

市域轨道交通高架噪声影响因素与降噪效果分析*

王朝亮 邱海慧

(温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司, 325029, 温州)

摘要 [目的]为市域轨道交通高架噪声的控制和降噪措施应用提供建议。[方法]基于车辆-轨道动力学、轮轨振动声辐射和高架振动声辐射理论,建立市域轨道交通高架噪声预测模型,分析车速、与高架桥的距离、高架桥类型以及声屏障等因素对市域轨道交通高架噪声的影响。[结果及结论]车速 $>100\text{ km/h}$ 时,相比车速 $<100\text{ km/h}$ 情况,高架噪声增加量为 $1.8\sim 5.5\text{ dB(A)}$ 。单箱单室箱梁、单箱双室箱梁、U型梁引起的高架噪声峰值频段为 $50\sim 80\text{ Hz}$,其中峰值频率为 63 Hz 。在距离轨道中心线 7.5 m 位置,单箱双室箱梁在各高度点的噪声相对最低,单箱单室箱梁、U型梁梁侧的各高度点噪声比单箱双室箱梁的高出量分别为 $1.0\sim 4.1\text{ dB(A)}$ 和 $5.2\sim 10.6\text{ dB(A)}$ 。近轨声屏障高度高于轨面 0.90 m 及以上时,可保证在 500 Hz 频段有 7.0 dB(A) 的降噪效果,在 630 Hz 以上频段也均能保持明显的降噪效果。

关键词 市域轨道交通; 高架; 轮轨噪声; 降噪; 近轨声屏障

中图分类号 U270.1+6:U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.058

Analysis of Influencing Factors and Noise Reduction Effects of Viaduct Noise in City Rail Transit

WANG Chaoliang, QIU Haihui

(Wenzhou Mass Transit Railway Investment Group Co., Ltd., 325029, Wenzhou, China)

Abstract [Objective] It is aimed to provide advice for viaduct noise control in city rail transit and application of noise reduction measures. [Method] Based on theories of vehicle-track dynamics, wheel-rail vibration radiation, and viaduct structure vibration radiation, a prediction model for viaduct noise in city rail transit is established. The influence of factors such as train speed, distance from viaduct structure, viaduct type, and noise barriers on city rail transit viaduct noise is analyzed. [Result & Conclusion] When train speed exceeds 100 km/h , the viaduct noise increases by $1.8\sim 5.5\text{ dB(A)}$ compared to train speeds below 100 km/h . For single-cell single-box girders, single-cell double-box girders, and U-shaped gird-

ers, the peak frequency range of viaduct noise is $50\sim 80\text{ Hz}$, with a peak frequency at 63 Hz . At a distance of 7.5 m from the track centerline, the single-cell double-box girder demonstrates the lowest noise levels at all heights, whereas noise levels at the girder sides of single-cell single-box girders and U-shaped girders are higher by $1.0\sim 4.1\text{ dB(A)}$ and $5.2\sim 10.6\text{ dB(A)}$, respectively, compared to single-cell double-box girders. Near-track noise barriers with heights of 0.90 m or more above the track surface ensure a noise reduction effect of 7.0 dB(A) at 500 Hz frequency band, with noticeable noise reduction effects maintained across frequencies above 630 Hz .

Key words city rail transit; viaduct; wheel-rail noise; noise reduction; near-rail noise barrier

市域轨道交通列车较高速运行时所引起的高架段噪声已经成为影响沿线居民的重要环境问题^[1-2]。市域列车轮轨间动态接触作用持续引发轮轨噪声,再通过空气传播到高架外形成噪声传播^[3]。可见,市域轨道交通高架线路噪声源和噪声传播路径等的影响因素仍然不可忽视。

文献^[4-5]的研究表明,轨道交通基础结构、列车速度等因素都直接影响噪声的级别与传播路径。高架桥结构的结构特征和声反射效应又会加剧噪声程度^[6-7]。因此,现有轨道交通高架噪声研究主要分别针对速度条件^[8]、桥梁结构自身振动和噪声^[9-10]、声屏障^[11-13]等单方面开展,没有综合考量市域列车运行所引起的轮轨噪声和桥梁噪声,由此会影响市域轨道交通高架噪声影响因素和降噪效果的量化确定。

本研究基于车辆-轨道动力学、轮轨振动声辐射和高架振动声辐射理论,建立市域轨道交通高架噪声综合预测模型,模拟高架噪声形成和传播过程,分析市域轨道交通实际运行速度、与高架桥的距离、高架桥类型以及传播路径等影响因素对高架噪声的影响程度,量化桥上直立式声屏障和近轨声屏

* 浙江省交通运输厅科技计划项目(2023024)

障等的降噪措施的降噪效果,为市域轨道交通高架降噪提供依据和参考。

1 分析方法

为模拟市域轨道交通列车在高架桥上运行所引起的轮轨噪声和桥梁噪声,首先基于车辆-轨道动力学理论^[14]建立车辆-轨道相互作用模型。之后,根据车轮和钢轨的粗糙度谱合成轮轨组合谱^[15],得到不同工况下轮轨相互作用的时间-力幅值谱,经傅里叶变换得到轮轨力频谱,作为车辆-轨道系统的激励输入。再次,分别建立车轮、钢轨的三维有限元声辐射模型,将轮轨相互作用力作为激励输入到上述有限元模型中,得到车轮、钢轨和高架桥上任一点的振动响应。最后利用声辐射效率,计算轮轨、桥梁的辐射声功率,采用边界元的方法求解 Helmholtz 方程,得到声场中任意点处的声压及结构的声辐射功率和声辐射效率,实现对高架桥轮轨系统噪声至桥外噪声分析。

1.1 车辆-轨道动力学模型

在车辆-轨道动力学模型中考虑了车辆-轨道的相互作用,即当列车在轨道上运行时,车辆荷载通过轮轨接触传递给钢轨,使其产生振动与变形。钢轨振动与变形反过来又影响轮轨动力相互作用。本文的车辆模型参考了市域轨道交通 D 型车结构^[16],由车体、构架及轮对共 7 个刚体组成,每一个刚体考虑横向、垂向、侧滚、摇头、点头 5 个自由度。因此,每辆车共有 35 个自由度。轨道为无砟轨道,由钢轨、扣件、轨道板、水泥沥青砂浆调整层、混凝土支承层或钢筋混凝土底座等组成。

1.2 轮轨振动声辐射模型

轮轨振动声辐射模型由 CHN60 廓形的钢轨、LM 踏面的车轮三维实体有限元模型组成,轮轨均采用 SOLID45 八节点实体单元。为兼顾轮轨振动计算精度和计算效率,所选用的车轮为半轴车轮,在车轮上施加轴肩式约束,同时约束轴肩处的 6 个自由度,对车轴的端部则进行对称约束,除去车轴的弹性弯曲和伸缩振型;钢轨每个节点有沿 X、Y、Z 3 个方向的平动自由度,钢轨横截面被划分为 132 个单元,纵向单元长度间距为 0.01 m,如图 1 所示。车轮和钢轨的弹性模量均为 2.06×10^{11} Pa,泊松比为 0.3,密度为 $7\ 850\text{ kg/m}^3$,阻尼比为 0.01。

将车轮和钢轨有限元模型导入声学软件中,根据轮轨及高架桥位置及周边关系,建立轮轨系统边

界元模型及高架周围场点布置,如图 2 所示。

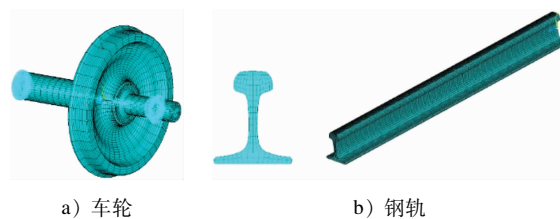


图 1 轮轨三维实体有限元模型

Fig. 1 Three-dimensional solid finite element model of wheel and rail

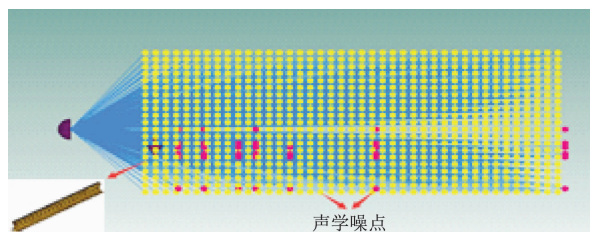


图 2 轮轨系统边界元模型及高架周围场点布置

Fig. 2 Layout of wheel-rail system boundary element model and viaduct surrounding field points

图 2 中,轮轨系统及高架周围噪声场点网格布置如下:在钢轨高度方向上,从地面至高于地面 50 m 处,每 2.5 m 设置一个场点;水平方向上,从桥梁中心线至距离桥梁中心线 120 m 处,每 3.0 m 设置一个场点。此外,再设置一些单独典型场点,分别距线路靠近声场侧的轨道中心线 7.5 m、15.0 m、25.0 m、30.0 m、40.0 m、65.0 m、120.0 m,高度分别为高于地面 1.2 m、与轨面等高、轨面以上 1.2 m、轨面以上 3.5 m、轨面以上 5.0 m、轨面以上 10.0 m,共计 903 个场点。

这样,将车辆-轨道动力学模型得到的不同车速下的轮轨相互作用力作为垂向激励作用于轮轨上,就可得到车轮和钢轨的振动响应,并将其作为声学边界条件。

1.3 高架噪声计算

轮轨滚动噪声由钢轨辐射噪声的均方声压和车轮辐射噪声的均方声压组成,计算公式^[17]为:

$$p_{\text{total}}^2 = 2 \left[\frac{\sigma_R (\rho c)^2 (r_F + r_H)}{4d} Y_R^2 + \frac{(\sigma_w + A_w) (\rho c)^2}{4dvt} \dot{Y}_w^2 \right] \quad (1)$$

