

某大型轮式装载机“纯电再制造”方案研究

冯永豪¹ 郭骏²

1. 云南华联锌铟股份有限公司, 云南 文山 663000

2. 福建宏大时代新能源科技有限公司, 广东 广州 510000

[摘要]通过对矿山老旧燃油驱动轮式装载机技术性能分析,将额定载重为11.4吨的轮式装载机由柴油发动机驱动改为纯电驱动,在去除原车发动机、变速箱及相关部件后,通过整车合理布置增加动力电池系统、行走电机和液压电机驱动系统等部件,双电机驱动实现行走驱动与工作装置驱动解耦,同时采用交流传动技术、CAN总线通讯和全新整车控制系统对整车进行软硬件适应性改进设计。“纯电再制造”后整车性能与原燃油式轮式装载机基本一致,制动性能实现电制动和机械制动双系统冗余,安全性能高,节能明显,经济效益显著,为唤醒老旧大型轮式装载机的新活力和建设绿色矿山提供参考。

[关键词]轮式装载机; 纯电再制造; 经济性分析; 绿色矿山

DOI: 10.33142/ect.v2i11.14325

中图分类号: TH243

文献标识码: A

Research on the "Pure Electric Remanufacturing" Scheme for a Large Wheel Loader

FENG Yonghao¹, GUO Jun²

1. Yunnan Hualian Zinc & Indium Stock Co., Ltd., Wenshan, Yunnan, 663000, China

2. Fujian Hongda Era New Energy Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: Through the analysis of the technical performance of the old fuel driven wheel loader in mines, the wheel loader with a rated load of 11.4 tons was changed from diesel engine drive to pure electric drive. After removing the original engine, gearbox and related components, the power battery system, walking motor and hydraulic motor drive system were added through the reasonable arrangement of the whole vehicle. The dual motor drive achieved the decoupling of walking drive and working device drive. At the same time, AC transmission technology, CAN bus communication and a new whole vehicle control system were used to improve the software and hardware adaptability of the whole vehicle. After "pure electric remanufacturing", the overall performance of the vehicle is basically the same as that of the original fuel wheel loader. The braking performance realizes dual system redundancy of electric braking and mechanical braking, with high safety performance, obvious energy saving, and significant economic benefits, which provides a reference for awakening the new vitality of old large wheel loaders and building green mines.

Keywords: wheel loader; pure electric remanufacturing; economic analysis; green mines

引言

工程机械行业是我们经济的重要产业之一。2020年,我国工程机械产品在全球销售额居第三位,预计到2025年我国工程机械销售收入突破9000亿^[1]。轮式装载机以其机动性高、操作简单、效率高等特点成为在公路、铁路、港口、矿山等建设工程领域的典型铲运挖掘工程车辆代表。但对于传统柴油驱动的轮式装载机来说,也有不可忽略的缺点,比如噪声大、耗油量高、尾气污染严重等。随着国家对环境的重视程度与日俱增,我国最早在2007年中国国际矿业大会上提出“发展绿色矿业”倡议,在2018年相关部委发布绿色矿山建设标准^[2]。

对于我国露天矿山,大型轮式装载机一直被国外头部工程机械供应商所垄断。针对大型轮式装载机每天长时间作业需要消耗大量燃油现状,且对于老旧大型轮式装载机底盘结构完好无损但柴油机和变速箱依赖进口导致维修保养费用居高不下及进口零配件采购周期长等痛点,对底盘结构状态相对完好的老旧设备进行“纯电再制造”,

对矿山企业是一种较为节省成本的方式,避免引进全新整车一次性投入过高的问题,同时去掉了传动老旧燃油大型轮式装载机进口传动部件的维修保养费用。本文中以额定载重11.4吨的大型轮式装载机为“纯电再制造”目标,为绿色矿山建设提供思路。

1 “纯电再制造”技术分析

1.1 设计目标

“纯电再制造”不同于新产品正向开发,应结合原燃油轮式装载机性能及功能需求,尽量减少对原机部件的改动,分析原燃油轮式装载机重心及载荷分布,在此基础上,对于新增的各种部件需要适应原燃油轮式装载机底盘并进行合理布置,使其再制造前后整车的重心偏移不大。整车技术参数如表1所示。

