

汽车空调压缩机噪声异常问题的诊断与试验*

陈志勇¹, 毛 阳¹, 史文库¹, 施 腾¹, 黎晓燕², 杨家宏²

(1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室 长春, 130022)

(2. 牡丹江富通汽车空调有限公司 牡丹江, 157000)

摘要 某国产轿车存在空调开启时车内噪声较大及怠速时车内出现间歇性异常噪声问题, 为寻找振源, 对样车及其压缩机系统进行了试验诊断与分析, 包括样车摸底试验、压缩机安装状态的刚体模态试验、压缩机在消声室中的台架试验等, 最终确定压缩机噪声较大原因为空调管路制冷剂冲击导致的管路振动噪声向车内的直接传递, 间歇性异常噪声原因为压缩机工作频率与发动机 8 阶工作频率的拍频。根据诊断结果, 提出了相应的改进措施, 并进行了改进后样车的试验验证, 结果表明改进效果比较明显。

关键词 汽车; 空调压缩机; 噪声; 试验诊断

中图分类号 U463.8

引 言

随着乘客对车辆振动噪声要求的不断提高, 噪声、振动与声振粗糙度 (noise, vibration, harshness, 简称 NVH) 特性逐渐成为车辆乘坐舒适性的一个重要评价指标。空调压缩机作为汽车空调系统的核心, 在车辆温度调节的过程中起着相当重要的作用, 但其同时也作为一个不可忽略的振动源, 影响着整车的乘坐舒适性^[1-2]。

轴向活塞式压缩机目前广泛应用于汽车空调系统上, 由于活塞的往复惯性力和制冷剂在压缩机及管路中的振动, 使得压缩机噪声往往成为除了发动机噪声外的第一大噪声源, 这一问题在汽车怠速或低速时表现的尤为突出。空调压缩机负荷随着环境温度的升高而变大, 负荷增大往往噪声也会增大, 使汽车的驾驶舒适性急剧下降^[3-4]。国内外对空调压缩机的异响问题已有一定的研究。Niranjan^[5]基于车辆空调系统和台架噪声测试提出了适用于空调系统气流噪声的评价测试方法。Christopher^[6]利用人工头、麦克风和加速度传感器提出了适用于车辆空调热膨胀阀的嘶嘶声和流动声的测试方法。朱爱武^[7]通过对压缩机的试验研究, 得出了开空调时车内的怠速异响和加速轰鸣噪声的解决方案。郭红旗等^[8]通过在压缩机系统上粘贴阻尼来寻找压缩机振动、噪声主要来源, 并对阻尼最优化进行了探讨。张

立军等^[9]对斜盘式压缩机怠速工况下的噪声问题进行试验研究, 得出了压缩机引起的车内噪声特性以及影响车内噪声的一些机理。潘军等^[10]建立了压缩机的 ADAMS 动力学仿真模型, 分析了不同转速下各关键零件的运动特性、受力情况和整机的动不平衡量, 进而指导产品设计和开发能力。

笔者针对某自主品牌轿车空调开启时车内噪音较大且怠速时出现周期约为 3 s 的间歇性异常噪声等问题, 对整车及台架进行试验研究与诊断, 提出了改进方案并进行方案验证。

1 噪声异常问题描述

问题样车如图 1 所示, 其所用空调压缩机为 7 缸变排量轴向活塞式压缩机。



图 1 问题样车

Fig. 1 The trouble car

* 国家自然科学基金资助项目(51205158);中国博士后科学基金资助项目(2013M541294)

收稿日期:2014-02-12;修回日期:2014-02-24

为了分析异常噪声原因,对问题样车进行了摸底试验,试验工况为:怠速空调开/关;驻车发动机升转速空调开/关;在压缩机本体、车内乘员座椅导轨布置加速度传感器;在车外压缩机近场和车内驾驶员右耳处布置传声器测量加速度信号和声压信号,如图2所示。



