

煤矿井下机电设备安全风险管控与隐患治理研究

李大伟

汇永控股集团有限公司 北京 100093

【摘要】：煤矿井下机电设备运行环境复杂，其安全风险与隐患直接影响矿井安全生产。本研究聚焦于机电设备全生命周期，系统分析其面临的主要安全风险类型，涵盖电气故障、机械损伤、环境诱发及管理缺失等维度。在此基础上，提出涵盖源头设计、规范操作、智能监控、预防性维护、应急管理与文化建设的链条治理措施。通过构建风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制，旨在提升设备本质安全水平，为煤矿企业实现机电系统零事故目标提供理论支撑与实践路径。

【关键词】：煤矿井下；机电设备；安全风险；隐患排查；双重预防机制

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.003

引言

在我国能源结构里，煤炭处于主体地位，其安全生产和能源稳定供应、矿工生命安全紧密相关。眼下，煤矿开采朝着更深的区域延伸，地质条件变得越来越复杂，井下机电设备得在高湿度、高粉尘、强电磁干扰以及空间受限等恶劣的工作环境中持续运行，设备老化、维护不及时、操作不合理等问题相互交织，使得机电事故在煤矿事故中的占比一直很高。目前，行业正处于从被动应对机电事故向主动预防机电风险转变的关键时期，怎样对机电设备风险进行系统辨识、对隐患进行精准治理，成了提升煤矿本质安全水平、落实安全生产主体责任的核心问题。

1 煤矿井下机电设备安全风险隐患类型

1.1 电气系统绝缘失效与保护缺失，易引发电弧短路风险

煤矿井下机电设备的电气系统长期处于阴暗潮湿且空间密闭的特殊作业环境，各类电缆、接线盒以及电机绕组等核心绝缘部件极易出现老化破损、受潮进水的问题，并且井下频繁的巷道变形、设备挪移以及顶板掉矸现象，还会进一步加剧绝缘层的物理磨损与开裂，直接导致绝缘性能持续下滑。现场不少设备还存在漏电保护、短路保护以及过流保护装置安装不到位、整定不合格以及失效未及时更换的情况，保护回路无法在故障瞬间快速切断电源，一旦出现绝缘击穿问题，瞬间产生的高压电弧不仅会引燃井下积聚的瓦斯与煤尘，引发爆炸燃烧事故，还会灼伤现场作业人员，并且烧毁核心机电设备，造成大范围井下供电中断，打乱整个采掘作业节奏^[1]。

1.2 机械传动部件磨损与过载运行，诱发设备高温与机械伤害

煤矿井下各类输送机、绞车以及掘进机等机电设备的机械传动系统，常年承担高强度连续运转任务，齿轮、轴承、链条以及联轴器为核心传动部件，长期处于煤矸石冲刷、粉尘卡阻以及重载挤压的恶劣工况下，表面磨损、点蚀以及间隙过大的问题会逐步加重，并且井下维保人员往往受作业时间限制，难

以及时开展精准检修与部件更换。

1.3 冷却与润滑系统功能失效，造成设备热积聚与加速老化

井下机电设备的冷却系统与润滑系统是维持设备稳定运转的核心保障，冷却管路容易被井下的煤尘、淤泥以及水垢堵塞，散热风扇、冷却水泵等部件也会因受潮、磕碰出现运转卡顿甚至停机的情况，无法及时带走电机、减速机等核心部件运转产生的热量。与此同时，润滑管路渗漏、润滑油加注不及时以及油液污染变质的问题十分常见，润滑油脂无法在传动部件与摩擦表面形成完整有效的保护膜，部件之间干摩擦状态持续加剧，设备内部热量不断积聚无法散出，局部温度远超额定标准。

1.4 作业环境潮湿与粉尘积聚，降低设备防护等级与绝缘性能

煤矿井下采掘作业面、巷道以及机电硐室等区域，空气湿度常年处于极高水平，部分区域还存在淋水、积水现象，并且井下割煤、运输以及支护等环节会持续产生大量煤尘与岩尘，粉尘会层层附着在机电设备外壳、接线腔以及散热片表面，形成厚重的粉尘覆盖层^[2]。潮湿水汽会顺着设备密封缝隙渗入内部，侵蚀绝缘材料与电子元件，粉尘堆积则会堵塞设备散热通道，破坏设备原本的密封防护结构，双重因素叠加会直接让设备实际防护等级远低于出厂设计标准，绝缘电阻数值持续下降。

1.5 安全管理制度虚化与操作不规范，形成人为因素叠加风险

部分煤矿井下机电管理层面存在安全管理制度流于形式、执行不到位的问题，设备定期检修台账、运维操作规程以及岗位安全责任制没有真正落地到现场作业环节，管理人员日常巡查流于表面，没能及时发现设备隐性故障与违规操作行为。一线机电操作工、维修工往往存在凭经验作业的情况，不严格按照操作规程启停设备、接线检修以及维护保养，比如带电检修设备、随意更改设备保护参数、违规挪移设备线缆等陋习十分常见，并且部分人员缺乏系统的安全培训与实操技能考核，

