

基于磷酸铁锂电池起动电源设计

针对重型车辆装备遇到的起动困难问题，通过对车辆装备起动电压、起动电流需求分析，选取磷酸铁锂电池作为单体储能元件，采用串并联方法，组装成基于磷酸铁锂大功率起动电源模块，形成磷酸铁锂便携式起动电源。通过性能测试，该起动电源循环600周后100%DOD容量保持能力与终止电压保持能力良好，具备良好的循环使用寿命。起动电源具有两路输出，分别用于起动汽油机与柴油机。体积 $\leq 420\text{ mm} \times 222\text{ mm} \times 323\text{ mm}$ ，重量 $\leq 20 \pm 1\text{ kg}$ ，机动便携，低温性能好，可代替铅酸蓄电池使用，满足车辆装备各种残酷环境起动需要。

王为奎 田 戎 吴 华 戴革林/空军勤务学院航空弹药系
刘云凤/江苏师范大学

0 引言

我部承担装备保障任务，主要配置汽油机作动力的电源车以及柴油机作动力的空气压缩机车，以及其他供电、供气保障设备，都是机动行驶的大型、重型车辆装备，需要配置大量铅酸蓄电池。由于经常处于野外环境，电池保障存在困难^[1]，当低温环境下工作时，蓄电池起动能力下降，经常出现起动困难。基于保障需要，设计了一种基于磷酸铁锂便携式起动电源，代替铅酸蓄电池使用，减少蓄电池使用与维护成本。



王为奎/副教授

关键词/Keywords

低温起动·
应急起动·
便携式·
起动电源·
低压大电流·

1 电源车与气源车起动需求分析

1.1 电源车与气源车动力配置

在这些车辆装备中，有汽油机作动力的电源车，也有柴油机作动力的气源车，油机作动力电源车属于大中型发电装备，柴油机作动力的气源车属于大型、重型柴油机动力装备，具体配置如表1所示。

1.2 起动需求分析

由表1可知，电源车A标准配置为一块100 A·h铅酸蓄电池，起动电压为+12 V，根据内燃机理论^[2]：汽油机起动电流为： $I = (2 \sim 3)Q$ ，其中 Q 为蓄电池容量，则起动电流为200~300 A，取最大值300 A，电源车A起动电压/电流为：+12 V/300 A。

气源车A标准配置为4块6-Q-140铅酸蓄电池，两串两并，则起动电压为+24 V， $Q = 280\text{ A} \cdot \text{h}$ 。根据内燃机理论^[2]：柴油机起动电流为： $I = (4 \sim 5)Q$ ，则起动电流为1 120~1 400 A，取最大值1 400 A，气源车A起动电压/电流为：+24 V/1 400 A。

气源车B标准配置为4块6-TKA-180铅酸蓄电池，两串两并，则起动电压

表1 电源车配置与需求

序号	类别	动力配置	型号	配置功率/kW	起动机	配置蓄电池	电池数/个	单块重量/kg
1	电源车A	3缸汽油机	395	20	ST10	100 A·h	1	20
2	气源车A	4缸柴油机	4135G	48	ST614	6-Q-140	4	25
3	气源车B	6缸柴油机	F6L413	77	QD-900	6-TKA-180	4	65

国家社科基金：碳排放峰值约束下区域协同减排的调控政策（16BGL140）。

为+24 V, $Q=360\text{ A}\cdot\text{h}$ 。根据内燃机理论:柴油机起动电流为: $I=(4\sim 5)Q$, 则起动电流为1 440~1 800 A, 取最大值1 800 A, 气源车B起动电压/电流为: +24 V/1 800 A, 则每个车辆装备起动电压、电流需求如表2所示。

对于一个具体单位, 由于车辆装备的型号与数量较多, 不可能为每个车辆装备专门配置一个起动电源, 设计配置的起动电源需具有通用性, 满足各种装备起动需要。采取舍小取大方法, 确保可以起动所有装备, 则汽油机起动电压/电流设计指标为: +12 V/300 A, 柴油机起动电压/电流设计指标为: +24 V/1 800 A, 维持时间3~5 s, 满足所有装备起动需要。

表2 起动电压、电流需求

序号	装备类型	电压需求/V	电流需求/A	维持时间/s
1	电源车A	+12	300	$\geq 3\sim 5$
2	气源车A	+24	1 400	$\geq 3\sim 5$
3	气源车B	+4	1 800	$\geq 3\sim 5$

2 基于磷酸铁锂起动电源设计

2.1 磷酸铁锂电池选择

磷酸铁锂电池从功能上分为动力型电池与起动型电池两种; 正极材料主要为磷酸铁锂材料、负极主要采用石墨碳^[3]。动力型磷酸铁锂电池主要用于电动汽车、无人机作为行驶里程、航程动力, 起动型磷酸铁锂电池除具备动力锂离子电池特性外, 还具备瞬间大功率输出能力, 为保证大功率、大能量密度, 在结构上一般都采用大型极板、多单体装配结构^[4]。这种电池适合作为起动电源单体。图1为选取的国产IFP1780-123PA单体起动型磷酸铁锂外形与技术参数, 该型号电池为方形铝壳, 方便组装, 获得QCT/743—2006锂离子电池

