

板式熱交換器節能應用於 外氣空調箱(MAU)之熱性能研究

李志良

德霖技術學院機械工程系

摘要

本研究以節約能源為目的，探討板式熱交換器節能應用於外氣空調箱(MAU)之熱性能與運轉操作時的省電效果。其中針對濕空氣性質之經驗方程式及參數，進行理論數值推導研究，測試飽和濕空氣之性質是否與理論吻合。並以質量與能量平衡的方程式，建立外氣空調箱搭配板式熱交換器操作時之耗能計算模式，以探討其操作性能。

關鍵字：節約能源、外氣空調箱、板式熱交換器

一、前言

在台灣，空調冷氣系統已逐漸成為民生必需設備，隨著空調系統的普及化，相對的也造成了許多「空調症候群」的後遺症，一般具有空調系統的居家、工廠或大樓，為了防止外氣熱源的進入，其空調區間均處於長期密閉的情況下，假若忽略了通風換氣的需求，造成一些有害氣體的累積，例如：影印機、傳真機的廢氣，人體呼出的廢氣及建築材料釋出的化學物質等，其實室內空氣的污穢程度，遠較室外空氣污染更為嚴重。通稱的「空調症候群」如眼精刺癢、皮膚發炎、喉嚨乾燥、鼻塞、頭痛、心神疲乏，甚至包括癌症、冠狀動脈疾病等，皆與吸入室內污濁空氣源有極大的關係，因此為了達到室內空氣的清新品質，勢必需引入大量的外氣換氣，其結果造成空調換氣能源的增加，在考量節約能源與健康空調環境均需兼顧的情況下，「新鮮空氣換氣能源回收裝置」將會是一個良好的因應對策。空調箱顧名思義就是空氣調節箱子，用來調節所需的溫度、濕度以及清淨度，用於不同地方，則會有人變更它的稱呼以方便識別功用。MAU 外氣空調箱：一般處理外氣(新鮮空氣)的箱子稱為外氣空調箱，通常要將外氣處理到與室內空調狀態差不多，所以最複雜體積也最大；PAH 預冷空調箱：一般處理外氣的箱子稱為預冷空調箱，差別在於只做冷卻不含加熱加濕，也很少會有高效率網，主要為了先行冷卻室外空氣；AHU 空調箱：一般回風含有外氣與室內回風稱之，空調常使用的送風方式之一，與 FAN COIL(小型送風機)差別在於有新鮮空氣，對人較健康；FAN COIL(小型送風機)：單純室內冷卻送風設備，空調常使用的送風方式之一，因為無外氣，故一般會搭配預冷空調箱一起規劃，另外一般人常忽略外氣(新鮮空氣)這部分，無外氣的空調設計，會造成室內空氣不佳氧氣不足，造成工作效率差或因缺氧而頭痛，但外氣卻需要消耗更大的能源(因為夏天外面溫度高)，故配合 MAU 外氣空調箱的設計與節能觀念，才能使我們生活得更健康更環保。MAU 送風量是由下列多種情況選擇風量：

- a. 人員新鮮空氣量(戲院、體育館、百貨公司等大量新鮮空氣場所)。
- b. 室內空間新鮮空氣換氣量。
- c. 無塵室內保持正壓風量。
- d. 面板廠 VOC 溶劑排氣的外氣補充風量--採用外氣水洗機去除硫化物、氨化物、TOC、化學物質及微粒灰塵，可延長 HEPA 壽命。VOC 排氣採用 VOC 濃縮輪淨化處理。
- e. 封裝廠排氣的外氣補充風量--採用外氣水洗機去除硫化物、TOC、化學物質及微粒灰塵，可延長 HEPA 壽命。
- f. 化纖廠 Take-up 機器熱排氣的外氣補充風量--循環風量通過水洗機去除細纖維及微粒灰塵。
- g. 噴烤漆塗裝廠溶劑排氣的除濕外氣補充風量--採用外氣水洗機去除硫化物、TOC、化學

