

新能源矿用自卸车发展现状及未来趋势研究

穆俊杰

福建宏大时代新能源科技有限公司, 福建 厦门 510800

[摘要]矿用自卸车是重载运输领域的关键装备, 传统机型依赖柴油机, 存在高能耗、高排放等缺陷。在“双碳”目标与政策引导下, 新能源矿用自卸车成为矿业绿色转型核心载体, 呈现智能化、电动化、无人化发展趋势。文中分析其发展方向: 整车层面趋向简统化、集群化, 关注运输系统整体效率; 能量单元形成锂电池与换电、架线、燃料电池、增程器多元组合的技术路线; 传动系统按载重量分级差异化发展, 百吨级以下聚焦经济性, 百吨级以上侧重高性能与核心部件国产化。未来, 随着技术成熟与产业链完善, 新能源矿用自卸车将实现全工况运行, 推动矿业运输效率变革与高质量发展。

[关键词]新能源矿用自卸车; 智能化; 电动化; 无人化; 简统化; 集群化

DOI: 10.33142/ect.v3i10.18187 中图分类号: TP273 文献标识码: A

Research on the Development Status and Future Trends of New Energy Mining dump trucks

MU Junjie

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

Abstract: Mining dump trucks are key equipment in the field of heavy-duty transportation. Traditional models rely on diesel engines and have defects such as high energy consumption and high emissions. Under the guidance of the "dual carbon" goals and policies, new energy mining dump trucks have become the core carrier of green transformation in the mining industry, showing a trend of intelligent, electric, and unmanned development. The article analyzes its development direction: towards simplification and clustering at the vehicle level, focusing on the overall efficiency of the transportation system; The technology route of forming multiple combinations of energy units such as lithium batteries, battery swapping, overhead lines, fuel cells, and range extenders; The development of electric transmission systems is differentiated according to load capacity, with a focus on economy below the hundred ton level and high performance and localization of core components above the hundred ton level. In the future, with the maturity of technology and the improvement of the industrial chain, new energy mining dump trucks will achieve full operating conditions, promoting the transformation of mining transportation efficiency and high-quality development.

Keywords: new energy mining dump truck; intelligentization; electrification; unmanned; simplification; clustering

1 概述

矿用自卸车作为露天矿山开采链中的核心运输设备, 其运行效率直接决定矿山产能规模, 据行业统计数据显示, 全球范围内 40% 的煤炭资源、90% 的铁矿资源开采运输任务由矿用自卸车承担^[1]。与此同时, 在大型水利枢纽建设、跨区域交通基建、露天冶金矿场等重载运输场景中, 矿用自卸车也发挥着不可替代的作用, 成为重载特种运输领域的关键装备。

传统矿用自卸车长期依赖柴油机作为核心动力源, 存在能耗强度高、污染物排放量大、噪音污染严重等固有缺陷。数据表明, 单台百吨级传统矿用自卸车年均燃油消耗量可达数百吨, 同时排放大量一氧化碳、氮氧化物及颗粒

物, 与当前全球“碳达峰、碳中和”战略目标存在显著冲突。新能源矿用自卸车作为传统机型的升级替代方案, 核心特征是采用锂电池、燃料电池等清洁能源作为动力源, 通过电传动系统实现动力输出, 具备低碳环保、运维成本低、运行噪音小等突出优势, 已成为矿业绿色转型的重要方向。

政策层面的引导为新能源矿用自卸车发展提供了重要支撑。2020 年 10 月 20 日, 国务院办公厅印发《新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)》^[2](下文简称《发展规划》), 明确提出“电动化、网联化、智能化成为汽车产业发展的潮流和趋势”。矿用自卸车作为汽车领域的重要特种车型, 其技术发展路径与新能源汽车产业整体趋

