

基于IGBT技术的动力电池检测解决方案

阐述了一种基于IGBT的动力电池（包括锂电池）的检测技术解决方案。该方案满足了动力电池（锂电池）入场检验测试所要求的基本功能（包括电数量的测量）。在工程实践中，该方案被验证具有安全、精确、经济、高效、使用便捷和操作界面友好等特点。

易 琨/神龙汽车有限公司技术中心

0 引言

锂电池作为一种动力电池，是新能源汽车的关键零件，需要使用动力电池入场检验测试设备对电池进行检测，采集数据了解电池性能（电压特性、内阻特性、效率特性和循环特性等）^[1-2]，以便为后续的电池管理系统（Battery Management System, BMS）^[3-4]设计、电池模型建模与仿真^[3-6]提供基础数据支持。

为了实现这些目的，该入场检验测试设备必须具有如下基本功能：

- 1) 对电池组进行充放电试验，可以得到电池组各种电参数（电流、电压、容量、能量和功率等）及温度等数据。
- 2) 具有充放电一体，放电回馈功能，安全高效节能。
- 3) 可以模拟新能源汽车的实际工况^[7]。相关设备记录新能源汽车实际行驶工况并导入电池检测系统，再由电池检测系统完成电池组在实际工况下的模拟，分析电池实际工况下性能^[8]。

在新能源汽车设计和工程实践中，德普公司同锂电池生产商一起合作，共同摸索、设计并实践出一套应用于动力电池检测的解决方案（动力电池模组检

测设备）。下面将对该方案进行详细的介绍、分析和阐述。

1 动力电池模组检测设备系统构成、工作原理和主要功能特点

1.1 电池模组检测设备概述

电池模组检测设备能够模拟电动汽车运行的各种工况，按照国际/国内检测标准对电池模组的各项电气性能进行综合测试，以获取全面、准确的检测数据，用于对动力电池的品质进行综合评估，为动力电池（包括锂电池）的研究、生产及应用提供科学的依据。

1.2 电池模组检测设备工作原理

电池模组检测设备采用国际先进的IGBT控制技术及高性能电能质量优化控制技术来实现电池模组测试过程中能量的高品质双向流动及电能回馈^[9-10]。结合高性能DSP数字处理技术及高准确度采样、控制技术，通过先进的矢量控制算法，配合锂电池行业成熟先进的测试及应用工艺，达到对动力电池的电气性能进行综合测试的目的。系统在整个测试过程中具有高效、节能和对电网无污染特点，其高速的动态特性、准确的检测及控制数据和丰富完善的测试平台均达到国际先进水平。系统主回路拓扑结构如图1所示。

