

冰水主機效率提升技術彙編

一、前言：

近年來，由於國內環保意識抬頭，台電電力開發遲滯不前，加上夏季持續高溫與產業的發展，促使空調設備大量的被使用，也造成了用電量大增。根據台電資料顯示，平均一年用電的最高尖峰達 1443 萬 KW 中，約有 1/3 即 480 萬 KW 為空調設備所消耗的。

空調系統包括窗型、箱型冷氣機及中央空調系統，其中中央空調系統即佔負載的 50%，換言之，空調系統所消耗的電力，有時可產業用電量的 40%~50%，而冰水主機為中央空調系統的心臟，其消耗的電力約佔中央空調系統耗電的 60%，見表 1。因此，若能提昇冰水主機的能源使用效率，相信在促進中央空調系統節省能源，降低用電量必有助益。

表 1 中央空調系統各主要設備之耗電統計調查

項目	耗電比例	註
冰水主機	60%	平均耗電量 1.02 kW/RT
冰水泵	11%	泵浦平均效率 0.57
冷卻水泵	13%	平均效率 0.49
冷卻水塔	3%	
空調箱、室內送風機	13%	

二、冰水主機的功能

冰水機(Water Chiller)為製冷設備的一種，它的目的在製造冰水以提供工業製程及商業空調使用，圖 1 為典型的水冷式中央空調系統配置圖，系統的主要組件包括冰水主機、室內送風機(Fan Coil Unit)或空氣調節箱(Air Handling Unit)、冷卻水塔(Cooling Tower)、膨脹水箱(Expansion Tank)、水泵(Water Pump)及配管等。

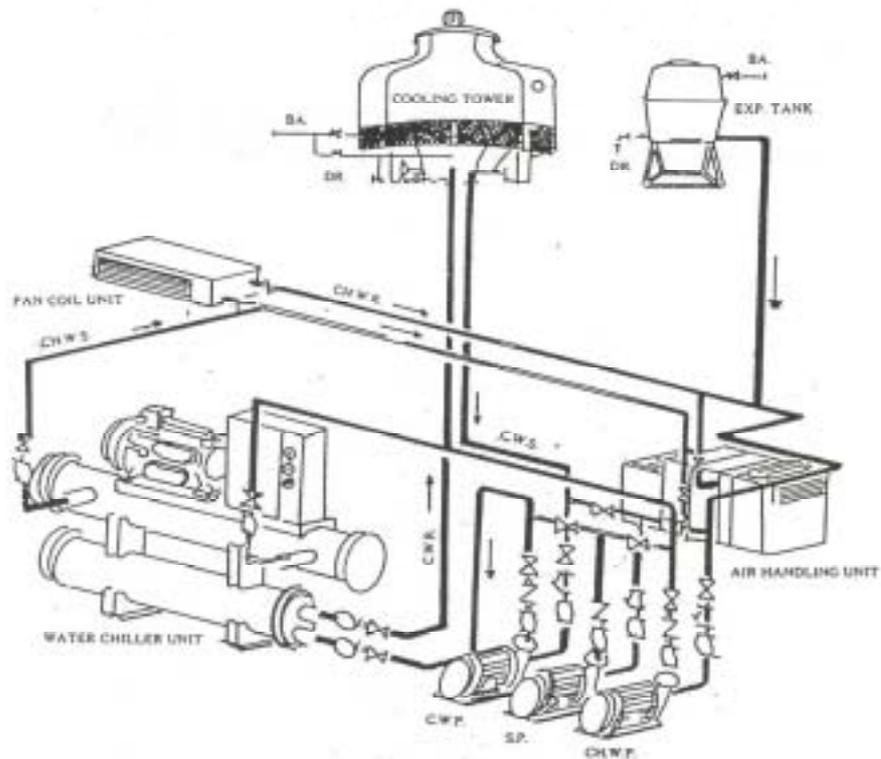


圖 1 典型水冷式中央空調系統組件配置圖

三、冰水主機的分類

冰水機可以說是整個空調系統的心臟，目前以機械壓縮式 (Mechanical Compression Type) 及吸收式 (Absorption Type) 二種分類為主，其工作原理說明如下：

