

DOI:10.19951/j.cnki.1672-9331.20220726009

文章编号:1672-9331(2023)01-0075-11

引用格式:吴伟,廖公云,张乾坤,等.典型城市高架道路噪声环境降噪措施[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(1):75-85.

Citation: WU Wei, LIAO Gongyun, ZHANG Qiankun, et al. Noise-reduction measures for typical noise environments of the roads on urban viaduct[J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2023, 20(1): 75-85.

典型城市高架道路噪声环境降噪措施

吴伟¹, 廖公云², 张乾坤¹, 李依纯², 浦玉炳¹, 刘晓东¹

(1. 合肥市市政设计研究总院有限公司, 安徽 合肥 230041; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 211189)

摘要:【目的】采用数值模拟手段确定与典型城市高架道路噪声环境相匹配的降噪措施。【方法】结合合肥市包公大道改建城市高架道路实体工程,采用SoundPLAN软件,建立3种典型城市高架道路声环境数字模型(包括改建高架桥、已有城市建筑、降噪措施等),分析不同降噪措施下的降噪效果;以声环境限值为标准,推荐典型声环境条件下的城市高架道路降噪方案。【结果】对于4a类声环境功能区,采用降噪路面即可满足环境噪声限值要求;对于2类声环境功能区,需要联合采用降噪路面+直立型声屏障,必要时结合货车禁行等交通管制措施;对于1类声环境功能区,条件允许时优先考虑设置降噪路面+全封闭式声屏障;随着声环境限值要求的提高,所需采取的城市高架道路降噪措施将更加严格,所需建设成本也更高。【结论】不同城市高架道路噪声环境需要匹配不同的降噪措施,本文研究成果可为改建城市高架道路降噪方案的设计与优选提供参考。

关键词:防护工程;降噪措施;SoundPLAN;城市高架道路;交通噪声;声环境功能区

中图分类号:U417.1

文献标志码:A

0 引言

随着城市化水平的不断提高,汽车保有量急剧增加,许多城市在交通设计规划中采用高架道路来缓解土地资源紧缺和城市路网的交通压力。相对于地面道路,高架道路车流量大、行车速度快,沿线噪声水平更高;同时高架道路一般距地面道路10 m以上,导致高架道路声源位置更高、噪声辐射范围更广(不利),但设置声屏障时的声影区范围也更大(有利);此外由于空间限制,给安装降噪设施带来了较大困难。

文献[1]将声环境功能区划分为五类,城市高架道路所属的三类声环境区域分别为1类、2类和4a类声环境功能区,其中1类要求最高,即昼间环境噪声等效声级限值为55 dB(A),夜间为

45 dB(A)。

蒲琪^[2]通过检测深圳特区道路的交通噪声,发现有30.2%的道路噪声超标,而噪声值最高点往往出现在高架桥附近。叶剑等^[3]对温岭市高架道路4a类声环境功能区进行监测,结果显示该区域的昼间噪声值为64.2~77.6 dB(A),夜间为56.1~70.2 dB(A),说明大部分时间段该区域噪声值已超过城市高架声环境噪声限值。可见,高架道路交通噪声超限现象普遍存在,采取针对高架道路的降噪措施刻不容缓。

目前减小道路交通噪声的手段主要有:设置声屏障或绿化带、采用降噪路面、使用交通管制、优化周边建筑物规划设计等。QU^[4]针对高架道路,提出绿化声屏障设计方法,即在桥上设置花槽、在桥下设置绿化带和在桥墩种植爬山虎;YU等^[5]认为将高架道路抬高至20 m,可有效降低噪

收稿日期:2022-07-26;修回日期:2022-09-17;接受日期:2022-10-17

基金项目:安徽省住房和城乡建设厅科学技术计划项目(2020-YF05)

通信作者:廖公云(1975—)(ORCID:0000-0001-8157-3991),男,副教授,主要从事功能路面结构与材料以及数值模拟方面的研究。E-mail:lg@seu.edu.cn

声强度。蔡铭等^[6]通过对南京奥林匹克体育中心周边噪声进行实测和修正机动车噪声排放模型,确定了限流、限速和设置管辖区的综合降噪方案,该方案可将噪声降低 11.1 dB(A)。程明杨^[7]基于深圳爱国路高架使用 SoundPLAN 模型,预测了不同型式声屏障的降噪效果,认为折弯式声屏障的降噪效果比直板式声屏障的好。这些研究表明,针对城市高架道路综合降噪措施的研究还不够深入,且很少对不同噪声环境的降噪措施进行分析。

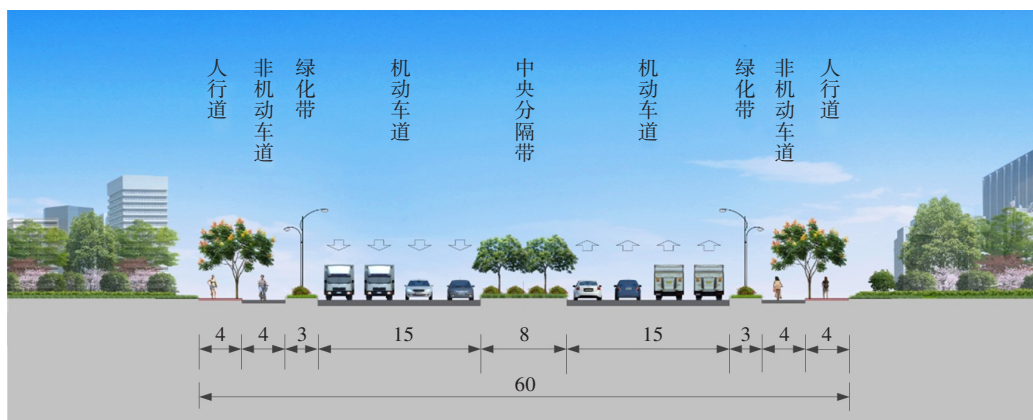
本研究拟采用 SoundPLAN 软件,结合工程实例,建立 3 种典型城市高架道路声环境模型,分析不同降噪措施下的降噪效果,推荐不同声环境条件下的降噪方案,以期为城市高架道路(尤其是已有城市设施改建城市高架道路)降噪措施的优选与实施提供参考。