1.3 电池模组检测设备构成

系统按分布、开放的原则设计。整个系统在物理上分为：系统管理控制层（上位机监控系统）和现场测量控制层（包括充放电功率单元、IGBT驱动、保



易 琨/高级工程师

关键词/Keywords

IGBT ·
动力电池 ·
锂电池 ·
电数量的测量 ·

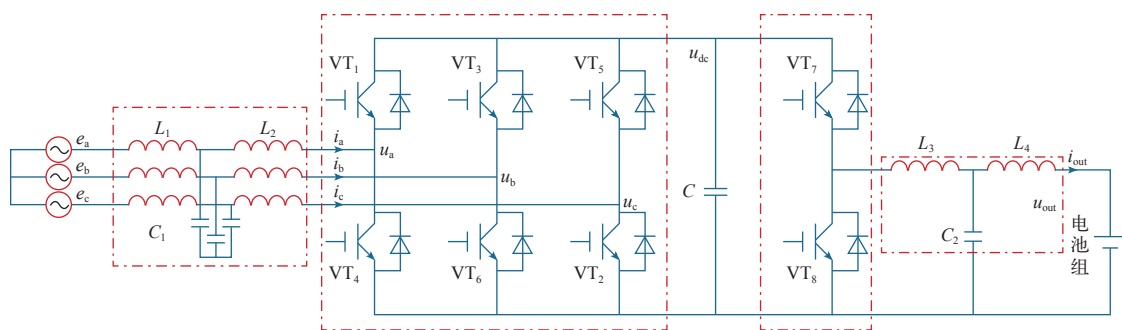


图1 电池模组检测设备主回路拓扑结构

护单元、数据检测单元、主控单元及工艺数据管理单元等)。系统硬件结构原理框图如图2所示。

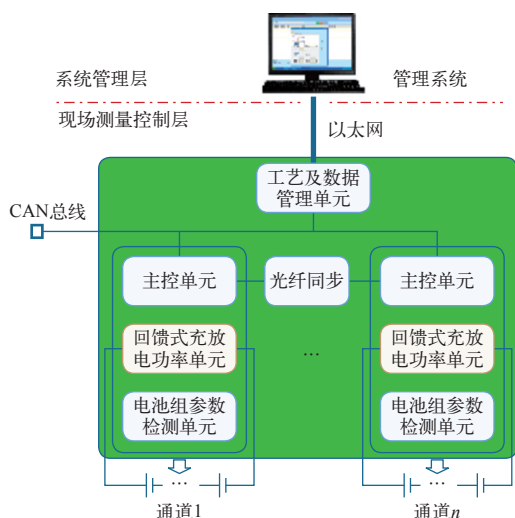


图2 动力电池模组检测设备硬件原理结构

(1) 系统管理层

系统管理层由上位机、上位机监控管理软件及数据通信单元组成，功能如下：

- 1) 按照用户编制的测试工艺向现场测量控制层下发各种工艺及保护参数。
- 2) 接收现场测量控制层上传的检测及控制数据。
- 3) 对接收的数据进行保存及分析处理。

(2) 现场测量控制层

现场控制层主要由DSP主控单元、IGBT功率单元、检测单元及工艺数据管理单元等组成。主要功能如下：

- 1) 工艺及数据管理单元。接收并保存上位机下发的各种工艺控制指令，接收并保存检测数据，在上位机或通信终端故障的情况下，不影响

现场设备的正常运行。

- 2) DSP主控单元。主要由高性能数字处理器DSP及相关外围电路构成，是整个测试系统的核心，主要负责控制算法的实施、采样信号的转换及系统保护等，能够按照工艺指令及采样数据进行智能PID调节运算、PWM的信号输出及数据存储等功能。

- 3) IGBT控制功率单元。由IGBT及相关驱动电路构成，接收DSP主控单元输出的PWM信号，输出可控的高品质双向直流电源。

- 4) 检测单元。主要由电压及电流信号调理电路、电压及电流采样电路和故障信号检测电路等组成，主要负责输入输出电压、电流的采集及转换。

1.4 电池模组检测设备主要功能特点

- 1) 充放电平台。率先采用国际先进的IGBT控制技术，能够实现能量高品质双向流动，放电能量高品质回馈电网^[8-9]，性能具有如下特点：高效、节能、对电网无污染、高速动态响应及转换、满足高标准实测工况模拟测试需求、输出纹波小和测试过程中对锂电池不会造成伤害。系统采用国际先进的IGBT控制技术，充放电一体化拓扑设计，放电能量高品质回馈电网^[8-9]，高效节能，同时测试系统与电网通过隔离变压器隔离，充分保证系统安全可靠。系统具有控制准确度高，响应及转换时间快，纹波小等特点，满足高标准测试需求。放电能量高品质回馈电网，对电网无污染，不影响到其他用电设备。当电网出现异常情况时，设备可以检测到异常并能及时切断

主电源，保证设备及人员的安全。

2) 宽广的测试平台能够满足国际/国内锂电池测试标准的要求，可进行下列功能测试：电池模组标准工况模拟测试、电池模组实测工况模拟测试^[11-12]、电池模组循环寿命试验、电池模组容量试验、电池模组直流内阻测试、电池模组充/放电特性试验^[11-12]、电池模组荷电保持能力试验、电池模组充放电效率试验、电池模组过充电承受能力试验、过放电承受能力试验、电池模组单体电压一致性特性试验、电池模组温度特性试验和电池模组标准动态特性测试。

3) 测试结果输出具有如下特点：任意组合的曲线展现功能，自定义X轴、Y轴，方便用户分析各种参数的相互关系，结果输出曲线具有曲线拟合一致性分选专家功能——嵌入曲线拟合一致性分选专家系统，能迅速找出电池组中匹配有问题单体电池；丰富的数据报表功能包含详细列表、过程列表和循环列表等，可将测试的实时数据导出Excel或者CSV格式文件。

4) 多通道、多柜并联控制技术。主通道数量2通道，在保证电流准确度条件下，能够扩大受试电池的规格范围，满足用户使用弹性高的要求，提高设备的利用率，减少用户设备的投入。

