



經濟部能源科技研究發展計畫

一一三年度第一季知識物件

製冷25kW 可變壓比渦卷式壓縮機 (應用於氣冷式冰水機)之技術分析

中華民國113年3月

目錄

一、前言	1
二、渦卷式壓縮機原理與特性	1
三、渦卷壓縮機可變壓比機構性能分析	3
四、渦卷式壓縮機之馬達性能模擬分析	7
五、結論	9
六、參考文獻	9

一、前言

依據臺灣永續發展目標，自2016年至2030年我國能源密集度年均改善需達2%以上，為配合溫室氣體減量及管理法，且因應「2050淨零碳排」之節能目標，積極協助傳統產業節能減碳暨轉型、發展綠色技術與產業、提高資源與能源使用效率將尤為關鍵，透過建立自主技術之軟硬體整合平台，並開發利基型多樣化商品而開拓新興市場。同時，透過高效商品之普及化，提升我國用電效率及發揮節能成效。

而根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)調查顯示，隨著全球經濟發展與新興國家的成長，預期在2050年空調系統將會成為住商部門最大用電的最主要設備，占全球電力使用約16%，如圖1所示。由此顯見，民生部門的用電發展中，空調設備的用電成長為未來最為可觀的單體設備，故藉由開發更為創新的技術，加以應用以及商品化，對於提高單體設備的效率，以及抑制整體設備的用電成長為各式民生部門設備中最為重要的項目。

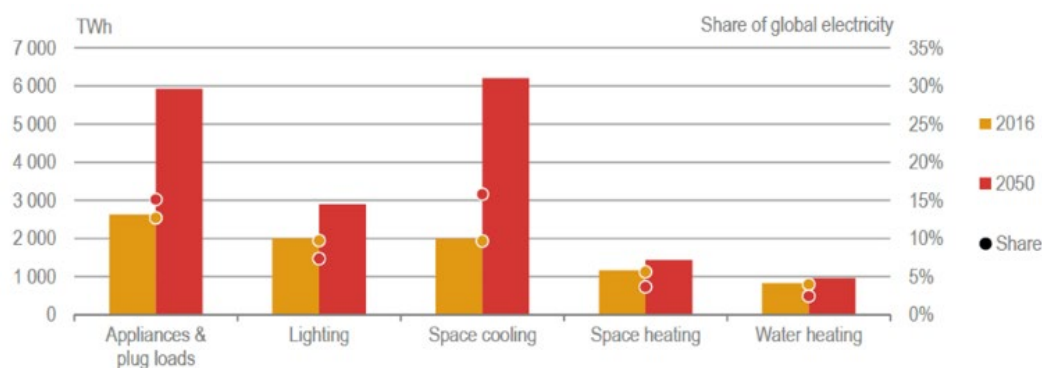


圖1、2016年以及2050年住商電力需求來源[1]

其中，壓縮機可被視為冷凍空調產品的心臟，其負責驅動系統中之製冷劑，於各元件間進行吸熱、放熱等動作，以利空調系統進行製冷與製熱。壓縮機的設計優劣亦將影響空調系統之性能與壽命耐久可靠度等，有鑑於此，本文將針對一型製冷25kW 之渦卷式壓縮機進行相關技術分析。

二、渦卷式壓縮機原理與特性

2.1 渦卷作動原理

渦卷式壓縮機主要包含兩組關鍵元件，分別為固定渦卷與繞動渦卷，如圖2所示，紅色線圈代表固定渦卷、綠色線圈則代表繞動渦卷。固定渦卷以軸固定，繞動渦卷則對固定渦卷行公轉運動以利壓縮流體(如：冷媒、空氣等)，並重複進行吸氣、壓縮、排氣等連續運動，以達壓縮機製熱功效，如圖3所示為其作動原理。

