

以冰霧空調系統改善環境負離子數量及降溫之研究

余光正¹ 江晏慶¹

¹ 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系
E-mail: yukc@ncut.edu.tw
E-mail: r29895906@gmail.com

摘要

噴霧冷卻法於開放式空間之降溫作業應用，具有成本低廉、降溫明顯且溫度分佈均勻等優點，且水在高速噴濺過程中產生的勒納德效應，能增加空氣中負離子數量，改善空氣品質。為探討噴霧冷卻法於改善環境負離子數量之應用，並增進其降溫效果，本研究以冰水主機設計改製為噴霧冷卻之冰水霧主機，製造 8°C 之冰水霧供噴霧使用，以提升細霧與空氣間的熱交換量，並於實驗量測時，記錄本系統開啟前後，以及 80kg/cm² 和 100kg/cm² 之不同壓力下，環境溫濕度及環境負離子數量變化。結果顯示，本系統能使環境溫度均勻下降 5.5°C 以上，且濕度變化平穩，而在開啟冰霧空調系統後之環境負離子數量為原狀態之 11 倍，並與噴霧壓力成正比，說明高壓噴霧能有效的改善環境負離子數量。

關鍵字：噴霧冷卻法、冰霧降溫、空氣負離子

Abstract

The spray cooling system is extensively used for cooling operation in open working environment, the advantage is that the temperature distribution is uniform, have the great cooling efficiency and the price is low, the water body in high speed splashing generates Lenard effect, a lot of negative ions are produced in the process and can improve the ambient air quality. In order to explore the spray cooling method used to improve the ambient negative ions number and cooling effect, this study used the refrigerating air conditioning technique to modify a water chiller into a cooling fogging chiller of blowing spray cooling system. Low temperature mist at 8°C was sprayed under high pressure to improve the heat exchange quantity between mist and air, then recorded the temperature, humidity and ambient negative ions changes with the spraying pressure of 80kgf/cm² and 100kgf/cm² in the period from the startup and stop of cooling fogging air conditioning in the experimental measurement. The actual measurement results showed that the proposed system could reduce the ambient temperature by 5.5°C or above with a steady change of humidity. Moreover, the ambient negative ion concentration after the cooling fogging air-conditioning system is switched on is 11 times of original state, meaning this system can increase ambient negative ion concentration and improve the air quality effectively.

Keywords: blowing spray system; cooling fogging cooling; evaporative cooling; negative ion

1. 前言

台灣位於亞熱帶氣候濕熱，根據中央氣象局

統計分析台灣近百年之氣候變遷，發現臺灣的平均氣溫在百年間上升約攝氏 1.4 度，為全球平均

增溫速率的 2 倍，且有夏季時間增長的趨勢[1]。因此，無論是生活上或於作業場所之降溫需求已日益提升，而一般最常見的降溫裝置為冷凍空調循環系統，這是降溫效率及舒適性最高的一種方式，但其成本最高，對有持續高溫熱源的開放式工作環境而言，負載倍增，耗電量更是龐大，除非符合經濟效益，否則一般不予以採用。結合擾流風扇及微霧噴頭的噴霧冷卻系統，則廣泛運用於溫室及開放式工作環境之降溫作業[2]，其以蒸發冷卻之原理，透過精密噴頭製造細霧，並搭配風扇增加霧粒之體表面積及加長飄移距離，提升熱交換效率，優點是價格低廉、降溫明顯且溫度分佈均勻[3]，且水在經由增壓設備，通過噴頭產生細霧的過程中，會因勒納德效應而在空氣中產生許多負離子，對促進空間內人員身、心理健康有相當大的助益[4]，然而過去卻無噴霧冷卻法對於環境負離子數量影響之研究，甚為可惜。

本研究以冰水主機改製為噴霧冷卻之冰水霧主機，製造冰水霧於噴霧冷卻法之應用，增加其降溫效果，並於硬體設備建構完成後，先以量測儀器記錄原環境溫濕度及負離子數量，再於施工現場以冰霧空調系統進行降溫作業，記錄其溫濕度變化，接著量測關閉噴霧、80kg/cm² 及 100kg/cm² 三種情況下之環境負離子數量及變化，比較冰霧空調系統開啟前後之空氣品質，以及噴霧壓力對環境負離子數量的影響，探討其改善效果及最佳操作模式，以拓展噴霧冷卻法於改善環境空氣品質之應用範疇。

