

宁波轨道交通高架线 综合降噪效果测试与分析

许永富¹ 尹铁锋¹ 冯立力² 王东方¹ 董子博¹

(1. 宁波市轨道交通集团有限公司 浙江宁波 315010; 2. 北京交通大学土木建筑工程学院 北京 100044)

摘 要 宁波轨道交通1号线一期工程高架线开展了无声屏障、全封闭声屏障、全封闭声屏障+梯形轨枕和全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床工况下的噪声对比测试试验。在各测量断面处布置7个噪声测点,并得到12.5~20 000 Hz频段的噪声声压级与频谱曲线,分析各工况下噪声频谱特性与降噪效果。结果表明:仅采用全封闭声屏时,噪声源强处降噪效果最佳,且降噪效果随水平距离的增大呈衰减趋势;在全封闭声屏障的基础上采用梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床后各测点(测点1除外)处降噪效果进一步增大,减振轨道确保了全封闭声屏障的降噪效果;减振轨道能有效减小桥梁结构噪声,但同时也增大了轮轨噪声;全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床的降噪效果优于全封闭声屏障+梯形轨枕。

关键词 轨道交通;声屏障;梯形轨枕;道床垫浮置式整体道床;降噪效果

中图分类号 U231 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2016)05-0094-05

城市轨道交通是一种有效解决城市拥堵的主要交通方式,在未来几十年具有大力发展的趋势。高架线因建设成本低、建设速度快、运营成本低、节能降耗等优点在我国轨道交通中得到大量的应用,但高架线噪声问题也严重困扰着人们^[1]。

目前针对城市轨道交通高架线噪声问题已有大量研究^[2-7],研究和实践也表明采用声屏障能降低高架线噪声问题。为保障声屏障的降噪效果,高架线路往往

收稿日期:2016-02-03 修回日期:2016-04-10

作者简介:许永富,男,工程师,主要从事城市轨道交通减振降噪研究,501176579@qq.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278043)

同时设置轨道减振措施^[8],笔者选取宁波轨道交通1号线一期工程高架线开展了无声屏障、全封闭声屏障、全封闭声屏障+梯形轨枕和全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床4种工况下的噪声对比测试试验,得到了各工况下噪声频谱特性,分析了各工况下噪声降噪效果。

1 噪声测试试验

1.1 试验仪器

试验所用仪器包括声级计、监测箱、无线传输模块等,如表1所示,其中声级计频率采集范围为12.5~20 000 Hz。

表1 噪声测试试验主要仪器

名称	规格型号	生产厂家
声级计	AWA6228-4+1/3oct	杭州爱华仪器有限公司
	理音 NA28	日本理音
监测箱	AWA2581	杭州爱华仪器有限公司
无线模块	AWA8571	杭州爱华仪器有限公司

1.2 试验概况

选取宁波轨道交通1号线一期工程高架线开展噪声测试试验,试验对4种工况进行对比测试。

全封闭声屏障由下到上依次为波浪形金属吸声板(宽1 000 mm)、聚甲基丙烯酸甲酯板(宽1 500 mm)、波浪形金属吸声板(宽2 000 mm)、聚碳酸酯板。全封闭声屏障如图1所示。

梯形轨枕由两片预制预应力混凝土纵梁通过钢管连接组成框架式轨道板,



图1 全封闭声屏障

单边纵梁宽 580 mm,高 165 mm,长度为 5 800 mm,每延米梯形轨枕质量约 0.479 t;道床垫浮置式整体道床分浮置板、道床垫和底座 3 层,底座高 110 mm,底座和浮置板之间设置 30 mm 厚减振垫,道床板宽约 2 415 mm,轨下截面处厚度约为 268 mm,道床板长 5 850 mm,每延米道床垫浮置式整体道床质量约 1.618 t。3 种轨道结构如图 2 所示。



图2 减振轨道结构

列车为实际运营的地铁 B 型车,6 辆编组,转向架中心距为 12.6 m,转向架轴距为 2.3 m,带司机室拖车长 19.65 m,动车长 19 m,宽 2.892 m,运行速度约 60 km/h,测试期间测试区段列车接近于空车。

