

智慧矿山背景下机电设备管理的创新研究

何文超

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：海外露天矿山普遍存在供电条件薄弱、本地技术不足、跨境备件周期长、属地政策严苛、生态环保压力大等问题，传统人工巡检、定期维保的设备管理模式弊端突出，易造成设备非计划停机、运维成本偏高，制约矿山稳定生产。智慧矿山数字化技术可重塑机电设备全生命周期管控体系，依托物联网感知、远程协同管控、本地化轻量化平台与多能互补供电技术，适配海外复杂工况。本文结合非洲、拉美海外露天矿现场实际，结合属地合规、跨境供应链、低碳供电、本地化用工等约束条件，从创新管理逻辑、现场运维难题、核心智能技术、分层实施策略四个方面展开研究，提出适配海外矿区的分层智能改造、属地协同运维、光储微网、区域保税备件仓等落地方案，为海外露天矿机电设备智能化升级提供参考。

【关键词】：智慧矿山；机电设备；预测性维护；属地合规；多能互补供电

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.065

引言

机电设备是露天矿山采掘、运输、破碎、供能生产链条的核心基础，设备运行稳定性直接影响矿山产能效益与合规运营。国内传统经验式运维、周期性检修模式适配国内完善的基建与技术配套条件，但在海外矿区适用性大幅下降。海外矿区普遍存在电网稳定性差、跨境物资流转慢、多语种用工管理复杂、低碳环保管控严格等特殊约束，直接照搬国内智慧矿山建设模式易出现合规风险、系统落地困难、运维效率偏低等问题^[1]。本文结合海外矿山一线运维实践，结合属地政策、供应链、供电与环保要求，探究机电设备智慧化创新管理路径，推动海外矿山设备运维从经验化向数据化、属地化、精细化转型。

1 海外露天矿机电设备智慧化管理创新逻辑

海外露天矿机电设备智慧化管理不照搬国内数字化改造模式，结合当地政策、供电、供应链、用工等特殊条件构建适配海外场景的新型管控体系，打破传统人工运维局限。体系立足海外现场实际痛点形成多维创新路径：一是采用本地存储、云端备份的数据架构，利用设备智能感知模块实现预测性维护，减少非计划停机；二是搭建多语种远程运维体系，通过国内技术资源弥补本地人员能力短板，降低跨境服务成本；三是构建光储柴多能互补微电网，解决电网波动问题，保障设备与监测系统稳定运行；四是借助区域保税备件仓和本地维保力量，缓解跨境备件周期长、进口受限问题，缩短设备停机时长；五是将设备智能管控与环保、碳排放监测联动，实现生产运维与属地生态合规一体化管控。

2 海外露天采矿机电设备管理现存难点及配套解决对策

2.1 电网波动与停电带来的设备运行风险及对策

非洲、拉美海外矿区电网建设薄弱，电压波动、突发断电频发，大功率机电设备频繁异常启停，易造成电控、液压、电机结构损伤，缩短设备使用寿命，扰乱采掘生产节奏。矿区配套建设光储柴多能互补微电网，依托光伏储能平抑供电波动，柴油机组仅作极端工况备用。通过加装设备软启动装置、设置电网分级供电策略，在电网异常时优先保障核心设备与智能监测系统运行，配合厂区供电线路定期巡检，有效降低设备启停损耗与供电故障概率，同时减少化石能源消耗，契合海外低碳管控标准^[2]。

2.2 恶劣露天工况下设备全面监测的痛点及对策

海外露天矿区高粉尘、强振动、极端温差的恶劣工况，易造成监测硬件损坏、线路腐蚀，传统人工巡检存在盲区、风险高、无法全天候监测的问题，进口配件采购周期长，易出现监测缺位。项目采用耐候性强、低功耗的通用无线传感设备，搭配设备出厂预装标准化采集模块，简化现场改造作业。现场储备简易替换配件，实现硬件故障快速就地修复^[3]。同时结合矿区效益差异化配置监测设备，非洲矿区采用经济型传感设备满足基础预警，拉美、北美高收益矿区配套高精度监测装置，实现设备磨损精细化管控，平衡运维成本与监测质量。

2.3 跨境配件供应周期长引发的维修保障难题及对策

海外矿区备件采购流程复杂、清关周期漫长，部分国家贸易保护政策进一步限制境外精密配件进口，单一矿区囤货资金与仓储压力大，难以满足全品类运维需求。通过搭建区域性保税备件中转仓，实现区域中资矿山通用配件集中储备与共享调

