

文章编号: 0253-4339(2012)02-0050-05
doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.02.050

降低双螺杆制冷压缩机组噪声和振动的实验研究

张为民 卢允庄

(大连冷冻机股份有限公司 大连 116033)

摘要 为改善运行环境并提高运行性能,对一台双螺杆制冷压缩机组进行了噪声和振动实验测试。通过频谱分析发现,机组在压缩机基频整数倍的频率处出现较高的噪音和较大的振动,说明压缩机是机组主要的振动源和噪声源。通过对改进前后的压缩机组进行实验对比,分析了实验数据,提出了相应的降噪减振措施。结果表明:改进转子型线设计,调整阴、阳转子啮合间隙分布,提高阴、阳转子的加工精度等措施是机组降噪减振的有效方法。

关键词 热工学;机械动力学与振动;双螺杆制冷压缩机;噪声;振动;谱分析

中图分类号: TB652; TH45; TB533; TB535

文献标识码: A

Experimental Investigation on Noise and Vibration Reduction in Twin-screw Refrigeration Compressor Unit

Zhang Weimin Lu Yunzhuang

(Dalian Refrigeration Co., Ltd., Dalian, 116033, China)

Abstract The noise and the vibration in a twin-screw refrigeration compressor unit are tested experimentally in order to improve the operation environment and the performance. By spectrum analysis, it was found that the higher noise and the larger vibration occurred when the unit was running at integer multiple of compressor baseband frequency, which indicated that the compressor was the main source of vibration and noise of the unit. Some noise and vibration reduction methods were also presented. The results of experimental comparison of the screw compressor unit before and after improvement indicate that improving the rotor profile design, adjusting the meshing clearance of female rotor and male rotor, and enhancing the rotor machining precision are significantly effective for noise and vibration reduction.

Keywords Pyrology; Mechanical dynamics and vibration; Twin-screw refrigeration compressor; Noise; Vibration; Spectral analysis

双螺杆压缩机是一种容积式回转压缩机,其运动部件仅由两个转子和若干轴承组成,能在较宽的运行压力和流量范围内高速高效运行。由于其可靠、紧凑、高效和适用范围宽的特点而在制冷领域得到了广泛应用,目前已经占到了容积式压缩机销量的80%和正在运行的容积式压缩机的50%以上^[1]。但由于其高转速和对设计、加工和安装的高精度要求,如果在一些环节上出现问题,就会产生异常的振动和噪声,长时间的噪声与振动会引起工程结构的疲劳与破坏。噪声是通过介质传递的,双螺杆压缩机及机组的噪声都是由相关零部件振动传递给壳体,向外辐射的。因此,有必要对压缩机组结构振动、噪声进行控制,以有效降低结构振动及噪声辐射能力,而对结构振动和噪声的控制最关键的就是识别振动产生的原因及噪声源。双螺杆压缩机产生振动和噪声的原因很多也很复杂,主要有联轴器不对中、转子动平衡精度低、轴承配合、加工形

位公差及装配间隙偏差、转子啮合以及吸排气腔气流脉动等引起的噪声和振动^[2-3]。

针对双螺杆制冷压缩机组存在的噪声和振动问题进行实验研究,以判定噪声和振动产生的主要原因和机理并提出相应降噪减振措施,对改善螺杆压缩机运行环境并提高运行性能具有积极的意义。

1 实验模型及测试装置

采用的实验模型为一台双螺杆制冷压缩机组,由压缩机、电机、油分离器、油冷却器、气路、油路和控制系统等组成。压缩机的转子直径为200mm,阳、阴转子齿数比为4:6,阳转子为主动转子,转速为2960r/m。

1.1 噪声测量仪器

B&K 2260声级计,1/1和1/3倍(6.3Hz~20kHz)频程分析,精度0.1dB。

1.2 振动测量仪器

加速仪：6156(三支)，测量精度 10mm/s^2 。

放大器：7021。

记录器：XR-50C(日本TEAC)。

分析仪：CF-920(日本ONO SOKKI)，最高采集速度为 256kHz ，最高频率量程为 100kHz ，最低频率量程为 1Hz 。

1.3 测点布置

1) 噪声测点布置

压缩机组噪声测点布置示意简图，见图1所示。

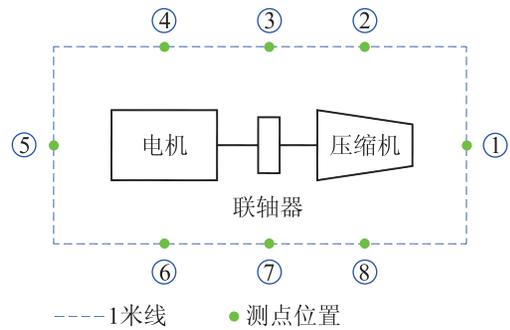


图1 压缩机组噪声测点布置示意简图

Fig.1 Sketch of measure positions for noise test of the compressor unit

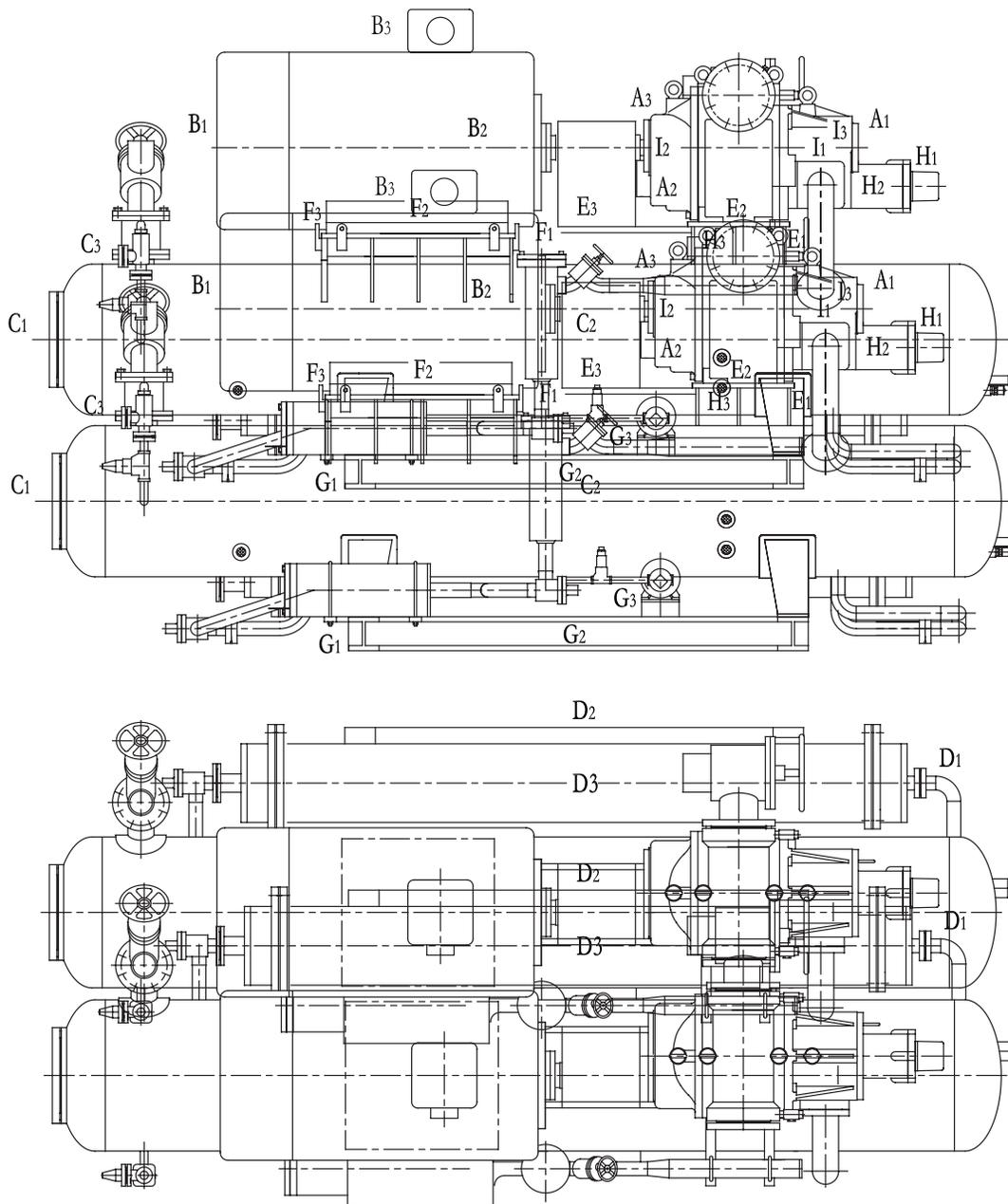


图2 压缩机组振动测点布置图

Fig.2 Sketch of measure positions for vibration test of the compressor unit

2) 振动测点布置

压缩机组振动测点布置, 见图2所示的机组实际外形主视图和俯视图。

2 实验结果

噪声和振动都进行了两次或多次测量, 取两次的测量结果。

2.1 噪声测量结果

1) A声级噪声测量结果, 见表1。

表1 噪声测量结果 (单位: dB)
Tab.1 Results of noise test (Unit: dB)

次数	测点							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
1	92.1	95.4	94.8	91.9	92.0	94.2	96.0	95.6
2	92.2	96.1	95.3	92.6	92.1	94.3	96.1	96.3

2) 噪声谱分析结果

为分析整个系统的噪声, 以测点3和测点7作为分析基准点。测点3和测点7谱分析结果见表2和图3。

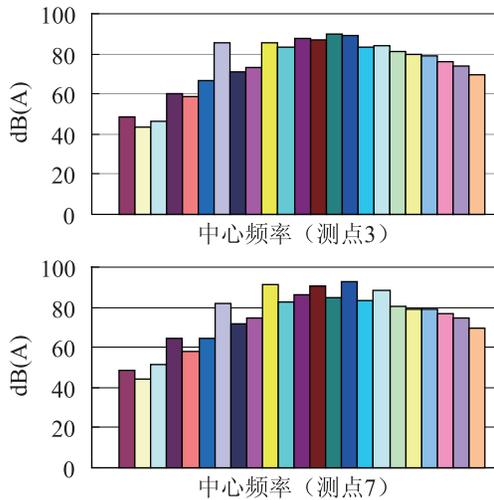


图3 噪声谱分析

Fig.3 Analyzes of noise spectrum

表2 噪声谱分析

Tab.2 Analyzes of noise spectrum

中心频率 /Hz	测点3 /dB	测点7 /dB	中心频率 /Hz	测点3 /dB	测点7 /dB
50	48.8	48.4	800	86.6	90.4
63	43.6	44.1	1000	89.7	85.0
80	46.4	51.4	1250	88.8	92.7
100	60.4	64.8	1600	83.4	83.0
125	58.7	58.3	2000	83.9	88.6
160	66.4	64.6	2500	80.8	80.5
200	85.6	82.1	3150	79.6	79.0

中心频率 /Hz	测点3 /dB	测点7 /dB	中心频率 /Hz	测点3 /dB	测点7 /dB
250	70.8	71.5	4000	79.3	78.9
315	73.3	74.9	5000	75.8	76.9
400	85.8	91.5	6300	74.1	74.7
500	83.2	82.6	8000	69.6	69.6
630	88.0	86.4			

2.2 振动测量结果

振动测量结果见表3。该表只列出了压缩机主机处的3个测点, 其余测点略。表中: L向(纵向)代表平行于基座平面, 取基座长度方向。T向(横向)代表平行于基座平面, 取基座宽度方向。V向(垂向)代表垂直于基座平面方向。

表3 振动测量结果
Tab.3 Results of vibration test

部位	测点	方向	频率 /Hz	加速响应 / (mm/s ²)	速度响应 / (mm/s)
压缩机主机	A1	L	50	470	1.493
			197.5	4090	3.296
			400	5690	2.264
	A2	T	1187.5	10800	1.448
			400	4250	1.691
			990	13500	2.170
			1187.5	20800	2.788
			1387.5	22700	2.604
			197.5	3370	2.716
A3	V	400	3390	1.349	
		592.5	5350	1.437	
		1187.5	6050	0.811	

3 制冷压缩机和机组噪声和振动问题分析

3.1 噪声测量结果分析

根据表1噪声测量结果, 噪声发生的最大部位是压缩机两侧, 测得最大噪声级为96.3dB, 其次是压缩机与电机之间的部位, 测得的最大噪声级为96.1dB, 可见噪声源主要来自于压缩机方向。

由表2和图3噪声谱分析数据, 以及文献[4]的分析结果, 发现在频谱图上在约200Hz、400Hz、630Hz、800Hz、1000Hz、1250Hz的频率处噪声级较大。其中大于90dB有三组值, 即400Hz时的噪声级为91.5dB, 800Hz时的噪声级为90.4dB, 1250Hz时的噪声级为92.7dB。因为电源频率为50Hz, 主动转子阳转子为4齿, 压缩机的啮合频率—基频即

约为200 Hz, 可知在基频的整数倍时噪音较高, 说明噪声源来自压缩机。

3.2 振动测量结果分析

由表3振动测量结果可知, 在整个压缩机组各振动测点上, 发现197.5Hz(200Hz)、395Hz(400Hz)、792.5(800Hz)、990Hz、1187.5Hz、1387.5Hz这些压缩机基频整数倍的频率处均出现了较大的振动速度, 这与噪声测量结果相一致。这也说明了压缩机是主要的振动源和噪声源。

对压缩机组振动测量结果分析时, 发现压缩机, 压缩机下的机座和油分离器上振动速度、加速度大于电机和油冷却器上的振动速度和加速度。而压缩机、压缩机机座和油分离器上纵向水平振动速度大于横向水平振动速度, 详见表4所示。可见压缩机是主振源, 通过机壳传递给基座, 导致压缩机、基座和油分离器振动较大。在这里还要注意, 结构的辐射声级, 除与结构表面振动速度平方成正比外, 还与结构振动面积成正比; 因为压缩机主机、压缩机机座和油分离器侧向振动面积远远大于纵向振动面积, 所以压缩机主机两侧测得的噪声级高于纵向测得的噪声级, 这与噪声测量结果是一致的。

3.3 诊断及原因分析

表2、表3和表4测得的197.5Hz(或200Hz)的频率是主动轴阳转子与阴转子间啮合频率, 400Hz(或395Hz)、592.5Hz(或630Hz)、787.5Hz、990 Hz(或997.5Hz)、1187.5Hz、1587.5Hz是谐波频率, 分别约是197.5Hz(或200Hz)的2倍、3倍、4倍、5倍和6倍和8倍。产生这种噪声和振动的现象主要是因为螺杆压缩机阴、阳转子型线及间隙分布或加工不良, 在阴、阳转子相互啮合时出现撞击和不连续压缩过程, 造成排气不稳定, 进而导致机械

噪声和排气噪声, 并产生振动。

从有关资料[1,5]中得知, 双螺杆压缩机的噪声和振动的“咔咔响”一般来自于双螺杆压缩机阴、阳转子在压缩循环中由于受力变化而导致的主动侧和被动侧的反复接触。解决办法是建立合适的阴转子负力矩, 它会保持转子在扁平侧永久接触, 也就避免了转子反复接触产生的噪声和振动。同时因为转子的扁平侧的密封线较长, 这种方法可以导致齿间泄漏的下降, 从而使压缩机的排气量和能效比都得到提高。

4 降噪减振措施及效果

根据工程经验, 可以给出以下两种措施进行减振降噪处理:

- 1) 设置涂阻尼的钢质隔声罩, 将压缩机包起来, 降低压缩机噪声。
- 2) 改进转子型线设计, 调整阴、阳转子啮合间隙分布, 提高阴、阳转子的加工精度。

第一种加隔声罩的方法不能从根本上解决问题, 除非有特别的环保要求, 一般不会采用。这里采用第二种方法对上述实验中出现问题压缩机进行降噪减振处理。

根据上述分析结果和改进措施, 对双螺杆压缩机的转子进行了下列改进:

- 1) 重新设计了螺杆压缩机的转子型线, 使阴转子上的气体合力矩为负值并相对较小, 它会保持转子在扁平侧永久接触, 避免在压缩循环中反向。同时因为在转子的扁平侧的密封线较长, 这种方法还可以导致齿间泄漏的下降和排气量的提高, 不仅降低噪声而且提高了性能系数。
- 2) 调整了啮合间隙, 使之可以补偿加工及装配误差和转子工作时的受力变形及热膨胀。
- 3) 采用转子磨床代替转子铣床对转子进行磨

表4 压缩机组各部件最大振动速度

Tab.4 Maximum vibration speeds of different parts of the compressor unit

部件 方向	压缩机		压缩机机座		油分离器		电机		电机座		油冷却器	
	频率 /Hz	振动 速度 /(mm/s)										
纵向	197.5	3.296	197.5	3.050	200	13.608	200	8.833	197.5	1.676	100	1.910
水平	400	2.264	1187.5	10.092	400	7.361	50	1.388	395	0.709	400	0.364
横向	400	1.691	395	2.700	787.5	4.244	400	2.439	400	2.089	200	2.714
水平	1187.5	2.788	1187.5	2.748	1187.5	3.136	787.5	3.052	1187.5	4.436	400	1.186
垂向	197.5	2.716	197.5	4.207	395	2.466	100	1.507	400	1.882	200	1.982
	400	1.349	400	3.800	1587.5	1.524	200	2.133	997.5	1.723	400	0.792

削加工,使转子的加工精度提高到5微米。

采用新转子的螺杆压缩机组经装机测试后,平均噪声降低了3.4dB,制冷量提高了8.5%,能效比提高了3.2%。不仅噪声和振动问题得到了较好的改善,而且制冷量和能效比都有了显著提高,前面的分析得到了验证。

5 结论

1) 通过对一台双螺杆制冷压缩机组进行噪声和振动的实验测试及分析,表明机组的噪声源和振动源主要来自于压缩机方向,且当机组的中心频率在为压缩机基频的整数倍时噪音较高、振动较大;产生噪声和振动的主要原因是转子型线设计中阴阳转子力矩传递设置以及转子间隙的分布不合理以及加工精度低等问题。

2) 根据分析结果和相关理论,通过改进转子型线设计,调整阴、阳转子啮合间隙分布,提高阴、阳转子的加工精度等措施,对转子进行了重新设计和加工。经重新装机实验,螺杆压缩机组的噪声和振动问题得到了较好的改善,并提高了机组的制冷量和能效比。研究结果为解决双螺杆制冷压缩机及机组的噪声和振动问题提供了重要方法和借鉴依据。

参考文献

- [1] Nikola Stosic, Zhiqiang Wang, Weimin Zhang, et al. New Design and Rotor Retrofit to Improve Capacity and Performance of Refrigeration Screw Compressors[C]// Eighteenth International Compressor Engineering Conference. Purdue: Purdue University, 2006, C106.
- [2] 靳春梅,樊灵,邱琦,等.双螺杆压缩机降噪要点分析

[J]. 噪声与振动控制, 2002, 22(6):33-34. (Jin Chunmei, Fan Ling, Qiu Qi, et al. Noise Reduction Point Analysis of Two-stage Screw Compressor[J]. Noise and Vibration Control, 2002, 22(6): 33-34.)

- [3] 靳春梅,樊灵,邱琦,等.螺杆制冷压缩机振动噪声研究综述[J]. 流体机械, 2002, 30(10):60-62. (Jin Chunmei, Fan Ling, Qiu Qi, et al. Vibration and Noise Research of Screw Refrigeration Compressor[J]. Fluid Machinery, 2002, 30(10):60-62.)
- [4] 邢子文. 螺杆压缩机-理论、设计及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 279-286.
- [5] 吴华根, 邢子文, 姜韶明, 等. 螺杆制冷压缩机特性研究与优化设计[J]. 流体机械, 2005, 33(增刊): 172-178. (Wu Huagen, Xing Ziwen, Jiang Shaoming, et al. Investigation and Optimum Design of Refrigeration Screw Compressors[J]. Fluid Machinery. 2005. 33(supplement): 172-178.)

作者简介

张为民,男(1967-),硕士学位,高级工程师,副院长,大连市沙河口区西南路888号,大连冰山集团设计研究院,116033,(0411)86538238, E-mail: zhangweimin@bingshan.com. 研究方向:单级和单机双级双螺杆制冷压缩机的研究开发,替代制冷剂的应用研究,CO₂/NH₃低温复叠技术的研究,降膜式蒸发器的研究等。

About the author

Zhang Weimin(1967-), male, master degree, senior engineer, deputy director, Institute of design & research of Dalian Bingshan Group, 888#, Xinan Road, Shahekou District, Dalian, China, 116033, (0411) 86538238, E-mail: zhangweimin@bingshan.com. Research fields: research and development on one stage and compound two-stage twin screw refrigeration compressors, research and application of substitute refrigerant, study of CO₂/NH₃ cascading refrigeration technology, investigation of falling-film evaporator.