

# 锂离子动力电池检测系统研究

肖 昕<sup>1</sup>, 李 劼<sup>1,2</sup>, 邹 忠<sup>2</sup>

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083;

2. 中南大学 冶金科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:**随着近些年来锂离子动力电池的广泛应用,作为生产锂离子动力电池关键设备的检测系统也成为新的研究热点。文中对锂离子动力电池检测设备的发展状况进行了总结,从系统结构、硬件和软件设计方面概括了新技术、新工艺在电池检测设备上的应用状况,介绍了均衡电路、模糊 PID 控制、智能专家系统等技术在检测系统充放电控制上的研究。最后讨论和总结了锂离子动力电池检测设备今后的发展方向。

**关键词:**锂离子动力电池;电池检测;专家系统;模糊 PID

**中图分类号:**TP206+.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2008)08-0174-05

## Research on Testing System of Li-Ion Electric Vehicle Battery

XIAO Xin<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1,2</sup>, ZOU Zhong<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Metallurgy Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** In recent years, lithium-ion electric vehicle battery has been more and more widely used, as a key equipment of Li-ion battery production, battery testing system has become a new research hotspot. Summarizes the research state of testing system of Li-Ion electric vehicle battery. Applications of new technologies and new crafts including system architectures, hardware and software design are generalized. And the researches of balanced circuit, fuzzy PID control and intelligence expert system applied in charge/discharge control technology are introduced. Furthermore, the development trends of battery testing system are discussed.

**Key words:** Li-ion battery; battery testing; expert system; fuzzy PID

## 0 引言

锂离子电池具有工作电压高、容量大、循环寿命长且无记忆效应等诸多优点<sup>[1]</sup>,使其成为动力电池领域研究与应用的热点。锂离子电池大多成组使用,因此对电池组的性能进行检测和评价,并提出优化改进建议便具有非常重要的意义。国外电池组检测设备研究起步较早,技术也相对成熟,代表有美国必测公司、Abin 仪器和 MACCRO 公司,以及德国 Digatron 集团。国内 20 世纪 90 年代初也开始了电池化成检测设备的研究和开发,哈尔滨理工大学、哈工大、广州电科所、北京有色金属研究总院等单位都对进口的化成检测设备

进行了仿制、国产化和改进<sup>[2]</sup>。

## 1 现状

### 1.1 结构设计

电池检测经历人工检测、单机单通道自动检测、单机多通道检测与多机分布式全自动智能检测四个阶段。现在主流的电池检测设备多采用分布式结构设计,根据具体应用的不同,分别采用两级和三级集散式控制结构。但无论是两级还是三级结构都是由主控制器单元、分控制器单元与执行回路组成。

#### (1) 两级分布式结构。

两级分布式结构大多应用在中小型检测柜和实验室检测设备上。如美国必测公司生产的 MSD-970 就是小型检测设备的代表,该设备主控制器选用功能很强的 HP 系列嵌入式计算机,而分控制器则采用 8 位单片机负责每个通道的管理。其系统结构如图 1 所示。采用该结构的设备往往具有发热量低、采样精度高、运行可靠等优点,但由于显示界面和主控制器运算能

收稿日期:2007-11-11

基金项目:国家发改委重大高科技产业化项目(发改办高技[2007]2456号)

作者简介:肖 昕(1985-),男,湖南娄底人,硕士研究生,CCF 会员,主要从事锂离子电池化成检测技术研究;李 劼,教授,博导,研究方向为轻金属冶金新技术与新材料、计算机仿真与智能控制、工业电化学等。

力的限制,电池性能分析方面的信息(如充放电、 $\Delta V$  等动态曲线)不能够被充分显示。为了解决这个问题国内外的厂商都将原有设备的主控器由嵌入式计算机改为运算能力更强和显示界面更丰富的 PC 机,如美国 MACCOR 公司生产的 4300 系列。但是这种改造并没对系统做出结构性的改进,只能适应于室内检测,并不具便携性。

