



地铁调车室内噪声的同步测试与分析

王筱野¹, 苏燕辰¹, 靳行²

(1. 西南交通大学机械工程学院, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031)

摘要: 地铁调车在量产前需要对样车室内噪声进行测试, 然后根据测试结果对降噪工作进行定性研究。使用 16 通道传声器阵列同步测试地铁调车室内噪声, 可准确获得车内声压分布情况。在 6 个工况下, 发现其一位端司机室噪声值均在国标限制值 78 dB(A) 以下, 而二位端司机室在 1 500, 1 800, 2 100 r/min 3 个工况下超标。在通过对各个工况下所有测点的 1/3 倍频程各频带绘制的等频带声压级云图发现 63 Hz 频带异常, 并计算出柴油机测点与二位端司机室测点的传递率在 59 Hz 达到最大, 证明该频率与柴油机噪声的联系, 且是造成频带异常的原因。分析结果可以作为后期车辆降噪工作的理论参考。

关键词: 噪声; 同步测试; 频带; 传递率

文献标志码: A 文章编号: 1674-5124(2018)06-0033-05

Synchronous test and analysis of subway shunting indoor noise

WANG Xiaoye¹, SU Yanchen¹, JIN Hang²

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. State-Key Laboratory of Traction, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Before the mass production of subway shunting car, the noise in model car should be tested and then qualitative study should be carried out for the noise reduction work according to the test results. Using 16-channel microphone array to synchronously test the indoor noise of subway shunting car can accurately obtain the sound pressure distribution condition in the car. Under 6 conditions, it is found the noise value at the “B” end of car driver’s room is below the national standard limit value 78 dB (A), while the noise at the “A” end of car driver’s room exceeds limit value at 1 500, 1 800 and 2 100 r/min. According to the equal band sound pressure level cloud map drawn based on all the 1/3 octave frequency bands of all measuring points under all working conditions, it is found that the 63 Hz frequency band is abnormal, and the transmission rate of the diesel engine and “A” end of car reaches the maximum at 59 Hz. The relationship between abnormal frequency and diesel engine noise is proved, and it is the cause of abnormal frequency band. The analysis results can be used as theoretical reference for the noise reduction work of vehicle in later stage.

Keywords: noise; synchronous test; frequency band; transfer rate

0 引言

随着我国铁路科技的飞速发展,地铁调车驾驶员对司机室的噪声环境要求也逐渐提高。中外对机车噪声的测试与控制也发展已久,宋斌^[1]在对东风4B型机车的噪声测试中测试两端司机室的噪声值后,从设计和工艺方面提出整改措施;张秀华^[2]在两种型号的动车组车厢中部进行噪声信号频谱分析后,发现随着车速的提升,车内各频段内的声压级逐渐增大;Ahmadian^[3]在对机车司机室进行振动测试后评价了各种结构修改方式对司机室噪声和振动的影响。这些前辈在对司机室的噪声研究中采取了较少传声器直接测试声压值或间接分析振动对噪声的影响,并未从整个车内声场进行分析,本文使用16个传声器同步测试了车内包括一、二位端司机室以及设备室噪声值,更加精准地了解整个声场。当获取了声场信息后,不仅能反映车内噪声状况和分布规律,还能便于使用相关的理论和方法进一步分析声源对响应点的影响^[4-6]。同步测试车内声场信号后,由声压级到频带逐步细化的分析,及计算响应点与参考点之间的传递率,综合确定异常频率^[7]。

1 测试方法与分析原理

1.1 测试装置

传声器阵同步测试系统主要由计算机、数据采集仪和传声器组成,其中数据采集仪使用的是丹麦BBM多通道数据采集分析仪,可提供16个同步采集通道。传声器是B&K公司4189型号的传声器,其测试精度为0.2 dB,由于会用到较多传声器,在实际的方案设计中考虑实验成本,数据的同步性和采集仪端口数量的限制,最大传声器数量为16个。

