

城市轨道交通项目的噪音与振动环境监测与控制研究

高玉青 袁琨

青岛兰德工程造价咨询有限责任公司

摘要:城市轨道交通运营过程中, 噪声和振动是影响交通环境的重要因素。所以降低城市轨道交通运行过程中的噪声和振动是改善城市交通运输质量, 推动城市交通可持续发展的重要因素。相关研究表明城市轨道交通中的噪声和振动有着非常密切的关系, 振动是导致噪声的主要原因, 所以通过对城市轨道交通的振动进行控制就能够有效解决城市交通振动和噪声的相关问题。本文将对城市轨道交通项目的噪声和振动环境监测和控制进行研究。

关键词:城市轨道交通; 噪声; 振动; 环境监测; 控制措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.01.082

引言

城市轨道交通是一种充分利用地下空间, 来为城市居民提供交通运输服务的交通方式, 通过充分利用城市轨道交通的运输量大、运输速度快, 运输效率高等特点能够有效提升城市交通效率, 降低城市交通拥堵的现状。同时还能有效降低交通运输对大气造成的污染。但是, 地铁等城市轨道交通工具在运行过程中会产生振动和噪声, 不仅会影响人们的出行体验, 还会对沿线居民的日常生活产生影响。所以, 有效控制城市轨道交通运行过程中的振动和噪声问题是非常重要的。

一、城市轨道交通产生噪声和振动的原因

(一) 城市轨道交通产生振动的的原因

当城市轨道交通工具在铁轨上运行时, 列车和轨道会因为车轮与轨道之间的碰撞而产生振动。产生振动的主要因素包括: (1) 轨道几何形状的不平顺; (2) 铁轨顶面的波浪形磨耗以及钢轨之间的接缝; (3) 列车车轮踏面擦伤或者车轮踏面不圆顺。同时列车和铁轨产生振动具有较强的耦合性, 并且轨道结构是耦合性振动传输的主要形式。一般情况下, 高架结构能够通过桥梁墩台来将振动传输到地面。但是地铁轨道则需要通过周围的土介质将振动传输到地表。所以轨道结构式振动的振源, 同时也是振动传输的重要环节, 会直接对振动的效应产生影响。

(二) 城市轨道交通产生噪声的原因

噪声的研究中, 通常是通过噪声源、传输途径和接收点三个方面来进行分类和研究。所以车厢内的噪声会由乘坐该车辆的人所承受; 车站内的噪声则由车站内的候车人群所承受; 道路边的噪声则由临近道路附近区域的居民或者工作人员承受。同时各种类型的噪声可能来自多个噪声源或者两个噪声源, 并沿着各种传播途径进行扩散。其中城市轨道交通的噪声强度与系统特性相关, 轨道交通的轨道设置的位置会直接决定影响噪声等

级。如果轨道位于地下, 则车厢内的噪声等级更高, 如果轨道位于地面, 则路边的噪声等级更高。同时, 列车运行的速度、铁轨形式、车轮踏面情况等都会对噪声的等级产生影响。列车车轮与轨道之间的碰撞是导致城市轨道交通运行过程中产生噪声的主要原因。然后产生的噪声会通过空气、固体结构等进行传输, 对周围人们产生影响。

二、城市轨道交通噪声和振动的特点及传播规律

(一) 城市轨道交通噪声和振动的特点

城市轨道交通的运行是根据人们的日常作息时间来安排的, 所以城市轨道交通的运行具有一定的间歇性。通常情况下, 城市轨道交通的运行时间为5:00~23:00, 同时每列地铁或者轻轨之间会间隔2~6min。所以城市轨道交通产生振动和噪声不是全天候的。其次城市轨道交通产生噪声和振动的原因是列车系统和轨道系统之间的碰撞, 所以城市轨道交通轨道中心几米到几十米的范围是噪声的主要受点范围。按照点声源和线声源的方式可以确定轮轨噪声为线声源, 其他噪声均为点声源。最后, 一个受声点会受到多种噪声的影响而出现噪声的叠加, 同时各种噪声的频率不同, 并且不会相互干扰。

