

R134a 冷媒磁浮離心式壓縮機直接置換 R513A 冷媒之性能評析

一、前言

空調設備中以製造冰水方式進行降溫與除濕之製冷主機稱之為冰水機組，以壓縮機型式可以區分為渦卷式、螺旋式與離心式壓縮機；冰水機組主要的散熱方式則為氣冷式與水冷式兩種。以水冷式離心式冰水機為例，圖 1 所示為水冷式離心式冰水機之構成與冷凍循環流程圖，其中包括離心式壓縮機、水冷殼管式冷凝器、膨脹閥與蒸發器四大元件，蒸發器就是俗稱之冰水器，高壓過冷卻的冷媒液體被膨脹閥降壓為低壓低溫的飽和冷媒，與循環的冰水進行熱交換後，冰水從 12°C 被降溫為 7°C，冷媒則因吸收冰水的熱量而氣化為低壓過熱的冷媒氣體被壓縮機所帶走，現今冰水機的冰水器型式以滿液式蒸發器為主流。吸收冰水的熱能而氣化的過熱冷媒氣體被壓縮機吸入，經由壓縮作用將之提升為高壓的過熱冷媒氣體送至冷凝器，藉由循環的冷卻水與殼側高溫高壓的冷媒氣體熱交換，使之將熱量傳遞給管側循環的冷卻水並凝結為高壓過冷卻的液態冷媒後，利用膨脹閥將之降壓為低壓低溫之飽和冷媒再送至蒸發器與循環之冰水進行熱交換，如此形成密閉且連續的製冷循環。

