

# 地铁车辆空调机组降噪效果的试验研究

齐玉文<sup>1</sup> 孟胜军<sup>2</sup> 王森林<sup>2</sup> 金甜甜<sup>2</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司, 130062, 长春;

2. 山东朗进科技股份有限公司, 276800, 青岛//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 分析了地铁车辆空调机组的主要噪声源及相应的降噪方法。通过试验,针对地铁车辆空调机组常用的吸音蜗壳及吸音导流圈降噪效果进行检测,并对比研究了试验结果。研究发现:吸音蜗壳对于降低离心风机的噪声有良好效果,风机性能基本不受影响;吸音导流圈虽未影响轴流风机的性能,但无降噪作用。

**关键词** 地铁;车辆;空调机组;降噪

**中图分类号** U270.38<sup>+</sup>3

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2022.12.048

## Experimental Study on Noise Reduction Performance of Metro Vehicle Air-conditioning Unit

QI Yuwen, MENG Shengjun, WANG Senlin, JIN Tiantian

**Abstract** The main noise sources and corresponding noise reduction measures of metro vehicle air-conditioning unit are analyzed. Through experiments, the noise reduction performance of sound-absorbing volute and sound-absorbing diversion circle commonly used in metro vehicle air-conditioning unit is tested, and the results are comparatively studied. It is found that the sound-absorbing volute has a good effect on reducing centrifugal fan noise with bare disturbance on fan performance, while the sound-absorbing diversion circle has neither noise reduction benefit nor disturbance on axial fan performance.

**Key words** metro; vehicle; air-conditioning unit; noise reduction

**First-author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

地铁车辆的车内噪声是影响乘客舒适性的重要指标,日益受到关注。在最近的新建项目中,运营公司对于地铁车辆静止状态下的空调噪声要求日趋严格。寻找能有效降低地铁车辆空调机组噪声的措施,对于降低地铁车辆内部噪声有着重要意

义。本文将分析地铁车辆空调机组的噪声源及降噪方法,以某A型地铁车辆空调机组为例,对降噪措施的影响进行试验研究。

## 1 地铁车辆空调机组的噪声源及降噪方法

根据声学原理,空调机组的噪声可分为气体动力噪声和机械振动噪声两大类,其中气体动力噪声是影响地铁车辆空调机组噪声的主要影响因素。

地铁车辆空调机组内部的通风机及冷凝风机是输送空气与换热器进行强制换热的旋转部件。通风机与冷凝风机在工作时产生强烈的气体动力噪声。气体动力噪声包括旋转噪声和涡旋噪声。

### 1.1 噪声源

1) 旋转噪声。当风机以一定转速运转时,空气受到叶片及其压力场的激励而引起压力波动变化,进而形成周期性的旋转噪声。

2) 涡流噪声。当风机以一定转速运转时,在叶片表面会形成气体涡流。涡流在叶片表面不断形成,成长到一定程度便从叶片滑脱,形成涡流噪声。

### 1.2 降噪方法

根据地铁车辆空调通风要求,每节车厢送风量一般为8 000~10 000 m<sup>3</sup>/h。为满足该送风量较大的要求,地铁车辆空调系统一般选用性能较高的前向式离心风机作为通风机。

相关研究表明,对于离心风机而言,声波会在风机蜗壳内连续反射,形成一个混声场,其噪声声压级较高。吸音蜗壳可吸收声能、减少反射声能,从而使声场的声压级降低<sup>[1]</sup>。对于离心风机吸音蜗壳降噪的影响,已有诸多研究:文献[2]研究在蜗壳的不同部位加装吸音材料对于后向式离心风机噪声的影响,可使改进后的风机噪声降低5~7 dB(A);文献[3]将蜗板外侧吸音部分的外壳做成方形并填充吸音材料,使改进后的风机噪声降低了9~12 dB(A)。

