

## 回轉式壓縮機之噪音特性比較分析

王栢村<sup>1</sup>、謝宗廷<sup>1</sup>、周建中<sup>2</sup>、陳金龍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>屏東科技大學 機械工程系

<sup>2</sup>瑞智精密股份有限公司

### 摘要

壓縮機是空調系統中主要元件，因應靜音環境的需求，壓縮機運轉產生的噪音受到相當重視。本文以接受端測試(Receiver Test)探討迴轉式壓縮機運轉狀態下之振動與噪音，利用穩態運轉及啟動運轉二種方式進行接受端振動與噪音量測，穩態運轉於固定轉速穩定運轉時進行量測；啟動運轉於壓縮機由靜止啟動至轉速每分鐘 4000 轉之間進行量測。以麥克風量測運轉噪音；加速度計量測外殼振動。結果顯示穩定運轉量測可測得明確之轉速倍頻頻率及可能結構自然頻率；啟動運轉可測得壓縮機由靜止至每分鐘 4000 轉之間主要振動及噪音頻帶。透過量測後處理探討得知迴轉式壓縮機主要振動噪音頻帶以及可能結構自然頻率。

**關鍵字：**迴轉式壓縮機、噪音特性分析、Receiver Test、Run-up test

### 1. 前言

現今人們對於生活水準的要求越來越高，因此對於產品的要求也從能用就好漸漸轉變成美觀及舒適，美觀的評論點因人而異因此無法詳細評價，而舒適性則是與使用者息息相關，一般家用產品的舒適性不外乎與振動及噪音有關，而噪音的對人體的影響更是嚴重，不只會造成聽覺的損壞，也會使人變得煩躁不安，更是一種長久性的累積傷害，因此現今的產品經常會進行 NVH(Noise Vibration harshness)測試，除了噪音及振動的抑制，悅音的設計也是一項重點。

林等人[1]指出噪音控制問題可由噪音源(Source)、傳輸途徑(path)及接受端(receiver) 3 個基本因素來考慮。迴轉式機械的噪音量測訊號是變化隨機的，因此必須讓儀器測量到具有重複性波型的訊號源，使訊號來自同樣的隨機過程。

楊[2]探討變頻空調系統壓縮機振動噪音與空調系統總噪音量之關係，指出壓縮機的噪音與空調系統總噪音量並非線性關係。隔音棉的使用能有效降低空調系統的噪音量，對中高頻噪音抑制效果更加明顯。

Silveria[3]探討往復式壓縮機振動與噪音的傳遞路徑，以流程圖說明振動噪音的改善流程，由主要噪音頻帶為依據，找尋造成此噪音的源頭並改善。Woo *et al.* [4]量測定轉速運轉之壓縮機噪音頻譜，以實驗搭配模擬分析探討壓縮機內部組件與噪音的關聯

性，最後修改馬達轉子、定子及旋轉泵浦主體使得壓縮機整體噪音量減少近 6dB，也說明馬達控制器選用正弦波電流訊號控制器，能有效減少高頻噪音強度。

Huang *et al.*[5]以 run-up 方法對旋轉式壓縮機進行量測，由噪音頻譜瀑布圖了解壓縮機主要噪音頻帶，並利用有限元素分析探討結構自然頻率，得知過濾瓶內銅管之第 1 彎曲模態自然頻率與壓縮機 2700rpm 運轉時第 28 倍轉速倍頻頻率相近，因此透過過濾瓶內銅管支架的變更，使得主要噪音頻帶減少 15dB，整體噪音強度減少 5dB。

本文利用噪音量測的方式，對迴轉式壓縮機進行接收端量測(receiver test)，以固定轉速穩態運轉之 Receiver test 及變動轉速未穩態運轉 0-4000RPM Run-up test 進行量測，說明進行 2 種量測的實驗架構以及後處理方式，並探討壓縮機可能之自然頻率以及主要噪音貢獻頻帶。透過固定轉速以及變動轉速之接收端測試，比較 2 種量測之優點，在未來可參考文中之實驗架構進行實驗規畫及量測，再依量測的需求，選擇較適當的量測方式，以達到節省時間且可得正確資訊之目的。

### 2. 異音診斷流程

聲音通常伴隨著運作中的系統產生，系統因接收到輸入開始運作，進而產生振動再由振動產生聲響，此聲響可能是悅耳的，也可能是逆耳的；悅耳的聲音如樂器，透過聲響的組合令人愉悅、放鬆，而逆耳則會使人急躁、厭煩，也就是所謂的噪音。圖 1 為聲響傳遞路徑圖，系統接收到輸入而產生輸出，相當於結構接收到振動源(source)產生振動，再經由傳遞路徑(path)，最後再被接收端(receiver)接收。在此以本文進行異音分析的迴轉式壓縮機為例，說明實際運作系統的聲響傳遞路徑。

運作中的系統，因運作的方式不同而有不同的振動源，以迴轉式壓縮機來說，其振動源為即運作中的馬達。而傳遞的路徑分為兩種，結構傳遞(Structure Path)及空氣傳遞(Air Path)，結構傳遞為由馬達一層層向外擴展的結構，此路徑皆為結構傳遞，此部分主要探討結構的模態參數，自然頻率及模態振型，與後續接收端所測得噪音頻譜比對，了解聲音源是否為結構所產生。空氣傳遞則是壓縮機最外層結構的振動傳遞聲響到被接受端的路徑，此部分主要探討接收端跟結構端的關係，透過頻率響應函數以及關聯性函數，了

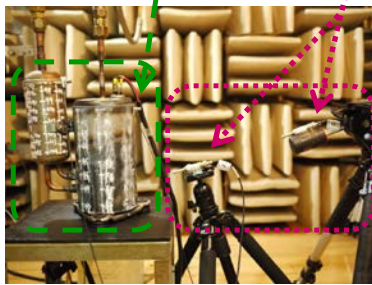
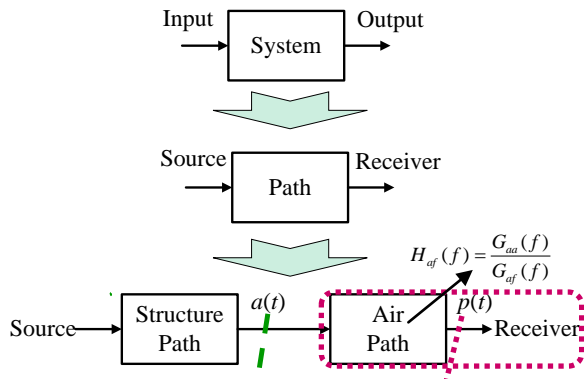