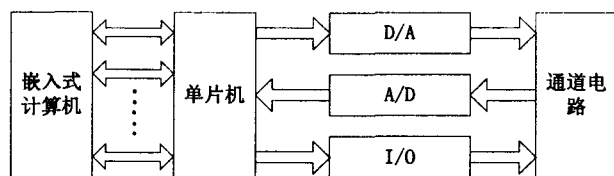


图1 两级分布式系统结构图

### (2)三级分布式结构。

三级分布式结构是单机多通道检测设备的扩展,它将两级系统中主控器的部分功能上移到上位机 PC,在上位机上建立一个综合测试实验平台,其系统结构框图如图 2 所示。

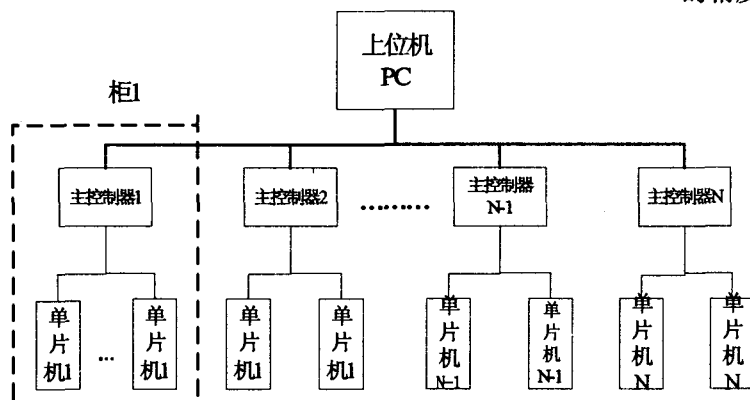


图2 三级分布式功能结构框图

典型的三级分布式结构的检测设备有美国 Abin 公司的 BT2000 和德国 Digatron 生产的 UBT 等。三级分布式结构较两级式结构而言更加有利于集中控制与管理,也便于检测结果的分析比对,非常符合规模化生产的要求。因此,三级分布式结构检测系统现在电池生产厂商中应用更为普遍。

## 1.2 硬件设计

### 1.2.1 电源系统

#### (1)整流电路<sup>[3]</sup>。

目前,国内外电池化成检测设备普遍采用两种电源作为电池充放电控制电源:一种是线性恒流源,另一种是开关恒流源。

①线性恒流源。线性调节电路采用电压调节方式,将电网电压经过变压器后,利用二极管的单向导电性把交流电变为直流电。美国 Abin 仪器公司生产的 BT2000 系列中就有采用线性恒流源的产品。

②开关恒流源。开关式恒流源采用的是 PWM (脉宽调制)调节方式,工作原理是能量的而不是电压或电流的调节,因此在电池放电过程中,可实现从低压端向高压端传递能量。并具有结构简单易于实现有源逆变的特点,因而是目前应用和研究最为活跃的类型,也是多开关 PWM 整流电路中应用最广泛的一种。

#### (2)通道电路。

通道电路负责对经过整流后生成的直流进行调节,以保证充放电过程中电流的精度。根据恒流源的不同采用不同的调节控制策略。

①线性调节电路。线性调节电路中分别采用积分和比例控制前项通路和反馈通路。比例环节的输入为采样电阻两端的电压,输出与给定电压进行比较再进入积分环节,调节 MOSFET 的栅极电压控制其输出。在一定的电流下,为使每个场效应管不出现过高的温度,保证稳定性和精度,有的系统下位机通道电路将多对 MOSFET 并联在一起。这样可以很好地保持系统的精度,但是同时也存在下位机的体积较大的缺点。

②PWM 调节电路。PWM 调节电路在原有线性调节电路的基础上增加了 PWM 调节器和滤波环节。通过比例和积分作用得到控制 P 的信号,对 PWM 开关器件的三角载波进行调节,使输出端可以得到幅值相等而宽度不等的脉冲。系统通过 PI 调节器控制 PWM 器件的输出,进而达到调节 MOSFET 输出的目的,滤波环节可以去除部分脉冲干扰,从而保证系统的精度。

