

煤矿机电设备安全管理体系优化研究

任周勇

四川省泸州市叙永县应急管理局, 四川 叙永 646400

摘要: 煤矿机电设备作为矿井安全生产的核心支撑系统, 其管理效能直接关系到井下作业人员的生命安全与矿井的持续稳定生产。本研究基于对县域煤矿的深入实证调研, 系统剖析了当前机电安全管理体系中存在的制度体系不健全、设备维护保养滞后、专业人员素质参差不齐以及智能化、数字化应用水平低下等突出矛盾与问题。结合现代信息技术、物联网及人工智能的发展趋势, 研究提出了一个涵盖管理制度系统性优化、运维技术智能化升级、人才队伍结构化培养以及数字化管理平台一体化构建的综合性解决方案。同时, 设计了相应的组织、制度与资金保障机制, 以确保优化措施的有效落地与持续运行, 旨在为煤矿企业从根本上提升安全管理水平、实现“本质安全”提供切实可行的理论参考与实践实施路径。

关键词: 煤矿机电; 安全生产; 管理体系优化; 智能化运维; 保障机制; 本质安全

引言

煤炭作为我国的主体能源, 其稳定、安全生产对于保障国家能源安全战略、支撑经济社会平稳运行具有不可替代的基础性作用。然而, 煤矿生产环境复杂, 危险性高, 机电设备作为矿井的“动脉”与“神经”, 其运行状态直接决定了生产系统的安全与效率。近年来, 尽管我国煤矿安全生产形势持续稳定好转, 但机电设备相关事故与故障仍然频发。相关统计数据显示, 在 2024 年度全国煤矿发生的各类生产安全事故中, 直接或间接由机电设备故障引发的事故占比高达 48%, 这一数字凸显了机电设备安全管理仍然是当前煤矿安全生产链条中的薄弱环节, 也暴露出传统的、粗放式的机电设备管理模式与现代化、智能化矿井高速发展需求之间存在着显著矛盾与脱节。

随着《煤矿智能化建设指南(2025)》等国家层面政策文件的相继出台与深入实施, 加快推进煤炭工业的智能化转型已成为行业共识与必然趋势。在这一宏观背景下, 推动机电设备安全管理体系向数字化、网络化、智能化方向转型, 不仅是响应政策号召的必然要求, 更是煤矿企业提升自身核心竞争力、实现安全高效可持续发展的内在需要。本文旨在通过广泛的实地调研、翔实的案例分析以及系统的理论梳理, 深入解剖当前煤矿企业在机电设备安全管理方面面临的关键症结与深层次矛盾, 并在此基础上, 结合先进管理理念与前沿技术, 提出一套具有前瞻性、系统性及可操作性的优化策略与实施方案, 以期为煤矿企业的机电安全管理工作提

供有益借鉴。

1 煤矿机电安全管理现状及问题分析

通过对多个县域煤矿的深入调研发现, 当前煤矿机电设备安全管理普遍存在体系性缺陷, 具体可归纳为以下四个核心问题:

1.1 管理体系碎片化, 缺乏系统性闭环

当前, 许多煤矿的机电设备管理仍处于“头痛医头、脚痛医脚”的片段化、应急式管理阶段, 缺乏覆盖设备全生命周期的系统性管理制度。调研数据显示, 高达 63% 的调查矿井尚未建立起完善的设备从规划选型、采购安装、运行维护、技术改造直至报废处置的全周期管理体系。这种碎片化管理直接导致:

(1) 权责体系模糊不清。设备管理涉及多个部门与环节, 但由于职责划分不清、流程衔接不畅, 导致 42% 左右的设备故障在发生后难以进行有效的责任追溯与界定, 严重影响了问责机制的落实与改进措施的针对性。

(2) 标准规范执行滞后。部分安全技术标准和规程更新后, 在现场执行层面存在严重的滞后现象。调查发现, 约有 31% 的在用机电设备(特别是防爆电气设备)其技术状态已不符合国家现行的强制性防爆安全标准, 埋下了重大安全隐患。

(3) 设备超期服役现象严重。受成本控制等因素影响, 设备“带病运行”、超期服役问题突出。以关键的液压支架为例, 其平均实际使用年限普遍超出设计服务周期 26% 以