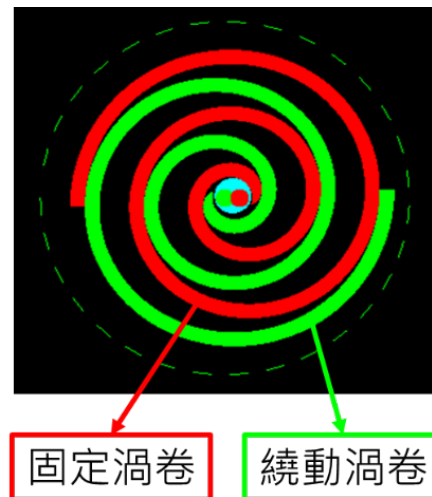


圖2、渦卷式壓縮機關鍵元件

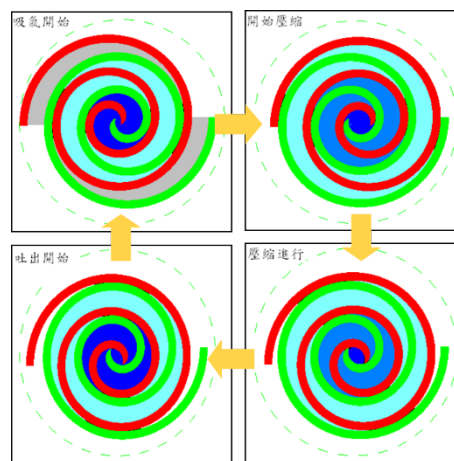


圖3、渦卷式壓縮機作動原理示意圖

2.2可變壓比設計原理

渦卷機構主要運作原理為由外側開始吸氣、經渦卷腔室逐步進行氣體壓縮，直至吐出口進行排氣。一般來說，渦卷壓縮機將依據上述原理進行規律之流體壓縮，然而當某些運轉情境下，系統實際上不需如此高溫、高壓之吐出氣體即可符合使用需求，而此時壓縮機的持續壓縮則易造成壓縮機的耗能表現。

有鑑於此，導入可變壓比機構的設計可被視為協助能效提升的一型改善方案，如圖4所示為具可變壓比之渦卷機構示意圖。原氣體自吸氣口吸入、經由腔室1→2→3進行壓縮，並自吐出口排氣，而於腔室中導入可變壓比開孔，即可因應使用情境提前進行排氣，除可避免氣體過壓縮造成浪費、有助於節能功效外，亦可確保渦卷吐出口之強度與耐用性。

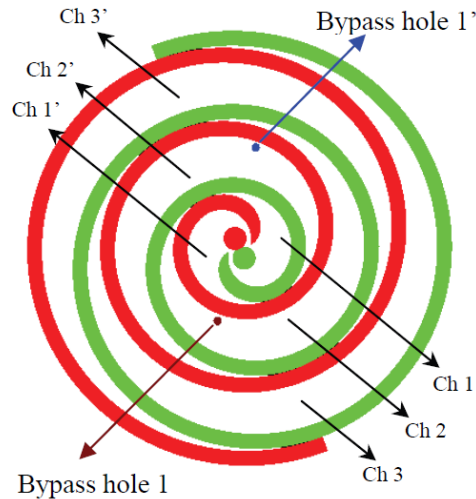


圖4、具可變壓比之渦卷式機構示意圖[2]

三、渦卷壓縮機可變壓比機構性能分析

3.1可變壓比機構對應壓縮機性能影響

為探討可變壓比機構對於壓縮機之性能影響，本文選用具備可變壓比機構、且應用於氣冷式冰水機空調系統之壓縮機進行測試驗證。為確保壓縮機可發揮可變壓比功效，本文分別訂定兩組適用於空調系統之全載工況與半載工況，以比對不同運轉工況條件之差異性，其轉速、蒸發溫度與冷凝溫度詳如圖5所示。