在满足整车功能需求的前提下,最高车速虽然较原轮式装载机偏小,但轮式装载机实际运行工况基本在原地局部移动进行匹配矿用自卸车装载或短距离转运,并不会长时间高速行驶,因此整车的工作效率并不会因为车速降低

表 1 轮式装载机技术参数

参数名称	再制造前	再制造后	备注
整车自重	53944 kg	≤56444 kg	改造后增重≤2500kg
额定载重	11400 kg	11400 kg	
铲斗容量	6.4 m ³ -7.7 m ³	6.4 m ³ -7.7 m ³	
最高车速	38.6 km/h	22 km/h	较原车偏小,但不影响效率。
发动机净功率	397 kW	/	
最大轮边驱动力	350 kN	350 kN	
行走电机额定功率	/	280 kW	
行走电机制动功率	/	550 kW	
行走电机启动扭矩	/	4770 N.m	
行走电机额定扭矩	/	2335 N.m	
液压电机额定功率	/	315 kW	
液压电机额定扭矩	/	1500 N.m	
液压电机额定转速	/	1900 r/min	
整车外形尺寸	12185×3574×4128mm	8875×4240×4245mm	
机械制动性能	湿式盘制动 (ISO3450)	湿式盘制动 (ISO3450)	执行机构不变
电制动性能	/	满足 GB/T 35196	双制动冗余
整车带电量	/	563 kWh	与现有燃油 9 轮式装载机小时产量相当的情况下可连续工作 4 小时
整机充电时间 (SOC25%~90%)	/	双枪充电时间≤90min 四枪充电时间≤60min	

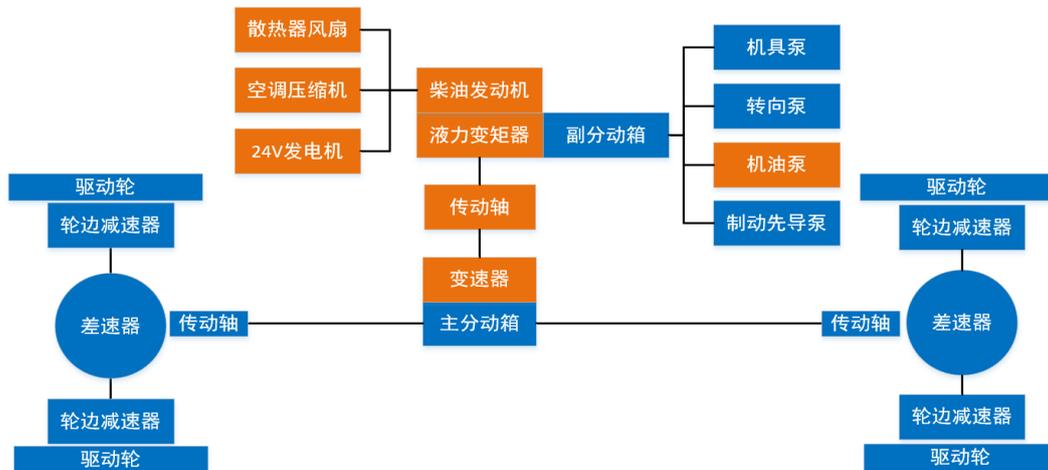


图 1 原车动力传递路线

有明显影响。当需要长距离转运时,可借助辅助车辆进行高效转运。通过“纯电再制造”后,整车牵引性能不低于原车,在机械制动保持不变的前提下增加电制动,实现双制动相互冗余,综合制动性能优于原车,安全性更高。

1.2 总体技术方案

额定载荷为 11.4 吨的燃油轮式装载机,原车为机械传动,前桥总成通过螺栓与前机架直接刚性连接,后桥配置摆动器装置,摆动器装置通过螺栓与后机架刚性连接,

提升整车的通过性。原车动力来源为柴油发动机,柴油发动机通过液力变矩器经传动轴将牵引动力传递给变速箱,变速箱直接与主分动箱机械连接,将牵引动力经主分动箱双轴输出传递给前后桥驱动整车行走。另外,柴油发动机通过液力变矩器经副分动箱将动力分配给机具泵、转向泵、机油泵和制动先导泵,给工作装置高效工作及整机转向制动提供动力。柴油发动机为整车工作唯一动力来源。其动力传递路线如图 1 所示。