- (1) 機械壓縮式 - 為使用冷媒為工作流體，以機械功為動力，冷媒經由壓縮、冷卻、膨脹及蒸發等過程而達到造冷的功效。
- (2) 吸收式 - 以水/溴化鋰或氨/水為工作流體，以熱能(例如蒸汽或瓦斯)為主要驅動力，利用溶液冷卻吸水及加熱祛水的吸濕除濕原理，反覆不斷的循環以達到冷卻的效果。

圖 2 為冰水主機的大致分類。

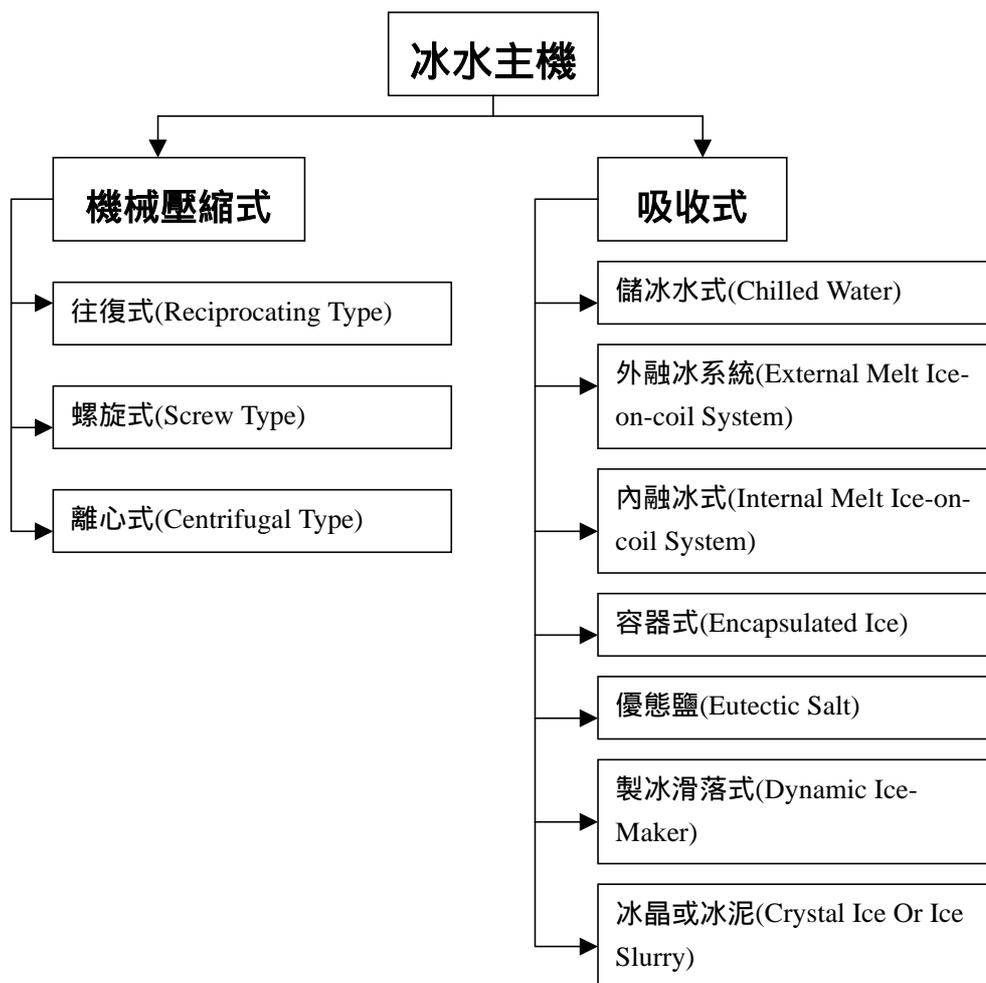


圖 2 冰水主機分類圖

四、冰水主機使用的定義與效率

一般空調工程上，冷凍容量(能力)的標準單位為冷凍噸 (Refrigeration Ton，簡稱 RT)，此為熱容量單位並非重量單位。而冷凍噸的單位，有以下區分，表 2。

