

變頻壓縮機冷凍系統之量測與分析

張仁豪 謝文健*

國立勤益科技大學 冷凍空調與能源系

*hsiehwc@ncut.edu.tw

摘要

本研究以交流變頻控制壓縮機的轉速進行壓縮機變頻對冷凍系統性能影響的研究。實驗控制壓縮機頻率由 40Hz 逐漸增加至 70Hz，量測壓縮機頻率改變過程中對冷凍系統的蒸發溫度、冷凝溫度、冷媒流量、冷凍性能係數與系統冷凍能力的影響。結果顯示增加壓縮機的頻率會降低蒸發溫度，提升冷凝溫度並增加冷凍系統的冷媒流量與冷凍能力，但冷凍系統的性能係數則以 40Hz 時為最佳。

關鍵字:變頻壓縮機、冷媒流量、性能係數

1.前言

由於溫室效應導致全球環境變遷與石化能的枯竭致使能源價格飆漲，使全球在哥本哈根會議達成對節能減碳的共識，要求在各個國家與各個產業均負起一定的節能環保責任，會議雖然沒有達成法律上的協議，但達成的共識使全球各國在其經濟發達過程中將節能減碳等議題加入考量，這也使得各項耗能產品包含冷凍空調設備的效能標準逐步提高。尤其空調耗電佔一般商業大樓耗電量通常均超過百分之四十，在夏季時更超過百分之五十，因此冷凍空調的耗能也就經常在節能檢討備提出。

在整個冷凍空調設備中，耗電量最大的當屬壓縮機，雖然壓縮機的節能方式有許多，但目前壓縮機最有效率的卸載節能方式當屬變頻方式的冷媒變流量卸載。在小型變頻空調機中以日本發展的最早，目前主要的製造商有：日立 (Hitachi)、三菱電機 (Mitsubishi)、三菱重工 (MHI)、大金 (Daikin)、東芝 (Toshiba) 等公司。由於有風管的箱型空調機初期購置成本較高，因此發展出無風管

的分離式箱型空調機，而且為了滿足較大冷氣能力的要求，更開發出所謂的 VRF (Variable Refrigerant Flow) 系統，可使得多台室外機 (冷凝器) 可以同時搭配多台室內機 (蒸發器) 使用，這種設計適用於一般辦公大樓及住宅區。

變冷媒流量系統的主要技術特徵在系統卸載時，壓縮機能有效率的卸載，日系廠商使用的壓縮機卸載，主要是以直流變頻的方式來達成如 Dutta et.al.[1]，而美國 Copeland 公司則使用數碼渦捲壓縮機的方式來卸載如 Hu 及 Yang[2]、楊[3]，至於台灣業者則受限於直流壓縮機的技術無法突破，因此本土使用的變頻系統大多仍為交流變頻如謝等[4]。由於壓縮機的有效卸載使冷凍空調系統在系統卸載時能有效的維持運轉效率，因此相對於傳統的卸載方式，能有效的節約能源[5]，因此我國在 2007 年能源科技研究發展白皮書[6] 中，將變頻空調機列入國內未來重點技術推動策略與時程中。

有關變冷媒系統的原理，邵雙全等[7]-[11]作了一系列的介紹，定義各種變冷媒空調系統，介紹各種單冷、熱泵及熱回收型多元變冷媒空調系統的工作原理和性能特點，指出了在多元 VRF 空調系統中尚需解決的問題，同時針對變冷媒系統的壓縮機，電子式膨脹閥，冷凝器，蒸發器等元件的協同控制提出建議。楊[12]針對台灣濕熱氣候，研究 VRV 空調系統對建築物的省能效益與全尺度的實驗驗證，蘇[13]則針對 VRV 空調系統在日常空調效率節能指標 EAC 應用的研究，建立 VRV 空調系統節能效率 EAC 的評估方式，以期 EAC 評估模式能突顯優良空調系統的節能效率。黃[14]則以 eQuest 模擬軟體，將定頻空調系統與可變冷媒流量系統比較，比較在每月份不同負載率情況下之性能效率差異。結果發現，比較直膨式定頻系統與

