

电动汽车用磷酸铁锂动力电池内阻特性研究

鲁文凡 吕帅帅 李志扬 汪兴兴 倪红军*

(南通大学机械工程学院,南通 226019)

摘 要 以电动汽车用磷酸铁锂动力电池为研究对象,采用混合脉冲功率法(HPPC)对磷酸铁锂动力电池进行测试,分析脉冲电流大小、脉冲时间与电池直流内阻、极化内阻的影响。研究表明:随着脉冲时间的增加,磷酸铁锂动力电池的内阻呈增长态势;放电电流增大,电池的极化内阻和直流内阻呈减小态势;在 32A 放电电流,荷电状态(SOC)=100%条件下,磷酸铁锂动力电池的极化内阻为 20.89mΩ,直流内阻为 62.49mΩ。

关键词 磷酸铁锂,混合脉冲功率法,直流内阻,脉冲时间

Characteristic study on internal resistance of LiFePO₄ power battery for EV

Lu Wenfan Lv Shuaishuai Li Zhiyang Wang Xingxing Ni Hongjun

(School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong 226019)

Abstract Taking LiFePO₄ power battery for EV as the experimental subject, charging/discharging experiments and hybrid pulse power characterization (HPPC) were conducted to study the characteristic of LiFePO₄ including DC internal resistance and polarization resistance. With the increase of pulse time, the battery DC resistance increased. With the increase of discharge current, the polarization resistance and DC internal resistance were decreased. Under the condition of SOC=100% and discharge current was 32 A, the polarization resistance of lithium iron phosphate power battery was 20.89mΩ, DC resistance was 62.49mΩ.

Key words LiFePO₄, hybrid pulse power characterization (HPPC), DC internal resistance, pulse time

随着锂离子动力电池在正负极材料、工作原理、性能测试及生产工艺等方面的深入研究和推进,锂离子动力电池以其高功率密度、高能量密度、自放电率小和循环寿命长等优点,已在较多领域替代了金属氢化物电池,成为电动汽车的首选储能装置^[1-2]。电池内阻是锂离子动力电池的重要性能参数之一,直接决定了电池的功率特性,同时也决定着电池产热量的大小,在经典的 Bernardi 电池产热模型中,电池内阻是电池产热量估算的重要参数之一^[3]。随着锂离子动力电池的循环使用,电池的内阻不断增加,会造成产热量增加、充放电效率降低和电池老化,最终当电阻达到一定值时,电池循环寿命终结^[4-5]。对单体电池,内阻对电池的充放电效率、循环寿命和产热量都有很大影响;对电池组,内阻的差异对电池组的安全性和一致性也有很大的影响^[6-7]。因此,探索和掌握锂离子动力电池的内阻特性对安

全、高效使用锂离子动力电池具有重要意义^[8]。为系统分析锂离子动力电池的内阻特性,本研究针对磷酸铁锂动力电池进行了多项实验,分析了脉冲时间和脉冲电流大小对动力电池直流内阻、欧姆内阻及极化内阻的影响。

锂离子电池的内阻包括欧姆内阻和极化内阻。欧姆内阻指由电极材料、隔膜、电解液电阻及各个零件之间的接触内阻组成的电阻之和。极化内阻指电池化学反应过程中极化所造成的内阻,包括电池化学极化和浓度极化造成的内阻^[9-10]。

1 实验部分

1.1 实验对象和设备

磷酸铁锂电池(48V/40Ah 型,标称容量 40Ah,标准充电电流 8A),杭州力奥科技有限公司。

动力电池测试系统(EVTS 型,电流精度±

基金项目:江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发[2014]37号);江苏省政策引导类计划(产学研合作)项目(BY2015047-02);南通市应用基础研究计划项目(GY12015020);南通市前沿与关键技术创新项目(MS22015028)

作者简介:鲁文凡(1992-),男,硕士,研究方向为新能源汽车和燃料电池。

联系人:倪红军(1965-),男,博士,教授,研究方向为新能源汽车和燃料电池。

0.1%,电压精度±0.1%),美国 Arbin 仪器设备公司。

1.2 样品测试

磷酸铁锂电池直流内阻的测试方法主要有美国的混合脉冲功率法(HPPC)、日本的 JEVS713 测试法和中国的《HEV 用高功率锂离子动力电池性能测试规范》的测试方法^[11-12]。本研究在分析和对比 3 种测试方法优缺点的基础上,选择混合脉冲功率法对样品进行测试,具体步骤如下:(1)将磷酸铁锂动力电池进行 3 次标准充放电(8A)循环实验,以激活动力电池;(2)进行一次标准充放电(8A),得到标准充放电曲线;(3)在荷电状态(SOC)=0%时,进行 8A 脉冲电流充电,脉冲时间 10s,每隔 0.5s 采集 1 次数据,静置 30min;(4)以 8A 充电至 SOC=10%,静置 15min,进行 8A 脉冲电流充电,脉冲时间 10s,每隔 0.5s 采集 1 次数据,静置 30min;(5)以此类推至 SOC=100%;(6)进行 10A 充电实验,得到 10A 充电曲线;(7)重复进行(3)至(5)步骤;(8)按上述类似步骤进行 8、20 和 32A 充、放电直流内阻测试。

2 结果与讨论

2.1 脉冲时间对电池内阻的影响

在 32A 放电电流条件下,脉冲时间对电池直流内阻的影响见图 1。从图可以看出,在 32A 放电电流,脉冲时间 1s, SOC=100% 条件下,电池的直流内阻为 40.20mΩ,随着脉冲时间的增加,电池的直流内阻呈增长态势,在脉冲时间 10s 时,电池的直流内阻为 63.60mΩ。电池的直流内阻的变化主要是由电池内部化学反应决定的,在给电池施加一个脉冲电流时,首先是欧姆内阻引起电压变化,使得电压呈现急剧的增加或减小,之后是电荷转移阻抗和传质阻抗引起电压变化。直流内阻值为极化内阻和欧姆内阻和,而极化内阻值是随着脉冲时间的变化而变化的,所以直流内阻随脉冲时间的变化特性主要是由极化内阻随时间的变化特性决定的。

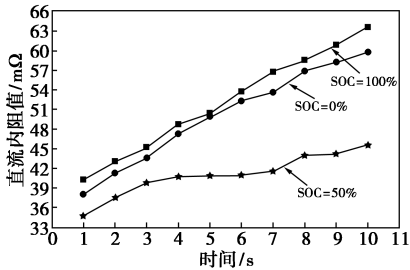


图 1 脉冲时间对电池直流内阻的影响

从上述分析可知,电池直流内阻对时间的敏感性较大,所以在进行动力电池及动力电池组内阻参数测量和评价时,应根据实际使用情况选择合理的测试脉冲时间,如混合动力汽车用锂离子动力电池常用启动、加速时间为 10s 左右,所以测试时间应选择 10s,而纯电动汽车常用启动、加速时间一般大于 10s,所以应该选择更长的测试脉冲时间^[13]。

32A 放电电流、SOC=100%,不同脉冲时间的电池直流内阻见表 1。

表 1 32A 放电电流、SOC=100%,不同脉冲时间的电池直流内阻					
时间/s	1	2	3	4	5
电池直流内阻/mΩ	40.20	43.01	45.11	48.75	50.53
时间/s	6	7	8	9	10
电池直流内阻/mΩ	53.75	56.82	58.57	60.80	63.60

2.2 放电电流对电池极化内阻的影响

8、20 和 32A 放电电流对电池极化内阻的影响见图 2。从图可以看出,随着放电电流的增大,电池的极化内阻呈减小态势;在 8、20 和 32A 放电电流下放电开始时(SOC=100%),电池的极化内阻分别为 67.73、44.80 和 20.89mΩ;随着放电过程的进行,在 SOC=90%时电池的极化内阻分别为 13.58、12.22 和 7.62mΩ;此后电池的极化内阻值呈逐渐平稳上升态势,而且上升幅度很小,至 SOC=10%时,电池的极化内阻分别为 13.55、13.13 和 12.51mΩ;在放电最后阶段(SOC<10%),电池的极化内阻呈快速上升态势,在 SOC=0%时,电池的极化内阻分别为 52.06、46.59 和 24.06mΩ。

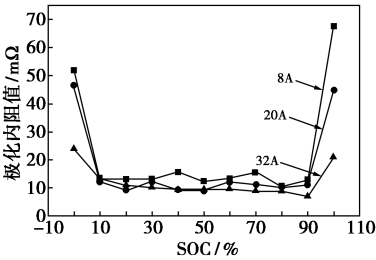


图 2 8、20 和 32A 放电电流对电池极化内阻的影响

2.3 放电电流对电池直流内阻的影响

8、20 和 32A 放电电流对电池直流内阻的影响见图 3。从图可以看出,电池直流内阻最大值是在放电初始阶段,即 SOC=100%时,电池的直流内阻分别为 130.19、108.92 和 62.49mΩ;在 SOC=90%时,电池的直流内阻分别为 56.80、54.20 和 43.56mΩ;在 SOC=10%时,电池的直流内阻分别为 58.20、50.80 和 49.80mΩ;在 SOC=0%时,电池

的直流内阻分别为 88.72、88.53 和 62.66mΩ。电池的放电直流内阻特性和电池的极化内阻特性基本类似,都是两头高,中间低。

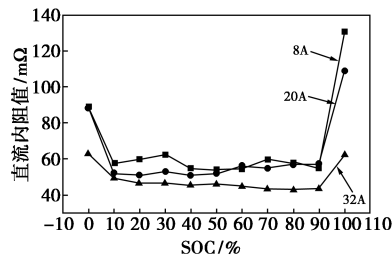


图 3 8、20 和 32A 放电电流对电池直流内阻的影响

3 结论

采用混合脉冲功率法对电动汽车用磷酸铁锂动力电池进行测试,分析脉冲电流大小、脉冲时间对电池直流内阻、极化内阻的影响。研究表明:随着脉冲时间的增加,磷酸铁锂动力电池的内阻呈增长态势;随着放电电流增大,电池的极化内阻和直流内阻呈减小态势,在 32A 放电电流,SOC=100%条件下,磷酸铁锂动力电池的极化内阻为 20.89mΩ,直流内阻为 62.49mΩ,直流内阻特性基本和极化内阻特性类似。

参考文献

[1] 郭宏榆,姜久春,王吉松,等.功率型锂离子电池的内阻特性[J].北京交通大学学报(自然科学版),2011,35(5):119-123.

[2] 倪红军,吕帅帅,陈林飞,等.混合动力汽车磷酸铁锂电池充放

电性能研究[J].化工新型材料,2015,43(1):133-134.

[3] Forgez C,Do D V,Friedrich G,et al.Thermal modeling of a cylindrical LiFePO₄/graphite lithium-ion battery[J].Journal of Power Sources,2010,195(9):2961-2968.

[4] 陈萍,李瑜,张江伟,等.CNT 及集流体对电池内阻增幅的影响[J].电池,2014,44(6):342-344.

[5] Carter R,Cruden A,Hall P J,et al.An improved lead-acid battery pack model for use in power simulations of electric vehicles[J].IEEE Transactions on Energy Conversion,2012,27(1):21-28.

[6] 于申军,周永超,李贺,等.内阻差异对锂离子电池组安全性能的影响[J].化工学报,2010,61(11):2960-2964.

[7] 刘炎金,张佳璐,魏引利,等.直流内阻对锂电池性能和配组电压一致性研究[J].电源技术,2016,40(1):67-69.

[8] Lu L,Han X,Li J,et al.A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles[J].Journal of Power Sources,2013,226:272-288.

[9] Lin C,Xu S,Chang G,et al.Experiment and simulation of a LiFePO₄ battery pack with a passive thermal management system using composite phase change material and graphite sheets[J].Journal of Power Sources,2015,275:742-749.

[10] 王双双,李新峰,张沿江,等.内阻差异对锂离子电池性能的影响[J].安徽大学学报(自然科学版),2016,40(2):49-53.

[11] Rao Z,Wang S.A review of power battery thermal energy management[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2011,15(9):4554-4571.

[12] 徐晶.梯次利用锂离子电池容量和内阻变化特性研究[D].北京:北京交通大学,2014.

[13] 苏伟,周方方,钟国彬,等.淘汰磷酸铁锂动力电池内阻测试方法研究[J].电源技术,2016,40(2):274-276.

收稿日期:2016-09-19
修稿日期:2017-10-29



(上接第 174 页)

[6] Zhao L,Lin Z.Crafting semiconductor organic-Inorganic nanocomposites via placing conjugated polymers in intimate contact with nanocrystals for hybrid solar cells[J].Advanced Materials,2012,24(32):4353-4368.

[7] 方颢,路阳,王凤平,等.半导体量子点/聚合物纳米复合材料研究进展[J].材料导报,2006,20(s1):102-105.

[8] Grancini G,Biasiucci M,Mastria R,et al.Dynamic microscopy study of ultrafast charge transfer in a hybrid P3HT/Hyperbranched CdSe nanoparticle blend for photovoltaics[J].The Journal of Physical Chemistry Letters,2012,3(4):517-523.

[9] Dayal S,Kopidakis N,Olson D C,et al.Photovoltaic devices with a low band gap polymer and CdSe nanostructures exceeding 3% efficiency[J].Nano Letters,2010,10(1):239-242.

[10] 谢闯.CdSe 纳米晶体的研究[D]天津:天津大学化工学院,

2007.

[11] 伦建超.CdSe 量子点的制备及在太阳能电池中的应用[D]北京:北京交通大学理学院,2012.

[12] 赵慧玲,申怀彬,王洪哲,等.无膦方法合成高质量 CdSe 纳米晶及其光学性质[J].物理化学学报,2010,26(3):691-694.

[13] Dayal S,Kopidakis N,Olson D C,et al.Direct synthesis of CdSe nanoparticles in poly(3-hexylthiophene)[J].Journal of the American Chemical Society,2009,131(49):17726-17727.

[14] Qu L,Peng X.Control of photoluminescence properties of CdSe nanocrystals in growth[J].Journal of the American Chemical Society,2002,124(9):2049-2055.

[15] Yu W W,Qu L,Guo W,et al.Experimental determination of the extinction coefficient of CdTe,CdSe,and CdS nanocrystals[J].Chemistry of Materials,2003,15(14):2854-2860.

收稿日期:2016-09-21
修稿日期:2017-10-29