地铁冷凝机常用的轴流风机多使用吸音导流圈来降低噪声。但相关降噪影响的研究较少。

## 2 地铁车辆空调机组的降噪试验验证

本文以吸音蜗壳及吸音导流圈为切入点,在地铁车辆空调机组上进行对比测试。

### 2.1 吸音蜗壳对于通风机噪声的影响

本文采用 4 种配置组合方式的吸音蜗壳用于通风机降噪试验,研究了每种配置组合方式的降噪效果,以及吸音蜗壳对风机性能的影响。

#### 2.1.1 通风机性能、结构参数

采用前向式离心风机的通风机主要性能及结构参数见表 1。

表 1 采用前向式离心风机的通风机性能及结构参数  
Tab.1 Performance and structure parameters of ventilator adopting forward centrifugal fan

性能及结构参数	参数取值
额定风量/(m <sup>3</sup> /h)	2 100
额定静压/Pa	350
最大外形尺寸	680 mm×495 mm×350 mm
叶片个数/个	47
叶轮外径/mm	222
叶轮内径/mm	194
叶片宽度/mm	172
叶片进口安装角/(°)	178

图 1 为本试验通风机的结构简图。风机的内层蜗壳为孔板,并在内层蜗壳与外层蜗壳之间填充吸音棉,进而形成吸音蜗壳。吸音蜗壳的 4 种组合配置见表 2。其中 1<sup>#</sup>组合为单层蜗壳、无吸音层配置,为对照组。

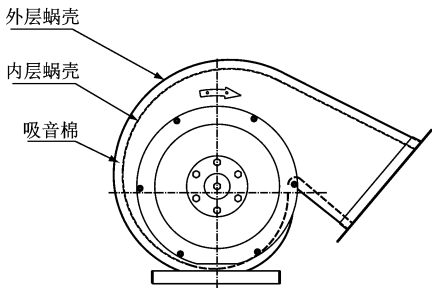


图 1 通风机结构简图

Fig.1 Schematic diagram of ventilator structure

#### 2.1.2 通风机性能及噪声测试

试验装置和测试系统按照 GB/T 1236—2000《工业通风机 用标准化风道进行性能试验》<sup>[5]</sup>和

表 2 通风机吸音蜗壳的 4 种配置组合参数

Tab.2 Four groups of configuration and combination parameters of ventilator sound-absorbing volute

组合	内层蜗壳孔径/mm	孔距/mm	吸音棉厚度/mm
1 <sup>#</sup>			
2 <sup>#</sup>	5	10	40
3 <sup>#</sup>	5	10	30
4 <sup>#</sup>	6	10	30

GB/ T 2888—1991《风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》<sup>[6]</sup>的要求来设计、制造及测试。试验结果见表 3。

表 3 通风机性能及噪声对比测试结果

Tab.3 Results of ventilator performance and noise comparative test

组合	风量/(m <sup>3</sup> /h)	静压/Pa	噪声/dB(A)
1 <sup>#</sup>	2 121	335.1	68.2
2 <sup>#</sup>	2 115	335.2	66.7
3 <sup>#</sup>	2 110	333.4	67.9
4 <sup>#</sup>	2 113	334.0	68.9

由表 3 可知,增加内层孔板后,风机的风量及风压稍有降低,风量及风压均降低仅约 0.5%。此影响基本可以忽略。

由表 3 还可看出,当内层蜗壳孔板孔径为 5 mm、孔距 10 mm(2<sup>#</sup>组合和 3<sup>#</sup>组合)时,内层粘贴吸音棉的降噪效果较明显。其中采用 40 mm 吸音棉(2<sup>#</sup>组合)的降噪效果最为明显,与 1<sup>#</sup>组合相比,其噪声降低了 1.5 dB(A)。此外,当加大内层蜗壳孔板的开孔孔径和孔间距时,通风机噪声有所升高。经分析,当开孔率加大时,风机内部可能会形成小型涡流,进而使得噪声增大。

### 2.2 吸音导流圈对于冷凝风机噪声的影响

本文以空调机组内部轴流风机为研究对象,对 4 种组合配置方式的吸音导流圈进行了试验,研究每种组合配置方式的降噪效果,以及对风机性能的影响。

#### 2.2.1 冷凝风机性能、结构参数

试验所用冷凝风机的主要性能及结构参数见表 4。图 2 为本试验冷凝风机的结构简图。风机的内层导流圈为孔板,内层导流圈与外层导流圈之间填充吸音棉,形成吸音导流圈。4 种配置组合的参数见表 5。其中组合 A 为单层导流圈、无吸音层,作为对照组。

