

研究跨座式轨道交通对文物的影响

——以重庆轨道交通2号线杨家坪段现场实测为例

金鑫 张利平 焦攀

中铁工程设计咨询集团有限公司郑州设计院 河南 郑州 450052

摘要:为解决跨座式轨道交通建设与运营对沿线文物造成影响的问题,本文以重庆轨道交通2号线杨家坪段现场实测为案例,针对跨座式轨道交通在施工及运营阶段对文物的影响展开研究。其中,施工阶段的影响涵盖挖掘施工干扰、地面沉降作用、环境变化等方面,同时结合案例分析了运营阶段的具体影响,并据此梳理影响机制与关键因素,以期为相关文物保护工作者及轨道交通工程建设者提供参考。

关键词:重庆轨道交通2号线杨家坪段现场实测;跨座式轨道交通;文物;影响

引言

随着社会经济的快速发展和城市化进程的加快,城市交通正面临巨大压力,尤其在大中城市,城市轨道交通的出现就成为了缓解交通问题的极佳方式。跨座式单轨属于中等运量轨道交通系统,拥有投资少、周期短,智能环保、适用性强、占地面积小等诸多优点,也是我集团近年来力推的主要项目之一^[1-3]。另一方面,相较于普通城市道路,城市轨道交通产生的环境振动存在强度大、频度大、周期长等特点,伴随着城市轨道交通的建设及运营,也会对周边建筑尤其是历史文化建筑产生极大的影响^[4-5]。随着国人对高生活品质的追求,历史文化建筑这些历经百年、千年沧桑的宝贵文化遗产,在城市规划及建设中的地位也将更加重要,对其相关的保护要求也将日趋严格。目前我国针对文物的振动环境标准要求主要参照《古建筑防工业振动技术规范》(GB-T 50452-2008)。同时,《建筑工程容许振动标准》(GB50868-2013)对于未核定为文物保护单位的不可移动的且具有历史、科学、艺术价值,需要保护的古建筑,遗址等,也给出了相应的振动限值标准。

1 研究目的及意义

本文聚焦跨座式轨道交通对沿线文物的影响问题,通过对国内已投入运营的跨座式单轨项目开展系统性现场监测,深入探究其引发的环境振动特性。本文针对不同条件下的运营项目,选取典型监测点进行长期数据采集,重点记录振动强度、频率分布及传播路径等关键参数,以此为基础构建跨座式单轨环境振动的数据库。在

此过程中,研究着重分析环境振动的源强特征,即单轨列车运行时轮轨接触、轨道结构振动等核心振源的能量级,结合轨道类型、列车速度、桥梁结构等变量,厘清振源强度与运营参数的关联规律。同时,通过对振动在不同地层介质(如土层、岩层、人工填土层)中传播数据的对比分析,总结振动能量随距离增加的衰减曲线,明确地质条件对衰减速率的影响机制,并进一步提炼振动信号的频率分布特征,识别可能对文物结构造成共振影响的敏感频段。上述研究获得的振源强度、传播特性及频率规律等数据,可为跨座式单轨项目的环境保护设计提供量化依据——例如指导轨道减振措施的选型与布设,优化线路与文物保护区的安全距离规划;同时为项目环境影响评价提供科学支撑,使评价结论更贴合实际振动效应;此外,这些成果既能为行业技术标准的完善注入动力,推动跨座式单轨在文物密集区的安全应用,也能为环境管理部门制定振动限值、审批建设项目提供决策参考,最终实现轨道交通发展与文物保护的协同推进^[6-7]。

2 重庆轨道交通2号线工程概况

重庆轨道交通2号线,线路全长31.36千米,是中国第一条跨座式单轨线路,沿线经过人民解放纪念碑、市奥林匹克体育中心、市动物园等重要节点。重庆轨道交通2号线根据重庆地形特征采用了噪声小、转弯半径小、爬坡能力强的架空跨座式单轨交通系统,该系统采用橡胶轮胎,车辆运行时产生的振动、噪音都很低,具有明显的环保特性。重庆轨道交通2号线目前采用中国北车集团生产的车辆,采用4/6编组,于2012年11月19日正式上线。

