



# 經濟部能源科技研究發展計畫

## 一一〇年度第四季知識物件

### 中央空調磁浮離心式冰水機應用

中華民國110年12月



## 目錄

第一章、前言 .....	1
第二章、雙壓冰水機介紹 .....	3
第三章、國產雙壓500RT 冰水機系統 .....	5
3.1性能測試結果.....	5
3.2示範商轉案場介紹.....	7
第四章、結論與展望 .....	10
參考文獻 .....	11



## 圖目錄

圖 1、雙壓單冷媒循環冰水機系統 .....	4
圖 2、雙壓雙冷媒循環冰水機系統 .....	4
圖 3、雙壓逆流式冰水機系統 .....	4
圖 4、國產單段300RT 磁浮離心壓縮機 .....	5
圖 5、MBC-300雙壓單系統磁浮冰水機 .....	6
圖 6、國產雙壓500 RT 冰水機應用場域 .....	7
圖 7、單日冰水機的負載變化 .....	8



## 表目錄

表 1、我國冰水機能源效率分級基準表.....	2
表 2、MBC-300雙壓單系統磁浮冰水機性能.....	7

## 第一章、前言

近年全球各冰水機大廠紛紛推出高效率的冰水機種，這些高效率冰水機組不僅具有高全載效率(性能指標 COP 值)，更具備高整合性部分負載效率(性能指標 IPLV 值)。而這些不外乎拜整合高效率變頻驅動器、高效率馬達、提高壓縮機與熱交換器效率，以及系統最佳化控制技術所賜，實現了兼具全載與部分負載效率值的冰水機組。

由於磁浮離心壓縮機的小型化與高效率化的發展，已逐漸侵蝕到原本以螺旋式壓縮機為主流的中、小型冰水機市場。特別值得注意的是，將磁浮離心壓縮機以多壓縮機並聯設計的磁浮冰水機在國外的發展相當成熟，儼然已成為市場的主流。多壓縮機並聯設計的冰水機，對使用者而言，可以降低空調與製程冷卻中斷的風險；對冰水機業者而言，可以降低壓縮機種規格而發展完整的冰水機群組，且大量採購壓縮機具有議價的好處；對壓縮機生產者而言，大量生產可以降低生產成本與元件備料。因此國內在開發國產磁浮離心壓縮機以建構磁浮冰水機產業時，必須考慮以最少的壓縮機機種來滿足系列化冰水機產品群組，以對應市場不同能力級距冰水機產品的需求。

我國109年7月所頒布的冰水機組能源效率基準表，如表 1、我國冰水機能源效率分級基準表所示。系統效率提升有時伴隨著生產製造成本增加，對冰水機業者來說，當然希望產品能有最佳的效率與成本效益，因此壓力自然會轉嫁到壓縮機生產或供應者身上，如何使壓縮機單體的效率能跨越至更高一級，儼然是一種趨勢與挑戰。



表 1、我國冰水機能源效率分級基準表

冰水機組類型		標示額定製冷能力	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	4.45	4.80	5.15
		≥ 528kW <1758kW	4.90	5.30	5.70
		≥ 1758kW	5.50	5.90	6.35
	離心式	<528kW	5.00	5.40	5.80
		≥ 528kW <1055kW	5.55	5.95	6.40
		≥ 1055kW	6.10	6.60	7.10
氣冷式		全機種	2.79	3.00	3.20

## 第二章、雙壓冰水機介紹

雙壓縮機並聯冰水機系統，依據冷媒循環迴路的設計以及水循環迴路的配置，主要分為共用冷媒循環以及獨立冷媒循環的兩種系統設計，其設計種類與型式影響冰水機的性能表現與系統控制。如圖 1 為壓縮機並聯、冷凝與蒸發兩器共用之雙壓縮機並聯冰水機系統，習稱雙壓單冷媒循環冰水機系統(簡稱雙壓單系統)；圖 2 為雙壓縮機並聯、冷凝與蒸發兩器獨立之雙壓縮機並聯冰水機系統，習稱雙壓雙冷媒循環冰水機系統(簡稱雙壓雙系統)；圖 3 為單壓縮機型冰水機，冰水與冷卻水迴路逆向串聯之冰水機系統，習稱雙壓逆流式冰水機系統(簡稱雙壓逆流式系統)。

