

## 外氣空調箱冰水盤管串接節能分析 Energy analysis of a MAU system with serial connected cooling coils

楊家維<sup>1</sup>、謝文健<sup>2</sup>  
Chia-Wei Yang<sup>1</sup>, Wen-Chien Hsieh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系 碩士生

<sup>2</sup> Graduated Student of Department of Refrigeration, Air-Conditioning and Energy Engineering,  
National Chin-Yi University of Technology  
E-mail : sBA016111@ncut.edu.tw

<sup>2</sup> 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

<sup>1</sup> Department of Refrigeration, Air-Conditioning and Energy Engineering,  
National Chin-Yi University of Technology  
E-mail : hsiehwc@ncut.edu.tw

### 摘要

本文針對某既設的光電半導體廠的單溫冰水 MAU 系統，將原來分別以 8°C 冰水冷卻的 MAU 預冷冰水盤管與冷卻冰水盤管，改以將前後兩道冰水盤管以串接方式連接，冰水機的 8°C 冰水先經過空調箱中後段的冷卻盤管，冷卻空氣升溫後，並不直接回水至冰水系統，而再串連經過前段的預冷盤管。這種串聯冰水盤管的方法，可降低 8°C 冰水的用量，並將冰水回水溫度由 17°C 提高到 20.5°C。經計算 8°C 冰水用量可由原來 1800CMH 減少為 1447CMH，估計該冰水系統可節省 13.9kW 的電費。

**關鍵字詞：**外氣空調箱、冰水主機、冰水盤管

### ABSTRACT

Single-temperature chilled water supplied photoelectric semiconductor plant MAU system, the original 8 °C chilled water supplied directly to both MAU pre-cooling coil and cooling dehumidifying coil, was changed to a series connected coils system. The 8 °C chilled water was flowing through the MAU dehumidifying coil first, then directed to the pre-cooling coil. This serial chilled water coils can reduce the consumption of 8 °C chilled water, and the chilled return water temperature elevated from 17 °C to 20.5 °C. The consumption of 8 °C chilled water reduced from 1800CMH to 1447CMH, the estimated electricity savings is 13.9kW.

### 1. 前言

以台中某光電廠而言無塵室及空調設備所佔的用電量高達 36%(如圖 1 所示)，其中又以冰水主機佔最高達 35%以上，其次是外氣空調箱、潔淨乾燥空氣(CDA)，排氣設備(Exhaust)等...

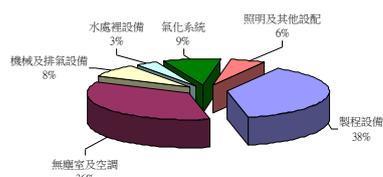


圖 1 台中某光電廠全廠耗電比例

所以如能針對像冰水主機這種高耗電量設備，降低其冰水用量，如利用泵浦並聯運轉特性[1]或冰水系統最佳化操作模式[2]，即可以達到很好的節能效果，而冰水主機製造出來的冰水，大部分用於外氣空調箱，故如何降低 MAU 冰水用量[3]，進而減少冰機用電量，以達節能目的是非常重要的課題[4]。陳良銅與王文博[5]分析空調箱中風車的位置對外氣空調箱的負荷影響，鼓風式外氣處理空調箱的風車發熱，不但無法減少再熱盤管的加熱負荷，甚至會增加空調箱中冷卻除濕盤管的顯熱負載，但如果將風車置於空調箱的後段，以抽吸的方式送風，則風車的發熱能取代部

分再熱盤管的再熱量而節省能源。陳良銅與王文博[6]介紹外氣空調箱的各種節能方式，包括以熱交換盤管回收排氣之冷能、以熱交換盤管或熱管對 MAU 冷卻除濕盤管前後進行熱交換、雙冰水溫度系統在 MAU 之應用、MAU 串聯冰水管路之應用等方式，探討外氣空調箱各種可能的節能方式與效果。曹志明[7]針對一 8 吋晶圓廠的無塵室，討論五種不同的空調系統組合的節能效果，研究結果顯示外氣空調箱/風機過濾器/冷卻乾盤管系統的組合最具節能效果，而外氣空調箱的耗能約佔高科技廠房空調系統 30%~65% 的耗能。黃裕欣[8]分析面板產一般製程排氣回收再利用的方法，以減少 MAU 之供應風量與冰水使用量，討論各種回收機制的處理成本，並依不同排氣溫度分析回收節能效益。