可變冷媒流量系統月平均系統性能係數，差異大約介於10%~40%。Afifty[15]則提出了變冷媒流量系統從設計、選機、安裝，試車以及維修保養上的注意事項，以提供VRF系統設計者的參考。姜[16]以實驗方法研究變冷媒流量系統，在製冷與製熱階段的回油問題，以提供VRF系統設計時的參考，經過實驗和研究之後得出，製冷運行時的主要存油管段是室內機過熱區到氣液分離器。這段管路很長，存油量，所以需要考慮回油。制熱時的存油管段主要是室外機過熱區到氣液分離器，這段管路短，存油量小，對整體影響不大。根據礦物型潤滑油在製冷劑中的溶解特性，回油的措施是讓大量的製冷劑液體通過存油區，將潤滑油帶回氣液分離器。王等[17]針對VRV系統進行了分析研究，其結果顯示：採用高效渦旋壓縮機、冷(熱)量直接由製冷劑輸送和冷(熱)量隨負荷靈活調節，使得VRV系統具有較高的COP和運行穩定性；同時也指出，回油問題、配管長度的限制和大量冷媒的使用，成為VRV系統應用時應注意的問題。

2. 實驗目的

- 一、了解冷凍變頻系統壓縮機在不同頻率變化下之特性。
- 二、紀錄冷凍變頻系統在不同頻率變化下所測得之數據，並將所測得之數據以圖示呈現探討分析以提供設計變冷媒系統的參考。

3. 系統管路圖與主要元件介紹

3.1 系統管路圖

圖1及圖2分別為「冷凍變頻系統」與「冷凍變頻系統管路圖」：

主要包含冷凍四大元件—壓縮機、冷凝器、蒸發器與膨脹閥。



圖 1. 冷凍變頻系統照片

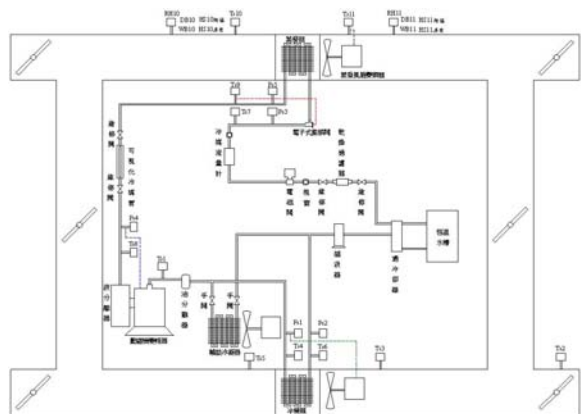


圖 2. 冷凍變頻系統管路圖

3.2 主要元件介紹

冷凍變頻系統所使用之主要元件分別為變頻壓縮機、變頻調速器、冷凝器、蒸發器、風扇變頻器、電子式膨脹閥、冷媒流量計、可視化冷媒玻璃管與壓力溫度感測器，現就以上述元件做介紹：

3.2.1 變頻壓縮機與變頻調速器：

系統所使用之壓縮機為變頻壓縮機2KV196-N7AA02(3455Kcal)，變頻器為異步電機變頻調速器ATV31HU22M3XA。如圖3及4所示。其原理是經由控制壓縮機的供電頻率，使壓縮機達到變頻的效果。



圖 3. 變頻壓縮機



圖 4. 異步電機變頻調速器

3.2.2 冷凝器與蒸發器：

系統所使用之冷凝器為4564Kcal TD 12°C，蒸發器為3871Kcal ED -5°C。

冷凝器原理是將高壓高溫之氣態冷媒，經冷卻介質冷卻成高壓中溫之液態冷媒。蒸發器則是將低壓中溫之液態冷媒，經由蒸發器吸熱後達到低壓低溫之氣態冷媒。

3.2.3 風扇變頻器：

系統所使用的風扇變頻器W5TZ4V030-23C。如圖5所示。其目的是利用風扇變頻器來控制風扇轉速，在不同變化下達到適合系統所需要之轉速。在本實驗中則以定速進行。



圖 5. 風扇變頻器

3.2.4 電子式膨脹閥：

系統所使用之電子式膨脹閥為EDM-152FKT-30。如圖6所示。其原理是以機磁線圈通以電流形成電磁力，做為驅動閥體的動力，並藉由兩組溫度感知器置於蒸發器出入口位置，將感知器所得到之訊號由電腦計算後，傳輸至膨脹閥的電磁線圈，指示其旋轉開度。