2.1 测试点情况

振动源强实验要求实测现场受其他振动干扰较小,

作者简介:金鑫(1987—),男,陕西西安人,汉;工程师,硕士研究生,研究方向:环境设计。

列车的时速等可能影响振源强度的因素差异性较大。同时地面振动衰减实验对实测现场场地存在以下要求：实测场地要求完整，不存在沟壑、墙体等可能影响振动传播的障碍物；实测场地要求尽量开阔，考虑到跨座式单轨的振动传播极限距离预估在100m范围之内，所以要求场地尽量需要50m-70m的断面布点空间；由于重庆是我国有名的山城，大部分道路存在坡度起伏，这也可能对传感器的数据采集产生影响，所以实测场地要尽量选取水平度较好的路面。

综合以上考虑，通过现场踏勘及相关工程建设情况，本次研究最终选择在重庆市轨道交通2号线杨家坪段进行现场实测。

3 振动源强研究

3.1 振动源强概况

列车振动是由行驶的列车系统与轨道系统相互作用产生的随机振动，对于车辆来说，主要是由车轮擦伤、车轮踏面几何不平顺以及车轮偏心等原因引起，而轨道方面的因素主要包括三个方面：轨道几何不平顺以及轨面波浪或波纹磨损等；轨道接头状态不良；轨下基础缺陷。对于高架桥而言，还包括轨道梁-桥墩系统之间的相互耦合影响。因其系统中各子系统相互影响较为复杂，无论是采用理论分析或是计算机模拟建立整体模型都是比较困难的。

所以本次研究将列车-轨道梁-桥墩视为一个整体，分析该整体对外界环境的振动影响。

按照《古建筑防工业振动技术规范》中关于振源半径的相关规定，按照火车、汽车（刚性路面）取值，本次研究的振源半径取值为3m。

3.2 测试仪器和测点布置

测试仪器包括东方振动和噪声技术研究所制造的INV3062T2（4通道）数据采集仪2台和891型拾振器（水平）7台。考虑车速的变化情况，仅对2#~10#桥墩布设检测点位，在每个桥墩外侧3m处布设检测点位。测点检测时间均为30min。

3.3 振动源强的时域特征

从时域数据来看，车辆通过时水平振动速度波动明显，车辆驶入时振动速度波动逐渐增大，水平振速的最大值产生于车辆通过时段内，随着列车的离开，振动水平逐渐归于背景值。

4编组列车通过时间约为3s，其振动作用时间约为6s；6编组列车通过时间约为5s，其振动作用时间约为10s。振动作用时间约为列车通过时间的2倍。

3.4 振动源强的频率特征

对比各检测点位的频谱特征，振源的卓越频率主要集中在 < 30Hz的低频区间。分为10Hz、20Hz两个频带。整体来说，随着车速的逐渐增加，振源的卓越频率也在逐渐增加，但变动幅度不大。根据即有研究，动车组列车引起的环境振动主要集中在70Hz左右^[8]。

3.5 振动源强的相关性分析

为了明确列车速度的变化，对通过每个桥墩的列车速度进行了监测，为了精确监测数据，取连续10次通过列车速度的平均数为该桥墩通过列车的车速值。根据现场数据我们发现，列车经过10#桥墩后车速基本稳定在19m/s左右，约70km/h。

1#及5#桥墩由于周边情况，无法进行监测，所以本次实验选择了2#、3#、4#、6#、7#、8#、9#、10#，8个车速变化明显的桥墩，在距离桥墩3m处，分别进行了连续30分钟的振动监测，同时记录了列车通过的具体时速以及上下行、列车编组情况。

将以上信息作为统计分析的样本。本次分析有效样本总计99个，其中上行样本52个，下行样本47个；4编组样本42个，6编组样本57个。

为了明确列车上下行情况及编组数量是否对振动值产生影响，我们首先对样本进行相关性检验。相关分析结果见表1。

表1 列车通过振动值与影响因素的相关性分析

相关因素	车速	上下行	编组数量	
振动值	相关性	0.837**	0.31	0.175
	Sig（双尾）	0.000	0.751	0.83

注：**P < 0.01.显著性水平

列车通过时产生的振动值和列车通过时的车速成强正相关（P < 0.01）。说明，车速是列车产生振动值的主要影响因素。通过控制车速可以较为显著的控制列车通过时产生的振动影响。此外，列车通过时的上下行以及车辆编组情况与振动值的相关性较低，可以认为列车通过时的上下行以及车辆编组情况对列车产生的振动值影响较小。这与毛昆明等人针对沪宁城际高桥段CRH动车组运行引起的地面振动现场测试结果基本吻合^[9-10]。考虑到本次分析车速采集范围仅在12m/s~20m/s，虽然已经覆盖了跨座式城市轨道交通的大部分行车情况，但是仍需注意超出该范围的车速情况不在本次分析的范围之内。

