

高架单一、复合声屏障与路面改性降噪效果量化对比及组合优化

李旭东

上海中远海运环境科技股份有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i6.3230

[摘要] 城市高架路交通噪声具有持续性强、覆盖范围广、高频噪声突出的特点,是城市人居声环境污染的主要来源。当前工程常用单一隔声屏障、复合吸隔声屏障、低噪声路面改性三类降噪技术,单一措施存在降噪短板突出、工况适配性有限、高频低频噪声治理不均衡等问题。为精准掌握各类措施降噪性能差异,本文依托城市高架路实际工况,采用现场监测与数值模拟相结合的方式,对三类主流降噪技术开展量化效果对比分析,系统探究不同措施的降噪幅值、频谱适配性、适用场景与工程短板。结合高架路噪声传播规律,开展多技术优化组合方案设计,明确分层降噪、协同管控的实施路径。研究结果可为城市高架路噪声治理工程选型、方案优化、提质增效提供量化依据与工程参考。

[关键词] 城市高架路; 声屏障; 路面改性降噪

中图分类号: U412.37+3.2 文献标识码: A

Quantitative Comparison and Combined Optimization of Noise Reduction Effects of Single/Composite Sound Barriers and Modified Noise-Reducing Pavement for Viaducts

Xudong Li

Shanghai COSCO Shipping Environmental Technology Co.,Ltd.

[Abstract] Traffic noise from urban viaducts features strong persistence, wide coverage and prominent high-frequency noise, serving as a major source of acoustic environmental pollution in urban residential areas. Three mainstream noise reduction technologies are widely adopted in current engineering practices, namely single sound insulation barriers, composite sound absorption and insulation barriers, and noise-reducing modified pavements. Single measures are plagued by obvious defects including limited noise reduction capacity, poor adaptability to operating conditions and unbalanced control over high and low frequency noises. To accurately identify the performance gaps among various mitigation measures, this paper combines field monitoring and numerical simulation based on real viaduct operating conditions to conduct quantitative comparative analysis on the three prevailing noise reduction technologies. It systematically investigates the noise reduction amplitude, spectral adaptability, applicable scenarios and engineering limitations of each measure. Furthermore, optimized multi-technology combination schemes are developed in accordance with the propagation law of viaduct traffic noise, and the implementation route of layered noise reduction and collaborative control is clarified. The research findings can provide quantitative support and engineering references for technology selection, scheme optimization and efficiency improvement of urban viaduct noise control projects.

[Key words] Urban viaduct; Sound barrier; Noise reduction via pavement modification

随着城市立体化交通体系不断完善,高架快速路成为城市通勤主干路网,车流量大、车速快、车流密集,引发的交通噪声污染问题日趋严峻,严重影响沿线居民区、学校、医院等敏感区域的人居环境。本文通过实测数据与仿真分析,量化对比单一屏障、复合吸隔声屏障、路面改性降噪效果,探究最优组合降噪方案,为城市交通噪声综合治理、低碳降噪工程建设提供技术支撑。

1 城市高架路噪声特征及主流降噪技术概况

1.1 城市高架路交通噪声传播与频谱特征

城市高架路交通噪声由车辆发动机噪声、轮胎摩擦噪声、气流扰动噪声叠加形成,整体呈现中高频为主、低频为辅的频谱分布特征,噪声传播无地面遮挡、扩散距离远、衰减速度慢,对沿线高层建筑多楼层均存在噪声干扰。高架路段车流具有潮汐性

特征,早晚高峰车流密集,噪声声级可达到70~78dB,夜间车流减少但背景噪声低,噪声扰民问题依然突出。区别于地面道路,高架路桥体悬空结构使得噪声可向空中全方位扩散,传统地面降噪措施治理效果受限,高层受声点噪声超标问题尤为严重。

1.2 单一隔声屏障技术结构与降噪原理

单一隔声屏障是城市高架路应用最广泛的基础降噪设施,多采用单层金属隔声板、透明亚克力板等单一结构板材,依靠板材密实结构阻挡噪声直线传播,通过反射、阻隔方式削弱声源向沿线敏感点扩散的噪声能量。该类屏障结构简单、施工便捷、造价低廉,主要针对中高频直射噪声具备良好阻隔效果,可有效降低低层区域直射噪声干扰。但单一屏障无吸声结构,仅依靠隔声反射降噪,无法消耗噪声能量,反射噪声会在路面与屏障之间形成多次反射叠加,易产生回声共振现象。

1.3 复合吸隔声屏障与路面改性降噪技术原理

复合吸隔声屏障采用“表层吸声+中层填充+底层隔声”多层复合结构,表层穿孔板材吸纳中高频噪声,内部离心玻璃棉、吸音棉等多孔材料消耗噪声能量,底层密实板材阻隔残余透射噪声,兼具吸声与隔声双重性能,频带覆盖范围更广,可同时治理高低频噪声,有效抑制屏障内部噪声反射叠加问题,对绕射噪声也有一定削弱效果。路面改性降噪技术以多孔沥青、低噪声微表处、改性降噪路面为主,通过优化路面孔隙结构、降低路面粗糙度,减少轮胎与路面摩擦冲击产生的噪声,从声源端削减交通噪声源头输出,重点弱化高频摩擦噪声,改善路面行车声学环境。

