

doi:10.13582/j.cnki.1674-5876.2023.03.011

# 大型露天矿山运输车辆电动化技术

齐连军<sup>1</sup>, 邱增华<sup>2</sup>, 金斌<sup>2</sup>, 杨绍波<sup>2\*</sup>,  
院鹏春<sup>1</sup>, 董陆军<sup>1</sup>, 李文磊<sup>1</sup>, 徐振博<sup>1</sup>

(1. 内蒙古霍林河露天煤业股份有限公司, 内蒙古 通辽 028000; 2. 湘电重型装备有限公司, 湖南 湘潭 411101)

**摘要:** 大型矿山运输车辆电动化是新能源矿卡领域重要的研究方向之一, 对改善能源和环境问题, 推动我国大型运输矿卡供给结构性改革有重大意义. 分析大型露天矿山运输车辆电动化的发展前景, 并传统燃油矿卡和电动轮矿卡进行对比; 对传统燃油矿卡设备存在的问题进行剖析, 分析其局限性; 从电动矿卡研发的几个关键方面分析矿卡电动化技术的发展趋势, 认为矿卡运输行业实现车辆驱动技术更新及露天矿山领域电动化有利于推动矿山运输行业向绿色、低碳、节能、环保方向发展.

**关键词:** 纯电动矿卡; 新能源; 环境; 节能

**中图分类号:** TM921.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-9102(2023)03-0075-04

## Electric Vehicle Transport Technology in Large Open Pit Mines

QI Lianjun<sup>1</sup>, QIU Zenghua<sup>2</sup>, JIN Bin<sup>2</sup>, YANG Shaobo<sup>2</sup>, YUAN Pengchun<sup>1</sup>,  
DONG Lujun<sup>1</sup>, LI Wenlei<sup>1</sup>, XU Zhenbo<sup>1</sup>

(1. Huolinhe Opencut Coal Industry Corporation Limited of Inner Mongolia, Tongliao 028000, China;

2. Xiangdian Heavy Equipment Co., Ltd., Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** Electric vehicle transportation for large mines is one of the important research directions in the field of new energy vehicles, which has a very important impact on alleviating energy and environmental pressure and promoting the sustainable development of China's large transport vehicle industry. In this paper, the development prospect of electric truck transportation in large open pit mines is analyzed and introduced firstly by comparing with traditional oil-fired mine trucks and electric wheel mine trucks. Then the problems existing in the traditional oil mine automobile equipment and its limitations are analyzed. Then the development trend of electric vehicle technology in mine is introduced from several key areas of electric vehicle research and development. The realization of vehicle driving technology and electrification in open-pit mine is beneficial to the development of mine transportation in the direction of green, low-carbon, energy-saving and environmental protection.

**Keywords:** electric dump truck; new energy; environment; energy saving

矿用自卸车工作环境复杂, 行驶的道路条件差, 路面坡度大, 通常达到 6%~10%. 最早的矿用自卸车传动方式为机械传动, 经发展改进, 传动方式又出现了电传动(也称电动轮)方式. 机械传动零件结构复杂, 故障率高, 使用及维护成本也高; 电传动改进了机械传动的不足, 而且还具有较强的爬坡能力、更高的工作效率及更好的经济性. 电动轮矿用自卸车由于其明显的优势迅速占领了大吨位及超大吨位的矿用自卸车市场. 但是, 现有矿用自卸车无论其动力传动形式如何, 都是采用内燃机驱动, 存在能源消耗与环境污染等问题.

收稿日期: 2021-10-05

\* 通信作者, E-mail: 420018604@qq.com

湘电集团在2021年6月成功下线全球首台120吨级纯电动交流传动矿用电动轮自卸车,该产品采用宁德时代生产的磷酸铁锂动力电池,具有高比能、续航长的优点,充电一次可持续工作6~7h;Elektro Dumper公司基于小松HB 605-7自卸卡车打造了一辆全新的矿卡,现应用于瑞士一家采石场中,该车改进了小松HB 605-7自卸卡车的动力性能,搭载制动回收技术,能实现下坡自动充电;湖州宏威新能源矿卡公司改装一辆全新的纯电矿卡,优化了非公路宽体自卸车的车身结构,使得整车重量降低,同时对车辆的充电技术进行升级,可实现车辆快速充电,与矿山运行节拍吻合.纯电动矿用自卸车具备制动能量回收系统,重载情况下频繁的制动产生大量的电动能被存储在电池内,使矿卡的续航得以延续<sup>[1]</sup>.车载能源装置是纯电动矿卡的核心部件,其性能参数很大程度地影响矿卡的动力性能和续航等关键性指标.

与传统燃油矿卡相比,纯电动矿用自卸车更具发展潜力,其动力传动路线更为简洁,传动效率及能量利用率更高,同时机构简单、载重量大、爬坡能力强、节能环保等优点也满足绿色发展的需求<sup>[2]</sup>.