表 2 冷凍噸的各種定義與單位

種類	定義
英制冷凍噸	<p>1 英制 Btu, 是 1 磅(lb)的水溫度升高華氏 1 度所需的熱量為 1Btu。</p> <p>1 英制冷凍噸(RT), 則是將 1 噸(2000 磅)32 的水(冰的溶解熱為 144Btu/Lb), 在 24 小時內結成為 32 的冰時, 所需要吸收的熱量。</p> <p>1 英制冷凍噸(RT)=144Btu/lb*2000/24Hr=12000Btu/hr</p>
公制冷凍噸	<p>1 制熱量單位為仟卡, 使 1 公斤的水, 升高攝氏 1 所需的熱量為 1Kcal。</p> <p>1 公制冷凍噸(RT)是將 1000 公斤(1 噸)0 的水(冰的溶解熱為 79.68Kcal), 在 24 小時內變為 0 的冰時, 所需要吸收的熱量。</p> <p>1 公制冷凍噸 (1RT)=79.68kcal/Kg*1000/24Hr=3320Btu/hr</p>

冰水機的效率通常有三種表示方法, 茲說明如下:

- (1) 能源效率比值(Energy Efficiency Rate, 簡稱 EER), 其值定義為冷卻能力(kcal/h 或 Btu/h)除以輸入電功率(W), 單位為 Kcal/h-W 或 Btu/h-w(註: 1kcal=3.968 Btu 4Btu);
- (2) 性能系數(Coefficient of Performance, 簡稱 COP), 其計算方式和 EER 一樣, 但將冷卻能力及電功率單位換成一致, 因此, COP 沒有單位。

$$\text{COP} = \frac{\text{EER(kcal/h-w)}}{0.86} \quad \text{或} \quad \text{COP} = \frac{\text{EER(Btu/h-w)}}{3.412}$$

註: 1W = 0.86kcal/h = 3.412 Btu/h

- (3) 每冷凍噸所消耗的電功率, 即 KW/RT, 此值愈低表示效率愈高, 愈省電。

五、提升冰水主機事項

1. 選購高效率的冰水主機

- a. 選購高 EER 或高 COP 之冰水主機, 其能源效率參考值如下表(表 3)。
- b. 水泵的揚程及流量須配合冰水主機之噸數, 每一冷凍噸每分鐘所需冷卻水 3 加侖, 冰水量 2.4GPM (GPM:

gallon per minute)。選用泵效率在 70% 以上，並應配合使用高效率馬達。

- c. 冷卻水塔噸數以冰水主機噸數的 1.25 倍左右為宜。可採多台並聯組合型，配合溫度控制，開啟運轉台數。

表 3 空調系統冰水主機能源效率標準

施行日期		2003 年 1 月			2005 年 1 月	
型 式		冷卻能力 等級	能源效率比值 (EER)kCal/h/W	性能係數 (COP)	能源效率比值 (EER)kCal/h/W	性能係數 (COP)
水 冷 式	容積式 壓縮機	< 150RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		150RT < 500RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	< 150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		150R < 300RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		300RT	5.25	6.10	5.25	6.10
氣 冷 式	全機種	2.40	2.79	2.40	2.79	

2. 中央空調系統的設置

- 冰水機組應放置於混凝土基礎、平板或基座上，利用螺栓固定並保持水平，以水泥漿補平。冰水主機四週應留有適當之維護空間，以便將來抽換或清洗銅管等保養工作。
- 水泵進出口管路應加裝壓力錶及溫度計，以瞭解實際運轉狀況。
- 冷卻水塔四週不可有阻隔物，以免影響散熱能力。避免安裝於有排熱的地方，以免影響冷卻水塔的冷卻效果。
- 小型冷風機安裝，水盤須保持一定的斜度，以利冷凝水排出；空調箱風管上各個出風口之風量須分配適當，以免造成某個區域風量不足的現象。出風口與回風口勿太近，以免造成短循環而影響冷房效果。
- 水管直徑在 65mm 以下者使用螺紋式連接，80mm 以上者使用焊接式或法蘭(Flange)連接。排水管每公尺應保持 1 公分之斜度。冰水管路高點或其他必要之處，應安裝自動排氣閥；管路低點應加裝放水閥，以備系統清洗。

- f. 風管在分歧處，應裝置分歧風門(Split Damper)，可以調整及鎖定。送風管與回風管應予保溫，保溫材料應符合中國國家標準(CNS)規範。

六、冰水主機效率改善

一般工廠在空調設備，常因為疏於保養以致常有許多浪費能源的現象發生，如冷卻水溫過高而增加冰水主機的負荷、出水溫度過低等問題。因此，以既有的設備方面，如何做到操作維護與保養管理，實為提升能源效率的基本作法，表 4 為提供在冰水主機上所遭遇的問題與改善手法。

表 4 冰水主機改善一覽表

現象	改善方法
冷卻水溫偏高，增加主機耗電率	造成冷卻水水溫過高的情形有許種，不同的形成原因，需以不同方法解決，分述如後： A. 冷卻水塔風扇不轉 - 修復風扇，維持正常散熱。 B. 冷卻水塔溫控設定過高 - 溫控開關控制水塔風扇，故將其調低以降溫。 C. 冷卻水塔散熱不良 - 散熱材污損或水質過髒，使其散熱不足，需清洗。
主機於低負載下運轉	A. 兩台主機併聯運轉時，若同時在低負載時，可關閉 1 台，維持 1 台在高效率下運轉。 B. 單台運轉時其噸數較大，造成低負載運轉，應考慮加裝 1 台較小噸數之主機，以維持高效率運轉 C. 在春、秋、冬等季節，避免負載過低的狀況，可考慮關主機，採用外氣冷房作用經由空調箱引進外氣冷卻空間，提供舒適條件。 D. 適度增加儲能設備，以提高運轉效率。
因結垢色使熱交換效果降低	通常有數種方法可用於防止或減少結垢如下： A. 在一個再循環系統中由於蒸發而使總固體量的增加，可用流洩一部份水量加以控制，然後再補充一部份新水。 B. 若有碳酸鈣沉澱的傾向，則可加添化學藥劑抑制之，如多磷酸鹽，它能溶解碳酸鈣。 C. 水之 PH 值過高，可添適量的酸性物質(常用硫酸)以減少鹼性，否則，過量的添加會使水中含酸性增加產生腐蝕。 D. 在使用前先移除水中所含的鈣、鎂及鐵，因這些物質會形成相當不易溶解之化合物。

現象	改善方法
	<p>要選用一種或數種特別的方法以作為水處理時，應視水的化學成分、各方法的費用及不同組合之經濟效益而定。</p>
冷卻水量偏低	<p>A. 通常冷卻水系統管路之積垢或堵塞時，可利用全系統加藥劑水處理方式，去除所有垢或雜物，以減少摩擦阻力，提高冷卻水量。</p> <p>B. 冷卻水泵之葉輪選擇須正確，馬達馬力須足夠。</p> <p>C. 若有多台冷卻水管並聯而祇開啟單台時，須注意那些閥件需關閉或開啟，尤其更應注意 Bypass 管路，避免冷卻水回流。</p>
冰水溫度設定偏低	<p>A. 現場人員在夏季滿載時，會將冰水溫度設定低，但到了冬天輕載時，往往會忽略將冰水溫度重新設定更高一些，以減少主機耗電量。</p> <p>B. 有時主機的冰水出口點到 AHU 或 F/C 設備，由於保溫不良或設備本身的熱傳效率降低，導致冷房效果不佳，因此現場人員就必須降低冰水出水溫度，而導致主機耗電率提高，故在此建議除了主機本身以外，必須注意其週邊設備狀況，以達到主機能夠適當發揮其效率。</p>
冷媒系統中有之水分及冷媒不足	<p>A. 冷媒系統中有水份 - 在冷凍系統液管經常裝置視窗，視窗中有綠色色帶，假定顏色變成黃色、紅色、紫色或橘色皆視為冷媒中含水份量過多，其解決方法即將乾燥過濾器中之乾燥蕊，換入新品即可。</p> <p>B. 冷媒不足 - 在視窗中呈現氣泡(滿載運轉時)，表示系統冷媒充灌量不足，即需在滿載情況下，再添加冷媒，直至視窗中氣泡消失，而呈現透明流動狀即可。</p>
冷凝壓力過高	<p>主機高壓過高情形很多，需視情況而進行。</p> <p>A. 系統有內有不凝結氣體 - 由凝結氣排出空氣</p> <p>B. 冷卻水溫過高或水量不足 - 檢查冷卻水配管，調整適當冷卻水量</p> <p>C. 冷媒充填過多 - 回收過多之冷媒</p> <p>D. 負載過大或凝結氣容量不足 - 減少負載或增大凝結氣</p>

七、冰水主機節約耗能作法

一般冰水主機可以利用(1)合理的溫度管理與(2)適當系統設計來達到省能的目標，茲說明如下：

1.改變使用條件來節省能源 - 包括室溫的變更、濕度的變更及體感溫度的利用等項目。

(1) 室溫的變更：

一般建築空調設計，其室溫條件的標準以夏天為 26℃，冬天為 22℃ 為主，變更室溫條件所獲得節約能源的效益，可由電腦模擬結果顯示，當冷房設定溫度調高 1℃，暖房設定溫度調低 1℃，則約可節省 10%左右的能源。

(2) 濕度的變更：

舒適空調的室內溫濕度設計條件，其標準為夏天 26℃，相對濕度 50%，冬天 22℃，相對濕度 40%，而相對濕度變動的容許範圍比溫度大，在國外規定為 40~70%。根據調查顯示，利用室內送風機或空氣調節箱進行空調時，夏天時露點溫度調高 1℃，約可節省 10%之能源，冬天時露點溫度調低 1℃，約可節省 3%的能源。換言之，濕度的變更對節約能源亦有幫助。

(3) 體感溫度的利用：

由實驗瞭解，在同一溫度條件下，若濕度及風速不同，人體的感覺亦互異，因此在空調設計中，常用有效溫度 (Effective Temperature 簡稱 E T) 來決定舒適的條件。所謂有效溫度，是一種經過實驗而定義的人體感覺指標，其中包括不同的溫度、濕度及風速的因素在內，相同的有效溫度表示在不同的溫濕度及風速環境下，人體有相同的感覺。換言之，當濕度低時，調高溫度，濕度高時調低溫度，對人體舒適的感覺並沒有影響。因此，利用 E T 來調節溫濕度的控制條件，亦有節約能源的功效。

2.善用空調分區設計以節省能源 -

分區設計可以分為方位分區設計及用途分區設計。從省能源的作法來看，使用室內送風機及空氣調節箱組成的空調系統，若不考慮方位區分，而以終端再熱式(Terminal Reheat)及雙管式(Double Duct)設計時，其每年消耗於再熱用的能源，約為方位分區設計的 260~360%，其原因為再熱式的系統，由於熱混合損失而浪費大量的能源。

另外，以用途分區而設計的空調系統，隨著空間使用調件的不同而設計不同的管路及溫濕度，可避免過冷或過熱而浪費不必要的能源，亦是空調省能的途徑。

3. 外氣的有效運用一

外氣的有效運用可以外氣冷房及外氣量控制。

(1) 外氣冷房：

利用外氣冷房方式有以顯熱為基準的比例導入方式及以焓為基準的比例導入方式二種。

以顯熱為基準的比例導入方式較最小定量外氣導入方式約可多發揮 9% 的外氣冷房效果，相反的，卻增加 24% 的加熱量，由於將冬季的低溫低濕外氣導入作為外氣冷房時，會促使加濕用的能源消耗量增加。以焓為基準的比例導入方式較以顯熱為基準的比例導入方式，每年雖約增加 2% 冷卻所需的能量，但卻可減少 15% 左右的加熱量，因此，其節省能源的淨效果較後者為大。以台灣地區而言，很多旅館飯店採用密閉式的建築設計，因此即使不是夏天，亦要運轉空調系統，若能設計引入外氣之管道，在春秋季節引入外氣作為冷房用，相信對降低全年空調能源的消耗必有助益，是項值得研究課題。

(2) 外氣量的控制：

根據日本建築物管理法的規定，室內 CO₂ 的濃度基準規定在 1,000ppm 以下，對辦公室靜坐的人而言，必要的外氣量約為 30m³/h - 人，將此乘上室內的人數以決定外氣輸入量，但輸入的外氣通常對空調造成很大的負載，因此若能適當的控制外氣量，對降低空調的負載必有幫助。目前被採用的外氣控制方式有三種，分別為固定式、手動設定式及利用 CO₂ 感知器的自動控等。而利用室內 CO₂ 濃度控制外氣輸入量的方式則較固定式約可降低 30% 的冷房負載，可見以 CO₂ 濃度控制外氣量的方式，對空調節約能源的效果很可觀。