3.6 振动源强的回归分析

根据实测数据，列车通过时产生的振动值与列车通过时的速度关系应为曲线函数，选取幂函数、S函数、增长函数、指数函数分别进行曲线拟合，其中幂函数曲线拟合度最好，R方值为0.912，以此为基础得到振动值与车

速的回归方程。

4 结果

(1) 列车在振源半径处产生的水平振速的最大值产生于车辆通过时段内,随着列车的离开,振动水平逐渐归于背景值。振动作用时间约为列车通过时间的2倍。

(2) 列车在振源半径处产生水平振速的频率主要集中在<30Hz的低频区间。可以分为10Hz、20Hz两个频带。

(3) 列车在振源半径处产生水平振速主要与列车通过时的行驶速度有关;与列车的上下行情况及编组数量无关。

5 结束语

跨座式轨道交通作为城市交通的重要组成,其建设运营与文物保护的关系呈现出显著的双面性。从负面影响来看,这类工程可能对文物造成多维度冲击:线路规划若贴近文物保护区,可能破坏周边历史景观风貌的完整性,比如切割传统街巷肌理或遮挡古建筑视野;列车运行产生的持续振动与结构荷载,可能引发文物建筑地基松动、墙体开裂等结构性损伤,尤其对砖木结构的古建筑威胁显著;振动与电磁干扰还可能影响文物保护设备的正常运行,如恒温恒湿系统、安防监测装置的精度易受干扰。然而,合理规划跨座式轨道交通也能成为文物保护的助力。通过线路串联沿线分散的文物点,可形成区域性文化旅游线路,提升文物的可达性与展示度;客流增长带动的文旅消费,能为文物修复、日常管护提供稳定资金来源,形成“保护-利用”的良性循环。当前,国内多个城市已着手调整跨座式轨道交通沿线用地规划,旨在通过土地综合开发提升交通网络的经济效益。但需警惕的是,若在工程建成后才考量土地开发对文物的潜在影响,往往因建筑格局固化而错失干预时机,甚至造成不可逆的破坏。因此,针对跨座式轨道交通与文物保护的关系,需建立“具体问题具体分析”

的动态评估机制:结合文物类型(如古建筑、遗址、非物质文化遗产)、工程阶段(规划、施工、运营)及地域特征,制定差异化的保护策略,才能在保障交通功能的同时,实现文化遗产的长效存续。相信随着研究的不断深入,跨座式轨道交通对文物的影响这一问题会获得满意的解决,取得共赢的局面。

参考文献

- [1]王丽佳,贾波,黄龙,等.绍兴轨道交通1号线建设中的文物保护[J].城市轨道交通研究,2023,26(01):245-250.
- [2]陈作帅.宁句城际轨道交通工程绿色施工技术研究[J].资源节约与环保,2022,(09):132-136.
- [3]黎庆,顾浩磊,许炳刚,等.轨道交通振动对邻近文物影响研究及展望[J].海峡科技与产业,2022,35(07):68-72.
- [4]刘羽凡,曲可翊.地铁空间建设与文物展示协同发展的可行性分析——以西安市为例[J].住宅与房地产,2022,(10):98-100.
- [5]齐成成,王增吉.对邻近文物保护单位的深基坑开挖有限元分析[J].工程建设与设计,2022,(06):31-33.
- [6]马蒙,刘维宁.我国文物建筑受列车微振动影响研究现状及关键问题分析[J].噪声与振动控制,2019,39(04):1-6+69.
- [7]孙蕙,惠昭.地铁建设规划阶段文物影响评估的模式与经验探讨——以西安市轨道交通第三期建设规划文物影响评估为例[J].价值工程,2019,38(22):5-7.
- [8]耿玥.城市等级差异下轨道交通对房价的影响研究[J].哈尔滨学院学报,2019,40(04):33-37.
- [9]关美荣,张浩森,李昀阳,等.地铁运营期间产生的振动对文物影响的评估方法研究[J].中国住宅设施,2018,(06):75-76+52.
- [10]李昀阳,张浩森,张硕.地铁施工期间对文物影响的数值分析[J].施工技术,2018,47(S1):775-778.