

橡胶弹簧浮置板道床减震效果测试

张全振

中铁三局集团线桥工程有限公司 河北 廊坊 101118

摘要：本文将地铁施工阶段的橡胶弹簧浮置板道床作为研究对象，系统阐明道床的减震原理及结构构成，构建科学合理且完善的减震效果测试方案，分析测试结果对施工质量把控的指导意义。采用理论分析与测试方案设计相配合的方式，弄清楚测试指标、仪器的合理布置、流程的规范标准及数据处理方式，给出施工过程里关键环节的质量控制要点，为地铁工程里橡胶弹簧浮置板道床施工及减震效果保障给予技术参考。

关键词：橡胶弹簧；浮置板道床；减震效果；测试

橡胶弹簧浮置板道床借由橡胶弹簧的弹性阻尼特性，凭借构建独立振动体系阻断振动的传递途径，成为此刻地铁振动控制的主要技术途径，减震效果是评判该类道床工程质量的核心指标，其测试工作应贯穿施工全流程，凭借科学测试印证设计参数实现情况、迅速找出施工缺陷，故而开展针对橡胶弹簧浮置板道床减震效果的测试研究，对规范施工流程、保障减震方面性能、提升地铁工程整体质量有重要实际意义。

1 橡胶弹簧浮置板道床减震原理与结构组成

1.1 减震原理

橡胶弹簧浮置板道床的减震功能以振动隔离理论为基础，核心要点是在轨道结构跟基础道床之间安装橡胶弹簧隔振系统。浮置板跟轨道组成的上部结构形成独立的振动系统，改变振动传递所固有的力学特性，当地铁列车穿越轨道的时候，轮轨接触产生的振动能量施加给钢轨与浮置板，浮置板把振动荷载输送到下部的橡胶弹簧，因荷载作用，橡胶弹簧发生了弹性变形，依靠弹性势能跟动能的相互转变吸收一部分振动能量，同时借助橡胶材料所具有的黏弹性阻尼特性消耗振动能量，减少朝基础道床、隧道结构及地表传递的振动能量，达成隔离振动和减少震动的目标^[1]。

振动传递率是检定隔振系统减震效果的核心理论指标，其体现了传递给基础的振动能量跟施加于隔振系统的激振能量的比值状况，其计算公式见式（1）所示：

$$T = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 + i2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)} \right|$$

式中： T 就是振动传递率， ω 作为列车运行产生的激振频率，单位采用rad/s； ω_n 为浮置板与橡胶弹簧系统的固有频率，单位采用的是rad/s；系统阻尼比以 ζ 来体现， i

可看作虚数单位，用以体现振动的相位特性，若激振频率 ω 大于系统固有频率 ω_n 的2倍时，振动传递率 T 小于数字1，隔振系统开始发挥减震功效，而且 ω 跟 ω_n 的比值越增大，振动传递的规模越小，减震效应愈发明显，橡胶弹簧浮置板道床设计的核心内容是合理选取橡胶弹簧刚度、优化浮置板的结构大小，使系统固有频率 ω_n 远低于列车运行所产生的激振频率 ω ，以此达成理想的减震效果。

1.2 结构组成

橡胶弹簧浮置板道床由上部承载体系、隔振系统、限位装置、防迷流系统加上基础支撑体系五部分所构成，各部分共同配合，完成承载、减震、安全防护等相关功能。

所谓上部承载体系，以高强度钢筋混凝土进行浇灌，参考轨道线路曲线半径、列车轴重以及施工条件设计板长、板宽与板厚，一般情形下，板长要与轨枕间距、盾构管片环宽相一致，板厚要符合承载强度及刚度的要求，可均匀地把列车荷载传递到下部隔振系统，避免局部应力集中引起结构毁坏。隔振系统采用橡胶弹簧隔振器作为核心，是实现减震作用的核心组件，采用天然橡胶跟合成橡胶的复合配方制成，有着良好的弹性恢复效能、抗疲劳能力与抗老化能力，以隔振器受力特性为标准，分为竖向与双向隔振器，采用螺栓或预埋钢板将其固定在浮置板和基础道床之间，其数量和布置方式由浮置板尺寸、重量以及减震设计要求所决定。限位装置设于浮置板的两端及侧部，含有竖向限位块跟水平限位器，用于限制浮置板在列车开启停止、制动、曲线行进及地震等工况下的竖向及水平位移，避免位移过大引起轨道几何形位偏差以及橡胶弹簧损坏等问题，保证轨道运行的安全无虞，防迷流系统由诸如绝缘垫板、绝缘接头、绝缘涂料等组成^[2]，基础支撑体系即所谓的基础道

床,采用混凝土在隧道仰拱或路基上浇筑,浇筑前要对基底做压实、找平这两项处理,保障基底承载力均匀且稳定可靠,为隔振系统跟浮置板提供坚实的支撑保障。

2 地铁施工中橡胶弹簧浮置板道床减震效果测试方案

2.1 测试工程概况

测试对象选定城市地铁新建线路区间隧道里橡胶弹簧浮置板道床的施工路段,该区间线路横贯城市建成地带,沿线分布着居民住宅、商业建筑跟公共服务设施,对地铁运营过程中的振动控制要求颇高,设计采用橡胶弹簧浮置板道床作为振动方面的控制措施。区间隧道借助盾构法实施施工,道床施工依照“基础处理—隔振器安装—浮置板吊装/浇筑—轨道铺设—系统调试”这一施工流程操作,测试工作在整个施工过程里全程开展,囊括基础道床施工竣工后、隔振器安装竣工后、浮置板施工竣工后和轨道铺设竣工后四个关键节点,以分阶段测试验证各施工环节对道床减震效果造成的影响,保证最终的减震性能契合设计要求。

2.2 测试内容与指标

测试内容依照振动传递路径安排测试点位,涉及轨道结构、基础道床、隧道结构加上地表四个层面,全面掌握振动在不同结构层的传递规律,评判道床的减震成

果,测试的主要指标为振动加速度参数、振动级及减震率,振动加速度参数涉及加速度峰值与加速度有效值,用以衡量振动的强弱;振动级是把振动加速度有效值按照人耳听觉特性进行加权处理得到的物理量,用于鉴别振动对人体的影响程度深浅;作为衡量道床减震效果的直接指标,那就是减震率,借助对比设置浮置板道床前后同一测试位置的振动加速度有效值计算得出,计算公式如式(2)所示:

$$\eta = \frac{a_0 - a_1}{a_0} \times 100\%$$

式中: η 作为减震率, a_0 反映未设置橡胶弹簧浮置板道床时测试点的振动加速度有效值,单位采用m/s²; a_1 为设置橡胶弹簧浮置板道床以后测试点的振动加速度有效值,单位采用m/s²,测试时同步记录测试工况的相关参数,涉及列车运行的速度、列车编组的数量、测试的时间与环境条件等,为测试结果分析提供工况背景的相关支撑。

2.3 测试仪器与布置

测试采用精度合乎《城市轨道交通振动与噪声控制规范》要求的仪器设备,各类仪器只有经过计量校准合格,才可投入使用,仪器设备选型与布置的情况见如表1。

表1 测试仪器设备选型与布置情况

仪器名称	仪器型号	仪器功能	布置位置	布置要求
压电式加速度传感器	ICP型	采集振动加速度信号,将机械振动转化为电信号	浮置板上表面、轨道扣件处、基础道床表面、隧道管片内壁、地表	通过膨胀螺栓固定于测试结构表面,传感器与测试表面紧密贴合,无松动间隙,轴线与振动测试方向一致
信号调理器	模块化	对传感器输出电信号进行放大、滤波、降噪处理	测试现场控制箱内	与加速度传感器一一对应连接,接地良好,避免电磁干扰
多通道数据采集仪	便携式	同步采集多通道调理后信号,转换为数字信号存储	测试现场控制箱内	采样频率根据测试需求设置,满足Nyquist采样定理,确保信号完整采集
数据处理软件	专业版	对采集数字信号进行滤波、分析、计算,生成测试报告	数据分析终端	具备时域分析、频域分析、参数计算及图表生成功能,支持测试指标自动计算
环境监测仪	通用型	采集测试现场温度、湿度、噪声等环境参数	测试现场周边	与振动测试同步启动,记录环境条件对测试结果的潜在影响

测试点位布置依照“全覆盖、强关联”原则,浮置板上表面测试点安排在板中间及板端部位置,轨道扣件处测试点安排在钢轨两侧扣件的上方处,基础道床表面的测试点跟浮置板下隔振器位置达成一一对应,隧道管片内壁测试点布置在轨道中心线正上方跟两侧地方,地表测试点按照一定间距布置在隧道中心线的垂直方向上,形成一套完整的振动传递测试链路。

2.4 测试步骤与数据处理

测试工作以前期准备、现场测试、数据处理三个阶段为序开展,前期准备阶段实施测试方案细化、仪器设备检

查校准、测试点位现场勘查与标记、传感器安装调试等工作,对传感器安装的质量实施验收,保障安装稳固、信号传输顺畅,为测试人员做技术交底的相关事宜,明晰测试流程与操作规章。现场测试阶段定在地铁列车正常试运行时段开展,测试前把仪器设备启动进行预热,把采样频率、采样时长等参数设置好,待仪器运行进入稳定状态后开始采集数据,每列列车路过测试路段的时刻,同时对振动信号与工况参数进行采集,各测试节点针对不同工况采集多组测试数据,保证数据具有代表性和统计意义。测试时安排专人对仪器设备运行状态进

行巡查，立即处理信号中断、设备故障等事端，记下测试过程里的异常情形^[3]，数据处理阶段利用专业数据处理软件对采集的原始信号予以处理，首先开始做信号预处理，采用数字滤波技术去除环境噪声、电磁干扰等无价值的信号，留下可利用的振动信号；之后做时域分析，求取振动加速度的峰值、加速度有效值这类参数。

3 减震效果测试结果分析与施工质量控制

3.1 减震效果测试结果分析

测试结果分析以振动传递规律及减震率分布特征为中心，结合不同测试节点数据开展对比，说明施工环节对减震效果的影响机制，就振动传递的路径而言，振动能量从轨道扣件往浮置板上表面传递时，衰减程度不大，从浮置板往基础道床传递的时候，依靠橡胶弹簧隔振系统起作用达成明显衰减，振动加速度有效值出现大幅降低，呈现隔振系统的核心减震效果；从隧道管片内壁一直到地表，振动能量随传递距离的加长进一步自然衰减，且设置浮置板道床后，地表振动的衰减速率明显高于未设道床的状况，证实浮置板道床对地表振动控制效果极为显著。从频率特性这个层面看，橡胶弹簧浮置板道床对中高频振动的减震效果胜过低频振动，在列车运行期间产生的主要振动频率区间里面，减震率稳定在较高的水平，可以有效抑制对人体和环境影响较大的振动频率成分^[4]，各测试节点数据对比结果显示，基础道床平整度存在偏差会引起隔振器受力不均衡，引起减震效果降低；浮置板安装精度欠佳会引发局部振动聚集，影响整体减震的实际效果。

3.2 施工质量控制要点

结合减震效果测试结果与施工全过程质量影响的具体分析，厘定橡胶弹簧浮置板道床施工质量控制的核心要点，保证减震效果达到设计要求，橡胶弹簧隔振器安装质量控制，关键要留意安装平整度与预压处理，对基础道床的表面开展找平操作，保证隔振器安装面平整度的偏差与设计要求相符；安装隔振器的时候采用专用定位工装保证位置偏差落入允许范围，安装完成后开展预压试验，消除掉初始变形，保障各隔振器的受力均匀性，避免由于受力不均引起减震性能变差。浮置板施工

质量控制需切实把控混凝土浇筑与安装精度，若采用钢筋混凝土预制浮置板的情形下，进行吊装时采用专用吊具，防止产生碰撞损伤，安装时把浮置板的水平度与高程调整好，保证偏差在规范规定范围内；若采用现场浇筑浮置板的施工方式时，管制混凝土浇筑速度与振捣的质量，防止出现像蜂窝、麻面的缺陷，浇筑完成后按相关规定实施养护，保证混凝土强度达到既定标准，避免因结构强度欠缺而影响承载及减震性能。限位装置安装质量管控需保证限位间隙与安装的牢固程度，依据浮置板设计位移量，精细调整限位块跟浮置板之间的间隙，既实现浮置板振动位移的相关需求，又可对过大位移进行有效约束；采用高强度螺栓把限位装置固定好，安装好之后进行抗拔、抗剪性能的试验，保证在列车制动、地震等情况时不会出现松动、脱落^[5]。

结语

本文对道床减震原理及结构组成展开系统研究，构建科学周全的测试方案，界定测试指标、仪器布局、流程准则及数据处理手段，结合测试结果的分析提出施工质量的控制要点，形成以“原理-测试-控制”为主的完整技术体系，合理的减震效果测试可精确体现道床减震性能，为优化施工质量给出可靠依据，对施工质量进行严格控制，可保障道床减震效果契合设计要求。

参考文献

- [1]黎杰.预制橡胶弹簧浮置板道床在轨道交通工程中的应用[J].价值工程,2025,44(12):123-125.
- [2]刘宇航,周华龙,刘德志,等.预制橡胶弹簧浮置板道床动力学仿真及现场测试研究[J].铁道勘察,2024,50(6):155-162.
- [3]刘军.预制无套筒式橡胶弹簧浮置板道床施工工艺[J].价值工程,2022,41(17):36-39.
- [4]CUI Xuhao, ZHENG Qiang, LV Xinle, et al. 城市地铁橡胶弹簧浮置板轨道动力特性研究[J]. 交通工程,2024, 24(2):44-48,55.
- [5]刘伯夫.橡胶弹簧浮置板技术在贵阳轨道交通工程中的应用[J].中国市政工程,2022(3):4-7.