

除濕加強型空調箱技術簡介

一、背景

對於一般定風量空調系統而言，節能方法之一是提高冰水主機供水溫度(可提高主機效率)，每提高 1℃ 冰水供水溫度，約可節省 3% 之主機耗電，在前人研究成果中已有相關的報導(如圖 1)。但提高冰水溫度會降低冰水盤管的除濕能力，在既有的溫度回饋控制方法下，雖然溫度或許能夠達到設定值，但濕度卻很可能超出適當範圍。



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://emis.itri.org.tw/Case/Content?ID=79>. The page title is "提高冰水主機出水溫度 - 工業節能" (Raising Chilled Water Main Outlet Temperature - Industrial Energy Conservation). The website header includes the logo of the Industrial Energy Efficiency and Conservation Service Network and the text "工業節能服務網" and "Industrial Energy Efficiency and Conservation". The main content area is titled "節能案例" (Energy Saving Case Study) and features a table with the following information:

依行業別瀏覽	節約能源績優獎	節能標竿網
案例名稱	提高冰水主機出水溫度	
行業別	電子電機業	
設備別	空調系統	
現況說明	依目前空氣側空調需求條件為20℃，Tadp(設備露點溫度)在15℃，目前冰水主機出水溫度5.5℃，冰水主機溫差5℃，冰水主機之出水溫度調高1度至6.5℃可達到設備露點溫度Tadp15℃。	
改善措施	每提高1℃冰水出水溫度，約可節約3%之電能，現場一般運轉2台1000RT冰水主機，年運轉時數為7200小時，主機效率為0.65kW/RT，提高冰水出水溫度可提高1℃至6.5℃，假設馬達效率為93%。	

圖 1 提高冰水溫度的節能效果 (摘自工業節能服務網)

設置空調系統的目的是為了維持室內環境的舒適度，若為了空調節能而降低了舒適度，可能造成商場顧客流量的減少，或影響辦公建築內工作人員的效率，造成建築使用者的損失。因此在進行各種空調節能措施的同時，必須考慮到室內環境品質的維持。此外，室內相對濕度過高也會造成傢俱、器具、商品

發霉損壞的問題。根據文獻資料，木製品表面開始發霉時間與空氣相對濕度的關係大致如圖 2 所示。在室溫為 27°C 的情況下，若相對濕度為 75%，木製品大約在 30 天左右會開始發霉；但若濕度降低到 69%，則要經過 200 天左右才會發霉，顯示了濕度控制的重要性。

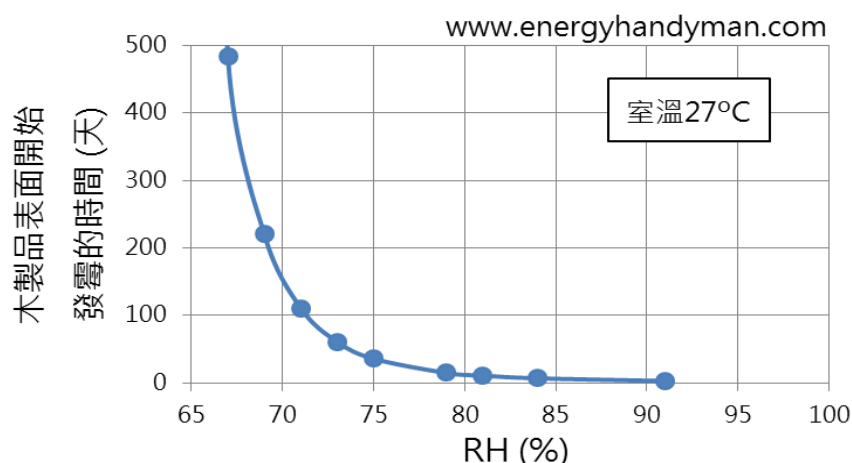


圖 2 木製品發霉時間與空氣相對濕度的關係

(資料來源 www.energyhandyman.com)

