

離心壓縮機轉子動力分析

Dynamic Analysis of Rotor in Centrifugal Compressor

翁英哲^{1*}、吳登淵¹、楊竣翔²

¹ 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 工程師

² 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 經理

摘要：本研究使用商用設計軟體 DyRoBeS 針對離心式空調主機之壓縮機轉子進行動態分析。轉子系統的額定操作轉速約為 6,000 rpm，臨界轉速分析結果顯示系統之第一階臨界轉速為 8,673 rpm、第二階臨界轉速為 11,320 rpm，第三階臨界轉速為 14,185 rpm，與額定轉速皆符合大於 20% 安全裕度之設計要求。

Abstract : This article describes the dynamics analysis of the compressor rotor in a newly designed centrifugal chiller using commercial design software, DyRoBeS. The rated rotation speed is 6,000 rpm for the single shaft system. The first critical speed is 8,673 rpm, the second critical speed is 11,320 rpm, and the third critical speed is 14,185 rpm. The first second critical speed of the rotor is found to be 20% higher than the rated rotation speed, which completely meets the design requirement.

關鍵詞：轉子動力、臨界轉速、壓縮機

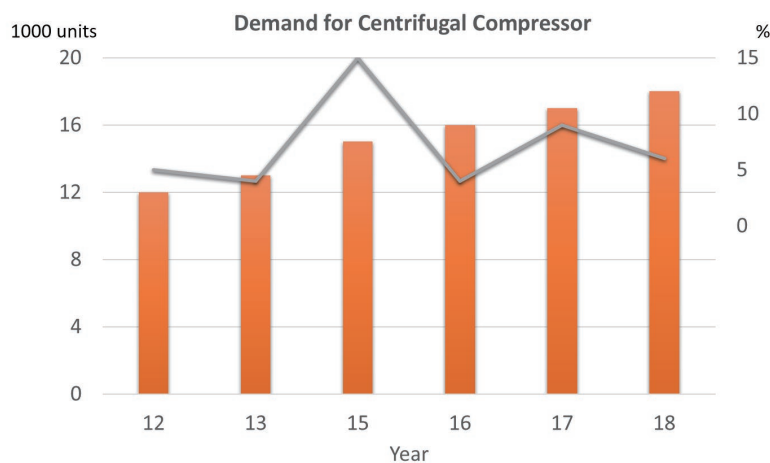
Keywords : Rotor dynamics, Critical speed, Compressor

前言

空調製冷科技影響現代人生活甚鉅，從住宅到辦公大樓、由商場、旅館至高科技製程環境，所見之處無不倚賴空調系統。為了維持室內環境舒適對於地球能源的倚賴也更加嚴重。相信未來在能源供應和成本、國際和各國政府對能源效率管理，以及面對日益升高的環保和 CO₂ 減量壓力的諸多因素影響下，將持續不斷的要求更高效率的空調設備和系統技術。台灣地區電力系統之夏季尖峰負載隨著全球暖化、溫度上升的影響而屢創新高。目前使用的冰水機保守估計在十四萬台以上，總容量約三百萬冷凍噸，其中離心式冰水機約佔一萬台左右。根據台電資料顯示，住/商兩部門的耗電量自 1970 年代起穩定成長，至 2000 年已達總耗電量的 31%(住宅 20.1%，商業 10.9%)，其中空調與照明耗電佔一半以上。整體而言，空調型建築物中以空調用電佔最大比例，

