

城市轨道线路波磨与运行噪声对周边环境影响评估

吴 杰

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400000

摘要：本文聚焦城市轨道线路波磨与运行噪声对周边环境的影响评估。先阐述波磨与运行噪声的概念、产生机制及类型，接着介绍波磨以现场检测为主、运行噪声涵盖多种手段的评估方法。分析其对声学、振动及生态环境的多方面影响，如破坏声环境、引发振动污染、干扰生态等。最后从波磨防治、噪声防治及综合防治策略三方面提出建议，旨在为城市轨道交通环境管理提供科学依据。

关键词：城市轨道交通；钢轨波磨；轮轨噪声；环境影响评估

1 城市轨道线路波磨与运行噪声概述

1.1 城市轨道线路波磨

城市轨道线路波磨是钢轨顶面沿长度方向出现的周期性起伏不平顺现象，其波长通常在数十毫米至数十厘米之间，波幅从几微米到数百微米不等。这种病害主要源于轮轨之间的相互作用，当列车运行时，轮轨接触点产生的周期性载荷会使钢轨顶面逐渐形成周期性磨损。不同运营条件下波磨表现存在差异，在地铁等大运量、高密度运营线路中，由于轮轨接触频率高、磨耗累积速度快，波磨出现的周期更短，常见的有短波磨和长波磨两种类型。短波磨波长多在20-80毫米，易在制动频繁的区间形成；长波磨波长则在100-300毫米，常出现在曲线地段或轨道刚度突变区域^[1]。波磨不仅会降低钢轨使用寿命，还会加剧轮轨振动，进而诱发更大的运行噪声，对轨道结构稳定性和运营安全性构成潜在威胁，是城市轨道交通运营维护中需重点关注的病害类型。

1.2 城市轨道运行噪声

城市轨道运行噪声是列车运行过程中产生的各类噪声的总称，其声源复杂且传播途径多样，对沿线居民生活质量影响显著。根据噪声产生机制，可分为轮轨噪声、牵引系统噪声、空气动力噪声和结构辐射噪声等主要类型。轮轨噪声是最主要的噪声来源，由轮轨接触摩擦、冲击以及钢轨振动激发产生，在中低速运行阶段（低于80公里/小时）占总噪声的60%以上。牵引系统噪声来自列车牵引电机、齿轮箱等设备运转，空气动力噪声则在高速运行时（超过100公里/小时）逐渐占据主导。噪声传播过程中会通过空气介质直接辐射，也会通过轨道结构传递至地面，引发建筑物振动并二次辐射噪声。不同运营场景下噪声强度差异明显，地铁地下段受隧道屏蔽作用影响，地面噪声值较低；地面段和高架段噪声传播不受遮挡，在列车通过时，沿线10米处噪声值可达

到75-85分贝，远超城市区域环境噪声标准限值。

2 城市轨道线路波磨与运行噪声的评估方法

2.1 波磨的评估方法

城市轨道线路波磨的评估方法已形成以现场检测为核心、数据处理为支撑的整体体系，可精准量化波磨的分布范围和严重程度。现场检测主要采用接触式和非接触式两种技术手段，接触式检测通过安装在检测车辆轮轴上的位移传感器，直接采集钢轨顶面的起伏数据，检测精度可达0.1微米，适用于短距离精细化检测；非接触式检测则利用激光测距技术，通过高速摄像机和激光传感器同步采集钢轨表面图像和距离数据，检测速度可达80公里/小时，能实现长距离连续检测。检测数据需经过滤波、去噪和傅里叶变换等处理，提取波磨的波长、波幅等关键参数^[2]。评估指标主要包括波磨深度、波磨波长和波磨指数，其中波磨深度是最直观的指标，当深度超过0.2毫米时需进行打磨处理；波磨指数则通过波幅与波长的比值计算，综合反映波磨对轮轨振动的影响程度。另外，还需结合轨道类型、运营年限和列车通过量等参数，建立波磨发展趋势预测模型，为制定预防性维护计划提供数据支撑。

2.2 运行噪声的评估方法

城市轨道运行噪声的评估方法涵盖现场监测、数值模拟和模型预测等多种手段，可实现对噪声源强度、传播路径和受影响范围的全面评估。现场监测需遵循《城市轨道交通噪声测量规范》，在轨道沿线敏感点（如居民小区、学校）设置噪声监测仪，监测时间包括昼间和夜间，连续监测时长不少于24小时，采集等效连续A声级、最大声级等数据。监测时需同步记录列车通过次数、运行速度和气象条件等参数，以排除外界干扰因素。数值模拟技术通过建立轮轨噪声源模型、空气传播模型和结构振动模型，利用有限元法和边界元法计算噪