1 实体工程与噪声模型

1.1 实体工程概况

合肥市包公大道原长约 15.5 km 的东西方向双向 8 车道地面主干路,其横断面如图 1(a)所示。为提高道路通行能力,已对包公大道主干路沿线进行升级改造,其中已在云锦路-龙兴大道路段建设高架快速路,即在原有主干路上方架设桥梁(双向 6 车道),对地面主干路沿线进行相应改造。

该城市高架道路(桩号为 K12+800~K13+900 的路段)沿线现状声环境功能区主要包括:以文化教育、医疗卫生、居民住宅、行政办公为主的 1 类声环境功能区,以商业金融、集市贸易为主的 2 类声环境功能区,以及城市快速路两侧无特殊噪声敏感区的 4a 类声环境功能区,如图 1(b)所示。这些



(a) 现状横断面(单位:m)



(b) 部分路段实景图

图1 合肥市包公大道

Fig. 1 Baogong Road of Hefei City

现状声环境为后续典型声环境数值模型的建立提供了依据。

1.2 噪声模型的建立

本研究采用德国SoundPLAN噪声预测软件建立噪声模型。该软件的计算原理为:采用扇形模型,在接收点发射间隔为 1° 的“射线”覆盖所有要考虑的区域和实体,进行声场的计算。该软件包含的RLS90模型以等效连续A声级作为评价指标,包括声源模型和声传播模型,考虑了噪声在传播过程中的距离衰减修正、地表吸收和气候修正、遮挡物衰减修正等,适用于隔声结构降噪性能的模拟及评价^[8]。RLS90模型的表达式为:

$$L_{mi} = L_{mc} + D_i + D_s + D_{BM} - D_z \quad (1)$$

$$L_m = 10 \times \lg \sum_i 10^{0.1 \times L_{mi}} \quad (2)$$

式中: L_{mi} 为一条车道上第*i*段的平均声压级; L_m 为车道平均声压级; L_{mc} 为车道上车辆行驶产生的噪声级; D_i 为不同小段线声源的长度修正值; D_s 为距离衰减修正值; D_{BM} 为地表吸收和气候修正值; D_z 为遮挡物(建筑物或声屏障)衰减修正值。

在噪声模拟计算前,用户需要在软件中输入声源值或声源频谱值,而声传播模型由软件在模拟时根据式(1)~(2)自动计算。我国常采用的文献[9]中的噪声预测模型适用于我国道路交通环境交通噪声的预测。已有研究表明,德国RLS90模型的预测结果与文献[9]中噪声预测模型的预测结果相当^[10-12]。因此,本研究采用RLS90模型进行噪声预测。

取包公大道桩号K12+800~K13+900的高架路段建立数字地面模型。该高架路段车道宽度为3.75 m,左右两侧行车道宽度为13.50 m,中央分隔带和路缘带宽度为3.00 m,高架离地高度为12.00 m,设计速度为小客车80 km/h,货车60 km/h。该高架路段桥墩处的横截面如图2所示。

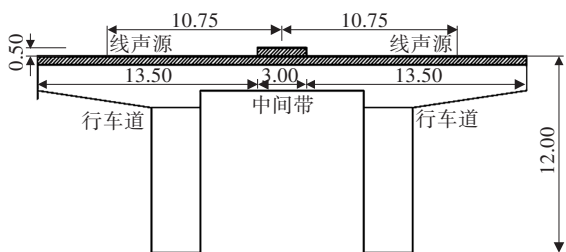


图2 城市高架道路桥墩处横截面(单位:m)

Fig. 2 Cross section of the road on urban viaduct near the pier (unit: m)

道路交通噪声被视为与道路中线平行的线声源,其距道路中线的距离为10.75 m。根据设计单位提供的本项目工程初步设计说明,本研究预测该路段2025年平均客货交通量为3 264 辆/h,其中昼间(6:00—22:00)交通量为4 485 辆/h,货车流量占总交通流量的10%;夜间(22:00—次日6:00)的交通量为822 辆/h,货车流量占总交通流量的3%。在SoundPLAN软件中设置道路类型、道路纵横断面、交通流组成、车辆速度等数据,确定昼间噪声源强度为74.4 dB(A),夜间噪声源强度为65.1 dB(A)。

根据道路平面设计资料和地图资料,建立高架道路建筑物模型。将建筑物的每一层高度均设置为3.0 m,在靠近高架道路一侧的每一层均设置一个受声点,每个受声点距每层底面的高度均为2.4 m。所建立的城市高架道路附近建筑物及受声点模型如图3所示(图中小圆圈为受声点)。

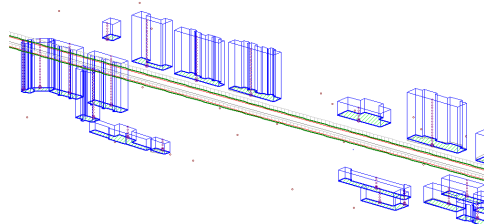


图3 城市高架道路附近建筑物及受声点模型

Fig. 3 Models of surrounding architectures and receiving points of the road on urban viaduct

2 结果与讨论

为便于理解降噪措施随声环境功能区限值要求的变化,本研究从限值要求相对宽松的4a类入手,以循序渐进的方式逐步研究限值要求较高的2类和1类声环境功能区合适的降噪措施(需综合考虑降噪需求、成本和耐久性)。值得注意的是,本研究聚焦城市高架道路的降噪措施,不考虑地面交通对高架道路噪声环境的影响。

2.1 4a类声环境功能区的降噪措施

4a类声环境功能区指的是公路或城市道路两侧一定距离内需要避免交通噪声对周围环境产生较大影响的区域。包公大道桩号为K13+600~K13+900的路段两侧主要包含东城公园和汽车4S店,故该区域属于4a类声环境功能区,如图4所示。汽车4S店仅有3层楼高,距离道路中线约100.00 m,根据SoundPlan软件计算得到汽车4S店处噪声强

度为昼间 67.0 dB(A), 夜间 57.7 dB(A); 东城公园靠近高架底部处的噪声强度为昼间 71.9 dB(A), 夜间 62.7 dB(A), 故选择东城公园处的受声点来设计降噪方案。

