

深井辅助运输中连续牵引车系统能耗分析与节能措施

王 磊

中煤新集阜阳矿业先锋机电队 安徽淮南

【摘要】深井辅助运输作为矿山生产中的关键环节，其连续牵引车系统能耗问题直接影响整体运输效率与经济效益。通过对系统运行特征与能耗构成的分析，可以发现车辆频繁启停、坡度阻力及机械传动损耗是主要能耗来源。在此基础上，结合运行工况，提出通过优化牵引工况、改进传动效率、应用再生制动与智能调度等措施来降低能耗。研究表明，合理的节能策略不仅能显著减少运输能耗，还能提升设备使用寿命与运行稳定性，为矿井运输系统节能降耗提供了可行路径与参考依据。

【关键词】深井辅助运输；连续牵引车；能耗分析；节能措施

【收稿日期】2025 年 4 月 12 日

【出刊日期】2025 年 5 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250161

Energy consumption analysis and energy saving measures of continuous tractor system in deep well auxiliary transportation

Lei Wang

China Coal Xinji Fuyang mining pioneer electromechanical team, Huainan, Anhui

【Abstract】As a critical component in mining operations, deep shaft auxiliary transportation systems face energy consumption challenges that directly impact overall efficiency and economic benefits. Analysis of system operation characteristics and energy consumption patterns reveals that frequent vehicle start-stop cycles, slope resistance, and mechanical transmission losses are the primary energy consumers. Based on operational conditions, this study proposes energy-saving strategies including optimized traction modes, improved transmission efficiency, regenerative braking systems, and intelligent scheduling. Research findings demonstrate that these energy-efficient measures not only significantly reduce transportation energy consumption but also enhance equipment lifespan and operational stability, providing practical solutions for optimizing energy efficiency in mine transportation systems.

【Keywords】Deep shaft auxiliary transportation; Continuous traction system; Energy consumption analysis; Energy-saving measures

引言

深井矿山的生产运输过程对能源消耗高度敏感，而辅助运输作为其中的重要组成部分，长期以来存在能耗水平偏高的现实挑战。连续牵引车系统因具备运距远、运输量大与适应性强的优势被广泛应用，但其运行过程中的能量损失问题愈加突出。频繁启停、坡度阻力以及设备机械磨损等因素叠加，造成能源利用效率下降。如何在保证运输效率的前提下降低能耗，已成为亟待解决的工程课题。对这一问题的探讨不仅关乎能源利用率提升，也关系到矿井运输系统的整体可靠性与经济性。

1 深井辅助运输中连续牵引车系统能耗问题提出

深井矿山的辅助运输是生产系统中至关重要的组

成部分，而连续牵引车因具备运距大、运输效率高和适应复杂巷道条件的优势被广泛采用。随着开采深度的增加和运输强度的提升，连续牵引车系统的能耗问题日益突出。车辆在高负荷下长时间运行，频繁应对复杂坡度和曲折巷道，导致电机功率消耗显著增加。长距离运输过程中因牵引力分配不均、设备磨损以及巷道通风阻力等因素的叠加，进一步加重了能源浪费^[1]。这种能耗问题不仅影响矿井的运输经济性，还对电力系统稳定运行和设备寿命产生负面影响，逐渐成为制约深井运输效率提升的关键瓶颈。

在能耗结构方面，连续牵引车的电能消耗主要集中在车辆启动、加速、负载牵引及爬坡运行阶段。频繁启停时电流冲击造成的瞬时功率峰值极高，远超稳定

运行时的能耗水平,严重降低了电能利用率。同时,巷道坡度和阻力分布不均造成系统牵引功率持续波动,增加了无效能耗。机械传动过程中的摩擦损失、制动能量的直接耗散以及控制策略的不合理也在一定程度上加剧了能耗问题。在矿井深部高湿度、高粉尘的工况环境下,设备状态劣化加快,进一步提升了额外能耗。由此可见,能耗的突出表现并非单一因素引起,而是由多重运行条件与系统特性共同作用的结果。

在矿山企业追求绿色低碳与经济高效发展的背景下,深井辅助运输的能耗问题具有更为严峻的现实意义。能源成本逐渐攀升,迫使企业必须正视运输环节的能耗瓶颈,而设备高能耗运行不仅影响电能分配的合理性,还可能引发电网负荷波动,带来安全隐患^[2]。从生产组织角度看,能耗过高导致运输效率与产能利用率下降,使运输系统成为制约生产规模扩大的潜在障碍。因此,对连续牵引车系统能耗问题进行系统化分析,明确其成因与表现特征,已成为深井矿山实现节能降耗、提升运输系统运行质量的必要前提。