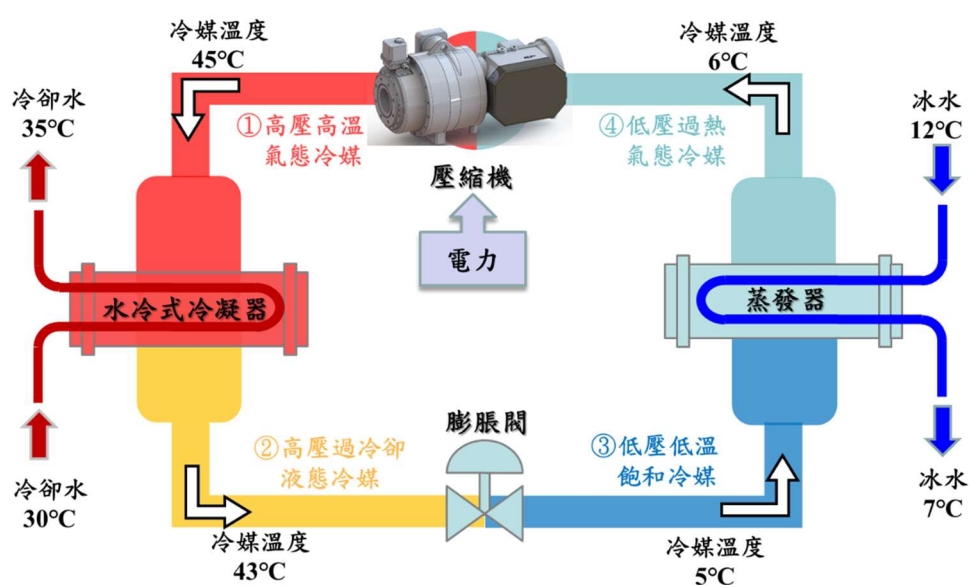


圖 1、水冷式離心式冰水機之構成與冷凍循環流程

二、 R134a 之低溫室效應替代冷媒

目前我國冰水機產業所使用的冷媒主要為用於螺旋式與離心式壓縮機的 R134a 冷媒，R134a 冷媒的溫室效應潛勢值(Global Warming Potential, 後簡稱 GWP)高達 1,300，因此 R134a 冷媒已被蒙特婁議定書列為下階段冷媒管制對象。2016 年蒙特婁議定書吉佳利修正案自 2019 年 1 月 1 日已正式生效，其中吉佳利修正案管制 HFCs 的削減方式如同 CFCs 與 HCFCs 的模式，從源頭（生產與進口）逐步削減 HFCs 的消費量與生產量。因此，自 2020 年起如日本(2020 年)、美國(2024 年)、加拿大(2025 年)等國家紛紛遵循吉佳利修正案進行管制措施，陸續禁止 HFCs(包含 R134a)於空調機與冰水主機之使用。因未來在此全球溫室氣體減量的訴求下，國外冰水機產品已推出替代 R134a 冷媒的標竿產品設備，其中以 R513A 與 R1234ze 冷媒被評估為可行性較高的替代品。這波 HFCs 的管制勢必將對我國冰水機產業造成衝擊，我國冰水機產業規模近半屬中小型企業，長期以來缺乏發展更先進節能與兼具低碳環保的冰水機技術整合能力，無法構成完整產業鏈使產業價值進一步往上提昇。此外，以國內壓縮機廠為例，兩大廠商生產之螺旋壓縮機全球銷售市場達 76%，其中 350kW(100RT)以上之壓縮機產值達 120 億，由於我國並非冷媒的主要生產國，冷媒的選擇與使用仰賴進口，以及未來產品的出口，無疑需遵循國際上主要工業大國的規定，因此替代我國 R134a 冷媒螺旋式與離心式壓縮機及其冰水機應用產品的研發，乃為國內成熟的冰水機產業必須加以積極面對並提早因應的。

我國政府為遵循蒙特婁議定書對 HFCs 化學品的削減規範，環境部已依據「氣候變遷因應法」研擬管理辦法草案，擬於今年（113 年）展開進出口 HFCs 之核配制度與許可審核核發作業。「氣候變遷因應法」第 3 條明訂氫氟碳化物（HFCs）為管制的溫室氣體之一；第 38 條授權中央主管機關得公告禁止或限制國際環保公約管制之高溫暖化潛勢溫室氣體及利用該溫室氣體相

關產品之製造、輸入、輸出、販賣、使用或排放。環境部規劃我國將以兩階段管制 HFCs 化學品的進程如圖 2 所示，為達成蒙特婁議定書之 HFCs 管制規範，預定於 113 年 1 月 1 日起凍結國家的消費量於基準量，118 年 1 月 1 日起削減 10%，讓國內產業先有限控制取得 HFCs，後續再依據國際替代品發展趨勢及國內產業替換時程，逐步訂定禁止使用、販買及限制排放規範。因此為確保我國冰水機產業的長期發展，勢必需盡早準備冷媒替代方案。

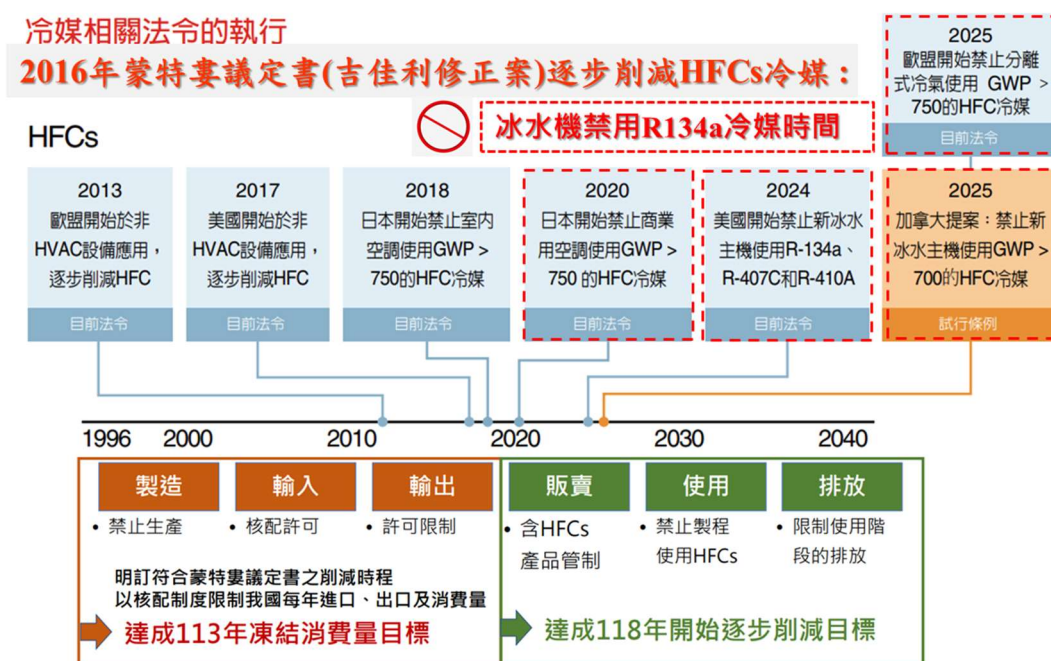


圖 2、我國環境部管制 HFCs 化學品規劃
 (資料來源：工業技術研究院)