配。设备选型优先选用全球通用标准化机型,保障本地兼容配件可快速替换。同时构建属地化运维模式,由本地团队承接基础检修作业,精密设备故障依托国内远程技术指导与保税仓原装配件完成维修,有效缩短设备停机时间,搭建低成本、高效率的海外供应链运维体系^[4]。

2.4 人员操作不规范造成的设备非正常损耗及对策

海外矿区本地劳工存在多语种沟通障碍,人员流动性大,不规范操作频发,极易加速设备磨损、增加运维损耗。项目在智能管控终端搭载多语种简易操作界面,适配本地人员操作习惯。建立分层属地运维培训机制,基层人员仅负责基础巡检与简易配件更换,核心调试与深度维修由中方技术人员联合外籍高级技工完成。依托车载智能系统自动识别超载、怠速、急启停等违规操作,联动属地绩效考核制度,在当地劳工法规框架内规范作业行为,减少人为设备损耗。

2.5 属地政策所引起的设备管控和生态修复问题及对策

海外各国对矿山生态环保、碳排放管控力度严苛,矿区边坡稳定、植被修复、碳排放量均纳入年审考核,不定期现场核查会直接影响项目合规运营。传统设备管理仅聚焦生产效率,未对接环保管控需求,难以适配海外合规要求。智慧矿山管控平台增设环保联动模块,自动采集设备能耗、燃油消耗、清洁能源发电量等数据,自动核算碳排放数据,生成标准化合规报表,满足属地环保上报需求。通过在边坡、排土场布设监测设备,实现采掘作业与边坡稳定监测联动,出现安全预警时及时限制作业范围^[5]。

3 适配海外露天矿机电设备创新管理核心技术及落地应用

3.1 分层智能监测与本地预警技术

分层智能监测与本地预警技术是海外矿山智慧化改造的基础核心,可适配海外电网不稳定、数据管控严格、区域效益差异大的实际工况。矿区偏远设备配套光伏独立供电单元,保障全天候稳定数据采集。为满足属地数据合规要求,设备原始数据全部本地留存,仅脱敏汇总数据上传云端。硬件部署实行区域差异化配置,非洲矿区采用经济型温度、振动传感器,满足基础故障预警需求;拉美、北美高收益矿区配套高精度监测设备,实现设备内部损耗精细化研判。监测数据统一接入本地轻量化平台,利用数据阈值与历史曲线自动预警设备隐患,简单故障由本地人员处置,复杂问题联动国内远程会诊,有效替代传统人工巡检模式,提升设备故障预判与处置效率。

3.2 本地化轻量化远程集中管控平台

受海外网络带宽不足、跨境传输延迟高、本地人员数字化

能力有限等条件制约,传统云端管控平台难以落地,轻量化本地部署平台更适配海外矿山场景。平台采用本地存储结合云端异步备份的架构,可在断网状态下独立保存数据,规避网络波动带来的数据丢失问题。系统删减冗余功能,保留设备监测、故障预警、远程调试、维保管理、能耗统计核心模块,降低操作门槛。平台实行分级权限管理,匹配属地分层用工模式,规范不同岗位操作权限,同时可实现偏远固定设备远程启停管控,减少高危岗位现场值守人数,契合当地劳工就业保护政策,满足海外矿区数字化运维基本需求。

3.3 分层矿用运输装备智能管控系统

受海外路况、属地安全政策制约,矿用运输装备智能化采用分层分步的落地模式,规避盲目投入带来的资源浪费。改造初期统一加装车载监测设备,实时监控车辆载重、油耗与驾驶行为,杜绝超载、急启停等不规范操作,减少车辆机械损耗。中期启用智能调度系统,结合生产产能、库存与路况动态规划运输路线,减少车辆空驶与排队损耗,降低燃油消耗与碳税成本。高阶自动驾驶技术仅在基建完善、政策宽松的北美大型矿区试点推广,非洲、中小型拉美矿山暂缓落地。所有车辆数据统一接入管控平台,实现采、运、破各工序协同联动,整体提升矿山运输作业效率。

3.4 多能互补智能配电与工艺设备无人值守升级

针对破碎、输送等核心工艺设备,海外矿山智能化升级兼顾生产稳定、低碳节能与属地用工合规。项目搭建光储互补智能配电体系,动态协调光伏、储能与柴油机组的供电配比,有效平抑用电负荷波动,降低燃油消耗与碳排放。通过加装监测模块,实现工艺设备运行状态实时监控,设备异常时可自动停机保护并推送预警信息。无人化改造遵循属地用工政策,仅精简高危、偏远岗位值守人员,保留基础本地作业岗位。设备故障实行分级处置机制,常规故障由本地人员远程配合完成维修,复杂故障联合属地维保团队、依托区域保税备件资源完成检修,实现设备稳定运行、低碳管控与属地合规的多重平衡。

4 海外矿山机电创新管理落地实施分层策略

4.1 分阶段试点推进实施节奏

一次性完成全套智慧化系统改造会产生高额前期资金投入,同时本地人员短期内难以适应全新数字化管控流程,海外矿山统一采用单点试点、分层推广实施节奏。优先选择矿车车队作为首个试点单元,车载监测、调度系统部署周期短、改造成效直观,改造完成后超载、燃油损耗、车辆故障频次明显下降,本地管理人员与劳工可直观感知数字化改造价值。车队试点稳定运行后,依次推进破碎、皮带固定设备传感布设、本地轻量化管控平台搭建、多能互补配电配套改造、边坡环保监测

联动模块上线。比如非洲矿区改造优先围绕油耗管控、自备供电稳定两大核心痛点开展,同步配套区域保税备件仓落地;拉美项目同步推进公网储能协同、环保碳排放统计模块;北美矿区同步落地数字孪生、全流程无人化高阶功能。分阶段试点模式可分步把控改造资金投入,逐步培养本地人员数字化操作习惯,降低整体落地风险。

4.2 贴合海外工况的务实技术选型标准

海外物资运输、网络通信、售后维保条件与国内存在显著差距,软硬件选型摒弃单纯追求技术先进的思路,建立四大务实选型标准。第一,电力适配标准:所有智能化硬件、本地平台支持宽电压运行,可适配柴油机组、光伏储能波动电压,系统具备离线独立运行能力,不会因外网断电全部瘫痪。第二,属地合规标准:软硬件支持原始数据本地长期存储,预留当地环保、矿业监管部门数据对接接口,数据脱敏传输功能完整,满足属地数据管控法规。第三,售后适配标准:优先选择设立海外区域维保中心、提供多语言远程技术支持的设备厂商,规避单一中文售后体系造成的故障处置断层,非洲法语区重点匹配法语技术服务渠道。第四,供应链适配标准:硬件构件选用全球通用标准化配件,本地市场可采购兼容替代件,缓解跨境备件长周期运输带来的停机损失。

4.3 适配海外属地规则的现场作业模式调整

海外劳工法规、作业习惯、多语言沟通现状要求同步调整

设备运维闭环流程,适配数字化管控体系运行。一是作业班次贴合当地劳工休息法规,缩短单次连续在岗时长,通过平台实时数据实现多班组分段闭环处置,当班设备异常、运输拥堵、能耗超标问题全部在当班排查处置完毕,不遗留至下一班次。二是搭建双语线上运维工单系统,本地技工可使用母语填报故障记录,后台自动完成翻译,中方技术人员同步读取故障信息开展远程指导。三是常态化联动本地第三方维保承包商,基础巡检、简易维修交由属地团队承接,国内远程专家聚焦精密核心设备故障诊断,形成中方远程技术支撑+本地属地运维协同的闭环管理模式,平衡技术能力与属地用工要求。

5 结语

海外露天矿机电设备智慧化改造不能照搬国内模式,需结合属地政策、跨境供应链、供电条件、本地用工、低碳环保等约束条件,构建适配海外工况的智能化管控体系。依托轻量化平台、分层智能监测、分段装备升级、光储联动配电技术,配合分步试点、务实选型、属地运维的实施方式,可推动设备运维由经验管控转向数据驱动的预测性运维,有效降低设备故障损耗与运营成本。不同区域矿山需差异化推进升级,非洲矿区主打低成本监测与自备供电,拉美矿区侧重储能协同与低碳管控,北美矿区可落地无人化、数字化高阶应用。后续可持续优化光储一体化管控与属地适配平台,兼顾生产效能、合规经营与属地发展需求,完善海外矿山机电智能化管理体系。

参考文献:

- [1] 李猛.基于智能化的金属矿山安全发展现状及展望[J].中国金属通报,2025,(9):14-16.
- [2] 张阳阳.智能化技术在矿山安全管理中的应用实践[J].中国金属通报,2025,(3):67-69.
- [3] 张金钟,张小瑞,朱欣月.数据共享平台在中色非洲矿业数字化矿山建设中的应用[J].黄金,2021,42(12):49-52.
- [4] Rojas L,PeñaÁ,Garcia J.AI-Driven Predictive Maintenance in Mining:A Systematic Literature Review on Fault Detection,Digital Twins,and Intelligent Asset Management[J].Applied Sciences,2025,15(6):3337-3337.
- [5] 张靖.构建矿业企业海外业务的合规管理体系[J].法制与社会,2018,(10):173-175.