

综采工作面10kV高压供电系统优化设计与安全防护分析

杜玉林 向征辉

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿 山西 忻州 034000

摘要: 井下综采工作面10kV高压供电系统是煤炭采掘作业的核心电力保障,复杂的井下工况与动态采掘作业,易引发线路破损、设备老化、供电不稳及防护滞后等诸多问题。本文结合综采工作面供电系统的架构组成与运行特性,梳理供电线路、设备配置、系统运行及安全防护方面的各类运行短板,针对性开展线路布局、设备配置、运行机制的系统化优化设计,搭建分级化、动态化的安全防护体系,全面提升井下高压供电系统的运行稳定性与井下采掘作业的电气安全水平。

关键词: 综采工作面; 10kV高压供电系统; 线路优化; 设备改造; 安全防护

引言

智能化、高强度综采模式的普及,对井下高压供电系统的可靠性、稳定性与安全性提出了更高标准。10kV高压供电系统作为综采工作面的核心电力载体,直接承载各类大功率采掘设备的运行负荷,其运行状态直接关乎煤炭开采效率与井下作业安全。井下潮湿多尘、空间受限、工况动态变化的特殊环境,会持续影响供电设备运行状态与线路传输质量,滋生各类电气隐患。开展供电系统优化与安全防护研究,可切实解决现场供电运行痛点,为井下安全生产提供坚实的电力支撑。

1 综采工作面 10kV 高压供电系统基础架构与运行机理

1.1 综采工作面高压供电系统基本构成

井下综采工作面10kV高压供电系统依托多级配电设施搭建完整供电体系,适配井下复杂多变的采掘作业环境。系统组成包含地面变电所、井下中央变电所、采区移动变电站、高压输电电缆和高压保护装置。外部电网电能接入地面变电所,经过电压规整与转换后,输出符合井下输送标准的10kV高压电能^[1]。井下中央变电所完成电能二次分配,搭建起覆盖整个采区的电力输送网络。移动变电站布置于工作面末端,跟随采掘进度前移布设,缩短输电距离,减少线路电能损耗。高压电缆依托巷道专用管线规整敷设,抵御井下粉尘、积水和机械碰撞造成的线路损伤。

1.2 10kV高压供电设备结构与工作原理

工作面高压供电核心设备涵盖移动变电站、高压真空开关与高压连接器,各设备独立运转,协同维持供电链路平稳。移动变电站内置高低压绕组与绝缘防护结构,依靠电磁感应原理完成高压电能降压处理。设备采用全封闭防爆机身,可适应井下存在易燃易爆气体的特

殊工况。高压真空开关以真空灭弧室作为核心部件,完成电路分合操作,依托真空介质抑制电弧产生,降低通电作业安全风险。设备搭载的传感组件持续采集线路电流、电压数据,实现运行状态实时监测。高压连接器采用防爆密封接头设计,紧固电缆与设备的连接点位,规避线路松动、漏电等问题,保障高压电能传输稳定。

1.3 综采工作面高压供电系统运行特征

井下采掘作业的动态属性,让10kV高压供电系统形成专属运行特点。系统输电容量充足,可承载采煤机、刮板输送机、破碎机等大功率设备的作业负荷。采掘作业持续推进,电缆敷设长度、铺设路径都会跟随工作面位置动态调整,供电网络结构始终处于变动状态。井下潮湿多尘、空间局促的作业环境,让供电设备长期处于高负荷、多干扰的运行状态。系统采用独立分区保护设计,单段线路或单台设备出现故障时,对应保护装置即刻跳闸断电,隔离故障区域,保障其余供电线路正常运行。

1.4 工作面高压供电与采掘设备的适配逻辑

高压供电系统电气参数匹配各类综采设备的负荷属性,通过精细化电力调控保障设备稳定运行。采煤机启停频次较高,负荷波动幅度大,系统稳压结构可以平复电压起伏,稳固工作面供电质量。刮板输送机、转载机适配长时间连续作业工况,系统充足的输电容量可满足持续性用电需求。采掘设备布设位置随作业进度不断调整,移动变电站与柔性电缆可以适配现场布局变化。系统依据各类设备额定功率设定保护参数,抑制过载、短路等异常工况,降低设备损坏概率,规避井下电力安全风险。

2 综采工作面 10kV 高压供电系统现存问题与运行短板

2.1 供电系统线路布局存在的缺陷

井下采掘巷道结构错综复杂,供电线路的布设工作会受巷道形态、采掘推进节奏的双重约束。供电线缆大多贴巷道侧壁集中铺设,巷道围岩形变、岩壁片落的过程中,会直接挤压、摩擦线缆外皮。采掘作业持续向前推进,线缆需要反复收放与拉伸,频繁弯折会加速绝缘层老化破损^[2]。部分巷道区段线缆排布过于集中,走线间距没有统一规范,狭小空间内常会出现线路交叉堆叠的现象。积水积存区域的线缆长期处于潮湿环境,绝缘性能会逐步衰减,大幅提升漏电故障的发生概率。

