

Research on Stability Analysis and Optimization Strategy of Coal Mine Underground Power Supply System

Xun Gong

Liaoning Province Diaobingshan Tiefa Coal Industry Group Construction Engineering Co., Ltd. Mining Construction Engineering Branch, Diaobingshan, Liaoning, 112700, China

Abstract

With the continuous expansion of coal mine production scale, the safe and stable operation of underground power supply system has become one of the important obstacles in coal mine production. Due to the complex underground environment of coal mines, the power supply system faces many challenges during long-term operation, such as power load fluctuations, electrical equipment failures, power grid failures, and other factors, which may threaten the stability of the system. This article conducts an in-depth analysis of the current situation of the underground power supply system in coal mines, explores the main problems facing system stability, and proposes optimization strategies based on power system theory and special requirements for underground coal mines, aiming to improve the reliability, stability, and safety of the underground power supply system and ensure the smooth operation of coal mine production.

Keywords

coal mine underground; power supply system; stability; optimization strategy; power load

煤矿井下供电系统稳定性分析与优化策略研究

龚勋

铁法煤业集团建设工程有限责任公司矿山建设工程分公司, 中国·辽宁 调兵山 112700

摘要

随着煤矿生产规模的不断扩大, 井下供电系统的安全、稳定运行成为煤矿生产中的重要保障之一。由于煤矿井下环境复杂, 供电系统在长期运行过程中面临诸多挑战, 如电力负荷波动、电气设备故障、电网故障等因素, 这些都可能对系统稳定性受到威胁。本文通过对煤矿井下供电系统的现状进行深入分析, 探讨了系统稳定性面临的主要问题, 基于电力系统理论和煤矿井下特殊要求, 提出了优化策略, 旨在提高井下供电系统的可靠性、稳定性和安全性, 确保煤矿生产的顺利进行。

关键词

煤矿井下; 供电系统; 稳定性; 优化策略; 电力负荷

1 引言

煤矿井下供电系统作为煤矿生产的核心组成部分之一, 其稳定性直接关系到矿井的安全生产和工人的生命安全。煤矿井下供电系统通常由变电所、配电网、电力设备等组成, 其运行环境特殊, 系统复杂, 易受多种因素影响。近年来, 煤矿井下供电系统的故障频发, 尤其是在极端天气、负荷波动或设备老化等情况下, 系统的稳定性问题尤为突出。因此研究煤矿井下供电系统的稳定性及其优化策略, 成为煤矿安全生产中亟待解决的问题。本文将从煤矿井下供电系统的现状出发, 分析影响系统稳定性的主要因素, 探讨现有优化策略的不足, 并提出改进方案, 以期对煤矿井下供电系统的安

全高效运行提供理论依据和实践指导。

2 煤矿井下供电系统现状及稳定性分析

2.1 煤矿井下供电系统的组成与工作机理

煤矿井下的供电系统由多个相互依赖的子系统组成, 主要包括高压供电系统、低压配电系统、照明系统、风机系统和监控系统等。这些系统共同确保煤矿井下各类电力设备的正常运行如下图。然而由于井下工作环境的特殊性以及生产过程中的负荷波动, 供电系统面临着众多挑战。下面将依次介绍这些系统及其在日常运行中的作用。高压供电系统从地面电网接收电力, 通过变电站将高压电力转换为适合井下使用的电压等级。通常井下的高压电力是从 35kV 或 10kV 的电网中引入, 然后通过变压器降压至适合的电压, 如 380V 或 660V。这一部分是整个供电系统的基础, 其稳定性对井下所有用电设备的正常运行至关重要。为了应对可

【作者简介】龚勋 (1982-), 男, 中国河南泌阳人, 本科, 工程师, 从事电气工程研究。

能的故障，高压供电系统通常会配备冗余电源和自动切换设备，确保在主电源出现问题时，备用电源能够迅速接入^[1]。低压配电系统则负责将高压电力进一步分配到矿井内部的各类设备。煤矿井下的用电负荷存在显著的波动性，特别是在大型设备（如通风机、提升机和排水泵）启停时，负荷变化剧烈。这些设备对电力的需求变化较大，尤其是在采掘或排水高峰期，负荷可能会突然增加。为了应对这种波动，低压配电系统必须具备高效的负荷调节能力，并能够实时调整电力分配，避免出现电压不稳或设备超负荷的情况。

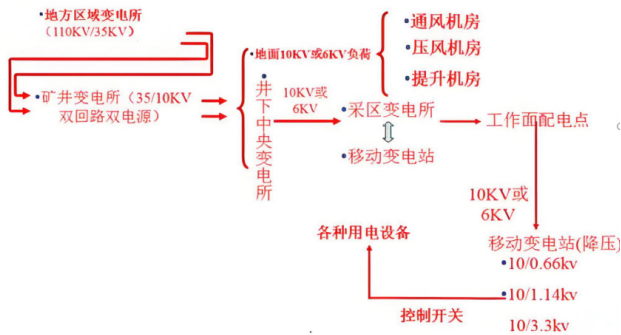


图 1 煤矿井下供电系统组成示意图

在煤矿井下，照明系统的稳定性对矿工的安全作业至关重要。由于井下的工作环境光照条件差，照明系统不仅需要提供足够的亮度，还必须具备防爆、防潮和抗震等特殊功能。这些设计要求使得照明系统成为井下供电系统中不可或缺的一部分。若照明系统出现故障，矿井的作业环境将立即变得危险，极大地影响矿工的安全。风机系统是井下通风的重要组成部分，它不仅负责排除有害气体，还影响矿井内温度和湿度的控制。由于煤矿生产过程中空气流通需求的波动，风机系统的电力负荷在不同阶段变化较大。如在采掘工作高峰期，风机的运行负荷会显著增加。为了满足不同生产阶段的需求，风机系统的电力供应必须保证持续稳定，否则将对矿井环境和人员安全构成威胁。监控系统作为煤矿井下供电系统的“大脑”，发挥着至关重要的作用。通过对电力设备的实时监控，系统能够及时发现潜在的设备故障或电力异常，做到早期预警。随着信息技术的进步，越来越多的煤矿已将智能化监控技术引入井下系统，利用自动化控制和数据分析手段，进一步提高了电力系统的响应速度和稳定性。^[1]

2.2 影响煤矿井下供电系统稳定性的主要因素

煤矿井下供电系统的稳定性受多种因素的综合影响。除了设备本身的技术水平外，外部环境、负荷变化以及人为操作等都可能对系统的正常运行造成干扰。通过分析影响稳定性的关键因素，可以更好地针对性地提出改进方案。负荷波动是煤矿井下供电系统稳定性面临的主要挑战之一。矿井的生产过程本身具有较强的波动性，尤其是对于电力需求较大的设备，如风机、提升机和排水泵等，其负荷变化明显^[2]。在生产高峰期，负荷可能会增加到常规负荷的 2-3 倍。即使

是负荷波动较小的设备，如照明系统，长时间的电力不足或过载也会导致系统不稳定。因此供电系统必须具备动态调节能力，以应对负荷波动带来的电力需求变化。除了负荷波动外，电气设备故障也是影响系统稳定性的一个重要因素。煤矿井下设备长期暴露在潮湿、高温和粉尘等恶劣环境中，这使得设备的老化和故障发生率较高。根据统计数据，电气设备故障是煤矿停产事故的主要原因之一。尤其是变压器、断路器等关键设备，一旦发生故障，可能导致电力中断，进而影响整个生产流程的正常运行。为了提高系统的稳定性，必须加强对电气设备的定期检查和维修，及时更换老化的设备。外部环境的变化也常常是煤矿井下供电系统面临的不确定因素。煤矿井下环境的特殊性使得电力设备容易受到湿度、气温和粉尘等因素的影响。如潮湿环境可能导致电缆绝缘损坏，增加设备故障的风险；而高温则可能导致设备过热，损害电气元件的性能。电网故障是影响煤矿井下供电系统稳定性的另一个外部因素。煤矿井下的供电系统通常与地面电网相连，地面电网的故障可能会直接波及井下系统。

3 煤矿井下供电系统稳定性优化策略

3.1 优化负荷调度与管理

煤矿井下供电系统的负荷波动性较大，尤其在矿井的采掘、通风、排水等作业过程中，负荷变化幅度明显。这种波动对供电系统的稳定性带来了较大的挑战。为了提升供电系统的稳定性，合理的负荷调度和管理尤为关键。第一，负荷调度的关键是通过煤矿生产过程中电力需求的精确预测与实时监控，合理安排各类用电设备的运行。具体而言，煤矿应通过分析生产过程中不同阶段的电力需求特点，实施负荷预测模型，以实现对未来负荷波动的预判。通过对负荷波动的预测，煤矿可以在用电高峰期采取限电措施，对非关键性设备（如部分照明系统、辅助设备）实行调度，以避免系统因突发负荷过载而出现电压波动或设备过热等问题。第二，针对矿井中关键设备（如通风风机、提升机、排水泵等），应优先保障其电力供应。这些设备不仅对矿井的生产过程至关重要，而且直接关系到矿工的安全，因此，建立负荷优先级管理机制尤为必要。通过设定合理的负荷优先级，不仅可以确保在供电紧张的情况下，优先为关键设备供电，还可以有效避免因设备停运导致的生产安全事故。第三，煤矿应强化对负荷波动的实时监控^[3]。利用电力自动化系统（EMS）实时检测电力负荷状况，监控系统能够及时发现负荷异常变化，快速调整电力分配，确保系统的稳定运行。通过智能化的负荷调度系统，可以提高供电系统对负荷变化的响应速度，从而减少因负荷波动导致的系统故障。

3.2 冗余设计与备用电源配置

冗余设计是提升煤矿井下供电系统稳定性的核心措施之一，尤其在面对设备故障、电力中断等突发事件时，冗余设计能够显著提高系统的可靠性。煤矿井下供电系统应对所

有关键设备和重要区域进行冗余配置,确保在主电源或主设备发生故障时,能够迅速切换到备用电源,保障生产不受影响。具体而言,煤矿井下的高压配电系统应配备至少两套主供电系统,并设计自动切换功能。这意味着,在主供电系统发生故障时,备用电源能够在最短时间间接管电力供应,避免发生长时间的电力中断。对于变压器、断路器等关键设备,必须实施双重冗余设计,确保在设备出现故障时,备用设备能够迅速启用,保障供电的连续性。备用电源的配置不仅要数量足够,还要具备高可靠性。备用电源应定期进行检查、保养和性能测试,确保其随时处于良好的工作状态。煤矿应建立定期检修制度,对备用电源进行周期性检查和维护,及时更换老化、损坏的设备。特别是对柴油发电机、储能设备等备用电源,其可靠性对于应急供电至关重要。通过定期的演练和检修,能够有效预防备用电源因故障或老化而无法发挥作用,最大限度地保障煤矿井下供电系统的稳定性。^[2]

3.3 提升电气设备可靠性与抗干扰素力

电气设备的可靠性是煤矿井下供电系统稳定运行的基础。由于煤矿井下恶劣的工作环境,设备常常面临高湿、高温、粉尘等诸多不利因素,这些外部因素对电气设备的影响不可忽视。煤矿应从源头上选择高性能的电气设备,确保设备能够适应井下复杂的环境。设备选型时,应优先考虑具有高防护等级的电气产品,如防爆、防水、防尘、抗腐蚀等特殊性能,尤其在潮湿、高粉尘环境中,防潮、防腐蚀功能至关重要。对于井下供电系统中的变压器、断路器、开关设备等核心电气设备,应采用先进的技术进行选型和设计,确保其具备较强的抗干扰素力和长期稳定运行的能力。而煤矿应加大对电气设备的监测与维护力度。通过引入现代化的监测手段,如温度监测、湿度监测、振动监测等,可以实时跟踪电气设备的工作状态,及时发现潜在故障隐患。设备出现异常时,系统能够自动报警并进行数据记录,为后期的维修与维护提供依据。此外煤矿需要管理者定期开展设备的全方位检查和保养,特别是对高压电气设备、配电线路、接地系统等关键部件进行重点检测,确保其性能始终处于最佳状态。

3.4 智能监控与故障预警系统建设

随着信息技术的飞速发展,智能监控与故障预警系统

逐渐成为煤矿井下供电系统优化的重要手段。通过在井下供电系统中安装智能化监控设备,能够实时监控电力设备的运行状态,及时发现系统的异常情况,为系统的稳定运行提供保障。智能监控系统通过集成传感器、远程控制设备等,实现对供电系统各个环节的实时监控。监控系统通过对实时数据的分析和处理,能够及时识别异常情况并自动触发报警。通过这一方式,煤矿井下供电系统可以在故障发生前提前预警,从而避免由于设备损坏或系统异常导致的停产事故。而借助大数据分析 with 人工智能算法,煤矿还可以进一步提高智能监控系统的预测能力。通过对历史运行数据的深入分析,系统能够预测设备可能出现的故障模式,并提供预防性维护建议。这不仅可以减少因设备故障导致的系统停机时间,还能通过提前更换和维护故障设备,降低事故发生率,确保煤矿井下供电系统的持续稳定运行。在电力设备的操作过程中,员工必须熟悉各类设备的性能与使用方法,掌握电力系统调度、监控、故障排查等基本技能。尤其在应对突发事件时,员工应具备较强的应急反应能力,能够迅速采取有效措施,确保系统不受长时间停运影响。^[3]

4 结语

煤矿井下供电系统的稳定性是保障煤矿安全生产的基础,随着煤矿生产规模的不断扩大和技术的发展,供电系统面临的挑战也日益增加。通过合理的负荷调度、冗余设计、电气设备的可靠性提升、智能监控与故障预警系统的建设,以及员工的培训与应急演练,可以有效提高煤矿井下供电系统的稳定性。未来,随着智能化技术的不断进步,煤矿井下供电系统的稳定性和可靠性将得到更大的提升,为煤矿的安全生产提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 杨真,兰云峰,廖志伟.神东布尔台煤矿智能化建设路径及安全高效管理措施探索[J].中国设备工程,2021,(15):9-12.
- [2] 曹国星.煤矿供电设备的安全防护与电气保护技术分析[J].能源与节能,2021,(02):118-119+216.
- [3] 姬彦明.对煤矿变电所所用变进行改进确保安全高效供电[J].才智,2010,(12):92.