本次壓縮機規劃於工研院綠能所沙崙院區之製冷3~30kW 壓縮機性能測試平台進行測試，如圖6所示為該測試平台，主要測試方法將參照 JIS-B8606 (冷凍用壓縮機的試驗方法)、JIS-B8600 (冷媒壓縮機試驗法)等。如圖7、圖8及圖9所示則分別為該壓縮機於不同運轉工況條件下對應之性能表現、製冷能力與壓縮機入力。

由圖中可以清楚發現於半載工況條件下，具可變壓比機構之 AA1牌壓縮機，其 COP 性能相較無可變壓比機構之 AA2牌壓縮機有較佳之表現，約可提升4~6%；反之，於全載工況條件下，壓縮機不論有無可變壓比機構對於性能較無明顯差異。由上述壓縮機性能表現可以推得，具備可變壓比機構於半載工況條件下具備較顯著之效果。

項次	工況	轉速 (rpm)	蒸發溫度 TE(°C)	冷凝溫度 TC(°C)
1	室外機工況 (全載)-1	A+240	B-3.39	C+6.58
2	室外機工況 (全載)-2	A	B-0.94	C+3.26
3	室外機工況 (半載)-1	A-2,220	B+4.89	C+3.1
4	室外機工況 (半載)-2	A-2,160	B+6.94	C-0.24

圖5、適用於空調系統之不同室外機運轉工況



圖6、製冷3~30kW 壓縮機性能測試驗證平台(工研院綠能所沙崙院區)