圖 6. 電子式膨脹閥

3.2.5 冷媒流量計：

本系統所使用的冷媒流量計為KCM0300.1-HD-RF 1/2". PN200-2。如圖7所示。其目的為量測出冷媒在不同頻率下的變化量。



圖 7. 冷媒流量計

3.2.6 可視化冷媒玻璃管：

圖8為可視化冷媒玻璃管。目的在能清楚看到冷媒經由蒸發器流出後的狀態為何，來判斷系統目前狀況。



圖 8. 可視化冷媒玻璃管

3.2.7 壓力、溫度感測器：

圖9為壓力感測器YD0809與溫度感測器。經由感測器所量測之數據傳至電腦，來取得壓力與

溫度之資料。

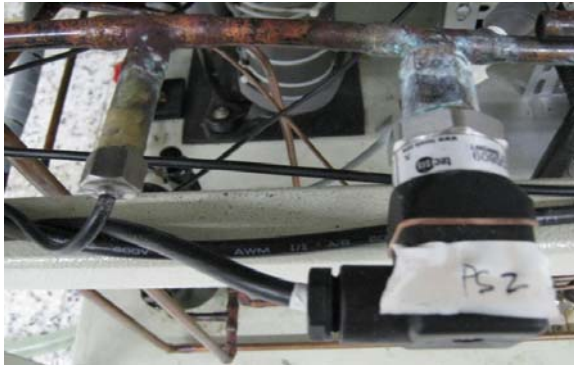


圖 9. 壓力與溫度感測器

4 實驗操作步驟

開啟冷凍變頻系統電源，接著將觸控式螢幕電腦開機。開啟後點擊IE瀏覽器，並出現如圖11所示的畫面。將圖11中的主機設定二打開，以便調整實驗所需設定之參數，如圖12所示。並藉由圖13中的控制器來調整壓縮機、冷凝器與蒸發器的變頻量。

本實驗為探討壓縮機在不同頻率下系統的變化，因此將實驗參數之冷凝器與蒸發器頻率設定在60HZ，壓縮機頻率設定範圍在40HZ、45HZ、50HZ、55HZ、60HZ、65HZ與70HZ。實驗過程中，電腦會將實驗數據紀錄起來，如圖14所示。並利用此數據進行分析與探討。

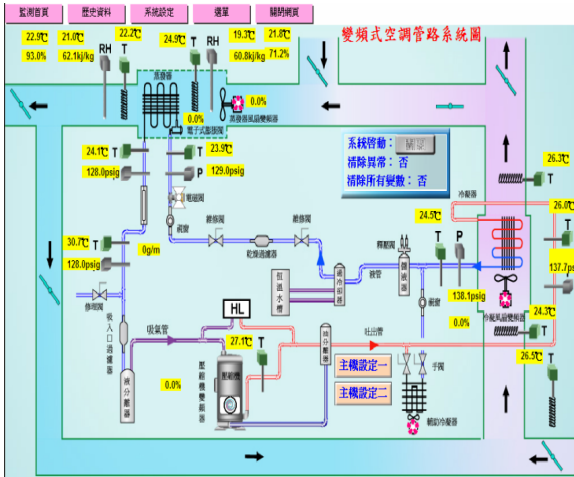


圖 11. 變頻式空調網路監測首頁



圖 12. 變頻式冷凍測試系統狀態與設定



圖 13. 手動變頻控制器

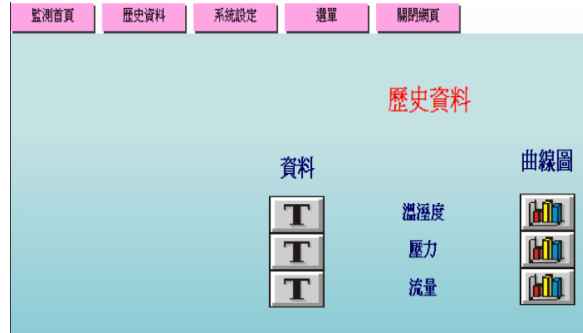


圖 14. 歷史資料

5. 結果與討論

利用EXCEL將試驗所量測到之數據以圖示呈現，主要目的是為了瞭解壓縮機在不同頻率轉速下之蒸發溫度、冷凝溫度、冷媒流量、冷凍性能係數與冷凍能力的系統變化，並針對不同的變化來進行分析與探討。

