

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※ 低環境破壞力之冰箱冷媒研究 ※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC-89-2212-E-002-143

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：蘇金佳 國立台灣大學機械工程學系

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學機械工程學系

中華民國九十年十一月十日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱：低環境破壞力之冰箱冷媒研究

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-143

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：蘇金佳 台灣大學機械工程學系

共同主持人：

計畫參與人員：李奕昇，孫禹銘 台灣大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫係研究碳氫化合物環保冷媒丙烷應用於變頻式小型冰箱冷凍循環系統，針對其性能表現做實驗相關研究。本實驗乃以冷卻水入口溫度、冷卻水流率、鹵水入口溫度、鹵水流率、壓縮機所需功率、毛細管長度與毛細管內徑七個操作變因來觀察其對系統高壓、系統低壓、毛細管壓降、過冷度、過熱度、系統冷凍能力、COP及壓力比的影響。

實驗結果顯示，當壓縮機所需功率上升時，系統冷凍能力是上升的，而COP則會有一最大值，其值約為3.8。

關鍵詞：丙烷、變頻、COP

Abstract

The target of this paper is to evaluate the performances of VCR system with R-290 as the refrigerant. The variable parameters of the experiment include the inlet temperature, volumetric flow rates of the cooling and loading water, the internal diameters and the lengths of the capillary tubes, and the input power of the compressor. The performances of the system, such as the degrees of the superheat and subcooling, the refrigeration capacity, and the COPs of the system, are obtained from experimental data.

Result shows that the COP of the small refrigeration system has a maximum value of about 3.8 with the input power of the compressor of about 400 W. Furthermore, the system with R-290 as the refrigerant has the potential for substituting R-22 in the domestic refrigerators.

Keywords: R290, frequency, COP.

二、緣由與目的

前言及研究背景

由於氟氯碳化物一直被廣泛地應用在冷凍系統上，直到後來發現氟氯碳化物上升到大氣層時，會受到紫外線的照射而分解出氯原子，因而破壞了臭氧層。為此，國際間於1985年對保護臭氧層達成共識，並於維也納召開會議簽訂“維也納公約”，討論氟氯碳化物之管制問題，更於1987年簽訂著

名的蒙特婁公約(Montreal Protocols)，制定“臭氧層保護條約議定書”，明列特定氟氯碳化物及海龍之削減時程表。

CFC已於1996年1月1日起全面停產，緊接而來的是對於HCFC的管制，目前HCFC的禁產時程定為公元2030年(最後10年的0.5%消費量限制使用於使用中之冷凍空調設備維修)，因此，目前即在尋求適當的替代冷媒來取代CFC及HCFC，一般而言，均以HFC為替代品者居多。而HFC冷媒具有高溫室效應潛能值，造成了大氣溫度的上升而影響了地表環境，因此，各公約簽署國於1997年12月1-12日在日本東京召開第三次締約國大會(COP3)中，簽署了有名的「東京議定書」。在該議定書中，受到管制的氣體有CO₂、CH₄、N₂O及HFCs、PFCs、SF₆六種，在公元2008年至2012年五年的期間內，以1990年排放量為削減基準，全球削減目標為5.2%。

為了因應目前大量使用中的冷媒遭到列管及限制上的衝擊，早期所使用的自然冷媒又漸漸地受到了冷凍空調界的重視，各廠商也已積極地投入研發工作，將來只要這些自然冷媒安全措施做得好，必定可以取代目前所使用的冷媒而成為主要冷媒。

研究目的

在國內環保冷媒R-290還未普遍地應用在冷凍空調上，不論是家用或汽車用的空調，抑或是商用冷凍冷藏設備等，都還是使用R-22或R-134a，原因在於廠商轉換為HC所需的成本較高，且所需的研發費用及人員的需求也相對地提高，而且目前國內對於R-290的資料及文獻也相當地少，因此，對於R-290的了解也相對地有限。所以，目前國內應當具備有自己研發的能力，來了解R-290和其它冷媒之間的性能差異如何，與系統之間的匹配性如何，如此，才可以廣泛地應用在日常生活中，以取代有環保方面問題的冷媒。

