

文章编号:1005-0523(2014)02-0032-05

轨道交通列车不同运行速度下噪声特性对比研究

孙维娜,李莉,罗雁云

(同济大学铁道与城市轨道交通研究院,上海,201804)

摘要:为了研究轨道交通列车不同运行速度状态下的噪声水平,利用同济大学轨道交通综合试验线对轨道交通列车运行时辐射噪声进行测试与分析,得出各监测点在不同运行速度下的噪声强度和频谱特性。结果表明:在车速小于 $47\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 范围内,随着列车速度的增加,各监测点噪声值不断增大,基本呈线性增长;在4种不同车速工况下,距离噪声源越近,高度越高,噪声值越大;相反,距离噪声源越远,高度越低,噪声值越小。在不同运行速度下,各测点的主峰频率都在800 Hz左右,而噪声能量的主要分布范围随车速的提高而有规律地变化,随着行驶速度的提高,噪声能量的主要分布范围逐渐向800 Hz主峰频率趋近。研究结果可为轨道交通噪声措施的制定及噪声预测提供数据基础与科学依据。

关键词:轨道交通;速度;噪声;频谱特性

中图分类号:U239.5

文献标志码:A

近年来,轨道交通以其诸多优势正在我国以前所未有的速度发展。高速铁路、地铁及轻轨等的大规模建设不仅在很大程度上满足了出行需求,缓解交通压力,解决城市交通拥堵等问题,同时带动了城乡建设和经济发展,减少污染,具有显著的经济和社会效益。但轨道交通系统在为人们提供诸多便利的同时,也不可避免地带来了振动及噪声等问题^[1-2]。由于列车运行时噪声辐射具有复杂性的特点,因此,用一个简单的模型近似其辐射特性比较困难,这使得利用数值方法计算列车噪声的辐射情况带来一定的难度。所以,通过试验方法获取列车噪声特性的基础性数据,对于进一步分析其辐射特性是一项必要且有意义的工作。

本文在同济大学轨道交通综合试验线上,使用与实际运行中相同的列车进行地面段不同速度下的噪声现场试验,了解并分析轨道交通列车低速状态运行时不同速度的辐射噪声特性,研究结果将对于轨道交通管理部门采取既经济又高效地降噪措施以及噪声预测具有一定的参考价值。

1 轨道交通列车噪声源与传播衰减特性

1.1 列车噪声源

大量研究表明^[3-5],城市轨道交通噪声源主要来自于4个方面:轮轨系统噪声、动力系统噪声、车厢的空气动力噪声和桥梁结构的二次振动噪声。轮轨噪声分为3种主要类型:滚动噪声、撞击噪声和尖叫噪声。其中,在不同速度行驶下,又以滚动噪声为主要的铁路噪声辐射来源^[6]。动力系统噪声包括牵引设备噪声和辅助设备噪声(如发动机、压缩机及通风、空调设备引起的噪声)。城市轨道交通的主要噪声源随着列车运行速度的变化而变化,如表1^[4]。

1.2 列车噪声传播衰减特性

列车辐射衰减主要由声源的类别(点声源或线声源)以及声源辐射特性决定。根据汤峰^[7]对上海轨道

收稿日期:2013-11-21

基金项目:国家科技支撑计划(2009BAG11B02);中央高校科研基金项目(同济大学2860219025)

作者简介:孙维娜(1990—),女,硕士研究生,从事铁路噪声与振动控制方面的研究;罗雁云(1960—),男,教授,博导,研究方向为铁路轨道工程。

交通明珠线地面段 30 m 范围内近轨和远轨分别进行的噪声实地测试,轨道交通列车运行时并未呈线声源衰减特性,而是更接近点声源的声衰减规律,即距离加倍噪声级衰减约 5 dBA(A 计权声压级);国外研究表明^[8],由于城市轨道交通列车噪声的影响范围大约在 400 m 以内甚至更少,所以认为空气吸收对噪声衰减影响不大,可以忽略不计;当声波沿地面传播较长距离时,由于地面声阻抗对声波传播具有很大影响,尤其当地面接近吸声性或软质时,如新耕田或植被覆盖的地区,使得噪声级衰减进一步加大。一般在较近的距离,如 30~50 m 以内,此衰减可以忽略,在 70 m 以上,可以考虑以单位距离衰减的 dB(声压级)数来表示^[9]。同时,在较大范围内,风和温度梯度可以改变地面吸收衰减量;声传播路径上由于经常有声屏障、地形、成排的建筑物或植被等因素而被阻断。其中,声屏障通常是降低噪声敏感区域最有效的手段,一般对于典型的交通系统噪声,在接受点处可降低 5~15 dBA^[8]。声波在空气中传播,遇到声屏障后将产生反射、透射和衍射等现象。声屏障的作用是阻止直达声的传播,隔离透射声,并使衍射声有足够的衰减。声屏障后面将形成“声影区”,在“声影区”内噪声有明显的下降,最终达到降低噪声的目的^[10]。声屏障的降噪效果取决于声源、接收点的高度、声屏障高度和长度以及声源和接收点之间的距离。声屏障衰减量与噪声入射波的频率特性也有一定的关系,当其他因素都相同时,噪声频率越高,声屏障衰减量越大^[11]。

2 轨道交通列车噪声测试

试验地点位于同济大学嘉定校区轨道综合交通试验线,试验内容为对不同车速下列车辐射的噪声进行监测,对各监测点噪声的强度和频谱特性进行分析和比较。

2.1 试验条件

试验线路为直线线路、线路长度为 1.2 km、Ⅱ型混凝土枕碎石道床,标准轨距 1 435 mm,A 型车。

2.2 测点布置

参考《声学铁路机车车辆辐射噪声测量》(GB/T 5111-1995)和《铁路边界噪声限制及其测量方法》(GB12525—1990),在距离轨道中心线 7.5 m,15 m,20 m 处分别布置距地面高为 1.5 m,3 m 共 6 个监测点,同时,在近轨外侧 1.5 m,高 0.9 m 处布置一监测点用于监测轮轨噪声。测点布置见图 1。



图1 测点布置图

Fig.1 Layout diagram of measuring points

2.3 测试仪器

噪声试验数据采集使用丹麦 B&K 的 PULSE Lab—shop 声学测量系统平台,主要由 B&K 的 4190 声传感器、PULSE Type 3560C 数据采集记录仪和笔记本电脑组成。测试前,使用 B&K 的 4231 声级校准器对每个声传感器进行声学校准。同时,采用测速仪,用于测量列车通过测试断面时的运行速度。仪器在测量前均进行校正,满足国家相关标准要求。

2.4 测试方法

参考《铁路边界噪声限值及其测量方法》(GB12525—1990)中的规定进行测量。试验前首先测量各监

测点的背景噪声值,随后列车分别以 20,30,40 及 50 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 四种平均速度通过测试断面,规定从车头到达测试断面至车尾离开测试断面这段时间内为测量的积分时间。利用采集设备对噪声进行采样,各车速工况下均测试 3 次,得到噪声样本后根据试验需要进行数据处理和分析。

3 测试结果对比及分析

3.1 各测点在不同速度下的等效连续 A 声级对比分析

各监测点背景噪声值见表 2,可见背景噪声值均比各试验工况下(见图 2)的噪声低 10 dBA 以上。根据《铁路边界噪声限值及其测量方法》(GB12525—1990)中背景值修正的要求,背景噪声对试验结果不构成影响,所以无需进行修正。

表 2 监测点背景噪声值

Tab.2 Background noise level of each monitoring points

监测点	1	2	3	4	5	6
背景噪声值/dBA	49.6	53.9	50.5	55.6	53.2	53.8

图 2 是测点在不同运行速度下的等效连续 A 声级。列车实际通过速度分别为 23,31,37 及 47 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

由图 2 可得以下结论:

1) 在 4 种不同车速工况下,距离噪声源越近,高度越高,噪声值越大;相反,距离噪声源越远,高度越低,噪声值越小。当车速为 47 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,测点 1 处噪声值最大,为 85.9 dBA,测点 3 处噪声值最小,为 75.9 dBA;当车速为 37 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,测点 1 处噪声值最大,为 82.9 dBA,测点 3 处噪声值最小,为 73.1 dBA;当车速为 31 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,测点 1 处噪声值最大,为 81 dBA,测点 3 处噪声值最小,为 70.8 dBA;当车速为 23 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,测点 1 处噪声值最大,为 76.5 dBA,测点 3 处噪声值最小,为 66.5 dBA。