## 2. 外氣空調箱介紹

因為無塵室內需要維持一定的正壓，以避免受外界污染，而無塵室內又有製程所產生的廢氣須排出，故需要補足大量的外氣，而外氣空調箱正是將大量外氣(OA)引入並加以處理，再導入無塵室內維持室內的正壓。

### 2.1 外氣空調箱各元件介紹

以台中某光電廠為例外氣空調箱可分為下列幾個部份如圖 2 所示：

1. 初級濾網(Per-filter)
2. 預熱盤管(Per-heating Coil)
3. 預冷盤管(Per-Cooling Coil)、除濕盤管(Cooling Coil)
4. 水洗加濕器(Air washer)
5. 再熱盤管(Re-heating Coil)
6. 風車(Fan)
7. 高效率濾網( HEPA, High Efficiency Particulate Air filter)

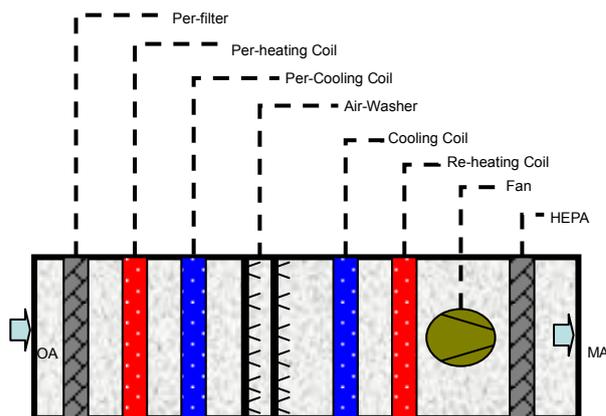


圖 2.外氣空調箱各元件

#### 2.1.1 初級濾網(Per-filter)

安裝在空調箱入口處，當外氣被引進來時，過濾空氣中較大顆懸浮物，以確保空調箱內部各元件不被外氣所含之懸浮物所污染並可延長 HEPA ( High Efficiency Particulate Air filter)壽命，其濾徑 1um，效率為 35%，材質大都為玻璃纖維。

#### 2.1.2 預熱盤管(Per-heating Coil)

冬天時，因外氣濕度偏低故需進行加濕，才能符合無塵室環境需求，但外氣焓值偏低，難以進行加濕，所以要先以預熱盤管將外氣溫度升溫才能進行加濕。

#### 2.1.3 預冷盤管(Per-Cooling Coil)、除濕盤管(Cooling Coil)

夏季時，外氣呈現高溫且高濕狀態，而無塵室環境通常需要較低的溫、濕度空氣，故需要大量的冰水來進行除濕降溫動作。而一般空調箱都會設計成兩道的冰水盤管，是為了避免鰭片水膜太厚而降低熱傳效果，但如果該空調箱處理風量較小，其盤管厚度也會跟著減少，其實是可以考慮改成一道冰水盤管即可，如此一來不僅冰水用量可降低，MAU 風扇運轉頻率也可以降低，以達到更好的節能效益。

#### 2.1.4 水洗加濕器(Air washer)

空調箱水洗段如果設計在外氣入口端，其主

要功能是将空氣中有機或化學物質洗滌下來，怕空氣中的酸鹼物質污染產品，而如果設計在空調箱中段，則為加濕設備，冬季時利用噴出之水霧迅速與乾燥空調結合，以達到加濕目的，一般供應水源有兩種：去離子水(DI Water)或自來水。

### 2.1.5 再熱盤管(Re-heating Coil)

當外氣經過加濕(冬天)或除濕(夏天)達到無塵室所需要之濕度後，此時外氣溫度遠低於無塵室的需求溫度，故會再進行昇溫動作(18~22°C)，讓供應之外氣溫度也接近無塵室的需求溫度，但因無塵室內機臺生產時產生熱量相當大，故現今都已將空調箱出風溫度設低讓熱水閥開度變小，以降低熱水之用量，有些廠房甚至將再熱盤管拆除，除節省熱水用量外也降低外氣空調箱壓損，使空調箱風扇運轉頻率降低以減少耗電量。