物質及微粒灰塵，配合冷氣及蜂巢吸附除濕機送入低濕空氣。排氣端設水洗機去除二甲苯溶劑。

- h. 藥廠粉劑排氣的除濕外氣補充風量--排氣經旋風集塵器及袋濾捕集器去除粉劑。
- i. 室內游泳池濕氣排氣的除濕外氣補充風量。
- j. 鋰電池廠 NMP 溶劑排氣的除濕外氣補充風量--NMP 排氣採用 VOC 濃縮輪淨化回收。
- k. 室內靶場煙硝排氣的外氣補充風量--排氣經水洗機，避免污染大氣。
- l. 醫院病房、手術房排氣的除濕外氣補充風量--採用外氣水洗機配合冷氣及蜂巢吸附除濕機送入低濕外氣，使室內乾盤管冷卻，以避免盤管及水盤潮濕滋生細菌。
- m. 坑道、地下室作業場所排氣的外氣補充風量。
- n. 各種物品乾操作業場所濕氣排氣的外氣補充風量。
- o. 各種危險氣體作業場所排氣的外氣補充風量--排氣經水洗機，清洗有害氣體污染大氣。
- p. 軍火工業的全外氣風量--防止火藥累積於空調箱。

以上多種情況下室內空調箱的循環送風量及 MAU 送風量大部份不會相同，一般設計爲了達到室內濕度需求的絕對濕度，大多固定設定盤管出風溫度在 9.5°C~14°C 之間。以這個溫度送入室內，可能不足於室內冷卻或冷卻太多。因此 MAU 出風條件設定等於室內條件，而室內溫度由二次 AHU 控制。採用這種方式時因室外溫濕度的變化控制恆定，則室內溫濕度容易控制穩定。

以半導體廠的潔淨室爲例，其系統組成計有環氧樹脂塗裝、高架地板、隔間金屬庫板、天花金屬板、終級過濾器(HEPA、ULPA)、乾濕冷盤、水風管、公用系統管路、循環空調箱、外氣空調箱等元件，其中當屬外氣空調箱(MAU)設備元件最會影響潔淨室內條件的控制，其功能最主要在維持室內正壓、外氣微塵粒過濾及潔淨室內相對溼度的控制；而其消耗之能源也最大，能量運轉大約耗冰水主機的噸位一半以上，因此在節約能源考量下可從 MAU 的改善著手。外氣空調箱(MAU)通常是依據功能要求來設置風機、冰水盤管、熱水盤管(或電熱器)、空氣過濾器(初級、中級、高級三級過濾)、加溼器、空條件的控制，其功能最主要在維持室內正壓、外氣微塵粒過濾及潔淨室內相對溼度的控制；而其消耗之能源也最大，能量運轉大約耗冰水主機的噸位一半以上，因此在節約能源考量下可從 MAU 的改善著手。外氣空調箱(MAU)通常是依據功能要求來設置風機、冰水盤管、熱水盤管(或電熱器)、空氣過濾器(初級、中級、高級三級過濾)、加溼器、空氣混合箱、送回風及旁通風門等；並經由風管將外氣送至潔淨室之回風管道或是回風層，與回風混合後再經乾盤管降溫冷卻由風車或是風扇過濾單元(FFU)送至潔淨室內完成潔淨空氣循環。參考文獻[1]針對半導體廠的外氣空調箱在不同氣候區之最佳設計型式提出建議，對於跨國性企業在規劃籌建半導體廠的潔淨室時，有相當大的助益。參考文獻[2]則是外氣空調箱與風車配置特性的探討；[3]是談到無塵室 MAU 後段空氣水洗設備之影響；文獻[4]針對半導體廠房潔淨室的節能空調設計加以探討，其中外氣空調箱(MAU)則是潔淨室節能最主要關鍵設備。由於半導體廠之製程設備耗電量約佔總耗電量之 40%，而其中大部份均轉爲潔淨室內空調熱負載，其空調特性爲使用乾盤管冷卻，而乾盤管水溫通常設計在 13~20°C 之間，也因此傳統冰水溫度 5°C 供應需再昇溫，這是浪費能源的作法。

本研究爲國科會產學案，合作廠商順利空調公司負責人林文鋒先生，從事空調設備研發、生產製造及銷售安裝等工作已三十多年，林先生累積多年經驗曾於電機月刊針對蜂巢式除濕輪的除濕機發表文章[5]。本研究所探討之外氣空調箱搭配板式熱交換器設備，經合作廠商表示，基於操作成本的降低與上述之各項優點，業界值得推廣此類產品，且非常值得開發。

二、研究內容

本研究將以三種 MAU 配置方式做節能及其運轉成本比較：

- a. 全冷氣(滷水 PC)
- b. 冷氣+蜂巢吸附除濕機(冰水 PC, RC)
- c. 冷氣+氣對氣板式熱回收器(滷水 CC，本計畫探討之組合)

透過各種可能之運轉操作條件，進行以上三種 MAU 配置方式之熱力計算與分析，圖 1 至

圖 5 為其熱力計算條件示意圖及濕空氣線圖，各配置方式之熱力計算與節能效果比較如下：

a. 全冷氣(滷水 PC)

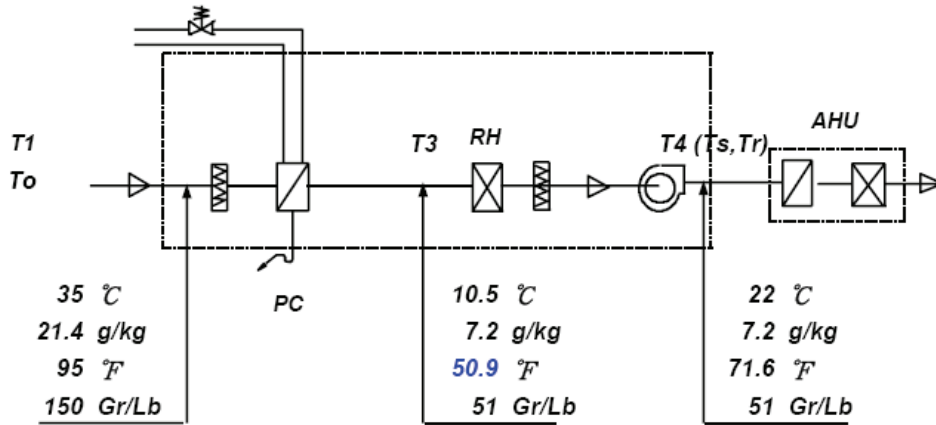


圖 1. 全冷氣(滷水 PC)熱力計算條件示意圖

(A).冷卻能量

| | | | |
|-------|-----|---|----------------|
| 滷水 PC | SH= | $42500 \times 1.2 \times 0.24 \times (T1 - T3) =$ | 299880 Kcal/hr |
| | LH= | $42500 \times 1.2 \times 0.5973 \times (X1 - X3) =$ | 432565 Kcal/hr |
| | TH= | <u>244 RT</u> | 732445 Kcal/hr |
| RH | SH= | $42500 \times 1.2 \times 0.24 \times (T4 - T3) =$ | 140760 Kcal/hr |
| | | | <u>164 KW</u> |