式中:

p_{total}^2 ——轮轨辐射噪声的均方声压;

σ_R ——钢轨竖向振动效率;

r_F, r_H ——钢轨底部和头部宽度;
 d ——观察点到钢轨的垂直距离;
 ρ ——空气密度;
 c ——空气中的声速;
 \dot{Y}_R ——钢轨接触点处的法向振动加速度;
 σ_w ——车轮径向辐射效率;
 A_w ——车轮径向辐射面积;
 v ——车轮滚动速度;
 t ——时间;
 Y_w ——车轮接触点处的法向振动加速度。

由式(1)可得到声场中任意场点的轮轨噪声值。

计算桥梁结构噪声时,将轮轨力施加到桥梁有限元模型上,得到桥梁动力响应。再将桥梁动力响应作为声学边界条件施加到上述统计能量分析模型上。

采用边界元法求解桥梁结构噪声时,箱梁结构声辐射的 Helmholtz 方程表达式为:

$$(\nabla^2 + k^2)p = 0 \quad (2)$$

式中:

∇^2 ——拉普拉斯算子;
 k ——声波波数, $k = \omega/c$, 其中 ω 为圆频率。

1.4 高架桥振动声辐射模型

基于统计能量原理,考虑地面及桥面板对轮轨噪声的隔声及反射作用,进一步建立车体-高架-地面噪声的统计能量分析模型,将计算得到的轮轨激励施加到桥上轨道位置,计算桥外噪声在轮轨噪声和桥梁二次噪声共同作用下的分布特性。

与图2所示范围相同,这里选取温州市域铁路S1线的典型桥梁跨中位置长度为2 m的截面作为分析对象,高于地面50 m、近轨侧距离桥梁中心线120 m内的范围作为声场预测范围。利用声学软件建立由车体、桥梁和周围空气三个子系统组成的声学系统模型,能量在各个子系统之间流动。其中车体和箱梁内部因对声传播有隔断作用,故在这两处位置不设声腔;在车体底部轮轨接触位置设置声腔,其中作用轮轨声激励;车体外围9.0 m×12.5 m范围内的单元空腔尺寸为0.5 m×0.5 m×2.0 m;其余声场范围内声腔为3.0 m×2.5 m×2.0 m的长方体声腔,箱梁和地面采用板单元模拟,模型示意图如图3所示。各点噪声由轮轨噪声和桥梁结构噪声叠加得到。

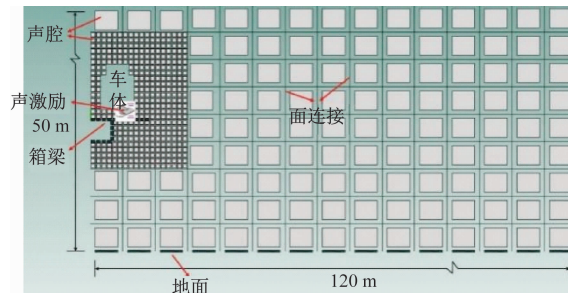


图3 高架噪声统计能量分析模型及场点布置

Fig. 3 Statistical energy analysis model and field point layout for viaduct noise

1.5 模型验证

采用第1.1节—第1.4节的高架噪声计算方法,计算列车以90 km/h的速度通过温州市域铁路S1线单箱单室箱梁时引起的高架综合噪声,并将其与列车以94 km/h的速度通过同等条件下高架线时引起的综合噪声现场实测结果进行对比。对比点分别为距离轨道中心线7.5 m和25.0 m、相应轨面以上1.2 m和3.5 m的4处测点,结果如图4所示。

从图4可以看出,仿真得到的高架综合噪声总体频率分布在40~125 Hz和250~2 500 Hz两个频段,前者主要由高架结构噪声引起,后者主要由轮轨噪声引起。实测数据和仿真数据在这两个频段均有较好吻合。在40~125 Hz频段中,峰值频率80 Hz处的噪声预测值较实测值略高2.6~4.8 dB(A);在250~2 500 Hz频段中,峰值频率630 Hz处的噪声预测值较实测值略高0.5~3.6 dB(A)、1 000 Hz处的噪声预测值较实测值略低2.4~7.2 dB(A)。相应偏差与现场实际条件、列车运行瞬时速度等因素有关,但仿真模型预测的噪声频率分布特征、幅值情况、峰值及对应频率能够较为准确地反映市域列车通过高架时引起的高架综合噪声。

2 影响因素及降噪效果分析

2.1 车速影响

考虑温州市域铁路S1线的实际运行速度,采用轮轨噪声数值模型分别计算列车以60、90、120、140 km/h的速度通过温州铁路S1线某高架段时引起的轮轨噪声。图5为不同车速下高架轮轨噪声的空间分布云图。