三、國內外冰水機之性能測試標準介紹

目前國內外冰水機的相關的性能評估主要有兩個指標，第一個指標為依據 CNS 12575 測試標準[1]所測得之全載製冷能力與 COP，此項指標為我國冰水機組製冷能源效率分級標示[2]的兩項重要參數；第二個指標為廣為國際通用之部分負載效率指標，也就是習知的整合性部分負載效率值(Integrated Part Load Value)、簡稱 IPLV。此項指標為 Ashrae 90.1[3]所規範、測試條件的參考標準則

為 AHRI 551/591[4]。因此在國內的冰水機效率管制，需遵循冰水機組製冷能源效率分級基準，國際上則有 Ashrae 90.1 來規範冰水機的全載與部分負載效率值。

CNS 12575 的冰水機全載性能測試條件如圖 3 上表所示，冰水出水溫度是 7 度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、冰水流量是每冷凍噸 10LPM $\pm 5\%$ ；冷卻水入水溫度是 30 度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，冷卻水流量是每冷凍噸 12.5LPM $\pm 5\%$ 。以此測試條件進行冰水機組製冷能源效率分級共 3 級，以水冷容積式包括螺旋式與渦卷式冰水機為例，在製冷能力 150~300 冷凍噸這個級距的螺旋式冰水機，3 級能效 COP 是 4.9、2 級能效 COP 是 5.3、1 級能效 COP 是 5.7；相同製冷能力範圍的水冷離心式冰水機，3 級能效 COP 是 5.55、2 級能效 COP 是 5.95、1 級能效是 COP 6.4。我國於 109 年 7 月 1 日開始實施之冰水機組製冷能源效率分級基準則如圖 3 下表所示。

測試標準CNS12575測試條件				
■ 水冷式冰水機				
負載	冰水出口溫度	冰水流量	冷卻水入口溫度	冷卻水流量
100%	7.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	10.0 LPM/RT $\pm 5\%$	30.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	12.5 LPM/RT $\pm 5\%$
75%	7.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-	24.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-
50%	7.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-	19.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-
25%	7.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-	19.0 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-

□ 我國冰水機組製冷能源效率分級基準表

冰水機組類型		標示額定製冷能力 1 RT = 3.516 kW	製冷能源效率分級基準		
			性能係數(COP)		
			3 級	2 級	1 級
水冷式	容積式	< 528kW 150RT	4.45	4.80	5.15
		≥ 528kW <1758kW 150RT 500RT	4.90	5.30	5.70
		≥ 1758kW 500RT	5.50	5.90	6.35
水冷式	離心式	<528kW 150RT	5.00	5.40	5.80
		≥ 528kW <1055kW 150RT 300RT	5.55	5.95	6.40
		≥ 1055kW 300RT	6.10	6.60	7.10
氣冷式		全機種	2.79	3.00	3.20

※109年07月01日生效實施

圖 3、我國之冰水機測試標準及其製冷能源效率分級基準

國際上現行水冷式冰水機的部分負載依 AHRI 551/591 性能測試規範，整合性部分負載在 4 個負載工況的測試條件如圖 4 上表所示。設定 AHRI 全載(100%)冰水入/出水溫度 $12/7\pm0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，冷卻水入/出水溫 $30/35\pm0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，調整冰水與冷卻水流量符合其入出水於允許溫差條件($\pm0.28^{\circ}\text{C}$)，在 AHRI 部分負載依照全載流量及冰水出水溫 $7\pm0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，其中在 IPLV 75 %工況冷卻水入口水溫設定 $24.5\pm0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、IPLV 50 %與 25 %工況冷卻水入口水溫設定 $19\pm0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，部分負載製冷能力須符合目標能力 $\pm2\%$ 。IPLV 的計算方式如下：

$$\text{IPLV} = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$$

其中

A = COP @ 100% 負載；B = COP @ 75% 負載；C = COP @ 50% 負載；D = COP @ 25% 負載，IPLV 在 100%、70%、50%、25%各負載之權重係數分別為 0.01、0.42、0.45、0.12，將各點冰水機性能係數與加權係數計算得出 IPLV 值。