对设备风险预判能力不足，应急处置流程不熟悉。

2 煤矿井下机电设备安全风险隐患治理措施

2.1 严把设备选型与入井准入，确保防爆性能与防护等级达标

煤矿井下作业环境特殊，巷道内存在瓦斯、煤尘等易燃易爆介质，并且空间狭小、湿度大、粉尘浓度高，机电设备的防爆性能与防护等级直接决定井下作业安全，因此设备管理部门必须从源头把控选型环节，杜绝不合格设备流入井下作业区域^[1]。负责设备选型的技术人员需结合井下不同采掘工作面、机电硐室以及运输巷道的实际工况，精准匹配设备防爆等级，针对高瓦斯区域、煤尘爆炸危险区域，优先选用符合国家煤矿安全标准的隔爆型、本安型机电设备，并且逐一核对设备防爆合格证、安全标志证、产品质量合格证等法定资质文件，杜绝无证设备、非标设备进入备选清单。设备采购环节，管理人员需严格筛选具备煤矿设备生产资质的正规厂家，并且签订质量保障协议，明确厂家需承担设备防爆性能不达标的全部责任，同时安排专业技术人员全程参与设备出厂检验，重点核查设备隔爆面间隙、密封性能、绝缘层厚度以及防护等级参数，确保各项指标完全贴合井下恶劣环境需求。

2.2 规范停送电与检修作业流程，推行上锁挂牌与作业票制度

井下机电设备停送电操作以及检修作业属于高风险环节，稍有操作失误就会引发触电、设备损坏以及瓦斯爆炸等安全事故，因此机电管理部门必须细化作业流程，并且全面推行上锁挂牌与作业票制度，压实每一位作业人员的操作责任。井下机电班组在开展设备检修、维护以及故障处理作业前，作业人员必须提前向调度室提交书面作业申请，并且填写标准化作业票，详细注明检修设备名称、所在位置、停送电范围、作业时长以及现场安全防护措施，经由机电队长、安全检查员双重审核签字确认后，方可启动停送电操作。执行停电操作时，操作人员需严格按照既定流程断开设备高压开关以及低压馈电开关，并且在开关手柄处悬挂专用的“禁止合闸，有人作业”警示牌，同时使用专用锁具将开关锁定在断开位置，锁具钥匙由现场作业负责人专人保管，严禁无关人员触碰。送电操作必须遵循“谁停电、谁送电、谁解锁”的原则，作业完成后，现场负责人全面检查设备状态以及作业区域安全情况，确认无异常后，方可摘除警示牌、打开锁具，按照流程逐级送电，并且做好送电后的试运行检测。

2.3 部署在线监测与智能诊断系统，实现异常状态超前预警

传统井下机电设备运维依赖人工巡检，不仅效率低下，并且难以实时捕捉设备隐性故障，容易引发突发设备事故，因此煤矿企业需加大智能化投入，针对各类井下机电设备部署专项在线监测与智能诊断系统，实现设备运行状态的全天候监控以及异常问题超前预警。机电技术部门需结合井下主运输皮带、

刮板输送机、通风机、排水泵、高低压供电设备等核心机电设备的运行特点，针对性安装温度传感器、振动传感器、电流电压监测模块、瓦斯浓度联动监测装置以及绝缘监测仪等硬件设备，并且将各类监测终端接入井下机电设备智能管控平台，实现数据实时传输与集中分析^[4]。监测系统可24小时不间断采集设备运行参数，包括设备绕组温度、轴承振动幅度、负荷电流、供电电压以及设备周边瓦斯、粉尘浓度等数据，并且通过内置智能算法对参数进行深度分析，对比正常运行阈值，一旦发现参数超标、数据异常等情况，系统会立即通过井下声光报警器、调度室大屏、作业人员手持终端同步发出预警信号，精准标注故障设备位置、异常参数类型以及风险等级。