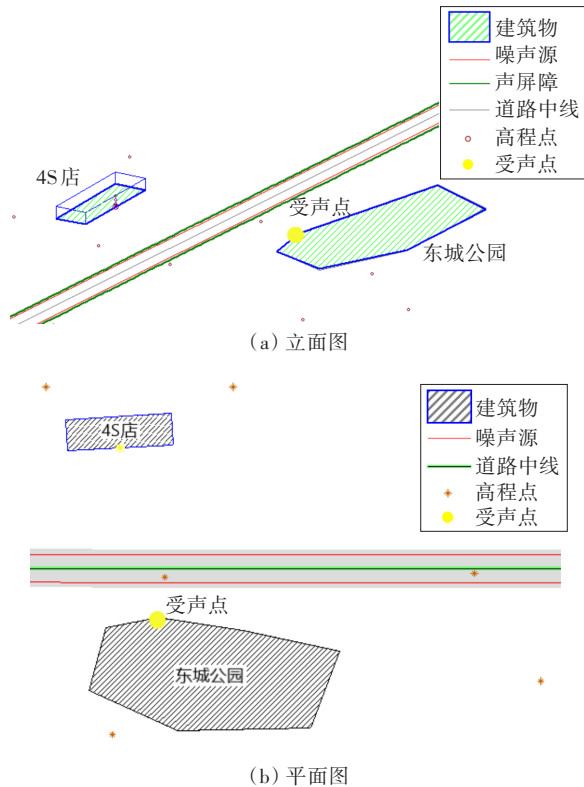


图4 包公大道桩号 K13+600~K13+900 路段受声点示意图

Fig. 4 Sound points of the Baogong Road from K13+600 to K13+900

对于 4a 类声环境功能区, 在未设置降噪措施时, 东城公园受声点处的声压级略微超过噪声限值, 即昼间 70 dB(A), 夜间 55 dB(A), 可考虑采取单种降噪措施。与声屏障相比, 低噪声路面的造价较低, 且不会影响驾驶员的视线, 故应优先考虑铺设低噪声路面^[13-14]。大量研究表明, 由于孔隙的黏滞效应和热效应, 排水沥青路面可以达到降噪 3~6 dB(A) 的效果^[15-17]。

合肥市年平均降雨量适中, 可采用铺设单层排水沥青路面, 同时在城市高架道路两侧砌筑 0.8 m 高混凝土防撞墙的降噪措施, 不再另外设置声屏障。在 SoundPLAN 软件中对采用排水路面前后的噪声水平进行预测。结果显示, 东城公园受声点处昼间噪声由 71.9 dB(A) 降为 57.4 dB(A), 夜间噪声由 62.7 dB(A) 降为 48.1 dB(A)。降噪措施设置前后的噪声分布如图 5 所示。

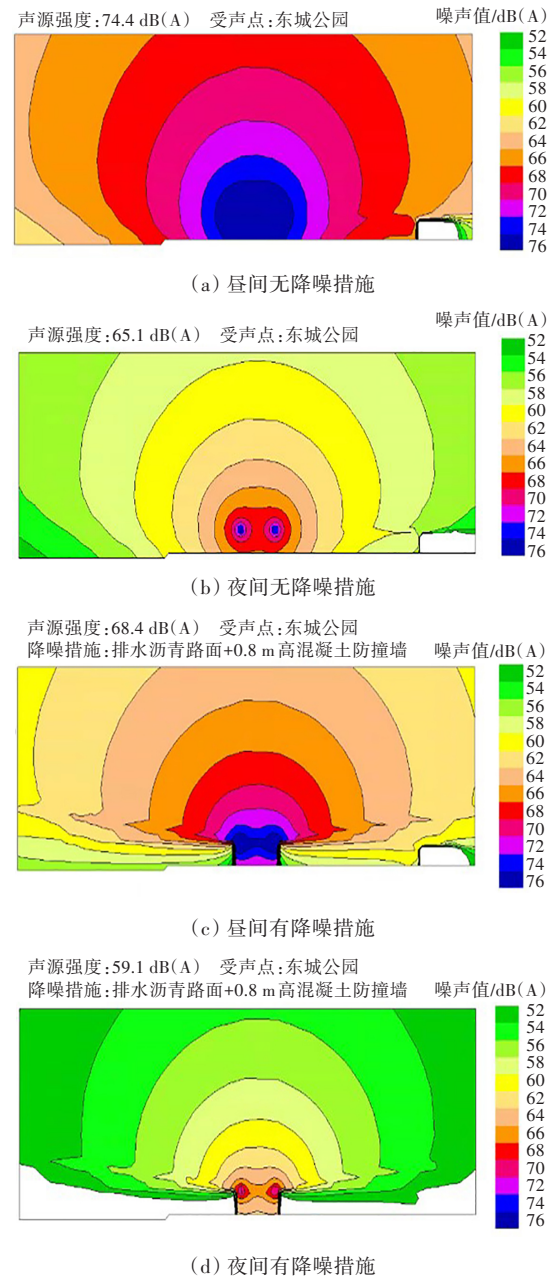


图5 4a类声环境功能区降噪前后的噪声分布图

Fig. 5 Sound maps before and after noise reduction for the 4a-class sound environment functional area

由图 5 可知, 在采用单层排水沥青路面+0.8 m 高混凝土防撞墙的降噪措施下, 高架道路两侧地面的声环境已经得到了有效改善。较好的降噪效果一方面源于单层排水路面; 另一方面源于高架桥混凝土防撞墙, 虽然其高度只有 0.8 m, 但其与东城公园受声点的竖向高差达到了 12.8 m (高架桥高度为 12.0 m), 这时防撞墙相当于一个低矮的声屏障, 东城公园受声点位于声屏障的声影区内, 受到了较好的噪声保护。

综上所述,4a类声环境功能区仅需铺设低噪声路面(优先采用排水沥青路面),即可满足声环境限值的要求。

2.2 2类声环境功能区的降噪措施

在包公大道高架道路桩号为K13+205~K13+500的路段两侧基本都是16层以上商住混合的高层建筑,故该区域属于2类声环境功能区。建筑物距离高架道路中线的水平距离都在60.0 m左右,经计算各建筑物所在位置的噪声几乎一致,选定建筑物B作为敏感建筑(图6),计算得到其声压级为昼间72.2 dB(A),夜间62.9 dB(A)。