#### (3)两种电路的比较。

线性调节电路的特点:整流电路简单;需要驱动功率小;通道电流调节范围大;电流调节响应快;低噪声等。但放电过程中电源不可逆,能量消耗在了管压降上,不利于能量的二次利用。

PWM 调节电路可以产生较高的频率,能量的传递效率也较高,适用于大容量电池的测试,整流电路电源可逆,放电时电池中的电能经过逆变回馈到电网。但 PWM 调节电路工作时会有高频脉冲产生而对系统的精度产生较大的影响。综合以上因素,通常在大多数率时采用 PWM 调节电路。

#### (4)放电能量再利用。

在电池生产过程中的耗电量是非常大的,其中电池的化成和检测用电占全厂用电量 60% 以上,日产十几万只的电池厂,每年化成检测电费都在百万元以上<sup>[4]</sup>。因此在检测过程中实现能量回收与再利用具有重大的经济效益和环保价值。

#### ①放电能量调度管理<sup>[5]</sup>。哈尔滨工业大学李革

臣、乐浪等利用开关电源可以实现能量由低向高输送的特点,设计了一套放电能量回收系统。当系统处于放电步骤时,放电电流通过外母带经开关电源回馈到内母带,经过系统调度供给其他检测柜正在充电步骤的电池之用。该项技术已成功运用于哈尔滨子木公司生产的系列化成、检测设备上,实际应用表明,系统可节电 60% 以上。

②电网馈电。与能量调度管理相似,在放电能量的利用中把放电电能回馈到内部电网,供能给电网内其他用电设备。这样的设计既实现了能量较高的利用率,而且比较能量调度管理系统,结构更加简单。例如德国 Digatron 生产的 UBT 系列检测设备采用的就是电网馈电结构。

### 1.2.2 检测回路

#### (1)电压、电流检测回路。

①单体电池检测回路。单体电池检测电路的设计相对简单。在检测方法上,当电流  $I$  较小时,导线的分压可以忽略,于是可以采用二端子测量方法;电流较大时,导线电阻的压降影响不能忽略,一般采用四端子等效电路。单体电池的电流测量方法与之类似,在被测电池电路上串联一个采样电阻,测得这个电阻的电压,然后通过欧姆定律换算成电流值。

②组电池电压、电流检测回路。作为动力电源时,锂离子电池往往串联成组使用,电池组的性能检测和均衡管理一直是动力电池研究的热点<sup>[6~10]</sup>。传统的电池组检测通常只从电池组的电压、电流,来判断被测电池组性能的优劣。这种检测方式虽然能够反映出电池组的整体特性,但是缺少了单体电池的数据。德国 Digatron 公司生产的 UBT<sup>[11]</sup>在电路设计中,设计了并行(DLP)和串行(DLS)双检测回路,这对不带均衡充电保护模块的电池组充电来说是必要的,既可以检测组电压、组电流、内阻,也可以检测每个单体的性能信息。这有利于提高电池成组检测过程中检测精度,同时也为研究单体电池在电池组充放电过程中的一致性提供了丰富可靠的数据,为电池组性能的优化提供了依据。

#### (2)温度检测。

在锂离子电池的检测中很多设备都忽视了温度检测,事实上锂离子电池再充放电时对温度要求是比较严格的,当温度超过 60℃ 就会有爆炸的危险<sup>[12]</sup>,而且温度的变化往往和电池的性能紧密相关。常用的检测工具有:热电偶、热敏电阻和数字式温度传感器。

