

# 煤炭开采中供电系统节能优化与能效提升路径探析

孙友广 张朋 徐西振

兖州东方机电有限公司, 中国·山东 邹城 273500

**摘要:** 在“双碳”战略驱动和煤炭产业绿色升级的背景下, 煤炭开采过程中的能源高效利用已成为行业高质量发展的关键要素。作为矿山能源供应的核心枢纽, 供电系统的能耗占矿山总能耗的较大比例。开展供电系统节能优化与能效提升研究, 对降低开采成本、减少碳排放、保障矿山安全生产具有重要价值。本文通过系统分析煤炭开采供电系统的结构特征与能耗规律, 深入探讨当前供电系统在节能领域的主要障碍, 系统梳理国内外先进的节能优化技术和能效提升方案, 最终提出适用于煤炭开采场景的综合性优化策略, 为煤炭企业实现供电系统节能降耗、推动绿色矿山建设提供理论依据和实践参考。

**关键词:** 煤炭开采; 供电系统; 节能优化; 能效提升; 绿色矿山; 双碳

## Exploration of Energy-saving Optimisation and Efficiency Improvement Paths for Power Supply Systems in Coal Mining

Sun Youguang, Zhang Peng, Xu Xizhen

Yanzhou Dongfang Mechanical and Electrical Co., Ltd., China Shandong Zoucheng 273500

**Abstract:** Under the dual-carbon strategic drive and the green upgrade of the coal industry, the efficient use of energy in the coal mining process has become a key element for the high-quality development of the industry. As the core hub of mine energy supply, the power supply system accounts for a significant proportion of the total energy consumption of the mine. Conducting research on energy-saving optimisation and efficiency improvement in the power supply system is of great value for reducing mining costs, lowering carbon emissions and ensuring safe mine production. This paper systematically analyses the structural characteristics and energy consumption patterns of coal mining power supply systems, explores the main obstacles to energy saving in current power supply systems, systematically reviews advanced energy-saving optimisation technologies and efficiency improvement schemes at home and abroad, and ultimately proposes a comprehensive optimisation strategy suitable for coal mining scenarios, providing theoretical support and practical reference for coal enterprises to achieve energy saving and consumption reduction in power supply systems and to promote the construction of green mines.

**Keywords:** Coal mining; Power supply system; Energy-saving optimisation; Energy efficiency improvement; Green mine; Dual carbon

## 0 引言

煤炭是我国能源安全的重要保障<sup>[1]</sup>, 对国民经济发展有基础性支撑作用, 但传统开采方式的高能耗、高排放与绿色能源发展要求矛盾。随着煤炭产业向智能化、绿色化转型, 降低开采能耗、提高能效成为必然选择。供电系统覆盖煤炭开采全流程, 其运行效率直接影响矿山能耗和生产效益, 但我国多数煤矿供电系统存在设备老化、运行不合理、节能技术应用不足等问题, 制约了行业绿色转型。因此, 深入研究供电系统节能优化与能效提升路径, 对实现煤炭行业“节能降碳、提质增效”目标具有重要意义。本文综述相关研究成果和实践案例, 系统阐述节能优化与

能效提升路径, 为煤炭企业提供实践指导<sup>[2]</sup>。

## 1 煤矿开采电力供应体系的构成及能耗特性

煤矿开采的电力供应体系是一个结构复杂、层次分明的系统, 它必须能够承受井下极端的工作条件, 如高温、高湿度、多尘及可能存在的高瓦斯环境, 同时要灵活应对不同生产阶段对电力的多样化需求, 展现出该领域特有的构成与能耗模式。

### 1.1 电力供应体系的主要构成

煤矿开采的电力供应系统一般构建为“地面变电所—井下中央变电所—采区变电所—作业面配电点”四级架构, 其核心组件分为三大类: 首先, 是电源与变电设施,

例如地面主变压器、井下干式变压器以及高低压配电柜,它们负责电力的传输与电压的调整;其次,是输电与配电网,包括地面高压线路和井下电缆,它们是电力流通的主要路径;再者,是用电设备,如采煤机械、掘进机械、刮板输送机、皮带输送机、通风设备、排水泵等,其中通风、排水和运输设备由于持续运行,消耗了系统总电量的70%以上,成为节能改造的关键点。此外,系统还集成了继电保护、智能监控、无功补偿等辅助系统,以确保电力供应的安全与稳定。

## 1.2 主要能耗特性

煤矿开采电力供应系统的能耗特性主要表现在三个方面:一是“高强度、长时间运行”,大多数生产设备需全天候运作,导致电力供应系统长期处于高负荷状态,基础能耗量大;二是“负载变化大、效率波动”,煤矿开采采取“采掘轮换”作业方式,采煤机、掘进机等设备的负载会随开采进度、煤层条件的变化而剧烈波动,使得电力供应系统经常处于“低载”或“超载”状态,偏离最优效率区间;三是“损耗环节多、能效低下”,电力在传输、转换和使用过程中,因线路电阻、设备损耗等原因造成大量能量损失,其中井下电缆损耗、变压器空载损耗及高能耗设备运行损耗是主要因素,且老旧设备的损耗率远超行业平均水平<sup>[9]</sup>。

