

## 雙螺旋式壓縮機於不同工況下之噪音特性分析

王栢村<sup>1</sup> 謝長鴻<sup>1</sup> 王文志<sup>1</sup> 黃啟順<sup>2</sup> 劉家良<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立屏東科技大學 機械工程系

<sup>2</sup>漢鐘精機股份有限公司

[wangbt@mail.npust.edu.tw](mailto:wangbt@mail.npust.edu.tw)

### 摘要

本文主要針對螺旋式壓縮機於不同工況之噪音特性進行分析，並建立螺旋式壓縮機噪音分析方法，採用標準噪音計量測螺旋式壓縮機在不同工況下之1/3八音頻帶找出可能的異音源頻帶，並對不同滑閥負載與不同蒸凝溫度之噪音特性進行探討，得知不同工況下主要噪音貢獻度頻帶皆在630Hz至2000Hz頻帶區間，且無明顯純音效應。另外壓縮機之工況在高滑閥負載與高蒸凝溫度時噪音量也相對較高，由本文之結果對未來在降低螺旋式壓縮機之噪音問題可作為參考依據。

**關鍵詞：**雙旋式壓縮機、噪音量測、1/3八音頻帶、純音效應

### 1. 前言

目前大中型壓縮機以雙螺旋、離心式為主，一般放置戶外或樓頂，而噪音與振動透過管路結構傳遞至室內，可能造成環境噪音問題。文獻中有關壓縮機噪音研究，Wang *et al.* [1]以聲學聲音品質觀點探討壓縮機產生之噪音，得知高銳利度之噪音會令人感到刺耳與不愉快。Paulauskis *et al.* [2]探討螺旋式壓縮機之噪音問題，指出具純音效應之噪音會比穩定噪音更為惱人，並建議一種對1/3八音頻帶分類純音噪音方法。

關於壓縮機振動與噪音相依性探討，Oh *et al.* [3]同時使用加速規與麥克風量測壓縮機外殼振動與噪音之關聯性函數。得知關聯性函數高之頻率可能為壓縮機外殼結構之自然頻率。Silveira *et al.* [4]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。Lee *et al.* [5]以類似手法，並額外加入量測壓縮機內部噪音。發現壓縮冷媒產生的低頻率氣體脈衝噪音可能會引起其他系統共振或噪音。

影響工作中壓縮機高噪音量可能的因素，Fujiwara *et al.* [6]由理論合成波形模擬實際量測噴油雙螺旋壓縮機的複雜信號，得知吸氣端與排氣端之壓縮比影響壓縮機之振動與噪音有相當的關聯性。Woo *et al.* [7]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有關。牛等人[8]針對螺桿式壓縮機噪聲超標問題，實驗量測不同工況下之噪音量與理論分析結果比對，進而確定噪音控制之方法。楊[9]探討直流變頻空調系統噪音與內部壓縮機之噪音與振動關聯性，得知壓縮機與風扇是空調系統中主要噪音與振動來源，本身在運作時所產生的噪音

與振動源會透過路徑而傳遞開來，並且激發其他零組件。

本文主要對雙螺旋式壓縮機建立噪音特性分析方法，並探討不同負載與不同蒸凝溫度下，雙螺旋式壓縮機之噪音特性，進而找出可能的異音源頻帶。

### 2. 噪音量測與分析方法

雙螺旋式壓縮機於不同工作狀況運行下會表現出不同噪音特性，藉由不同工況之噪音特性分析，找出可能的異音源頻帶，表1為各工況參數表，表1中W1-W9為各工況代號，以下敘述將以工況代號表示。量測時馬達轉速固定為3600rpm，而公母轉子齒數比為5:6。

工況參數中之滑閥負載為控制轉子於壓縮氣體之輸出量，當壓縮機全載(100%)時滑閥位於全閉位置，隨滑閥逐漸打開負載會隨之減少。蒸發溫度為液態冷媒吸熱後相變化成氣態冷媒之飽和溫度；冷凝溫度為氣態冷媒放熱後相變化成液態冷媒之飽和溫度，由上述三種參數之變化對螺旋式壓縮機進行噪音量測。

#### 2.1 量測方法

使用CEL593.Cl標準噪音計分別對壓縮機多種工況下進行1/3八音頻帶噪音量測，圖1為噪音量測實際架設圖，架設位置在距離壓縮機水平方向1公尺與離地面1公尺處如圖2所示，並使用腳架固定每次噪音計量測位置，噪音計每次量測時間大於30秒。

