



文章编号:1671-251X(2014)10-0061-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.10.016

肖林京,常龙,张瑞雪,等.矿用防爆柴油机车锂离子蓄电池启动电源系统设计[J].工矿自动化,2014,40(10):61-64.

矿用防爆柴油机车锂离子蓄电池启动电源系统设计

肖林京, 常龙, 张瑞雪, 翁峰

(山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:针对 GB 3836.2—2010 规定隔爆壳内不能使用有可燃混合物析出的蓄电池的要求,将多个单体锂离子蓄电池串联成组,设计了一套矿用防爆柴油机车锂离子蓄电池启动电源系统;分析了系统的设计要求和结构,详细介绍了系统中电池管理功能的实现。电池管理系统采用 LTC6803 配合单片机实现对电池组的单体电池电压检测和均衡控制,利用 DS18B20 温度传感器采集单体电池温度,运用双电流霍尔传感器采集电池组启动电流和充电电流。测试结果表明,该系统运行稳定,电压和电流测量误差远小于煤矿安全标准的规定值。

关键词:防爆柴油机车;锂离子蓄电池;启动电源;电池管理

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of start-up power supply system of lithium-ion battery of
mine-used explosion-proof diesel locomotive

XIAO Linjing, CHANG Long, ZHANG Ruixue, WENG Feng

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao 266519, China)

Abstract: In view of requirement of GB 3836.2-2010 that battery with precipitated combustible mixture cannot be used in flameproof shell, a start-up power supply system of lithium-ion battery of mine-used explosion-proof diesel locomotive was designed with serial lithium-ion batteries. Design requirements and structure of the system were analyzed, and design of battery management unit of the system was introduced in details. The battery management unit combines LTC6803 with microcontroller to realize voltage detection and equalization control of single battery, uses DS18B20 temperature sensor to collect temperature of single battery and employs double current hall sensors to collect start-up current and charging current of the batteries. The test results show that the system runs stably, and measuring errors of voltage and current are far less than specified value of coal mine safety standards.

Key words: explosion-proof diesel locomotive; lithium-ion battery; start-up power supply; battery management

0 引言

矿用防爆柴油机车作为矿井辅助运输的主要设备^[1-2],因其运输方式灵活、节省人力、运输效率高等特点而得到积极推广^[3]。启动电源作为柴油机车重要的配套设备^[4-5],不仅给启动机供电来启动柴油机车,还给灯、喇叭等机车辅助设备供电。柴油机车启动后,带动充电机对启动电源进行充电。

目前,矿用防爆柴油机车的启动电源主要使用隔爆启动型铅酸蓄电池。GB 3836.2—2010《爆炸性环境 第 2 部分:由隔爆外壳“d”保护的设 备》规定,隔爆壳内不能使用有可燃混合物析出的蓄电池,因此,需要对现行的煤矿隔爆铅酸蓄电池进行改进,可替代产品主要有免维护铅酸蓄电池和锂离子蓄电池。免维护铅酸蓄电池容量小、自放电量大、使用寿命短、对环境污染严重^[6];锂离子蓄电池具有比功率和比能量高、绿色无污染、使用寿命长等特点,是铅酸蓄电池的最优替代产品,是新型二次蓄电池的发展方向。锂离子蓄电池在过放、过充、过热等条件下会导致电池寿命缩短或损坏^[7],本文设计了一套矿用防爆柴油机车锂离子蓄电池启动电源系统,该系统配备电池管理系统,可确保锂离子蓄电池使用安全可靠,延长其使用寿命。

1 煤矿安全标准要求

由于锂离子蓄电池启动电源系统应用于矿用防爆柴油机车,所以必须满足《矿用隔爆(兼本安)型锂离子蓄电池电源安全技术要求(试行)》中关于防爆柴油机车启动机用启动电源的所有指标。

1.1 锂离子蓄电池基本要求

- ① 防爆柴油机车启动机用启动电源中锂离子蓄电池的标称容量不超过 100 A·h;
- ② 在正常充、放电过程中单体电池的最高温度不应超过 60 ℃;
- ③ 锂离子蓄电池应采用串联方式连接,其类型、规格、技术参数应一致,并为同一制造厂家生产的产品;
- ④ 锂离子蓄电池应放置在独立的隔爆腔内,且该隔爆腔内不应放置除电池管理系统中检测单体电池温度的传感元件和防止锂离子蓄电池安装时发生短路的熔断器以外的其他电气元件;
- ⑤ 隔爆腔内不允许锂离子蓄电池以任何形式的并联连接。

1.2 电池管理系统基本要求

应对所有单体电池的电压和极耳处温度,电池组的电压、电流、电池容量等参数进行检测,误差应满足表 1 的要求;测量信息的显示和故障报警功能

应满足实际需要;应具有单体电池过放、单体电池过充、放电过流、充电过流、输出短路、温度等保护功能,以及均衡充电控制功能;应具有电池信息采集线开路保护。

表 1 锂离子蓄电池(组)参数测量误差要求

单体电 池	单体电 池	电 池 组	电 池 组	电 池 组
电压	温度	电 流	电 压	容 量
≤0.5%	±2 ℃	≤2%	≤0.5%	≤5%

2 系统结构

现场调研启动电源的电压一般不低于 24 V,因此系统选用 8 节标称电压为 3.2 V 的 100 A·h 磷酸铁锂蓄电池串联成组,得到 24 V 电压。对于电压高于 24 V 的启动电源,可通过增加串联电池的数量来满足电压需求;对于容量高于 100 A·h 的启动电源,可通过多个启动电源外部并联的方式提高容量。

依据 GB 3836.2—2010 的相关规定,设计 3 腔(电池腔、控制腔和接线腔)结构的隔爆箱,箱体能够承受 1.5 MPa 的水压试验。锂离子蓄电池启动电源系统结构如图 1 所示,图中 Bat1—Bat8 为 8 节单体电池。由 8 节单体电池串联而成的锂离子蓄电池组及温度传感器放入隔爆箱的电池腔内;总开关、电池管理系统、液晶显示屏和万能开关、中间继电器以及接触器 KM1 等放入隔爆箱的控制腔内;接线腔为用户提供外部接线端口,实现启动电源与柴油机车启动机、充电机、司控器的电气连接。用户通过万能开关 1-1、万能开关 1-2、万能开关 2 分别实现对启动电源的充电、柴油机车的启动、司控器的供电控制;通过司控器实现对电池管理系统的控制。电池管理系统完成对锂离子蓄电池的电压检测及均衡控制、温度检测、电流检测、电池剩余电量(State of Charge,SOC)估算等,并配合中间继电器和接触器 KM1 完成对电池组的过充、过放、短路、过温等保护。

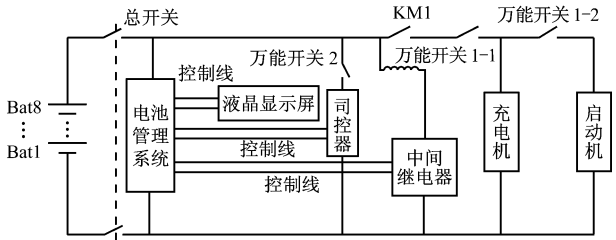


图 1 锂离子蓄电池启动电源系统结构

3 电池管理实现

3.1 单体电池电压检测及均衡控制

采用 LTC6803 配合 MCU 实现对串联电池组的单体电池电压检测和均衡控制,如图 2 所示。LTC6803 是新一代高电压电池组监视器,其 AD 转换速度快,待机功耗低,配备通用 SPI 通信接口,每片最多可实现 12 个单体电池串联成组的电压检测和均衡,每个单体电池电压测量范围为 $-0.3 \sim 5\text{ V}$ 。MCU 选用基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103RET6,该芯片外设 SPI 通信接口,具有 12 路 AD 采样通道和 CAN 总线接口等。LTC6803 与 STM32F103RET6 之间的 SPI 通信使用数字隔离芯片 SI8441,它可实现 4 个通道的模拟信号隔离,具有功耗小、速率快(150 Mbit/s)、电路简单的特点,非常适用于数字通信,避免了光耦隔离电路的繁琐。

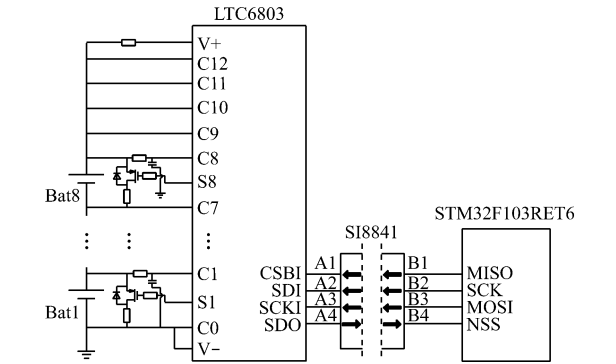


图 2 单体电池电压检测及均衡控制电路

系统采用能耗型均衡方式,即在每个单体电池两端并联 1 个 MOSFET 开关和 1 个电阻,通过控制 MOSFET 开关把电池组中高电压单体电池的多余电量通过电阻释放掉。具体过程:STM32F103RET6 通过分析 LTC6803 采集的电压得到高电压单体电池电量,然后发送 CFG (Configuration Register Group) 指令控制 LTC6803 的 S1—S8 输出电平来控制 MOSFET 开关,通过电阻实现电压均衡。

3.2 单体电池温度、电流检测

单体电池温度检测采用一线总线方式传输的 DS18B20 温度传感器实现,如图 3 所示,最大程度地简化了布线,最大误差为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,符合煤矿安全相关要求。开发程序运用基于二叉树的搜索算法,首先查找每个 DS18B20 的 64 位序列号,然后对其对应的每个单体电池进行软件编号^[8]。

电流检测采用单电源供电的电流霍尔传感器实

现。由于启动电流太大,而充电电流相对较小,系统选用 2 个不同量程的单电源电流霍尔传感器 HFK400BS5 和 HFK25BS5。电流霍尔传感器的输出信号通过运放调整电路分别连接 STM32F103RET6 的 2 路 AD 通道进行采样,如图 3 所示。

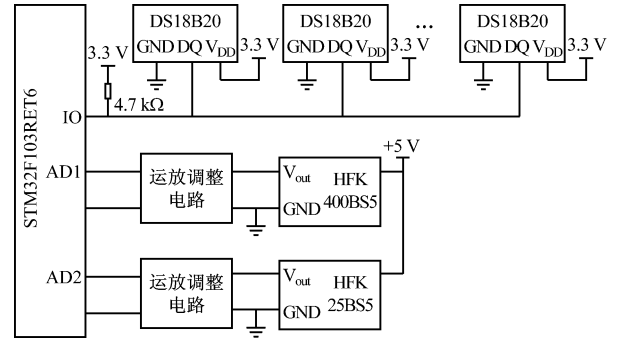


图 3 温度、电流检测电路

3.3 电池组 SOC 估算

系统的电池组长期处于浮充状态,因此对于电池组的瞬态特性,只考虑欧姆内阻对电池组的影响,得到电池组开路电压和工作电压的关系式:

$$U_{oc} = U + I r_0 \tag{1}$$

式中: U_{oc} 为电池组开路电压; U 为电池组工作电压; I 为电池组工作电流; r_0 为电池组欧姆内阻。

选定实际工况对电池进行充放电,得到特定的充放电曲线。电池组的内阻已知,工作电压和工作电流可直接测得,根据式(1)可得电池组的开路电压,然后根据开路电压法得到电池组的 SOC。在实际工程应用中,该方法简单可靠。

4 系统测试

电池组单体电池电压实际值、测量值及误差见表 2,误差远小于煤矿安全标准中的规定值。

表 2 电池组单体电池电压及误差

电池	实际电压/mV	测量电压/mV	误差/%
Bat1	3 160.3	3 163.9	0.11
Bat2	3 162.3	3 164.2	0.09
Bat3	3 161.8	3 163.9	0.07
Bat4	3 165.9	3 167.8	0.06
Bat5	3 165.1	3 167.7	0.08
Bat6	3 162.1	3 165.3	0.09
Bat7	3 163.5	3 165.8	0.07
Bat8	3 162.9	3 165.1	0.07

电池组电流实际值、测量值及误差见表 3,符合煤矿安全标准的规定。

表 3 电池组电流及误差

实际 电流/A	测量 电流/A	误差/ %	实际 电流/A	测量 电流/A	误差/ %
5	5.06	1.20	400	403.40	0.85
10	10.08	0.80	500	505.20	1.04
20	20.13	0.65	600	592.44	1.26
30	29.74	0.87	700	707.84	1.12
200	197.10	1.45	800	812.48	1.56

5 结语

依据《矿用隔爆(兼本安)型锂离子蓄电池电源安全技术要求(试行)》的规定,设计了多个单体锂离子蓄电池串联成组的矿用锂离子蓄电池启动电源系统,通过调节电池组的数量可适用于不同的柴油机车。该系统结构简单可靠,电池检测数据符合煤矿安全标准相关要求。

参考文献:

[1] 张立斌,汪学明,程刘胜. 一种新型矿用柴油机车保护

装置的设计[J]. 工矿自动化,2011,37(4):11-13.

[2] 汪学明. 一种新型矿用防爆柴油机车显示器的设计[J]. 工矿自动化,2011,37(10):19-21.

[3] 周旭. 一种新型防爆柴油机车安全保护系统设计[J]. 工矿自动化,2013,39(2):9-11.

[4] 陈亚,汪丛笑,周旭,等. 防爆柴油机车状态监测平台可靠性研究[J]. 工矿自动化,2011,37(4):51-53.

[5] 周旭,晏伟光,孙勇,等. CAN 总线在矿用柴油机车安全保护系统中应用的必要性和可行性分析[J]. 工矿自动化,2011,37(1):59-61.

[6] 袁晓明. 煤矿车辆用蓄电池技术[J]. 工矿自动化,2011,37(6):26-28.

[7] CHATURVEDI N A,KLEIN R,CHRISTENSEN J,*et al.*. Algorithms for advanced battery-management systems[J]. IEEE Control Systems Magazine,2010,30(3):49-68.

[8] 丁晓进,史小军,朱为,等. 基于 DS18B20 的多点温度检测[J]. 电子工程师,2006,32(7):1-3.