

# 煤矿机电设备全生命周期管理与安全风险防控研究

薛海强

崇信县百贯沟煤业有限公司 甘肃平凉 744200

**摘要：**随着智能化开采技术的推进，设备管理的复杂性与安全风险防控要求日益提升。煤矿机电设备全生命周期管理贯穿设备各个应用流程，可为运营效率提升以及生产安全性带来切实保障。本研究围绕设备管理全过程，提出数字孪生建模、设备身份溯源、功能安全标准贯彻以及健康度预测驱动维护等策略，并在风险防控方面建立分级判定、参数监测、人员实训和预案演练等举措，以形成从管理到防控的一体化保障体系，提升煤矿机电设备综合安全管理水平。

**关键词：**煤矿机电设备；全生命周期管理；安全风险防控

## 引言

从煤矿机电设备来看，机电设备较为复杂，品种繁多，因此事故发生的原因也各不相同<sup>[1]</sup>。本文结合煤矿机电设备管理实际，从设备投入运行至报废淘汰的全过程出发，分析其在安全管理与风险防控方面的关键环节，旨在提升设备运行的可靠性与安全性，为煤矿实现高效、安全的智能化生产提供理论参考与实践路径。

## 一、煤矿机电设备全生命周期管理与安全风险防控价值

### （一）降低设备安全事故发生率

降低设备安全事故发生率是全生命周期管理与风险防控的核心价值，其本质在于通过“事前预防、事中监控、事后追溯”的闭环体系<sup>[2]</sup>，消解传统管理中“重处置轻预防”的隐患。从设备采购阶段的安全标准核验，到运行中的实时状态监测，再到退役前的风险评估，全流程管控能精准捕捉老化、劳损等潜在风险，避免故障累积引发事故。这种管理模式打破了“故障后维修”的被动局面，通过提前预警与精准干预，从源头切断事故传导链条。山西焦煤西山煤电西铭矿应用“煤矿机电设备全生命周期管理系统”，为设备配备专属“数字身份证”，实时捕捉运行参数并预警异常，通过全周期数据追溯实现故障精准定位，从根本上减少了设备突发故障导致的安全事故，该实践被其官网作为基层创新典型案例公开分享，印证了全周期管控对事故防控的实际价值。

### （二）优化设备运维成本结构

优化设备运维成本结构的价值体现在通过全生命周期精细化管理，实现资源配置的最优解，避免“盲目投

入、浪费损耗”的成本困境。全周期管理覆盖设备采购、使用、维护、退役全流程<sup>[3]</sup>，采购时匹配生产需求减少闲置浪费，运行中通过预防性维护延长寿命，退役后评估残值实现循环利用，形成“成本-效益”的动态平衡。这种模式改变了传统运维中“头痛医头”的粗放模式，通过数据驱动的精准管理，将成本投入聚焦于核心需求。齐鲁壹点报道显示，金桥煤矿推行综掘机“包机制”全生命周期管理，通过“定人定机定责”建立设备档案，记录运行、维护全流程数据，结合日历化检修与绩效考核，实现耗材成本下降与故障停机减少的双重效益，其公开的试运行成效充分体现了全周期管理对成本结构的优化价值。

### （三）支撑煤矿智能化开采转型

支撑煤矿智能化开采转型的价值核心在于，全生命周期管理构建的数字化基础，为智能开采提供“设备数据中枢”与“安全保障底座”。智能化开采依赖多设备协同与数据互联，全生命周期管理通过统一数据标准，整合设备从采购到退役的全维度信息，为智能管控平台提供精准数据源；同时，风险防控体系嵌入智能监测模块，实现设备状态与开采系统的协同预警，保障无人化、远程化作业安全，“管理数字化+防控智能化”的融合，是智能开采落地的关键支撑<sup>[4]</sup>。国家矿山安全监察局公开的国家能源集团典型经验显示，其通过构建煤矿智能化标准体系，将设备全生命周期管理与智能管控平台深度融合，开发设备健康管理系统与一体化调度系统，实现无人驾驶卡车、远程电铲等智能设备的协同运行，为智能化示范煤矿建设提供了核心支撑，印证了全周期管理对产业转型的基础价值。