圖 1 聲響傳遞路徑圖

解不同轉速下之聲音特性，以及結構的振動與空氣中的聲音頻率之關聯性。接受端則是系統產生的聲響，被人體或儀器接收到，透過頻譜分析儀連結收克風及加速度計量測，以了解聲音主要的頻帶，再進行結構端的比對，探討可能的聲音源。接收端的量測方式本文採用兩種方式，固定轉速穩態運轉量測以及變動轉速未穩態運轉量測，其詳細量測方法以及差別將在後面章節討論。

### 3. 實驗方法與步驟

此小節將詳細介紹接收端量測實驗架構，主要介紹固定轉速穩態運轉 Receiver test(簡稱 R1)以及變動轉速未穩態運轉 0-4000RPM Run-up test(簡稱 R2)之接收端量測，並介紹其後處理方式。

#### 3.1 R1 固定轉速下 Receiver test

此量測目的在了解定轉速下，迴轉式壓縮機之噪音頻率與貢獻度，透過麥克風以及加速度計的量測，獲得噪音、振動頻譜，利用工具程式的篩選找出可能的結構自然頻率以及主要噪音頻帶。

圖 2 為 R1 量測架構圖，主要利用 SigLAB 頻譜分析儀進行量測，透過 2 麥克風以及 2 加速度計進行測量，1 號麥克風架設離壓縮缸較近處(Mic01)；2 號麥克風架設離壓縮缸約 30 公分處(Mic02)；加速度計分別置於壓縮缸(Acc01)以及過濾瓶(Acc02)，其實際架設情況可以參考圖 3 R1 與 R2 實際實驗量測圖。實驗過程量測 4 種不同轉速下之振動與噪音頻譜，所測量的壓縮機轉速有 1800、3200、3600 及 4000 RPM。

因壓縮機為旋轉機械，已知旋轉機械於運轉時會產生轉速頻率及轉速倍頻的效應，因此需要將所測得

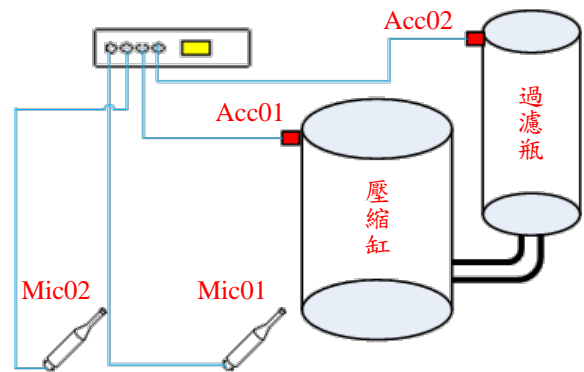


圖 2 R1 與 R2 實驗量測架構圖

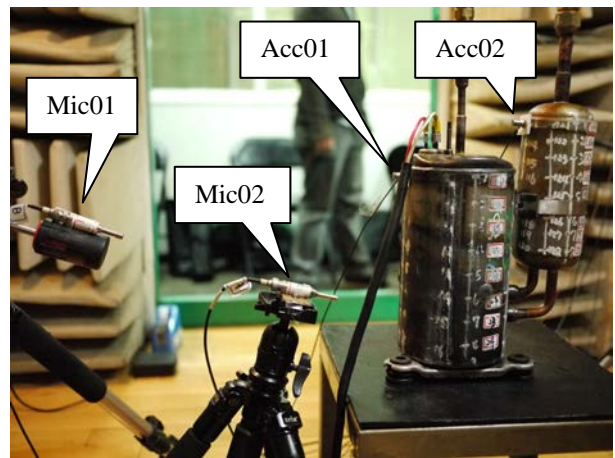


圖 3 R1 與 R2 實際實驗量測圖

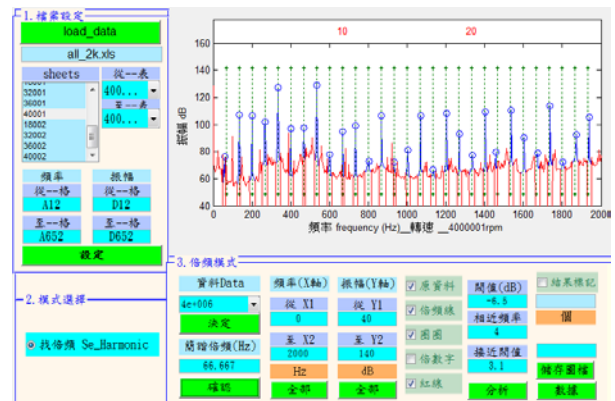


圖 4 MATLAB 工具程式介面圖

之數據透過 MATLAB 所撰寫之工具程式輔助進行後處理，工具程式介面如圖 4，將轉速倍頻以及非轉速倍頻之頻率進行區別，以利後續比對探討。

#### 3.2 R2 變動轉速未穩態 0-4000RPM Run-up test

此量測目的在了解，隨著轉速的提升結構的噪音及振動頻譜的變化，可藉此了解轉速倍頻以及結構自然頻率之頻率值，由於轉速倍頻會隨著轉速的不同而變化，但結構自然頻率卻是固定的，因此可利用此現

