

# Current Situation of Explosion-Proof Electric and Diesel Vehicle Industry and Comparison of Applicability in Auxiliary Transportation of Coal Mine

Lianzhu Wang

Taiyuan Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corp, Taiyuan Shanxi  
Email: gillar@163.com

Received: Oct. 24<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper introduces the current situation of the trackless auxiliary transportation industry from the aspects of the production enterprises, technical performance and market application of explosion-proof electric vehicle and diesel vehicle at home and abroad. Combining with the current situation, it makes a comprehensive comparison between the two types of vehicles in terms of the power performance, endurance ability, reliability, cost, life span, daily maintenance as well as the environmental friendliness, in order to provide some references for readers in the process of vehicle type selection.

## Keywords

Explosion-Proof Electric Vehicle, Explosion-Proof Diesel Vehicle, Auxiliary Transportation in Coal Mine, Comparison of Applicability

---

# 防爆电驱动和柴油机驱动无轨车辆行业现状及在煤矿辅助运输中的适用性比较

王连柱

中国煤炭科工集团太原研究院, 山西 太原  
Email: gillar@163.com

收稿日期: 2019年10月24日; 录用日期: 2019年11月11日; 发布日期: 2019年11月18日

## 摘要

本文从国内外防爆电驱动车辆和柴油机驱动车辆的生产企业状况、车辆的技术性能以及市场应用情况等方面介绍了行业现状,结合现状又从车辆的动力性、续航能力、可靠性、成本、寿命、日常维护保养的便捷性以及对环境的影响等方面对这两种车型进行了全方位对比,以期为读者在不同驱动形式的车辆选型时提供一些参考。

## 关键词

防爆电驱动无轨车辆, 柴油机驱动无轨车辆, 煤矿辅助运输, 适用性比较

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

### 辅助运输简介

煤矿辅助运输是指除运输煤炭以外的所有运输,主要运输对象包括人员、矸石、设备、材料及充填物等[1]。当前国内外煤矿使用的辅助运输设备多种多样,按有无轨道分为有轨运输和无轨运输;按动力源分为柴油机动源、蓄电池动力源、电网电源动力源等。

不同的辅助运输方式适用于与不同的地质条件,全面进行比较过于庞杂,这里本人只选取其中最为先进的也是最为热门无轨辅助运输方式中,防爆电驱动无轨辅助运输车辆(以下简称电驱动车辆)和防爆柴油机驱动无轨辅助运输车辆(以下简称柴油机驱动车辆)在煤矿辅助运输中的适用性进行一些简单的阐述,希望能对矿方设备的选型提供一些参考。

## 2. 无轨辅助运输的现状

国内煤矿无轨辅助运输的研究起步较晚,1988年才开始引进英国、澳大利亚等国生产的无轨辅助运输车辆,1992年国内开始自行研制,2000年以后技术逐渐成熟,设备生产厂家遍地开花,已经开发出了全系列电驱动和柴油机驱动的车辆,使用的矿井也逐年增多。

### 2.1. 国内外无轨辅助运输车辆生产企业

截至2019年初,国内防爆车辆的生产厂家有64家,其中安标证在有效期内的有46家,已经有18个生产厂家在激烈的市场竞争中退出。大部分企业是以生产柴油机驱动车辆为主,以山西天地和常州科试为代表,各种车型已经大量推广使用,这里不再赘述。

国内外电驱动车辆生产企业如表1、表2,从中可以看出,限于电池技术的限制,电驱动车辆以小型的运人车和运料车为主,仅有个别的大型运输车。

### 2.2. 技术性能现状

2018年12月28日国家煤矿安全监察局关于发布禁止井工煤矿使用的设备及工艺目录的通知,自发布之日起禁止井工煤矿新选用、采购排放标准在国二及以下的柴油机,在用设备自发布之日起两年后禁

止使用[2]。目前,国内绝大部分柴油机驱动车辆还采用国二排放的柴油机,到2020年底所有煤矿将必须全部使用达到国三排放要求的柴油机。而要达到国三的排放要求,必须采用电喷技术,对燃油的喷射进行精确控制,提高燃油的利用率,以降低尾气中有害气体的排放,防爆柴油机技术正处于更新换代的阶段。井下车辆的传动技术与地面工程机械类似,许多地面工程车辆的传动部件如变矩器、变速箱、减速度器以及车桥等经过简单的适应性改造就可直接用于煤矿井下,因此技术比较成熟。