从图5可以看出:高架噪声随车速的增大而增大,同时随距离的增大而衰减。在高架外不同高度、不同距离处的各典型场点,噪声随车速的分布

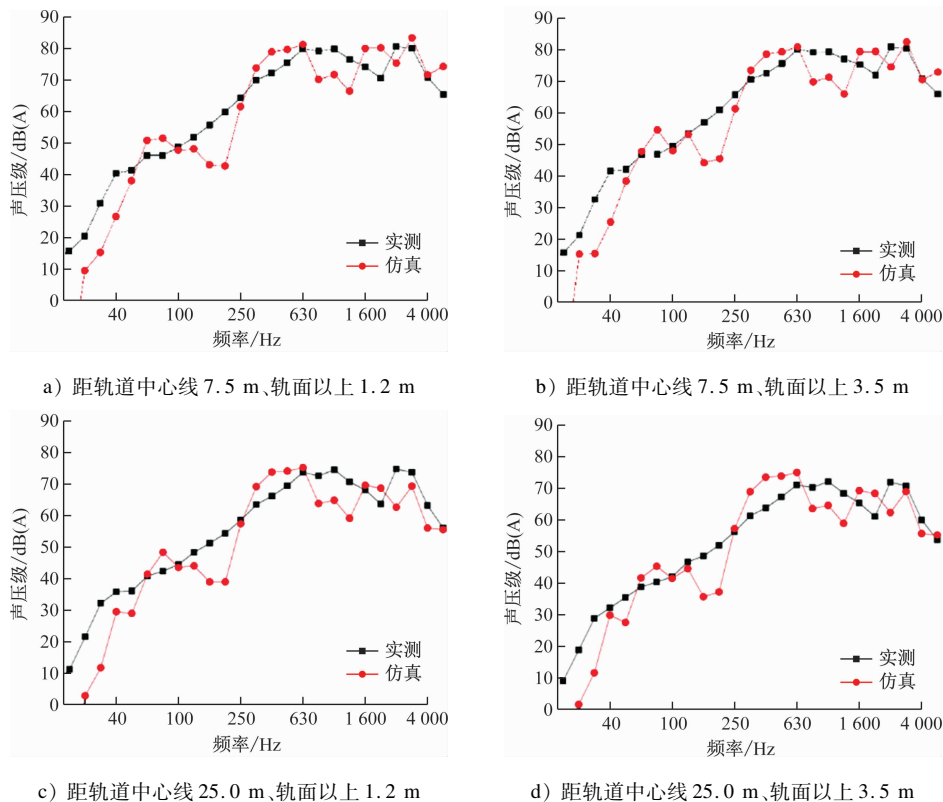
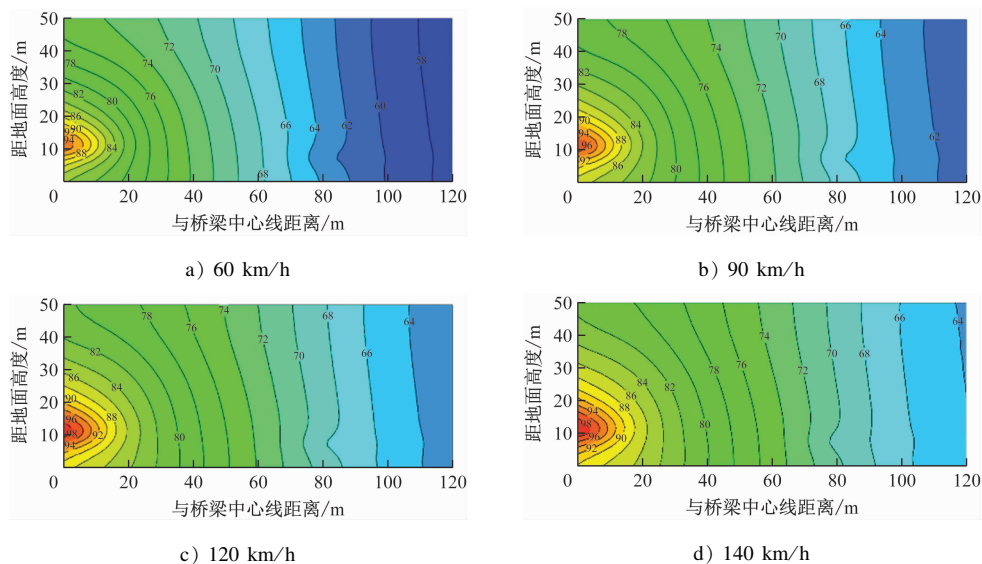


图 4 高架噪声计算值和实测值对比

Fig. 4 Comparison of calculated and field measured viaduct noise values



单位: dB(A)

图 5 高架噪声空间分布云图

Fig. 5 Nephogram of viaduct noise spatial distribution

规律、变化趋势基本一致。在高架附近的 10 m 范围内,噪声保持较高程度,60、90、120、140 km/h 速度下对应的噪声范围分别是 86 ~ 94、90 ~ 96、92 ~ 98、92 ~ 98 dB(A),均大于 85 dB(A);至距离轨道中心

