

內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告
計畫名稱：產業自動化－營建業自動化計畫
執行期間：81年7月1日至82年6月30日

全熱交換器對建築空調節能 及室內空氣品質之研究

計畫主持人：蔡 尤 溪

共同主持人：扶 亞 民

主辦單位：內政部建築研究所籌備處

執行單位：工業技術研究院

能源與資源研究所

中 華 民 國 八 十 二 年 六 月

中文摘要

本計畫係研究全熱交換器應用於空調系統之效益，主要研究其節能及在室內空氣品質方面之效果。本計畫之研究對象為辦公室，研究內容包括空調換氣率量測技術之研究，辦公及非辦公期間 CO_2 濃度控制之省能效益。本計畫發現示蹤氣體濃度衰減法可以迅速有效的量測室內換氣率，同時，其不需複雜的儀器安裝工作，非常適於空調換氣率之檢測。所研究之四個案例只有一個因有特殊原因，換氣率偏低而致 CO_2 濃度過高，換氣率與 CO_2 濃度也被證實了有直接關係，從中也得知每人 20cfm 之換氣量可使室內空氣品質達到良好的標準。有了換氣率標準，全熱交換器之省能潛力於是得知在總空調耗電之10%左右。

英文摘要

ABSTRACT

This study is on the benefits of application of total heat exchanger in air-conditioning. Primarily its benefits are looked at in the areas of energy saving and indoor air quality. This work focuses on office air-conditioning. The scope of this study includes the measurement method of ventilation rate, measurements of the concentration of CO_2 and the ventilation rate in and off office hours, installation of total heat exchanger and the relevant measurements with it in operation. Finally, an analysis of energy saving was conducted.

There are all together four cases studied, all typical offices. The occupation and the conditions of doors and windows were noted and were considered in the analysis. There are three major results in this study. The results confirm the benefits of using total heat exchanger and the energy saving potential of the control of CO_2 concentration. This study found that trace gas concentration decay method can effectively and quickly measure the ventilation rate. As there is no complicated installation needed, it is very suited for use in testing ventilation rate in air-conditioning. There was only one case with special reasons that CO_2 concentration was exceedingly high. Ventilation rate was found to affect CO_2 concentration directly. A fresh air intake rate of

20 cfm per person was found to be effective in maintaining a good indoor air quality for typical offices. With the ventilation rate determined, the energy saving potential of total heat exchanger can thus be calculated to be about 10% of total air-conditioning energy consumption.

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖 次	VI
表 次	VII
前 言	1
第一章 計畫說明	4
1-1 緣起與目的	4
1-2 研究方法	4
1-3 研究案例介紹	5
第二章 資料蒐集與分析	7
2-1 美國通風規範分析	7
2-2 全熱交換器之應用分析	12
2-3 空調換氣耗能分析	15
第三章 實驗設計與量測	18
3-1 全熱交換器之安裝與控制	18
3-2 空氣取樣設計	23
3-3 二氧化碳濃度量測	25
3-4 示蹤氣體之量測與換氣率計算	27
第四章 實驗結果討論	34
4-1 CO ₂ 濃度之變化分析	34
4-2 全熱交換之效果討論	41
4-3 換氣率與CO ₂ 濃度之關係	43
4-4 空調節約能源分析	45

第五章 結論與建議	48
5-1 結 論	48
5-2 建 議	48
5-3 後續工作重點	49
參考文獻	50

圖 次

圖 1	典型的轉輪式全熱交換器運作圖	13
圖 2	利用全熱交換器將外氣降溫降溼	14
圖 3	台灣地區在不同空調換氣率下之耗能分析	17
圖 4	建築 B26 外觀，位於新竹縣竹東鎮中興路四段	19
圖 5	建築 B26 採嵌入式獨立之分離式空調系統，沒有引進外氣 ..	19
圖 6	B26 全熱交換器之實際安裝情況	20
圖 7	建築物 B64 外觀	21
圖 8	換氣用全熱交換器	21
圖 9	B64 室內空間及人員分布	22
圖 10	空氣取樣裝置裝置圖及裝設照片	24
圖 11	二氧化碳監測器:Metrosonic aq-501 & PC software ...	26
圖 12	校正用之二氧化碳標準氣體	26
圖 13	施放示蹤氣體於室內監測濃度	27
圖 14	由示蹤氣體濃度衰減求算換氣率	28
圖 15	多種氣體監測器 B&K1302，示蹤氣體監測用	28
圖 16	示蹤氣體：鋼瓶或鋁瓶裝六氟化硫氣體	29
圖 17	示蹤氣體濃度對時間變化，建築 B26	33
圖 18	時間關係	33
圖 19	建築 B64 一天的室內 CO ₂ 濃度變化 (1992-5-20)	35
圖 20	建築 B64 一天的室內人數變化 (1992-5-20)	36
圖 21	建築 B26 採用高換氣量時，示蹤氣體濃度變化與時間 之關係	36
圖 22	建築 B26 採用高換氣量時，示蹤氣體濃度自然對數與	

時間關係	37
圖 23 在建築B26二氧化碳濃度連續監測記錄	37
圖 24 在建築B26・室內人數的歷時變化	38
圖 25 建築B26連續監測三日之二氧化碳濃度歷時變化	38
圖 26 室內空氣二氧化碳濃度變化，建築L11，量測日期： Feb-09-1993.....	39
圖 27 室內辦公人數變化記錄，建築L11，日期：Feb-09-1993..	39
圖 28 建築S12的室內二氧化碳濃度連續二日之歷時變化	40
圖 29 全熱交換器量測期間的性能變化情形	42
圖 30 ASHRAE 62-1989提供的雙室模式	43
圖 31 建築L11換氣率量測期間，回風處CO ₂ 濃度與室內各區間 整體的每人平均換氣量的關係	44
圖 32 使用全熱交換器可節省空調換氣的負荷。換氣需求愈大， 省能效果愈顯著。.....	46

表 次

表 1	ASHRAE Standards 62-1973, 62-1981及62-1989之外氣 換氣率比較	8
表 2	二氧化碳濃度與病態建築症候關係	11
表 3	室內空氣流通量實測結果	47
表 4	能資所自製全熱交換器改善 IAQ與省能效果評估	47

前 言

由於現代人大部分時間處於室內環境，室內空氣品質 (Indoor Air Quality, IAQ) 自然成為影響人體健康及舒適程度的重要因素，IAQ 是室內污染源、通風效率及室內空氣污染濃度與外氣稀釋率三者交互作用的結果，若再考慮外氣的品質和污染物因沈澱而改變或消除，可歸納出下列影響 IAQ 之因素：

- 室內污染源的釋放率
- 通風外氣的稀釋率
- 外氣的品質
- 室內具改變污染物密度的物質或系統

室內污染源的釋放率是 IAQ 決定性的因素，它包括了建材、清潔器具、室內裝潢、燃燒設備及過程、積水或潮濕面之微生物的生長、建築物內的居住者等。

70 年代能源危機對節約能源產生了迫切的需要，因此，建築物的結構、維修及其功能均趨向於減少能源的消耗，過去十年間，依據此觀念所造的建築物都具有良好的氣密性。尤其是中央空調，可開啓的窗戶極少，因此通風系統在最少的外氣下運作，這些因素再加上人工建材、辦公室的裝潢及微生物之生長，會增加室內空氣污染，它對人們生理上產生了負面的影響，再加上上班時心理上的壓力，已使得人類易於感染下列室內污染空氣引導出之病態建築症候群 (Sick Building Syndrome, SBS)、大樓併發症 (Building Related Illness, BRI)、多種化學物敏感症 (Multi-Chemical Sensitivity, MCS)。

SBS 通常是指大部分的居住者均曾經感染過一種病因不明的疾病，

居住者身體上的不適包括了眼、鼻、喉嚨及呼吸系統的疾病、頭痛和經常性的疲勞；因受限於病史不長，數據資訊不足，無法提供數量分析，但可做為IAQ潛伏危機的參考。

BRI則是有關已知的空氣污染媒介所引發的疾病，其徵候包括感染、發燒、過敏及肺炎。

另一種急性疾病是MCS。坊間的資料顯示有少部分人對周遭的化學物會產生過敏，而且在不影響多數人的環境中就有激烈的反應。雖然有些人報告了各種重要的影響，而多種潛在的疾病也成為很多行業爭議的主題，但因缺乏明確的診斷標準或工具來評估其對人類健康及生產力影響的程度，所以仍遭受某些懷疑。

空調系統除了提供適當的溫度、濕度及空氣分佈之外，也須將室內污染濃度及能源消耗控制在合宜的範圍。要達成此目標，可參考ASHRAE Standard 62 -1989所訂各種最低換氣率和空氣品質。此規範中可接受的室內空氣品質的空氣污染程度須由公認機構確認不致對人體產生危害，且使多數人(80%以上)不產生抱怨。

為個人的健康和舒適，空調系統需要不斷的吸入新鮮空氣和排出廢氣。新鮮空氣在未處理前，就是一般的室外空氣，高溫高濕，是空調系統中很大的負荷，增加了很多空調負荷，耗費了很多能源和費用。由室內排出的廢氣，雖然已不合人體需要，卻仍是低溫低濕，如能把其中的能量(廢熱)回收使用，則既可減少系統的大量負荷，也可節省耗用大量能源和空調費用。空調除溼因需將空氣中水份冷卻並冷凝，耗費能源遠大於降溫，所以引入外氣在台灣地區而言，是一個嚴重的除溼問題。

為適應室內空氣品質要求而發展出來的設備，其中最重要的是

全熱交換器，其功能為引入新鮮外氣，並將外氣先予降溫（顯熱）及除溼（潛熱）。其原理為利用物理吸附之科技，使引入之外氣與排出之冷氣做熱質交換，外氣進入空調系統時因此溫溼度皆趨近室內空氣條件。

