

铁道工务线路巡检标准化作业流程设计与安全风险防控

翟 涛¹ 何晓军²

1. 中天合创能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

2. 内蒙古铁路运营管理集团有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：铁道工务线路巡检标准化作业流程聚焦“计划-执行-记录-分析-改进”全生命周期管理，涵盖轨道几何尺寸动态检测、结构部件目视与AI图像识别检查及环境隐患排查等环节。通过北斗定位、物联网传感器构建智能预警网络，结合层次分析法量化风险等级，实施“双岗制”与“红黄牌”督办制度。强化高温钢轨测温、暴雨道床含水监测等特殊场景应对，实现安全风险动态防控与资源优化配置。

关键词：铁道工务线路巡检；标准化作业流程设计；安全风险防控

引言：铁路作为国家重要基础设施，其安全运行关乎经济发展与社会稳定。铁道工务线路长期承受列车荷载与复杂环境影响，易引发钢轨折断、路基沉降等安全隐患。传统巡检方式存在效率低、盲区多、数据滞后等问题，难以满足高铁时代对线路平顺性与安全性的严苛要求。本文聚焦巡检标准化流程设计，通过构建全生命周期管理体系与多维度风险防控机制，运用智能检测技术与动态评估模型，提升线路巡检精准性与应急响应能力。

1 铁道工务线路巡检核心要素分析

1.1 巡检对象分类与特征

（1）轨道结构：作为线路承载核心，各部件磨损阈值是关键指标。钢轨垂直磨耗限值通常为12mm，侧面磨耗不超16mm；轨枕裂缝宽度需控制在0.3mm内，避免结构失效；道床碎石空隙率应维持30%-40%，防止板结；扣件中，弹条Ⅰ型扣压力不低于8kN，确保钢轨与轨枕牢固连接。（2）路基与桥隧：决定线路平顺性与稳定性。路基沉降允许值严格控制在 $\leq 5\text{mm/年}$ ，超限易引发轨道变形；桥梁支座位移监测精度需达 $\pm 0.1\text{mm}$ ，细微位移可能改变梁体受力，威胁桥梁安全，同时需排查路基边坡溜坍、桥隧结构裂缝等问题。（3）附属设施：保障线路运营安全。信号设备需显示准确、无闪烁，满足行车指令传递需求；防护栏无变形、连接牢固，防止异物侵入；排水系统需畅通，避免积水浸泡路基、道床，影响线路基础稳定性^[1]。

1.2 典型风险识别

（1）设备故障风险：轨道长期受列车荷载冲击，易出现故障。钢轨可能因疲劳、磨损发生折断，一旦折断会直接导致线路中断，甚至引发脱轨事故；道床在长期使用中，碎石逐渐密实板结，丧失缓冲能力，加剧钢轨、轨枕磨损；联结零件受振动影响易松动，如扣件弹

条失效、螺栓松动，会导致轨道稳定性下降。（2）环境风险：自然环境变化对线路威胁显著。山区路段暴雨易引发山体滑坡，滑坡体可能掩埋线路、撞击桥梁；洪水会冲刷路基、桥基，导致路基掏空、桥基沉降，破坏线路基础；极端温度下，夏季高温使钢轨热胀伸长，可能出现胀轨跑道，冬季低温导致钢轨收缩，增加断轨概率。（3）人为因素风险：巡检人员操作与状态直接影响巡检质量。长时间作业易导致人员疲劳，注意力不集中，遗漏线路隐患；部分人员违规操作，如未按规定路线巡检、未使用专业设备检测，降低巡检全面性；数据记录时可能因疏忽或敷衍导致失真，无法准确反映线路问题，影响后续维修决策。

2 铁道工务线路巡检标准化作业流程设计

2.1 流程设计原则

（1）全生命周期管理：巡检流程需覆盖“计划-执行-记录-分析-改进”的完整闭环，实现对线路巡检的全流程把控。在计划阶段，结合线路历史数据与运营需求制定合理巡检方案；执行阶段严格按照方案开展巡检作业；记录阶段详细留存各类检测数据与现场情况；分析阶段深入挖掘数据背后的线路隐患与规律；改进阶段根据分析结果优化后续巡检计划与作业方式，形成持续改进的良性循环，保障线路长期稳定运行。（2）动态适应性：流程设计需具备灵活调整的能力，紧密结合季节性变化与线路等级差异优化巡检周期。例如，进入汛期后，需缩短山区、临近河流路段的巡检间隔，增加对路基、桥隧排水系统的检查频次；针对高铁线路，因其对轨道平顺性、稳定性要求更高，巡检周期应短于普铁线路，且检测精度标准需进一步提升，确保能及时发现并处理微小隐患，满足不同场景下的巡检需求。（3）人机协同：充分整合人工巡检、轨道检测车、无人机的优势，