### 2.1.6 風車(Fan)

為外氣空調箱引入外氣之動力設備，一般來說風車設計除了考慮風量外，靜壓也是要特別考慮進去的一個因素，風車設計需要能夠克服濾網、盤管及風管的壓損，否即使設計風量足夠也無法滿足無塵室內所需之風量。

### 2.1.7 高效率濾網(HEPA)

為空調箱最後一道濾網，安裝在空調箱出口處，其過濾效率須達到 99.97% 以上，就連 0.3um 細小懸浮物也能捕捉，這樣才能符合無塵室潔淨要求，其材質為玻璃纖維並多層皺褶來增加吸附的面積。

## 3. 空調箱設計原理

外氣空調箱最主要功能就是提供無塵室內所需要的新鮮空氣，最主要分為三大部分濾網、風車及盤管，外氣進入空調箱時入口端的初級濾網及出口端的高效率濾網就是在過濾空氣中的懸浮粒子，再供應至無塵室內，通常會在濾網安裝壓力錶或壓力開關，以確認濾網效能是否需要進

行更換，風車的控制則由無塵室內靜壓感測器控制，一般無塵室內正壓需求為 20pa，而無塵室內的靜壓感測器會偵測無塵室室內的壓力，再與設定值作比較，來決定風車須加載或減載，至於盤管部分則分有夏季與冬季兩種控制模式。

### 3.1 外氣空調箱夏季模式

夏季模式—以 35°C、80% 外氣為例，當外氣進入空調箱時通過預冷盤管進行除濕及降溫，再通過除濕盤管進行二次除濕及降溫直到達到無塵室內所需求之濕度後，再由在熱盤管進行升溫，供應至無塵室，如圖 3(a)所示。至於兩道冰水盤管冰水閥開度控制則由出風絕對濕度感測器來控制，當外氣濕度比超過 9.5 時 gH<sub>2</sub>O/kg da，冰水閥就會打開，並隨著外氣變化閥開度也會跟著變化，再熱盤管熱水閥控制則由溫度感測器來控制，當供風溫度高於設定值熱水閥則關小，反之則開大，空調箱空調過程空氣線圖如圖 3(b)所示。