2.2 高压设备配置与布设存在的不足

现场高压设备选型普遍参常规采掘工况设定,面对特殊地质环境下的高强度开采作业,很难满足实际运行需求。移动变电站的安装调节范围有限,采掘工作面跨度不断增加后,输电覆盖半径会超出合理标准,直接造成线路电压损耗升高。部分老旧工作面的设备服役时间较长,内部传感元件、灭弧构件存在不同程度的磨损老化,数据检测精准度、开关动作灵敏度都会明显降低。设备布设多优先考虑现场施工便捷性,对通风、散热条件兼顾不足,密闭安装区域容易积聚热量,持续加快设备零部件的损耗速率。

2.3 系统运行稳定性层面的突出问题

综采设备频繁启停会造成负荷动态波动,电网电压随之产生小幅震荡,长期的动态扰动会持续拉低供电质量。井下电磁环境纷繁复杂,各类电力设备运行产生的电磁信号相互干扰,会扰乱线路传感信号的正常传输,导致后台监测数据出现偏差。采掘作业产生的机械震动会传导至整套供电设备,久而久之造成接线点位松动、内部构件偏移。用电负荷高峰阶段,电网承载压力急剧上升,线路发热问题愈发明显,跳闸断电、供电中断等故障的出现概率会显著增加。

2.4 现有安全防护体系存在的漏洞

现阶段防护装置的动作阈值多为固定参数,无法适配采掘工况的动态变化,细微漏电、轻度过载等隐性隐患难以被及时捕捉识别。故障监测的判定方式较为单一,仅依靠电流、电压两类基础参数判断故障状态,面对复合型复杂故障,极易出现识别偏差与漏判问题。井下高粉尘、高湿度的作业环境会干扰防护元件的灵敏性,拖慢故障响应速度。人工巡检存在固定的时间空档,线缆隐性老化、设备内部细微缺陷难以第一时间排查,各类隐患长期堆积,会逐步诱发各类电力安全故障。

3 综采工作面 10kV 高压供电系统优化设计

3.1 供电线路布局系统化优化设计

根据巷道围岩条件、空间尺寸和采掘推进节奏,规

整高压供电线路布设格局。划定专属走线区域,统一线缆敷设高度与间距,规整交叉、杂乱的线路排布。采掘作业前移会带动线缆反复收放弯折,现场更换高韧性、耐磨、防潮绝缘线缆,增强结构抗损能力^[3]。积水低洼、围岩易变形片落的巷道区段,线路采用架空布设方式,配套安装防护套管,隔绝水汽、挤压、摩擦带来的线路损伤。精简多余迂回走线,压缩无效输电段落,降低线路能耗,减少漏电、短路等线路故障发生频次。

3.2 高压供电设备配置优化与布局调整

结合工作面开采强度与采掘延伸范围,淘汰老化、性能衰减的高压供电设备,替换适配高强度采掘工况的新型防爆设备。更新设备内部传感组件与灭弧部件,提升数据采集精度和电路分合灵敏度,减少设备误动、拒动问题。依据工作面最大作业半径,重新规划移动变电站安装位置,合理控制输电长度,削弱长距离输电产生的电压损耗。调整高压设备布设点位,避开巷道通风死角,预留充足散热空间,缓解设备持续工作产生的积热问题。结合现场检修作业流程规整设备布局,适配日常运维作业需求。

3.3 供电系统运行结构优化设计

细化高压供电分区架构,明确各分区供电范围与负荷限值,落实分区独立运行、独立防护机制,限制故障扩散范围。为移动变电站、高压开关等核心设备加装减震固定配件,削弱采掘机械震动对设备内部构件的影响。关键设备加装电磁屏蔽结构,抵御井下杂散电磁干扰,保障监测信号传输平稳。升级电压调节硬件与控制程序,改善设备启停引发的电压震荡问题。搭建全域线路温控监测体系,实时采集负荷峰值状态下的线路温度数据,动态调整电网负荷分配,规避线路高温过载引发的跳闸、断电故障。

3.4 供电系统负荷匹配与运行逻辑优化

依托综采设备不同的用电属性,优化供电系统负荷匹配模式与运行机制。更改固定保护阈值模式,采用动态可调参数标准,适配采掘工况实时变化的用电负荷。新增线路阻抗、漏电通量、负荷波动频率等监测指标,丰富故障判别依据,提升复杂电力故障识别精度。科学分配各输电线路承载负荷,均衡电网负载分布,消除局部线路长期高负荷运行的状态。调整设备启停供电调控策略,弱化瞬时负荷波动,适配采煤机动态变化负荷与输送设备恒定稳态负荷的用电需求,提升供电适配度与运行稳定性。