100 m 处,在无降噪措施情况下,上述速度下对应的噪声范围分别降低到了 58 ~ 60、62 ~ 64、64 ~ 66、66 ~ 68 dB(A),即高架桥外噪声随距离呈递减趋势,平均每 10 m 递减约 2.6 ~ 3.4 dB(A)。相同距离、不

同高度处各场点的噪声幅值相差约为 6~8 dB(A)。如距离轨道中心线 20 m 位置、距离地面 10~50 m 的高度,60、90、120、140 km/h 速度下,对应的噪声范围分别是 72~80、76~84、78~86、80~88 dB(A),而在同一高度处,不同场点的噪声随着与轨道中心线距离的增大而衰减,无论速度多少,至 100 m 外的噪声降低幅度基本在 26~34 dB(A)。

为了定量的分析车速对噪声的影响规律,表 1 给出了不同车速下距轨道中心线 7.5 m 处各典型场点的轮轨噪声总声压级。

表 1 不同车速下距轨道中心线 7.5 m 处典型场点的噪声总声压级

Tab.1 Total noise sound pressure level (SPL) at typical points 7.5 m from rail centerline under different train speed conditions

车速/ (km/h)	不同车速下、不同位置处噪声总声压级/dB(A)					
	地面以 上 1.2 m	轨面以 上 0 m	轨面 以上 1.2 m	轨面 以上 3.5 m	轨面 以上 5.0 m	轨面 以上 10.0 m
60	82.78	86.86	87.37	86.57	85.16	82.69
90	85.54	88.91	89.36	88.66	87.44	85.34
120	87.30	90.90	91.37	90.64	89.36	87.14
140	88.32	91.57	92.01	91.34	90.16	88.10

从表 1 可以看出,高架噪声规律与上述分析相符,在轮轨位置噪声最大,各点噪声随着车速的提高而增大。列车以 60 km/h 的速度通过温州市域铁路 S1 线某高架段时,距离轨道中心线 7.5 m 处、轨面以上 5 m 的噪声约为 85.16 dB(A);当车速增大到 120 km/h 时,该点的噪声增大到 89.36 dB(A),即车速提高 1 倍,距离外轨中心线 7.5 m、轨面以上 5 m 处的高架噪声增大约 4.2 dB(A),该距离的其他高度上的噪声增量为 4.0~4.5 dB(A)。以 60 km/h 为基准速度,速度提高到 90 km/h 时,距离外轨中心线 7.5 m 的各高度位置的噪声增量为 2.0~2.8 dB(A);速度提高到 140 km/h 时,距离外轨中心线 7.5 m 的各高度位置的噪声增量为 4.6~5.5 dB(A)。由此可见:对于市域轨道交通,车速 > 100 km/h 情况下的高架噪声比车速 < 100 km/h 情况下的约增加 1.8~5.5 dB(A);反之,车速降低,高架噪声将随之降低相同的量值。

2.2 结构影响

梁型主要影响桥梁结构噪声的大小,而对轮轨噪声的大小影响较小^[18]。梁型对轮轨噪声的影响

主要体现在改变轮轨噪声的传播路径,例如 U 型梁腹板对轮轨噪声有一定的遮蔽作用,但由于 U 型梁腹板一般仅高于轨面 1 m 左右^[19],因此对轮轨噪声的遮蔽作用也很有限。考虑梁型对桥梁结构噪声的影响,而忽略其对轮轨噪声的影响,通过叠加桥梁结构噪声和轮轨噪声,得到梁型对高架综合噪声的影响。

图 6 为列车以 120 km/h 的速度通过单箱单室箱梁、单箱双室箱梁、U 型梁时,距离轨道中心线 7.5 m、轨面以上 1.2 m 位置处的高架噪声。

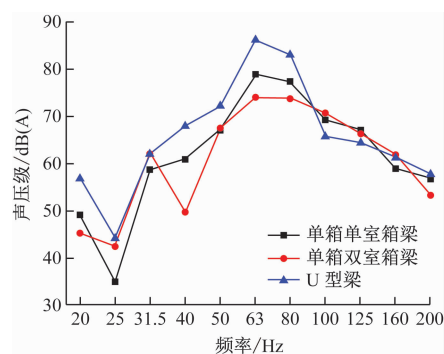


图 6 不同桥梁结构高架噪声频谱

Fig. 6 Viaduct noise spectrum with different viaduct structural forms

由图 6 可见:列车以 120 km/h 的速度通过单箱单室箱梁、单箱双室箱梁、U 型梁时,各梁型引起的高架噪声峰值频段在 50~80 Hz,峰值频率基本在 63 Hz。其中,U 型梁的桥梁结构噪声最大,单箱单室箱梁的桥梁结构噪声次之,单箱双室箱梁的桥梁结构噪声最小。

