

# 冷媒壓力波動效應對雙螺桿壓縮機噪音之探討

## Effect of Refrigerant Pressure Pulsation on Noise Emission of Twin Screw Compressor

王栢村<sup>1</sup> 謝文馨<sup>2</sup> 王文志<sup>1</sup> 王廷維<sup>1</sup> 張恩翰<sup>2</sup> 黃啟順<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學 機械工程系

<sup>2</sup> 國立中正大學 機械工程系

<sup>3</sup> 漢鐘精機股份有限公司 總工程師

### 摘要

雙螺桿壓縮機噪音為業界重視之問題，而雙螺桿壓縮機引起噪音成因，包含冷媒壓力波動效應、馬達轉動、雙螺桿轉子接觸效應及機殼結構振動傳遞等因素。本文主要探討壓縮機內部之冷媒壓力波動效應，對雙螺桿壓縮機外部噪音之影響。本文首先針對雙螺桿壓縮機進行改裝，將壓力感測器埋入雙螺桿壓縮機中，接著量測壓縮機運轉過程中冷媒壓力波動，包括：雙螺桿轉子壓縮室以及轉子排氣端之內部腔室之冷媒壓力量測。同時，在壓縮機外部安置麥克風感測器，量測壓縮機外部之噪音。分別對所量測之內部冷媒壓力及外部噪音數據進行頻譜分析，以探討運轉過程中內部冷媒壓力波動對壓縮機外部噪音之影響。結果顯示，轉子壓縮室之冷媒波動壓力頻譜主要在 2500Hz 以下，而壓縮機外部噪音確實在 2500Hz 以下有較高的噪音量，由於受到機殼結構振動傳遞路徑之影響，聲音壓力頻譜特性僅有部分關聯性。壓縮機內部冷媒壓力波動之 DC 訊號，主導了 500Hz 以下之壓力頻譜，而 500Hz 以上為冷媒壓力波動之 AC 訊號所主導。本文由聲音傳遞路徑之量測與分析，首度了解雙螺桿壓縮機內部冷媒壓力波動對外部噪音之影響。

關鍵字：雙螺桿壓縮機、冷媒壓力、噪音

### 1. 前言

中型及大型中央空調設備中，以雙螺桿壓縮機為主，而雙螺桿壓縮機之噪音，一直都是雙螺桿壓縮機廠商欲想解決的問題之一，因此如何解決雙螺桿壓縮機之噪音問題，就值得我們深入探究，每當改變雙螺桿壓縮機之可控參數後，不同的噪音源層出不窮出現，為了掌握雙螺桿壓縮機引起噪音成因，此次將冷媒壓力波動效應對雙螺桿壓縮機之外部噪音作深入探討，可找到冷媒壓力波動效應對雙螺桿壓縮機之外部噪音的影響。

關於雙螺桿壓縮機冷媒壓力波動之文獻，Wu *et al.* [1] 利用壓力-體積指示器控制熱交換器及閃蒸筒位置的節流器壓力，來計算雙螺桿壓縮機之製冷效率及軸功率，並補償雙螺桿壓縮機壓縮過程中壓力不足現象。Wu *et al.* [2] 說明雙螺桿壓縮機為了提升效率採用節流器，而導致壓縮區域造成壓力不足現象，因此進行壓力補償模擬與驗證，文中指出可模擬雙螺桿壓縮機在壓力補償條件下之壓縮區域的壓力變化，未來可應用於雙螺桿壓縮機之壓縮區域設計。Mujic *et al.* [3] 針對雙螺桿壓縮機之蝴蝶口設計，並探討蝴蝶口對氣體波動之影響。Wu *et al.* [4] 針對雙螺桿壓縮機之排氣端的冷媒壓力波動進行數值模擬，文中利用一維非穩態氣流方程式，能得到最佳的模擬結果。