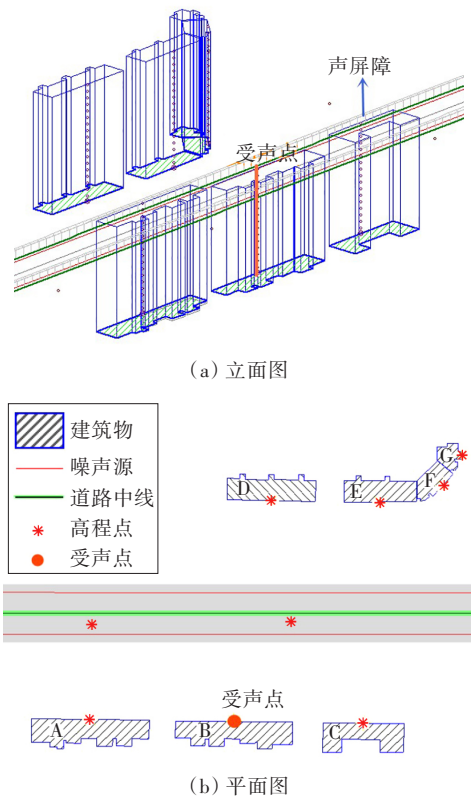


图6 包公大道桩号K13+205~K13+500路段受声点示意图

Fig. 6 Sound points of the Baogong Road from K13+205 to K13+500

对于2类声环境功能区,在未设置降噪措施时,受声点处的声压级比噪声限值大了约13 dB(A)。由于受声点竖向高度差异较大,仅设置低噪声路面不能满足降噪要求,故考虑增设声屏障。

根据顶端结构的不同,直立型声屏障可分为直板型、T型、Y型和鹿角型声屏障,保持这4种声屏障竖直高度均为3.51 m,如图7所示。计算得到采用不同顶端结构声屏障时,不同楼层高度处的声压级,结果如图8所示。

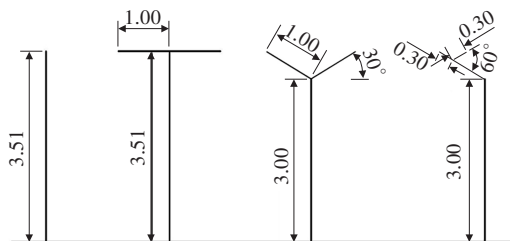


图7 直板型、T型、Y型和鹿角型声屏障立面图(单位:m)

Fig. 7 Vertical views of line-, T-, Y-, and antler-type noise barriers (unit:m)

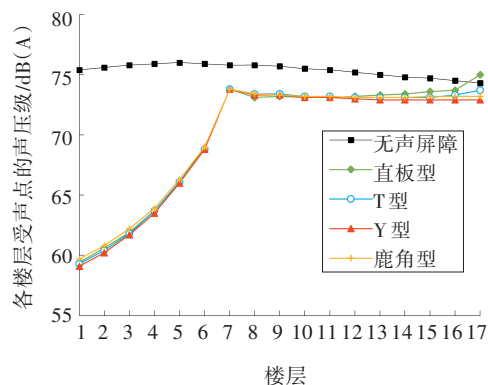


图8 不同楼层高度处的声压级

Fig. 8 Sound pressure levels at different floors

设置声屏障前后受声点的声压级之差称为声屏障的插入损失。由图8的预测结果可知,声屏障对于7层以下的建筑物降噪效果明显,插入损失约为7~16 dB(A),这是由于低楼层在声屏障声影区的覆盖范围之内,声波越过声屏障的顶端发生绕射时传播到声影区受声点的声能较小。在13层及以下楼层范围内,声屏障的顶端结构形式对声屏障降噪效果的影响较小,故当周围建筑物低于13层时,可采用经济简便的直板型声屏障。对于13层以上楼层,由于附加顶端结构增大了声波的绕射角度和距离,减弱了声波的直射,更大程度地削弱了声波的能量,改变了声屏障的等效高度和声影区的覆盖范围,3种有附加顶端结构声屏障的降噪效果比直板型声屏障的好,其中Y型声屏障的降噪效果最明显,在17层处的插入损失比直板型声屏障的增加了2.1 dB(A)。

在不采取任何降噪措施时,2类声环境功能区的噪声分布如图9(a)和9(b)所示。由图9(a)和9(b)可知,在不采取任何降噪措施时,道路沿线建筑各楼层的噪声超标严重,超标最多的在10 dB(A)以上。

因2类声环境功能区降噪要求较高且已有建筑物楼层高于13层,故将方案一设置为:排水沥青路面+4 m高Y型复合铝板声屏障,计算结果如图9(c)和9(d)所示。由图9(c)和9(d)可知,7层以下楼层噪声均达标(声屏障的声影区),7层以上楼层昼间噪声超标2~3 dB(A),夜间超标3~4 dB(A)。

在所有机动车辆中,重型货车的噪声辐射能量可达小客车噪声辐射能量的50倍^[18]。因此,借鉴已有城市高架道路限行措施,设置方案二为:在方案一的基础上禁止货车通行。经模拟可知,方案二的噪声在昼间完全低于噪声限值,在夜间略微超过噪声限值,结果如图9(e)和9(f)所示。