(二) 城市轨道交通噪声和振动的分类

城市轨道交通运行中所产生的振动属于随机振动问题, 所产生的振动波会通过梁、墩台以及基础传输至地基, 然后通过地基传输至其他建筑物的基础对其他建筑产生影响。列车运行过程中, 噪声的因素较多, 主要包括: (1) 轮轨冲击噪声和车辆设备运行噪声; (2) 活塞运动过程中产生的风噪声; (3) 通风系统工作过程中的摩擦噪声; (4) 列车集电弓与电网摩擦噪声; (5) 列车运行产生的气流噪声等。所以城市轨道交通的噪声是多重噪声的综合效果, 同时噪声情况与列车的运行状态和列车设备的运行状态有着非常密切的关系。所以, 城市轨道交通的噪声和振动是由多重因素所导致的, 同时各种因素所占比重也不相同。

三、城市轨道交通噪声和振动测试

(一) 城市轨道交通振动测试

本次研究以某地铁线路对沿线地面建筑进行了振动测试, 对深埋地下11.8m的地铁水平距离2m内的砖木结构建筑和深埋地下9m的地铁水平距离1m, 内的钢筋混凝土建筑结构的各向振动加速度水平进行了测试, 如表1表2所示。结果表明, 软黏土深埋10m左右地下线路中心处最大震级为75~80dB; 地面建筑振动情况会受到扣件类型的影响, 减震钢轨扣件具有较好的减振效果; 建筑物的基础类型、建筑物构造形式以及建筑物与地铁之间的水平距离与建筑物的垂直型振动级有直接的联系。

表1 某地铁沿线地面建筑振动测试结果

项目	砖木结构		钢筋混凝土结构	
	轨道减振器	DTIII扣件	轨道减振器	DTIII扣件
床道振动加速水平	100.26	105.11	100.26	105.11
隧道壁振动加速水平	95.12	95.56	95.12	95.56
房屋振动加速水平	77	80	69.7	73.6

表2 某地铁沿线建筑地面建筑振动测试

建筑类型	距离隧道水平距离m	隧道深度m	地面基础材料	垂直向振动级dB
平房	17~28	9~13	砖地	76~79
	30~40	9~13	砖地	73.4
	40~45	9~13	砖地	<70
二层老式楼房	32	9	地板地	65.6
4~5层楼房	32	13	混凝土	<66
高层楼房	32	9	混凝土	<66

(二) 城市轨道交通噪声测试

本次研究选择了4个噪声测试点来对某城市地铁线路的噪声情况进行测量，测量结果如表3所示。根据噪声测量结果表示，该城市地铁列车在以60~80km/h时高速行驶时，噪声峰值为85~90dB(A)，同时具有声级高，作用时间长，以中低频为主的特点。在高架线路箱梁下测定的噪声峰值为80~85dB(A)；高架线路的噪声超过正常噪声标准10~15dB(A)；随着建筑物与轨道之间的距离增加，其噪声峰值呈衰减状态，当距离增加到30m时，噪声衰减为5dB(A)；箱梁小噪声等级较大，说明列车运行过程中产生的噪声会通过轮轨动力作用直接传输到梁体，从而会产生二次噪声。

表3 某城市地铁线路4个不同测量点噪声测量情况

测量点	测量点情况	噪声值/dB(A)		测量说明
		本底噪声	噪声峰值	
1	高架桥下7m	58	83	第一次测量
		65	78	第二次测量
	高架桥下7m，水平15m	65	80	
2	高架桥下4m，列车进站	55	68	第一次测量
		55	74	第二次测量
	高架桥下4m，列车出站	55	77	第一次测量
		55	76	第二次测量
3	水平距离20m，5楼，上行列车	65	80	由A型声屏障
	水平距离20m，5楼，下行列车	65	82	
	箱梁底	65	85	
4	水平距离25m，14层，上行列车	65	84	
	水平距离25m，14层，下行列车	65	86	
	箱梁下6m，上行列车	65	85	
	箱梁下6m，下行列车	65	88	

四、城市轨道交通振动和噪声控制策略

(一) 城市轨道交通振动控制策略

城市轨道交通管理过程中，振动控制是一项综合性较强的工作内容，需要充分结合城市轨道交通使用的列车车辆、轨道、桥梁和隧道的结构形式以及岩土特性等多方面的因素来进行综合考虑。