相對於壓縮機之噪音探討文獻中，王等人 [5] 對迴轉式壓縮機之以 Receiver test 與 Run-up test 兩種噪音量測技術比較探討其噪音特性，找出可能的結構自然頻率。關於壓縮機振動與噪音相依性探討，王等人 [6] 針對機械噪音之品管與研發層次，建立出系統化噪音量測程序與診斷流程，以收受端測試與路徑測試來確認噪音源，並透過雙螺桿壓縮機的應用，由噪音分析程序結果，得知雙螺桿壓縮機之總噪音量會隨滑閥負載降低而逐漸增加，由 1/3 八音頻帶得知 500Hz 與 800Hz 為高噪音貢獻度頻帶，且從線性頻譜顯示主要來自第 2、3 啮合頻率與其他轉速倍頻影響，Silveira *et al.* [7] 以往復式壓縮機為例，透過靈敏度分析得知噪音來源的零主件，改善與降低主要產生噪音的零件，結果證明減少噪音，同時也有效降低壓縮機振動量，Woo *et al.* [8] 探討雙缸旋轉式壓縮機之降噪方法，得知造成噪音頻譜中高噪音貢獻度頻率之因素為結構自然頻率及轉數倍頻率有關。

本文主要探討壓縮機內部之冷媒壓力波動效應，對雙螺桿壓縮機外部噪音影響，其中壓縮機內部分別為轉子壓縮室及排氣端的內部腔室之冷媒壓力與外部噪音實驗量測，接著將冷媒壓力與外部噪音數據進行頻譜分析，最後探討兩者之關聯性。

## 2. 實驗量測

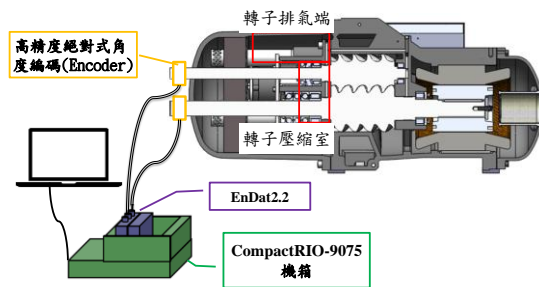
本節主要說明雙螺桿壓縮機之轉子壓縮室與排氣端之冷媒壓力與外部噪音實驗量測，其中包含量測儀器，感測器之位置，儀器設定。

### 2-1. 雙螺桿壓縮機之冷媒壓力實驗量測

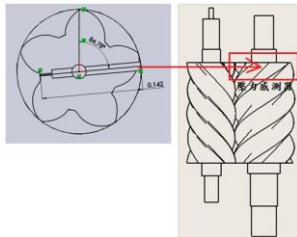
雙螺桿壓縮機之冷媒壓力實驗量測，分別對轉子壓縮室及排氣端以透過埋設壓力感測器方式進行擷取冷媒壓力實驗，圖1為雙螺桿壓縮機之冷媒壓力實驗量測，圖1(a)為量測示意圖，其中壓力感測器擷取80000筆數據，解析度為0.000125秒，並將壓力感測器(XTL-140)搭配高精度絕對式角度編碼計(Encoder)於延伸軸上，透過角度的變化來判斷腔體處於進氣或排氣狀態，同時觀察壓力感測器所量測的壓力震盪，從圖8(a)得知擷取轉子壓縮室及排氣端之冷媒壓力區域，圖1(b)為公轉子之排氣腔，可得壓力感測器擺放公轉子之排氣腔位置。

### 2-2. 雙螺桿壓縮機之外部噪音量測

圖2為雙螺桿壓縮機之外部噪音量測示意圖，圖2(a)為外部噪音量測示意圖，圖2(b)為外部噪音量測實體圖，圖2(a)得知量測儀器為頻譜分析儀(SVM)、訊號擷取卡(NI-9234)、噪音計(CEL593)、麥克風(PCB 130E20)、三組磁吸式加速規(WR-786A)，量測頻寬設定0-20kHz，解析頻率為6.25Hz，麥克風架設離地1公尺，距離壓縮機1公尺處，三組磁吸式加速規分別安裝於軸向(A)、垂直(V)及水平(H)方向進行實驗量測。

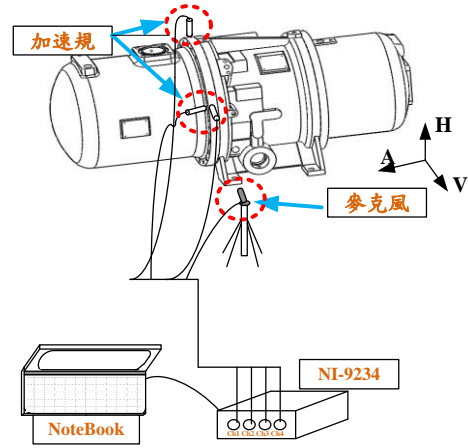


(a) 壓縮室及排氣端之冷媒壓力量測示意圖



(b) 公轉子之排氣腔

圖1 雙螺桿壓縮機之冷媒壓力實驗量測



(a) 示意圖



麥克風(Ch1)