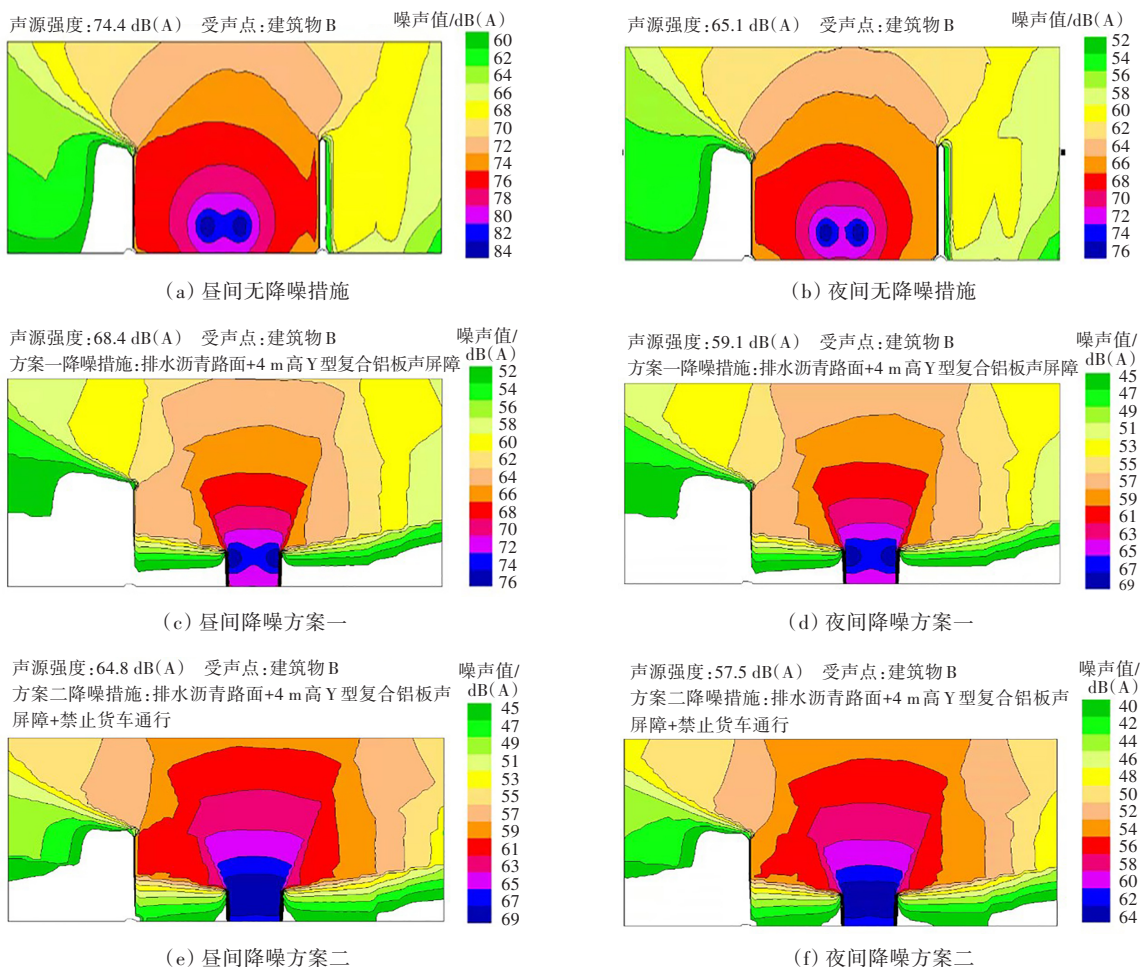


图9 2类声环境功能区降噪前后噪声分布图

Fig. 9 Sound maps before and after noise reduction for the 2-class sound environment functional area

综上所述,2类声环境功能区可采取铺设低噪声路面、设置声屏障和进行交通管制的综合降噪措施。当高架道路附近建筑物的楼层较低时,可使用经济简便的直板型声屏障;当建筑物楼层超过13层时,可考虑使用对高楼层噪声减弱作用更强的Y型声屏障。但无论采用哪种声屏障,其对高楼层的降噪效果都比低楼层的差很多。因此,需要结合交通管制措施从噪声源减小交通噪声,货车尤其是重载货车的噪声比较大,在噪声敏感路段可禁止货车驶入,这样能有效降低噪声污染,改善声环境。

2.3 1类声环境功能区的降噪措施

在包公大道高架路段桩号为K12+805~K13+200沿线两侧分布有学校、医院、行政单位、商业和住宅区等,故该区域属于1类声环境功能区。选择楼层较高且距离高架较近的住宅楼B(噪声敏感建筑)监测噪声情况(图10),计算得到其声压级为昼间72.6 dB(A),夜间63.3 dB(A)。

对于1类声环境功能区,在未设置降噪措施时,受声点处的声压级比限值高出约18.0 dB(A)。因此,如采用直立型声屏障,需要配合降噪路面及严格的交通管制措施。由图8可知,经济简便的直

立式声屏障对于低层建筑有较明显的降噪效果;当高层建筑对噪声要求较高时,可以考虑使用对高层更为有效的封闭式声屏障。

在SoundPlan软件中建立两侧高度为6 m、顶面宽度为30 m、截面为矩形的复合铝板全封闭式声屏障模型(图10),计算设置全封闭式声屏障前后住宅楼B处不同楼层的声压级,结果如图11所示。

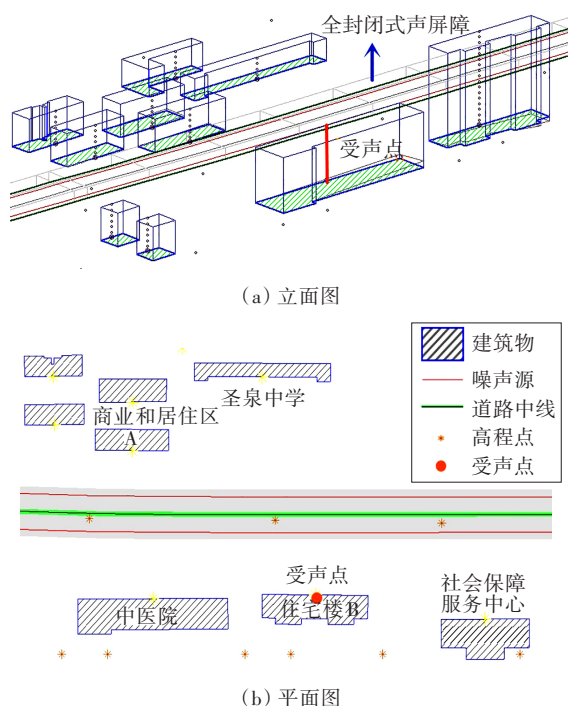


图10 包公大道桩号K12+805~K13+200

路段受声点示意图

Fig. 10 Sound points of the Baogong Road from K12+805 to K13+200

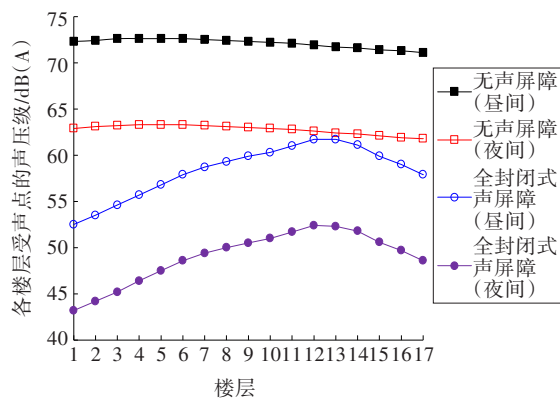


图11 不同楼层全封闭式声屏障声压级

Fig. 11 Sound pressure levels at different floors for the fully-closed noise barriers

由图11可以看出,全封闭式声屏障对各楼层都有明显的降噪效果。对于7层以下的建筑物插

入损失约为14~20 dB(A),在13层时插入损失最低,约为10 dB(A)。究其原因全封闭式声屏障相当于在两侧设置了6 m高的直立型声屏障和在顶面设置了30 m宽的水平声屏障,低楼层在6 m高直立型声屏障声影区范围内,而高楼层距声源较远,故低楼层和高楼层插入损失均较大,降噪效果明显。

考虑到1类声环境功能区噪声限值的要求,设置降噪方案一为:采用排水沥青路面及4 m高Y型复合铝板声屏障,在该路段禁止货车通行,并且控制小客车的交通量为1 666辆/h,限速50 km/h。经计算,与不采取任何降噪措施相比,方案一的噪声在昼间低于噪声限值,在夜间略微超过噪声限值,如图12(a)~12(d)所示。适当的机动车限行、限流措施可以将部分乘客分流给公共交通,这将在一定程度上缓解交通拥堵,降低道路噪声^[19]。但严格的限行、限流、限速措施会影响城市高架的交通功能,因此不建议采用该降噪方案。

借鉴国内外已有城市高架道路降噪方案,设置降噪方案二为:采用排水沥青路面及高6 m、宽30 m的复合铝板全封闭式声屏障,如图12(e)、12(f)所示。经计算,全封闭式声屏障具有较好的降噪效果(全封闭式声屏障将噪声隔离在声屏障内,其声屏障内的噪声比直立式声屏障内的高,因而其声屏障外的噪声大幅降低),但不能满足全部楼层的降噪要求。当高架两侧噪声敏感建筑物较密集且经济条件允许时,应优先采用全封闭式声屏障以配合降噪路面进行降噪,该方案对6层以下建筑物可以达到降噪20~26 dB(A)的效果,对7~17层建筑可以达到降噪16~20 dB(A)的效果。

1类声环境功能区对噪声要求较高,为使噪声完全满足限值要求,在高架道路模型中调整货车通行量的比例为之前的一半,设置降噪方案三为:在方案二的基础上,调整昼间货车通行量的比例为5.0%,夜间货车通行量的比例为1.5%。经计算,该方案可将噪声水平降至限值以下,如图12(g)和12(h)所示。这表明,在1类声环境功能区中,采取降低货车通行量的比例甚至货车禁行的措施是非常必要的,但需要注意的是,限制货车在高架道路上通行将对临近道路造成交通压力。同时,在使用全封闭式声屏障时,需要特别考虑排烟设施和消防设施。

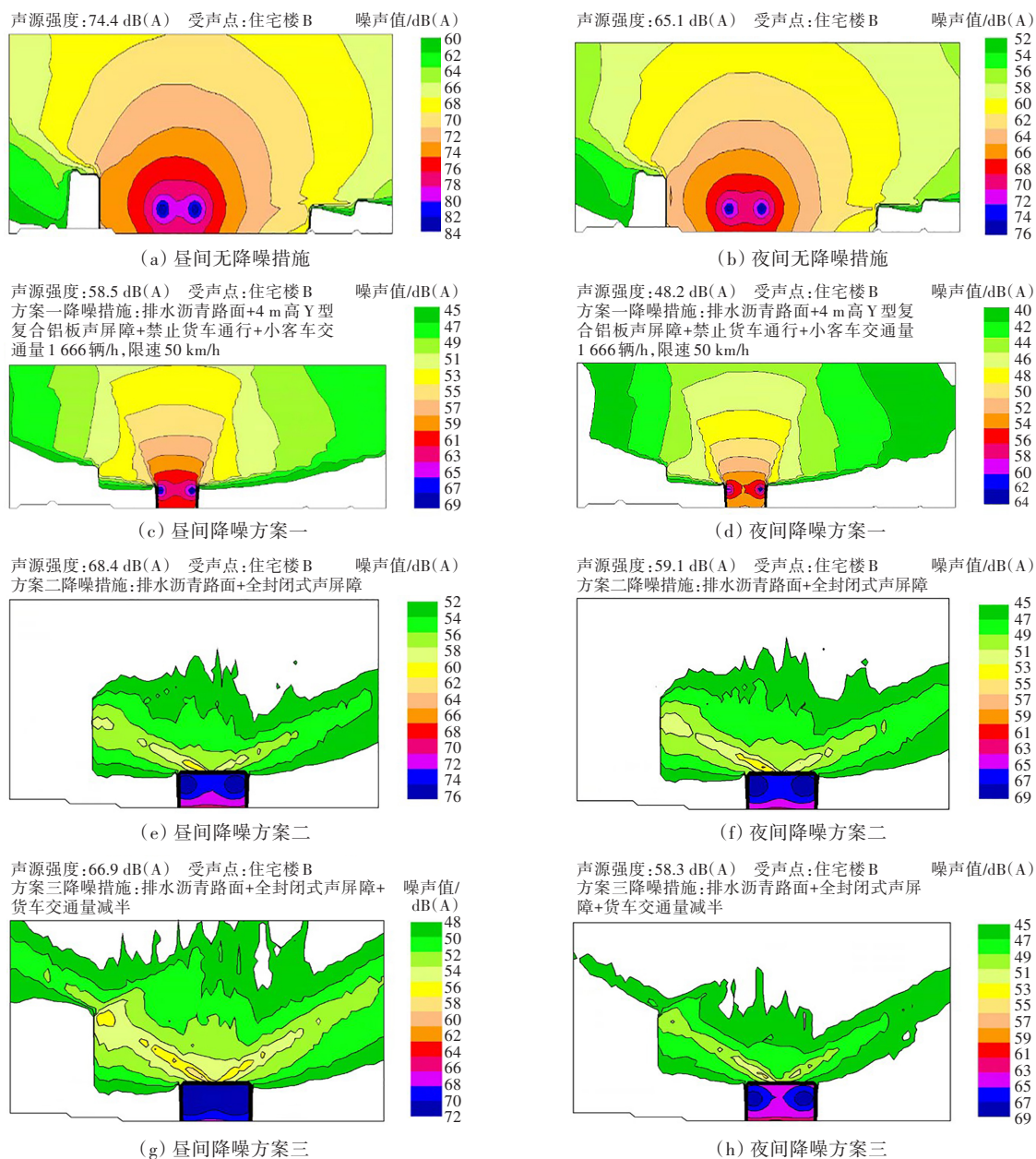


图 12 1类声环境功能区降噪前后噪声分布图

Fig. 12 Sound maps before and after noise reduction for the 1-class sound environment functional area