雙壓單系統之優點為部分負載運轉時可充分利用其熱交換面積，有助於提高部分負載 50%、25% 的 COP 值，系統的製造成本較低，困難度則是冷媒系統共用，壓縮機的啟動易受背壓之影響，以及壓縮機負載均衡之控制，通常皆是利用熱氣旁通進行壓縮機啟動；雙壓雙系統其優點則為壓縮機的啟動與運轉較不受背壓之影響，兩台壓縮機的負載可以不用考慮其均衡性，缺點則為無法享有部分負載時更大熱交換面積的好處，同時製造本也比較高；雙壓逆流式系統，壓縮機的啟動與負載調控與雙壓雙系統相同，其最大優點為可以優化冷凝與蒸發兩器的設計，使壓縮機運轉的壓比降低，因此可以提高冰水機的全載效率，缺點則為熱交器與系統的製造成本將因此增加。雙壓逆流式冰水機系統因為水循環迴路的逆向配置，分為高溫機與低溫機，其優點為可提高全載的 COP、克服雙壓縮機組合時不利較高能效指標之達成問題，其缺點則是高溫機的負載比較重，必須注意馬達功率與冷卻的問題。

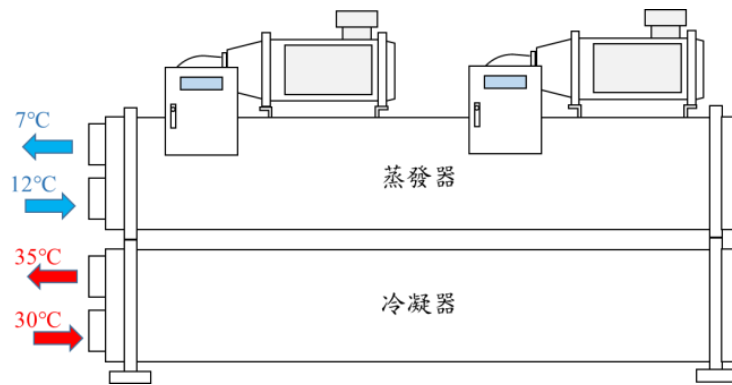


圖 1、雙壓單冷媒循環冰水機系統

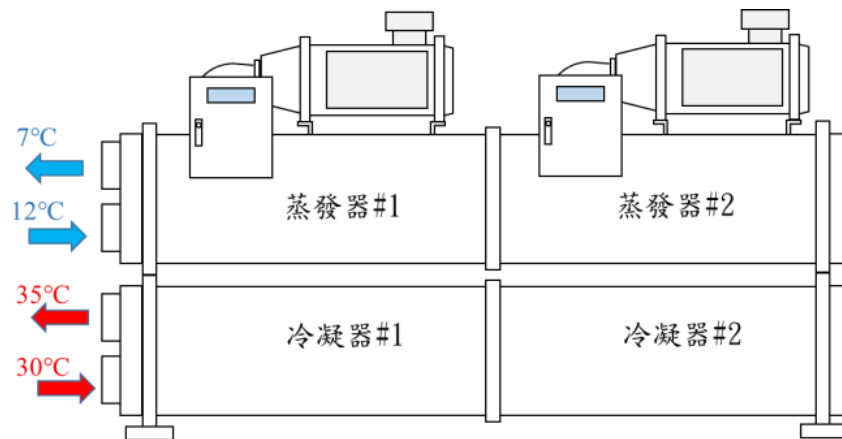


圖 2、雙壓雙冷媒循環冰水機系統

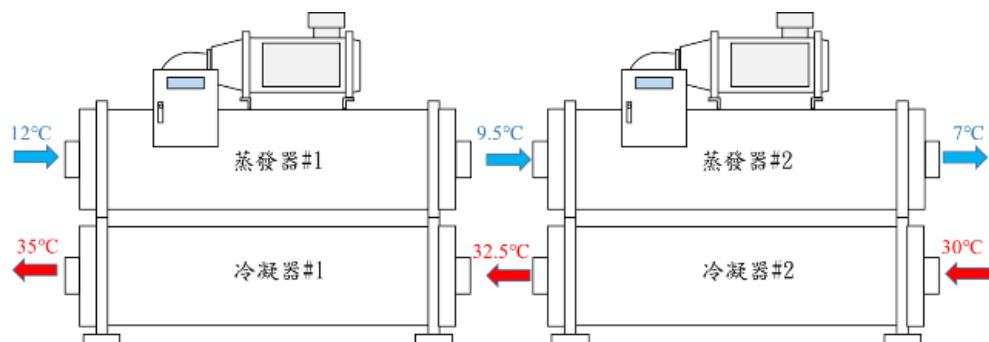


圖 3、雙壓逆流式冰水機系統



## 第三章、國產雙壓500RT 冰水機系統

磁浮離心壓縮機為高能效磁浮冰水機的關鍵元件，如圖 4所示。國產單段300RT 磁浮離心壓縮機外型圖示，全機機構可以概分為兩大主要構成組件，包含：流力元件與容調機構之壓縮段組件；磁浮軸承、高速馬達及其磁控與驅動之磁浮主軸總成組件。全機殼採鑄造鋁合金，總重量312 kg，CNS 全載條件之額定製冷能力為250~320RT；馬達電機型式為交流4極感應馬達，最大消耗功率180 kW，採用單段壓縮封閉式鋁合金精密鑄造葉輪。

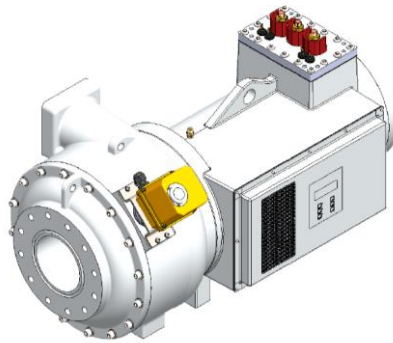


圖 4、國產單段300RT 磁浮離心壓縮機

### 3.1 性能測試結果

雙壓單系統冰水機(如圖 5所示)具備高 IPLV 部分負載性能效率特性，採用兩台額定能力300 RT 之 MBC-300磁浮離心壓縮機，測試規範依 CNS12575全載與部分負載，如表2所示。全載冰水機額定能力500 RT 性能效率 COP 為6.31；部分負載75%、50%、25%性能效率 COP 分別為7.9、12.29、11.68，其中部分負載25%性能效率大幅提升47%，相較於單壓系統冰水機於部分負載25%。在 IPLV 加權係數分別為  $IPLV=0.01*(100\% \text{ COP})+0.42*(75\% \text{ COP})+0.45*(50\% \text{ COP})+0.12*(25\% \text{ COP})$ ，故 IPLV 為 10.315。在部分負載50%、25%採用單壓縮機運轉相較於雙壓縮機運轉性能效率表現更佳。

單壓縮機運轉於額定能力250RT 相較於雙壓運轉單機額定能力125RT 之部分負載50%，製冷能力增加兩倍可大幅縮小葉輪入口攻角而提高葉輪效率。其中部分負載25%採用單壓與雙壓運轉性能效率差異最大，因雙壓運轉在單壓額定能力125RT 之部分負載50%可透過轉速調節，但雙壓運轉在單壓額定能力之67.5RT 部分負載25%因入口攻角持續增加而造成失速，需應用容調機構輔助運轉至額定點。

因此，單壓縮機運轉於額定能力125 RT 之冰水機部分負載25%，僅需透過轉速調節即可運轉。在雙壓單系統冰水機具備較低的部分負載系統壓比，應用單壓縮機運轉提升效率，並搭配容調機構擴大冰水機可運轉範圍。雙壓單系統冰水機於夏季工況因水溫使系統壓比較大，故喘震頻率較高，為了避免喘震壓縮機無法降速，當製冷能力需求250 RT，可藉由單壓縮機運轉調控負載，並非雙壓縮機運轉使用容調機構調節負載，雙壓系統更靈活的調控制冷能力需求且可組合出更佳的性能效率。



圖 5、MBC-300雙壓單系統磁浮冰水機

表 2、MBC-300雙壓單系統磁浮冰水機性能

測試規範CNS12575			額定能力			
項目		單位	500 USRT	375 USRT	250 USRT	125 USRT
冰水測	入水溫度	°C	12.265	10.090	9.419	8.421
	出口溫度	°C	7.153	7.125	6.855	7.145
	溫差(DT)	°C	5.112	377.6	25.64	1.276
	冰水流量	LPM	5000.1	5002.1	5,001.80	5001.4
冷卻水測	入水溫度	°C	29.737	23.873	18.679	18.773
	出口溫度	°C	34.465	27.295	20.912	19.906
	溫差(DT)	°C	4.728	3.422	2.233	1.333
	冷卻水流量	LPM	6266.3	6226	6,267	6265.1
電源	電壓	V	378.2	391.3	382.60	387.1
	電流	A	458.616	261.803	116.89	61.789
	頻率	Hz	60	60	60	60
	功率因數		0.94	0.94	0.94	0.92
	電功率	kW	282.40	166.79	72.81	38.11
總性能	蒸發器	kW	1,783.1	1317.85	894.87	445.35
	製冷能力	kcal/h	1,533,495	1133348	769,592	382997
		RT	507.11	374.78	254.5	126.65
	COPR		6.31	7.90	12.29	11.68
	每冷凍噸消耗電功率	kW/RT	0.557	0.445	0.286	0.301
熱平衡百分比		%	0.35	-0.42	-0.68	-2.14
IPLV			10.315			

### 3.2 示範商轉案場介紹

國產之一雙壓500 RT 冰水機案例為位於一棟五層樓的郵務物流中心，如圖 6所示。



圖 6、國產雙壓500 RT 冰水機應用場域

冰水機房中共有三台主機，分別為本研究之雙壓500 RT 磁浮離心冰水機，以及兩台螺旋式冰水機，螺旋機於磁浮機進駐後，改做為磁浮離心機之備機。主機運轉時間為7:00至23:00，中午午休以及黃昏各停機1與1.5小時。一天負載變化如圖 7所示。