2 连续牵引车系统运行能耗的构成与影响因素分析

连续牵引车系统在深井辅助运输中的能耗构成具有多元性,其中电能消耗占据主导地位。车辆启动和加速过程对牵引电机提出了高功率需求,瞬时电流的剧烈波动直接拉高整体能耗水平。长距离运行过程中,恒定负荷的牵引能耗与坡度变化引起的附加能耗叠加,使系统的电能消耗保持在高位^[3]。制动能量未能回收而以热能形式散失,也是能耗结构中不可忽视的一部分。除电能外,机械传动系统因摩擦、冲击与齿轮啮合间隙导致的能量损耗,在累计效应下形成较大的无效能耗比例。这些构成要素共同决定了连续牵引车在深井运输中的总能耗水平。

能耗的形成不仅与能量构成相关,还受到多种运行因素的影响。坡度阻力是其中的核心变量,牵引车在复杂巷道环境下运行时,需要不断克服重力分量和滚动阻力,尤其在深井矿区,运输线路往往伴随较大倾角,造成持续的附加载荷。车辆频繁启停与载荷波动使电机处于不稳定运行状态,能量利用效率显著下降。巷道环境条件如湿度、通风阻力和路面摩擦系数的变化,也会增加额外功率消耗。设备维护水平同样具有显著影响,润滑状态不良或零部件磨损不仅提升了机械损耗,还可能引起电机和传动系统的过载运行,从而进一步加剧能耗。

在控制与调度层面,运行策略的不合理设计亦会放大能耗问题。若牵引车群的运行调度未能与运输需

求动态匹配,可能出现部分车辆长时间空载或低效运行,导致电能被无效消耗。动力控制系统的响应滞后与参数匹配不足,使得电机难以在最佳效率区间内工作,增加了额外损耗。制动系统缺乏能量回馈机制,造成大量动能直接以热量形式散失^[4]。信息化与智能化程度的不足也限制了能耗优化的可能性,传统调度方式难以实时修正能耗波动。综合来看,连续牵引车系统运行能耗的构成与影响因素呈现复杂耦合关系,需要从电能消耗、机械损耗、环境阻力与运行控制等多维度进行深入剖析,才能为节能措施的提出提供科学依据。

3 连续牵引车系统能耗降低的关键节能措施探讨

连续牵引车系统在深井辅助运输中的能耗降低,需要在动力系统与运行模式的匹配上进行优化。电机功率输出应依据运输线路坡度、负荷特性和运行速度曲线进行动态调整,使其尽可能在高效区间内工作。通过引入变频调速控制技术,可以减少车辆在加速和减速过程中的无效能耗,提升能量利用率。同时,采用再生制动装置,将车辆减速和下坡过程中的动能转化为电能回收,不仅能够降低制动部件的热能损耗,还能为系统提供辅助电能支持,形成能量闭环利用^[5]。在矿井深部运输过程中,这类技术应用可显著改善高峰功率消耗问题,缓解电力系统负担。

在机械结构与传动环节方面,节能措施同样具有重要意义。优化传动链设计,减少齿轮啮合间隙和摩擦损耗,能够有效降低机械能损失。高性能润滑材料和耐磨结构件的应用,可改善传动系统的工作状态,延缓零部件老化,减少因机械磨损导致的额外能耗。同时,车辆轻量化设计与承载能力优化,使牵引车在保证运输效率的前提下降低自重,从而减少滚动阻力和加速能耗。对巷道路面的平整度与摩擦系数进行改良,也能减少牵引阻力,进一步提高能量利用效率。这些措施从机械环节入手,实现了对系统整体能耗的显著改善。

在运行调度与智能化控制方面,引入先进的能耗管理系统是降低能耗的关键路径。通过对运输工况的实时监测与数据采集,可以实现牵引车群的合理调度,避免空载运行和低效运输环节。基于算法优化的智能调度能够在保证运输需求的同时,降低车辆数量与出勤频率,从而减少整体电能消耗。结合大数据与人工智能技术,对运行轨迹、功率曲线和制动频率进行分析,能够为节能策略提供动态优化依据^[6]。推广能源管理平台,实现对电机、制动与传动系统的多参数协调控制,也能使牵引车系统在复杂工况下保持稳定高效运行。通过动力优化、机械改良与智能调度的多维度结合,连

续牵引车系统的能耗问题能够得到系统性改善,为深井辅助运输的绿色化与高效化发展提供坚实支撑。

4 深井辅助运输连续牵引车系统能耗分析与节能措施成效评估

在深井辅助运输过程中,连续牵引车系统的能耗分析不仅需要能量构成进行定量研究,还要从运行效率与节能潜力角度进行综合评价。通过对牵引电机运行曲线和能量分布的采集与分析,可以发现能耗水平的变化与运输线路坡度、负荷特征及启停频率密切相关^[7]。采用能量计量与功率因数监测技术,能够精确识别电机在不同工况下的能耗模式,从而区分有效功率与无效功率的比例。结果表明,在未实施节能措施前,能量浪费集中体现在高频启停、制动能量散失和机械摩擦损耗上,占总能耗的比重较大,这种能耗结构限制了整体运输效率。通过数据化的能耗剖析,可以为节能措施的针对性应用提供可靠依据。

节能措施的成效评估应当从技术与运行两个层面展开。动力系统优化与再生制动技术的引入,使得电机在稳定区间运行的时间显著延长,单位运输能耗降低。机械结构改良与润滑优化有效减少了传动能量损失,车辆自重与阻力降低带来了整体功率需求的下降。智能调度与运行管理的应用在节能效果中表现突出,尤其在多车辆协同运输时,避免了冗余运行和无效空载,提高了系统负荷率。通过对比节能措施实施前后的运行数据,可以发现单位吨公里电耗下降幅度明显,系统能效比得到提升。同时,设备运行工况趋于平稳,减少了因过载与磨损带来的能耗波动,为运输系统的安全性和稳定性提供了额外保障。

在综合评价过程中,还需将节能措施带来的经济效益和环境效益纳入考量。节能后的连续牵引车系统不仅降低了电能消耗总量,减少了矿山生产环节的能源成本,也减轻了电网负荷压力,提升了能源利用的合理性。从环保角度看,能耗下降意味着碳排放水平的降低,符合矿山企业绿色化、低碳化发展的战略目标。通过对能耗分析与节能成效的系统评估,可以得出结论:在深井辅助运输环节,节能措施的应用不仅实现了运输效率与能源利用率的双提升,还为矿山生产提供了可靠的经济与环境双重收益^[8]。这种评估结果凸显了能

耗分析的必要性,也验证了节能策略在工程实践中的可行性与有效性。

5 结语

在深井辅助运输过程中,连续牵引车系统的能耗问题已经成为制约运输效率与经济效益的重要因素。对能耗构成及影响因素的深入剖析揭示了电能消耗、机械损耗与调度不合理等多方面原因。针对这些问题,动力优化、传动改良和智能调度等节能措施展现出显著成效,不仅降低了单位运输能耗,也提升了设备运行的稳定性与寿命。节能策略的实施为矿山企业带来经济与环境的双重效益,为深井运输系统的绿色化与高效化发展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 杨岳斌,黄治坤,苏宇,等. 单机双热网梯级供热系统能耗及经济运行分析[J]. 电站系统工程,2025,41(05):9-12.
- [2] 辛海,杨勇,闫玉麟,等. 抚矿锅炉改造项目的节能措施与能耗分析[J]. 石化技术,2025,32(08):71-73.
- [3] 张志龙. 煤化工合成氨工艺能耗分析与节能策略研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2025,45(14):193-195.
- [4] 金星宇. 城市供热热电联产与锅炉供热能耗及成本对比分析[J]. 全面腐蚀控制,2025,39(07):92-94.
- [5] 卢胜. 基于 AI 视角的无极绳连续牵引车智能化液压张紧系统研究[J]. 科技创新与生产力,2025,46(05):94-96.
- [6] 卢胜. 无极绳连续牵引车张紧装置设计研究[J]. 黑龙江科学,2025,16(08):153-155.
- [7] 王宝权,花学民,吴妍宇. 浅谈中双绳连续牵引车在软岩矿井大坡度巷道中的应用[J]. 中国设备工程,2024,(S1):203-205.
- [8] 杨自攀,陈林,郭忠海. 无极绳连续牵引车张紧装置的张力计算与分析[J]. 机电工程技术,2024,53(03):103-106+189.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS