

公路交通荷载引发环境及建筑物振动研究综述

Summary of Research on Environmental and Building Vibration Induced by Highway Traffic Load

胡振程

Zhencheng Hu

福建省交建集团工程有限公司 中国·福建 厦门 361000

Fujian Communications Construction Group Engineering Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361000, China

摘要: 临近公路的环境、建筑物及其建筑物内的人和相关仪器受到振动影响甚至产生损伤的问题日益突出, 公路交通振源及振动传播规律成为研究热点。首先总结了公路交通荷载的特点, 其次对临近公路的建筑物、精密仪器和人体的振动影响和振动规律进行评述, 最后进行了总结并提出建议与展望。研究表明公路交通荷载具有显著的随机性、复杂性, 其理论模型准确性还有待提升; 公路交通振动对临近区域影响以垂向振动为主, 主频段与交通荷载类型、场地条件有显著关联, 但基本集中于 2~300Hz 间, 影响范围约为 100m; 应着力加强减振降噪技术和产品的开发, 降低振动强度, 避开共振频段。

Abstract: The environment, the buildings, the people in the buildings and the related instruments near the traffic are affected by the vibration and even the damage is becoming more and more prominent. The vibration source and vibration propagation law of traffic have become a research hotspot. Firstly, the characteristics of traffic load are summarized. Secondly, the vibration effects and vibration laws of buildings, precision instruments and human bodies are reviewed. Finally, the paper summarizes and puts forward suggestions and prospects. The results show that traffic load has significant randomness and complexity, and the accuracy of its theoretical model needs to be improved. The influence of traffic vibration on adjacent areas is mainly vertical vibration. The main frequency segment is significantly correlated with traffic load type and site conditions, but mainly concentrated in the range of 2~300Hz, and the influence range is about 100m. Efforts should be made to strengthen the development of vibration and noise reduction technology and products to reduce vibration intensity and avoid resonance frequency band.

关键词: 公路交通; 振动响应; 主频段; 建筑物

Keywords: traffic; vibration response; main frequency band; adjacent buildings

基金项目: 福建省住建厅项目 (项目编号: 2022-K-169)。

DOI: 10.12346/etr.v5i5.8042

1 引言

近年来, 随着中国经济蓬勃发展, 中国大中型城市市政公路交通网日趋完善, 且临近居民区和商业中心。据公安部统计数据表明, 至 2022 年, 中国机动车保有量已达 4.2 亿辆, 全国已有 84 个城市机动车保有量上百万辆。机动车数量的快速增长, 市政道路不断加宽、加密, 导致机动车辆密度大幅提升, 车速逐渐增加, 以公交车、卡车为代表的重载

车辆日益增多, 市政道路引发过量噪声及振动对临近区域建筑物、居民的影响已成为不可忽视的问题, 主要反映在: 市政交通引发的邻近区域振动污染是一个全天候且长期存在的过程, 极易影响邻近区域居民的身心健康, 干扰日常工作; 可能引发邻近区域古建筑或老旧建筑安全隐患; 可能引发精密仪器精度降低、数据失准和使用年限明显下降等问题。为了掌握及解决以上问题, 国内外研究人员开展了公路

【作者简介】胡振程 (1991-), 男, 中国福建南平人, 本科, 工程师, 从事道路与桥梁研究。

交通荷载的振源部分,交通荷载引发邻近环境及建筑物振动的振动传播及影响部分,交通振动控制的减振降噪措施等系列卓有成效的研究及应用,随着我国大中型城市不断发展,车流荷载下市政道路引发环境振动及控制研究逐渐成为研究热点。

2 公路车辆荷载研究现状

数值拟合技术是获取汽车与路面组合而成的振源系统响应的重要理论研究方法。提出一种考虑公路平整度的计算方法,该方法通过公路平整度函数拟合,构建汽车—公路耦合振动模型,分析汽车—道路空间速度谱和加速度谱,进而获得振源振动频率及强度^[1]。基于梯度加权有限元法和基于虚拟中心点的离散剪切间隙法,创建了一种新型声固耦合与分析方法并应用于汽车模型的系统动力特性响应预测,获得的预测结果精度将显著高于目前常用的有限元法,可以应用于车辆振源的振动预测,且具有良好的适应性和可靠性。将汽车简化为4自由度,提出车辆—不平整路面耦合振动分析方法,建立了函数拟合表达式,通过数值仿真获得振源系统在不同路面条件下的时域响应,并说明车辆及路面条件是影响公路交通荷载的显著因素。由于近年来电动汽车呈几何倍数增长,考虑电机中的电磁激励、轮胎路面多点激励和非线性路面条件,建立电动汽车—路面耦合动力模型,提出振源截断阶数选取简易数值拟合方法,研究了电机激励、轮胎路面多点接触、车速、非线性路面条件和路面不平顺等因素对振源振动响应的影响,指出未来电动车的电磁激励可能带来较强的振源响应^[2]。