## 二、煤矿机电设备全生命周期管理策略

### (一) 数字孪生全周期建模管理

煤矿企业应联合技术服务商与监管部门，构建覆盖设备全生命周期的数字孪生建模体系，实现物理设备与虚拟模型的实时映射。首先在采购阶段即采集设备CAD图纸、BOM清单等基础数据，搭建初始孪生模型<sup>[5]</sup>；安装调试阶段通过边缘计算节点接入振动、温度等32维运行参数，完成模型校准。运行过程中依托OPCUA协议实现数据动态更新，利用改进卡尔曼滤波算法优化映射精度，同步开展故障仿真与寿命预测。设备退役阶段则通过模型复盘运行数据，为后续采购与维护提供决策依据。同时需搭建云端协同平台，整合多设备孪生数据形成系统级模型，支撑全局运维调度。据金台资讯报道，某矿山机械企业开发的数字孪生系统应用于尾矿处理设备后，通过实时数据调节运行参数，将设备效率提升30%，中国煤炭工业协会2023年数据显示，此类系统在15处煤矿验证中平均降低事故率47%，设备综合效率提升31个百分点。这种全周期建模不仅实现单设备精准管控，更推动了整体运维的智能化升级。

### (二) 设备身份溯源精准管控

煤矿企业需联合设备制造商与监管部门，建立以电子标签为核心的设备身份溯源体系，实现全链条精准管控。采购环节应要求新设备植入唯一电子标签，绑定出厂编号、安全标志、生产批次等核心信息，通过扫码验证杜绝来源不明产品。安装阶段同步更新安装位置、调试数据等信息，运行过程中实时上传维护记录、检测报告等动态数据，形成“一物一码”全生命周期档案。监管部门需搭建数字化追溯平台，对设备流通轨迹进行穿透式监管，通过扫码即可核查全流程信息。企业内部应建立台账与标签联动机制，定期开展标签核验，确保数据与设备状态一致。国家矿山安全监察局湖南局在自救器管理中推行该模式，要求2025年6月起新采购设备必须植入电子标签，实现全生命周期追溯，新规实施后监察效率提升3成，有效封堵了假冒伪劣产品流入渠道。这种溯源管理既强化了企业主体责任，又为监管提供了技术化手段。

### (三) 功能安全标准贯穿管理

行业监管部门应牵头制定并推行设备全生命周期功能安全标准体系，煤矿企业需严格落实标准要求贯穿各管理环节。监管部门需结合设备类型细化标准，明确采购阶段的安全标志准入要求、运行阶段的检测检验频次、维护阶段的技术规范及报废阶段的判定标准，如将

主通风机、提升绞车等关键设备纳入定期检测范畴，要求每季度开展安全可靠性检查。企业应建立标准执行台账，采购时核查矿用产品安全标志，运行中按标准开展定期检测与维护保养，详细记录操作过程并留存凭证。同时需将标准纳入人员培训内容，确保操作与监管人员熟练掌握要求。湖南省应急管理厅印发的管理通知中明确“七化”要求，将设备检测检验定期化、维护保养台账化等纳入强制标准，对未落实定期检测的企业最高处以二十万元罚款，推动标准落地见效，有效降低了因设备失标导致的安全风险。

### (四) 健康度预测驱动维护

煤矿企业应联合科研机构搭建设备健康度预测体系，以数据驱动实现预防性维护。首先在关键设备部署边缘计算节点与多模态传感器，采集振动、温度等实时数据，通过傅里叶变换在边缘端完成故障特征提取，误报率控制在2.3%以下。随后依托云端平台构建健康度评估模型，融合运行数据与历史故障记录，采用AI算法生成设备健康评分与故障预警。建立维护优先级机制，根据预警等级制定处置方案，提前储备备件并安排维护，避免非计划停机。同时需建立模型迭代机制，结合新故障数据持续优化算法精度。某煤矿应用该模式后，通过数字孪生模型提前14天预警设备故障，设备非计划停机减少63%，维护成本从每年870万元降至370万元，MTBF从3200小时提升至5860小时。这种预测驱动模式打破了传统“事后维修”的局限，实现了维护资源的精准配置与设备寿命的最大化利用。

## 三、煤矿机电设备安全风险防控措施

### (一) 风险分级，精准判定

监管部门应牵头制定煤矿机电设备风险分级标准体系，结合《煤矿安全规程》与双重预防机制建设指南，明确“可能性×后果严重性”的风险矩阵判定法，将设备风险划分为四级并细化对应管控责任。煤矿企业需组建由机电科、安全科及技术人员构成的评估小组，采用“设备自查+专家会诊”模式开展常态化评估，重点核查提升绞车、主通风机等关键设备的老化程度、维护记录与作业环境影响，建立动态更新的风险分级台账。针对不同等级风险实施分层管控：重大风险由企业主要负责人牵头制定专项方案，每季度检查落实情况；较大风险由分管经理负责每月督查；一般风险交由机电科每周核查；低风险由班组长每日巡检。监管部门需将风险分级结果纳入日常监察重点，对未按标准开展评估的企业督促整改，既为监管提供了靶向依据，也帮助企业优化资源配

