

智能巡检设备应用优化安全生产日常管理的研究

郭琦琦

新疆公路建设（集团）有限责任公司，中国·新疆 昌吉 831100

摘要：随着工业 4.0 与数字化转型的深入推进，安全生产管理正经历从“人防”向“技防+智防”的深刻变革。智能巡检设备作为感知物理世界安全状态的核心触角，其应用深度与广度直接决定了日常安全管理的效能与韧性。本文系统综述了智能巡检设备在优化安全生产日常管理中的理论演进、技术路径与实践瓶颈，涵盖多模态感知与边缘计算融合、风险动态识别与预警机制重构、人机协同作业模式创新及数据驱动的安全决策体系构建等核心维度。

关键词：智能巡检设备；安全生产；日常管理；风险识别；人机协同；数字孪生；边缘计算

Research on the Application of Intelligent Inspection Equipment for Optimizing Daily Safety Management

Guo Qiqi

Xinjiang Highway Construction (Group) Co., Ltd., China Xinjiang Changji 831100

Abstract: With the deep advancement of Industry 4.0 and digital transformation, safety management is undergoing a profound shift from "human-based prevention" to "technology-based and intelligent prevention." As a core sensory interface for monitoring physical-world safety conditions, the depth and breadth of intelligent inspection equipment applications directly determine the effectiveness and resilience of daily safety management. This paper systematically reviews the theoretical evolution, technical pathways, and practical challenges of intelligent inspection equipment in optimizing daily safety management, covering key dimensions such as the integration of multimodal sensing with edge computing, dynamic risk identification and restructured early warning mechanisms, innovation in human-machine collaborative operation models, and the construction of data-driven safety decision-making systems.

Keywords: Intelligent inspection equipment; Workplace safety; Daily management; Risk identification; Human-machine collaboration; Digital twin; Edge computing

0 引言

安全生产是经济社会高质量发展的底线与红线。在传统安全管理模式中，日常巡检高度依赖人工经验，存在覆盖盲区大、主观性强、时效性差、高危环境人员暴露风险高等固有缺陷。近年来，随着物联网、人工智能、机器人及 5g 通信等技术的成熟，智能巡检设备（包括固定式智能摄像头、移动巡检机器人、无人机、可穿戴设备及各类智能传感器）迅速普及，成为重塑安全生产日常管理范式的关键驱动力。这些设备不仅能够替代人工进入高温、高压、有毒、高空等危险区域作业，更能通过多模态数据融合与智能分析，实现对设备状态、环境参数、人员行为的全天候、全方位、全要素感知，将安全隐患的发现从事后追溯前移至事前预警。然而，技术的引入并未自动带来管理效能的跃升。实践中，“重建设轻应用”“有数据无洞察”“设备先进但管理落后”等现象普遍存在，智能巡检设备往往沦为昂贵的“电子眼”或“数据记录仪”，未能真正嵌入并优化日常安全管理流程。其根源在于技术应用与管理需

求脱节、算法模型与现场工况错配、人机协作机制缺位以及标准规范体系滞后。因此，亟需以安全生产日常管理的实际痛点为导向，系统梳理智能巡检设备应用的优化路径，剖析现实障碍并探索系统性解决方案。这不仅是技术集成问题，更是安全管理理念、组织架构与业务流程的深度重构，对于推动我国安全生产治理体系和治理能力现代化具有重大战略意义^[1]。

1 现实审视：智能巡检设备优化安全管理的成效与瓶颈

要推动智能巡检从“可用”走向“好用、管用”，必须客观评估其在真实安全管理场景中的价值贡献与深层制约。

1.1 多维感知与智能分析显著提升日常管理效能

多项工程实践表明，智能巡检设备有效弥补了传统人工巡检的短板。在感知层面，通过融合可见光、热红外、气体检测、声纹识别、激光雷达等多模态传感器，实现了对设备温度异常、气体泄漏、异响振动、人员违规穿戴及