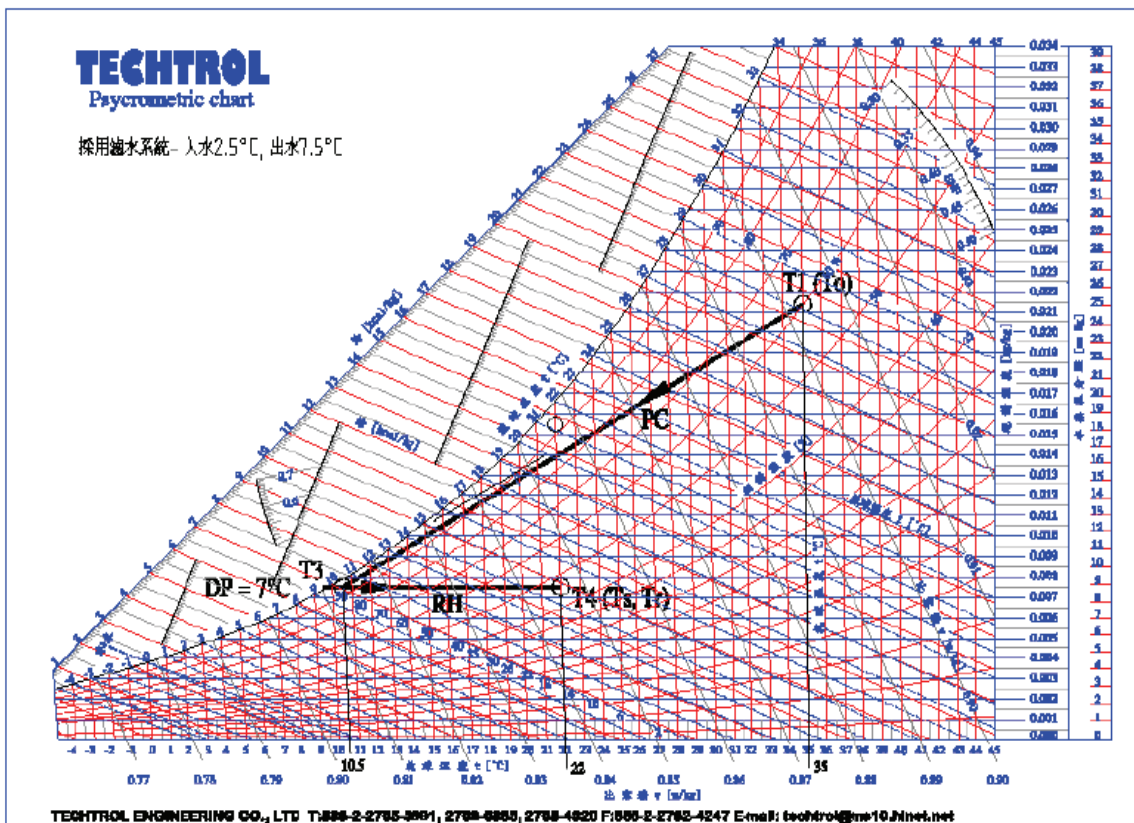


圖 2. 全冷氣(滷水 PC)濕空氣線圖

(B).設備選擇

| | | | |
|----------|-------------------------------|------------------|----|
| 滷水PC | BRINE AC SYSTEM | 244 | RT |
| | AC POWER (1.2KW/RT) | 292.9 | KW |
| RH | | 164 | KW |
| 每小時相當蒸汽量 | 1KW=1.6Kg/hr Steam | <u>262 Kg/hr</u> | |
| 每小時相當重油量 | 鍋爐效率87%, 1L重油可產生 13.5Kg/hr 蒸汽 | <u>19.0 L/hr</u> | |

b. 冷氣+蜂巢吸附除濕機(冰水 PC, RC)