商辦建築內的主要濕氣來源之一是外氣。相較於在濕氣散布到室內空間後再作處理，從源頭來處理濕氣應是比較有效率的做法，因此外氣空調箱是需要考慮的重點設備。綜合以上的論述，我們若要採用提高冰水溫度的方法來達到節能效果，則需要一種能夠在較高冰水溫度下仍能維持適當除濕能力的解決方案，而這個方案最好也能夠應用在外氣空調箱上。本文所述的除濕加強型空調箱即是基於這個背景而開發的技術。

二、除濕加強型空調箱之設計

(2.1) 概念

設計目標在於使外氣空調箱能夠使用較高溫的冰水(例如從傳統設定的 7°C 提高到 10°C) 維持建築空間所需的除濕能力。加強外氣空調箱除濕效果的方法

之一，是在冰水盤管的兩側加裝環繞熱管(Wrap Around Heat Pipe, WAHP)熱交換器，如圖 3 與圖 4 所示，該熱交換器可將通過冰水盤管冷空氣的冷能回收，傳遞到冰水盤管上游，用於預冷進氣，除去部份顯熱負荷，使得冰水盤管的冷能可以盡量運用在移除潛熱(除濕)負荷。圖 5 與圖 6 是一組比較，顯示了裝設環繞熱管前後的差別，裝設後空調箱的除濕能力明顯增加。雖然這樣的配置會大幅降低外氣空調箱的顯熱能力，但是顯熱負荷仍可由室內風機盤管處理。在部分負載狀態下(空調系統大部份時間是在部份負載狀態下運轉)，使用較高溫的冰水來處理顯熱負荷是可行的。

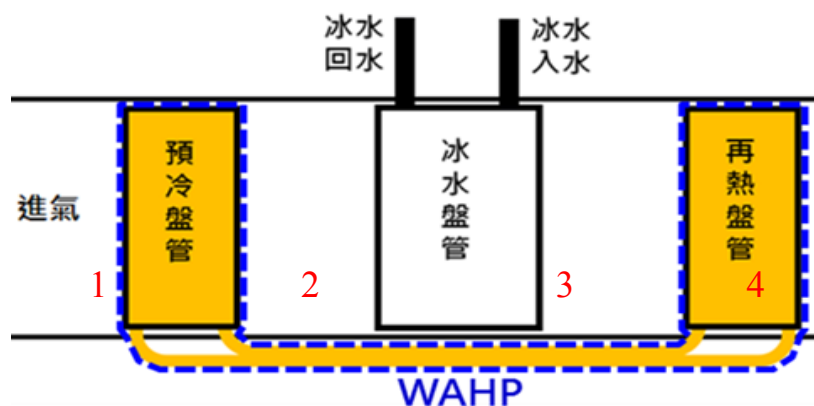


圖 3 環繞熱管示意圖 (圖中 1、2、3、4 標示主要的氣側狀態點)

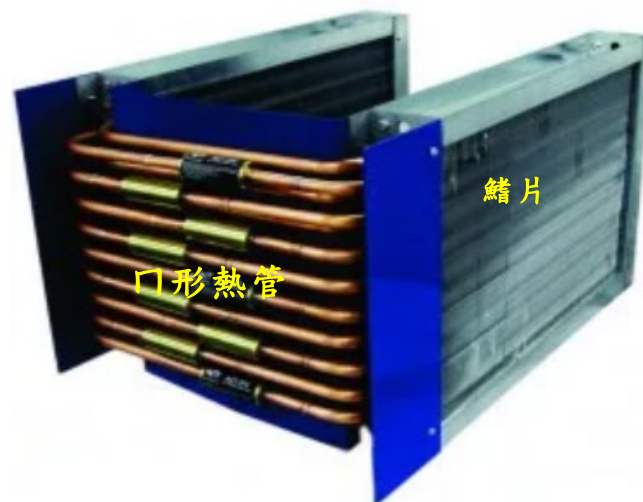


圖 4 環繞熱管實體照片

(摘自 Advanced Cooling Technologies 公司網頁 <https://www.1-act.com>)