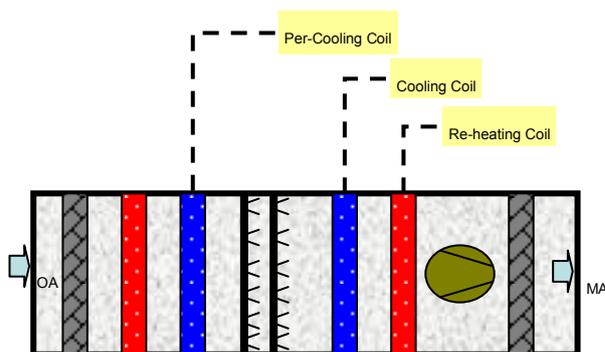


圖 3 (a) 夏季模式空調箱動作

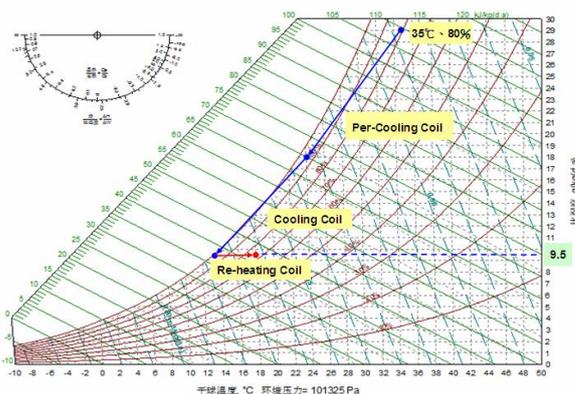


圖 3 (b) 空調箱夏季模式空氣線圖

### 3.2 外氣空調箱冬季模式

冬季模式—以外氣 5°C、55% 為例，當外氣進入空調箱時先通過預熱盤管將低溫低濕之外氣進行升溫動作，然後再進入加濕段利用水霧

進行加濕，直到達到無塵室內所需求之濕度後，再由再熱盤管進行升溫，再供應至無塵室，如圖 4(a)所示。預熱盤管熱水閥開度控制則由出風濕度比感測器來控制，當外氣絕對濕度低於 9.5 時 gH<sub>2</sub>O/kg da，預熱盤管熱水閥就會打開，並隨著外氣變化閥開度也會跟著變化，再熱盤管熱水閥開度則根據出風所需的溫度調整，使出風達到設定溫度，其空氣線圖如圖 4(b) 所示。

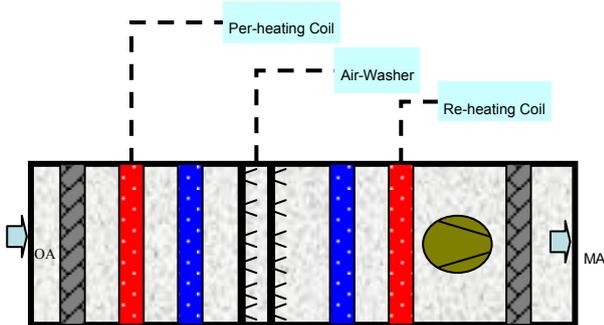


圖 4 (a) 冬季模式空調箱動作

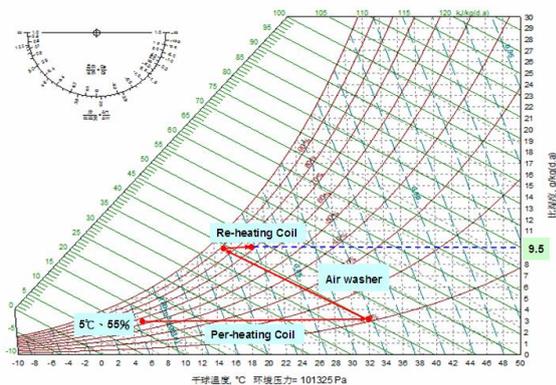


圖 4(b) 空調箱冬季模式空氣線圖

#### 4. 節能方式與效益說明

圖 5 為台中某光電廠 MAU 的原始設計示意圖，由圖可知道 MAU 每一道盤管進、回水管路都是獨立一組管路，因 MAU 是消耗冰機冰水最大宗的設備，如何使 MAU 減少其使用冰水，以降低冰機用電量，卻不影響其除濕、降溫功能，是節能減碳相當重要的議題。其改善方式一般來說目前有兩種，第一種將兩道冰水盤管設計成一道以降低冰水用量，第二種將預冷盤管改成由高溫冰水供應，因為冰機製造越低溫的冰水其耗電量就會越大，使用高溫冰水，一樣可以減少冰機的用電量，這種方式必須事先設計有高溫冰水系統，上述這兩種方式

須在廠房建制時就先規劃好，目前較舊的廠房如要依上述兩種方式來修改設備達到節能目的恐怕不太容易，一來是修改費用龐大，回收恐不易，二來是修改工時也較長恐會影響生產。

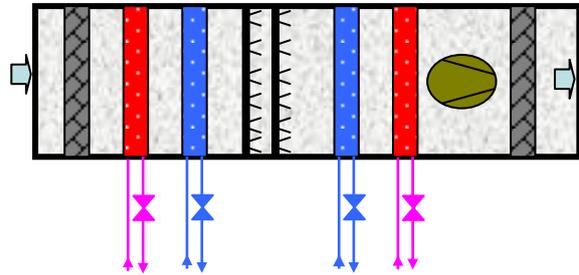


圖 5. 外氣空調箱原始設計

#### 4.1 冰水盤管串接之節能方式

針對舊有廠房將 MAU 的兩道盤管串接起來如圖 6 所示將第二道除濕盤管回水控制閥取消並連接至第一道預冷盤管的供水管路，以拉大冰水溫差進而降低所需的低溫冰水流量，