声在不同传播路径上的衰减规律，可预测新建线路运营后的噪声分布情况。常用的预测模型包括德国的Schall03模型、日本的新干线噪声预测模型以及我国的《城市轨道交通噪声预测规范》推荐模型，这些模型通过引入轨道类型、线路敷设方式、建筑物布局等修正系数，能将预测误差控制在3分贝以内。评估过程中需结合监测数据对模拟结果进行校准，最终形成包含噪声等值线图、敏感点超标分析和噪声影响等级划分的评估报告。

3 城市轨道线路波磨与运行噪声对周边环境的影响

3.1 对声学环境的影响

城市轨道线路的波磨与运行噪声，对声学环境的影响呈现出显著的持续性与叠加性特征，对沿线声环境质量造成了严重破坏。波磨会加剧轮轨间的冲击和振动，进而使轮轨噪声强度大幅攀升10-15分贝。原本声环境达标的区域，可能随着波磨的发展而迅速变为超标区域。在居民集中的沿线地带，情况尤为严峻，昼间等效连续A声级常常超过60分贝，夜间更是超过50分贝，远超《声环境质量标准》中居住用地的限值要求。这种超标的噪声，如同无形的侵扰者，干扰着居民的正常生活。白天，它降低人们工作学习的效率，让人难以集中精力；夜间，它导致人们入睡困难，睡眠质量大幅下降。长期暴露在这样的噪声环境中，还可能引发神经衰弱等健康问题。对于学校、医院等特殊场所，噪声的干扰更为突出。课堂上，教师讲课声音需提高15-20分贝才能让学生清晰听见；医院病房内，噪声会影响患者的休息和康复。噪声对沿线商业活动也产生了负面影响，临街商铺因噪声过大导致顾客流失，经营效益直线下降。而且，波磨引发的高频噪声穿透力极强，普通窗户的隔声效果有限，即便关闭窗户，室内噪声仍可能超过45分贝，严重影响了居住的舒适度。

3.2 对振动环境的影响

城市轨道线路的波磨问题，已成为影响城市环境质量与居民生活品质的一大隐患。波磨会显著增强轮轨间的振动，这种振动能量通过轨道结构迅速传递至周边地面和建筑物，形成不容忽视的振动污染。波磨引发的周期性轮轨冲击，犹如无数个小锤子不断敲击轨道，使得轨道结构振动加速度大幅提升2-3倍。这种强烈的振动以弹性波的形式在土层中传播，由于土层对弹性波的衰减作用较弱，在距离轨道中心线30米范围内的地面，振动加速度仍能达到 $0.1\text{-}0.3 \text{米}/\text{秒}^2$ ，这明显超过了《城市区域环境振动标准》中居民用地的限值。当振动传递至建筑物内部，会引发墙体、地板和家具的共振现象。居民在室内能明显感受到振动，严重时门窗会晃动，物品也会

倾倒^[3]。长期处于这样的振动环境中，建筑物的结构会受到损害，墙体出现裂缝、楼板松动，大大降低建筑物的使用寿命和安全性能。对于精密仪器车间、实验室等对振动极为敏感的场所，振动更是会影响设备的正常运行，导致测量数据失真、产品质量下降。另外，振动还会与噪声相互协同，进一步加剧人体的不适感，引发头晕、恶心等症状，对居民的身心健康造成双重危害。

3.3 对生态环境的影响

城市轨道线路产生的波磨与运行噪声，犹如一双无形的“黑手”，通过噪声和振动的双重作用，对周边生态环境造成了多方面且深远的影响。在城市公园、绿化带等生态区域，噪声成了鸟类繁殖的“干扰源”。众多研究表明，当噪声强度超过65分贝时，许多鸟类会减少鸣叫频率，筑巢时间也会推迟。原本生机勃勃的鸟鸣声变得稀疏，繁殖成功率大幅下降，生态系统的生物多样性受到威胁。振动对土壤中无脊椎动物的生存影响同样显著。它破坏了这些微小生物的栖息地环境，蚯蚓、线虫等土壤生物的数量急剧减少。而这些生物是维持土壤肥力的关键，它们的减少导致土壤肥力下降，植被生长所需的养分供给不足，进而影响植被的正常生长。对于沿线的绿化植物，长期振动如同“慢性毒药”。它会破坏植物根系与土壤的紧密结合，阻碍水分和养分的吸收。植物因此生长缓慢，叶片发黄，甚至出现枯萎死亡的现象，原本绿意盎然的景象变得黯淡无光。在临近河流、湖泊的线路段，振动传播至水体后，又成了水生生物的“噩梦”。它干扰了鱼类的洄游和觅食行为，破坏了水生生态系统的平衡，让原本和谐的水下世界陷入混乱。为防治波磨和噪声而进行的轨道改造、隔声屏障建设等工程活动，还会占用部分绿地，破坏地表植被，导致局部生态环境退化，严重影响了城市生态系统的完整性和稳定性。