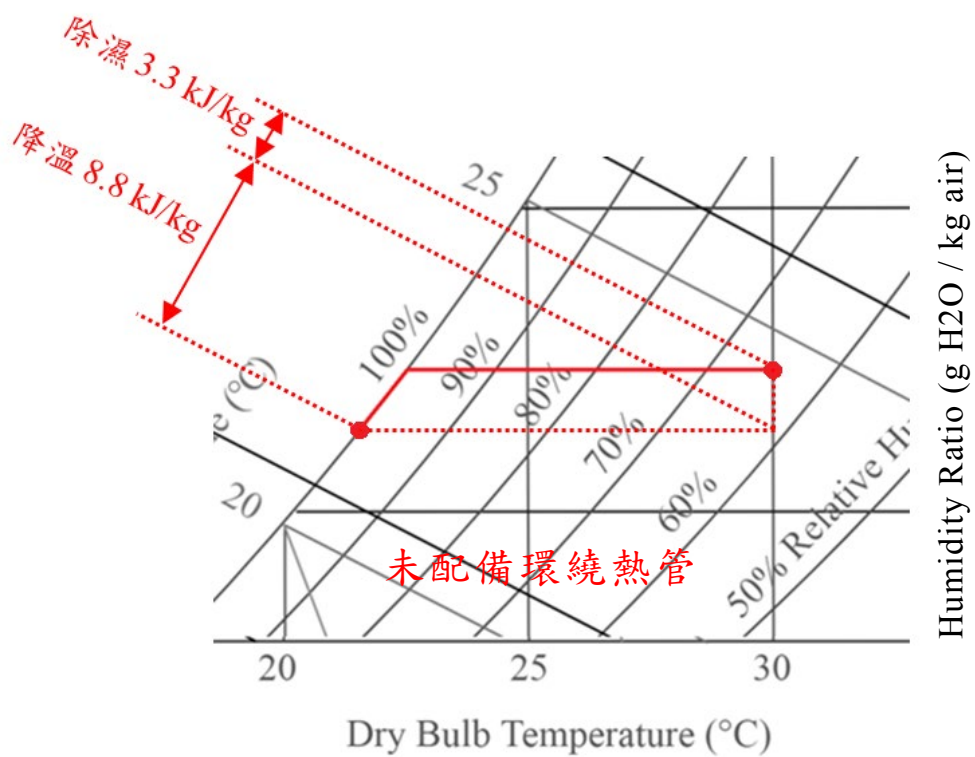


圖 5 未使用環繞熱管的空調箱空氣線圖

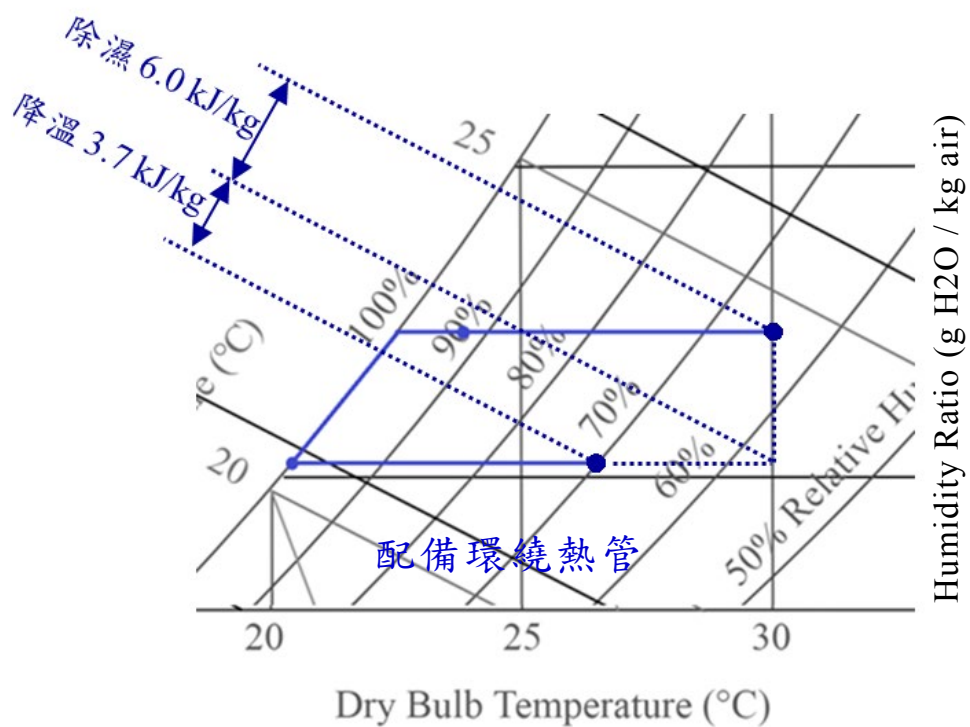


圖 6 使用環繞熱管後的空調箱空氣線圖

一般外氣空調箱的主要元件包括了入口濾網、冰水盤管、風機、控制電路等。如上所述，在本案例中額外增加了一個環繞熱管熱交換器，整個空調箱的架構如圖 7 所示。

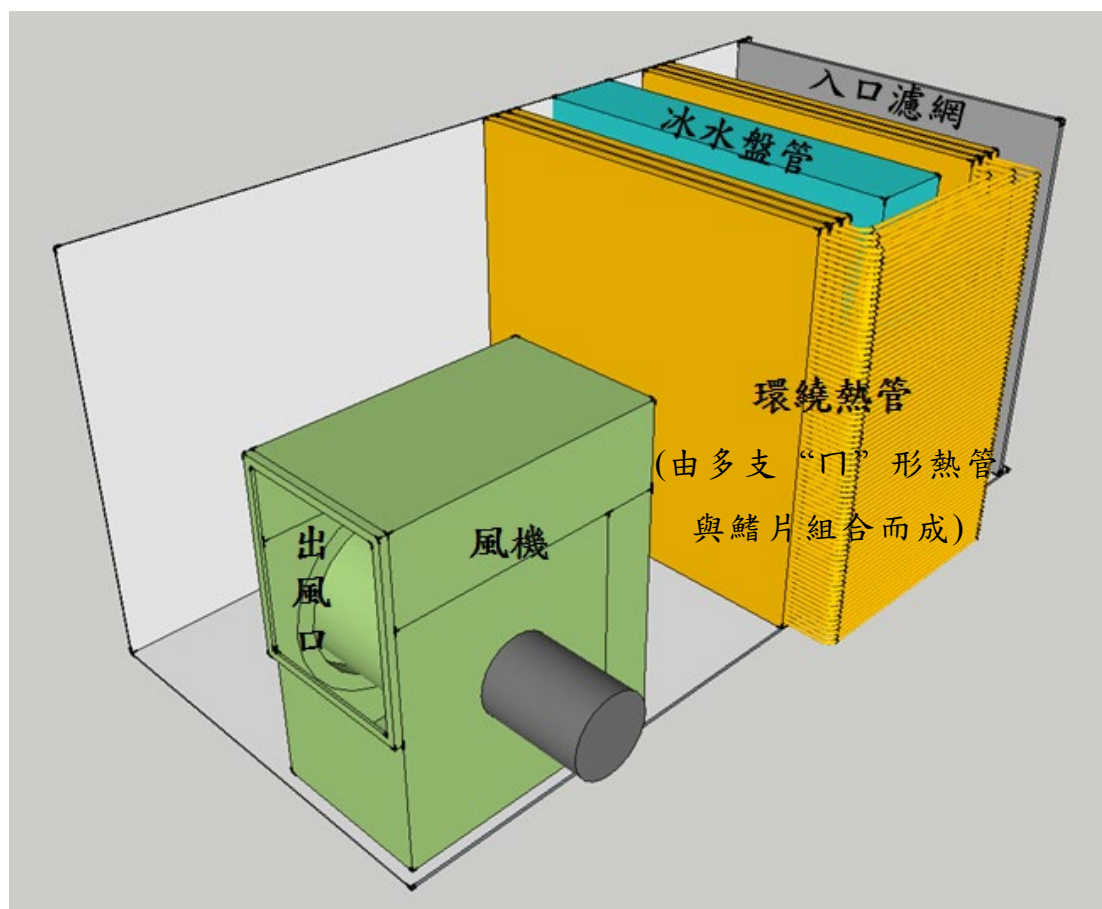


圖 7 除濕加強型空調箱架構圖

(2.2) 環繞熱管概述

環繞熱管可視為熱管與鰭片盤管熱交換器的結合，因此其設計與製作可以參考熱管與鰭片盤管的既有技術，並加以整合、延伸。熱管的運作原理概述如下。常見的熱管是封閉的直圓管，構造大致如圖 8 所示，包括外殼 (Casing)、毛細結構 (Wick)、蒸汽空腔 (Vapor Cavity)、以及工作流體 (Working Fluid，未標示於圖中)。熱管內部的空氣通常需要用真空泵抽出，避免影響工作流體的作用。圖 8 的左側為蒸發段 (Evaporator) 或高溫段，中間為絕熱部份，右側為凝結

