

城市轨道交通噪声振动的环境影响与控制对策研究

陆安平

天津市轨道交通事业发展服务中心 天津 300384

摘要:城市轨道交通运营产生的噪声与振动影响显著,具持续性、线源性和区域性特征,干扰声环境、危及建筑与仪器且影响人体舒适度。其来源多样、传播特性复杂,需构建控制技术体系,从声源、传播途径、受体防护方面干预。同时,在规划、设计、运营阶段采取综合治理对策,并构建监测网络、开展评估,以持续优化控制措施,降低其对环境的负面影响。

关键词:城市轨道交通;噪声控制;振动控制;环境影响;对策研究

引言:城市轨道交通作为城市公共交通的关键构成,在运营中产生的噪声与振动,对周边环境的影响显著,具有持续性、线源性和区域性等特征,且噪声振动来源多样、传播途径复杂。若不加以有效控制,将干扰居民生活、危及建筑安全、影响精密仪器运行。为减轻其负面影响,需构建涵盖声源、传播途径、受体防护的控制技术体系,并在规划、设计、运营等阶段采取综合治理措施,以实现城市轨道交通与环境的和谐共生。

1 城市轨道交通噪声振动的环境影响特征

城市轨道交通在运营过程中产生的噪声与振动,对周边环境有着显著且独特的影响特征,主要体现在持续性、线源性和区域性。(1)持续性方面,城市轨道交通作为日常公共交通的重要组成部分,运营时间长且频次高,从早到晚不间断运行,使得噪声与振动持续作用于周边环境。这种长时间的影响,不断累积,对沿线居民的正常生活、工作和学习造成长期干扰。(2)线源性特征源于城市轨道交通线路呈线性分布,其噪声与振动以线路为中心向两侧扩散。沿线不同位置的敏感点,如居民区、文教区、医院等,受到的影响程度与距离线路的远近密切相关,距离越近,影响通常越显著。(3)区域性则表现为城市轨道交通网络不断扩展,覆盖范围日益广泛,其噪声振动影响不再局限于局部,而是涉及更大区域。随着线路增多、交织成网,影响的范围和程度进一步扩大。(4)噪声主要干扰沿线敏感区域的声环境,影响居民的生活质量、学生的学习效果以及医院的诊疗环境。振动则不仅可能危及建筑物结构安全,影响其使用寿命,还会干扰精密仪器的正常运行,降低测量和生产的精度。同时,过度的振动会降低人体的舒适度,引发居民的不满和健康问题。鉴于这些影响随着运营时间延长和线路扩展愈发突出,必须采取系统、科学且有效的控制措施,以减轻城市轨道交通噪声振动对环境的负

面影响^[1]。

2 噪声振动的主要来源与传播特性

2.1 噪声产生机理与特性

轮轨噪声作为轨道交通最为主要的噪声源,涵盖滚动噪声、冲击噪声以及曲线啸叫声。(1)滚动噪声源于轮轨表面粗糙度相互作用,引发轮轨间持续的振动与摩擦,进而产生噪声,其频率特性与轮轨表面状态及车辆运行速度紧密相关。冲击噪声则是在轮轨出现轮缘接触、钢轨接头等冲击情况时产生,具有突发性和较高的声压级,频率成分较为复杂。曲线啸叫声发生于车辆通过曲线轨道时,因轮轨间的蠕滑-导向力相互作用导致自激振动,产生高频尖啸声。(2)车辆设备噪声主要源自牵引系统、空调机组等辅助设备,牵引系统在运行时的电机转动、电气元件工作等会产生电磁噪声和机械噪声,空调机组的风机运转、制冷剂流动等也会带来一定噪声。结构噪声是由轮轨振动通过隧道结构和土壤传播,再向周围空间辐射形成,其频率特性与隧道结构和土壤的固有频率有关。这些不同类型的噪声源,各自具备独特的频率特性与传播规律,在控制时需依据其特点采取针对性措施。

2.2 振动产生机理与特性

轮轨相互作用是振动产生的主要根源,当车辆在轨道上运行时,轮轨间的接触力会引发轨道结构和基础的振动。这种振动特性受多种因素影响显著,轨道结构型式不同,如整体道床和碎石道床,对振动的传递和衰减作用有差异;车辆运行速度的变化会改变轮轨间的动态作用力,进而影响振动强度;地质条件如土壤的密实度、弹性模量等,也会对振动传播产生重要影响。低频振动具有传播距离远的特性,在传播过程中能量衰减相对缓慢,能够对较远处的建筑物结构安全和使用功能造成影响;高频振动在传播过程中衰减较快,但可能激发建筑