依  $Q = m \times cp \times \Delta t$  得知，

當  $\Delta t$  愈大，而  $Q$  不變時，則  $m$  減少，除了冰水流量減少，所需的泵功減少，冰水的供、回水溫差增加，亦可提高冰機效率，降低冰機耗電，進而達到節能目的。以台中某光電廠實際修改後的情況為例(如圖 6 所示)，修改後冰機的供回水溫差由原本的 9°C 變成 12.5°C，如此便可大大的減少冰水用量。系統修改前後的相關數據如表 1 所示。

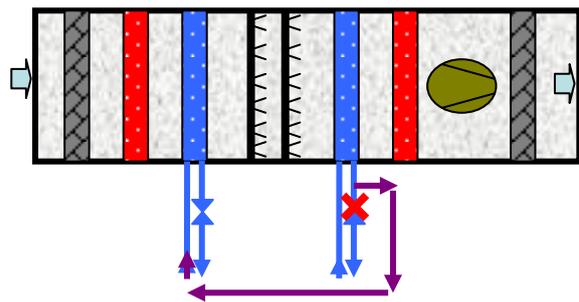


圖 6. 外氣空調箱冰水盤管串接設計

表 1 修改前後進回水溫度

	進水溫(°C)	回水溫(°C)	差值
修改前	8	17	9
修改後	8	20.5	12.5

## 4.2 節能效益說明

### 4.2.1

以研究的光電廠為例：

外氣空調箱冰水消耗量約佔 8°C 總冰水量的 70%，如圖 7 所示，由此可知針對外氣空調箱進行節能措施，的確是可以收到相當大的成效。

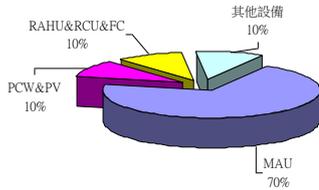


圖 7. 某光電廠 MAU 冰水耗量比例

### 4.2.2 效益說明

以串接式冰水盤管 MAU 取代獨立供水盤管 MAU 的節能效益分析如下：

表 2 為該光電廠的一次及二次側冰水泵耗電量。

表 2 台中某光電廠 8°C 冰水泵及二次泵

	二次泵	冰水泵
額定電量(KW)	200	37
額定流量(CMH)	1220	940

其耗能分析如下：

1. 8°C 夏季平均總冰水循環水量 1,800CMH。  
MAU 用水量佔 8°C 總水量 70%
2. 依上述條件 MAU 用水量為  
 $1,800 \times 0.7 = 1,260 \text{CMH}$
3. 盤管串接後 MAU 用水量降至  
 $1,260 \text{CMH} \times (17-8) \div (20.5-8) = 907 \text{CMH}$
4. 盤管串接後 8°C 總冰水循環水量降至  
 $1,800 \text{CMH} \times 0.3 + 907 \text{CMH} = 1,447 \text{CMH}$
5. 當夏季最高用量時，冰水泵及二次泵開啟三台，故平均每台冰水泵流量為：

修改前

$$1,800 \text{CMH} \div 3 = 600 \text{CMH}$$

修改後

$$1,447 \text{CMH} \div 3 = 482 \text{CMH}$$

6. 依泵浦相似定律得知

$$\frac{M1}{M2} = \frac{N1}{N2} \text{ --- 流量與轉速成正比}$$

$$\frac{H1^2}{H2^2} = \frac{N1}{N2} \text{ --- 揚程與轉速成平方正比}$$

$$\frac{W1^3}{W2^3} = \frac{N1}{N2} \text{ --- 用電量與轉速成三次方正比}$$

7. 三台冰水泵總節省用電量

$$3 \text{KW} \times 3 \times (600 \text{CMH} - 940 \text{CMH})^3$$

$$- 3 \text{KW} \times 3 \times (482 \text{CMH} - 940 \text{CMH})^3 = 13$$

預估每年約有 240 天須進行除濕則

每年節省費用：

$$13.9 \text{KW} \times 24 \text{hr} \times 240 \text{days} \times 2.6 \text{元/度} = 208,166 \text{元/年}$$