2. 理論分析

2.1 蒸發冷卻之原理

大氣的組成可分為乾空氣與水蒸氣，當水滴吸收周圍環境熱量而產生相變化時，會蒸發為水蒸氣並擴散至空氣中，增加環境相對濕度，同時環境得到降溫效果，這過程稱之為蒸發冷卻。圖 1 為不同水與空氣接觸的情形於濕空氣線圖之應用[5]: A 過程是水以高於外氣乾球溫度(Dry Bulb Temperature, DB)之狀態對空氣加溫加濕的狀況；

B 過程是以水溫低於空氣之 DB，但高於空氣濕球溫度(Wet Bulb Temperature, WB)之狀況下與空氣接觸的情況；C 過程則為水溫等於空氣 WB 的狀況；D 過程是水溫低於空氣之 WB，但高於空氣露點溫度(Dew Point Temperature, DP)的情況；E 過程則是以低於空氣 DP 的水溫與空氣接觸的情況，此為冷卻除濕。B、C、D 過程即為蒸發冷卻，傳統噴霧降溫系統是以常溫水對空氣進行降溫，被冷卻之空氣特性大多就會落在 B' 到 D' 之間，甚至因為儲水系統受太陽輻射熱、泵浦加壓後，水溫上升至狀態 A，造成環境升溫現象。

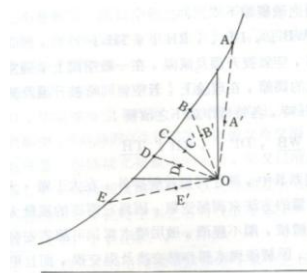


圖 1 不同水溫與空氣接觸之狀態變化

2.2 細霧與空氣之熱交換方程式

在研究細霧與空氣接觸時產生的熱交換量時，需分為兩個情況做討論，一者是因為水滴與空氣間的溫度差而產生的顯熱交換量；而另一者則是因為水滴和周圍空氣的水蒸氣分壓之間的壓差而產生的質傳，所造成的潛熱交換量，而兩者的代數總和即為空氣與水滴間的總熱傳量。其能量方程式如(1)(2)式所示[6]:

空氣與細霧之顯熱交換量:

$$Q_c = h_c(T_a - T_w)dA \quad (1)$$

在這裡， Q_c 為顯熱量(W)， h_c 為空氣與水表面之熱傳係數(W/m²·K)， T_a 為空氣溫度(K)， T_w 為細霧溫度(K)， dA 為細霧之體表面積(m²)。

細霧蒸發時所產生的潛熱交換量:

$$Q_e = h_{fg} \times \Delta m_{fg} = h_{fg} \times \sigma(\omega_a - \omega_s) dA \quad (2)$$

在這裡， Q_e 為潛熱量(W)， h_{fg} 為細霧單位質量的汽化(融解)熱(即焓質，kJ/kg)， Δm_{fg} 為細霧在相變化過程的質量變化率(即質傳量，kg/s)， σ 為質傳係數(kg/m²·s)， ω_a 為空氣的濕度比(kg/kg dry

air)， ω_{ws} 為邊界層空氣的濕度比，即等於細霧溫度的飽和濕度比(kg/kg dry air)。

在應用上，若質傳量為正值時，則表示空氣中的水分將凝結出來；若為負值時，表示水滴將蒸發至空氣中，空氣中的水分將增加。在整理以上兩式後，可得細霧與空氣的總熱交換量 Q_t 為：

$$Q_t = Q_c + Q_e$$
$$= [h_c(T_a - T_w) + \sigma(\omega_a - \omega_{ws}) h_{fg}] dA \quad (3)$$

水蒸氣在空氣中移動的狀態下，符合 Lewis 提出的，對於空氣絕熱加濕過程，熱傳係數(h_c)及質量擴散係數略約相等，其 h_c 與 σ 之比 (路易士數) 約等於 1，且等於濕空氣比熱(C_p)之理論[7]，故(1)式可改寫為(4)式，並帶入式(3)整理後即可得總熱交換量如(5)式所示。

$$Q_c = C_p \sigma (T_a - T_w) dA \quad (4)$$

$$Q_t = \sigma (h_a - h_w) dA \quad (5)$$

在這裡， h_a 為周圍空氣的焓值(kJ/kg dry air)， h_w 為霧滴邊界層空氣的焓值(kJ/kg dry air)。

(5)式說明霧粒溫度 T_w 時之邊界層附近空氣與環境的焓差，即焓位勢與細霧表面積對總熱交換量的影響，噴霧系統中的 dA ，則為所有水滴表面積的總和，此點可知水滴藉由高壓霧化增加其體表面積後，可直接提升其總熱交換量。

