

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.04.017

基于虚拟仪器技术的运载火箭锌银蓄电池组充放电设备研制

王军, 崔周顺, 蔡海军, 李忠磊
(中国酒泉卫星发射中心 发射测试站, 甘肃 酒泉 732750)

摘要: 为解决当前运载火箭电池充放电设备的自动化程度低、手工作业风险大、缺乏有效故障诊断和处理系统等缺点, 将虚拟仪器技术应用到运载火箭锌银蓄电池组充放电设备中, 设计新型运载火箭锌银蓄电池组充放电设备。其测控系统由硬件与软件组成, 硬件采用 NI 公司的 PXI 测控平台, 软件由充电、放电和加温等 3 部分组成。通过出厂测试、发射场补充测试和软件测试, 证明该设计能提高设备自动化、智能化程度。

关键词: 虚拟仪器; 运载火箭; 充放电; 自动切除
中图分类号: TP391.98; TP303⁺.3 **文献标志码:** A

Research of Carrier Rocket Zinc-Silver Accumulator Charge and Discharge Equipment Based on Virtual Equipment Technique

Wang Jun, Cui Zhoushun, Cai Haijun, Li Zhonglei
(Launch & Test Unit, China Jiuquan Satellite Launch Center, Jiuquan 732750, China)

Abstract: In order to solving the defects of carrier rocket accumulator charge and discharge equipment, such as shortage of automatic equipment, high risk of handwork, no effective fault diagnosis and disposal, apply virtual equipment technique into rocket accumulator charge and discharge equipment, and design new rocket accumulator charge and discharge equipment, which is made up of hardware and software. The hardware adopts PXI observe and control platform, and software is made up of charge, discharge and warm up equipment. By manufactory test, launch site test and software test, it indicates that the method can improve automatic degree and intelligent degree of the equipment.

Keywords: virtual equipment; carrier rocket; charge and discharge; automatic transfer

0 引言

运载火箭是由多个系统综合组成的复杂系统, 其能源主要由推进剂和一次电源提供, 其中各系统仪器工作用电、各类火工品点火用电均由箭上一次电源提供。运载火箭上所用的一次电源主要是化学电源, 即电池。其特点是结构简单、工作可靠、工作时间可长可短、不受外界环境影响、工作性能稳定、工作电压平稳。

作为运载火箭上一次电源的化学电源一般为二次电池, 又称为蓄电池, 其充放电的化学反应为可逆反应。此类电池放电之后, 还可用充电方法, 使活性物质复原以后再进行放电使用。为满足火箭的需要, 按工作电压的要求, 将单体电池串联组合成电池组, 装入电池大外壳内。在外壳与电池之间置入热导率小的保温层, 采用泡沫塑料或蜂窝玻璃钢均可。在保温层和电池单体之间放入电加热装置。当环境温度低时, 可从外电源给电池组加温; 当电池组达到正常工作温度时, 温度继电器断开, 切断加热电源, 加热即行停止。

随着运载火箭技术的发展, 对箭上电池提出了

越来越高的要求, 相应的对其充放电设备也提出了快速、安全、可靠、自动化的要求。而目前使用的电池充放电设备存在自动化程度低、手工作业风险大、无有效故障诊断和处理系统等问题。笔者利用基于虚拟仪器技术的 PXI 测控平台和图形化软件环境, 设计新型运载火箭锌银蓄电池组充放电设备, 以达到简化硬件设计、减化设置操作的目的, 提高设备自动化、智能化程度。

1 设计思路和系统功能

1.1 设计思路

新设计的充放电系统应能满足多型号运载火箭配套蓄电池在发射场的充放电需求, 并留有一定的设计余量, 以满足后续火箭配套电池充放电需求。

1) 硬件设计尽量采用成熟技术, 强化软件设计及其在系统中的测控及自动化能力;

2) 测控部分采用 NI 公司的虚拟仪器架构搭建系统主体: 数据采集以及控制信号输出采用 NINational Instrumen 公司的 PXI 测控系统, 上位机测控软件采用 NI 公司的 LabVIEW 编程;

