

文章编号: 1006-1355(2014)05-0091-04

# 地铁车辆空调系统噪声分布规律

展伟, 刘岩, 钟志方, 刘宗财

(大连交通大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028)

**摘要:** 对地铁车辆在静止状态和不同速度下的空调系统开关工况进行噪声测试, 对其空调系统噪声特性进行频谱分析, 得到其分布规律: 静止时空调系统的噪声声压级分布主要集中在 160 Hz~2 000 Hz 的频率范围内; 空调系统噪声对坐与站的乘客的影响约 1.5 dB(A)~2 dB(A)左右; 车辆低速运行时空调噪声影响比较明显, 且速度越低影响越大。该研究结果对地铁车辆减振降噪设计有一定的参考价值。

**关键词:** 声学; 空调系统; 噪声; 分布规律; 低速

中图分类号: U270.38\*3

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.05.020

## Noise Distribution Analysis of Air Conditioning Systems in Metro Cars

ZHAN Wei, LIU Yan, ZHONG Zhi-fang, LIU Zong-cai

(Institute of Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, Liaoning China)

**Abstract:** The noise of the air conditioning system in Metro cars is tested in different operation conditions using a noise and vibration analysis system. A spectral analysis of the noise characteristics of the air-conditioning system is conducted and the noise distribution is obtained. Stationary noise level distribution of the air-conditioning systems are mainly concentrated in the frequency range of 160 Hz - 2 000 Hz. The influence of noise of the air conditioning system on the passengers is about 1.5 dB(A) - 2 dB(A). The noise of the air conditioning is obvious when the cars running at low speeds. The lower the speed is, the greater the impact is. Results of this research have some reference value for vibration and noise reduction design of Metro vehicles.

**Key words:** acoustics; air-conditioning system; noise; distribution; low speed

随着国民经济的发展和人们生活节奏的加快, 城市轨道交通方式愈加重要, 对车辆的舒适快捷也提出了越来越高的要求。由于地铁车辆停靠站点频繁, 且通常在低速下运行, 噪声是影响乘客乘车舒适性的主要因素之一, 其中车辆空调系统的噪声占有较大的比重。因此, 本文就城市轨道交通车辆空调系统的噪声进行分析和研究。

### 1 测试设备及测点布置

本次测试采用 HEAD acoustics 噪声与振动测试

分析系统。测试对象为某地铁车辆, 采用六辆编组, 三动三拖, 编组情况为+Tc2 - Mp2 - M - T - Mp1 - Tc1+, 车辆最高运行速度为 80 Km/h, 每辆车配置两台车顶单元式空调机组, 客室新风从设于空调机组上的进风口吸入与来自客室的回风混合, 经过滤、冷却, 通过风道均匀送入客室。

测试选择在 T 车(无司机室拖车)上进行静止状态空调噪声测试和 Tc1 车(带司机室拖车)上进行实际线路运行空调噪声测试。这样选择可以尽量避免电机电磁噪声和受电弓电磁噪声等地铁车辆噪声源影响。

两次测试测点布置相同, 测试测点按照标准 TB/T1804—2009《铁路客车空调机组》要求布置。如图 1 所示, 分别在 Tc1 车和 T 车上, 选择 6 个不同的位置进行车内噪声测试。其中 1、2、3、5、6 点位于地板上方 1.5 m 处, 对应于人体站立高度; 4 点位于地板上方 1.2 m 处, 对应于人体坐立高度。麦克风的对称

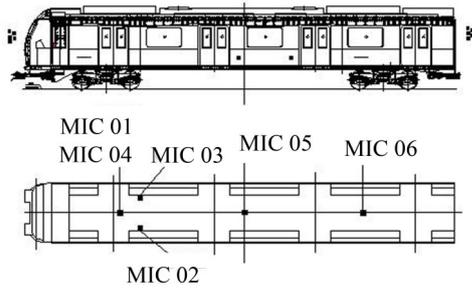
收稿日期: 2013-12-05

作者简介: 展伟(1984-), 男, 内蒙古商都县人, 硕士生, 主要研究方向: 噪声与振动控制研究。

E-mail: woshizhanweia@163.com

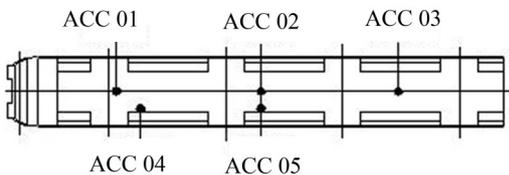
通信作者: 刘岩, 男, 博士生导师。

E-mail: ly@djtu.edu.cn



测点1—麦克风,1位端空调机组下方;测点2—麦克风,出风口45°;测点3—麦克风,出风口另一侧45°;测点4—麦克风,空调机组下方;测点5—麦克风,车体中央;测点6—麦克风,2位端空调机组下方。