图2 测试传感器位置

Fig. 2 Position of the sensors

怠速工况开/关空调车内声压值分别为 46.75 和 43.76 dB(A),如图3所示,可以看出空调开启后车内噪声提高 3 dB(A),造成车内噪声环境恶化。

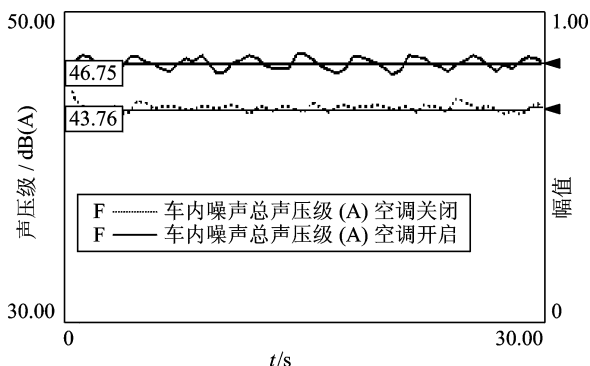


图3 怠速工况空调开/关车内声压值

Fig. 3 The inside sound pressure level in AC on/off in idle

为了研究噪声的频率成分,进行噪声源的识别,对车内噪声进行了谱分析。由图4可以看出,车内噪声 101.5 Hz 峰值达到 43.6 dB(A),甚至高于发动机 2 阶工作频率峰值。怠速开空调压缩机工作频率为

$$\frac{f(750 \text{ r/min})r(1.16)n(7)}{60} = 101.5 \text{ Hz}$$

其中: f 为发动机转速; r 为压缩机速比; n 为缸数。

为了进一步确认噪声来源,提取了压缩机本体振动加速度频谱(见图4)。可以看出,压缩机本体振动以其工作频率 101.5 Hz 峰值最高,由此可以基本确认,怠速空调开启时车内噪声明显升高是由压缩机引起。