为了定量分析梁型对桥梁结构噪声的影响规律,表 2—表 4 列出了列车以 120 km/h 速度分别通过 3 种梁型时各典型场点的高架噪声总声压级。

从表 2—表 4 可以看出,与单箱双室箱梁的高架噪声总声压级相比,以距离轨道中心线 7.5 m 位置为例,单箱单室箱梁梁侧的各高度点噪声高出约 1.0~4.1 dB(A),U 型梁梁侧的各高度点噪声高出约 5.2~10.6 dB(A);至距离轨道中心线 15.0 m 以外,单箱单室箱梁和 U 型梁梁侧噪声比单箱双室箱梁的梁侧噪声分别高 0.6~3.8 dB(A)和 2.8~10.3 dB(A);至距离轨道中心线 30.0 m 以外,单箱单室箱梁和 U 型梁的梁侧噪声比单箱双室箱梁的分别高 2.1~3.2 dB(A)和 7.3~9.5 dB(A)。由此可见:在以桥型结构噪声为主的情况下,U 型梁引起的高架噪声较明显,可进一步考虑采用降低 U 型

表 2 列车以 120 km/h 速度通过单箱单室箱梁时典型场点高架噪声总声压级

Tab.2 Total SPL of viaduct noise at typical field points with train passing through single-cell single-box girders at 120 km/h

位置	不同位置处、与轨道中心线不同距离处 噪声总声压级/dB(A)						
	7.5 m	15.0 m	25.0 m	30.0 m	40.0 m	65.0 m	120.0 m
轨面以上 10.0 m	84.60	80.20	77.15	75.31	72.88	68.56	61.24
轨面以上 5.0 m	84.77	80.23	74.99	75.08	71.76	68.11	60.97
轨面以上 3.5 m	83.58	79.84	75.43	75.61	71.33	67.25	60.51
轨面以上 1.2 m	81.75	78.75	77.03	74.26	72.44	65.56	59.58
轨面以上 0 m	81.48	77.82	76.51	73.24	73.07	64.87	59.11
地面以上 1.2 m	81.43	80.63	77.18	75.76	73.26	68.77	64.39

表 3 列车以 120 km/h 速度通过单箱双室箱梁时典型场点高架噪声总声压级

Tab.3 Total SPL of viaduct noise at typical field points with train passing through single-cell double-box girders at 120 km/h

位置	不同位置处、与轨道中心线不同距离处 噪声总声压级/dB(A)						
	7.5 m	15.0 m	25.0 m	30.0 m	40.0 m	65.0 m	120.0 m
轨面以上 10.0 m	80.48	78.13	72.59	73.04	69.60	65.41	60.65
轨面以上 5.0 m	81.14	77.33	74.77	72.41	68.16	64.48	59.89
轨面以上 3.5 m	79.87	76.02	74.26	72.43	68.32	63.83	59.06
轨面以上 1.2 m	78.66	76.20	74.51	71.61	69.36	63.67	57.31
轨面以上 0 m	79.06	76.97	74.45	71.10	69.79	63.98	56.26
地面以上 1.2 m	80.41	80.02	75.65	73.53	70.14	66.35	62.51

梁的结构噪声的措施;单箱单室箱梁比单箱双室箱梁的结构噪声略高。

2.3 传播路径影响

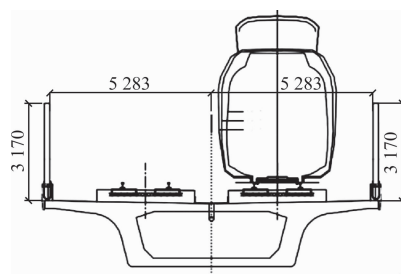
考虑单箱单室箱梁条件下,在桥上设置直立式声屏障和近轨声屏障,以达到在轮轨噪声源头附近及其传播路径上采取降噪措施进行降噪的目的。

表 4 列车以 120 km/h 速度通过 U 型梁时典型场点高架噪声总声压级

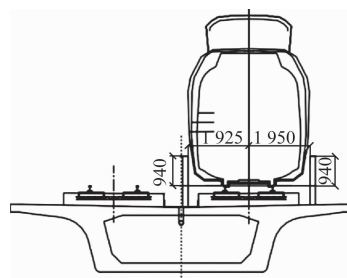
Tab.4 Total SPL of viaduct noise at typical field points with train passing through U-shaped girders at 120 km/h

位置	不同位置处、与轨道中心线不同距离处 噪声总声压级/dB(A)						
	7.5 m	15.0 m	25.0 m	30.0 m	40.0 m	65.0 m	120.0 m
轨面以上 10.0 m	86.26	83.05	81.40	81.73	79.26	76.42	66.31
轨面以上 5.0 m	87.15	85.97	82.13	81.74	76.37	77.37	59.72
轨面以上 3.5 m	86.20	86.30	82.74	81.09	77.38	76.85	59.51
轨面以上 1.2 m	88.07	82.50	82.90	78.94	79.96	75.01	62.54
轨面以上 0 m	89.63	79.79	81.85	78.42	80.95	73.39	64.31
地面以上 1.2 m	85.64	85.59	83.86	83.07	81.43	77.43	71.55