4 综采工作面 10kV 高压供电系统安全防护体系构建

4.1 高压供电故障防护体系搭建

井下综采工作面供电环境复杂多变,各类电气故障多发频发,专项故障防护体系是保障10kV高压系统稳定运行的核心载体。依托工作面供电链路结构,分层划分防护单元,针对主干供电线路、分支供电回路、终端用电设备搭建分级防护架构。明确不同供电层级的故障防护重点,细化各类电气故障的防护处置逻辑,填补传统防护模式层级模糊的问题^[4]。完善故障判别与闭锁机制,针对供电链路异常工况设置专属处置逻辑,阻断故障工况向整条供电链路扩散。细化故障隔离设计,依托分段防护模式锁定故障点位,缩小故障影响范围,减少非故障区域的供电中断时长。搭建适配井下综采场景的故障响应机制,细化不同故障类型的处置流程,规范电气故障的前置防控与后置处置流程,强化高压供电系统的抗风险能力。

4.2 电气绝缘与漏电防护设计

10kV高压供电系统长期处于高粉尘、高湿度的井下环境,线路绝缘层易出现老化、破损、受潮等问题,引发漏电隐患。针对性优化绝缘防护设计,选用适配井下恶劣工况的高压线缆与电气设备,强化设备本体绝缘性能。规范线路敷设与设备安装工艺,规避线缆挤压、弯折、磨损等人为损伤,维持绝缘结构完整状态。布设全域绝缘监测点位,覆盖线路接头、设备接口、隐蔽敷设路段等薄弱部位,实现绝缘状态的常态化监测。优化漏电防护配置,升级漏电监测模块的识别精度,精准捕捉微弱漏电信号,杜绝微小漏电隐患长期留存。完善漏电闭锁动作逻辑,调整适配井下高压供电工况的防护参数,提升漏电故障的识别精准度与动作灵敏度,从源头规避漏电引发的电气安全隐患。

4.3 过压过流与短路安全防护配置

综采工作面大功率设备启停频繁,用电负荷始终处于波动状态,容易触发过压、过流、短路等典型电气故障。结合10kV高压供电系统实际运行状态优化过压防护配置,科学设定电压防护阈值,抵御瞬时电压波动、雷击感应电压等异常冲击,保障高压设备绝缘结构完好。重新规整过流防护参数,对设备启动电流、常态运行电流和故障电流进行区分,避免防护装置出现误动、拒动情况,适配采掘设备动态变化的负荷特征。升级短路防护硬件结构与响应程序,缩短故障识别、回路切断的整体用时,降低短路大电流对线路、变压器、开关设备的冲击损伤。分层设定防护装置的动作时限与保护范围,

协调各级防护装置的运行逻辑,规避防护盲区与防护重叠问题。

4.4 工作面高压供电动态防护与运维防护机制

综采工作面持续前移、设备工况动态变化,固定防护模式难以适配动态变化的供电场景。搭建动态防护适配机制,结合工作面采掘进度、设备运行状态、负荷变化规律,灵活调整防护参数与防护模式,适配阶段性供电运行需求。更新动态监测防护手段,持续采集供电电压、电流、设备工况等关键数据,实时把控系统运行状态,提前甄别潜在运行隐患。完善常态化运维防护机制,细化高压线路、供电设备、防护装置的巡检内容与检查频次,聚焦隐蔽部位开展专项排查。规范设备养护、线路检修、装置校验的标准化流程,定期校准各类防护设备运行精度,保障防护装置时刻处于有效工作状态。细化运维责任划分,明确各岗位的防护运维职责,规范日常运维操作流程,以常态化运维管控支撑高压系统安全稳定运行。

结束语

井下10kV高压供电系统的稳定运行,依托合理的供电布局、匹配的设备配置与完善的防护体系共同支撑。各类线路布设不规范、设备性能衰减、运行波动及防护体系不完善的问题,都会削弱供电系统的运行可靠性。通过规整线路布设结构、更新设备配置、优化系统运行与负荷匹配模式,能够有效解决传统供电体系的运行短板。分级故障防护、绝缘漏电防护、过流短路防护及动态运维机制的落地,可以全方位补齐安全防护漏洞,提升综采工作面高压供电系统的整体运行品质与安全防护能力。

参考文献

- [1]边伟军.选煤厂10kV高压供电常见故障与快速排查[J].电力系统装备,2026(1):77-79.
- [2]张纪飞,韦节明,李彦均.10kV高压变频器在井下带式输送机中的应用[J].山东煤炭科技,2026,44(3):134-137,143.
- [3]赵志宇,张新亮,马永旺,等.10kV高压电缆架空混合线路人畜接地故障定位[J].计算机仿真,2026,43(3):114-118.
- [4]杨森,叶友桥.10kV配电网供电可靠性的技术措施研究[J].通信电源技术,2024,41(2):209-211.