针对车内间歇性异常噪声问题,对车内声压信号进行了时域跟踪,如图5所示。针对 101.5 Hz 进行了频率切片,如图6所示。

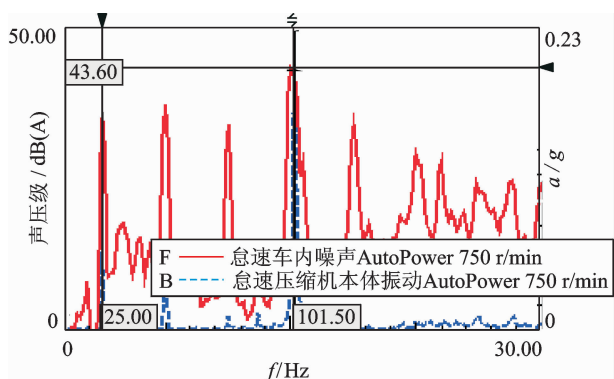


图4 车内噪声与压缩机振动频谱

Fig. 4 Frequency spectrum of noise and compressor vibration

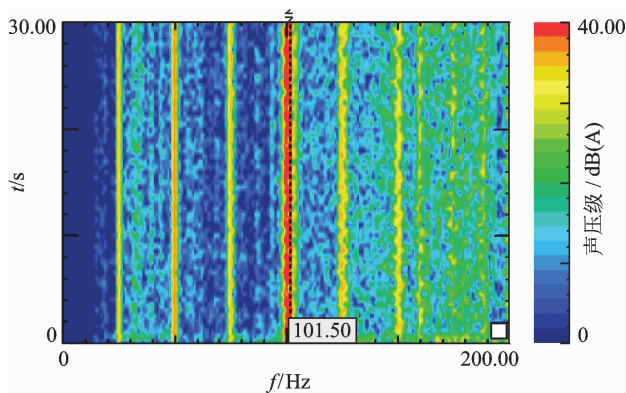


图5 车内噪声时域跟踪图

Fig. 5 Time domain trace figure of inside noise

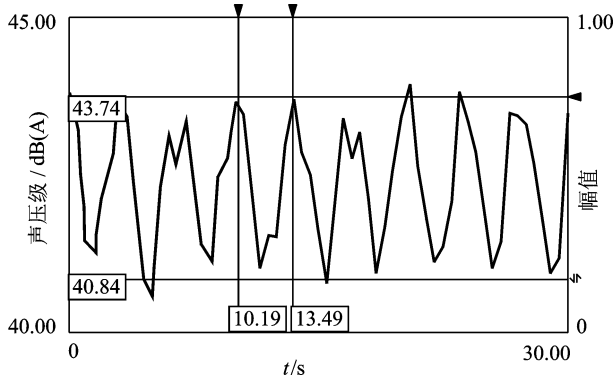


图6 车内噪声 101.5 Hz 频率切片

Fig. 6 Frequency section in 101.5 Hz of inside noise

由图6可以看出,车内 101.5 Hz 频率噪声随时间呈周期为 3 s、幅值为 3 dB(A)的变化,这是造成车内间歇性噪声的原因。

2 问题诊断与研究

针对怠速空调开启车内噪声 101 Hz 峰值最高问题,需要进行压缩机及其支架系统的模态试验,以验证是否共振引起振动噪声问题。测试状态为压缩

机在整车安装状态,在压缩机本体上布置 8 个三向加速度传感器,以力锤激励,测试频响函数进行压缩机刚体模态的计算。第 1 阶刚体模态振型如图 7 所示,其他阶模态振型限于篇幅没有列出。模态频率如表 1 所示。

表 1 压缩机刚体模态频率

Tab.1 The rigid body modal frequency of compressor

模态阶次	1	2	3	4	5	6
模态频率/Hz	136	161	169	184	247	356

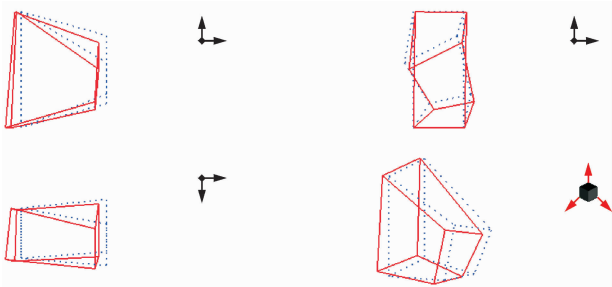


图 7 压缩机第 1 阶刚体模态

Fig.7 First order modal of compressor

模态测试结果显示,第 1 阶刚体模态频率为 136 Hz,远大于压缩机怠速时工作频率 101.5 Hz,所以排除压缩机共振可能。

由于膨胀阀连接空调低压管路,是空调管路振动传递到车身的直接通道。为了进一步进行振源诊断,测试了膨胀阀位置振动信号,如图 8 所示。

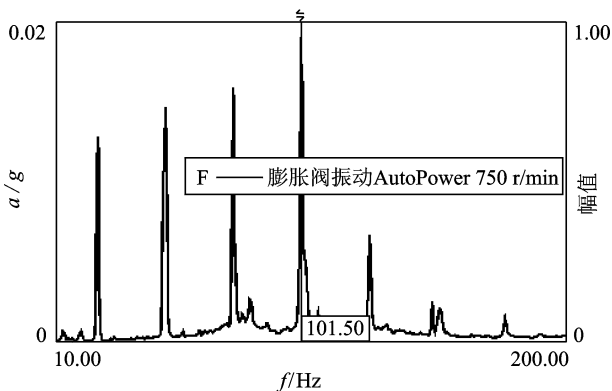


图 8 膨胀阀位置振动频谱

Fig.8 Vibration frequency spectrum of expansion valve

从图 8 可以看出,膨胀阀位置 101.5Hz 峰值最高,与压缩机工作频率一致,因此车内噪声与空调管路振动有关。

针对怠速开空调车内间歇性异常噪声问题,在消声室中进行了压缩机台架试验,以验证异常噪声

是否压缩机本身发出。台架试验中在压缩机本体布置加速度传感器,在压缩机近场布置传声器,如图 9 所示。台架试验中设定压缩机转速为 860 r/min,以模拟整车怠速状态。