分别是:在桥梁栏杆处设置 3.17 m 高的直立式声屏障,在近轨处距离轨道中心线 1.95 m 处设置高于轨面 0.94 m 的近轨声屏障,如图 7 所示。分别计算列车以 120 km/h 速度通过时的轮轨噪声,并叠加桥梁结构噪声。



a) 3.17 m 高的直立式声屏障



b) 高于轨面 0.94 m 的近轨声屏障

尺寸单位:mm

图 7 声屏障设置情形

Fig. 7 Noise barrier set-up conditions

图8 为不同声屏障情况下距轨道中心线 7.5 m、轨面以上 1.2 m 处的高架综合噪声频谱。

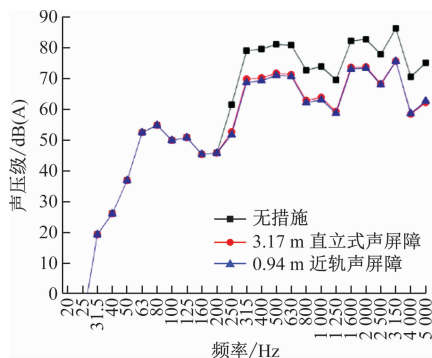


图8 有声屏障情况下高架综合噪声频谱对比(车速 120 km/h)

Fig. 8 Comparison of viaduct comprehensive noise spectrum with and without sound barriers (train speed of 120 km/h)

由图8中可见:相比无降噪措施情况,直立声屏障和近轨声屏障在200~5 000 Hz频段均能达到明显的降噪效果。梁侧直立声屏障的降噪量为4~11 dB(A),平均降噪量约为7.1 dB(A);近轨声屏障的降噪量为5~11 dB(A),平均降噪量约为7.9 dB(A)。两种情况下的主要贡献频段均为250~5 000 Hz,近轨声屏障的降噪效果略优于梁侧直立声屏障。此外,桥梁栏杆处设置3.17 m的直立声屏障与在近轨处设置0.94 m高的近轨声屏障的降噪效果基本相似。

对分别高于轨顶面0.80 m、0.90 m、0.94 m和1.00 m的近轨声屏障降噪效果进行进一步分析。分别计算这些情况下列车以120 km/h速度通过时的轮轨噪声,并叠加桥梁结构噪声。

图9为近轨声屏障不同高度情况下距轨道中心线7.5 m、轨面以上1.2 m的高架综合噪声频谱。

由图9可见,近轨声屏障高度对其降噪效果有一定影响,随着其距离轨面的高度增加,降噪效果略有提升,主要贡献的噪声频段为250~5 000 Hz。近轨声屏障高度分别高于轨面0.80 m、0.90 m、0.94 m、1.00 m时,在频率500 Hz处的降噪效果分别约为6.9、7.7、7.9、8.0 dB(A),即近轨声屏障高度从0.80 m增大到0.90 m,500 Hz频段的降噪性能提高约0.8 dB(A);从0.90 m增大到1.00 m,降噪性能仅提高约0.3 dB(A)。因此,在实际工程中,近轨声屏障高度可高于轨面0.90 m及以上,由此保证在500 Hz频段有7.0 dB(A)的降噪效果,同时在

630 Hz以上频段也均能保持明显的降噪效果。

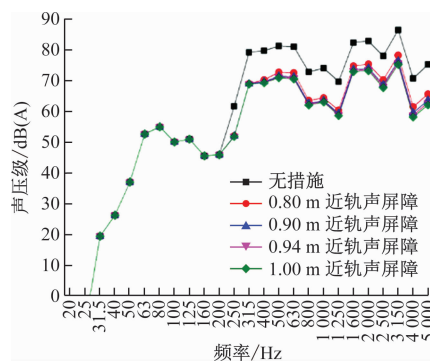


图9 不同高度近轨声屏障情况下高架综合噪声频谱(车速 120 km/h)

Fig. 9 Viaduct comprehensive noise spectrum of near-rail sound barriers with different heights (train speed of 120 km/h)

3 结语

建立了以车辆-轨道动力学、轮轨振动声辐射和高架桥噪声模型为基础的市域轨道交通高架噪声综合预测模型并得到实测验证,结合行车速度、桥梁结构和声屏障类型等,分析了市域轨道交通高架线噪声影响因素及降噪措施的降噪效果,主要结论如下:

1) 轮轨噪声是市域轨道交通高架线主要噪声源,轮轨噪声随着与外轨中心线距离的增大而衰减。

2) 车速从60 km/h提高至120 km/h,距离外轨中心线7.5 m的各个高度上噪声增量为4.0~4.5 dB(A)。车速>100 km/h时,相比车速<100 km/h的情况,高架噪声增加量为1.8~5.5 dB(A)。

3) 单箱单室箱梁、单箱双室箱梁、U型梁引起的高架噪声峰值频段在50~80 Hz,峰值频率基本在63 Hz。以距离轨道中心线7.5 m为例,相比单箱双室箱梁,单箱单室箱梁梁侧的各高度点噪声高量为1.0~4.1 dB(A),U型梁梁侧的各高度点噪声高量为5.2~10.6 dB(A)。