实现多源数据融合。人工巡检可灵活应对复杂地形,近距离检查轨道细节部件;轨道检测车能高效完成长距离轨道几何参数检测,生成精准数据报告;无人机可对桥梁底部、高边坡等人工难以抵达的区域进行航拍巡查,三者相互配合、数据互补,全面提升巡检覆盖面与数据准确性,为线路评估提供更全面的依据。

2.2 分阶段标准化流程

2.2.1 巡检前准备阶段

(1) 任务分配:借助GIS系统精准生成巡检路线图,清晰标注线路走向、关键点位及高风险区段,如曾经发生过钢轨折断、路基沉降的区域。根据巡检人员的技能特长与负责区域,合理划分巡检任务,明确各人员的巡检范围、重点检查项目及完成时限,确保巡检工作无遗漏、无重叠。(2) 工具准备:对轨距尺、弦线、探伤仪等巡检设备进行全面检查与校准。轨距尺需校验其精度,确保测量误差在允许范围内;弦线要检查是否存在磨损、断裂情况;探伤仪需开机测试,确认设备各项功能正常、探头灵敏度达标,避免因设备问题影响巡检数据的准确性。(3) 安全交底:组织巡检人员召开安全交底会,详细说明当日作业内容、具体巡检路线及沿线风险点,如临近既有线作业时的列车通行时段、高边坡路段的防滑坡注意事项等。同时,明确应急预案,包括突发设备故障、人员受伤、恶劣天气等情况的应对措施,确保每位巡检人员都能熟练掌握,保障作业安全^[2]。

2.2.2 现场作业阶段

(1) 轨道几何尺寸检测:采用激光测量仪对轨距、水平、高低等参数进行动态采集,该设备测量精度可达 $\pm 0.5\text{mm}$,能精准捕捉轨道几何形态的细微变化。检测过程中,按照规定的采样间隔连续测量,实时记录数据,若发现数据超出标准范围,及时标记位置并进行复核。(2) 结构部件检查:采用“目视+敲击法”结合图像识别技术的方式检查轨道结构部件。巡检人员通过目视观察钢轨表面是否存在鱼鳞纹、裂纹等缺陷,用小锤敲击轨枕、扣件,根据声音判断是否存在空吊、松动情况;同时,使用搭载图像识别功能的设备拍摄轨道部件,借助AI算法辅助识别细微缺陷,提高检查效率与准确性。(3) 环境隐患排查:重点排查沿线环境对线路安全的影响,记录危树生长情况,如树木距离轨道的距离、是否存在倒伏风险;检查是否有异物侵限,如塑料布、石块等堆积在轨道周边;查看排水系统是否畅通,有无堵塞、积水现象,及时记录隐患位置与具体情况,为后续处理提供依据。

2.2.3 数据记录与上报阶段

(1) 移动终端录入:巡检人员通过工务APP实时上传检测数据与现场照片,APP支持语音标注功能,可快速补充说明隐患细节,如“K123+450处钢轨左侧有2mm裂纹,伴随轻微鱼鳞纹”。数据上传过程中,系统自动关联地理位置信息,确保数据与实际位置精准对应,避免信息错乱。(2) 异常分级处理:依据《铁路线路修理规则》,将发现的缺陷划分为紧急、重要、一般三类。紧急缺陷需在24h内安排处理,如钢轨严重裂纹;重要缺陷处理时限为72h,如道床局部板结;一般缺陷可在7天内处理,如防护栏轻微变形,通过分级处理确保资源优先投入关键隐患治理^[3]。

2.2.4 巡检后分析阶段

(1) 趋势预测:运用时间序列分析模型,整合本次与历史巡检数据,对钢轨磨耗、路基沉降等关键指标的发展趋势进行预测。例如,通过分析某段钢轨近6个月的磨耗数据,预测未来3个月的磨耗量,若发现磨耗速度加快,提前制定维修计划,避免出现超阈值情况。(2) 资源优化:根据本次巡检发现的缺陷分布情况,调整下一周期的巡检重点区域。对于缺陷集中、风险较高的路段,缩短巡检间隔,增加检查项目;对于缺陷较少、状态稳定的区域,可适当延长巡检周期,合理分配巡检人力与设备资源,提升整体巡检效率与针对性。

3 铁道工务线路巡检安全风险防控体系构建

3.1 风险评估模型

(1) 指标体系:综合线路巡检全流程风险因素,构建涵盖设备状态、环境条件、作业强度、管理因素4个维度的20项指标体系。设备状态维度包括钢轨磨耗程度、扣件松动率、道床板结指数等6项指标,直接反映轨道核心部件安全状态;环境条件维度包含降雨量、风力等级、地质稳定性等5项指标,聚焦自然环境对巡检的影响;作业强度维度涵盖单日巡检里程、连续作业时长、夜间作业频次等4项指标,关注人员作业负荷风险;管理因素维度包含人员培训达标率、设备校准频率、应急预案完善度等5项指标,保障管理环节无漏洞,全方位覆盖巡检潜在风险点。(2) 量化方法:采用层次分析法(AHP)确定各指标权重,确保评估结果客观精准。先邀请铁路工务领域专家、一线技术人员组成评审组,对4个维度及20项指标的重要性进行两两对比,构建判断矩阵;再通过一致性检验验证矩阵合理性,计算得出各指标权重(W_i);最后依据现场采集的指标实际数据(X_i),按照公式“风险值($R = \sum W_i \times X_i$)”计算综合风险值,将定性风险转化为定量数据,避免主观判断偏差。(3) 风险等级划分:根据风险值大小将巡检安

