熱動製冷於農業的應用

黃振康 [1], 劉郁緯 [2]

[1] 國立台灣大學生物產業機電工程學系 副教授
[2] 國立台灣大學生物產業機電工程學系 博士班研究生

摘要

本文簡述過去探討吸收、吸附式太陽能熱動製冷應用在農業環境空調降溫的可行性。針對臺北地區高濕環境研究太陽能集熱器對水加熱之溫度及開放吸附式除濕製冷效果，並探討開放吸附式除濕輪分區比例與調節室內濕度對製冷能力的影響。若能以其他廢熱取代太陽能，則此熱動製冷技術可以利用熱能轉換成冷氣，以滿足各項降溫需求，也將可進一步推廣廢熱回收之普及應用，並減輕電能負擔。

關鍵詞：太陽能、熱動製冷、吸附式冷氣。

一、前言

農業環境與農產品產製過程，有許多加熱與降溫的程序。目前加熱程序多使用電力或燃料進行；然多數效率不佳，很多熱量未能精準傳送到待加熱的物品上。另一方面，降溫程序則多藉風扇或壓縮機，達成製冷的目的。先不論冷氣洩漏的部份，傳統製冷方式對電力倚賴甚重；於電價高漲的今日，為生產成本上不小的負擔。

理論上，地球附近每平方公尺面積可獲得 1,300W 的太陽能。這個數字依日照斜射角度、雲層厚度等因素，到達地表時多半在 0 至 500 W/m^2 之間。目前太陽能的使用以轉換為電能和熱能為主。其中轉換電能的效率約在 20%以下；若為半透光式的薄膜太陽能電池轉換效率更低，約在 10%左右。太陽能熱水器之類的太陽熱能轉換效率較高。一般平板式太陽能熱水器約有 50~ 60%，絕熱較佳的真空管熱水器則可達 70~ 80%。

一般冷氣需要供給予電能使其可以將熱能從較低溫的室內，移除到較高溫的室外，達到製冷的目的。然而輸入的能量並非一定為電能，熱能亦可作為輸入能源來驅動系統的作動。日本即有瓦斯冷氣，而國內亦可看到以罐裝瓦斯作為能源的露營用冰箱。

開放固體吸附式製冷技術 (Desiccant Evaporative Cooling，簡稱 DEC)的工作介質為空氣和水，系統直接處理要進入空調場所的外界空氣，利用例如矽膠、氯化鋰、沸石、陶瓷以及其他等多孔性吸附劑先將室外空氣做除濕處理，此轉輪被一只擋板隔成除濕及還原兩側；當除濕側空氣流過轉輪時，空氣中之水蒸汽會被轉輪內之吸濕劑所吸收而變成乾燥空氣吹出；當此轉輪轉到還原側時，還原側之熱空氣流過轉輪將吸濕劑中之水份蒸發，由風機將此潮濕空氣吹出室外。若以太陽能熱水器所得熱水做為系統能源輸入，則成為太陽能冷氣。開放固體循環吸附式製冷因工作環境的溫濕度不同，而有 COP 0.5 至 1 的效率差異，於高溫高濕環境下工作效率不佳。為降低製冷溫度而開發複合多孔性材質能使用較低溫的熱風排出除濕輪中之水份(Jia et al., 2007)，或是在緯度較高的地區也可利用太陽熱能驅動吸附式製冷(Halliday et al., 2002)。另外，製作多段系統亦能降低再生溫度使空調場所得到的

溫度能夠更低，亦證實多段系統的效能較單段好(Huan and Jianlei, 1999)，也能降低環境熱污染(Ge et al., 2009)。

本文簡述過去探討吸收、吸附式太陽能熱動製冷應用在農業環境空調降溫的可行性。針對臺北地區高濕環境研究太陽能集熱器對水加熱之溫度及開放吸附式除濕製冷效果，並探討開放吸附式除濕輪驅動溫度與調節室內濕度對製冷能力的影響。若能以其他廢熱取代太陽能，則此熱動製冷技術可以利用熱能轉換成冷氣，以滿足各項降溫需求，也將可進一步推廣廢熱回收之普及應用，並減輕電能負擔。