1.2 传递率

许多大型设备在运行状态时无法测试其输入力或者激励,而只能测试响应^[8]。在噪声实验中,也无

法直接测试到噪声源的激励。传递率在一定条件下具有不随载荷条件和系统部分参数的变化而改变,故在利用传递率分析传递关系时可作为重要的参考依据^[9-10]。在传递率计算中,选取某个测试到的响应作为参考响应,将其视为激励或者输入,将响应点响应 $y(t)$ 与参考点响应 $x(t)$ 的拉普拉斯变换 $Y(s)$ 与 $X(s)$ 的比值作为传递率:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (1)$$

但在实际工程中常用传递率的估计值 H ,即为响应点响应 $y(t)$ 与参考点响应 $x(t)$ 的互谱 $S_{xy}(s)$ 与参考点响应点的自谱 $S_{xx}(s)$ 之比^[11-13],其计算公式为

$$H(s) = \frac{S_{xy}(s)}{S_{xx}(s)} \quad (2)$$

1.3 测试步骤

在样车室内布置了16个传声器组成的传声器阵,其中两端司机室测点高度为1.5 m,中间设备室测点高度为0.5 m,传声器均用三脚架支撑固定,具体位置如图1及表1所示。

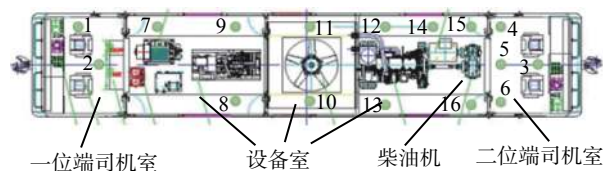


图1 测点示意图

实验地点选择在空旷安静的场地,实验开始之前使用声校准器对每一个传声器进行校准,将采样率设置为32 768 Hz。柴油机运转实验工况为750, 1 000, 1 200, 1 500, 1 800, 2 100 r/min,每个工况测试90 s。

2 结果与讨论

各个工况声压级统计见表2,可见随着柴油机

表1 测点命名与注释

测点编号	测点位置	测点编号	测点位置
1	一位端司机室座椅旁	9	一位端设备室二位侧2
2	一位端司机室中部	10	设备室中部二位侧
3	二位端司机室中部	11	设备室中部一位侧
4	二位端司机室二位侧座椅旁	12	柴油机二位侧靠近一位端
5	二位端司机室两座椅中间	13	柴油机一位侧靠近一位端
6	二位端司机室一位侧座椅旁	14	柴油机二位侧中部
7	一位端设备室二位侧1	15	柴油机二位侧靠近二位端
8	一位端设备室一位侧	16	柴油机一位侧靠近二位端

表 2 车内噪声各测点各工况声压级

dB(A)

测点	工况					
	750 r/min	1000 r/min	1200 r/min	1500 r/min	1800 r/min	2100 r/min
1	67.0	66.4	67.4	70.8	74.3	76.4
2	66.7	66.0	67.5	70.7	72.6	75.3
3	77.0	75.7	77.0	82.5	86.0	89.4
4	79.1	78.4	80.1	83.2	87.6	92.0
5	78.4	76.1	77.7	82.0	85.4	90.4
6	78.6	77.3	78.5	83.0	87.3	90.9
7	84.0	85.7	84.1	91.4	91.4	95.3
8	85.7	87.2	87.3	94.7	96.5	97.9
9	84.1	85.1	84.8	89.9	93.8	96.9
10	96.7	96.5	97.8	101.8	105.2	108.9
11	96.3	96.5	97.2	100.7	104.6	108.4
12	101.1	101.2	102.2	106.7	109.1	113.6
13	101.2	100.8	102.2	105.7	109.4	113.6
14	101.8	101.7	103.2	106.3	109.8	113.5
15	100.8	100.6	102.3	107.5	109.1	113.4
16	101.0	101.0	102.0	105.8	109.3	113.0

提速, 各测点的声压级均在升高, 同时, 离柴油机越近, 声压值越大, 在柴油机附近 2 100 r/min 时噪声值达 113.6 dB(A)。如图 2(a) 所示, 一位端司机室测点噪声值随着柴油机转速的提升, 噪声值的升高幅度并不大, 最大噪声值只是 76.4 dB(A), 在各工况下均在国标限制值 78 dB(A) 以内^[14-15]; 如图 2(b) 所示, 二位端司机室在 1 500, 1 800, 2 100 r/min 工况下各个测点噪声值急剧增大, 1 500 r/min 时最低噪声值为 82 dB(A), 2 100 r/min 时最高已达到 92 dB(A), 均已超标。