AHRI 551/591 的冰水機測試條件與 CNS 12575 的規定有所不同：100%全載的測試條件是冰水入水溫度 12 度 $\pm0.28^{\circ}\text{C}$ 、冰水出水溫度是 7 度 $\pm0.28^{\circ}\text{C}$ ；冷卻水入水溫度是 30 度 $\pm0.28^{\circ}\text{C}$ 、冷卻水出水溫度是 35 度 $\pm0.28^{\circ}\text{C}$ ，冰水流量與冷卻水流量則以是滿足全載水溫條件的流量為基準，75%、50%與 25%的水流量依照全載流量為準。

國際標準 Ashrae 90.1 所定義之冰水機全載與部分負載效率基準如圖 4 下表所示，以製冷能力 150~300 冷凍噸的螺旋式冰水機為例，Path A 的 COP 須 ≥ 5.334 、IPLV 須 ≥ 6.519 ；Path B 的 COP 則須 ≥ 5.177 、IPLV 須 ≥ 8.001 。如何區分 Path A 與 Path B 呢？簡單的說 Path A 是定頻的、Path B 是變頻的。那以相同製冷能力的水冷離心式冰水機為例，Path A 的 COP 是 ≥ 5.771 、IPLV 是 ≥ 6.401 ；Path B 的 COP 是 ≥ 5.544 、IPLV 是 ≥ 8.801 。

測試標準AHRI 551/591 2020 IPLV測試條件與計算方法				
■ 水冷式冰水機				
負載	冰水入口溫度	冰水出口溫度	冷卻水入口溫度	冷卻水出口溫度
100%	12.0±0.28°C	7.0±0.28°C	30.0±0.28°C	35.0±0.28°C
75%	-	7.0±0.28°C	24.5±0.28°C	-
50%	-	7.0±0.28°C	19.0±0.28°C	-
25%	-	7.0±0.28°C	19.0±0.28°C	-
※ 部份負載性能IPLV計算公式：				
IPLV=0.01*100%COP+0.42*75%COP+0.45*50%COP+0.12*25%COP				

□ 國際冰水機組效率管制標準 Ashrae 90.1-2022					
Water-cooled, electrically operated positive displacement 水冷容積式 冰水機組	<264 kW	COP (W/W) 150~300RT	≥4.694 FL	≥4.513 FL	AHRI 551/591
	≥264 kW and <528 kW		≥5.867 /PLV.SI	≥7.041 /PLV.SI	
	≥528 kW and <1055 kW		≥4.889 FL	≥4.694 FL	
	≥1055kW and <2110 kW		≥6.286 /PLV.SI	≥7.184 /PLV.SI	
	≥2100 kW		≥5.334 FL	≥5.177 FL	
			≥6.519 /PLV.SI	≥8.001 /PLV.SI	
Water-cooled, electrically operated centrifugal 水冷離心式 冰水機組	<528 kW	COP (W/W) 150~300RT	≥5.771 FL	≥5.065 FL	AHRI 551/591
	≥528 kW and <1055 kW		≥6.401 /PLV.SI	≥8.001 /PLV.SI	
	≥1055 kW and <1407kW		≥5.771 FL	≥5.544 FL	
	≥1407 kW and <2110 kW		≥6.401 /PLV.SI	≥8.801 /PLV.SI	
	≥2110 kW		≥6.286 FL	≥5.917 FL	
			≥6.770 /PLV.SI	≥9.027 /PLV.SI	

圖 4、國際標準 AHRI 551/591 冰水機部分負載性能測試條件及 Ashrae 90.1 冰水機全載 COP 與部分負載 IPLV 效率基準

四、 R134a 替代冷媒之性能研究方法[5]

冰水機的性能取決於蒸發器與冷凝器兩器之設計，於設定的水流量與水溫條件下的蒸發溫度與冷凝溫度所能提供給壓縮機的吸氣與排氣的冷媒溫度與壓力狀態，亦即是壓縮機的吸氣與排氣條件決定其單體的性能。本研究乃採用冷媒全循環的測試平台模擬壓縮機於冰水機系統的性能，因此參考 CNS12575 與 AHRI551/591 兩個測試標準的水溫條件，以冰水機之蒸發器的出水溫度減去一理想的溫度差(Approach)，不考慮吸氣過熱度並忽略吸氣管路的壓降，定義為壓縮機的飽和吸氣溫度(Saturated Suction Temperature, SST)；壓縮機的飽和排氣溫

