

煤矿机电运输设备安全运行的技术措施

王帅

北京天玛智控科技股份有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17175

[摘要] 煤矿机电运输系统作为煤矿生产的生命线,其安全、稳定、高效运行直接关系到整个矿井的安全生产与经济效益。然而,受限于井下复杂恶劣的作业环境、设备老化以及人为操作等因素,机电运输事故时有发生,严重威胁矿工生命安全和矿井正常生产秩序。本文旨在系统性地探讨保障煤矿机电运输设备安全运行的关键技术措施。文章首先分析了当前煤矿机电运输系统面临的主要安全风险与挑战,随后从设备本质安全设计、智能化监测与预警、预防性维护与状态检修、供电安全保障、标准化作业流程以及人员素质提升等多个维度,深入阐述了具体可行的技术对策。研究表明,构建一个集“人防、物防、技防”于一体的综合安全技术体系,是实现煤矿机电运输本质安全的根本路径。未来,随着人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的深度融合,煤矿机电运输安全管理将迈向更高水平的智能化与自主化。

[关键词] 煤矿; 机电运输; 安全运行; 技术措施; 智能监测; 预防性维护

中图分类号: TD608 文献标识码: A

Technical Measures for Safe Operation of Coal Mine Electromechanical Transportation Equipment

Shuai Wang

Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd.

[Abstract] As the lifeline of coal mine production, the safe, stable, and efficient operation of coal mine electromechanical transportation systems is directly related to the safety and economic benefits of the entire mine. However, due to the complex and harsh underground working environment, aging equipment, and human operational factors, electromechanical transportation accidents occur frequently, posing serious threats to miners' lives and the normal production order of the mine. This paper aims to systematically explore key technical measures to ensure the safe operation of coal mine electromechanical transportation equipment. The article first analyzes the main safety risks and challenges currently faced by coal mine electromechanical transportation systems. It then elaborates on specific and feasible technical countermeasures from multiple dimensions, including intrinsic safety design of equipment, intelligent monitoring and early warning, preventive maintenance and condition-based repair, power supply safety assurance, standardized operational procedures, and personnel quality improvement. Research shows that building a comprehensive safety technology system integrating "human defense, physical defense, and technical defense" is the fundamental path to achieving intrinsic safety in coal mine electromechanical transportation. In the future, with the deep integration of new-generation information technologies such as artificial intelligence, big data, and the Internet of Things, coal mine electromechanical transportation safety management will advance toward a higher level of intelligence and autonomy.

[Key words] Coal Mine; Electromechanical Transportation; Safe Operation; Technical Measures; Intelligent Monitoring; Preventive Maintenance

引言

煤炭作为我国能源结构的基石,在可预见的未来仍将占据重要地位。在煤炭开采过程中,机电运输系统承担着原煤、物料、

人员及设备的输送任务,是连接采掘、通风、排水、提升等各生产环节的核心纽带。该系统的任何一处故障或事故,都可能引发连锁反应,导致生产中断、设备损毁,甚至造成重大人员伤亡和

财产损失。近年来,尽管国家对煤矿安全生产的监管力度不断加大,安全投入持续增加,但因机电运输引发的安全事故仍占煤矿总事故的相当比例,暴露出在设备管理、技术应用和人员操作等方面依然存在诸多薄弱环节。传统的“事后处理、被动应对”式安全管理已难以适应现代煤矿高产高效、本质安全的发展需求。因此,亟需转变思路,从源头入手,通过一系列主动、前瞻性的技术措施,全面提升机电运输设备的本质安全水平。本文将聚焦于技术层面,系统梳理并论证保障煤矿机电运输设备安全运行的关键技术路径,为煤矿企业构建科学、高效的安全管理体系提供理论参考与实践指导。

1 煤矿机电运输系统安全风险分析

要有效制定安全技术措施,首先必须精准识别和评估系统面临的风险。煤矿机电运输系统主要涵盖轨道运输(如电机车、绞车、矿车)、带式输送机、无轨胶轮车以及相关的供电、信号与控制系统。其安全风险主要源于以下几个方面:(1)设备本体缺陷与老化:长期在高湿、高粉尘、强腐蚀的井下环境中运行,设备易出现机械磨损、电气元件老化、绝缘性能下降等问题。若设备选型不当、制造质量不过关或超期服役,极易引发机械断裂、电气短路、失爆等故障。(2)运行环境恶劣:井下巷道空间受限、坡度变化大、地质条件复杂(如顶板淋水、底板松软),这些因素不仅增加了设备运行的难度,也对设备的防护等级和稳定性提出了极高要求。例如,带式输送机在长距离、大倾角运输中易发生跑偏、打滑、堆煤甚至火灾。(3)人为操作失误:运输作业涉及多个岗位协同,任何一个环节的操作失误都可能导致严重后果。如信号工误发信号、绞车司机操作不当、检修人员未执行停电闭锁制度等,都是引发事故的重要诱因^[1]。(4)监控与保护系统失效:虽然现代运输设备普遍配备了各类安全保护装置(如烟雾、温度、速度、堆煤、跑偏传感器等),但如果这些装置本身存在故障、灵敏度不足或被人为甩掉不用,就形同虚设,无法在关键时刻起到预警和保护作用。(5)维护保养不到位:“重使用、轻维护”的思想依然存在。预防性维护计划执行不力,设备带病运行,小隐患积累成大事故的情况屡见不鲜。

2 保障安全运行的核心技术措施

针对上述风险,必须采取一套系统化、多层次的技术措施,形成闭环管理,才能有效保障机电运输设备的安全运行。

2.1 强化设备本质安全设计与选型

本质安全是从源头上消除或减少危险的设计理念,是安全运行的第一道防线。(1)严格设备准入与选型标准:所有入井的机电运输设备必须取得煤矿矿用产品安全标志(MA/KA认证),符合《煤矿安全规程》及相关国家标准。在选型时,应充分考虑矿井的具体条件(如巷道断面、运输量、坡度、瓦斯等级等),选择技术先进、可靠性高、维护简便且具有完善安全保护功能的设备。例如,对于高瓦斯矿井,必须选用防爆性能可靠的电气设备。(2)优化设备结构设计:在设备设计阶段就融入安全冗余理念。例如,带式输送机驱动系统可采用双电机或多电机驱动,并配备液力耦合器或CST(可控启动传输装置),以实现平稳启动,避免

冲击载荷;关键承力部件(如钢丝绳、链条、滚筒)应采用高强度、耐磨损材料,并进行疲劳寿命计算。(3)完善安全保护装置:强制要求所有运输设备配备齐全、灵敏、可靠的安全保护系统。对于带式输送机,必须安装防滑、堆煤、跑偏、烟雾、超温自动洒水、沿线急停闭锁等保护装置,并确保其动作准确、响应迅速。对于斜巷提升运输,必须严格执行“一坡三挡”(即在斜巷上口、变坡点下方和下口设置阻车器、挡车栏),并配备声光语音报警信号系统。

2.2 构建智能化在线监测与预警系统

利用现代信息技术,实现对设备运行状态的实时感知、智能分析和超前预警,是提升安全管理水平的关键。(1)基于物联网(IoT)的状态感知:在运输设备的关键部位(如电机轴承、减速箱、滚筒、托辊、钢丝绳等)部署各类传感器(振动、温度、应力、声发射、视频等),构建覆盖全运输线路的物联网感知网络。这些传感器能够7×24小时不间断地采集设备的运行数据。(2)大数据驱动的故障诊断与预测:将海量的实时监测数据汇聚到数据中心,利用大数据分析技术和机器学习算法(如支持向量机SVM、深度神经网络DNN等),建立设备健康状态评估模型和故障预测模型。系统能够自动识别异常模式,精准定位潜在故障源,并预测故障发生的时间窗口,从而将“故障维修”转变为“预测性维护”^[2]。(3)可视化集中监控平台:建立统一的机电运输智能管控平台,将所有运输线路、设备的实时状态、报警信息、视频画面等集成在一个界面上。管理人员可以直观地掌握全局运行状况,一旦发生异常,系统能自动弹出报警信息,并联动相关控制设备(如自动停机、启动灭火装置),为应急处置赢得宝贵时间。

2.3 推行预防性维护与状态检修策略

改变传统的定期检修或事后维修模式,转向以设备实际状态为基础的精准维护。(1)建立设备全生命周期档案:为每台关键运输设备建立电子档案,详细记录其出厂信息、安装调试、历次检修、更换配件、故障历史及在线监测数据等,形成完整的“健康履历”。(2)制定科学的维护计划:结合设备制造商建议、历史运行数据和智能诊断系统的评估结果,动态调整维护周期和内容。对于状态良好的设备,可适当延长检修间隔,降低维护成本;对于状态恶化的设备,则提前安排检修,避免突发故障。(3)应用先进的检测与修复技术:在检修过程中,积极应用无损探伤(如超声波、磁粉探伤)技术检测关键部件的内部缺陷;采用激光对中仪精确校准传动轴系;使用红外热成像仪快速排查电气接点过热隐患。同时,推广使用高性能润滑油脂和耐磨修复材料,延长设备使用寿命。

2.4 夯实供电安全保障基础

稳定、可靠的电力供应是机电运输设备安全运行的前提。(1)优化供电系统设计:采用双回路或多回路供电方式,确保在一路电源故障时,备用电源能迅速投入,保障关键运输设备(如主运皮带、主提升系统)不间断运行。合理规划变电所布局,缩短供电半径,减少线路压降。(2)加强继电保护与自动化:配置灵敏、

可靠的选择性继电保护装置,能在发生短路、过载、漏电等故障时,快速、准确地切除故障点,防止事故扩大^[3]。推广应用智能配电系统,实现远程监控、自动抄表和故障录波分析。(3)严格防爆与接地管理:井下所有电气设备必须严格按照防爆要求进行安装和维护。定期检测电缆的绝缘电阻和接地系统的接地电阻,确保其符合安全标准,有效防止因漏电或静电积聚引发的瓦斯、煤尘爆炸事故。

2.5 规范标准化作业流程(SOP)

将安全操作要求固化为标准流程,是减少人为失误的有效手段。(1)编制详尽的作业规程:针对不同类型的运输作业(如斜巷提升、平巷电机车运输、皮带机启停等),编制图文并茂、步骤清晰、风险明确的标准化作业规程(SOP)。规程中必须包含详细的岗位职责、操作步骤、安全确认事项和应急处置措施。(2)强制执行安全确认制度:在关键操作节点(如开车前、检修前)推行“手指口述”安全确认法,要求操作人员通过眼看、手指、口述的方式,逐一确认设备状态、环境安全和联保互保措施到位,形成肌肉记忆,杜绝习惯性违章。(3)实施作业过程视频监控与追溯:在重要运输区域和操作岗位安装高清摄像头,对作业全过程进行录像^[4]。这不仅是对违章行为的震慑,也为事故调查分析提供了客观依据,有助于持续改进作业流程。

2.6 提升从业人员安全技术素质

再先进的技术最终也要靠人来执行和维护,人的因素至关重要。(1)强化专业技能培训:定期组织机电运输岗位人员进行理论和实操培训,内容涵盖设备原理、操作规程、安全保护装置使用、常见故障判断与处理、应急避险等。培训应注重实效,采用案例教学、模拟演练等方式,提高员工的实战能力。(2)培育安全文化与责任意识:通过安全宣教、警示教育、安全知识竞赛等活动,营造“人人讲安全、事事为安全”的浓厚氛围。明确各级人员的安全责任,将安全绩效与个人收入挂钩,激发员工主动参与安全管理的内生动力。(3)建立技能等级认证体系:对关键岗位(如绞车司机、皮带机司机、电钳工)实行持证上岗和技能等级评定,激励员工不断提升自身业务水平。

3 技术措施的集成与未来展望

3.1 技术集成

单一的技术措施难以形成强大的安全屏障,必须将上述各项措施有机集成,构建一个“感知-分析-决策-执行-反馈”的闭环智能安全生态系统。(1)横向集成:将运输系统的监测数据与矿井的其他子系统(如安全监控、人员定位、通风、瓦斯抽采)数据进行融合分析,实现多系统联动。例如,当瓦斯浓度超限时,

系统可自动切断相关区域的运输设备电源。(2)纵向贯通:从集团、矿级到区队、班组,建立分层级的智能管控平台,实现安全信息的逐级穿透和指令的高效下达。

3.2 未来展望

展望未来,随着5G通信、数字孪生(DigitalTwin)、人工智能(AI)和机器人技术的加速落地,煤矿机电运输安全管理将迎来革命性跃升。数字孪生技术将在虚拟空间中构建高保真度的运输系统动态镜像,支持故障模拟、调度优化、应急预案推演及沉浸式员工培训。AI自主决策引擎将赋予运输系统更强的环境感知与逻辑推理能力,使其能在复杂工况下自主调整运行参数、规避风险路径,甚至实现局部故障的自我隔离与恢复。智能巡检机器人则可替代人工深入高温、高湿、高危巷道,利用高清视觉、红外热成像与声学传感器对皮带托辊、驱动滚筒、电缆接头等关键部位进行7×24小时不间断精细化巡检,大幅提升隐患发现的及时性与准确性。这些前沿技术的深度融合,将最终推动煤矿机电运输迈向“无人化值守、智能化运行、本质化安全”的新阶段。

4 结语

煤矿机电运输设备的安全运行是一项复杂的系统工程,绝非依靠某一项单一技术就能一劳永逸。本文系统论述了从设备本质安全、智能监测预警、预防性维护、供电保障、标准化作业到人员素质提升等六个维度的核心技术措施。实践证明,只有坚持“科技兴安、预防为主”的方针,将先进的技术手段与严格的管理制度、高素质的人才队伍深度融合,构建起全方位、立体化的综合安全技术体系,才能从根本上筑牢煤矿机电运输的安全防线,为实现煤矿安全生产形势的持续稳定好转和高质量发展提供坚实保障。未来,随着智能化矿山建设的深入推进,煤矿机电运输安全管理必将迈向一个更加智能、高效、本质安全的新阶段。

参考文献

- [1]尉磊.煤矿机电运输设备安全运行的技术保障措施[J].新疆有色金属,2025,48(05):98-99.
- [2]游伟.煤矿机电运输设备安全运行技术要点分析[J].中国机械,2025,(25):143-146.
- [3]马勇辉.煤矿机电运输设备安全运行的技术措施[J].矿业装备,2021,(03):92-93.
- [4]陈晓飞.煤矿机电运输设备安全运行技术[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(20):124-125.