图1 噪声测点布置示意图



测点1—振动传感器,空调机组下方;测点2—振动传感器,车体中央;测点3—振动传感器,2位端空调机组下方;测点4—振动传感器,出风口45°;测点5—振动传感器,车体中央相对侧排风口下方。

图2 振动测点布置示意图

轴处于垂直方向。振动测点布置如图2所示,振动加速度计均安装固定在车体内顶板相应位置上。

根据测试结果,背景噪声与实验声压级之差超过10 dB(A),无需对测得的噪声值进行修正。

## 2 测试结果分析

### 2.1 静止状态下噪声测试与分析

静止状态不同工况下噪声对比分析如表1所示。由表1可知,在静止情况下,关闭其他系统,开启1位端空调机组,车内噪声相比背景噪声整体上升了20 dB(A)~25 dB(A),随着与噪声源(送风口)距离的增加,噪声值减小,2位端声压级(测点6)比1位端(测点1)小10 dB(A)以上;开启空调后测点4比测点1噪声小约1.5 dB(A)~2 dB(A)左右,说明空调系统噪声对站立和坐立乘客的影响不大。开启两台空调机组时,测点5车中处由于两列相同声波叠加干涉,反而比只开1台空调机组小约2 dB(A)~3 dB(A);

表2为开启一台空调机组时噪声频谱分布,测点3与测点2位置对称,声压级相近;测点4影响不大,均略去。由表2可以看出各测点的噪声频谱分

表1 静止状态不同工况下噪声对比分析

	声压级/dB(A)		
	关闭空调	开一台空调	开两台空调
测点1	32.5	74.73	74.9
测点2	32.4	75.23	75.74
测点3	32.43	74.93	75.06
测点4	32	73.23	73.2
测点5	36.7	73.87	69.82
测点6	31	62.03	75.56

表2 一台空调机组开启噪声频谱

频率/Hz	声压级/dB(A)			
	测点1	测点2	测点5	测点6
100	51.30	54.03	47.09	36.33
125	57.66	54.96	49.63	36.38
160	62.18	59.80	56.41	39.59
200	59.90	60.90	58.04	41.84
250	61.90	60.73	60.62	40.99
315	62.50	62.87	63.77	49.62
400	64.79	66.12	65.61	52.32
500	65.64	64.82	63.94	51.82
630	63.45	63.68	63.75	50.67
800	63.65	62.83	65.17	53.71
1 000	63.25	64.52	63.17	54.24
1 250	61.92	62.31	61.88	50.64
1 600	61.60	63.67	60.40	49.63
2 000	64.50	65.94	60.84	51.19
2 500	63.32	64.16	59.39	49.50
3 150	58.37	64.18	56.11	46.42
4 000	54.88	56.59	51.64	42.23
5 000	53.03	55.19	49.01	39.50

表3 静止状态下空调系统振动频谱表

频率/Hz	振动加速度值/mg									
	一台空调机组开启					两台空调机组开启				
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
40	2.95	0.42	0.28	2.22	0.65	2.92	0.49	2.60	2.06	0.87
50	23.48	4.07	1.00	8.14	1.83	10.73	2.63	9.36	7.27	1.90
63	4.14	0.84	0.33	6.03	0.73	4.04	1.12	4.58	6.00	1.09
80	6.97	0.88	0.34	12.74	0.95	5.58	1.10	4.86	12.17	1.19
100	10.34	1.09	0.42	8.84	0.82	8.82	1.41	9.07	7.91	1.14
125	4.43	0.84	0.31	10.48	1.39	4.84	1.08	5.38	11.13	1.34
160	3.56	1.11	0.37	4.70	1.27	3.30	1.23	3.00	4.573	1.48

布基本走势一致,160 Hz以下噪声声压级分布随着频率的增加而增加,2 000 Hz以上声压级随着频率增高而逐渐减小,两者之间曲线起伏较小比较平滑。由此可知此时空调系统的噪声主要集中在160 Hz~2 000 Hz的频率范围内。这主要是受由空调机组送风口空气动力性噪声和风机机械噪声的影响。而同时开启1、2位端空调时,与只开一台空调机组时各点频谱分布基本一致。

由表3的振动频谱表可以看出一台空调机组开启时,测点2、3、5点远离声源振动频率分布比较平滑;测点1在50 Hz时振动最大,测试结果为23.5 mg。主要是由空调机组的运转带动与它连接的机座及顶板的固体振动引起的。

而两台空调机组开启时,测点2、5点远离声源振动比较平滑;测点1、3处在50 Hz和100 Hz处振动较大;而最大振动点则出现在测点4即出风口80 Hz和125 Hz时;这是由于出风口与车内空气直接连通当空调机组将新风通过风道及风栅格送入车内时产生的气流噪声及栅格结构引起的。