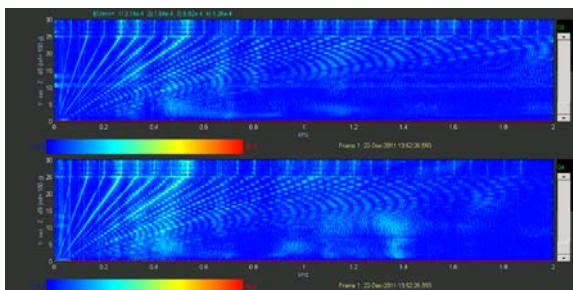


圖 5 Run-up test 瀑布圖

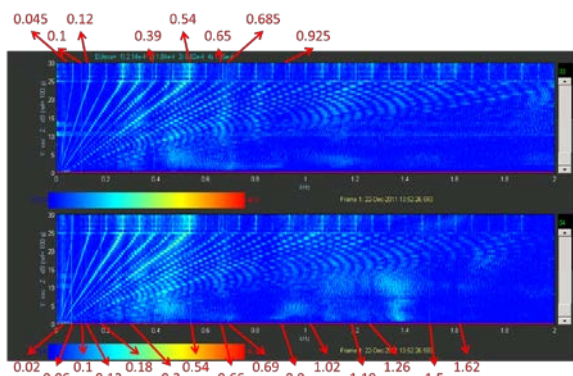


圖 6 R2 可能自然頻率抓取圖

象將結構自然頻率挑選出。如圖 5 為 Run-up test 瀑布圖，圖中上方為壓縮缸之振動頻譜，下方為過濾瓶振動頻譜，上下圖之 X 軸為頻率時、Y 軸為量測時間而 Z 軸為振幅，其中振幅的顯示以紅色代表振幅最大、藍色則為振幅值最小，由圖可看出部分線段呈斜線向右上，此為轉頻倍頻之影響，因轉速的提升而改變轉速倍頻，因此呈斜線狀。而圖中有部分頻帶，即使轉速的提升，較大振幅之頻帶卻未改變的，即為可能之自然頻率處。

此實驗壓縮機由轉速 0RPM 到 4000RPM 進行，透過 2000Hz 以及 5000Hz 頻寬的量測，再由瀑布圖上篩選出可能的結構自然頻率，其挑選方法如圖 6。

#### 4. 結果討論

此節將 R1 及 R2 所測得之資料進行整理，得到 2 種不同量測方式之可能結構自然頻率以及主要噪音頻帶，最後進行比對並探討 2 種實驗方法的優點及適用性。

##### 4.1 R1 固定轉速下 Receiver test

R1 測試了 4 種不同的轉速，而每轉速下共量測 4 比資料：遠、近麥克風及壓縮缸、過濾瓶加速度計訊號，處理 4 種不同轉速下之頻率域信號，找到所有可能的自然頻率值，再將出現次數較多之頻率值整理出來，在 0-2000Hz 共找出 40 個可能的自然頻率值，其值如表 1。

利用工具程式進行 R1 後處理，區別出轉速倍頻

表 1 R1 測得之可能自然頻率總表

	1800 RPM	3200 RPM	3600 RPM	4000 RPM	可能 $f_n$ (Hz)
1				25	25.0
2	100	100	100	100	100.0
3	200	200	200		200.0
4				240.6	240.6
5		300		300	300.0
6		309.375			309.3
7		334.375			334.3
8			340.625		340.6
9				346.9	346.9
10		368.75			368.7
11				387.5	387.5
12	400	400			400.0
13			406.3		406.3
14	500		500		500.0
15				509.4	509.4
16				559.4	559.4
17		600			600.0
18				681.3	681.3
19	700		700		700.0
20		737.5			737.5
21		900		900	900.0
22				921.8	921.8
23	1000				1000.0
24		1053			1053.0
25			1068.75		1068.7
26				1094	1094.0
27	1100				1100.0
28				1178.1	1178.1
29				1228.1	1228.1
30		1319			1319.0
31			1391		1391.0
32				1428.1	1428.1
33				1450	1450.0
34			1463		1463.0
35				1513	1513.0
36				1653	1653.0
37				1750	1750.0
38				1762.5	1762.5
39			1940.6		1940.6
40				2000	2000.0

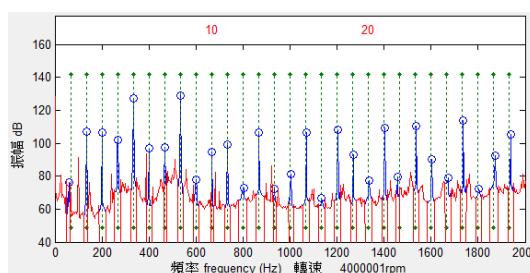


圖 7 R1 量測頻譜圖

以及非轉速倍頻，利用非轉速倍頻所得之自然頻率值，整理出可能的結構自然頻率，其整理方式如表 2 加速度計測得之可能結構自然頻率，其可能的結構自然頻率值有 100、200、240.6、300 及 700Hz。

針對噪音頻譜進行篩選，將其分貝較大之頻帶挑選出來，其挑選依據如附錄 A R1 主要噪音頻帶總表，其分別依近、遠麥克風整理，最後整理出 1 號麥克風 (Mic01) 所得得之噪音頻帶為 30~60Hz、



240~540Hz、734~900Hz 及 1050~1440Hz; 2 號(Mic02) 麥克風之噪音頻帶為 30~120Hz、200~481Hz、746~900Hz 及 1013~1603Hz。

經由 R1 固定轉速之 Receiver test 整理所得之資訊，總結如下：

1. 透過不同轉速所測得之頻率值，歸納出可能的結構自然頻率值如表 1。
2. 由壓縮缸及過濾瓶之加速度計所測得之結構頻率，發現在不同轉速下其可能之自然頻率值對應性不佳，因此推測不同轉速下結構自然頻率可能有變動
3. 由噪音頻譜歸納出異音的主要貢獻頻帶為 30~120Hz、200~540Hz、700~900Hz 及 1050~1600Hz。

#### 4.2 R2 變動轉速未穩態 0-4000RPM Run-up test

Run-up Test 皆由轉速 0-4000RMP 進行，量測之頻寬有 2000Hz 及 5000Hz，將量測所得之噪音及振動頻譜瀑布進行可能的自然頻率挑選，其挑選方式如圖 6 介紹，整理 R2 測得之可能自然頻率總表如表 3，並將 2 頻寬下出現次數較多之頻率值挑選出並做記號，如表 3 有底色部分。