1. 城市轨道交通列车选型

城市轨道交通列车的性能会直接对振动产生情况产生影响，所以在进行列车车辆选择过程中需要充分考虑选用列车的动力性能，选择具有较高动力性能的列车来作为运行车辆。同时需要通过降低列车重量和列车轴重量的方式以及减小列车轮与轨道的冲击方式来实现降低列车运行过程中的振动。

2. 隧道结构的选择

城市轨道交通运营过程中需要通过合理的隧道结构减振措施来降低城市轨道交通振动的传播。具体的方式包括：(1) 框架式防振隧道结构。框架式防振隧道结构具有质量大、刚度大、整体性好的特点，相较于传统装配式衬砌隧道结构可以有效降低8~15dB的振动加速度；(2) 暗挖施工法。通过暗挖施工法进行隧道施工过程中可以在隧道衬砌层内设置隔振层，这样能够直接避免隧道与轨道之间的接触，从而降低了振动的传播。

3. 轨道结构设计振动控制措施

城市轨道交通的轨道结构与干线铁路轨道结构设计有着较大的差异，城市轨道交通所具备的自身特点要求城市轨道交通轨道设计需要按照“维修少、弹性高、减振降噪强”的特点来进行。当前我国城市轨道交通的轨道结构还涉及可以按照其减振效果分为三种类型：(1) 一般扣件型轨道，这种轨道的竖向刚度在20~60kN/mm范围内，能够起到一定的减振降噪效果；(2) 柔性扣件型轨道。这种扣件的竖向刚度在10~25kN/mm范围内，具有良好的减振效果，主要应用于减振需求较高的区域内；(3) 特殊要求减震型轨道。主要应用于对减振效果有着特殊要求的区域。

(1) 柔性扣件减振

通过对城市轨道交通地下段采用柔性扣件轨道结构设计可以有效降低城市轨道交通运行过程中对沿途建筑的振动影响。相关研究表明，Lord扣件轨道结构设计方式比DTIII扣件轨道结构设计方式具有更好的减振效果。同时在高架城市轨道交通线路采用柔性扣件轨道结构可以有效减小振动向着桥梁和沿线建筑的传递，并且可以有效降低轮轨噪声和桥梁结构的二次噪声。

(2) 减振型轨道下基础

轨下基础对城市轨道交通的减振效果有着一定的影响。通过浮置板轨道结构能够将城市轨道交通的振动级降低20dB，可以应用于对减振效果有着特殊需求的区域，或者应用于综合性多层车站。LVT无渣轨道是一种弹性支承块式轨道结构设计方式，通过在支承块下添加一层弹性橡胶套来实现轨道结构的减振效果。这种轨道结构设计方式下轨道的垂向刚度为10~30kN/mm，垂向

弹性通过轨道下和块下的双层弹性橡胶垫板来进行提供。通过弹性点支承方式解决了传统轨道设计中床结构和受荷相应的情况,使轨道的纵向弹性点支承刚度趋于一致。同时弹性橡胶垫可以更好地为轨道结构提供纵向和横向的弹性形变,使轨道结构的承载、动力传递以及震动能量吸收等方面都具有更加优秀的性能。从而实现了减振降噪的效果。

(3) 采用重型钢轨或者无缝线路设计

城市辅导交通轨道设计过程中,通过重型钢轨可以对钢轨的垂向振动起到有效的抑制作用。假设将50kg/m的轨道更换成62kg/m轨道,在轨道垂向刚度增加的情况下可以将列车对轨道冲击产生的振动降低10%。通过无缝线路设计则可以有效降低相同长度轨道内的轨道接头数量,从而有效减少了列车行驶过程中与轨道产生的冲击次数,实现降低轮轨冲击所产生的振动。

(4) 强化轨道不平顺管理

城市轨道交通运行过程中,轨道的平顺情况会直接对列车的荷载情况产生影响,轨道不平顺会直接使动荷载增加。如果动荷载增加则会导致轨道的状态恶化,从而导致轮轨之间的振动和噪声增大。相关研究表明。通过对钢轨进行打磨可以将轮轨振动频率控制在8~100Hz范围内,可以使振动水平下降4~8dB,使台上振动水平下降5~15dB。所以通过有效的平顺管理措施来对轨道进行平顺管理,制定出完善的养护维修计划使轨道处于较为平顺的状态能够有效降低轮轨振动和噪声对周围环境的影响。