## 2.2 实际线路运行时噪声测试与分析

从表4中看出,当空调关闭时,车辆速度从20 km/h到40 km/h,各测点噪声均增大了约5 dB(A)~8 dB(A);而在20 km/h空调开启时噪声比空调关闭时增大了10 dB(A),在40 km/h时增大了5 dB(A),两速度下空调开启各测点噪声大小相近,说明车辆低速运行时空调噪声影响比较明显,且速度越低影响越大。

表4 不同速度和空调开关工况下噪声比较

	声压级/dB(A)			
	20 km/h		40 km/h	
	关闭空调	开启空调	关闭空调	开启空调
测点1	59.13	72.88	65.97	73.14
测点2	58.9	73.05	65.7	73.52
测点3	59.6	73.08	66.27	73.62
测点4	59.6	72.2	65.93	72.64
测点5	58.17	70.77	65.47	71.6
测点6	59.73	73.93	67.03	74.46

表5为20 km/h时两台空调开启各点噪声频谱分布,各测点的噪声频谱分布基本走势一致,400 Hz以下噪声声压级分布随着频率的增加而增加,1 000 Hz以上声压级随着频率增高逐渐减小,两者之间曲线起伏较小比较平滑。由图中可以看出此时噪声值主要集中在400 Hz~1 000 Hz中频部分。此时的车内噪声是由空调噪声、轮轨噪声、空气动力性噪声、集电噪声等部分组成。40 km/h时空调机组开启与在20 km/h时其噪声频谱基本一致。

表5 20 km/h时空调开启各点噪声频谱

频率/Hz	声压级/dB(A)			
	测点1	测点2	测点5	测点6
100	50.40	53.97	44.05	53.16
125	54.06	56.35	48.28	55.86
160	60.24	57.88	53.28	60.30
200	57.41	60.87	53.93	58.28
250	61.07	61.21	55.42	61.60
315	60.72	62.75	58.80	61.25
400	63.91	63.94	61.56	62.04
500	63.10	59.74	60.07	65.04
630	62.52	61.98	60.87	63.82
800	62.70	61.92	61.71	64.33
1 000	64.45	63.32	63.86	63.40
1 250	60.22	60.26	58.23	61.36
1 600	58.45	59.64	57.46	61.09
2 000	59.12	60.97	57.04	62.89
2 500	58.38	60.05	56.22	61.54
3 150	55.30	57.91	53.84	58.18
4 000	52.16	54.25	49.92	55.17
5 000	49.49	52.15	47.01	52.61

### 2.3 空调系统降噪措施

根据上面分析,地铁车辆空调系统噪声主要包括固体传声和气流噪声等。固体传声是空调机组内部风机压缩机的机械振动通过连接结构传至室内产生的;气流噪声是经过机组风道栅格传至室内产生的。针对固体传声减小噪声的具体措施有:

(1) 保证空调制冷量的前提下尽量选取转速低、叶片小的风机;

(2) 选用高性能减振座;

(3) 门窗及车体焊缝处尤其车辆铰接部分要做特别的密封处理。针对气流噪声减小噪声的措施有:

- 1) 在车顶处作吸声隔声处理;
- 2) 在风道的内外侧表面粘贴吸声材料;
- 3) 在噪声明显部位使用消声器等能够取得较好的降噪效果。

### 3 结语

(1) 静止时空调机组开启时车内噪声相比背景噪声整体上升大约 20 dB(A)~25 dB(A); 20 km/h~40 km/h 运行时空调机组开启比关闭噪声增加 5 dB(A)~10 dB(A);

(2) 空调系统的噪声声压级分布主要集中在 160 Hz~2 000 Hz 的频率范围内;

(3) 空调系统噪声对站立和坐立乘客的影响不大,相差约 1.5 dB(A)~2 dB(A)左右;

(4) 车辆低速运行时空调噪声影响比较明显,而且速度越低影响越大。

参考文献:

- [1] 马大猷. 噪声与振动控制工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 112-118.
- [2] 王翠艳, 等. 城市轨道交通车辆空调系统噪声试验研究[J]. **城市轨道交通研究**, 2010, (7): 66-68.
- [3] 于喜林. 城市轨道交通车辆内部噪声分析研究[J]. **电力机车与城轨车辆**, 2009, 32(3): 14-19.
- [4] 汤晏宁. 轻轨车辆车内噪声的研究[J]. **城市轨道交通研究**, 2005, (11): 6-8, 23.
- [5] 龙 静. 地铁车辆空调系统送风风道分析[J]. **电力机车与城轨车辆**, 2004, 27(4): 40-42.
- [5] 张晓排. 地铁车内噪声特性[J]. **噪声与振动控制**, 2010, (2): 69-71.
- [6] 李洪强. 城市轨道交通噪声及其控制研究[J]. **噪声与振动控制**, 2007, (2): 78-82.