度(Saturated Discharge Temperature, SDT)則以冷凝器的出水溫度加上一理想的溫度差(Approach)加以定義，藉由控制壓縮機的 SST 與 SDT 來測得模擬壓縮機於冰水機的負載操作條件之性能。

表 1、壓縮機於各負載條件的模擬 SDT 與 SST

項目 \ 負載	100%	75%	50%	25%
冷卻水出水趨近溫度	0.80±0.1℃	0.55±0.1℃	0.40±0.1℃	0.24±0.1℃
壓縮機飽和排氣溫度 SDT	35.50±0.1℃	28.80±0.1℃	21.90±0.1℃	20.49±0.1℃
冰水出水趨近溫度	0.70±0.1℃	0.60±0.1℃	0.42±0.1℃	0.27±0.1℃
壓縮機飽和吸氣溫度 SST	6.30±0.1℃	6.40±0.1℃	6.58±0.1℃	6.73±0.1℃

表 1 所示為壓縮機於在各負載條件下模擬的冷卻水與冰水之趨近溫度以及壓縮機之 SDT 與 SST，冷凝器於負載 100%、75%、50%、25%下對應的趨近溫度分別為 0.80℃、0.55℃、0.40℃、0.24℃；蒸發器於負載 100%、75%、50%、25%下對應的趨近溫度分別為 0.70℃、0.60℃、0.42℃、0.27℃，而對應 SST 與 SDT 的飽和壓力比值就是壓縮機的操作壓比。因此用冷媒全循環測試平台，控制壓縮機的 SST 與 SDT 對應的飽和壓力，可以測得壓縮機近似於冰水機系統應用時之實際性能。

測試方法採用水側熱量計法測試系統量測蒸發器之冰水流量與入、出口水溫差求得其製冷能力；以電力分析儀測得消耗電功率，測試實驗室符合 TAF 認證標準，測試規範參照 CNS 12575-2007[1]與 AHRI 551/591-2023[2]測試標準所定義之熱平衡標準來檢視數據符合能量守恆。測試站每 5 秒取樣平均新增一筆數據，共取樣 300 秒以上(5 分鐘)時間做為平均結果，以及冰水入出水溫、冷卻水入水溫之標準差於 0.05 時，則判定測試系統 SDT/SST 於穩態條件。

以下為 R134a 冷媒壓縮機直接置換 R513A 冷媒之性能實測評估流程與步驟：

- (1) 首先使用 R134a 冷媒進行待測壓縮機之 CNS 全載 COP 與部分負載 IPLV 性能測試，測試流程為首先參照 CNS 條件設定蒸發器水流量以及冷凝器水流量，接著在壓縮機開始運轉後透過調整蒸發器入水溫度以及冷凝器入水溫度，使壓縮機達到目標 SST 及 SDT，接著確認製冷能力在允差 $\pm 2\%$ 內以及壓比在允差 ± 0.01 時，紀錄相關測試數據以利後續結果分析。
- (2) 在完成 R134a 冷媒的性能測試後將冷媒回收，回收完成後使用真空泵將全循環測試平台內抽真空，在確認系統無洩漏後開始充填 R513A 冷媒進入系統，充填完成後即可進行下一步的測試。由於磁浮離心式壓縮機操作於無油的系統，因此置換冷媒時不需對測試平台進行冷凍油的回收、清潔與充填更換油品。
- (3) 進行壓縮機 R513A 冷媒之全載與 IPLV 性能測試，測試條件如表 2 及表 3 所示，測試方法為參照步驟(1)的作業進行，製冷能力與壓比在允差內則紀錄相關測試數據以利後續結果分析。

五、 R513A 冷媒替代 R134a 冷媒之壓縮機性能分析[5]

R513A 為一種混合冷媒(R134a 冷媒占比 44%+R1234yf 冷媒占比 56%)，其 GWP 值為 573，相較於 R134a 冷媒降低 55.9%，由於 R513A 冷媒其性質與 R134a 相近、但是其 GWP 值仍高達 573，因此僅能為 R134a 冷媒短中期的替代品。滿液式蒸發器的冰水機冷媒填充量約 1.2~1.3 kg/USRT，故製冷能力越大冷媒填充量越多，所造成的直接碳排放量亦越大，若是可將既設冰水機的 R134a 冷媒替換成 R513A 冷媒，在短中期將可有效降低對環境衝擊的效益，然而直接置換替代冷媒對原冰水機系統性能的影響是值得探討的課題。