同时,由于交通荷载的复杂性及随机性,振动实测技术仍是贴近实际,较为精确的一种常规研究方法基于车速、车型和行驶方式等因素开展振动实测,获取振源部分的振动强度响应与频谱特性,结果表明车速是影响振动强度的主要原因,而车型是影响频谱特性的主要原因,同时需重点关注垂向振动。表明影响汽车振动强度的主要因素有车型、车重、胎压、车身结构和路况等,通过振动实测,获取了胎压大小与汽车振动频率特性有显著关联,高胎压易降低汽车行驶平顺性,同时增加振源振动强度。通过北京城市交通干线现场实测,获取了适用于相似车流场景和场地条件的交通流信息、振源特性地面振动强度响应等结论,验证了创立的汽车—路面—地基理论模型的准确性。对上海某工业园区重载卡车通行进行了振动现场实测,结果表明不同的车队编排形式能显著影响振动强度的大小,同时重载卡车行驶速度和行驶方式(匀速或刹车)均能明显改变公路交通荷载的振动强度响应。对广州市某典型市政道路进行振动实测,获取常见车型在不同速度下的振动响应,结果表明车辆引发道路振源加速度与车重、车速有显著关系,且振源主频段在10~40Hz间^[3]。

近年来,随着研究深入,公路桥梁在公路交通荷载长时

间反复作用下疲劳问题成为研究热点。借鉴天津主要交通干线典型路段全天候交通观测数据,基于疲劳损伤等效原理,将车辆简化为具有工程实践意义的2种标准车型疲劳荷载频谱,用于天津市公路桥梁疲劳设计。利用广西主要交通干线的主要车型的荷载数据,基于疲劳损伤等效原理建立常见车型引起路面的疲劳损伤影响长度,提出适用于广西地区公路桥梁疲劳设计损伤修正系数建议值。通过1年实测浙江沿海某典型公路荷载,通过车流量、车型、车重和轴距等影响因素研究其疲劳荷载谱,对钢桥关键部位进行寿命评估,保证公路桥梁的结构安全。选取5条典型公路,通过动态称重技术获取车辆荷载组合分布,基于有限元模型构建标准车型疲劳荷载模型,可以代表不同组合的公路交通荷载,具有较好的工程应用价值^[4]。

3 公路交通荷载引发临近区域振动现状

车辆荷载传导至路面后,振动波经土体向临近区域传播。不同的振动强度、不同的振动频率、不同的场地条件均可能造成相异的临近区域振动环境,因此有必要对场地条件各异的不同城市开展专项研究。

3.1 邻近区域环境振动影响

由于车辆荷载组合的随机性和复杂性,场地条件的差异性,因此公路交通网临近区域环境振动有明显差异。对某市公路及其临近区域开展振动实测,实测结果表明,某市公路引发临近区域环境振动频段集中于5~25Hz区间,垂向振动显著强于水平向振动。以深圳某公路为研究对象,建立有限元模型研究公路临近区域振动强度和频谱特性,研究结果表明振动波在岩层衰减较慢,振动强度和频谱基本符合限值要求,桩基部分加速度以垂向振动为主^[5]。对某公路区间段临近环境开展振动实测,实测结果表明,环境振动频段集中于30~250Hz,振动强度随着距离逐渐减少,但低频部分在100m外仍有残余振动。对武汉某繁忙交通干线开展实测,结果表明,交通干线邻近区域昼间振动强度为50~65dB,随着距离的增加,振动强度逐渐减弱,高频衰减较快,低频振动影响较远,环境振动主频与距离有关,主要集中于10~60Hz间。对某城市公交车引发环境振动开展实测,结果表明,公交车的振动强度影响范围于距离公路50m内,振动频段集中于7~20Hz。文献对某城市重载卡车引发的环境振动开展实测,结果表明振动频段集中于三个区间段,分别为0~50Hz、0~100Hz和170~300Hz,且垂向振动显著强于水平向振动^[6]。

