

通过吸附延缓有机质分解,使土壤有机质更加稳定,更重要的是,对改善土壤孔隙度和团聚体状况亦产生积极作用。其次,林分结构优化应突破单纯的株数间伐,而是基于碳汇最大化的密度调控,还可以引入冠层空间竞争指数、根系生态位分析,再实行选择性疏伐,这样不仅可以调节树干高度基部的空间位置结构,提高林内光照透射比,还可获得最高光能截获效率,通过对群体间种植密度的空间分布格局来获得最佳收益^[5]。就拿针阔混交复层林来说,在组合碳汇树种时,可充分利用树种间的碳汇功能互补性(如速生树种的短期碳积累、慢生树种的长期碳储量)和菌根网络介导的碳转移机理,设计碳汇有协同效应的树种配置模式,实现林分蓄积生长率超出普遍效能的15%。另外,碳汇监测系统可尝试以遥感技术与地面数据相结合为基础,构建一种创新性的林木碳汇潜力动态评估模型,利用树轮碳稳定同位素与历史气候数据关联反演树木碳积累对环境响应的长期规律,并以此作为抚育措施调整的参考。除此之外,还可将档案管理模块中的碳汇轨迹预测贯穿其中,形成“碳汇核算、指导规范过程、技术参数记录”闭环反馈。展望未来,探索方向可尝试:研发木质部液流监测下水分利用效率和碳同化速率同步提升的灌溉决策系统;或者研发“碳汇—生物多样性”抚育模式,根据不同林型合理开展抚育,通过对林下植物功能多样性的调整来激发土壤微生物固碳的潜力,促使林业碳汇从粗放型管理到生态型精准抚育转变。

3.4 林业生产剩余物资源化循环利用技术

为了实现林业工程的闭环式可持续发展,在林业生产过程中将剩余物作为资源化循环利用刻不容缓,其中在苗木培育过程中开展育苗废弃基质的再利用,以及绿色容器替代技术的研发推广显得愈发重要。具体而言,针对使用后的基质采用高温蒸汽灭菌、加入有益微生物菌剂等方式恢复基质理化性质,然后按照不超过30%的比例添加至新基质混合,作为循环基质,以此来降低成本并减少废弃物。其次,可采用降解无纺布容器代替传统的塑料育苗钵,因为在一定周期内容器壁会自然分解,从而不会造成白色污染,更不会影响

苗木根系的生长,确保苗木能顺利出圃。

在幼林抚育管理过程中,深度集成林木凋落物和抚育剩余物碳封存技术至关重要。也就是说,造林地清理、抚育间伐产生的树枝、树皮、枝屑等不要简单燃烧或者随意丢弃,应借助粉碎机将其粉碎成粒径小于5厘米的碎料,然后均匀覆盖到林地下,形成可自然降解的覆盖层,这样不仅可以有效地抑制杂草生长,保持水分,还可以源源不断地为土壤补充养分,弥补了土壤中有有机质补充,实现“以林养林”。如果林区内有大量的剩余物,那么则可以引入少量的小型炭化设备,就地将其转化成生物炭,以便后期按照一定配比采用上穴播种的方法施入栽植土拌匀,通常以每穴0.5千克~1千克生物炭为宜,这样既作用于长效碳封存体,又改良了根际土壤孔隙度和土壤肥力,形成良性的负碳循环。

4 结语

综上所述,基于“双碳”目标下,我们对林业工程苗木培育与移植造林技术的现状进行探讨,并提出一系列优化路径,通过构建碳汇导向型苗木精准培育、立地适生移植、精管重养及剩余物资源化利用等全链条技术体系,提高造林成活率、增强长期碳汇功能,旨在基层造林实践中为林业高质量发展提供技术支撑,同时助力“双碳”目标下增强造林技术的现实价值与意义。

参考文献

- [1] 任升.林业工程苗木培育及移植造林技术的探讨分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(3):4.
- [2] 乌兰朝鲁,李敏,巴图孟克.林业工程苗木培育及移植造林技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)农业科学,2024(003):000.
- [3] 常邦国.“双碳”目标下林业工程苗木培育及移植造林技术[C]//2024精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集(下册).2024.
- [4] 蒙皇城,郑雅云,卢梓熠,等.林业工程苗木培育及移植造林的技术要点及优化举措[J].中国林业产业,2024(2):90-92.
- [5] 黄玲.林业工程苗木培育技术及移植造林技术要点[J].中文科技期刊数据库(全文版)农业科学,2023.

Research on the Influence of Rail Corrugation on In-Train Noise in Metro Curved Sections with Steel Spring Floating Slab Tracks

Yizhou Zuo¹ Rongxin Zhang²

1. China Railway Design Corporation South China Branch, Shenzhen, Guangdong, 518000, China
2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, China

Abstract

To explore the generation mechanism of rail corrugation and its influence on in-train noise in metro curved sections with steel spring floating slab tracks, this study takes a certain metro line in Shenzhen as the research object. Combining on-site test data with finite element theoretical analysis, the study systematically investigates the generation mechanism of corrugation, the correlation mechanism between corrugation and in-train noise, and noise control methods. Based on the research conclusions, control measures such as optimizing track structure parameters and strengthening grinding management are proposed, aiming to provide a reference for improving the operational quality of metro systems.

Keywords

metro; steel spring floating slab track; rail corrugation; in-train noise

地铁曲线钢弹簧浮置板地段钢轨波磨对车内噪声的影响研究

左一舟¹ 张榕欣²

1. 中国铁路设计集团有限公司华南分公司, 中国 · 广东 深圳 518000
2. 北京交通大学土木建筑工程学院, 中国 · 北京 100044

摘 要

为探究地铁曲线钢弹簧浮置板地段钢轨波磨的产生机理及其对车内噪声的影响, 以深圳某地铁线路为研究对象, 结合现场测试数据与有限元理论分析, 系统研究波磨产生机理、波磨与车内噪声的关联机制及噪声控制方法。基于研究结论, 提出了优化轨道结构参数、加强打磨管理等控制措施, 旨在为提升地铁运营品质提供参考。

关键词

地铁; 钢弹簧浮置板; 钢轨波磨; 车内噪声

1 引言

为减轻振动与噪声影响, 地铁线路中钢弹簧浮置板轨道因其优异的隔振性能被广泛应用。但实践表明, 当浮置板轨道应用于小半径曲线时, 其“松软”特性导致轮轨动态相互作用加剧, 叠加小半径曲线复杂的轮轨接触关系, 更易产生钢轨波磨。波磨作为周期性钢轨表面损伤, 不仅恶化行车条件、降低设备寿命, 还会放大轮轨振动及车内噪声, 影响乘客舒适性。因此, 开展小半径曲线浮置板地段波磨与车内噪声的关联性研究具有重要工程实用价值。

【基金项目】中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(基金项目: 2022BHN103)。

【作者简介】左一舟(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事城市轨道交通设计研究。

2 国内外研究现状

国外学者较早开展波磨机理研究, Carson 等提出接触共振理论, 认为轮轨共振导致材料塑性变形形成波磨 [1]; Oyarzaba 证实扣件刚度、轨枕质量影响波磨发展速率 [2]; 国内研究中, 钱彦行通过动力学模型指出浮置板轨道波磨与钢轨横向弯曲振动相关 [3]; 金学松揭示离散支撑导致的钢轨横向刚度不均匀是曲线段波磨主因 [4]。

关于车内噪声, Eadie 发现轮轨摩擦特性对曲线地段噪声影响显著; 关庆华综述指出波磨诱发的轮轨振动是车内噪声主要来源。

本次研究对深圳某地铁线路的钢轨波磨情况以及车内噪声进行现场测试, 建立了曲线地段轮对-钢弹簧浮置板轨道系统有限元模型, 对钢弹簧浮置板曲线地段钢轨波磨的产生原因进行了分析, 研究了波磨发展后, 不同区段、不同载客量及不同车厢位置的车内噪声分析。基于此, 提出优化轨

道结构参数、加强维护管理等控制措施。

3 轨道结构测试

3.1 现场测试

根据该线路的钢轨波磨情况，开展四项测试：钢轨波磨测量（分析左右轨波磨特征差异）、轨道结构变形测试（打磨前后的钢轨横垂向位移）、轨道结构振动测试（打磨前后钢轨、轨枕等垂向加速度）、扣件弹条振动测试（打磨前后振动加速度与位移）。

3.2 波磨测试结果分析

内侧钢轨表面明显呈现出简谐型波浪磨耗，波磨波长在 30 ~ 50 mm 之间，外轨无明显的波磨现象。从幅值上看，内轨不平顺幅值为 0.4 mm，外轨为 0.2 mm，内轨磨耗现象明显大于外轨。