热电偶是最常用的温度检测元件之一,它有测量范围大、构造简单、使用方便的特点。对于工作温度在 60℃ 以下锂离子电池,使用测温量程太大的热电偶并

不能准确监测电池充放电过程的变化。NTC 热敏电阻在温度的灵敏程度上约为热电偶的 10 倍,且结构简单,电阻率小,适合于动态测量,但 NTC 热敏电阻存在严重的热电非线性。因此,对非线性误差进行补偿或进行线性化处理是扩大其测量范围和提高测量精度的首要问题。天津大学刘正光、梅健强等在校正功能中采用线性插值法进行线性化。根据精度要求对非线性曲线进行分段,分段后用若干折线逼近曲线确定输入被测温度  $T$  的输出量热敏电阻阻值处在哪段,然后再根据那段直线的斜率进行线性插值,从而求出被测温度。北京航空航天大学付进军<sup>[13]</sup>介绍了一种动力电池组管理系统,由主控器来操作单总线数字式温度传感器 DS18B20 对电池进行温度测量,该测温芯片在 -10~85 范围内精度为 0.5,非常适合锂离子电池温度检测,而且数字化的测温设备有利于简化电路。

#### (3)内阻检测。

内阻不是一个固定的常数,电池处于不同的电量状态时,它的内阻值不一样。一般情况下放电态的内阻是不稳定的,而充电态内阻相对比较稳定,测量这个数值具有实际的比较意义。虽然没有统一来描述电池内阻的模型,但普遍认可的关于电池的阻抗的模型及简化模型如图 3、图 4 所示。

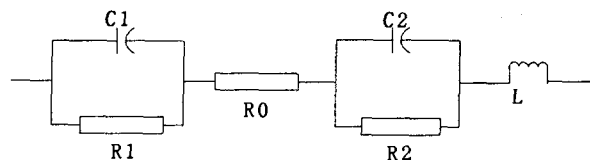


图 3 电池交流等效阻抗模型

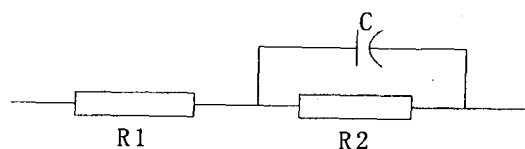


图 4 电池阻抗简化模型

电阻的测试方法分为直流测试和交流测试。交流检测几乎可以适用于所有种类的电池,因而被广泛使用。根据电池阻抗的模型,从数学上分析电池的交流阻抗 ( $R_2$ ):

$$R_2 = f(R_1, R_2, X_C) = R_1 + \frac{jR_2 + X_C}{R_2 + jX_C}$$

其中  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  是电容的容抗。通过选择 3 个频率点来测试电池的交流阻抗值,计算得出  $R_1, R_2$  的值,从而得出电池的内阻  $R_1 + R_2$ 。显然,这样需要处理器具有较快的计算速度才能满足内阻测量设备的测量速度要求,而且更重要的是这种方法的测量结果的准确性取决于电池阻抗模型的准确性。由于目前无法准确地对



根据锂离子电池的特性对工步参数和工艺逻辑提出了规约,在下发工步逻辑前,系统将对该逻辑进行检查,若逻辑中参数设置不当或出现与工艺要求不符的逻辑顺序系统将返回提示警告,这样可以有效地减少操作人员的误操作。在实时数据显示的基础上增加了数据曲线绘制和历史数据、曲线储存功能,使得电池性能比对与分析更加直观和便利。

中位机软件由初始化模块、液晶显示模块、通讯模块等组成。有些检测设备增加了逻辑编辑功能,通过柜上嵌入的小键盘来输入工步逻辑,这样实现了检测柜的单机独立控制,使用户可以根据生产需要对设备进行自由组合。

下位机软件主要完成数据采集、充放电执行、自检自诊断以及异常保护功能。

## 2 结束语

目前,锂离子电池行业平均每年以 30% 的速度增长,电池化成、检测等与电池生产相关的设备也得到了蓬勃的发展。随着电池产品质量和容量的提高,对锂离子电池检测设备也提出了更高的要求。下一阶段,锂离子电池检测设备的研究主要集中在以下几个方面<sup>[19-21]</sup>:

(1) 向高可靠性、高准确度发展,以适合大批量、高质量生产的需要;