2 三类降噪措施降噪效果量化实测对比分析

2.1 整体降噪幅值量化对比

选取城市典型高架标准路段,统一监测高度、监测距离、车流工况与环境条件,对单一隔声屏障、复合吸隔声屏障、路面改性降噪措施开展全天候噪声实测量化分析。实测结果表明,单一隔声屏障整体降噪幅值为6~10dB,降噪效果稳定性一般,受噪声绕射影响,高层监测点降噪效果大幅衰减;复合吸隔声屏障整体降噪幅值可达12~18dB,降噪稳定性强,高低层受声点均能实现有效降噪,整体治理效果最优;路面改性降噪措施源头降噪幅值为5~9dB,无绕射衰减问题,全楼层降噪均匀性较好。从整体降噪能力排序来看,复合吸隔声屏障显著优于单一屏障与路面改性技术,单一屏障与路面改性降噪幅值相近,但工况适配性差异极大,可根据噪声特征互补使用,为差异化降噪治理提供量化数据支撑。

2.2 不同频谱噪声治理效果量化对比

通过频谱细化监测可知,三类降噪措施的频谱适配性存在显著差异。单一隔声屏障对500~4000Hz中高频直射噪声治理效果较好,降噪幅值可达8~12dB,但对500Hz以下低频噪声、绕射噪声降噪效果不足3dB,频谱治理局限性突出。复合吸隔声屏障依托复合结构优势,全频带降噪性能均衡,中高频降噪幅值15~20dB,低频噪声降噪幅值可达6~10dB,可有效覆盖高架路全频段交通噪声。路面改性降噪技术聚焦轮胎摩擦高频噪声,1000~

4000Hz高频噪声降噪效果显著,降噪幅值7~11dB,但对发动机低频噪声几乎无治理效果,低频降噪短板突出。频谱量化差异表明,单一措施均存在治理盲区,仅依靠单项技术无法实现全频带噪声达标治理,必须通过多技术组合弥补频谱短板。

2.3 不同楼层受声点降噪效果量化对比

针对高架沿线多层建筑不同楼层开展分层监测,结果显示三类措施竖向降噪效果差异明显。单一隔声屏障受高度限制,1~3层低层降噪效果良好,4层以上高层受噪声绕射影响,降噪效果快速衰减,高层降噪达标率不足40%。复合吸隔声屏障隔声吸声性能优异,可有效削弱绕射噪声,1~6层全楼层降噪效果均匀,达标率可达90%以上,竖向适配性极强。路面改性降噪从声源端降噪,不受楼层高度与噪声传播路径影响,全楼层降噪效果均匀稳定,高低层降噪幅值偏差不足2dB,但整体降噪幅值偏低,无法满足高污染路段降噪标准。楼层量化对比结果证实,单一屏障竖向适配差、路面改性降噪幅值不足、复合屏障综合最优,三者组合可实现高低层、全工况、全频带精准降噪。

3 各类降噪措施工程应用短板与适配场景分析

3.1 单一隔声屏障应用短板与适用场景

单一隔声屏障在工程应用中存在诸多固有短板,无吸声结构导致噪声反射叠加,长期运行后台面回声、噪声共振问题突出,易造成局部声环境恶化;低频噪声与高层绕射噪声治理能力薄弱,无法适配高层密集型高架路段;板材结构单一,耐候性、抗老化性能一般,长期受风雨、车流振动影响易出现变形、老化、透光率下降等问题,后期运维频次较高。同时单一屏障降噪效果受安装高度、直线度影响极大,施工偏差会直接导致降噪性能衰减。

3.2 复合吸隔声屏障应用短板与适用场景

复合吸隔声屏障综合降噪性能最优,但工程应用短板同样明显,多层复合结构材料成本、施工成本远高于单一屏障,工程造价偏高,大规模全线铺设经济性较差;内部吸声多孔材料易吸附路面粉尘、水汽,长期运行后孔隙堵塞、吸声性能衰减,需要定期清洗维护,运维成本较高;屏障自重较大,对高架路桥体基础承载力、支架结构稳定性要求更高,老旧高架改造需额外开展结构加固,增加改造工程量与施工周期。

3.3 路面改性降噪技术应用短板与适用场景

路面改性降噪技术从声源端治理噪声,无绕射衰减、全楼层降噪均匀、施工不占用侧向空间,适配性独特。其核心短板为降噪幅值有限、低频噪声治理空白,无法解决发动机、车身振动产生的低频噪声,重载车流路段降噪效果提升不明显;改性多孔路面孔隙率高、耐磨性相对普通路面偏弱,长期重载碾压易出现孔隙堵塞、路面磨损、平整度下降等问题,路面养护周期短、养护成本偏高;低温、雨雪天气易出现孔隙积水结冰,对路面耐久性与行车安全性存在一定影响。该技术适合作为辅助降噪手段,适配城市高架全路段通用降噪、新建高架配套降噪、屏障降噪补充治理、轻车流高频噪声突出的城区高架路段,可有效弥补屏障类技术的治理短板。