2) 在车速小于 47 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 范围内,随着列车速度的增加,各监测点噪声值不断增大,基本呈线性增长。如测点 1,当车速为 23 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,为 74.3 dBA,当车速为 31 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,为 78.6 dBA,当车速为 37 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,为 80.6 dBA,当车速为 47 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,为 83.5 dBA。

3) 当车速从 23 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提升大约一倍至 47 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,各监测点的噪声值都有显著的增大,测点 1 升高了 9.2 dBA,测点 2 升高了 10 dBA,测点 3 升高了 9.4 dBA,测点 4 升高了 9.4 dBA,测点 5 升高了 9.7 dBA,测点 6 升高了 8.8 dBA,升高范围在 8.8~10 dBA 之间。

4) 根据有关“我国城市轨道交通环境噪声限值(建议)”的研究结果,昼间的噪声限值为 70 dBA^[12],由

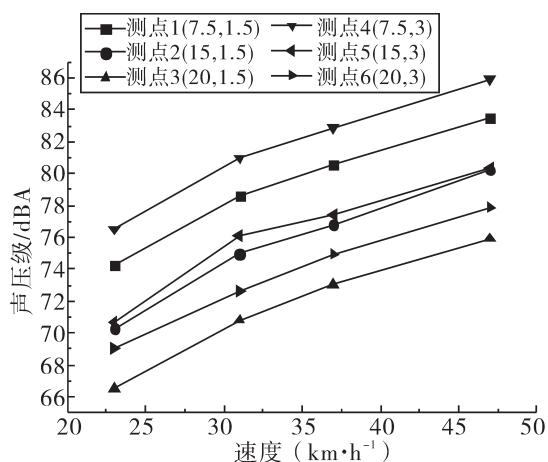


图 2 各测点在不同运行速度下的等效连续 A 声级

Fig.2 The equivalent noise A level of each monitoring point at different speeds

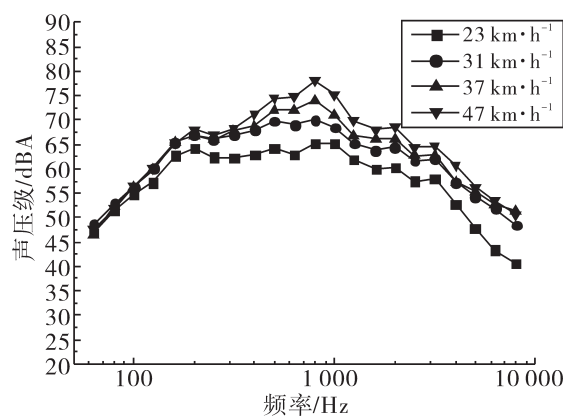


图 3 测点 1 在不同运行速度下的 1/3 倍频程频谱图

Fig.3 The 1/3 octave spectrum diagram of Point 1 at different speeds

上图可知当列车速度大于 $31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,各监测点的噪声值均已大于 70 dBA 。因此,当列车行驶速度大于 $31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时应采取相关的措施降低噪声对沿线居民的影响。

3.2 各测点在不同速度下 1/3 倍频谱特性分析

1) 测点 1(距离轨道中心线 7.5 m ,高 1.5 m)。从图 3 中可以看出不同运行速度下 1/3 倍频程谱波形相似且主峰频率都为 800 Hz ,主峰值按行驶速度由低到高分别为 $65.2, 70.1, 74.1$ 和 78.1 dBA 。根据独立声源叠加原理,定义频率声压级最大值以下 10 dB 范围内的频率区域为噪声显著频段^[13]。随着列车速度的增加噪声级也相应增大,在整个频谱范围内,不同行驶速度下噪声能量主要分布范围见表 3。

表 3 不同运行速度下测点 1 噪声能量主要分布频率范围

Tab.3 The main distribution frequency range of noise energy of Point 1 at different speeds

运行速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	23	31	37	47
噪声能量主要分布 频率范围/Hz	125~3 150	125~3 150	160~2 000	200~2 000

2) 测点 2~测点 6。表 4 给出了测点 2 至测点 6 在不同运行速度下的主峰频率、主峰值及噪声能量主要分布频率范围。

表 4 不同运行速度下测点 2~6 主峰频率、主峰值及噪声能量主要分布频率范围

Tab.4 The first peak frequency, value and the main distribution frequency range of noise energy of Point 2 to 6 at different speeds

速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	主峰频率/Hz					主峰值/dBA					噪声能量主要分布频率范围/Hz				
	测 点 2	测 点 3	测 点 4	测 点 5	测 点 6	测 点 2	测 点 3	测 点 4	测 点 5	测 点 6	测 点 2	测 点 3	测 点 4	测 点 5	测 点 6
23	800	800	500	1 000	500	62.2	57.5	68.2	61.8	59.8	160~ 3 150	125~ 3 150	125~ 2 500	160~ 3 150	100~ 3 150
31	800	800	500	500	500	67.6	62.7	74	67.5	64.8	160~ 3 150	125~ 2 500	160~ 2 500	125~ 2 500	160~ 3 150
37	800	800	500	800	800	70.9	66.5	76	70.4	68.4	200~ 2 000	200~ 2 000	200~ 2 000	200~ 2 500	315~ 2 000
47	800	800	800	800	800	75	70.4	79.3	74.3	72	400~ 2 000	315~ 2 000	315~ 2 000	315~ 2 500	400~ 2 000

由上述各监测点分析可得:

1) 当车速为 $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,噪声能量主要集中在 $125\sim 3\,150 \text{ Hz}$,当车速为 $31 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,噪声能量主要集中在 $160\sim 2\,500 \text{ Hz}$,当车速为 $37 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,噪声能量主要集中在 $200\sim 2\,000 \text{ Hz}$,当车速为 $47 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,噪声能量主要集中在 $400\sim 2\,000 \text{ Hz}$ 。

2) 在整个频谱范围内,随着车辆速度提高噪声级增大,不同行驶速度下各测点 1/3 倍频程谱分布规律相似,各测点的主峰频率都在 800 Hz 左右,而噪声能量的主要分布范围却随车速提高而有规律地变化,噪声主要能量分布范围的最低中心频率有上升的趋势,最高中心频率有下降的趋势(如图 4 所示),即噪声能

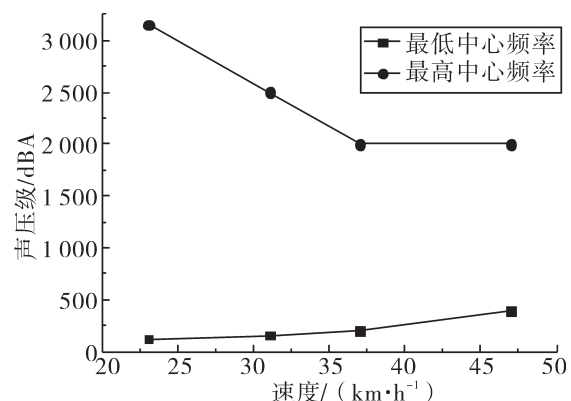


图 4 不同运行速度下的最低和最高中心频率

Fig.4 The lowest and highest central frequency at different speeds

量的主要分布范围逐渐向 800 Hz 主峰频率趋近。

4 结论

对同济大学轨道交通综合试验线列车进行现场噪声测试,分析列车不同运行速度下各监测点的噪声特性,得到以下结论:

1) 在 4 种不同车速工况下,距离噪声源越近,高度越高,噪声值越大;相反,距离噪声源越远,高度越低,噪声值越小。当车速为 $47 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,距离轨道中心线 7.5 m,高 3 m 处的声压级最高,为 85.9 dBA;当车速为 $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,距离轨道中心线 20 m,高 1.5 m 处的声压级最低,为 66.5 dBA。

2) 在车速小于 $47 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 范围内,随着列车速度的增加,各监测点噪声值不断增大,基本呈线性增长。当车速从 $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提升大约一倍至 $47 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,各监测点的噪声值都有显著的增大,升高范围在 8.8~10 dBA。

3) 按行驶速度由低到高,噪声能量分别主要集中在 125~3 150 Hz, 160~2 500 Hz, 200~2 000 Hz 以及 400~2 000 Hz。

4) 在整个频谱范围内,随着车辆速度提高噪声级增大,不同行驶速度下各测点 1/3 倍频程谱分布规律相似,各测点的主峰频率都在 800 Hz 左右,而噪声能量的主要分布范围随车速的提高而有规律地变化,随着行驶速度的提高,噪声能量的主要分布范围逐渐向 800 Hz 主峰频率趋近。