二、材料與方法

本文採用除濕輪除濕機(聲寶，臺灣)內部之除濕輪、轉輪馬達及風機，用以降低空氣濕度；結合自行設計、由壓克力容器與超音波造霧器(東東實業，臺灣)組合而成之加濕腔體對空氣進行直接加濕冷卻。調整造霧器數量及加濕腔體高度觀察加濕後溫濕度之關係，尋得最佳出氣溫度之參數組合。

再生部分的核心為空氣加熱器，此空氣加熱器功能為使太陽能熱水與空氣加熱，在吸附式製冷中，是除濕輪再生部分的核心。目前是採用機車(Majesty125，Yamaha)冷卻水箱。共有 30 支集熱器之真空管式太陽能集熱器(Apricus，澳洲)放置於自行組裝、固定照射夾角為 25^{o}、可移動之鍍鋅角鐵架上，做為除濕輪再生所需的熱空氣加熱來源。

本研究使用一板式氣體對氣體熱交換器，使得進入加濕腔體之低濕空氣得以降低溫度，同時使得進入空氣加熱器之空氣溫度得以提高。系統最後部分將經除濕輪吸附水分後的乾空氣，使用直接蒸發冷卻方式將空氣降溫。本實驗的造霧器(六倍霧，東東實業)，每分鐘可達 24 ml 的造霧量。

如圖 1 所示，本研究首先將外界空氣經過除濕輪除濕(1-2)，空氣的溫度因吸附熱的釋放而升高，最後通過加濕器作蒸發冷卻(2-3)降低溫度達成致冷效果；另一方面，空氣加熱器將室內空氣加熱至所需的再生溫度(4-5)，然後將熱空氣吹入除濕輪使吸附劑的水份脫附(5-6)，將高溫高濕空氣排到外界。

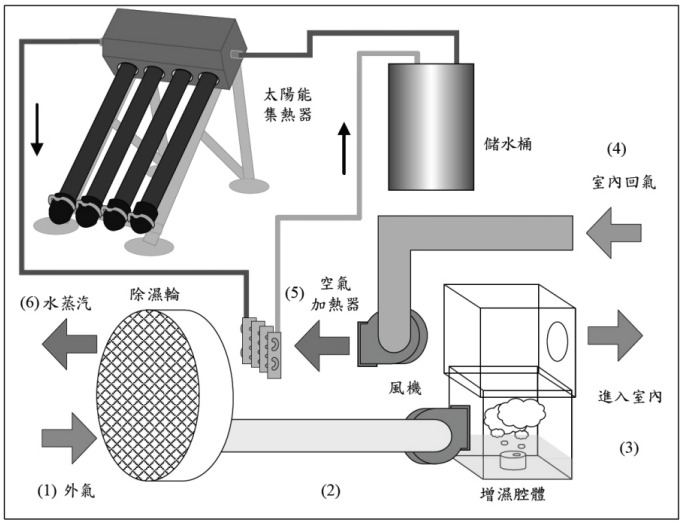


圖 1 太陽能除濕冷卻示意圖

文獻探討中，開放吸附式除濕製冷系統大部分是將除濕輪分割成，除濕部分與再生部分，考量空氣經過除濕輪後會產生吸附熱，本實驗多加入散熱部分探討；為了找尋最佳化的參數，實驗中將除濕輪分成三個部分，除濕區域、再生除濕輪區域以及風扇散熱除濕輪區域，不同比例的四種比例關係如表 1。

三、結果

由比例關係 1 實驗結果可知當環境濕度約 53.3%，環境溫度約 28.5℃時，平均下降溫度約 5.2℃；比例關係 1 是由除濕區域、再生除濕輪區域以及風扇散熱除濕輪區域，所佔面積比例各佔 1/3 時的結果，可見當各區域均等時可得到良好的下降溫度，而接下來不同的比例可以來判斷各區域的比重。

由比例關係 2 實驗數據可知當環境濕度約 54.4%，環境溫度約 28.5℃時，平均下降溫度約 5.0℃；比例關係 2 是由除濕區域 1/4、再生除濕輪區域 1/2 以及風扇散熱除濕輪區域 1/4 時的結果，可見當將再生除濕輪區域的比重提高，下降溫度仍可維持在 5.0℃，再生除濕輪區域佔除濕輪 1/2，使得除濕輪有較多的再生時間，可以讓除濕輪的除濕能力有較明顯的再生，才能讓系統最後造霧器能有更大的加濕空間；不過下將溫度略小於比例關係 1，有可能是因為當再生除濕輪區域一提高，是能夠讓除濕輪上的水份更充分的帶走，不過也使除濕輪溫度提高，而風扇散熱除濕輪區域相對變小也影響了下降溫度。

由比例關係 3 實驗數據可知當環境濕度約 54.2%，環境溫度約 28.3℃時，平均下降溫度約 4.8℃；比例關係 3 是除濕區域 1/4、再生除濕輪區域 1/4 以及風扇散熱除濕輪區域 1/2 時的結果，可見當將風扇散熱除濕輪區域的比重提高，下降溫度會略高 2-3℃，約可維持在 4.8℃，這跟比例關係 2 是相對的關係，風扇散熱除濕輪區域佔除濕輪 1/2，使得除濕輪有較多的散熱時間，可以讓除濕輪的熱量下降，得到較低溫的乾空氣，但是再生除濕輪區域相對變小也影響了除濕輪的再生能力，以致最後的下降溫度會略高 2-3℃。

由比例關係 4 實驗數據，由實驗結果可知當環境濕度約 53.7%，環境溫度約 28.4℃時，平均下降溫度約 4.4℃；比例關係 4 是除濕區域 1/2、再生除濕輪區域 1/4 以及風扇散熱除濕輪區域 1/4 時的結果，可見下降溫度明顯降低剩 4.4℃，當除濕區域提高，原期望可以有較長除濕時間，但再生除濕輪區域以及風扇散熱除濕輪區域相對變小，不只除濕輪的再生能力下降，除濕輪的熱量也無法足夠的散熱，使最終下降溫度能力是最低的。

綜整四種比例關係之實驗數據於表 2。

四、討論

由表 2 可見當比例為各 1/3 時能有較明顯的下降溫度，但有此也發現此系統的各區互相影響會改變下降溫度；未來希望能設計分段式除濕製冷，能使各區域的能力有充分的時間運行，而且不互相影響。分析比較由表 2 可知，當各部位佔 1/3 時，可以達到最大下降溫度，還可以從不同比例關係得知，影響下降溫度的參數為:再生熱風>風扇散熱>除濕端；由此可見再生除濕輪是相當關鍵，除濕輪再生後的能力影響系統最大，其次是對除濕輪散熱，最後則是除濕端，若是再生能力不好，除濕能力會下降。

進行太陽能製冷相關研究數年，可彙整以下結論:

- 熱動製冷具有節能潛力，使用少許電能配合熱能，能夠提供較低溫的空氣，減少傳統空調負荷。
- 有效避免再生廢熱進入空調空間，可進一步展現熱動製冷的效能。
  吸附效率提升與脫附溫度的降低，將有效提升熱動製冷的效率。
- 圖 2 為本團隊最新開發的原型機。還原除濕輪的行程的廢熱送往室外，且同時段仍進行未除濕之直接加濕冷卻，頗具潛力。

表 1 本文所測試不同之除濕輪分區比例組合

比例關係	除濕區域	再生除濕輪區域	風扇散熱除濕輪區
1	1/3	1/3	1/3
2	1/4	1/2	1/4
3	1/4	1/4	1/2
4	1/2	1/4	1/4

表 2 綜合整理不同比例組合與下降溫度

	除濕區域	再生除濕輪區域	風扇散熱除濕輪區域	下降溫度(℃)
所佔比例	1/3	1/3	1/3	5.2
	1/4	1/2	1/4	5.0
	1/4	1/4	1/2	4.8
	1/2	1/4	1/4	4.4