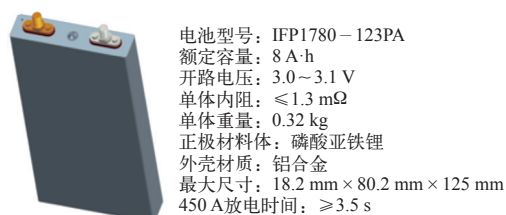


图1 单体起动型磷酸铁锂外形与技术参数

池行业标准认证, 为航空航天级产品, 性能安全可靠^[5]。

2.2 起动电源模块设计

2.2.1 +12 V/450 A起动模块

由图1可知, IFP1780-123PA单体开路电压为3.0~3.1 V, 取3.05 V, 采取4个单体串联电压为12.2 V, 容量为8 A·h, 电流为450 A $\geq$ 300 A, 放电时间为3.5 s, 满足设计指标, 4个单体串联外形与体积如图2所示。体积为: 125 mm×80.2 mm×72.8 mm。

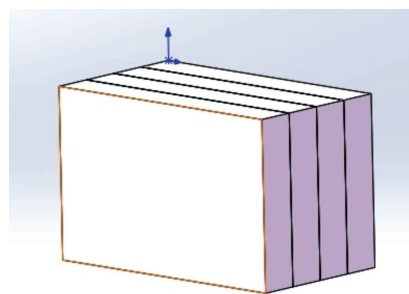


图2 +12 V/300 A起动模块

2.2.2 +24 V/1 440 A起动模块

由图1可知, IFP1780-123PA单体开路电压为3.0~3.1 V, 取3.05 V, 采取8个单体串联成一组, 则电压为24.4 V, 容量为8 A·h, 电流为450 A, 为达到1 800 A的电流设计指标, 至少需要4组并联, 并联后电流为4×450 A=1 800 A (如果电流达不到1 800 A, 继续并联), 满足设计指标。单体进行8串4并后模块结构如图3所示。内部布局如图4所示。单体8串4并后模块的体积为: 250 mm×160.4 mm×145.6 mm。

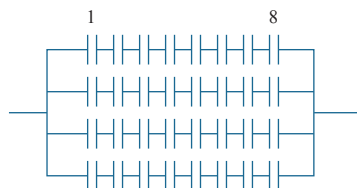


图3 +24 V/1 800 A起动模块结构

2.3 电源管理模块设计

电源管理模块对整个起动电源进行管理, 包括防过充电管理模块、剩余电量显示模块和电压

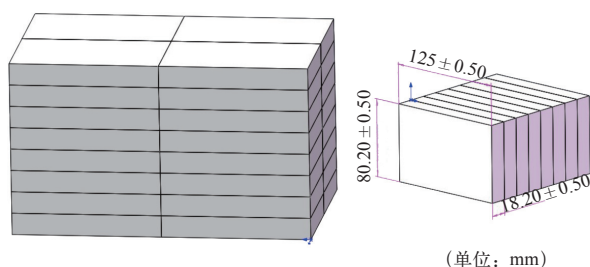


图4 +24 V/1 800 A起动模块内部布局图

电流显示模块。+12 V、+24 V两路电源集成在一个电源管理模块内，分别管理，各自工作，互不影响。图5为电源管理模块外形图，体积为200 mm×100 mm×12 mm，重量可以忽略不计。

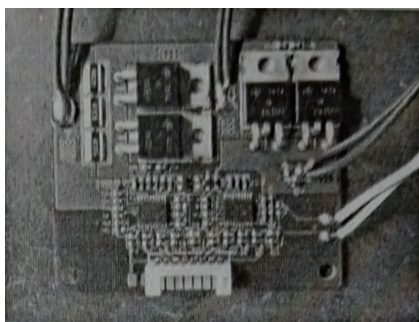


图5 电源管理模块

2.4 外部壳体设计与组装

起动电源内部包括：+12 V/300 A起动模块，体积为：125 mm×80.2 mm×72.8 mm；+24 V/1 800 A起动模块，体积为：250 mm×160.4 mm×145.6 mm；电源管理模块体积为200 mm×100 mm×12 mm三个基本模块。为优化内部布局，采用SolidWorks三维建模软件进行内部布局优化设计。基本原则是：在容纳三个基本模块（+12 V/300 A起动模块、+24 V/1 800 A起动模块和电源管理模块）情况下，体积越小越好，长×宽×高比例符合人体工学审美观点，便携。首先采用SolidWorks软件构建壳体的钣金结构，将三个模块放入壳体的钣金结构内，通过多次移动、转动等方式，优化布局得到理想的壳体布局尺寸为：420 mm×222 mm×320 mm，如图6所示。

