

城市轨道交通高架段直立式声屏障 降噪效果测试与分析^{*}

王东方¹ 徐 鸿² 尹 强² 张 斌³

(1. 宁波市轨道交通集团有限公司, 315101, 宁波; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都;

3. 华东交通大学轨道交通基础设施性能监测与保障国家重点实验室, 330013, 南昌)

摘 要 [目的] 声屏障在城市轨道交通高架段普遍使用, 但对其在运营状态下的实际降噪效果研究还极其有限, 需对实际运营中的直立式声屏障的降噪效果以及相关的噪声分布特征规律进行研究。[方法] 以宁波轨道交通 1 号线声屏障为工程背景, 分别在 2 m、3 m、4 m 高直立式声屏障不同高度处布置测点, 监测列车通过测点时的噪声, 并对各测点的声压级频谱、插入损失等声学特性进行分析。[结果及结论] 列车运行产生的噪声能量分布频带较宽, 源强点附近的噪声主频在 500~800 Hz 之间, 声屏障声影区内, 测点位置越低, 声屏障降噪效果越好; 声屏障对高频噪声的降噪效果优于低频噪声; 2 m、3 m 和 4 m 高直立式声屏障距轨道中心线 7.5 m 处声影区噪声平均降低值分别为 4.0 dB(A)、6.7 dB(A) 和 11.1 dB(A)。

关键词 城市轨道交通; 直立式声屏障; 降噪效果; 现场测试

中图分类号 U214.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.047

Noise Reduction Effect Testing and Analysis of Vertical Sound Barriers in Elevated Urban Rail Transit Sections

WANG Dongfang¹, XU Hong², YIN Qiang², ZHANG Bin³

(1. Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., 315101, Ningbo, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China; 3. State Key Laboratory of Performance Monitoring and Protecting of Rail Transit Infrastructure, East China Jiaotong University, 330013, Nanchang, China)

Abstract [Objective] Sound barriers are widely used in elevated sections of urban rail transit. However, studies on their actual noise reduction performance during operation remain limited. Therefore, it is necessary to investigate the noise reduction effectiveness of vertical noise barriers in real operation

conditions and analyze the characteristics and distribution patterns of noise. [Method] Using the sound barriers of Ningbo Rail Transit Line 1 as the engineering background, measuring points are placed at different heights (2 m, 3 m, and 4 m) on vertical sound barriers. Noise levels are monitored as trains passing these points, and the acoustic characteristics such as sound pressure level spectrum and insertion loss are analyzed. [Result & Conclusion] The noise energy generated by train operation is distributed over a broad frequency range, with dominant frequencies between 500 Hz and 800 Hz near the primary noise sources. Within the acoustic shadow zone of the sound barriers, lower measurement points exhibit better noise reduction effects. The sound barriers are more effective at attenuating high-frequency noise than low-frequency noise. At a distance of 7.5 m from the track centerline, the average noise reduction values in the acoustic shadow zone for 2 m, 3 m, and 4 m high vertical sound barriers are 4.0 dB(A), 6.7 dB(A), and 11.1 dB(A), respectively.

Key words urban rail transit; vertical sound barrier; noise reduction effect; field testing

城市轨道交通噪声问题已引起广泛关注。控制空气噪声方式可以从声源处控制、在传播途径中控制和在受声点处控制。声屏障^[1]被认为是一种通过控制噪声传播途径方式实现有效降低噪声的设施。

国内外学者对声屏障的声学性能开展了大量的理论研究,取得了丰富的成果:文献[2]采用边界元法建立了声屏障降噪预测模型,讨论了吸声系数,以及声屏障厚度、高度、倾角及面板结构形式等因素的降噪机理和效果;国外学者将边界元法应用于直立式声屏障的几何形状优化声源简化、声学处理和顶部声学装置的研究^[3],采用有限元-无限元耦

^{*} 江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目(20223BBE51009)

合法研究了表面带有圆形凸起和表面带有三角形凸起的声屏障结构的扩散体宽度、间距及突出高度分别对其降噪效果的影响^[4]。试验方面,针对高速铁路展开的现场工作较多,我国学者在京沪高铁^[5-6]、京津城际^[7]、武广客专^[8]等代表性高速铁路上开展了声屏障降噪效果测试,得到了声屏障高度的影响规律,提出了屏障插入损失的简化计算模式^[9]。

现场试验是掌握声屏障在运营状态下实际降噪效果的重要手段,并能为数值模拟、降噪优化等提供重要基础。本文以宁波轨道交通1号线为工程背景,对不同高度直立式声屏障降噪效果进行测试研究。

