

間接蒸發式冷卻模組 節能效益探討

► 專案4部 葉家宏

一、前言

節能減碳已成為各國因應氣候變遷所推行能源政策之一，依麥肯錫全球研究機構(MGI)報告指出，今後全球能源需求增長將比過去更快，儘管未來全球能源生產每年提高1%，但全球能源需求仍以每年2.2%的幅度增長，故目前能源生產能力並不能滿足能源消耗快速增長趨勢。依據 IEA能源科技展望報告指出為達成全球2050年二氧化碳(CO₂)排放量減為2008年排放量之一半，其關鍵技術包括(1)能源使用端效率提升技術、(2)發電效率提升技術、(3)再生能源技術、(4)核能發電技術、(5)碳捕捉與封存技術(CCS)，而提升能源使用端效率對於CO₂減量排放中扮演著相當重要角色，故學者專家把節約能源－提升能源使用效率稱為第五種新能源。

隨著人民生活水準提高，近年來飯店、連鎖超市及便利超商等店家數量快速增加，而營業地點使用高耗能設備包含空調與冷凍冷藏設備多且運轉時間長，造成耗能量日益增加，分別占飯店總耗電量47%及超商總耗電量60%，因此降低空調與冷凍冷藏設備耗電量，將有助於降低二氧化碳排放量。本研究設計製作間接蒸發式冷卻模組，裝設於飯店VRV空調及便利超商分離式空調與冷凍

冷藏設備進行研究測試，透過儀器量測與數據分析建立改善前設備基準線及驗證節能效益，並探討模組控制法則以最佳化間接蒸發式冷卻模組。

二、間接蒸發式冷卻技術簡介

蒸發式冷卻可分為直接蒸發式冷卻(Direct Evaporative Cooling)及間接蒸發式冷卻(Indirect Evaporative Cooling)兩種，直接蒸發式冷卻原理為將水直接噴灑在設備冷凝盤管上，讓空氣通過盤管時，利用水蒸發吸熱原理吸收冷凝器所排放之熱量。目前國內已有應用直接蒸發式冷卻之冷凍空調設備實績，但經長期運轉後發現使用直接蒸發式冷卻之設備會出現散熱鰭片與銅管結垢、脆化、腐蝕、甚至穿孔導致冷媒洩漏等問題，使得此技術面臨考驗。

為改善上述問題，開發間接蒸發式冷卻模組，原理為在冷凍空調設備之冷凝器(鰭管式熱交換器)前加上一組蒸發式冷卻系統，透過預先降低冷凝器入口空氣乾球溫度達到散熱效果，提升設備能源效率，因為蒸發冷卻不直接作用於冷凝器上，故可避免結垢腐蝕問題之發生，直接與間接蒸發式冷卻特性比較，如表1所示；間接蒸發式冷卻模組示意，如圖1所示。



表1 直接與間接蒸發式冷卻特性比較

項 目	型 式	直接蒸發式冷卻	間接蒸發式冷卻
冷卻模式		直接將水噴灑於冷凝器盤管上	於冷凝器前預先將空氣冷卻
熱傳效果		最佳	最佳
盤管結垢		容易產生結垢	容易產生結垢