试验共 4 个断面,均为直线段 WJ-2A 扣件、无缝钢轨、30 m 简支箱梁,其他如表 2 所示。各断面场地条件、梁柱类型和尺寸等基本条件一致^[9],每个断面共 7 个测点,测点位置如表 3 所示。

表2 噪声测试试验断面基本情况

工况	轨道铺设里程	声屏障里程	测试里程
无声屏障	—	—	K4+920
全封闭声屏障	—	K6+870~K7+190	K7+000
全封闭声屏障+梯形轨枕	K2+900~K3+870	K2+900~K3+640	K2+934
全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床	K5+500~K6+100	K5+500~K6+100	K5+760

表3 测点位置			m
测点编号	水平位置	铅垂位置	
1	距外轨中心线 7.5	轨面以上 1.5	
2	线路中心线	梁底面以下 0.3	
3	距外轨中心线 0	地面以上 1.2	
4	距外轨中心线 7.5	地面以上 1.2	
5	距外轨中心线 15	地面以上 1.2	
6	距外轨中心线 30	地面以上 1.2	
7	距外轨中心线 60	地面以上 1.2	

注:1) 测点 1 代表噪声源强^[10];2) 有全封闭声屏障时,测点 2 代表桥梁结构噪声^[11-12];3) 全封闭声屏障+梯形轨枕工况因现场条件无测点 7 测试数据。

为减小背景噪声的影响,试验主要选取 18:00-21:00 的 10 趟列车通过时段噪声能量平均值作为噪声分析依据。

2 测试结果及分析

2.1 背景噪声

背景噪声按地铁列车实际运行速度进行昼间 16 h 等效 A 声级和夜间运营时段 2 h 的等效 A 声级测量,高架段各测点处背景噪声如图 3 所示。

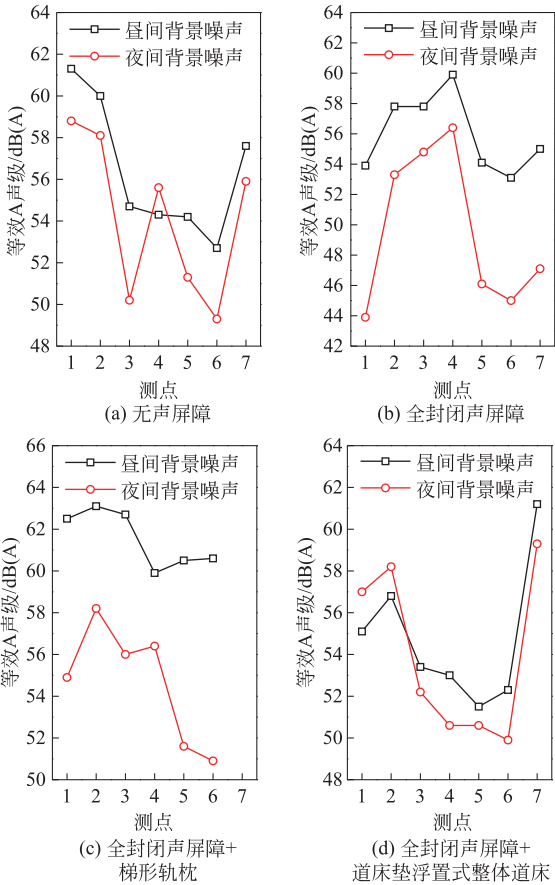


图3 4 种工况下各测点处背景噪声

由图 3 可知,无声屏障工况下各测点处背景噪声昼间为 52.7~61.3 dB(A),夜间运营时段为 49.3~58.8 dB(A);全封闭声屏障工况下各测点处背景噪声昼间为 53.1~59.9 dB(A),夜间运营时段为 43.9~56.4 dB(A);全封闭声屏障+梯形轨枕工况下各测点处背景噪声昼间为 59.9~63.1 dB(A),夜间运营时段为 50.9~58.2 dB(A);全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床工况下各测点处背景噪声昼间为 51.5~61.2 dB(A),夜间运营时段为 49.9~59.3 dB(A)。

2.2 等效 A 声级

各工况下测点 1~7 处噪声等效 A 声级如图 4 所

示。由图可知,无声屏障工况下测点1处噪声(噪声源强)最大,达83.6 dB(A),随水平距离的增大,噪声逐渐减小;全封闭声屏障工况下测点1~6处噪声均减小,全封闭声屏障具有一定降噪效果,但随水平距离逐渐增大,降噪效果逐步降低;全封闭声屏障+梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下测点2~7处噪声进一步减小,但测点1处噪声较全封闭声屏障工况增大,这是因为减振措施在减小桥梁结构噪声的同时增大了轮轨噪声。

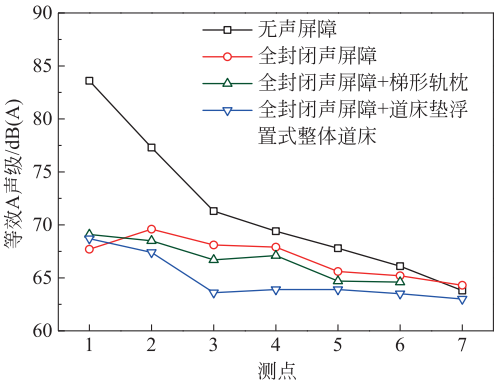


图4 各工况下各测点处噪声

2.3 频谱特性

各工况下测点1~7处噪声1/3倍频程中心频率声压级等效A声级如图5~11所示。由图可知,全封闭声屏障工况下各测点在部分频段声压级大大高于无声屏障工况(主要体现在50~80Hz),这主要是由于声屏障的二次噪声引起,而全封闭声屏障+梯形轨枕和全封闭声屏障+道床垫浮置式整体道床工况,由于减振轨道减小了固定在桥梁上的声屏障振动,从而减小了声屏障的二次噪声。6、7号测点由于距离公路近,背景噪声主要受地面交通和社会生活噪声的影响,对高频段声压级有一定影响。

1) 图5为测点1处噪声频谱图,无声屏障工况下曲线表明,高架线噪声源强处噪声(主要为轮轨噪声)主频为630~800 Hz;全封闭声屏障工况下63~16 000 Hz频段声压级明显减小,40~63 Hz频段声压级有所增大;采用全封闭声屏障+梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床后,40~63 Hz频段声压级有一定减小,但630~800 Hz频段声压级增大。表明声屏障对中高频噪声有较好的降噪效果,对低频噪声无效果,减振轨道能在一定程度上降低低频噪声,但却增大了轮轨噪声。

2) 图6为测点2处噪声频谱图,曲线表明,各工况下测点2处噪声含有较多成分的低频噪声(主要为桥

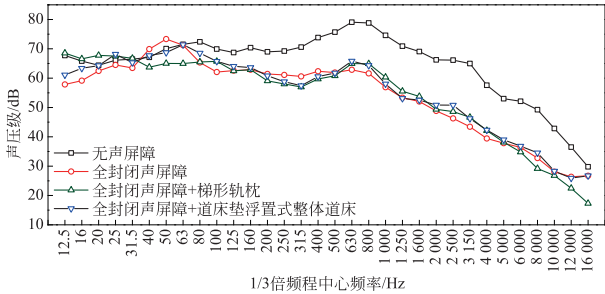


图5 测点1处噪声1/3倍频程中心频率声压级

梁结构噪声);全封闭声屏障工况下,除50~63 Hz外所有频段声压级均减小,而50~63 Hz频段声压级的增大是由声屏障二次噪声引起;采用全封闭声屏障+梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床后,50~630 Hz频段声压级进一步减小,表明减振轨道在一定程度上保证了声屏障的降噪效果。

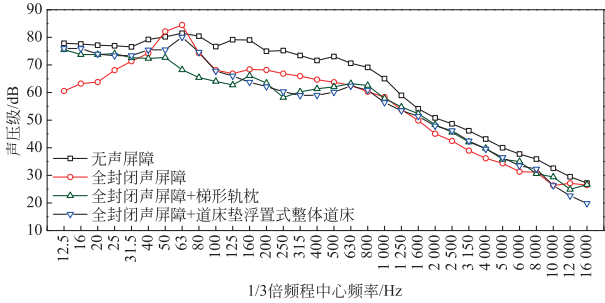


图6 测点2处噪声1/3倍频程中心频率声压级

3) 图7为测点3处噪声频谱图,曲线表明各工况下测点3处噪声中低频噪声占较大比例;全封闭声屏障工况下80~1 000 Hz频段声压级明显减小,而31.5~63 Hz频段声压级有较明显增大;全封闭声屏障+梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下,80~1 000 Hz频段声压级进一步减小且31.5~63 Hz频段声压级也有效减小。

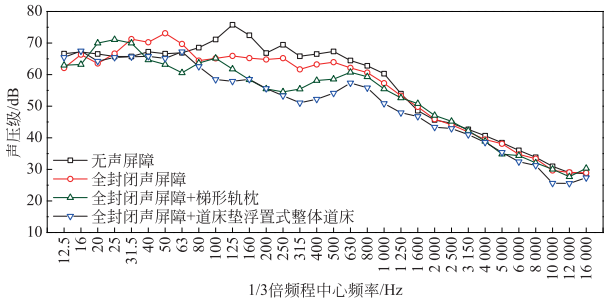


图7 测点3处噪声1/3倍频程中心频率声压级

4) 图8为测点4处噪声频谱图,曲线表明,全封闭

声屏障工况下 630 ~ 800 Hz 频段声压级有一定减小,而 40 ~ 63 Hz 频段声压级有较明显增大;全封闭声屏障 + 梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下,40 ~ 500 Hz 频段声压级有明显减小。

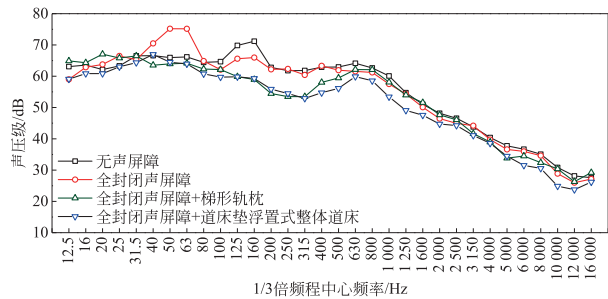


图8 测点4处噪声1/3倍频程中心频率声压级

5) 图9为测点5处噪声频谱图,曲线表明,全封闭声屏障对1 600 Hz以上的高频段声压级有较明显的衰减,而对1 600 Hz以下中低频频段声压级无效果;全封闭声屏障 + 梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下,对40 ~ 500 Hz 频段声压级有明显衰减,再一次表明,减振轨道保证了声屏障的降噪效果。

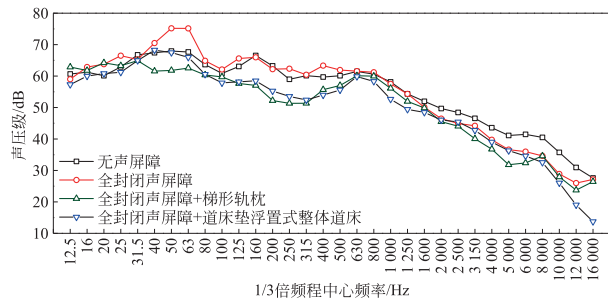


图9 测点5处噪声1/3倍频程中心频率声压级

6) 图10为测点6处噪声频谱图,曲线表明,测点6处噪声的中心频率为40 ~ 63 Hz 和 630 ~ 800 Hz,因为测点6距离桥梁较远,受桥梁和轮轨噪声共同影响;全封闭声屏障工况下,630 ~ 800 Hz 及以上频段有一定的衰减作用,但效果并不明显,40 ~ 63 Hz 频段声压级有较明显的增大,经过A计权后,综合表现为噪声等效A声级的减小;全封闭声屏障 + 梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下,对40 ~ 500 Hz 频段声压级有明显衰减,声屏障与减振轨道的综合降噪效果优于单纯声屏障降噪效果。

