

地铁上盖项目在抗震、减噪技术措施研究

董存枫

南京地铁资源开发有限责任公司 江苏 南京 210000

【摘要】：随着国内各地社会经济发展，越来越多的地铁轨道交通建设项目立项投建，以期缓解地面交通运输压力，同时为城市居民出行提供更多的便利。作为公共交通基础设施，地铁轨道交通需要投入数额庞大的资金，同时在盈利方面容易遭遇困难。地铁车辆段是地铁赖以运营的重要部分，不仅在地铁建设项目投入资金中占比较大，同时受限于具体的建设需求，还需要以较低利用率占用大量土地空间。对此，很多地区已在地铁上盖项目建设方面做出了一定的探索。而地铁上盖项目相对特殊，需要着重关注并解决下方地铁可能产生的震动噪声，确保上盖项目开发建设成效。

【关键词】：地铁上盖；上盖项目；抗震技术；减噪技术

DOI:10.12417/2811-0536.25.10.068

引言

在社会经济转向高质量发展后，地铁轨道交通建设已经成为各地增强公共交通基础设施建设的重要方向，既可健全现有的城市公共交通体系建设，也可为城市居民的生活品质和出行体验带来可观提升，支持城市地区整体的可持续发展。伴随着国内城市规划建设的转型，城市空间利用率已经成为衡量各类基础设施建设项目成效的指标，对于地铁轨道交通建设而言也是如此。地铁上盖项目已经在部分城市开发应用，如北京、广州、杭州等一线城市，均已建成或规划多个地铁上盖项目。为充分实现地铁上盖项目的价值，应着重关注震动噪声等痛点并采取技术措施解决。

1 地铁上盖项目特点与结构形式

为深入研究地铁上盖项目的抗震减噪技术措施，应优先从地铁上盖项目的特点和结构形式出发，更加透彻地把握地铁上盖项目相关特点，为后续的分析研究指出明确的方向。

1.1 地铁上盖项目的特点

为了研究地铁振动诱发上盖项目室内结构噪声特征，应优先把握地铁上盖项目的特点^[1]。就现状而言，国内的地铁上盖项目主要为小高层建筑，容积率更低，而下方地铁运行有可能引发震动噪声，上盖项目室内空间的宜居度偏低，使得抗震减噪目标实现显得尤为关键。在地铁上盖项目设计开发过程中，应以不影响下方地铁功能为基准拟定开发方案。在地铁运行特征的影响下，上盖项目大多以公共建筑、公园绿地和住宅及配套设施等形式开发，在实际开发过程中有可能选取其中之一，也有可能组合多种形式。在公园绿地形式下，通常不需要考虑抗震减噪，而在公共建筑、住宅及配套设施等形式下，则应着重考察抗震减噪目

标可否实现。



图1 地铁上盖项目建设效果示意图

1.2 地铁上盖项目的结构形式

(1) 转换层大平台结构形式：在地铁上盖项目的设计与施工中，常见的结构形式主要包含转换层大平台结构形式和核心筒落地结构形式两种类型。在转换层大平台结构形式下，桁架转换层、厚板转换层、梁式转换层和箱形转换层等均是常见的类型。其中，梁式转换层在地铁上盖项目中更为常见。在转换层结构形式的地铁上盖项目下，项目开发体量较为有限，多层建筑或是小高层建筑更为合适，高层建筑则可行性不足。在转换层大平台的结构形式下，盖上盖下部分采用结构一体化设计，下方地铁运行产生的震动噪声更容易通过一体化的梁柱向上传递，影响到盖上项目室内空间的宜居度。

(2) 核心筒落地结构形式：如地铁上盖项目开发慢于地铁车辆段建设投产，应在尽可能减少对已运营地铁影响的前提下，有效选取地铁上盖项目的结构形式^[2]。在实际选择地铁上盖项目的结构形式时，核心筒落地的结构形式也属于可选项，在结构形式上可以为高层建筑开发创造条件。在核心筒落地的结构形式下，上盖项目的落地结构体可以脱离下方地铁的盖体结构，盖上盖下结构体分离可以阻隔下方地铁震动噪声的向上传递。相较于转换层大平台结构形式，核心

筒落地的不足在于需要占据较大的空间,在部分情况下难免出现地铁用地大幅增加的情况。分析国内现有的地铁上盖项目开发情况可知,转换层大平台结构形式更为常见,因而需要重视震动噪声控制,通过有效的技术措施实现抗震减噪的目标。

2 地铁上盖项目震动噪声来源及传播路径

在实际地面向抗震减噪技术全面开展研究之前,还应分析地铁上盖项目震动噪声的来源和传播路径,为后续的技术措施研究提供更加充足的理论支持。

2.1 地铁上盖项目震动噪声来源

在地铁列车的行驶过程中,轮轨系统彼此作用难免产生震动噪声,可以划分为滚动噪声、摩擦噪声和冲击噪声等多种类型。经有关研究分析可以得知,尤其是行经钢轨接头、固定辙叉有害空间、轨道不平顺和小曲线半径等位置时,地铁列车车轮与钢轨之间更容易出现冲击振动现象,进而引发震动噪声超标的问题,是地铁上盖项目震动噪声的重要来源之一。如出入线和试车线,列车运行震动是主要的震动噪声,出入线还另外包含小半径曲线轮轨摩擦产生的震动噪声。如作为普通线路的库外线,除去上述两种类型之外,还包含接头不平顺和固定辙叉有害空间。再如同样作为普通线路的库内线,则主要为列车运行震动和接头不平顺两种震动噪声。

2.2 地铁上盖项目震动噪声的传播路径

为得到地铁上盖项目的实用抗震减噪设计方法,还应关注震动噪声产生后的传播路径,以期确保抗震减噪设计质量可以达到预期^[3]。在实际的传播过程中,地铁列车运行产生的轮轨冲击振动主要经由轨枕、倒床、下部基础等固体媒介向上传播,继而可以通过地层传递至周围建筑,使得临近的建筑产生二次震动噪声,同时影响建筑结构安全性和建筑内部宜居性。在地铁上盖项目采用不同开发模式的情况下,震动噪声的传播路径存在少许差异,但基本位于正上方或是正下方。如地铁车辆段上盖项目,列车在这一部分大多空载或是低速运行,而传递路径更短,更不容易出现衰减,仍然会对上盖项目的室内空间产生震动噪声。

3 地铁上盖项目抗震减噪有效技术措施研究

在实现地铁上盖项目的抗震减噪,主要可以从地铁轨道抗震减噪、上盖项目设计建设抗震减噪以及上盖项目运营维护抗震减噪等不同场景出发,更加科学地梳理有利于实现抗震减噪目标的多种技术措施,确保地铁上盖项目的抗震减噪效果,实现地铁上盖项目设计施工的可观价值,最大限度地利用城市空间。

3.1 地铁轨道抗震减噪技术措施

(1) 钢轨抗震技术措施:进一步研究震动传递路径可知,轮轨作用是车辆段震动噪声来源之一,基于地铁轨道采取抗震减噪技术措施属于源头治理,可以实现更加理想的抗震减噪效果^[4]。在围绕地铁轨道采取抗震减噪技术措施时,主要可以从钢轨抗震、扣件抗震以及倒床抗震等方面出发,分别把握对应的技术措施。轨道抗震的效果更优,采用较为直接的技术方法,在地铁上盖项目抗震减噪中更为常见。钢轨是承受轮轨作用的载体,钢轨平顺性可以直接影响实际的轮轨作用力,因而在针对地铁轨道采取抗震减噪技术措施可以优先由此出发。可实现无缝线路,通过直接消除钢轨接头增强轨道的平顺性,减弱轮轨冲击振动产生的噪声。目前,悬挂式钢轨吸振器、协调质量阻尼系统和钢轨振动阻尼吸振器均可用于钢轨振动抑制。如协调质量阻尼系统,可以调整橡胶的弹性和吸振器的质量,借此调整吸振器的固有频率,通过发挥调谐作用吸收振动产生的能量。除此之外,采用重型钢轨提升参振质量也是抑制钢轨振动的可选项之一。

(2) 扣件抗震技术措施:在采取技术措施实现地铁轨道的抗震减噪时,扣件抗震技术也具备较强的可行性。该技术基于减震扣件,实现轨道机械阻抗的有效降低,在控制振动传递之余,减少可能出现的二次噪声。根据弹性大小,可以将减震扣件划分为一般弹性类、中等弹性类和高弹性类等类型。一般弹性类大多由轨下弹性垫和铁垫板下弹性垫组成,主要以刚度为基准调整减震扣件的弹性。中等弹性类包含多种类型,Z系列可以借助双层非线性弹性垫板降低系统刚度,同时提升结构的阻尼,更好地实现二次震动噪声抑制,在国内地铁轨道交通建设中更为常见。在高弹性类中,轨道减震器在国内更为常见,通过硫化工艺粘结底座、橡胶圈和承轨板等部分,可以在橡胶优秀的剪切变形能力支撑下实现更优的扣件抗震效果。

(3) 倒床抗震技术措施:对不同车速工况下的地铁上盖项目室内振动测试分析可知,有砟轨道和无砟轨道的道床减震方式存在较大差异^[5]。在有砟轨道下,可以通过道砟垫减弱轨道的刚度,缓解轮轨之间可能产生的互相作用,进而达到抗震减噪的目的。在无砟轨道下,则可应用浮置板隔振轨道结构,插入固有振动频率远低于激振频率的线性谐振器,完成质量弹簧体系的构建,确保振动产生能量可以在经衰减后传递至下部结构,间接实现抗震减噪的目的。在工程实践中,可以通过橡胶浮置板、钢弹簧浮置板、浮置板有砟轨道等多种形式,实现浮置板隔振轨道结构,应根

