

关于轮对踏面擦伤检测标准对车辆运行安全控制作用的思考

毛 磊

贵阳轨道交通三号线建设运营有限公司 贵州 贵阳 550000

【摘 要】：轮对踏面擦伤是轨道车辆运行中常见且易被忽视的问题，其产生往往伴随轮轨冲击、制动异常或线路状态不良等情形。建立科学、严谨的检测标准，是确保车辆运行平稳与安全的重要环节。通过对踏面擦伤的类型、形成机理及其对车辆动力学性能影响的分析，阐明了检测标准在早期识别和分级评估中的关键作用。标准化的检测不仅能够实现对潜在故障的及时预警，还能为维修策略制定和运营调度提供数据支撑，从而有效降低车辆运行安全风险，提升车辆全寿命周期的安全保障水平。

【关键词】：轮对踏面；擦伤检测；标准化；运行安全；故障预警

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.087

引言

在轨道交通快速发展的背景下，车辆运行速度与密度持续提升，运营单位对车辆轮对踏面状态的实时掌握显得尤为关键。轮对作为车辆与钢轨接触的唯一界面，其踏面状态直接影响车辆的平稳性与可靠性。擦伤虽不如裂纹、剥离等损伤显著，却在长期累积中可能诱发结构疲劳、振动异常等情形。通过建立科学的检测标准，可在早期捕捉微小损伤信号，实现精确分级与动态监测，为车辆维修、调度及安全评估奠定基础。

1 轮对踏面擦伤对车辆运行安全的风险分析

轮对踏面擦伤是轨道车辆运行过程中一种常见且具有潜在危害的表面损伤形态，其形成往往与轮轨界面复杂的力学作用密切相关。车辆在高速或重载运行条件下，当制动系统出现瞬时滑移、轨道表面存在异物或轮轨黏着系数异常波动时，踏面表层极易受到高应力冲击和瞬时热冲击的共同作用，导致轮对踏面出现擦伤痕迹。这些擦伤改变了踏面的几何形状，使得踏面圆周方向出现不规则凹槽或粗糙区域，直接破坏轮轨接触的光滑性和均匀性。随着车辆持续运行，擦伤区域会在每一次轮轨滚动接触中反复承受冲击载荷，使局部应力进一步提高，形成微裂纹、塑性变形及金属剥落的初始条件。

踏面擦伤发展到一定程度后，会对车辆运行的动力学性能产生显著影响。轮轨接触状态的异常会引发轮轨冲击力的周期性变化，导致车辆产生竖向和横向振动，并通过轮对传递至转向架和车体结构。这种振动不仅影响乘坐舒适性，还会导致转向架构件、轴箱悬挂等结构承受额外疲劳载荷，加速零部件磨损和结构松动。严重情况下，擦伤会诱发轮轨间的局部打滑和高频冲击，造成轮轨波磨的加剧以及车辆运行噪声的异常提升。更为关键的是，踏面不规则会引起轮径变化或轮径差异，破坏车辆运行的平衡状态，使车辆在曲线区段或高速运行中出现蛇行运动、轮重不均等不稳定现象，进而埋下安全隐患。

从车辆运行安全角度来看，轮对踏面擦伤不仅是设备磨损问题，更是影响列车运行安全性的关键因素之一。未被及时发现和处理的擦伤会在车辆长时间运行中不断累积，逐步发展为剥离、裂纹乃至掉块等更为严重的结构损伤，进而威胁踏面与轨道的安全接触关系。一旦擦伤造成轮轨接触不稳定，将可能触发紧急制动距离增加、脱轨系数上升等连锁反应，对列车编组、运营秩序和乘客安全构成威胁。通过对擦伤风险进行系统分析，可以清晰地认识到这种局部损伤在车辆运行中的放大效应，其危险性不仅体现在单个轮对上，更体现在对整列车运行稳定性的影响，科学的检测与控制成为确保运行安全的重要前提。

2 建立科学检测标准的必要性与实现路径

轮对踏面擦伤在车辆运行中具有隐蔽性和累积性，其危害往往在早期阶段难以通过人工检查准确识别。传统的检修方式容易受到主观判断和现场环境的影响，存在漏检、误判和滞后的可能，难以满足现代轨道交通高速化、重载化的发展需求。建立科学的检测标准，是将零散的经验判断转化为量化指标和可重复性方法的关键。通过对踏面擦伤的类型、深度、长度、分布特征和发展趋势进行系统研究，可以明确不同擦伤等级对车辆动力学性能的影响规律，为制定分类分级标准奠定理论基础。这一过程不仅涉及轮轨接触力学和材料疲劳行为的分析，还需要结合车辆运行环境与线路条件，形成与实际工况相匹配的技术指标体系。