本評估案例乃使用一台製冷能力 1,000 kW 等級之國產 R134a 雙段壓縮磁浮離心式壓縮機，以壓縮機的飽和排氣溫度(SDT)以及飽和吸氣溫度(SST)，模擬壓縮機於冰水機系統運轉條件之性能測試，測試系統以壓縮機最大測試能力

500USRT 之雙段壓縮冷媒全循環測試平台，結合水側熱量計法的冰水機測試系統，分別使用 R134a 與 R513A 冷媒進行 CNS 全載與 AHRI 整合性\部分負載的性能實測研究。

全載性能參照 CNS 12757 測試條件運轉時之 SDT/SST 模擬條件為 35.50℃/6.41℃，部分負載參照 AHRI 551/591 測試條件在負載率 100%、75%、50%、25%時的 SDT/SST 模擬條件分別為 35.50℃/6.30℃、28.80℃/6.40℃、21.90℃/6.58℃、20.49℃/6.73℃。壓縮機的性能主要由飽和吸氣溫度 SST 與飽和排氣溫度 SDT 所決定，而冰水與冷卻水的趨近溫度決定壓縮機的 SST 與 SDT，而對應 SST 與 SDT 的飽和壓力比值就是壓縮機的操作壓比。因此用冷媒全循環測試平台，控制壓縮機的 SST 與 SDT 對應的飽和壓力，可以測得壓縮機近似於冰水機系統應用時之實際性能。

表 2、R134a、1,000 kW 級雙段壓縮磁浮離心式壓縮機性能測試條件

壓縮機模擬 CNS 全載性能測試條件						
負載	製冷能力 (kW)	飽和排氣溫度 SDT °C	排氣壓力 (bar abs)	飽和吸氣溫度 SST °C	吸氣壓力 (bar abs)	壓比 Pr
100%	1054.8±2%	35.50±0.1	8.99	6.40±0.1	3.67±0.02	2.46±0.01
壓縮機模擬 AHRI 551/591 部分負載性能測試條件						
100%	1054.8±2%	35.50±0.1	8.99±0.02	6.30±0.1	3.66±0.02	2.46±0.01
75%	791.1±2%	28.80±0.1	7.44±0.02	6.40±0.1	3.67±0.02	2.03±0.01
50%	527.4±2%	21.90±0.1	6.06±0.02	6.58±0.1	3.69±0.02	1.64±0.01
25%	263.7±2%	20.49±0.1	5.80±0.02	6.73±0.1	3.71±0.02	1.56±0.01

表 3、R513A、1,000 kW 級雙段壓縮磁浮離心式壓縮機性能測試條件

壓縮機模擬 CNS 全載性能測試條件						
負載	製冷能力 (kW)	飽和排氣溫度 SDT °C	排氣壓力 (bar abs)	飽和吸氣溫度 SST °C	吸氣壓力 (bar abs)	壓比 Pr
100%	1054.8±2%	35.50±0.1	9.53±0.02	6.40±0.1	4.02±0.02	2.37±0.01
壓縮機模擬 AHRI 551/591 部分負載性能測試條件						
100%	1054.8±2%	35.50±0.1	9.53±0.02	6.30±0.1	4.02±0.02	2.37±0.01
75%	791.1±2%	28.80±0.1	7.94±0.02	6.40±0.1	4.03±0.02	1.97±0.01
50%	527.4±2%	21.90±0.1	6.52±0.02	6.58±0.1	4.06±0.02	1.64±0.01
25%	263.7±2%	20.49±0.1	6.26±0.02	6.73±0.1	4.08±0.02	1.53±0.01

表 4、R134a、1,000 kW 級雙段壓縮磁浮離心式壓縮機性能測試結果

測試標準與負載比例		CNS 12575	AHRI 551/591			
項目	單位	100%	100%	75%	50%	25%
製冷能力	kW	1064.01	1069.43	804.88	531.82	262.56
	USRT	302.6	304.1	228.9	151.2	74.7
性能係數	COP	6.48	6.39	8.20	11.10	9.04
	IPLV	-	9.587			
耗電量	kW	166.52	167.42	98.20	47.90	29.05
飽和排氣溫度(SDT)	°C	35.44	35.53	28.95	21.99	20.50
排氣壓力	bar_abs	8.979	9.002	7.471	6.076	5.805
飽和吸氣溫度(SST)	°C	6.48	6.48	6.48	6.69	6.87
吸氣壓力	bar_abs	3.680	3.680	3.680	3.706	3.729
壓比	Pr	2.439	2.446	2.031	1.640	1.557
熱平衡	%	-1.71	-0.42	1.41	0.97	3.01