由圖 7 振動頻譜瀑布圖可以發現，在壓縮機尚未運轉時，量測到部分頻率有振幅產生，經確認該頻率皆為 60Hz 及 100Hz 倍頻，因量測場地有其它運轉機器使用 60Hz 及 50Hz 之交流電，因此將表 3 中 60Hz 及 100Hz 之倍頻反黑，視為交流電影響，挑出最後可能的自然頻率值。

將不同頻寬所得之瀑布圖，進行噪音及振動頻帶挑選，把在不同轉速時皆有明顯振幅之頻帶框選出來，其框選結果如附錄 B 及附錄 C。

經由 R2 0-4000RMP Run-up test 所整理所得之資訊進行整理，其總結如下：

1. 以肉眼方式進行結構自然頻率篩選，其可能之結構自然頻率為：45、110、390、400、645 及 1190Hz。
2. 由麥克風量得之噪音頻譜瀑布圖，得知較高貢獻度之噪音頻帶約為 0.25~0.4、0.8~0.1、1.05~1.2 及 1.4~1.6 kHz 區間。
3. 壓縮缸由加速度計量得之振動頻譜瀑布圖，得知壓縮缸共振頻率約為 0.2~0.7、0.75~0.9 及 1.05~1.2 kHz 區間。
4. 過濾瓶由加速度計量得之振動頻譜瀑布圖，得知過濾瓶共振頻率約為 0.2~0.6、0.9~1 及 1.05~1.45 kHz 區間。

#### 4.3 綜合比較

將 R1 及 R2 所量得之可能結構自然頻率進行比對，其比對結果如表 4，發現 2 次實驗之可能自然頻率值對應性高，R2 所判斷之可能結構自然頻率與 R1 皆有對應，然後 R1 卻有許多可能自然頻率值並無在 R2 中測得，其原因為 R1 在判斷可能之自然頻率時，

是將全部峰值皆列入考量的所致。

將 R1 及 R2 所判斷之主要噪音及振動頻帶進行

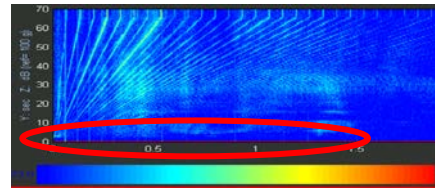


圖 7 振動頻譜瀑布圖

表 2 加速度計測得之可能結構自然頻率

Acc01		Acc02		Acc01		Acc02	
3 次	2 次	3 次	2 次	3 次	2 次	3 次	2 次
50							781.3
100		100.0			800		
			181.3				818.8
200		200.0					900.0
	240.6		240.6	1000			
	300		300.0	1100			
			359.4		1150		
400							1259.4
	453.1						1381.3
500					1600		
			540.6		1700		
			659.4		1750		
700			700.0				1859.4
			718.8	2000		2000	

表 3 R2 測得之可能自然頻率總表

頻寬 頻道 數	2000 Hz				5000 Hz			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0.005							0.005	
0.02				0.02				
0.035			0.035					
0.045	0.045	0.045			0.045	0.045	0.045	
0.06				0.06				0.06
0.1	0.1		0.1	0.1				
0.11	0.11	0.11			0.11			
0.105							0.105	
0.12			0.12	0.12				0.12
0.18				0.18				0.18
0.215							0.215	
0.24								0.24
0.3				0.3				
0.36							0.36	
0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39			
0.4					0.4		0.4	
0.415				0.415				
0.44					0.44			
0.5							0.5	
0.54			0.54					0.54
0.545				0.545				
0.65			0.65					
0.66				0.66				
0.68	0.68							
0.685			0.685					
0.69				0.69				
0.88								0.88
0.89							0.89	
0.9				0.9				
0.925			0.925					
0.94	0.94	0.94						
1.02				1.02				
1.19				1.19	1.19			1.19
1.2							1.2	
1.24								1.24
1.26				1.26				
1.5				1.5				1.5
1.6	1.6							
1.62				1.62				1.62
2.19								2.19
2.54							2.54	
2.8					2.8			

表 4 比對 R1 及 R2 之可能自然頻率總表

R1	R2	R1	R2
25		700	
	45	737.5	
50		900	
100		921.8	
	110	1000	
200		1053	
240.6		1068.7	
300		1094	
309.3		1100	
334.3		1178.1	1190
340.6		1228.1	
346.9		1319	
368.7		1391	
387.5	390	1428.1	
400		1450	
406.3		1463	
500		1513	
509.4		1653	
559.4		1750	
600		1762.5	
	645	1940.6	
659.4		2000	
681.3			

比對，發現 2 者測得之主要頻帶皆相近，R1 之主要頻帶為 30~120Hz、200~540Hz、700~900Hz 及 1050~1600Hz，R2 之主要頻帶為 250~400、800~1000、1050~1200 及 1400~1600 Hz。

## 5. 結論

經由 R1 固定轉速下穩態運轉 Receiver test 及 R2 變動轉速未穩態運轉 0-4000RPM Run-up test 量測其噪音及振動頻譜，並進行可能自然頻率及主要噪音及振動貢獻頻帶探討，綜合結論如下：

- 文中迴轉式壓縮機可能之結構自然頻率為 50、100、387.5、659.4 及 1178.1Hz；主要噪音貢獻頻帶為 200~540、700~1000 及 1050~1600Hz 之間。
- 比對 R1 與 R2 所測得之可能自然頻率發現，其 2 者所得之頻率值對應性佳。而 R1 所測得之自然頻率值較為準確，R2 受限於必須以肉眼方式進行可能自然頻率值篩選，因此其頻率值較不準確。
- 比對 R1 與 R2 所測得之主要噪音及振動貢獻頻帶發現，2 者測得之主要貢獻頻帶對應性佳。
- 由此比較 R1 與 R2 得知，若實驗時主要需求為了解結構之噪音及振動貢獻頻帶，建議使用 R2 變動轉速未穩態 0-4000RPM Run-up test 進行，以節省後處理時間。而若需探討明確之結構自然頻率值時，則建議以 R1 固定轉速下 Receiver test 進行實驗量測。

