

复杂采掘工况中煤矿供电系统与采掘装备匹配机制设计

丁朋朋

陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2372

[摘要] 针对煤炭行业中复杂掘进工况而言,其供电系统与采掘装备匹配效能对连续生产性以及工作安全性产生直接影响。目前现代化自动开采工艺得到广泛应用,传统静态匹配模式已难以适应高负荷波动需求,并且由于多台设备协同工作场景的要求及复杂工况条件等诸多问题,导致设备利用率低、供电故障频发。本文的重点是针对复杂采掘工况下的动态匹配需求,在考虑地质特点、工况条件和设备用电特性等方面的基础上设计一套安全可靠的匹配机制。同时提出了适于工作工况的设备选型、拓扑优化及智能化调控关键技术。研究成果可作为指导煤矿供电系统与采掘装备的科学配置理论基础,有利于改善采煤效率并节约能耗,而且确保安全作业。

[关键词] 复杂采掘工况; 供电系统; 采掘装备; 匹配机制; 安全优化

中图分类号: TD42 **文献标识码:** A

Design of matching mechanism between coal mine power supply system and mining equipment in complex mining conditions

Pengpeng Ding

Shaanxi Coal Group Shenmu Ningtiaota Mining Co., Ltd.

[Abstract] In the coal industry, the complex tunneling conditions directly impact the continuous productivity and work safety through the matching efficiency between the power supply system and mining equipment. Due to the widespread application of modern automatic mining technology, the traditional static matching mode has become difficult to adapt to the high-load fluctuating demand. The requirements of multiple equipment working in coordination and complex working conditions have led to low equipment utilization and frequent power supply failures. This paper focuses on designing a safe and reliable matching mechanism based on the geological characteristics, working conditions, and equipment power consumption characteristics, addressing the dynamic matching needs under complex mining conditions. Additionally, key technologies for equipment selection, topology optimization, and intelligent regulation suitable for working conditions are proposed. The research results can serve as a theoretical basis for guiding the scientific configuration of coal mine power supply systems and mining equipment, which is beneficial for improving coal mining efficiency, saving energy consumption, and ensuring safe operations.

[Key words] complex mining conditions; power supply system; mining equipment; matching mechanism; safety optimization

引言

当前在世界能源转型背景下,煤炭作为中国主体能源还将长期应用。随着智能化开采的发展,采煤工作面向“少人化”“无人化”的趋势演进,主要表现为MG1150大功率采煤机组及大采高液压支架的应用等。上述情况使得一个工作面的整体装机功率达到了5000kw以上,对供电系统的可靠性和灵活性提出了更高要求,现有研究成果多针对单一电气设备进行选型设计,如刮板输送机运输能力设计或液压支架参数计算设计,而缺乏对于整

个供电系统以及配套设备的综合研究。本文对复杂采掘工况进行讨论,在考虑匹配设计原则的基础上提出工况感知、动态适配、智能调控的三层次适配体系。设计地质条件、装备特性与供电参数的适配关系并改进移动变电站布点策略以及线缆选型,提出了以负荷预测为依据的协调控制算法。由此形成了一套安全可靠、经济高效、可协同工作的匹配机制。该研究成果能够为高危高耗的采掘场景提供技术支撑,推进煤矿智能化建设进程。

1 复杂采掘工况特征

在复杂采掘工况下,供电以及采掘装备的匹配设计都会存在一定的问题,其存在的问题主要是由于地质条件、环境因素以及产能之间的相互影响所导致。首先,在地质条件的影响下,如果煤炭层的位置比较深,则相应的采掘装备也要进行变化,如果煤炭层位置较浅,就需要使用高度较低的短臂采掘装备,即高度低于1.5m,但是如果煤炭层非常深的时候,对于供电系统来说,应该提供最低为10kV的电力;如果煤层倾斜角度超过 15° ,则应采用具有防滑制动功能的刮板输送机,并且应该考虑因重力影响而形成的机械应力,所以通常会采用钢丝铠装的电缆以增加其抗拉强度。此外,顶底板稳定性差的工作面(如松软砂岩顶板)会使设备出现较大振动,则需电源接口具备防尘防水能力才能确保接头不易因接触不良而发生故障停机。

2 匹配机制设计关键技术

2.1 基于工况动态适配的设备选型技术

首先建立基于工况条件影响下的设备选用映射模型:当大采高工作面(3.5~5m)推进速度达到6~8m/h时,优选SCB14-5000/10干式变压器,其阻抗电压可控制在6%以内,这样就可以避免短路电流烧坏设备。若工作面是薄煤层,每天推进在10m以上,则选用3150kVA的节能型变压器,比传统型号降低空载损耗25%;电缆选型一定要按照“功率-距离-截面”的三维算法进行。例如一个3300V的系统中,如果采煤机的功率为1200kW及供电距离400m时,则应选择YJV22-3×150mm²交联聚乙烯绝缘电缆,这样可以满足电压损失≤5%的要求以及MT818-2009标准所规定的MYPTJ型矿用橡套电缆的防爆等级要求。

保护装置配置需与装备特性深度耦合。因此针对采煤机主回路提出采用具有“反时限+短延时”功能的BGP9L-6型高压保护器,在1.2倍时动作,延时时间为10s,当短路电流达8倍额定值时立即动作,可直接闭锁。另外,在刮板输送机电机的保护中还应设置断相闭锁功能,当三相电流不平衡度大于15%时,立即闭锁。采用“虚拟匹配测试法”进行装置互适性测试的方法为:在MATLAB/Simulink中搭建供电-装备协同仿真平台,用不同高度及推力水平来模拟负荷特性,以检查变压器温升、电缆载流量和保护整定值是否匹配,某矿应用该方法可将设备选型准确率提高至92%。

2.2 供电拓扑结构优化技术

采用大容量集中式供电模式,即高压电网布置在负荷中心位置,缩短了低压供电距离,将原“地面变电所—地下中央变电所—采区变电所”的三级降压方式改为“地面变电所—移动变电站”的二级供电方式,低压配电距离从原来的1000m减少至500m以内。比如说针对某年产量为500万吨的矿井,在采取了10kV的高压直接进入方式后,则可将线路损耗降低35%,此外在距离工作面较近处设置了移动变电站,电缆长度也随之减少600m,还提升了供电稳定性12%。若想确保供电稳定,就必须进行双回路冗余设计。主电源须实现“0秒切换”,当其中一路出现故障时,ATS自动转换开关动作时间须低于0.15s,以保证诸如

采煤机等关键设备不停转,采用该技术的某智能化工作面供电可靠率达99.98%。

基于数字孪生的智能化拓扑网络可以进行动态重构。依据井下地理信息系统(GIS),建立供电系统三维模型,可实时呈现电缆敷设路径、设备运行状态及负荷分配状态信息。当工作面的推进导致供电线路长度发生变化后,系统将主动给出最合适的线缆规格变更建议,在相比传统静态拓扑的基础上具备自检自查功能,并将故障发现时间从4个小时缩短至15分钟,维护效率提升16倍。

表1 不同拓扑类型的技术特点

拓扑类型	适用场景	核心优势	主要局限
传统辐射式	中小规模采区、低负荷场景	结构简单、成本低	供电半径受限、故障影响范围大
高压深入负荷中心	大采高工作面、高功率装备	损耗低、电压质量优	移动变电站搬迁频繁
双回路冗余拓扑	高产高效工作面	可靠性高、抗扰动力性强	初期投资增加30%-40%
智能动态拓扑	智能化采掘工作面	自适应调整、故障自愈	需配套工业以太网及边缘计算节点

2.3 智能协同调控技术

光纤环网组成的网络继电保护系统不仅保证了保护信息的快速传递和共享,而且使“区域选择性联锁”的方案得以实现。当工作面发生短路故障后,故障点上游设备在0.05s内将立即断开,下游开关保持合闸,从而避免传统保护可能发生的越级跳闸现象的发生。据不完全统计,在采用该技术后,某矿意外掉电次数减少了68%;另外针对避免越级跳闸的问题,基于电流增量的纵联差动保护的方法准确地定位故障区段,动作时间小于20ms,较常规的电流速断保护而言,它的响应速度提高了80%以上。

AI算法辅助完成负荷预测及动态调节工作,在负荷预测中采用LSTM神经网络构建负荷预测模型,并以采高、推进速度、设备状态等多个因素共12项指标为输入变量,实现对未来24小时负荷曲线的持续更新及预测结果提供支撑,其中预测正确率达到了92%,根据以上预测值,系统自动调整变压器分接头位置,当预测负载低于最大容量50%时,切换至节能运行模式降低空载损耗;当预测刮板输送机及采煤机功率不匹配时,则通过工业总线下发速度调整指令,协调煤流及截割量,该优化后某矿装备协同效率提高23%。

3 匹配机制优化策略与未来趋势

3.1 多目标优化策略

提升安全等级:针对煤矿行业高危的特点,需将供电系统及采掘装备的安全完整性等级 SIL从SIL2提升到SIL3。采用双通道冗余设计的保护装置如具备两套PLC控制系统的电源自动转换开关,其故障检测覆盖率可达99%以上。并将其平均故障时间间隔(MTBF)延长至一万小时以上或更高。关键设备的隔爆外壳还要满足GB3836.2-2010标准中的水压试验(1.8MPa),并对电缆

接头使用316不锈钢材质进行防爆处理,使其在瓦斯环境中具有基础安全性。

无功补偿动态优化:针对电网的运行工况进行动态调节及优化,在移动变电站低压侧配置SVG(Static Var Generator)实现对实时负荷特性自动调节补偿容量,以保证整个系统的功率因数大于0.95。为满足刮板输送机启动过程中无功负荷的变化特性,可以采用“预补偿+跟踪补偿”的控制模式,将电压波动控制在±3%的范围内,按此方法在某矿应用后可降低线损18~22%,年节约电约35万kWh。

装备效能提升工程:建立基于大数据的开机率预测模型,并根据过去的停机记录(例如超负荷跳闸占比达42%、电缆故障占据28%)来制订有针对性的改善策略。对于采煤机,需实行“状态修”替代“计划修”,利用振动传感器(采集速率为1kHz)实现齿轮箱故障的提前预警,可将非计划停运时间缩短40%;优化刮板输送机链条张紧度,使设备断链故障率从0.3次/月降至0.08次/月,综合开机率提升至90%以上。

3.2 智能化与绿色化发展趋势

基于数字孪生技术可重构电力设备设施全生命周期管理模式,在三维虚拟场景构建地质模型、设备参数、运行数据等内容模型,并实现匹配方案的预演和优化设计,如在工作面设计阶段即可生成不同推进速度下的负荷变化仿真效果,由此相应地缩小了变压器容量及电缆截面的选型。应用边缘计算节点能够将实时数据信息处理时间控制至20ms以内,并可以对保护装置开展自适应整定,当检测到瓦斯浓度超过0.8%时,自动将过流保护动作值降低20%,以提升防爆安全性。

绿色协同设计是未来的主要发展方向之一。一方面推广高效节能产品,如采用稀土永磁电机驱动的刮板输送机(效率提升5%~8%),以及变频控制的节电型乳化液泵站(空载耗能降低60%)。另一方面供电系统向“电源+电网+负荷”一体化优化发展,并且利用太阳能供电(井下避难硐室已经开始使用5kW的光

伏系统)和储能装置平抑负荷波动,在某示范矿中使用了1MWh的锂电池储能系统将移动变电站工作负荷变动范围从25%~90%变为目前45%~75%。最后使用可降解绝缘材料代替传统的电缆材料,能大大降低废弃电气设备的井下环境的污染,进而推动煤矿生产供电系统向低碳化转型。

4 结束语

本文围绕复杂采掘工况下煤矿供电系统与采掘装备的匹配机制展开研究,通过系统分析地质条件、环境因素及装备电力特性,构建了以安全性、经济性、协同性为核心的匹配设计原则,提出基于工况动态适配的设备选型、供电拓扑优化及智能协同调控关键技术。研究成果在厚煤层大采高与智能化采掘工作面的应用案例中得到验证,显著提升了供电可靠性(故障停电频率降低至0.3次/月)、装备利用率(开机率达89%)及能耗指标(单位产量电耗降至9.5kWh/t),为煤矿高产高效开采提供了技术支撑。

[参考文献]

- [1]周宁.煤矿采掘超前谋划与装备协同高效技术研究[J].能源与节能,2025,(12):221-223+236.
- [2]赵志钧.煤矿井下智能供电系统状态感知与故障预警技术研究[J].煤炭新视界,2025,(02):67-69.
- [3]翟建财.基于SVG的煤矿综掘工作面供电系统设计[J].凿岩机械气动工具,2025,51(12):53-55.
- [4]张涛.煤矿变配电系统中智能监测技术的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(12):69-71.
- [5]霍志超.煤矿供电系统智能化改造与节能策略的综合应用[J].能源新观察,2025,(11):44-45.

作者简介:

丁朋朋(1983--),男,汉族,山东单县人,本科,助理政工师,煤矿采掘技术、机电管理、创新应用。