本研究首先需了解外氣量控制與室內空氣品質之關係，再以維持一個良好室內空氣品質之條件下測試與分析全熱交換器之效能。本研究以二氧化碳濃度當作室內空氣品質之指標，換氣率之量測是用最先進之示蹤氣體濃度衰減法。換氣率與二氧化碳濃度之關係經四個案件之實測數作比較後，可獲得一個計算公式，全熱交換器之節能效果也因此可計算出來。

第一章 計畫說明

1-1 緣起與目的

八十年代是美國重視節約能源的時代，建築設計也因此提高房子的氣密性，減少外氣的滲透來節約能源。當一些退軍人在美國費城某建築聚會後染上不明病因死去，經調查發現病因來自空調系統，所謂退伍軍人症原來就是室內空氣品質問題，八十年代結束前室內空氣品質問題已為先進國家嚴重關切的問題。

美國冷凍空調學會 (ASHRAE) 在 1989 年修正通風標準 62 (1)，大幅提高空調系統之外氣量標準。然而，這個新標準成了機械通風控制與能源消耗的問題，也是這幾年來空調通風設計的重要研究課題。空調外氣除了由機械通風設備引進外，也會從門窗牆縫等地方滲入。空調外氣量需求也與人數密度有關係，全熱交換器即是引入外氣之設備，其效能就與以上問題有密切關係，也成為了本研究之重要研究工作。

為克服以上目前空調通風所面臨之問題，本研究的目標於是如下：

- (一) 研究並評估空調換氣率之測試或檢測方法，除了作研究量測外，可提供將來作空調空氣品質檢測用。
- (二) 以實際量測 CO_2 濃度及換氣率，確定換氣率與 CO_2 濃度之關係，此關係式可用於控制室內空氣品質。
- (三) 實際量測全熱交換之效能，並參考以上研究成果，以評估全熱交換器之省能效果。

1-2 研究方法

在換氣率的量測方面，目前主要有兩種方法，一種為間接式，另一種為直接式。間接式先預算室內人員二氧化碳排出量，再與室內外二氧化碳濃度差異做比較，從室內排出之二氧化碳量等於換氣率 $\times$ 室內外濃度差異，而排出量又與產生量平衡可得換氣率。然而，此方法所得之換氣率為推算結果，非直接量測得到，準確性不高。

目前最先進的為示蹤氣體追蹤法，釋放示蹤氣體於室內或空調箱出風口，追蹤其濃度變化而得換氣率。本研究採用濃度衰減法，其優點為可迅速準確的量測示蹤氣體隨時間變化之濃度，從此算出換氣率。因示蹤氣體擴散於空調空間，其濃度變化直接代表室內外空氣的交換，故其原理較為直接，較可採信。本研究以實際測試數據來與理論作比較，了解此方法之可靠度及其應用之方便性。

在實例研究方面，本研究一共選了四個案例，以實際測試來評估室內空氣品質，測試項目包括二氧化碳濃度與換氣率，以連續24小時方式監測室內空氣品質及換氣率的變化。又這四個案例皆為辦公室，上班時段人數的變化也在紀錄範圍，其中有兩個案例本研究裝上全熱交換器，測試其效能，並且測試不同門窗條件下之室內空氣品質。全熱交換器的使用效果就利用以上實例測試之結果，評估其引入外氣量及節能效能。

1-3 研究案例介紹

案例均為辦公建築物，實地的測試總共有四處；第一處為研究辦公大樓，編號B64，位於竹東郊區；第二處與第一處同性質，編號為B26建築物，也是位於竹東郊區；第三處是在辦公大樓11樓，編號為L11，位於台北市民生東路上；第三處是辦公大樓12樓，編號為S12，位於台北市忠孝東路四段上。簡介如下：

1. 建築物 B64

位於新竹縣竹東鎮中興路，中央空調，每層樓二個空調箱，定風量CAV及變風量VAV系統各一，用天花板回風，空調箱有引進外氣，測試辦公室為約三十坪大小之辦公室。

2. 建築物 B26

位於新竹縣竹東鎮中興路，採嵌入型獨立之分離式空調系統，沒有引進外氣，為約二十五坪大小之辦公室。

3. 建築物 L11

位於台北市民生東路，中央冰水系統，各層獨立空調箱，VAV變風量空調系統空調箱，有引進外氣，為約200坪大小之辦公樓層。

4. 建築物 S12

位於台北市忠孝東路四段，各樓層有獨立之冰水主機，送風採FCU power unit系統，外氣使用數組power unit引入天花板內混合，但已故障，測試樓層為約250坪大小之辦公樓層。

第二章 資料蒐集與分析

2-1 美國通風規範分析

自1970年代早期，爲了因應能源危機，減少外氣進入始終被多數大樓的房主、管理者或操作者視爲節約能源最簡便的方法一。ASHRAE Standard 62-1973爲各種空間訂出最低及建議的換氣需求，這項標準到70年末期能源危機前表現極爲稱職；所以ASHRAE Standard 62-1975仍沿襲它的標準。但到了1981年，ASHRAE Standard 62-1973爲了同時能處理IAQ及通風臭氣的問題而做了修正，最近在1989年又修正了一次，並於1992年4月通過成爲美國國家標準[2]。

表1將由ASHRAE Standard 62-1989之VR(Ventilation Rate, 換氣率)程序所得外氣換氣率與由ASHRAE Standard 62-1981之值做比較，所訂之外氣是百分之百符合此規範6.1.1節所訂外氣品質的空氣，同時，它也訂出了稀釋污染濃度所需外氣，因此，除了規範的6.1.3.4節中所提的間斷變動居住外(Intermittent & Variable Occupancy)，使用中的建築物，至少需有等量的外氣進入。

空間的使用、空內污染物及操作的改變均可能需要對設計及設備作重新評估，因此，無論在建築物的設計或運作階段皆需確定能符合ASHRAE Standard 62-1989之IAQ標準，經由互相的協調方能既滿足IAQ又耗能最少。ASHRAE Standard 62-1989所建議之最低外氣量從62-81之5CFM/人已修改爲15CFM/人來控制室內空氣品質，同時可確保CO₂濃度不超過1000PPM，以CO₂濃度作爲最低換氣需求也可參考以上標準。

表1 ASHRAE Standards 62-1973, 62-1981及62-1989之外氣換氣率比較

場 合	每人所需換氣用外氣, cfm/人				62-1989
	62-1973		62-1981		
	最低值	建 議 值	禁煙區	抽煙區	VR程序
舞廳	15	20 - 25	7	35	25
酒吧, 雞尾酒廊	30	35 - 40	10	50	30
美容院	25	30 - 35	20	35	25
教室	10	10 - 15	5	25	15
餐廳	10	15 - 20	7	35	20
醫院病房	10	15 - 20	7	35	25
旅館會議室	20	25 - 30	7	35	20
辦公大樓會議室	25	30 - 40	7	35	20
辦公室	15	15 - 25	5	20	20
起居室	5	7 - 10	10	10	0.35ach*
零售商店	7	10 - 15	5	25	0.2 - 0.3
					cfm per sq. ft
抽煙區	—	—	—	—	60
旁聽區	20	25 - 30	7	35	15
戲院觀眾席	5	5 - 10	7	35	15
車站候客室	15	20 - 25	7	35	15

註: ach - 換氣次數/小時

cfm - 立方英尺/分鐘

除了VR程序可達所需之IAQ, ASHRAE Standard 62-1981還包含另一種省能的IAQ程序。此程序允許HVAC設計師任意地使用外氣, 祇要他能證實室內污染濃度低於建議值, IAQ程序的換氣率將較VR程序

為低；但某些污染源的出現會使換氣需求增加。

ASHRAE Standard 62-1981中的IAQ程序所無法解釋的是各種空氣分佈(定風量/變溫VS等溫/變風量)對污染濃度之影響，ASHRAE Standard 62-1989則克服了這個缺點。空間的使用、空內污染物及操作的改變均可能需要對設計及設備作重新計估，因此，無論在建築物的設計或運作階段皆需確定能符合ASHRAE Standard 62-1989之IAQ標準，經由互相的協調方能既滿足IAQ又耗能最少。

ASHRAE Standard 62-1989中包括一種使用濾清後再循環空氣的過程，它可將定風量和變風量(VAV)視為目前已確認的系統型態，在已知外氣流量(Outdoor Air Flow Rate, V_o)、換氣效率(the Ventilation Effectiveness)、濾清效率(The filter Effective)、預期供氣率及回風率(Respective Supply and Return Air Rates)，可以計算ASHRAE 62-89中7種類別中任一種之允許室內污染濃度(Allowable Indoor Air contaminant concentration)，IAQ程序不僅可驗證VR程序所得的外氣換氣率，另一方面能更直接地算出一符合的室內污染濃度。

但在實際用於空調設計時，IAQ程序需先預知室內所產生之污染及污染源，再以清淨法去除污染源，較不易保證可得健康的空調。所以，VR程序為當前設計師該遵守的規則，以稀釋法降低所有污染的濃度，其中包括二氧化碳濃度。

ASHRAE Standard 62-1989最主要改變之一為確認了每人所需少外氣，人在室內所釋放之 CO_2 要被稀釋到舒適的程序，即減少臭氣並避免健康的危機，所以， CO_2 變成氣味的重要指標。ASHRAE Standard 62-1981所建議之最低每人所需外氣5CFM/人已修改為15CFM/人來控

制氣味以確保CO₂濃度不超過1000PPM。

整理ASHRAE Standard 62-1989所得結果乃是確保建築物的操作者及管理人能完全明瞭設計的假設融合了HVAC系統設計，如此HVAC系統將隨建築物修改而更改；另一方面也可維持HVAC系統在安全的條件下正常運作。一旦使用VR程序，則需於設計文件中證明，若有空間使用的改變，不尋常的污染，或已確認濃度異常高的情況發生，系統需重新評估。

許多研究顯示二氧化碳適宜作室內空氣品質指標，因為二氧化碳是由人類吐出，它在空氣中的濃度恰當地代表了空氣流動性以及通風系統稀釋與去除污染物的效率，表2是不同CO₂濃度對應之病態建築症候。

二氧化碳並非引起抱怨的唯一原因，CO₂是用來代替其他污染的量測：包括某些微粒物，及臭氣等，這些污染會因缺乏供應足夠新鮮空氣而累積，這些污染累積與其化學物理因素，如溫濕度，共同作用引起報導上的不適症候。因此，CO₂濃度尤其是高於1000ppm時，是一種指標顯示通風可能有待改善。

二氧化碳之外監測溫度與濕度亦能對IAQ的改善提供必要資訊。溫度測量可顯示通風系統的平衡或控制問題；而濕度會改變許多室內污染的釋放量、在空氣中的濃度、以及微生物生長的潛伏性，兩者都直接影響工作者的舒適性及健康。

表2 二氧化碳濃度與病態建築症候關係

CO ₂ 濃度	症候
低於600ppm	無
600~1000ppm	偶爾抱怨頭痛、昏睡、悶熱
高於1000ppm	以上之抱怨頻繁

C. W. Bayer與C. C. Dowing(參考文獻3)曾研究全熱交換系統是否能提供更健康的室內環境。結果發現換氣量20cfm/人所提供之空氣品質確比5cfm/人的好，而在同樣20cfm/人換氣量之下，全熱交換器轉動或不轉動對空氣品質無明顯影響。因此認為實施換氣以改善室內空氣品質時，確實可利用全熱交換來節約能源。

此外，鑑於STANDARD 62-1989對空調負荷造成的重大影響，Arthur E. Wheeler 曾針對學校教室作了有關設計及控制策略的研究，想辦法在不增加多餘空調負荷的情況下提供良好的室內空氣品質(參考文獻4)。

在Milton Meckler所提有關室內空氣品質評估的論文(參考文獻5)中，以位在Burbank, Calif.的辦公大樓為例探討了兩種變風量系統應用ASHRAE 62-1989 VR程序及IAQ程序，加以比較分析。以VR程序決定每人換氣量，由IAQ程序驗證室內空氣污染濃度在規範限制內，同時滿足不同區域的IAQ控制需求。

美國國家標準與技術院(National Institute of Standards and Technology, NIST), Center for Building Technology)曾經對位於美國奧瑞崗州波特蘭市(Portland, Oregon)的聯邦政府新辦公大

樓評估其熱性質與建築內環境特性(參考文獻 6)。其中利用先進診斷技術建立了辦公建築室內空氣品質評估方法。監測的變數包括空氣滲透率與換氣率、建築外殼氣密性、室內空間氣流方向、建築外殼之熱傳、及室內污染物。室內污染物的量測包括:二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO), $0.3 \sim 10 \mu\text{m}$ 的懸浮微粒、甲醛、氫與懸浮粒子的污染濃度皆控制良好。停車場至辦公室的空氣流動須作改變或隔離,以改善部分區域一氧化碳濃度過高的情形。有機揮發體的發散,沒有很明顯證據顯示是來自建材或傢俱,但量測結果都低於規範值十分之一以下;不過這些有機揮發氣體互相合成,其刺激性無法判定,低換氣率是引起抱怨的主因。

此研究提供了現代辦公大樓的熱性質與空氣品質的長期環境特性資料,同時也評估出辦公建築的設計、結構、與營運,對大樓熱性質及環境空氣品質的影響。研究結果並且認為辦公大樓空調系統的改善與操作,應以提供適當的換氣率為遵循原則。

2-2 全熱交換器的應用分析

全熱交換器的構造簡單,其中(如圖1)關鍵的為一個熱質交換元件,加上兩具風扇控制排氣與引入外氣量。其操作原理為將較乾燥且低溫的排氣與高溫高濕的外氣在交換元件作熱質交換,外氣流入時將水份與熱能留下,由排氣將之帶走,如此,引入之外氣溫溼度就趨低於室內條件,節約大量能源(見圖2)

或可說,全熱交換器回收排出之冷能,使處理外氣之能源可減少60%至70%之多。其所以可同時交換顯熱(溫度)與潛熱(水份),有賴於交換元件上塗佈之吸附劑,將外氣之水份吸附,當吸附飽和時已轉到排氣側,而排氣因較低溫低溼,使水份脫附,帶到室外。其

熱能之交換亦同原理。

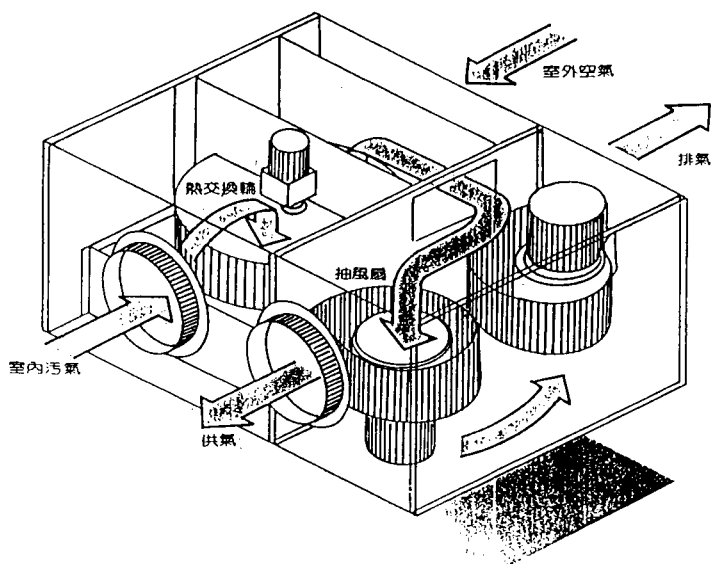


圖1 典型的轉輪式全熱交換器運作圖

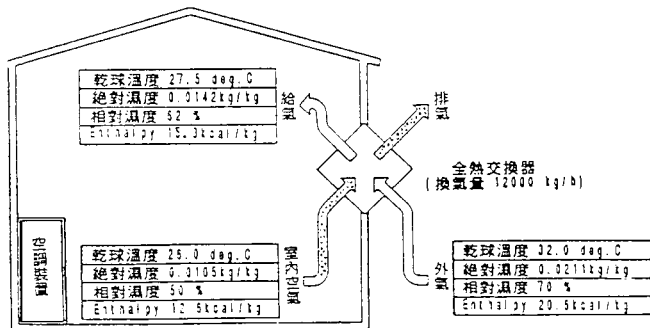


圖2 利用全熱交換器將外氣降溫降溼

全熱交換之原理始於吸附除溼，在80年代前已用於北歐、加拿大等寒冷地帶之暖房系統。在寒帶室外的絕對溼度遠低於室內，引入外氣會造成室內溼度過低而導致呼吸系統出血、皮膚乾燥及靜電等問題，加溼又會消耗大量能源。全熱交換器即可引入足量的外氣，也可將外氣在進入前的溫度及溼度提升至趨近於室內條件。

全熱交換器之用於冷房系統雖難於考究從何時開始，但其大量之商業推廣應始於80年代初第二次能源危機後，時門窗氣密性逐漸提升，機械通風日趨重要，節約能源的觀念也在美國紮根時。

經過這十年的發展，全熱交換器的應用模式也已被開發了多種，可用於各類空調。其各應用模式之市場簡略分析如下：

- (一) 窗型，可用於小空間，安裝與窗型冷氣機略同，但體積小且輕，也無排水問題，主要生產地在日本及台灣。
- (二) 天花板上型，配合Fan Coil系統或分離式空調系統，安裝簡單，並可保證室內有足夠的外氣，國內外均有生產商業化產品。
- (三) 室外型，若建築設計採用結構內之風道換氣可裝於室外換氣口，只須注意保留一小空間即可，如(二)，此應用模式佔相當比例。
- (四) 與空調箱結合設計，這種設計雖實用性高，但其技術挑戰性亦高，雖已有商業化產品，但其設計及體積問題只較適於某些應用，先進產品正在開發當中，投入研發的單位包括工研院、華懋科技、江陵機電及日本有名的智慧型空調大廠，Sinko公司。

2-3 空調換氣耗能分析

空調換氣之耗能決定於換氣量及室內外空氣條件，若室內維持舒適環境，設在26℃ 50%下，換氣耗能則只應換氣量及室外條件變化而改變。換氣耗能 Q_v 之計算如以下

$$Q_v = \dot{m}_v \times (h_o - h_i)$$

Q_v —換氣耗能, kJ/hr

$\dot{m}_v$ —換氣量, kg(air)/hr

h_o —室外空氣焓值 kJ/kg

h_i —室內空氣焓值 kJ/kg

以台灣地區而言，溼度偏高，故換氣耗能多在除溼而非將外氣冷卻。舉一例子，室內26℃ 50%時， $h_i=53\text{kJ/kg}$ ；室外33℃ 70%時， $h_o=90.5\text{ kJ/kg}$ ，其焓差(h_o-h_i)為37.5kJ/kg，然而溫差所造成之焓差只有7kJ/kg，絕對溼度(每kg乾空氣中之水份量)之焓差卻有30.5 kJ/kg之多，換句話說，換氣負荷中除溼佔的比例達8成以上。所以，在台灣使用全熱交換器，其經濟效益非常良好。圖3為能資所曾經評估(參考文獻1)過之空調換氣耗能，此評估是分析換氣率變化對台灣地區不同縣市空調耗能之影響，在換氣率自5cfm增加到20cfm時，空調負荷可從785921kw.hr增加到1129837kw.hr，增加約40%。