三、實驗設備與實驗方法

實驗系統簡介

本實驗是以丙烷R-290為冷媒來做小型冷凍循環系統的性能分析，在實驗過程中，針對了毛細管尺寸、鹵水溫度及鹵水流率、冷卻水溫度及冷卻水流率、壓縮機所需功率(頻率)等變因的改變來量測分析冷凍循環系統的性能變化。本實驗設備(如圖1所示)可分為可更換毛細管尺寸及壓縮機所需功率

的冷凍系統主體、可控制冷凍側二次冷媒溫度與流量的鹵水系統和可控制凝側凝水溫度與流量的冷卻水系統以及其它量測設備。

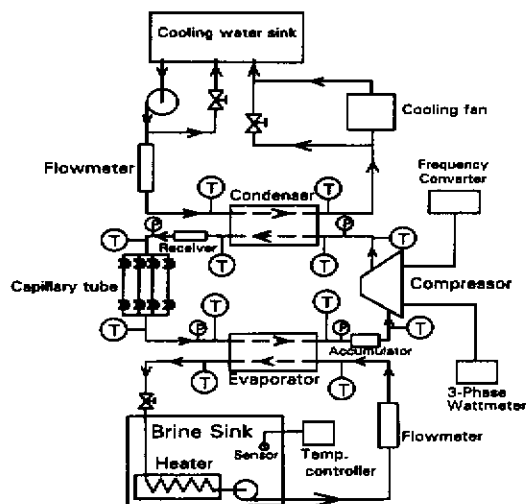


圖 1 系統配置圖

冷凍系統主體的主要元件有壓縮機、冷凝器、儲液器、乾燥過濾器、視窗、毛細管、蒸發器、液氣分離器以及變頻器。鹵水系統的主要元件及流體有鹵水、鹵水泵浦、電熱管及溫度控制器等。冷卻水系統的主要元件有冷卻水塔、冷卻水泵浦、Y型過濾器。

四、結果與討論

本實驗主要是在探討將環保冷媒丙烷應用在小型冷凍系統上之性能表現，操作變因有毛細管長度、毛細管內徑、冷卻水入口溫度、冷卻水流率、鹵水入口溫度、鹵水流率以及壓縮機所需功率(頻率)七種，而主要操作變因所設定之值如表 1 所示。

操作變因	設定值
毛細管長度(m)	3.5、4.0、4.5、5.0
毛細管內徑(mm)	0.60、0.70、0.75
冷卻水入口溫度(°C)	26、28、30、32、34
冷卻水流率(L/min)	5、8、11、14、17
鹵水入口溫度(°C)	冷藏：0、2、4、6、8
	冷凍：-6、-8、-10、-12、-14
鹵水流率(L/min)	2、3、4、5、6

表 1 主要操作變因及所設定之值
冷卻水入口溫度與毛細管長度對 COP 的影響

圖 2 顯示冷卻水入口溫度與毛細管長度對 COP 的影響。由圖中得知，當冷卻水入口溫度上升時，大致上 COP 是下降的，這是因為系統的冷凍能力並沒有一定的趨勢，大致上來說，在冷卻水入口溫度 28 °C 時會有最大值，隨著冷卻水入口溫度的繼續上升，系統的冷凍能力有下降的趨勢；而壓縮機所

需功率也是隨著冷卻水入口溫度的上升而增加，所以說，COP 大致上是隨著冷卻水入口溫度的上升而降低。

由圖中得知，毛細管長度愈長，COP 並沒有一定的趨勢，這是因為雖然壓縮機所需功率會隨著毛細管長度愈長而降低，會使得 COP 比系統的冷凍能力跟毛細管長度還較為有點關係，但因系統的冷凍能力並沒有一定的趨勢，且其誤差相當的大，所以也使得 COP 跟毛細管長度並沒有一定的關係。COP 最大值出現在冷卻水入口溫度為 26 至 28 °C、毛細管長度為 5.0 m 時，其值為 3.83 至 3.78。

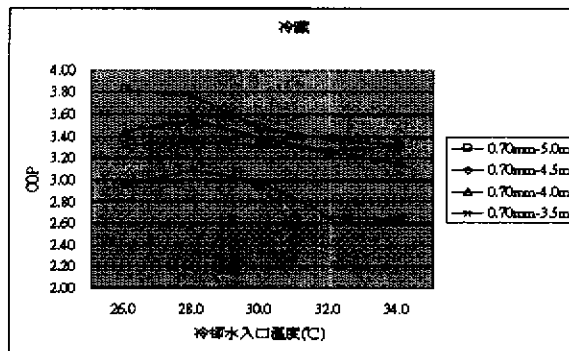


圖 2 冷卻水入口溫度與毛細管長度對 COP 的關係 ($\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$, $f=60\text{ Hz}$)

冷卻水流率對 COP 的影響

圖 3 顯示冷卻水流率與毛細管長度對 COP 的影響。

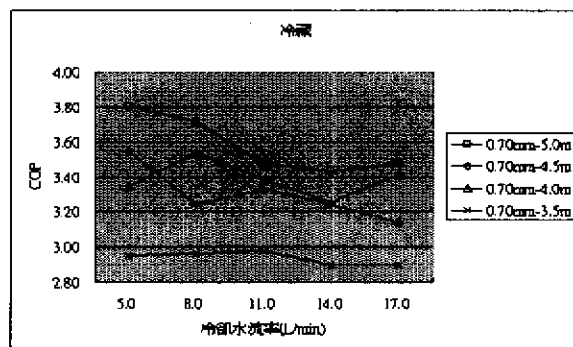


圖 3 冷卻水流率與毛細管長度對壓縮機所 COP 的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$, $f=60\text{ Hz}$)

由圖中得知，當冷卻水流率上升時，COP 並沒有一個很明確的趨勢，這是因為當冷卻水入口溫度上升時，會使得整個冷卻水溫域也跟著上升；而當冷卻水流率上升時，卻會使得整個冷卻水溫域下降，只是對於冷卻水溫域的影響力不若冷卻水入口溫度的影響力來得大，因此，冷卻水流率的效應和冷卻水入口溫度的效應是剛好相反的，只不過，冷卻水入口溫度對系統的影響要比冷卻水流率的影響來的大。由圖中得知，COP 最大值出現在冷卻水流率為 5 L/min、毛細管長度為 5.0 m 時，其值為 3.8。

鹵水入口溫度對 COP 的影響

圖 4 顯示鹵水入口溫度與毛細管長度對 COP 的影響。由圖中得知，當鹵水入口溫度上升時，COP

也會上升，這是因為鹵水入口溫度上升，會使得鹵水與蒸發器內的冷媒溫差增大，而使得傳熱效果變好，所以整個系統的冷凍能力會上升，但壓縮機所需功率並沒有什麼變化，所以 COP 會上升。

由圖中得知，COP 的最大值可能會隨著鹵水入口溫度的上升而增加，若單以圖中所示之值來看，COP 最大值是在鹵水入口溫度為 8 °C、毛細管長度為 5.0 m 時，其值為 4.24。

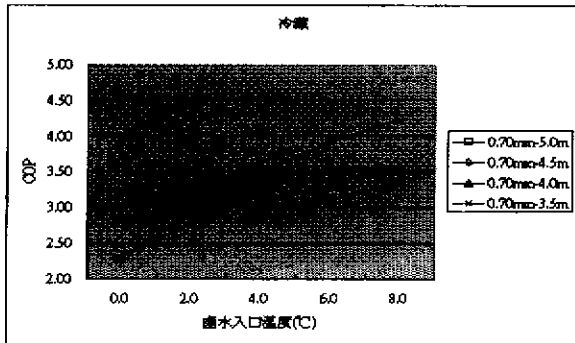


圖 4 鹵水入口溫度與毛細管長度對 COP 的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$, $f=60\text{ Hz}$)