3) 通过软硬件结合完成电池不拆跨接片状态

收稿日期: 2010-11-22; 修回日期: 2011-01-25

作者简介: 王军 (1969—), 男, 陕西人, 硕士, 高级工程师, 从事运载火箭测试发射研究。

下“自动检测、自动切除”功能；

4) 增强系统操作自动化，减少操作人员工作量；

5) 加强设备在各种影响电池性能故障模式下的保护功能；

6) 产品安全可靠、设备可维护性设计。

1.2 设计要求

对设备有一定的设计要求：

1) 设备外形应设计美观，便于操作；

2) 充放电设备功率、技术指标等满足电池性能要求，数据电缆和电池之间的连接牢靠，便于操作，接触电阻小；

3) 每路充电设备能实现对最多包含 24 个单体电池的电池组进行充电，在充电过程中，在不拆除电池单体之间的跨接片的条件下，能采用分流方式实现单体电池自动切除功能，八路充电设备能够同时工作；

4) 每路放电设备能实现对不同型号的电池组进行恒流放电。2 路放电设备能同时工作；

5) 加温设备能输出满足电池加温所需的恒定电压。2 路加温设备能够同时工作。

1.3 系统功能

使研制设备满足技术要求，增强系统检测功能，实现充放电加温过程的自动化、数据处理的智能化，提高设备的可操作性和可靠性、安全性。

1) 菜单功能：程序提供丰富的、方便的菜单，辅助完成充放电操作及系统维护；

2) 状态保存功能：保存当前的设置状态，载入已保存好的设置状态；

3) 流程控制自动化：根据设定的流程控制文件，自动完成对电池的充放电控制；

4) 单体自动切除：充电过程中，某单体充到设定的电压时，自动切除单体充电电流，使单体处于浮充状态；

5) 实时显示工作状态：充放电时间、巡检时间、充放电阶段、充放电电流、电池总压、充放电容量，以及回路中正在充放电的单体电压；

6) 数据处理功能：数据记录存盘、数据打印、电流电压容量的时间关系曲线显示和打印；

7) 应急停机功能：应急情况下，自动关闭系统，自动保护当前充放电现场及停止充放电；

8) 恢复现场：如果系统上次因为掉电或应急停机终止了充放电而退出系统程序，再次启动应用

程序时，系统将会提示用户，是重新复位启动本系统还是恢复上次因掉电或应急停机而终止的充放电现场，如果选择恢复现场，系统将自动恢复上次充放电现场；

9) 硬件调试：可测试充放电设备的 I_{set} 、 V_{set} 以及恒压设定等参数的工作状态，以及调整设备充放电参数的系数，便于进行设备硬件维修和维护；

10) 故障报警：工作过程中，出现故障时，显示诊断故障情况，发出报警信号，提示用户进行处理。

2 测控系统

采用标准机柜，将测控系统分装在 1 个 7U 充电机柜和 2 个放电机柜中。测控系统由软件和硬件 2 部分组成，在自动方式下完成对充电设备、放电设备及加温设备的控制，以及蓄电池组在充电、放电、加温过程中各种参数测量和显示、数据处理等工作。

2.1 测控硬件

NI 提出的专为测试任务设计的 PXI 硬件平台，已经成为当今测试、测量和自动化应用的标准平台，PXI 作为一种专为工业数据采集与自动化应用度身定制模块化仪器平台，内建有高端的定时和触发总线，再配以各类模块化的 I/O 硬件和相应的测试测量开发软件，可以建立完全自定义的测试测量解决方案。故测控系统硬件采用 NI 公司的 PXI 测控平台。

基于虚拟仪器的测控系统在计算机程序的控制下完成锌银蓄电池组充放电和加温全过程的检测和控制，实现继电器通断、电参数检测、模拟信号输出、实时数据处理、打印报告的一次完成，减少试验人员的机械重复劳动，缩短系统设计研制周期。测控系统所有的数据处理及逻辑控制和过程控制都采用软件编程方式实现，可达到缩小设备的体积并避免设备过时和硬件老化的目的。

2.2 测控软件

测控软件的开发环境是 NI 公司提供的行业标准图形化编程软件 LabVIEW，不仅能方便地完成与各种软硬件的连接，更能提供强大的数据处理能力，设置数据处理、转换、存储的方式，并将结果显示给用户，通过编程能创建完全自定义的用户界面。

测控系统软件由充电、放电和加温等 3 部分组成，充电、放电与加温程序在程序结构上融为一个整体，但在功能上基本独立，分别完成电池的充电、放电与加温测试与控制，另有设备自检、参数设计

等辅助功能。

如图 1 软件界面主要包括测试主界面、参数设定界面、菜单栏、充电电流调整界面、强制转阶段界面、手动巡检界面、特殊充电设置界面、流程文件编辑以及硬件测试等。

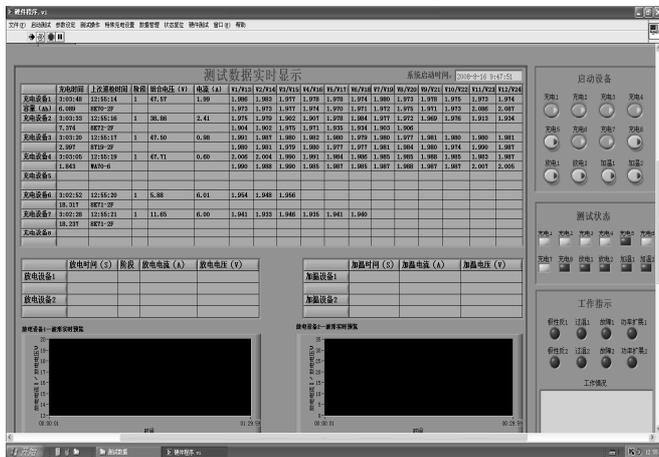


图 1 测控软件主界面

3 设备特点

软硬件环境软件采用 NI 公司 Labview 图形化编程环境编写, 能很好地完成软硬件连接, 提供强大的数据处理能力和良好的人机交互界面, 具备高效的数据采集能力^[1]; 硬件设计采用了模块化设计, 关键控制执行部件数字集成, 整套设备集成度高, 提高了系统的可靠性^[2]。

3.1 自动检测

通过测控系统软硬件, 在自动方式下完成对蓄电池组在充电、放电、加温过程中充电电流、充电电压、单体电池电压、电池组电压、放电电流、加温电压、加温电流中各种参数测量和显示、数据处理等工作。

3.2 自动控制

在充电、放电和加温过程中, 电池组与设备连接好后, 流程控制自动化, 既可根据设定的流程控制和参数设置文件自动完成对电池组的控制和测试, 也可对流程控制文件和参数设置进行修改, 并自动生成测试数据报表及测试曲线, 自动化程度高。

3.3 自动切除

在不拆除电池组跨接片的前提下, 能实现对电池组的全自动充电。在一组电池中, 由于单体电池性能差异的存在, 在相同电流充电下, 单体到达额定充电电压的时间是不相同的。如果按照同一时间停止电池的充电过程, 完全有可能造成有的电池没有达到充电容量, 有的电池已经过充, 这样对电池的可靠性、安全性不利。根据电池的性质, 适时转

换电池的充电模式, 是维护电池性能的重要条件。最佳的充电模式是: 当一组电池充电时, 先到达充电设定电压的电池转入浮充状态, 而其它还没有达到设定电压的继续使用原来的充电电流充电。当所有的电池都达到充电设定电压时, 这一组电池充电过程结束。单体电池自动切换功能就可以满足电池的这种需求。

单体电池自动切换功能的过程是: 在一组电池中, 设定好单体电池达到充电终了的电压值, 即超过这个电压时, 如果继续充电, 将会严重影响电池的使用寿命。电池充电开始后, 充电系统不断检查单体电池的充电电压, 当某个单体电池的电压达到设定充电电压值时, 将此单体转入浮充充电模式。当一组电池所有单体都达到设定值时, 电池组充电结束。通过这种办法, 实现一组电池在不拆除跨接片的情况最优充电。

单体电池自动切除功能主要由测控系统、隔离电路、DAC 应用电路、恒压分流电路组成, 测控系统将设定的恒定电压值以数字信号方式经隔离电路分别送到每个单体恒压分流电路的串行 DAC 信号输入端, DAC 输出端输出恒定电压, 该电压为恒压分流电路工作的基准电压。当电池电压大于此基准电压时, 恒压分流电路开始分流, 减小流过电池单体的电流, 使电池单体的电压值保持恒定, 且为测控系统设定的电压值。