## 6. 參考文獻

- 林鴻裕，王栢村，吳志興，迴轉機械內部噪音源的確認，第七屆全國技術及職業教育研討會，民國 81 年 3 月 20-21 日，1992
- 楊煥弟，壓縮機噪音振動與空調外機噪音關係分

析，噪聲與振動控制，第 29 期，第 1 卷，第 149-152 頁，2009

- M. Silverira, Noise and Vibration Reduction in Compressors for Commercial Applications, *International Compressor Engineering Conference*, West Lafayette, IN, USA, Paper No.C065, 2004
- S. Woo, U. Lee, C. Sung, C. Shin, and S. Kim, Noise Reduction in Two-Cylinder Rotary Compressor, *International Compressor Engineering Conference*, West Lafayette, IN, USA, Paper 1897, 2008
- J. P. Huang, Y. S. Hu, S. H. Xia, and j. Xu, Noise Reduction Technology for Inverter Controlled Rotary Compressor, *International Compressor Engineering Conference*, West Lafayette, IN, USA, Paper 1948, 2010

## Noise Characteristic Analysis for Rotary Compressor in Steady State and Run-up Test

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Tsung-Ting Hsieh<sup>1</sup>,  
Chien-Chung Chou<sup>2</sup>, Chin-Lung Chen<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Rechi Precision co., LTD

### Abstract

The rotary compressor is the major component in air conditioning systems, and the emission noise is of great concerns for the requirement of quiet operation. This work aims to discuss the noise and vibration of the rotary compressor by receiver tests. The compressor is operated in both steady state and run-up test is carried out for the compressor starting operation from 0 RPM in static condition to 4000 RPM. Both microphones and accelerometers are applied respectively to measure the noise emission from the compressor and the induced vibration on the compressor shell structures. Results show the rotating speed frequency and its harmonics can be clearly identified from noise and vibration spectra. The structural resonances can also be observed for those inherently unchanged peak responses in different operating speeds. The noise and vibration spectra obtained from steady state and run-up tests are also compared. The dominant bands of noise and vibration can be postulated related to structural resonance effects.

**Keywords** : Noise Characteristic Analysis, Rotary Compressor, Receiver Test, Run-up test

附錄：

表 A-1 主要噪音頻帶總表(Mic01)

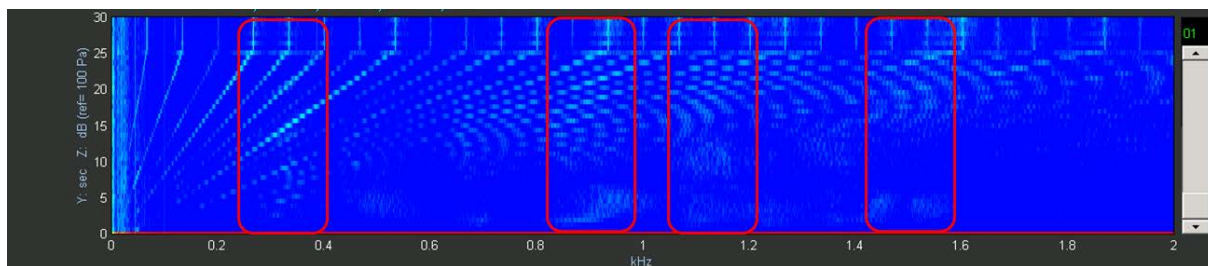
18001 rpm				32001 rpm				36001 rpm				40001 rpm			
最大值	30倍數	簡譜頻率	30Hz	最大值	8倍數	簡譜頻率	53.333Hz	最大值	18倍數	簡譜頻率	60Hz	最大值	18倍數	簡譜頻率	66.666Hz
倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB
1	30	21.875	41.9262	1	53.333	53.125	47.11805	1	60	59.375	44.85636	1	66.8	56.25	28.51477
2	60	59.375	45.43876												
3	90	90.625	27.62358												
4	120	118.75	12.34137	2	106.666	106.25	33.45137	2	120	118.75	20.04859				
5	150	150	33.74534	3	159.999	159.375	8.89156					2	133.6	134.375	40.79861
6	180	171.875	20.83438					3	180	181.25	17.55783				
7	210	209.375	25.0534	4	213.332	215.625	25.97311					3	200.4	200	38.60158
8	240	240.625	46.6031					4	240	240.625	61.79038				
9	270	268.75	13.59957	5	266.665	268.75	36.48909					4	267.2	268.75	35.67782
10	300	300	47.03738					5	300	300	57.48767				
11	330	331.25	26.94803	6	319.998	321.875	53.79731					5	334	334.375	65.76096
12	360	359.375	41.7207	7	373.331	375	47.22996	6	360	359.375	43.93735				
13	390	390.625	26.92175									6	400.8	400	42.46868
14	420	418.75	4.56772	8	426.664	428.125	60.93431	7	420	418.75	18.22969				
15	450	450	30.26163									7	467.6	468.75	38.21674
16	480	481.25	38.4221	9	479.997	481.25	49.50586	8	480	481.25	54.56818				
17	510	509.375	30.54077									8	534.4	534.375	59.48133
18	540	540.625	32.75274	10	533.33	534.375	13.27146	9	540	540.625	44.9218				
19	570	568.75	11.38651												
20	600	600	33.53892	11	586.663	590.625	7.962377	10	600	600	33.97489				
21	630	631.25	22.97871	12	639.996	643.75	27.25424					9	601.2	600	17.5432
22	660	659.375	26.43638					11	660	659.375	15.48303				
23	690	690.625	32.52343	13	693.329	696.875	51.12829					10	668	668.75	37.30477
24	720	721.875	10.81068					12	720	721.875	22.23713				
25	750	750	37.23179	14	746.662	750	53.20279					11	734.8	734.375	45.23438
26	780	781.25	32.8061					13	780	781.25	49.70598				
27	810	809.375	23.4983	15	799.995	803.125	49.25521					12	801.6	803.125	18.23236
28	840	840.625	49.31881	16	853.328	856.25	31.8611	14	840	840.625	47.24593				
29	870	868.75	20.35549									13	868.4	868.75	47.46155
30	900	900	51.24575	17	906.661	909.375	25.43826	15	900	900	42.47582				
31	930	931.25	37.54933									14	935.2	934.375	22.45328
32	960	959.375	22.55136	18	959.994	965.625	20.35812	16	960	959.375	26.0586				
33	990	990.625	42.91911									15	1002	1003.125	29.49522
34	1020	1021.875	18.41791	19	1013.327	1018.75	43.04636	17	1020	1021.875	37.39287				
35	1050	1050	40.03761	20	1066.66	1071.875	57.73942					16	1068.8	1068.75	56.77103
36	1080	1081.25	35.62679					18	1080	1081.25	61.80684				
37	1110	1109.375	16.4903	21	1119.993	1125	46.54408					17	1135.6	1137.5	17.27385
38	1140	1140.625	38.08845					19	1140	1140.625	44.04213				
39	1170	1168.75	23.04125	22	1173.326	1178.125	42.88411								
40	1200	1200	43.99163					20	1200	1200	41.97023	18	1202.4	1203.125	69.55204
41	1230	1231.25	38.5509	23	1226.659	1231.25	47.23076					19	1269.2	1268.75	53.67355
42	1260	1259.375	15.13704					21	1260	1262.5	31.87642				
43	1290	1290.625	40.18656	24	1279.992	1284.375	33.48643								
44	1320	1321.875	21.99541	25	1333.325	1340.625	23.46425	22	1320	1321.875	47.21402				
45	1350	1350	50.55236									20	1336	1337.5	36.42222
46	1380	1381.25	42.35788	26	1386.658	1393.75	42.51146	23	1380	1381.25	45.02683				
47	1410	1409	14.53									21	1402.8	1403.125	53.25456
48	1440	1440.625	35.42231	27	1439.991	1446.875	58.15986	24	1440	1440.625	40.54028				
49	1470	1471.875	22.54476	28	1493.324	1500	47.86288					22	1469.6	1465.625	30.22874
50	1500	1500	39.40884					25	1500	1500	27.79322				
51	1530	1531.25	38.70284	29	1546.657	1553.125	43.06294					23	1536.4	1537.5	58.1996
52	1560	1562.5	22.75382	30	1599.99	1606.25	24.8383	26	1560	1562.5	35.49834				
53	1590	1590.625	44.60992									24	1603.2	1603.125	52.7392
54	1620	1621.875	17.28275					27	1620	1621.875	48.20802				
55	1650	1650	13.86924	31	1653.323	1659.375	17.78898					25	1670	1671.875	30.24415
56	1680	1681.25	18.5416					28	1680	1681.25	50.46451				
57	1710	1709.375	11.90974	32	1706.656	1715.625	20.71896								
58	1740	1740.625	32.68102	33	1759.989	1768.75	37.14158	29	1740	1740.625	39.34356				
59	1770	1771.875	19.72426									26	1736.8	1737.5	66.44613
60	1800	1800	16.73558	34	1813.322	1821.875	42.79004	30	1800	1803.125	23.921				
61	1830	1831.25	26.00633									27	1803.6	1803.125	35.5354
62	1860	1859.375	9.609747					31	1860	1862.5	31.91148				
63	1890	1890.625	27.54115									28	1870.4	1871.875	51.88658
64	1920	1921.875	14.11152					32	1920	1921.875	48.98418				
65	1950	1950	14.83113									29	1937.2	1937.5	62.744
66	1980	1981.25	20.97505					33	1980	1981.25	43.01366				

表 A-2 主要噪音頻帶總表(Mic02)

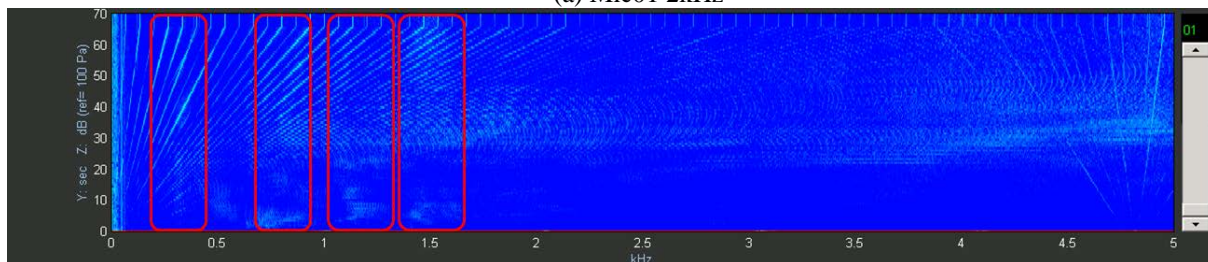
18002 rpm				32002 rpm				36002 rpm				40002 rpm			
最大值	2倍數	簡譜頻率	30Hz	最大值	20倍數	簡譜頻率	53.333Hz	最大值	18倍數	簡譜頻率	60Hz	最大值	18倍數	簡譜頻率	66.666Hz
倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB	倍頻數	理論 Hz	實際 Hz	分貝 dB
1	30	21.875	43.38775	1	53.333	53.125	39.5905								
2	60	59.375	47.14874					1	60	56.25	33.13287	1	66.8	65.63	17.84
3	90	90.625	20.22778												
4	120	118.8	8.788	2	106.666	106.25	32.03728	2	120	118.75	17.3419	2	133.6	134.375	35.64394
5	150	150	24.69093	3	159.999	156.3	6.62								
6	180	171.875	21.40749					3	180	171.875	17.72155				
7	210	209.375	14.23623	4	213.332	215.625	10.98356					3	200.4	200	36.39763
8	240	240.625	35.23782					4	240	240.625	50.6378				
9	270	268.75	6.201022	5	266.665	268.75	25.85232					4	267.2	268.75	27.36434
10	300	300	38.16341	6	319.998	321.875	45.22457	5	300	300	46.44059				
11	330	331.25	16.1078									5	334	334.375	55.42318
12	360	359.375	33.0488	7	373.331	375	37.54604	6	360	359.375	34.95863				
13	390	390.625	19.3543									6	400.8	400	34.58283
14	420	418.75	-1.32253	8	426.664	428.125	48.92847	7	420	418.75	9.274461				
15	450	450	25.34302									7	467.6	468.75	29.04177
16	480	481.25	27.39135	9	479.997	481.25	38.91653	8	480	481.25	42.18938				
17	510	509.375	22.27557												
18	540	540.625	27.72147	10	533.33	534.375	6.101036	9	540	540.625	26.40948	8	534.4	534.375	54.63277
19	570	568.75	5.028469												
20	600	600	28.80815	11	586.663	590.625	1.697288	10	600	600	28.72375	9	601.2	600	13.24307
21	630	631.25	11.53127	12	639.996	643.75	20.80207					10	668	668.75	23.17058
22	660	659.375	12.14091					11	660	659.375	9.135344				
23	690	690.625	21.18841	13	693.329	696.875	33.02182								
24	720	721.875	0.774815					12	720	721.875	11.88338	11	734.8	734.375	30.96456
25	750	750	26.61732	14	746.662	750	45.48899								
26	780	781.25	22.75585					13	780	781.25	41.63746				
27	810	809.375	14.58717	15	799.995	803.125	34.39325					12	801.6	803.125	9.046466
28	840	840.625	38.8988	16	853.328	856.25	18.76069	14	840	840.625	35.67232				
29	870	868.75	11.88189									13	868.4	868.75	38.0373
30	900	900	41.76977	17	906.661	909.375	13.9233	15	900	900	33.98174				
31	930	931.25	29.00902									14	935.2	934.375	14.10241
32	960	959.375	15.06934	18	959.994	965.625	12.55385	16	960	959.375	17.97126				
33	990	990.625	35.32417									15	1002	1003.125	20.97427
34	1020	1021.875	8.869713	19	1013.327	1018.75	34.14388	17	1020	1021.875	27.80152				
35	1050	1050	33.50552	20	1066.66	1071.875	50.50869					16	1068.8	1068.75	50.00495
36	1080	1081.25	32.9867					18	1080	1081.25	54.76904				
37	1110	1109.375	10.49485	21	1119.993	1125	41.6999								
38	1140	1140.625	36.38282					19	1140	1140.625	42.47409	17	1135.6	1137.5	11.40715
39	1170	1168.75	15.95113	22	1173.326	1178.125	33.42504								
40	1200	1200	36.40136					20	1200	1200	31.69969	18	1202.4	1203.125	62.97808
41	1230	1231.25	27.97901	23	1226.659	1231.25	37.85696								
42	1260	1259.375	7.102295					21	1260	1262.5	22.47084	19	1269.2	1268.75	44.55716
43	1290	1290.625	34.43904	24	1279.992	1284.375	23.94818								
44	1320	1321.875	16.33529	25	1333.325	1340.625	18.55034	22	1320	1321.875	26.34691	20	1336	1337.5	31.31185
45	1350	1350	45.99343												
46	1380	1381.25	37.67134	26	1386.658	1393.75	41.24242	23	1380	1381.25	45.81822				
47	1410	1409	8.256									21	1402.8	1403.125	47.27261
48	1440	1440.625	29.82823	27	1439.991	1446.875	50.31203	24	1440	1440.625	32.13346				
49	1470	1471.875	14.26991									22	1469.6	1465.625	25.84074
50	1500	1500	30.28954	28	1493.324	1500	33.50575	25	1500	1500	20.15628				
51	1530	1531.25	30.57588									23	1536.4	1537.5	50.22133
52	1560	1559.375	13.43722	29	1546.657	1553.125	37.45346	26	1560	1562.5	27.26664				
53	1590	1590.625	32.74862	30	1599.99	1606.25	18.94771					24	1603.2	1603.125	43.25724
54	1620	1621.875	7.68392					27	1620	1621.875	42.03178				
55	1650	1650	3.610811	31	1653.323	1659.375	10.19889					25	1670	1671.875	20.78113
56	1680	1681.25	12.22955					28	1680	1681.25	39.71813				
57	1710	1709.375	4.239582	32	1706.656	1715.625	13.91412								
58	1740	1740.625	22.81739	33	1759.989	1768.75	30.13652	29	1740	1740.625	35.22728	26	1736.8	1737.5	55.83105
59	1770	1771.875	11.19336												
60	1800	1800	7.474371	34	1813.322	1821.875	36.83004	30	1800	1803.125	16.85795	27	1803.6	1803.125	25.79801
61	1830	1831.25	16.80095												
62	1860	1859.375	6.525002	35	1866.655	1875	37.3122	31	1860	1862.5	25.7172				
63	1890	1890.625	24.40913									28	1870.4	1871.875	41.46744
64	1920	1921.875	10.66553	36	1919.988	1928.125	17.51052	32	1920	1921.875	27.86892				
65	1950	1950	8.429694									29	1937.2	1937.5	54.02128
66	1980	1981.25	15.04546	37	1973.321	1981.25	18.80825	33	1980	1981.25	36.92946				



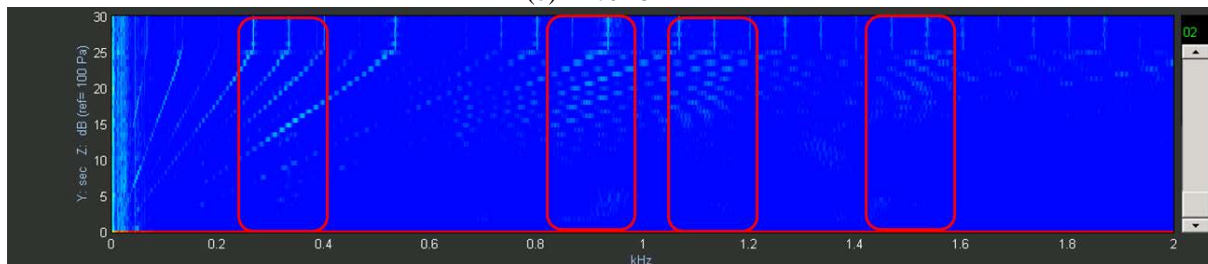
圖 A-1 R2 之噪音頻帶瀑布圖(a)Mic01 2kHz(b)Mic01 5kHz(c)Mic02 2kHz(d) Mic02 5kHz