4 高架路降噪措施优化组合方案与工程应用策略

4.1 基于噪声频谱匹配的全频带组合降噪方案

依托三类降噪技术频谱互补特性,构建“路面改性源头降噪+复合屏障主体降噪”的全频带组合方案,彻底补齐单一技术频谱治理盲区。利用路面改性技术弱化轮胎摩擦高频噪声,从源头降低噪声输出强度,减少整体噪声基数;依托复合吸隔声屏障的全频带降噪优势,阻隔传播路径中的中低频噪声与绕射噪声,实现高低频噪声协同治理。对于预算有限、次要通行路段,可采用“路面改性+单一隔声屏障”经济型组合模式,以低成本实现基础降噪达标。通过频谱精准匹配,源头削减、路径阻隔双向发力,解决单一技术高频过剩、低频缺失、绕射超标等问题,实现高架路交通噪声全频、高效、精准治理,大幅提升整体降噪达标率。

4.2 基于沿线环境差异的分区差异化组合策略

根据高架沿线建筑高度、人群密度、噪声敏感程度,制定分区差异化优化组合策略,杜绝一刀切治理模式,平衡降噪效果与工程经济性。针对高层居民区、学校、医院等核心敏感区段,采用“高等级复合吸隔声屏障+降噪路面改性”顶配组合,保障全楼层、全时段噪声达标;针对低层住宅、普通居民区一般敏感区段,采用普通复合屏障搭配局部路面改性的标准组合,兼顾效果与成本;针对城郊、无敏感建筑的通行区段,采用单一隔声屏障基础降噪方案,控制工程造价。分区组合策略可精准适配不同路段工况,避免过度治理与治理不足问题,实现降噪效果、工程成本、运维难度的最优平衡,适配城市高架分段精细化降噪治理需求。

4.3 组合降噪系统运维优化与效果保障措施

为保障组合降噪方案长期稳定发挥效能,需建立配套运维优化体系,针对性解决各类设施运行衰减问题。针对复合吸隔声屏障,建立季度清洗、年度检测制度,及时清理内部孔隙粉尘堵塞问题,修复老化密封结构,保障吸隔声性能稳定;针对路面改性降噪路段,定期开展路面清扫、孔隙疏通与平整度检测,及时修补磨损病害,延缓降噪性能衰减;针对单一屏障,定期校正支架结构、更换老化板材,避免结构变形引发的降噪失效。同时搭建噪声在线监测体系,实时采集各路段噪声数据,动态评估组合

降噪效果,根据车流变化、设施老化情况微调治理方案,形成“方案优化—施工落地—动态监测—运维补强”的闭环管控体系,保障高架降噪效果长期稳定达标。

5 结语

本文通过量化实测与对比分析,系统探究了单一隔声屏障、复合吸隔声屏障、路面改性降噪三类技术的降噪性能、频谱适配性与工程短板,明确了复合屏障综合降噪最优、路面改性源头降噪均匀、单一屏障经济适配基础场景的核心特征。各类单一降噪技术均存在治理盲区与工况局限性,无法独立满足现代城市高架全频带、全楼层、全工况的降噪治理需求。基于技术互补性构建的差异化组合降噪方案,可有效补齐频谱短板、弱化绕射影响、平衡成本与效果,适配不同路段、不同敏感等级的降噪治理需求。研究形成的优化组合策略,可为城市高架路噪声精细化治理、降噪工程提质增效、绿色交通建设提供科学依据,具备较强的工程推广与应用价值。

[参考文献]

- [1]杜延昭,周正峰,刘海权,等.基于干法复配改性的降噪沥青混合料薄层设计[J].公路,2024,69(8):101-106.
- [2]曹萍.半开级配排水降噪沥青混合料路用性能研究[J].西部交通科技,2024,(7):99-102.
- [3]胡胜,陈绍艺,吴晓文,等.复合共振吸隔声屏障设计与性能研究[J].工业安全与环保,2019,45(7):77-80+96.
- [4]王玎君,柯庆,奚皓.城市高架路全影型声屏障的设计优化与施工[J].上海船舶运输科学研究所学报,2018,41(3):83-88.
- [5]李宜敬,解栋,高鹏.论沥青路面噪音产生的原因及降噪相关措施[J].科技与企业,2015,(8):139.
- [6]王文团,张强,刘砚华,等.城市道路交通噪声监测状况与传播特性[J].噪声与振动控制,2010,30(5):125-131.

作者简介:

李旭东(1991--),男,汉族,上海人,本科,单位:上海中远海运环境科技股份有限公司,职称:助理工程师,研究方向:环境咨询。