在技术实现层面，检测标准的制定需要与先进的检测设备和算法紧密结合。激光轮廓扫描、超声波检测、涡流检测等无损检测技术，可以实现踏面表面及近表层缺陷的高精度识别。结合数字信号处理与模式识别算法，能够将采集到的大量检测数据转化为结构化信息，自动判断擦伤的形态和严重程度。通过建立统一的数据格式和判定阈值，不同检测设备之间可以实现结果的互认和可比，从而避免因设备差异导致的检测结果不

一致。检测标准还应与车辆检修周期、运营强度和安全评估体系相衔接,形成技术标准、检测手段与运维策略的闭环管理模式。

实现路径的构建不仅是技术问题,更涉及管理体系的完善与执行机制的落实。在标准制定后,通过分阶段试点、运行验证和反馈修正,可以逐步形成适应不同线路与车型的通用标准体系。依托大数据平台和智能运维系统,将检测结果与车辆全寿命管理相结合,实现踏面擦伤从检测、评估到决策的全过程数字化与标准化。通过技术与制度的双重保障,能够在源头上提高检测的准确性与时效性,为车辆运行安全提供坚实支撑,也为风险管控与维修策略优化提供可靠依据。

3 检测标准在车辆运行安全控制中的综合作用

科学的踏面擦伤检测标准在车辆运行安全控制中发挥着多层次、全流程的作用,通过将量化技术指标与运维管理体系相结合,使潜在风险得以及时识别。在实际运行中,标准化检测能够对不同等级擦伤进行明确界定,更能将轻微损伤与严重缺陷有效区分,避免因人工判断偏差造成的不一致处理。标准的引入使检测结果具有客观性和可追溯性,通过定期检测与动态监测相结合的方式,能够实现踏面状态的持续跟踪,为运行安全提供实时数据支持。在安全管理体系中,这类标准相当于风险识别的“前哨”,通过量化指标将隐蔽性损伤提前暴露出来,使安全风险处在可控范围内。

检测标准的实施为运行维护策略的优化提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 王建国.轮对踏面损伤特征分析与检测技术研究[J].铁道机车车辆,2020,40(3):45-50.
- [2] 李志强.轨道交通轮轨关系与车辆动力学研究[J].铁道科学与工程学报,2022,16(5):112-119.
- [3] 赵明宇.高速列车轮对踏面擦伤形成机理与演变规律[J].机械工程学报,2021,57(14):87-95.

通过对检测结果的分级评定,可以与车辆检修规程、轮对维修期限和调度策略形成联动关系。对于轻度擦伤,可通过轮对踏面车削的方式进行快速处理,避免损伤扩大;对于达到限制标准的严重擦伤,可通过更换或再加工的方式,避免突发性停运对行车组织的影响。标准化的检测数据还能用于分析损伤发生的规律与影响因素,协助确定线路病害、转向架系统异常等诱因,从而在运维层面进行针对性控制。这种基于标准的维修与管理机制,不仅提高了处置的精准度,也提升了运营资源的配置效率。

在安全控制体系中,检测标准还承担着风险预警与决策支持的功能。通过与车辆智能运维平台的深度融合,检测结果可以形成动态数据库,对不同时间段、不同车型、不同线路的擦伤发展趋势进行统计分析与预测,为风险分级管控提供量化依据。运营单位可以基于这些数据制定差异化的风险管控措施。标准不仅是技术层面的规范,更是安全管理体系中的核心纽带,通过将检测、评估、处置与反馈有机衔接,形成闭环控制机制,使车辆运行安全得到全方位、系统化的保障。

4 结语

轮对踏面擦伤检测标准的建立与实施,是保障轨道车辆运行安全的关键环节。标准化检测不仅使隐蔽性损伤得以识别,还能在技术和管理层面形成有效联动,实现风险分级管控与检修优化的有机结合。通过定量指标、先进检测手段与智能运维平台的协同作用,车辆运行的稳定性与安全性得到系统性提升,为行车组织的高效、可靠提供了强有力的支撑。