置，避免管控疏漏或过度投入，切实筑牢风险防控基础。

### （二）参数监测，智能预警

煤矿企业应联合技术团队搭建机电设备参数智能监测预警体系，严格落实国家矿山安监局关于重点煤矿加装智能监测终端的要求。在主通风机、瓦斯抽放泵站、主提升设备等关键部位，部署智能用电融合终端与边缘网关，实时采集电压、电流、振动、温度等核心运行参数，确保数据采集无死角。搭建集中监控平台，嵌入异常识别算法，实现参数超标时的声光报警与信息推送，同时开发数据对接功能，将监测数据实时上传至上级安全生产预警平台，支撑“互联网+监管”落地。企业需安排专人24小时值守监控平台，每日梳理参数波动规律，形成运行分析报告，针对反复出现的异常趋势开展专项排查。建立“现场处置+后台研判”的响应机制，现场巡检员接到预警后10分钟内抵达现场核查，技术团队同步后台分析故障成因，打破了人工巡检的局限性，实现风险隐患的早发现、早处置。

### （三）技能实训，规范操作

煤矿企业需以监管部门制定的操作标准为依据，构建全流程技能实训体系，参照山西省应急管理厅关于自救器培训的管理要求，细化培训与考核流程。搭建“理论教学+实物操作+案例复盘”的实训平台，将设备安全检查、规范运行、紧急处置等步骤拆解为标准化模块，每月开展至少一次实操培训，新设备投入使用前必须组织专项培训。利用班前会常态化讲解操作注意事项，重点强化提升设备启动前的安全确认、采掘机械运行中的参数监控、故障发生时的紧急停机等关键环节。建立完善的培训档案，记录参训人员、考核成绩等信息，不合格者需复训合格方可上岗，同时每班开展操作规范抽查，将结果与绩效挂钩。监管部门在日常检查中，随机抽查操作人员的实操能力，对培训落实不到位的企业责令整改，从根本上提升了操作人员的规范意识与实操能力，减少人为误操作引发的安全风险。

### （四）预案演练，快速处置

煤矿企业应联合监管、救援等多部门制定设备故障应急处置预案，结合生产场景细化流程，参照煤矿设备故障演练的实操经验，构建“快响应、强协同、全流程”的演练体系。针对设备卡阻、供电中断、制动失效

等典型场景，明确“一分钟响应、三分钟集结、十分钟处置”的操作要求，划分岗位工、抢修组、安全警戒组等分工，确保责任到人。每季度组织综合演练，模拟故障发生后的数据上报、现场警戒、备件调配、抢修作业等全流程操作，邀请监管部门现场指导。演练结束后即时召开复盘会，梳理处置环节的漏洞，优化预案流程与资源配置，同步更新应急物资清单与人员联络表。与当地救援队伍签订协议，确保突发状况下外部力量30分钟内抵达支援。建立预案动态修订机制，结合新设备投入与事故案例持续完善内容，让应急预案从“纸上”落到“实处”，显著提升风险处置效率。

### 结束语

煤矿机电设备的管理与安全防控是一项持续的系统工程，需要在设备运行全过程中不断强化技术与管理措施的协同。从实践来看，无论是设备全周期的动态管控，还是风险防控的精准施策，均已成为煤矿突破传统管理瓶颈的重要路径。未来，随着数字技术与煤矿生产的深度融合，需进一步强化数据互联与智能决策，完善多主体协同机制，推动实现“管理更精细、防控更精准、转型更高效”的目标，为煤矿行业安全发展与智能化升级提供持续动力。

### 参考文献

- [1]李朋朋,张明明,冀锋.煤矿机电设备全生命周期管理的研究与实践[J].内蒙古煤炭经济,2025,(16):118-120.
- [2]张瑞峰,王振华,温云峰,段自强,刘俊峰,段俊生,范涛,陈波.不连沟煤矿机电设备全生命周期管理应用实践与探索[J].智能矿山,2025,6(05):57-60.
- [3]张仰行.基于AHP-TOPSIS法的煤矿机电设备安全评价模型及应用[J].中国安全科学学报,2024,34(S1):179-184.
- [4]宁少锋,赵建伟,白云鹏.煤矿机电设备全生命周期管理的研究与探索[J].内蒙古煤炭经济,2021,(24):71-73.
- [5]黄天尘.煤矿机电设备全生命周期管理研究与应用[J].内蒙古煤炭经济,2021,(02):121-122.