据地铁轨道的实际情况做出选择。



图2 浮置板有砟轨道示意图

3.2 上盖项目设计建设抗震减噪技术措施

(1) 抗震技术措施：以公共交通为导向的开发模式开发的地铁车辆段，上盖结构存在大跨度、大底盘、多塔和大体量等特点，还应从施工项目设计建设阶段着手，采取有效技术措施实现抗震减噪目标^[6]。在地铁上盖项目的设计建设中，主要应关注抗震和降噪两方面的技术措施，确保设计建设阶段的抗震减噪成效可以达到预期。针对抗震，一方面应关注隔震层设计和结构抗震性能优化。设计隔震层时，可以在建筑基础与上部结构间设置隔震支座，如橡胶垫，还可同时设置黏滞阻尼器一类的耗能装置。隔震层可以通过变形吸收震动能量，降低上部结构的震动响应，同时保护建筑、结构以及设备设施。在优化结构抗震性能时，应基于弹塑性反应谱计算，联动时程分析法精确评价上盖项目场地条件下的震动响应，通过调整结构设计优化抗震性能。二是可以着重验算高架区间、车站等关键部位的抗震性能，确保构件可以实现抗震。另一方面还应关注地铁轨道抗震。如库外线，咽喉区存在较多的轨缝和小半径曲线，列车行驶速度快，易产生轮轨冲击震动，经上盖项目结构传递至上层建筑，产生二次结构噪声，可以通过设置结构变形缝拉长震动传播距离。(2) 降噪技术措施：在地铁车辆段内，主

要可以采用消声器或是吸声材料等实现噪声控制，主要针对车辆段内各部分落实噪声泄漏检查和减噪封闭措施，减少传递至地铁上盖项目建筑空间内的噪声。

3.3 上盖项目运营维护抗震减噪技术措施

分析地铁上盖项目的抗震减噪可以得知，在设计建设完成后，震动在地铁上盖项目的传播已基本固定^[7]。因而在实现抗震减噪目标时，还应在地铁运营过程中保持跟进，根据实际情况控制震源。如存在车轮不圆顺或是其他轨道病害的情况，轮轨之间的互相作用将会大幅增强，在产生震动噪声之余，还会降低地铁轨道结构的使用寿命，甚至致使轨道提早损坏。因而还应重视地铁运营中的维护检修，常态化跟进确认车轮状态和轨道结构状态。如钢轨出现剥离掉块或是波形磨耗的情况，应当精细化打磨钢轨，减少地铁运营中来自钢轨的震动噪声。再如线路出现轨道不平顺的情况，则应及时对精调线路，恢复线路平顺状态，预防线路不平顺可能产生的震动噪声。

4 结语

总而言之，地铁上盖项目属于综合开发型项目，依托于地铁运输，利用上方空间完成住宅或商业开发，增强地铁上方空间的城市空间利用率，赋能立体化的崭新城市发展模式。如地铁的车辆段部分，用于停放并检修地铁车辆，占地面积庞大，在传统建设模式下的土地利用效率偏低，可以从地铁上盖项目的崭新视角出发探索。而地铁运行难免产生震动噪声，使得地铁上盖项目相较于各类普通项目提出更高的抗震减噪需求。因而应当重视地铁上盖项目的抗震减噪需求满足，控制下方地铁运行产生的震动和噪声，确保上盖项目室内空间的适宜度，发挥地铁上盖项目的积极作用。

参考文献：

- [1] 孙亮明,林鸿钦,田丰,等.地铁振动诱发上盖住宅室内结构噪声的实测研究[J].武汉理工大学学报,2023,45(06):63-68+85.
- [2] 巩同川,鲁国昌,付宇航,等.新型地铁车辆段上盖开发接驳连接方式研究[J].建筑结构,2023,53(S1):879-884.
- [3] 李明,安军海,张学辉,等.上盖框架建筑的大底盘地铁车站结构抗震计算的振型分解法—反应加速度法[J].科学技术与工程,2023,23(08):3403-3413.
- [4] 邹超,冯青松,何卫.列车运行引起地铁车辆段与上盖建筑环境振动研究综述[J].交通运输工程学报,2023,23(01):27-46.
- [5] 周颖,郭启航,张增德,等.地铁上盖隔震建筑车致振动实测与模拟分析[J].建筑结构学报,2023,44(09):83-92.
- [6] 代杰,蔡晓光,张亚辉,等.TOD模式开发大底盘多塔地铁车辆段上盖隔震结构设计[J].城市轨道交通研究,2022,(S2):86-92.
- [7] 曹志刚,王思崎,许逸飞,等.地铁车辆段上盖建筑道砟垫减振机理与效果[J].浙江大学学报(工学版),2023,57(01):71-80.