1 试验概况

1.1 声屏障构造

宁波轨道交通1号线在人群密集居住区设有多段直立式声屏障,如图1所示。



图1 直立式声屏障
Fig. 1 Vertical noise barrier

1.2 测点布置

根据 HJ 453—2018《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》要求:“两侧有挡板结构的桥梁或有腹板结构的 U 型梁,传声器应置于距邻近行车线路中心线水平距离 7.5 m、距轨顶面以上 5.0 m 处;两侧无挡板结构的桥梁,传声器应置于距邻近行车线路中心线水平距离 7.5 m、距轨顶面以上 3.5 m 处。”宁波轨道交通高架线两侧均设置有挡板,源强测点 N1 需布置在距邻近行车线路中心线水平距离 7.5 m、距轨顶面以上 5.0 m 处,同时布置 N2—N7 等 6 个对比测点,如图 2 所示。

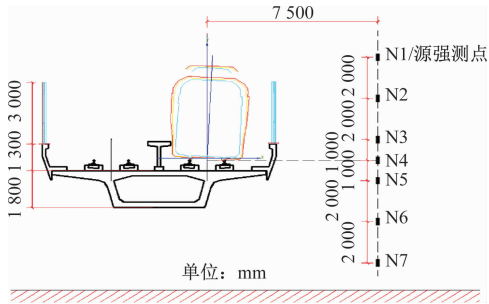


图2 源强测点示意图
Fig. 2 Diagram of source intensity measuring points

高架线列车通过噪声测点的简要工况如表1所示。

2 噪声评价方法

根据 HJ/T 90—2004《声屏障声学设计和测量规范》,采用声屏障声影区测点平均插入损失作为声屏障降噪效果的评价量。同时参考 HJ 453—2018 对高架线列车运行噪声源强的规定,取列车通

表1 高架线列车通过噪声测点简要工况
Tab. 1 Brief working condition of elevated line trains passing through noise measuring points

声屏障类型	测试里程/m	所在区间	轨道型式	铺设里程/m	铺设长度/m	钢轨类型/(kg/m)	有/无缝线路	直、曲线	坡度/‰	扣件型号
无声屏障对比	K35 + 250	宝幢站— 鄞隘站	双层垫板扣件	k35 + 150—k35 + 350	200	60	无缝线路	曲线半径 R = 2 000 m	5	双层非线性
单侧 2 m 直立式	K35 + 250	宝幢站— 鄞隘站	双层垫板扣件	k35 + 150—k35 + 350	200	60	无缝线路	曲线半径 R = 2 000 m	5	双层非线性
无	ZK4 + 900	高桥站— 梁祝站	短枕承轨台 整体道床	K3 + 810—K5 + 017	1 207	60	无缝线路	直线	3	WJ-2A
双侧 3 m 直立式	YK30 + 600	宝幢站— 鄞隘站	短枕承轨台 整体道床	K29 + 720—K30 + 720	1 000	60	无缝线路	曲线半径 R = 600 m	15	WJ-2A
单侧 4 m 直立式	ZK3 + 900	高桥站— 梁祝站	短枕承轨台 整体道床	K3 + 810—K5 + 017	1 207	60	无缝线路	直线	3	WJ-2A

过时段的连续等效 A 声级 L_{Aeq,T_p} 为声屏障插入损失计算输入变量。

根据 HJ 453—2018, 列车运行噪声的作用时间采用列车通过的等效时间 t_{eq} , 其近似值计算公式为:

$$t_{eq} = \frac{l}{v} \left(1 + 0.8 \frac{d}{l} \right) \quad (1)$$

式中:

l ——列车长度, 单位 m;

v ——列车通过预测点的运行速度, 单位 m/s;

d ——预测点到线路中心线的水平距离, 单位 m。

声屏障降噪效果测试采用间接测试法, 即列车匀速经过两个里程不同、其余空间坐标相同的测点, 其中一个测点对应的地段无声屏障, 另一个测点断面采用了声屏障, 列车通过两个测点的连续等效 A 声级的差值就是声屏障在该地段取得的效果。选取高峰时段不少于 5 列列车的数据进行分析。