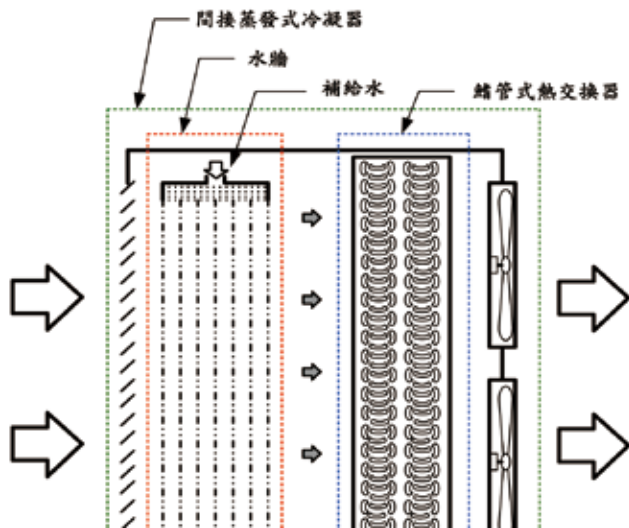


圖1 間接蒸發式冷卻模組示意

三、模組測試及基準線建立

本計畫設計噴霧式及木心式二種間接蒸發式冷卻模組，噴霧式間接蒸發式冷卻模組係利用噴霧式噴頭進行灑水，將水霧佈滿模組內，使入口空氣與水霧熱交換達到冷卻降溫；另一為木心式間接蒸發式冷卻模組，透過模組內置灑水盤將水灑至模組中間之木心材質，讓木心材質吸水後與入口空氣熱交換，以達入口空氣冷卻目的。

本研究遴選北部某知名飯店及便利超商作為測試地點，針對該場所氣冷分離式空調與冷凍冷藏設備之室外冷凝散熱器，裝設間接蒸發式冷卻模組進行運轉測試。共打造6組模組分別為飯店VRV空調系統安裝噴霧式及木心式模組、便利超商組合式冷藏櫃安裝噴霧式及木心式模組、開放式冷藏櫃及分離

式空調系統安裝噴霧式模組等，其中安裝於飯店之噴霧式模組可調整單排灑水、雙排灑水及三排灑水，並設置1/2hp及2hp水泵(水霧化程度不同)，探討灑水分布及水霧化特性對模組節能效益之影響，各實驗模組分別為如圖2~圖6所示。

四、節能效益分析

為正確評估模組節能成效，遵循IPMVP量測驗證觀念，連續量測裝置模組前之設備耗能參數，包含外氣溫度、冷凝溫度、部分負載率、蒸發器冷凍能力、冷藏櫃內溫度或空調室內溫度、冷凝器冷凝能力等，彙整參



圖2 飯店VRV空調系統(噴霧式模組)



圖3 飯店VRV空調系統(木心式模組)



圖4 便利超商組合式冷藏櫃(噴霧式/木心式模組)



圖5 便利超商開放式冷藏櫃(噴霧式模組)



圖6 便利超商分離式空調系統(噴霧式模組)

數數值以迴歸建立基準線方程式。探討模組於不同季節之節能成效表現，並分為夏季與非夏季兩類，定義夏季為外氣溫度 30°C 以上，非夏季外氣溫度範圍則為 25°C 至 30°C 之間，藉由基準線方程式及量測參數分析計算節能效益與回收年限，分別如方程式(1)和方程式(2)所示。分析結果指出夏季節能效益為 $11.91\%\sim 16.16\%$ ，非夏季節能效益為 $5.07\%\sim 12.07\%$ ，回收年限為 $2.70\text{年}\sim 8.09\text{年}$ ，若不考慮木心式模組，回收年限則縮短為 $2.70\text{年}\sim 5.53\text{年}$ ，彙整如表2所示。

節能效益(%)=[基準線模擬耗電功-(實際室外機耗電功率+水泵耗電功率)]/基準線模擬耗電功率 $\times 100\%$ (1)

回收年限=模組價格/年度節能效益 (2)

五、間接蒸發式冷卻模組控制法則與程序

根據間接蒸發式冷卻模組長期測試結果以建立模組控制法則與程序，歸納分析測試數值指出，當模組處於(1)外氣相對濕度高於 90% 、(2)外氣溫度低於 27.5°C 及(3)外氣溫度介於 $27.5^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 與設備負載率(PLR)低於 0.35 等三種運轉條件之一時，設備節能成效並不顯著，因此可停止間接蒸發式冷卻模組運轉，以避免消耗多餘水泵耗電。另外便利超商冷藏櫃室外機並無 24小時 處於運轉狀態，故可於間接蒸發式冷卻模組增設連動裝置，當室外機啟動時，模組隨之啟動運轉，當室外機停機時，模組停止作動，以避免消耗多餘水泵耗電。