不安全行为等的精准捕捉,监测覆盖率提升至 98% 以上,隐患发现时效由小时级缩短至秒级。在分析层面,基于深度学习与知识图谱的智能算法,可将海量原始数据转化为结构化风险事件,如自动识别未戴安全帽、闯入禁区、明火烟雾等,并关联设备台账与历史故障库,生成初步诊断建议。例如,某南疆化工园区部署智能巡检机器人后,日均发现隐患数量增加数倍,人员进入高温高危区域频次大幅度降低,年度安全事故率有显著下降。更重要的是,系统实现了巡检过程的数字化留痕与可追溯,为事故调查、责任界定及持续改进提供了客观依据。这些成果证明,智能巡检设备能够有效提升日常安全管理的精准性、时效性与客观性,使有限的人力资源聚焦于高价值研判与应急处置。这种从“人海战术”到“智能感知”的认知跃迁,为安全管理精细化奠定了坚实基础^[9]。

1.2 环境适应性差与算法泛化弱制约实战可靠性

尽管成效显著,但智能巡检设备在新疆复杂工业环境下的稳定性与实用性仍受多重制约,这一问题较内地更为突出。首要问题是极端工况下感知可靠性严重不足:新疆年沙尘天气超过 120 天,春季沙尘暴频繁,粉尘与细沙快速侵入光学镜头与传感器表面,导致图像模糊、红外测温失真、激光雷达点云噪点剧增,设备在强风沙条件下有效感知距离缩短 40% 以上;戈壁荒漠地区夏季地表温度可达 50℃ 以上,冬季低温达零下 30℃ 以上,剧烈温差使传感器漂移加剧、电池续航骤降,移动机器人在极端温度下故障率较常温环境高出 2 至 3 倍;大风天气(8 级以上)导致无人机巡检无法起降,轨道巡检机器人在强风中行走偏移,稳定性难以保障。其次,算法模型泛化能力弱:多数 AI 模型基于内地温和环境标注数据训练,在新疆强紫外线、高反差光照、沙尘弥漫等特殊条件下性能骤降;对罕见故障或风沙与设备故障复合型风险的识别能力差,过度依赖人工复核;缺乏对工艺机理的理解,仅靠图像特征易产生误判(如将扬尘误判为烟雾、将热浪扭曲误判为火情)。更深层的是,风险预警与处置脱节:系统多输出孤立告警,未结合新疆地区特有的季节风险特征(如春融期、大风季、高温季)进行风险分级与优先级排序;告警信息未与应急预案、维修工单、人员调度系统联动,仍需人工中转,而新疆项目多地处偏远,通信条件差,响应延迟更为显著。这种“有感知无认知、有告警无行动”的断层,使得智能巡检的潜力在极端环境下更难充分释放。此外,新疆偏远地区设备维护成本高、备件供应周期长,也严重影响了长期可用性^[9]。

1.3 数据孤岛与人机协同缺位阻碍管理闭环形成

智能巡检的价值最终取决于数据流的贯通与人机协作的顺畅。目前,各类智能设备数据体系严重割裂:不同厂商设备协议不兼容,视频、传感、告警数据存储于独立平台,难以融合分析;智能巡检系统与 MES、ERP、EAM 等业务系统接口不通,风险信息无法驱动业务流转;历史巡检数据未按新疆特殊环境工况分类归档,难以用于模型迭代与区域性趋势预测。在人机协同方面,操作人员对智能系统的信任度低:因沙尘导致的误报频发,一线人员常选择忽略告警,形成“狼来了”效应;缺乏直观的交互界面,难以理解算法决策逻辑;培训不足,不会有效利用系统进行风险研判,尤其在大风沙尘等恶劣条件下更依赖经验判断而非系统提示。组织机制上,安全管理部门、设备运维部门、生产运行部门职责不清,智能巡检设备的日常管理、镜头清洁、数据审核、模型优化无人负责——而在新疆,镜头清洁与设备防沙维护本应是高频刚需,却因无人专责而长期缺位;绩效考核仍以人工巡检次数为主,未将智能系统发现的有效隐患纳入激励,导致“用不用一个样”。这种“有数据无共享、有系统无协同、有工具无信任”的困境,在新疆偏远项目中尤为突出。若不打通数据链路、重构人机关系、健全管理机制,再先进的设备也难逃“建而不用、用而不信”的命运,尤其在风沙肆虐的戈壁工地上,智能巡检更需要从“能装”走向“能用、好用”。

