

研
究
开
发

钛酸锂电池在动车组上的应用研究

苏 剑¹, 李红兵²

(1. 湖南南车时代电动汽车股份有限公司 系统产品事业部, 湖南 株洲 412007;

2. 南车成都机车车辆有限公司, 四川 成都 610051)



作者简介: 苏 剑 (1978-), 男, 工程师, 从事电动汽车系统产品应用研究。

摘 要: 在对动车组辅助电池系统轻量化设计需求分析的基础上, 对现有蓄电池基本性能进行比较, 通过对钛酸锂电池的充放电倍率、高低温性能及循环寿命进行测试, 分析了钛酸锂电池在动车组轻量化设计上的可行性, 提出了电池组应用的解决方案。

关键词: 动车组; 钛酸锂电池; 高低温性能; 循环寿命

中图分类号: TM912; U266.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)04-0038-03

Study on the Application of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Battery on EMUsSU Jian¹, LI Hong-bing²

(1. System Product Business Unit, Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China;

2. CSR Chengdu Rolling Stock Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610051, China)

Abstract: Based on light-weight design demand analysis of EMUs assistant battery system, basic performance of present batteries were compared. With test of charge/discharge rate, high/low temperature performance and cycle life of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ battery, feasibility of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ battery using on EMUs light-weight design was analyzed, and settle scheme of batteries application was provided.

Key words: EMUs; $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ battery; high/low temperature performance; cycle life

0 引言

随着高速列车速度的提升, 轮轨动作用力加剧, 激振频宽增大, 运动稳定性的裕度减小。高速列车车体的轻量化水平不仅直接决定了高速列车运行的安全性、平稳性、舒适性、能耗和对环境产生的噪声影响, 也是高速列车能否实现速度提升的关键影响要素。辅助电池系统轻量化是动车组轻量化设计的重要组成部分之一。

1 动车组辅助系统供电蓄电池的发展现状

1.1 动车组辅助蓄电池组的要求

动车组辅助蓄电池组的主要功能是车辆在接触网电压缺失或者变流器故障等情况下, 作为应急备用电源向车内负载(如照明、升降弓等)供电, 要求电池具有以下特性: 重量轻, 适应动车组轻量化设计理念, 实现车辆运行的高安全性和低能耗; 温度适应性宽广, 能够在-40~60 的环境温度下稳定工作; 长寿

命, 电池的寿命长, 降低电池更换工作量和运营成本; 安全性好, 电池的安全性高, 能有效地保障车辆运行的安全; 功率特性好, 可满足动车组大电流充放电的需要; 其他, 能够适应动车组行驶时振动的要求, 自放电低, 不污染环境, 无记忆效应, 回收利用性好等。

1.2 动车组辅助蓄电池组的发展

现有的蓄电池主要包括铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池和锂离子电池。目前动车组用辅助蓄电池主要有两大类: 一类是铅酸电池, 另一类为碱性镍镉电池。长期以来, 铅酸电池以其工艺成熟、性能稳定以及售价低廉等优点得到了广泛的应用。但由于其重量和体积大、充电时间长以及寿命短, 铅酸电池难以满足现代动车组高效运营的要求。与铅酸电池相比, 镍镉电池大电流放电特性好、耐过充放能力强、维护简单, 在动车组上得到了广泛的应用, 但由于具有记忆效应、能量密度较低、含重金属存在环境污染等限制了镍镉电池的持续发展。

锂离子电池是20世纪90年代发展起来的先进蓄电池, 是将来理想的动力源。最初的锂离子电池以钴酸

收稿日期: 2010-11-08

锂为主,在能量密度、功率密度、电压平台、寿命等方面都表现出明显的优势,在便携式设备上得到了快速的推广应用。但是由于电池的安全性和寿命较差,不合理使用会导致电池容量快速下降,滥用可能导致电池出现冒烟、着火甚至爆炸等隐患,所以在中大型动力电池方面的应用一直受到制约。

电池研究人员通过改进电池的正极材料,先后推出了锰酸锂、三元和磷酸铁锂等体系的电池,电池的安全性和循环寿命有了长足的进步,并在电动汽车等场合得到了推广应用。

但是由于上述电池均采用碳作为负极,低温环境下,锂的嵌入和脱出负极能力下降,特别是嵌入能力下降^[1-4],所以低温下充电比放电更难,这会影响到电池的充放电电流。当充电电流过大,锂离子从正极脱出的速度大于负极嵌入速度时,不能嵌入的锂以原子态形式沉积在电池的表面,这可能导致电池出现安全隐患。

为了解决这一问题,电池研究人员对锂离子电池的负极材料也进行了深入研究,并推出了以钛酸锂为负极的锂离子电池——钛酸锂电池。该电池在电池能量密度略有下降的情况下,电池的温度适应性、电池寿命、安全性等性能都有大幅的提升。几种锂离子电池的性能比较参见表1^[5-6]。考虑到动车组将蓄电池的低温性能、使用寿命、安全性、能量密度作为主要要求指标,钛酸锂离子电池成为当今最适宜在动车组上使用的动力源之一。

表1 蓄电池组主要性能比较

指标	铅酸	镍镉	镍氢	锰酸锂	磷酸铁锂	钛酸锂
能量密度 / Wh · kg ⁻¹	25	40	60	120	110	80
充放电寿命 / 次	300	500	800	1 000	6 000	6 000
自放电率 / % / 月	5	25	25	5	5	5
记忆效应	无	有	无	无	无	无
环境污染	污染	轻度污染	无污染	无污染	无污染	无污染
安全性	好	好	良	中	良	良

2 钛酸锂离子电池的性能

被测试电池的基本参数如下:

电池类型	钛酸锂电池
电池容量	11A·h
标称电压	2.3V
电池尺寸(长×宽×厚)	129 mm×206 mm×7.8 mm
电池质量	350g
能量密度	7 272 W·h/kg, 125 W·h/L

2.1 钛酸锂离子电池充电性能

图1为电池在常温下的恒流充电特性,充电电压上限为2.8 V,不同倍率下电池的充电容量如表2所示。可以看出,2C电流充电容量可达99%,最高充电电流可达

6C。

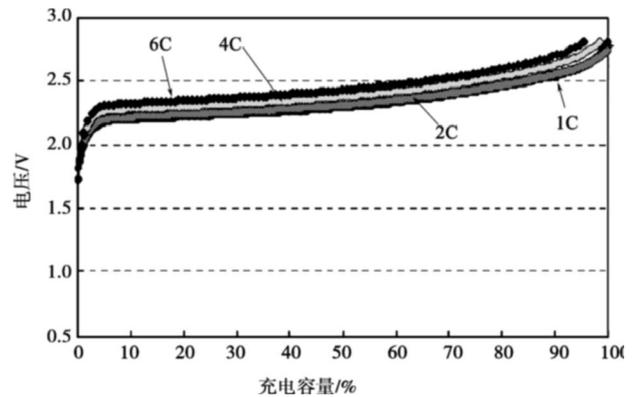


图1 不同倍率的充电特性

表2 钛酸锂离子电池不同倍率的充电容量 %

电池编号	充电倍率			
	1C	2C	4C	6C
电池 1	100	99.1	96.3	93.3
电池 2	100	98.9	95.9	93.1

2.2 钛酸锂离子电池放电性能

不同倍率下的钛酸锂电池放电曲线参见图2,放电参数参见表4。试验方法:电池在常温下恒流放电,放电截止电压1.5 V。

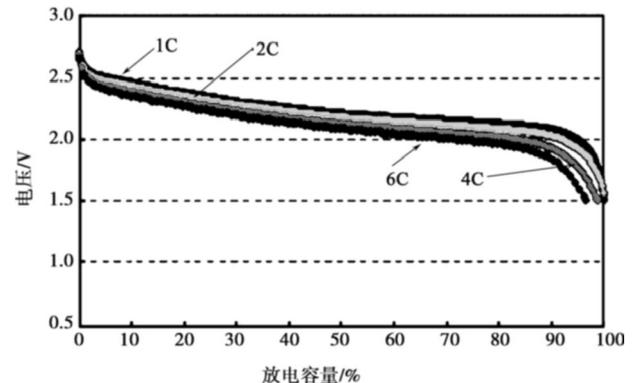


图2 不同倍率的放电特性

表3 钛酸锂离子电池不同倍率的放电容量 %

电池编号	放电倍率			
	1C	2C	4C	6C
电池 1	100	100	98.1	95.9
电池 2	100	100	98.5	95.4

2.3 电池循环性能

试验方法:电池在常温下,恒流充放电(2C/2C),充电电压2.8 V,放电截止电压1.5 V。测试曲线参见图3。

试验结果:电池在1 000次循环后,容量衰退1%,可反复使用10年以上,长期浮充条件下寿命可达8年,满足动车

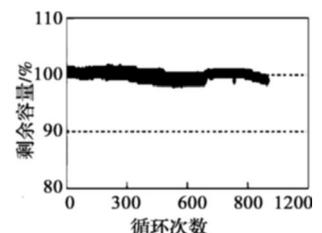


图3 钛酸锂电池循环特性

组对蓄电池的使用寿命要求。

2.4 钛酸锂电池高低温性能

不同温度下的钛酸锂电池充电测试曲线参见图4 (曲线自上而下分别对应温度-40、70、-30、-20、0、25、45),放电曲线参见图5(曲线自上而下分别对应温度25、0、-20、45、70、-30、-40),试验方法:将被测电池放置在恒温箱中,静置足够长时间使其达到热平衡,分别对其进行恒流充、放电试验,充电电压上限2.8V,放电截止电压为1.5V。

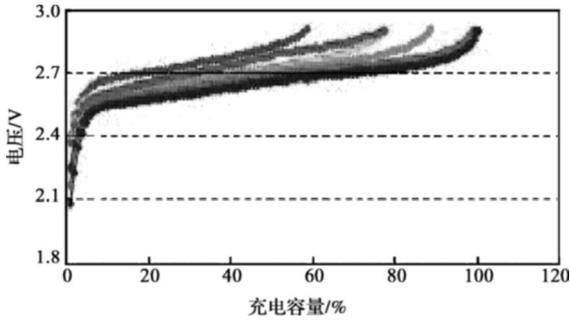


图4 不同温度下的恒流充电特性

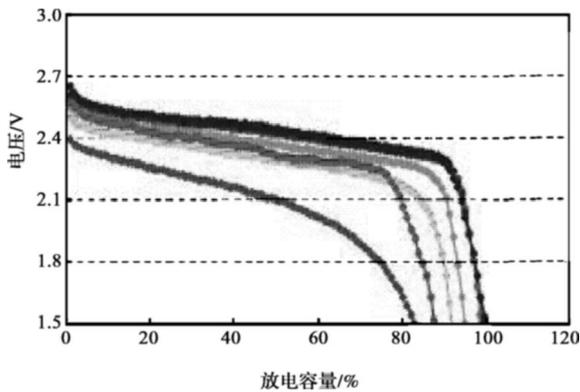


图5 不同温度下的恒流放电特性

试验结果:电池在-30环境中,充电容量可达78%,放电容量达85%以上;在-40环境中仍能充入60%的容量,放电容量达80%以上。

2.5 安全性

动车组用电池在实际使用过程中,可能出现过充电或者挤压甚至穿刺的可能,在这些极限情况下,电池的安全性是人们最关注的问题。为此对钛酸锂电池进行了穿刺和过充电试验。

电池进行穿刺试验参见图6,试验过程中无着火、冒烟、爆炸现象发生,电池安全。

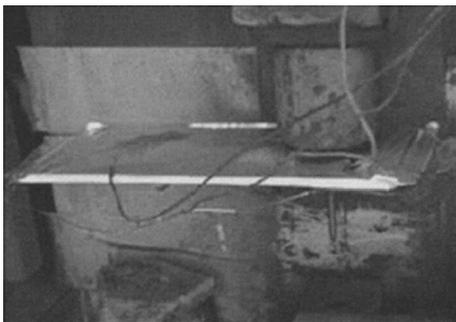


图6 电池穿刺试验

以1C电流充电至10V电池过充电曲线如图7所示。电池仅有小温升,无着火和冒烟现象,电池安全。

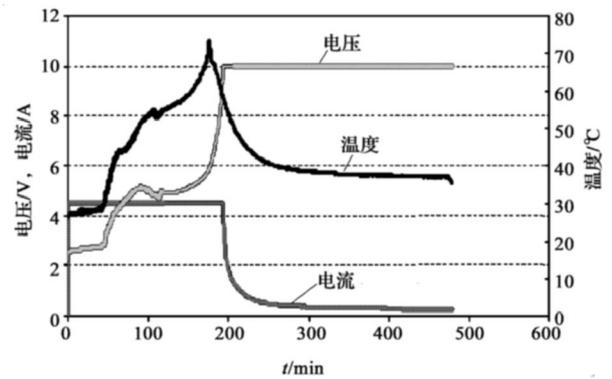


图7 钛酸锂电池过充电曲线

3 实际应用

钛酸锂电池在动车组上应用的系统拓扑参见图8,工作原理如下:在有交流电源的情况下,电网的能量通过充电机给负载直接供电,电池组起到支撑电容的作用,处于浮充工作模式。当交流电停电的情况下,电池组作为电源直接为负载供电,直到电池存储的容量耗尽后,开关S1断开,保护电池,用电设备停电。当交流电源恢复后,充电机一方面为电池组充电,另一方面为负载供电,当电池充满电后,返回第1种工作模式。

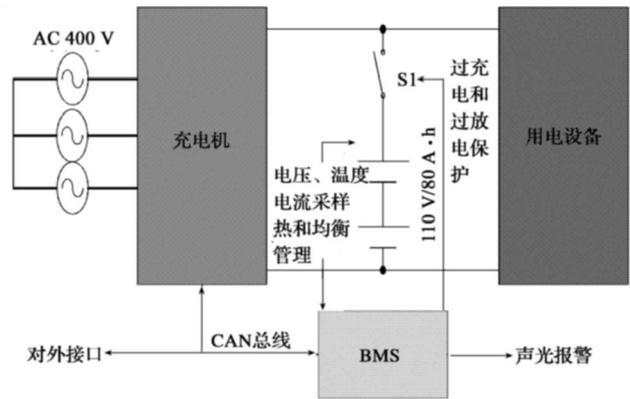


图8 钛酸锂电池系统拓扑

4 结语

通过以上分析和测试可见,与镍镉电池相比,使用钛酸锂电池后,蓄电池组在重量及性能等方面均有显著优势。将钛酸锂离子电池应用到动车组上的方案是可行的。

参考文献:

- [1] Zhang S S, Xu K, Jow T R. Charge and discharge characteristics of a commercial LiCoO_2 -based 18650 Li-ion battery[J]. Journal of Power Sources 2006, 160:1403-1409.
- [2] 郑洪河. 锂离子电池电解质[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 肖利芬. 锂离子电池若干应用基础问题 (下转第43页)

非常大的影响。对于电流较小的伺服阀来说,由于其控制电流小,反馈误差相对大,接地不良现象造成的作业精度影响更大。

当然,从图3中也不难发现,从单个电路来说,无论OA和OD与车体连接是否良好,只对作业精度造成影响,不会对系统中其他电路的正常工作造成影响。但是,实际使用中并不是这么简单,只要其中存在OA或者OD与车体连接不好时,整个系统除作业精度和反馈显示受到影响外,其他电路同样也可能会出现工作不稳定等现象。这主要是因为其整个电气系统以车体作为所有信号的地线进行信号的传输,当其中某个电路的负端与车体连接不良时,其对系统中某些电路产生影响的机理与OA和OD在电路板上短接机理一样(从整车系统分析),这里不作详细介绍。

