

非共沸混合冷媒在自動階層式冷凍系統之設計 (1/2)

The Design of The Auto-Cascade Refrigeration System with Nonazeotropic Refrigerant Mixtures

計畫編號：NSC 90-2212-E-009-047-

執行期限：90 年 8 月 1 日～91 年 7 月 31 日

主持人：盧定昶 交通大學機械系 教授

計畫參與人員：江奇峰 交通大學機械所 研究生

一、中文摘要

本計畫(二年期)為設計一個自動階層式(auto-cascade)冷凍系統,並研究適用此系統之混合冷媒 R-32/R-134a(30/70 wt%),使其溫度可達 $-30^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ 。此冷凍系統採用單壓縮機,並配置一個相分離器以使混合冷媒的濃度改變。氣態冷媒流經階層熱交換器與膨脹後的低溫液態冷媒進行潛熱交換,然後較高濃度的高沸點成分冷媒流過蒸發器製冷,最後與低濃度的低沸點成分冷媒匯流至壓縮機,完成循環。

此系統兩個設計概念:第一,在熱交換器上利用非共沸混合冷媒溫度滑落的特性,可減少熱傳不可逆性。第二,利用混合冷媒的沸點差異以使冷媒流經相分離器之後,成分濃度明顯改變,進而提升冷凍能力與增加 COP。

Abstract

The objective of this research is to design an auto-cascade refrigeration system with nonazeotropic refrigerant mixtures, which could achieve a temperature range of -30°C to -50°C . This system needs only one single compressor with a phase separator in order to shift concentration of the refrigerant mixtures. The vapor phase flows through a cascade heat exchanger

and exchanges latent heat with the low temperature liquid phase after expansion. Then the mixture rich with higher boiling component flows into an evaporator to create the low temperature cooling and merges into the mixture rich with lower boiling component which leads finally to the compressor and completes a cycle.

This system has two advantages. First, utilization of the temperature glide of nonazeotropic refrigerant mixtures can reduce heat transfer irreversibility in the heat exchangers. Secondly, the phase separator shifts the concentration of components by the temperature difference of the boiling points. Thus, this system can raise the cooling capacity and can reduce the power consumption.

二、計畫緣由與目的

近年來國際間對環境保護日趨重視,自從 1974 年 6 月 F.S. Rowland 及 M.J. Molina 提出 CFCs 會破壞臭氧層的報告後,CFCs 被視為是破壞臭氧層得主要元凶,而科學家研究亦發現,CFCs 和 HCFCs 冷媒由於其性質十分穩定,當其上升到大氣層時不易分解,故易造成地球的溫室效應,數據亦指出造成地球溫室效應的物質中,冷媒佔有四分之一的影響率。過去一般的蒸氣壓縮循環冷凍系統中,常使用的兩種冷媒 CFC 與 HCFC,因考慮到上述兩項的環

保問題—破壞臭氧層潛勢（Ozone Depletion Potential—ODP）和全球暖化效應潛勢（Global Warming Potential—GWP）的緣故，已被氫氟碳 HFC 系列冷媒所取代，如小型汽車空調已使用 R-134a 來替代 R-12，而 R-134a 和混合冷媒 R-407C、R-410a 則取代用於火車及巴士的 R-22 等。

混合冷媒的相關研究近年來各國已經投入相當心力，特別是非共沸（nonazeotropic）混合冷媒更是備受矚目，因為其相變化時的溫度滑落（temperature glide）會使冷凝器與蒸發器性能提高，同時減少冷凍循環的熱傳不可逆性，提升冷凍系統的 COP 值。Kruse 等人【1】的研究報告指出非共沸混合冷媒應用於冷凍系統的優點。

而在節約能源方面，能源法規逐年提高冷凍空調的能源效率標準，相關產業也在冷凍空調的效率上不斷改進，並衍生出各式各樣的系統與產品。但在一般的冷凍空調系統中，系統冷凍性能的優劣經常決定於冷凝器與蒸發器是否有適當的過冷度與過熱度，因為冷凝器的過冷度太大將導致液態冷媒充塞冷凝器的盤管，則有效的冷凝盤管量變少，散熱能力因此下降；而蒸發器的過熱度太大，會造成蒸發器的有效蒸發盤管量變小，也因此會降低其吸熱能力。Mei 等人【2】在窗型空調機的壓縮機與蒸發器之間加裝了積液式熱交換器（Accumulator Heat Exchanger，AHX）。指出此系統混合冷媒流經 AHX 後 R-32/R-125 先蒸發進入壓縮機，以致環路中 R-32/R-125 成分將增加，使得冷凍能力提升 15.9%，COP 提升 9.7%。

另外自動階層式冷凍系統之技

術，早在 1973 年就有 Missimer 在美國申請專利，技術報告發表在 Missimer【3】與 Missmer【4】兩篇論文中。本研究的目的為改良自動階層式混合冷媒冷凍系統的冷凍能力，藉由加裝積液式熱交換器（Liquid Over Feeding Accumulator Heat Exchanger，LOF-AHX）於蒸發器出口與冷凝器出口之間的迴路，讓高壓循環中的常溫液態冷媒與低壓循環中的低溫汽態冷媒進行熱交換，可使進入壓縮機前的冷媒獲得過熱度並成飽和汽態，膨脹閥前的冷媒增加過冷度，以提升系統效率，期能有效增進冷凍能力。

三、研究方法

本實驗主要分析混合冷媒對系統的工作壓力、溫度變化、冷凍能力、消耗功率等影響，以找出系統設計較佳化與設計準則。圖 1 是實驗系統示意圖，圖 2 是增設積液式熱交換器之系統元件與量測儀器配置圖。圖 3 為 R32/R134a 的對應溫度濃度變化模擬示意圖。

實驗系統主體規劃成基準循環（baseline loop）與階層式循環（cascade loop），現在對這兩種循環做如下定義：

baseline loop：流出積液式熱交換器的高壓冷媒不經相分離器，即圖 2 中的開關閥 V1、V4、V5 關閉，而 V2、V3 打開，走虛線管路，直接流到蒸發器前的膨脹閥，稱之為 baseline loop，是為具積液式熱交換器的傳統蒸氣壓縮冷凍循環。

cascade loop：流出積液式熱交換器的高壓冷媒經相分離器與階層熱交換器，即

圖 2 中的開關閥 V1、V4、V5 打開，而 V2、V3 關閉，簡稱之為 cascade loop，即為本文所設計的具積液式熱交換器之階層式混合冷媒冷凍循環系統。

LOF-AHX loop：冷凝器出口管路設計開關閥（如圖 2 所示）控制冷媒是否要走具積液式熱交換器的冷凍循環路線，V6 關閉，V7、V8 打開則是

LOF-AHX loop，而 V6 打開，V7、V8 關閉則 LOF-AHX 變成一般的積液器使用。

本實驗改變膨脹閥開口大小、冷凍側環境（滷水溫和滷水流量）、冷凝側環境（冷卻水溫和冷卻水流量）等變因來量測分析冷凍系統的性能變化。每項變因分別在 baseline loop、cascade loop 與 LOF-AHX loop 中測試，以利分析蒸氣壓縮冷凍系統與階層式冷凍系統在搭配 LOF-AHX 後之性能。

四、結果與討論

圖 4 表示壓縮機壓縮比與蒸發溫度的關係。可看出階層式混合冷媒系統有最低值，故壓縮機耗用功率會大幅降低。圖 5 為蒸發溫度與壓縮機消耗功率之關係圖。混合冷媒之消耗功率高於純冷媒 50% 至 70%，因為混合冷媒質量流率高於純冷媒 40% 至 50%，又有較高的吐出溫度。值得注意的是，cascade loop 雖分流兩道再合併為一道，一起進入壓縮機，但消耗功率並未顯著提升。純冷媒循環幾乎一樣，混合冷媒 cascade loop 也之高出 baseline loop 6% 左右。圖 6 為系統 COP 與蒸發溫度關係圖。階層式混合冷媒系統顯然會稍微降低 COP 值，但幅度不大，而蒸發溫度能降低至最低溫度 -45°C 。圖 7 為冷

媒充填量與冷凍能力之關係圖。冷凍能力隨充填量而增加至圖 2 的 Sight Glass 1 滿液時（1.2 kg），上升幅度趨緩。繼續充填至 1.4 kg 時，冷凍能力反而下降。因為過冷度隨著充填量增加，使系統的膨脹效率增加，進而使冷凍能力增加，藉此判斷系統之冷媒最佳充填量。

實驗結果顯示，cascade loop 之壓縮比明顯減低，而且所增加壓縮機消耗功率只 6%。另一方面，混合冷媒 cascade loop 因濃度偏移，使得冷凍能力只低落其 baseline loop 約 10% 左右，冷凍能力並未如純冷媒 cascade loop 大幅衰減。