## 2 煤炭开采供电系统节能优化存在的主要问题

虽然煤炭企业对供电系统节能优化越发重视,然而受技术水平、设备状况以及管理模式等因素的制约,当前供电系统在节能方面仍面临诸多难题,主要体现在以下四个方面。

### 2.1 设备陈旧, 能耗基数偏高

部分煤炭矿山,特别是运营时间较长的老旧矿山,其供电系统里的变压器、电动机、开关柜等核心设备老化问题严重,性能大幅降低,能耗指标远超现行国家标准。例如,一些矿山还在使用高损耗的S7、S9系列变压器,这类变压器的空载损耗和负载损耗是新型节能变压器的2-3倍。井下部分输送机 and 通风机采用传统异步电动机,运行效率低下,且无法依据负载变化调节转速,导致“大马拉小车”的能源浪费现象极为普遍。同时,由于设备更新改造需要大量资金投入,且矿山生产任务繁重,设备更新换代的速度十分缓慢,这成为制约供电系统能效提升的关键因素。

### 2.2 运行方式不合理, 能源浪费严重

煤炭开采供电系统的运行方式缺乏科学规划,呈现

出“粗放式”运行的特点,进一步加剧了能源的浪费。一方面,变压器和输电线路的容量配置与实际负载需求不匹配,部分采区变电站的变压器容量过大,长期处于轻载运行状态,空载损耗占比过高。另一方面,供电系统的无功功率补偿不足,或者补偿装置运行不合理,致使功率因数偏低,这不仅增加了线路和变压器的损耗,还可能对供电质量产生影响,甚至引发设备故障。此外,部分生产环节存在“设备空转”的情况,比如掘进机停机时没有及时切断辅助设备的电源,通风机没有根据井下瓦斯浓度动态调节风量等,造成了大量无效的能耗。

### 2.3 节能技术应用受限, 适配性欠佳

近年来,电力系统领域涌现出大量节能技术,但这些技术在煤炭开采供电系统中的应用存在“覆盖不全面、适配性差”等问题。一方面,节能技术的应用范围较窄,多数煤炭企业仅在少数高能耗设备或关键环节应用节能技术,没有实现全系统、全流程的节能改造。另一方面,部分节能技术与煤炭开采的恶劣环境、复杂负载特征不匹配,导致节能效果未达到预期。例如,部分井下设备采用的变频调速技术,受到井下高温、高粉尘环境的影响,设备故障率较高,运行稳定性较差。智能监测技术在部分矿山的应用仅仅停留在“数据采集”层面,没有实现数据的深度分析和运行参数的智能优化调节。

### 2.4 管理体系不完善, 节能责任未明确

供电系统节能优化不仅需要技术和设备的支持,还需要完善的管理体系作为保障。当前,部分煤炭企业缺乏系统化的节能管理体系,主要体现在三个方面:一是缺乏专业的节能管理团队,节能工作大多由供电部门兼职负责,人员专业能力不足,难以开展科学的节能规划和技术指导。二是节能考核机制不完善,没有将能效指标纳入各部门和岗位的绩效考核体系,导致节能责任难以落实。三是能耗监测与统计体系不健全,数据采集不全面,分析不深入,无法为节能优化提供有效的数据支撑。

## 3 煤炭开采供电系统节能优化与能效提升的主要措施

针对当前煤炭开采供电系统节能优化面临的挑战,结合煤炭开采场景的特殊性和行业技术发展趋势,可以从“设备更新、运行改进、技术革新、管理加强”四个方面入手,构建全方位、多层次的节能优化与能效提升策略。

### 3.1 推进设备节能更新, 降低基础能耗

设备更新是供电系统节能优化的基础,关键在于淘汰高能耗的陈旧设备,推广应用高效节能设备,从源头上降

低能耗基数。一是优化变电设备,将高损耗的陈旧变压器替换为S11及以上系列节能变压器,在井下高瓦斯环境中采用干式变压器替代油浸式变压器,以降低变压器的空载损耗和负载损耗。二是更新用电负载设备,把传统异步电动机更换为高效永磁同步电动机,在采煤机、掘进机、输送机等设备上应用变频调速技术,实现设备转速与负载需求的精准匹配,避免“大马拉小车”的现象。三是优化输电线路,采用截面积更大的铜芯电缆替代铝芯电缆,降低线路电阻损耗。同时,定期对电缆线路进行检修维护,及时处理线路老化和漏电等问题,减少线路损耗。

### 3.2 改进系统运行模式,提升运行效率

通过科学规划供电系统的运行模式,实现运行参数的动态优化,提高整体运行效率。一是优化变压器运行模式,根据采区负载的变化,采用“多台变压器并联运行”或“负荷转移”的方式,避免单台变压器长期轻载运行,确保变压器始终处于最佳效率区间。二是加强无功功率补偿,在井下中央变电站、采区变电站及高能耗设备附近安装无功补偿装置,如并联电容器组、静止无功发生器等,动态调节无功功率,将系统功率因数提升至0.95以上,降低线路和变压器的损耗<sup>[4]</sup>。

### 3.3 创新节能技术运用,释放节能潜能

利用智能化与信息化手段,推动适合煤炭开采环境的新节能技术普及,深度挖掘供电系统的节能潜力。首先,推进智能监测与调控技术的应用,构建“地面-井下”一体化的供电系统智能监测平台,即时收集变压器、线路及设备的运行数据(包括电压、电流、功率、能耗等),借助大数据分析找出能耗短板与改进空间,实现运行参数的智能调整。其次,研究新能源与传统供电系统的协同运作,在矿山地面建设光伏电站、风力发电站,将新能源电力引入矿山供电体系,部分替代传统火力发电,减少碳排放与能源消耗;同时,在井下安装储能设备(如锂电池储能系统),以平衡负载波动,确保供电系统的稳定运行。最后,采用电力电子变换技术,在井下供电系统中广泛应用高压变频器、固态软启动器等设备,减轻设备启动时的电流冲击,降低设备损耗与能源浪费。

### 3.4 强化节能管理机制,明确节能职责

建立完善的节能管理体系是确保节能优化措施有效实施的核心,需从“团队建设、考核机制、监测统计”三个维度加强管理。首先,成立专业的节能管理团队,配备具备电力系统、节能技术等专业知识的管理人员,负责制定供电系统节能规划、提供节能技术指导与培训,提升全员

节能意识与专业技能。其次,完善节能考核机制,将能效指标(如单位产值能耗、设备运行效率、线路损耗率)纳入各部门与岗位的绩效考核体系,明确节能目标与责任,对节能成效显著的部门与个人给予奖励,激发全员节能热情。最后,健全能耗监测与统计体系,建立覆盖供电系统全环节的能耗数据采集网络,实现能耗数据的实时采集、分析与共享,定期编制能耗分析报告,为节能优化方案的制定与调整提供数据支持。

## 4 结语

在“双碳”目标与煤炭行业绿色转型的双重推动下,煤炭开采供电系统的节能优化与能效提升已成为促进行业高质量发展的关键要素。当前,该系统仍面临设备老化、运行模式不合理、节能技术应用不足、管理体系不完善等问题,制约了能效的进一步提升。通过实施设备节能改造、优化运行策略、引入创新节能技术、完善节能管理体系等关键措施,可有效降低供电系统能耗,提高能源利用效率,为煤炭企业的节能减排与效益提升奠定坚实基础<sup>[5]</sup>。

未来研究与实践可着重于以下三个方面:首先,研发适用于井下极端环境的新型节能技术,如耐高温、抗粉尘的高效变频设备及本质安全型储能装置,提升节能技术的适应性与稳定性。其次,促进供电系统与矿山智能化系统的深度融合,借助人工智能、大数据等前沿技术,构建“智能感知-数据分析-智能决策-精准控制”的一体化节能优化体系,实现供电系统全链条的智能化节能管理。最后,探索“源网荷储”一体化的供电新模式,整合新能源发电、输电网络、用电负荷与储能设备,构建高效、稳定、低碳的矿山供电网络,为煤炭行业的绿色低碳转型提供创新路径。

总之,煤炭开采供电系统的节能优化与能效提升是一项长期且复杂的系统工程,需要煤炭企业、科研机构、设备供应商等多方共同努力,持续探索、创新与完善,才能实现供电系统的节能减排目标,推动煤炭行业向绿色、智能、高效的高质量发展阶段迈进。

## 参考文献:

- [1] 袁显平,石静,陈红霞.我国煤炭企业成本差异及影响因素分析[J/OL].中国矿业:1-12.http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20251110.1455.010.
- [2] 孙奉仲,史月涛.低碳经济与节能减排通识教育平台的建立与实践[J].高教学刊,2025,11(27):1-4. DOI:10.19980/j.CN23-1593/G4.2025.27.001.
- [3] 徐学庆,胡群.煤炭开采中机械自动化技术的应用

和发展分析[J]. 中国设备工程, 2025(06):204-206.

[5] 谭静. 双碳战略下煤炭产业发展趋势探究[J]. 内

[4] 丁昭日, 刘建宇. 煤矿井下供电系统的节能减排策略[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(05):160-162. DOI:10.13487/j.cnki.imce.026457.

蒙古煤炭经济, 2025(16):73-75. DOI:10.13487/j.cnki.imce.027128.