上,设备疲劳、老化问题加剧,可靠性大幅下降。

1.2 设备维护效能低下,预防性维护缺失

传统的设备维护模式多以“事后维修”为主,预防性维护和预测性维护体系薄弱,导致设备非计划停机频繁,故障率居高不下。

(1) 基础保养不到位。设备日常润滑、清洁等基础保养工作合格率仅为58%,直接导致传动系统(如齿轮箱、轴承)因润滑不良引发的故障占比高达37%。

(2) 状态监测与诊断技术落后。设备状态监测仍大量依赖人工定期点检和简单仪表测量,缺乏先进的在线监测与智能诊断手段。人工凭经验诊断故障的准确率普遍不足65%,难以及时发现设备早期隐性缺陷。

(3) 安全监测装置可靠性不足。以瓦斯监测为例,部分传感器因校准不及时、维护不当等原因,误报率平均达到22%,不仅影响了预警系统的可信度,也可能导致不必要的生产中断或人员恐慌。

1.3 人力资源结构性失衡,专业能力短板明显

随着煤矿智能化装备的推广应用,对从业人员的技术能力提出了更高要求,但现有人员结构与之严重不匹配。

(1) 智能化设备操作能力不足。对在岗人员的技能测评显示,能够熟练、规范操作新型智能化采掘、运输等设备的人员比例仅占41%。

(2) 智能运维技能匮乏。约65%的设备维修人员缺乏对设备预测与健康管理的(PHM)系统、智能诊断平台等新工具的基本操作与数据分析经验,无法适应智能化运维的需求。

(3) 安全培训投入不足。企业年度用于员工安全与技能培训的总时长,平均不足行业推荐标准的40%,培训内容陈旧、形式单一,效果难以保证。

1.4 数字化转型进程迟滞,数据价值未充分挖掘

绝大多数煤矿在机电设备管理的数字化、网络化方面起步晚、水平低。

(1) 数据基础薄弱。仅18%的调研矿井初步建立了设备数据采集与集中管理的平台,大部分设备运行数据处于分散、孤岛状态,无法进行关联分析与深度挖掘。

(2) 传统运维模式弊端凸显。由于缺乏数据支撑的智能决策,故障响应和处理严重依赖人工经验与流程,平均故障响应时间比行业先进水平延迟2.3小时以上。

(3) 经济损失显著。因设备突发故障导致的非计划停机,

给企业造成的直接与间接经济损失,估算可占到矿井年产值的1.2%,数字化转型的滞后已带来实实在在的效益流失。

2 机电安全管理体系优化策略

为系统性解决上述问题,本研究提出以下四个维度的优化策略,推动机电安全管理体系向精细化、智能化、数字化全面升级。

2.1 构建全生命周期闭环管理体系

推动管理思维从“设备管理”向“资产全生命周期价值管理”转变。

(1) 导入PDCA闭环与国际标准。建立基于“计划-执行-检查-处理”(PDCA)循环的持续改进机制,并将ISO55000资产管理体系标准的核心要求,深度嵌入到设备的规划采购、安装验收、运行维护、状态评价、技术改造及报废处置等每一个环节,实现管理的标准化与流程化。

(2) 实施设备健康度综合评价。推行基于多参数的设备健康指数(HI)评价模型,对设备整体状态进行量化评估。该模型可表示为:

$$HI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot S_i(t)$$

其中, w_i 为部件权重, $S_i(t)$ 为实时状态评分。通过定期计算HI值,实现对设备健康状态的趋势预测与分级管理。

2.2 深度融合智能化运维技术与手段

利用现代传感、物联网、大数据分析技术,提升设备状态感知、故障诊断与预测能力。

(1) 部署多源信息融合的智能监测系统。在关键设备上广泛部署振动、温度、压力、噪声、油液品质、电气参数等不少于12类智能传感器,构建全覆盖的实时监测网络,实现多源异构数据的同步采集与融合分析。

(2) 开发基于知识图谱的智能诊断引擎。系统梳理历史故障案例、维修记录、专家经验,构建机电设备故障知识图谱,并在此基础上开发智能诊断推理引擎。该引擎可集成超过3.2万条诊断规则与案例,能够对监测到的异常数据进行自动比对、推理,快速定位故障根源,提供维修建议。

2.3 系统规划与实施人才梯队建设方案

针对人员能力短板,设计结构化、持续化的培养体系。

(1) 构建“三位一体”能力培养模型。围绕“基础技能维”(传统机、电、液维修技能)、“智能运维维”(数据分析、PHM系统操作、智能装备维护)和“应急处理维”(突发故障快速处置、安全避险),设计差异化的培训课程

