

# 矿用防爆锂电池无轨胶轮车安全性能技术分析

张 勇

(安标国家矿用产品安全标志中心,北京 100013)

**摘 要:**针对目前矿用防爆锂电池无轨胶轮车暂无针对性的国家、行业标准,装备设计、检测与认证依据缺乏的现状,在充分考虑现有相关标准规定、煤矿井下车辆运行的恶劣环境以及复杂工况的基础上,以锂电池、底盘、车身等防爆锂电池无轨胶轮车关键结构与部件为主要对象,研究提出锂电池优选与安全使用、底盘与车身结构合理设计、自动保护监控系统优化配置等方面的安全要求,该要求在 6 家企业的 20 多台锂电池无轨胶轮车设计、检测中进行了应用验证,结果表明,锂电池无轨胶轮车相比防爆柴油机无轨胶轮车,运行成本降低 3/4 以上,出勤率提高近 30%。

**关键词:**防爆锂电池;无轨胶轮车;安全性能;监控系统

中图分类号:TD52 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2017)07-0123-04

## Technical analysis of safety performance for mining flame-proof trackless vehicles powered by lithium battery

Zhang Yong

(Mining Products Safety Approval and Certification Center, Beijing 100013, China)

**Abstract:** According to the present situations of temporary non related national and industrial standards and non equipment design, test and certification basis for the present mine flame-proof trackless rubber tyre vehicle powered with a lithium battery, in a full consideration of the available related standards and regulations as well as the severe operation environment and the complicated performances of the vehicle in an underground coal mine, with the lithium battery, chassis, vehicle body and the key structure and components of the mine flame-proof trackless rubber tyre vehicle powered with lithium battery as the main object, the study provided the optimized selection and safety application of the lithium battery, the rational design of the chassis and vehicle body structure, the optimal allocation of the automatic protection and monitoring system and other aspect safety requirements. The requirements would have the application certification on the design and test of over 20 set trackless rubber tyre vehicles powered with the lithium battery from 6 enterprises. The results showed that in comparison with the flame proof diesel engine trackless rubber tyre vehicle, the operation cost of the flame-proof lithium battery trackless rubber tyre vehicle could be reduced over 3/4 and the attendance rate of the flame-proof lithium battery trackless rubber tyre vehicle could be improved by near 30%.

**Key words:** flame-proof lithium battery; trackless rubber tyre vehicle; safety performance; monitoring system

## 0 引 言

由于防爆柴油机无轨胶轮车在井下实际运行中存在安全性差、刹车软、“四高一低”(即尾气排放高、噪声高、故障率高、运行费用高、效率低)等明显问题,矿用防爆无轨胶轮车的电动化成为近几年井

下辅助运输装备的发展趋势<sup>[1-3]</sup>,其中以锂电池为动力的人车、巡检车、指挥车、小吨位料车(载质量不超过 5 t)等新型防爆无轨胶轮车更是成为研发与应用热点<sup>[4-5]</sup>。

矿用防爆锂电池无轨胶轮车(以下简称为锂电池无轨胶轮车)在井下使用,首先要保证自身安全,

收稿日期:2017-03-09;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.07.022

作者简介:张 勇(1979—),男,内蒙古鄂尔多斯人,工程师,硕士。Tel:84264266-826, E-mail:zy3554325@126.com

引用格式: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.

Zhang Yong. Technical analysis of safety performance for mining flame-proof trackless vehicles powered by lithium battery[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(7): 123-126.

确保在正常使用、甚至个别极端情况下,既不会引起周围瓦斯、煤尘爆炸性环境出现着火、爆炸事故<sup>[6-7]</sup>,也不会出现由于车辆失控、保护不全等造成人员伤亡的问题。由于缺乏针对性的国家或行业标准,安标国家矿用产品安全标志中心于2014年5月制定发布了《煤矿用防爆锂电池无轨车辆安全技术要求(试行稿)》<sup>[8]</sup>,作为安全标志审核发放的依据。经过2年多的试用,原要求中不少内容需要进一步完善与细化,笔者以目前安全标志技术评估与产品检验中所关注的重点为主要内容,介绍锂电池、整车结构、安全配置等方面的具体要求,以期为矿用防爆锂电池无轨胶轮车设计制造、检测检验以及今后产品标准制订等工作提供参考。

## 1 车辆运行环境条件

我国煤矿数量众多、分布广泛,无轨胶轮车井下运行条件恶劣,且复杂多变。锂电池无轨胶轮车的结构设计必须充分考虑实际运行环境,并能在以下恶劣情况下确保整车安全与性能正常<sup>[9-11]</sup>。