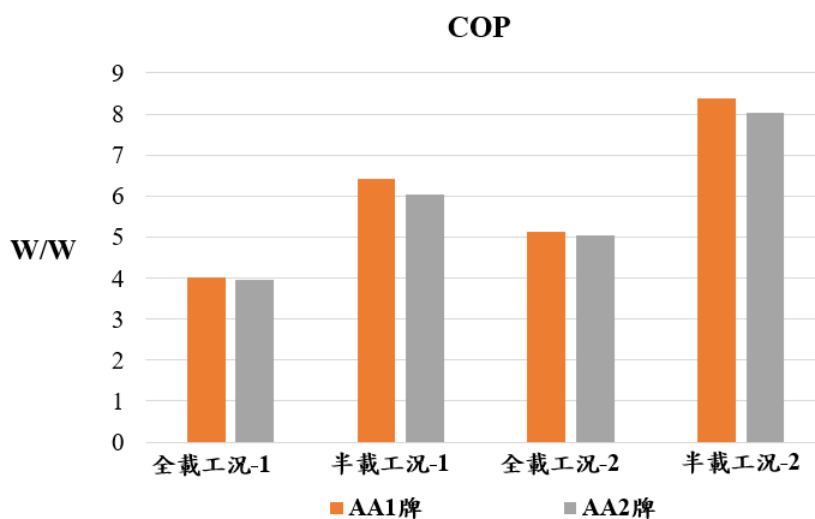


圖7、不同運轉工況對應壓縮機之性能表現

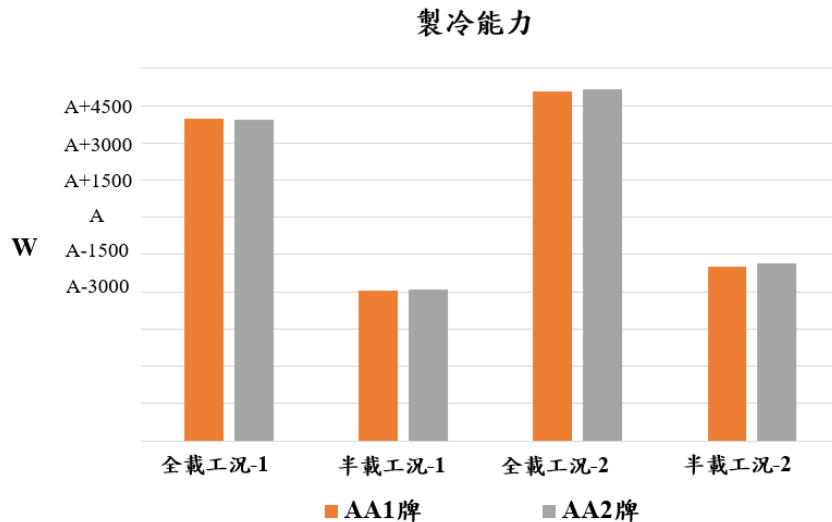


圖8、不同運轉工況對應壓縮機之製冷能力

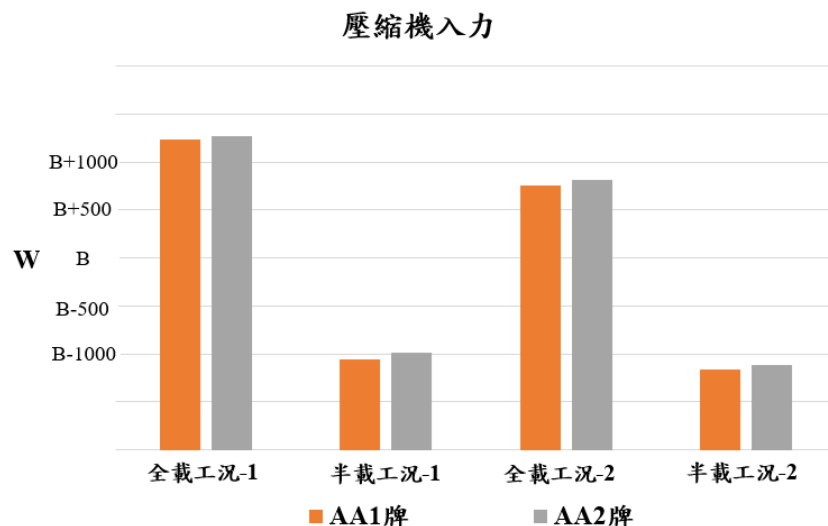


圖9、不同運轉工況對應壓縮機之入力

3.2 製冷25kW 渦卷壓縮機性能模擬分析

延續前述小節針對可變壓比機構對應壓縮機性能之影響，針對一型製冷能力25kW 之渦卷壓縮機進行性能模擬分析。本文採用工研院自行開發之渦卷壓縮機性能分析軟體，並藉由軟體計算導入可變壓比之位置角度與孔徑等關鍵設計，詳細可參閱如圖10所示。

如圖11至圖13所示則分別為該型壓縮機於模擬軟體下，針對渦卷有無具備可變壓比機構對應性能之影響。由圖中可明顯看出當壓縮機具備可變壓比機構時，於系統半載運轉工況條件下，COP 性能可提升約6~11.5%；反之，於全載工況條件下，COP 性能較無明顯差異。換句話說，由模擬結果可推論渦卷具備可變壓比機構設計，將可提升系統於輕負載條件下之性能，將有助於整體 CSPF 性能表現。