5) 完善的输入、输出及断电保护功能。有效保证设备、测试数据及受试产品的安全。

6) 通信功能。通信方式支持CAN、以太网通信，可与BMS、MES和环境仓等实现数据对接与控制。可开放通信协议，可整合充放电测试系统、恒温恒湿箱、数据收集器和BMS通信等。内置国际先进的DBC配置文件，可方便、快捷地实现与不同厂家的多种通信协议的BMS进行数据对接与控制；来自BMS的CAN通信数据能够作为设备程序的工步切换判定参数和安全保护参数；能接收如BMS检测的实时数据并储存；系统能够与BMS实时交换数据，保证数据记录的准确性，且能以BMS的读取值作为单体电池的保护条件，避免损坏电池，保证电池安全。

7) 显示功能可实时显示电池模组各种数据及曲线（电压、电流、功率、能量和容量等）。

8) 丰富的操作与工艺编辑功能。支持查询历史记录、能够在线修改工艺程序；可按用户要求对工艺进行复制、删除、插入、行移和块移等；支持工艺输入采用编程表结构。

9) 强大的软件功能。软件可实现电压、电流的校准功能。软件控制支持暂停、恢复运行功能。上位机故障或通信中断的情况下，不影响设备的正常测试。

10) 具备设备故障报警提示及报警信息存储功能。

2 动力电池模组检测设备主要技术性能指标

(1) 电压控制范围

电压控制范围为0~600 V。宽电压测试范围能够满足不同规格电池模组的各项电气性能测试需求。

(2) 电流输出范围

单通道独立运行：-250~250 A。

双通道并联运行：-500~500 A。

支持多通道、多柜之间任意组合，为客户宽范围测试提供便利条件。

(3) 最大持续输出功率

单通道独立运行：0~100 kW 无时间限制。

双通道并联运行：0~200 kW无时间限制。

(4) 电能输出质量

电网侧功率因数>99%，电网侧电流谐波(THD)≤5%。

放电能量高品质回馈电网，对电网无污染，不影响到其他用电设备。当电网出现异常情况时，设备可以检测到异常并能及时切断主电源，保证设备及人员的安全。

(5) 控制程序参数

循环次数：9 999；可编程步骤：9 999；循环嵌套：最大支持5层；编程特点：每工步可以有一个或者多个出口，具备“goto”功能。

(6) 工作模式

恒流充放电、恒压充放电、恒流恒压充放电、阶梯充放电、恒功率充放电、恒电阻充放

电、脉冲充放电和斜坡充放电。

截止条件：电压、电流、时间、容量、功率、电量、单体电压、单体温度、BMS测量值及扩展变换的衍生数值等。

(7) 强大的保护功能

1) 输入保护：过电压、过电流、缺相、过温及保护报警。输出保护：电压钳位、过电流、过温、过电压及欠电压等保护报警。断电保护：断电后，电池与设备之间自动断开，有效避免因重新上电造成意外，同时保存断点数据，来电后可继续工艺运行。

2) 单体保护（BMS上传单体数据）：单体欠电压、单体过电压、单体温度超限、电池反接和超量程保护报警，保护限值可设置。

3) 安全保护参数及描述包括：电压下限、电压上限、电流下限和电流上限等；同时保护值可设定，保护后可在故障信息中显示和记录，便于查询和分析；上位监控计算机及通信故障情况下可脱机运行，不会造成测试记录的遗漏等问题。

4) 急停保护：在紧急异常情况下，各通道急停按钮可以实现对设备中的某一通道急停，该通道实现停车时应不影响另外正在运行的通道。

3 动力电池模组检测设备人机操作界面先进性举例

动力电池模组检测设备具有先进的人机操作界面和丰富的数据输出，下面举例说明。

3.1 实测工况数据自动转换测试工艺功能举例

实测工况数据自动转换测试工艺功能如图3所示。导入表格设置如图4所示。

用户可将Excel或者CSV格式的实测数据文件导入，自动生成设备可执行的工艺文件（见图3）。由于实测工况数据量比较大，首先要通过智能算法将工况数据进行压缩，在图4中时间是第一列，电流是第二列，在这个设置中，时间列设置为1，单位设置为毫秒；电流列设置为2，单位设置为安，在类型设置为时间-电流类型，电压、功率列可不设置，设备不读取。