- 1) 煤矿井下存在瓦斯、煤尘爆炸危险环境。
- 2) 锂电池自身缺陷、一致性差,或者误用滥用,可能造成泄压、着火,甚至爆炸。
- 3) 巷道狭窄,存在急转弯。
- 4) 巷道路面存在湿滑、涉水、颠簸等情况。
- 5) 巷道最大坡道不超过 $14^\circ$ ,存在长距离(几百到几千米)连续坡道。
- 6) 日常停车和充电都在地面,北方不少地区冬季存在 $-20^\circ\text{C}$ 以下低温充放电。

## 2 安全性能要求

### 2.1 基本要求

- 1) 车载所有电气设备均按防爆要求设计,满足GB 3836《爆炸性环境》系列标准要求。由本安设备连接构成的本安系统(如车载照明控制装置、倒车影像装置)应经关联检验方可使用。
- 2) 所有部分热表面最高温度不应超过 $150^\circ\text{C}$ 。
- 3) 可能受到撞击的零部件不应使用轻金属制造。装车后周围被车体钢板覆盖且不易更改的部件,可采用轻金属材料,但应通过GB/T 13813—2008《煤矿用金属材料摩擦火花安全性试验方法和判定规则》规定的冲击摩擦火花试验。
- 4) 线缆应满足MT 818《煤矿用阻燃电缆》系列标准要求,并具有可靠的固定与保护。

5) 非金属材料阻燃、抗静电性能需满足MT 113—1995《煤矿井下用聚合物制品阻燃抗静电性通用试验方法和判定规则》。

### 2.2 锂电池的选择与使用

锂电池的选择与使用是矿用防爆锂电池无轨胶轮车安全设计的基础,也是新能源技术在矿用辅助无轨运输应用的关键技术之一。进行锂电池优选及合理使用时,应考虑以下要求:

- 1) 现有大量研究表明,容量、材料类型对锂电池安全性有重大影响,建议选用容量不超过 $100\text{A}\cdot\text{h}$ 的矿用磷酸铁锂蓄电池作为动力电池<sup>[12]</sup>。
- 2) 煤矿实际使用过程中锂电池无轨胶轮车每天至少进行一次充放电循环,因此应考虑循环次数对锂电池安全性的影响<sup>[13]</sup>。选用的锂电池通过一定次数(不低于500次)充放电循环后的实际使用容量不低于额定容量的80%,并能通过针刺、挤压等安全性能测试。
- 3) 单体电池连接方式应采用低电阻设计,避免热积聚,建议采用激光焊接<sup>[14]</sup>。螺丝固定连接方式在长时振动、颠簸下易出现松动、接触电阻变大、局部发热等状况,采用时应额外施加可靠的防松动措施,确保振动试验前后整个电池组直流电阻变化率不超过5%。
- 4) 锂电池存在泄压、着火、爆炸危险,应单独放置在一个承受 $1.5\text{MPa}$ 的隔爆腔体内,避免泄露电解液、爆炸冲击波破坏保护、控制电路。

5) 在极端情况下锂电池内部会发生剧烈化学反应,积聚大量的能量。一旦泄压时,从电池内部会喷射出大量高温、黏稠状、腐蚀性混合物,极易堵塞外壳隔爆间隙,造成内部压力无法释放,使隔爆外壳持续处于高压保压状态。因此,装有锂电池的隔爆外壳应具有特殊的呼吸泄压装置以及防堵塞结构设计。

6) 由于在过充、过放、过流以及超温等情况下,锂电池内部会发生不可逆的变化,若不采取必要保护措施,就极易出现安全事故,因此需要对锂电池的充放电进行合理、有效的管控。电池管理系统应具备过充(放)电压、充(放)电过流、输出短路、超温、漏电等保护功能,此外还应具备充电均衡、放电能量不足、容量自检等控制报警功能,检测误差要求见表1要求。

7) 锂电池外壳防护等级应不低于IP55(或安装在整车上后防护等级不低于IP55),且在整车布置

位置时考虑避免碰撞、刮蹭。

表 1 测量误差要求

Table 1 Requirements of measurement error

参数	单体电池 电压	单体电 池温度	电池组 电流	电池组 电压	电池组 容量
误差	≤0.5%	±2℃	≤2%	≤0.5%	≤5%

注:对于塑料壳体的锂离子蓄电池,电池温度测量应择在电池极耳处。

8)锂电池满电状态下,制动再生能量应能完全被专门的装置消耗或吸收,避免对锂电池过充。

## 2.3 底盘设计

锂电池无轨胶轮车底盘包括转向系、制动系、传动系和行驶系几部分,进行结构设计时应充分考虑底盘安全性、操控性以及可靠性等,除满足 GB 7258—2012《机动车运行安全技术条件》的基本规定,还应满足以下要求<sup>[15-18]</sup>:

1)选用国家公告的 III 类底盘时,整车总质量不应超过底盘允许的最大总质量,也不得小于允许总质量的 90%,还应考虑加装防爆电源箱、电动机以及控制器后造成的整车重心偏移。采用额外措施对原有底盘进行改装、加固,或者企业自行设计的底盘,应根据井下运行各种严酷边界条件进行仿真模拟计算,验证底盘的安全可靠性。

2)具备转向助力功能,当转向助力失效时,仍应具有方向盘控制车辆的能力,方向盘最大自由转动量不超过 25°。

3)行车制动应采用机械制动和电力再生制动相结合的组合制动方式,电力再生制动以及机械制动均能单独实现平稳、可靠制动。

4)行车制动器应采用湿式结构,当长距离下坡时,制动器缸体高温可能会造成制动失效,因此宜实时监测制动器缸体温度、制动油压力等参数,并具备连锁减速、停车功能。

5)行车制动器磨损后,制动间隙可手动或自动调节补偿。制动控制装置及制动器总成应具备一定的储备行程,当制动器发热或制动衬片的磨损量达到一定程度时,在不立即作调整的情况下,仍应保持有效的制动。

6)驻车制动为失效安全型,并有解锁装置,当解锁压力失效时,应处于制动状态。

7)宜具有轮胎压力、温度等重要参数监测功能,实时了解轮胎运行状态参数。

## 2.4 车身结构

现有锂电池无轨胶轮车基本都采用非承载式车身,结构设计时应考虑以下内容:

1)驾驶室采用全封闭结构,每个司乘人员均应配备安全带。

2)人车车厢应全封闭,车门开闭状态应与车辆启停进行电气联锁,人车车厢宜增加安全逃生门。车厢顶部应满足 GB 17578—2013《客车上部结构强度要求及试验方法》要求。

3)座椅 R'点至顶棚的垂直距离应不小于 1 050 mm。GB/T 13053—2008《客车车内尺寸》中规定座椅 R'点至上部障碍物的垂直距离应不小于 1 000 mm。由于矿工佩戴安全帽,当无轨胶轮车行驶在井下颠簸路面时,会发生头顶与车棚碰撞。GB 2811—2007《安全帽》中规定头顶最高点与帽壳内表面之间的轴向距离不大于 50 mm。

4)驾驶室及人车车厢的车窗玻璃应采用钢化玻璃,前挡风玻璃上应安装机动(电动或液压)雨刷器。

5)仪表盘应具有电动机转速、车速、行驶里程、电池电量、刹车状态、故障状态、照明/转向灯状态以及人车车厢门状态等显示功能,并实现同屏现实。出现报警、故障时,相关信息应优先显示。

6)驾驶室中应具有实现手动异常断电功能的紧急操作机构,并具有防误操作的措施。

## 2.5 自动保护监控系统

锂电池无轨胶轮车应具有整车状态监控功能,可根据故障不同实现分级报警(或断电),并通过驾驶室显示屏或者声光信号提醒驾驶员。

1)配备车载式断电仪,建议甲烷检测设备独立供电,并符合 EPL Ma 保护级别,实现与锂电池动力输出的电气联锁。

2)当电池运行参数与剩余电量、电动机运行参数、液压系统压力等超出规定值时,自动保护监控系统应发出声光报警。

3)当人车运行速度超过 25 km/h、料车运行速度超过 40 km/h 时,自动保护监控系统应发出声光报警<sup>[19]</sup>。

4)当出现整车绝缘电阻低于 100 Ω/V、瓦斯浓度超过 0.5%、电动机控制器故障等恶劣情况时,自动保护监控系统应发出声/光报警,并立即断电。

## 2.6 其他要求

1)照明、信号灯应齐全,包括前后照明灯、前后

转向灯、倒车灯、刹车灯、前后信号灯等,驾驶室宜设置灯光控制总开关<sup>[20]</sup>。

2) 无轨胶轮车后部、侧面应喷反光漆或粘反光板,后部的车身反光标识应能体现出车辆高度与宽度,不宜采用反光纸。

3) 具有自卸功能的料车,自卸系统应满足 GB 24938—2010《低速货车自卸系统安全技术要求》。

4) 应采用水基灭火器。大量试验证明,锂电池着火后灭火的关键是降低温度以及隔绝空气,水基灭火器灭火效果明显。

### 3 结 语

截至2017年3月,已有6家企业的20多台锂电池无轨胶轮车经过矿用产品安全标志技术评估与产品检验,并在煤矿井下工业性试运行。通过对运行情况调研发现,与防爆柴油机无轨胶轮车相比,锂电池无轨胶轮车运行成本降低3/4以上,出勤率提高近30%,在减耗提效方面取得了很大进步。随着锂电池无轨胶轮车在井下实际运行的不断增加,现行安全要求仍将继续补充、完善,为该类装备的质量与安全提供必要的技术保障。

### 参考文献(References):

[1] 王步康,金江,袁晓明.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):74-76.  
Wang Bukang, Jin Jiang, Yuan Xiaoming. Development status and key technology of mine electric driving trackless transportation vehicles[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1): 74-76.

