

新能源驱动矿山机电系统能效提升路径探索

陈鹏辉 兰凯 贺义庭

内蒙古仲泰能源集团有限公司羊市塔分公司, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 矿山机电系统是矿山生产的核心动力载体, 其能效水平直接关乎矿山生产效益与绿色转型进程。随着“双碳”目标推进, 新能源替代传统化石能源驱动矿山机电系统已成为行业发展必然趋势。本文基于矿山机电系统运行特性, 系统梳理新能源驱动技术在提升机、通风机、水泵等核心机电设备中的应用现状; 通过构建数据表格对比分析传统柴油驱动、电网供电驱动与新能源驱动模式的能效差异; 深入剖析当前新能源驱动矿山机电系统存在的技术适配性不足、储能技术滞后、智能调控缺失等核心问题; 从技术优化、储能配套、智能管控、政策保障四个维度, 提出针对性的能效提升路径。研究表明, 新能源驱动可使矿山核心机电设备平均能效提升, 通过多路径协同优化, 可进一步释放能效潜力。

关键词: 新能源驱动; 矿山机电系统; 能效提升; 绿色转型; 储能技术

Exploration of Energy Efficiency Improvement Path of Mine Electromechanical System Driven by New Energy

Chen Penghui, Lan Kai, He Yiting

Inner Mongolia Zhongtai Energy Group Co., Ltd., Yangshi Tower Branch, China Inner Mongolia Ordos 017000

Abstract: As the core power infrastructure in mining operations, mine electromechanical systems (EMS) directly impact production efficiency and green transition progress. With the advancement of the "dual carbon" goals, replacing traditional fossil fuels with renewable energy has become an inevitable industry trend. This study systematically examines the application status of new energy-driven technologies in key EMS equipment such as hoists, ventilators, and pumps. Through comparative analysis of energy efficiency between traditional diesel-driven, grid-powered, and renewable energy-driven modes using data tables, it identifies critical challenges including technical incompatibility, outdated energy storage systems, and lack of intelligent control mechanisms. The research proposes targeted efficiency improvement strategies across four dimensions: technological optimization, energy storage integration, smart management, and policy support. Findings demonstrate that renewable energy drives can enhance average energy efficiency of core EMS equipment, with synergistic multi-path optimization further unlocking potential for efficiency gains.

Keywords: New energy drive; Mining electromechanical systems; Energy efficiency improvement; Green transition; Energy storage technology

0 引言

矿山行业作为能源消耗与碳排放重点领域, 其绿色低碳转型是实现“双碳”目标的关键环节。矿山机电系统涵盖提升机、通风机、水泵、运输机等核心设备, 承担着矿山采掘、运输、通风、排水等关键生产任务, 其能耗占矿山总能耗的 75% 以上, 部分高耗能矿山甚至达到 85%。传统矿山机电系统多依赖柴油驱动或常规电网供电驱动, 存在能效偏低、碳排放量大、运行成本高等突出问题, 与绿色矿山建设要求存在显著差距。近年来, 光伏、风电、锂电池等新能源技术快速发展, 为矿山机电系统驱动模式革新提供了技术支撑。新能源驱动矿山机电系统凭借清洁低碳、能效优势显著、运行成本可控等特点, 已在国内多个

矿山试点应用并取得初步成效。

1 新能源驱动矿山机电系统应用现状与能效差异

1.1 核心应用现状

在地面机电设备中, 光伏驱动技术应用最为广泛。国内多数露天矿山已实现光伏电站与通风机、地面运输机、办公区供电系统的协同运行, 通过光伏直供或光伏-电网互补模式为设备提供动力, 部分矿山光伏供电占比已达 40% 以上。例如, 内蒙古某露天煤矿搭建 20MW 光伏电站, 为 4 台大型通风机、6 条地面运输皮带提供电力支持, 年替代标准煤 1.2 万吨, 设备运行能效提升 21%。在井下机电设备中, 锂电池组驱动成为主流方向。针对井下无电

网覆盖区域或移动设备，锂电池组驱动的防爆提升机、防爆水泵等设备逐步替代传统柴油设备。山西某煤矿井下采掘面采用锂电池驱动防爆运输机，解决了传统柴油运输机尾气污染、能效偏低的问题，设备连续运行时间可达8小时以上，能效较柴油驱动提升25%。此外，风电驱动技术在高海拔、风力资源丰富的矿山得到试点应用，通过风电-光伏互补模式，实现对矿山机电系统的稳定供电^[1]。

1.2 不同驱动模式能效差异对比

为精准量化新能源驱动的能效优势，选取矿山常用的提升机、通风机、水泵三类核心机电设备，对比传统柴油驱动、常规电网供电驱动与新能源驱动（光伏-锂电池互补）模式的单位能耗、运行效率等关键能效指标，具体数据如表1所示：

由表1数据可知，新能源驱动模式在能效指标上全面优于传统柴油驱动与常规电网供电驱动：三类核心设备的单位能耗较传统柴油驱动降低28%-43%，较常规电网供电驱动降低19%-24%；运行效率较传统柴油驱动提升27%-35个百分点，较常规电网供电驱动提升12%-16个百分点；同时，新能源驱动模式的年维护成本降低20%-40%，碳排放强度大幅降低，展现出显著的能效优势与绿色效益。

2 新能源驱动矿山机电系统能效提升的核心问题

2.1 技术适配性不足，特殊工况运行稳定性差

矿山生产环境复杂多变，高温、高湿、高粉尘、强振动等特殊工况对新能源驱动技术提出严苛要求。当前，多数新能源驱动设备为通用型产品，未针对矿山特殊工况进行专项优化，存在运行稳定性差、故障率高的问题。例如，井下锂电池组在高湿环境下易出现绝缘性能下降，使用寿命较实验室环境缩短30%以上；露天矿山光伏组件在高粉

尘环境下积灰严重，发电效率每周下降5%-8%，需频繁清洁维护，增加了运行成本。此外，新能源驱动系统与矿山现有机电设备的协同兼容性不足，部分老旧矿山改造过程中出现设备接口不匹配、控制逻辑冲突等问题，影响整体能效提升^[2]。

2.2 储能技术滞后，能源供给稳定性不足

新能源具有间歇性、波动性特点，光伏、风电供电受光照、风力变化影响显著，需配套储能系统保障矿山机电系统稳定运行。当前，矿山新能源驱动系统的储能技术存在诸多短板：一是储能容量不足，多数矿山储能系统仅能满足机电设备1-2小时的应急供电需求，无法支撑连续稳定运行；二是储能设备寿命短，井下高温环境下，锂电池储能设备循环寿命不足1000次，远低于地面环境的2000次以上；三是储能效率偏低，现有储能系统充放电效率平均为85%左右，能量损耗较大。储能技术的滞后导致新能源供电稳定性不足，部分矿山仍需依赖电网或柴油发电机作为备用电源，制约了能效提升与新能源替代率的提高。

2.3 智能调控缺失，系统运行协同性差

新能源驱动矿山机电系统是集能源产生、存储、输送、消耗于一体的复杂系统，需通过智能调控实现各环节协同运行，最大化能效。当前，多数矿山新能源驱动系统缺乏精准的智能调控机制：一是能源预测精度低，无法精准预判光伏、风电的供电能力，导致能源供给与设备需求错配，出现“供大于求”或“供不足需”的情况；二是设备调度不合理，提升机、通风机、水泵等设备的运行状态未根据能源供给情况动态调整，仍采用固定运行模式，造成能源浪费；三是数据监测不全面，缺乏对新能源发电、储能状态、设备能耗等关键数据的实时监测与分析，无法及时发现能效损耗点，影响系统优化调整^[3]。

表1 不同驱动模式能效差异对比

设备类型	驱动模式	单位能耗 (kWh/吨·公里)	运行效率 (%)	年维护成本 (万元/台)	碳排放强度 (kgCO ₂ /吨·公里)
提升机 (100kW)	传统柴油驱动	2.8	62	18.5	6.8
	常规电网供电驱动	2.1	75	12.3	5.2
	新能源驱动 (光伏-锂电池)	1.6	89	9.8	0.3
通风机 (80kW)	传统柴油驱动	2.2	65	15.2	5.4
	常规电网供电驱动	1.8	78	10.1	4.4
	新能源驱动 (光伏-锂电池)	1.3	91	7.6	0.2
水泵 (55kW)	传统柴油驱动	1.9	68	13.8	4.6
	常规电网供电驱动	1.5	80	8.5	3.7
	新能源驱动 (光伏-锂电池)	1.1	92	6.2	0.1

2.4 政策保障不足，推广应用动力欠缺

新能源驱动矿山机电系统改造前期投入大，单座中型矿山改造费用可达5000万元以上，回收周期长达5-8年，多数矿山企业推广应用动力不足。当前，相关政策保障体系存在诸多不完善之处：一是补贴政策覆盖面窄，现有新能源补贴政策多聚焦于光伏、风电电站建设，对矿山机电系统新能源改造的补贴力度不足；二是标准体系不健全，缺乏针对新能源驱动矿山机电设备的设计、安装、运行、维护等全流程标准，导致市场乱象丛生，产品质量参差不齐；三是金融支持力度不足，矿山企业新能源改造融资渠道单一，缺乏低息贷款、专项基金等金融支持，资金压力较大。

3 新能源驱动矿山机电系统能效提升路径

3.1 优化技术适配性，提升特殊工况运行能力

一是开展矿山专用新能源驱动设备研发。联合科研机构、设备制造商，针对矿山高温、高湿、高粉尘、强振动等特殊工况，研发专用新能源驱动设备。例如，开发高绝缘、耐高温的井下锂电池组，采用防尘、防振设计的光伏组件，提升设备对矿山环境的适配性；优化设备接口与控制逻辑，确保新能源驱动系统与矿山现有机电设备无缝对接，提升系统协同运行能力。二是加强技术改造与升级。对现有新能源驱动设备进行专项改造，提升运行稳定性与能效水平。例如，为露天矿山光伏组件加装自动清洁系统，减少积灰对发电效率的影响；为井下锂电池组配备智能温控系统，保障电池在适宜温度环境下运行，延长使用寿命；对老旧机电设备进行节能改造，提升设备本身能效，与新能源驱动系统形成协同效应^[4]。

3.2 完善储能配套体系，保障能源供给稳定

一是优化储能系统配置。根据矿山新能源发电规模与机电设备能耗需求，科学确定储能容量，确保储能系统能够满足设备连续4-6小时运行需求；推广应用新型储能技术，如全钒液流电池、钠离子电池等，提升储能设备的循环寿命与高温稳定性，降低储能能耗。例如，在井下高温区域采用全钒液流电池储能系统，其循环寿命可达5000次以上，适应温度范围宽，可有效提升储能稳定性。二是构建多能源互补供电体系。结合矿山能源资源禀赋，构建“光伏+风电+储能+电网”多能源互补供电体系，通过不同能源的协同互补，提升供电稳定性。例如，在风力资源丰富的矿山，重点发展风电-光伏互补模式；在电网覆盖完善的矿山，采用新能源-电网互补模式，实现新能源优先供电、电网兜底保障的运行机制，最大化新能源利用

率(图1)。



图1 矿山风力发电

3.3 构建智能管控平台，提升系统协同运行效率

一是搭建全流程智能监测平台。部署物联网传感器网络，对新能源发电功率、储能状态、机电设备能耗、工况环境等关键数据进行实时采集；构建大数据分析中心，整合分析各类数据，精准识别能效损耗点，为系统优化提供数据支撑。二是开发智能调度与调控系统。基于人工智能算法，实现新能源发电能力精准预测与设备运行状态动态调度。例如，根据光伏、风电发电预测结果，调整提升机、通风机等设备的运行时段与负载，避免能源供给不足或浪费；对多台机电设备进行协同调度，实现能源在不同设备间的优化分配，提升整体能效。此外，引入数字孪生技术，构建新能源驱动矿山机电系统虚拟仿真模型，模拟不同运行工况下的系统能效，为系统优化调整提供决策支持^[5]。

3.4 强化政策保障，激发推广应用动力

一是完善补贴与激励政策。扩大新能源补贴政策覆盖面，对矿山机电系统新能源改造给予专项补贴，补贴比例不低于改造费用的20%；设立能效提升专项奖励基金，对能效提升显著的矿山企业给予奖励，缩短投资回收周期。二是健全标准体系。制定新能源驱动矿山机电设备设计、安装、运行、维护等全流程标准，规范市场秩序，保障产品质量；建立新能源驱动矿山机电系统能效评价标准，明确能效等级划分与考核指标，引导企业开展能效提升工作。三是加大金融支持力度。拓宽矿山企业新能源改造融资渠道，设立专项低息贷款，鼓励银行、保险等金融机构参与矿山绿色转型项目；推广合同能源管理模式，由专业能源服务公司承担新能源改造项目的投资、建设与运营，矿山企业按节能效益支付费用，降低企业前期资金压力。

4 结语

新能源驱动矿山机电系统是矿山行业绿色低碳转型的

核心方向,其能效提升对提升矿山生产效益、降低碳排放具有重要意义。当前,新能源驱动技术已在矿山提升机、通风机、水泵等核心机电设备中初步应用,展现出显著的能效优势,可使核心设备平均单位能耗降低19%–43%,运行效率提升12–35个百分点。但在实际应用中,仍存在技术适配性不足、储能技术滞后、智能调控缺失、政策保障不足等核心问题,制约了能效提升潜力的充分释放。提升新能源驱动矿山机电系统能效,需构建“技术优化–储能配套–智能管控–政策保障”多路径协同体系。未来,随着新能源技术、储能技术与智能管控技术的持续迭代,新能源驱动矿山机电系统的能效水平将进一步提升,新能源替代率将逐步提高。本文提出的能效提升路径可为矿山企业提供实践参考,助力矿山行业实现绿色低碳高质量发展。

参考文献:

- [1] 贺福祥,申天鹏,杨二虎等.基于通信技术的机电一体化系统在矿业工程中的应用研究[J].矿业工程,2025,23(5):96–101.
 - [2] 王宏远,房琦,张涛.基于效能提升的矿山机械机电一体化应用分析[J].世界有色金属,2025(18):53–55.
 - [3] 尹承栋.智能化技术对矿山机电运输系统优化策略研究[J].中国金属通报,2024(16):80–82.
 - [4] 向国田.自动化技术在矿山机电控制中的应用简析[J].科技资讯,2020,18(6):1–2.
 - [5] 谢翠红,康健,胡安芮.矿山机电设备维修常见的问题与对策探讨[J].科海故事博览,2025(26):112–114.
- 作者简介:陈鹏辉(1989.02–),男,本科,中国地质大学(北京),汉族,内蒙古,丰镇市,新城湾乡,工程师,研究方向:主要从事机电工程方面研究。