

基于新一代电源控制器的锂电池在轨管理分析

多 冰*

中电科能源有限公司 天津市 300450

摘要: 电源系统负责航天器在轨运行的能源供给,当前主要采用“太阳电池阵+蓄电池”的系统架构,由太阳电池阵提供一次能源,蓄电池组作为储能装置,二者通过电源控制器调节功率以产生稳定的母线:当太阳电池阵能够提供充足的功率,电源控制器可以控制对蓄电池组充电;当太阳电池阵输出功率不足或地影期输出为零时,电源控制器可以控制蓄电池组对母线放电。锂离子蓄电池组具有质量轻、体积小、单体工作电压高、能量密度高、自放电电流小、循环使用寿命长、无记忆效应、相对无污染和性价比高等优点,已在航天器电源系统设计中得到普遍应用。为了满足卫星在轨正常工作15年以上的寿命指标,需要对锂离子蓄电池组进行有效的管理^[1]。例如,过高或过低的空间环境温度会严重削弱锂离子蓄电池组工作性能;过充电也会降低锂离子蓄电池组的工作寿命。采用健康合理的充电方式,不仅可以实现锂离子蓄电池组的可靠充电,也有助于延长其工作寿命。

关键词: 电源控制器;锂电池;在轨管理;

引言

近年来,锂电池在轨道交通领域的应用越来越广泛,其主要作为列车辅助备用电源、备用动力牵引源及动力电源。能量密度、功率密度、循环寿命和安全性是锂电池的关键指标,其中安全性指标是轨道交通车载储能大规模应用的第一指标。钛酸锂电池和半固态磷酸铁锂电池是目前电池类型中相对安全的储能器件,前者采用三维尖晶石结构,其平台电位约为1.55V,不易产生锂枝晶,避免了刺穿隔膜造Vol.44No.6Nov.20th, 2021成内部短路;后者固态电解质的熔点超过170℃,分解温度超过350℃,而市面上隔膜的收缩温度一般低于130℃,熔点一般低于160℃,破裂温度一般低于180℃,因此隔膜在高温下收缩破损后固态电解质依然可以保证完整性,作为第二层保护隔绝正负极接触,从而缓解热失控进程。

1 锂电池性能特点

由于城轨列车具有无污染、客运量大、速度快、启停频率高等特点,因此城轨列车的车载储能系统需具有以下特点:①较高的能量密度;②较高的功率密度;③自放电率小;④循环寿命长;⑤造价低廉;⑥安全可靠;⑦充放电效率高。可以概括为1)安全稳定性好。钛酸锂负极材料嵌锂电位高,在充电的过程中可以消除析锂对其产生的影响,并且钛酸锂的平衡电位要高于大多数电解质溶剂的还原电位,因此避免了和电解液之间发生反应,不会形成SEI膜,同时避免了许多副反应,因此很大程度上提升了钛酸锂电池的安全性^[1]。安全稳定性是轨道交通中最为重要的指标。快充性能优异。充电性能也一直是用户特别关注的发展方向,太长的充电时间是阻碍电池发展的关键因素。对于相同容量的锂电池,钛酸锂电池的充电性能要明显优于传统的锂电池,8C倍率仍可充入电量80%以上,该性能可满足车载储能站内快速补电的需求,假设在首末站以8C倍率充电,可实现4.5min充电60%。

2 在轨管理方式

新一代卫星平台中,锂离子蓄电池组可自主完成在轨管理,包括充放电控制、均衡管理、温度控制、过充过放保护和故障隔离。在光照区,当锂离子蓄电池组未达到充电终压时,由太阳电池阵为锂离子蓄电池组充电。光照期,卫星依靠能源管理软件和电源控制器对锂离子蓄电池组在轨状态进行管理,锂离子蓄电池组可满足全光照期荷电状态保持在70%~90%的搁置要求。进入地影季前,卫星能源管理软件自主完成充电终压和控温阈值的切换,当GEO卫星运行在地影区时,锂离子蓄电池组放电,为星上负载供电;地影季期间,锂离子蓄电池组根据软件控制逻辑,在充电模式、放电模

*通讯作者:多冰、男、汉族、1988年3月、籍贯:河北省阜城县、学历:本科、职称:工程师、毕业院校:电子科技大学、研究方向:卫星电源控制 星上配电设计 锂电池均衡管理技术 BMS、邮箱: icy1.0@163.com

式和暂停模式之间切换,自主完成充放电管理;地影季结束后,充电终压和控温阈值切换为光照期控制阈值^[2]。

3 合理进行火灾自动报警系统和灭火设施设置

通常来讲,锂电池储能系统所引发的火灾一般会经历“初起-发展-猛烈燃烧-熄灭”这四个阶段。其中,初起阶段、发展阶段所占的时间比例是很大的,这两个阶段内火势还没有大规模发展,如果利用火灾自动报警系统及时发现火灾后进行控制,可以在很大程度上减小火灾带来的损失。根据我国相关防护规范和要求,对于每个集装箱式锂电池储能系统都必须配置独立的火灾自动报警系统,对火灾进行基本的监控。每个集装箱式锂电池储能系统中点型火灾探测器的数量和放置区域对应集装箱具体的内部结构。除了点型火灾探测器,还可以结合锂电池的类型以及其本身所具有的特性,有针对性地加设不同类型的探测器,如吸入式感烟探测器、可燃气体探测器等,以便在第一时间及时捕捉到由于锂电池发生故障扩散的可燃性气体,从而使火灾的监控更加灵敏^[3]。除此之外,还可以通过加设声光报警器,增强报警器附近的巡逻等方式,更加严密的监控火灾。