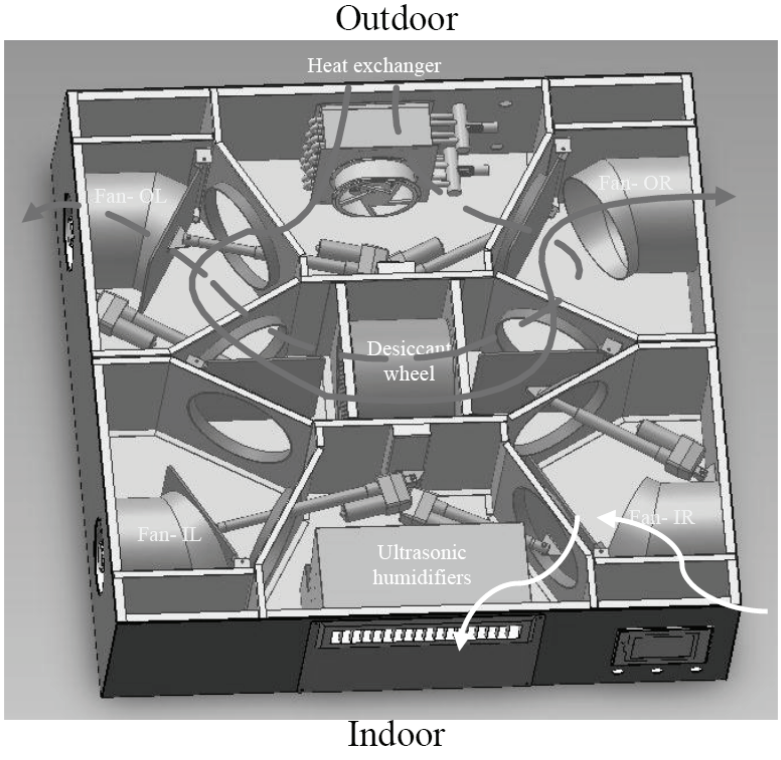


圖 2 多段式熱動除濕製冷系統作動示意圖

參考文獻

1. 工業技術研究院能源與資源研究所。2008。太陽能熱水器。台中：永續環境教育輔導團。網址：http://ee.tcc.edu.tw/07eneragy/energy/energy-edu/4-1.htm。上網日期：2011-10-07。
2. 桃園太陽能服務中心。2009。太陽能熱水器。桃園：明宜科技有限公司。網址：http://tw.myblog.yahoo.com/xin-dong/article?mid=54&next=25&l=f&fid=13。上網日期：2011-10-07。
3. Chung, J.D. and D.Y. Lee. 2011. Contributions of system components and operating conditions to the performance of desiccant cooling systems. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid. 34(4): 922-927.
4. Ge, T.S., Y.J. Dai, R.Z. Wang, and Y. Li. 2008. Experimental investigation on a one-rotor two-stage rotary desiccant cooling system. Energy. 33(12): 1807-1815.
5. Ge, T.S., Y. Li, R.Z. Wang, and Y.J. Dai. 2009. Experimental study on a two-stage rotary desiccant cooling system. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid. 32(3): 498-508.
6. Glav, B.O., Air conditiong apparatus. 1966: U.S. p. Patent No.3251402.
7. Halliday, S.P., C.B. Beggs, and P.A. Sleigh. 2002. The use of solar desiccant cooling in the UK: a feasibility study. Applied Thermal Engineering. 22(12): 1327-1338.
8. Heidarinejad, G. and H. Pasdarshahri. 2011. Potential of a desiccant-evaporative cooling system performance in a multi-climate country. International Journal of Refrigeration. 34(5): 1251-1261.
9. Henning, H.M. 2007. Solar assisted air conditioning of buildings - an overview. Applied Thermal Engineering. 27(10): 1734-1749.
10. Huan, Z. and N. Jianlei. 1999. Two- stage desiccant cooling system using low-temperature heat. Building Services Engineering Research and Technology. 20(2): 51-55.
11. Mazzei, P., F. Minichiello, and D. Palma. 2002. Desiccant HVAC systems for commercial buildings. Applied Thermal Engineering. 22(5): 545-560.
12. Pennington, N.A., Humidity changer for air conditioning. 1955: U.S. p. Patent No.2700537.

The Agricultural Application of Thermally-Driven Chillers

Chen-Kang Huang[1], Yu-Wei Liu[2]

[1] Associate Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University

[2] Graduate student, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University

Abstract

In this study, the feasibility exploration of the thermally-driven absorption chiller, and adsorption chiller was described. For high-temperature and high-humidity environment in Taipei, the output water temperature of the solar water heater was studied for better chilling performance. The effects of section ratios of the dehumidifying wheel and indoor humidity were discussed. If other waste heat can be used to replace the solar thermal energy, the technology can be used to convert heat to air-conditioning to fulfill chilling requirements and conserve the traditional energy resource.

Keywords： Solar energy, Thermally-driven chilling, Adsorption air-conditioning.