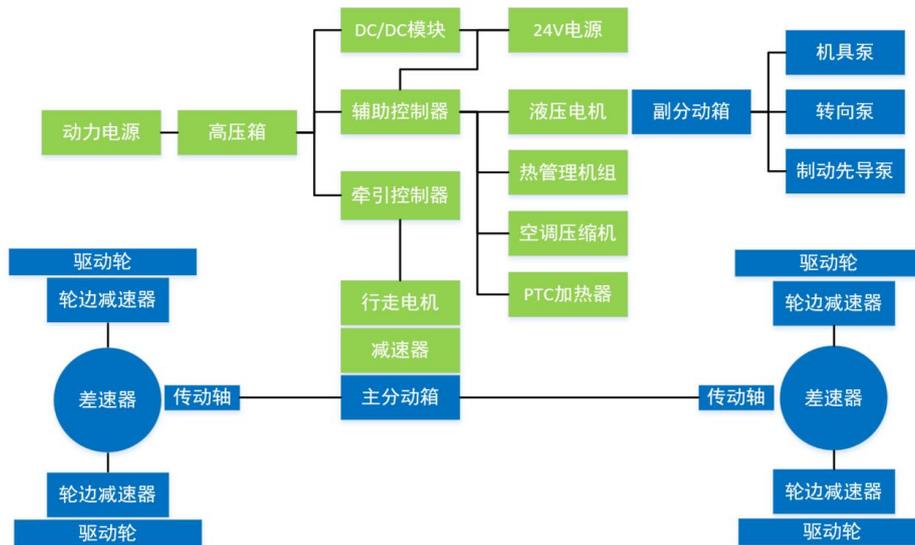


图2 “纯电再制造”后动力传递路线



图3 总体布置示意图

“纯电再制造”技术路线是去除发动机、变速箱及相关部件，增加动力电池系统、电传动系统和辅助驱动系统。电传动系统主电路由动力电池、高压箱、牵引控制器、辅助控制器、DC/DC 充电模块、行走电机和液压电机组成。牵引控制器驱动行走电机，控制车辆行走，辅助五合一控制器控制液压电机。通过“纯电再制造”后，整车为双电机驱动。行走电机通过减速器与主分动箱（相比原车相比去除变速箱）连接，通过主分动箱前后双轴输出将动力传递给前后桥驱动整车行走。液压电机通过原车副分动箱将动力分配给机具泵、转向泵及制动先导泵，保证工作装置高效运转及整车转向和制动功能。该方案都保留了原车的主副分动箱，充分利用原车传动机械部件（简单的齿轮的传动部件），此时原车在副分动箱上的机油泵已经取消，则需封堵副分动箱上的机油泵相关接口即可。“纯电再制造”后的动力传递路线如图2所示。

如图1和图2所示，其中橙色背景部件为去除部件，绿色背景部件为新增部件，蓝色背景部件为保留部件。辅助控制器有多组独立的控制单元，分别控制液压电机、热管理机组、空调压缩机、PTC加热器及24V电源和供电。

“纯电再制造”后，轮式装载机设备布置示意图如图3所示。

2 动力匹配分析

2.1 典型作业工况

轮式装载机用于将货物从料堆装入运输机械或将货物由一地转移至另一地时，其工作过程大体包括：空斗运行、铲取物料、铲斗提升、满斗运行、卸货五个循环作业过程^[3]。不同的作业方式对轮式装载机的动力性和经济性也存在不同的影响。轮式装载机的四种典型作业工况分别为“I”型、“L”型、“T”型和“V”型作业工况，而“V”型作业工况因轮式装载机工作周期短及效率高等特点，应用场合最为广泛，本文基于“V”型作业工况进行详细分析，“V”型作业工况如图4所示。

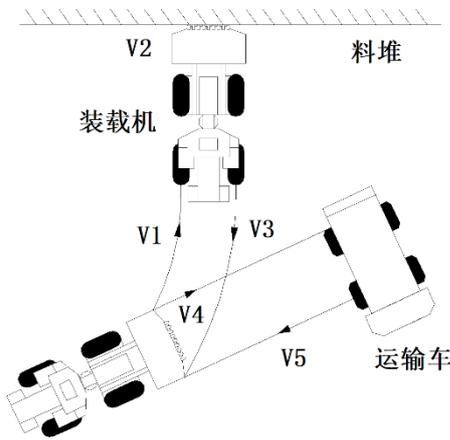


图4 “V”型作业工况示意图

如图4所示,“V”型作业工况其工作方式:轮式装载机朝物料位置推进,前进过程中同时降低动臂,在物料堆位置铲斗刚好放平;然后低速前进推向物料堆,随着插入深度增加阻力也逐步增加,车速逐步降低,其间逐步抬起铲斗直至物料装满铲斗;随后收起铲斗并抬起至运输位置,然后加速后退理物料堆,在合适位置转向运输车并加速驶向运输车,期间动臂逐步提高直至卸料位置,完成卸料;最后收斗加速倒车驶离运输车,在合适的位置转向再次驶向物料堆从而完成一个“V”型循环。其作业特性如表2所示。

表2 “V”型作业工况作业特性

作业阶段	作业过程描述	工作装置运动过程	行驶占比	载荷变化
V1	空斗运行	加速前进,动臂下降	高	空载
V2	铲取物料	降速推进,逐步收铲斗	高到低	逐渐满载
V3	铲斗提升	加速后退,动臂上升	低到高	满载运输
V4	满斗运行	加速前进,动臂上升	高	满载运输
V5	卸料并后退	卸料后,动臂下降,加速后退	高到低	空载

在轮式装载机铲装过程中,铲斗推进物料堆与机床刀具切削金属类似,但工况却复杂得多。在铲装物料的初始阶段,物料受到铲斗刃刀的作用下会逐渐挤压,松散物料逐步密实,在收到铲斗持续推进力后,密实物料会被破坏,随着铲斗的深入,掘进的压力持续增加,形成物料与地面的滑移面从而进入铲斗内^[4-5]。并且在该过程中,物料的松散程度和物料性质的不同所需要的推进力也不尽相同,导致铲装过程中的工况较为复杂。

2.2 牵引制动特性

考虑到轮式装载机作业工况复杂,行走车速不作为主要指标,但行驶作业却要求车速多变且频繁启停、转向及前进后退切换。对行走电机性能要求较高,主要体现在电机启动扭矩较大,有一定的超载能力。轮式装载机在插入物料时存在较大的插入阻力,和车辆行走阻力有本质的区

别。插入阻力是轮式装载机铲斗插入料堆时,料堆对铲斗的反作用力,插入阻力由轮式装载机的行走电机提高力矩。插入阻力的构成较复杂,计算的影响因子较多,“纯电再制造”采用原燃油轮式装载机的相关参数确定插入时行走电机的扭矩需求。

再结合“纯电再制造”后轮式装载机应满足的最大爬坡能力(电机转矩主要克服坡道阻力和滚动阻力)、最高车速及功率平衡等因素^[6],详细核算后,轮式装载机行走电机的牵引特性曲线如图5所示。

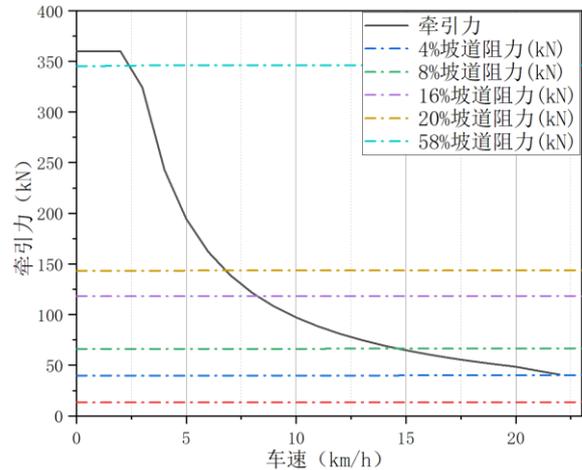


图5 牵引特性曲线

如图5所示,行走电机转速能满足整车最高车速22 km/h对应的设计目标;整车启动牵引力大于58%坡道上阻力,满足满载最大爬坡能力58%的要求;8%坡道上稳定车速可达14 km/h,满足设计目标中不低于13.5 km/h的要求;“纯电再制造”后整车牵引力不低于原车牵引力且采用无级调速的方式控制更为平滑。