3.4 多重保护

3.4.1 硬件保护

系统设计中, 为提高产品的安全性、设备的可靠性, 在硬件上设计了多种保护功能, 以防止故障对产品造成影响, 或者损坏设备。

从硬件保护的机理上, 可分为一次性保险丝保护、自恢复保险丝保护、调整保护等方式。

一次性保险丝保护是在系统的总电源入口、大电流电路等关键部位, 设置一次性保险线, 防止由于设备内部短路、操作失误等故障, 引起设备损坏。当一次性保险丝烧毁后, 需要进行开机检查, 找到烧毁保险丝的原因, 排除故障后再更换新的保险丝。

自恢复保险丝保护用于单体分流电路中, 防止单体电池通过分流 MOS 管形成放电而设计。如果由于控制电路的故障、设置参数错误等原因造成分流 MOS 管意外导通, 电池将通过自恢复保险丝和 MOS 管形成放电通路。由于自恢复保险丝的存在, 可以防止电池持续放电, 由软件检测到这一故障现象后, 断开分流电路, 保护电池。

调整保护是指在硬件设计中, 通过硬件检测元

件, 检测到过压、电流、过温等现象, 由硬件相应调整工作电流及电压, 使电参数达到相应的指标范围。硬件设计中使用了大量的调整保护方式, 典型的调整保护有: 单体电池充电分流调整、总充电电流调整、放电电流自动调整等电路。通过调整保护电路, 由硬件实现设备的工作参数在指标范围之内, 保证了设备的安全运行。

3.4.2 软件保护

软件通过各种物理参数检测与诊断, 实现对设备功能性保护。设备运行时, 软件不断地巡检各种物理量, 通过与设定的物理量进行比较, 判断当前的状态是否正常。如果超出相应的物理量, 由软件发出控制指令, 一方面调整物理量, 另一方面, 中断当前工作模式, 并报警提示, 以提示系统的故障状态^[3]。

在充电过程中, 软件检测充电电流、单体电池电压等参数。当充电电流不能达到设定值时, 软件修改充电电流指令, 调整充电电流达到设定值。如果充电电流不能达到设定值, 则发出充电停止信号, 中断充电过程, 并发出报警提示, 指示工作人员进行故障排查。

单体电池电压是调整分流大小的依据, 软件需要不断检测单体电池电压的大小, 然后调整 MOS 管的导通电阻, 即调整电池的分流大小, 保证电池达到设定的浮充电压状态。