3 测试结果分析

3.1 2 m 直立式声屏障效果测试

将各列列车通过时段的分频声级进行线性平均得到平均分频 A 声级, 并与无声屏障对比断面相应测点分频声级对比, 结果如图 3 所示。

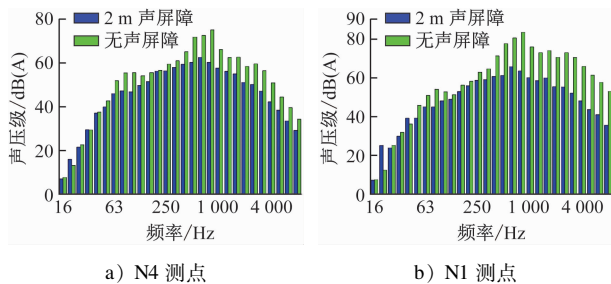


图 3 2 m 直立式声屏障测点分频声压级降噪效果

Fig.3 Noise reduction effect of frequency division sound pressure level at 2 m vertical sound barrier measuring points

由图 3 可见: 增加 2 m 直立式声屏障后, 距轨道中心线 7.5 m 远 0 m 高和 5 m 高处峰值频率均为 630 Hz; 声屏障在 250 Hz 以上频段的降噪效果明显优于 250 Hz 以下频段的效果; 在 630 Hz 频段最大插入损失可达到 15 dB(A)。表 2 为 2 m 直立式声屏障连续等效 A 声级对比。

由表 2 可知, 随着测点位置升高, 声压级插入损失先增大后减小, 最大的插入损失值出现在高于轨

顶面 3 m 处, 为 5.1 dB(A)。5 m 测点处插入损失值小于 3 m 处插入损失值的原因是受到了列车噪声绕射的影响。2 m 高直立式声屏障可以使距轨道中心线 7.5 m 处声影区 (高于轨顶 1 ~ 5 m) 内测点噪声平均降低 4.0 dB(A)。

表 2 2 m 直立式声屏障连续等效 A 声级对比

Tab.2 2 m vertical noise barrier continuous equivalent A sound level contrast

项目	不同测点连续等效 A 声级/dB(A)						
	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
2 m 声屏障	76.2	77.2	77.0	77.8	78.2	80.8	83.7
无声屏障	74.1	76.3	77.9	79.1	80.6	85.9	87.2
插入损失	-1.9	-0.9	0.9	1.3	2.4	5.1	4.5

3.2 3 m 直立式声屏障效果测试

将各列列车通过时段的分频声级进行线性平均得到平均分频 A 声级, 并与无声屏障对比断面相应测点分频声级对比, 结果如图 4 所示。

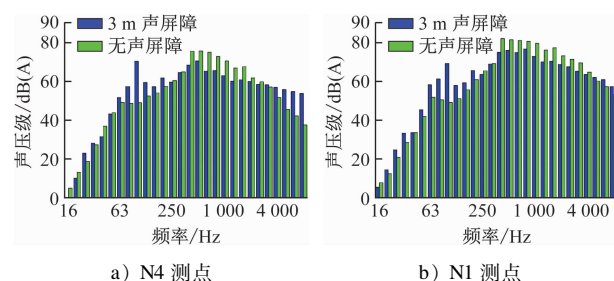


图 4 3 m 直立式声屏障测点分频声压级降噪效果

Fig.4 Noise reduction effect of frequency division sound pressure level at 3 m vertical sound barrier measuring points

由图 4 可见, 3 m 声屏障断面主要降低 500 ~ 2 000 Hz 频带的噪声, 声屏障断面声压级在 63 ~ 200 Hz 频段反而较无声屏障工况高, 这也反映了声屏障断面低频结构噪声辐射较大。表 3 为 3 m 直立式声屏障连续等效 A 声级对比。

表 3 3 m 直立式声屏障连续等效 A 声级对比 dB(A)

Tab.3 3 m vertical noise barrier continuous equivalent A sound level contrast dB(A)

项目	不同测点连续等效 A 声级/dB(A)						
	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
3 m 声屏障	76.4	77.4	77.2	77.0	77.2	77.8	83.6
无声屏障	76.8	78.3	79.6	81.4	82.7	87.6	88.3
插入损失	0.4	0.9	2.4	4.4	5.5	9.8	4.7

由表3可知,随着测点位置升高,声压级插入损失先增大后减小,最大的插入损失值出现在高于轨顶面3 m处,为9.8 dB(A)。5 m测点处插入损失值小于3 m处插入损失值的原因,是受到了列车噪声绕射的影响。3 m高直立式声屏障可以使距轨道中心线7.5 m处声影区(高于轨顶1~5 m)内测点噪声平均降低6.7 dB(A)。