## 1 传统燃油设备面临的主要问题

绝大多数矿山企业为节约成本而采用传统机械传动矿卡,但是该设备的缺陷也限制企业的经济效益<sup>[3]</sup>.首先,机械传动矿用自卸车工作效率低,使用不方便,难以适应当今矿山生产及运输的需求;其次,矿山工程作业环境恶劣,作业周期长,工作人员薪酬水平相对较高,导致企业人力成本增加;再者,机械传动式矿用自卸车柴油单耗成本高,占运输总成本的一半左右<sup>[4]</sup>.

### 1.1 燃油设备维修问题

矿山工程通常采用重型自卸矿卡作为运输设备,这对矿卡发动机和庞大复杂的传动系统要求更苛刻.一旦设备出现损坏,维修成本较高,其中发动机维修工艺复杂、技术难度大、耗时长,在百万吨级别的矿卡中,发动机维修费用占整车的20%<sup>[5-6]</sup>;若重新购买整车,成本更高.此外,柴油机机械控制难度大,设备使用、维护及管理成本也大<sup>[7]</sup>.

### 1.2 燃油矿卡能耗高、污染严重

随着全球石油消耗量急剧增加,石油资源不断减少,环境污染及温室效应凸显等问题也限制了燃油矿卡的发展.在矿山作业中,大马力发动机油耗偏高,对环境破坏严重.此外,矿山作业中矿场开采深度会随着工程的进行不断增加,矿卡的爬坡高度也将攀升,工作难度也不断加大,因此油耗也会急剧增加<sup>[8]</sup>.高性能的工程矿卡必然带来大量的尾气,矿山的空气、土壤、水源及员工的健康都将受到威胁.

### 1.3 燃油矿卡无法进行能量回收

对于纯电动矿用自卸车而言,纯电矿用自卸车能利用下坡或者制动运行工况牵引电机转化为发动机,将势能或者动能转化为电能,优先对蓄电池充电,多余的电量将消耗到制动电阻栅,以热能形式释放到空气中.这样的再生制动系统能减少能量损耗,存储的能量可延长矿用自卸车的续航里程.而传统燃油矿用自卸车没有搭载蓄电池等存储能量的装置,因而无法对制动或者下坡工况下的动能或势能进行回收.

### 1.4 燃油矿卡结构复杂,效率较低

燃油矿卡动力传递路线长,能量转换多,利用率较低.燃油矿卡的能量转换过程是首先从化石燃料的化学能通过发动机工作转化成机械能,再利用机械系统将机械能转化为驱动车轮的动能.此过程中若燃料燃烧不充分将造成能源浪费,同时部分能量又通过热能形式浪费,多一层能量转换就又多一次能量损耗<sup>[9]</sup>.

## 2 电动化技术的发展趋势

近年来,随着矿用自卸车市场的大幅增长,市场需求倒逼矿山企业要不断实现技术突破.在大吨位级矿用自卸车产业中,国际一线品牌如卡特等企业曾一度占领了300吨级矿用自卸车市场.如今,我国的一些民族品牌如湘电集团等在自卸车领域迅速崛起,并在市场上占一席之地.矿用自卸车在工程作业中的载

重量通常在百吨以上,相比机械传动矿用自卸车,电传动矿用自卸车因其元件电气化能减少机械磨损,简洁的结构设计、更短的传动链能带来更高的传动效率和更强的牵引能力,使得电传动矿用自卸车在这方面有巨大的优势.电传动矿用自卸车在结构、能源驱动上的优化可满足企业节能、清洁、低成本的需求,因此我国矿用自卸车实现电气化是大势所趋,时代的选择.

## 2.1 车载能源

车载能源装置是纯电动矿卡的核心部件,其性能参数很大程度影响矿卡动力性、续航等关键性指标.纯电动矿卡的广泛应用依赖于车载能源装置的进一步升级,同时为提升客户体验还要满足快充、体积小且能量存储大等要求,目前市场上常见的车载能源都存在一些缺陷而无法同时满足上述全部要求.如燃料电池和蓄电池的功率不足,超级电容和超高速飞轮的能量密度不足<sup>[10]</sup>等.综合各种车载能源装置的优点并规避其缺点是解决当前车载能源装置困境的一个突破口.现今的油电混合动力技术,由于混合动力控制技术难度高,业内鲜有企业采用混合动力能源装置.因此加大混合动力能源装置的研发与投入,实现车载能源安全可靠、绿色清洁、价格低廉,对矿用自卸车行业的绿色、持续、健康发展有重大意义.

## 2.2 电机及其驱动

纯电动矿卡依靠电机驱动,电机的性能与品质直接决定矿卡的动力性能.作为矿卡动力部件,电机必须满足矿卡在各种工况下的扭矩、功率、过载能力等行驶要求,同时为保证驾驶员的驾驶体验其噪声也不宜过大.就现状而言,电机动力的标定、最优控制策略等方面还有待发展完善.近年来,电机驱动技术成为行业内研究的热门,聚焦改进电机结构,优化电机的调速控制,满足矿卡各种行驶工况的要求,使电机在各种工况下达到最优动力与能耗的平衡.

## 2.3 能量管理

能量管理系统是一种复杂、综合的控制性管理系统,利用各传感器数据,检测其温度、充放电电压、电流等性能状态,计算剩余电量,同时还能采集矿卡行驶工况(如车内外温度、车辆速度、加速度等信息),实现对矿卡状况的把控以合理分配能量<sup>[11]</sup>.由于车载能源装置的能源补给相比传统燃油矿卡还有很大差距,行驶里程一直是限制其发展的重要因素.因此,延长纯电动矿卡的续航时间和里程,提升车载能源装置的能量利用率,减少能量浪费,是促进矿用自卸车发展的关键.

## 2.4 再生制动

再生制动系统能减少矿卡的能源浪费并储存能量,是纯电动矿卡的特有优势.通过电动机和发电机的快速转换,在车辆减速或制动时,制动力矩对车轮实施的制动力通过驱动电机的作用可转化为存储在车载能源装置中的电能<sup>[12]</sup>.能量回收技术可提高能量的利用率,延长矿卡续航里程,获得更好的经济性.但是现阶段对能量回收技术的应用研究还处于理论阶段,因此,深入研究再生制动技术的应用很有必要.

## 2.5 快速充电技术

蓄电池作为纯电动矿卡的能源供给,通过充电装置从电网中获得补给.电动矿卡的充电技术还存在不足,充电功率小,大容量电池的充电时间长,给生产、生活及工程等方面带来很多不便.快速充电技术能极大地改善纯电动矿卡的使用体验,市面上虽然已出现能在30 min左右充满的蓄电池,但这种采取高压、大电流的充电手段严重影响电池的使用寿命,且安全性较差,不利于电池行业的健康发展.因此发展快速充电技术对推动纯电动矿卡在运输行业中的应用意义重大<sup>[13]</sup>.

## 2.6 换电技术

矿用自卸车换电就是将车载的整块动力电池总成快速拆卸下来,替换为满电的动力电池总成.换电理论的提出,彻底解决了矿用自卸车因充电带来的生产、安全等问题.但是目前关于电动汽车车载电池快速更换装置的设计研究较少<sup>[14]</sup>,理论发展还不完善,其电池总成的快速安装拆卸还没有较好的解决方案.因此,矿用自卸车快速换电技术,对矿用自卸车的运输安全、提高矿山产能和降低运营成本等方面有着举足轻重的影响.

### 3 结论

1) 纯电动矿卡相比传统燃油动力矿卡,减少了动力传动环节和能量损失;同时电动矿卡在制动或者下坡工况时,能将机械能转化为电能,对蓄电池进行充电,从而提高车辆的续航里程;纯电矿卡具有环保、节能、运维成本低、智能等特点,可真正实现零碳排放,是矿用自卸车发展的主流方向。

2) 混合动力能源装置、大功率快充及换电等技术的发展是车辆电动化走向成熟和产业化的关键因素,能有效促进纯电矿卡快速发展。

#### 参考文献:

- [1] 李帅田.矿用电动车再生制动力矩分配控制策略研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [2] 张卫.纯电动矿车能量管理及节能技术研究[D].北京:北京科技大学,2019.
- [3] 孟开创.某混合动力矿车电驱动系统控制策略研究[D].武汉:武汉理工大学,2018.
- [4] 张永进,孙立.一种大型电动轮矿车柴油单耗的研究[J].内燃机与配件,2019(15):206-207.
- [5] 贾峰,田野.传统机械矿车更加智能应用于露天矿生产的研究[J].设备管理与维修,2020(8):153-155.
- [6] 郜国强.浅谈电动轮矿车发动机大修周期长寿命攻关实践[J].内燃机与配件,2018(10):186-187.
- [7] 高波,成宝祥,任慧敏.故障诊断技术在矿车发动机维修中的应用[J].时代农机,2020,47(4):64-65.
- [8] 耿超.重型75131运矿车燃油降本设计和运用[J].矿业装备,2021(3):244-245.
- [9] 张伟旗.大型露天矿山电动轮汽车运行安全管理研究[J].有色设备,2016(3):52-56.
- [10] 张卫,杨珏,张文明,等.纯电动矿车复合能源系统研究[J].汽车工程,2019,41(6):641-646.
- [11] REN G Z, MA G Q, CONG N. Review of electrical energy storage system for vehicular applications[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015,41: 225-236.
- [12] ZHANG J Z, LI Y T, CHEN L, et al. New regenerative braking control strategy for rear-driven electrified minivans[J]. Energy Conversion and Management, 2014, 82: 135-145.
- [13] TAREQ Z, SULAIMAN N, HANNAN M A, et al. Fuzzy logic based energy management system for hybrid electric vehicle[J]. Review of Energy Technologies and Policy Research, 2015, 2(2):29-36.
- [14] 车建华,黄雨龙,陈忠海,等.电动汽车车载电池快速更换装置的研究[J].汽车工业研究,2019(1):53-56.