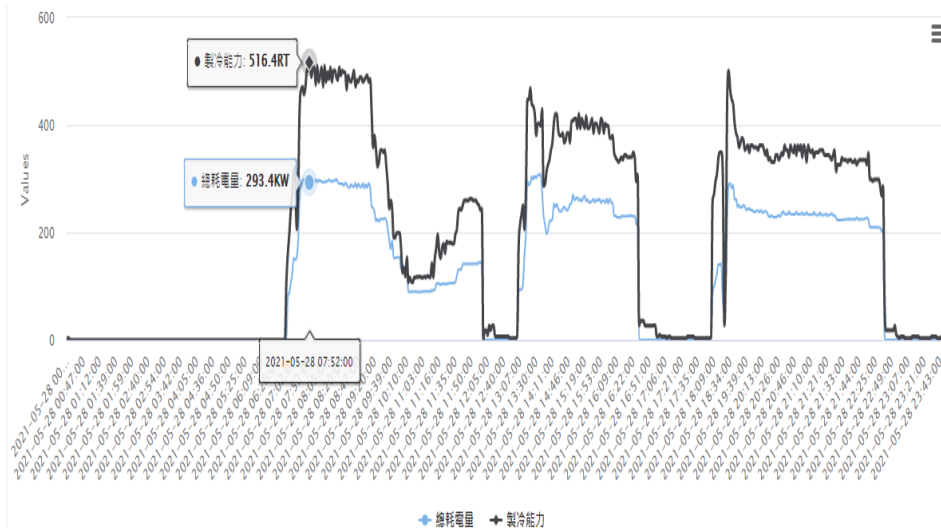


圖 7、單日冰水機的負載變化

### ● 雙壓運轉遭遇之問題

雙壓運轉遭遇的問題主要為兩點，第一為兩台壓縮機必定存在基本的微小差異。第二為冷媒循環系統賦予的運轉條件差異性。任何兩台同型的壓縮機，其性能一定會有微小的差異，包括葉輪製造公差、馬達殼內部散熱流道細節、馬達性能差異等，必須有一個機制就巨觀的結果，亦即壓縮機消耗功率(或是運轉電流)加以平衡，讓兩台壓縮機對氣體作功維持在一個合理差異之內(例如10%)。否則，一旦差異過大，將使得對氣體作功較低的壓縮機產生失速甚至喘震的現象。

冷媒循環系統也會對兩台壓縮機造成氣體作功的差異，例如吸氣管於蒸發器上的位置、排氣管於冷凝器上的位置、進排氣管的長度與造型、排氣管逆止閥的位置、膨脹閥與熱氣旁通閥的位置、馬達冷卻迴路的外部配管差異等等，這些差異同樣的會造成壓縮機的功率不同，進而造成失速或喘震的現象。



- 控制策略之對應

平衡兩台壓縮機的輸入功率差異的做法，可以微調個別的轉速(頻率)與容量調整機構來達成。微調過程，除了不斷嘗試縮小兩台壓縮機的功率差異之外，還必須兼顧冰水供應溫度的恆定，才算是成功的平衡機制。



## 第四章、結論與展望

雙壓縮機並聯冰水機系統是我國市場廣泛應用的產品，除了擁有單壓故障仍可供應50%能力的備機概念之外，具有比單壓系統更寬廣的運轉調控範圍與高部分負載性能之特點。然而離心機的特性不如螺旋機，離心壓縮機的運作易受鄰機的狀態以及冷媒循環狀態的影響，產生壓縮機消耗功率差異的現象。這現象可藉由各別轉速以及容調機構予以平衡。

展望未來，多台磁浮離心壓縮機組合成大能力的冰水機仍是市場的主流之一，且有不同能力壓縮機並聯於同一冷媒系統運轉的產品需求，要如何做到多台不同能力壓縮機間的平衡運轉，是磁浮冰水機技術應用的重要課題。



## 參考文獻

- [1] 蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準 CNS12575與能源效率分級標示事項方法及檢查方式。
- [2] Effects of Diffuser Width on Performance Improvement for a Centrifugal Refrigerant Compressor (Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning 2018), Jun Jie Lin Kuo Shu Hung, Jenn Chyi Chung, Chung Che Liu,
- [3] 廣域高效率離心冰水機系統技術，冷凍空調與能源雜誌，劉中哲、陳景富、洪財旺、江時昌、鐘震麒。
- [4] AHRI Standard ANSI/AHRI Standard 551/591 (SI), Performance Rating Of Water – Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle, 2018