

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

階層式混合冷媒冷凍機的設計與測試

計畫編號：NSC88-2212-E-009-013

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：盧定昶 交通大學機械系教授

## 一、中文摘要

本計畫採用的冷凍系統是以氣冷式進行熱交換，及使用環境控制室來控制外界環境溫度變化，以進行實際性能分析。冷凍庫容積為 250 公升，工作流體為 R-404a，壓縮機為 1/3 馬力，搭配積液式熱交換器 (LOF-AHX : Liquid Over Feeding-Accumulator Heat Exchanger) 裝置在冷凝器出口與蒸發器出口之間的迴路，以進行熱交換使獲得過冷度與過熱度，並兼具液汽分離器的功效以保護壓縮機免於液壓縮。先測試無 LOF 時的狀態，再經由控制閥開關調整為 LOF 裝置以利進行測試比較。此測試結果顯示有 LOF 時，蒸發器熱交換用的盤管量可充分發揮效能，並可使冷凍庫溫度下降時間較快，當外界溫度為 27°C 時 COP 值比無 LOF 時高出 11%，且可獲得較低的壓縮機吐出溫度及較低的壓力比。

## Abstract

In the present study, a refrigerating system was built with air-cooling heat-exchangers and tested with adjusted room temperature in the environment control room in order to analyze the functional performance of the refrigerating system. The volume of the cooling space is

250 liter, driven by a 1/3 HP compressor with working fluid R-404a. The refrigerator is equipped with an LOF-AHX (Liquid Over Feeding-Accumulator Heat Exchanger) in which a piping circuit is assembled in both the outlet of the condenser and the outlet of the evaporator with heat-exchange effects so as to attain the degree of the subcooling and superheat of the working fluid. The LOF-AHX is also used as the liquid-vapor separator to protect the compressor from liquid compression. We tested the state with absence of LOF, and switched the control valve to LOF loop for the comparison of the test results. The results showed that the evaporator could perform effectively with the LOF-AHX, and would shorten the period of temperature drop in the refrigerator. When the room temperature is 27 °C, the value of COP of the system with LOF is 11 % higher than that without LOF, with lower discharge temperature and lower pressure ratio.

## 二、計劃緣由與目的

台灣的冷凍冷藏產業市場，每年約有 300 億元的產業規模，而針對不同類型的消費型態與場合，發展出許多不同樣式的系統或產品。但許多超市、便利商店使用的冷凍冷藏展示櫃及小型冷凍庫方面，大多為拼裝產品，缺乏標準規範，導

致能源效率參差不齊，無法符合國際間對節約能源和環境保護的效應。因此在競爭力與未來發展上，亟需適當的進行技術與零組件整合，尤其是使用環保冷媒所延伸的系統應對技術，針對產品的研發、生產製程與行銷成本兼顧的情形下，使台灣加入國際市場時，冷凍冷藏業界可以有足夠的競爭能力。

本實驗基於節約能源與環境保護的目標，改良冷凍循環系統，藉由在冷凝器出口與蒸發器出口之間的迴路，增設積液式熱交換器(LOF - AHX ; Liquid over feeding - accumulator heat exchanger)，使獲得過冷度與過熱度，並充分發揮蒸發器熱交換用的盤管量，以提升系統的整體效率；並使用環保冷媒 R-404a 為工作流體，來探討性能上所提升的效應。

LOF 系統已成功的使用在冷媒為為氨(ammonia)的冷凍系統，在 ASHRAE handbook(1990)[1]冷凍技術手冊中有介紹系統結構理論。而在實驗研究上 LOF 系統冷媒過量充填設計觀念，係由美國樹橡嶺國家實驗室梅文中(Vince C.Meil)博士所領導的研究群提出。

1994 年 Mei 等人[2]利用 LOF 系統在汽車空調上做測試研究，工作流體為 R-134a，採一般習用的熱膨脹閥(TXV ; thermal expansion valve)和限流閥(metering valve)及限流閥搭配 LOF 之三種系統做比較。其結果指出 LOF 可有效的使蒸發器 100% 盤管量作為吸熱蒸發用，且有較低的壓縮機吐出溫度及較高的冷媒流量，使得冷凍能力比原先的 TXV 高出 26%。並指出 LOF 有較低

