

煤矿井下供电系统稳定性优化研究

乔 江

国家能源集团神东保德煤矿 山西 忻州 034000

摘要: 煤矿井下供电系统的稳定性对于煤矿的安全生产和高效运营至关重要。本文分析了影响其稳定性的主要因素,包括设备老化、过载运行、短路故障、接地不良等。针对这些问题,提出了从设备选型与维护、供电网络优化、智能化监控与管理等多方面进行综合优化的策略,旨在为煤矿井下供电系统稳定性的提升提供理论支持和实践指导。

关键词: 煤矿井下; 供电系统; 稳定性优化; 设备维护; 智能化监控

1 引言

煤矿产业作为我国能源结构中的重要组成部分,其安全生产和高效运营直接关系到国家能源安全和社会的稳定发展。在煤矿生产过程中,井下供电系统犹如“心脏”,为各类生产设备提供源源不断的动力支持,是保障煤矿正常运转的关键基础设施。然而,煤矿井下环境复杂恶劣,存在高瓦斯、煤尘、潮湿、空间狭小等诸多不利因素,这些因素给井下供电系统的稳定运行带来了巨大挑战。一旦供电系统出现故障,不仅会导致生产中断,造成巨大的经济损失,还可能引发瓦斯爆炸、煤尘爆炸等严重安全事故,威胁矿工的生命安全。因此,深入研究煤矿井下供电系统稳定性优化策略,提高供电系统的可靠性和安全性,具有重要的现实意义。

2 影响煤矿井下供电系统稳定性的主要因素

2.1 设备因素

2.1.1 设备老化

煤矿井下供电设备长期处于恶劣环境中运行,加上高负荷、频繁启停等因素的影响,设备容易加速老化。例如,电缆绝缘层在高温、潮湿和机械应力的作用下,会逐渐失去弹性,出现龟裂、破损等现象。一般来说,电缆在使用5-8年后,其绝缘性能会明显下降,漏电阻可能从初始的几百兆欧降至几兆欧甚至更低,导致绝缘性能下降,容易引发漏电、短路等故障^[1]。变压器的绕组绝缘材料也会因长期受热而老化,降低绝缘强度,增加匝间短路的风险。一台正常运行的变压器,其绕组绝缘电阻应不低于1000M Ω ,但随着使用年限的增加,绝缘电阻会逐渐降低,当降至一定值时,就可能引发故障。

2.1.2 设备选型不当

在煤矿井下供电系统建设中,如果设备选型不合理,不能满足实际生产需求,也会影响供电系统的稳定性。例如,选择断路器时,如果其额定电流和分断能力与实际负荷不匹配,当电路发生过载或短路故障时,断路器可能无法及时动作,导致故障扩大,损坏其他设备。假设某采区变电所的负荷电流为800A,而选用的断路器额定电流为600A,在负荷高峰期,断路器就会频繁

过载跳闸,甚至可能因过载而损坏,影响正常供电。选择变压器时,如果容量过小,在负荷高峰期会出现过载运行,使变压器温度升高,加速绝缘老化,缩短使用寿命。一台容量为1000kVA的变压器,当负载率超过80%时,其温度会显著升高,长期过载运行可能导致变压器损坏。

2.2 供电网络因素

2.2.1 线路故障

井下供电线路长、分支多、环境复杂,易受外力破坏、地质变化影响,出现短路、断路、接地等故障。如巷道掘进、采煤工作面移动设备时电缆易受损,线路故障占故障总数30%-40%,还会引发电压波动。

2.2.2 供电距离与电压损失

供电距离长使线路压降增大,末端设备输入电压低于额定值,大功率设备启动时更明显,可能导致无法启动或运行不稳定。如660V电动机电压降至600V以下,启动转矩减小;电压降低还会使电动机电流增大、发热加剧甚至烧毁。此外,电压损失增加电能损耗,如1500m、50mm²铝芯电缆,输送300kW、功率因数0.7时,线路压降约30V,电能损耗超5kW。

2.3 过载与短路因素

2.3.1 过载运行

设备选型不合理、生产计划不当等会导致过载运行,电流超额定值产生大量热量,加速绝缘老化,降低设备寿命,甚至引发事故。如电缆过载20%运行100小时,绝缘寿命可能缩短一半以上。

2.3.2 短路故障

短路是严重故障,电路电阻急剧减小,电流瞬间增大数十倍甚至数百倍。如660V供电系统正常电流100A,短路时可能超10000A,巨大电动力和热量会损坏设备绝缘,引发火灾或爆炸。短路原因包括设备绝缘损坏、误操作、外力破坏等。

2.4 接地与漏电因素

2.4.1 接地不良

良好接地是安全运行保障,接地装置不规范、电阻

过大或接地线断裂,会使故障电流无法流入大地,设备外壳带电,增加触电风险。安全规程要求接地电阻不大于 2Ω ,电阻过大时设备漏电外壳电压升高,威胁矿工安全,还会影响漏电保护装置动作。

2.4.2 漏电问题

煤矿井下环境潮湿,设备绝缘容易受潮,导致漏电现象时有发生。漏电不仅会造成电能损耗,降低供电效率,还可能引发电火花,点燃瓦斯或煤尘,引发爆炸事故。此外,漏电还会使电气设备的金属外壳带电,威胁矿工的生命安全。一般来说,井下设备的漏电电阻应不低于 $10k\Omega$,当漏电电阻低于此值时,就认为设备存在漏电故障,需要及时处理。

3 煤矿井下供电系统稳定性优化策略

3.1 设备选型与维护优化

3.1.1 合理选型设备

在煤矿井下供电系统建设或改造时,应根据煤矿的实际生产需求、负荷特点、环境条件等因素,合理选择供电设备。对于断路器、变压器等关键设备,要确保其额定参数(如额定电流、额定电压、分断能力等)与实际工况相匹配,同时要考虑设备的可靠性、安全性和节能性。例如,选择具有智能保护功能的断路器,其额定电流应根据负荷电流的大小进行选择,一般应留有20%-30%的裕量;分断能力应大于短路电流的最大值。对于变压器,应根据负荷的大小和性质选择合适的容量,一般负荷率宜控制在70%-80%之间。此外,还应选择具有节能特性的设备,如高效节能型变压器,其空载损耗和负载损耗比普通变压器可降低20%-30%。

3.1.2 加强设备维护管理

建立完善的设备维护管理制度,制定详细的设备维护计划,定期对供电设备进行检查、维护和保养。加强设备的日常巡检,及时发现设备的异常现象,如发热、异味、异响等,并采取相应的措施进行处理^[2]。例如,对于运行中的变压器,应定期检查其油温、油位、油质等情况,油温一般不应超过 85°C ,油位应保持在正常范围内,油质应清澈透明无杂质。定期对设备进行预防性试验,如绝缘电阻测试、耐压试验等,及时发现设备绝缘老化等问题,提前进行维修或更换。绝缘电阻测试一般每年进行一次,耐压试验根据设备的电压等级和使用情况每1-3年进行一次。同时,要加强对设备维护人员的培训,提高其业务水平和责任意识,确保设备维护工作的质量。

3.2 供电网络优化

3.2.1 优化线路布局

根据煤矿的生产布局和用电负荷分布,合理规划供电线路的走向和布局,尽量缩短供电距离,减少线路迂回。采用环形供电或双回路供电方式,提高供电的可靠

性。在巷道掘进和工作面推进过程中,及时调整供电线路,确保线路的安全运行。例如,对于采区供电,可采用分区供电的方式,将负荷相近的区域划分为一个供电分区,减少线路交叉和迂回。同时,要加强对供电线路的保护,设置明显的警示标志,避免施工机械和其他外力对线路造成破坏。

3.2.2 合理选择电缆截面

根据线路的负荷电流、允许电压损失等因素,合理选择电缆的截面。电缆截面过小会导致电压损失过大,影响设备正常运行;电缆截面过大则会增加投资成本和电能损耗。在计算电缆截面时,要充分考虑负荷的发展和预留一定的裕量,以满足未来生产的需求。一般来说,电缆截面的选择应满足以下两个条件:一是按发热条件选择,即电缆的长期允许载流量应大于线路的计算电流;二是按电压损失条件选择,即线路的电压损失应不超过允许值。例如,对于一条输送功率为200kW、功率因数为0.8、长度为1000m的线路,若采用铜芯电缆,根据计算可选择截面积为 35mm^2 的电缆。此外,要选择质量可靠、性能优良的电缆产品,确保电缆的绝缘性能和导电性能符合要求。

3.2.3 采用无功补偿技术

在煤矿井下供电系统中,大量感性负载(如电动机)的存在会导致无功功率增大,使功率因数降低,增加线路的电能损耗和电压损失。采用无功补偿装置(如电容器组)可以提高供电系统的功率因数,减少无功功率的流动,降低线路损耗,提高电压质量^[3]。无功补偿装置应合理配置,根据负荷的变化自动投切,以实现最佳的无功补偿效果。例如,在采区变电所安装电容器组进行集中补偿,可使功率因数从0.7提高到0.9以上,线路损耗可降低30%-40%。

3.3 过载与短路保护优化

3.3.1 完善过载保护装置

在供电系统中合理配置过载保护装置,如热继电器、电子式过载保护器等,根据设备的额定电流和过载特性,准确设置过载保护的動作电流和動作时间。当设备发生过载时,过载保护装置能够及时動作,切断电源,保护设备免受损坏。例如,对于一台额定电流为100A的电动机,过载保护装置的动作电流可设置为110-120A,動作时间可根据过载倍数进行整定,一般过载1.2倍时,動作时间不超过20min;过载1.5倍时,動作时间不超过3min。同时,要定期对过载保护装置进行校验和调试,确保其动作的准确性和可靠性。

3.3.2 提高短路保护性能

采用快速、可靠的短路保护装置,如智能型断路器、熔断器等,确保在电路发生短路故障时能够迅速切断电源,将短路电流限制在最小范围内,减少短路故障

对设备和供电系统的损坏。对于重要的供电线路和设备，可以采用双重短路保护措施，提高保护的可靠性。例如，在变压器的高低电压侧同时安装断路器和熔断器，当发生短路故障时，两者可以同时动作，快速切断故障电路。此外，要加强短路保护装置的维护和管理，定期检查其触点、熔体等部件的状态，及时更换损坏的元件。

3.4 接地与漏电保护优化

3.4.1 规范接地装置安装

严格按照电气安全规程的要求，规范接地装置的安装。选择合适的接地极材料和接地方式，确保接地电阻符合规定要求。接地极可采用钢管、角钢或圆钢等材料，垂直打入地下，其长度一般不小于2.5m。接地线应采用足够截面的铜线或镀锌扁钢，连接牢固可靠，避免出现松动或断裂现象。定期对接地装置进行检测和维护，检查接地电阻的变化情况，如发现接地电阻超标，应及时采取措施进行处理。例如，可采用增加接地极数量、更换接地极材料或改善土壤导电性等方法降低接地电阻。

3.4.2 加强漏电保护

在煤矿井下供电系统中安装灵敏可靠的漏电保护装置，如漏电继电器、漏电断路器等，实现对供电系统的漏电保护。漏电保护装置应具备选择性保护功能，能够准确判断漏电故障的位置，只切断故障线路的电源，不影响其他正常线路的供电。同时，要定期对漏电保护装置进行试验和调试，确保其动作灵敏可靠^[4]。例如，漏电保护装置的動作电阻一般应不大于3kΩ，動作时间应不大于0.1s。加强对漏电保护装置的运行管理，建立漏电保护装置的运行档案，记录其安装、调试、试验和故障处理等情况。

3.5 智能化监控与管理优化

3.5.1 建立智能化监控系统

利用现代信息技术，建立煤矿井下供电系统智能化监控系统，实现对供电设备运行状态、电气参数（如电流、电压、功率等）、故障信息等的实时监测和分析。通过在供电设备和线路上安装各种传感器，将采集到的

数据传输到监控中心，监控中心的计算机软件对数据进行分析处理，及时发现设备的异常情况和潜在的安全隐患，并发出报警信号。例如，当电流超过额定值的1.1倍时，系统应立即发出过载报警；当电压波动超过规定范围时，系统应发出电压异常报警。同时，监控系统还应具备数据存储和查询功能，方便管理人员对供电系统的运行历史数据进行分析 and 总结，为设备的维护和管理提供依据。

3.5.2 应用大数据与人工智能技术

借助大数据和人工智能技术，对煤矿井下供电系统的历史运行数据进行分析 and 挖掘，建立设备故障预测模型和供电系统运行优化模型。通过对设备运行数据的实时监测和分析，预测设备可能出现的故障，提前安排维护和检修工作，实现设备的预防性维护，减少设备故障的发生。同时，利用优化模型对供电系统的运行参数进行优化调整，提高供电系统的运行效率和经济性。

结语

煤矿井下供电系统稳定关乎煤矿安全生产与高效运营。经分析，设备、供电网络、过载短路、接地漏电等因素影响其稳定性。对此，提出设备选型维护、网络优化、保护优化及智能化管理等多方面综合策略。未来，煤矿发展需加强该系统稳定性研究优化，引入新技术新设备，提升可靠性与安全性。同时，强化运行人员培训管理，提高业务与应急能力，确保系统长期稳定运行，为煤矿可持续发展和安全生产、效益提升提供坚实保障。

参考文献

- [1]常春雷.煤矿井下供电系统的优化[J].能源与节能,2024,(02):55-58.
- [2]汪世重.煤矿井下10kV供电系统设计与安全性能分析[J].能源与节能,2025,(03):19-21+24.
- [3]张太浩.煤矿井下低压供电系统安全隐患分析与预防措施[J].信息系统工程,2023,(05):33-35.
- [4]武晋华.关于煤矿井下工作面供电系统的设计与应用[J].矿业装备,2023,(05):138-140.