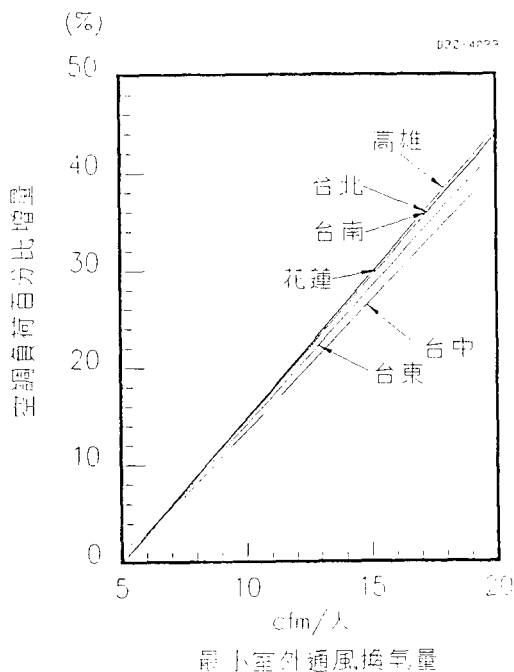


圖3 台灣地區在不同空調換氣率下之耗能分析

雖然這增加僅代表空調主機之耗能部份，但一般而言，空調主機佔總耗能約60%左右，總括來說，換氣而造成之負荷為40%，而耗能為24%。

第三章 實驗設計與量測

3-1 全熱交換器之安裝與控制

全熱交換器之安裝需改變原有風管的設計，工程複雜，四個研究案例中，只有其中兩個有安裝全熱交換器。圖4為案例B26，無中央空調，採用分離式空調，圖5為其所用之嵌入式空調室內機，圖6為全熱交換器之安裝情況。此案例利用窗戶安裝風管，將回風與供氣風管接到天花板上。

案例之二為B64，如圖7，其採用中央空調，每層各設兩個空調箱，裝在機械室內。本研究只選其四樓中之一個辦公室當作量測對象，用最方便的方法，選一窗型全熱交換器裝在窗戶上，如圖8。B64的室內平面圖，如圖9。

這兩個全熱交換器其一來自一家廠商，另一個則為能資所自製，全熱交換效率皆在60%左右。全熱交換器的風量可以控制，以改變換氣率。裝在B26之全熱交換器為Berner 511-H2型，裝在B64者為能資所自製式，為鋁基材轉輪式，鋁基材轉輪式對潮溼氣候有較好之適應性，為能資所的重要研究之一。



圖4 建築B26 外觀，位於新竹縣竹東鎮中興路四段

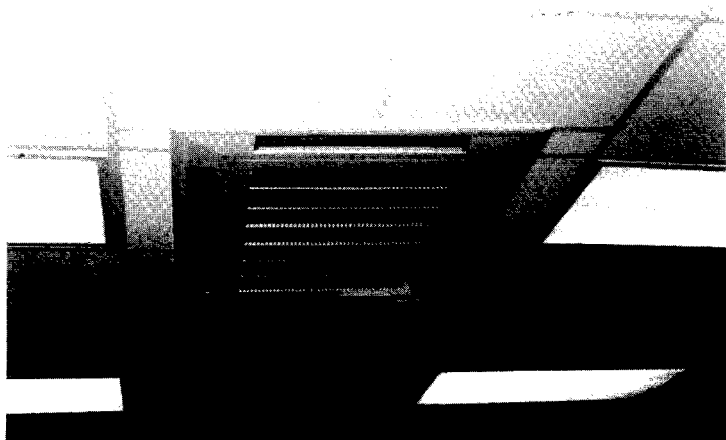


圖5 建築B26採嵌入式獨立之分離式空調系統，沒有引進外氣

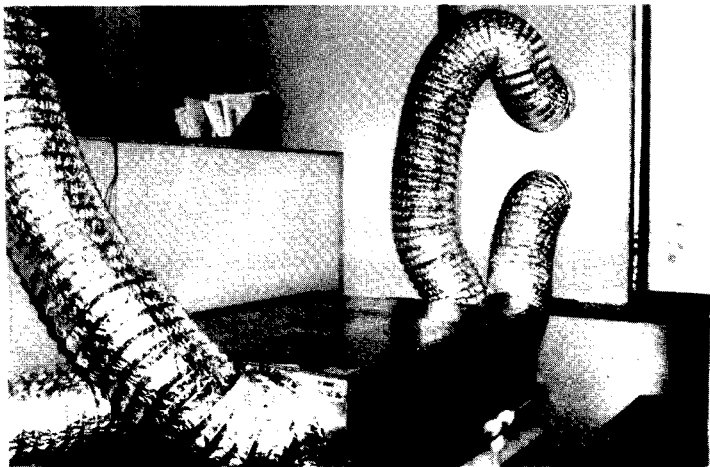


圖6 B26全熱交換器之實際安裝情況

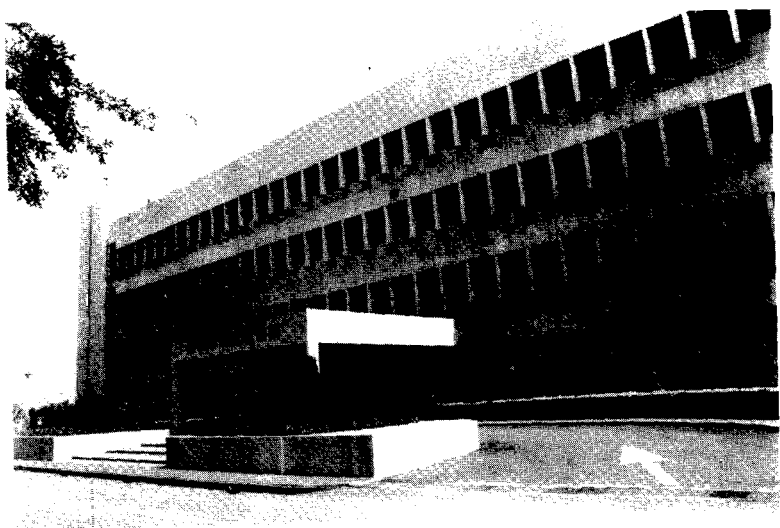


圖7 建築物B64外觀



圖8 換氣用全熱交換器

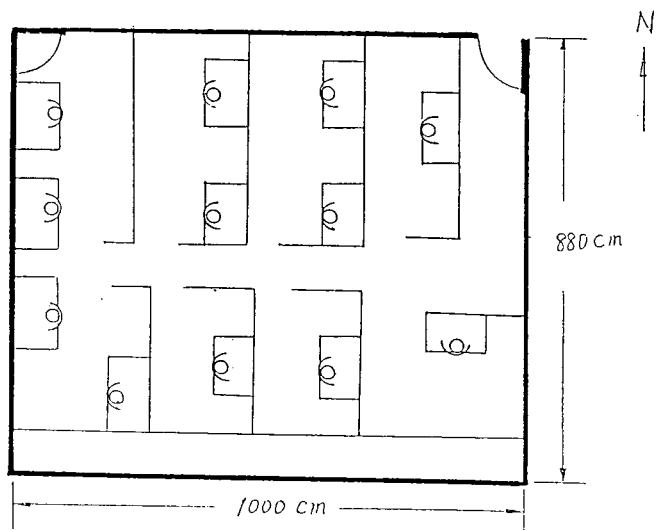


圖9 B64室內空間及人員分布

3-2 空氣取樣設計

空氣取樣係使用ASHRAE標準所推薦的具16個點的空氣取樣裝置如圖10，再搭配室內空間予以略作修改應用，各點平均分佈於室內，並在各個末端點處立起垂直管路，並直管距地面約100公分高度，恰選在坐姿的呼吸帶，亦即90~120公分的範圍內。

經由空氣取樣管，連接一個美國ASF公司的空氣泵作抽氣的動力來源，將此取得的空氣送到我們設立的IAQ監測中心，連接Metrosonic aq-501以及B&K 1302 多種氣體監測器等儀器。需注意的是通常我們把儀器的感測頭(Sensor)，放在空氣泵浦前端入口另外做的一個Chamber中，以避免因空氣泵浦昇溫造成的實驗誤差，但B&K 1302則必須接於後方，原因是B&K 1302本身泵浦和ASF的空氣泵浦壓力不配合，需放置後方，並設三通閥，惟如此並不影響示蹤氣體濃度的量測。

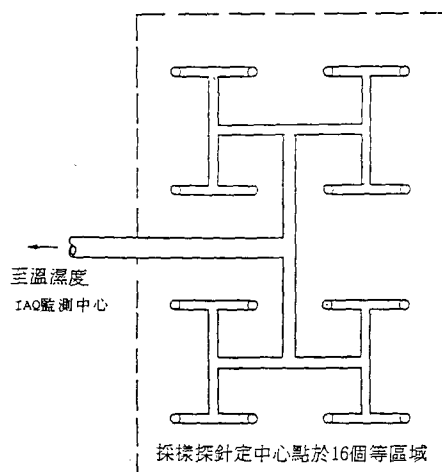


圖10 空氣取樣裝置裝置圖及裝設照片

3-3 二氧化碳濃度量測

本研究用能資所自有之二氧化碳監測器metrosonic aq-501(美國), 如圖11量測其濃度變化。這種監測器可連接電腦做24小時連續偵測, 且準確性高, 其原理為利用非分散性紅外線NDIR被CO₂氣體吸收與CO₂濃度的關係來判定CO₂濃度。為使量測之準確性提高, 本研究用二氧化碳標準氣體: 含氮基零級氣體、濃度500ppm及1000ppm之氣體, 如圖12作二氧化碳監測器之校正。

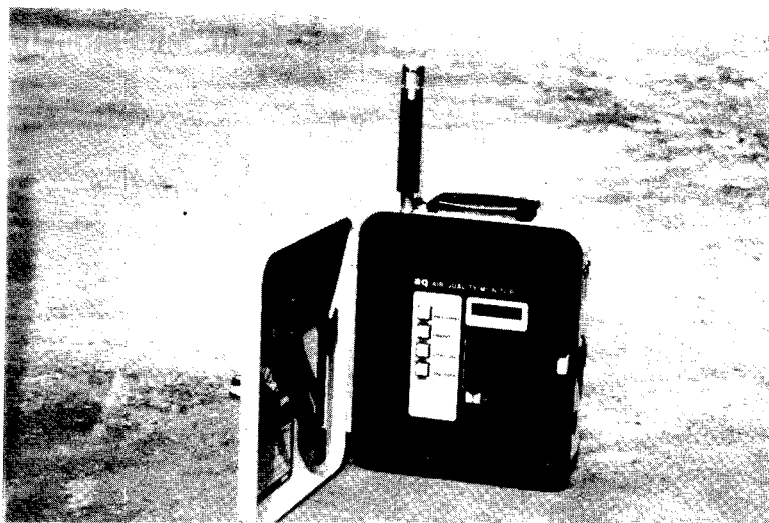


圖11 二氧化碳監測器:Metrosonic aq-501 & PC software

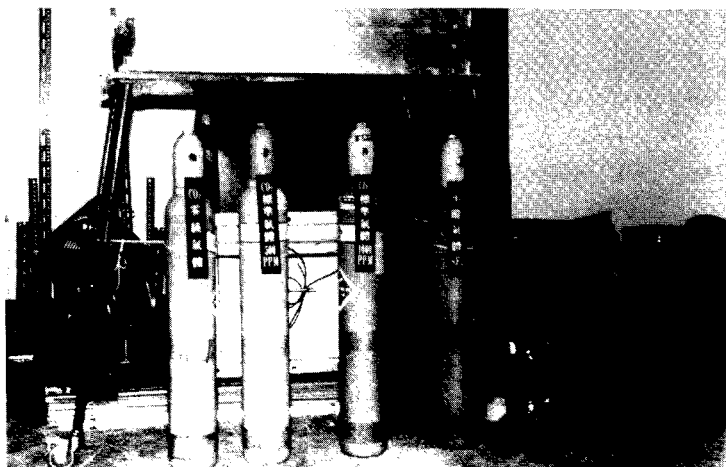


圖12 校正用之二氧化碳標準氣體

3-4 示蹤氣體之量測與換氣率計算

示蹤氣體之應用於量測換氣率，其操作簡單，不需量測風量等複雜手續，也不需控制門窗或其他可影響換氣率之條件。換句話說，示蹤氣體法可用於任何條件下，直接獲得室內之換氣率，如圖13, 14，將示蹤氣體(無毒無害)釋放於室，經空調系統將之擴散，停止釋放後之一小時內即可由電腦計算，獲得換氣率，這種方法也非常適於建築健康條件之檢測。

這種量測法需有下列儀器與設備：

1. 多種氣體監測器：B&K 1302如圖15，附示蹤氣體監測用濾片(filter)，做示蹤氣體濃度測量用。
2. 示蹤氣體：鋼瓶裝六氟化硫(SF_6)氣體，如圖16。
3. 空氣取樣裝置：係根據ASHRAE 62-89建議製作之取樣裝置。如圖10，量測高度距地面100公分。

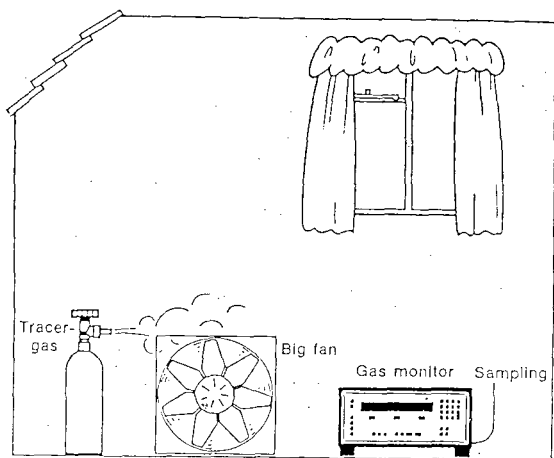


圖13 施放示蹤氣體於室內監測濃度

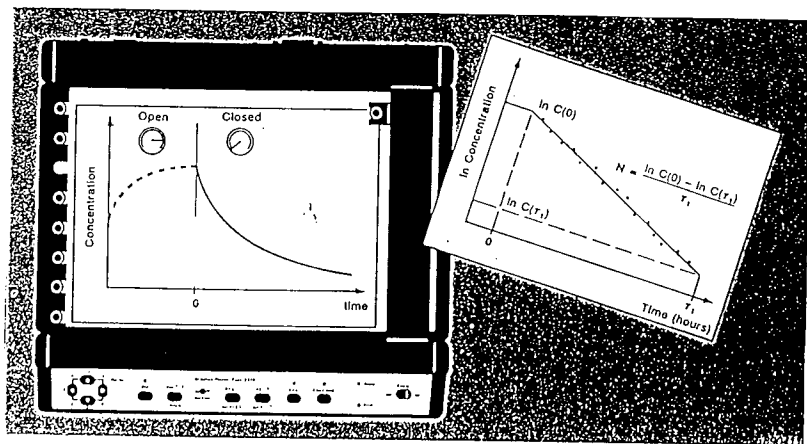


圖14 由示蹤氣體濃度衰減求算換氣率

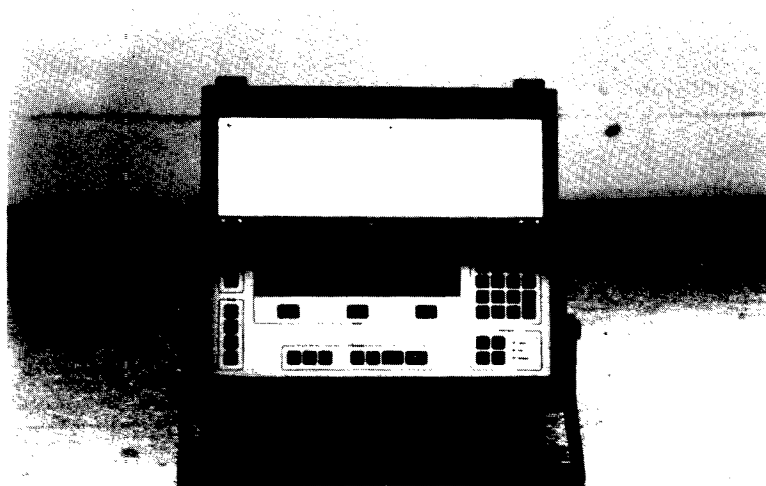


圖15 多種氣體監測器B&K1302，示蹤氣體監測用



圖16 示蹤氣體：銅瓶或鋁瓶裝六氟化硫氣體

測定房間或建築物的空氣流通量一般是使用下列三種示蹤氣體的方法：濃度衰減法，定量施放法以及定濃度法。三種方法都是根據連續方程式 (Continuity Equation) 簡化而來：

室內示蹤氣體 變化量 $V \frac{dc}{d\tau}$	=	進入室內的示蹤 氣體量 $F(\tau) + (q_v(\tau) \cdot C_{oa})$	-	留在室內的示蹤 氣體量 $q_v(\tau) \cdot C(\tau)$
--	---	---	---	--

V = 室內空氣所佔體積, m^3

C = 室內示蹤氣體濃度, m^3/m^3

τ = 時間, 小時 h

F = 進入室內示蹤氣體量 m^3/h

C_{oa} = 外氣追蹤氣體濃度, m^3/m^3

q_v = 室內空氣流通量, m^3/h

可寫成

$$q_v(\tau) = \frac{F(\tau) - V \frac{dc}{d\tau}}{(c(\tau) - C_{oa})}$$

室內空氣流通量除以房間有效體積即是換氣率。以下探討濃度衰減法測定室內或建築物的空氣流通量。室外空氣假設不含示蹤氣體。

本研究用的是濃度衰減法，這是測量空氣流通量最基本的方法，能在短時間內測量空氣流通量。其作法將少量示蹤氣體完全混入室內空氣之後，測量一段時間內室內示蹤氣體濃度的衰減。為保證在任何時間室內各處示蹤氣體濃度一樣，測量期間轉動大型混合風扇。若量測期間不供給室內示蹤氣體且室內空氣流通量一定，則示蹤氣體濃度隨時間呈現對數形態衰減。畫出氣體濃度對時間的自然對數圖，會得到一直線，斜線梯度即室內換氣率

$$\text{換氣率, } N = \frac{\ln C(0) - \ln C(\tau_1)}{\tau_1} (h^{-1})$$

其中 $C(0)$ = concentration at time = 0 (m^3/m^3)

$C(\tau_1)$ = concentration at time = τ_1 (m^3/m^3)

τ_1 = 總量測時間 (h)

若得不到概略直線，則室內空氣不能視為完全混合，結果無效。

此種量測法所需設備只有氣體監測器，一瓶示蹤氣體，及混合風扇，故花費少且容易做。

圖 17、圖 18 是本研究在 B26 中測試濃度衰減法的一個量測結果，本研究用 SF_6 做示蹤氣體，圖 17 為 SF_6 濃度跟隨時間的變化，圖 18 則為 SF_6 濃度與自然對數跟隨時間的變化。圖 18 顯示 SF_6 濃度與時間的關係呈現線性，且其回歸係數 R 平方 = 0.998，代表濃度衰減法之假設關係正確。

在四個案例中，除編號 L11 的建築使用二台多種氣體監測器，分別放在天花板回風口處及室內中央做監測外，其餘三個案例都只用

一部B&K 1302多種氣體監測器，連接空氣取樣設備，平均抽取8個定點室內空氣作連續自動偵測。在建築L11的案例中，共進行了六次通風換氣率實驗，量測示蹤氣體的濃度變化情形，我們發現二台監測器雖置於不同點，除了在灌注 SF_6 的最初10分鐘，測得濃度有較大不同外，其後的時間，二台測得的濃度約略相等，因此，我們可由此判斷，此案例的空調系統使室內空間有良好的氣流混合，而使 SF_6 有均勻的分佈擴散。因此，在室內氣流混合良好的中央空調系統，直接在回風口處量測示蹤氣體濃度值，便可代表整個室內的平均值。同理，二氧化碳濃度值亦可在回風口處測量，即可代表室內平均二氧化碳濃度值。

另外，如是VAV變風量空調系統，風量會隨著外氣溫度而被影響，然而分別在上午及下午的六次實驗，雖然外界溫度有攝氏4度左右的變化2~3小時的量測期間，均未發現外氣量遽變的現象。

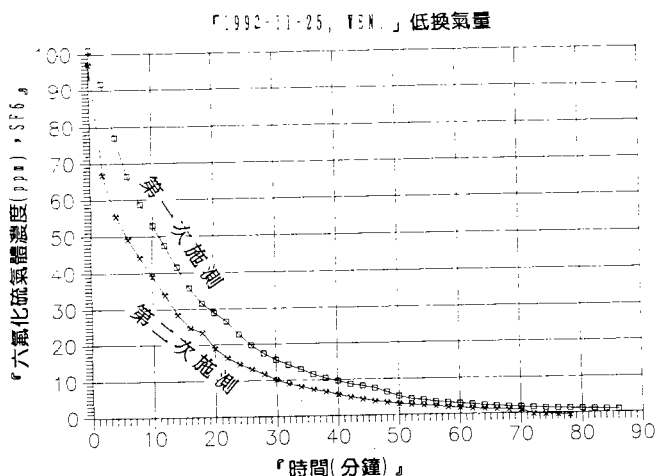


圖 17 示蹤氣體濃度對時間變化，建築B26

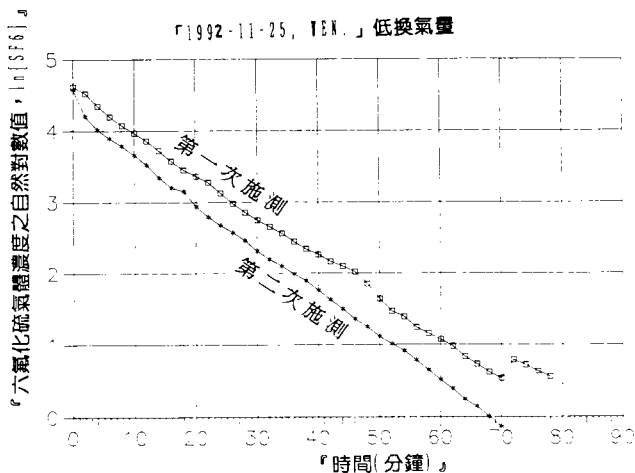


圖 18 示蹤氣體濃度自然對數值對時間變化，建築B26

第四章 實驗結果討論

4-1 CO₂濃度之變化分析

圖19及圖20是建築B64的量測實例，分別記錄了一天內的二氧化碳濃度和室內人數的變化情形。由圖中可看出室內二氧化碳濃度的歷時變化與室內人數歷時變化的趨勢，顯現有直接關係。外氣二氧化碳濃度是380ppm。

圖21是於建築B26中，將全熱交換器風量開至高風量，室內之窗戶，門均關閉之情況下，利用示蹤氣體濃度衰減技術，進行室內換氣率檢測時之示蹤氣體SF₆濃度歷時變化記錄。B26室內之淨容積為219立方公尺。圖22是把圖6的Y軸取自然對數作成。

圖23，為建築B26室內二氧化碳濃度連續24小時的監測記錄，圖24則是室內人數對時間的記錄。圖25是B26辦公室連續三日的二氧化碳濃度記錄，第一天為自然換氣，第二天全熱交換器風量開Low，第三天全熱交換器風量開high。

圖26，圖27分是在台北市建築L11的室內二氧化碳濃度及室內人數的歷時變化，量測時門窗均全關，外氣二氧化碳濃度約在404ppm。

圖28是台北市建築S12的室內的二氧化碳濃度歷時變化，外氣的平均濃度是443ppm，顯然較高。此例和L11的例子相比，室內門窗均是全關，S12室內人數在50~60人之間和室內坪數250坪，但兩者之內二氧化碳濃度相距甚大。本案例之室內二氧化碳濃度值曾有超過3000ppm的記錄。

以上這些辦公室的人口密度都是典型的，約在0.15人/m²左右，因辦公人數之變化，早上到下午之人口密度改變，故測試當日人數

變化也登記下來。從這些結果來看人數與與 CO_2 濃度有直接的關係，人為 CO_2 之污染源，換氣為排除污染之方法。B64與B26兩個案例所測得之 CO_2 均在800 ppm以下，空氣品質良好，L11在辦公時間 CO_2 濃度幾乎維持在1000ppm，空氣品質並不良好。S12所測之辦公室間通風不良， CO_2 濃度甚至有超過3000ppm者，連續測試三天結果類似。由以上之案例可看出建築通風設計之重要，若有3000ppm高 CO_2 濃度情況，也代表其他污染物也可能已到達非健康之程度。

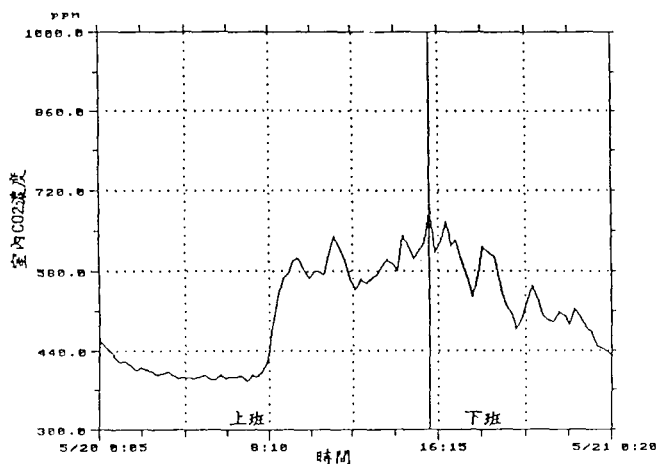


圖19 建築B64一天的室內 CO_2 濃度變化 (1992-5-20)

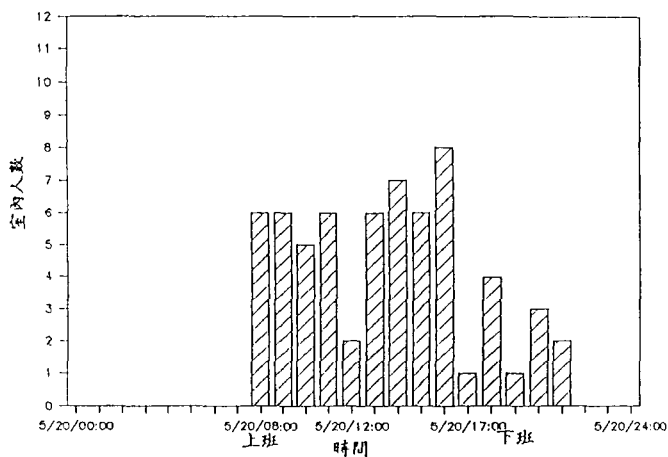


圖 20 建築B64一天的室內人數變化 (1992-5-20)

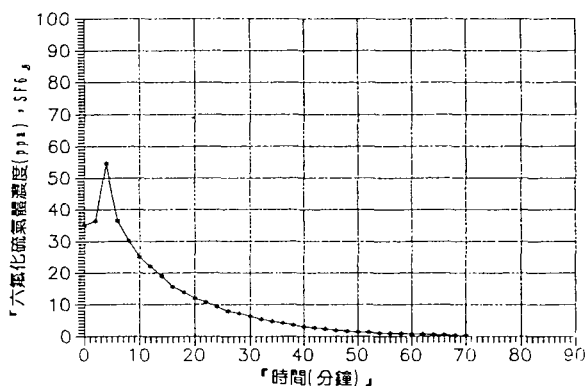


圖 21 建築B26採用高換氣量全熱交換器風量時，
示蹤氣體濃度變化與時間之關係

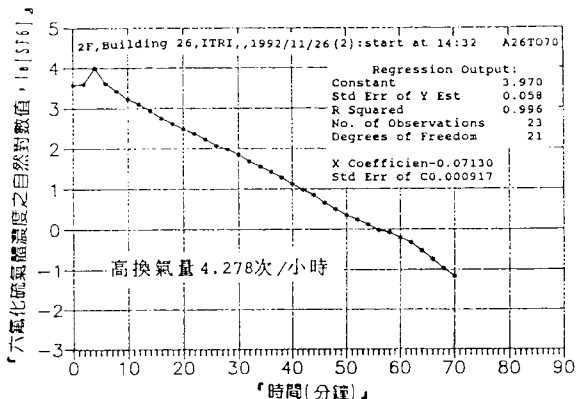


圖22 建築B26採用高換氣量，示蹤氣體濃度自然對數值與時間關係

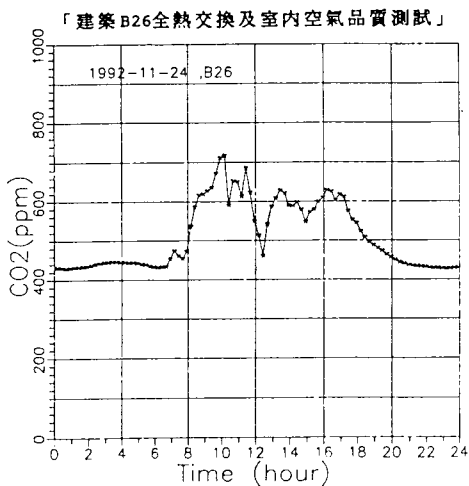


圖23 在建築B26二氧化碳濃度連續監測記錄

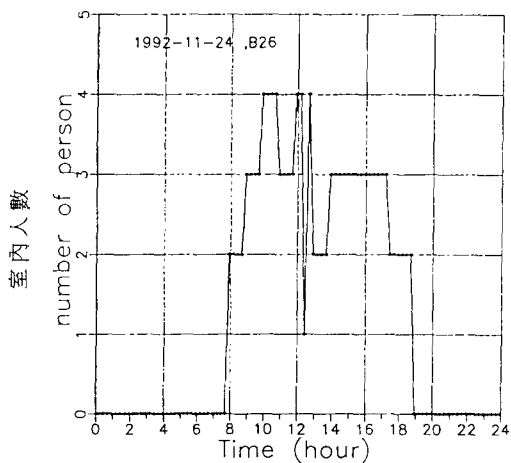


圖 24 在建築B26，室內人數的歷時變化

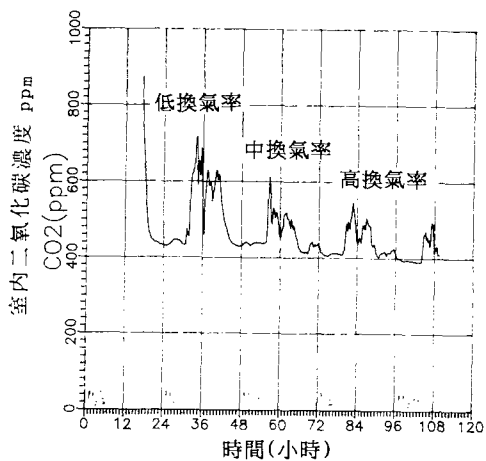


圖 25 建築B26連續監測三日之二氧化碳濃度歷時變化

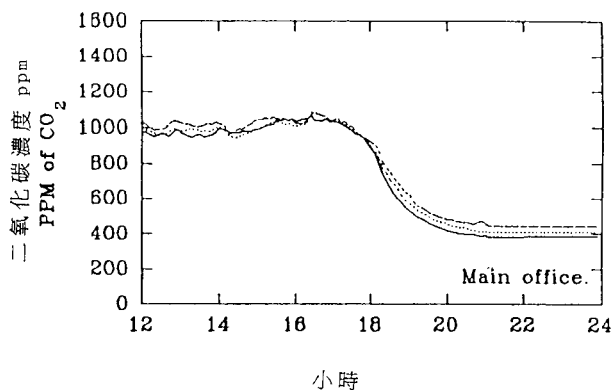


圖26 室內空氣二氧化碳濃度變化，建築L11，量測日期：Feb-09-1993

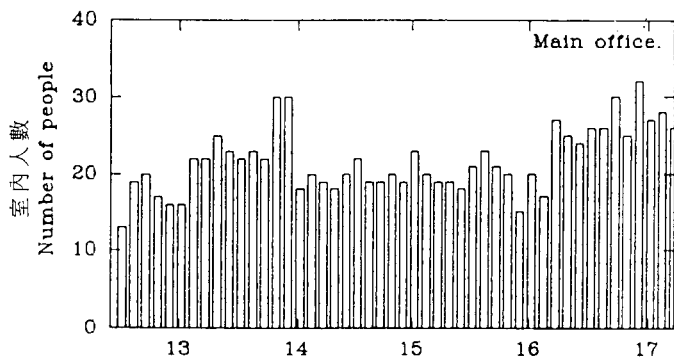


圖27 室內辦公人數變化記錄，建築L11，日期：Feb-09-1993

建築S12:位於台北市忠孝東路

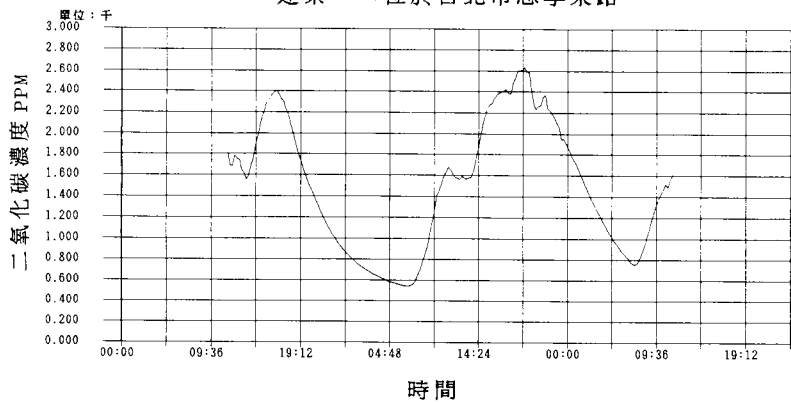


圖 28 建築S12的室內二氧化碳濃度連續二日之歷時變化

4-2 全熱交換器之效果討論

根據2-2的介紹，全熱交換器的效率有顯熱、潛熱及焓(全熱)三種，爲了方便起見，底下係針對供氣側效率進行長時間(大約一個月)測試，來求得各日三種效率隨時間變化的情形。最後，將這些當日三種效率取平均值後整理於圖29，圖中顯示出大約一個月的長時間測試下能資所自製全熱交換器的性能。下圖中明顯地看出此時三種效率均相當地接近，除了兩組變異較大外其餘各組效率值均介於0.7至0.8之間。經過約一個月的長時間測試後，其性能並無明顯地衰退，顯示性能相當可靠。

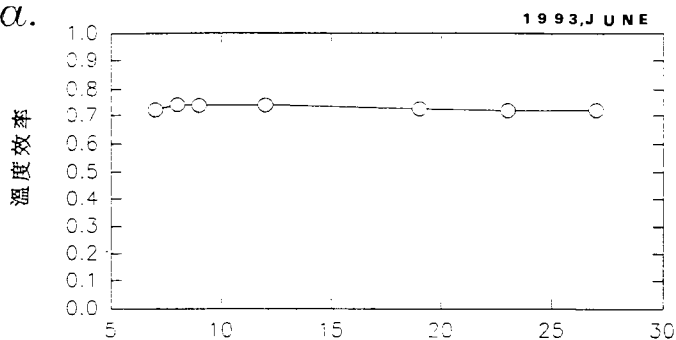
以上經量測所得的全熱交換器效率並未考慮洩漏(leakage)與夾帶(carryover)等之通風短路現象，雖然吾人已盡力改善此全熱交換器的密封，但相信仍約有5~15%的通風短路現象，因此上述的量測效率難免有所高估。

若令 η_x 爲不考慮通風短路現象的量測效率而 η_x' 具通風短路現象時的修正效率，則基於轉輪的能量與質量平衡可以導出 η_x 與 η_x' 之間的關係如下：

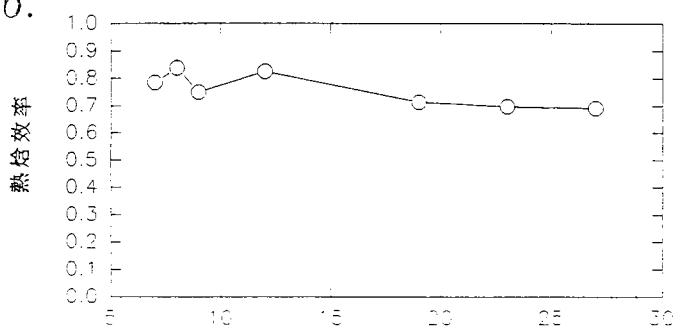
$$\eta_x = (1-f) \eta_x' + f; \quad X = T(\text{溫度}) \text{ or } Y(\text{濕度}) \text{ or } H(\text{焓})$$

式中 f 爲通風短路佔總風量的百分比。依據上式計算，上述量測 η_x 值原在0.7~0.8之間，若通風短路百分比佔10~15%，則經修正後其 η_x' 值仍能介於0.65~0.75之間。

a.



b.



c.

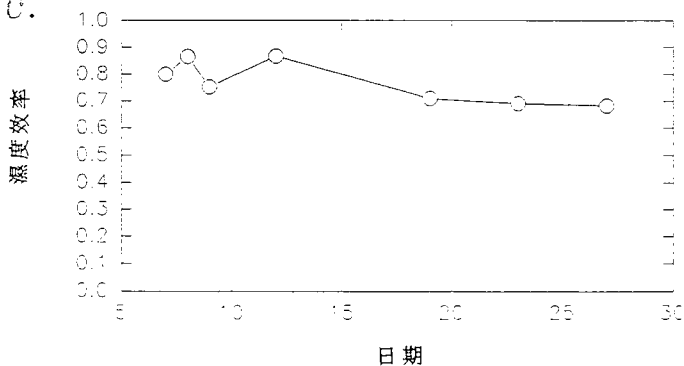


圖 29 全熱交換器效率量測期間的性能變化情形

4-3 換氣率和二氧化碳濃度的關係

依據ASHRAE STANDARD 62-1989附錄D所提供的模式，可以得到換氣量 V_0 與室內二氧化碳濃度 C_s 的關係函數式，(假設其餘變數均有定值)，此一雙室模式如下，圖30：

$V_0 = G / (C_s - C_0)$ 其中 V_0 = 每人之外氣量；cfm/人

V_e = 呼吸速率；cfm/人

G = 每人 CO_2 產生率； 10^{-6} cfm/人

C_e = 呼氣之 CO_2 濃度；ppm

C_s = 室內之 CO_2 濃度；ppm

C_0 = 室外之 CO_2 濃度；ppm

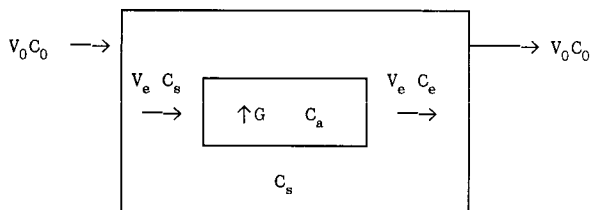


圖30 ASHRAE 62-1989提供的雙室模式

將此模式，應用到案例L11，經由曲線擬合 (curve fitting)的結果如下：

$$\text{室內}CO_2\text{濃度ppm} = 404.3 + \frac{11295}{\text{每人平均換氣量 (cfm/人)}}$$

由圖31可以看出，此理論公式能準確預測室內平均 CO_2 濃度與每人平均換氣量的關係。另外；由上述式子得知每人 CO_2 產生量為 $0.011295\text{cfm}/\text{人}$ ，相當於室內人員生理活動指標約為 1.28met 單位（ $1.0\text{met}=18.4\text{Btu/hr}\cdot\text{ft}^2$ ）。因此，再度驗證以回風處測得的二氧化碳濃度，當作室內各區間平均值是一個合理的指標。針對其餘案例，如B64，使用此一模式亦發現此一雙式模有合理的預測能力。

因此，很重要的推論是，在符合雙室模式的獨立的空調系統空間，理論公式的計算，可以提供作為設計空調系統換氣量的重要參考。

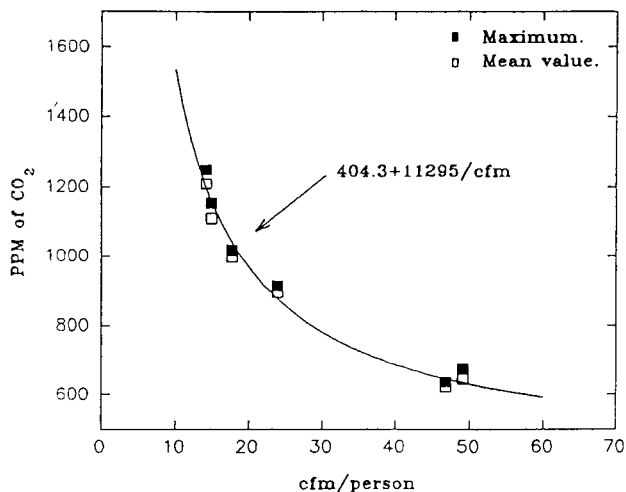


圖31 建築L11換氣率量測期間，回風處 CO_2 濃度與室內各區間整體的每人平均換氣量的關係

從圖31中可看出當換氣率在20cfm/人時, CO₂濃度可維持在1000 ppm 以下, 證實ASHRAE標準62-1989所建議之最低換氣率20cfm/人有效。同時, 如將換氣率提升到30cfm/人時, CO₂濃度則可降至800ppm, 由此可知, 若以最高使用人數來設計辦公室空調, 20 cfm/人之換氣率就應足夠, 但若以平均人數來計算, 建議30cfm/人爲更好之設計。

4-4 空調節約能源分析

全熱交換器的節能效果, 我們以建築B64的案例作測試分析:

首先述全熱交換器之使用狀況測量如下:

室外狀況: 溫度30℃, 相對濕度73%, 焓值 $h_{OA} = 19.1 \text{ Kcal/h}$

室內狀況: 溫度26℃, 相對濕度60%, 焓值 $h_{RA} = 13.9 \text{ Kcal/h}$

供風狀況: 溫度21℃, 相對濕度70%, 焓值 $h_{SA} = 11.7 \text{ Kcal/h}$

空調送風量980cfm

空間原負荷: 4259Kcal/h或16900 Btu/h

全熱交換器之焓效率實測結果 $\eta_h = 0.65$

全熱交換器換氣量81cfm

因換氣而增加之負荷 = 換氣量 $\times (h_{OA} - h_{RA})$

即 $(81 \text{ cfm}) \div (35.32 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \times 60 \text{ min/h}) \div (0.86 \text{ m}^3/\text{kg}) \times (19.1$

$- 13.9) \text{ Kcal/kg} = 832 \text{ Kcal/h}$ 或 3301 Btu/h 以全熱交換器回收能源,

則因換氣增加之負荷 = 換氣量 $\times (h_{OA} - h_{RA}) \times (1 - \eta_h)$

即 $(81 \text{ cfm}) \div (35.32 \text{ ft}^3/\text{m}^3) \times 60 \text{ min/h} \div (0.86 \text{ m}^3/\text{kg}) \times (19.1 -$

$13.9) \text{ Kcal/kg} = 832 \text{ Kcal/h}$ 或 3301 Btu/h 以全熱交換器回收能源, 則

因換氣而增加之負荷 = 換氣量 $\times (h_{OA} - h_{RA}) \times (1 - \eta_h)$

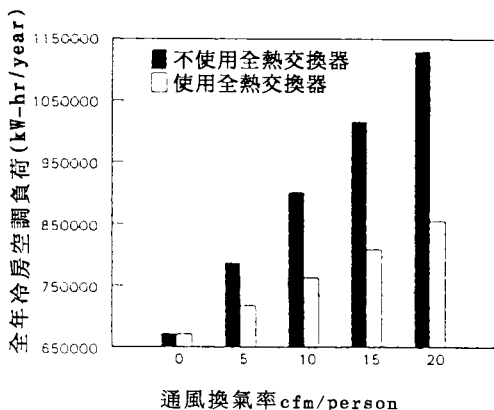


圖32 使用全熱交換器可節省空調換氣的負荷。

換氣需求愈大，省能效果愈顯著。

因此，換氣負荷較不使用全熱交換器少 541Kcal/h (2146Btu/h)，綜合換氣及省能效果如表3表4。全熱交換器除了可能因通風短路減少換氣效果外，其改善室內空氣品質同時節省源的效果是顯而易見的。

另外根據內政部建研所之 ENVLOAD 及 PACS 的算法 (參考文獻7) 本案例的全年空調負荷，在使用與不使用全熱交換器兩種情況下的差異，整理如圖32，我們印證使用全熱交換器可省空調換氣負荷。換氣需求愈大，省能效果愈顯著。

因此全熱交換器，其改善室內空氣品質同時節省能源的效果是顯而易見的。

表3 室內空氣流通量實測結果

窗戶		×	×	×	×	×	×	×	×	半開
門		×	×	○	○	○	○	○	○	○
全熱交換器		×	○	×	○	×	×	×	×	×
空調		×	×	×	×	○	○	○	○	○
室內空氣	1/h	1.29	1.85	2.44	2.44	3.09	6.75	6.74	6.76	9.31
流通量	cfm	187	268	354	353	448	980	978	981	1350

× 表示關閉；○ 表示開啓

表4 能資所自製全熱交換器改善IAQ與省能效果評估

是否換氣	無	有	有	有
是否用全熱交換器	無	無	有	有
實際增加換氣量		無通風短路		有通風短路
cfm		93.4		81
增加之負荷Kcal/h		959	336	291
原有空調外氣量20cfm/人、室內6人				
每人外氣量cfm	20	35.6		33.5
CO ₂ 濃度ppm	998	728		749
原有空調外氣量40cfm/人、室內6人				
每人外氣量cfm	40	55.6		53.5
CO ₂ 濃度ppm	689	602.4		611

第五章 結論與建議

5-1 結 論

1. 本研究用先進技術，實際測量辦公建築室內換氣率及二氧化碳濃度，建立了初步的辦公建築室內室氣品質評估方法。
2. 人是 CO_2 主要生產源內 CO_2 濃度明顯與人數有關。上班時間主要靠空調系引進外氣，空調供風的 CO_2 濃度較低使室內 CO_2 濃度控制在可接受範圍。
3. 每人通風換氣量愈大，室內二氧化碳濃度愈低；據實驗案例顯示，換氣量在 $20\text{cfm}/\text{人}$ 下，能維持室內二氧化碳濃度在 1000ppm 以下。若房間為獨立之空調系統，則可以用雙室模式來預測合理的換氣量及室內二氧化碳濃度值。
4. 本研究使用示蹤氣體之濃度衰減法檢測技術，已可成功的檢測出室內之換氣量，但必須注意室內之氣流需均勻混合。此方法檢測時，不影響辦公室之正常作業，是實地可實施的好方法。
5. 辦公室上班期間換氣量不足會導致室內二氧化碳或空氣品質的惡化，在案例中，就有二氧化碳濃度超過 3000ppm 的例子。因此，在建築技術規則中，應規定最低的換氣量。
6. 使用全熱交換器約能有效節約 65% 換氣負荷，適當使用下並能夠實質改善室內空氣品質。

5-2 建 議

根據前面研究獲得的資訊，初步建議如下：

1. 換氣對室內空氣品質及能源消耗同時造成影響，故空調系統須能有效調節換氣，其操作維修須重視此項功能。

2. 建築與空調的設計與運作，應根據通風規範詳加評估，兼顧空氣品質與能源節約，ASHRAE 62-1989宜作為設計參考。
3. 通風換氣應有能源回收。換氣量愈大，能源回收量愈可觀。
4. 全熱交換器的實際使用，若配合良好的空氣分佈更能達到換氣效果，以實際改善 IAQ。
5. 建議在建築技術規則中，規定辦公建築二氧化碳濃度的高限值為 1000ppm，或修改換氣量規定為每人 20cfm(34CMH)以上，確保建築有健康之空調。
6. 對於中央空調系統之空調箱，應推廣使用全熱交換器等節能裝置作換氣用途，以節約建築耗能。

5-3 後續工作重點

為使本研究成果得以推廣應用，建議後續工作如下：

1. 建立應用全熱交換器之空調設計模式，將之用於多個案例分析，再以研習班方式推廣此設計技術。
2. 利用實例作長期監測，追蹤全熱交換器應用之全年效益，可作為與 PACS (Performance of Air Conditioning Systems) 計算之比對。
3. 研究與 CO₂ 濃度控制之配合下，全熱交換器之實際節能效果。
4. 確立全熱交換器在各種不同室內外條件及不同建築之下，提升室內空氣品質之效果。

參考文獻

1. 室內空氣品質技術提升研討會論文集，工研院能資所，1993. 6.4°
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers , Inc., ASHRAE STANDARD 62-1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", Atlanta, GA, 1989.
3. Bayer C. W. Bayer, and C. C. Dowing, " Does a Total Energy Recovery System Provide a Healthier Indoor Environment?" Healthy Buildings, IAQ 91, ASHRAE, Inc.
4. Arthur E. Wheeler "Energy Conservation and Acceptable Indoor Air Quality in the Classroom", ASHRAE Journal, Apr. 1992.
5. Milton Meckler, "Evaluating Indoor air Quality" Association of Engineers Conference. Boston, July 1990.
6. Richard A. Grot Alfced T. Hodgson. Joan N. Daisey, and Andrew Persily, "Indoor Air quality Evaluation of a New Office Building," ASHRAE Journal, september 1991.
7. 建築節約能源設計規範(辦公建築專用)1992年草案，內政部營建署，1992.6°