势高度契合，必将借助产业发展东风实现加速升级。《发展规划》特别指出，“2025 年高度自动驾驶汽车将实现限定区域和特定场景商业化应用”，而矿区作为典型的封闭限定区域，作业场景相对固定、行驶路线可预判、交通参与者者单一，具备自动驾驶技术落地的天然优势，矿用自卸车有望成为率先实现自动驾驶商业化应用的特种车型之一。

2 新能源矿用自卸车发展方向

2.1 整车发展趋势

结合政策导向与矿区实际需求，新能源矿用自卸车“智能化、电动化、无人化”三位一体的发展方向已形成行业共识。与新能源乘用车相比，矿用自卸车应用场景高度聚焦，作业流程标准化程度高，且矿区封闭环境可有效降低自动驾驶技术面临的复杂路况挑战，预计其自动驾驶商业化应用进程将领先于新能源乘用车，部分头部企业已在国内大型露天矿山开展无人化车队示范运营，验证了技术可行性。

技术创新层面，整车集成技术将成为核心突破点。未来将逐步构建新一代模块化高性能整车平台，重点推进底盘一体化设计，实现车架、车桥、电驱系统、储能单元的深度集成，提升整车结构紧凑性与空间利用率。同时，多能源动力系统集成技术将持续升级，通过优化动力源匹配逻辑、提升能源转换效率，进一步强化电池管理系统（BMS）的精准控制能力，完善充电连接安全防护机制，优化车身结构抗冲击、抗重载设计，全面提升新能源矿用自卸车的综合性能与运行安全性。

在整车规格方面，“大型化崇拜”已逐步被理性发展理念取代，“简统化、集群化”成为新的发展趋势。传统矿用自卸车载重量分级繁杂，仅百吨以下就有 35t、45t、55t、91t 等多个系列，百吨级以上更是涵盖 108t、120t、154t、170t、190t、220t、280t、320t、360t 等十余种规格^[3]，导致车型通用性差、备件储备成本高、车队调度难度大。随着智能化、无人化技术的成熟，矿区运输模式将从“单台重载”向“集群协同”转变，通过多台智能车辆的周密调度与协同作业，可实现运输效率的提升与运营成本的降低。在此背景下，整车规格型号将逐步简统，预计仅保留 3~5 个核心载重等级，覆盖主流矿区作业需求。与此同时，行业关注重心将发生根本性转变，从单一车辆的运载效率、动力性能，转向整个运输系统的协同效率、综合运营成本及安全管控水平，车队智能化调度系统、运输路径优化算法等将成为行业竞争的核心焦点。

2.2 能量单元发展趋势

能量单元是决定新能源矿用自卸车续航能力、适用工况及运营成本的核心组件，结合当前技术成熟度与矿区实际需求，未来将形成多技术路线并行发展的格局，核心围绕锂电池与其他能源形式的组合应用，破解单一储能模式的局限性。

2.2.1 锂电池能源单元+换电技术

当前新能源矿用自卸车主流采用磷酸铁锂电池，以能量型磷酸铁锂电池为主，其能量密度已可达 180~220Wh/kg。该类型电池具备成本相对低、热稳定性好、循环寿命长等优势，在新能源大巴、重型卡车等重载领域应用广泛。但受限于现有能量密度水平，其输出功率难以满足矿区长距离重载上坡工况的动力需求，目前更多应用于重载下坡占比高、作业半径小的矿区场景。

换电技术的发展为破解锂电池续航瓶颈提供了有效路径。新能源矿用自卸车可搭载 1~2 个便携式储能单元，当电量降至预设阈值时，行驶至矿区换电站，通过自动化换电设备在 5min 内完成储能单元更换，大幅缩短补能时间，接近传统柴油车加油效率。更换后的储能单元在换电站内进行集中充电、安全检测及常规保养，实现电池全生命周期的规范化管理。预计未来 3~5 年，随着换电技术的成熟与行业标准的完善，将出现通用性强的标准化储能单元，实现不同品牌、不同型号新能源矿用自卸车的跨品牌适配，推动整车与储能单元的彻底分离。这种模式下，矿山企业可采用“车电分离”的运营模式，降低初始购车成本，同时由专业机构负责电池的维护与回收，进一步提升运营经济性与安全性。