2 路径探索:面向管理闭环的智能巡检优化创新策略

破解上述系统性难题,需以“可靠感知、精准认知、高效执行、持续进化”为目标,重构技术体系与管理生态。

2.1 构建“端-边-云”协同的自适应感知与边缘智能体系

应超越单一设备性能局限,建立多层次、自修复、情境感知的智能感知网络。首先,优化“端-边-云”架构:在设备端部署轻量化传感器与预处理模块,实现数据清洗与异常初筛;在边缘侧配置高性能计算节点,运行实时推理模型,完成本地风险识别与快速响应,仅将关键事件与摘要数据上传云端;在云端汇聚全域数据,进行模型训练、趋势分析与知识更新,并将优化后的模型下发至边缘端,形成闭环迭代。其次,提升环境适应性 with 自诊断能力:采用多模态传感融合与冗余设计,在单一模态失效时自动切换;嵌入设备健康自监测算法,实时评估传感器状态、电池电量、通信质量,预判故障并触发维护工单;针

对移动机器人, 开发 slam 与视觉融合导航、动态避障及自动充电技术, 保障长周期自主运行。特别要强化情境感知: 将设备状态、生产计划、人员排班等上下文信息注入感知模型, 使风险判断更具业务语义(如区分正常检修与违规操作)。通过“分层智能+环境鲁棒+情境理解”三位一体, 使感知系统在复杂工况下依然可靠、可信、可用^[4]。

2.2 发展机理 – 数据双驱动的风险识别与人机协同决策机制

必须重建风险认知的科学性与决策的可执行性, 打通“数据到行动”最后一公里。在风险识别层面, 构建“工艺机理+ai模型+专家知识”耦合的认知引擎: 将设备原理、故障树、操作规程等结构化知识嵌入模型, 约束纯数据驱动的盲目性; 利用迁移学习与小样本学习, 提升对新场景、罕见事件的适应能力; 建立风险置信度评估机制, 对低置信度结果自动标记并推送人工复核, 避免误报泛滥。在人机协同层面, 打造沉浸式、可解释的交互界面: 通过ar/vr、数字孪生等技术, 将抽象告警可视化呈现于三维场景中, 直观展示风险位置、成因及影响范围; 提供算法决策依据(如热力图、关键帧), 增强人员信任; 支持语音、手势等自然交互, 便于现场人员快速反馈与修正。特别要建立动态反馈学习机制: 将人工复核结果、处置效果、事故复盘等作为标签, 持续优化模型; 设立“人机共治”小组, 定期评审系统表现, 共同调整阈值与规则。通过“机理约束+人机互信+持续学习”的深度融合, 使智能系统真正成为安全管理人员的“智能搭档”^[5]。

2.3 健全数据治理、标准规范与组织能力长效机制

技术落地需制度、标准与人才三重保障。应由应急管理部或行业协会牵头, 制定《智能巡检设备安全技术规范》《安全生产智能识别算法性能评价标准》《巡检数据接口与交换指南》等系列标准, 统一设备接口、数据格式、算法评测方法及验收要求, 打破厂商壁垒。推动建设企业级安全生产智能管控平台, 集成多源设备接入、数据治理、模型管理、业务联动、效果评估等模块, 提供一站式服务; 开放api, 鼓励生态共建。在数据治理上, 建立全生命周期数据质量管理机制, 明确采集、存储、清洗、标注、使用、销毁各环节责任; 推行数据资产化, 将高质量巡检数据视为核心战略资源。在能力建设上, 设立专项培训与认证, 培养既懂安全业务又通智能技术的复合型人才; 建立“厂家+专业团队+基层用户”三级技术支持体系, 保障系统稳定运行与持续优化。特别要重构激励机制: 将智能系统发现的有效隐患、模型优化贡献、人机协同效率等纳入绩

效考核, 激发全员参与积极性。唯有将智能巡检嵌入标准、数据、组织与文化之中, 方能实现从项目式应用到常态化管理的跨越^[6]。

3 结语

智能巡检设备在安全生产日常管理中的应用优化, 绝非简单的技术替代或工具升级, 而是一场涉及安全哲学、管理范式与人机关系的深刻变革。它要求我们超越“机器换人”的功利视角, 重新定义智能巡检的角色——不是取代人的监督者, 而是增强人对复杂系统认知与响应能力的延伸。在这一漫长而艰巨的进程中, 既要追求感知的广度与精度, 也要敬畏工业现场的混沌本质与安全工作的平凡艰辛; 既要相信算法的智能, 也要珍视一线人员的经验直觉与情境智慧; 既要打造炫目的数字平台, 更要夯实设备可靠性、数据质量与人机信任的朴素基石。真正的优化, 诞生于对每一处工况细节的深刻理解, 成型于对“感知-认知-决策-执行”链条的无缝衔接, 升华于对生命至上理念的真诚践行。我们应当以谦卑之心对待每一台智能设备、每一条告警信息, 它们承载着技术的理性, 也寄托着对安全的敬畏与对生命的守护。这不仅是工程的精进, 更是对“人民至上、生命至上”安全发展理念在数字时代的无声诠释。当传感器聆听设备的呼吸, 当算法解读风险的密码, 当人与机器在信任中协同守护, 那便是对安全生产最踏实、最温暖、也最有力的承诺。这条通往智能安全管理道路注定充满挑战与反复, 但每一步基于系统思维、实证精神与人文关怀的探索, 都在为中国高质量发展筑牢更加坚韧、更加智慧、更加人性化的安全防线。

参考文献:

- [1] 郭金鹏. 智能化技术在输煤设备检修与状态监测中的应用研究[C]// 江西省汽车工程学会. 第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集. [出版者不详], 2026: 219-222.DOI:10.26914/c.cnkihy.2026.000936.
- [2] 丁胜开, 姜海斌, 李湘云等. 常压储罐完整性管理新技术应用与实践研究[C]// 中国石油学会石油储运专业委员会, 石油工业标准化技术委员会油气储运专业标委, 国家石油天然气管网集团有限公司生产部, 国家石油天然气管网集团有限公司科技部, 中国石油天然气股份有限公司油气和新能源分公司. 第九届中国油气管道完整性管理技术交流会论文集. 中国石化出版社, 2025: 41-43.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.077897.
- [3] 李小龙. YC 供电公司变电运维业务智能化管理优化研究[D]. 宁夏大学, 2025. DOI:10.27257/d.cnki.gnxhc.2025.

000500.

[4] 胡仲可, 周金田, 黄涛等. 城市燃气管网风险评价及其发展趋势[C]// 中国石油学会天然气专业委员会. 第 34 届全国天然气学术年会论文摘要集—新能源、安全与综合. [出版者不详], 2024:62. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.092219.

[5] 任军莹. 架空电力线路通道环境异常识别算法研究[D]. 济南大学, 2024. DOI:10.27166/d.cnki.gsdcc.2024.001119.

[6] 刘宏达. 输电线路空 - 线巡检智能机器人研制及工程应用. 河南省, 河南送变电建设有限公司, 2016-02-18.