物结构的局部振动,引发二次结构噪声问题,对室内声环境产生不良影响^[2]。

2.3 传播途径分析

噪声主要通过空气进行传播,其传播过程受气象条件、地形地貌和建筑物布局的影响明显。(1)气象条件中,风速和风向会改变噪声的传播方向和速度,温度梯度会引起声波的折射;地形地貌的起伏、障碍物的存在会对噪声产生反射、折射和衍射等作用;建筑物布局的疏密、高低不同,也会影响噪声的传播和衰减。振动主要通过地层进行传播,其传播过程受土壤参数、地下水位和地质构造的制约。(2)土壤参数如密度、弹性模量、阻尼等决定了土壤对振动的传递能力;地下水位的变化会改变土壤的物理性质,进而影响振动传播;地质构造中的断层、褶皱等会对振动传播产生反射、折射和聚焦等作用。准确掌握噪声振动的传播规律,是制定科学合理、行之有效控制措施的基础。

3 噪声振动控制技术体系

3.1 声源控制技术

声源控制技术聚焦于从噪声与振动产生的根源处实施干预,以达成最为直接且有效的控制成效。(1)在车辆设计优化方面,低噪声转向架的运用是关键举措。它通过优化结构设计,减少部件间的摩擦与碰撞,降低机械运动产生的噪声。同时,采用弹性车轮可显著改善轮轨接触状态,其弹性元件能吸收部分轮轨冲击能量,减少冲击噪声产生,进而降低轮轨滚动噪声水平。(2)轨道结构改进上,减振扣件的使用能有效降低轨道振动向基础的传递。它凭借特殊的弹性结构,增加轨道结构的弹性,减弱振动能量传递,减少因轨道振动引发的噪声。而钢弹簧浮置板道床作为一种先进的轨道结构形式,在行业内得到了广泛应用。它将轨道道床与基础结构通过钢弹簧隔振器进行隔离,形成浮置式的轨道系统。这种结构能够极大地提升轨道的隔振性能,有效隔离和衰减轨道振动,大幅降低振动向周边环境的传播,同时对轮轨噪声也有良好的抑制作用。(3)定期进行轮轨维护工作十分关键。轮轨表面状态直接影响噪声振动产生,轮轨表面粗糙度、磨损程度等会改变轮轨间相互作用力。通过定期的轮轨打磨、镟轮等维护措施,可保持轮轨表面良好运行状态,减少因轮轨表面缺陷引发的冲击噪声和滚动噪声,确保轮轨系统始终处于低噪声、低振动的运行工况。

3.2 传播途径控制技术

传播途径控制技术旨在通过阻断或衰减噪声与振动在传播过程中的能量,降低其对敏感区域的影响。(1)

设置声屏障是阻断噪声传播的常用有效手段,声屏障可根据实际需求采用不同材质和结构形式,如透明声屏障、吸声式声屏障等。声屏障通过阻挡噪声的直线传播路径,使噪声在传播过程中发生反射、折射和衍射等现象,从而降低噪声能量,减少对声屏障后方敏感区域的噪声干扰。(2)在隔振措施方面,隔振沟和地下连续墙是较为典型的技术。隔振沟通过在振动传播路径上挖掘一定深度和宽度的沟槽,切断振动的连续传播,使振动能量在沟槽处发生反射和衰减。地下连续墙则凭借其较大的刚度和质量,形成一道隔振屏障,阻止振动向周边区域传播,尤其适用于对振动控制要求较高的区域。(3)优化线路平纵断面设计以及合理选择隧道埋深也是传播途径控制的重要环节。合理的线路平纵断面设计能够减少车辆运行过程中的冲击和振动,降低噪声振动的产生强度。而隧道埋深的选择需综合考虑地质条件、周边环境敏感程度等因素,合适的隧道埋深可使振动在传播过程中经过土壤的充分衰减,减少对地面建筑物和居民的影响^[3]。

3.3 受体防护技术

受体防护技术作为减轻噪声振动影响的最后一道防线,主要针对受影响的建筑物和周边环境采取相应措施。(1)对受影响建筑物进行隔声窗改造是常见的防护手段,隔声窗通过采用特殊的中空玻璃、多层玻璃或夹胶玻璃等,结合密封性能良好的窗框结构,有效阻挡外界噪声传入室内,提高室内的声学环境质量。(2)安装室内减振设施能够进一步降低振动对室内环境和人体舒适度的影响。例如,在建筑物的基础或楼板上安装减振器、隔振垫等减振装置,可隔离或衰减振动能量的传递,减少建筑物结构的振动响应,避免因振动引发的二次噪声问题。(3)合理规划沿线土地利用并设置必要的防护距离也是受体防护的重要内容。根据噪声振动的影响范围和程度,科学规划不同功能区域的布局,将对噪声振动较为敏感的建筑物,如住宅、学校、医院等,布置在远离轨道交通线路的合适位置,并设置足够的防护距离,以降低噪声振动对居民生活和工作环境的影响,保障人们的生活质量和身心健康。