2.2.2 锂电池能源单元+特定区域架线

针对矿区特定路段（如主干爬坡道、长距离连续上坡路段）动力需求大的问题，“锂电池+特定区域架线”的组合技术路线具备显著适配性。该路线通过在矿区高能耗路段架设接触网，车辆行驶至该区域时，通过受电弓接入架线电网，直接获取动力能源满足牵引需求，同时为车载锂电池进行快速充电。与能量型锂电池不同，该场景下可以采用功率型锂电池，其核心优势是充电速度快、充放电循环稳定性好，可适配架线路段的快速补能需求。

采用该技术路线后，车载锂电池装载量可减少 30%~50%，有效降低整车自重与购车成本；在非架线路段，车载锂电池可独立为车辆提供动力，实现全路况连续作业。目前，部分露天煤矿已开展该模式的试点应用，通过在核心爬坡道架设架线，有效解决了重载上坡动力不足的问题，

经测算可降低能耗成本 20% 以上,具备良好的推广前景。

2.2.3 锂电池能源单元+燃料电池

《发展规划》明确将氢燃料电池列为新能源汽车产业未来重要发展方向,在矿用自卸车领域,燃料电池主要以增程器形式存在,通过氢气与氧气的电化学反应持续为锂电池储能单元充电,提升车辆续航里程与复杂工况适配能力。该技术路线可有效破解锂电池单一储能的续航局限,尤其适用于作业半径大、无固定补能点的偏远矿区。

当前燃料电池技术仍面临多重瓶颈:一是核心技术不成熟,电堆寿命较短,难以满足矿用自卸车年均 4500~5500h 作业需求,且抗震性、耐低温性有待提升,无法适配矿区复杂的振动、温差环境;二是氢能源产业链不完善,制氢成本居高不下,远高于燃油成本,且加氢站建设投资大、运营维护难度高;三是安全性认知不足,矿区作业环境复杂,氢燃料的储存、运输及加注环节的安全管控难度较大,市场认可度有待提升。短期内,该技术路线仍处于研发验证阶段,大规模商业化应用尚需 5~8 年的技术突破与产业链完善。

2.2.4 锂电池能源单元+增程器方案

“锂电池+发动机增程器”是当前技术成熟度较高、适配性较强的技术路线,本质上属于增程式电动矿用自卸车。其核心逻辑是保留小型柴油机作为增程器,柴油机仅用于驱动发电机发电,为锂电池充电,或在极端工况下与锂电池协同驱动整车;常规工况下,由锂电池单独驱动车辆行驶,实现纯电运营。

该技术路线具备三大核心优势:一是动力系统稳定性高,可有效规避单一锂电池储能的续航风险,适配各类矿区工况;二是成本优势显著,由于增程器仅需满足发电需求,功率可大幅降低(较传统柴油机车柴油机功率降低 40%~60%),可采用国产高性能柴油机,摆脱对康明斯、MTU 等国外品牌柴油机的依赖,降低核心部件采购成本;三是能耗成本较低,常规工况下纯电运营可降低能耗成本 30%~40%,极端工况下增程器介入可保障作业连续性,实现经济性与可靠性的平衡。目前,该技术路线已在国内多个矿区实现规模化应用,是当前新能源矿用自卸车的主流技术方案之一。

2.3 电传动系统发展趋势

电传动系统是新能源矿用自卸车的动力核心,其技术路线与整车载重等级、适用工况高度相关。结合当前行业技术发展现状,未来将形成“百吨级以下”与“百吨级以上”差异化发展的格局,分别聚焦经济性与高性能。

2.3.1 100t 级以下新能源矿用自卸车

额定载重 100t 级以下新能源矿用自卸车以纯电动宽体自卸车为核心发展方向,主打经济性与通用性,主要适配中小型露天矿山、基建工程等场景。自 2018 年行业启动纯电动宽体自卸车研发以来,徐工、三一重工、同力重工、柳工、临工重机、山推股份等 6 家主流工程机械企业已先后发布样车,并实现批量投产,市场渗透率逐年提升。

技术层面,该级别车型普遍采用 750V 以下低压电压平台,电传动系统直接借鉴新能源商用车成熟技术,电机控制器(MCU)采用汽车级标准模块,具备成本低、通用性强、供应链成熟等优势。当前主流电传动系统(含电机控制器、牵引电机、变速箱)整套成本价格较低,具备良好的经济性。从性能参数来看,该系统单电机最大功率达 350kW,可满足额定载重 100t 级以下车型的动力需求。但受限于电压平台与车桥空间,该系统存在明显局限性:若应用于 100t 级及以上车型,需提升输出功率,必然导致电流大幅增加,进而引发热量损耗激增、系统效率下降等问题;同时,宽体车车桥空间有限,无法搭载轮边电机实现动力分散,难以满足重载车型的动力需求,因此仅适用于 100t 级以下车型。

2.3.2 100t 级以上新能源矿用自卸车

额定载重 100t 级以上新能源矿用自卸车主要适配大型露天矿山重载运输需求,对动力性能、可靠性、安全性要求极高,其电传动系统以传统矿用电传动技术为基础,结合新能源技术进行升级优化,主流采用 4×2 或 4×4 驱动形式,根据牵引电机安装位置可分为动力集中式与动力分散式两种模式。

动力集中式驱动将牵引电机置于车架中部,通过传动轴将动力传递至车桥,技术成熟度高、维护难度低,当前已在部分百吨级以上新能源矿用自卸车中应用。为满足动力需求,该模式需采用高压电压平台,可借鉴现有大吨位电传动自卸车的 1500V 电压平台技术,适配成熟的电传动系统部件,降低技术研发风险。动力分散式驱动则将牵引电机直接置于轮边,实现动力的直接输出,具备动力响应快、传动效率高、整车布局灵活等优势,是未来核心发展方向。尤其在无人化技术落地后,车辆可取消驾驶室,实现整车前后驱动无差别设计,通过轮边电机全轮驱动提升行驶稳定性与越野性能,适配矿区复杂路况。

当前,100t 级以上新能源矿用自卸车电传动系统仍面临核心部件国产化率不足的问题,部分高端牵引电机、电机控制器依赖进口。未来,随着国内高端装备制造业的升级,核心部件国产化将成为重点突破方向,通过技术创新

降低成本、提升可靠性,推动大吨位新能源矿用自卸车的规模化应用。

3 结语

展望未来,随着技术的不断成熟与产业链的持续完善,新能源矿用自卸车将实现全工况稳定运行,其应用场景将从相对单一的场景逐步拓展至全场景使用。一方面,其将有效降低矿区运输能耗与污染物排放,助力矿山实现碳减排目标,改善作业环境;另一方面,通过与智能化矿山系统的深度融合,实现运输环节与开采、装卸等环节的协同联动,推动矿业运输行业实现效率变革与质量提升。相信在政策支持、技术创新与市场需求的共同驱动下,新能源矿用自卸车将逐步替代传统柴油机型,成为矿业运输的主

流装备,为绿色矿业建设提供强劲支撑,助力实现矿业行业的可持续发展。

〔参考文献〕

- [1] 李勇,杨耀东,马飞.矿用电动轮自卸车的概况及未来发展趋势[J].矿山机械,2010,38(14):10.
- [2] 国务院办公厅.新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)[Z].2020-11-02.
- [3] 赵波.交流传动电动轮自卸车结构与设计[M].北京:中国铁道出版社,2013.

作者简介: 穆俊杰 (1989.7—), 男, 广东省广州市, 汉族, 大学本科, 高级工程师, 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。