表1、工況參數表

固定參數		
馬達轉數頻率	公母齒數比	
60Hz(3600rpm)	5:6	
依工作狀況不同變化三種參數		
工況代號	蒸/凝溫度	滑閥負載
W1	蒸 5°C / 凝 36°C	25%
W2	蒸 5°C / 凝 36°C	50%
W3	蒸 5°C / 凝 36°C	75%
W4	蒸 5°C / 凝 36°C	100%
W5	蒸 5°C / 凝 40°C	100%
W6	蒸 0°C / 凝 55°C	25%
W7	蒸 2°C / 凝 55°C	25%
W8	蒸 0°C / 凝 55°C	100%
W9	蒸 2°C / 凝 55°C	100%



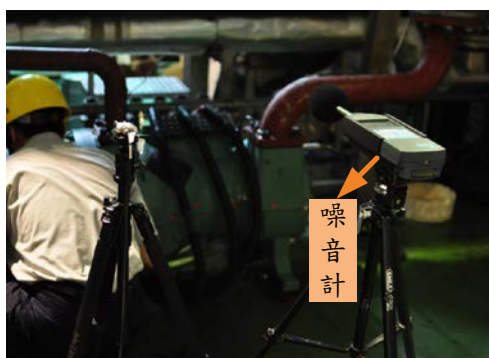


圖 1、實際架設示意圖

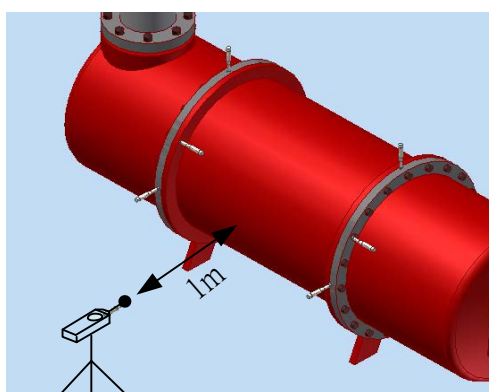
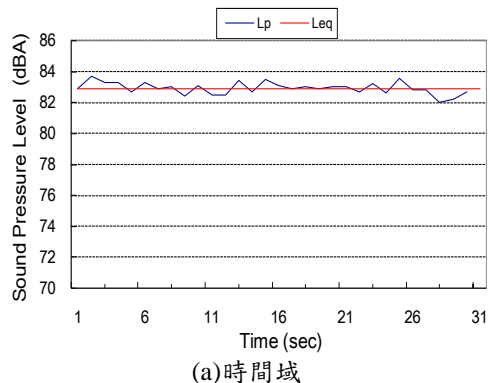
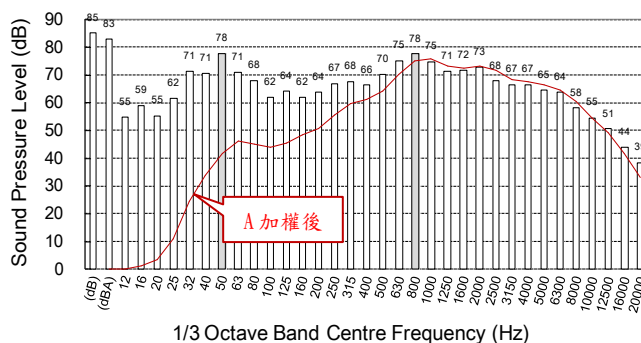


圖 2、噪音量測架設示意圖



(a)時間域



(b)1/3 八音頻譜圖

圖 3、100%滑閥負載(W4)聲音頻譜圖

## 2.2 雙螺旋式壓縮機噪音特性分析

在探討雙螺旋式壓縮機於不同工況下 1/3 八音頻帶之噪音特性前，首先須確認量測到噪音源為穩定輸出，以 W4 工況為例，由量測結果圖 3(a)聲音壓力位準之時間域圖中，觀察每秒量測之音壓位準(Lp)與均能音量音壓位準(Leq)相差值皆在 2dBA 以內，表示量測 W4 工況時噪音源為穩定。