2.4 各种降噪措施的经济性与耐久性分析

以上研究仅考虑了各种降噪方案的降噪效果,没有涉及每种方案的建设成本和耐久性。为了更好地从降噪效果、建设成本和耐久性等方面优选降噪方案,本研究进行了各种降噪方案的初期建设成本和使用年限分析,结果见表1。

从经济成本来看,声环境功能区降噪要求越高,降噪措施的初期建设成本也就越高,这一点尤其表现在1类声环境功能区的全封闭式声屏障的建设成本上,如1类声环境功能区降噪方案二的15 a内现值成本为4a类降噪方案的10倍左右(货

车禁行)或7倍左右(货车可通行)。

从耐久性来看,排水沥青路面由于孔隙阻塞、颗粒飞散等因素,其降噪能力和结构强度会逐渐下降。从工程实践来看,排水沥青路面的使用寿命一般不超过8 a。而声屏障(包括全封闭式声屏障)只要维护得当,其使用寿命往往在10 a以上。因此,为了保持各降噪方案的持久降噪能力,需要在运营期间实施完备的养护维修工作。

从降噪效果、经济成本和耐久性来考虑,适用于城市高架道路4a类、2类和1类声环境功能区的优选降噪方案分别为方案一、方案二和方案三。

表1 不同声环境功能区降噪方案的建设成本和使用年限

Table 1 The construction costs and service lives of different noise-reduction measures for different sound environment functional areas

声环境功能区	高架道路降噪措施	初期建设成本/(元·m ⁻¹)	路面使用年限/a	15 a内现值成本/(元·m ⁻¹)
4a	排水沥青路面(方案一)	3 000	7.5(货车禁行)	5 080(货车禁行)
			5.0(货车可通行)	7 192(货车可通行)
2	排水沥青路面+4 m高Y型复合铝板声屏障(方案一)	12 400	7.5(货车禁行)	14 480(货车禁行)
			5.0(货车可通行)	16 592(货车可通行)
1	排水沥青路面+4 m高Y型复合铝板声屏障+货车禁行(方案二)	12 400	7.5(货车禁行)	14 480(货车禁行)
	排水沥青路面+4 m高Y型复合铝板声屏障+货车禁行+小客车限流、限速(方案一)	12 400	7.5(货车禁行)	14 480(货车禁行)
	排水沥青路面+全封闭式声屏障(方案二)	47 000	7.5(货车禁行)	49 080(货车禁行)
			5.0(货车可通行)	51 192(货车可通行)
	排水沥青路面+全封闭式声屏障+货车交通量减半(方案三)	47 000	7.5(货车交通量减半)	49 080(货车交通量减半)

注:① 未考虑排水沥青路面15 a使用期内的日常养护成本,15 a内考虑重铺1次(货车禁行、货车交通量减半)或2次(货车可通行)排水沥青路面,折现率按5%计算。② 在15 a的使用期内,不考虑声屏障的损耗和维护成本,即假定声屏障的使用年限为15 a。③ 初期建设成本按照如下规则拟定:排水沥青路面每延米3 000元(按照30 m宽、0.04 m厚计);4 m高Y型复合铝板声屏障每延米9 400元(双侧)^[20];全封闭式声屏障每延米44 000元(按6 m高、30 m宽计)^[21-22]。④ 不考虑货车禁行、限流或小客车限流、限速等导致的成本增加。

3 结论

本研究以合肥市包公大道改建高架道路为例,采用SoundPLAN噪声预测软件,建立了3种典型城市高架道路噪声环境模型,分析了不同声环境时高架道路降噪措施及其降噪效果,主要结论如下:

- 1) 4 m高直立型声屏障对于7层以下建筑物降噪效果明显,插入损失为7~16 dB(A),对于7层及以上建筑物降噪效果小于2.5 dB(A)。全封闭式声屏障对所有楼层均能达到降噪10~20 dB(A)的效果。
- 2) 对噪声环境要求较低的4a类声环境,可采用造价较低且不遮挡视线的低噪声路面来降低高架道路噪声。
- 3) 对于2类声环境,应采用低噪声路面及直立型声屏障,并配合货车禁行的交通管制,该方案可降低噪声13~28 dB(A)。当高架道路周围的建筑物较低时可采用直板型声屏障,反之采用Y型声屏障。
- 4) 对噪声环境要求最高的1类声环境,在使

用低噪声路面的同时应优先考虑全封闭式声屏障,必要时对货车进行限流。

5) 随着人们对声环境要求的提高,所采取的城市高架道路降噪措施将更加严格,所需建设成本也更大。

上述结论为合肥市包公大道改建城市高架道路降噪措施的优选提供了有益参考(根据实体工程的降噪要求,已选定2类声环境功能区的方案二)。在上述高架道路降噪措施实施后,这些结论也将得到逐一验证。

[参考文献]

[1] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.声环境质量标准:GB 3096—2008[S].北京:中国环境科学出版社,2008.
Ministry of Environmental Protection, State General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Environmental quality standard for noise: GB 3096—2008[S]. Beijing: China Environmental Science Press,2008.

[2] 蒲琪.深圳快速路及主干道交通噪声对其周边建筑的影响研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
PU Qi. Impact of traffic noise on the surrounding buildings in terms of Shenzhen freeways and main roads