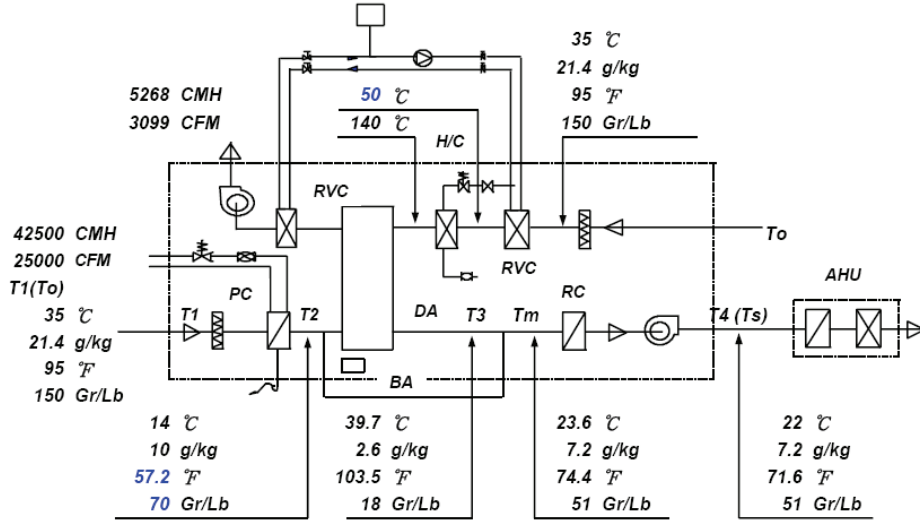


圖 3. 冷氣+蜂巢吸附除濕機(冰水 PC, RC)熱力計算條件示意圖

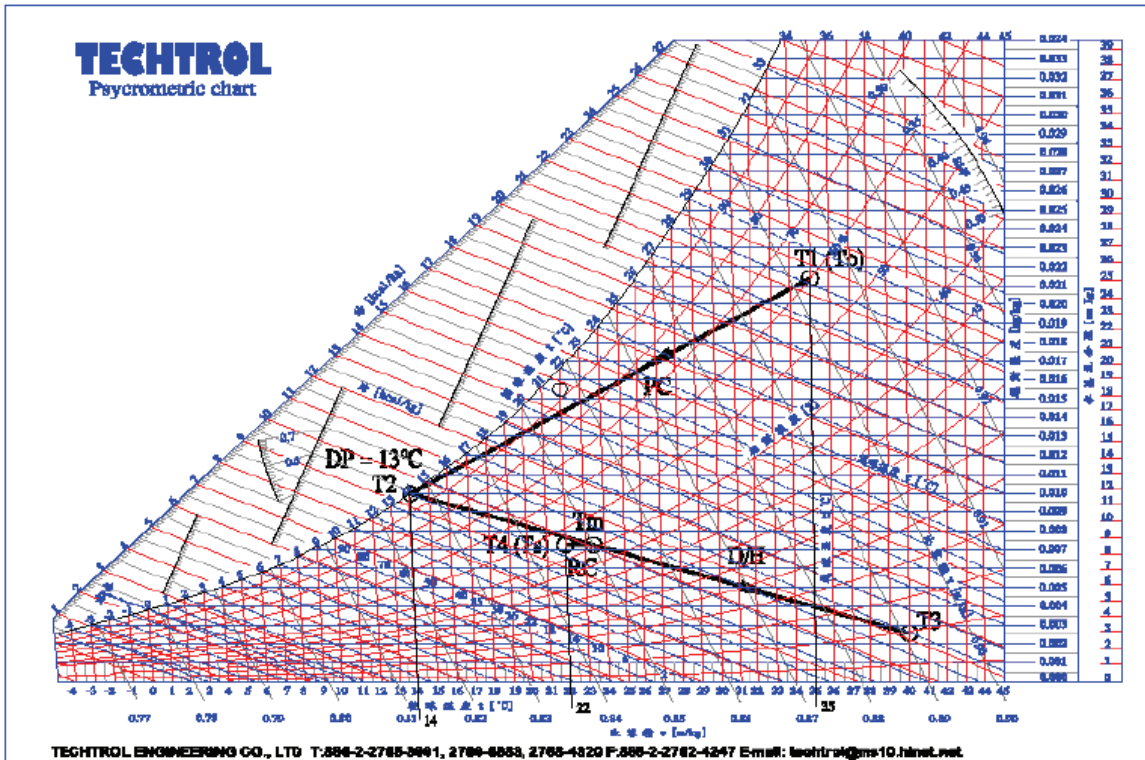


圖 4. 冷氣+蜂巢吸附除濕機(冰水 PC, RC)濕空氣線圖

(A).冷卻能量

| | | | |
|------|-----|--|---------------------------------|
| 冰水PC | SH= | $42500 \times 1.2 \times 0.24 \times (T1-T2)=$ | 257040 Kcal/hr |
| | LH= | $42500 \times 1.2 \times 0.5973 \times (X1-X2)=$ | 347270 Kcal/hr |
| | TH= | | <u>604310 Kcal/hr</u> 201 RT |
| 冰水RC | SH= | $42500 \times 1.2 \times 0.24 \times (Tm-T4)=$ | 19584 Kcal/hr |
| | | | <u>6.5 RT</u> |

(B).除濕風量 15805 CMH

(C).除濕機再生加熱所需的能源

a.無熱回收交換器時

| | | |
|----------|--------------------|------------------|
| SH= | | 159314 Kcal/hr |
| | | <u>185 KW</u> |
| 每小時相當蒸氣量 | 1KW=1.6Kg/hr STEAM | <u>296 Kg/hr</u> |
| 每小時相當重油量 | | <u>22 L/hr</u> |

鍋爐效率87%, 1L重油可產生 13.5Kg/hr 蒸汽

b.有熱回收交換器時

| | | |
|----------|----------------------|------------------|
| QR= | 設效率 50% | 136555 Kcal/hr |
| | | <u>159 KW</u> |
| 每小時相當蒸氣量 | 1KW = 1.6Kg/hr STEAM | <u>254 Kg/hr</u> |
| 每小時相當重油量 | | <u>19 L/hr</u> |

鍋爐效率87%, 1L重油可產生 13.5Kg/hr 蒸汽

(D).設備選擇

| | | | | | |
|------|---------------------------|-------|-------|------|-----------|
| 冰水PC | AC SYSTEM | 201 | RT | | |
| | AC POWER (1KW/RT) | 201 | KW | | |
| 冰水RC | AC SYSTEM | 6.5 | RT | | |
| | AC POWER (1KW/RT) | 6.5 | KW | | |
| DH | DEHUMIDIFIER | THDS- | 1700 | -SE | |
| | HONEY-COMBE ROTOR DIA. | | 1740 | mm | |
| | PROCESS AIR | | 15805 | CMH | 9297 CFM |
| | PROCESS AIR PRESS. DROP | | 19 | mmAq | 0.7 in Aq |
| | REACTIVATION AIR | | 5268 | CMH | 3099 CFM |
| | PROCESS AIR FACE VELOCITY | | 2.5 | m/s | 505 FPM |
| | REACT. AIR PRESS. DROP | | 30 | mmAq | 1.2 in Aq |
| | REACTIVATION AIR FAN | | 6.00 | KW | |
| | REACT. AIR STEAM HEATER | | 159 | KW | REAL |
| | REACTIVATION AIR VELOCITY | | 2.5 | m/s | 500 FPM |

c. 冷氣+氣對氣板式熱回收器(滷水 CC，本研究探討之組合)

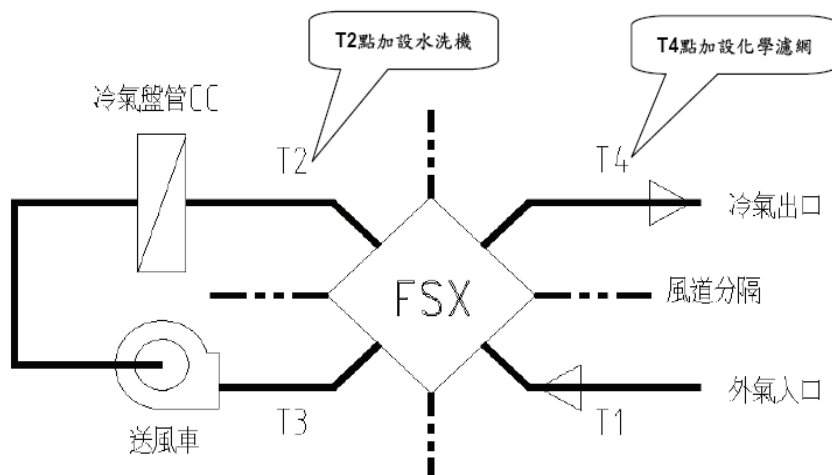


圖 5. 冷氣+氣對氣板式熱回收器(滷水 CC)熱力計算條件示意圖

| | | | | | |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------------|
| FSX Eff.= | 65% | RCV Eff.= | 47% | BA= | 11800 CMH |
| 通過板式熱回收器風量= | | 30700 CMH | | | |
| T2= | 26 °C | T4= | 22 °C | | |
| X2= | 20.4 g/kg | X4= | 7.2 g/kg | | |
| | 78.8 °F | | 71.6 °F | | |
| | 143 Gr/Lb | | 50 Gr/Lb | | |
| T3= | 10.5 °C | T1= | 35 °C | | |
| X3= | 7.2 g/kg | X1= | 21.4 g/kg | | |
| | 50.9 °F | | 95 °F | | |
| | 50 Gr/Lb | | 150 Gr/Lb | | |

(A).冷卻能量

| | | | |
|-------------|------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 滷水CC | SH= | 42500 x1.2x0.24x(T2-T3)= | 189720 Kcal/hr |
| | LH= | 42500 x1.2x0.5973x(X2-X3)= | 402102 Kcal/hr |
| | TH= | 197 RT | 591822 Kcal/hr |