本文研究结果可为轨道交通噪声预测提供基础性参考数据,建议轨道交通管理部门在线路两侧设置声屏障降低列车运行所产生的噪声时,为提高声屏障的降噪效果,应根据列车不同工况下辐射噪声的强度和频率特性不同分段进行降噪设计,有关声屏障的几何和声学参数应根据不同路段的噪声特性综合考虑后选择确定。

参考文献:

- [1] 刘腾,雷晓燕.高速铁路连续屏障减振效果分析[J].华东交通大学学报,2012(6):1-5.
- [2] 雷晓燕,王全金,圣小珍.城市轨道交通环境振动与振动噪声研究[J].铁道学报,2003,25(5):109-113.
- [3] 练松良,刘加华.城市轨道交通减振降噪型轨道结构的选择[J].城市轨道交通研究,2003,6(3):35-41.
- [4] 焦金红,张苏,耿传智,等.轨道结构的减振降噪措施[J].城市轨道交通研究,2002,5(1):61-65.
- [5] 刘扬,温志伟,程明昆.城市轨道交通噪声预测模式的研究及其应用[J].地铁与轻轨,1998,(4):32-35.
- [6] 陈嵘,王平.客运专线无碴轨道噪声问题探讨[J].铁道科学与工程学报,2006,3(5):60-63.
- [7] 汤峰.城市轨道交通噪声特性测量分析与治理对策的研究[D].上海:同济大学,2003:13-16.
- [8] High-speed ground transportation noise and vibration impact assessment[R].USA: US Department of Transportation,2005:30-34.
- [9] 张邦俊,翟国庆.环境噪声学[M].浙江:浙江大学出版社,2001:46.
- [10] 刘岩,郭吉坦,黄彬,等.声屏障在降低城市轨道交通噪声中的作用研究[J].振动工程学报,2004,17(S2):1071-1073.
- [11] 张恩惠,殷金英,刑书仁.噪声与振动控制[M].北京:冶金工业出版社,2012:129-130.
- [12] 周灿平,何种,姜在秀.城市轨道交通噪声评价方法及其限值的研究[J].中国环境监测,2009,25(4):91-94.
- [13] 张捷,肖新标,王谛,等.350 km/h 以上高速列车观光区噪声特性及其评价研究[J].铁道学报,2012,34(10):23-29.

(下转第 90 页)

Infrared Nondestructive Testing for Hole Defect Based on Temporal Characteristics and Probabilistic Neural Networks

Zhou Jianmin, Fu Zhengqing, Cai Li, Li Peng

(School of Mechatronical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper presents a novel method of infrared NDT for detecting hole defects based on temporal characteristics and probabilistic neural network (PNN). Firstly, the sequence image was obtained by thermal imaging camera. Secondly, the gray value of normal and abnormal area was extracted and different parts of the gray value of time were set up, and then the initial characteristics were achieved. The principal component analysis was used to extract initial characteristics and get the temporal characteristics. Finally, the temporal characteristics were adopted as the training sample, and the probabilistic neural network was founded for the hole defect detection. Results showed that the recognition rates of the normal and abnormal area were 95% and 85% respectively.

Key words: infrared nondestructive testing; temporal characteristic; principal component analysis; probabilistic neural network



(上接第 36 页)

Comparative Study on Noise Characteristics of Rail Traffic Vehicles at Different Speeds

Sun Weina, Li Li, Luo Yanyun

(Institute of Railway and Urban Mass Transit, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Based on the test and analysis of the rail traffic noise produced by the vehicles running on the testing line in Tongji University, this paper studies noise levels of rail traffic vehicles in different conditions, and the noise intensity and spectrum characteristics are recorded accordingly. The results indicate that the noise value at each monitoring point increases instantly as the velocity of the vehicle climbs up when the speed is below 47km/h, and it almost tends to be a linear increase, specifically, in spite of the four different conditions of vehicle speed, the noise value increases unanimously as the distance between the monitoring point and the noise producer decreases and the height increases, and vice versa. At different speeds, all the peak frequencies from each monitoring point are around 800 Hz while the main range of the noise energy varies regularly as the vehicle speed changes, that is, the main range of the noise energy approaches 800 Hz gradually with the increasing speed of the vehicle. The results may provide the statistical and scientific basis for the measures of controlling the rail traffic noise and its prediction.

Key words: rail traffic; speed; noise; spectrum characteristics