起动电源内部单体之间由紫铜镀镍跨接片进行串并联连接，各自由正端引出到面板的接线柱。+12 V、+24 V两路电源采用共地设计，即

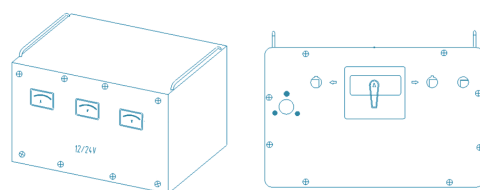


图6 起动电源外形设计图

面板上共三个接线柱，分别为+12 V、+24 V、GND（地）；+12 V、+24 V输出可以通过转换开关进行切换，两路电源集成在一个钣金结构钢制壳体内，各电源均带有电池充电过充电保护，其间采用环氧板隔离。图7为实物图。图8为配套输出电缆与充电器。



图7 起动电源实物图



图8 配套输出电缆与充电器

3 起动电源设计性能测试

性能测试实验采用德国DIGIATRON公司HEW型电池测试系统，测试地点在上海某电源厂，HEW型电池测试系统具有大电流放电测试能力，电流范围5~3 000 A、电压0~42 V，电流分档可调，通过CAN总线传输数据与采集，上位机软件采用batter manger进行管理，满足单体电池与整个起动电源测试需要。基于测试项目与波形图较多，仅给出+24 V/1 800 A起动模块100%DOD循环放电部分测试结果。

100%DOD即100%深度循环放电，每次放出100%能量，即经过大循环（数百次循环以上）后电池放电性能变化状况，主要变化指标为在

100%DOD (100%深度循环放电) 条件下电池容量保持能力与终止电压保持能力, 是衡量使用寿命的关键指标, 也是用户直接关心的重要性能。该参数只有经过专门的测试仪器 (系统) 经过大循环实际测试才能得到。图9为+24 V/1 800 A模块容量保持 (%) 曲线图, 图10为+24 V/1 800 A模块终止电压保持曲线。

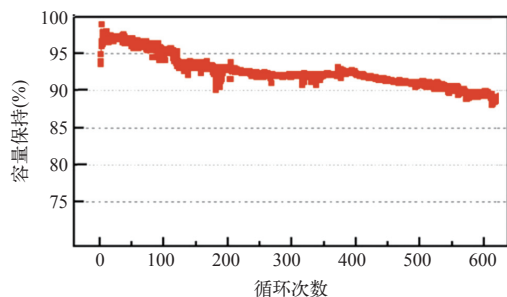


图9 +24 V/1 800 A模块容量保持曲线

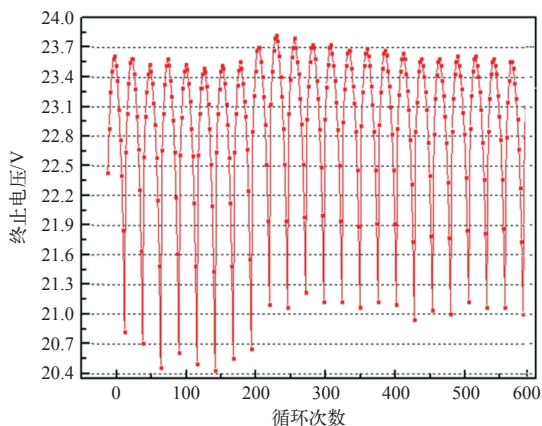


图10 +24 V/1 800 A模块终止电压保持曲线

由图9可知, +24 V/1 800 A模块循环600周后容量保持能力仍能够达到90%。由图10可知, 循环600周后终止电压仍然大于23.1 V, 说明该模块100%DOD容量保持能力与终止电压保持能力良好, 具备良好的循环使用寿命。

4 结束语

基于上述分析, 可以得出如下结论:

1) 起动电源属于低压大电流电气设备。起动电源起动瞬间需要很高的起动电流, 起动电源设计的关键指标为起动电流需求大小。该起动电源具有+12 V/300 A和+24 V/1 800 A、两路输出, 分别用于起动汽油机与柴油机。经实际测试循环600周后具有良好100%DOD容量保持能力与终止电压保持能力。

2) 该起动电源为模块化电源。选取磷酸铁锂电池作为储能元件单体, 采用串并联方法, 组装成基于磷酸铁锂大功率起动电源模块, 是一种模块化磷酸铁锂起动电源, 如需更高电压、更大电流模块仅采用增加串并联的方法即可实现。

3) 该起动电源为便携式通用起动电源。该电源选取高能储能元件单体组装成重量 $\leq 20 \pm 1$ kg, 体积 ≤ 420 mm $\times$ 222 mm $\times$ 320 mm起动电源模块, 体积小, 机动便携。低温性能比车载蓄电池更好, 适合各种残酷环境, 可代替铅酸蓄电池使用, 更环保。

参考文献

- [1] 王为奎, 刘学明, 曹学友. 一种野战应急起动电源装置[J]. 电源学报, 2012, 10(1): 22-24.
- [2] 胡明江, 王忠, 祁利巧. 车用蓄电池低温起动容量的研究[J]. 车用发动机, 2008(3): 13-16.
- [3] 陈新传, 宋强, 吕昊. 国内外锂离子动力电池发展概述及启示[J]. 船电技术, 2011, 31(4): 1-2.
- [4] 王东, 李国欣, 潘延林. 锂离子电池在航天领域应用[J]. 上海航天, 2000, 17(1): 54-58.

(收稿日期: 2017-04-26) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告