**Table 1.** Manufacturing enterprises and types of electric vehicles in China

**表 1.** 国内电驱动车辆的生产企业及设备型号

生产厂家	锂电池	蓄电池
山西天地煤机装备有限公司	WLR-19	WJX-10FB、WX35J、WX45J
航天重型工程装备有限公司	WLL-5、WLR-5A、WLR-10、WLR-7、WLR-19	
常州科研试制中心有限公司	WLR-5、WLL-5、WLR-10、WLR-19	
深圳市德塔防爆电动汽车有限公司	WLR-2B、WLL-5A、WLR-5A、WLR-8A、WLR-10A、WLR-11A(B)、WLR-16B(B)、WLR-19A	
石家庄煤矿机械有限责任公司	WLR-5、WLR-18、WLR-19	
霍州煤电集团亿能电气股份有限公司	WLR-19A	
山西西山中煤机械制造有限公司	WLR-19	

**Table 2.** Manufacturing enterprises and types of electric vehicles abroad

**表 2.** 国外电驱动车辆的生产企业及设备型号

生产厂家	电驱动车辆
瑞典山特维克	LH514E、LH409E、LH203E (铲运车)
美国卡特彼勒	488 (蓄电池铲车)、VTC636、VTC650、VTC680 (蓄电池铲板式支架搬运车)
美国久益环球	Joy18HD、Joy22HD (混合动力装载机)
美国江森	运人车、运料车
美国大马士革	MAC-8、MAC-12 (运人车)、MAC-XP (运料车)

电驱动车辆的核心技术就是防爆蓄电池和牵引电机技术。防爆的铅酸蓄电池在煤矿井下的电机车使用较为广泛,同时它也可作为井下电驱动车辆的动力源,但应用十分有限。煤矿特殊型铅酸蓄电池装置能量密度仅为 20~25 Wh/kg [3] 导致续航里程十分有限,且充电极为不便,因此作为大型的电驱动车辆的动力源就有所欠缺。

为了提高电池的能量密度,人们将目光投向了磷酸铁锂电池,该种类型的电池防爆后能量密度相对于铅酸蓄电池能够提高一倍以上,达到 51 Wh/kg [3]。但出于安全的考虑,安标国家矿用产品安全标志中心要求,运输车辆用电源、柴油机起动机用电源及其它电源中锂离子蓄电池的额定容量不超过 100 Ah,锂离子蓄电池应采用串联方式连接,电池组的额定能量不应超过 32000 Wh [4]。矿用防爆锂离子蓄电池无轨胶轮车中的人车最大允许乘坐人数(含司机)暂为 19 人,料车的最大允许载货重量暂定为 5 吨,且工业性试验暂不在高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井进行[5]。

电驱动车辆最常使用的是直流牵引电机,但它存在效率低、体积大、质量大、碳刷需经常维护等问题。而永磁无刷直流电机,由于电流波形为方波,控制相对简单,效率最高可达 95%以上,而且体积小、质量小、宽工供电压、免维护,是当前电动车辆首选的牵引电机[3]。

从技术性能参数的角度来看,如表 3 和表 4 所示,柴油机驱动车辆的技术性能明显优于电驱动车辆。

功能和载重类似的车辆,柴油机驱动车辆的自重要比电驱动车辆轻 20%左右,续航里程也高出一倍以上。从使用动力源的使用寿命来看,防爆发动机也要高于防爆蓄电池。

**Table 3.** Main technical performance parameters of typical diesel vehicles  
**表 3.** 典型柴油机驱动车辆的主要技术性能参数

车型	质量(kg)	功率(kW)	最大载重(人或 t)	爬坡能力(°)	续航里程(km)	使用寿命	备注
WC20R 运人车	4600	65	20	14	260km 左右	5 年	
WC5E 运料车	8500	90	5	14	200km 左右	8 年	
WC40E 铲运车	40000	260	40	14	100km 左右	8 年	

**Table 4.** Main technical performance parameters of typical electric vehicles  
**表 4.** 典型电驱动车辆的主要技术性能参数

车型	质量(kg)	总能量(kWh)	最大载重(人或 t)	爬坡能力(°)	续航里程(km)	充电时间(h)	充放电次数	备注
WLR-19 运人车	6000	64	19	14	80 km 左右	2.5~3 h	2000	磷酸铁锂电池
WLL-5 运料车	10000	128	5	14	90 km 左右	2.5~3 h	2000	磷酸铁锂电池
WX45J 铲运车	50000	300	45	14	30 km 左右	8 h	500	铅酸蓄电池

### 2.3. 市场应用情况

据估计,目前国内约有超过 13000 台无轨辅助运输车辆在山西、陕西、内蒙古等 13 个省区的 700 余处矿井中使用。其中绝大部分为柴油机驱动车辆,仅神东矿区成批量的使用了电驱动车辆,目前在用接近 100 台,包含人员运输车、物料运输车、多功能车辆以及支架搬运车。其它矿井仅仅探索性的试用了部分电驱动车型,如中煤华晋试用了两台电驱动的人车,但因续航里程降低严重和爬坡能力的限制,已经暂停使用。

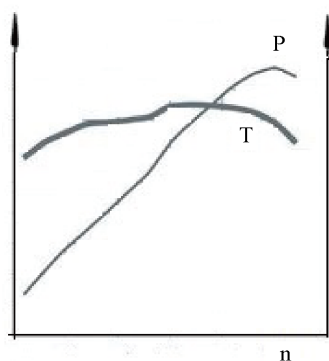
在世界主要采煤国家中,蓄电池车在美国使用最多,澳大利亚和南非次之,亚非地区使用较少。受职业健康要求限制,当前美国煤矿大量使用防爆特殊型蓄电池无轨运输车辆,总量超过 10000 台,其绝对数量已经超过了防爆柴油机为动力的无轨车辆[6]。

## 3. 防爆电驱动和柴油机驱动无轨车辆的适用性比较

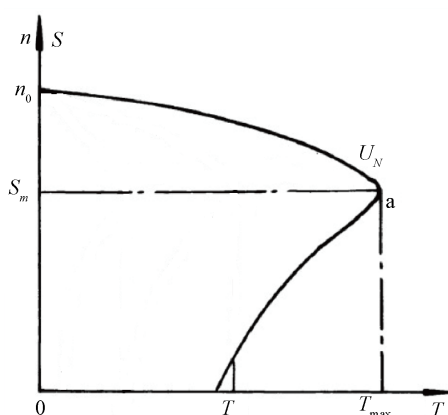
### 3.1. 动力性能比较

发动机的输出特性和电机的输出特性差别很大,如图 1 和图 2 所示。随着转速的提升,发动机的输出扭矩逐渐变大到最大值。而电机在低速运行时,就能够提供比较大的扭矩,并且可以短时间内提供远大于额定功率实际功率。由电机的输出特性可知,电驱动车辆瞬时加速能力强,尤其在半坡重载起步时,能够快速达到最大输出扭矩,利于起步。而柴油机驱动车辆则在半坡重载起步时反应较慢。另外电驱动车辆过载能力强,更加适用于需要短时间内完成的大负荷工作,例如综采工作面切眼内支架的快速转运和就位工作。而柴油车辆更适用于长距离稳定载荷的运输。

从国内外主要的无轨胶轮车生产厂家提供的车辆性能参数可知,两种车辆的纵向爬坡能力均可达到 14°。两种动力源均可提供足够大的动力源用于爬坡,但受限于煤矿相对湿滑和不平整路面的影响以及安全的考虑,将设计爬坡能力限定在 14°。



**Figure 1.** Output characteristic curve of diesel engine  
**图 1.** 柴油机的输出特性曲线示意图



**Figure 2.** Output characteristic curve of three-phase asynchronous motor  
**图 2.** 三相异步电机输出特性曲线示意图

### 3.2. 续航能力比较

由于电池的能量密度较小, 单单电池的重量就占电驱车辆重量的 20%左右, 导致其显得非常笨重, 续航里程要远远低于柴油机驱车辆。而柴油驱车辆的续航里程取决于油箱的容积, 理论上讲可以根据需要设计足够大的油箱来保证续航里程。

以现在煤矿使用最多的运人类车型 WLR-19 (电驱动)和 WC20R (柴油机驱动)为例。WLR-19 整车质量 6000 kg, 总能量 64 kWh, 采用两组电池作为动力源, 每组 100 块容量为 100 Ah 的磷酸铁锂电池, 电机输出功率 35 kW, 满载水平干硬路面续航里程约 80 km。WC20R 整车质量 4600 kg, 发动机功率 65 kW, 油箱容积约 80 L, 满载水平干硬路面油耗约 30 L/100 km, 续航里程约 260 km。因此柴油机驱动的人车的续航里程要明显优于电驱人车。其它类型的车辆情况也差不多。