3.3 4 m 直立式声屏障效果测试

将各列列车通过时段的分频声级进行线性平均得到平均分频A声级,并与无声屏障对比断面相应测点分频声级对比,结果如图5所示。

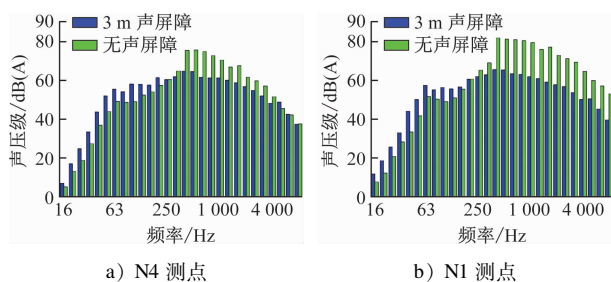


图5 4 m直立式声屏障测点分频声压级降噪效果

Fig. 5 Noise reduction effect of frequency division sound pressure level at 4 m vertical sound barrier measuring points

由图5可见:增加4 m高直立式声屏障后,距轨道中心线7.5 m远0 m高和5 m高处峰值频率均为500 Hz,声屏障在400 Hz以上频段的降噪效果明显优于400 Hz以下频段的效果;在400 Hz频段最大插入损失可达到17 dB(A)。表4为4 m直立式声屏障连续等效A声级对比。

表4 4 m直立式声屏障连续等效A声级对比 dB(A)

Tab.4 4 m vertical noise barrier continuous equivalent A sound level contrast dB(A)

项目	不同测点连续等效A声级/dB(A)						
	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
4 m 声屏障	72.1	72.6	72.6	72.7	73.4	72.1	72.6
无声屏障	74.8	76.3	77.6	79.4	80.7	85.6	86.3
插入损失	2.7	3.7	5.0	6.7	6.3	13.5	13.7

由表4可见,随着测点位置升高,声压级插入损失先增大后减小,最大的插入损失值出现在高于轨顶面5 m处,为13.7 dB(A)。相较于2 m和3 m高直立式声屏障,5 m测点处插入损失值受到列车噪声绕射的影响较小。该4 m高直立式声屏障可以使距轨道中心线7.5 m处声影区(高于轨顶1~5 m)

内测点噪声平均降低11.1 dB(A)。

4 结语

以宁波轨道交通1号线声屏障为工程背景,对不同高度的直立式声屏障降噪效果进行了现场测试,主要结论如下:

1) 列车运行产生的噪声能量分布频带较宽,源强点附近的噪声主频在500~800 Hz之间。声屏障声影区内测点位置越低,声屏障效果越好,声屏障对高频噪声的降噪效果优于低频噪声。

2) 2 m、3 m和4 m高声直立式声屏障距轨道中心线7.5 m处声影区(高于轨顶1~5 m)内测点噪声平均降低值分别为4.0 dB(A)、6.7 dB(A)和11.1 dB(A)。

参考文献

- [1] 蒋伟康,陈光冶,朱振江,等. 轨道交通的声屏障技术研究[J]. 噪声与振动控制, 2001, 21(1): 29.
JIANG Weikang, CHEN Guangye, ZHU Zhenjiang, et al. A study on technique of barrier for railway traffic noise[J]. Noise and Vibration Control, 2001, 21(1): 29.
- [2] 何宾,肖新标,周信,等. 声屏障插入损失影响因素及降噪机理研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2017, 51(4): 761.
HE Bin, XIAO Xinbiao, ZHOU Xin, et al. Influence factors of insertion loss and their noise reduction mechanism for noise barrier[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2017, 51(4): 761.
- [3] REITER P, WEHR R, ZIEGELWANGER H. Simulation and measurement of noise barrier sound-reflection properties[J]. Applied Acoustics, 2017, 123: 133.
- [4] 耿传智,孙维娜,张健. 关于轨道交通声屏障结构优化的仿真分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(4): 127.
GENG Chuazhi, SUN Weina, ZHANG Jian. Simulation analysis of optimizing the structure of the noise barrier for railway traffic[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2014, 11(4): 127.
- [5] 苏卫青,潘晓岩,叶平. 高速铁路声屏障声学计算模式研究[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(1): 126.
SU Weiqing, PAN Xiaoyan, YE Ping. The study of acoustic computing model for the noise barrier of high-speed railway[J]. China Railway Science, 2013, 34(1): 126.
- [6] 周强. 高速铁路减载式声屏障隔声性能研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
ZHOU Qiang. Study on sound insulation performance of load-shedding sound barrier in high-speed railway[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.

(下转第264页)

- Standard Design, 2021, 65(8): 139.
- [4] 王建国, 刘洋, 孙建明, 等. 铁路 10 kV 三相电力电缆接地短路电流对通信信号电缆的电磁影响[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(4): 109.
- WANG Jianguo, LIU Yang, SUN Jianming, et al. Electromagnetic influence of railway 10 kV three-phase power cable short-circuit fault current on communication and signal cable[J]. China Railway Science, 2008, 29(4): 109.
- [5] 周文颖, 逯迈. 地铁高频电磁辐射的安全评估[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2016, 34(1): 51.
- ZHOU Wenyong, LU Mai. Safety evaluation of high frequency electromagnetic radiation in subway train[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2016, 34(1): 51.
- [6] 焦健. 城市轨道交通强弱电系统同址共建电磁兼容问题研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- JIAO Jian. Research on electromagnetic compatibility of urban rail transit strong and weak power systems co-located[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012.
- [7] 聂秀丽, 石丹, 高攸纲. 配电变压器的稳态电磁干扰分析[C]//第 21 届全国电磁兼容学术会议. 张家界: 中国电子学会, 2011: 70.
- NIE Xiuli, SHI Dan, GAO Yougang. Steady state electromagnetic interference analysis of distribution transformer[C]//The 21st National Conference on Electromagnetic Compatibility. Zhangjiajie: Chinese Institute of Electronics, 2011: 70.
- [8] 龚赞, 陈志英, 曾建斌. 高压交流输电线路工频电磁场对人体头部的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2021, 39(4): 72.
- GONG Zan, CHEN Zhiying, ZENG Jianbin. Effect of a power frequency electromagnetic field induced by a high voltage AC transmission line on the human head[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2021, 39(4): 72.
- [9] MAXWELL J C. A treatise on electricity and magnetism[M]. Oxford: Clarendon Press, 1873.
- [10] WEBB J P, FORGHANI B. T-Omega method using hierarchical edge elements[J]. IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology, 1995, 142(2): 133.
- [11] 吴逸汀, 盛卫星, 韩玉兵, 等. 金属材料低频磁场屏蔽效能研究[J]. 电波科学学报, 2015, 30(4): 673.
- WU Yiting, SHENG Weixing, HAN Yubing, et al. The simulation and testing analysis on low-frequency magnetic shielding effectiveness of metal materials[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2015, 30(4): 673.
- [12] 吴雅祥, 刘仲武, 王开祥. 有限元法求解电磁场问题的误差分析[J]. 磁性材料及器件, 2019, 50(1): 21.
- WU Yaxiang, LIU Zhongwu, WANG Kaixiang. Error analysis of finite element method in solving electromagnetic problems[J]. Journal of Magnetic Materials and Devices, 2019, 50(1): 21.
- [13] 惠建峰, 关志成, 刘瑛岩. 各国工频电磁场的限值及其确定的依据[J]. 高电压技术, 2006, 32(4): 51.
- HUI Jianfeng, GUAN Zhicheng, LIU Yingyan. Values and rationales of limits of power frequency electric and magnetic fields in various countries[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(4): 51.
- 收稿日期: 2022-11-07 修回日期: 2023-02-09 出版日期: 2025-03-10
Received: 2022-11-07 Revised: 2023-02-09 Published: 2025-03-10
- 第一作者: 雷琪, 高级工程师, leiqi0909@formail.com
通信作者: 方春华, 教授, 45946866@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- 境: HJ/T 2.4—2021[S]. 北京: 生态环境部环境标准研究所, 2021: 1.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical guidelines for noise impact assessment: HJ/T 2.4—2021[S]. Beijing: Environmental Standard Institute, 2021: 1.
- 收稿日期: 2024-11-08 修回日期: 2024-12-23 出版日期: 2025-03-10
Received: 2024-11-08 Revised: 2024-12-23 Published: 2025-03-10
- 通信作者: 王东方, 高级工程师, 949879539@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 255 页)

- [7] 费广海, 吴小萍, 廖晨彦. 声屏障高度对高铁(客运专线)降噪效果的影响[J]. 中国环境科学, 2015, 35(8): 2539.
- FEI Guanghai, WU Xiaoping, LIAO Chenyan. The influence of sound barriers with different heights on the noise reduction effect of high-speed railway[J]. China Environmental Science, 2015, 35(8): 2539.
- [8] 陈建国, 夏禾, 蔡超勋, 等. 高速列车引起的环境噪声及声屏障测试分析[J]. 振动工程学报, 2011, 24(3): 229.
- CHEN Jianguo, XIA He, CAI Chaoxun, et al. Test and analysis of high-speed trains induced environmental noise and sound barriers[J]. Journal of Vibration Engineering, 2011, 24(3): 229.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 环境影响评价技术导则 声环

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn