

成组动力锂电池的质量评估

郝永超 钱良国* 肖亚铃

(机械科学研究总院, 北京 100083)

摘要: 随着动力锂电池在电动车辆上广泛应用, 由于在工况条件下面对着复杂的运行环境, 动力电池组的性能会出现一定程度的下降, 如果不采用先进且适用的质量评估和维护措施, 将会很大程度的缩短动力电池的寿命周期. 动力蓄电池总成的数据采集是正确评估动力电池的性能, 科学使用和正确维护分析动力电池系统的基础, 用于动力电池当前和生命周期内的性能分析和质量评估, 对改善动力电池的在使用过程中的性能起到非常重要的作用, 对电动车辆的行驶性能具有重要影响, 本文介绍了近年来动力锂电池质量评估的研究进展以及应用前景.

关键词: 一致性; 质量评估; 数据采集; 循环寿命

中图分类号: O646

Quality Evaluation of Group Motive Lithium-ion Battery

HAO Yong-Chao QIAN Liang-Guo* XIAO Ya-Ling

(China Academy of Machinery Science & Technology, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: At present, the applications of motive batteries in EV are extensively used, because of complicate circumstance the consistency of Li-ion batteries are severely descended. If it is not used for quality evaluation and maintenance measure, cycle life is badly decreased. It is basis of Li-ion battery's property and scientific service and maintenance analysis of motive Li-ion batteries system, using data acquisition of motive Li-ion battery. It is important effect to improve quality of motive Li-ion batteries in service and property analysis, at the same time it is influence for performance of EV. In this paper, the development and applied fields of quality evaluation of motive Li-ion battery is introduced.

Key Words: Consistency; Quality evaluation; Data acquisition; Cycle life

1 研究背景

近年来, 动力锂电池由于具有高能量密度比、体积小、重量轻、循环寿命长、输出电压高、污染小等显著特点有着极其重要的应用, 在关键技术、关键材料研究和产品开发上都取得了突破性进展, 其推广应用的条件下基本成熟. 但前一阶段关注的焦点都集中在电池关键技术、关键材料和产品研究上, 动力锂电池在工程应用中的质量评估研究没有受到应有的关注, 其研究水平并没有得到突破性的进展, 严重滞后于动力电池发展的局面, 已经成为制约新型动力电池和电动汽车产业进程的关键条件之一.

车载动力锂电池大都是大容量和高电压串联后使用, 电动车在工况运行时电池组的放电过程为脉冲工作模式, 大的脉冲电流很可能造成个别单体电池的深放电甚至过放电, 单体电池性能的差异也会影响到整个电池组的性能, 由于受到一致性的影响严重减少了单体电池的循环次数, 因为在使用过程中各个单体电池性能的差异以及容量的高低必将影响电池组的循环寿命. 单体电池的过充、过放、超温也大大降低了电池组的性能, 因此采取对电池组的质量评估显得尤为重要, 这种控制策略也非常必要.

动力锂电池在使用中普遍出现了寿命下降的问

*Corresponding author. Email: camtc42@126.com

题,更为严重的是使用寿命使单体电池缩短数倍甚至十几倍,导致系统使用和维护成本增加^[1]。由于缺乏相应的质量评估手段和质量维护,当前电动汽车动力电池的数据大多是在停止运行过程中进行的数据存储,所采集的静态数据没有可比性和可分析性,对电池的维护处理没有太大的实际意义。动态数据可以记录用于动力电池性能评估的充电特征记录文件和放电特征记录文件,采用这样的数据记录才能有效地评估动力电池组的质量。

动力电池在使用过程中的过充电是影响电池组性能的主要原因。为了有效地说明这个问题,选取某电动车的 102 只 400 Ah 的锂电池进行验证,在充电时单体电池的充电电压设为 4.20 V,充电电流是 120 A,采用恒压限流充电模式,在恒压模式下充电电流降到 17.5 A 时单体电池的电压状态如图 1 所示。

从图中可以清楚地看到这个阶段已经有四只电池的单体电压超过设定的充电电压 4.20 V,而且最高的单体电压已达到 4.27 V,此时的相对标准偏差才 0.98。因此使用过程中要防止过充电,否则会使单体电池加速循环寿命的衰减,也会影响整个电池组的寿命。根据研究表明:4.25 V 的充电截止电压使得循环寿命衰减到 250 次左右,所以不断对电池组进行质量维护是非常必要的。

动力电池在使用过程中也存在着过放电的问题,为了直观地说明这个问题,选取某电动车的 102 只 400 Ah 的锂电池进行验证,在工况时放电电流为 54.8 A 时单体电池的电压状态如图 2 所示。

从图中可以清楚地看到这个阶段已经有四只电池的单体电压低于设定的电压下限值 3.60 V,而最低的单体电压已达到 3.33 V,因此使用过程中要防止过放电,否则会使单体电池加速循环寿命的衰减

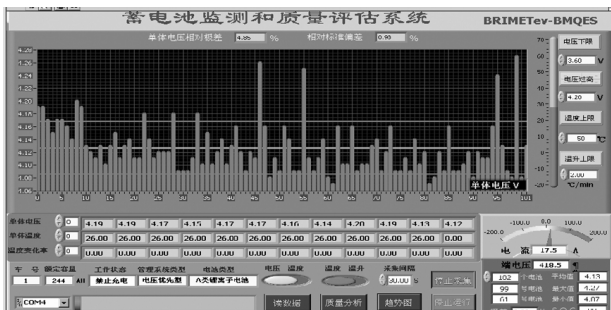


图 1 充电过程中单体电压状况

Fig.1 The condition of monomer voltage in charge process

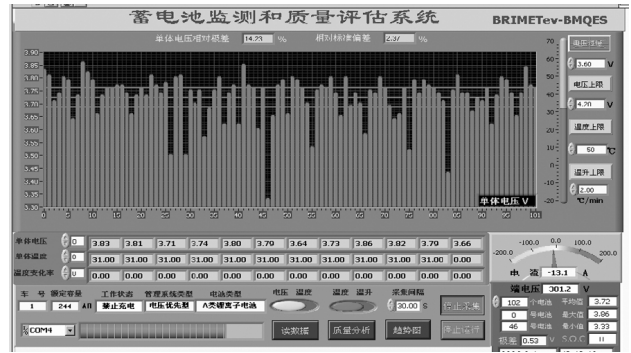


图 2 放电过程中单体电压状况

Fig.2 The condition of monomer voltage in discharge process

也会影响整个电池组的寿命,所以必须对电池组进行质量维护。

2 当前进展及研究成果

机械科学研究总院研究开发的动力电池总成维护管理系统是正确评估动力电池的性能,科学使用和正确维护动力电池系统的基础。蓄电池性能的主要指标是能量特性和功率特性,特别是功率特性是电动汽车动力电池使用性能最关键的指标,对车辆行驶性能具有重要影响。在车辆停止运行时采集的数据不能反映动力电池系统的能量特性和功率特性。只有在行驶过程中即负载条件下,才能准确反映动力电池系统的能量特性和功率特性。

对于采集数据的特定记录反映的动力电池系统性能,与动力电池的荷电状态密切相关。准确评价动力电池性能的前提是采集的数据必须具有可比性。要使采集的数据具有可比性必须严格约束用于动力电池性能评估的数据采集的条件,否则,无法实现时间跨度很大的动力电池生命期内不同时间采集的数据具有可比性。

开发的数据记录卡自动采集和记录了用于动力电池性能评估的充电特征记录文件和放电特征记录文件,和用于监测的事件记录文件(基本)或定时记录文件。特征记录文件首创性地采用了严格约束条件下的同步采样,以保证该文件具有良好的可比性。该文件主要用于动力电池当前和生命期内的性能分析和质量评估。可以对当前和生命期内的总成、单电池、模块、指定时段的数据进行分析处理。

事件记录文件用于记录动力电池组发生的特殊事件,主要是充电过程(含能量回收过程)发生的过充电事件、放电过程发生的过放电、超温事件等。该

文件对系统的性能检测具有重要作用是相关系统维护的重要依据。

数据卡内有事件记录和定时记录两类,共有5个记录文件:

(1) 当前动力蓄电池总成充电过程的特征数据(事件)记录文件. 该文件在每个充电过程中若发生特定条件的事件,即自动采集一个记录. 只要充电过程是自动终结的,即可保证会发生符合数据采集条件的事件. 若充电过程中中断充电,即可能不会发生符合数据采集条件的事件. 所以该事件不能保证每次充电过程都会发生。

该记录文件仅保留当前记录,在充电过程中若没有发生该事件,该文件保留前一次充电过程的事件记录. 若该次充电过程发生了该事件,即用当前事件替换原事件文件. 该记录文件不能被读卡器读取和删除,只能采用《动力蓄电池特征数据文件处理系统》读取和处理。

(2) 动力蓄电池总成充电过程的特征数据(事件)记录文件. 该文件是第一个数据文件的连续记录文件. 文件容量是512个记录,即最少可记录512次充电的特征数据。

(3) 当前动力蓄电池总成放电(行驶)过程的特征数据(事件)记录文件. 该文件在每个放电过程中若发生特定条件的事件即自动采集一个记录. 若放电深度过低即荷电状态过高,可能不会发生符合数据采集条件的事件. 所以该事件不能保证每次放电过程都会发生。

该记录文件仅保留当前记录,在放电过程中若没有发生该事件,该文件保留前一次放电过程的事件记录. 若该次放电过程发生了该事件,即用当前事件替换原事件文件. 该记录文件不能被读卡器读取和删除,只能采用《动力蓄电池特征数据文件处理系统》读取和处理。

(4) 动力蓄电池总成放电过程的特征数据(事件)记录文件. 该文件是第一个数据文件的连续记录文件. 文件容量是512个记录,即最少可记录512次放电的特征数据记录。

(5) 可以由用户定义为事件记录模式或事件/定时记录模式。

定时/事件记录模式:按用户定义的时间间隔(1 min的倍数,最长间隔20 min),自动记录蓄电池总成运行数据. 该模式中若发生电池单体电压超过或低于允许值,也将自动被记录. 该模式一般用于试验

运行过程。

事件自动记录模式:该模式将定时模式关闭,仅当发生电池单体电压超过或低于允许值才被自动记录. 该模式用于正常运行过程,记录电池单体电压的平均值、相对极差、相对标准差、电流(充电为负、放电为正)、当前电量、荷电状态等。

2.1 动力锂电池监测及质量评估系统

该系统应能全程监测蓄电池的端电压、电流、温度和充放电安时累计值,确保电池不会因为过度充电和过度放电而折寿^[2]. 是面向工程应用的,对蓄电池组进行实时监测、数据采集、数据处理、质量评估、生命期内性能发展趋势分析及提供维修建议的工程应用工具软件;也可以应用于蓄电池生产过程中化成、充放电实时监测、电池系统质量分析,电池分组等,其界面如图3所示。

该系统具有以下功能:

(1) 实时监测蓄电池系统的充放电电流、端电压、单体电压、温度、温升。

(2) 实时监测蓄电池系统单体的不一致性,主要包括:极差、相对极差、标准偏差、相对标准偏差、最高电池单体电压和温度、最低单体电压和温度等。

(3) 实时监测蓄电池输出功率与均值电压、相对标准偏差、相对极差之间的关系曲线。

(4) 实时记录并显示充放电过程中均值电压、相对极差、相对标准偏差趋势图。

(5) 实时采集并记录电池系统运行状态数据,读取BMS自动记录的数据,自动分解数据并存储成按日期和车号命名的数据文件。

(6) 对蓄电池的质量进行分析,根据分析结果可对蓄电池系统进行横向和纵向性能评估,为动力蓄电池的评价和选型提供科学依据. 客队蓄电池生命期内性能变化趋势分析,该功能为蓄电池生命期内的性能发展趋势提供了科学的分析手段,对电池性

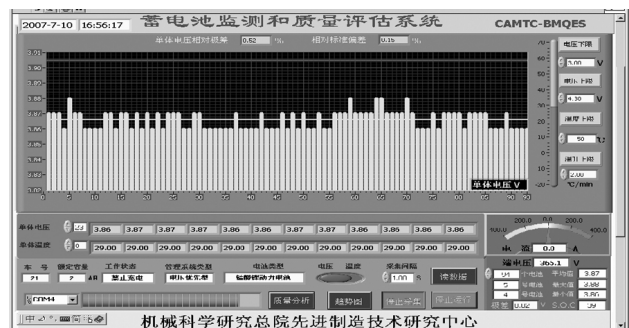


图3 电池监测及质量评估系统

Fig.3 Battery control and quality evaluation system

能评价和应用研究具有重要实用价值。

根据蓄电池质量分析结果提供用户维护建议,维护建议分为三类:

第一类维护建议:是需要补充的电蓄电池单体。

第二类维护建议:是需要进行部分放电的电池单体。

第三类维护建议:是需要维修或更换的电池。

2.2 读卡器

该记录装置采用 4 MB 大容量 IC 卡(FLASH)。有定时自动记录和事件记录两种模式。事件记录模式有 5 个记录文件:

(1) 动力蓄电池充电过程的特征数据(事件)记录。每个数据记录记录一次充电过程的确特征数据。该记录文件最大容量为 512 个数据记录,可记录 512 次充电过程的特征数据。该数据主要用于蓄电池质量评估。该文件由系统自动记录。

(2) 动力蓄电池放电过程的特征数据(事件)记录。每个数据记录记录一次放电过程的确特征数据。该记录文件最大容量为 512 个数据记录,可记录 512 次放电过程的特征数据。该数据主要用于蓄电池质量评估。该文件由系统自动记录。

(3) 可以由用户定义为定时自动记录模式或事件自动记录模式。

定时自动记录模式:按用户定义的时间间隔(1 min 的倍数,最长间隔 31 min),自动记录蓄电池总成数据数据。该模式中若发生电池单体电压超过或低于允许值,也将会自动被记录。

事件自动记录模式:当发生电池单体电压超过或低于允许值,才被自动记录。该文件最大容量为本 1000 个记录。

(4) 最后一充电特征记录文件。该文件只有一个记录,该记录文件由电动汽车蓄电池总成维护管理系统质量分析系统读取和处理。该工具软件是蓄电池总成维护管理专用工具。

(5) 最后一放电特征记录文件。该文件只有一个记录。该记录文件由电动汽车蓄电池总成维护管理系统质量分析系统读取和处理。该工具软件是动力蓄电池总成维护管理专用工具。

读卡器用于读取该大容量记录卡。

读卡器将上述三个文件分别保存为 BIN 文件和 TXT 文件。

BIN 文件保存了动力蓄电池质量评估系统需要的全部信息。TXT 文件保存为数据处理系统专用数

据格式。采用提供的专用数据处理工具,可以对该文件进行处理,并将处理结果保存为新的 TXT 文件,供 Excl、Word、WPS 等可以识别 TXT 文件的编辑工具打开和编辑。

读卡器操作界面见图 4。

2.3 动力锂电池总成特征数据记录文件处理系统

电动汽车动力锂电池总成的数据采集是锂电池科学使用和维护的基础,该记录装置采用 4 MB 大容量 IC 卡(FLASH)。有定时自动记录和事件记录两种模式,共 5 个记录文件:

(1) 动力蓄电池充电过程的特征数据文件。该记录文件最大容量为 512 个数据记录,可记录 512 次充电过程的特征数据。该数据主要用于蓄电池质量评估。每个数据记录一次充电过程的特征数据。该文件保存在 D:\卡式数据盘文件\BIN 和 TXT 目录下。

(2) 动力蓄电池放电过程的特征数据文件。该记录文件最大容量为 512 个数据记录,可记录 512 次放电过程的特征数据。该数据主要用于蓄电池质量评估。每个数据记录记录一次放电过程的特征数据。该文件保存在 D:\卡式数据盘文件\BIN 和 TXT 目录下。

(3) 可以由用户定义为定时自动记录模式或事件自动记录模式。

定时自动记录模式:按用户定义的时间间隔(1 min 的倍数,最长间隔 31 min),自动记录蓄电池总成数据。该模式中,若发生电池单体电压超过或低于允许值,也将自动被记录,即以定时记录为主,同时包含事件记录。该文件保存在 D:\卡式数据盘文件\BIN 和 TXT 目录下。

事件自动记录模式:当发生电池单体电压超过或低于允许值(事件),该事件即自动被记录,该文件

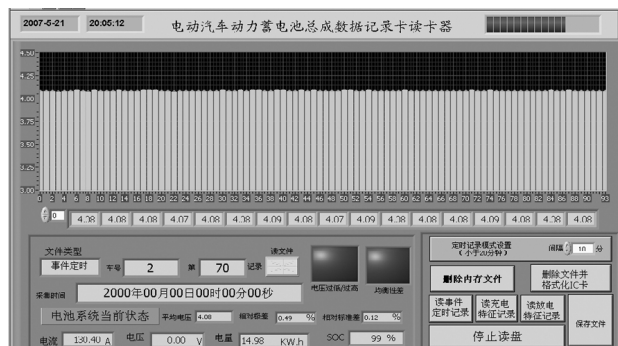


图 4 读卡器界面

Fig.4 The interface of reading card

最大容量为 1000 个记录。

(4) 当前充电特征记录文件. 该文件只有一个记录. 该记录文件由“电动汽车蓄电池总成性能分析系统”工具软件读取和处理. 该工具软件是对动力蓄电池总成性能分析和评估的专用工具. 该文件保存在 D:\卡式数据盘文件\BIN 下。

(5) 当前放电特征记录文件. 该文件只有一个记录. 该记录文件由电动汽车蓄电池总成性能分析系统"工具软件读取和处理. 该工具软件是对动力蓄电池总成性能分析和评估的专用工具. 该文件保存在 D:\卡式数据盘文件\BIN 下。

动力蓄电池总成性能分析系统用于上述第四、五个特征数据记录的数据处理. 每次充电前, 采用该工具将数据记录卡最新充电和放电特征数据读出后, 即可进行快速分析和处理, 为蓄电池的维护管理提供可靠的数据支持, 采用该系统有效提高了动力蓄电池维护管理的科学性和准确性。

动力蓄电池总成性能分析系统界面见图 5。

显示界面主要包括总成蓄电池性能分析、各模块蓄电池性能分析和分布情况统计(正态图)、各电池模块的数据统计表、维护建议和 IC 卡存储器使用情况等。

该系统的主要功能:

(1) 读特征数据记录文件

按“读充放电特征记录”按钮, 即可完成读取 IC 卡当前充电和放电特征记录文件. 注意: 文件从 IC 卡读入计算机内存后, 并没有存盘。

(2) 保存文件

在读完一个文件后, 若需要保存该文件可按“保存文件”按键, 保存的文件名是自动生成的。

(3) 数据处理

打开指定的文件, 即可对数据进行分析 and 处理。

(4) 生成分析报告

打开文件后, 即可自动生成分析报告. 分析报告以 TXT 文件格式和 Excel 文件格式分别保存. 在 Excel 格式文件中保存了图形生成数据。

(5) IC 卡存储器使用情况

当完成读文件后, 自动显示 IC 卡各分区存储器已经使用情况. 若使用已经超过 80%, 将闪光报警, 应及时采用读卡器读取文件, 删除 IC 卡上各分区的文件。

2.4 动力锂电池总成事件和定时文件处理系统

该系统用于对自动记录卡读卡器保存 TXT 格式数据文件进行处理, 自动记录卡可自动记录 2040 个定时采集数据记录、一个充电过程的动力蓄电池总成特征记录和一个放电过程的动力蓄电池总成特征记录^[3], 其监控界面如图 6 所示。

定时自动采样数据记录是当蓄电池组开始工作后, 按规定的间隔时间自动对蓄电池总成的状态进行一次记录. 采样间隔时间可以在 5-20 min 之间设定. 最短记录时间为 170 min, 最长记录时间为 40800 min(680 h)。

特征数据记录是根据特定的条件自动记录的数据记录. 该数据记录主要用于蓄电池总成的维护管理。

该系统主要功能

(1) 打开文件: 可以打开指定的读卡器保存的文件(默认路径是 D:\卡式数据盘文件\TXT)和本系统提取的新文件(默认路径是 D:\卡式数据盘文件\提取记录)。

(2) 按日期查找记录: 在文件中查找指定日期(年、月、日)的数据记录。

(3) 提取指定的数据记录: 将指定的一个或若干个连续记录保存为一个新的文件。

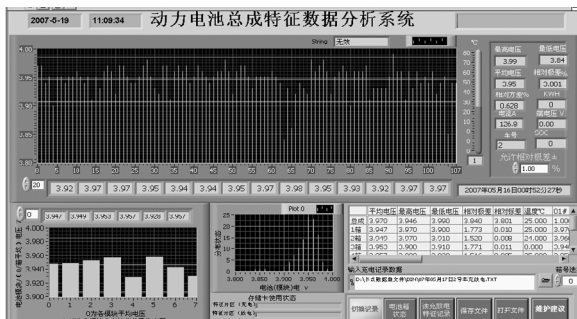


图 5 动力蓄电池总成性能分析系统界面
Fig.5 The interface of motive battery property analysis system

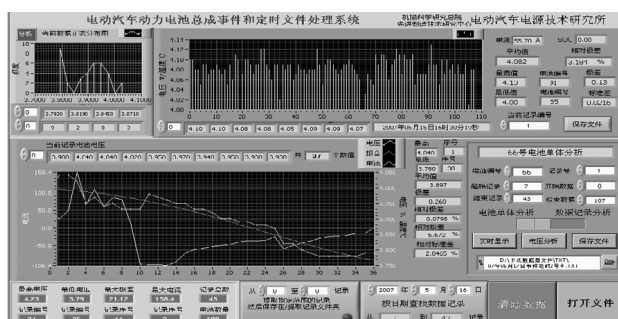


图 6 动力蓄电池总成事件和定时文件处理系统界面
Fig.6 The interface of motive battery incident and timing file disposal system

(4) 自动检测文件记录总数,并自动检测最大电流、电池单体最高电压和最低电压所在的记录,自动检测蓄电池单体个数(0-110).

(5) 采用柱状图直观地显示指定记录的状态,并进行数学统计(平均值、最大值、最小值、极差、相对极差、标准差、相对标准差、正态分布等).

(6) 对指定区间记录进行统计分析和趋势分析.对指定电池单体在指定记录区间进行统计分析和趋

势分析,对指定记录进行统计和趋势分析.

(7) 保存分析报告(TXT 文本),可方便地导入 Excel 进行处理.

References

- 1 王震坡,孟祥峰.新材料产业,2007,8:37
- 2 肖秀玲等,低成本.工业自动化应用,2002,10:424
- 3 钱良国,郝永超,肖亚玲.新材料产业,2007,8:17