

煤矿井下电气设备故障处置分析

陈敬弘

中铝宁夏能源王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756000

摘要: 煤矿井下电气设备涵盖供电系统、动力设备、监控通信设备等,需满足防爆、防潮、抗振动等特殊要求。常见故障包括短路、过载、漏电及防爆失效,成因涉及环境、设备老化、操作违规及管理漏洞。故障处置应遵循安全优先、快速隔离原则,通过感官诊断、仪表检测及智能技术定位故障,并采取规范拆装、瓦斯环境安全作业及设备选型替换等措施,确保及时恢复设备运行,保障矿井安全生产。

关键词: 煤矿井下; 电气设备; 故障处置

引言: 煤矿生产环境复杂恶劣,电气设备作为保障井下作业高效、安全运行的核心要素,其稳定运行至关重要。一旦电气设备出现故障,不仅会导致生产停滞,影响经济效益,还可能引发瓦斯爆炸、火灾等重大安全事故,严重威胁井下作业人员的生命安全。深入剖析煤矿井下电气设备的分类、特殊要求及应用场景,全面了解常见故障类型、成因,并探索科学有效的故障诊断技术与处置策略,对提升煤矿安全生产水平具有重大现实意义。

1 煤矿井下电气设备概述

1.1 井下电气设备分类与功能

(1) 供电系统设备: 是井下电力供应的核心保障。变压器实现高低电压转换,适配不同设备用电需求;开关柜负责电路通断控制与过载、短路保护,保障供电稳定;移动变电站可随采煤工作面推进灵活移动,减少输电距离与能耗,为近距离设备提供高效供电。(2) 动力设备: 支撑井下生产作业运转。电机为输送机、掘进机等设备提供动力源,其功率与转速需匹配作业强度;输送机分为刮板输送机、胶带输送机,分别承担采煤工作面煤炭转运与巷道长距离物料输送;掘进机用于巷道开挖,结合电机与液压系统实现高效破岩、出渣。(3) 监控与通信设备: 守护井下安全与调度效率。传感器实时监测瓦斯浓度、温度、湿度等关键环境参数,超标时自动报警;人员定位系统通过无线信号追踪井下人员位置,便于紧急情况下精准搜救与作业调度。(4) 照明与信号设备: 保障井下作业视野与信息传递。防爆灯具采用隔爆或本安设计,为巷道、工作面提供充足照明,避免光线不足引发安全事故;应急广播可实时传递调度指令,在突发情况时引导人员疏散,提升应急响应效率。

1.2 井下电气设备特殊要求

(1) 防爆性能标准: 必须符合国家煤矿安全标准,

ExdI型隔爆设备通过坚固外壳阻断内部火焰外泄,适用于瓦斯浓度较高区域;ExibI型本安设备限制电路能量,避免产生引燃瓦斯的电火花,多用于监控、通信等低功率设备。(2) 防潮、防尘、耐腐蚀设计: 井下湿度高、粉尘多且存在硫化氢等腐蚀性气体,设备需采用密封式外壳、防水接线端子,关键部件涂抹防腐涂层,防止潮气、粉尘侵入与部件腐蚀,延长设备寿命。(3) 抗振动与抗冲击能力: 井下采煤机、掘进机运转及爆破作业会产生振动与冲击,设备需优化结构设计,如采用减震支架、加强外壳强度,确保在复杂工况下稳定运行,避免部件松动或损坏^[1]。

1.3 典型设备应用场景

(1) 采煤工作面设备配置: 以“高产高效”为核心,配备大功率采煤机、刮板输送机,搭配移动变电站就近供电;安装瓦斯、温度传感器实时监测环境,防爆灯具沿工作面均匀布置,保障作业安全与效率。(2) 掘进巷道电气设备布局: 掘进机作为核心设备,配套胶带输送机转运渣土;照明设备每隔10-15米安装一盏,确保巷道全程明亮;人员定位基站与应急广播沿巷道间隔布置,保障通信与人员安全。(3) 中央变电所与区域配电点设计: 中央变电所位于井下非采掘区域,安装主变压器、高压开关柜,采用防爆墙体与通风系统;区域配电点靠近负载中心,配置低压开关柜与配电箱,实现电力分级配送,降低输电损耗。

2 煤矿井下电气设备常见故障类型及成因

2.1 按故障性质分类

(1) 短路故障: 多因电缆在井下受机械挤压、磨损导致绝缘层破损,或长期使用后绝缘老化失效,使相线与相线、相线与地线直接连通。短路时电流骤增,易引发设备烧毁、电缆起火,甚至触发防爆设备失效风险。

(2) 过载故障: 常源于设备选型不合理,如选用的电气

设备额定功率小于实际负载需求；或生产过程中负载突变，如输送机突然卡顿导致电机负载急剧升高。过载会使设备长期超额定电流运行，造成绕组过热、绝缘加速老化。（3）漏电故障：主要由设备接地装置松动、损坏导致接地不良，或井下高湿度环境渗入设备内部，破坏绝缘性能，使电流通过绝缘薄弱处泄漏到大地。漏电不仅浪费电能，还可能引发触电事故，甚至产生电火花引燃瓦斯。（4）防爆失效故障：常见于防爆设备外壳受撞击、挤压出现裂痕或变形，或密封胶条老化、脱落导致密封失效，使设备内部产生的电火花与井下易燃易爆气体接触，丧失防爆功能，严重威胁井下安全。

2.2 按设备类型分类

（1）供电系统故障：变压器过热多因散热风扇故障、冷却油不足或绕组短路，导致热量无法及时散发；开关误动作则可能是继电器参数漂移、控制回路故障，或井下振动干扰触发开关异常跳闸，影响供电连续性。

（2）动力设备故障：电机烧毁多由绕组短路、过载或轴承润滑不足引发；轴承卡死常因长期缺乏维护，油脂干涸、磨损加剧，导致电机转子无法正常转动，进而引发设备停机。（3）监控设备故障：传感器失灵可能是探头被粉尘覆盖、灵敏度下降，或电路元件老化；数据传输中断多因通信电缆接触不良、信号干扰，或传输模块故障，导致环境参数、人员位置等关键信息无法正常上传^[2]。

2.3 故障成因分析

（1）环境因素：井下高浓度瓦斯易被电火花引燃，加速设备防爆失效；大量粉尘堆积会堵塞设备散热通道，导致过热故障，同时磨损设备部件；高湿度环境会侵蚀设备绝缘层，增加漏电风险。（2）设备因素：部分设备存在设计缺陷，如散热结构不合理、防爆密封设计不完善；设备长期运行后部件老化，且未及时更换；日常维护不足，如未定期检查绝缘性能、润滑轴承，导致故障隐患累积。（3）人为因素：操作人员违规操作，如带电插拔设备插头、违规更改设备参数；或作业时误触碰电气设备，导致设备外壳损坏、接线松动，引发故障。（4）管理因素：缺乏完善的巡检制度，无法及时发现设备隐患；备件管理混乱，关键备件储备不足或型号不符，导致故障设备无法及时维修更换，延长停机时间，加剧故障影响。

3 煤矿井下电气设备故障诊断技术

3.1 传统诊断方法

（1）感官诊断：是井下人员初步判断故障的基础手段。通过“听”设备运行声音，如电机异常异响可能提示轴承磨损；“看”设备外观，如电缆外皮破损、防爆

外壳变形可直接识别故障；“闻”设备异味，如绝缘材料烧毁的焦糊味表明存在过热故障；“摸”设备温度，如变压器外壳过热可能是散热不良或内部短路，该方法便捷快速，但依赖人员经验，准确性有限。（2）万用表、绝缘电阻表检测：万用表可测量设备电路的电压、电流、电阻值，判断是否存在短路、断路，如测量电机绕组电阻异常可初步排查故障；绝缘电阻表用于检测设备绝缘性能，如测量电缆绝缘电阻过低，说明绝缘层老化或受潮，存在漏电隐患。这类方法操作简单、成本低，但需停机检测，无法实时监控故障。

3.2 现代智能诊断技术

（1）红外热成像技术：利用设备故障时产生的温度异常，通过红外热像仪捕捉热场分布图像，精准定位过热部位，如变压器绕组过热、开关触点虚接发热等，无需接触设备，可在带电状态下检测，适用于井下复杂环境。（2）振动分析技术：针对电机、轴承等旋转设备，通过振动传感器采集振动信号，分析频率、振幅等参数，识别故障类型，如轴承磨损会导致特定频率的振动异常，可提前预警故障，避免设备突然停机。（3）局部放电检测：通过专用仪器监测电缆、变压器等设备内部的局部放电现象，电量异常表明绝缘材料劣化，可在故障发生前及时发现隐患，保障设备绝缘性能。（4）在线监测系统：集成各类传感器数据，通过SCADA平台实时采集、分析设备运行参数，如电压、电流、温度、振动等，实现故障实时报警、远程诊断，无需人员现场值守，提升故障诊断效率和及时性^[3]。

3.3 故障诊断流程优化

（1）故障信息采集：科学布局传感器网络，在关键设备如变压器、电机、电缆等部位安装温度、振动、绝缘等传感器，确保全面采集故障相关数据，为诊断提供充足依据，同时需考虑传感器的防爆、防尘、防潮性能，适应井下环境。（2）故障特征提取：运用时频分析、小波变换等技术，对采集的原始数据进行处理，提取故障特征信号，如从振动信号中分离出故障特征频率，从温度数据中识别异常升温趋势，排除干扰信号，提高特征准确性。（3）故障模式识别：借助专家系统整合行业经验和故障案例，建立故障数据库，同时利用神经网络算法学习故障特征与类型的关联，自动匹配故障模式，如通过算法识别振动特征对应的轴承故障类型，提升诊断智能化水平和准确率，缩短故障判断时间。