鹵水流率對 COP 的影響

圖 5 顯示鹵水流率與毛細管長度對 COP 的影響。

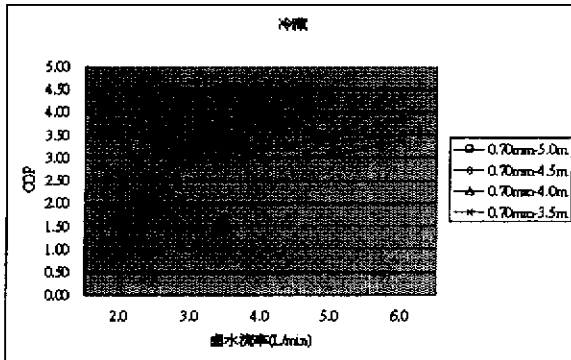


圖 5 鹵水流率與毛細管長度對 COP 的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $f=60\text{ Hz}$)

由圖中得知，當鹵水流率上升時，COP 會先升再降一點又再升，因為壓縮機所需功率變化不大，因此 COP 的趨勢取決於系統的冷凍能力，當鹵水流率為 2 L/min 時，因為鹵水流率不足，因而沒辦法完全地將熱傳給冷媒，所以其冷凍能力最小；而當鹵水流率在 3 至 6 L/min 時，因為系統的冷凍能力和鹵水流率及鹵水和冷媒的溫度差成正比，所以當鹵水流率上升時，因為熱是由鹵水傳給冷媒的，所以會造成蒸發器出口溫度的上升，亦即會使得過熱度增大，經過整個系統的循環，會使得蒸發器入口溫度上升，因而使鹵水和冷媒的溫度差降低，其對冷凍能力的影響一開始是大於鹵水流率對冷凍能力的影響而使得系統的冷凍能力降低，但蒸發器入口溫度會隨著鹵水流率持續的上升而有減緩其上升的趨勢，因此，到後來會使得鹵水流率對於冷凍能力的影響大於鹵水和冷媒的溫度差對冷凍能力

的影響而使得系統的冷凍能力再度上升，因此才會產生當鹵水流率在 3 到 6 L/min 時，系統的冷凍能力有先降後升的情形。

由圖中得知，當鹵水流率大於 6 L/min 時，COP 應該會持續地上升，而若單以圖中所示之值來看，COP 的最大值是在鹵水流率為 6 L/min、毛細管長度為 4.5 m 時，其值為 4.32。

壓縮機所需功率對毛細管壓降的影響

圖 6 顯示壓縮機所需功率與毛細管長度對毛細管壓降的影響。

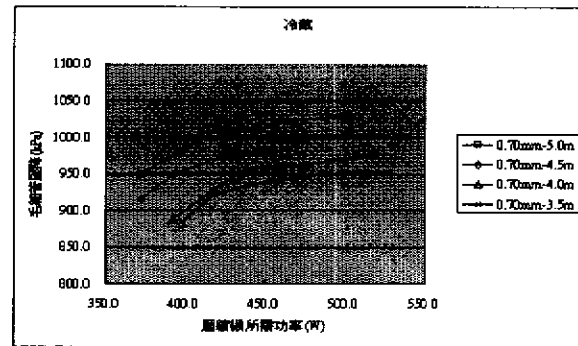


圖 6 壓縮機所需功率與毛細管長度對毛細管壓降的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$)

由圖中得知，當壓縮機所需功率上升時，毛細管壓降也會上升，這是因為壓縮機所需功率增加，則低壓的地方會有更多的冷媒體積被壓到高压的地方，所以高压壓力會上升，低壓壓力會下降，且由於高压壓力上升的幅度及低壓壓力下降的幅度會隨著壓縮機所需功率的增加而減緩其趨勢，所以毛細管壓降也會有隨著壓縮機所需功率的再增加而使變化幅度減緩。

壓縮機所需功率對系統冷凍能力的影響

圖 7 顯示壓縮機所需功率與毛細管長度對系統冷凍能力的影響。

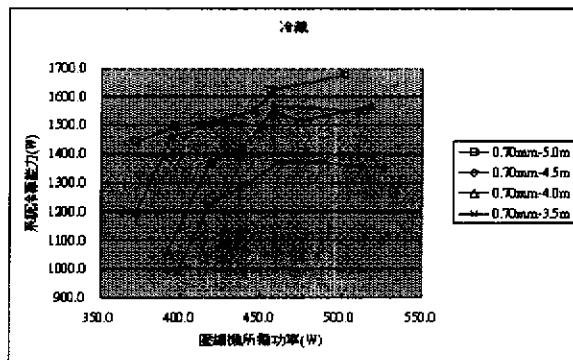


圖 7 壓縮機所需功率與毛細管長度對系統冷凍能力的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$)

由圖中得知，當壓縮機所需功率上升時，系統的冷凍能力也會上升，這是因為壓縮機所需功率增加時，蒸發器入口溫度會下降，而蒸發器出口溫度卻會上升，因而使蒸發器出入口比焓差增加而能吸更多的熱，因此系統的冷凍能力會隨著壓縮機所需功率的升高而增加。不過因為低壓壓力有隨著壓縮

機所需功率的升高而減緩其下降的趨勢，所以蒸發器入口溫度下降的趨勢也會減緩，因此系統的冷凍能力也會隨著壓縮機所需功率的升高而減緩其上升的趨勢。

由圖中得知，系統冷凍能力的最大值可能會隨著壓縮機所需功率的上升而持續增加，而若單以圖中所示之值來看，系統冷凍能力的最大值是在壓縮機所需功率為 502 W、毛細管長度為 5.0 m 時，其值大約為 1676 W。

壓縮機所需功率對 COP 的影響

圖 8 顯示壓縮機所需功率與毛細管長度對 COP 的影響。

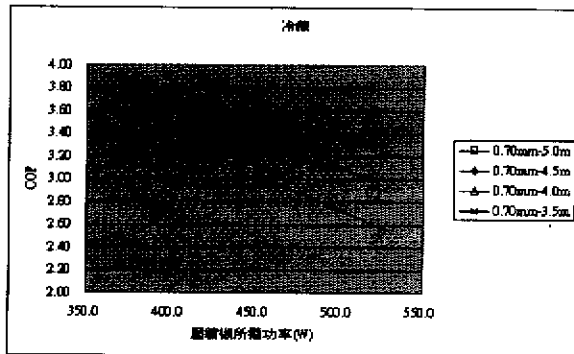


圖 8 壓縮機所需功率與毛細管長度對 COP 的關係 ($T_w=30\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$)

由圖中得知，當壓縮機所需功率上升時，COP 並沒有一個很明顯的趨勢，但似乎有一個最大值，這是因為系統的冷凍能力隨著壓縮機所需功率的上升而有減緩其上升的趨勢，因此 COP 會有一個最大值。由圖中觀察得知，毛細管長度為 3.5 m 及 4.0 m 的 COP 最大值是出現在壓縮機所需功率為 460 W 左右，毛細管長度為 4.5 m 的 COP 最大值是出現在壓縮機所需功率為 394 W 左右，至於毛細管長度為 5.0 m 的 COP 最大值則是出現在壓縮機所需功率為 372 W 左右，所以 COP 的最大值似乎會隨著毛細管長度的增加而出現在壓縮機所需功率較低時。由圖中所示之值得知，若扣除壓縮機所需功率在較低時，因會造成壓縮機的震動而不予以考慮外，COP 的最大值是壓縮機所需功率為 396 W、毛細管長度為 5.0 m 時，其值為 3.78。