表 4 试验所用冷凝风机的性能及结构参数

Tab.4 Performance and structure parameters of the condenser fan used in the test

性能及结构参数	参数取值
额定风量/(m <sup>3</sup> /h)	8 500
额定静压/Pa	140
最大外形尺寸	895 mm×750 mm×283 mm
叶片个数/个	6
叶轮直径/mm	600

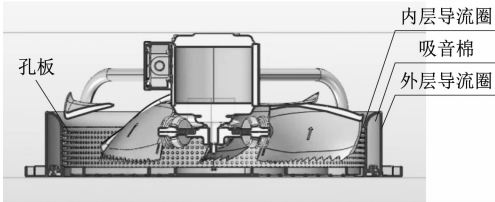


图 2 冷凝风机结构简图

Fig.2 Schematic diagram of condenser fan structure

表 5 冷凝风机 4 种配置组合参数

Tab.5 Four groups of configuration combination parameters of condenser fan

组合	内层蜗壳孔径/mm	孔距/mm	吸音棉厚度/mm
A			
B	5	10	40
C	5	10	30
D	6	10	30

2.2.2 冷凝风机性能及噪声测试

参照通风机试验测试装置及方法,进行冷凝风机性能及噪声测试,结果如表 6 所示。

表 6 冷凝风机性能及噪声对比测试结果

Fig.6 Results of condenser fan performance and noise comparative test

组合	风量/(m <sup>3</sup> /h)	静压/Pa	噪声/dB(A)
A	8 502	121.9	69.2
B	8 538	116.0	70.6
C	8 486	123.3	70.5
D	8 532	117.5	70.7

由表 6 可见:增加吸音导流圈后,额定风量及静压稍有波动,且风量波动范围在 0.6% 以内,可看为基本保持不变;组合 B 及组合 D 的静压下降了 5.9 Pa 和 4.4 Pa,组合 C 静压稍提高了 1.4 Pa,静压波动小于 6%,影响较小;组合 B、C、D 的噪声值均增

大了约 1.4 dB(A)。由试验结果可见,吸音导流圈的降噪方案对于冷凝风机来说起到了相反的作用。

3 结语

将吸音蜗壳及吸音导流圈分别用于地铁车辆空调机组的离心风机及轴流风机,并对降噪效果试验研究。研究结果表明:

1) 吸音蜗壳对于离心风机具有较好的降噪效果,其在额定工况下可以降低离心风机噪声约 1.5 dB(A);吸音蜗壳对离心风机的降噪效果受到内层孔板开孔率及吸音棉厚度的影响。

2) 轴流风机使用吸音导流圈无降噪作用,反而会引起轴流风机噪声的增加。

参考文献

[1] 智乃刚,萧滨诗. 风机噪声控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,1985.  
ZHI Naigang, XIAO Binshi. Fan noise control technology[M]. Beijing: China Machine Press, 1985.

[2] 周志勇,王宗娟,周滕佳,等. 吸声蜗壳在离心风机降噪中的应用研究[J]. 机械制造与自动化,2018(1): 59.  
ZHOU Zhiyong, WANG Zongjuan, ZHOU Mengjia, et al. Application study of noise reduction of sound-absorption volute for centrifugal fan[J]. Machine Building & Automation, 2018(1): 59.

[3] BARTENWERFER M, GIKADI T, NEISE W, et al. Noise reduction in centrifugal fans by means of an acoustically lined casing[J]. Noise Control Engineering, 1977, 8(3): 100.

[4] 陈本壮. 城铁客车空调系统降噪分析[J]. 铁道技术监督, 2017(9): 39.  
CHEN Benzhuang. Noise reduction analysis of air-conditioning system used in urban railway passenger trains[J]. Railway Quality Control, 2017(9): 39.

[5] 国家质量技术监督局. 工业通风机 用标准化风道进行性能试验: GB/T 1236—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.  
State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. Industrial fans—performance testing using standardized airways: GB/T 1236—2000[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.

[6] 国家技术监督局. 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法: GB/T 2888—1991[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.  
State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. Methods of noise measurement for fans, blowers compressors and Roots blowers: GB/T 2888—1991[S]. Beijing: Standards Press of China, 1992.

(收稿日期:2022-06-23)