3.2 邻近区域建筑物振动影响

由公路车流荷载引发的邻近区域环境振动的差异性,致使邻近区域上盖建筑物受迫振动强度和主频段也有一定的差异。利用数值分析方法,以邻近公路的多层砖混结构为研究对象,考虑公路车辆如车重、车速等影响因素,同时考虑砖混结构位置、高度、建设年代及保养程度,对影响建筑物

振动因素重要程度进行评判^[7]。通过有限元建模开展数值分析,结果表明建筑物受迫振动不能忽略水平向振动,同时垂向振动强度随着楼层的增加而增加,水平向振动强度随着楼层的增加而增幅减小。利用数值模拟技术模拟公路车流随机荷载引发邻近建筑物的振动响应,结果表明,邻近建筑物峰值主频为20Hz左右,位移响应值随着楼层的升高而增幅增大。对邻近某交通繁忙公路干线的古建筑开展振动实测和数值分析,结果表明,公路交通荷载引发的古建筑振动以低频为主,主频段为3~15Hz,古建筑第一阶主频与激励主频相近,可能对古建筑的安全造成威胁^[8]。对北京交通干线邻近的古建筑遗址开展现场振动实测,结果表明,北京交通干线引发古建筑遗址的主频段为10~20Hz,且振动速度在一定范围内出现放大现象,具有显著的安全隐患。

3.3 邻近区域精密仪器的振动影响

中国大中型城市中科研单位、医院和精密检测机构等可能使用精密仪器的部门较为普遍,而城市发展无法避免交通干线与之相邻,而振动频率可能对精密仪器产生不良影响^[9]。对某邻近交通干线的离子医学中心内设置精密仪器的区域开展振动实测和数值模拟分析,结果表明公路引发的振动主频为2~10Hz的中低频,建筑底板须经过改造才可满足振动要求,以上海某繁华地段邻近交通干线的计量检测所为振动实测主体,分析和评估在不同的振源条件下检测所内精密仪器的受迫振动影响,结果表明必须要采取适当的减振措施才能确保精密仪器的正常工作。通过振动实测评估了某科研机构实验室精密仪器受到交通环境的振动影响,结果表明交通振动超过仪器正常运行限值,须采取一定的减振隔振措施^[10]。

综上所述,当前公路交通荷载已对临近区域环境、建筑

物、精密仪器和人体产生不同程度的影响甚至损伤,随着我国城市不断发展壮大,公路交通网络不断完善,公路交通荷载引发的环境振动及后续的振动控制必将成为城市微振动的研究主题。

参考文献

- [1] Bata M. Effects on buildings of vibrations caused by traffic[J]. Building Science, 1971,6(4):221-246.
- [2] Nishizaka R, Fukuwa N. A study on the properties of vehicle dynamic loads on traffic-induced vibration problems : A study of traffic-induced vibration problems on an asphalted road Part 1[J]. Journal of Structural & Construction Engineering, 1997,62(491):65-72.
- [3] 蔡翔宇.基于交通荷载随机特性的环境振动评价方法研究[D].杭州:浙江大学,2023.
- [4] 郭庆林,杨永辉,张聪.汽车荷载引起建筑结构环境振动响应规律分析[J].四川建筑科学研究,2019,45(5):32-36.
- [5] 中国汽车工业总公司和中国汽车技术研究中心.中国汽车车型手册[M].济南:山东科学技术出版社,1993.
- [6] 中汽华轮公司.中国乘用车车型手册[M].济南:人民交通出版社,2018.
- [7] 罗晨晖,麻友良.基于路面平整度模拟的汽车行驶振动感应研究[J].计算机仿真,2023,40(2):172-176.
- [8] 崔向阳,贺煜峰,胡鑫.基于新型声固耦合方法的汽车振动噪声响应分析[J].机械工程学报,2022,58(13):137-146.
- [9] 宋一凡,陈榕峰.基于路面不平整度的车辆振动响应分析方法[J].交通运输工程学报,2007(4):39-43.
- [10] 李韶华,冯桂珍,丁虎.考虑胎路多点接触的电动汽车-路面耦合系统振动分析[J].力学学报,2021,53(9):2554-2568.