2.4 实施预防性维护与全生命周期管理，延长设备可靠运行周期

井下机电设备长期处于潮湿、粉尘、振动的恶劣环境中，零部件磨损、老化速度较快，单纯依靠故障后抢修无法保障设备长期稳定运行，因此机电运维团队需全面实施预防性维护模式，并且建立设备全生命周期管理体系，细化每一台设备的运维管控环节。运维人员需根据不同设备的使用说明书、运行时长以及井下工况条件，制定差异化的预防性维护计划，明确日常巡检、定期保养、专项检修的时间节点、维护内容以及责任人员，日常巡检重点排查设备接线端子紧固情况、密封件完好程度、润滑油液位、设备散热情况以及接地装置可靠性，并且做好巡检记录，发现细微问题立即处理，杜绝隐患积压。定期维护环节，按照设备运行周期，对设备进行全面拆解保养，更换磨损严重的轴承、齿轮、密封垫等易损零部件，补充更换润滑油以及绝缘油脂，检测设备绝缘性能以及防爆部件完好性，并且对设备进行调试校准，确保设备各项性能恢复至标准状态。同时，建立设备全生命周期管理台账，从设备采购入库、入井安装、运行维护、故障维修到报废淘汰，全程记录设备各项信息，实现设备全流程可追溯，针对接近使用年限、性能严重下降的老旧设备，及时提交更换申请，严禁超期服役、带病运行。

2.5 完善应急电源与快速处置机制，提升事故初期控制能力

井下一旦发生突然停电、设备故障跳闸、供电线路损坏等突发情况，会导致通风、排水、运输等核心机电设备停运，极易引发瓦斯积聚、积水淹井、人员被困等次生事故，因此煤矿企业必须完善应急电源配置，并且建立机电设备事故快速处置机制，全面提升事故初期控制能力^[5]。机电管理部门需针对井下主通风机、主排水泵、局部通风机、监控系统等关键负荷，配置专用应急电源，包括矿用隔爆型柴油发电机组、UPS不间断电源以及蓄电池应急供电装置，并且合理布置应急电源安装位置，确保安装在通风良好、无积水、无瓦斯积聚的机电硐室内，同时定期对各类应急电源进行充电、试机、保养检测，保

证应急电源随时处于可用状态,突发停电时能够在规定时间内自动切换供电,保障核心设备不间断运行。同时,制定专项机电设备事故应急处置预案,针对设备漏电、短路、着火、突发停机等不同类型事故,明确应急处置流程、现场救援分工以及应急操作要点,并且定期组织机电班组开展实战化应急演练,让每一位作业人员熟练掌握应急电源切换、故障设备隔离、现场通风排水、人员疏散等应急操作技能。事故发生后,现场作业人员第一时间向调度室汇报事故情况,包括事故位置、设备类型、故障情况以及现场安全状态,应急处置小组立即赶赴现场,按照预案快速启动应急电源,隔离故障设备,切断事故区域供电电源,防止事故扩大,并且开展现场隐患排查与初期处置工作,避免引发更大范围的停电以及安全事故。

2.6 强化安全培训与岗位责任落实,构建全员参与防控体系

井下机电设备安全防控离不开人员的规范操作与责任落实,部分机电事故的发生源于作业人员安全意识薄弱、操作技能不足以及岗位责任未压实,因此煤矿企业必须强化全员安全培训,并且细化岗位责任,构建全员参与、全程管控的机电设备安全防控体系。人力资源部门与机电管理部门联合制定针对性的安全培训计划,针对井下机电操作工、检修工、安全员等

不同岗位人员,开展专项培训内容,培训内容涵盖井下机电设备防爆标准、操作规程、隐患排查技巧、应急处置方法以及煤矿安全法律法规等,并且结合井下实际事故案例开展警示教育,用真实案例让作业人员深刻认识违章操作的危害,提升安全防范意识。培训方式采用理论讲解与现场实操相结合的模式,定期组织实操考核,考核合格后方可上岗作业,针对新入职人员、转岗人员,开展一对一师徒帮带培训,确保其熟练掌握岗位操作技能以及安全注意事项,杜绝无证上岗、盲目操作。

3 结语

煤矿井下机电设备的安全风险管控和隐患治理属于一项系统工程。在实施过程中,要秉持源头防范、过程控制以及精准治理的原则,把双重预防机制深入融入设备规划、运行和维护的整个流程。借助技术赋能的方式来提升监测预警能力,依靠制度规范的手段压实岗位责任,通过文化培育的途径筑牢思想防线,如此才能够有效切断风险向隐患、隐患向事故演变的链条。在未来的工作中,需要持续推动智能化技术与安全管理的深度融合,进而构建起具有动态感知、协同联动和持续优化特点的机电安全保障新格局。

参考文献:

- [1] 牛宝明.煤矿井下机电设备安全管理研究[J].能源与节能,2022,(05):192-194.
- [2] 陈明辉.煤矿井下机电安全供电技术管理研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(20):102-104.
- [3] 冯丽.煤矿井下机电设备安全管理与维护的应用实践[J].能源与节能,2014,(08):12-13.
- [4] 袁存发.浅议机电设备安全管理与维护在煤矿井下生产中的运用[J].科学之友,2012,(13):47-48.
- [5] 吴东亚,蒋寒君.煤矿井下防爆电气设备的检查维护及安全性能评价[J].机电信息,2011,(21):121+123.