7) 图11为测点7处噪声频谱图,测点7处噪声的中心频率也为40 ~ 63 Hz 和 630 ~ 800 Hz,测点7同样受桥梁和轮轨噪声共同影响;全封闭声屏障工况下几

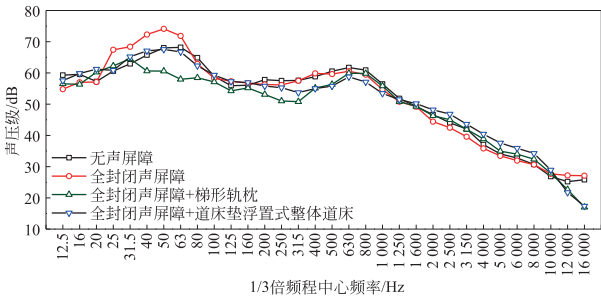


图10 测点6处噪声1/3倍频程中心频率声压级

乎全频段声压级均增大;全封闭声屏障 + 道床垫浮置式整体道床工况下40 ~ 500 Hz 频段声压级较全封闭声屏障工况有了明显衰减,尤其是400 ~ 800 Hz 频段声压级比无声屏障工况减小明显。

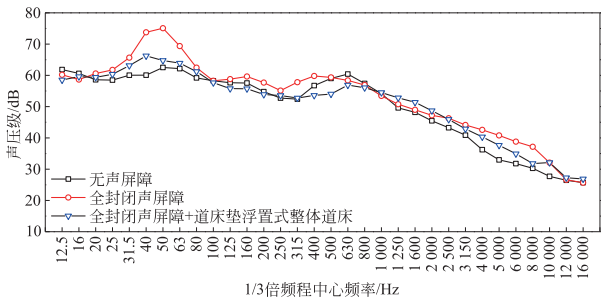


图11 测点7处噪声1/3倍频程中心频率声压级

2.4 插入损失

插入损失是评价减振降噪措施降噪效果的物理量,描述为在其他条件相同的无减振降噪措施时,某测点等效A声级与有减振降噪措施同测点的等效A声级之差。

不同工况下各测点处插入损失如图12所示,由图可知:

1) 全封闭声屏障工况下噪声源强(测点1)处插入损失最大,达15.9 dB(A);测点2、3处插入损失依次为7.7 dB(A)、3.2 dB(A),可认为噪声减小的作用之一是全封闭声屏障遮挡了轮轨噪声;测点4 ~ 7处插入损失呈减小趋势(测点7插入损失为负),表明声屏障的降噪效果随水平距离的增大逐渐降低。

2) 全封闭声屏障 + 梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床工况下,除测点1外所有测点处的插入损失均增大,表明减振轨道确保了全封闭声屏障的降噪效果;测点1处插入损失的减小是因为减振轨道增大了轮轨噪声所致。

3) 全封闭声屏障 + 道床垫浮置式整体道床工况

下,各测点的插入损失均大于全封闭声屏障 + 梯形轨枕工况,表明全封闭声屏障 + 道床垫浮置式整体道床的效果优于全封闭声屏障 + 梯形轨枕。

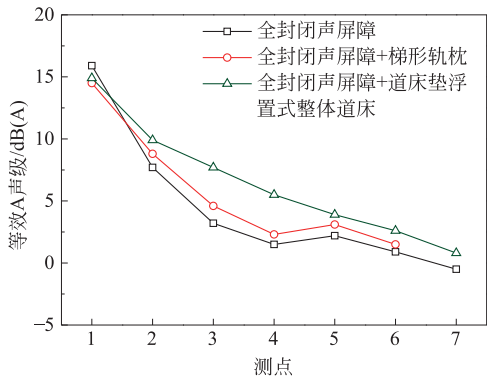


图 12 不同工况下各测点插入损失

3 结论

本文选取宁波轨道交通 1 号线一期工程高架段开展了无声屏障、全封闭声屏障、全封闭声屏障 + 梯形轨枕和全封闭声屏障 + 道床垫浮置式整体道床 4 种工况下的噪声对比测试试验,分析了各工况下噪声频谱特性与降噪效果,所得主要结论如下:

- 1) 仅采用全封闭声屏时,噪声源强(测点 1)处降噪效果最佳,且降噪效果随水平距离的增大呈衰减趋势。
- 2) 采用全封闭声屏障 + 梯形轨枕或道床垫浮置式整体道床,除测点 1 外所有测点处降噪效果进一步增大,减振轨道确保了全封闭声屏障的降噪效果。
- 3) 减振轨道能有效减小桥梁结构噪声,但同时也增大了轮轨噪声。
- 4) 全封闭声屏障 + 道床垫浮置式整体道床的降噪效果优于全封闭声屏障 + 梯形轨枕。

参考文献

[1] 侯炳.城市轨道交通噪声的评价及控制研究[D].成都:西南交通大学,2005.

[2] 高飞.城市轨道交通高架结构振动与噪声影响的研究[D].北京:北京交通大学,2011.

[3] 彭华,高亮.城市轨道交通的振动和噪声及其控制的研究[J].中国安全科学学报,2003(4):74-77.

[4] 辜小安,刘扬.城市轨道交通列车运行噪声预测模式的确定[J].铁道劳动安全卫生与环保,2004,(1):10-12.

[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] 张讯.轨道交通桥梁结构噪声预测与控制研究[D].成

都:西南交通大学,2012.

[7] 谷爱军,张宏亮,李文会,等.城市轨道交通高架线噪声控制问题分析[J].都市快轨交通,2013,26(4):6-9.

[8] 地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工程出版社,2014:276-278.

[9] 北京铁科工程检测中心.宁波轨道交通 1 号线一期工程高架减振轨道产品实际效果测试报告[R].宁波,2014:20-21.

[10] 环境影响评价技术导则 城市轨道交通:HJ 453—2008[S].北京:中国环境科学出版社,2008:7-8.

[11] 刘孝寒.基于相干分析的高速铁路桥梁结构噪声源识别研究[D].成都:西南交通大学,2012.

[12] 战家旺,夏禾,善田康雄,等.城市轨道交通高架桥梯形轨枕轨道降噪性能试验分析[J].中国铁道科学,2011,32(1):32-39.

(编辑:郝京红)

Test and Analysis on the Noise Reduction of Ningbo Rail Transit Elevated Line

Xu Yongfu¹ Yin Tiefeng¹ Feng Lili²
Wang Dongfang¹ Dong Zibo¹

(1. Ningbo Rail Transit Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315010; 2. School of Civil Engineering Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: Under the conditions of no sound barrier, fully-closed sound barrier, fully-closed sound barrier + ladder sleeper and fully-closed sound barrier + damping pad roadbed, noise tests were carried out in the first construction stage of Ningbo Rail Transit Line 1. There were 7 measuring points on each testing section. The sound pressure level and frequency spectrum curve of 12.5-20000 Hz were acquired, and the noise spectrum characteristics and noise reduction effect were analyzed under these conditions. The results show that when fully-closed sound barrier has been adopted, the noise reduction is the biggest and the noise reduction increases with the horizontal distance attenuation trend. When fully-closed sound barrier + ladder sleeper or fully-closed sound barrier + damping pad roadbed have been adopted, noise reduction increases further in all measuring points except point 1, and the vibration damping track ensures noise reduction of fully-closed sound barrier. Vibration damping track reduces the bridge-structure noise and increases wheel-rail noise. Fully-closed sound barrier + damping pad roadbed is better than fully-closed sound barrier + ladder sleeper.

Key words: rail transit; sound barrier; ladder sleeper; damping pad roadbed; effects on noise reduction