(B).設備選擇

| | | |
|-------------|----------------------------|-----------------|
| 滷水CC | AC SYSTEM | 197 RT |
| | AC POWER (1.2KW/RT) | 236.8 KW |

(C).設備無水洗機

三、結果與討論

若操作時考慮加熱採用電熱方式計算電價，則以上三種 MAU 配置方式之電價費用做比較，結果如表 1 所示：

表 1. 三種 MAU 配置方式之電價費用比較表

| 電費單價 3 元/KWH計算 | | 全冷氣方式 | 冷氣+蜂巢吸附除濕機(再生熱回收) | 冷氣+氣對氣板式熱回收器 |
|----------------|--|---------------|-------------------|---------------|
| A. 電氣源 | | | | |
| PC滷水,冰水(50%) | | 146.5 KW(註:1) | 100.7 KW(註:1) | 118.4 KW(註:2) |
| RC滷水系統(50%) | | | 3.25 KW(註:1) | |
| 主風車 | | 34.0 KW | 42.0 KW | 42.0 KW |
| 再生風車 | | | 6.0 KW | |
| 轉輪減速機 | | | 0.2 KW | |
| 熱回收泵 | | | 1.5 KW | |
| RH再熱(100%) | | 164 KW | | |
| 再生電加熱(全年50%) | | | 79.5 KW | |
| 小計 | | 344.5 KW | 233.2 KW | 160.4 KW |
| 每小時能源費用 | | 1,033 元 | 699 元 | 481 元 |
| 每24小時能源費用 | | 24,801 元 | 16,787 元 | 11,547 元 |
| 每30天能源費用 | | 744,034 元 | 503,604 元 | 346,421 元 |
| 每年 | | | | |
| 7920 小時費用 | | 8,184,370 元 | 5,539,644 元 | 3,810,629 元 |

註1: PC空調冰水系統含水泵,水塔等以1RT=1KW耗電計

註2: RC空調滷水系統含水泵,滷水泵,水塔等以1RT=1.2KW耗電計

由表 1 之結果顯示，本研究採用板式熱回收器配置方式，將最節省運轉費而具節能效果。

四、結論

本研究 MAU 外氣空調箱搭配板式熱交換器，以板式熱交換器做冷卻除濕盤管前後之熱交換，利用第二道冷卻除濕盤管下游之低溫空氣與引入之高溫外氣進行熱交換，藉以降低引入外氣之焓值，並提高再熱盤管上游之空氣溫度，同時，降低冷卻除濕負荷與再熱負荷。對冰水主機而言可減少負荷，相對其 COP 值提高，故減少主機耗電量，達到節能目的。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會之經費贊助，計畫編號 NSC99-2622-E-237-005-CC3，特此致謝。

參考文獻

- [1] 蔡俊宏、王鈞民、鍾光耀，「半導體廠的外氣空調箱在不同氣候區之設計與分析」，潔淨科技 2004 年 12 月刊，pp. 21-29。
- [2] 陳良銅、王文博，「MAU 設計與風車配置特性」，冷凍與空調雜誌，第 8 期，P92~101，APR 2001。
- [3] 楊政諭，「淺談無塵室 MAU 水洗設備之基本理論」，冷凍與空調，第 2 期，P171~177，APR 2000。
- [4] 李文錦，「半導體廠房潔淨室的節能空調設計之探討」，中國冷凍空調雜誌，第 35 期，P61~69，DEC 1997。
- [5] 林文鋒，「蜂巢式除濕機簡介」，電機月刊，第九卷第 5 期，pp. 151-158, 1999。

The Study of Thermal Performance for Make-up Air Handling Unit (MAU) with the Energy Saving of the Plate Heat Exchanger

Chi-Liang Lee

Department of Mechanical Engineering, De-Lin Institute of Technology

Abstract

This study is based on the purpose of energy saving to investigate the thermal performance of the MAU (Make-up Air handling Unit) with plate heat exchanger. The experienced equations and parameters of the air psychometric chart will be derived. To calculate the properties of the saturated wet air and the results are compared with the theoretical data. In order to estimate the possible methods of saving energy for MAU, the model including the mass and energy conservation equations are developed.

Keywords : energy saving, MAU, plate heat exchanger