

TR100 矿用自卸车油改电技术研究及应用

冯永豪¹ 穆俊杰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, 福建 厦门 510800

[摘要]随着“双碳”政策的逐步实施以及电池技术、电驱动系统及充电基础设施的快速发展, 矿用自卸车油改电技术逐渐成为研究与应用的热点。文中针对 TR100 矿用自卸车油改电的技术路线、油改电后整车参数、新增部件进行了详细说明, 其次对油改电后整车技术特点、理论能耗数据进行了介绍。通过对比 2023 年度运行数据可知, 油改电车辆与 TR100 燃油车年运量基本相同, 但能耗费用仅为燃油车的 9.6%, 油改电后单台车每年可以节约能耗费用约 177 万元, 减少碳排放 521 吨。

[关键词]TR100 矿用自卸车; 油改电; 能耗费用; 碳排放

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14810

中图分类号: TM727

文献标识码: A

Research and Application of Oil to Electricity Technology for TR100 Mining Dump Truck

FENG Yonghao¹, MU Junjie²

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

2. Fujian Hongda Era New Energy Technology Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 510800, China

Abstract: With the gradual implementation of the "dual carbon" policy and the rapid development of battery technology, electric drive systems, and charging infrastructure, the technology of converting mining dump trucks from oil to electricity has gradually become a hot topic in research and application. The article provides a detailed explanation of the technical route, vehicle parameters, and new components of the TR100 mining dump truck after oil to electricity conversion. Secondly, the technical characteristics and theoretical energy consumption data of the vehicle after oil to electricity conversion are introduced. By comparing the operating data for the year 2023, it can be seen that the annual transportation volume of electric vehicles converted from gasoline to electric vehicles is basically the same as that of TR100 fuel vehicles, but the energy consumption cost is only 9.6% of that of fuel vehicles. After the oil to electric conversion, a single vehicle can save about 1.77 million RMB in energy consumption costs and reduce carbon emissions by 521 tons per year.

Keywords: TR100 mining dump truck; oil to electricity; energy consumption cost; carbon emission

引言

在当今全球能源结构转型与环境保护的大背景下, 减少化石燃料依赖、降低碳排放已成为各个行业发展的共识。采矿业作为能源消耗和环境影响显著的领域, 其运输装备的绿色化改造尤为关键。矿用自卸车是大型露天矿山的主要运输装备, 承担着世界上约 40% 的煤炭、90% 的铁矿石的开采运输任务^[1], 矿用自卸车作为露天矿场不可或缺的运输工具, 该车的工作特点是运程短, 承载重, 频繁上下坡, 往返于采掘点和卸料点^[2]。传统燃油驱动模式不仅消耗大量柴油, 而且排放大量的二氧化碳和其他有害物质, 对矿区生态环境及全球气候变化构成挑战。近年来, 随着“双碳”政策的逐步实施, 低碳化将成为露天矿开采的重要方向^[3], 同时电池技术、电驱动系统及充电基础设施的快速发展, 矿用自卸车油改电技术逐渐成为研究与应用的热点。这一技术革新不仅能够显著降低运营成本, 提高能源利用效率, 还能大幅度减少污染物排放, 符合国家节能减排政策与可持续

发展目标。油改电技术不仅涉及车辆动力系统的根本性变革, 还包括对矿山作业流程、能源供应体系及维护保养模式的全面优化。

1 TR100 矿用自卸车油改电技术说明

TR100 矿用自卸车原车自重 68.6 吨, 额定载重 91 吨, 采用康明斯 KTA38-C1050 发动机, 发动机功率 783kW, 采用艾里逊 H8610AR 变速箱。整车油改电时将柴油机驱动改造成为动力电源驱动, 采用交流传动技术, 实现车辆制动能量的自动回收。油改电过程中主要去除的部件有发动机、发动机附属件(散热器、进排气管路、燃油箱、燃油管路、发动机线束等)、变速箱、变速箱附属件(变速箱冷却器、变速箱控制器、变速箱管路、线束等), 主要增加的部件包括动力电池系统及电池热管理机组、主变流器、辅助变流器、牵引电机、辅助电机等部件, 同时对驾驶室进行改造, 去除原车仪表、换挡手柄、控制器等部件, 新增液晶仪表、控制手柄、整车控制器及数据记录仪等部件。改造前后动力系统拓扑图如下图 1 所示。