空調尖峰用電量在夏季佔了 40~50%，而冬季也佔了 20~30%。因此，1998 年「全國能源會議」做出了節能及提升能源效率需優先推動之結論。

依據 2002~2007 年 Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News 之統計，目前全球線上安裝運轉之離心式冰水機約 117,000 台，其中有 83,000 台在美國，13,400 台在日本，台灣地區約 10,000 台 (600 萬 RT)。全球離心式冰水機市場每年約有九千台的需求量，美洲、日本、中國大陸、台灣市場各佔 38%、10%、15%、7%。目前主要離心式冰水機生產國為美國、日本與韓國。中國大陸之高效率機種主要是從美國與日本進口壓縮機和關鍵零組件進行組裝銷售，其年需求由 2002 年之 1,000 組迅速成長為 2007 年 2300 組左右，又 2007 年台灣及南韓之需求分別為 500 及 380 組，亞洲新興國家之總需求有機會佔全球 40% 之市場。依據 JARN 在 2018 年 3 月的報導中指出，2017 年全球離心式冰水機市場規模為 18,000 台，



Source: JARN estimate

圖 1 離心式冰水機市場需求趨勢

較 2016 年增加 3.5%，主要成長來自中國、美國與南韓，主要市場大小排序也變為中國、美國、南韓、日本、中東，過去 10 年，小型冰水機採用磁浮離心機，因高效率已被市場接受，相關之需求統計預測分析如圖 1 所示。

我國的離心式冰水機需仰賴國外進口，市場主要領導品牌為 Trane、Carrier、York、Mcquary 等美系離心式壓縮機，日系則有 MHI(三菱)、Hitachi(日立)、Ebara(日本)。而中國重通、美的與格力已有單級壓縮離心式冰水機的自製能力，韓國則有 LS、Roltec 等品牌。有別於螺旋式、渦卷式等冰水機，目前全球離心式冰水機之品牌，皆採壓縮機與冰水機系統整機由同一品牌製造之方式提供給客戶，亦即並無單獨供應離心式壓縮機給系統廠商的商業模式。冰水機製造廠在無法取得壓縮機的情形下，自然無法生產離心式冰水機。

目前全國每年新增之空調能力總量約為 198.5 萬 RT，其中離心式冰水機約佔 14% (28.5 萬 RT)，雖然離心式冰水機建置台數少，然其屬長時間運轉之使用形態使其空調耗能佔全國總空調耗能比重大，如表 1 所示。由於我國未來必將持續往高科技及生化產業方面之發展，根據美國柏克萊實驗室所發表資料顯示，此類高科技產業的耗能，其中主要為製程機台耗能與潔淨室環境耗能二大

表 1 國內各類空調設備每年需求量比較

型式	年增總量 (冷凍噸-RT)	比重
窗型冷氣	80 萬台 × 1.5 RT = 120 萬 RT	60%
箱型冷氣	8000 台 × 10 RT = 8 萬 RT	5%
螺旋式冰水機	2800 台 × 150 RT = 42 萬 RT	21%
離心式冰水機	475 台 × 600 RT = 28.5 萬 RT	14%

部分，根據國內廠商的實測結果與美國柏克萊實驗室實測美國矽谷地區的統計資料，機台與輔助設施佔整體耗能約 40%。為追求此類產業之節能以減少能源成本支出，對無塵室之節能就成為一項非常重要之課題。而在具體做法上，首要之務即是提高此領域使用比例極高的離心式冰水機之容調範圍與部份負載效率來達成節能之目的。

本文主要以轉子動力與軸承剛度分析為主，在開發過程中進行必要的分析，提供流體設計與機械設計的重要參考依據，以期能符合設計目標。文中說明離心式冷媒壓縮機之設計分析流程及轉子動力分析流程，文中採用轉子動力學軟體 DyRoBeS，進行轉子動態系統的設計與分析。

分析流程

本文主要目的在探討離心式壓縮機主軸系統之轉子動力特性，以數值之方式，建立轉子系統(葉輪、轉軸、軸承、軸封等)之分析模型，以獲得轉子系統的臨界轉速(Critical Speeds)、振型(Mode Shapes)及振動反應(Forced Response)。預

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | · 439 期 · 108 年 9 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 12 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 繳款收執 或 信用卡刷卡單 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌·官方網站：www.automan.tw 機械工業雜誌·信箱：jmi@itri.org.tw

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

- A** 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)
- C** 工具機叢書任一本
- D** 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D