5.1 蒸發器之蒸發溫度

圖15為壓縮機在不同頻率下之蒸發溫度的變化，由此圖可得知當壓縮機頻率在40HZ時，蒸發溫度為最高，當頻率越大，則蒸發溫度越低。

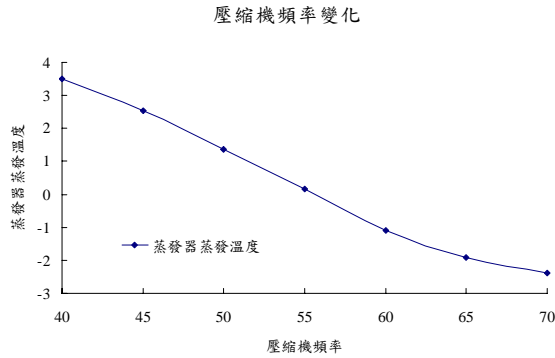


圖 15. 不同頻率下蒸發器之蒸發溫度變化

5.2 冷凝器之冷凝溫度

圖16為壓縮機在不同頻率下之冷凝溫度的變化，由此圖得知當頻率越大時，冷凝溫度越高。

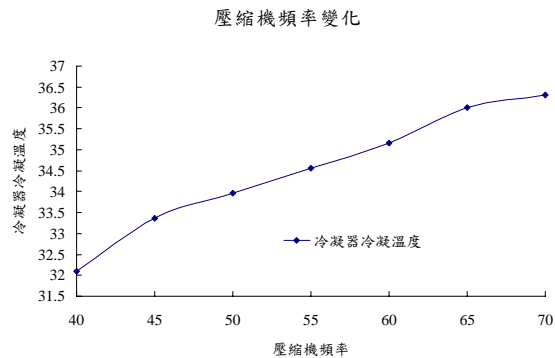


圖 16. 不同頻率下冷凝器之冷凝溫度變化

5.3 冷媒流量

圖17為壓縮機在不同頻率下之冷媒流量的變化，由此圖得知當頻率越大時，冷媒流量上升的幅度越大。

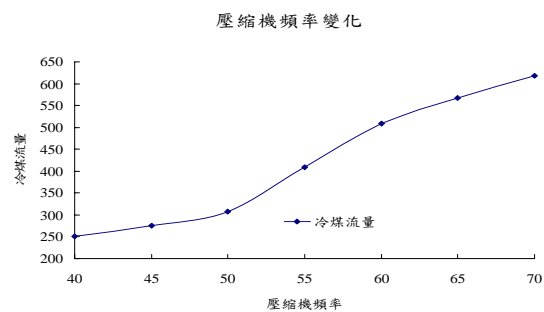


圖 17. 不同頻率下冷媒流量變化

5.4 冷凍性能係數

圖18為壓縮機在不同頻率下之冷凍性能係數

(COP)的變化，由此圖得知當頻率越大時，冷凍性能係數反而越來越低。

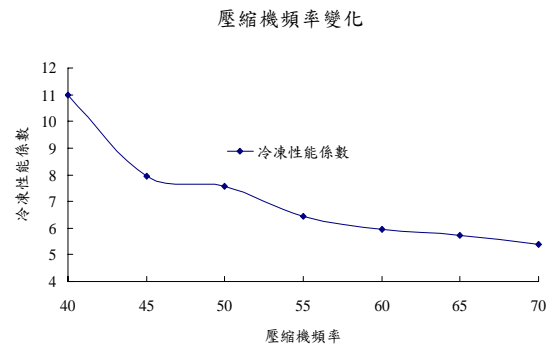


圖 18. 不同頻率下冷凍性能係數變化

5.5 冷凍能力

圖19為壓縮機在不同頻率下之冷凍能力的變化，由此圖得知當頻率越大時，系統的冷凍能力越高。

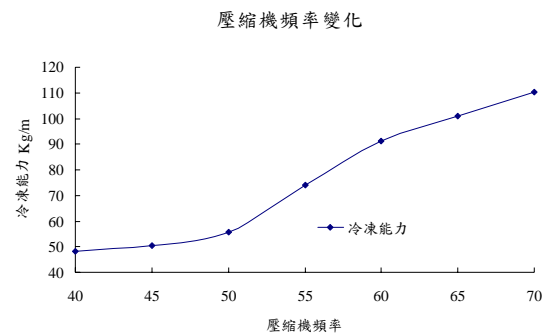


圖 19. 不同頻率下冷凍能力變化

由上述結果可知，壓縮機頻率在40HZ時，因為處於低轉速狀態，壓縮機壓縮功不大，使得冷凝溫度較低，蒸發溫度較高，系統的性能係數將較大。當壓縮機頻率提高時，壓縮功會變大，壓縮能力也變強，此時冷凝溫度因壓縮機頻率的提升而升高，蒸發溫度則降低。流量也因壓縮機的頻率而有所變化，當頻率提升時，冷媒流量也隨之升高。

冷凍能力為冷凍效果乘上冷媒流量，因此冷媒流量越高，冷凍能力也越高。但從圖18得知壓縮機轉速提升後冷凍系統性能係數卻是下降的，原因為冷凝器與蒸發器的散熱量與吸熱量增大，使得壓縮機因頻率提升而升高的能力得以迅速將熱量排除，也因為高頻時的高冷凝溫度與低蒸發