4 锂离子蓄电池组充电控制方式

在光照区时,由太阳电池阵为锂离子蓄电池组充电。电源控制器负责对锂离子蓄电池组在轨充放电进行管理。新一代GEO卫星电源系统中,由于电源控制器进行了换代升级,组成结构和控制方式发生了变化,通过将BCR电路和BDR电路集成到一个充放电调节(BCDR)模块中来实现减重和性能提升。当卫星运行到地影区或者太阳电池阵输出功率不足时,每组锂离子蓄电池组通过5个热备份的BDR模块为星上负载供电;当太阳电池阵输出功率充足时,通过5个热备份的BCR模块实现锂离子蓄电池组的充电。相对于上一代电源控制器仅对BCR模块进行主备份设计的备份方式,新一代电源控制器的充电模式具有更高的可靠性。新一代电源控制器通过BCDR模块的并联实现功率的扩展。每个BCR工作在电流源模式,通过电池充电管理(BCM)模块设置充电控制点,从而实现多个BCR模块的并联工作给锂离子蓄电池组充电^[4]。其中BCR采用的是Buck电路,结构简单、输出电流脉动较小,是新一代电源控制器BCR设计的首选方案。BCDR模块中设置有输入开关和输出开关,可以确保任何故障情况下均不会导致母线或者电池组的过载或短路,提高了整星的可靠性。新一代电源控制器省去了星载计算机对充电电流的检测及判断,可实现BCM的自主充电管理,对锂离子蓄电池组的自主管控能力更强,控制也更为精准。

5 电池管理技术

与铅酸电池与镍镉电池相比,锂离子电池本身抗滥用能力偏差,在过充过放后会极大缩短电池的使用寿命,引起性能的极度劣化。在极端情况下,锂离子电池在短路、过充、过放、高温等条件下极易引起热失控的发生,因此锂离子电池通常需要加装电池管理系统实现对电池的保护和充放电控制。即使是安全性高的钛酸锂电池,通常也会通过电池管理系统实现安全充放电和高效能量利用。电池管理系统一方面保证电池的安全、合理使用,防止电池出现过充、过放、过温等情况;另一方面,需要通过电池管理系统采集电池单体电压、温度、总电流和总电压等数据,对电池的状态实时监控,并通过SOX的估算,实现电池系统充放电功率的管理。在系统功能方面,电池管理系统还应具备对电池故障的实时分析能力,对故障进行准确的预警和报警,并上报故障位置^[5]。同时电池管理系统与整车或上一级系统实现数据通信,实时接收整车的运行状态,并上传电池状态数据。

6 过充电保护

过压保护:新型电源控制器具备过压充电保护功能,通过充电终压控制功能实现。电压安全保护阈值根据锂离子蓄电池单体的不同特性进行设定,目前常用单体平均控制电压通常设置为4.2V,当电压达到保护阈值时,充电电流自动降为0;如果上述过压保护失效,当单体电压达到旁路控制上限时,在旁路控制作用下,故障的单体可自动切除,也能保证电压小于安全阈值。已在单机测试过程中得到验证。过流保护:新一代能源管理软件具备过流保护功能,保证充电电流不超过所处环境温度下的最大电流值,延长电池使用寿命并且提升电池安全性。

结束语

根据电池特性提出了锂离子蓄电池组的在轨管理方法,实现了自主恒流恒压充电控制,延长了锂离子蓄电池组在

轨使用寿命，提高了整星电源系统的健壮性。在轨数据表明：该锂离子蓄电池组在轨管理策略可满足锂离子蓄电池组全寿命周期的自主管理需求。

参考文献

- [1]张文爽,李键,余文涛,王利然.基于新一代电源控制器的锂电池在轨管理分析[J].电源技术,2022,46(01):109-112.
- [2]白旭斌.高压电力线路的电源控制系统分析[J].集成电路应用,2021,38(12):176-177.
- [3]王其钰,李泓.锂电池安全问题及失效分析[J].新能源科技,2021(11):15-19.
- [4]张汉如.锂电池储能系统火灾危险性及防范措施研究[J].中国高新科技,2021(22):90-91.
- [5]芮成,章玄,杨昶,刘海瑞.用于卫星电源控制器测试的蓄电池模拟器设计[J].电源技术,2020,44(09):1371-1374.
- [6]李贵蔚.智能电源管理系统的设计与实现[J].福建电脑,2019,35(10):72-73.