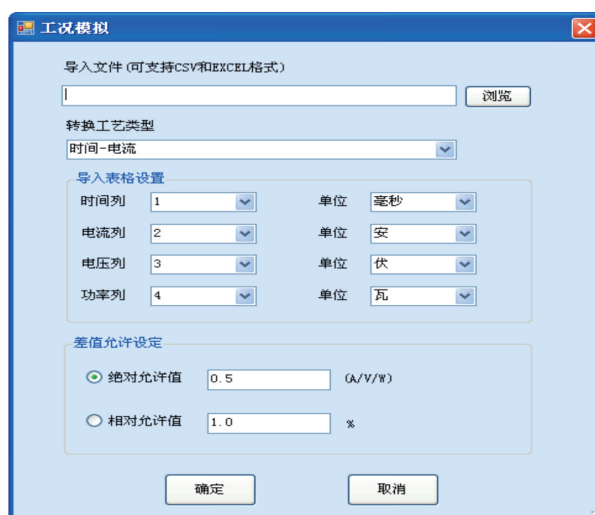


图3 实测工况数据自动转换测试工艺功能演示



图4 导入表格设置

3.2 方便灵活的BMS数据对接与控制功能举例

内置先进的DBC配置文件，可方便、快捷与不同厂家的BMS进行数据对接与控制，在一个测试通道可同时与多个BMS实现数据交换与控制，满足同时检测多个不同电池模块功能，系统采用基于VectorCan公司标准协议的DBC配置文件来实现与BMS的对接与控制，每种BMS设备会形成一个标准的DBC文件，设备导入这个文件即可实现对接。设备不但可以随时与不同的BMS设备协同工作，而且每个支路可以对应不同的BMS，使用非常方便，如图5所示。



图5 设备配置及DBC配置演示

目前国外知名品牌的设备也有类似DBC的功能推出，但是存在一些问题。

1) 因为现在BMS厂家很多, 差异很大, 国外设备厂家不提供DBC文件编写服务, 要求用户自己编写DBC文件, 而由通信协议转换为DBC文件门槛较高, 会给用户带来不便。

2) 有些厂家提供转换工具规则说明非常复杂, 用户很难实现自己想要的功能。

3.3 图形化测试工艺功能界面举例

图形化测试工艺演示如图6所示。



图6 图形化测试工艺演示

由图6可知, 各种测试工艺、工步(恒流充电、恒压充电和恒功率充电等)表格图形化显示, 操作起来方便、快捷、简单和明了。

3.4 复杂工况模拟测试结果输出效果举例

能够模拟电动汽车的实际工况: 按照相关设备记录的电动汽车实际行驶工况自动导入电池包测试系统, 再由电池包测试系统完成电池包在实际工况下的模拟, 分析电池实际工况下性能。

1) 按照相关标准规范进行电动汽车驾驶循环模拟测试。

2) 满足实测工况自动转换为测试程序的工况模拟测试。

3) 实测工况数据可以是电流-时间或功率-时间, 具备智能识别Excel、CSV等格式的工况数据文件及工步自适应合并功能。

图7、图8为功率-时间工况模拟的测试结果

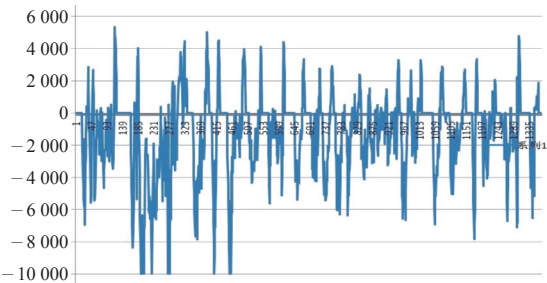


图7 根据XLS格式的工况数据绘制的“时间-功率”图形

输出效果。

4 结束语

经过40多个主机厂及动力电池生产商的使用和验证, 该动力电池检测解决方案达到当初的设计大纲和基本功能要求, 被验证具有安全、精确、经济、高效、使用便捷和操作界面友好等特点。同时基于该电池模组检测设备解决方案而发展起来的为客户量身定制的各种个性化改款的动力电池检测设备, 可以执行多样的测试功能方案, 且测试结果准确、结果输出丰富。在未来的动力电池测试实践中, 随着客户要求的不断提高、动力电池技术标准要求不断进步与更新, 该方案还将得到不断的改进与升级。

参考文献

[1] 刘浩. 基于EKF的电动汽车用锂离子电池SOC估算方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.

[2] 李宝辉. 电动汽车动力电池的实验研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

[3] 李晓红. 动力电池管理系统SOC估算及软件设计 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.