溫度，使得冷凍系統的性能係數反而降低。由結果得知在實驗條件下當冷凝器與蒸發器風扇頻率在60HZ時，壓縮機頻率在40HZ的冷凍性能係數是較佳的。

5. 結論

1. 當冷凝器與蒸發器風扇定頻在60HZ時，經由實驗量測所得之數據，可知壓縮機頻率在40HZ時的冷凍性能係數比其他頻率下的性能係數來的好。

2. 使用變頻冷凍系統的原因在於，系統在運轉中是以實際室溫與使用者設定之溫度差(負載)，來決定壓縮機是否在高速下運轉，若達到某一溫度差時，則可降低壓縮機轉速，使壓縮機不須在低效率的高頻運轉，保持穩定室溫，達到省能效果。

雖然由上述的實驗，可得知在本實驗操作條件下，冷凝器與蒸發器風扇變頻在60HZ時，壓縮機在40Hz時有最佳的性能係數，但在實務設計上除了考量係能係數，尚需考慮系統所需的冷凍能力。因此如果能針對各種操作條件建立適當的壓縮機配置，使各個壓縮機均運轉在最佳的運轉狀態，則能提高冷凍系統整體的運轉效能。

6. 參考文獻

1. A.K. Dutta, T. Yanagisawa, M. Fukuta, "An investigation of the performance of a scroll compressor under liquid refrigerant injection," International Journal of Refrigeration, 24, pp.577-587 2004.
2. Shih-Cheng Hu, Rong-Hwa Yang, "Development and testing of a multi-type air conditioner without using AC inverters", Energy Conversion and Management 46 pp.373-383, 2005
3. 楊榮華, 「一對多可變容量空調機系統研究」, 國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所碩士論文, 中華民國九十一年。
4. 謝文德、鍾弘道、謝燕廷, 「本土研發 便利商店區域 省能監測系統」, 能源報導, 34, 2月, 2009。
5. Nye, H. "Digital variable multi A/C technology passes test." *Air Conditioning, Heating, & Refrigeration News*, January 14. 2002.
6. 2007年能源科技研究發展白皮書, ISBN: 9860117020, 經濟部能源局, 96年。
7. 邵雙全、石文星、李先庭、彥啟森著, 「多元變頻VRV 空調系統原理」, 製冷與空調(北京), 2003年第3卷第2期。
8. 邵雙全、石文星、李先庭、彥啟森著, 「VRV 空調系統特性與控制策略研究(一)-電子膨脹閥與蒸發器聯合調節特性與控制策略」, [第十屆全國冷\(熱\)水機組與熱泵技術研討會《流體機械》](#), 2001年 第10卷。
9. 邵雙全、石文星、李先庭、彥啟森著, 「VRV 空調系統特性與控制策略研究(二)-壓縮機與冷凝器聯合調節特性與控制策略」, [第十屆全國冷\(熱\)水機組與熱泵技術研討會《流體機械》](#), 2001年 第10卷。
10. 邵雙全、石文星、李先庭、彥啟森著, 「VRV 空調系統特性與控制策略研究(三)-蒸發器與壓縮機聯合調節特性與控制策略」, [第十屆全國冷\(熱\)水機組與熱泵技術研討會《流體機械》](#), 2001年 第10卷。
11. 邵雙全、石文星、李先庭、彥啟森著, 「VRV 空調系統特性與控制策略研究(四)-冷凝器與電子膨脹閥聯合調節特性與控制策略」, [第十屆全國冷\(熱\)水機組與熱泵技術研討會《流體機械》](#),

2001年 第10卷。

12. 楊冠雄，「VRV空調系統於溼熱氣候下之建築物省能效益分析與全尺度實驗印證」，NSC92-ET-7110-003-ET，行政院國家科學委員會，92年
- 13 蘇倫，「變冷媒量 (VRV) 空調系統於日常節能指標EAC應用之研究」，國立中山大學機械與機電工程研究所碩士論文，中華民國九十五年
- 14 黃庭裕，「可變冷媒流量系統運用於辦公類建築之年均權重性能係數分析」，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士班碩士學位論文，中華民國九十八年。
- 15 Afify, Ramez , "Designing VRF Systems," pp.52-55, ASHRAE Journal, June 2008.
- 16 姜俊濱，「變頻多聯機回油問題探討」，制冷与空调，第3卷第5期，2003年10月
- 17 王洪利; 馬一太; 姜雲濤; 李敏霞，「多聯機VRV系統研究」，中國製冷學會2007學術年會論文集，2007年。