六、間接蒸發冷卻模組設計準則

為使間接蒸發式模組達到最佳節能效果，於實驗測試期間改善原模組設計，將此些注意事項與改善方法彙整如下：

(一)間接蒸發式模組水泵吸入端需裝設過濾網，避免灰塵顆粒進入管路，延長噴頭



表2 各模組節能效益與回收年限彙整

各實驗模組	節能效益(%)		回收年限(年)
	夏季	非夏季	
飯店噴霧式模組單排灑水(1/2hp)	--	8.47	3.09
飯店噴霧式模組雙排灑水(1/2hp)	--	11.9	2.82
飯店噴霧式模組三排灑水(1/2hp)	--	5.07	5.46
飯店噴霧式模組雙排灑水(2hp)	--	8.32	3.55
飯店噴霧式模組三排灑水(2hp)	--	12.07	2.70
飯店信木心式模組	--	7.48	5.30
便利超商噴霧式模組(組合式冷藏櫃)	16.16	10.05	6.52
便利超商木心式模組(組合式冷藏櫃)	11.91	8.8	8.09
便利超商噴霧式模組(組合式冷藏櫃)	12.7	9.16	3.22
便利超商木心式模組(組合式冷藏櫃)	14.95	11.83	5.53

壽命。

- (二)若現場須安裝兩組間接蒸發式冷卻模組時，如位置相近，可設計成共用一台噴霧水泵，達到更加節能效果。
- (三)視設備運轉特性，間接蒸發式模組使用之噴霧水泵與設備室外機運轉做連動設計，避免消耗多餘水泵電力。
- (四)當外氣相對濕度大於90%時，因空氣相對濕度接近飽和狀態，導致水霧較難蒸發，可停止間接蒸發式模組運轉以降低耗電。
- (五)間接蒸發式模組與設備室外機連接處需有氣密處理，避免空氣洩漏狀況之發生，導致節能效果降低。

七、結語

經由實際量測案例結果可知，若對於空調或冷凍冷藏系統設備導入間接蒸發式冷卻模組，有助於降低設備耗電量與能源費用支出。透過分析結果指出，裝設間接蒸發式冷卻模組後，設備節能效益分別於夏季達到11.91%~16.16%，非夏季達到5.07%~12.07%，節能成效相當不錯且回收年限2.70年~5.53年不長。因此日後能源用戶若能落實此節能技術於空調或冷凍冷藏設備中，不僅有助於降低耗電量，亦可降低能源費用，對於產業而言可提升市場競爭力，對國家整體節約能源及抑低二氧化碳目標亦有貢獻。

參考文獻

- 1.M.Prasad, "Hybrid Split Air-Conditioning System with Evaporative Condenser for Energy Conservation," 21th International Congress of Refrigeration, ICR423,2003.
- 2.K. A. Manske,D. T. Reindl, and S. A. Klein,"Evaporative Control in Industrial Refrigeration Systems,"submitted for publication to the International Journal of Refrigeration, pp.1-12,2002.
- 3.Yang, W.J. and Clark, D.W. "Spray cooling of air-cooled compact heat exchangers." Int. J. Heat Mass Transfer Vol.18, pp. 311-317.
- 4.Mizushima, T., Ito, R. and Miyashita, H., "Experimental Study of an Evaporative Cooler", International Chemical engineering, Vol.7, pp.727-732, 1967.
- 5.Wojciech Zalewski, "Mathematical model of heat and mass transfer processes in evaporative condenser s", Rev. In t. Froid, Vol. 16 No 1, pp.23-30, 1993.
- 6.Stoecker, W. F., Jones, J.W, "Refrigeration and Air conditioning",by McGraw-Hill , Inc.