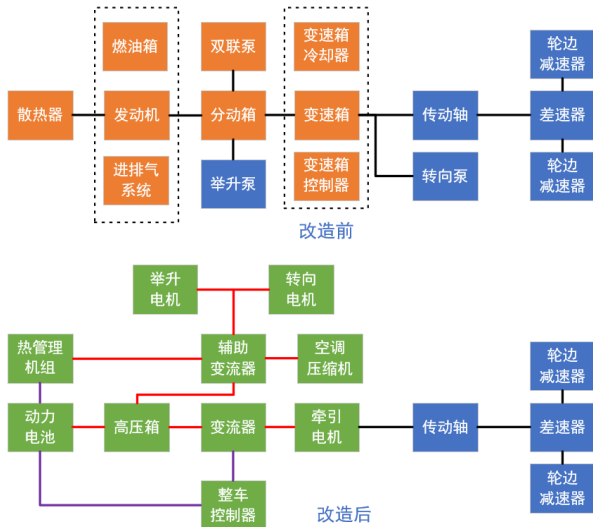


图1 改造前后动力系统拓扑图

油改电后整车参数如下表1所示。

表1 整车参数表

项点	参数说明
整车自重	69200kg
额定载重	91000kg
带电量	793kWh
充电时间	≤50min (SOC25%~95%)
整车外形尺寸	10830×5150×4850mm
最小转弯半径	12.2m
最小离地间隙	815mm
最大爬坡度	20%
牵引性能	满载8%坡道爬坡稳定车速≥13.5km/h
制动性能	满载平直道上制动距离≤18.75m

油改电后整车如下图2所示。



图2 改造后整车实物图

动力电源系统主要由动力电池包、高压箱(内含电源系统控制盒)、充电箱、热管理机组4部分组成。电源系统的功能是为整车用电设备提供电能,同时,在整车进行电制动时吸收回馈回来的电能。整车采用磷酸铁锂电池,

共安装了24个动力电池箱,为了实现改造前后整车重心基本保持不变,在原车发动机舱位置安装16个电池箱,在原车燃油箱位置安装8个电池箱。动力电池箱采用6串4并的电路连接方式,额定电压869V,额定容量912Ah。动力电池采用水冷方式,匹配制冷功率24kW热管理机组,电源系统采用4枪充电,最大充电电流达到800A,可以在50分钟内将动力电池电量从25%充到95%。

主变流器的功能是牵引状态下将动力电池提供的直流电转换为电压、频率可调的交流电供给牵引电机供电;电制动状态下将牵引电机产生的交流电整流为直流电送给动力电池。主变流器安装在驾驶室右侧的平台上,采用水冷方式,与辅助变流器共用一套散热系统。

辅助变流器将动力电池提供的直流电逆变成交流电为举升电机、转向电机供电,同时通过DC/DC降压到600V后为空调压缩机、热管理机组供电。另外,将直流电降压到24V,为整车24V用电设备供电,同时为24V蓄电池充电,辅助变流器采用水冷方式。

牵引电机采用交流异步牵引电机,额定功率为680kW,电制动功率1280kW,采用强迫风冷方式。牵引电机安装在原车变速箱位置,牵引电机输出轴与后传动轴连接,牵引工况下牵引电机的主要功能是将变流器提供的交流电变成机械转矩,通过后桥差速器、轮边减速器后传递给车轮,驱动整车前进。电制动状态下,作为发电机将整车的制动能量转换为电能,为整车提供制动力,让车辆减速。