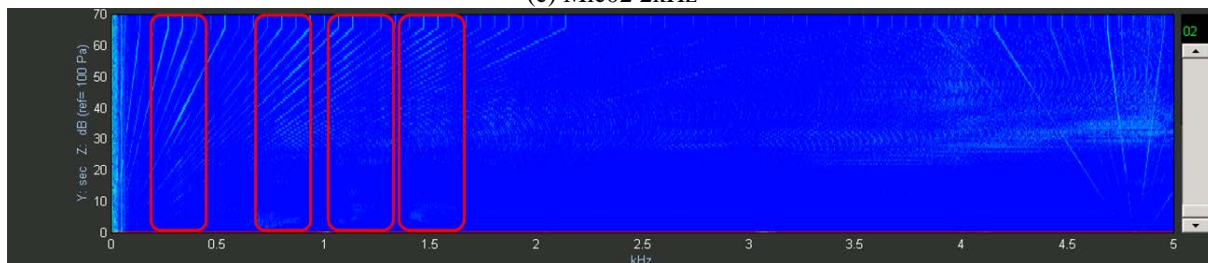
(a) Mic01 2kHz



(b) Mic01 5kHz



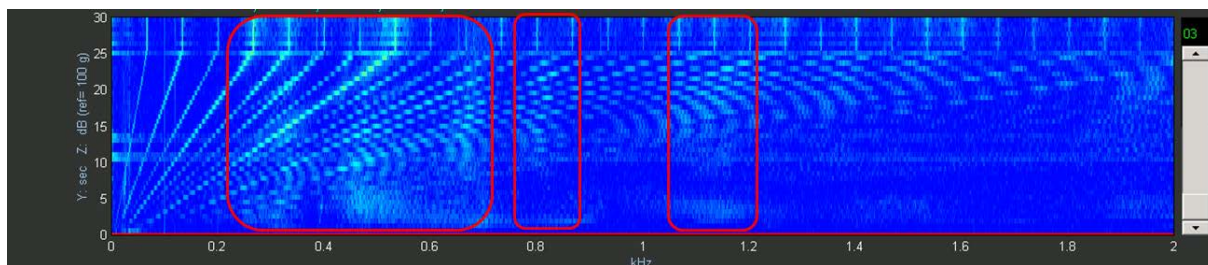
(c) Mic02 2kHz



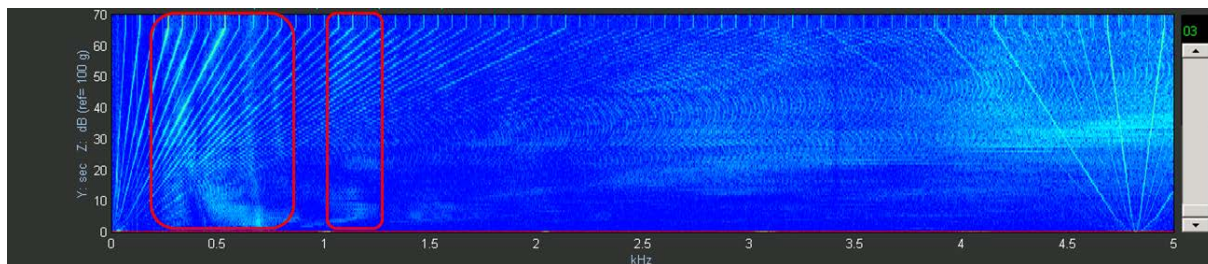
(d) Mic02 5kHz



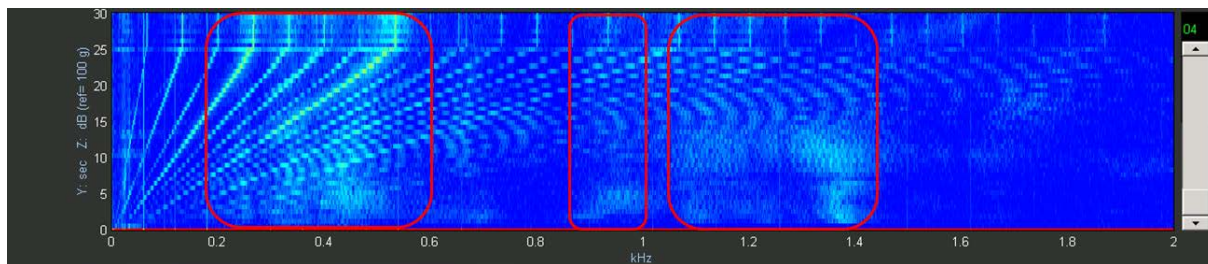
圖 A-2 R2 之動頻頻帶瀑布圖(a)Acc01 2kHz(b)Acc01 5kHz(c)Acc02 2kHz(d) Acc02 5kHz



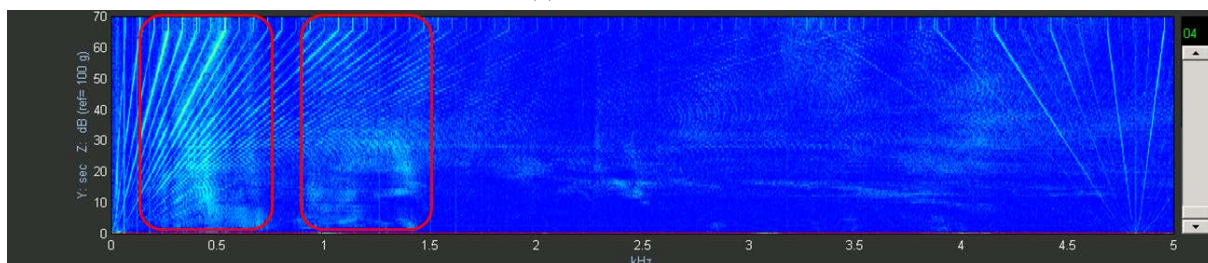
(a) Acc01 2kHz



(b) Acc01 5kHz



(c) Acc02 2kHz



(d) Acc02 5kHz