### 3.3. 可靠性比较

两种车辆的可靠性已经在推广使用过程中得以验证。柴油机驱车辆中的核心技术, 如: 防爆发动机技术、变矩器和变速箱等传动技术以及制动技术等已经在现有的车辆上广泛应用, 有较高的可靠性。电驱车辆的核心技术主要为电池和驱动技术, 铅酸蓄电池技术在矿用的大型支架搬运车和其它特种车辆上使用较多, 可靠性较好。磷酸铁锂电池正在一些小型的矿用车辆上进行一些有限度的试用, 目前使用效果良好。牵引电机由原来的带碳刷的直流电机逐渐转向了可靠性更高的免维护永磁无刷直流电机。

因此从技术的成熟度和市场应用情况来看,两种车辆的可靠性均可以满足客户的需求。

### 3.4. 成本比较

由于电池的成本较高,导致电驱动车辆的市场价格要远高于柴油机驱动车辆的价格,部分相同载重的小型电驱动车辆价格甚至比柴油机驱动车辆高出了一倍。但电驱动车辆的运行成本要低于柴油机驱动车辆。柴油机驱动车辆的日常保养维护相对麻烦,要经常更换三滤,周期性的跟换各种油液等,且行驶相同里程柴油费用是耗电费用的两倍以上。通过对锂电池运行情况调研发现,与柴油机驱动车辆相比,电驱动车辆运行成本降低 3/4 以上[7]。

### 3.5. 使用寿命

依据生产企业的建议和煤矿的实际使用情况,柴油机驱动车辆使用寿命为 5~8 年,每 2~3 年进行一次大修。但有些煤矿使用的柴油机驱动车辆已经超过 10 年,如:平朔一号井、二号井 2006 年前后投入使用的二十余台 WC5E 型胶轮车,目前还在服役。而电驱动车辆由于电池技术的限制,使用两年左右的时间,续航里程就会大幅下降,为不影响使用就必须更换电池。

### 3.6. 日常使用和维护比较

柴油机驱动车辆日常维护工作较电驱动车辆较多,必须按时间或里程要进行定期保养,而电驱动车辆电池和电机都是免维护,定期保养工作量很少。但电驱动车辆由于续航里程短,需要经常性充电,磷酸铁锂电池每次充电时间 2~3 个小时,铅酸蓄电池每次充电时间 8 小时,另外还需要冷却 8 小时,才能正常进行使用,这一点对煤矿来说有较大的影响。而柴油机驱动车辆,加油快捷方便,续航里程长,相对的适用性更好。

### 3.7. 对环境的影响比较

电驱动车辆无尾气排放,且噪音很小,而柴油机驱动车辆尾气中含有 CO, NO<sub>x</sub>, 碳烟等污染物,对工人劳动环境有较大影响,甚至会出现因 CO 浓度过高而导致监控设备报警的情况。柴油机的噪音污染也是不可忽视的,部分大型车辆在驾驶员附近的噪音可达 90 分贝左右。另外就是柴油机驱动车辆在日常维护中还会产生更多的废旧油脂,同样会对环境造成影响。

## 4. 结语

综上所述,柴油机驱动车辆和电驱动车辆各有优缺点,在设备选型时更关注运输效率、续航里程、成本等因素,可选择柴油机驱动车辆。当更关注环保时,可选择电驱动车辆。也可两种车辆搭配进行选型,如人员运输车辆可选择电驱动,使得人员在运输过程中免受尾气排放的困扰,在工作面切眼或其它相对固定的工作点连续工作的车辆可选择电驱动,来保证工作环境不受污染。而长距离反复运输的如物料运输车,支架搬运车等可选择柴油机驱动。

随着电喷防爆柴油机和新型防爆电池的使用,柴油机驱动车辆的尾气排放会得到进一步的控制,电驱动车辆的续航里程还会进一步提升。但就近些年驱动技术的发展来看,短期内还不会出现革命性的变化,两种驱动形式还会长期共存。

## 参考文献

- [1] 姜汉军. 矿井辅助运输设备[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008: 1-3.
- [2] 国家煤矿安监局. 关于发布禁止井工煤矿使用的设备及工艺目录(第四批)的通知. 煤安监技装 2018:39 号.



- [3] 袁晓明. 煤矿电动无轨运输车辆的关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(5): 80-82.
- [4] 安标国家矿用产品安全标志中心, 矿用隔爆(兼本安)型锂离子蓄电池电源安全技术要求(试行). 安标字 2014:34号.
- [5] 安标国家矿用产品安全标志中心, 矿用防爆锂离子蓄电池无轨胶轮车安全技术要求(试行). 安标字 2014:34号.
- [6] 王步康. 矿用电动无轨运输车辆发展现状与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 74-133.
- [7] 张勇. 矿用防爆锂电池无轨胶轮车安全性能技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(7): 123-126.