4. 空調設備設計改善一

冰水機的 COP 提高、微電腦的控制及輸送動力的減少均是設計改善的重點。

(3) 提高冰水主機的 COP，為就硬體組件進行改善，例如壓縮機及熱交換器的效率。

(1) 經由控制方式視實際狀況提高冰水機的出口溫及調整運轉台數。

(2) 利用 Sensor 偵測冰水機的負載及外氣條件而調節冷卻

水塔風扇及水泵的運轉台數。

- (3) 減少輸送動力的方法很多，一種是增大空調箱熱交換器的面積或改善其性能，以擴大熱交換流體的溫差，例如冰水通過空調箱的溫差一般設計為 5℃，空氣溫差為 10℃，若能將冰水溫差調升為 7~10℃。空氣溫而言，流量減少一半，則輸送動力約可減至八分之一，對節省電力很有助益。
- (4) 考慮變流量(VWV)及變風量(VAV)的控制的方式，亦是降低輸送動力的有效辦法。

綜觀以上分析，從管理及設計上考慮省能的方法，對提升空調系統整體的能源使用效率頗有助益。若能逐項加以評估，採用最有經濟效益的作法逐步施行，相信對節省空調電費及抑制夏季冷氣電力負載的成長必有實質的幫助。

八、案例介紹：

案例 區域冰水泵加裝變頻控制

改善內容

某工廠因作業緣故，使用冰水主機以產生大量冷能來調節空調，為達到使用效率最佳化，採取下列作法。

1. 在維持原一次側/二次側的設計的理念下，依實際的情況，檢討及修正正確的管路系統，並在二次側冰水泵加裝變頻器，依現場實際負載需求的冰水流量，供應適量的冰水，以節省泵耗電，使二次側為變流量系統，並加裝壓差控制，使變頻器能依負載變化正確動作。
2. 在正常的狀況下，空調系統大部份的時間都是部份負載(part load)，尖峰負載時數低於 20%以下，因此有 80%的時間是有節能的空間。因此，降低泵的轉速以降低揚程及流量，更可大量的降低耗電量，依照風扇定律此省能的效益是非常可觀。而以變頻器直接驅動控制泵的馬達，可以很精確平順地控制馬達轉速，而且能量損失極少。

改善成效

目前廠內有 40HP 區域泵 6 台、20HP 區域泵 4 台、15HP、10HP、7.5HP 區域泵各 1 台，分別加裝變頻控制，以壓差控制變頻器轉速，其效果如下：

1. 區域泵加裝變頻控制，以壓差控制變頻器轉速。估計冰水區域泵以定速的方式每年用電量為 537,259 kWh，以平均電價 3.0 元/kWh 計算，每年電費 161 萬元。

2. 以變頻變流量的方式操作運轉，每年用電量 332,297 kWh，以平均電價 3.0 元/kWh 計算，每年電費 99.6 萬元。
3. 兩相比較，使用變頻變流量的方式每年可：每年節省用電量 204,962 kWh，節省電費 61 萬元/年。

參考資料

1. 經濟部工業局 88 年度至 91 年度全國工業減廢績優工廠專輯。
2. 財團法人中技社節能中心節約能源成功案例網站 (<http://www.ctciectdc.org.tw>)。
3. 清潔生產資訊網案例資料(<http://projt.moeaidb.gov.tw/cpnet>)
4. 儲冰式空調技術手冊，經濟部能源委員會，84 年 12 月。
5. 行業別污染排放清潔生產指標及規範建立計畫，中技社綠色技術發展中心，行政院環境保護署計畫，89 年 11 月。
6. 空調管理，經濟部能源委員會，81 年。
7. 電子零件業 84 年度整廠節約能源技術研討會，經濟部能源委員會，84 年。
8. 88 年經濟部節約能源技術服務成果發表會技術專輯，經濟部能源委員會，88 年。
9. 半導體業 85 年度整廠節約能源技術研討會，經濟部能源委員會，85 年。
10. 抑制二氧化碳排放之晶技效益技術研討會，行政院環保署，86 年。