以 1/3 倍频程中心频率划分 Nyquist 频率以内的频带, 使用传声器阵采集到的声压信号绘制样车

室内各个工况下的等频带声压级云图。部分云图如图 3 所示, 基本所有的频带云图都符合声辐射的指向性, 但在 2 100 r/min 工况下, 以 63 Hz 为中心频率的频带出现了异常, 二位端司机室的声压级值高于柴油机附近的声压级值, 见图 3(a)。对 63 Hz 为中心频率的频带下异常原因进行分析, 利用传递率分析二位端司机室测点噪声与柴油机噪声的联系。

在 Nyquist 频率以内, 对出现了异常频带的二位端司机室测点与柴油机附近测点计算传递率以分析两者之间的传递关系。以柴油机二位侧靠近二位端, 柴油机一位侧靠近二位端 2 个测点作为参考响应点, 以二位端司机室所有 4 个测点作为响应点,

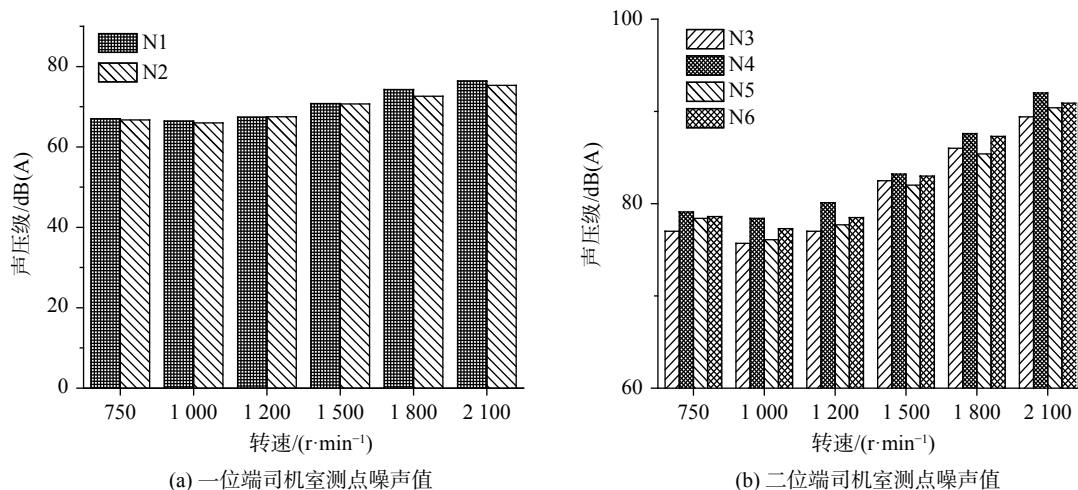


图 2 等频带声压级云图

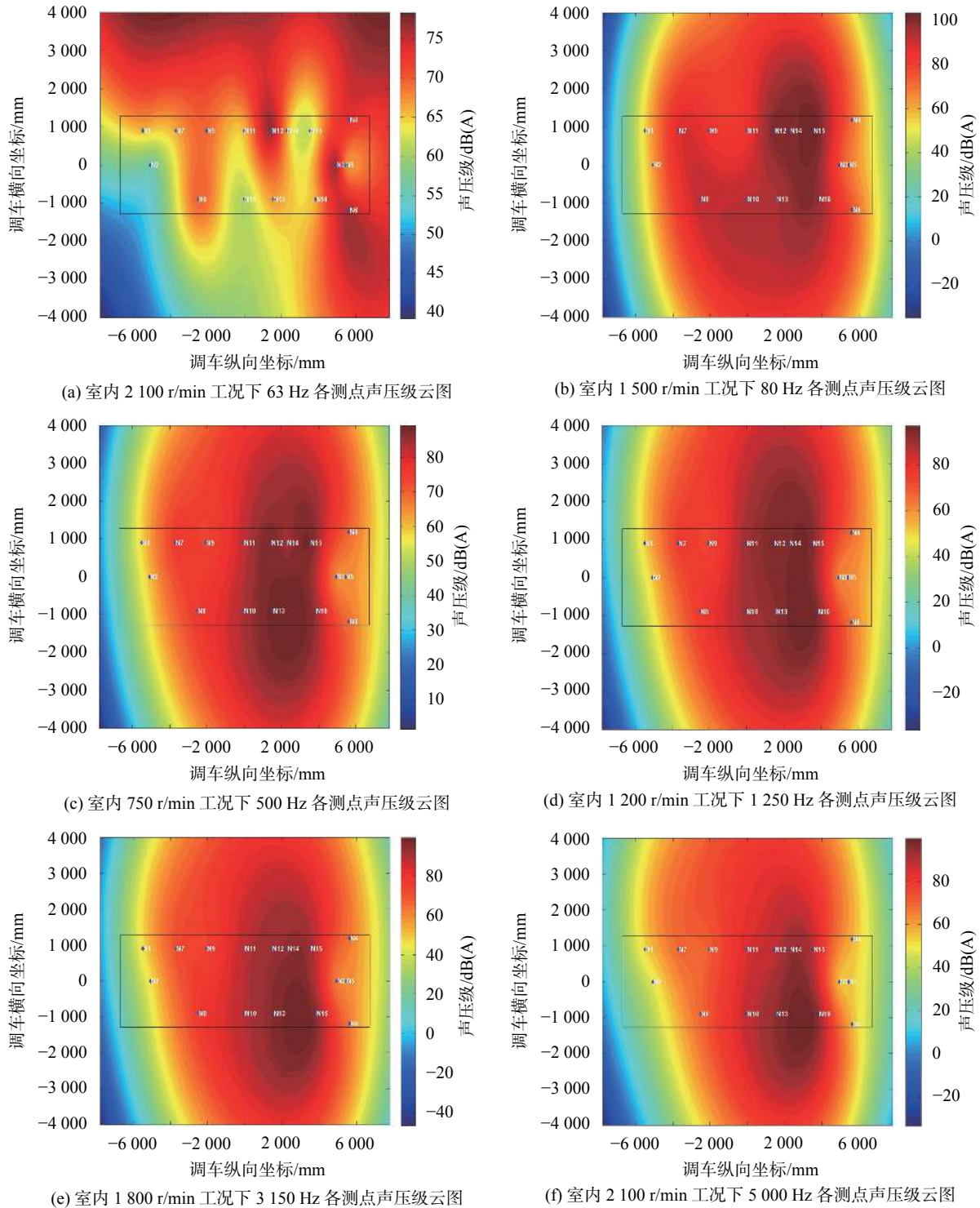


图3 两端司机室噪声值

得到的传递率谱如图4, 显而易见, 在以柴油机附近2个测点作为参考响应点, 对二位端司机室各测点噪声传递率均在59 Hz达到最大, 传递率分别为4.04和4.91, 而59 Hz也正好在1/3倍频程中心频率63 Hz(56.2~70.8 Hz)内, 同时对比观察到, 所有

频率在从设备室传递到二位端司机室的过程中所有频率都以较低的传递率进行传递, 而59 Hz却以较高的传递率进行传递。

3 结束语

在使用16通道传声器阵同步测试地铁调车室

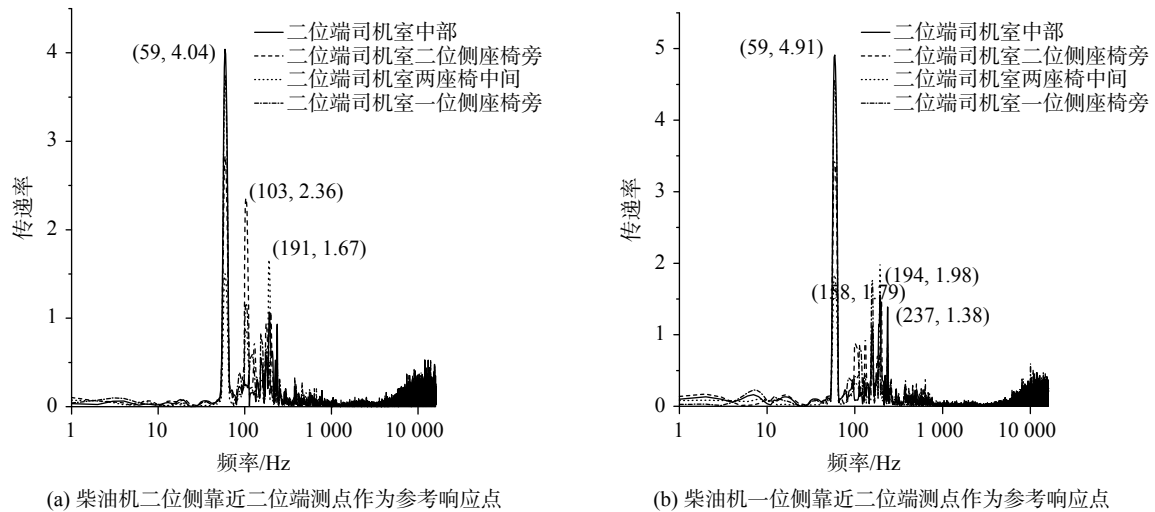


图4 传递率谱

内噪声后,准确得到室内各点声压级,并发现其一位端司机室噪声值在各个工况下均达标,二位端司机室噪声值在750,1000,1200 r/min 3个工况下达标,在1500,1800,2100 r/min 3个工况下超标。在使用各工况同步噪声信号绘制的所有1/3倍频程等频带云图分析中,发现在2100 r/min下,63 Hz中心频率的等频带云图出现了二位端司机室声压级值大于了作为主要噪声源的柴油机附近的噪声值。为了对63 Hz为中心频率的频带下异常原因的分析利用传递率分析二位端司机室测点噪声与柴油机噪声的联系,发现以柴油机附近2个测点作为参考响应点,对二位端司机室各测点噪声传递率均在59 Hz达到最大,传递率分别为4.04和4.91,而59 Hz也正好在1/3倍频程中心频率63 Hz(56.2~70.8 Hz)内。证明在分析样车室内噪声时,使用较繁琐但形象的等频带云图分析与较简便易行的传递率计算都可以分析出异常频带,得出的结果均可以为后续地铁调车的降噪工作提出有效的理论参考。

参考文献

[1] 宋斌. 东风₄(4B)型机车司机室隔音降噪控制整改[J]. 铁道机车与动车, 1998(2): 26-29.

[2] 张秀华. 动车组内噪声测试及结果分析[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2015, 5(6): 270-272.

[3] AHMADIAN M, VENEZIA J J. An experimental evaluation

of noise and vibrations in modern locomotive cabs[C]// Railroad Conference, 2000. Proceedings of the 2000 ASME/IEEE Joint. IEEE, 2000: 153-165.

[4] 马驰, 陈建峰, 叶永. 基于四元十字阵的分布式声源定位实验研究[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(11): 52-54.

[5] 宋宫琨. 基于麦克风阵列的室内语音定位算法研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.

[6] 陆灏铭, 陈玮, 刘寿宝. 基于麦克风阵列的声源定位系统设计[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(4): 79-81.

[7] 徐东锋. 基于振动传递率函数和统计假设检验的海洋平台结构损伤识别研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2015.

[8] 张洁, 林建辉, 高品贤. 高速铁路振动及噪声测试技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010: 27-29.

[9] 张昱, 朱彤, 周晶. 对功率谱密度传递率作用原理的探究[J]. 振动工程学报, 2016, 29(6): 992-1002.

[10] 陈家宝, 刁延松, 任红. 基于传递率函数的结构损伤识别研究[J]. 结构工程师, 2015, 30(4): 32-40.

[11] SHIBATA, NOBUYUKI. Effect of shelf aging on vibration transmissibility of anti-vibration gloves[J]. Industrial health, 2017, 55(6): 575-579.

[12] 韩杰. 基于传递率的工作模态参数识别方法的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.

[13] 王彬星, 郑四发, 李传兵, 等. 车内噪声传递率建模及计算[J]. 振动、测试与诊断, 2014, 34(4): 693-698.

[14] 铁道机车和动车组司机室噪声限值及测量方法: GB/T 3450-2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[15] 铁道机车辐射噪声限值: GB/T13669-2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

(编辑:刘杨)