4 煤矿井下电气设备故障处置策略

4.1 应急处置原则

（1）安全优先：故障发生后，首要任务是保障人员

安全与井下环境安全。立即停机切断故障设备电源，避免故障扩大引发触电、火灾或瓦斯爆炸；若故障区域存在瓦斯超限、火灾等风险，需迅速组织人员撤离至安全区域，待风险排除后再开展后续处置。（2）快速隔离：通过井下配电系统切断故障区域电源，防止故障蔓延至其他设备或作业区域；同时在故障区域设置警戒标识，严禁无关人员进入，避免误操作或二次伤害，为故障排查与维修创造安全环境。（3）协同处置：建立多部门联动机制，机电队负责故障设备的技术排查与维修，提供专业设备与技术支持；通风队实时监测故障区域瓦斯浓度、风量等参数，通过强制通风降低瓦斯浓度，消除爆炸隐患；安监局全程监督处置过程，确保操作符合安全规范，避免违规作业引发新风险。

4.2 典型故障处置流程

（1）短路故障处置：第一步立即切断故障回路电源，使用绝缘工具断开相关开关，防止持续短路烧毁设备；第二步排查短路点，通过外观检查电缆是否存在破损、接头是否松动，或使用万用表测量电路通断，定位故障位置；第三步更换损坏部件，若电缆破损需截取故障段并重新压接接头，或直接更换新电缆，更换后需测量绝缘电阻，确认合格后方可恢复供电，恢复后需观察设备运行10-15分钟，确保无异常。（2）电机烧毁处置：首先停止电机运行并切断电源，待电机自然降温至常温，避免高温下拆卸导致部件损坏；其次拆解电机检查烧毁程度，若绕组烧毁需重新绕制绕组或更换电机定子，若轴承损坏则更换同型号轴承；更换备件后组装电机，进行绝缘测试与空载试运行，确认电机转速、温度正常，无异常噪音后，方可接入负载正常运行。（3）防爆失效处置：发现防爆设备外壳破损、密封胶条老化等失效问题时，立即停用设备并悬挂“禁止使用”标识；由专业维修人员拆解设备，更换破损的防爆外壳、密封件，确保防爆间隙、密封性能符合ExdI或ExibI型标准；维修后需送专业机构进行防爆性能认证，获取合格证书后，方可重新投入使用，未认证合格的设备严禁下井运行^[4]。

4.3 处置技术要点

（1）防爆设备拆装规范：拆装防爆设备必须使用专用防爆工具，严禁使用普通扳手、螺丝刀等非防爆工

具，防止工具与设备碰撞产生火花；拆卸时需保护防爆面，避免划伤、磕碰导致防爆间隙超标，组装时需在防爆面涂抹专用防锈油脂，确保密封性能，组装后需检查防爆面贴合度，无松动、缝隙方可验收。（2）瓦斯环境作业安全：在瓦斯浓度超0.5%的环境中处置故障，必须先由通风队通过增加风量、局部通风机送风等方式，将瓦斯浓度降至0.5%以下；作业过程中需使用便携式瓦斯检测仪实时监测浓度，若浓度突然升高至1%，需立即停止作业、撤离人员；严禁在瓦斯超限环境中进行电焊、气割等产生明火的作业，必要时需采取专项防爆措施并经审批后方可操作。（3）备件选型与替换标准：更换备件必须确保与原设备型号、规格完全兼容，尤其是电机轴承、电缆型号、防爆部件等关键备件，需核对生产厂家资质与产品合格证；防爆备件的防爆等级需与井下环境匹配，如井下采掘工作面设备需选用ExdI型隔爆备件，严禁使用非防爆或低等级防爆备件；替换后需记录备件型号、更换时间，建立设备维修档案，便于后续追溯与维护。

结束语

煤矿井下电气设备的安全稳定运行是煤矿高效生产的基石。通过对其分类、特性及故障类型的系统分析，我们明确了故障成因的多样性与复杂性。借助先进的故障诊断技术，可精准定位隐患，为快速处置提供依据。而科学的故障处置策略，能有效降低事故风险，保障人员与设备安全。未来，应持续优化设备管理，强化智能监测与预防维护，不断提升煤矿电气系统的可靠性与安全性，推动煤矿行业安全、稳定、可持续发展。

参考文献

- [1]张境麟,姚钰鹏,冯银辉.故障诊断预警系统在煤炭开采的应用[J].煤炭科学技术,2021,(S1):75-76.
- [2]杨明.煤矿井下电气保护及故障处置[J].能源与节能,2022,(08):80-81.
- [3]李宁.煤矿机械设备的故障维修及预防措施[J].当代化工研究,2021,(10):69-70.
- [4]李灿.基于深度学习的煤矿井下电气设备自动化控制技术研究[J].电气技术与经济,2025,(02):19-21.