2 改进设计

从前面的分析可知,OA与OD在电路板上直接短接,通过减少OA与OD以及OA、OD与车体之间的阻抗,可以有效地减少对系统的影响。但是,这种阻抗的存在是不可避免的,减少阻抗只能适当减少或降低其对系统的影响。OA与OD在电路板上不直接短接,而通过车体短接,那么减少OD与车体之间的阻抗能减少对系统的不良影响,但是如果OA与车体接触不良,从整车来分析,同样会产生OA和OD在控制板上短接相同机理的影响。所以要从根本上改善电路因接地对系统的影响,应切断2个电路(系统)中的地环路,单个系统尽量采用单点接地的方式,即加大系统间的地环路阻抗,减少环路电流对系统的影响,同时提高反馈的精度。

改进后的电路等效图如图4所示,输入信号经隔离

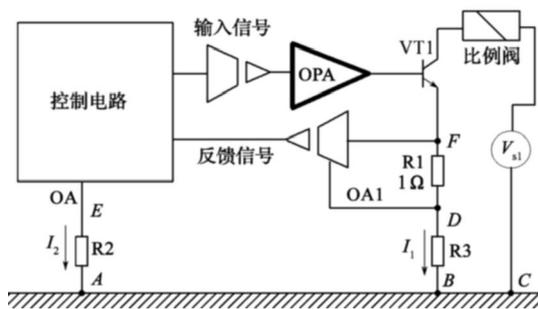


图4 改进后的等效电路图

芯片隔离后进入电路,电流反馈信号同样通过隔离后送计算机控制系统或仪表显示,即通过隔离芯片将2个电路(系统)的金属路径完全断开。这样,共模噪声电压只能出现在光耦上,而不会出现在电路输入端。

当OD在C点与车体连接不良时,R3阻抗较大,但是,2个系统间不会形成回路,不会影响控制系统的正常工作。同时,反馈信号直接取之于R1上的压降,其大小不受R3和R2的影响,能够提高控制系统的反馈信号的准确性,从而有效提高作业精度。

在以模拟控制电路为基础的大型养路机械电气控制系统中实现上述改进非常困难,而且对于大型养路机械来说,良好的接地和有效的隔离只是提高系统稳定性和作业精度的重要因素之一。现有控制系统存在的信号传输线过长,数字和模拟信号混合传输造成的信号间干扰、电磁兼容能力差等问题也是影响作业精度及系统可靠性的重要因素。目前最新研制的大型养路机械网络控制系统输入、输出的每个通道对应单个执行机构或传感器,网络电源与作业电源完全隔离,做到了控制系统与执行机构间的良好接地和有效隔离。由于采用分布式控制,减少了信号传输线的长度,同时采用CAN网络进行数字化的传输,有效地减少了线间信号的相互干扰,从而可以有效地提高系统的可靠性、抗干扰能力、作业精度。从2008年开始,广州客运专线维修基地采用大型养路机械网络控制系统对3台D08-32捣固车、1台WD320动力稳定车的电气系统进行了改造。经现场运用表明,改造后的这些大型养路机械电气控制系统的可靠性、抗干扰能力明显提高,机器的作业精度也得到较大的提高。

3 结论

本文分析铁路大型养路机械电气控制系统中现有的2种接地方式,并阐述了大型养路机械由于接地问题对系统造成影响的机理,提出了改进措施。改进后能够有效改善铁路大型养路机械的作业精度,同时也有利于提高电气控制系统的可靠性和稳定性。但从根本上提高系统的工作稳定性,进一步提高大型养路机械的作业精度,需要采用数字化、网络化、模块化的大型养路机械网络控制系统取代目前基于模拟电路的大型养路机械电气控制系统。

(上接第40页)

研究[D]. 武汉:武汉大学,2003.

[4] 黄可龙,王兆翔,刘素琴. 锂离子电池原理与关键技术[M].

北京:化学工业出版社,2008.

[5] 郭炳焜,徐徽,王先友,肖立新. 锂离子电池[M]. 长沙:中南大学出版社,2002.