4) 当选用近轨声屏障时,其高度高于轨面0.90 m及以上时,可保证在500 Hz频段的降噪效果有7.0 dB(A),在630 Hz以上频段也均能保持明显的降噪效果。

参考文献

[1] 谭文,俞泉瑜,曹明华,等. 城轨交通高架线噪声控制指标及

- 限值探讨[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(1): 120.
- TAN Wen, YU Quanyu, CAO Minghua, et al. Controlling target and limit of viaduct noise in urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(1): 120.
- [2] BASNER M, BABISCH W, DAVIS A, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health [J]. Lancet, 2014, 383 (9925): 1325.
- [3] KIM R. Environmental impact of urban rail systems; a comprehensive assessment [J]. Urban Planning and Development, 2023, 151(1): 45.
- [4] HANSON D J. The role of urban rail noise in environmental health risk management [J]. Environmental Research, 2020, 184: 109301.
- [5] LI Q, THOMPSON D. Railway noise and vibration; modeling, analysis, and control[J]. Journal of Sound and Vibration, 2021, 448: 225.
- [6] 冯立力, 许永富, 尹铁锋, 等. 宁波轨道交通高架线路现场振动测试与分析[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(4): 92.
- FENG Lili, XU Yongfu, YIN Tiefeng, et al. On-site vibration test and analysis of Ningbo rail transit elevated line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(4): 92.
- [7] 尚婷, 钟昊, 肖思航, 等. 城市轨道交通大跨度桥梁轮轨噪声实测与分析[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(3): 117.
- SHANG Ting, ZHONG Hao, XIAO Sihang, et al. Measurement and analysis of wheel - rail noise in long-span bridges of urban rail transit systems [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2024, 37 (3): 117.
- [8] 张良涛. 轨道交通桥梁结构噪声影响及治理措施研究[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(2): 57.
- ZHANG Liangtao. Structural noise of rail transit bridge and its control measures [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33 (2): 57.
- [9] 雷晓燕, 张新亚, 罗锐. 高架轨道桥梁结构振动与噪声预测方法及控制研究进展[J]. 铁道学报, 2020, 42(12): 150.
- LEI Xiaoyan, ZHANG Xinya, LUO Kun. Research progress on prediction methods and control of vibration and noise of elevated track bridge structure[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(12): 150.
- [10] SONG L, GAO K, LIU Q, et al. Study on the structure-borne noise of U-shaped girder bridges with fully-enclosed sound barriers[J]. Applied Acoustics, 2023, 211: 109497.
- [11] LEE H P, LIM K M, KUMAR S. Noise assessment of elevated rapid transit railway lines and acoustic performance comparison of different noise barriers for mitigation of elevated railway tracks noise[J]. Applied Acoustics, 2021, 183: 108340.
- [12] 王朝亮, 张良涛, 宋立忠, 等. 市域铁路近轨声屏障降噪效果预测分析[J]. 噪声与振动控制, 2022, 42(6): 187.
- WANG Chaoliang, ZHANG Liangtao, SONG Lizhong, et al. Predication and analysis of noise reduction of near-rail sound barriers on suburban railways [J]. Noise and Vibration Control, 2022, 42(6): 187.
- [13] ZHANG Y, WANG B. Control of railway noise using advanced barrier and pad technologies[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 277: 111371.
- [14] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学理论的发展与工程实践[J]. 科学通报, 2022, 67(32): 3794.
- ZHAI Wanming. Development of vehicle-track coupled dynamics theory and engineering practice [J]. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(32): 3794.
- [15] BSI. Railway applications-acoustics measurement of noise emitted by rail bound vehicles; EN ISO 3095: 2013 [S]. London: British Standards Institution, 2013.
- [16] 陈明亮. 市域(郊)铁路车辆选型及列车编组研究[J]. 现代城市轨道交通, 2024(6): 6.
- CHEN Mingliang. Research on vehicle selection and train formation for urban region (suburban) railways [J]. Modern Urban Transit, 2024(6): 6.
- [17] 刘林芽, 雷晓燕, 练松良. 轨道交通轮轨滚动噪声的预测[J]. 振动与冲击, 2007, 26(12): 146.
- LIU Linya, LEI Xiaoyan, LIAN Songliang. Prediction of wheel/rail rolling-noise during rail transit [J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26(12): 146.
- [18] LI Q, DAI B, ZHU Z, et al. Comparison of vibration and noise characteristics of urban rail transit bridges with box-girder and U-shaped sections[J]. Applied Acoustics, 2022, 186: 108494.
- [19] SONG X, LI Q. Numerical and experimental study on noise reduction of concrete LRT bridges[J]. Science of the Total Environment, 2018, 643: 208.
- 收稿日期: 2024-06-10 修回日期: 2024-08-15 出版日期: 2025-01-10
Received: 2024-06-10 Revised: 2024-08-15 Published: 2025-01-10
• 通信作者: 王朝亮, 正高级工程师, 641171001@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

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt 1998. tongji. edu. cn