甲醛等揮發性有機物。使用殺蟲劑、特殊清潔劑、髮膠、油漆、立可白等用品，皆是室內揮發性有機污染物的來源。
生物性污染物	潮濕且不常清潔打掃的地方容易孳生黴菌、霉、真菌、細菌、病毒、塵蟎等生物。
人類活動及其他	人類呼吸便會產生二氧化碳，而抽煙除了會釋放尼古丁、一氧化碳、二氧化碳、乙醛、丙酮、焦油等污染物質外，也是室內懸浮微粒的主要來源。此外，室內盆栽植物產生的花粉、人體或寵物掉落的毛髮、體垢及皮屑也是室內空氣污染的來源。

我國所公告的室內空氣品質標準如表 3-2 所示，目前僅要求特定場所遵行，但仍可納為操作管理依據之一，其中二氧化碳濃度可概略表達環境通風的優劣，因此就室內空間來說可從管控二氧化碳值為目標，然而像是停車場空間有內燃機車輛使用特性，則應以一氧化碳值為管理方向，而細菌、真菌量則是醫院的重點。

表 3-2 我國環保署公告之室內空氣品質標準【10】

項目	標準值		單位
	時間	數值	
二氧化碳(CO ₂)	8 小時	1000	ppm (體積濃度百萬分之一)
一氧化碳(CO)	8 小時	9	ppm
甲醛 (HCHO)	1 小時	0.08	ppm
總揮發性有機化合物 (TVOC)	1 小時	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
真菌(Fungi)	最高值	1000	CFU/m ³
粒徑小於等於十微米 (μm)之懸浮微粒 (PM10)	24 小時	75	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)
粒徑小於等於二·五 微米(μm)之懸浮微粒 (PM2.5)	24 小時	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
臭氧(O ₃)	8 小時	0.06	ppm

3-2. 通風方式與換氣量

過去加強磚造住宅，人們的新鮮外氣是從門窗的縫隙自然引進，而現今鋼筋混凝土的高樓大廈，有時考量整體造型、隔音與採光等要求，大量採用玻璃帷幕加強氣密性，同時隨著建築物縱深越大或人口密度越大，當自然通風無法到達的區域，則須仰賴機械通風協助將新鮮空氣輸送至所需要的空調空間，維持室內基本換氣量，以下分別介紹自然通風、機械通風與之間的組合應用案例。

1. 自然通風

自然通風顧名思義即是仰賴大自然的法則，透過溫度(太陽能或燃燒)與壓力(季節盛行風或地形地物)引導氣流將污染物帶出，例如傳統壁爐上方煙囪開口，以燃燒熱能將煙氣排出，或者建築上方的太子樓，屋頂受太陽曝曬使得周邊空氣溫度上升，皆是熱空氣上升效應，上升氣流會因為熱浮力往上方開口流出，此現象為煙囪效應。溫度差產生的上升氣流，如果高度差越大，自然換氣效果越佳，另外新鮮空氣和排氣的位置也必須利用高低差原理設置，如圖 3-1 所示。

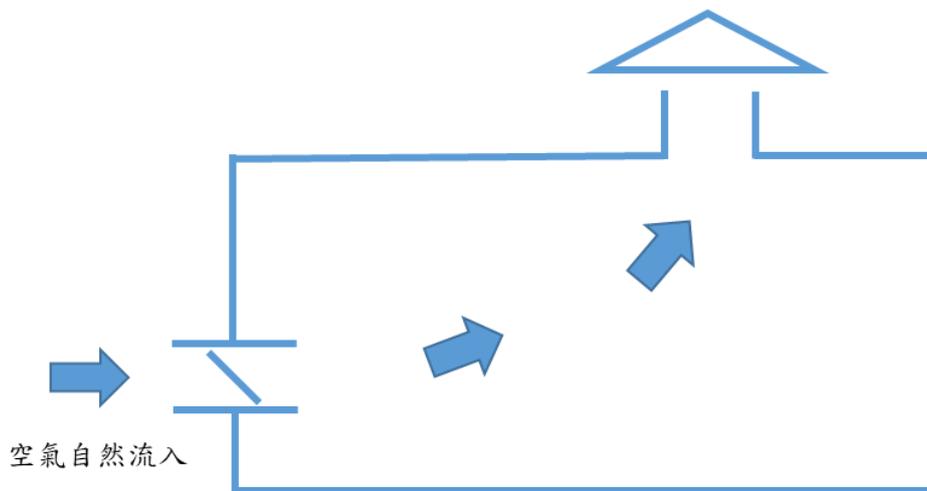


圖 3-1 自然換氣設備

另外，如果不同地區的季節盛行風或是有效利用建築物配置的話，自然換氣也能實現，在順風處和逆風處設計開窗，如此一來室內會因風壓自然產生換氣，建築迎風面會因空氣壓縮而成正壓，背風面則會形成負壓使空氣產生迴流，如圖 3-2 所示。但是如果空氣停止流動的話，就無法進行換氣，所以各地區的季節風特性或是地形都需要詳細的規劃，整體配置都需要全方位考量，必須要調整至對換氣有效的規劃。

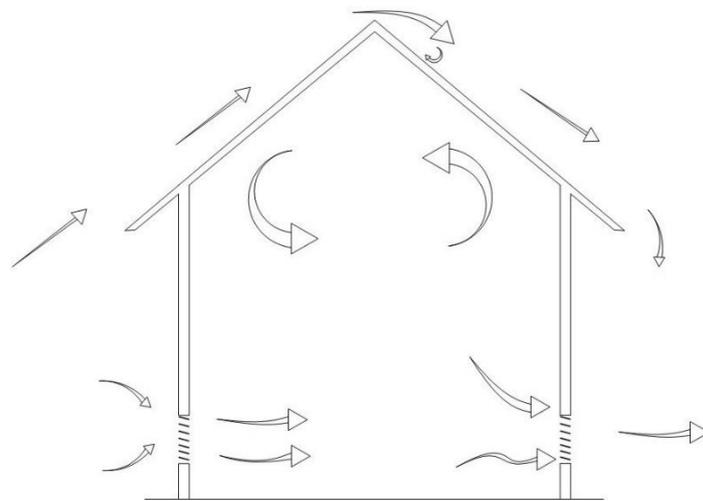


圖 3-2 建築物周圍氣流【11】

自然通風優勢在於透過設計規劃，以大自然的力量推動空氣，無需付出額外的能源，然而大自然並非一成不變的，會隨著天候因素而變化，因此無法確保一直符合需求的換氣量。

2. 機械通風【11】

機械通風則是消耗能源驅動機械，進而帶動流體（空氣），擺脫大自然的限制條件，使其依照人們的意志將空氣吸入或排出，像是居家常見的壁扇或抽油煙機，建築大樓中停車場送排風機與空調箱等均是，而機械通風亦分為數種設置方式，如圖 3-3-a 機械強制進、排風用以確保擁有需求換氣量，且可調整室內的正負壓力，圖 3-3-b 的空間則使室內為正壓環境(大於一大氣壓)，防止污染物從縫隙進入，反之像圖 3-3-c 的空間則使室內為負壓環境(小於一大氣壓)，防止污染物從空間外洩至其他區域，在實際應用上則視空間需求與環境特性進行配置。

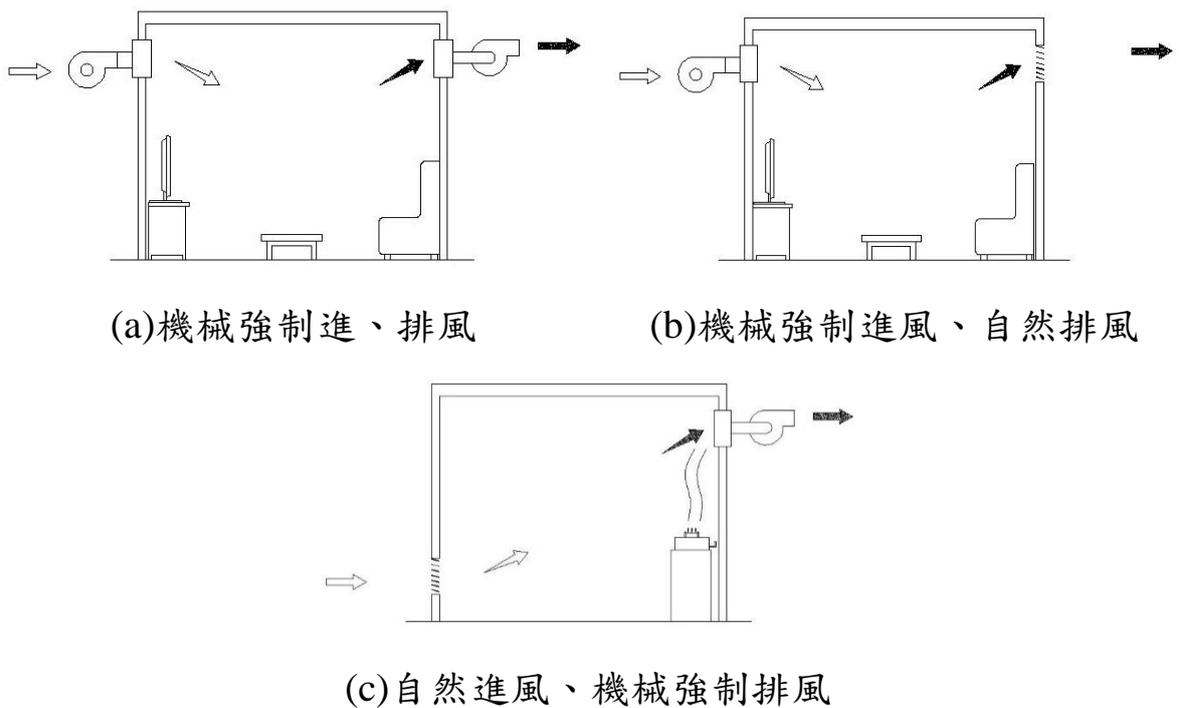


圖 3-3 換氣種類【11】

有時候我們會以換氣次數來表達通風情況，所謂換氣次數是以換氣量除以室內容積，例如一室內空間長 5 公尺、寬 5 公尺、高 4 公尺，可知室內容積為 100m^3 ，若此時我們有一台風機從戶外送 $50\text{m}^3/\text{hr}$ 的空氣進入室內，則換氣次數為每小時 0.5 次，如圖 3-4 所示，理想上戶外空氣很均勻的由左至右把室內污濁空氣替換過一次。然而實際空氣流動、污染物濃度擴散狀態與人為活動的干擾，如圖 3-5 所示，氣流的運動使得換氣效果無法 100% 的交換，造成實際上換氣次數偏低，這是設計上為排除這類無法預料的因素，設備容量選擇會稍大的原因之一。

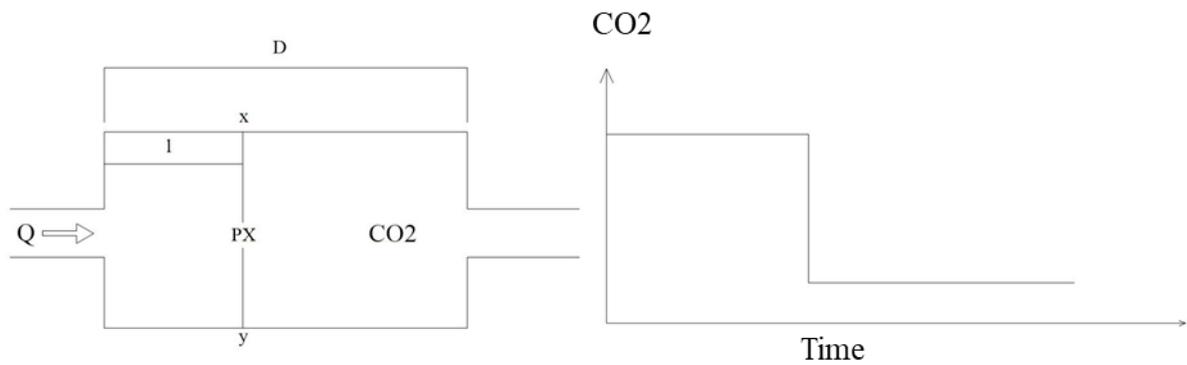


圖 3-4 完全混合和活塞換氣原理示意圖【11】

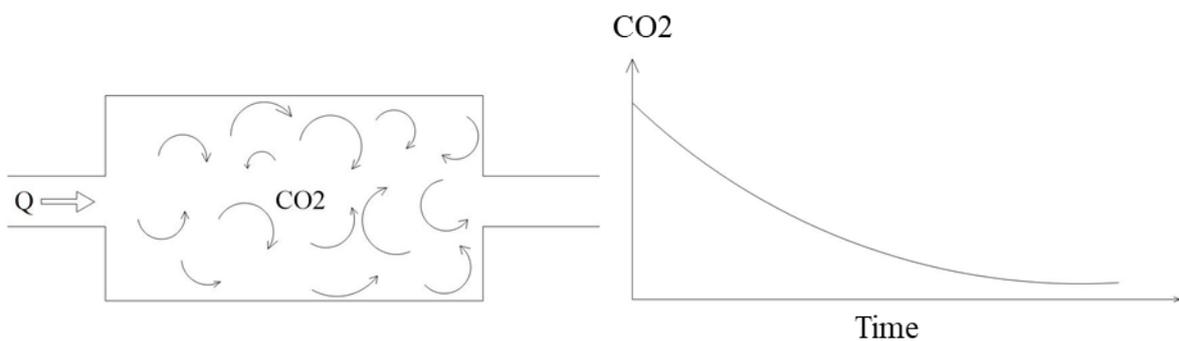


圖 3-5 不完全混合和換氣示意圖【11】

1. 誘導式換氣系統【11】

大型地下停車場因其場所特性仰賴機械通風，在廣大的地下空間中要處理汽車運行時的廢氣，需要大風量換氣裝置將污染物排出，為了維持所需換氣量，若採用長距離風管與大型換氣裝置組合下，將會因空間與成本等因素難以安裝於建築物之中，因此常見的方式是以高靜壓低流量的誘導式風機取代排風管，如圖 3-6，將高壓空氣從噴嘴以噴流的方式吹出，進而帶動周圍空氣，而分散於各車位與車道上方的眾多噴嘴，導引著氣流往同個方向移動，再由低靜壓高流量的軸流式風機由通風井送入與排出。

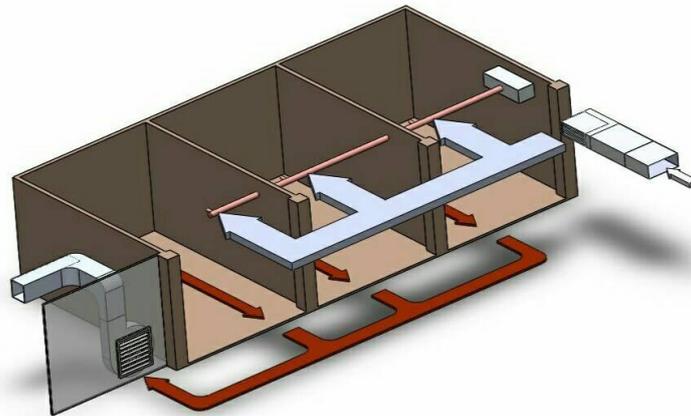


圖 3-6 誘導式換氣系統【11】

2. 置換型通風系統(自然通風結合機械通風)【11】

通風除了自然與機械通風外，何不兩種思維一起應用，如圖 3-7 所示，圖中是兩側為觀眾席、中間為室內運動場，空調由觀眾座椅下方與運動場兩側送出，再由天花板開孔排出，其原理是透過人體散熱與呼吸排出的熱空氣，以熱氣自身浮力(自然通風)配合下方送出涼爽的冷空氣(機械通風)產生循環，此種通風方式稱置換型通風系統，適用於具有挑高設計且大空間的場所，例如工廠、室內運動場或挑高大廳等。

若以圖 3-7 案例，若我們不充分利用自然條件，偏要把空調的冷空氣由上自下擴散輸送，由於場館高度與氣流熱浮力的關係，勢必受到由下至上熱空氣阻擋，冷氣無法有效的送到觀眾席與運動員身上，那麼變成設備能力則必須加大，最後造成建置與運轉成本大幅增加，而使用者感受並不會因此增加。

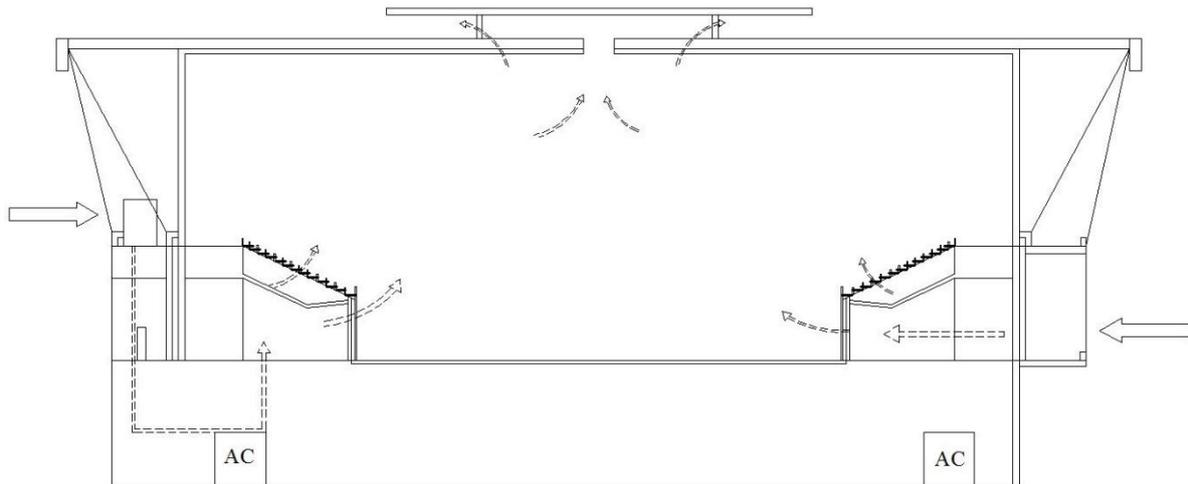


圖 3-7 置換型通風系統範例【11】

3. 依照使用性質決定換氣量

前幾節我們提到室內污染物的發生源與通風換氣的方式，而讀者可參考不同使用情境與各國要求等條件(如表 3-3 至 3-6)，進行估算以符合當地需求，本小節說明如何估算換氣量，依據空間類型、樓地板面積、人員活動性質與人員數量，範例以 ASHRAE 62.1 標準將條件帶入公式 1 計算，確保設備換氣量足夠，舉例說明如下

$$R_p \times \text{人數} + R_a \times \text{面積} = \text{換氣量} \dots\dots\dots (1)$$

預計容納四十人的教室，占地空間 90m² 的教室

$$5 \text{ L/s} \cdot \text{人} \times 40 \text{ 人} + 0.6 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2 \times 90\text{m}^2 = 254 \text{ L/s}$$

故此空間每秒鐘至少應提供 254 L 以上的新鮮空氣。

表 3-3 ASHRAE 62.1 標準(2016 年版)建議最小換氣量【12】

空間用途	以人員計算換氣量 Rp		以空間計算換氣量 Ra	
	cfm/人	L/s·人	cfm/ft ²	L/s·m ²
教室	10	5	0.12	0.6
演講廳	7.5	3.8	0.06	0.3
自助餐廳	7.5	3.8	0.18	0.9
酒吧	7.5	3.8	0.18	0.9
廚房	7.5	3.8	0.12	0.6
咖啡廳	5	2.5	0.06	0.3
旅館房間	5	2.5	0.06	0.3
辦公室	5	2.5	0.06	0.3
圖書館	5	2.5	0.12	0.6
大廳	5	2.5	0.06	0.3
博物館	7.5	3.8	0.06	0.3
住宅	5	2.5	0.06	0.3
超市	7.5	3.8	0.06	0.3
舞池	20	10	0.06	0.3
健身房	20	10	0.06	0.3
備註：本表適用於禁止吸菸區。				

表 3-4 我國「建築技術規則」第 102 條機械通風系統通風量

房間用途		樓地板面積每 m ² 所需通風量(m ³ /hr)	
臥室、起居室、私人辦公室等 容納人數不多者。		8	8
辦公室、會客室		10	10
工友室、警衛室、收發室、詢問室。		12	12
會議室、候車室、候診室等 容納人數不多者。		15	15
展覽陳列室、理髮美容院。		12	12
百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等 康樂活動室、灰塵較少之工作室、 印刷工場、打包場。		15	15
吸菸室、學校及其他指定人數 使用之餐廳		20	20
營業用餐廳、酒吧、咖啡館。		25	25
戲院、電影院、演藝場、 集會堂之觀眾席。		75	75
廚房	營業用	60	60
	非營業用	35	35
配膳室	營業用	25	25
	非營業用	15	15
衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面 積大於 15 平方公尺之發電或配電室		—	10
茶水間		—	15

房間用途	樓地板面積每 m ² 所需通風量(m ³ /hr)	
住宅內浴室或廁所、照相暗室、 電影放映機室	—	20
公共浴室或廁所，可能散發毒氣或 可燃氣體之作業工場	—	30
蓄電池間	—	35
汽車庫	—	25

表 3-5 美國 UBC 法規中有關自然通風與機械通風量法規條文

類別 Group	空間用途	機械通風量	
R	臥室、客房、宿舍	0.4 ACH	
R	上述之浴室／廁所	5 ACH	
A	集會堂	5CFM/人	
B	辦公室、酒吧、廚房、印刷場、 工場	5CFM/人	
B	私人車庫	1.5CFM/ft ² 或 14000CFM/車	
E	小學、托嬰所	5 CFM/人	
A	廁所	集會堂	4 ACH
B		辦公室	4 ACH
E		小學	4 ACH

表 3-6 美國 NBC 建築法規中機械通風量法規條文

空間用途	必須通風量 CFM／人	
辦公室	會議室	35
	辦公空間	20
	印刷室	0.5 CFM／ft ²
住宅	臥室	10 (CFM per room)
	廚房	100 (CFM per room)
餐飲業	酒吧	50
	速食店	35
	餐廳	35
	廚房	30
戲院	觀眾席	35
	大廳	35
	放映室	20

3-3. 導入新鮮外氣的節能措施

在舒適性空調為取向的住宅與商業，其空氣污染物多半為人為活動產生的 CO₂，其次則是裝潢釋放甲醛或影印機的臭氧等，此時監測 CO₂ 濃度可以當作大部分污染物濃度來進行管理，然而於炎炎夏日為了健康導入高溫高濕的新鮮外氣，透過空調處理成低溫低濕的舒適條件，其能源耗用不容小覷，以下就外氣需量控制與全熱交換器兩種節能措施進行說明。

1. 外氣需量控制

目的在於引入適量的新鮮空氣，並妥善分配到所需的空間，以往外氣引入多用手動風門，由操作人員自行調整，然而空調負載與空間使用人數時時刻刻變化，且多未裝設 CO₂ 感測器，操作人員也無法做出有效調整，引入外氣量過多則浪費能源對其除濕降溫，或引入過少則室內空氣品質不良，使用者往往抱怨空氣悶而不舒服。

而需量系統則透過安裝於各空間或空調回風管道的 CO₂ 感測器，如圖 3-8 所示，了解建築內 CO₂ 濃度與分佈狀態，進而以比例式電動馬達調整空調箱上的外氣風門開度，使外氣引入量最佳化。

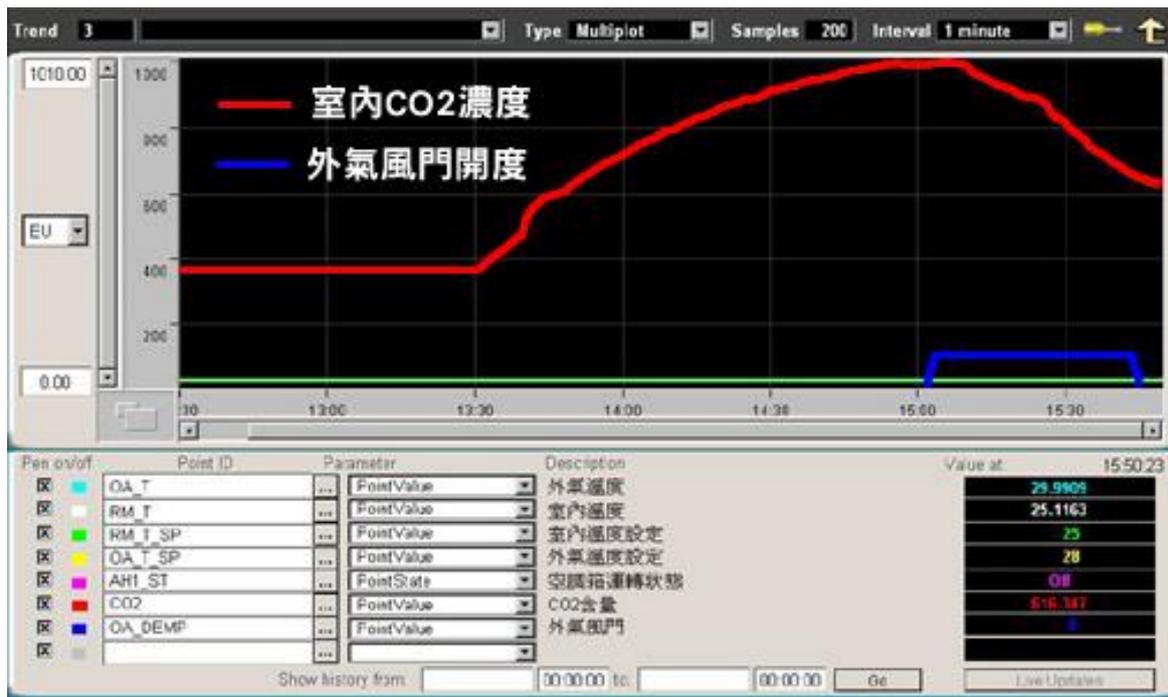


圖 3-8 室內 CO₂ 濃度與外氣風門開度比例【5】

2. 全熱交換器

台灣海島型氣候炎炎夏日時，高溫高濕的新鮮外氣的引入，也伴隨著低溫低濕污濁冷氣排出，如圖 3-9，空氣固然是必須替換的，但其中的冷能若無法回收，則須額外付出電費重新降溫，因此全熱交換器由此而生，所謂全熱包含顯熱(溫度)與潛熱(相變化)，而計算空氣熱值我們常以焓(kcal/kg 或 kJ/kg)表示。

我們以夏季室內空調環境與室外環境條件舉例說明，室內涼爽的空調環境熱焓值僅 12.6 kcal/kg，而室外相當炎熱熱焓值高達 20.6 kcal/kg，若同時引入新鮮空氣與排氣時，若能使兩股氣流進行熱(或焓)交換，可節約大部份的外氣負荷。在 70% 之交換效率下，可將外氣之焓值自 20.6 kcal/kg 降至 15.3 kcal/kg，節約 70% 之外氣耗能。若排出之廢氣有影響室內空氣品質時，則應使用顯熱交換器來節約能源。

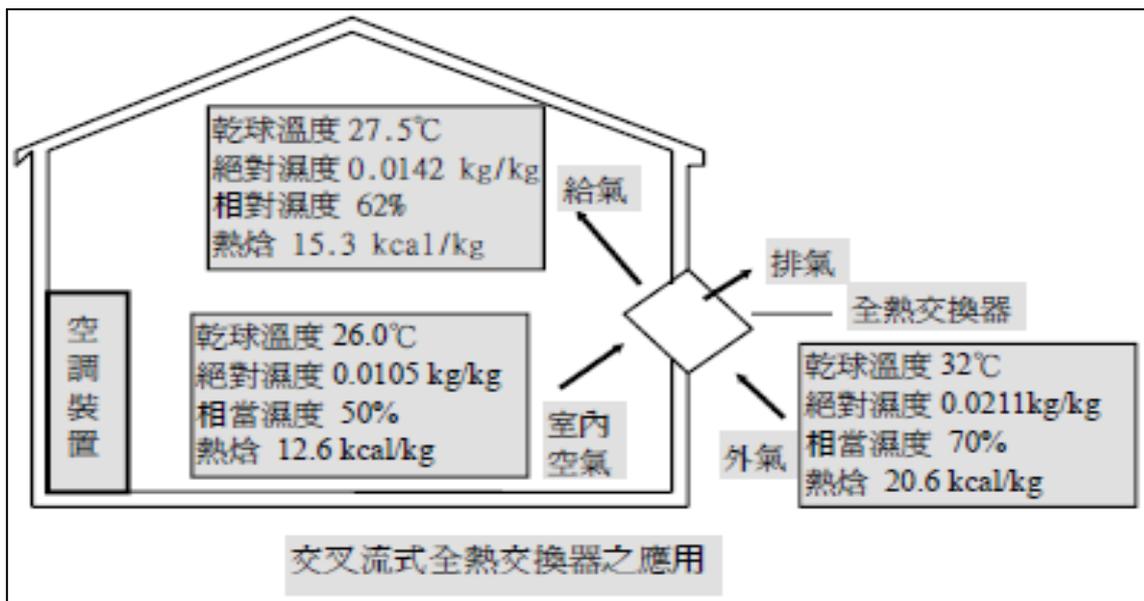


圖 3-9 使用全熱交換器使外氣進入室內降溫降濕【13】

全熱交換器效率定義【5】

$$\varepsilon_{ex} = \frac{h_{OA} - h_{AX}}{h_{OA} - h_{RA}}$$

h_{OA} ：外氣焓值, kJ/kg h_{RA} ：回風焓值, kJ/kg

採用全熱交換器於冷盤管所節省的空調機負荷為【5】

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

ε_{EX} ：全熱交換器的效率

h_{AX} ：排氣焓值, kJ/kg

G_{OA} ：設計的外氣量, m³/h₀

h_{OA} ：外氣焓值, kJ/kg

h_{RA} ：回風焓值, kJ/kg

C_P ：空氣比熱, kJ/kg°C

ΔQ_{EX} ：採用全熱交換器控制的節能效果, (kW)

3-4. 全熱交換器結構與類型

全熱交換器主要由熱交換系統、動力系統、過濾系統、控制系統、降噪系統及箱體組成。其系統即是利用將空調回風和新鮮空氣進行能量之交換，而降低引入空調外氣所增加之負荷，一般空調系統會引入約 30%之新鮮空氣和 70%之回風混合後，再加以處理成適合室內條件之空調送風；但這些被更換之空調回風，通常比室外新鮮空氣更接近室內之溫溼度條件，因此如直接將之排出室外即代表能源之浪費；故將低溫低濕之空調回風回收其能量再利用，即可降低空調系統之負荷，以下就熱交換系統進行介紹。

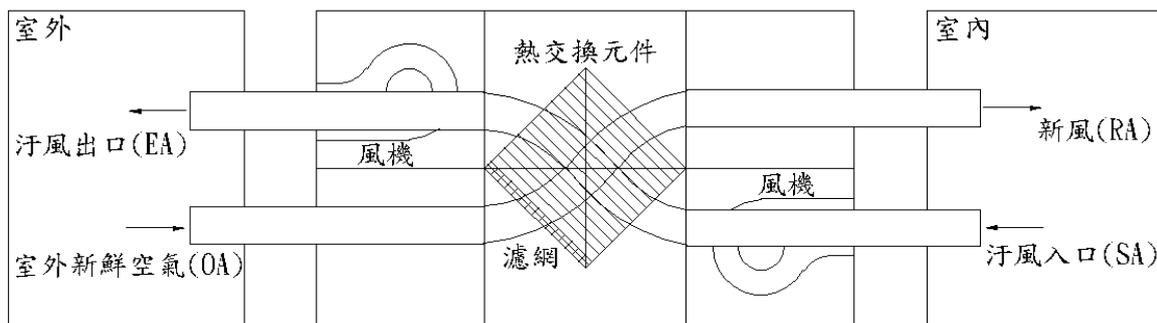


圖 3-10 全熱交換器設備概念圖

靜止型交叉流式之全熱交換器，如圖 3-11 與 3-12 內有許多平板之流道，以隔板與密封裝置將兩股流分開在每個平板之兩側，流向為交叉方向。平板多以可滲透之纖維製成，一邊吸收之水就可以滲透到另一邊讓另一股流帶出全熱交換器。這種設備本身不具有動力，維護簡單，為其主要優點。【13】

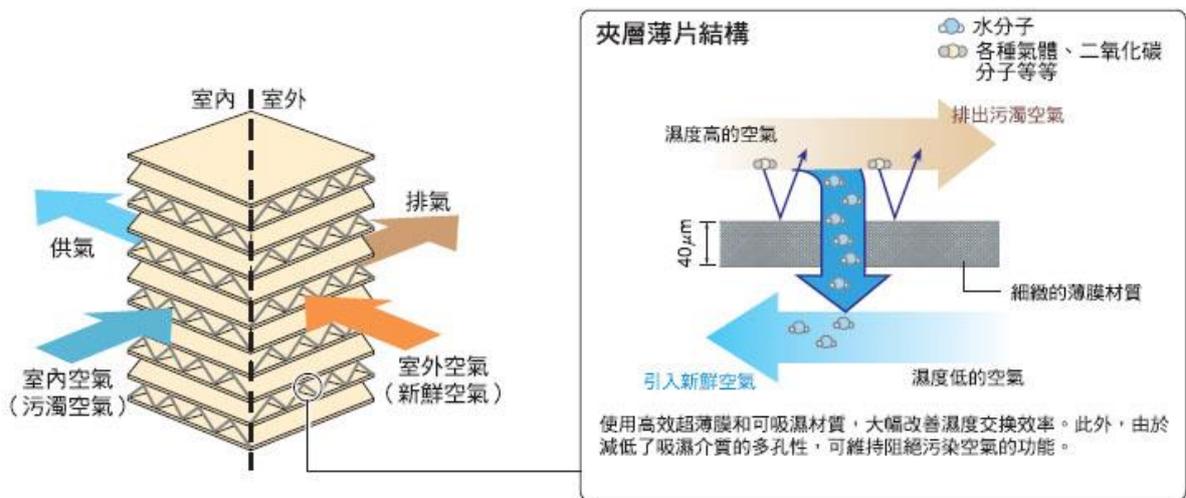
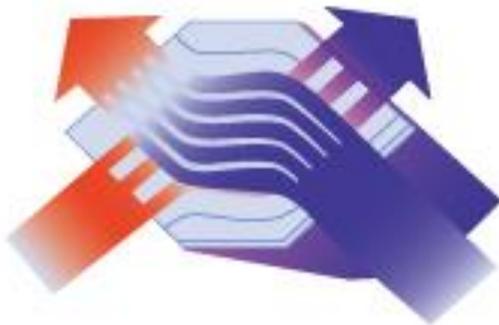


圖 3-11 全熱交換器內部熱交換濾芯作用原理

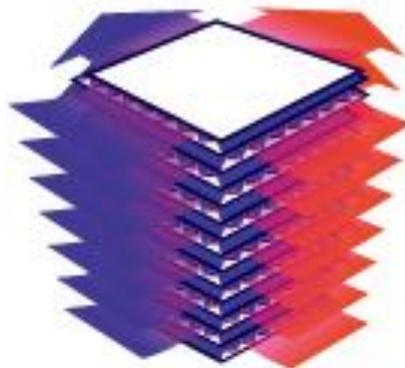
(參考資料 <https://www.hotaidev.com.tw/product5-1.asp>)

冷、熱氣流的流動方向相反



「逆交流板式」熱交換器

冷、熱氣流的流動方向相垂直或成一定角度



「交叉流超薄膜」熱交換器

圖 3-12 靜止型交叉流式全熱交換器

(參考資料 http://www.taiwan-hitachi.com.tw/products/products_level2.aspx?D7CD54418CB044E7)

轉輪式如圖 3-13 所示，顧名思義需用一個小馬達造成這種蜂巢輪之轉動，蜂巢內為無數平行之小通道，形成很大的交換面積。轉輪上需有裝置將之分成兩側，外氣流經一側，其熱量與濕氣有一部份被吸收在轉輪裡，已達飽和之部份持續的轉到另一側。較低溫及低濕之排氣流經另一側，將熱量與濕氣自轉輪帶走，達到吸熱吸濕能力再生之效果。轉輪式之優點為交換效率高，適用於較大型或外氣集中處理之系統如用於中央空調之空調箱。【13】

目前，無論在國內或是國外，在全熱交換器上採用的熱交換器有靜止和旋轉兩種形式其中轉輪式熱交換器也屬於旋轉式類型。從正常使用和維護角度出發，靜止式優於旋轉式，但大於 2×10000 CFM 的大型機來說，一般只能靠轉輪式熱交換器才能實現，因此可以說靜止式和旋轉式各有優缺點。為了易於佈置設備內的氣流通道以縮小體積，外氣換氣機採用了交叉流、靜止板式熱交換器。亦即冷熱氣體的運動方向相互垂直，其氣流屬於湍流邊界層內的對流換熱性質，因此充分的熱交換可以達到較高的節能效果。【13】

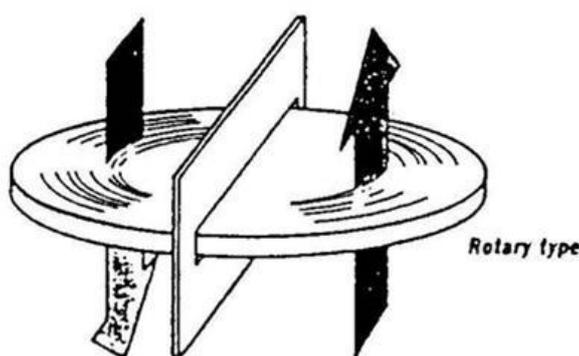


圖 3-13 轉輪式冷能回收方式示意圖

[Herb Wendes. 1994. HVAC Retrofits. Energy Savings Made Easy, The Fairmont Press, INC.]

四、外氣冷房系統

4-1. 原理介紹

在較涼爽的季节上，一般傳統中央空調為了維持健康且舒適的空調環境，將排出室內空氣及引入室外新鮮空氣，主機也持續在運轉，造成不必要的能源損失，但如果可以好好利用涼爽的外氣空氣引進室內來達到冷房的效果，不僅能達到停止運轉空調主機的耗電，也能達到節能的效果。簡單來說，外氣冷房就是利用大自然中溫度較低的空氣與室內溫度較高的空氣進行熱交換，外氣焓值低於室內回風焓值，除去室內的熱量，如圖 4-1 所示。減少冰水的供應量及冰水主機的耗能。

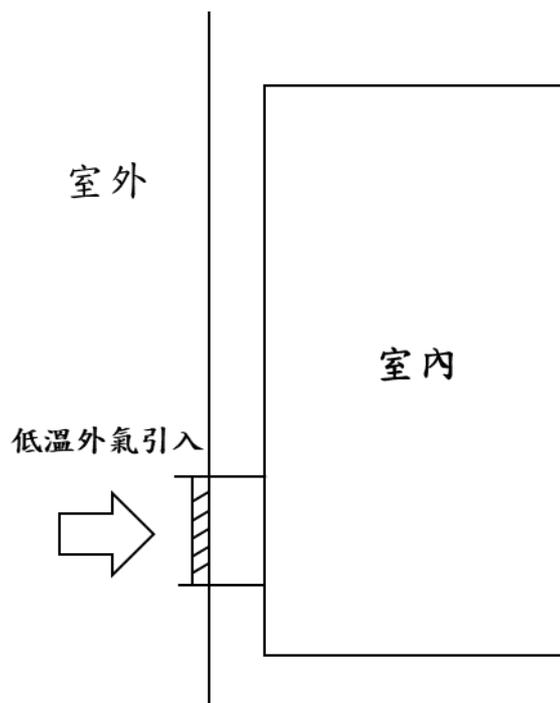


圖 4-1 外氣冷房示意圖

對於生活在於密閉空間的建築物內，室內內部受外界影響較微弱，反而是受室內人體、照明、機械的發熱量影響較大，因此必須依靠空調設備系統來達到室內冷房移去熱量的效果。由於室內充滿了提高溫度的影響因子以外，也包含著許多影響空氣污染的因素，如一氧化碳、二氧化碳、甲醛、揮發性有機物、生物性污染物、懸浮微物、臭氧等，會造成人類的身體健康有所為害，因此室內的通風室內空氣品質必須要符合標準。而中央空調系統有時並沒有搭配引入外氣的條件，造成室內空氣品質依然非常的差，因此引入外氣的條件扮演著非常重要的角色，在春秋季節時，室外的溫度比室內還低，可以利用室外的空氣達到室內冷房的效果，但是必須要考慮到建築物的空間及限制條件，因此在設計時就必須要了解其用途及條件。

4-2. 外氣冷房節能控制設計技術【5】

1. 外氣冷房的節能控制有分成以下兩種類型：

- (1) 依照外氣溫度(顯熱)節能控制
- (2) 依照外氣焓值(顯熱+潛熱)節能控制

當外氣條件焓值低於室內空氣焓值時，可以增加外氣引入量進入空調系統，以減少冰水系統的空調熱負荷，可以節省空調系統可觀之能源。此種操作有兩種做法：

- a、 溫度控制：由外氣溫度感測器感應外氣溫度，當感測到之溫度落於室內溫度設定值時，控制外氣風門大量引入此狀態之外氣，直接供應至空調空間，此時壓縮機與冰水系統可以停止運作而達到節省能源。但此種以外氣溫度為標準來引入外氣之作法可能會導

致誤差，如圖 4-2 當外氣狀態落入區域 5 時，溫度低於設定值但其焓值高於室內空氣設計焓值，若此時採用溫度控制方式，將會將此高能量之外氣大量引入室內，不但無法利用外氣冷能減少空調設備運轉之效能，反而導致空調負荷增加。

- b、焓值控制：由外氣溫度與濕度感測器感應計算外氣焓值，當計算之焓值落於室內設定條件之空氣焓值時，外氣風門大量引入此狀態之外氣，直接供應至空調空間，此時壓縮機與冰水系統可以停止運作而達到節省能源。此種以外氣焓值為指標來引入外氣之作法可以避免將高溫高濕氣大量引入，減少系統控制誤差，可確保利用外氣冷能予以減少空調設備運轉之成效，因此比較適合應用於國內天候條件，使空調系統更為節能。但此控制模式亦須注意引入濕度過低之外氣，而導致需要加濕所產生額外耗能之情形，如圖 4-2 之區域 3。

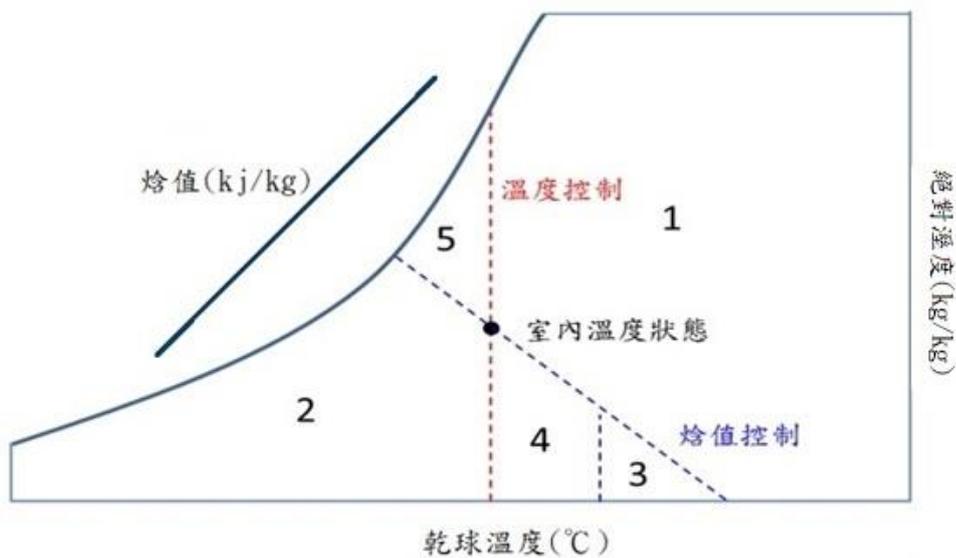


圖 4-2 溫度控制及焓值控制節能效果之差異【5】

表 4-1 外氣冷房系統溫度與焓值控制之節能效果【5】

區域	溫度控制	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	溫度
4	最小外氣	最大外氣	焓值
2	最大外氣	最小外氣	焓值

若採溫度控制方式之外氣冷房系統，其外氣（ T ）適用條件為 $T_{\text{外氣}} < T_{\text{回風}}$ 。若採焓值（ H ）控制方式，其外氣適用條件為 $H_{\text{外氣}} < H_{\text{回風}}$ 。而外氣符合使用條件時，引入的外氣量與外氣溫度的關係如圖 4-3 所示，當外氣溫度低於 T_A 時，此時引入全外氣，外氣比為 1；當外氣溫度低於 T_B 時，此時若引入全外氣將造成室內過冷，故要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最小外氣量。

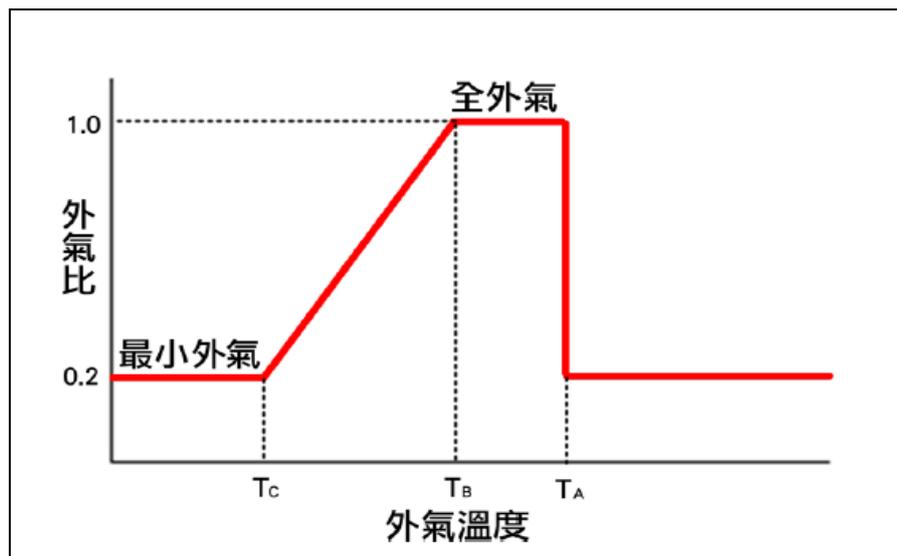


圖 4-3 外氣溫度與引入外氣量之關係【5】

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， $kJ/kg^\circ C$

ΔQ_{ECO} ：採用外氣冷房控制的節能效果， 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：

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

4-3. 外氣引入位置【14】

當我們於設計或評估一個建築物，首要考量影響室內空氣品質之因素，或辨別何種因素將影響空調系統之性能呈現，這因素並同時擁有決定良好的室內空氣品質甚至影響建築物壽命之能力，這答案就是外氣引入位置因素。由於建築外(景)觀等視覺因素考量，習慣延續著『眼不見為淨』的設計哲學走向來選定建築物外氣引入位置，這對於空調系統之組成而言是一項重要的缺失，無論如何，這也許已造成建築物未來居住者的傷害，因為外氣引入如同建築物的鼻子，這構造如人類演化中形成突起的鼻器官且在解剖學上得以證實，這象徵著機械通風能使建築物換氣，就像人類之呼吸系統能使肺部有著換氣能力是相同的功能，建築物也應如此被對待。

是故評估室內空氣品質時應站在外氣風門引入口前，環顧四周路徑以及空氣污染源，潛在變動之污染源是否將作用於外氣引入位置，例如常見於建築屋頂層之屋頂式空調機組(Rooftop HVAC Units)外氣引入點，可能涵蓋污廢水透氣管、冷卻水塔、廚房排氣、實驗室排氣，若經過一段長時間下雨積水，就應檢視屋頂式空調機組(Rooftop HVAC Units)表面狀態以並確定發生積水原因，當然漏水實驗亦能協助證明。此外在近地平面之外氣引入點，會使車輛廢氣隨之進入空調系統中，然而還有更糟的潛藏問題，譬如地下機房之外氣引入口，恐會有飛禽或昆蟲生物闖入，故應設置清潔濾網與攔截設施，如濾網、防蟲網。

在外氣風門設置之效能方面由於我們都知道，希望能引入適當外氣量而設置外氣風門，但往往最後見到的狀況是風門設置位置與希望引入的外氣量無明顯的成效，風門可能是設在靠近適當外氣的引入點或者設置於建築物之任何一處角落。

舉例來說，外氣通常由機房直接進入空調箱，這重要路徑的影響將取決於空調箱洩漏程度，不但與空調箱及機房之間壓差、而且又與機房和外氣之間的壓力條件有關，這在先前曾說明其關鍵原因在於外氣入口遠離機房時，在低樓層外氣入口受到煙囪效應(Stack effect)之影響所致結果，建築物之室壓差及洩漏程度，將取決於戶外與室內之溫度差及建築物高度因素。除此之外，還有外氣入口之高阻抗狀況，如外氣百葉阻塞、空調箱盤管凍結、防蟲網孔隙過小(<0.5”)等問題皆影響著外氣引入量之性能。

4-4. 外氣風門設置【14】

外氣風門是提供空調系統使能夠達成適當而舒適通風之首要構成元件，這基礎就是當使用者進駐建築物內即應開啟換氣功能，而在循環模式下，因室內未達使用條件而外氣風門在此階段為關閉狀態，但為了在新設裝修的建築環境時，通常會把外氣風門預設為開啟狀態，這種情況是相當常見，原因是因為要將該空調區間空氣做稀釋作用，使提供初始狀態下的空氣能達到乾淨空氣之要求。這樣至少持續 3~6 個月，另外根據文獻所示這是一個有效提供低風險且較舒適的室內空氣品質條件的方法，在 15 種 VOCs 項目之研究發現可降低濃度逾 80% 左右，另外通常外氣風門的控制存在以下幾種問題：

1. 外氣風門採取時程控制(Time schedule)，會因某種原因使排程發生混亂而失效。
2. 與外氣風門連動之設施或訊號故障而導致外氣未能適當引入。
3. 為了降低能源消耗之原因，而關斷或限制外氣量。
4. 採取一般固定外氣比率法(通常未作外氣量監測)之控制。

通常外氣風門的控制也常見利用控制系統邏輯來達成，例如：當混風溫度高於溫度設定點(15°C)則外氣風門調節至設定之最小開度，而反之則增加開度甚至為全開度。

4-5. 外氣冷房設計條件【14】

外氣與室內空氣之熱值(熱焓)差異很大，外氣在 32°C、70% RH 時，其之熱焓為 20.6 kcal/kg，室內空氣在 26°C、50% RH 時，其之熱焓為 12.6 kcal/kg。尤其是夏季之尖峰，室內外空氣的熱焓之差異更大，引入外氣會造成很大的負載，甚至高達 30%之多。為了節約能源，美國 Ashrae(冷凍空調學會)在 1973 年訂定了 62 號標準，隨後在 2004 與 2016 年修定了 62 號標準。

對於有較大空調負荷的室內，或內部空調負荷較大之建築，或者在冬季時室內尚需空調。在這種情況下可考慮用低溫外氣來提供室內作為空調，其調節如圖 4-4，其可行性分析如下：

1. 設室內之空氣為 22°C 60%，其之熱焓約為 48 kJ/kg。
2. 設室外之空氣為 16°C 70%，其之熱焓約為 38 kJ/kg。
3. 室內外之焓差約為 10 kJ/kg。
4. 1000 CMH 外氣量可提供之冷氣為

$$1000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 10 \text{ kJ}/\text{kg} = 12000 \text{ kJ}/\text{hr} = 3.3 \text{ kW}。$$

由上可見 1000 CMH 之外氣可提供之空調約一個冷凍噸(3.5kW)，故外氣冷房在有適當條件下是為可行，其之設計需考慮兩點：

1. 台灣地區之濕度高，不能像國外只用溫度作為外氣冷房之切換，需同時考慮濕度，計算焓值與設定值作比較。
2. 一般之外氣約占總送風量之 20%，故送風管皆不大，若用外氣冷房則需將外氣管加大，才會有足夠之外氣。

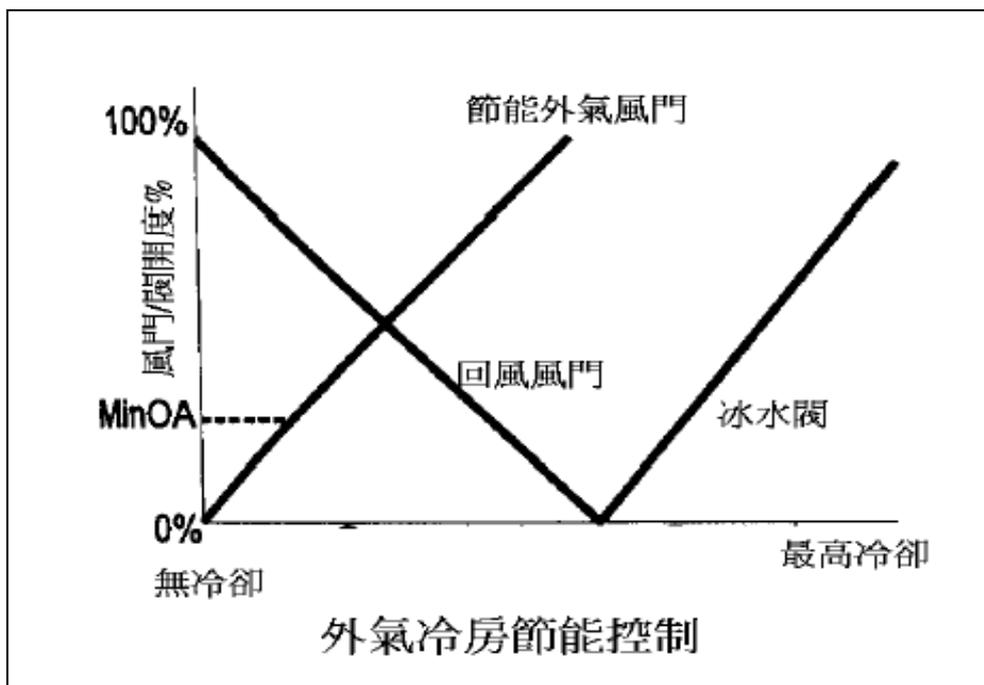


圖 4-4 外氣冷房之節能控制【5】

4-6. 外氣冷房的延伸應用(夜間排風策略與建築預冷控制)

外氣冷房核心價值在於比較室內與室外空氣焓值(熱值)，若室外空氣條件符合需求(例如降溫所需的冷空氣)則引為所用，反之則以需量(室內空氣品質)控制，因此若將其延伸運用則有兩個控制技術的出現，即夜間排風策略與建築預冷控制，兩者有獨立的目的也有共同的項目，如圖 4-5 所示，因此應視建築使用特性組合應用。

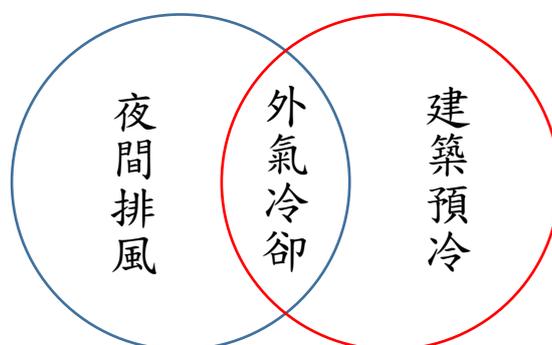


圖 4-5 夜間排風策略與建築預冷異同處

1. 夜間排風策略

夜間排風策略的目標再於夜間(人為活動減少)引入室外的乾淨空氣，取代下班後因建築密閉且空調停止時，室內殘餘污濁空氣(CO₂)、建築結構與設備的揮發性污染物(甲醛、臭氧等)。但像是建築結構等揮發性污染物，係以微量持續從牆面釋放，不像人體呼吸排出的 CO₂，無人使用便不會產生，若從下班時間延長空調供應作為換氣，則過了一夜或例假日，這段期間仍有污染物由結構逸散出來，這就像是一早進入辦公室感覺空氣悶而不舒適的感覺。

因此排風策略應控制於上班前幾個小時，以排風機一次性有效將污染物排出，若以一般住商辦公大樓控制策略為例，以室內二氧化碳感測器為參考值併用時程控制，於上班前一個小時，以排風機將建築內污濁空氣排出，直到二氧化碳值接近大氣環境的 450 ppm，或者運轉達一定時間推估換氣次數(計算方式請參考第 3-2 節)後停止，以二氧化碳值作為排風機控制的比較基礎時，應參考實際戶外二氧化碳值，避免設定低於或太接近戶外二氧化碳濃度，否則將使排風機持續運轉而失去換氣效益。

2. 建築預冷控制

建築預冷控制目標則是把建築內殘餘熱能，利用空調或電價離峰時間將熱能排出，而殘餘熱能的來源，不外乎是日間太陽輻射熱照射建築，使熱能儲存建築結構中，夜間緩緩釋放出，或者是夜間建築內仍持續運轉的設備熱能累積等，以往我們白天上班開啟空調，花費能源將熱能排出，這些夜間累積的熱能會併同白天人員活動的熱能，使空調設備處於重載，花費大量的能源運行好一陣子，才能下降到舒適的環境條件，這時不但白天太陽毒辣空調主機散熱受限，而且使用尖峰用電這些情況讓能源費用高昂。

若能有效利用自然冷能取代空調設備，除具有空調負荷移轉的效果，更有效降低能源花費改善室內空氣品質，因此建築預冷控制的目標在於轉移空調負荷於離峰，併用引入晨間室外低焓(熱)值空氣，取代建築內高焓值空氣效益更高，同樣以一般住商辦公大樓控制策略為例，透過偵測室外、室內與目標空氣焓(熱)值的差異，優先以室外空氣預冷室內環境，不足部分再以空調冰水加以調整(降溫、除濕)，而導入室外低焓值控制策略則與前一節外氣冷房控制策略相同。

與夜間排風策略相仿，建築熱能隨著室內外環境變化，建築整體可能處於吸熱(室外溫度高於室內)或散熱(室內溫度高於室外)的情況，若上班時間與晨間差異過大，則預冷效果可能無法呈現(即建築冷卻後受太陽輻射又重新加熱)，因此透過外氣預冷條件如下

1. 電價離峰時段
2. 室外空氣焓值低於室內，優先以外氣預冷
3. 儘量靠近上班時間預冷

這邊須知若室外空氣焓(熱)值高於室內時，應回歸前面的夜間排風策略處理，僅將污染物排出即可，空氣冷卻部分回歸空調冰水系統，避免錯誤引入高焓值空氣，反而增進不必要的能耗。

4-7. 應用案例說明

➤ 案例一、外氣冷房控制與變風量節能應用實例

本案例是以台灣南部台南地區某區域級教學醫院醫療大樓六樓 D 區，圖書館及行政區域為改善之環境，以符合台灣「室內空氣品質管理法」(Indoor Air Quality, IAQ)之規範下，改善該區空調供應系統空調箱 (AHU) 之外氣引入量及供風量，以 24 小時全時監測及調整確保無過量的引入外氣及空調供應而造成空調設備耗電負載。

改善案以監控控制電腦數位控制器 (DDC) 自動連續監測，室外溫度及濕度計算焓值、室內回風 CO₂ 值、送風風管靜壓值及空調箱送風馬達運轉數值，實際了解空調供應系統之運轉狀態，以相關量測數據進行統計分析。環境如圖 4-6 醫療大樓六樓 D 區平面圖、圖 4-7 空調箱供風區域圖。

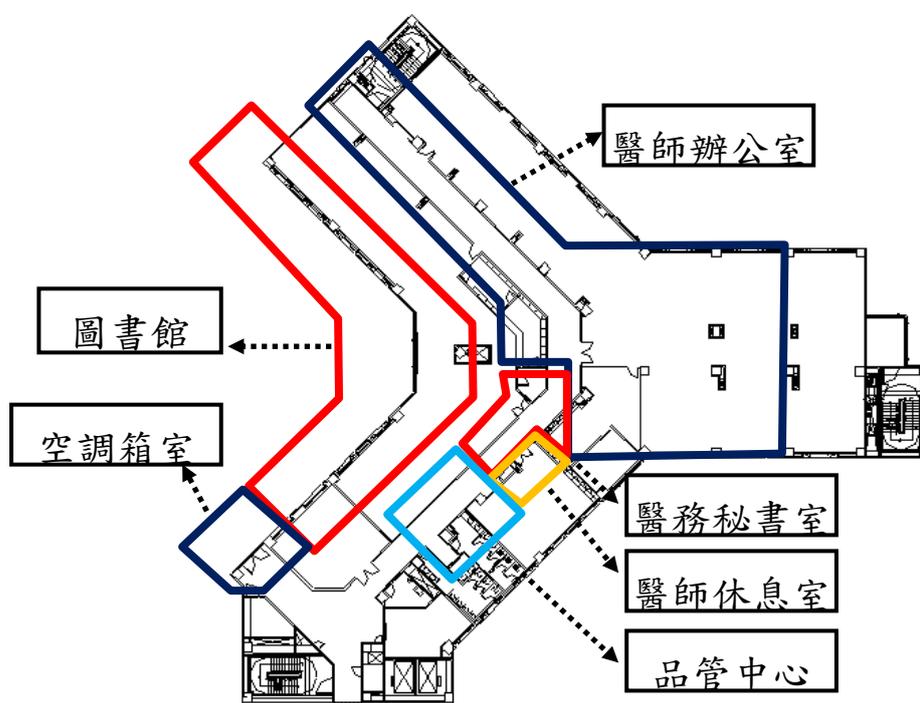


圖 4-6 醫療大樓六樓 D 區平面圖【15】

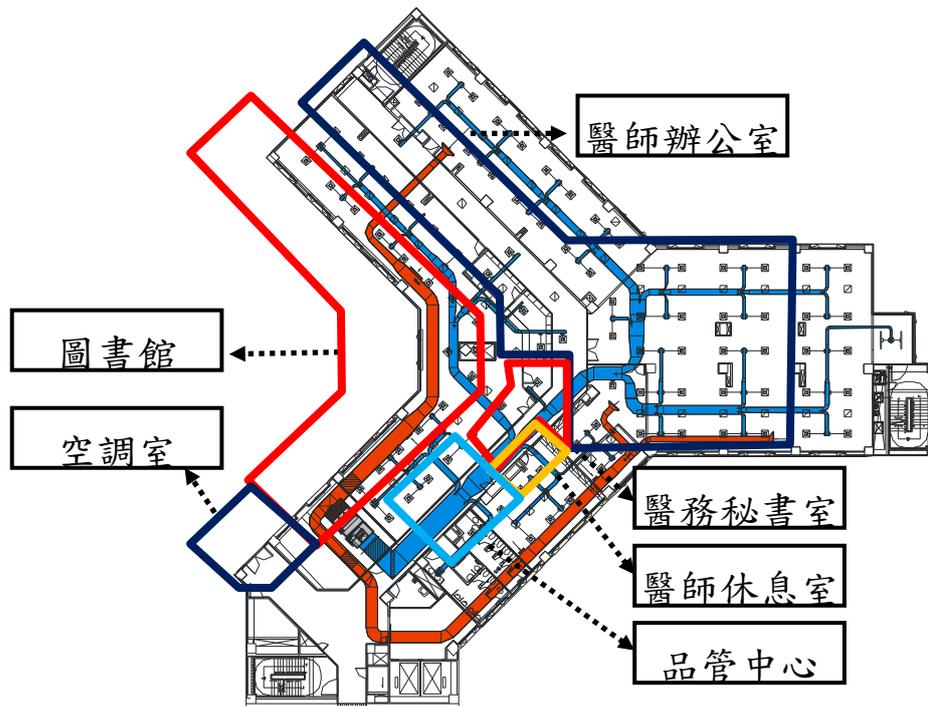


圖 4-7 空調箱供風區域圖【15】

而本案區分兩階段進行改善，第一階段：以室內空調回風 CO_2 值為外氣引入量控制基準，單獨改善外氣需量控制降低外氣對空調負載之耗能。第二階段：以第一階段控制模式下，增設空調箱供風區域部分 VAV 風量控制系統與部分時段控制風機馬達變頻轉速，進而降低空調供風量，案例過程與節能效益，分別依序後述。

1. 第一階段：外氣需量與冷房系統

第一階段是增設風管型 CO_2 偵測計安裝於回風風管以偵測室內回風 CO_2 值，在外氣引入口處增設焓值計及將原本手動固定式外氣風門改善為比例馬達(0~100%)驅動式風門，如圖 4-8 所示。

圖 4-9 為原空調箱外氣風門(手動固定式)、圖 4-10 為改善後空調箱外氣風門(增設比例式風門馬達)、圖 4-11 為空調箱外氣引入端增設外氣溫濕度計、圖 4-12 為空調箱回風端增設 CO_2 計(偵測室內 CO_2 值)、圖 4-13 為空調箱外氣溫濕度計、外氣風門、回風 CO_2 偵測計安裝位置。

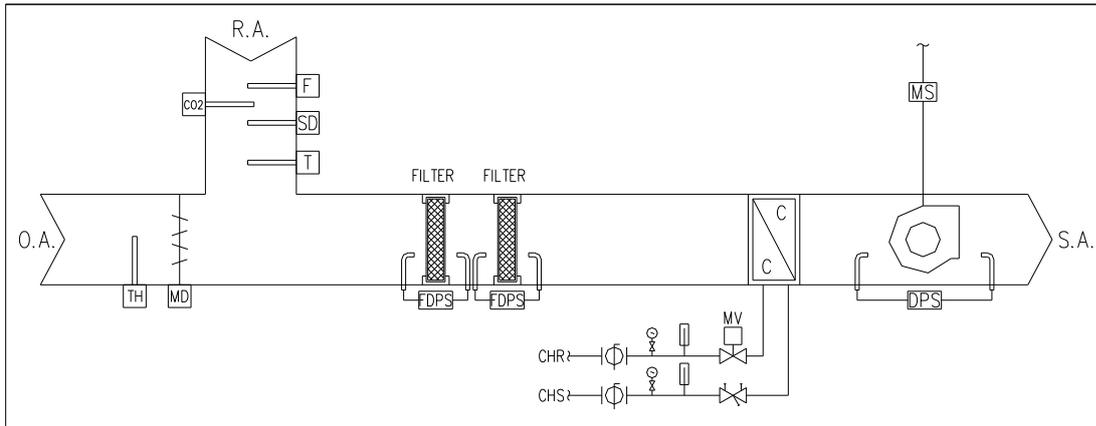


圖 4-8 第一階段空調箱控制系統圖【15】



圖 4-9 原始空調箱外氣風門【15】

(手動固定式開度 80%)



圖 4-10 改善後空調箱外氣風門【15】

(增設比例式風門馬達)

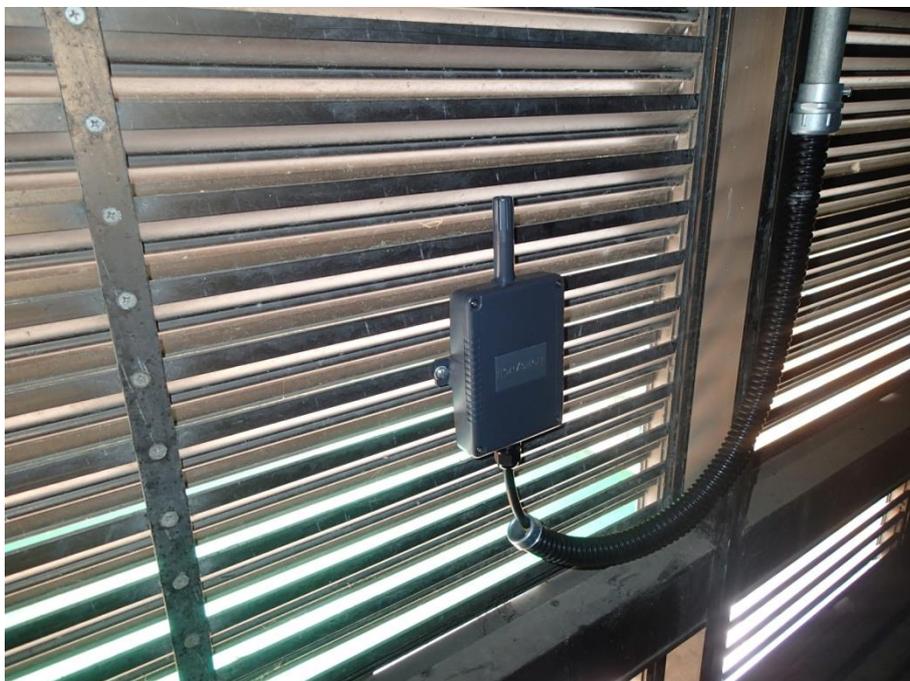


圖 4-11 空調箱外氣引入端增設外氣溫濕度計【15】



圖 4-12 空調箱回風端增設 CO₂ 計【15】

(偵測室內 CO₂ 值)



圖 4-13 空調箱外氣溫濕度計、外氣風門、回風 CO₂ 偵測計安裝位置【15】

外氣風門做動條件有下列兩方式(1)室內回風 CO₂ 值高於設定值(800ppm)時，為符合室內空氣品質管理法規定，不管外氣溫濕度高低，一律開啟外氣風門，將室內 CO₂ 值降低至符合法規規範。(2)本案設定以外氣溫度 24.5°C、濕度 50%RH 之當下焓值 50kJ/kg 做為引入外氣條件基準，當外氣焓值低於設定值時由控制器開啟外氣風門，以降低空調箱冰水盤管負載，圖 4-14 空調箱外氣需量控制流程圖所示。

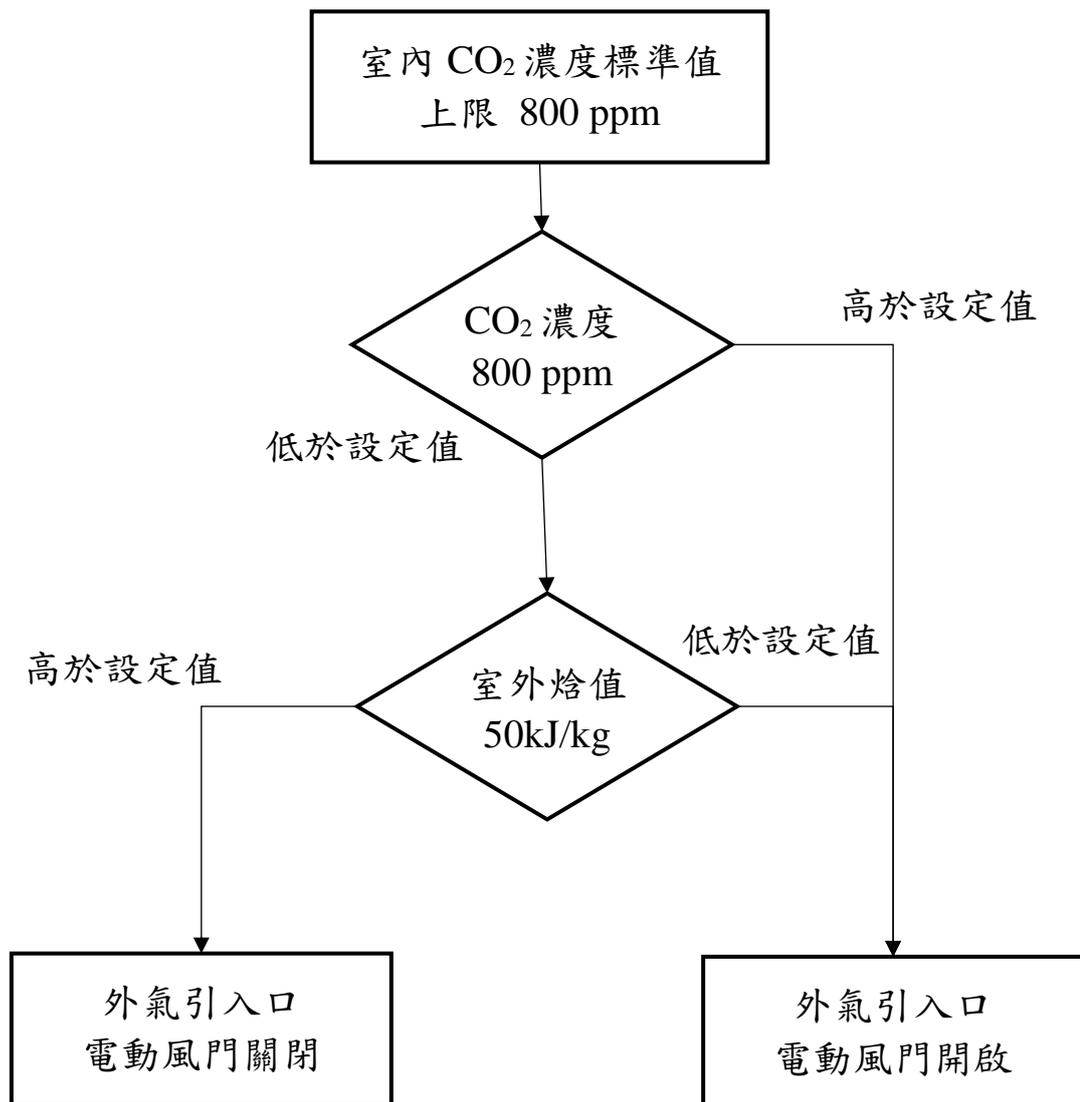


圖 4-14 空調箱外氣需量控制流程圖

圖 4-15 至圖 4-16 為空調箱回風風量與外氣量在外氣風門各開度所占之風量及比例。分析後可發現當外氣風門開度越大時，所引入的外氣量相對越多，空調回風量越少，當外氣風門開度 100%全開啟時，外氣與回風所占比例約為 60:40。

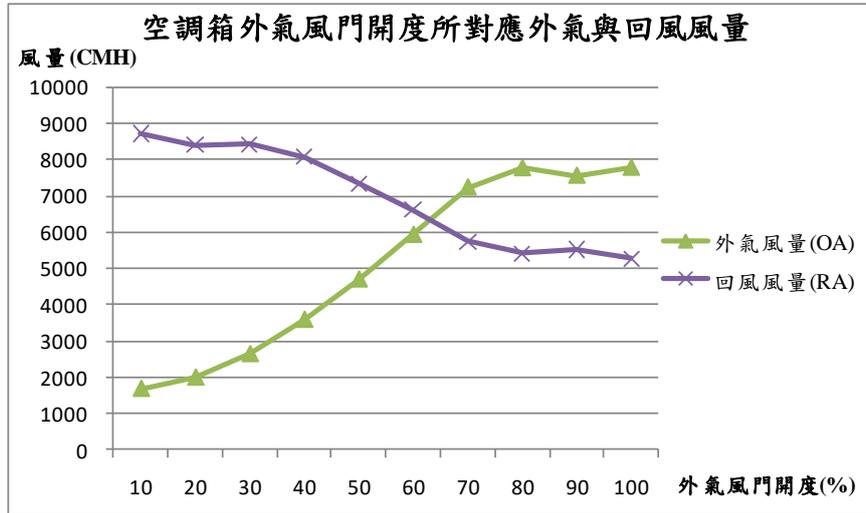


圖 4-15 空調箱外氣風門開度所對應外氣與回風之風量【15】

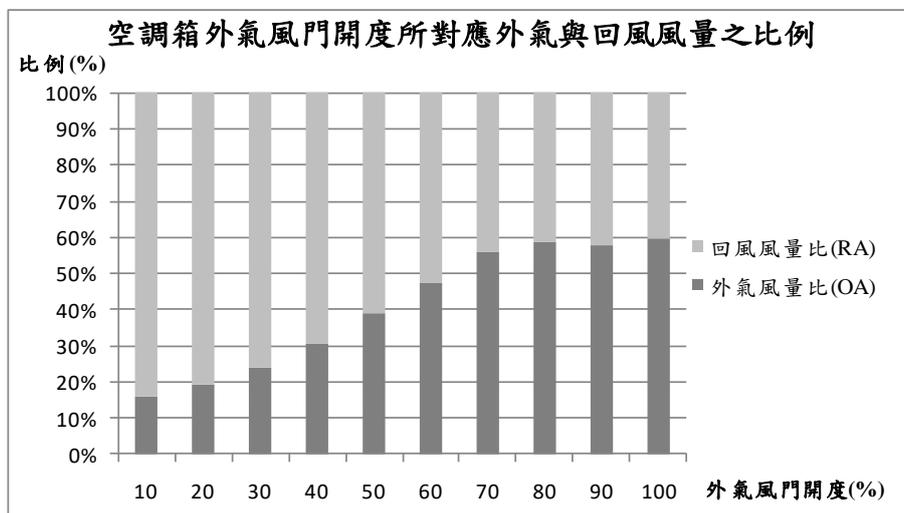


圖 4-16 空調箱外氣風門開度所對應外氣與回風之風量比例【15】

經由監控電腦資料進行數據統計及分析後得知，以外氣焓值 50 kJ/kg 為啟閉外氣風門之條件。圖 4-17 為全年各月份空調箱所引入外氣之耗電負載量(kW)，以單獨改善外氣需求控制，改善前後節省耗能最高達 79%。

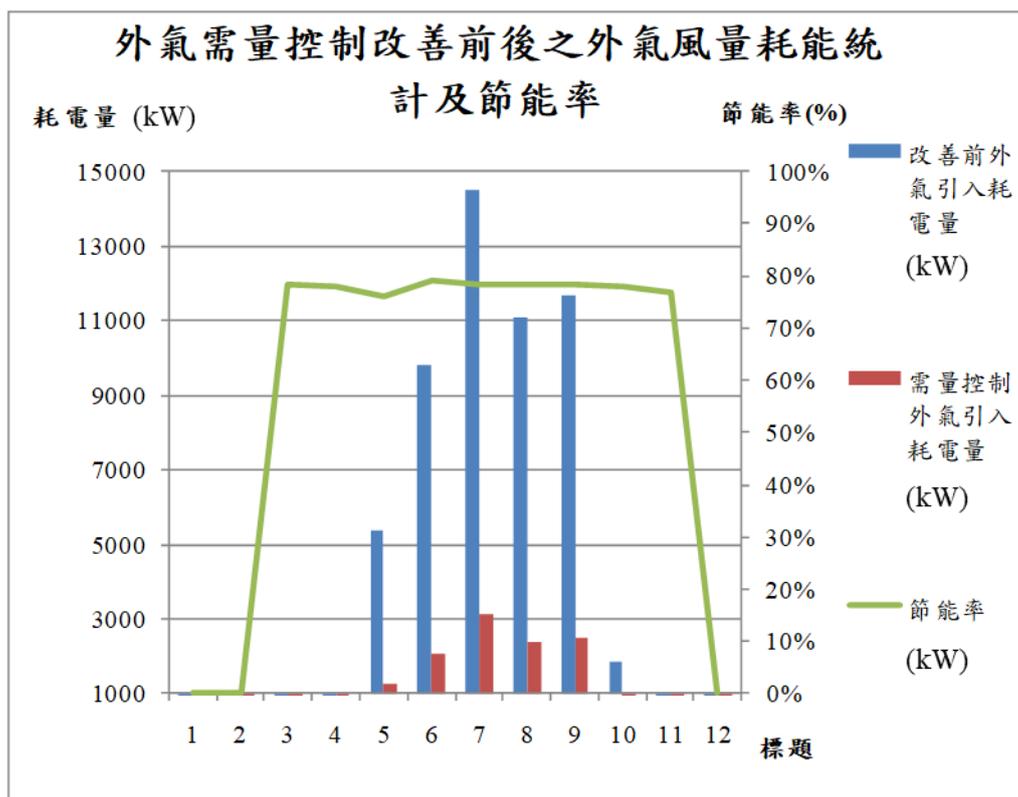


圖 4-17 外氣引入量改善前後耗能統計及節能率【15】

2. 第二階段：外氣需求結合 VAV 變風量控制

第二階段改善方式主要以第一階段改善模式搭配 VAV 變頻控制系統進行改善，並將運轉數據由 DDC 數位控制器將所量測之訊號傳回監控電腦進行比對控制及資料儲存。圖 4-18 為全年各月份外氣風量與風車馬達耗能統計及節能率，節省耗能 45%~61%。

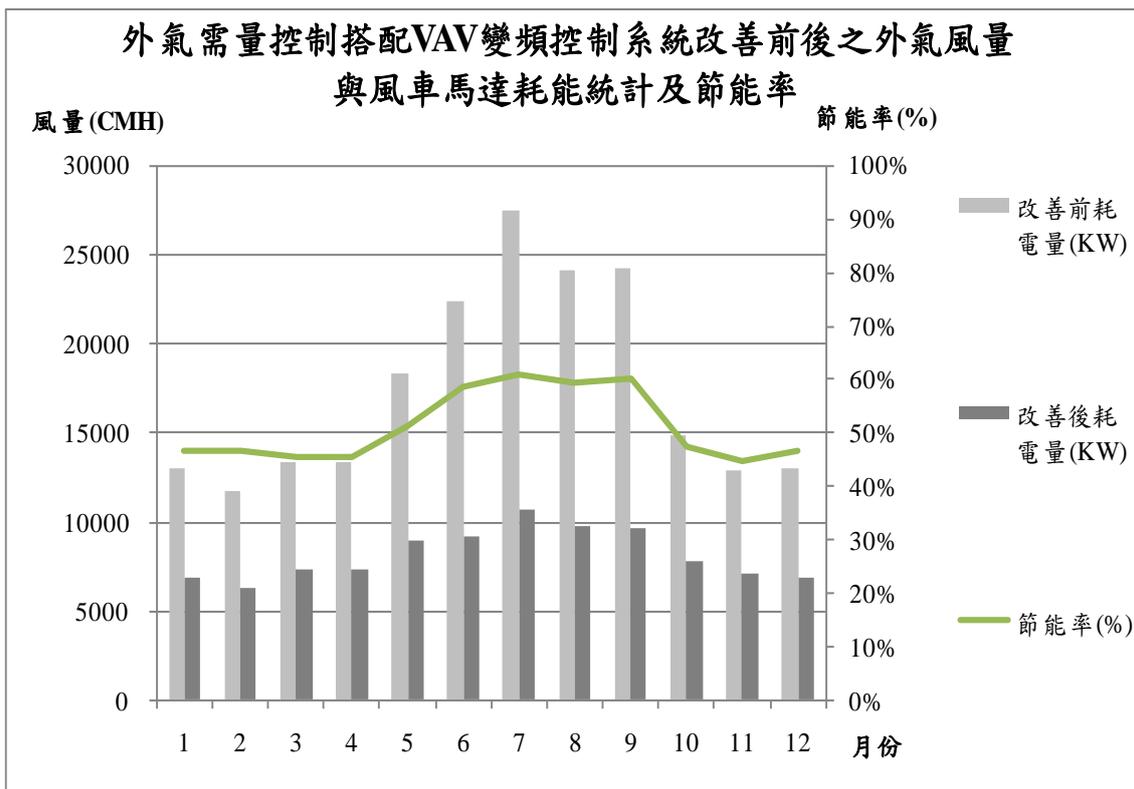


圖 4-18 外氣需量搭配 VAV 控制之

外氣風量與風車馬達耗能統計及節能率【15】

3. 設置費用與回收效益

本案空調改善全年逐月運轉成本與節能效益比較，如圖 4-19，顯示模式一導入外氣需量控制下，夏季空調負荷與改善前相比大幅降低系統能耗，而模式二引入 VAV 變風量系統後，全年空調能耗進一步下降。由圖 4-20 更可見原本固定外氣量與定風量系統，全年度運轉成本高達 62 萬元，與導入相關空氣側節能系統技術後的節能效益，則可減少 46 萬元支出，其投資回收年限如表 4-2 所示，回收年限約在 1.3 年以內。

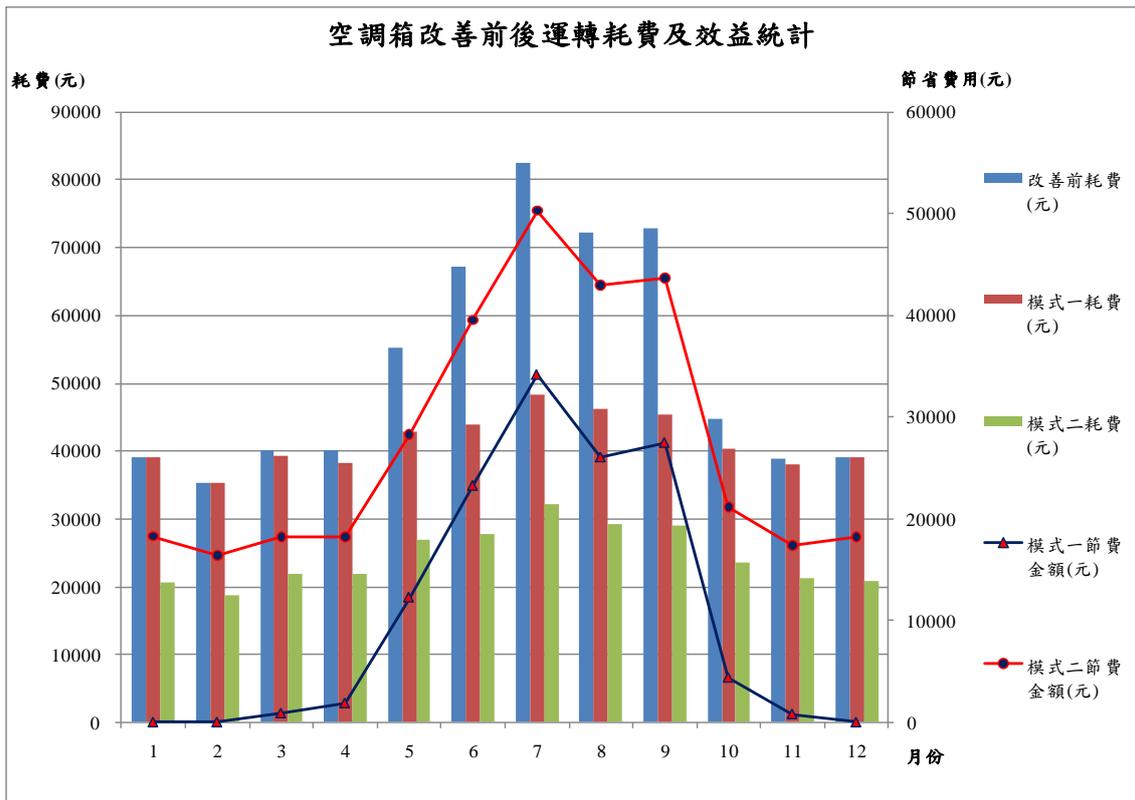


圖 4-19 改善前後空調箱運轉成本與節能率比較【15】

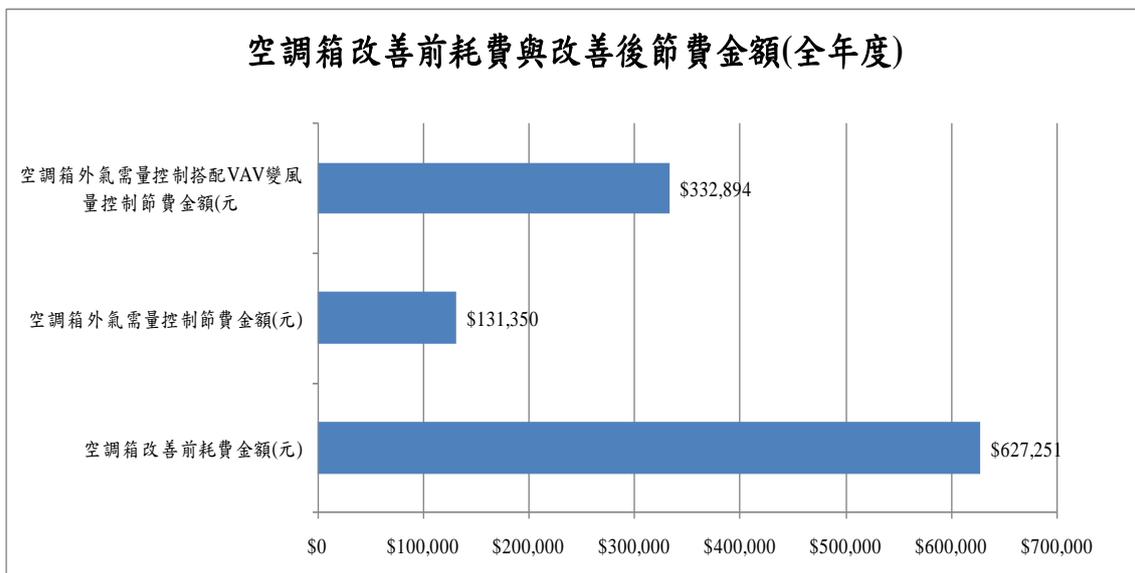


圖 4-20 空調箱改善前耗費與改善後節費金額(全年度)【15】

表 4-2 節能改善設置費用與回收年限統計 【15】

節能改善設置費用與回收年限統計			
	改善費用	每年節省金額	回收年限
空調箱外氣需量控制	\$130,000	\$131,350	1.0
空調箱外氣需量控制搭配 VAV變風量控制	\$420,000	\$332,894	1.3

➤ 案例二：以外氣冷房取代冰水系統之控制策略

本案例為約容納 150 人的大餐廳，為新設計案，目的是要提供用餐區的人能夠有舒適的環境以及排除餐廳內較不新鮮的氣體，本案利用空調箱來進行引進新鮮外氣空氣，冰水主機採一次側變流量變頻控制，空調箱為變風量供應至用餐區，如下圖 4-21 所示。同時增設 BEMS 能源監控系統，監控冰水主機及空調箱的各運轉狀況，當外氣焓值低於設定焓值時，將會關閉冰水主機系統，進行節能模式，同時外氣風門也會全部開啟，直接引入外氣提供室內的冷房需求，以降低冰水主機的耗電，如下圖 4-22 所示。



圖 4-21 空調箱設備圖

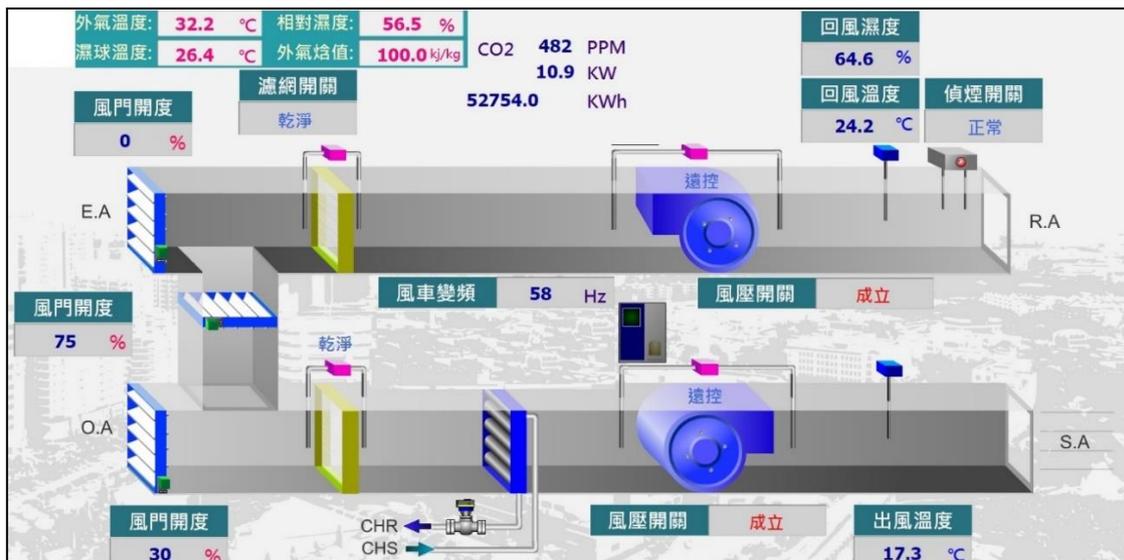


圖 4-22 空調箱 BEMS 系統監控

➤ 案例三：導入外氣控制、能源管理系統與變風量系統之節能效益【5】

本案例為約可容納 500 人之演講廳，使用頻率約一星期啟動 1~2 次。如下圖 4-23 至 4-25 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、更新空調箱設備並改為可變風量系統，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。

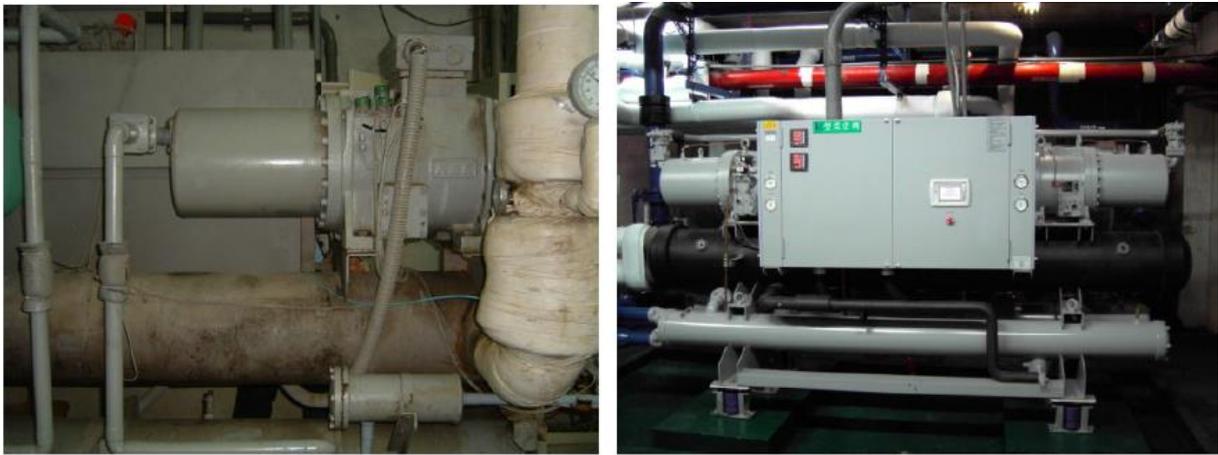


圖 4-23 冰水主機改善前後設備圖【5】



圖 4-24 冰水泵群改善前後設備圖【5】



圖 4-25 空調箱改善前後設備圖【5】

本次改善工程所建立之 BEMS 控制系統，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，如圖 4-26 及 4-27 所示。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直接引入外氣，提供室內的冷房需求。

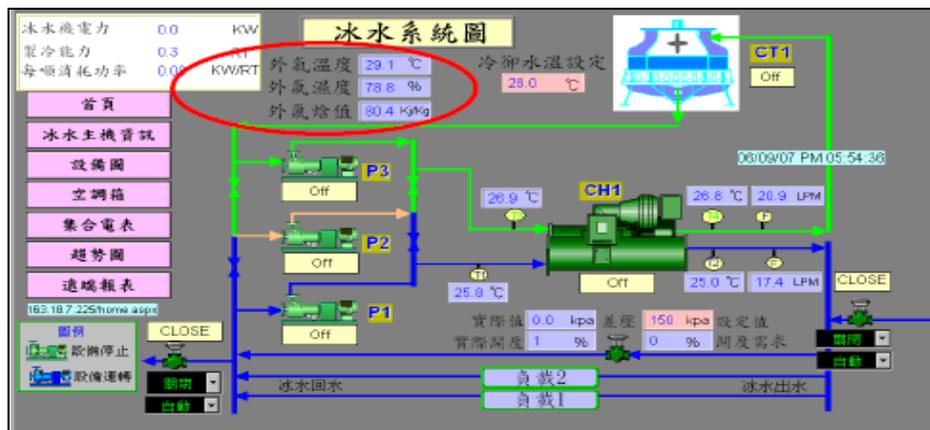


圖 4-26 本案例 BEMS 系統之冰水昇位監控圖【5】

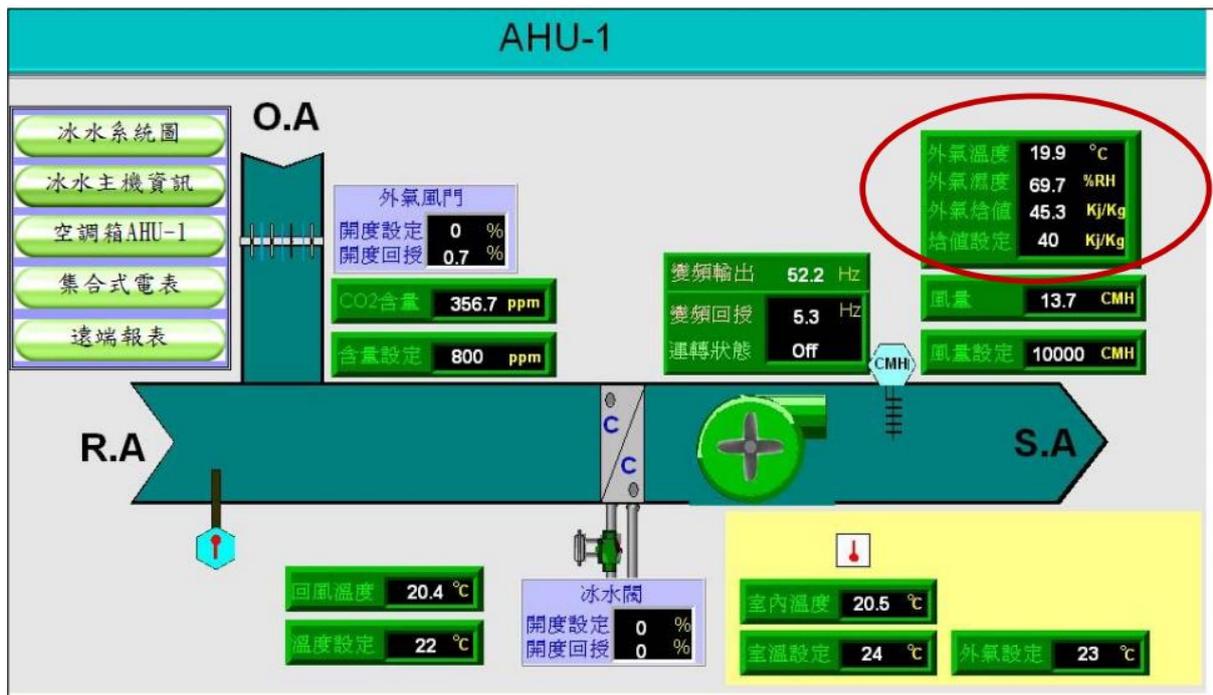


圖 4-27 本案例 BEMS 系統之空調箱監控圖【5】

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。

五、濕度影響

5-1. 概述

台灣四面環海，屬於海島型氣候，夏季時，受太平洋副熱帶高氣壓影響，西南季風盛行，並且由於位處在颱風路徑的要衝，造成多雨、炎熱且潮濕的氣候型態；冬季則伴隨著東北季風，使北部時常處於潮濕且寒冷的環境。

台灣一年有超過一半的時間在下雨，年平均相對濕度超過 70%，然而最適合人體的相對濕度是 60%。德國研究報告顯示，濕度每上升 10%，就增加 3% 的氣喘發生率，而國內針對台北市國小學童調查發現，經定義為潮濕家戶高達 72%，而這些家庭中的孩童多數都患有呼吸系統疾病。【16】台灣氣喘衛教學會提到，室內外天氣濕度劇烈變化會造成病人過敏氣喘症狀急性惡化，可能造成病人呼吸衰竭以及生命威脅，最為常見的過敏源—塵蟎，在相對濕度介於 51%~70% 時，即有可能存活，當相對濕度高於 71% 時，為適合塵蟎存活之環境。【17】

圖1f 平均相對濕度%(1981~2010)30年平均

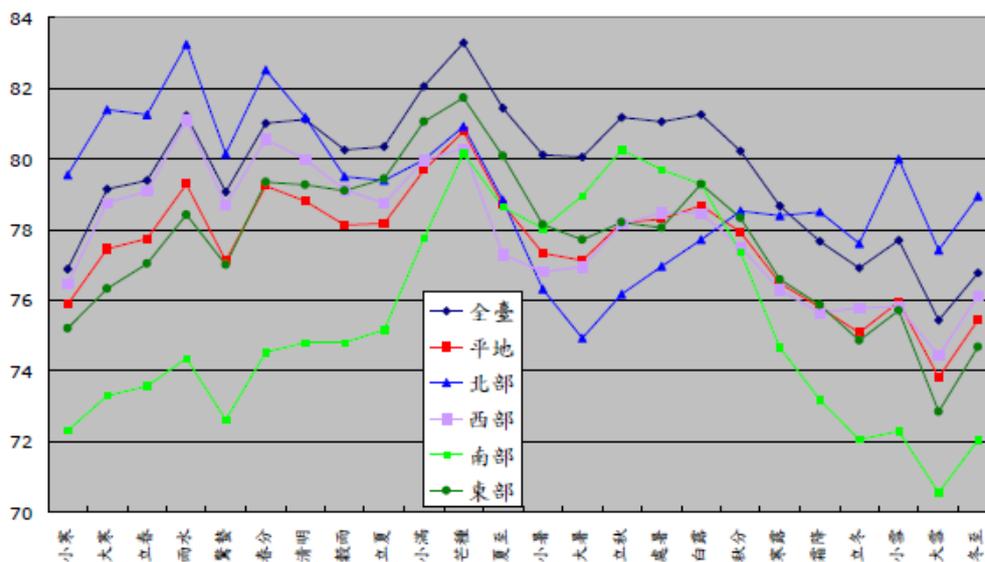


圖 5-1 台灣 30 年平均相對濕度【18】

雖然台灣並未將溫濕度納入室內空氣品質管理法所列管的範圍內，然而溫濕度的變化，對人體、工業製程、文物保存等，都具有相當的影響，尤其近年來，人們對於環境舒適度以及空氣中危害身體健康的因子，都十分重視。

欲降低室內空氣中的污染物，除了使用合格之建材，增加室內通風換氣也是重要的策略之一。透過引入新鮮外氣，可以稀釋或帶走室內空氣的污染物，然而卻也會破壞室內環境中原有的舒適度。若是使用空調箱系統，先將外氣引入空調箱，經過處理後達到符合設定之溫濕度後再送回至室內，則可維持原有的環境並達到通風換氣的要求，但是卻會消耗更多的能源，因此獨立控制濕度的技術進而受到重視。

5-2. 原理介紹

一般傳統空調的濕度控制模式，在空氣側必須先將空氣溫度降低至低於露點溫度，使水汽凝結成水或霜，達到除濕效果，然而為了達到所要求的溫度可能需要再次對空氣加熱，若濕度還是低於要求條件，還需使用加濕器對空氣加濕，造成多重耗能。

獨立濕度控制，可搭配化學除濕系統，將空氣中的水氣透過化學乾燥劑吸附或吸收水汽，進而達到除濕的效果，並且可結合廢熱回收進行脫附再生，有效節省不必要的能源浪費，並提升空氣的儲能效率。

【19】

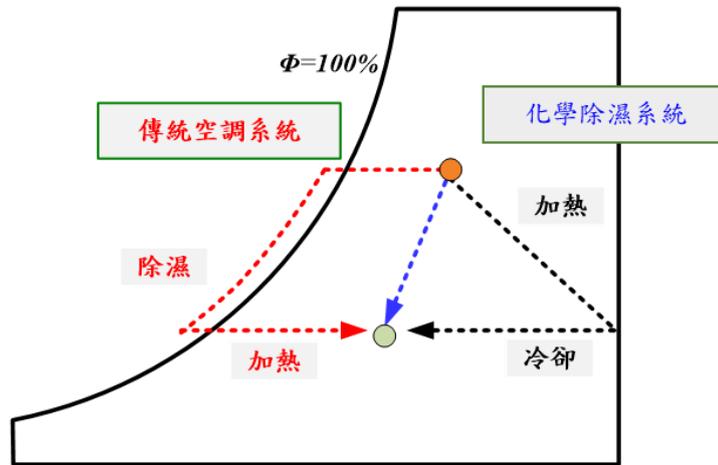


圖 5-2 除濕路徑比較圖【20】

目前常見的除濕方式為：化學除濕、冷卻除濕，其中冷卻除濕需藉由溫度的改變，以達到除濕的效果，不但會導致室內溫度不理想，也會增加額外的耗能；化學除濕主分要為：固態除濕及溶液除濕，兩者都可以在不影響溫度的情況下，對空氣進行除濕，但是卻有除濕量過大、建置成本高、溶液具腐蝕性、系統設備複雜等問題。表 5-1 為各除濕方式之分析比較表。【20】

表 5-1 除濕方式分析比較表【21】

除濕方式	冷卻除濕	固態除濕	溶液除濕
除濕原理	冷凝	吸附	吸收
系統主要設備	冰水主機	吸收塔、 熱交換器、熱泵	洗滌塔、 熱交換器、熱泵
設備面積	中	大	大
設備修繕	中	中	難
生產規模	小~大型	中~大型	大型
建置成本	中	低	高
除濕效果	可	不佳	佳

5-3. 化學除濕

1. 溶液除濕【20】

溶液除濕係利用溶液乾燥劑與潮濕空氣進行熱質傳交換，進而達到除濕效果，該乾燥劑除了可以使空氣變得乾爽，同時亦可淨化空氣中的細菌。而良好的溶液乾燥劑必須具備：低結晶率、高傳導率、無毒、低腐蝕性、化學性質穩定、價格低廉等條件。常見的溶液乾燥劑有三甘醇、氯化鈣、氯化鋰、乙二醇、溴化鋰等鹽類溶液。

溶液除濕系統是一種獨立除濕的技術，具有構造簡單、操作點溫度較低以及除濕效率高等優點，並且可結合太陽能熱源、熱泵熱源及廢熱熱源，對溶液乾燥劑進行再生，重覆循環使用，有效節省能源消耗。

然而溶液除濕系統最無法被接受的部分，就是系統中的鹽類溶液對金屬合金材質的管路會產生腐蝕性，即使選用高鎳含量的鎳銅合金，依舊也對腐蝕狀況束手無策，除此之外，系統中其他運轉設備及元件亦會受到腐蝕問題。

有鑑於此，國外幾家設備製造商，開發出可耐腐蝕性的溶液除濕系統設備，然而必須由國外引入台灣使用，而造成時間、運費、設備運轉條件更改及維護等成本居高不下。

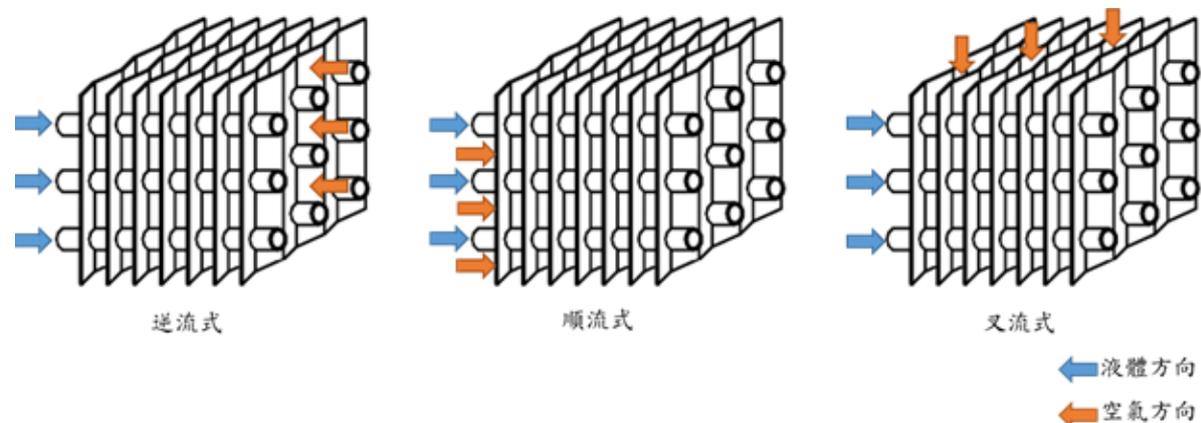


圖 5-3 溶液乾燥劑與空氣熱質傳交換類型示意圖【19】

2. 固態除濕【22】

固態除濕是使用固體除濕材，利用材料表面與濕空氣中蒸氣壓力的差異將水分轉移至材料上，飽和後之除濕材經再生處理之後可再進行除濕過程。而常見的固態乾燥材有矽膠、合成沸石及活性氧化鋁，而除濕材常填充於除濕輪和固定除濕床。

在工業及住宅上較常使用矽膠和沸石做為固態除濕吸附材，因為具有較大的孔隙、表面積及優異的吸附能力，當表面的水蒸氣壓力小於鄰近空氣的水蒸氣壓力時，水分子通過空氣擴散並附著於表面。而矽膠在吸附的過程中不會產生化學反應，即使吸附已達飽和，矽膠顆粒的形狀仍不會改變，且空氣濕度越高，矽膠之吸附能力越好。此外，矽膠相較於沸石有較低的再生溫度，可用於低溫的除濕過程。

為了提升除濕速率，在鰭片的結構上進行不同的變化，如溝槽式的設計，對於熱傳遞有明顯的效果。

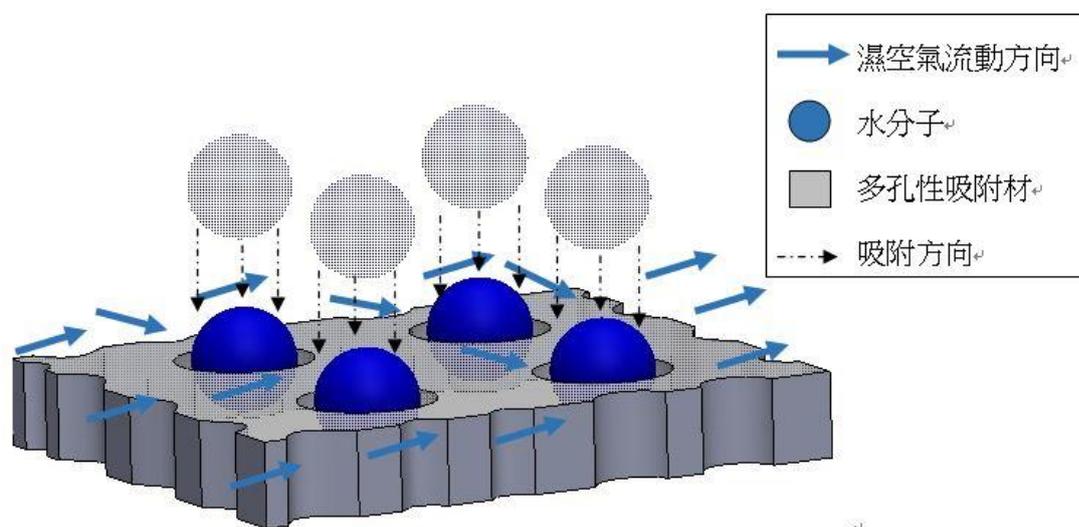


圖 5-4 吸附現象示意圖【23】

5-4. 應用案例說明

➤ 案例一、空調於低負載時除濕效果不佳之空調改善

本案例為一影視播放空間，空間面積約為 164 m²，空間內容納人數約 120 人，空調配置 25 RT 之冰水主機，空調送風方式為採用空調箱進行送風，空調箱風量約為 8,000 CFM，經現場量測結果，其出風平均溫度為 17.1°C、平均相對濕度 90.6%RH；回風平均溫度為 21.2°C、平均濕度 74.1%RH；外氣平均溫度為 26.6°C、平均濕度 72.2%RH，如圖 5-5 所示。因使用人員反應室內濕度過高，容易造成霉味或設備損壞，因此每日結束營業後將會使用除濕機進行除濕。

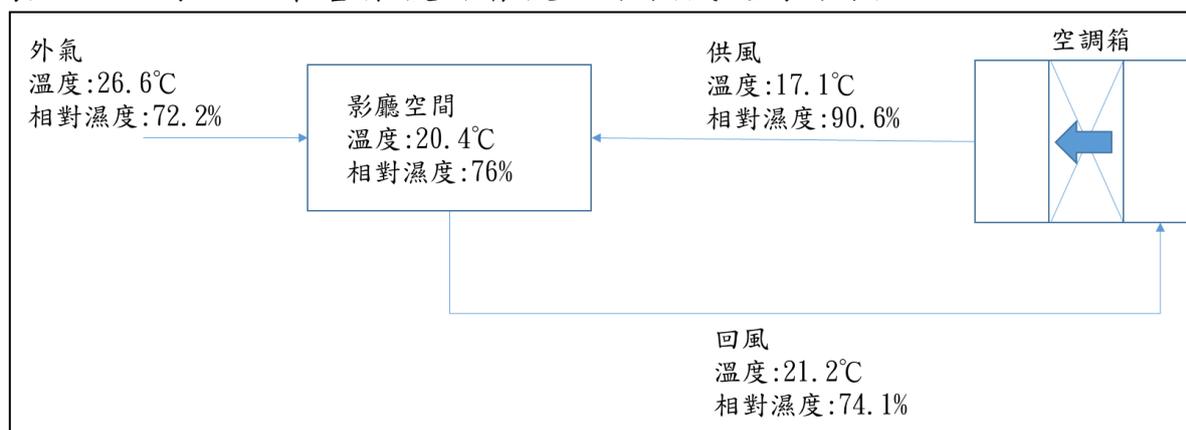


圖 5-5 現場空調空氣側量測位置

本研究針對現場量測資料進行分析，經初步評估結果，現場空調系統可能存在空調箱於部分負載時除濕量不足之問題，其主要原因為，一般空調系統通常以空間最大空調負荷進行設計，但空調使用時間為全年運行，因此，低負載運轉時間遠高於最大負載運轉時間，依據空調箱冰水二通/三通閥之溫控邏輯，於低負載時依據回風設定溫度進行水閥開度調整，降低進入盤管之冰水流量，導致出風溫度過高，造成除濕量不足之情況。

有鑒於此，建議於低負載時進行空調箱之風量調整，藉此降低空調出風溫度，以廳內相對濕度 65%、溫度 22.6°C 為目標估算，可將風量減少至 4,800 CFM，則出風溫度會降至 15.7°C、平均濕度約 90%RH，可多增加 0.0007 kg/kg 之除濕量，由兩台 5 馬力風機提供風量 8,000 CFM 由變頻後下降至 4,800 CFM，依照風機相似定律評估，風量比與消耗功率比值為三次方比，由日運轉時數 15 小時預估，年節省用電度數約 32,021 kWh。

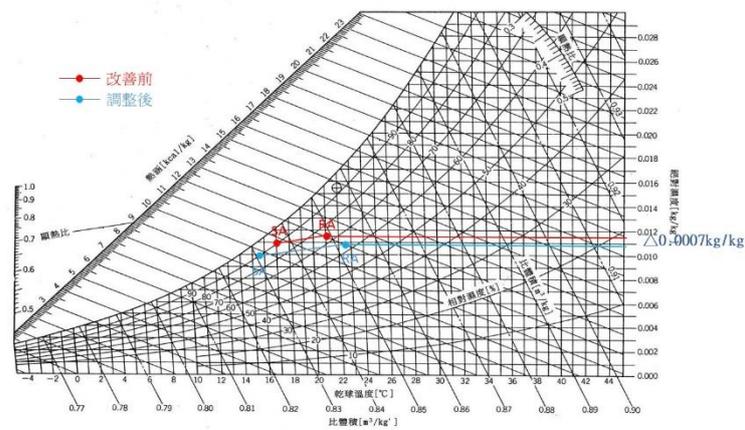


圖 5-6 改善前後之濕空氣狀態

六、參考文獻

- [1]柯明村，空調系統空氣側節能技術。
- [2]經濟部能源局，能源查核及節約能源案例手冊。
- [3]經濟部能源局，空調系統管理與節能手冊。
- [4]陳希立，中央空調系統節能技術。
- [5]楊冠雄，綠空調實踐與應用。
- [6] ISO 7730(1994) Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Standard Organization, Geneva.
- [7]林延彥，2003，冰水系統運轉模式節能分析。國立台北科技大學研究所碩士論文。
- [8] John Murphy. 2011. “*High-Performance VAV Systems*”, *ASHRAE Journal*.
- [9]柯明村，空調送風系統節能技術應用與規劃。
- [10]室內空氣品質資訊網，2010。
- [11]建築設備入門 空調·給排水衛生·防災·節能，「建築設備」入門編輯委員會。
- [12] ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
- [13]經濟部能源局，空調空氣系統節能技術手冊。
- [14] *Indoor Air Quality and HVAC Systems*”, by David W. Bearg, LEWIS PUBLISHERS.
- [15]林郁乾，2016，空調箱外氣需量控制搭配 VAV 系統之節能效益案例分析，國立勤益科技大學，碩士論文。
- [16]林貞岑，2006，都是潮濕惹的禍 潮濕與健康，康健雜誌 88 期。

- [17]徐世達，2014，過敏指數預報對過敏氣喘病人的重要性再強調，台灣氣喘衛教學會會刊 34 期。
- [18]交通部中央氣象局，臺灣 24 節氣與氣候-1981-2010 資料統計。
- [19]趙俊傑，2017，除濕塔噴灑方式及溶液混合比例對溶液除濕性能之影響研究。國立勤益科技大學，碩士論文。
- [20]林柏翰，2015，溶液濃度與流動型態對液態除濕及再生性能影響之研究，國立勤益科技大學，碩士論文。
- [21]呂昆樺，2016，應用田口法探討填料物對溶液除濕性能影響及參數最佳化研究。國立勤益科技大學，碩士論文。
- [22]陳建安，2016，鰭片結構對固態除濕之除濕增強效果影響研究，國立勤益科技大學，碩士論文。
- [23]廖仕賢，2017，鰭片結構與串聯配置對具吸附材之熱交換器增強吸濕與脫附性能之影響，國立勤益科技大學，碩士論文。