- [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [3] 叶剑, 夏光华, 胡波. 温岭市高架道路交通噪声空间分布规律与防治对策研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(6): 133-136.
- YE Jian, XIA Guanghua, HU Bo. Space distribution and control measures of elevated road traffic noise of Wenling City[J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(6): 133-136.
- [4] QU W Y. Study on ecological acoustic barrier of elevated road in Wuhan[C]//The proceedings of 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE). Lushan: IEEE, 2011.
- [5] YU W L, KANG J. Resistance of villages to elevated-road traffic noise[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2019, 62(3): 492-516. DOI: 10.1080/09640568.2018.1427560.
- [6] 蔡铭, 侯庆, 罗鹏, 等. 南京奥林匹克体育中心周边交通噪声控制策略模拟研究[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(12): 133-139.
- CAI Ming, HOU Qing, LUO Peng, et al. Traffic noise distribution simulation of Nanjing Olympic sports center around and evaluation of noise control[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 40(12): 133-139.
- [7] 程明杨. SoundPLAN 在高架桥声屏障设计中的应用[J]. 交通节能与环保, 2017, 13(3): 65-67.
- CHENG Mingyang. Application of SoundPLAN in viaduct noise barrier design[J]. Energy Conservation & Environmental Protection in Transportation, 2017, 13(3): 65-67.
- [8] 刘晓艳. 城市道路交通噪声三维预测模型与可视化研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2010.
- LIU Xiaoyan. Research on 3D prediction model and visualization of urban traffic noise[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2010.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 环境影响评价技术导则 声环境: HJ 2.4—2021[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical guidelines for noise impact assessment: HJ 2.4—2021[S]. Beijing: China Environment Science Press, 2021.
- [10] 邓佳, 赵剑强, 张晓宁, 等. 公路交通噪声预测模型 FHWA 与 RLS90 的比较[J]. 环境工程学报, 2012, 6(2): 687-691.
- DENG Jia, ZHAO Jianqiang, ZHANG Xiaoning, et al. Comparison and evaluation of two highway traffic noise prediction models FHWA and RLS90[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(2): 687-691.
- [11] 俞悟周. 高架道路声屏障的降噪效果[J]. 环境工程学报, 2008, 2(6): 844-847.
- YU Wuzhou. Noise reduction effect of sound barrier of elevated road[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(6): 844-847.
- [12] 朱飞. 扩建条件下高速公路降噪方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2019. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau. 2019.004574.
- ZHU Fei. Research on noise reduction method of expressway under extension conditions[D]. Nanjing: Southeast University, 2019. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau. 2019.004574.
- [13] 陈瑜. 城市道路交通噪声治理措施分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(31): 5-6. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X. 2019.31.005.
- CHEN Yu. Analysis of treatment method for traffic noise of urban road[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2019, 16(31): 5-6. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X. 2019.31.005.
- [14] 王彩霞. 公路路面噪声降噪技术与防治方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- WANG Caixia. Study on reduction technology and prevention method of tyre-to-road noise for highway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [15] SANDBERG U, EJSBOM J A. Tyre/road noise reference book[M]. Kisa: Informex, 2002.
- [16] 李矗. 透水性沥青路面结构设计[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- LI Chu. Structure design of porous asphalt pavement[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [17] OHIDUZZAMAN M, SIRIN O, KASSEM E, et al. State-of-the-art review on sustainable design and construction of quieter pavements part 1: traffic noise measurement and abatement techniques[J]. Sustainability, 2016, 8(8): 742. DOI: 10.3390/su8080742.
- [18] JIMÉNEZ-URIBE D A, DANIELS D, FLEMING Z L, et al. Road traffic noise on the santamarta city tourist route [J]. Applied Sciences, 2021, 11(16): 7196. DOI: 10.3390/app11167196.
- [19] 王正武, 向梓源, 刘鑫. 基于系统动力学模型的城市交通拥堵治理策略研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(1): 81-88. DOI: 10.19951/j.cnki.1672-9331.2022.01.010.
- WANG Zhengwu, XIANG Ziyuan, LIU Xin. Research on management strategy of urban traffic congestion based on system dynamics model[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2022, 19(1): 81-88. DOI: 10.19951/j.cnki.1672-9331.2022.01.010.
- [20] 任斌. 声屏障工程施工组织设计与造价分析[J]. 工程经济, 2020, 30(8): 9-12.
- REN Bin. Construction organization design and cost analysis of sound barrier engineering[J]. Engineering Economy, 2020, 30(8): 9-12.

- [21] 郑净,刘德军,李小珍,等.高铁桥梁全封闭声屏障降噪性能试验与数值研究[J].中国公路学报,2021,34(4):152–161.DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2021.04.013. ZHENG Jing,LIU Dejun,LI Xiaozhen,et al.Experimental and numerical research on noise reduction performance of fully enclosed sound barriers on high-speed railway bridges[J]. China Journal of Highway and Transport, 2021,34(4):152–161. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2021.04.013.
- [22] 王晓磊.城市高架桥声屏障降噪效果及建设方案研究[J].公路,2019,64(4):299–305. WANG Xiaolei.Research on noise reduction effect and construction scheme of noise barrier for urban viaduct [J].Highway,2019,64(4):299–305.

Noise-reduction measures for typical noise environments of the roads on urban viaduct

WU Wei¹, LIAO Gongyun², ZHANG Qiankun¹, LI Yichun², PU Yubing¹, LIU Xiaodong¹

(1.Hefei Municipal Design & Research Institute Co., Ltd., Hefei 230041, China;

2.School of Transportation, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: [Purposes] This work aims to determine the noise reduction measures that match the noise environment of typical urban elevated roads by the numerical simulation method. [Methods] Based on real project of the rehabilitated Baogong Road on urban viaduct of Hefei City, three typical sound environment models for urban viaduct roads were built using SoundPLAN software, including the rehabilitated urban viaduct, existing city architectures, and noise-reduction measures. The noise-reduction effects under different noise-reduction measures were analyzed, and noise-reduction measures under typical acoustic environment conditions were recommended according to the noise limits. [Findings] In the 4a-class sound environment functional area, low-noise pavement was enough to meet the environmental noise limit requirements. For the 2-class sound environment functional area, a combination of low-noise pavement and vertical sound barrier must be utilized. Traffic control measures such as truck ban should be utilized if necessary. For the 1-class sound environment functional area, the low-noise pavement and fully enclosed sound barrier should be given priority when conditions permit. With the increase of the noise limit requirement of the environment, the noise-reduction measures needed for the road on urban viaduct would be strict and the construction cost would be high. [Conclusions] Different noise environments on the road on the urban viaduct demanded different matching noise-reduction measures. These findings could provide a guide for the design and selection of noise-reduction measures for the road on the urban viaduct.

Key words: protective engineering; noise-reduction measure; SoundPLAN; the road on urban viaduct; traffic noise; sound environment functional area

Manuscript received: 2022-07-26; **revised:** 2022-09-17; **accepted:** 2022-10-17

Foundation item: Project (2020-YF05) supported by Science and Technology Plan of the Department of Housing and Urban-Rural Development of Anhui Province

Corresponding author: LIAO Gongyun (1975—) (ORCID: 0000-0001-8157-3991), male, associate professor, research interest: functional pavement structures and materials and numerical simulation. E-mail: lg@seu.edu.cn

(责任编辑:石月珍;校对:刘平;英文编辑:田湘)