由(1)式可知，以較低溫的水滴進行噴霧冷卻，可增加其顯熱交換量，提升降溫效果，在此同時，水滴亦與空氣產生質傳，在細霧溫度低於環境DP時，環境中的水蒸汽會先凝結於霧滴之上(冷卻除濕)，直到細霧溫度上升至環境WB然後蒸發(冷卻加濕)，才完成整個熱交換過程，故藉由以擾流風扇增加霧粒飄移距離的方式，不但可增加細霧在空氣中熱交換的時間，還可避免未蒸發完全之霧粒，在熱交換過程中落在作業區中的人體或產品上，影響其舒適感及產品良率。

2.3 負離子之生成與功效

我們所處的環境空氣中，含有許多帶電的離子，其中帶正電的稱之為正離子，帶負電的則為負離子。自然界中負離子的生成有以下四種方式[4][9]，分別為：宇宙射線及閃電；植物尖端放電

及光電效應；大氣中的放射性物質；萊納德效應，其中勒納德效應，是水在高速運動或跌落的過程中，使分子在高速噴射過程中電離所產生而成，此效應即是以噴霧冷卻法生成負離子之原理。

國際標準ISO 16814表明，負離子技術是改善室內空氣品質的技術之一[10]，負離子具有促進動植物健康生長的能力，其進入人體後，形成過氧化氫與體內的轉化酶反應所形成的效應，能有效的改善呼吸機能、改善心血管系統並促進造血功能[11]，且對於低濃度範圍之揮發性有機污染物，具有去除制之效能[12]。

2.4 空氣負離子濃度對於健康之影響

空氣負離子濃度對人體的保健作用和輔助療效之程度有相當大的關聯。醫學研究證實，空氣負離子濃度達到700個/cm³以上時才有益於人體健康，當濃度達到1萬個/cm³以上時，即可治病，當負離子濃度大於或等於正離子濃度時，才能使人感到舒適，並對多種疾病有輔助治療之作用[9]。空氣負離子濃度對於人類身體健康之影響如表1所示[13]。

表1 空氣負離子濃度對於人類身體健康之影響

負離子濃度 (個/ cm ³)	影響程度
100,000~500,000	具有自然療效
50,000~100,000	殺菌作用、脫臭、解毒功能
5,000~50,000	強化人體免疫力、增加抵抗力
1,000~2,000	提供維護健康基本需求量
> 50	誘發生理障礙

3. 系統設計及架構

3.1 冰霧系統之設計與架構

本研究以冰水主機作為冰霧空調主機之設計基礎，將冷卻介質-自來水，經由過濾器過濾後注入第一水箱儲存，再由循環馬達傳送至蒸發器熱交換為 2°C-3°C 之冰水之後，經由水離子化器進行二次過濾並分解為更細小的離子以利霧化

效果，離子化後之潔淨水會進入第二水箱儲存，最後由下方出口處之高壓水泵送至冰水管路及各噴頭執行噴霧降溫作業，而噴頭端的擾流風扇則以強制對流的方式增加了細霧的熱交換效率，提升降溫效果。系統設計圖如圖 2 所示。

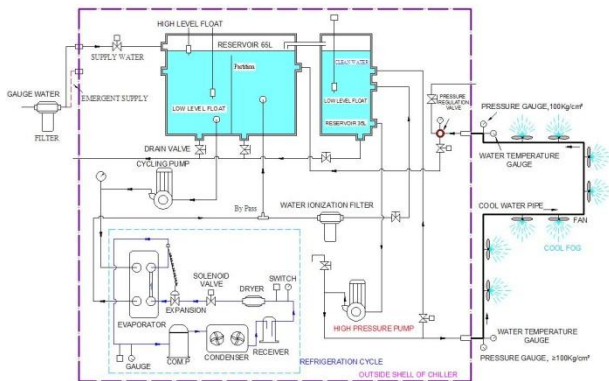


圖 2 冰霧空調系統設計圖

3.2 通風設施之設計

本研究於施工現場之建築物屋頂設置負壓排風扇增強環境通風率，其符合熱浮效應且因氣流路徑朝上，故不會對人體產生風擊效應[14]，擾流風扇及負壓排風扇進行強制對流，增加低溫細霧之飄移距離，增加其熱交換量及蒸發效率。

3.3 系統之控制策略

噴霧設施在蒸發冷卻的應用上，降溫程度與噴霧量成正比，噴霧量增加的同時環境濕度也隨之上升，故溫濕度的控制上是以間歇噴霧的方式做調控，在停止噴霧的同時，啟動屋頂上方及兩側的負壓排風扇，利用熱浮效應將熱氣及濕氣抽至戶外，達到控制濕度及降溫的效果。