的功率消耗，使得 COP 值較高，但 COP 值的增加量會隨著轉速上升而增加較少。1995 年 Mei 等人[3]分別使用工作流體為 R-22 及三元混合物(R-32/R-125/R-134a ; 30%/10%/60%)，並搭配 LOF 應用在現成的窗型空調機(EER=10)上做測試。指出混合物搭配 LOF 時有較低的吐出溫度、較低的壓力比與較低的功率消耗，整體利益來的較明顯。而且混合物在熱交換容器(AHX)內沸點較低的 R-32 及 R-125 會先蒸發，進而改變迴路中冷媒成分比例，使得冷凍能力再提高，尤其是原初所含的 R-32 比例較高時會增加更多。在 1996 年 Mei 等人[4]將 LOF 設備放置在冷凍能力為 2 tons、能源效率(EER)為 10 的窗型空調機上做測試，工作流體為 R-22。當室外側環境溫度為 28 °C 時，冷凍能力及性能係數(COP)分別可增加 14%及 10%，但隨溫度的增加時其增加量則有較少的趨勢；並提出系統有一個最佳化的過度充填量。1997 年 Mei 等人[5]採 R-22 搭配 LOF 應用在裝有驟冷閥(quench valve)的軍事用途空調機(冷凍能力為 3.3 ton)上，指出可適用在較大的工作環境溫度範圍。在 35°C 時其冷凍能力與 COP 值分別可提升 18%與 29%，且蒸發器出口之乾球溫度與濕球溫度皆較低，並擁有較低的功率消耗。

尋找單一成分冷媒並不容易，Didion and Donald (1990)[6]說明冷媒的混合可以為此問題帶來解決的辦法，藉由改變組成比例來調整冷媒的性質，以達到需求。Aprea and Mastrullo(1996)[7]分析在冷凍系統

中替代 R-502 之冷媒所展現的特性比較，指出 R-404a 擁有最低的壓縮機吐出溫度及較高的壓縮比(因為排氣壓力較高)，在綜合客觀特性並考慮環保要素下，認為 R-404a 是最佳替代物的選擇。

### 三、研究方法

本實驗是以冷媒 R-404a (R-125/R-143a/R-134a; 44% /52% /4%)，作為具 LOF-AHX 之冷凍系統的性能分析。系統中的膨脹裝置採用價格便宜、構造簡單的毛細管，而壓縮機為 1/3HP。實驗過程中針對外界環境溫度的變化，來量測分析冷凍系統有無加裝 LOF-AHX 的性能差異。並進一步探討不同的過度充填量對系統造成之影響，而找出過度充填量之最佳化值。更進一步探討不同毛細管尺寸對系統性能的影響，以找出適當尺寸。實驗設備中的冷凍系統主體如圖一所示，其冷凍庫容積為 250 公升，並包含可控制外界環境溫度的環境控制室、數據擷取系統及冷凍庫內溫度控制系統。

### 四、結果與討論

此 LOF 容器具有熱交換所獲得的過冷度與過熱度功能，並兼具液汽分離器的效能，以保護壓縮機免於液壓縮。茲將本實驗結果分下列幾項加以討論：

(1) 有無裝置 LOF 的差異性:有 LOF 的系統在外界環境溫度 27°C 時，COP 值可高出無 LOF 者 11%，且冷凍庫內溫度下降較

快；乃因於蒸發器出口狀態為接近飽和汽，使得蒸發器盤管量能充分發揮熱交換功能而不需負擔過熱度的任務。並可獲得較多的過冷度與過熱度，且壓縮機的吐出溫度較低可保護冷凍油性質，及可獲得較低的壓縮比。

(2) 外界環境溫度變化的影響：當外界環境溫度越低時系統所顯示的性能將越好，但 COP 的增加量將隨溫度的上昇而減少。

(3) 冷媒過度充填量的影響：由於 LOF 容器內增加熱交換用的圈狀管路及積液量，將使得充填量必須增加，但有一最佳化的過度充填量。若充填量過多，則 COP 值的增加量將減少，甚至較差。若充填量太少，則無法顯示出效能，與無裝置時沒什麼分別。

(4) 毛細管尺寸變化之影響：以無裝置 LOF 時，系統所適合的毛細管尺寸作為測試變更之依據，結果顯示可直接採用原未裝置的尺寸。

### 五、計畫成果自評

本實驗採用的冷凍系統係模擬實際運轉情況，以氣冷式進行熱交換，並以冷凍庫作為性能的評估分析，以期能達到商品實務效能。而 LOF-AHX 所顯示出的優勢性能，可帶給商場上應用的價值性頗高，比目前市面採用的積液省能熱交換器之結構更簡單化、成本也較低。但本系統目前庫溫狀態只達到 -3°C ~ -8°C 之間，尚未達到原先預設理想目標 -20°C 的冷凍庫溫，歸因於系統組件搭配尚未達到最佳化：包括 LOF

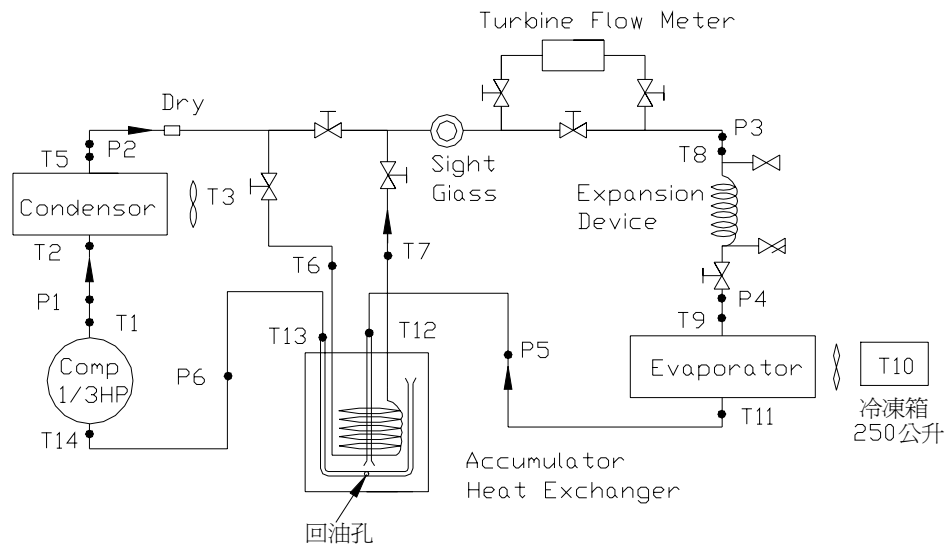
容器內用來熱交換的盤管圈數設計、毛細管最佳尺寸、冷媒充填量最佳值及積液量控制充填方法。

#### 六、參考文獻

1. ASHRAE. 1990. handbook – Refrigeration, chap. 2. Atlanta : American of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
2. Mei, V. C., Chen, F. C., and Sullivan, R. A., 1994. “ Experimental Study of A Liquid Overfeeding Mobile Air-Conditioning System. “ ASHRAE Transaction Vol.100, Pt. 2.pp.653~656.
3. Mei, V. C., Chen, F. C., Chen, D. T., and HuangFu, E. –P., 1995. “ Performance Test of R-22 and R-32/ R-125/ R-134a Mixture for Baseline Air Conditioning AndLiquid Over Feeding Operation. “ASHRAE Transaction: Vol.101, Pt.2. pp. 1072~1077.

and Jennings, L. W., 1996. “ Experimental Study of a Liquid Overfeeding Window Air Conditioner. ASHRAE Transaction : Vol.102, Pt.1. Research 3938, pp. 63-67.

5. Mei, V. C., Chen, F.C., and Bolton, C. W.,1997.“ A Liquid Overfeeding Military Air Conditioner with a Quench Valve. “ ASHRAE Transaction: Vol.103, Pt.1 .Research, 4020, pp. 107-112.
6. Didion, D. A., and Donald, B. B., 1990. “ Role of Refrigerant Mixtures As Alternatives to CFCs.” Int. J. Refrig., Vol. 13, pp.163-175.
7. Aprea, C., and Mastrullo, R., 1996. “ Behavior and Performances of R-502 Alternative Working Fluidsin Refrigerating Plants. “ Int. J. Refrig. Vol. No.4, pp.257-263.



4. Mei, V. C., Chen, F. C., Chen, t. D.,

圖一 實驗設備圖