放电时的放电电流控制由硬件实现, 当放电电流超出设定值时, 软件检测到变化并发出调整指令。如果放电电流不能调整到设定值状态, 软件将路上放电过程。

加温时, 软件检测加温电流, 并记录加温时间。当加温电流超出预计范围时, 或者加温时间过长(即电池热继电器长时间不断开), 软件停止加温过程, 并发出报警信号。

3.5 故障处理

故障的处理分故障情况的判断和指示, 当出现故障时, 指示灯显示红色的警示色, 报警模块发出声音报警, 工作情况显示故障情况如图 2。

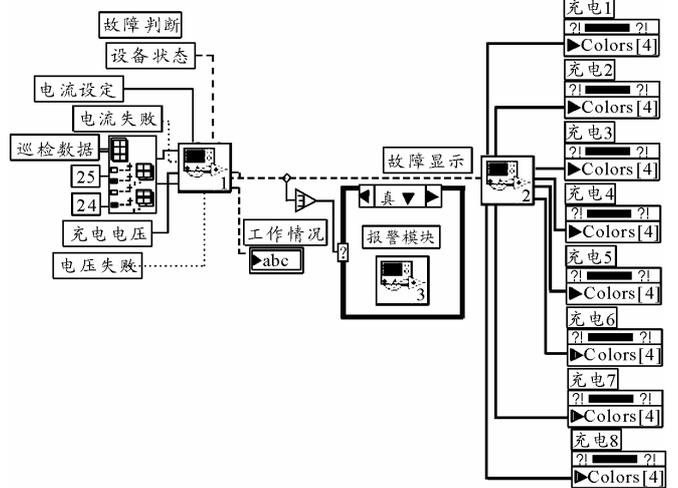


图 2 故障处理

1) 故障的判断指当工作电压和工作电流超过允许的误差而自动调整失败时, 发出警报, 提醒操作手进行处理, 如图 3。

2) 故障情况的颜色示警指当设备发生故障时, 所在设备的指示灯发出颜色示警, 如图 4。

3.6 灵活的充放电方式

8 路充电设备既可单独充电, 也可同时进行 8 组电池的充电。在电池单体数超过 24 块时, 如 32 块单体的电池组, 可用两路充电机同时充电, 一路充电机对 24 块单体充电, 另外一路充电机对另外 8 块单体充电, 两路之间并不影响, 这样可保证 1 组电池同时完成充电程序。

放电设备可对 1 组电池进行整体放电, 也可对组电池中的某个单体单独进行放电维护。由于放电设备的设计放电电流从 0~280 A, 放电电压从 1.5~60 V, 单体池的放电维护可以很方便地进行, 这样, 当一组电池中某个单体出现问题时, 可以单独更换单体, 并对更换单体进行相应的充放电维护。

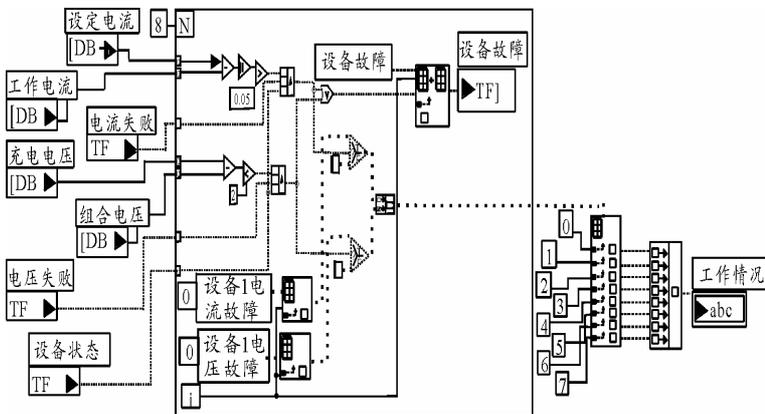


图 3 故障的判断及故障原因显示

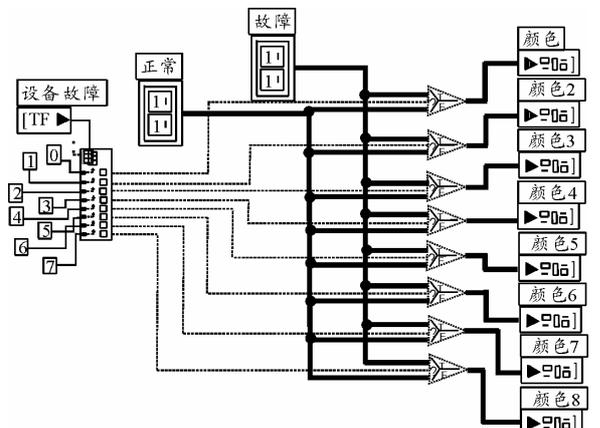


图 4 故障情况颜色警示 (下转第 63 页)

QPSK (四相键控) 等^[7]。笔者以载波频率 1 Hz, 采样频率为 50 Hz 的 BPSK 调制信号为例, 对其进行 Haar、广义 Haar 及类 Haar 连续子波分析。

由图 6 对线性调频信号进行连续子波分析的仿真结果可以看出, 五阶 Harr 子波分析结果可以清晰地分辨出信号相位的变化, 可以通过计算各个扫描时间的平均值, 从而得到相位变化的时间对信号进行解调, 而广义 Haar 子波及另 2 种 Haar 子波的分析效果要差于 n 阶 Harr 子波, 尤其从广义 Haar 子波分析结果中, 很难分辨出信号相位变化的时刻。