4. 結果與討論

4.1 噴霧粒徑量測及製冷能力之估算

本研究於一通風良好的開放式實驗室之中，在環境溫度 19°C 、濕度 $73\%\text{RH}$ 的環境下以雷射繞射粒徑分析儀對本冰霧系統進行噴頭霧化粒徑分析之量測，實驗機組為1RT之冰霧主機，所採

用的噴頭樣品為口徑 0.2mm 細霧噴頭，其量測參數如表2所示，量測現場照片如圖3所示。

表 2 水霧粒徑量測參數表

項目	種類
量測儀器	雷射繞射粒徑分析儀
測試主機	1RT 冰霧主機
噴頭種類	口徑 0.2mm 不鏽鋼噴頭
管內水壓	100kgf/cm^2
噴頭處水溫	8°C
噴霧量	0.075 L/min
量測環境	溫度 19°C 、濕度 $73\%\text{RH}$
數據取樣	兩次測試結果平均值



圖3 水霧粒徑量測現場照片

量測結果的SMD值為 $15.83\mu\text{m}$ ，將噴霧量代入(7)(8)式後可求出細霧總熱交換面積為 $28.42\text{m}^2/\text{min}$ 。並以環境溫度 35°C 、相對溼度 $50\%\text{RH}$ 的條件下，估算本噴頭1分鐘所能帶走的熱量，並將參數搭配濕空氣線圖求出的數值代入(9)式之中，即可求得總熱交換量為 32.1KW 。在已知欲改善環境之廠房熱負荷後，便可依此值進行系統配置，來達到環境需求之溫濕度。

4.2 施測現場之作業環境概述

本研究在冰霧空調系統架設完成後，於夏季進行實地量測，以某五金工具表面處理廠為例，其廠房為一單棟鐵皮屋，廠內以振動研磨機進行

五金手工具加工為主，因而產生龐大的熱能，故於現場建置 5RT 之冰霧空調系統，並搭配負壓排風扇進行強制對流，以期達到降溫及改善空氣品質的效果。

4.3 改善後之環境溫濕度量測記錄

本研究以溫濕度記錄器，記錄上午 10 點至下午 5 點之環境溫濕度，並觀察 10 點 30 分開啟之冰霧空調至量測結束之現場溫濕度變化，量測現場及作業現場環境溫濕度變化曲線如圖 4 及圖 5 所示。



圖 4 量測現場

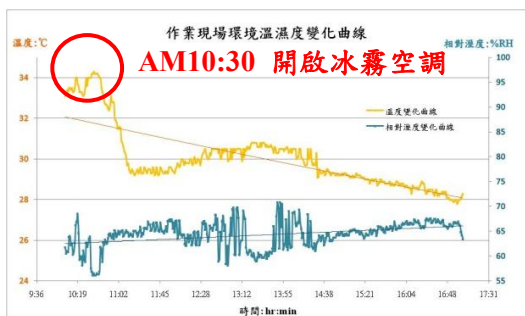


圖 5 作業現場環境溫濕度變化曲線圖

由圖 5 可觀察出，於 14:30 之後的相對濕度變化漸趨穩定，表示整個空間的濕度是均勻分佈，且有規律的隨著溫度呈反比變化，顯示利用冰霧空調搭配強制通風來調節室內濕度，一段時間後即可使整個空間環境達到穩定的狀態，亦可看出此系統在開啟後，約 1 小時即能將溫度調節至穩定，降溫幅度達 5.5°C 以上。

4.4 作業環境負離子數變化情形

為評量冰霧空調系統開啟前後之環境空氣品質，以空氣負離子測定器各進行 30 分鐘負離子數量之量測，結果如圖 6、圖 7 所示，顯示在未開啟冰霧空調系統時的空氣負離子平均數為 153 個/cc，開啟後之平均值則為 1685 個/cc，明顯能改善環境空氣品質。並由圖 7 可看出在高壓間歇式噴霧的情況下，負離子數量將達到高峰；反之，未噴霧時雖降至某一界線，但其數量仍遠高於未開啟冰霧空調時之狀況，且狀況是連續且穩定的，說明了環境負離子濃度與噴霧的壓力成正比。