2 油改电后整车技术特点及能耗分析

2.1 采用牵引电机直驱系统

整车采用电机直驱系统,减去了变速箱传动带来的能量损耗,驱动效率高,避免了变速箱需要定期维护保养的问题,同时,整车输出动力更加线性,避免了变速箱换挡顿挫。

整车改造后采用电驱动方式,保留原有机机械制动系统,增加电制动系统,改造后整车牵引特性曲线如下图3所示。

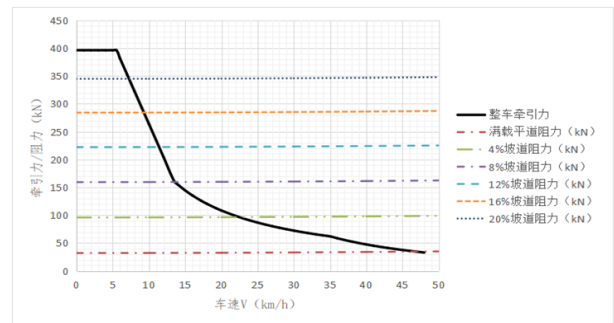


图3 整车牵引特性曲线

2.2 大功率电制动回馈技术

100吨级矿用直驱电机电制动功率为1280kW,且此功率为可持续使用功率,可以满足车辆满载在16%坡道上制动需求。改造后整车电制动特性曲线如下图4所示。

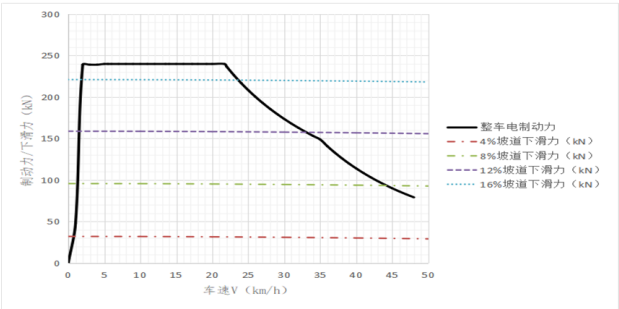


图 4 整车电制动特性曲线

2.3 整车 PID 控制节能技术

根据压力、温度值采用 PID 控制技术，降低辅助系统能耗损失。转向泵电机采用压力控制技术，根据系统压力调节驱动电机转速，有效减少系统能耗；冷却风机采用变频调速，根据电传动部件温度调节冷却风机转速；在满足冷却需要的前提下，尽可能降低运行能耗；采用油水冷却器，通过冷却水将液压油的热量带走，空调开启加热模式的情况下，可以将液压油加热的热水进入空调室内机，为驾驶室提高热量，减少电加热的使用，从而实现节能的目的。

2.4 改造后整车能耗分析

相比燃油车，油改电完成后车辆采样电制动功能可以

将刹车时产生的能量变成电能给动力电池充电，重载下坡工况下可以回收较多的能量，且在不超过整车电制动能力的坡道范围内，平均坡道越大能耗越低。通过仿真计算，车辆不同坡度下的能耗数据如下所示，其中，TR100 车辆运输方量按照单车实方 36 方计算，道路滚阻系数按照 0.02 计算。

3 TR100 矿用自卸车油改电经济及社会效益分析

3.1 经济效益分析

参考 2023 年 25 台 TR100 燃油车实际运行统计数据，车辆年平均运行小时数约 5600 小时，设备完好率约 87%，设备出勤率约 73%，车辆行驶运距约 3 公里，年平均运行里程约 7.8 万公里，平均年运量约 140 万方公里，车辆能耗数据为 0.2kg/m³.km。

第一台 TR100 矿用自卸车油改电车辆已投入运行 2 年以上，参考 2023 年车辆运行数据，车辆行驶运距约 3 公里，在平均坡度 3%~4%的重载下坡工况下车辆年运行小时数基本与 25 台燃油车平均运行时间相同，年充电时间 630 小时左右，车辆设备完好率约 91%，相比燃油车提升 4%，年运量约 142 万方公里，略高于燃油车，车辆能耗数据为 0.3kWh/m³.km。