全风险划分为低、中、高三个等级。低风险对应风险值 $R < 0.3$ ，表明线路设备状态稳定、环境影响小、作业管理规范，仅需按常规巡检频率开展工作；中风险对应 $0.3 \leq R < 0.7$ ，意味着存在局部设备隐患或环境风险，需加密巡检频次，重点关注高权重指标变化；高风险对应 $R \geq 0.7$ ，代表线路存在重大安全隐患，需立即启动应急响应，暂停相关区段巡检作业，优先开展隐患治理，切实防范事故发生。

3.2 防控措施设计

3.2.1 技术防控

(1) 部署智能巡检系统：集成北斗定位、物联网传感器，打造“实时监测+自动预警”的智能防控网络。北斗定位模块可精准定位巡检人员与设备位置，误差 ≤ 1 米，确保人员按规定路线作业；在钢轨、路基关键部位安装振动传感器、位移传感器，实时采集轨道振动频率、路基沉降数据，数据通过5G网络传输至后台系统，当数据超出预设阈值时，系统自动向管理人员发送预警信息，实现风险早发现、早干预。(2) 应用AI图像识别：基于深度学习模型训练钢轨裂纹识别算法，通过搭载高清摄像头的巡检设备拍摄钢轨表面图像，算法可自动识别裂纹长度、宽度、深度等参数，识别准确率 $> 95\%$ ，且识别速度达每秒10帧图像，相比人工目视检查，效率提升5倍以上，有效避免因人员疲劳、经验不足导致的裂纹漏检问题，精准防控设备故障风险。

3.2.2 管理防控

(1) 实行“双岗制”：在轨道几何尺寸检测、缺陷数据录入、高风险区段巡检等关键作业环节，配备两名巡检人员开展双人复核。一人负责现场数据采集，另一人同步进行数据校验，如轨距测量时，两人分别使用不同轨距尺测量同一点位，比对数据偏差，确保误差 $\leq 0.2\text{mm}$ ；缺陷记录时，双人共同确认隐患位置、类型、程度，签字确认后上传数据，将人为失误率降低至 0.5% 以下。(2) 建立“红黄牌”制度：根据风险评估结果，对高风险工区挂“红牌”、中风险工区挂“黄牌”督办。红牌工区需在7日内提交专项整改方案，每日上报整改进度，整改完成后经上级部门验收合格方可摘牌；黄牌工区需

在15日内完成风险排查与治理，每月接受风险复核，通过分级督办压实工区责任，确保风险整改落实到位^[4]。

3.2.3 应急防控

(1) 制定专项预案：针对钢轨折断、山体滑坡、极端天气等高频突发场景，设计详细应急处置流程。如钢轨折断预案明确“现场警戒-数据上报-临时加固-永久修复”四步处置法，规定现场人员需在5分钟内设置警示标志，30分钟内完成现场数据采集与上报，2小时内完成临时加固措施，为后续修复争取时间；山体滑坡预案则明确人员疏散路线、设备转移方案、线路清理流程，确保应急处置有序高效。(2) 开展实战演练：每季度组织1次无脚本应急演练，随机选取演练场景、设定突发风险参数，如模拟“K205+300处暴雨导致路基坍塌，巡检人员被困”场景，不提前告知参演人员风险位置、程度。通过实战演练检验应急预案可行性，提升人员应急响应速度，要求从风险发生到应急队伍集结到位时间 ≤ 30 分钟，关键处置环节完成时间 ≤ 2 小时，切实增强巡检人员应对突发风险的实战能力。

结束语

铁道工务线路巡检标准化作业流程的设计与安全风险的有效防控，是保障铁路安全畅通、提升运维效能的核心环节。通过构建全生命周期管理体系、融合智能检测技术与动态风险评估，实现了隐患的早发现、早处置。未来，应进一步深化技术创新，强化数据驱动决策，推动巡检模式向智能化、精细化迈进，为铁路安全稳定运行提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 鲁向国.铁道工务线路养护常见问题与对策分析[J].城市建设理论研究：电子版,2020,(09):83-84.
- [2] 焦方敏,蒋习龙,陈文义.铁道工务线路养护的常见问题及对策研究[J].科学家,2021,(04):38-39.
- [3] 安根生.铁道工务线路养护常见问题与对策分析[J].中小企业管理与科技,2020,(10):92-93.
- [4] 刘文忠.铁道工务线路养护常见问题与对策分析[J].科学技术创新,2022,(15):190-191.