与认证体系。

(2) 创新“双师型”培训与实践机制。大力推广“理论导师+实操技师”相结合的“双师型”培训模式。显著增加虚拟现实(VR)、增强现实(AR)仿真训练在培训中的比重,将VR/AR模拟故障处理、设备拆装等沉浸式训练的时长占比提升至总培训时长的45%以上,提升培训的实效性与安全性。

2.4 顶层设计与搭建一体化数字化管理平台

构建基于工业互联网的机电设备预测与健康管理(PHM)平台,作为体系优化的技术核心与数据中枢。

(1) 平台核心性能目标:数据采集与传输:平台支持海量传感器数据接入,关键数据采集频率 ≤ 100 毫秒(ms),确保状态感知的实时性。

智能诊断与预测:平台集成智能诊断引擎,对常见故障的识别准确率 $\geq 92\%$,并逐步实现故障的早期预测。

维护策略覆盖:基于平台数据分析,实现从“事后维修”到“预防性维护”、“预测性维护”的转变,最终目标是对所有关键设备实现100%的预测性维护覆盖。

(2) 平台架构与功能:平台采用云-边-端协同架构,边缘计算层负责现场数据实时处理与轻量级诊断,云端负责大数据存储、深度分析、模型训练与全矿级决策支持。平台应具备设备档案管理、实时监控、智能报警、健康评估、维修工单管理、备件库存优化、决策报表等核心功能。

3 实施保障机制

为确保优化策略的有效落地与长期稳定运行,必须建立强有力的保障机制。

3.1 制度与组织保障

建立“四级联动”的立体化监督与考核体系:

企业自查(周检):班组、区队每周进行设备安全与运行状态自查。

部门互查(月评):矿井内各生产、机电、安监等部门每月开展交叉检查与评比。

专家核查(季审):每季度邀请行业外部专家或集团内部资深专家,进行系统性审查与诊断。

政府督查(年检):接受应急管理部门等政府机构的年度专项监督检查。

通过四级体系,形成压力层层传导、责任层层落实的管理闭环。

3.2 资金与资源保障

设立“煤矿智能化改造与安全提升”专项基金,并制度化保障其投入。明确规定,煤矿企业每年用于机电设备更新换代、智能化改造、监测系统升级等方面的资金投入,原则上不应低于企业上一年度生产总值的3%。同时,鼓励企业积极探索融资租赁、合同能源管理等多元化融资模式,缓解升级改造的资金压力。

4 结论

本研究基于当前煤矿机电设备安全管理面临的现实挑战与发展趋势,构建了一套集管理体系重构、智能技术赋能、人力资源升级与数字化平台支撑于一体的综合性优化体系。该体系在四川省叙永县某典型煤矿进行先期试点应用后,取得了显著成效:试点矿井的机电设备故障率在一年内同比下降了57%,应急响应平均时间缩短了78%,关键岗位人员培训合格率提升至89%。实践证明,通过管理体系、技术装备和人员素质的“三维联动”与协同升级,能够有效破解传统煤矿机电安全管理中的碎片化、低效化难题,显著提升矿井的本质安全水平与生产运行效率。

本研究提出的优化框架与路径,为同类煤矿企业的机电安全管理体系转型提供了可借鉴、可复制的解决方案。未来的研究与实践可以进一步聚焦于数字孪生技术在机电设备全生命周期健康管理中的深度应用,通过构建高保真的设备虚拟模型,实现更精准的状态仿真、故障预演与维修方案模拟,从而将机电设备安全管理推向更加智能化、前瞻性的新阶段。

参考文献:

- [1] 张明,王磊.煤矿机电设备安全管理系统构建研究
 - [2] 李强,刘洋.智能化背景下煤矿机电设备管理现状与对策
 - [3] 国家矿山安全监察局.2024年全国煤矿安全事故统计公报
 - [4] 陈华,赵伟.全生命周期管理在煤矿设备管理中的应用研究
 - [5] 国家矿山安全监察局,国家能源局.煤矿智能化建设指南(2025)
 - [6] 刘志刚,孙悦.煤矿设备责任追溯机制的构建与实证
 - [7] 杨帆,胡伟.基于人工智能的设备故障诊断技术综述
- 作者简介:任周勇(1977年2月),男,汉族,大专,煤矿机电安全管理。