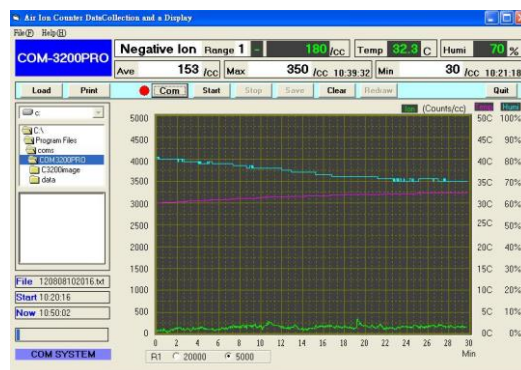


圖 6 原環境溫濕度及負離子曲線圖



圖 7 冰霧空調開啟時之環境溫濕度及負離子曲線圖

4.5 噴霧壓力對環境負離子數之影響

噴霧的壓力大小會直接影響噴霧量及細霧粒徑，對於噴霧冷卻法是重要的操作參數。為探討噴霧壓力對環境負離子數量之影響，本研究量測關閉噴霧、80kg/cm²及 100kg/cm²三種情況下

之環境負離子數量及變化，結果如圖 7 所示。

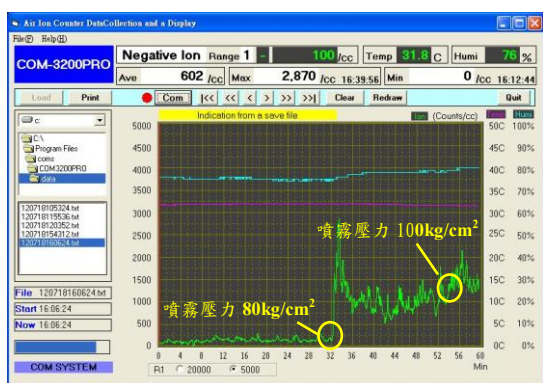


圖 7 不同噴霧壓力對環境負離子數量之影響

由圖 7 可明顯看出，在以 $80\text{kg}/\text{cm}^2$ 的壓力開啟噴霧系統的瞬間，環境負離子數量會有 2 分鐘的時間達到短暫的高峰，然後降至穩定的數值，當噴霧壓力提高至 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 時，負離子又有上升的趨勢，由此可知，環境負離子數量與噴霧的壓力成正比。

5. 結論

本研究以冰水主機改製為冰霧空調主機，提供 8°C 之低溫冰水於噴霧冷卻之應用，增加細霧與空氣間的熱交換量，提升其降溫效果，由實測結果可知，本系統開啟後約 1 小時即能將溫度調節至穩定，且降溫幅度達 5.5°C 以上，而藉由量測開啟系統前、後之環境負離子數量結果可知，開啟後之濃度為原本狀態的 11 倍，並與噴霧壓力成正比，驗證勒納德效應應用於噴霧冷卻法之可行性，並說明高壓噴霧不僅能夠增加細霧與空氣間的熱交換量，還可同時增加環境負離子數量，達到改善環境空氣品質之效果。

6. 參考文獻

- [1] 中央氣象局全球資訊網，氣候統計，www.cwb.gov.tw，2008。
- [2] 周賜壽，”氣體輔助應用於噴霧作業特性之研究”，國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文，1997。
- [3] 黃裕益，”鼓風式噴霧法於開放型溫室降溫之

研究”，農業機械學刊第 9 卷，第 4 期，12 月，2000。

- [4] 馬振基，「負離子應用及原理」，科學發展，417 期，2007。
- [5] 王洪鎧，冷凍空調工程，弘揚圖書有限公司，2007。
- [6] 柯明村、莊清海，”水洗室設計與熱質傳性能探討(上、下全)”，中華水電冷凍空調月刊，5 月、6 月，2005。
- [7] Hawlader & Liu, Numerical study of the thermal-hydraulic performance of evaporative natural draft cooling towers, Applied Thermal Engineering 22, pp.41-59, 2002.
- [8] Herterich, A. O., “Water as an extinguish agent”, Heidelberg: Alfred Huthig Publishing Company, 1960.
- [9] 邵海榮、賀慶棠，”森林與空氣負離子”，世界林業研究，13(5)，19-23，2000。
- [10] ISO/TC 205 · ISO/DIS 16814 Building environment design-indoor air quality-methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy[S], Geneva, 2005.
- [11] Kosenko, E. A., Yu. G. Kaminsky, I. G. Stavrovskaya, T. V. Sirota and M. N. Kondrashova, “The Stimulatory Effect of Negative Air Ions and Hydrogen Peroxide on the Activity of Superoxide Dismutase”, FEBS Letters, Vol.410:309-312, 1997.
- [12] 吳致呈，空氣負離子控制室內空氣污染物之研究，博士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，台北，2006。
- [13] 羅東林區管理處-林務局森林育樂組，<http://luodong.forest.gov.tw>，2008。
- [14] Yoshih Momoi, ”Control of airflow pattern and temperature distribution in large rooms using ceiling fan”, The 7th International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, 2003.