

煤矿井下防爆电气设备安全管理与维护技术

孙 广

中煤集团华昱能源有限公司 山西 朔州 036000

摘 要：煤矿井下防爆电气设备是保障矿井作业安全的核心装备，需适应高湿度、高粉尘及瓦斯气体环境。本文从设备分类、环境适应性验证、全生命周期管理等方面展开，重点阐述安全管理体系构建、选型安装规范、日常巡检与隐患排查技术，以及维护质量管控策略，通过数字化手段实现状态追溯与性能优化，构建“人-机-环”协同的安全管理体系，为井下作业安全提供可靠保障。

关键词：防爆电气设备；安全管理；维护技术

引言：煤矿井下作业环境复杂，高瓦斯、高粉尘及潮湿环境对电气设备防爆性能要求严苛。防爆电气设备作为矿井安全的关键防线，其设计、选型、安装及维护需严格匹配作业环境特性。当前，随着矿井智能化发展，对防爆电气设备的安全管理与维护技术提出了更高要求，需通过科学的管理策略与技术手段，确保设备在极端条件下稳定运行，降低事故风险。

1 煤矿井下防爆电气设备基础认知

煤矿井下防爆电气设备是保障矿井作业安全的核心装备，其设计需适应高湿度、高粉尘及瓦斯气体等复杂环境。设备外壳需具备抗冲击、耐腐蚀特性，内部电路则通过特殊封装技术防止电火花引发爆炸。(1) 设备分类明确：根据防爆原理可分为隔爆型、增安型、本质安全型等类别；不同类型设备适用于井下不同区域，需严格匹配作业环境需求，避免混用导致安全隐患；电气设备运行过程中需持续监测关键参数。温度传感器可实时反馈设备表面温度，避免因过热引发周围可燃气体爆炸；电流监测则能预警过载、短路等异常状态，提前干预故障发展。(2) 环境适应性验证：设备投入使用前需通过模拟井下环境的试验验证，包括高低温循环、振动冲击、粉尘浸入等测试，确保在极端条件下仍能保持防爆性能稳定；日常维护需注重细节操作。接线端子紧固、密封件更换、接地电阻检测等基础工作需定期执行，同时需记录设备运行日志，为后续故障分析提供数据支持。(3) 故障模式识别：通过长期运行数据积累，可总结设备常见故障特征，例如隔爆面锈蚀会导致密封失效，电缆绝缘老化可能引发漏电，这些规律性现象可指导维护人员快速定位问题根源，提升检修效率^[1]。设备全生命周期管理需贯穿设计、选型、使用、报废各阶段，通过数字化手段实现状态追溯与性能优化，最终构建安全可靠的井下电气系统。

2 煤矿井下防爆电气设备安全管理

2.1 防爆电气设备管理体系构建

防爆电气设备管理体系构建需立足实际作业环境特点，明确设备选型、安装、使用、维护全流程管理标准。通过细化岗位责任清单，将设备巡检、故障排查等任务落实到具体人员，形成闭环管理机制。(1) 设备选型环节：依据井下瓦斯等级、环境湿度等参数，优先选择符合国标要求的防爆型设备，确保电气参数与作业环境匹配，避免因设备性能不足引发安全隐患。(2) 安装调试环节：严格遵循设备安装规范，确保接线牢固、密封性能达标，并开展空载试运行测试，验证设备在模拟环境下的稳定性，及时调整参数偏差。日常运行中需建立动态监测机制，通过红外测温、振动分析等技术手段，实时掌握设备运行状态。定期开展专项检查，重点排查接线盒、密封圈等易损部位，及时更换老化部件，防止因部件失效导致防爆性能下降。(3) 维护保养环节：制定差异化维护策略，对高负荷设备增加巡检频次，对低负荷设备采用状态监测与定期维护相结合的方式，延长设备使用寿命的同时保障安全性能。管理过程中需注重人员技能提升，通过实操培训、案例分析等方式强化作业人员对防爆原理、应急处置的掌握，确保操作规范性与应急响应能力同步提升，最终形成“人-机-环”协同的安全管理体系。

2.2 防爆电气设备选型与安装管理

选型需结合井下作业环境特性，重点评估设备防爆等级与井下气体成分、粉尘浓度的匹配度。设备外壳防护等级、电气间隙等参数需经过严格验证，确保在复杂环境中稳定运行。选型过程应避免过度依赖单一指标，需综合考量设备可靠性、维护成本及使用寿命。(1) 环境参数适配：根据井下瓦斯涌出量、温度变化范围等动态数据，定期采集瓦斯浓度、湿度等实时参数，结合设

