

露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的探究

王兰娜 王永计 王志文 郭梦瑶

包钢(集团)公司白云鄂博铁矿 内蒙古包头 014080

摘要: 本文围绕露天大型矿山电力机车动力源智擎重构展开探究,针对传统接触网供电模式存在的供电不稳定、维护成本高、动力输出不足等局限,提出以技术升级实现动力模式革新的解决方案。研究中严格遵循原车核心结构保留原则,重点推进动力及传动系统纯电动转型,采用大容量磷酸铁锂电池组替代接触网供电,配套永磁同步牵引系统与智能电池管理体系,同时开展机车数字化与智能化赋能升级。通过具体实施方案优化动力电池、牵引控制、转向架制动及辅助系统,改造后机车关键参数显著优化,低温适应性、动力可靠性与制动性能大幅提升,在减少维护成本、降低能耗的同时实现绿色低碳运输,为矿山电力机车智能化升级提供实践参考。

关键词: 露天大型矿山电力机车;动力源智擎重构;磷酸铁锂电池组;永磁同步牵引系统;绿色低碳运输

引言

露天大型矿山运输体系中,电力机车传统接触网供电模式长期受环境因素制约,粉尘、温差与轨道振动易导致接触网与受电弓接触不良,频繁引发供电中断问题,严重影响运输作业连续性^[1]。传统模式下线路维护需持续投入大量人力物力,且直流传动装置在重载或复杂轨道条件下动力输出稳定性不足,难以匹配矿山高效运输需求。当前国家大力推进绿色矿山建设,企业对低碳化、清洁化运输的需求日益迫切,传统动力模式已无法满足发展要求。基于此,本文开展电力机车动力源智擎重构研究,通过技术革新突破传统局限,为矿山运输提质增效与绿色转型提供可行路径。

一、露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的研究背景与意义

露天大型矿山电力机车传统动力模式以接触网供电为核心,受矿山露天环境中粉尘堆积、昼夜温差及轨道振动影响,接触网与受电弓易出现接触不良,频繁引发供电中断,严重影响运输作业连续性。传统模式下线路维护成本高,接触网长期暴露易磨损锈蚀,需持续投入大量人力物力巡检维修,且直流传动装置在重载或复杂轨道条件下动力输出稳定性不足,难以满足矿山高效运输需求,这些局限推动动力源智擎重构研究^[2]。动力源智擎重构通过技术升级革新动力模式,取消受电弓及配电设备,以锂电池组为唯一动力来源,构建智能电池管理与制动能量回收供能体系,重新设计关键部件适配

纯电工况。

该项目实践价值突出,纯电模式契合矿山绿色低碳需求,重构后设备可靠性提升减少运输中断,维护成本降低与能量回收技术应用优化经济性,还能通过数字化赋能推动矿山运输智能化发展,让老旧机车恢复高效运营能力。

二、露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的研究方向与总体技术路线

(一)改造前提:原车核心结构保留原则

露天大型矿山电力机车动力源智擎重构过程中严格遵循原车核心结构保留原则,重点维持原车主体结构与总体布局的稳定性,同时完整保留转向架、JZ-7制动系统、基础制动装置及钩缓装置等关键部件的原有功能与技术参数。这些核心结构与部件是保障机车行驶稳定性、制动安全性及车辆连接可靠性的基础,其中转向架直接影响机车在矿山复杂轨道条件下的行驶平顺性,JZ-7制动系统则是确保机车在重载运输场景下制动效能的关键,钩缓装置更是实现机车与斗车连接的核心组件^[3]。保留这些经过长期实践验证的核心结构与部件,不仅能大幅降低改造过程中的结构调整成本与技术风险,还能确保改造后机车在基础运行性能上与原车保持一致,为后续动力及传动系统的纯电动改造提供稳定、可靠的结构支撑。

(二)核心改造方向:动力及传动系统纯电动转型

动力及传动系统纯电动转型是本次动力源智擎重构的核心改造方向,首要任务是采用大容量磷酸铁锂电池组全面取代传统接触网供电装置,使锂电池组成为机

车唯一的动力来源，同时拆除原车上用于接触网取电的受电弓及配套配电设备，彻底改变传统依赖外部供电的动力模式。在此基础上，以先进的永磁同步牵引系统替代原车的直流传动装置，配套6台250KW永磁同步牵引电动机形成整车1500KW的牵引功率，且采用轴控方式让6套牵引系统独立工作，具备故障情况下自动切除功能以保障动力输出稳定性。针对传动系统适配需求，拆除原转向架抱轴结构的车轴齿轮箱，更新为永磁同步电动机驱动的二级传动车轴齿轮箱，同时更换原车车轴、轮毂，并将永磁同步电机与车轴齿轮箱设计为一体化结构，通过弹性悬挂装置吊装在转向架构架上，确保传动系统能高效适配纯电工况下的动力传递需求。