經確認量測噪音源為穩定後，再對 W4 之 1/3 八音頻帶進行分析，觀察圖 3(b)為 1/3 八音頻帶圖，從圖 3(b)中可明顯看出 50Hz 與 800Hz 頻帶上有較高噪音貢獻度為主要噪音源，但由於人耳對於低頻較不敏感，需經由 A 加權來確認人耳聽覺上之差異，由圖 3(b)中經 A 加權後之 1/3 八音頻帶顯示，800Hz 頻帶為人耳聽覺上之主要噪音源。

純音效應是指某頻帶噪音量相對高於左右相鄰

頻帶之異音源，採用 Paulauskis [2]對純音效應分析方法，將 1/3 八音頻帶分類成 25-125Hz、160-400Hz 及 500-10000Hz 共 3 個區間，各區間具明顯純音頻帶之條件為左右相鄰頻帶 dB 差異值達到 15、8 及 5dB 之差異，以圖 4 為例，圖 4 為 W1 至 W4 工況之 1/3 八音頻帶於左右相鄰頻帶 dB 值差異圖，由圖 4 中，顯示 W1 至 W4 工況在 3 個區間的 1/3 八音頻帶皆無明顯的純音效應之頻帶。W5 至 W9 之工況，同樣是用此方法來分析，均未有明顯之純音效應。

經由 2.2 小節之分析方法，判斷表 1 中所量測九種工況在未加權時 50Hz、800Hz 頻帶及所相鄰之頻帶為主要噪音貢獻頻帶，而圖 5 為九種工況在 A 加權前後之總噪音量變化關係，從圖 5 中顯示低滑閥負載之工況(W1)在 A 加權後噪音量下降幅度明顯大於高滑閥負載之工況(W4)，表示低負載所產生之噪音貢獻度頻帶主要分布於低頻頻率。

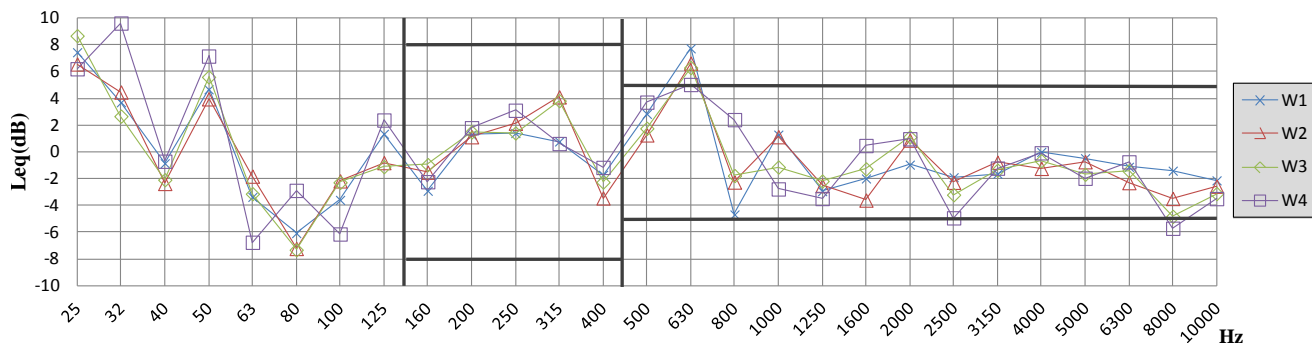


圖 4、W1 至 W4 工況之相鄰頻帶 dB 值差異圖

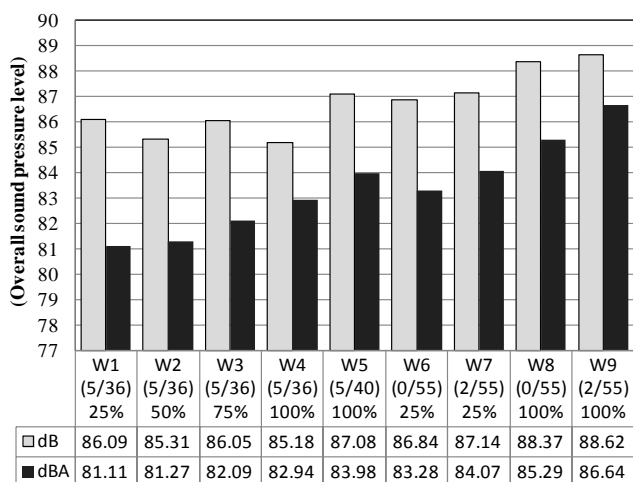


圖 5、各工況全音域音壓位準

### 3. 探討不同工況之噪音特性

本節針對雙螺旋式壓縮機之工況於不同滑閥負載與不同蒸凝溫度下之噪音特性分析，首先探討相同蒸凝溫度下滑閥負載由 25% 至 100% (W1-W4) 之噪音特性，進而探討低負載與高負載時 (W6-W9)，在不同蒸凝溫度下之噪音特性。

#### 3.1 探討不同滑閥負載之噪音特性

由 W1 至 W4 之工況在蒸/凝溫度為 5°C/36°C 時，探討滑閥負載由 25% 至 100% 共四個負載在 1/3 八音頻帶變化關係，及不同滑閥負載對壓縮機噪音特性之影響，結果如下討論：

1. 圖 5 中在滑閥負載 25% (W1)、50% (W2)、75% (W3) 及 100% (W4) 之總噪音量比較，顯示隨滑閥負載提高噪音量 dBA 會相對增加，但最大與最小相差不到 2dBA 對人耳聽覺上較不敏感。
2. 圖 6 為 W1 至 W4 之工況 A 加權後 1/3 八音頻帶圖，圖 6 中顯示 W1 至 W4 之工況在 A 加權之主要噪音貢獻度頻帶皆集中於 630 至 2000Hz，表示此範圍為主導壓縮機噪音量之頻帶。
3. 圖 7 為由低至高滑閥負載於主要噪音貢獻頻帶比較圖，在圖 7 中總噪音量隨滑閥負載提高而噪音量隨之增加，且 800 Hz 與 2000Hz 主要噪音貢獻度頻帶亦呈現隨負載高而噪音增加之情形，在頻帶 4000Hz 與 5000Hz 亦有此特性。

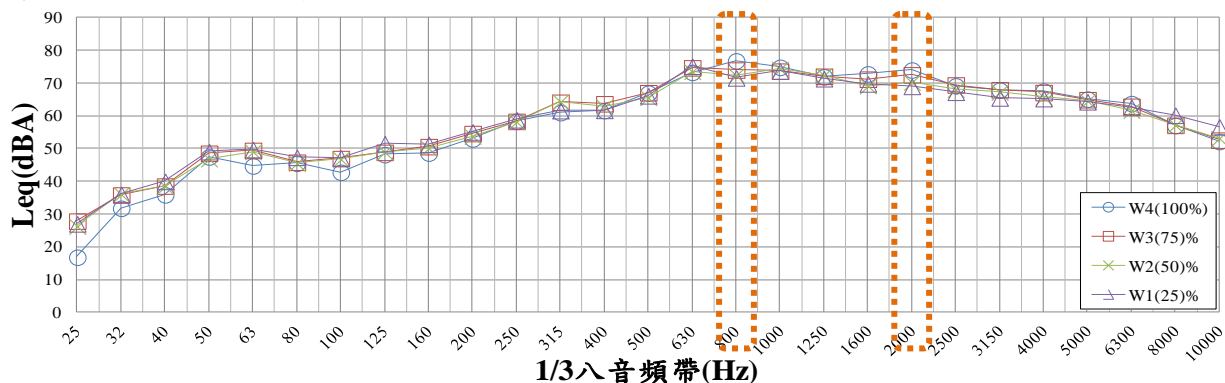


圖 6、不同滑閥負載之 A 加權噪音頻譜圖 (W1 至 W4)

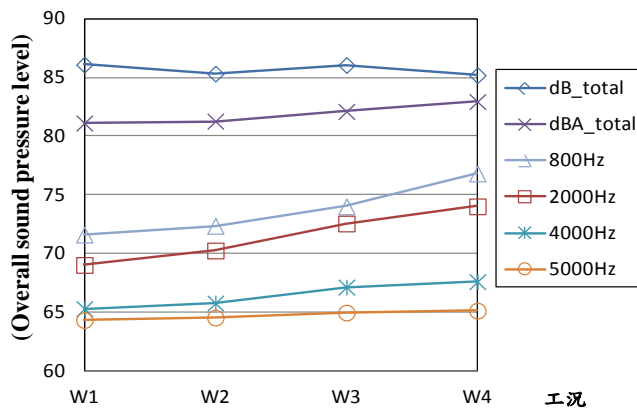


圖 7、不同滑閥負載之主要噪音貢獻頻帶比較圖

由上述統整出滑閥負載之變化主要影響頻帶為 800Hz 與 2000Hz，而 4000Hz 與 5000Hz 頻帶為屬高頻帶區其噪音相對較小，對整體噪音量 (dBA) 影響較不明顯。

#### 3.2 探討不同蒸凝溫度之噪音特性

從不同負載比較得知高負載具相對高噪音特性，由圖 5 中 W4 (凝 36°C) 與 W5 (凝 40°C) 比較，顯示滑閥負載皆為 100% 時，較高的冷凝溫度會使總噪音量再次增加。

在 W6 至 W9 為低負載 (25%) 與高負載 (100%) 在不同蒸發溫度之工況，從 W6 至 W9 工況之 1/3 八音頻帶探討其噪音特性如下列敘述：

1. 圖 8 為 W6 至 W9 之 A 加權 1/3 八音頻帶圖，圖 8 中顯示 W6 至 W9 工況經 A 加權後主要噪音頻帶皆集中於 630-2000Hz 頻帶，表示此範圍為主導壓縮機噪音量之頻帶。
2. 圖 9 為不同蒸發溫度之主噪音貢獻頻帶比較，圖 9 中顯示總噪音量 (dBA) 隨蒸發溫度上升其噪音量也相對增加，且 800Hz 之主要噪音貢獻度頻帶與 2500Hz 與 5000Hz 頻帶亦有此特性。
3. 另外在圖 9 中 630Hz 與 1000Hz 也為主要噪音貢獻頻帶，則在比較 W7 與 W8 時，出現低負載噪音量大於高負載之狀況，表示兩頻帶受到蒸發溫度之效應影響較滑閥負載大，且 4000Hz 頻帶亦有此特性。

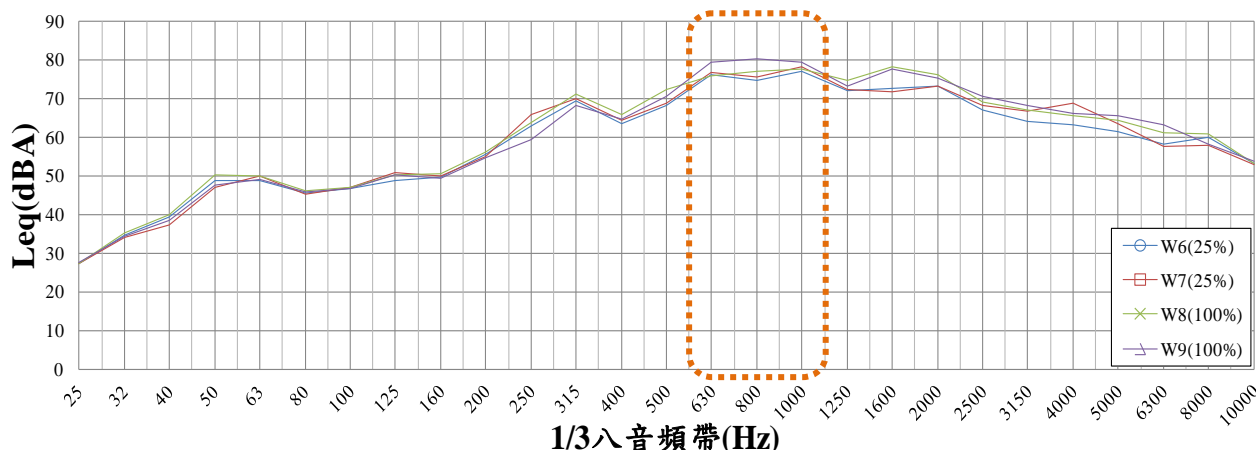


圖 8、不同蒸發溫度之 A 加權噪音頻譜圖(W6 至 W9)

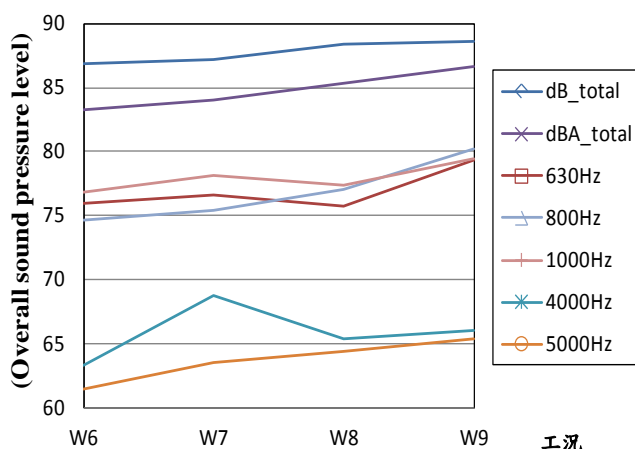


圖 9、不同蒸發溫度之主要噪音貢獻頻帶比較圖

另外以 Paulauskis [2] 探討純應效應之方法，得知 W5 至 W9 工况在改變蒸凝溫度後亦無明顯之純音頻帶。由上述統整出蒸發溫度變化所影響之頻帶為圖 9 中所列之頻帶，其中又受到滑閥負載變化影響之頻帶為 800Hz 與 5000Hz 頻帶。

#### 4. 結論

本文建立雙螺旋式壓縮機噪音特性分析方法，使量測螺旋壓縮機噪音頻譜時能正確判斷該工况影響噪音源之頻帶，並找出可能的異音源頻帶，經 9 種工况於 1/3 八音頻帶分析結果皆顯示無明顯純音效應之頻帶。

在雙螺旋式壓縮機於不同滑閥負載與不同蒸凝溫度之噪音特性分析，整理出幾點結論如下列敘述：

1. 由 1/3 八音頻帶顯示主要噪音貢獻度頻帶，皆在 630Hz 至 2000Hz 區間之頻帶範圍。
2. 在滑閥負載與蒸凝溫度增加上則會影響壓縮機整體噪音量提高約 1-2dB，且兩者有疊加效果。
3. 同時提升滑閥負載與蒸發溫度時，影響之噪音頻帶為 800Hz 與 5000Hz 頻帶。

經由不同工况下之噪音特性分析，得知可能得異音源頻帶，未來對本文所量測之雙螺旋式壓縮機在減少噪音問題上可作為參考依據。

#### 5. 致謝

本文承蒙漢鐘精機股份有限公司與國科會 100 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(1/2)」(國科會計畫編號：NSC100-2622-E-194-006-C2)，經費補助提供，特此致謝。

#### 6. 參考文獻

- [1] Wang, S. Y., 1994, "Determination of Sound Quality of Refrigerant Compressors," *International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, pp.259-264.
- [2] Paulauskis, J. A., 1999, "Addressing Noise Problems in Screw Chillers," *ASHRAE Journal*, pp.22-25.
- [3] Oh, J. E., Huh, Y. J., and Ahn, C. Y., 1994, "Identification of Vibration-Induced Noise Radiated from Compressor Shell," *International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, pp.259-264.
- [4] 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.
- [5] Lee C., Young H., Park, S., Kim J., Joe H., 1994, "Noise Path Identification of Rotary Compressor," *International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, pp. 271-276.
- [6] Fujiwara, A., Matsuo, K., and Yamashita, H., 2011, "Vibration Analysis of Oil-Injected Twin-Screw Compressors Using Simple Simulated Waveform," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 225, pp.105-225.
- [7] 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.

- [8] 牛群峰, 錢林方, 黃均人, 2007, 「螺桿壓縮機噪聲分析與控制」, *噪聲與振動控制*, 第3期, 第119-122頁。
- [9] 楊煥弟, 2009, 「壓縮機噪聲振動與空調外機噪聲關係分析」, *噪聲與振動控制*, 第29期, 第1卷, 第149-152頁。

## Noise Characteristic Analysis for Twin Screw Compressor in Different Operating Conditions

Bor-Tsuen WANG<sup>1</sup>, Chang-Hung HSIEH<sup>1</sup>,  
Wen-Chi WANG<sup>1</sup>, Chi-Shun Huang<sup>2</sup>,  
Chia-Lian Liu<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Hanbell Precise Machinery Co., LTD.

### ABSTRACT

This work aims to discuss the noise emission of the twin screw compressor in different loadings and different condense and vaporized temperatures of refrigerant. The noise measurement and analysis by using the 1/3 octave band precision sound level meter is presented to identify the critical band of noise emission levels. Results show the sound pressure levels (SPLs) of the compressor under operation is basically in steady state, and the frequency bands between 630Hz and 2000Hz dominantly contribute to the overall SPLs for all operating conditions. There are no significant pure tone effect observed from 1/3 octave band spectrum. The compressor's SPLs generally increase with the increasing of loadings as well as the raising of condense temperatures. The lower loading that indicates the smaller flow rate results in the more contributions at low frequency bands. The raise of the difference between condense and vaporized temperatures for the refrigerant increases the fluctuation of refrigerant pressures and thus increase the SPLs of the compressor. This work demonstrates the noise characteristics of the twin screw compressor, in particular for the environmental concerns base on 1/3 octave band analysis. The further noise analysis by examining the noise spectra in linear frequency bands may be of interest to discriminate the paths and sources of the compressor noise.