段 (Condenser) 或低溫段。在一般應用中，蒸發段放置於熱量產生(高溫)的區域，在此外部的熱量經由外殼傳入熱管內部，而毛細結構中的液態工作流體吸收了這些熱量後蒸發為氣體，經由空腔往凝結端流動。凝結段一般放置於熱量容易散失(低溫)的區域，外殼的熱量散失到外部環境中，使得此處的溫度低於蒸發段，由蒸發端產生的蒸汽來到凝結段後，接觸到低溫的毛細結構或外殼，因此凝結為液體，這些液體因著毛細結構與表面張力的作用流回到蒸發端，如此周而復始，藉著蒸發與凝結將熱量由蒸發段傳遞到凝結段。本案所處理的熱管是“環繞熱管”，也就是一種“U”形的熱管。假設在熱管彎折處具有適當的圓角，使得此處流體的流動狀況與直管沒有明顯差別，因此仍可採用直圓管熱管的理論^[A]來做近似計算。為了增加熱管表面與空氣之間的熱傳量，因此將熱管與平行排列的鰭片結合，其構造與一般空調箱的冰水盤管非常類似，因此這部份的設計分析可以採用冰水盤管的既有技術^[B]。

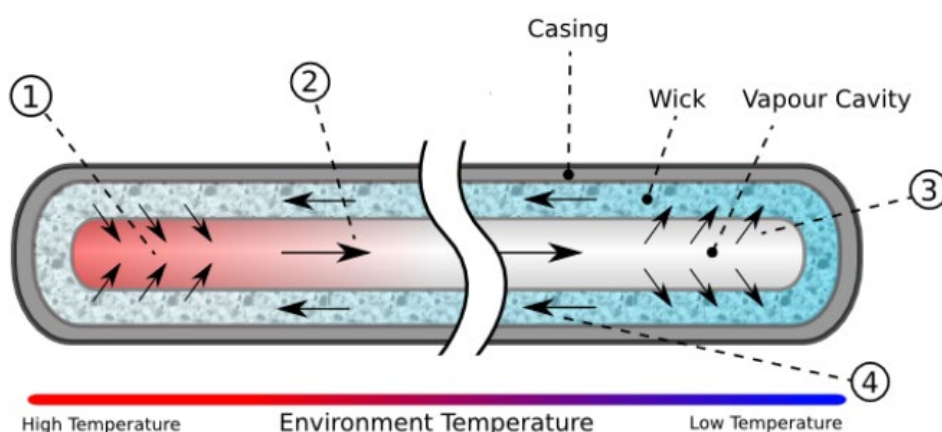