另外,整车制动性能由机械制动和电制动双系统组成相互冗余,“纯电再制造”并未改变原车所配置的机械制动,这里不做机械制动分析。整车电制动特性曲线如图6所示。

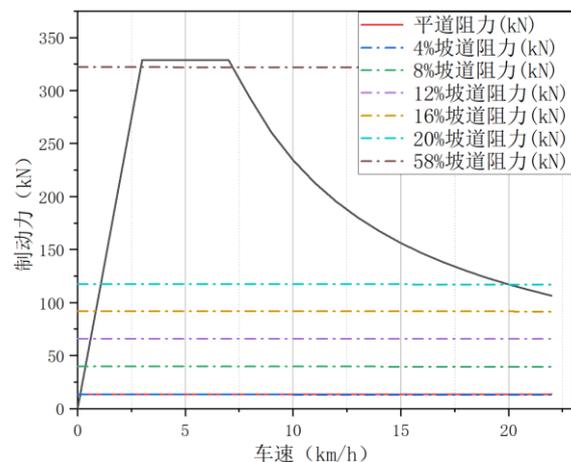


图6 整车电制动特性曲线

如图 6 所示, 轮式装载机满载在 8%下坡道时, 电制动力能保持 22 km/h 的稳定车速; 满载在 16%下坡道时, 电制动力大于以 1~22km/h 速度行驶时下滑力; 满载 58%下坡道时, 电制动力能保持 7km/h 的持续稳定车速。满足行车制动要求, 在行驶过程中将行车制动作为主制动, 大幅减少机械制动接入, 减少机械制动消耗, 进一步降低运输成本。

3 能耗经济性分析

轮式装载机的能源消耗统计较为复杂, 这里统一按照平均油耗进行计算。“纯电再制造”前后能源消耗如表 3 所示。

表 3 “纯电再制造”能源消耗统计

能源形式	能源单耗	能源单价 (人民币)	每天工作时长
柴油	39.23 L/h	6.7 元/L	20 h
电	110 kWh/h	0.4 元/kWh	20 h

说明: 按照每天工作时长 20 h 计算, 考虑到“纯电再制造”后, 在四枪充电的情况下, 每天充电时间约为 2 h, 相当于改造后, 工作效率为燃油轮式装载机的 90%。

如表 3 所示, 按照全年出勤 300 天计算, 燃油轮式装载机燃油消耗 235380 L, 全年消耗燃油费为 1577046 元。“纯电再制造”后, 纯电轮式装载机消耗电量 660000 kWh, 全年消耗电费 264000 元。相比之下, 虽然改造后, 纯电轮式装载机工作效率为燃油轮式装载机的 90%, 但仍然可节省 1313046 元。再结合去掉了柴油发动机和变速箱等进口件, 在能源消耗节省的基础上再省掉了昂贵的维保费, 经济效益明显。

4 结束语

根据能耗经济性分析, 运营方可以进一步优化充电时

间, 如在交接班时充电, 进一步提升纯电轮式装载机的工作效率, 找出工作效率最高工况条件, 进一步增加有效作业时间。通过对原有老旧燃油轮式装载机“纯电再制造”, 可明显降低矿山企业全新轮式装载机的采购支出和维保费用, 有效延长原有燃油轮式装载机的使用寿命, 唤醒老旧大型轮式装载机的新活力。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国环境保护局, 非道路移动机械及其装用的柴油机污染物排放控制要求 (征求意见稿): GB20891-2014[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018: 36-86.
 - [2] 应紫敏, 吴旭, 杨武. 杭州市公交车油改电项目碳排放效益核算[J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6452-6464.
 - [3] 程小康. 纯电动轮式装载机动力系统匹配与再生制动能量回收控制策略研究[D]. 厦门: 厦门理工学院, 2022.
 - [4] 吴传玉. 铲土运输机械铲掘阻力形成机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
 - [5] 中华人民共和国铁道部发布. 装载机司机[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
 - [6] 余志生. 汽车理论(第 6 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- 作者简介: 冯永豪(1988.10—), 男, 云南省文山市, 汉族, 本科, 机械工程师, 就职于云南华联锌铟股份有限公司, 从事矿山工程机械管理工作; 郭骏(1988.8—), 男, 湖北省监利市, 汉族, 硕士研究生, 中级工程师, 就职于福建宏大时代新能源科技有限公司, 从事新能源矿车设计与开发。