[2] 王烁.煤矿用无轨胶轮车发展现状与展望[J].煤炭与化工,2016,39(5):22-24.  
Wang Shuo. Development and outlook of mine trackless tyred vehicle[J]. Coal and Chemical Industry, 2016, 39(5): 22-24.

[3] 张传伟,郭卫.煤矿井下无轨胶轮电动车技术进展[J].煤矿机械,2012,33(6):1-3.  
Zhang Chuanwei, Guo Wei. Trend of coal mine trackless rubber tyre electric vehicle[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(6): 1-3.

[4] 王永贵.神东矿区应用防爆无轨胶轮车现状分析[J].煤炭工程,2008(6):80-81.  
Wang Yonggui. Analysis of the current situation of explosion-proof trackless rubber-tyred vehicle used in Shendong Mining Area[J]. Coal Engineering, 2008(6): 80-81.

[5] 王步康,金江,袁晓明.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):74-76,133.  
Wang Bukang, Jin Jiang, Yuan Xiaoming. Development status and key technology of mine electric driving trackless transportation vehicles[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1):

74-76,133.

[6] GB 3836.1—2010,爆炸性环境 第1部分:设备通用要求[S].

[7] GB 3836.2—2010,爆炸性环境 第2部分:由隔爆外壳“d”保护的 设备[S].

[8] 安标国家矿用产品安全标志中心.关于发布《矿用防爆锂离子 蓄电池无轨胶轮车安全技术要求》、《矿用防爆锂离子蓄电池 无轨胶轮车安全标志管理方案》的通知[EB/OL].[2017-02- 14].http://aqbz.org/Home/ABGG/wenjian/GG2014014.htm.

[9] 雷焯.矿用静液压传动特种车辆防爆智能电控系统研究 [J].煤炭科学技术,2015,43(6):91-96.  
Lei Huang. Study on explosion-proof intelligent electric control system of mine special vehicle with hydrostatic driving[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(6): 91-96.

[10] 董建军.浅谈我国地下防爆无轨胶轮车的应用与前景[J].矿 山机械,2008,36(17):49-51.  
Dong Jianjun. Discussion on application and prospect of under- ground explosion-proof trackless rubber-tyred vehicle[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 36(17): 49-51.

[11] 郭文娟.煤矿井下蓄电池无轨辅助运输车辆技术现状及发展 趋势分析[J].中国煤炭,2013,39(11):82-85.  
Guo Wenjuan. Current status and development tendency of track- less auxiliary transportation vehicles driven by storage battery used in underground coal mines[J]. China Coal, 2013, 39(11): 82-85.

[12] 安标国家矿用产品安全标志中心.关于发布《矿用锂离子蓄 电池安全技术要求》等五个文件的通知[EB/OL].[2017-02- 14].http://aqbz.org/Home/ABGG/wenjian/GG2012009.htm.

[13] 肖楠,陈忠霞,常龙,等.矿山辅助运输车辆磷酸铁锂动力 电源系统[J].工矿自动化,2016,42(6):12-15.  
Xiao Nan, Chen Zhongxia, Chang Long, et al. LiFeO<sub>4</sub> battery power system for mine auxiliary transportation vehicle[J]. Indus- try and Mine Automation, 2016, 42(6): 12-15.

[14] 张宾,林成涛,陈全世.电动汽车用LiFePO<sub>4</sub>/C锂离子蓄电 池性能[J].电源技术,2008,32(2):95-98.  
Zhang Bin, Lin Chengtao, Chen Quanshi. Performance of LiFe- PO<sub>4</sub>/C Li-ion battery for electric vehicle[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2008, 32(2): 95-98.

[15] 梁玉芳,杨小凤.煤矿用电动无轨胶轮车车身轻量化技术研 究[J].煤炭技术,2015,34(6):224-226.  
Liang Yufang, Yang Xiaofeng. Mine trackless electric car body lightweight technology research[J]. Coal Technology, 2015, 34 (6): 224-226.

[16] 麻友良,严运兵.电动汽车概论[M].北京:机械工业出版社, 2012.

[17] 邹国荣,程明.电动汽车的新型驱动技术[M].北京:机械工 业出版社,2012.

[18] GB 25518—2010,地下铲运机安全要求[S].

[19] 国家煤矿安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出 版社,2016.

[20] GB 7258—2012,机动车运行安全技术条件[S].