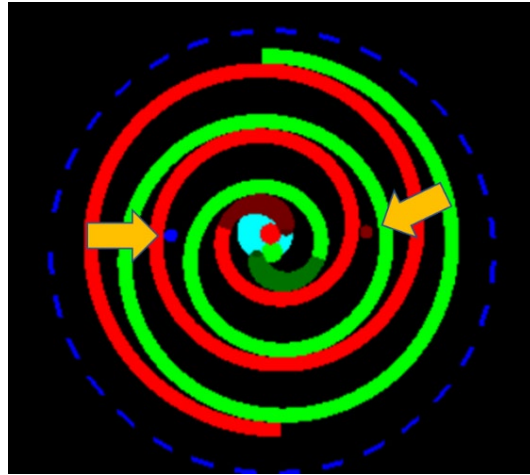


圖10、製冷能力25kW 渦卷壓縮機可變壓比機構設計示意圖

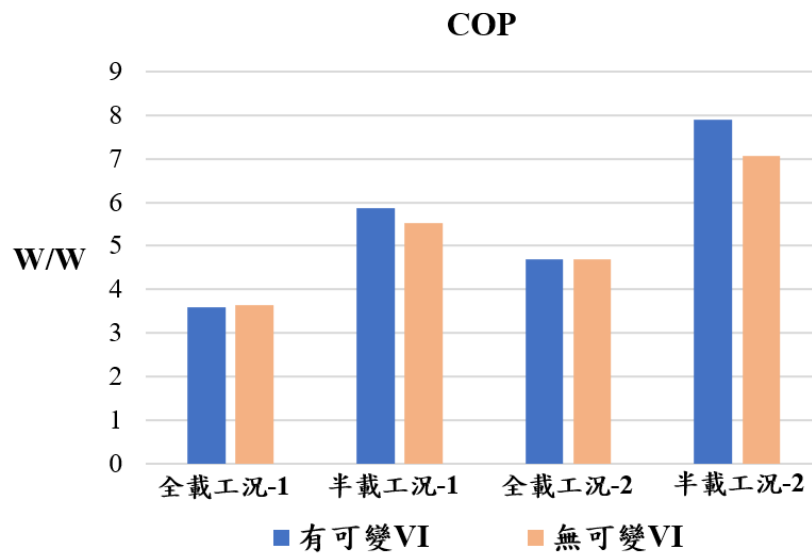


圖11、不同運轉工况對應壓縮機之性能表現

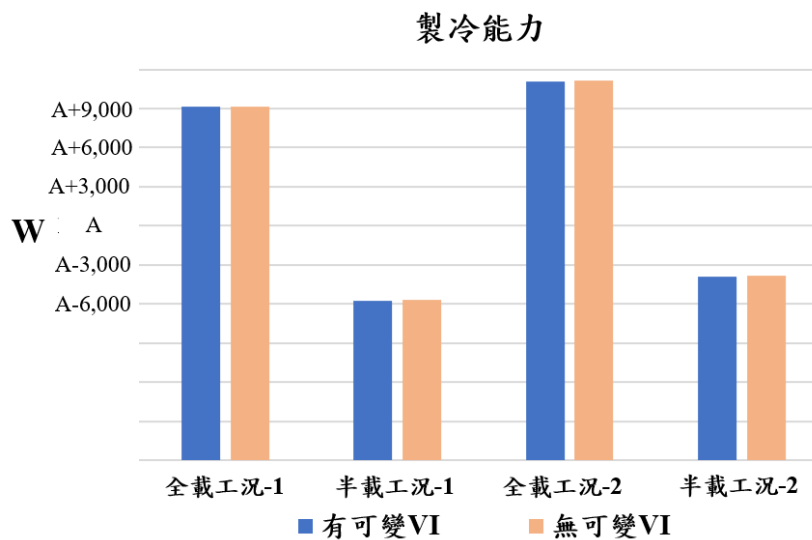


圖12、不同運轉工况對應壓縮機之製冷能力

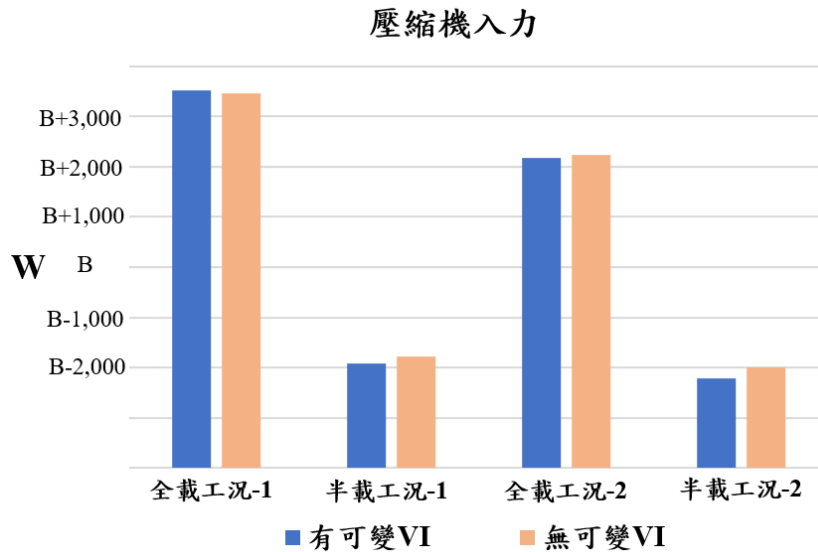
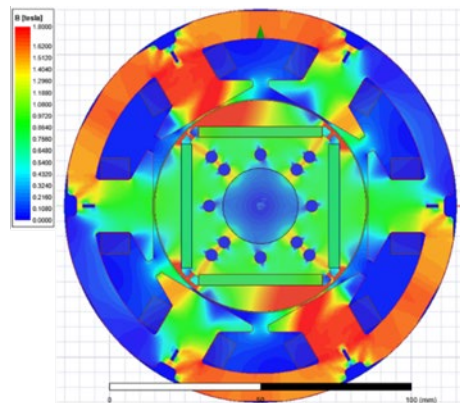
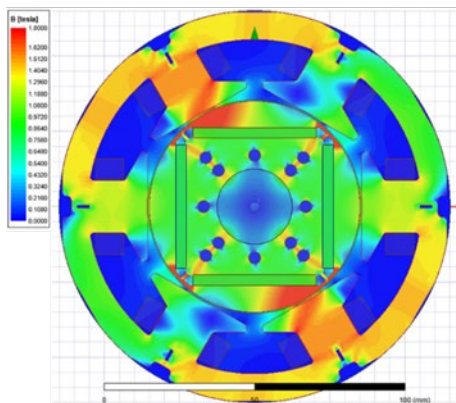


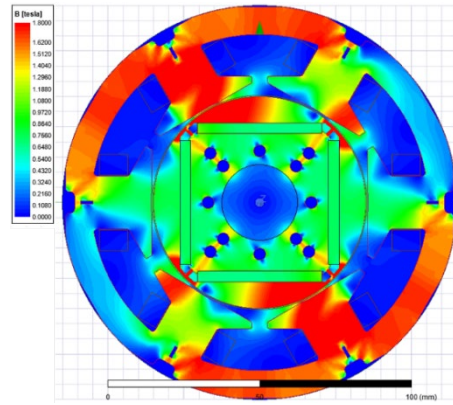
圖13、不同運轉工況對應壓縮機之入力

四、渦卷式壓縮機之馬達性能模擬分析

本文亦針對壓縮機馬達單體進行磁路模擬分析，藉由有限元的磁路分析以確認馬達於不同運轉工況之磁通密度分佈結果。本文所採用之不同運轉工況包含：輕載工況($T_e A+5^{\circ}\text{C}/T_c B^{\circ}\text{C}$)、標準工況($T_e A+5.2^{\circ}\text{C}/T_c B+24.4^{\circ}\text{C}$)及嚴苛工況($T_e A^{\circ}\text{C}/T_c B+35^{\circ}\text{C}$)，並分別確認於額定轉速及高轉速下之馬達性能表現，詳如圖14至圖15所示。由圖中可以看出，於輕載工況條件下，定子磁路均未有飽和現象；而當運轉至標準或嚴苛工況條件下，其定子齒部已部分出現磁路飽和現象。當磁路飽和發生時，即代表馬達易會出現漏磁、電機效率降低、轉矩-轉速匹配等問題，對於壓縮機運轉效率及整體性能均會造成影響。

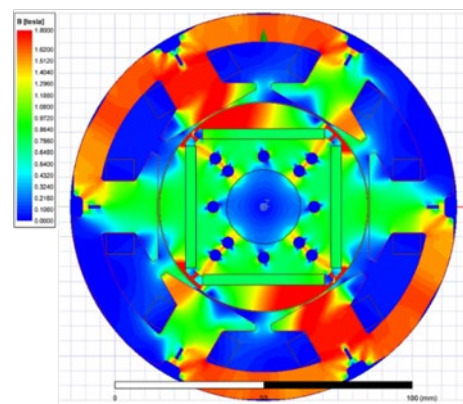
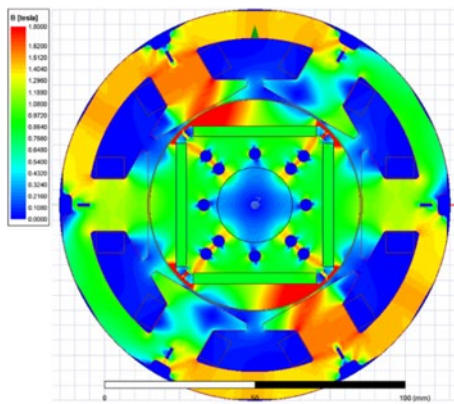


(a)、輕載工況($T_e A+5^{\circ}\text{C}/T_c B^{\circ}\text{C}$) (b)、標準工況($T_e A+5.2^{\circ}\text{C}/T_c B+24.4^{\circ}\text{C}$)



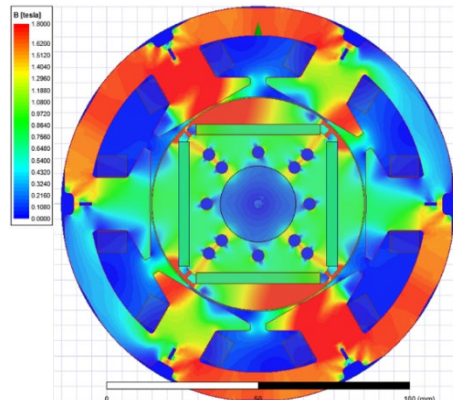
(c)、嚴苛工況(Te A °C / Tc B +35 °C)

圖14、額定轉速下不同工況條件之馬達磁路分析



(a)、輕載工況(Te A +5 °C / Tc B °C)

(b)、標準工況(Te A +5.2 °C / Tc B +24.4 °C)



(c)、嚴苛工況(Te A °C / Tc B +35 °C)

圖15、高轉速不同工況條件之馬達磁路分析

五、結論

本文主要為針對一型製冷能力25kW 之渦卷式壓縮機進行技術分析。為探討渦卷式壓縮機之可變壓比機構對於性能之影響，選用具備可變壓比機構、且應用於氣冷式冰水機空調系統之壓縮機進行測試驗證，並訂定兩組適用於空調系統之全載工況與半載工況，以比對不同運轉工況條件之差異性。由實測結果可發現於半載工況條件下，具可變壓比機構之壓縮機，其 COP 性能表現約可提升4~6%。

為確保壓縮機可發揮可變壓比功效，透過工研院自行開發之模擬軟體進行性能模擬分析，並藉由軟體計算導入可變壓比之位置角度與孔徑等關鍵設計。由模擬結果可清楚看出當壓縮機具備可變壓比機構時，於系統半載運轉工況條件下，COP 性能可提升約6~11.5%；反之，於全載工況條件下，COP 性能較無明顯差異。由此可推論渦卷具備可變壓比機構設計，將可提升壓縮機於輕負載條件下之性能，有助於整體空調性能表現。

此外，本文亦針對壓縮機馬達單體進行磁路模擬，以有限元的磁路分析確認馬達於不同運轉工況條件之磁路分布。由模擬結果可推斷當壓縮機運轉於輕載工況條件下，其定子矽鋼片磁路均未出現飽和現象；相反，當於標準及嚴苛工況條件下，馬達定子齒部已部分出現磁路飽和狀況，代表壓縮機於此工況下運轉，整體性能效率將可能受影響。

六、參考文獻

- [1] The Future of Cooling, IEA(2019)。
- [2] Liu, Y., Hung, C., & Chang, Y. (2008). Comparison Between Different Arrangements of Bypass Valves in Scroll Compressors.