表 5、R513A、1,000 kW 級雙段壓縮磁浮離心式壓縮機性能測試結果

測試標準與負載比例		CNS 12575	AHRI 551/591			
項目	單位	100%	100%	75%	50%	25%
製冷能力	kW	1059.04	1058.50	790.21	547.50	266.10
	USRT	301.13	301.0	224.7	155.7	75.7
性能係數	COP	6.04	6.04	7.91	10.79	9.26
	IPLV	-	9.351			
耗電量	kW	175.30	175.33	99.95	80.72	28.74
飽和排氣溫度(SDT)	°C	35.56	35.50	28.77	21.99	20.50
排氣壓力	bar_abs	9.547	9.531	7.935	6.540	6.261
飽和吸氣溫度(SST)	°C	6.38	6.34	6.32	6.67	6.71
吸氣壓力	bar_abs	4.031	4.026	4.024	4.069	4.075
壓比	Pr	2.368	2.367	1.972	1.607	1.536
熱平衡	%	-0.30	-0.42	-0.37	-1.89	-0.89

表 4 與表 5 為將磁浮離心式壓縮機分別使用 R134a 與 R513A 冷媒進行 CNS 全載與 AHRI 部分負載的性能實測結果，從本案例之評估結果顯示，將設計應用 R134a 冷媒的壓縮機直接置換為 R513A 冷媒，在壓縮機 SDT 35.5±0.1°C/SST 6.3±0.1°C 的條件下其性能係數降低達 6.8%，所測得的全載 COP 從 R134a 冷媒的 6.48 降低為 R513A 冷媒的 6.04，於額定製冷能力 $\geq 528\text{kW} < 1055\text{kW}$ 這個級距中 COP 需大於 6.4 的 95%(>6.08)，方可標示為 1 級能效，顯示該壓縮機將從 1 級

能效降為 2 級能效。

六、 結論與建議

由上述結果得知，若直接將原設計 R134a 冷媒的壓縮機置換成 R513A 冷媒，全載 COP 約會降低 5.5~5.8%，部分負載 IPLV 約會降低 2.5%，因此採用 R513A 冷媒來替代 R134a 冷媒的新舊冰水機系統可以採行的策略建議如下：

1. 對於既設使用 R134a 冷媒的磁浮離心式冰水機系統，可以直接置換為 R513A 冷媒，加上系統熱交換效能的差異，系統整體效能會有 6~8% 的降低；亦可以將系統更換為 R513A 冷媒專用壓縮機或將原 R134a 壓縮機更換為 R513A 專用流力元件，可以降低性能的損失。
2. 對於新販售之 R513A 冷媒磁浮離心式冰水機系統，則建議使用全新的 R513A 冷媒專用壓縮機，輔以熱交換器的優化，使其性能相當於原來採用 R134a 冷媒的冰水機系統。
3. R513A 冷媒的 GWP 仍高達 573，可視為 R134a 冷媒的短中期替代品，可以減少對環境的不良影響，並在不降低太多運轉效率的情況下實現能源節約。目前 R513A 冷媒冰水機系統的採用仍受限於冷媒的價格過於高昂(每公斤單價為 R134a 冷媒的 10 倍以上)，以及投資較高的熱交換器製造成本來達到跟 R134a 冷媒相同的運轉性能。

七、 參考資料

- [1] 中華民國國家標準 CNS12575，蒸氣壓縮式冰水機組，2007。
- [2] 蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法及檢查方式/附表五、冰水機組製冷能源效率分級基準表，中華民國蒸氣壓縮式冰水機組能源效率分級標示管理系統。
<https://ranking.energylabel.org.tw/LBICE/index.aspx>。

- [3] ASHRAE/IES Standard 90.1 , Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings , 2022 。
- [4] ANSI/AHRI Standard 551/591 (SI) , Performance Rating Of Water – Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle , 2023 。
- [5] 雙段壓縮磁浮離心壓縮機直接置換 R513A 冷媒之性能測試研究，中華水電月刊，蘇立康、林俊傑、鐘震麒、洪國書