圖 8 熱管構造圖 (摘自 Wikipedia 網頁)

(2.3) 空調箱設計步驟：以下步驟可作為設計此類空調箱的參考：

- 設定風量以及主要氣側狀態點（如圖 3 中的 1、2、3、4 等位置）的溫濕度：
 - 根據氣候數據設定位置 1 的狀態；

- 根據絕對濕度要求設定位置 3 的狀態；
 - 使預冷盤管盡可能將進氣降溫到濕度飽和的狀態，由此設定位置 2 的狀態。
 - 已知位置 3、4 的焓差等於位置 1、2 的焓差，由此可計算出位置 4 的狀態。
- 冰水盤管設計：本案例與傳統設計的主要差別在於提高了冰水供水溫度的設定值，而氣側運作狀態與傳統設定也會有些許差異，但盤管的設計計算方法皆可採用既有技術。
 - 環繞熱管設計：採用熱管與鰭片盤管的既有分析計算技術，並加以整合、延伸。嘗試調整設計參數使得性能參數（包括熱傳量、氣流壓損）能夠符合氣側狀態的設定，並設法使壓損降低。藉由多次的參數調整與性能計算逐步達到所需的性能目標。
 - 風機選擇：在本案中需要增加考量環繞熱管所造成的氣流壓損，其餘部份的計算則與傳統空調箱相同。

