

太陽能空調系統監控與集熱性能測試研究

張俊民¹、林志賢²、黃俊偉³、陳世軒³、紀方傑³、葉政偉³
Jyun-Ming Chang¹, Chih-Hsien Lin², Jyun-Wei Hung³
Shih-Hsuan Chen³, Fang-Jie Ji³, and Cheng-Wei Yeh³

國立勤益科技大學冷凍空調與能源系
Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering,
National Chin-Yi University of Technology
¹E-mail: changjm@ncut.edu.tw
^{2,3}E-mail: bruce345735@gmail.com
NSC: 101-3113-E-167-001

摘要

本研究為太陽能冷氣系統之自動化控制與性能測試，自動化控制為以 VB 軟體經 RS-232 將訊號送至單晶片做控制，包含五種項目：(1) 各泵浦啟閉控制：將接腳電流放大後輸出，推動電子電驛之後再接到外部電磁接觸器將泵浦開啟。(2) 冷媒泵浦變頻控制其轉速：由單晶片輸出信號至晶片 (DAC0800) 控制電壓輸出量、控制變頻器與轉速。(3) 電子膨脹閥開度控制冷媒流量：改變單晶片對應接腳之電位並由 FT5754 把電流放大，進而推動電子膨脹閥、控制冷媒流量。(4) LCD 外部顯示：由單晶片輸出信號至 LCD 上輸出，顯示以上各項之轉速、流量等參數。(5) 冷凝水塔風扇自動變頻控制：為節省冷卻水塔風扇用電量，對水塔風扇加裝變頻器，透過溫差電驛感測水溫對照設定溫度去輸出電壓給變頻器，以控制風扇。以上自動監控加入系統使得以二十四小時運轉，且本研究針對所監控到的太陽能冷氣系統其集熱性能資料做分析，以建立大型集熱系統的測試標準。

關鍵字詞：太陽能空調，自動控制，變頻

Abstract

An automatic monitoring and control installation of a solar air-conditioning system is developed and the system performance is tested in the study. The monitoring and control installation, sending signals to chips with using a software VB and RS232 device, includes five items: 1) The on/off controls of several water pump—a chip, enlarging electrical current, drives relay and then electromagnetic breaker in order to turn on pumps. 2) An inverter for frequency control of a refrigerant pump—a chip DAC0800 is driven and then control the flow rate of refrigerant through the pump. 3) The flow rate control of refrigerant through an electric expansion valve—chip FT5754, enlarging electrical current, drives the valve and control the flow rate of refrigerant. 4) LCD displays—signals are also sent to LCD displayer in order to know every parameter we sent when these signals drive their different chips. 5) An inverter for frequency control of a cooling tower fan—in order to save the power of a cooling tower fan, we installed an inverter for frequency control of the fan with a relay which is driven by a measured temperature difference of cooling water.

The developed installations above leave the system automatically operate for 24 hrs. In addition, the study also analyses the monitoring data of the system in order to set up the test standard for a large size of solar collector system.

Keywords: solar air-conditioning system, automatically control, an inverter for frequency control

1. 前言

1.1 研究動機

台灣地屬高溫高濕氣候，民眾對冷氣機需求甚般，每至夏季空調電器的大量使用造成高峰用電負載屢創新高，以家庭用電量及比例來看：夏季時段，空調占 41%、照明占 18%、主要家電占 41%；非夏季時段，空調占 6%、照明占 35%、主要家電占 59%。若能由再生能源提供空調一部分所需的能源，除了可以節省電費外也對環境多盡了一分心力。

此太陽能熱驅動式冷氣系統為熱驅動噴射器的噴射式冷氣系統(圖 1-1)，在已經省能的設備上設置自動化監視控制系統，讓操作更方便，也能藉由調整運轉儀器的電力來達到基本效能又能順便節能。



圖 1-1 噴射式冷氣系統

1.2 文獻回顧

由於科技進步，民生用的家電系統都設法在元件中做最佳的控制，已達最高效能並節省耗電量，不外乎太陽能應用於家電系統中，所有動件亦提供了耗能，如太陽能輔助噴射式製冷系統，亦有一工作流體循環泵浦，此動件耗電則將會減少由太陽能提供的省能，因此 B.J.Huang et al.[1] 設計出無動件噴射式製冷系統，此套系統則無動