图 1 现场钢轨波磨情况

3.3 轨道系统动态响应分析

钢轨波磨区段浮置板垂向位移为 2.82mm，钢轨相对浮置板垂向位移为 0.96mm，钢轨垂向绝对位移为 3.78mm，满足相关规范要求。钢轨波磨的产生与轨道系统在 400 Hz、700 Hz 频段的振动相关，列车以 75 km/h 速度通过 30 ~ 50 mm 波长波磨时，轮轨间会产生 416 ~ 694 Hz 的振动，打磨后该频段振动大幅降低。

4 地铁车内噪声测试

对包括小半径浮置板地段、有无波磨区段在内的较长时间范围开展测试，并加以对比，从而得出所需的结果。

4.1 车内静置噪声与运行噪声特征分析

为了排除列车自身引起的噪声对噪声测试结果的干扰，对列车静置状态下及列车运行过程中分别进行了车内噪声测试。根据结果，列车运行在过程中车内噪声的等效 A 声级为 88.74dB(A)，比静置状态下的车内噪声值 70.07dB(A) 高 18.67dB(A)；且在各频率下，列车运行时车内噪声都比静置时车内噪声高 10dB(A) 以上。

4.2 车内噪声测试

根据 GB/T 3449-2011《声学—轨道车辆内部噪声测量》和 GB/T 14892-2006《城市轨道交通列车噪声限值和测量方法》，对该地段的车内噪声测试结果进行时域和频域分析，得到地铁车内噪声最大 A 计权声级及对应频率及各区段地铁车内噪声等效 A 声级，测试结果如下表所示：

表 1 地铁车内噪声等效 A 声级不同区段汇总

工况	等效 A 声级 (dB(A))		区间声级较高对应频率	
	左线	右线	左线	右线
有波磨地段	84.20	88.89	315~800	315~1250
普通地段一	75.93	87.43	315~1000	315~1250
普通地段二	77.32	82.63	250~1000	315~1000
普通地段三	77.35	85.44	315~800	400~1250
普通地段四	77.21	77.14	315~1000	400~1250

表 2 地铁车内噪声等效 A 声级打磨前后对比

工况	等效 A 声级 (dB(A))		区间声级较高对应频率	
	左线	右线	左线	右线
打磨前	84.20	88.89	315~800	315~1250
打磨后	80.03	85.36	315~800	315~1250

根据上述噪声统计结果，部分区段超过城市轨道交通系统中地铁列车噪声等效声级的最大容许限值。地铁车内噪声波磨地段及钢弹簧浮置板地段比普通地段噪声明显更大，而打磨后车内噪声相比打磨前有了明显的下降，下降值约为 4 ~ 5dB(A)。此外，左右线噪声测试结果存在差异，这是由于测试过程中地铁通过速度及地铁列车载客量存在区别，导致车内噪声存在一定差异。

4.3 不同车厢对车内噪声的影响

选取上述同区段同一时间段内不同车厢噪声的影响进行分析，其中 1、8 车厢为头部车厢、尾部车厢，4 车厢为中部车厢。将此区域各个区间，不同车厢内的噪声等效 A 声级进行统计得到图 2、图 3。

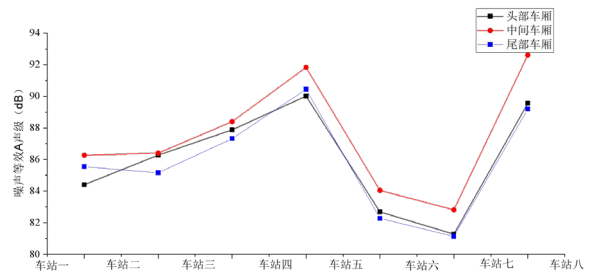


图 2 左线不同车厢噪声测试结果对比

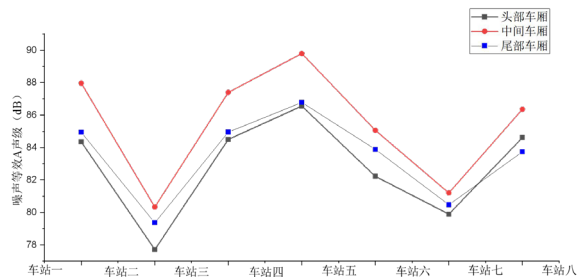


图 3 右线不同车厢噪声测试结果对比

从图 2、图 3 可以发现头部车厢与尾部车厢噪声的等效