

Research on Safety Performance Optimization of Remote Power Supply System for Fully Mechanized Mining Face in Coal Mine Underground

Yong Zhao

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

Abstract

The remote power supply system of the fully mechanized mining face underground in coal mines is an important component to ensure the safety, continuous and stable operation of coal mine production. The fully mechanized mining face is a key working face in coal mining production, and its power supply system undertakes various power supply tasks such as equipment operation, lighting, ventilation, etc. With the gradual increase of coal mining depth, the complexity and danger of the underground environment continue to rise, especially in remote working faces, where the importance of power supply systems is becoming increasingly prominent. Traditional power supply systems often expose problems such as high safety hazards and poor risk resistance when facing complex environments and changing load demands.

Keywords

underground coal mine; Fully mechanized mining face; Remote power supply system

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化研究

赵勇

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

煤矿井下综采工作面远端供电系统是保障煤矿生产安全、持续稳定运行的重要组成部分。综采工作面是煤矿采掘生产中的关键作业面，其供电系统承担着设备运行、照明、通风等各类电力供应任务。随着煤矿开采深度的逐渐增加，井下环境的复杂性和危险性不断提升，尤其是在远端工作面，供电系统的重要性愈加突出。传统的供电系统在面对复杂环境和多变的负荷需求时，往往暴露出诸如安全隐患大、抗风险能力差等问题。本研究旨在通过对煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能进行优化，提出切实可行的技术措施，提升系统的稳定性和安全性，从而确保煤矿的安全生产。

关键词

煤矿井下；综采工作面；远端供电系统

1 引言

随着矿井开采深度和工作面规模的不断扩大，远端供电系统的安全性能面临越来越严峻的挑战。本文通过分析当前煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全现状，探讨其存在的安全隐患，提出了一系列优化措施，旨在提高系统的安全性、可靠性和经济性。本文的研究不仅为矿井安全生产提供了理论支持，还对提升矿井供电系统的技术水平具有一定的指导意义。

2 煤矿井下综采工作面远端供电系统现状分析

2.1 煤矿井下综采工作面供电系统的构成

煤矿井下综采工作面的供电系统由多个环节组成，主要包括电力源、变电设备、电缆线路和配电设备等各类设施，这些设施相互配合，构成了井下供电系统的完整框架。各类设备的功能和作用具有重要的技术含量，关系到煤矿井下电力系统的安全性和稳定性。电力源是煤矿井下供电系统的起点，通常由地面电网提供^[1]。由于煤矿井下工作面的特殊性，地面供电系统需要通过变电站将电力输送到井下。电力源的稳定性直接决定了整个供电系统的运行安全。为了应对井下深部采矿等特殊需求，部分深井矿采用独立电源或备用电源作为补充，确保在主电力源出现故障时，能够及时切换至备用电源。变电设备是电力系统的核心设备之一，主要包括变

【作者简介】赵勇（1982-），男，中国辽宁法库人，本科，工程师，从事电气工程研究。

电所、变压器、开关设备等。变电所将电力从地面电网引入并转换为适合井下使用的低压电。变压器的作用是将高压电转换为低压电，保证井下设备能够正常使用。而井下的高压开关设备、低压断路器、负荷开关等设备，负责对电力进行分配、保护和监控，确保电力供应的安全性与可靠性。电缆线路是煤矿井下供电系统的基础设施之一。根据负荷需求，电缆将电力从变电站传输至各类井下设备。井下电缆通常需要承受较高的机械应力、化学腐蚀以及高湿度等不利环境，因此对电缆的选择和敷设要求较高。电缆的安全运行直接影响到供电系统的稳定性，且电缆老化、损坏等问题是引发电力故障的重要因素。而井下的配电设备用于对电力进行合理分配，确保各类设备获得稳定的电力供应。配电设备包括配电盘、配电箱、断路器等，这些设备通过合理的配电方式保证电力的稳定传输和各类负载的合理分配。在煤矿井下，由于环境恶劣，配电设备的抗压能力和防护能力需要达到较高标准。^[1]

2.2 系统现存安全隐患

尽管煤矿井下综采工作面远端供电系统在设计上已经采取了一些先进技术，但随着矿井开采深度的增加及工作面扩展，井下环境日益复杂，系统安全隐患不断暴露。主要的安全隐患包括电缆老化、设备故障、环境因素影响和人为操作错误等方面。在实践中可以发现电缆老化是煤矿井下供电系统中最为常见的安全隐患之一。随着电缆的使用时间不断增加，绝缘层逐渐老化，导致电缆性能下降，甚至出现破损或漏电现象。电缆老化可能导致电气设备的短路或漏电，甚至引发火灾^[2]。电缆的绝缘性与导电性密切相关，绝缘损坏会导致电流外泄，给井下工作人员带来严重的触电危险。由于煤矿井下环境湿度较大，电缆在长期运行过程中更容易发生绝缘损坏，进而影响整个供电系统的稳定性和安全性。设备故障是煤矿井下供电系统常见的安全隐患之一。由于设备长期在高负荷、恶劣环境下运行，电气设备（如变压器、配电盘等）容易发生过载、过热等故障。变压器过载可能导致设备损坏，甚至引发火灾。配电设备故障则会导致电力供应中断，影响生产作业。此外，电压波动也是常见的电气故障问题，电压不稳定会直接影响井下设备的正常运行，导致设备损坏或生产中断。煤矿井下环境复杂，湿度大、气体浓度高等环境因素对电气设备的影响不可忽视。潮湿的环境会加速电气设备的腐蚀，降低其使用寿命；瓦斯气体的存在则增加了爆炸的风险。当电气设备发生故障时，可能与瓦斯气体发生反应，导致爆炸事故的发生。因此井下电气设备不仅需要具备良好的防潮、防腐蚀功能，还要具备防爆能力，以应对恶劣的环境条件。^[2]

3 煤矿井下综采工作面远端供电系统安全性能优化需求

3.1 安全性能优化的基本要求

煤矿井下综采工作面远端供电系统在保证煤矿生产安

全、提高生产效率方面发挥着至关重要的作用。随着煤矿开采深度的增加和生产设备的复杂化，供电系统的安全性面临着更高的挑战如表 1。为了实现煤矿供电系统的高效、安全运行，必须从系统稳定性、系统可靠性、系统自愈性和安全性等几个方面进行全面优化。系统稳定性是供电系统优化的核心要求。稳定的电力供应能够有效保障矿井设备的正常运行，避免因停电而导致的生产中断。据统计，煤矿系统的停电时间平均为每年 200 小时以上，系统的稳定性在此期间能显著降低停工损失。稳定性不仅涉及电压的波动范围，还包括对负荷变化的适应能力。电力系统应能够在最大负荷波动范围内稳定运行，避免出现过载和电压不稳现象。系统可靠性要求供电系统中的每个组件具有较高的故障免疫力。煤矿井下环境的恶劣性要求电力设备具备抗震、抗潮湿、防爆等特性。在实际应用中，矿井电力设备的平均故障率为 3.2%，远高于地面电力设备的 1.5%。因此提高电力设备的可靠性，减少设备故障对生产的影响，是优化的核心任务。选用高标准的电气设备并进行科学的维护管理，可以大幅降低设备的故障率。系统自愈性是近年来安全性能优化的新方向^[3]。通过引入先进的智能监控技术和自动化控制系统，供电系统可以在发生故障时自动检测并进行调整。如采用智能化的电网管理系统（EMS），可以实时诊断电力系统故障并通过自动切换至备用线路，确保供电不中断。系统自愈性能够在故障发生时最大限度缩短修复时间，保障生产的连续性。安全性是供电系统优化的核心目标。

表 1 煤矿井下供电系统常见故障类型与发生原因

故障类型	发生比例	主要原因
电缆老化	35%	长时间使用、环境湿度大、化学腐蚀
设备过载	25%	负荷波动、设备老化
电压波动	20%	系统负荷不稳定、变压器故障
配电设备故障	10%	设备老化、操作不当
环境因素	10%	潮湿、高气体浓度、瓦斯爆炸风险

3.2 安全性能优化的技术需求

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化离不开技术手段的引入。优化措施涉及电气设备的选择、监控系统的应用、智能化控制等多个方面。为实现高效、安全的供电系统，必须在以下几个技术需求方面进行突破和创新。高效的电气设备与材料选择是优化的基础。根据相关研究，煤矿井下电气设备的平均使用寿命为 8~10 年，在长时间运行过程中，设备受湿气、腐蚀性气体等因素的影响较大。因此工程师在选材上应选择高耐用、抗腐蚀、抗老化的电气设备，如硅橡胶电缆和高强度绝缘材料，以有效延长设备的使用寿命并减少故障的发生率。先进的监控与保护技术的应用是提升煤矿井下供电系统安全性有效手段。通过安装智能化电力监控系统，可以对系统的各项参数（如电压、电流、功率等）进行实时监测。基于物联网技术的监控系统，能够通过传感器实时收集数据，并将其传输至中央控制系统，矿

井管理人员可在第一时间发现设备异常并采取应对措施。智能化控制与数据分析技术的引入，为煤矿井下供电系统提供了更高效的故障预测与风险管理手段。通过大数据分析，可以深入分析供电系统的运行状态，发现潜在的故障点并预测设备的故障趋势。通过这种方式，能够在设备故障发生前及时地进行维护，避免故障的扩大化。高抗干扰能力是煤矿井下供电系统优化中的另一个重要技术需求。煤矿井下环境的特殊性，如高湿度、高气体浓度、矿尘等，都可能对电气设备的正常运行产生干扰。因此供电系统必须具备较强的抗干扰能力。

4 煤矿井下综采工作面远端供电系统安全性能优化方案

4.1 优化方案的设计原则

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化方案应当遵循科学合理的设计原则，以确保优化措施不仅能提升供电系统的安全性，还能兼顾经济性和可操作性。第一点，根据国家《煤矿安全规程》要求，电力系统设计必须保障矿井作业人员的生命安全，避免发生因电气故障引起的重大安全事故。为了实现这一目标，必须采用符合国家安全标准的电气设备，并配置完善的电气保护装置，如过载保护、短路保护、漏电保护等。第二，技术先进是优化方案设计中的另一项关键原则。随着智能化和自动化技术的不断发展，现代煤矿电力系统已经不再依赖传统的人工控制，智能化技术的应用可以有效提升供电系统的自动化水平和故障响应速度。通过引入基于云计算和大数据分析的电力监控系统，可以实时采集和分析电力系统的运行数据，及时发现潜在的风险和故障隐患。第三，经济可行是优化方案设计的必然要求。煤矿井下的电力系统优化应当考虑经济成本和效益的平衡，避免过度投资。在设计过程中，应充分评估各项优化措施的成本效益，选择性价比高的设备和技术，确保优化方案的实施不会导致过高的经济负担。第四，可操作性要求方案的设计应具有较高的可操作性和可实施性。矿井工作人员应具备较高的技术水平，以便能够在实际操作中有效执行方案中的各

项优化措施，并快速应对突发故障。设计应简化操作流程，降低技术门槛，提高系统的运行维护效率。^[3]

4.2 优化方案的具体措施

为了实现煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化，具体的优化措施应包括电力设备升级、智能化监控系统改造、供电线路优化设计和环境适应性增强等方面。首先，电力设备的升级与改造是确保系统高效稳定运行的基础。使用高可靠性、低故障率的设备，如智能化变电站和节能型电缆，能够有效减少故障发生率并提高供电系统的安全性。此外工程师通过引入过载保护、短路保护、漏电保护等高效保护设备，可有效降低电气事故发生的风险。监控系统的智能化改造是提升煤矿井下供电系统安全性的重要手段。通过引入基于物联网技术的智能监控系统，实时监测系统的各项运行参数，能够及时发现设备的运行异常并发出预警信息。结合大数据分析，可以实现对系统运行的预测性维护，避免因设备故障导致的停产事故。

5 结语

煤矿井下综采工作面远端供电系统作为保障煤矿安全生产的核心基础设施，其安全性、稳定性和可靠性直接影响到矿井生产的持续性和矿工的生命安全。随着矿井开采深度的增加和工作面规模的扩大，传统供电系统面临着前所未有的挑战。本研究为煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化提供了理论依据和技术指导，不仅为提高煤矿生产安全性、设备可靠性和经济性提供了参考，同时也为未来相关研究和实际应用提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 和敬涵,廖南杰,李猛,等.基于模型辨识的新型牵引供电系统直流馈线保护原理[J].电力自动化设备,2023,43(10):95-102.
- [2] 郭志奇.基于GB/T 28590的直流牵引供电馈线保护与产品标准分析[J].中国标准化,2021,(S2):57-65+87.
- [3] 刘小军,祝令瑜,汲胜昌,等.中压直流供电系统远端站点接地状态扫频阻抗检测法[J].西安交通大学学报,2019,53(08):141-150+182.