表 2 重载下坡空载上坡能耗计算值

平均坡度	单公里空载上坡能耗 (kWh)	单公里重载下坡能耗 (kWh)	单公里总能耗 (kWh)	SOC 变化值	方公里能耗 (kWh/m ³ .km)
0%	6.50	14.18	20.68	2.61	0.574
2%	11.13	1.88	13.01	1.64	0.361
3%	13.44	-4.27	9.17	1.16	0.255
4%	15.74	-7.80	7.94	1.00	0.221
5%	18.05	-12.60	5.45	0.69	0.151
6%	20.35	-14.55	5.80	0.73	0.161
8%	24.93	-22.67	2.26	0.28	0.063
10%	29.72	-30.63	-0.91	-0.12	-0.025
12%	34.46	-38.33	-3.87	-0.49	-0.108
16%	43.99	-53.31	-9.33	-1.18	-0.259

表 3 重载上坡空载下坡能耗计算值

平均坡度	单公里空载上坡能耗 (kWh)	单公里重载下坡能耗 (kWh)	单公里总能耗 (kWh)	SOC 变化值	方公里能耗 (kWh/m ³ .km)
0%	6.50	14.18	20.68	2.61	0.574
2%	1.78	26.47	28.25	3.56	0.785
3%	0.24	32.97	33.20	4.19	0.922
4%	-1.30	39.37	38.07	4.80	1.058
5%	-2.83	45.87	43.04	5.43	1.196
6%	-4.36	52.34	47.97	6.05	1.333
7%	-5.89	58.90	53.01	6.69	1.473
8%	-7.42	65.29	57.87	7.30	1.607
10%	-10.46	78.19	67.73	8.54	1.881
12%	-13.49	91.41	77.92	9.83	2.165
16%	-19.22	116.07	96.85	12.21	2.690

参照油改电车辆所在矿区柴油价格为 7 元/kg, TR100 燃油车能耗费用为 1.4 元/m³. km, 单台车年燃油费用为 196 万元。车辆所在矿区电价为 0.43 元/kWh, 充电过程中变压器、充电桩效率损耗合计约 4%, 则可以计算出油改电车辆能耗费用为 0.134 元/m³. km, 能耗费用约为燃油车的 9.6%, 通过车辆油改电, 单台车每年可以节约能耗费用约 177 万元。

3.2 社会效益分析

根据 2023 年统计数据, 一台燃油车每年消耗柴油约 280 吨左右, 由此可以生产 882 吨的二氧化碳排放, 若矿区电力采用绿电, 则每年每台车可以减排 882 吨二氧化碳排放, 若矿区电力为火力发电, 参考目前我国火力发电行业数据, 每度电产生的二氧化碳约为 0.86kg, 车辆年耗电量约为 42 万度电, 产生二氧化碳 361 吨, 则每年每台车可以减排 521 吨二氧化碳排放。

另外, 目前 TR100 燃油车发动机、变速箱仍然属于进口部件, 利用国内电机、电控自主知识产权技术及产品, 取代进口发动机、变速箱总成件, 打破进口部件价格垄断及供货周期困境, 可以有效解决大功率发动机、变速箱“卡脖子”问题。

4 结束语

本文旨在深入探讨矿用自卸车油改电技术的最新进展, 从技术原理、系统架构、能效分析、经济性评估及实际应用案例等多个维度展开论述, 揭示油改电技术在提升矿山作业经济效益、环保性能及促进采矿行业绿色转型方面的潜力与挑战, 为矿业企业的技术革新与政策制定提供参考, 推动构建更加绿色、高效的采矿运输系统。

[参考文献]

- [1]冯彦彪, 邵俊恺, 杨珏, 等. 矿用自卸车新能源技术研究现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2023(6): 343-349.
 - [2]赵波等. 交流传动电动轮自卸车结构与设[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
 - [3]王忠鑫, 辛凤阳, 陈洪亮, 等. 我国露天矿智能运输技术现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6): 15-26.
- 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; 穆俊杰(1989.7—), 男, 广东省广州市, 汉族, 大学本科, 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。