(b) 實體圖

圖2 雙螺桿壓縮機之外部噪音量測示意圖

## 3. 結果與討論

本小節主要說明雙螺桿壓縮機之冷媒壓力波動數據代表意義，再將冷媒壓力波動數據進行頻譜分析，其中時間域及頻率域設定參數為每區間時間為1秒，終止時間為1.1(sec)，頻率解析度為1Hz，得到頻率域之冷媒壓力波動數據，接著以外部噪音之自身功率頻譜密度函數，得到1/3八音頻帶及模擬人耳A加權的1/3八音頻帶，最後探討冷媒壓力波動對外部噪音之關聯性。

### 3-1. 雙螺桿壓縮機之冷媒壓力波動

由2-1節雙螺桿壓縮機之冷媒壓力實驗量測，可得轉子壓縮室及排氣端之冷媒壓力數據經由頻譜分析，得到轉子壓縮室及排氣端之自身功率頻譜密度函數(Gpp(dB))，綜合說明如下。

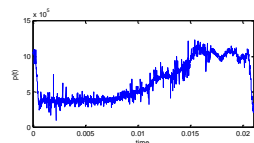
圖3為轉子壓縮室之壓縮循環冷媒壓力時間域響應，圖3(a)為轉子壓縮室之壓縮循環原始冷媒壓力時間域響應，圖3(b)為轉子壓縮室之壓縮循環冷媒壓力DC訊號時間域響應，

圖 3(c)為轉子壓縮室之壓縮循環冷媒壓力 AC 訊號時間域響應，由圖 3(a)減掉圖 3(b)可得到圖 3(c)冷媒壓力之 AC 訊號，其中圖 3(b)為冷媒壓力之 DC 訊號，代表雙螺桿壓縮機之壓縮循環，而運作轉速為 50Hz，代表每轉一圈大約為 0.02 秒。

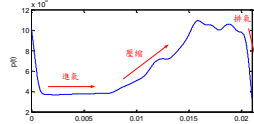
圖 4 為轉子壓縮室之冷媒壓力頻譜分析，圖 4(a)為轉子壓縮室之原始冷媒壓力頻譜分析，圖 4(b)為轉子壓縮室之冷媒壓力 DC 訊號頻譜分析，圖 4(c)為轉子壓縮室之冷媒壓力 AC 訊號頻譜分析，圖 4(a)中原始冷媒壓力時間域、自身功率頻譜密度函數及 0-1000Hz 的自身功率頻譜密度函數，圖 4(b)中顯示 500Hz 以前轉子壓縮室主要以 DC 訊號主導，500Hz 以後轉子壓縮室主要以 AC 訊號主導。

圖 5 為轉子排氣端之冷媒壓力時間域響應，圖 5(a)為轉子排氣端之原始冷媒時間域響應，圖 5(b) 轉子排氣端之冷媒壓力 DC 訊號時間域響應，圖 5(c)轉子排氣端之冷媒壓力 AC 訊號時間域響應，其中圖 5(a)、(b)及(c)是擷取時間為 0.04 秒，為兩個排氣循環之冷媒壓力時間域響應，已知雙螺桿壓縮機之公轉子為 5 齒，由圖 5(b)中 1-11 為每一齒排氣之冷媒壓力，得知圖形為非完整之正弦波，代表壓縮機之公母轉子非完美配合，另外圖 5(b)中得知正弦波之波形間距為不等距，亦指壓縮機進行排氣時，是以非規則之形式進行排氣。

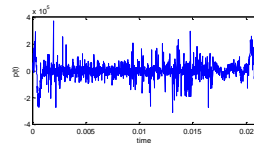
圖 6(a)、(b)及(c) 轉子排氣端之冷媒壓力頻譜分析，圖 6(a)為轉子排氣端之原始冷媒壓力頻譜分析，圖 6(b)為轉子排氣端之冷媒壓力 DC 訊號頻譜分析，圖 6(c)為轉子排氣端之冷媒壓力 AC 訊號頻譜分析，從圖 6(a)得知轉子排氣端之原始冷媒壓力，由公轉子第 5 倍頻率一路遞減，圖 6(b)也發現有公轉子第 5 倍頻率一路遞減之現象。