[4] 王珂. 纯电动汽车动力电池特性及应用研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

[5] 陈息坤, 孙冬, 陈小虎. 一锂离子电池建模及其

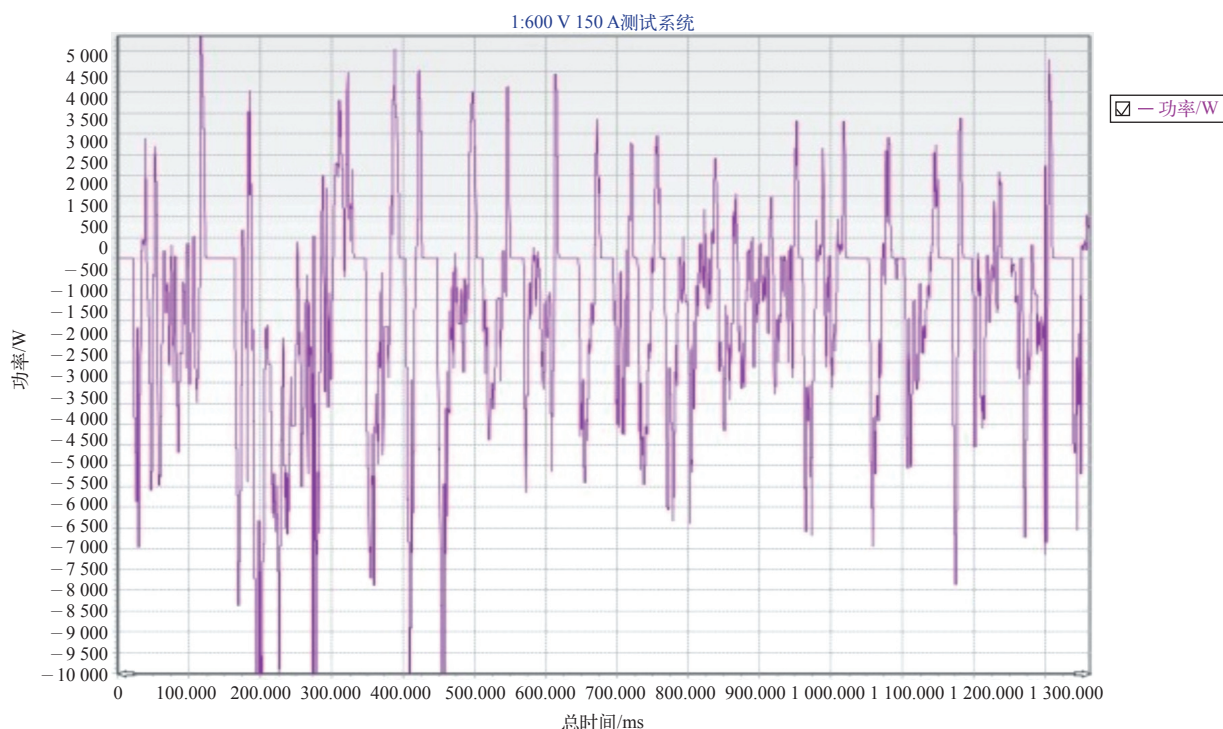


图8 实测功率工况模拟“时间-功率”曲线

- 荷电状态鲁棒估计 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (15): 141-147.
- [6] 何志超, 杨耕, 卢兰光, 等. 一种动力电池动态特性建模 [J]. 电工技术学报, 2016, 31 (11): 194-201.
- [7] 徐煌, 王武, 郭晓君. 不同工况下的电动汽车锂离子动力电池特性研究 [J]. 电气技术, 2015, 16 (4): 12-16.
- [8] 李培强, 曾小军, 李欣然, 等. 面向综合负荷的燃料电池等效模型及参数灵敏度分析 [J]. 电气工程学报, 2015, 10 (10): 21-29.
- [9] 龙波, 李迅波, 王彬, 等. 一种基于大规模动力电池组测试设备的交直流混合微网系统 [J]. 电工技术学报, 2014, 29 (增刊1): 449-452.
- [10] 龙波, 孙宏斌, 郝晓红, 等. 并网回收能量动力电池组测试系统拓扑及其控制 [J]. 电工技术学报, 2014, 29 (4): 323-328.
- [11] 刘金枝, 杨鹏, 李练兵. 一种基于能量建模的锂离子电池电量估算方法布 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (13): 100-104.
- [12] 徐煌, 王武, 郭晓君. 电动汽车动力电池检测与试验方案研究 [J]. 电气技术, 2015, 16 (1): 1-5.

(收稿日期: 2017-02-22) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告