备防爆标准精准匹配,选择具备相应防爆性能的设备型号,避免因环境波动导致设备失效。(2)安装流程规范:设备安装前需检查基础平整度、接地电阻值等参数,对基础进行找平处理且接地电阻符合井下安全标准,确保安装位置远离热源、腐蚀性物质,防止因安装偏差引发局部过热或电弧风险。(3)密封性能强化:接线盒、电缆引入装置等关键部位需采用专用密封胶或压紧装置,选用耐磨损抗腐蚀密封件并均匀涂抹胶层,确保防爆面无损伤、无锈蚀,避免外部气体侵入设备内部引发爆炸。设备安装后需进行空载试运行,监测电流、温度等参数是否符合设计要求^[2]。通过红外热成像、超声波检测等技术手段,可及时发现潜在故障点,提前采取修复措施,保障设备长期安全运行。

2.3 防爆电气设备日常巡检管理

日常巡检需围绕设备运行状态监测与潜在风险识别展开,通过系统化检查保障设备持续符合防爆要求。巡检路径应覆盖设备关键部位,如接线盒、密封件、接地装置等,确保无损伤、无锈蚀、无松动现象。(1)巡检周期动态调整:根据设备使用频率及环境变化,结合井下作业班次合理规划巡检时间,灵活设定巡检间隔,高负荷区域设备需增加巡检频次,及时发现异常发热、振动等问题。(2)检测手段多元化:运用红外热成像仪监测设备表面温度分布,定期校准检测仪器保障数据精准,结合超声波检测仪捕捉局部放电信号,通过多维度数据交叉验证,提升故障识别准确性。(3)问题闭环管理:发现异常时需立即标记并记录,建立异常台账标注故障详情,明确责任人及修复时限,修复后需进行复检确认,确保问题彻底解决,避免隐患累积。巡检记录应详细记录设备状态参数、异常现象及处理措施,形成完整的历史数据链。通过数据分析可预判设备劣化趋势,提前制定维护计划,实现从被动应对向主动预防的转变,有效降低设备故障风险,保障井下作业安全。

2.4 防爆电气设备隐患排查与管控

隐患排查是预防设备故障的关键环节,需通过系统性方法识别潜在风险,确保设备始终处于安全运行状态。排查范围应覆盖设备本体、连接部件及附属装置,重点检查绝缘性能、密封状态及接地可靠性。(1)隐患识别技术:运用红外热成像技术监测设备表面温度异常,结合振动分析捕捉轴承磨损、机械松动等早期故障信号,通过多参数融合提升隐患定位精度。(2)风险分级标准:根据隐患可能导致的后果严重程度及发生概率,划分高、中、低三级风险,针对不同等级制定差异化管控策略,优先处理高风险隐患。(3)整改闭环流程:发现隐患后需立即标

记并记录,明确整改责任人及完成时限,整改完成后进行复检确认,形成“排查-整改-验收”的闭环管理链条。隐患管控需贯穿设备全生命周期,通过定期复检、状态监测等手段持续跟踪设备状态变化;建立隐患数据库,分析故障发生规律,可预判设备劣化趋势,提前采取预防性维护措施^[3]。通过隐患排查与管控的有机结合,能够有效降低设备故障率,提升井下作业安全性,为安全生产提供坚实保障。

3 煤矿井下防爆电气设备维护技术

3.1 防爆电气设备日常维护技术

日常维护需聚焦设备性能保持与潜在故障预防,通过系统化操作延长设备使用寿命。维护作业应覆盖设备本体、连接部件及附属装置,重点关注绝缘性能、密封状态及机械磨损情况。(1)清洁与润滑:定期清除设备表面灰尘、油污,选用专用清洁工具避免划伤设备表面,保持散热通道畅通;对轴承、齿轮等运动部件进行润滑,减少摩擦损耗,防止因润滑不足导致的过热或卡滞。(2)紧固与调整:检查接线端子、螺栓等紧固件,采用力矩扳手确保紧固力矩达标,确保无松动、无锈蚀;对设备间隙、压力等参数进行校准,维持最佳运行状态。(3)状态监测:依托红外热成像、振动分析等技术手段,持续跟踪设备运行参数变化趋势,定期校准监测仪器保障数据精准可靠,通过多维度参数比对研判设备劣化态势,为预防性维护计划制定提供数据支撑。维护记录需详细记录操作时间、维护内容及设备状态参数,形成完整的历史数据链。通过数据分析可预判设备劣化趋势,提前制定维护计划,实现从被动维修向主动预防的转变。日常维护的精细化实施,能够有效降低设备故障率,提升井下作业安全性,为安全生产提供可靠保障。

3.2 防爆电气设备故障诊断技术

故障诊断技术是保障设备可靠运行的核心手段,需通过精准识别设备异常状态实现快速响应。诊断过程应聚焦设备运行参数的实时监测与异常特征提取,结合多维度数据综合分析,提升故障定位准确性。(1)多参数融合分析:整合温度、振动、电流等多类传感器数据,实时采集数据并进行降噪处理,剔除无效干扰信息,通过模式识别算法挖掘异常特征关联性,例如温度异常升高可能预示接触不良,振动超标可能指向轴承磨损。(2)智能诊断算法应用:采用机器学习模型对设备运行数据进行训练,结合井下设备运行大数据优化模型参数,提升预测精度,构建故障预测模型,实现从被动响应向主动预防的转变,降低非计划停机风险。(3)故障定位精细化:结合红外热成像定位发热点,利用超声波检测捕捉

局部放电信号,搭配专用定位仪器校准数据,减少定位误差,通过空间定位技术精确定故障位置,为后续维修提供明确指引。诊断结果需形成标准化报告,详细记录故障现象、发生时间及初步判断原因。通过持续积累诊断数据,可优化故障预测模型,提升诊断精度^[4]。故障诊断技术的科学应用,能够有效缩短故障处理时间,降低设备故障对生产的影响,为井下作业安全提供坚实技术支持。

3.3 防爆电气设备关键部件维护

关键部件维护是确保防爆电气设备安全运行的核心环节,需针对设备核心组件实施专项维护策略。维护重点应聚焦接线盒、密封件、防爆面等易损部件,通过精细化操作延长部件使用寿命,降低设备故障风险。(1) 接线盒密封强化:定期检查接线盒密封胶圈老化情况,每月检查一次并做好记录,及时更换破损或硬化部件,确保密封性能符合防爆要求,防止外部气体侵入引发安全隐患。(2) 防爆面清洁与防护:采用专用工具清理防爆面锈蚀、污垢,避免使用尖锐工具造成划伤,涂抹防锈油脂形成保护层,避免因表面损伤导致防爆性能下降。(3) 电缆引入装置检测:重点检查电缆压紧装置是否松动、橡胶垫圈是否老化,定期检查电缆绝缘层状态,确保电缆固定牢固且无应力集中现象,防止因电缆拉扯引发接触不良或短路问题。部件维护需结合设备运行状态制定差异化方案,通过定期检测、状态监测等手段动态调整维护周期。建立部件健康档案,记录维护时间、操作内容及检测数据,为后续维护提供参考依据。关键部件的精细化维护,能够有效提升设备整体可靠性,为井下作业安全提供坚实保障。

3.4 防爆电气设备维护质量管控

维护质量管控是保障防爆电气设备可靠运行的关键防线,需通过系统性措施实现维护过程标准化与结果可追溯。管控重点应涵盖维护操作规范、质量验收标准及过程监督机制,确保每项维护作业符合技术要求。(1) 操作标

准化:制定详细的维护作业指导书,结合井下实际作业场景修订完善,明确操作步骤、工具使用规范及安全注意事项,避免因操作差异导致维护质量波动。(2) 过程监督机制:设立专职质量监督员,对维护作业进行全程跟踪,全程记录操作过程并留存佐证,重点检查密封处理、接线紧固等关键环节,确保操作符合规范要求。(3) 质量验收标准:建立明确的验收指标,如绝缘电阻值、接地电阻值等,明确各指标合格范围,通过仪器检测与目视检查相结合的方式,确保维护后设备性能达标。质量管控需贯穿维护全流程,通过维护前准备、过程监督、结果验收三个环节形成闭环管理。建立维护质量档案,记录操作人员、验收结果及改进建议,为后续维护提供参考^[5]。通过科学的质量管控,能够有效提升维护作业的规范性,降低设备故障风险,为井下作业安全提供可靠保障。

结束语:未来,煤矿井下防爆电气设备的安全管理与维护将向智能化、数字化方向深度发展。通过引入物联网传感器、大数据分析及人工智能算法,实现设备状态的实时监测与故障预测,推动从被动维修向主动预防的转变。同时,结合5G通信技术构建远程监控平台,提升应急响应速度与决策效率,为矿井安全生产提供更坚实的技术支撑,助力煤炭行业高质量发展。

参考文献:

- [1]暴军.煤矿井下防爆电气设备的检查维护及安全性能评价[J].矿业装备,2025(9):72-74.
- [2]李楠,刘猛,温胜杰.基于层次分析的煤矿井下防爆电气设备管理研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(2):65-67.
- [3]施焯.防爆电气技术在煤矿井下应用的研究与实践[J].防爆电机,2025,60(3):96-99.
- [4]闫恪想,张志峰,靳先飞.煤矿井下供电系统防爆电气性能测试研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):22-24.
- [5]李冰晶,张连军.煤矿井下自动隔爆装置安全技术现状与发展对策研究[J].煤矿机械,2025,46(8):11-15.