(a) 原始冷媒壓力

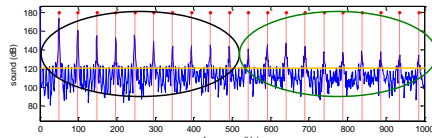
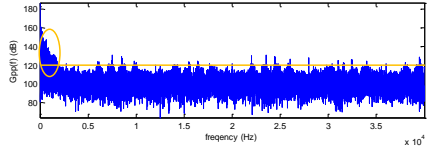
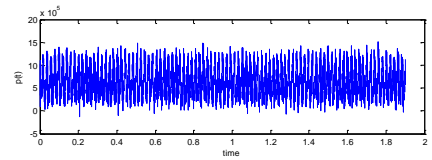


(b) DC 訊號

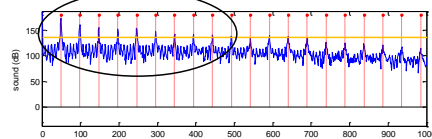
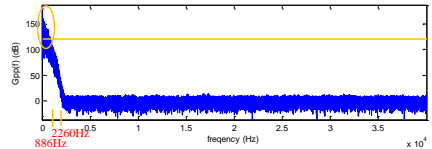
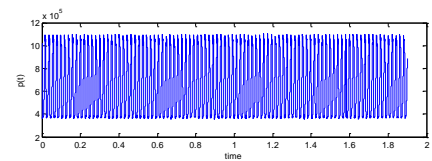


(c) AC 訊號

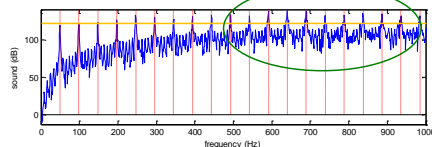
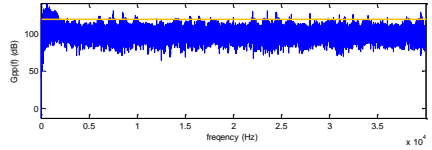
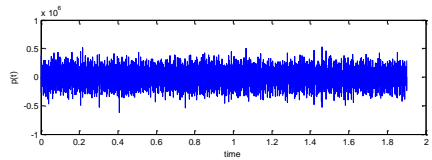
圖 3 轉子壓縮室之壓縮循環冷媒壓力時間域響應



(a) 原始



(b) DC 訊號



(c) AC 訊號

圖 4 轉子壓縮室之冷媒壓力頻譜分析

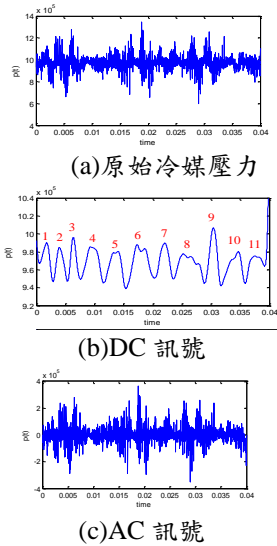


圖 5 轉子排氣端之冷媒壓力時間域響應

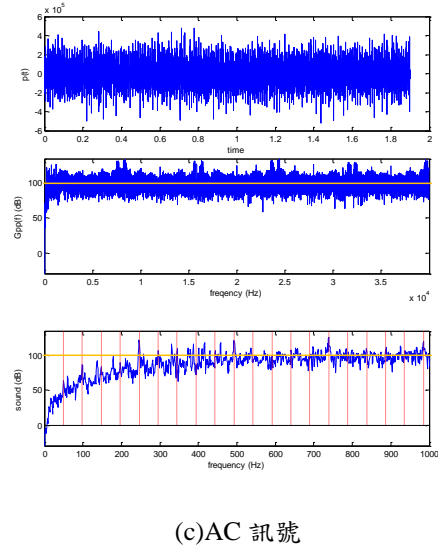
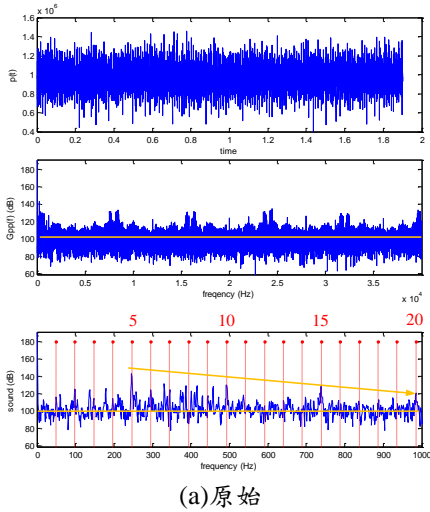
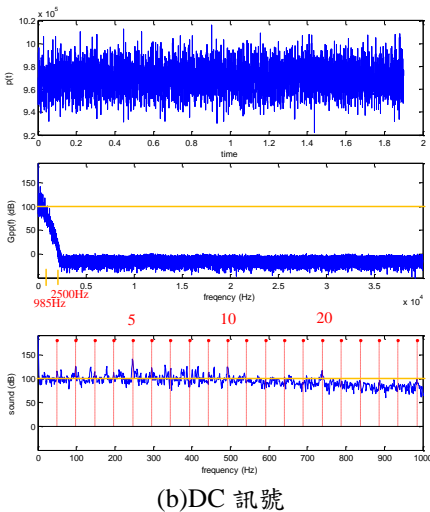


圖 6 轉子排氣端之冷媒壓力頻譜分析



(a)原始



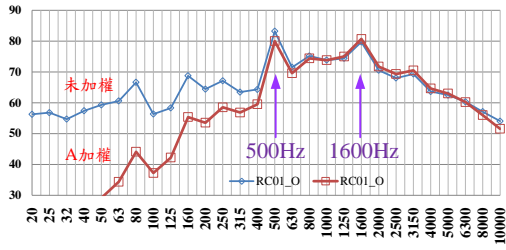
(b)DC 訊號

### 3-2. 雙螺桿壓縮機之外部噪音

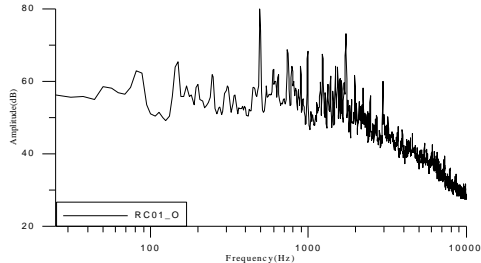
由 2-2 節雙螺桿壓縮機之外部噪音實驗量測，得到外部噪音實驗量測數據，圖 7(a)、(b)及(c)為雙螺桿壓縮機之噪音，圖 7(a)為雙螺桿壓縮機之三分之一八音頻帶，圖 7(b)為線性頻譜(0-10000Hz)，圖 7(c)線性頻譜(0-2500Hz)，從圖 7(a)及圖 7(b)得知，未加權之三分之一八音頻帶是以圖 7(b)得到，圖 7(a)中得知為了模擬人耳可聽到之範圍將未加權之三分之一八音頻帶進行 A 加權，在外部噪音高貢獻度頻帶以 500Hz 及 1600Hz，又以公轉子之第 10、30、31、33 及 35 倍頻率之影響，因此總噪音量為 86dB 及 85dBA。

### 3-3. 冷媒壓力波動效應對外部噪音探討

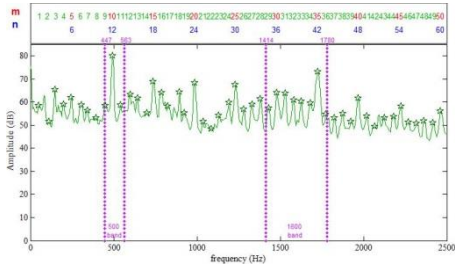
本小節說明轉子壓縮室及排氣端之原始冷媒壓力與噪音頻譜進行關聯性比較，圖 8(a)及(b)為轉子壓縮室之原始冷媒壓力與噪音頻譜之關聯性比較，圖 8(a)為 0-10000Hz，圖 8(b)是 0-2500Hz，從圖 8(a)得知在 2500Hz 以前確實對外部噪音會有影響，圖 8(b)顯示內部冷媒壓力波動以公轉子倍頻率峰值為主，且得公轉子倍頻率峰值有遞減之趨勢，而外部噪音頻譜也是以公轉子倍頻率為主，但主要公轉子倍頻率以 10、30、31、33 及 35 倍頻率之影響。圖 9(a)及(b)為轉子排氣端之原始冷媒壓力與噪音頻譜之關聯性比較，圖 9(a)為 0-10000Hz，圖 9(b)0-2500Hz，圖 9(a)中顯示 2500Hz 以前確實也對外部噪音會有影響，圖 9(b)中發現轉子排氣端之冷媒壓力主要以公轉子第 5、10、15 及 20 倍頻率高，而外部噪音頻譜也是公轉子第 10、15 及 20 倍頻率高。另外由圖 8(b)及圖 9(b)，得知轉子壓縮室到轉子排氣端，整體量值遞減 20dB，再從轉子排氣端到外部噪音後，整體量值再遞減 40dB。



(a)三分之一八音頻帶

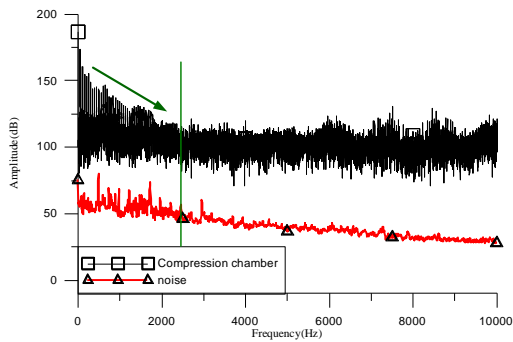


(b)線性頻譜(0-10000Hz)

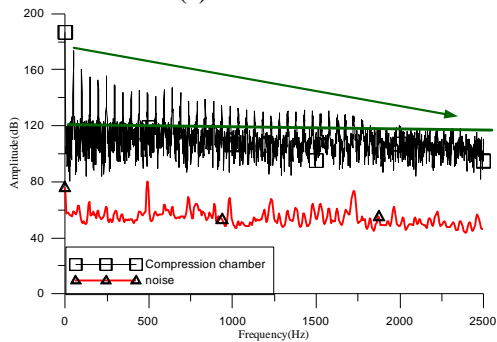


(b)線性頻譜(0-2500Hz)

圖 7 雙螺桿壓縮機之外部噪音

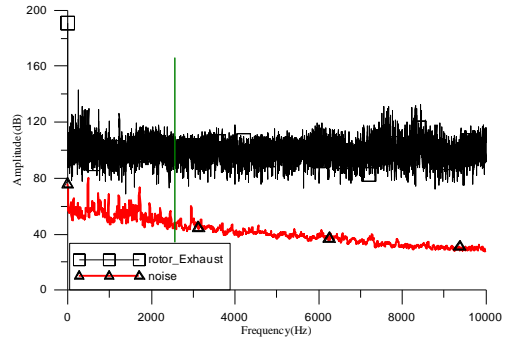


(a)0-10000Hz

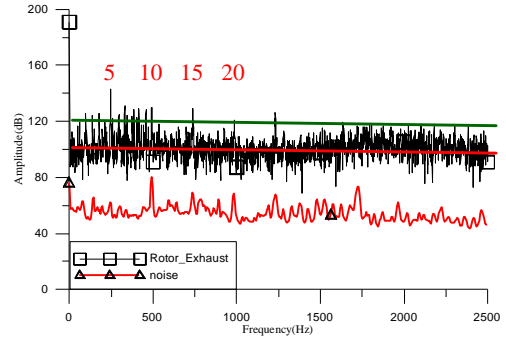


(b)0-2500Hz

圖 8 轉子壓縮室之原始冷媒壓力與噪音頻譜之關聯性比較



(a)0-10000Hz



(b)0-2500Hz

圖 9 轉子排氣端之原始冷媒壓力與噪音頻譜之關聯性比較

#### 4. 結論

本文主要探討壓縮機內部之冷媒壓力波動效應對壓縮機外部噪音之影響，並說明雙螺桿壓縮機之冷媒壓力波動與外部噪音實驗量測，分別對所量測之內部冷媒壓力及外部噪音數據進行頻譜分析，得到轉子壓縮室之冷媒波動壓力頻譜主要在 2500Hz 以下，而壓縮機外部噪音確實在 2500Hz 以下有較高的噪音量，由於受到機殼結構振動傳遞路徑之影響，聲音壓力頻譜特性僅有部分關聯性。壓縮機內部冷媒壓力波動之 DC 訊號，主導了 500Hz 以下之壓力頻譜，而 500Hz 以上為冷媒壓力波動之 AC 訊號所主導。本文由聲音傳遞路徑之量測與分析，首度了解雙螺桿壓縮機內部冷媒壓力波動對外部噪音之影響。