(2) 向大功率发展,以适应电动工具、数字通讯、电动汽车发展的需要;向多功能、多参数发展,以适应更多的电池参数,如:温度、内压内阻等参数测试的需要;

(3) 向自动化、智能化、数字化发展,以适应大规模全自动化生产的需要;

(4) 向组合结构、模块化发展,缩短设备开发周期,形成一个适应多种电池、各种容量电池的生产及科研需要的一个通用的测试平台。

## 参考文献:

- [1] Majima M. Development of Long Life Lithium in Battery for Power Storage[J]. Fuel and Energy Abstracts, 2002, 43(4): 261-264.
- [2] 赵建民,张贤忠. 迪卡龙原装化成设备的国产化[J]. 蓄电池, 2001, 1: 43-45.

- [3] 刘正光,梅健强,胡 斌. 多通道高精度通用电池测试系统[J]. 自动化仪表, 2005, 26(11): 56-70.
- [4] 李革臣. 电池放电能量再利用报告[R]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2004.
- [5] 乐 浪. 锂离子电池综合测试系统的研究与设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2006.
- [6] 古启军,陈以方,吴知非. 串联电池组电压测量方法研究[J]. 电测与仪表, 2002, 39: 26-29.
- [7] 贾高峰,韩赞东,王克争. 电动汽车用动力电池组性能测试[J]. 电源技术, 2004, 28(11): 712-714.
- [8] 孙逢春,张成宁,郭海涛. 带充电状态显示的动力电池管理系统[J]. 北京理工大学学报, 1998, 7(2): 166-172.
- [9] 王震坡,孙逢春. 电动汽车电池组连接可靠性及不一致性研究[J]. 车辆与动力技术, 2002, 4: 11-14.
- [10] 彭明杰,钟汉枢. 串联电池组监测统[J]. 系仪表与技术传感器, 2005, 5: 42-44.
- [11] 李红林,孙缝春,史建军. Digatron 电动车辆电池测试系统[J]. 电源技术, 2004, 28(4): 245-250.
- [12] 史鹏飞. 化学电源工艺学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.
- [13] 付进军. 动力电池组管理系统总线测温技术研究[J]. 中国测试技术, 2004(11): 10-11.
- [14] 姜立国. 可充电电池内阻检测仪[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [15] Chatzakis J, Kalaitakis K, Voulgaris N C. Designing a New Generalized Battery Management System[J]. IEEE Transaction on Industry Electronics, 2003, 50(5): 990-998.
- [16] Kutkut N H, Wiegmanh L N, Divan D M. Design consideration for charge equalization of electric vehicle battery system[J]. IEEE Transaction on Industry Applications, 1999, 35(1): 28-35.
- [17] 闫智刚. 脉冲化成在电动自行车铅蓄电池上的应用[J]. 电池工业, 2003, 8(5): 207-209.
- [18] 张朝阳,刘 明,张 严. 锂离子动力电池充电技术研究[J]. 鱼雷技术, 2007, 15(1): 22-25.
- [19] 孙频东. 基于专家系统的蓄电池智能充电装置[J]. 电源技术, 2005, 29(1): 41-45.
- [20] 符明明,李桂森,李好文,等. 锂离子电电池通用测试系统的设计与实现[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, 8(2): 26-28.
- [21] 戴开云. 基于神经网络动力电池性能评估[D]. 北京: 华北电力大学, 2005.

(上接第 129 页)

- evolution algorithm, Biomed[J]. Soft Compute un. Sci. 2003, 9(2): 25-31.
- [12] 杨 锋,钟 诚,李 智. 基于概率模糊认知图的 Mstream 攻击检测方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(10): 125-127.
- [13] 姚淑萍,郑 链,刘 峰. 基于概率模糊认知图的入侵检测警报融合机制[J]. 计算机工程, 2005, 31(21): 118-120.
- [14] 骆祥峰,高 隽,张旭东. 基于信任知识库的概率模糊认知图[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(7): 925-933.