5 结束语

Haar 子波与广义 Haar 子波在频域局域化存在不足, 类 Haar 子波保留了其对称性, 紧支撑性优点, 在频域衰减性上明显优于 Haar 子波。虽然类 Haar 子波较之 Haar 子波在正则性上有所改善, 但与 Haar 子波一样没有较高的消失矩, 并且正交性能下降。在实际应用中, 类 Haar 子波能够减小 Haar 子波分析信号时大尺度下的误差, 在几种类 Haar 子波中, n 阶 Haar 子波分析结果最佳, 并且在 LFM 和 BPSK 调制信号分析时明显优于 Haar 小波。而且 n 越大, 在尺度方向上子波变换的能量聚集越大, 其分析结果越理想, 但由于其复杂度也随之增加, 一般 n 取 3~5。下一步, 还需对类 Haar 子波进行研究, 进一步减小误差。

(上接第 52 页)

3.7 可维修性

可维修性设计使设备的部件便于生产、装卸、测试和维修。在设计中按结构和功能要求把整个设备分成八路充电、两路放电、两路加温、测控等几个单元进行设计, 既达到上述目的, 又便于整套设备故障的隔离、排除和替换不合格元器件。

3.8 产品安全性

在对电池组充放电过程中, 对发生电池接反、过流、过压、恒压分流电路短路、断路、放电电流冲击等故障状态失效模式做了防护性设计, 保障了电池组在测试过程中安全。

对软件进行了操作安全设计, 操作手通过人机交互界面对设备进行操作时, 必须严格地按照软件规定的操作顺序操作, 否则操作将不会被响应。当正确的操作过程进行到关键环节时, 软件会给出带有详细信息的对话框供操作手对参数设置和所做操作进行确认。当一个完整的操作流程进行完毕后, 软件将自动禁用已经正确操作过的参数设置项, 防止在软件运行过程中对该项的误操作。软件中针对关键参数的设置采用载入相关流程设置文件的方

参考文献:

- [1] Daubechies I. Ten lectures on wavelets[M]. Philadelphia: CBMSNSF Series in Applied Math SLAM Publ, 1992.
- [2] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 程正兴, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.
- [3] 熊淑华, 袁晓, 沈杰. MPSK 信号小波变换过零特征分析[J]. 四川大学学报, 2005, 37(4): 124-128.
- [4] 王乐, 顾学迈, 王永建. MPSK 基于小波分析的卫星测控信号盲识别算法[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(6): 729-732.
- [5] 欧鑫, 黄小蔚, 袁晓. 类 Haar 小波与数字信号调制识别[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2004, 36(4): 95-98.
- [6] 马晓岩, 向家彬, 等. 雷达信号处理[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1999.
- [7] 陈宜元. 卫星无线电测控技术[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007.
- [8] 袁晓, 陈向东. 广义 Haar 子波[J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(1): 19-23.
- [9] 袁晓, 陈向东. 经典规范正交子波的一种简单广义化方法及其应用[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(12): 1870-1878.
- [10] 袁晓, 陶青川, 何小海. 广义 Battle-Lemarie 子波[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 271-275.
- [11] C.Sidney Burrus, 等. 小波与小波变换导论[M]. 程正兴, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [12] Mallat. 信号处理的小波导引[M]. 杨力华, 译. 北京: 机械工业出版社, 2007.

式, 规避了关键参数人工临场设置时可能产生误操作。软件对硬件进行关键参数设置时, 参数的设置值将被严格限制在硬件容许范围内, 避免由于参数设置超限对设备和电池的损坏。操作手的关键性操作都有相应的状态指示, 避免由于操作手的重复动作给设备和电池带来的冲击。

4 结束语

该设备已进行了充分的软件评测、应用模式测试和故障模式测试, 并已通过了出厂测试、发射场补充测试、软件测试以及实际任务的使用和检验。结果证明, 该设备主要性能指标满足产品要求, 能够满足航天任务中电池充放电的使用要求, 并且可拓展在多个型号中使用。

参考文献:

- [1] 侯鹰. 虚拟仪器技术在常规靶场动态参数测试中的应用研究[D]. 南京理工大学硕士学位论文, 2001: 12-25.
- [2] 宋国明. 虚拟仪器测试技术应用综述[J]. 航空计量技术, 2002: 225.
- [3] 李庚. 近地告警计算机自动测试系统的研制[D]. 西北工业大学硕士学位论文, 2006: 22-27.