4 防治措施与建议

4.1 波磨的防治措施

波磨的防治工作应秉持“预防为主、治理为辅”的方针，通过轨道结构优化与运营维护强化实现全方位综合管控。在轨道设计阶段，需精心挑选钢轨材质，选用高硬度、高耐磨性的钢轨，如U75V、U71MnG等合金钢轨，此类钢轨能有效提升钢轨的抗磨性能，从根源上增强钢轨的耐用性。同时，要合理优化轨道刚度分布，通过精准调整轨下垫层刚度、科学设置弹性扣件等手段，有效减少轮轨接触应力的波动，从源头上降低波磨产生的可能性。在运营过程中，要构建常态化的波磨检测机制，利用激光检测车每3个月对线路展开一次全面检测，

针对重点区段则每月进行一次人工复核，从而及时、准确地掌握波磨的发展动态。对于不同类型的波磨，要采取差异化的治理措施。短波磨可运用钢轨打磨车进行周期性打磨，打磨周期控制在6-12个月，以此去除钢轨表面的周期性起伏；长波磨则需结合轨道捣固、起道等作业，对轨道几何形位进行调整，消除轨道刚度突变区域，恢复轨道的平稳性。此外，还要优化列车运行组织，减少列车在制动频繁区间的运行次数，合理控制列车通过曲线地段的速度，降低轮轨磨耗速率，进而延长波磨的出现周期，保障轨道的安全与稳定运行。

4.2 运行噪声的防治措施

运行噪声的防治工作需从声源控制、传播路径阻隔和受声点防护三个层面协同推进，构建起多层次的防治体系。在声源控制方面，可在轮轨接触面涂抹减磨剂，有效降低轮轨摩擦产生的噪声；同时，对列车牵引系统、制动系统进行降噪改造，采用低噪声电机和制动闸瓦，从源头上减少设备运转产生的噪声。传播路径阻隔是噪声防治的关键环节，在高架线路和地面线路沿线设置隔声屏障，屏障高度不低于3米，并采用吸声+隔声复合结构，可使屏障外侧噪声降低15-20分贝；在隧道线路中，对隧道内壁进行吸声处理，铺设吸声材料，减少噪声的反射和传播。受声点防护主要针对沿线敏感建筑，对居民楼、学校等建筑进行隔声窗改造，采用双层中空隔声玻璃，提高室内隔声效果；在建筑与轨道之间种植宽幅绿化带，利用植被的吸声作用进一步降低噪声强度。另外，要合理规划线路走向，新建线路尽量避开居民密集区域；对已建成线路实施夜间运营限速，减少夜间噪声对居民休息的影响，为居民创造一个安静舒适的生活环境。

4.3 综合防治策略与建议

城市轨道线路波磨与运行噪声的综合防治工作，需构建“设计-运营-维护-管理”全流程管控体系，实现各环节的协同联动。在规划设计阶段，要开展详细的环境影响评价，结合线路敷设方式、运营参数等因素，科学预测波磨和噪声的发展趋势，并将防治措施有机纳入工

程设计方案，例如采用浮置板轨道等低振动、低噪声轨道结构，从设计源头降低波磨和噪声的产生。在运营维护阶段，要建立波磨与噪声联动监测机制，将波磨检测数据与噪声监测数据关联分析，通过波磨发展趋势精准预测噪声变化，为维护作业提供科学、精准的依据^[4]。同时，要强化技术创新，积极研发新型抗磨钢轨材料和低噪声轮轨系统，推广钢轨打磨机器人、智能噪声监测设备等先进技术装备，提高防治工作的智能化水平。在管理层面，要完善相关法律法规和技术标准，明确波磨与噪声防治的责任主体和考核指标，确保防治工作有法可依、有章可循。建立部门协同机制，由轨道交通运营单位、环保部门和住建部门共同参与，开展联合执法和专项整治行动，形成强大的工作合力。加强宣传教育，提高运营人员和居民的环保意识，鼓励公众参与监督，形成全社会共同参与的综合防治格局，共同营造安全、舒适、安静的城市轨道交通环境。

结束语

城市轨道线路波磨与运行噪声对周边环境影响广泛且深远，涉及声学、振动及生态多个层面。有效的防治措施刻不容缓，从轨道设计到运营维护，从声源控制到管理协同，每个环节都至关重要。通过构建全流程管控体系，运用先进技术手段，加强部门合作与公众参与，才能切实降低波磨与噪声危害。未来，需持续探索创新，不断完善防治策略，以实现城市轨道交通与周边环境的和谐共生。

参考文献

- [1]李明, 张华.城市轨道交通建设施工环境影响及应对策略研究[J].环境科学前沿, 2021, 9(03): 45-58.
- [2]王强, 赵刚.我国城市轨道交通建设现状与发展趋势分析[J].交通建设与管理, 2022, 35(04): 78-90.
- [3]毛银锋,史烽迪.城市轨道交通工程周边环境调查的方法与应用[J].山西建筑,2024,50(13):166-169.
- [4]冯金健.城市轨道交通工程周边环境调查重难点问题研究[J].工程建设与设计,2023,(01):72-75.