8. 三台二次泵總節省用電量

$$200 \text{KW} \times 3 \times (600 \text{CMH} \div 1,200 \text{CMH})^3$$

$$- 200 \text{KW} \times 3 \times (482 \text{CMH} \div 1,200 \text{CMH})^3 = 34.37 \text{KW}$$

預估每年約有 240 天須進行除濕則

每年節省費用：

$$34.37 \text{KW} \times 24 \text{hr} \times 240 \text{days} \times 2.6 \text{元/度} = 514,725 \text{元/年}$$

9. 冰水泵及二次泵每年總節省費用：

$$208,166 + 514,725 = 722,891 \text{元/年}$$

### 4.2.3 討論

目前台灣電子廠針對廠務設備的節能改善方式已漸趨成熟，早期很多廠房的冰機系統都是設計單溫冰水系統，如需要較高溫冰水(無塵室內乾盤管、製程冷卻水等...)通常使用熱交換器變更水溫再供應，如此一來其實是非常耗能的作法，目前新設廠房幾乎都已設計成雙溫冰水系統，依照不同需求分別供應，但特別值得注意的是，縱使有些廠房，已設計成雙溫水系統，但針對 MAU 仍然使用低溫冰水供應，只有少部份廠房在第一道預冷盤管使用高溫冰水系統供應，第二道除濕盤管才用低溫冰水供應，而其實第一道預冷盤管，是不需要使用到低溫冰水，只需使用高溫冰水即

可，甚至還可以將預熱盤管與預冷盤管共用一道，也就是夏季供應冰水而冬季供應熱水，如此一來不但可減少冰水用量甚至可以減少外氣空調箱的空氣側壓損，因為少了一道盤管，箱體靜壓降低設置費可降低日後運轉費用也可大大降低，而舊有廠房因修改不易且修改費用也相當可觀，所以將兩道冰水盤管管路串接以增加溫差方式降低冰水用量，來達到節能的目的，具有相當的經濟效益及可行性。

## 5. 結論

本文針對單溫冰水 MAU 系統，嘗試將冷卻盤管與預冷盤管的供水方式，由獨立分開供水改以串連方式供水，經過分析得到下列結論：

- 1.8°C 冰水用量 1800CMH 減少為 1447CMH。
- 2.以三台冰水泵並聯運轉方式分析，三台冰水泵年耗電量約可節省 13.9kW 的電費。相當於每年節省 208,166 元的冰水泵運轉費用。

雖然目前新設的廠房大部分均設有雙溫冰水系統，但對既設的舊型單溫冰水廠房，以冰水盤管串接方式達到降低冰水用量並同時提高冰水回水溫度，仍為一值得考慮的節能措施。

## 6. 參考文獻

- [1].謝嘉恩，面板廠一次-二次冰水系統之節能策略與效益分析，碩士論文，國立勤益科技大學 2010 年，台中。
- [2].王文博、陳良銅、游花雲，外空調箱冷卻盤管前後熱交換的節能方式，冷凍與空調 P114~116，2002 年 6 月
- [3].林永樺，冰水系統最佳化與節能效益分析研究，碩士論文，國立勤益科技大學 2009 年，台中。
- [4].顏庸，全外氣空調箱之節能效益分析，碩士論文，國立勤益科技大學 2011 年，台中。
- [5].陳良銅與王文博，外氣空調箱設計與風車配置，凍與空調 P92~95，2001 年 4 月
- [6].陳良銅與王文博，電子廠外氣空調箱可能與可行節能方式，冷凍與空調 P80~90，2001 年 6 月。

[7].曹志明，高科技廠房空調系統節能策略之研究，博士論文，國立台北科技大學 2009 年，台北。

[8].黃裕欣，面板廠外氣空調箱回收製程排氣之節能策略與效益分析，碩士論文，國立勤益科技大學 2010 年，台中

## 7. 符號說明

- $cp$ ：比熱  
 $N$ ：轉速  
 $m$ ：冰水流量  
 $M$ ：流量  
 $H$ ：揚程  
 $Q$ ：總熱量  
 $\Delta t$ ：冰水溫差  
 $W$ ：用電量