（三）升级方向：机车数字化与智能化赋能

为实现机车运用管理的数字化、智能化与网联化目标，本次动力源智擎重构专门针对机车开展数字化与智能化赋能升级工作，配置互联网实时在线监控系统、远程故障诊断功能及人机交互界面。互联网实时在线监控系统可实时采集机车运行过程中的电池状态、牵引功率、制动效能、轮对转速等关键数据，通过网络传输至管理平台实现对机车运行状态的动态追踪；远程故障诊断功能能实时分析采集到的运行数据，自动识别电池故障、牵引系统异常、制动管路泄漏等问题，并及时将故障信息上传至管理终端，便于维修人员提前制定检修方案。人机交互界面则将整车运行数据以可视化形式呈现于司机室显示屏，司机可通过显示屏实时关注电池剩余电量、牵引电流、行驶速度等关键参数，同时在控制系统中预留远程操控通信接口，为后期加装远程控制功能提供技术支持，助力机车全面满足企业绿色化、低碳化、清洁化运输需求^[4]。

三、露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的项目实施方案

（一）动力电池组及配套保障系统方案

为契合露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的需求，动力电池组及配套保障系统方案的设计至关重要。选用大容量的磷酸铁锂电池组，其具备高能量密度、长循环寿命以及卓越的安全性能，能够满足机车在复杂工况下长时间、高强度的运行需求。电池组的容量需依据机车的实际运行里程、载重情况以及充电频次等因素进行精准测算与定制。同时，配套建设高效的充电设施，采用快速充电技术，大幅缩短充电时长，提升机车的运营效率^[5]。此外，构建完备的电池管理系统（BMS），该

系统能够实时监测电池的电压、电流、温度等关键参数，实现对电池的精准管理与保护，有效预防过充、过放、过热等异常情况，延长电池使用寿命，保障动力电池组的稳定可靠运行。

（二）牵引与控制核心系统改造方案

牵引与控制核心系统的改造是动力源智擎重构的关键环节。以先进的永磁同步牵引系统全面替换原车的直流传动装置，配置6台功率为250KW的永磁同步牵引电动机，从而形成整车1500KW的强大牵引功率。采用轴控方式，使6套牵引系统能够独立运作，在出现故障时可自动切除故障单元，确保动力输出的稳定性与持续性。同时，对控制系统进行深度优化升级，引入先进的数字化控制算法与智能控制策略，实现对牵引电机的精准控制，提升机车的启动性能、加速性能以及爬坡能力。搭建冗余的通信网络，确保控制指令的快速、准确传输，增强系统的可靠性与抗干扰能力，有效应对矿山复杂电磁环境对系统通信的影响。

（三）转向架与制动系统适配升级方案

针对动力源智擎重构后的新工况，转向架与制动系统的适配升级不可或缺。对转向架进行结构优化设计，增强其承载能力与抗疲劳性能，以适应机车在纯电动模式下可能产生的动力变化与运行特性改变。更新转向架的悬挂系统，采用先进的弹性元件与减震技术，提升机车在复杂轨道条件下行驶的平稳性与舒适性。制动系统方面，对原车的JZ-7制动系统进行全面检修与升级，优化制动管路布局，提升制动响应速度与制动效能^[6]。引入电制动与机械制动相结合的复合制动模式，在车辆制动过程中，优先利用电制动回收能量，降低机械制动的磨损，延长制动部件的使用寿命，同时确保在紧急情况下机械制动能够可靠投入，保障机车的行车安全。

（四）辅助系统改造与关键部件检修方案

辅助系统的改造与关键部件的检修是保障机车整体性能的重要举措。对机车的照明系统、通风系统、空调系统等辅助设施进行全面升级改造，采用节能、高效的新型设备，降低能耗，提升司机的工作环境舒适度。对空压机、油泵等关键部件进行细致检修与维护，确保其工作状态良好，性能稳定。对机车的电气线路进行重新梳理与优化，采用高可靠性的电缆与连接器，提高电气系统的安全性及稳定性。增设故障诊断与预警装置，实时监测辅助系统与关键部件的运行状态，提前发现潜在故障隐患，为及时维修提供有力支持，减少机车的停机

时间，提高运营效率。

四、露天大型矿山电力机车动力源智擎重构的改造效果与效益分析

(一) 改造前后整车关键参数对比分析

本次动力源智擎重构过程中，机车部分基础参数保持稳定以适配矿山现有运营条件，轨距始终维持1435mm，整备重量保持 $150 \pm 3\%$ t，轴重稳定在25t，轴式延续BO-BO-BO结构，确保改造后可直接融入原有轨道运输体系。核心性能参数则围绕纯电动转型实现优化，传动方式从直流电传动更新为永磁直交传动，新增1500kw.h电池容量作为动力核心，整车功率从2100kw调整为1500kw，牵引电机配置从6350kw变更为6250kw，同时新增3*320kw充电桩功率配置。运行性能参数提升显著，最高运行速度从65km/h提升至300km/h，启动牵引力达到特定数值，各项参数调整均以适配纯电工况、提升运输效率为目标。

(二) 机车技术性能提升效果评估

改造后机车在矿山复杂工况下的技术性能得到实质性提升，低温环境适应性大幅增强，动力电池组配套的热管理系统与消防报警灭火系统，可保障机车在 -35°C 环境下正常完成一个班6趟作业任务，电池循环寿命不低于3000次且5年内衰减不超过20%，解决传统动力模式低温供电不稳定问题。动力系统可靠性显著改善，6套牵引系统采用轴控方式独立工作，具备故障自动切除功能，避免单系统故障影响整车运行，永磁同步电机与二级传动车轴齿轮箱的一体化设计，降低传动损耗的同时提升动力传递稳定性。制动系统性能优化明显，更换后的永磁变频控制螺杆式空气压缩机排量提升至 $2.4\text{m}^3/\text{min}$ ，既满足机车用风需求又能为斗车供风，不锈钢管路与校验后的JZ-7型空气制动机各阀件，大幅提升制动响应速度与密封可靠性。

(三) 项目经济与环保效益测算

经济效益方面，改造后线路维护工作量明显减少，因取消接触网及配套配电设备，省去接触网日常巡检、维修及配件更换的成本投入，同时电费支出大幅降低，结合制动能量回收系统，单位运输里程能耗成本显著下降。充电桩配置实现高效补能，机车电池电量从20%到

100%充电时长不超过1.5小时，保障机车高效周转，减少因充电耗时导致的运营效率损失。环保效益突出，纯电动动力模式彻底摒弃传统接触网供电可能伴随的能源浪费与污染问题，契合企业绿色化、低碳化、清洁化运输需求，电池组采用磷酸铁锂材料，后期可通过专业处理实现资源循环利用，进一步降低对环境的影响。

结论

本次露天大型矿山电力机车动力源智擎重构研究，通过严格遵循原车核心结构保留原则，成功实现动力模式从接触网供电到纯电动的转型，构建起适配矿山工况的纯电力与智能管理体系。改造后机车在保持基础参数稳定的前提下，核心性能参数与技术性能显著提升，低温环境下可稳定完成作业任务，动力与制动系统可靠性大幅改善。经济效益层面，线路维护成本与能耗支出明显降低，高效充电模式保障机车运营效率；环保层面实现零排放运输，电池材料可循环利用符合绿色发展要求。该重构方案验证了纯电动与智能化技术在矿山机车应用的可行性，为老旧矿山机车升级改造与行业绿色智能化发展提供重要实践依据，具备广泛推广价值。

参考文献

- [1] 张勤, 刘明孝. 纯电动矿用卡车在高海拔露天矿山开采中的应用[J]. 四川水力发电, 2025, 44(03): 65-67+93.
- [2] 丁泽严. 露天矿山中电动液压铲的应用与维护管理研究[J]. 中国设备工程, 2024, (22): 53-55.
- [3] 张琳. 露天矿山边坡稳定治理与生态修复技术分析[J]. 中国金属通报, 2023, (04): 147-149.
- [4] 张兴, 梁永劫, 周梦娇, 等. 磷酸铁锂电芯充放电特性研究与探讨[J]. 蓄电池, 2025, 62(01): 21-25.
- [5] 罗磊鑫, 杨力帆, 张兴伟, 等. 磷酸铁锂电芯过充产物实验研究及热失控判断方法[J]. 电工技术, 2023, (23): 45-49.
- [6] 李文轩, 高佑琨, 曹领帝. 表面积对功率型磷酸铁锂电芯性能的影响[J]. 广东化工, 2023, 50(17): 5-7+4.