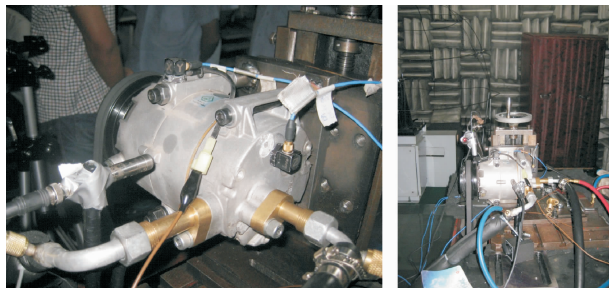


图 9 压缩机台架试验

Fig.9 Bench test of compressor

在转速为 860 r/min 时,压缩机工作频率约为 100Hz,试验测得压缩机的时域跟踪如图 10 所示,压缩机工作频率切片如图 11 所示。

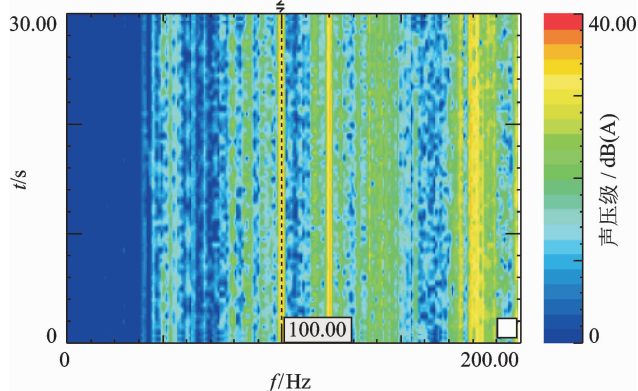


图 10 压缩机噪声时域跟踪图

Fig.10 Time domain trace figure of compressor noise

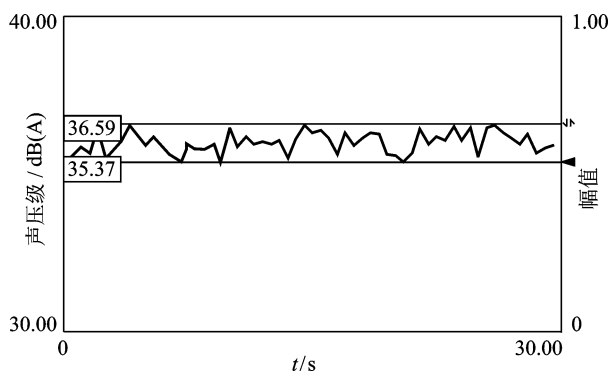


图 11 压缩机噪声 100 Hz 频率切片

Fig.11 Frequency section in 100Hz of compressor noise

从台架试验数据可以看出,压缩机工作频率切片仅有约 1 dB(A)的幅值变化,压缩机本身没有产

生间歇性异常噪声。考虑到怠速时发动机8阶工作频率为100Hz,推断车内间歇性异常噪声由压缩机工作噪声和发动机8阶噪声拍频引起。

3 改进措施及效果验证

针对空调管路振动问题,根据问题诊断试验结果,提出在低压管靠近压缩机位置加装消声器,如图12所示。针对拍频问题,提出更改压缩机带轮直径,由原来的120 mm改为115 mm,使怠速时压缩机工作频率远离发动机8阶工作频率。



图12 空调管路消音器

Fig. 12 The muffler in pipeline

怠速时开/关空调车内的噪声分别为44.7和43.6 dB(A),见图13,两者相差仅1.1 dB(A),空调噪声相对改进前有明显的改善。

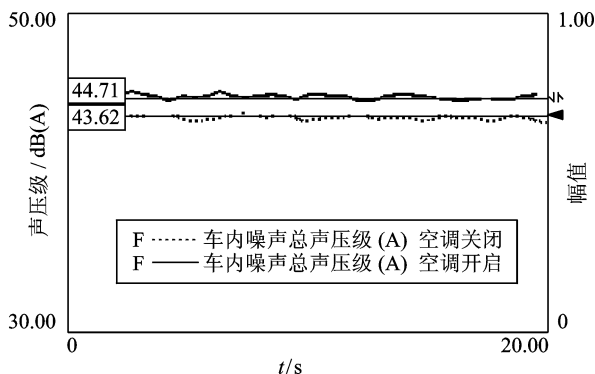


图13 改进后开/关空调车内噪声值

Fig. 13 Inside noise value in AC on/off after improved

由于压缩机带轮变小,速比提高,怠速时压缩机工作频率变为106Hz,怠速时车内噪声频谱如图14所示。可以看出,压缩机工作噪声峰值降为22.1 dB(A),相对改进前的43.6dB(A)有明显改善。

根据主观评价,车内间歇性异常噪声消失。为客观验证,对车内噪声进行了时域跟踪,如图15所示。

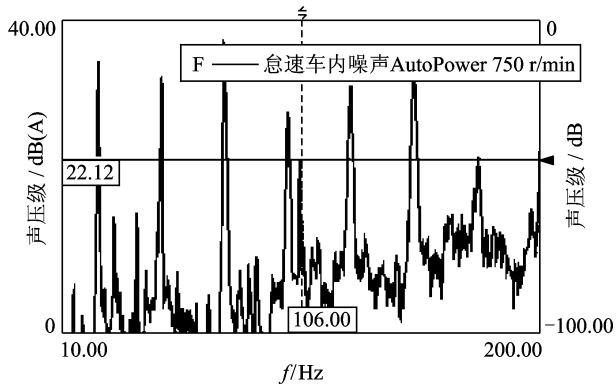


图14 改进后车内噪声频谱

Fig. 14 Frequency spectrum of inside noise after improved

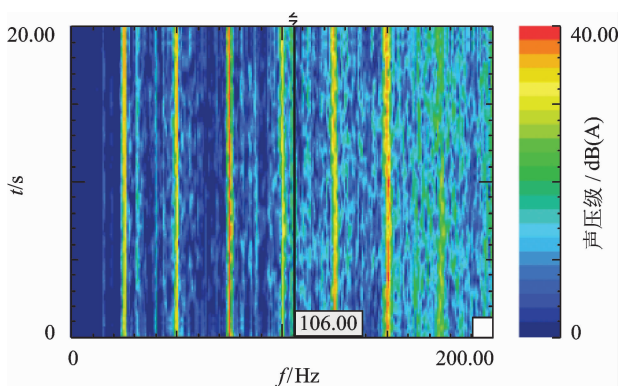


图15 改进后车内噪声时域跟踪

Fig. 15 Time domain trace figure of inside noise after improved

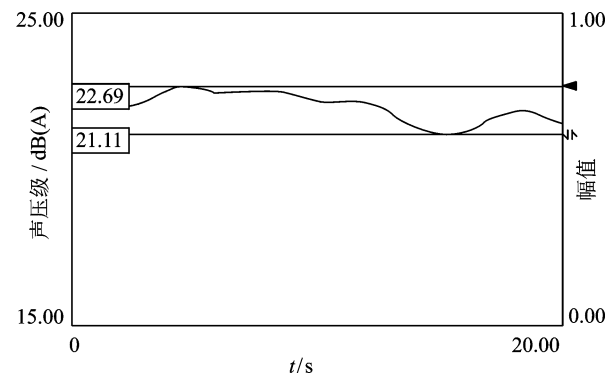


图16 改进后车内噪声106 Hz 频率切片

Fig. 16 Inside noise frequency section of 106 Hz after improved

示。对压缩机工作频率106 Hz进行了切片分析,如图16所示。可以看出,车内噪声106Hz频率成分没有明显的周期性变化,这是车内间歇性异常噪声消失的原因。

由于改进的措施主要针对怠速工况实施,为验证对其他转速的影响,进行了驻车发动机升转速工况试验。空调开启车内噪声值随发动机转速变化曲线如图17所示,可以看出,改进措施对其他转速工

况也是有效的。

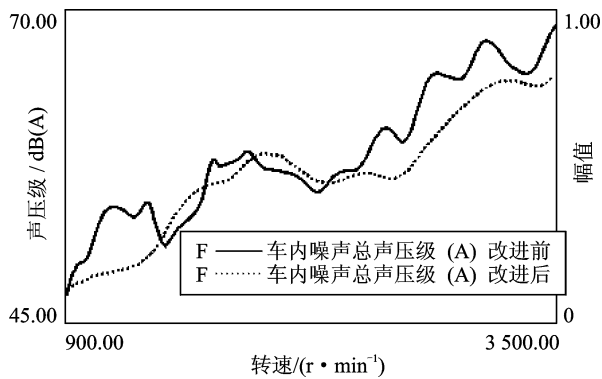


图 17 空调开启驻车匀加速工况车内噪声值

Fig. 17 Inside noise in run-up condition in AC on

4 结束语

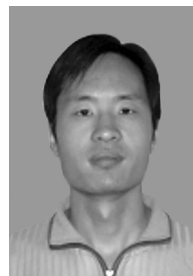
针对空调开启时车内噪声较大及怠速时车内出现间歇性异常噪声问题,对样车及其压缩机进行了试验诊断与分析,最终确定压缩机噪声较大原因为空调管路冷媒冲击导致的管路振动噪声向车内的直接传递,间歇性异常噪声问题原因为压缩机工作频率与发动机 8 阶工作频率的拍频。

根据试验诊断结论,提出两种改进措施:在压缩机低压管路加装消音器;改变压缩机皮带轮直径。对实施改进措施的样车进行了试验验证,结果表明,改进效果较为明显,不仅怠速工况,发动机其他转速工况的车内噪声也有所下降。

参 考 文 献

- [1] 孙启甲. 实车空调系统异响诊断技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [2] 卢喜, 杨诚. 旋叶式汽车空调压缩机的噪声源识别[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(8): 70-73. Lu Xi, Yang Cheng. Identifying research on noise sources of rotary vane compressor [J]. Journal of Chongqing University: Nature Science Edition, 2006, 29(8): 70-73. (in Chinese)
- [3] 黄锁成, 靳晓雄, 张立军, 等. 汽车空调用压缩机的振动和噪声分析[J]. 汽车技术, 2003(5): 20-23. Huang Suocheng, Jin Xiaoxiong, Zhang Lijun, et al. Analysis of vibration and noises of automotive air-conditioner compressor [J]. Automobile Technology, 2003(5): 20-23. (in Chinese)

- [4] 房师毅, 李连生, 束鹏程, 等. 无油润滑涡旋式空调压缩机的工作过程研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(2): 123-127. Fang Shiyi, Li Liansheng, Shu Pengcheng, et al. Study on working process of an oil-free scroll air compressor [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(2): 123-127. (in Chinese)
- [5] Niranjana H. Automotive HVAC noise measurements and analysis [J]. Automotive Engineering, 2011, 1(4): 209-309.
- [6] Christopher L. Automotive HVAC hiss noise measurements [J]. Automotive Engineering, 2011, 1(4): 263-271.
- [7] 朱爱武. 空调压缩机对车内噪声的影响[J]. 噪声与振动控制, 2010(4): 47-49. Zhu Aiwu. Influence of air conditioner's compressor on vehicle interior noise [J]. Noise and Vibration Control, 2010(4): 47-49. (in Chinese)
- [8] 郭红旗, 王太勇, 孟长虹. 空调压缩机阻尼减振降噪研究[J]. 河北工业大学学报, 1999, 28(1): 89-93. Guo Hongqi, Wang Taiyong, Meng Changhong. A study on decreasing the vibration and noise by damping for hermetic compressor [J]. Journal of Hebei University of Technology, 1999, 28(1): 89-93. (in Chinese)
- [9] 张立军, 靳晓雄, 黄锁成, 等. 汽车空调压缩机引起的车内噪声试验研究[J]. 汽车工程, 2002, 24(5): 398-402. Zhang Lijun, Jin Xiaoxiong, Huang Suocheng, et al. Experimental reaserch on the car interior noise caused by air conditioning compressor [J]. Automotive Engineering, 2002, 24(5): 398-402. (in Chinese)
- [10] 潘军, 王屹, 蒋祖华, 等. 斜盘式汽车空调压缩机动力特性仿真[J]. 流体机械, 2002, 30(1): 44-48. Pan Jun, Wang Yi, Jiang Zuhua, et al. Dynamic simulation of swach plate compressor in automotive air conditioning system [J]. Fluid Machinery, 2002, 30(1): 44-48. (in Chinese)



第一作者简介: 陈志勇, 男, 1980 年 10 月生, 博士、讲师。主要研究方向为汽车系统动力学与控制。曾发表《轻型客车车身车架整体结构有限元模态分析》(《振动与冲击》2010 年第 29 卷第 10 期) 等论文。

E-mail: Chen_zy@jlu.edu.cn