#### 5. 致謝

本文承蒙漢鐘精機股份有限公司與國科會 101 年度產學合作計畫「環保冷媒雙螺旋壓縮機之關鍵技術開發(2/2)」(國科會計畫編號：NSC101-2622-E-194-002-CC2)，經費補助提供，特此致謝。

## 6. 參考文獻

- [1] Wu, H., Peng, X., Xing, Z., and Shu, P., 2004, "Experimental Study on P-V Indicator Diagrams of Twin-Screw Refrigeration Compressor with Economizer," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp.1491-1500.
- [2] Wu, H, Li, J., and Xing, Z., 2007, "Theoretical and Experimental Research on the Working Process of Screw Refrigeration Compressor under Superfeed Condition," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 30, pp.1329-1335.
- [3] Mujic, E., Kovacevic, A., Stosic, N., and Smith, I.K., 2008, "The Influence of Port Shape on Gas Pulsations in A Screw Compressor Discharge Chamber," *Journal of Process Mechanical Engineering*, Vol.222, No.4,pp. 211-223.
- [4] Wu, H, Xing, Z., Peng, X., and Shu, P., 2004, "Simulation of Discharge Pressure Pulsation within Twin Screw Compressors," *Journal of Power and Energy*, Vol. 218, No. 4, pp.257-264.
- [5] 王栢村, 謝宗廷, 周建中, 陳金龍, 2012, 「迴轉式壓縮機之噪音特性比較分析」, 2012精密機械與製造科技研討會, 屏東, 論文編號: G-022
- [6] 王栢村, 王文志, 王廷維, 黃啟順, 2013, 「機械噪音測量及診斷定制程序: 雙螺桿壓縮機之應用」, 中華民國第21屆振動與噪音工程學術研討會, 台北, 論文編號: A-0011
- [7] Silveira, M., 2004, "Noise and Vibration Reduction in Compressors for Commercial Applications," *International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, Paper No.: C065.
- [8] Woo, S., Lee, U., Sung, C., Shin, C., and Kim, S., 2008, "Noise Reduction in Two-Cylinder Rotary Compressor," *International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, Paper No.: 1148.

## Effect of Refrigerant Pressure Pulsation on Noise Emission of Twin Screw Compressor

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Wen-Hsin Hsieh<sup>2</sup>  
Wen-Chih Wang<sup>1</sup>, Tim-Wei Wang<sup>1</sup>  
EN-HAN Jhang<sup>2</sup>, Chi-Shun Huang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Pingtung University of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering, Pingtung

<sup>2</sup>National Chung Cheng University, Chiayi

<sup>3</sup>Hanbell Precise Machinery Co., LTD.

Noise Emission from the twin screw compressor is of concern. The noise sources of twin screw compressor come from the refrigerant pressure pulsation, rotating motor, screw rotor pair contact, and structural shell vibration. This work aims to discuss the effect of internal refrigerant pressure pulsation during operation on the external noise emission from the compressor. The twin screw compressor is remodeled to set up two pressure sensors inside of the compressor, located in the compress room between screw rotors and the discharge end of screw rotors inside the compressor chamber, respectively. The microphone is also applied outside of the compressor to measure the emission sound pressure level (SPL). Spectrum analysis is then performed on the internal refrigerant pressure and the external emission sound pressure, respectively, so as to discuss the effect of refrigerant pressure pulsation on the emission noise. Results show the refrigerant pressure pulsation inside the compress room between screw rotors contributes the spectrum below 2500Hz. The external emission noise spectrum is also revealed higher SPL below 2500Hz. The DC signal of refrigerant pressure due to the compressive and discharge process dominates those bands below 500Hz, while the AC signal attributes to those bands above 500Hz. This work presents the pioneer study by the measurement and analysis on the noise transmission path for the twin screw compressor to discuss the correlation between the internal refrigerant pressure and external noise emission pressure.

Keywords: twin screw compressor, refrigerant pressure, noise emission