三、應用機會

由於空調系統的個別差異大，除濕加強型空調箱在不同系統中的效果也會各有差異，以下僅以一個計算例來概略說明其可能的應用情境與效果。以建置一組 500RT 的商辦大樓中央空調系統為例，外氣空調箱之設計為兩組 16,000CMH 之空調箱，約為空調總風量的 10%。外氣風量可調節，而室內風機盤管則為定風量系統。以下比較兩種方案。

方案一採用一般預冷空調箱，將外氣預冷至 26°C 再送入室內。空調系統以傳統方式運作，冰水溫度設定為 7°C 。預估每年空調耗電約 85 萬度，電費 255 萬。在春秋或冬季若需使用空調達到除濕效果時，容易造成室內過冷的狀況。

表 1 能耗計算案例(說明用之個案，實際數據因個別系統特性而異)

	設備	傳統運轉狀態下 各設備占空調全系統 耗電的比例 (a)	裝設環繞熱管且 平均冰水供水溫度 由7°C提高到10°C後 各設備耗電變化率 (b)	對空調全系統 耗電的影響 (c)=(a)*(b)
水側	冰水主機	60%	-9%	-5.4%
	冰水泵	7%	+40%	+2.8%
	冷卻水泵	6%	~0%	~0%
	冷卻水塔	6%	~0%	~0%
氣側	室內風機盤管	17%	~0%	~0%
	外氣空調箱	4%	+30%	+1.2%
合計		100%		-1.4%

方案二採用除濕加強型空調箱，將冰水溫度提高到 10°C，空調箱可將進氣絕對濕度降低到 11.0 g / kg air 以下，使大部份潛熱負荷在進入室內前就被移除。相較於方案一，此方案的室內濕度仍可控制在相近的範圍，且空調主機約可節能 9% (冰水溫度提高 3°C)，雖然冰水流量與冰水泵耗電會增加，外氣空調箱風阻與風機耗電也會增加，但以空調系統整體而言仍有節能效果 (請參考表 1)。春秋或冬季氣候潮濕時，使用除濕加強型空調箱 (低顯熱比) 來達到除濕的效果，可改善方案一室內過冷的情況。

四、結語

基於空調節能以及維持建築環境品質的需求，本文說明了一種除濕加強型空調箱技術，能夠使用較高溫的冰水達到所需的除濕能力，因此能夠提高冰水主機供水溫度以達到主機節能的效果。加強空調箱除濕能力的方法之一，是在冰水盤管兩側加上一組環繞熱管熱交換器，回收冷能來預冷進氣，除去部份顯熱負荷，使冰水盤管的冷能可以盡量利用於除濕。而室內顯熱負荷則主要由室內風機盤管使用較高溫的冰水 (例如 10°C) 來處理。

環繞熱管熱交換器可以視為熱管和鰭片盤管的結合，因此其設計與製作可以參考熱管與鰭片盤管的既有技術，並加以整合、延伸。本文並以案例說明除濕加強型空調箱的可能應用情境與效果：它在適當的設定下能夠達到空調節能的效果，且在春秋或冬季氣候潮濕時，若需以空調系統達到除濕效果，除濕加強型空調箱可避免一般空調所造成室內過冷的情況。

五、參考資料

- [A] LIPS, Stéphane; LEFEVRE, Frederic. A general analytical model for the design of conventional heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, 72: 288-298.
- [B] FRASS, Friedrich; HOFMANN, R.; PONWEISER, K. Principles of finned-tube heat exchanger design for enhanced heat transfer. *Inst. f. Thermodynamics and Energy Conversion*, Vienna University of Technology, 2007