**Keywords** : twin screw compressor, noise measurement, 1/3 octave band, pure tone effect.



附錄 A W1-W9 工況之 A-weighting 1/3 Octave bean 總表

1/3 Octave bean(Hz)	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
滑閥負載	25%	50%	75%	100%	100%	25%	25%	100%	100%
蒸發溫度	5 °C	5 °C	5 °C	5 °C	5 °C	0 °C	2 °C	0 °C	2 °C
冷凝溫度	36 °C	36 °C	36 °C	36 °C	40 °C	55 °C	55 °C	55 °C	55 °C
(dB total)	86.09	85.31	86.05	85.18	87.08	86.84	87.14	88.37	88.62
(dBA total)	81.11	81.27	82.1	82.94	83.98	83.28	84.07	85.29	86.64
12	6.40	-0.13	-0.72	-8.64	-2.48	-2.23	-3.80	4.95	-2.78
16	11.60	6.55	5.72	2.21	6.68	6.21	5.87	9.02	6.12
20	13.82	13.93	13.43	4.88	14.14	14.19	14.67	15.05	14.31
25	27.07	26.30	27.92	16.89	26.78	27.16	27.15	27.24	27.65
32	36.08	36.07	35.89	31.82	35.38	34.58	33.93	35.09	34.17
40	40.03	38.51	38.61	35.92	38.81	39.32	37.29	39.96	38.28
50	49.10	46.87	48.61	47.48	48.79	48.82	46.89	50.16	47.59
63	49.74	49.06	49.49	44.73	49.54	48.75	49.93	50.04	49.05
80	47.37	45.55	45.87	45.55	45.71	45.43	45.32	46.21	45.72
100	47.19	46.78	47.00	42.81	46.53	46.52	46.83	46.95	46.75
125	51.54	48.98	48.89	48.19	50.82	48.60	50.64	50.21	50.09
160	51.33	50.16	50.64	48.66	52.11	49.61	49.95	50.60	49.44
200	55.12	53.79	54.63	52.97	55.71	55.61	54.95	55.96	54.67
250	58.83	58.24	58.34	58.38	65.52	62.95	65.66	63.69	59.26
315	61.61	64.35	64.17	61.00	63.88	69.37	69.94	71.11	68.09
400	61.70	62.71	63.72	61.64	63.35	63.50	64.28	65.74	64.52
500	66.14	65.57	67.08	66.96	69.09	68.23	68.64	72.11	70.36
630	75.17	73.50	74.68	73.30	75.22	76.00	76.64	75.70	79.35
800	71.60	72.35	74.01	76.81	77.00	74.66	75.41	77.08	80.26
1000	73.69	74.28	73.67	74.84	74.99	76.87	78.18	77.42	79.45
1250	71.36	72.37	72.10	71.96	71.57	71.97	72.25	74.61	73.03
1600	69.77	69.17	71.23	72.83	73.93	72.54	71.67	78.14	77.49
2000	69.02	70.25	72.55	74.01	75.35	73.03	73.01	75.93	75.08
2500	67.22	68.07	69.45	69.18	70.78	66.88	68.07	68.98	70.62
3150	65.49	67.20	67.99	67.87	69.76	63.89	66.54	66.90	68.10
4000	65.29	65.77	67.13	67.60	69.87	63.25	68.75	65.35	66.07
5000	64.32	64.53	64.96	65.12	68.12	61.42	63.54	64.43	65.37
6300	62.60	61.64	62.95	63.78	66.10	58.26	57.53	60.95	63.05
8000	60.20	57.16	57.13	57.07	61.58	59.83	57.79	60.64	58.23
10000	56.67	53.19	52.62	52.18	57.80	53.03	52.81	53.21	53.65
12500	51.55	47.11	46.48	46.28	52.64	48.12	47.86	47.01	47.86
16000	43.81	38.16	37.38	37.34	44.53	40.40	37.82	38.91	39.15
20000	34.26	29.46	29.03	29.24	35.07	31.76	28.45	29.90	31.63