五、計畫成果自評

本研究以實驗方式初步探討混合冷媒 R-32/R-134a（30/70 wt %）在自動階層式冷凍系統之性能，實驗資料整理出冷媒充填量、膨脹閥開度、冷凝側環境、冷凍側環境對系統之影響，惟裝置積液式熱交換器(LOF-AHX)之實驗數據尚未完成，仍待在第二年繼續進行。

六、參考文獻

1. Kruse, H., Kuever, M., Quast, U., Schroeder, M., Upmeier, B., "Theoretical and Experimental Investigations of Advantageous Refrigerant Mixture Applications", ASHRAE Transactions, Vol.91, Pt.2B, pp.1383-1418, 1985.
2. Mei, Vince C, Chen, F. C., Chen, D. T., HuangFu, E. -P, "Performance tests of R-22 and R-32/R-125/R-134a mixture for baseline air conditioning and liquid over-feeding operations",

ASHRAE Transactions, Vol.101, Pt.2, pp.1072-1077, 1995.

3. Missimer, Dale. J., "Mechanical System can reach -140°C ",

Research/Development, Vol.23, No.7, pp.40-42, 1972.

4. Missimer, Dale. J., "Ultra low Temperature - Let's be practical", RSC Magazine, Vol., No.7, pp.18-26, 1973.

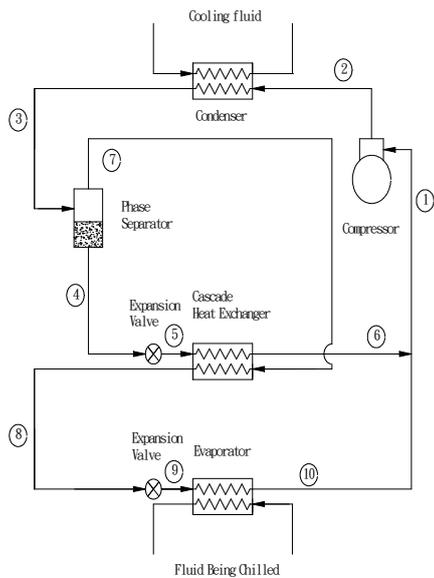


圖 1 自動階層式冷凍系統示意圖

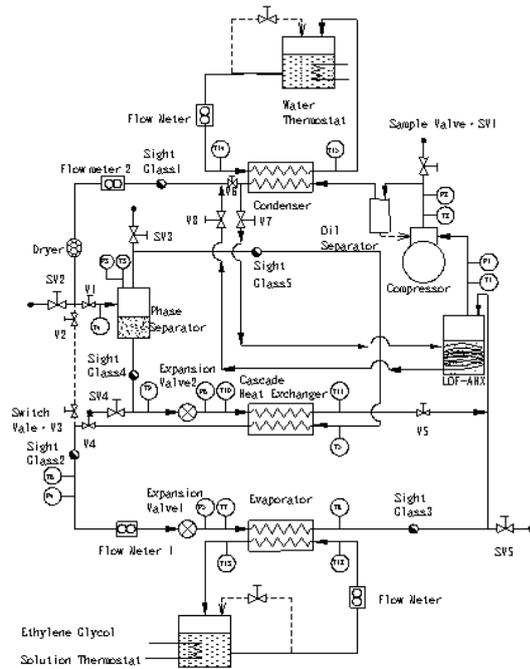


圖 2 增設積液式熱交換器之自動階層式冷凍系統元件與量測儀器配置圖。

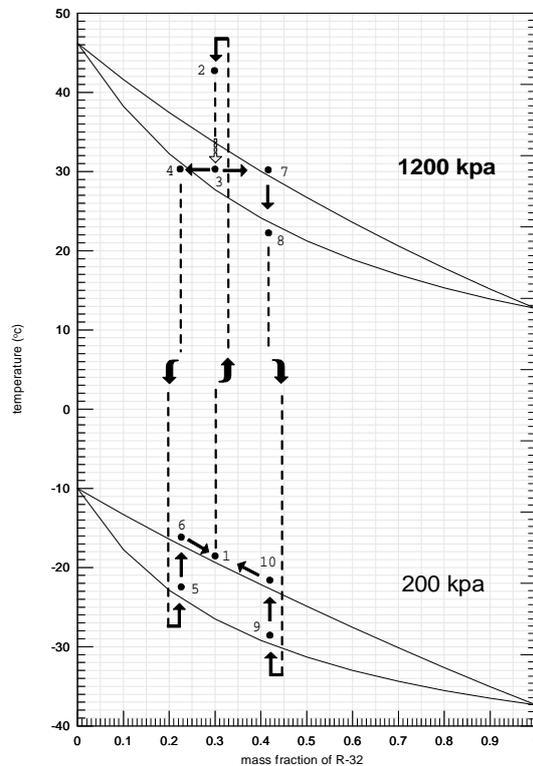


圖 3 R-32/R-134a 在 1200kPa 與 200kPa 之溫度-濃度圖

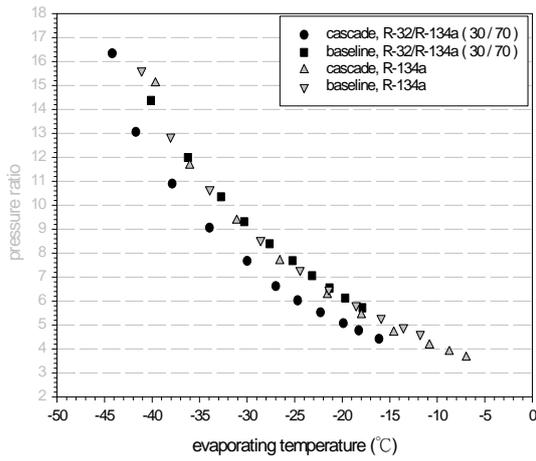


圖 4 蒸發溫度對壓縮比的影響
cascade loop and baseline loop of
R-32/R-134a and R-134a

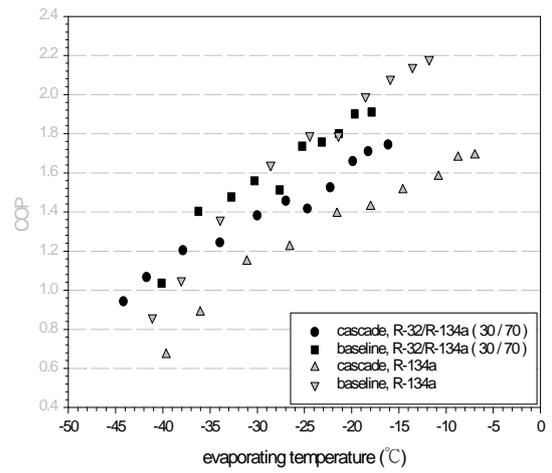


圖 6 蒸發溫度對 COP 的影響
cascade loop and baseline loop of
R-32/R-134a and R-134a

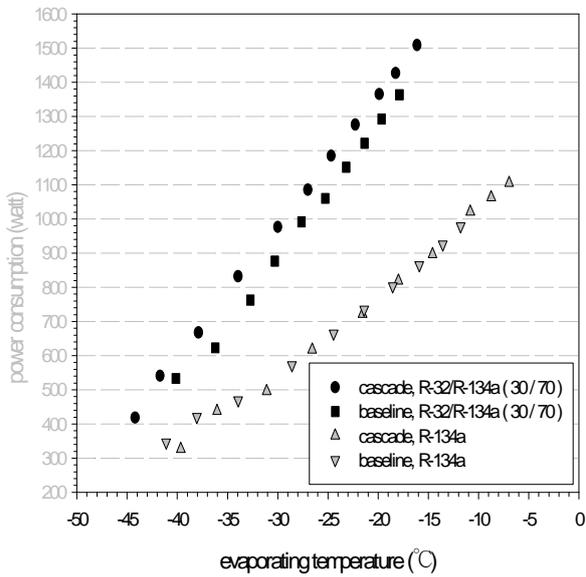


圖 5 蒸發溫度對壓縮機消耗功率的影響
cascade loop and baseline loop of
R-32/R-134a and R-134a

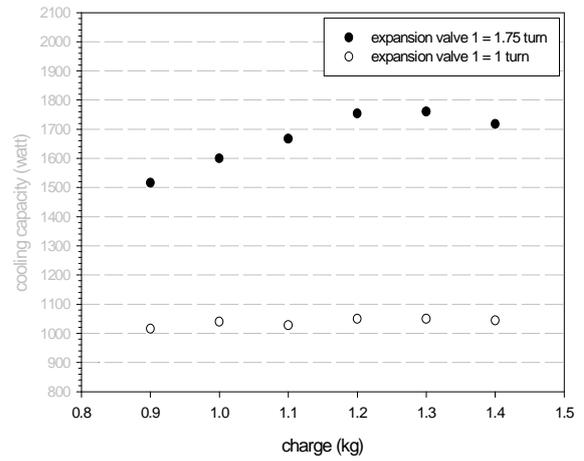


圖 7 冷媒充填量對冷凍能力的影響
R-134a baseline loop