毛細管內徑對 COP 的影響

圖 9 顯示冷卻水入口溫度與毛細管內徑對 COP 的影響。

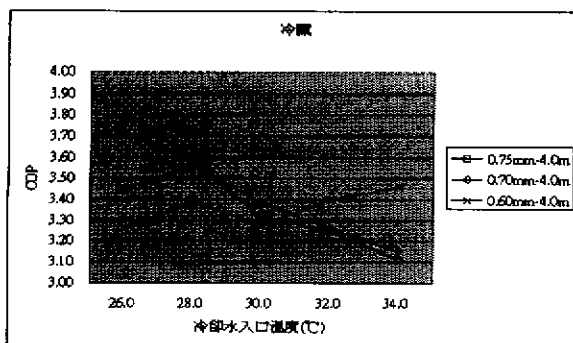


圖 9 冷卻水入口溫度與毛細管內徑對 COP 的關係

係 ($\dot{V}_w=11\text{ L/min}$, $T_b=4\text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{V}_b=3\text{ L/min}$, $f=60\text{ Hz}$)

由圖中得知，當毛細管內徑愈大，則 COP 並沒有很明顯地趨勢，這是因為毛細管內徑大者，其冷凍能力大，但壓縮機所需功率也大，所以 COP 並沒有很明顯地趨勢。COP 的最大值是出現在冷卻水入口溫度為 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 、毛細管內徑為 0.75 mm 時，其值為 3.71。

四、結論與建議

本實驗的結論則如下所述：

1. 冷卻水入口溫度上升，則毛細管壓降上升、系統冷凍能力不明確及 COP 略微下降。
2. 冷卻水流率上升，則毛細管壓降下降、系統冷凍能力不明確及 COP 不明確。
3. 鹵水入口溫度上升，則毛細管壓降不明確、系統冷凍能力上升及 COP 上升。
4. 鹵水流率上升，則毛細管壓降不明確、系統冷凍能力先升再降而後又升及 COP 先升再降而後又升。
5. 壓縮機所需功率上升，則毛細管壓降上升、系統冷凍能力上升及 COP 會有一最大值。
6. 毛細管長度增加，則毛細管壓降上升、系統冷凍能力不明確及 COP 不明確。
7. 毛細管內徑增加，則毛細管壓降下降、系統冷凍能力上升及 COP 上升。

建議

1. 改變丙烷的填充量，來觀察其性能變化的狀況，以獲取更佳的操作點。
2. 研究丙烷和其它冷媒如 R-600a 的混合，觀察其是否能有更優良的操作條件及性能。
3. 研究整個系統元件彼此之間的匹配問題來改善之，以期能獲得更佳的操作點。
4. 將膨脹裝置由毛細管改為其它裝置如膨脹閥等，而使系統更能適應冷凍負載的變化，以求得較佳的操作點。
5. 針對丙烷對系統內單一元件做更詳細的研究，以改善其效能。

五、參考文獻

1. Roy J. Dossat 著，陸紀文，王輔仁，謝文健譯，"冷凍空調原理"，pp. 462, 1997.
2. Wilbert F. Stoecker, and Jerold W. Jones 著，蘇金佳 譯，"冷凍與空調"，pp. 364-367, 1995.
3. 李昭仁，"環保冷媒 R-290 應用於冷藏、冷凍系統之性能研究"，國立台灣大學，機械工程研究所碩士論文，1998.
4. 李舜祺，"環保冷媒異丁烷 R-600a 應用於冷凍系統之研究"，國立台灣大學，機械工程研究所碩士論文，1998.
5. 吳敬恆，"R-290 冷凍循環系統模擬分析"，國立台灣大學，機械工程研究所碩士論文，1999.