4 综合治理对策建议

4.1 规划阶段预防措施

在线网规划与选线阶段,全面且精准地考量环境敏感区的分布情况是至关重要的基础工作。(1)环境敏感区包含居民住宅密集区、学校、医院、疗养院以及具有重要历史文化价值的文保单位等,这些区域对噪声和振动的耐受程度较低。基于此,要合理确定线路的敷设方式。对于穿越环境敏感区的线路,应将地下线路作为优

先选择。(2) 地下线路能够有效屏蔽噪声和振动的传播,大幅降低其对地面环境的影响。相较于高架和地面线路,地下线路在减少噪声扰民、避免振动对建筑物结构损害等方面具有显著优势。(3) 要依据相关技术规范 and 实际环境状况,预留足够的防护距离。防护距离的设定需综合考虑噪声和振动的衰减规律、环境敏感区的特点以及周边土地利用规划等因素。通过预留充足的防护距离,能够从规划的源头处避免轨道交通运营产生的噪声和振动对周边环境造成显著影响,为后续的环境保护工作提供有力的前期保障。

4.2 工程设计控制措施

在工程设计阶段,科学选型低噪声振动水平的车辆与轨道系统是核心要点。(1) 车辆选型上,优先选用采用前沿降噪减振技术的车型,像配备低噪声转向架、弹性车轮以及高效隔音材料的车辆,可有效降低车辆运行时的噪声与振动。(2) 轨道系统方面,摒弃嵌入式轨道(其对钢轨维护影响较大,现场使用率受限),选用减振型扣件等成熟方案。同时,依据环境敏感程度,采用分级减振设计理念。对于医院、学校等高度敏感区域,安装高等级的浮置板道床;一般敏感区域则采用适配等级的减振方案。(3) 注重轨向控制,精准优化轨道结构参数,如轨距、轨底坡、钢轨类型等,合理规划减振措施的位置与类型。通过精细化设计,在保障轨道系统安全稳定运行的基础上,达成噪声振动控制效果与工程造价的有机统一,防止因过度追求降噪减振而使工程造价大幅攀升。

4.3 运营管理优化措施

在运营管理阶段,优化列车运行组织是降低噪声振动影响的重要手段。通过科学合理的调度,合理控制列车的运行速度和行车密度。避免列车高速通过敏感区域,因为高速运行时轮轨间的冲击力增大,会产生更强烈的噪声和振动。建立完善的定期监测和维护制度,定期对轮轨状态进行检查、维护和修复,确保轮轨始终保持良好的运行状态。及时更换磨损的钢轨和车轮,调整轮轨接触关系,减少因轮轨不良状态引发的额外噪声和振动。同时,加强沿线环境管理,安排专人定期巡查,及时发现并处理设备异常状况,如轨道变形、车辆部件松动等,

防止设备故障导致噪声振动异常增大。

4.4 环境监测与评估

构建完善的噪声振动监测网络是掌握环境状况的关键。在轨道交通沿线科学布置监测点位,重点覆盖医院、学校等环境敏感区及有代表性的区域,以全面反映噪声和振动分布。鉴于现阶段实时采集、传输和分析噪声振动数据存在一定难度,可采用定期人工采集与部分关键点位自动采集相结合的方式。定期开展环境影响评估工作,依据采集的数据和相关标准,评估当前控制措施的实施成效。依据评估结果,及时调整优化控制措施,比如增加或更换减振设备、优化列车运行时刻表等。通过持续的监测与评估,确保控制措施有效降低噪声振动对环境的影响,保障周边环境的舒适与安全^[4]。

结束语

城市轨道交通噪声振动问题,涉及规划、设计、运营及监测评估等多环节,其环境影响具持续性、线源性和区域性等特征,来源广泛且传播途径复杂。通过构建涵盖声源、传播途径和受体防护的噪声振动控制技术体系,并在规划阶段预防、工程设计控制、运营管理优化以及环境监测与评估等方面采取综合治理对策,能够从源头、过程到末端全方位降低噪声振动对环境的影响。未来,随着技术不断进步和管理日益精细,需持续探索创新,进一步完善治理措施,以实现城市轨道交通与周边环境的和谐共生,为居民创造更安静、舒适的生活和工作空间。

参考文献

- [1]刘宗彬,黄均,白旭辉,等.城市轨道交通工程施工噪声影响分析及降噪管理措施研究[J].工程管理学报,2024,38(3):76-81.
- [2]余才高,杨秀仁,张伯林,等.城市轨道交通地下线振动噪声整治技术研究与应用[J].都市快轨交通,2022,35(5):96-103,126.
- [3]魏炳鑫,李玉路,叶利宾,等.城市轨道交通振动噪声治理及管控模式研究[J].现代城市轨道交通,2024(8):135-140.
- [4]张晋.城市轨道交通高架线路规划中的声环境影响研究[J].环境影响评价,2020,42(05):58-62.