件使用能大幅提高由太陽能提供減少耗電量，但實際的應用需由經驗來控制兩個產生器的轉換，若要是能實際應用需由液位控制來切換兩產生器的運作，但由於天氣變化無法捉摸，此無動件亦無法提供穩定之製冷。因此最佳之方法亦採用動件之噴射式製冷，由液位控制連結循環泵浦的控制以將泵浦耗電量減至最低為基準，方能使太陽能輔助製冷系統提供最佳之省能系統。

主動式控制技术，則是利用電子式閥門或者泵浦來達到液位的控制，電子式閥門可以分為兩種型式：(一) 無壓力補償式及(二) 壓力補償式，前者當流體通過控制閥，壓力下降量與流量的平方成正比，而後者能在壓力變化的情況下保持流量不變，然而流量控制閥在相同的回授訊號下啟動如開到關或關到開，都會有不同的流量和壓力的變化，因此就是在不同的初始值下流量控制閥在相同的輸入訊號下，控制流量的結果也會有些微的差異[2]。

在另一項泵浦的控制技術方面，則是利用液位感測器或者壓力感測器當作一回授訊號，控制泵浦的轉速來達到液位的控制，其中現今的液位控制技術已經有非常多種控制理論可以應用，如模型預測控制(Model predictive control) [3-4]，適應性控制(adaptive control)[5-7]，最佳化控制(Optimal control)[8]等技術，其中有些技術已轉移至工業界使用，如化工科技等技術。

綜合以上文獻回顧，有不少文獻針對液位控制的控制理論探討有很深入的分析；對於這些需要高精度控制技術的產業必須確保系統的安全性，在控制器的設計上必須非常的嚴謹，除了使用上述的控制方法外還必須對整個系統進行調整和進行偵測其狀態變數；有了狀態變數就能轉化為狀態空間方程式，有了狀態空間方程式便能進行上述的控制方法，但是以上控制技術相當的昂貴以及複雜，必須投入更多經費和維修在此之上。在工業界中只要能在接受的誤差範圍內都能使用的控制方法就是 PID 控制器，除了便宜簡單以外所能容許的誤差也在範圍內。

2. 研究內容

2.1 系統設計

此噴射主機架設(圖 2.1.1)，架設各種感測元件於主機上，再依照記錄器傳回電腦的數據在 VB 進行處理，最後透過晶片控制各種元件。本系統之自動控制流程圖如圖 2.1.2 所示，包含五大部份控制，以下分節敘述。

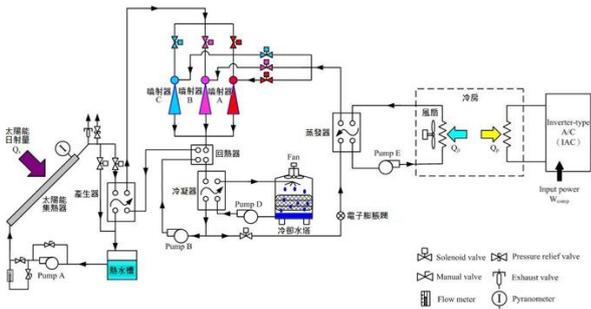


圖 2.1.1 噴射主機架設圖

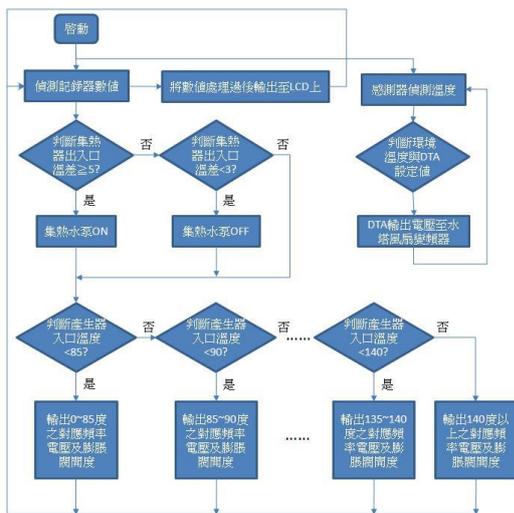


圖 2.1.2 系統自動控制流程圖

2.2 各泵浦啟閉控制

直接利用 VB 經由串列埠(RS-232)連結到單晶片(89S51)控制一腳位輸出 5V 訊號，經過電流放大以推動電子電驛，再將放大後之訊號送到低態動作電路，再接到電路盤上面的電磁接觸器；再經過外部過載保護接到啟動電源接點，進而將馬達做到使用電腦控制其啟閉；包括集熱水泵、蒸發器冷水循環泵浦、外部冷卻水泵等之控制。

2.3 冷媒泵浦變頻控制轉速

變頻器控制部分是用 VB 透過 RS-232 去驅使單晶片輸出 0~10V，再由變頻器內部電路將 0~10V 轉換為 0~60Hz(表 2.3.1)。

DAC0800 是用來將數位訊號轉成類比訊號(在這邊 89S51 輸出 5V 為 0，輸出 0V 為 1)，利用 8 個輸出腳位輸出 1/0，做出 2 進制 8 位元的訊號給 DAC0800，DAC0800 會用收到的數位訊號控制輸出電流，再由輸出端接上可變電阻得到需求電壓值。將兩端電壓接至變頻器上的 AVI(正端)、ACM(負端) 接腳。而變頻器需設定為外部電路控制模式，即可完成變頻控制。

表 2.3.1 電路訊號與頻率對照表

T3	頻率(Hz)	對應訊號(二進位)
< 85	0	00000000
< 90	19.2	01001111
< 95	31.2	10000000
< 100	36	10010100
< 105	40.8	10100111
< 110	43.2	10110001
< 115	45.6	10111011
< 119	48	11000101
< 122.5	50.4	11001111
< 130	52.8	11011001
< 135	55.2	11100011
< 140	57.6	11101101
≥ 140	60	11110111

2.4 電子膨脹閥開度控制冷媒流量

電子膨脹閥乃一步進馬達，控制其正反轉即可控制其開關，細微調整即可調整開度，為其輸入訊號造成之激磁控制。

使用 FT5754 晶片將訊號放大，FT5754 是 4 組達靈頓(電流放大電路)所形成的晶片，用以推動線圈和中間轉子進行感應而轉動，使用 89S51 輸出以上訊號及控制旋轉步數達成開關控制。

2.5 LCD：將動作功能數據送至外部顯示

由 LCD 的 RS、R/W 腳位高低變化設定各項功能，再由 DB0~DB7 送出相關資料(設定位元或 Ascii 碼)，最後令 EN 送出負緣訊號讓 LCD 執行動作來達到 LCD 顯示功能。由於控制 LCD 需使用延遲讓 LCD 有時間完成動作，在不使用計時器中斷下，延遲時間內便無法控制其他元件，故將兩個 LCD 由同一塊單晶片控制，一則方便監看，二來也降低了系統開發難度。

2.6 冷凝水塔風扇自動變頻控制

利用室外環境的感測溫度和 DTA(溫度控制器)設定值做比較，在將 DTA 所產生之 0~10V 電壓訊號送至變頻器，對水塔風扇進行變頻控制。使其在環境溫度超過設定值時才會啟動風扇並且依照溫度變化其轉速。

夏天環境溫度偏高，將溫度設定在 27 度；冬天環境溫度偏低，將溫度設定在 23 度；春、秋兩季將溫度設定在 25 度。

2.7 太陽能集熱效率測試取樣方法

集熱效率測試方法以穩態測試法最為可靠，ANSI/ASHRAE 93-1986 標準已針對穩定度問題與暫態現象的影響做了大幅度的修訂並嚴格限制測試條件，但台灣地區若以此標準會常因氣候不穩而影響測試的結果。故 B.J.Huang et al.[1]基於 ANSI/ASHRAE 93-1986 標準做進一步修改。本研究係採用 B.J.Huang et al.[1]修訂後之標準[9]

- 1.照射在集熱器表面的太陽輻射量變化不得超過 $0.025\bar{I}_T$ ；
- 2.集熱器入口溫度之變化容許 $\pm 2\%$ 或 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，取其大者；
- 3.大氣溫度變化容許 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ ；
- 4.穩態維持時間 10 分鐘，效率計算期間為後 5 分鐘。

3. 結果與討論

此太陽能製冷系統主要是利用 0.5RT (1.75kW)噴射式製冷系統，搭配太陽能集熱系統，將太陽熱能轉換為冷氣，與市售 1RT 變頻空

調機並聯使用。可以穩定的提供 1.75kW(0.5RT)的冷氣能力，滿足全年空調需求。太陽能則用來驅動噴射式冷氣系統，供應冷氣負載，降低變頻空調機的耗電。集熱系統採用金屬集熱真空管 48 片組成的大型系統，集熱面積為 52m^2 。

3.1 太陽能集熱性能測試

本研究太陽能集熱器有 48 片，一片面積 1.08m^2 。所使用工作流體為濃度 80%乙二醇，因乙二醇與水的特性不同，需再以乙二醇比熱與密度特性求出一線性方程式。

原集熱效率之定義：

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p\Delta T_{ci}}{\bar{I}_T A_c} \quad (1)$$

集熱效率公式經修改後為：

$$\eta = (24.5/60)*(-0.0007* \Delta T/2+1.1259)*(5.3303* \Delta T/2+2556.4)* \Delta T/(It*1.08*48)*100\% \quad (2)$$

ΔT =集熱器入出口溫差

$$80\% \text{ 乙二醇密度} = -0.0007 \Delta T + 1.1259 \quad (3)$$

$$80\% \text{ 乙二醇比熱} = 5.3303 \Delta T + 2556.4 \quad (4)$$

本次研究取樣時間為 2011 年 8 月中旬至 10 月中旬，各日集熱效率與操作參數(X 值)為一點連成一趨勢線(圖 3.2.1)。

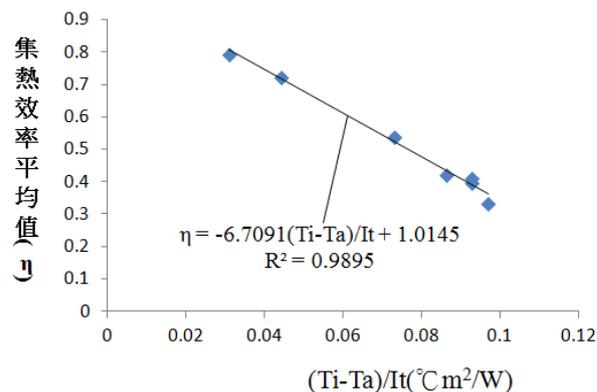


圖 3.1.1 集熱效率與 X 值散佈圖

3.2 各日集熱效率與冷氣性能係數 COP

冷氣性能係數 COP 平均值與集熱效率平均值(表 3.3)，取樣數據均為穩態時間之後五分鐘。

表 3.2.1 集熱效率平均值

日期	集熱效率平均值
2011/8/12	0.890
2011/9/16	0.413
2011/9/17	0.423
2011/9/18	0.333
2011/9/21	0.399
2011/10/17	0.724
	0.539

圖 3.2.3 2011/9/18 各數值之曲線圖

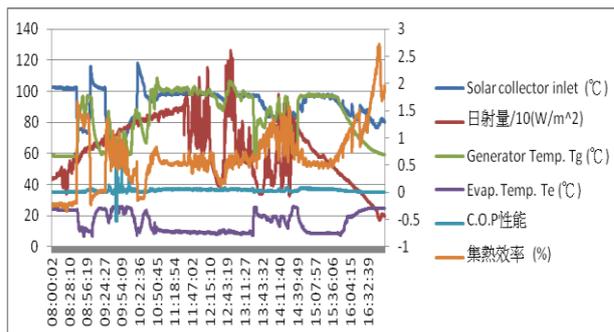


圖 3.2.4 2011/10/17 各數值之曲線圖

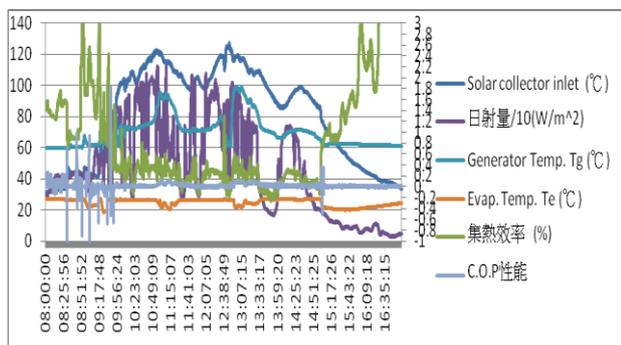


圖 3.2.1 2011/8/12 各數值之曲線圖

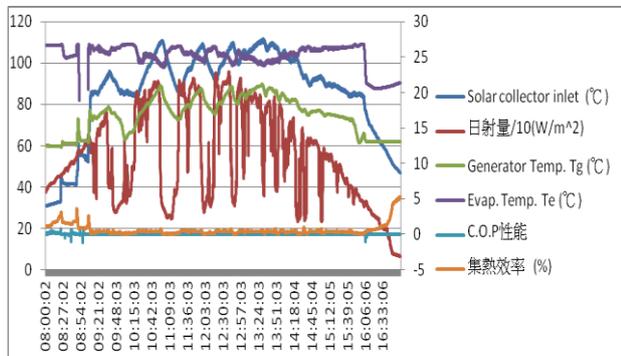
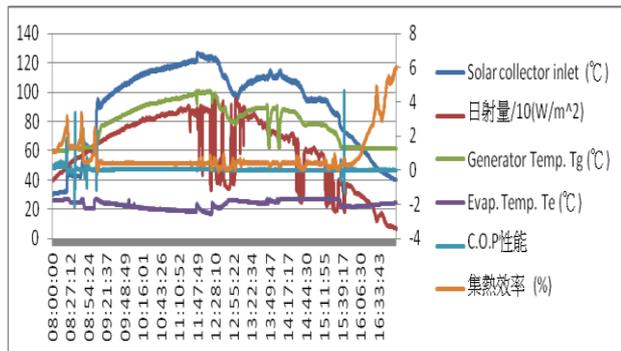


圖 3.2.2 2011/9/16 各數值之曲線圖



3 結論

本研究經過太陽能冷氣系統之自動化控制後，已能 24 小時自動運轉；在性能測試方面，針對大型太陽能集熱系統目前未有一套標準的數值評估與量測的驗證方法，本研究已能測試與分析出其集熱性能曲線，以提供日後對此部份建立驗證測試方法以及建立模擬評估方法之依據，可納入綠建築太陽能熱水新規範，提昇綠建築節能效益。

4 參考文獻

1. 胡勝雄，先進噴射式製冷系統研發，台灣大學機械工程研究所碩士論文，2005。
2. 陳世偉，雙輸入雙輸出模糊控制於泵浦控制之研究，中央大學機械工程研究所碩士論文，2004。
3. Man Gyun Na, "Auto-Tuned PID controller Using a Model Predictive Control Method for the Steam Generator Water Level," IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 48, NO. 5, OCTOBER 2001.
4. Peter J. Campo, Manfred Morari, "Model Predictive Optimal averaging level control" AiChE J. 35(4) (1989) 579-591.
5. E. Irving, C. Miossec, and J. Tassart, "Toward efficient full automatic operation of the pwr steam generator with water level

- adaptive control,” in 2nd Int. Conf. Boiler Dynamics and Control in Nuclear Power Stations, Bournemouth, U.K., Oct. 1979, pp. 309–329.
6. M. G. Na and H. C. No, “Design of an adaptive observer-based controller for the water level of steam generators,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 135, no.3, pp. 379–394, July 1992.
 7. David Cartes, Lei Wu, “Experimental evaluation of adaptive three-tank level control” *ISA Transactions* 44 (2005) 283-293.
 8. K. A. McDonald, T. J. McAvoy, A. Tits, “Optimal averaging level control” , *AiChE J.* 32 (1) (1986) 75 - 86.
 9. 黃秉鈞、顏瑞和、賴君亮、陳希立，自然循環式太陽能熱水器性能改良與測試標準研究(二)，經濟部能源委員會，1989。