(二) 城市轨道交通噪声控制措施

在进行城市轨道交通噪声控制过程中需要充分结合噪声源、传播途径以及噪声受体来对噪声进行控制。其中噪声源控制是对轮轨动力作用进行控制,通过设置声屏障的方式来进行噪声传播途径的阻断,充分结合噪声敏感目标来选择相应的噪声控制措施。

1. 车辆的特殊设计

城市轨道交通需要对列车进行特殊设计,可以通过增加车辆裙板或者在车辆底部安装吸声结构的方式来实现降低列车运行过程中的噪声。

2. 对轮轨表面进行打磨

城市轨道交通中轮轨冲击噪声是主要的噪声来源。相关研究表明,轮轨冲击噪声和震动在500~2500Hz范围内具有线性相关的特性,并且噪声和振动的传输与钢轨有着直接的联系。所以在进行噪声控制过程中可以通过抑制钢轨的振动来实现对噪声进行控制。通过有效的措施来降低钢轨在轮轨冲击过程中的振动加速度和振动频率是实现对于轮轨冲击噪声控制的有效措施。同时轨道系统的激扰是导致列车运行过程中发生轮轨冲击的关键因素,所以,如果列车运行过程中不产生激扰就不会出现冲击,从而就不会产生振动和噪声。所以需要对于轮轨表面进行打磨,让轮轨表面具有较高的平滑度,从而来

使整个轮轨系统的激扰降低,实现对噪声的控制。

3. 优化线路设计和高架结构设计

城市轨道交通的线路设计和高架结构设计对噪声控制有一定的影响。在环境敏感地段,可以在线路设计过程中采用大半径曲线的线路设计方式来降低轮轨之间的冲击,从而来降低轮轨接触过程中的噪声。同时在进行线路设计的过程中需要充分考虑不同岩土性质特点来选择合适的线路设计形式。在高架结构设计中,可以采用槽型梁的高架设计方式来降低噪声。

4. 设置声屏障

在城市轨道交通降噪过程中,在轨道两侧进行声屏障的设计可以有效阻断噪声的传播,实现降噪的效果。在进行声屏障设计过程中需要充分结合噪声的传播原理来将声屏障和微孔吸声进行有效结合,使降噪效果充分发挥。同时需要确保声屏障的密封性,通过较强的密封性来提升降噪效果。

结语

综上所述,本文通过对城市轨道交通中振动和噪声产生的原因进行了说明,并以某城市地铁线路的振动和噪声测量来对城市轨道交通噪声和振动测量进行了说明,实现对于城市轨道交通振动和噪声的产生因素和特点进行了全面的分析,提出了对应的减振降噪措施。通过有效的减振降噪措施可以为人们提供更好的出行体验,同时为周边居民提供更好的生活环境。

参考文献

- [1]彭华,高亮,张鸿儒.城市轨道交通的振动和噪声及其控制的研究[J].中国安全科学学报,2003,13(4):74-77.
 - [2]周建民.城市轨道交通中的振动和噪声控制[J].城市轨道交通研究,2000,3(4):16-18.
 - [3]张艳平,杨宜谦,柯在田,等.城市轨道交通振动和噪声的控制[J].中国铁路,2000(3):43-45.
 - [4]葛世平.城市轨道交通的振动和噪声对环境的影响及其对策[J].城市轨道交通研究,2003,6(3):30-34.
 - [5]杨宜谦,刘鹏辉,房斌,等.城市轨道交通地下线振动源机理和频率特性[J].振动与冲击,2023,42(4):171-178.
 - [6]王谊,何华凤,徐赞.城市轨道交通振动噪声治理技术研究综述[J].城市轨道交通研究,2023,26(6):216-219,224.
 - [7]鲁锦涛,周信,王安斌,等.组合式减振道床对箱梁振动声辐射的影响分析[J].铁道标准设计,2023,67(4):53-59.
- 作者简介:高玉青(1958.05-),女,汉,山东省青岛市,专科,毕业于青岛广播电视大学,现有职称:高级工程师,研究方向:环境咨询。