

不同温度下车载动力电池循环寿命实验研究

Experimental Research on Cycle Life of Vehicle Power Battery at Different Temperatures

朱志成 陶亮亮 张瑞军

Zhicheng Zhu Liangliang Tao Ruijun Zhang

九江职业技术学院 中国·江西九江 332000

Jiujiang Vocational and Technical College, Jiujiang, Jiangxi, 332000, China

摘要: 基于动力电池的实际使用工况在某一特定 SOC 区间进行充放电, 为了研究温度和充放电倍率对车载动力电池循环寿命的影响, 论文以三元锂电池为研究对象, 设计了以 1/6C 和 1/3C 充放电倍率在 35°C、45°C、55°C 下 45%SOC 至 55%SOC 的循环寿命实验。实验数据表明, 高温可以加速电池的老化速度, 使得电池的容量衰减越明显。通过所取得的实验数据建立了不同温度加速应力下电池寿命衰减模型, 结果表明所建立的电池衰减模型可以较精准的预测某一温度下的电池循环寿命。

Abstract: Based on the actual service condition of power battery, charge and discharge are carried out in a specific SOC interval. In order to study the influence of temperature and charge and discharge ratio on the cycle life of vehicle power battery, this paper takes ternary lithium battery as the research object, and designs the cycle life experiment of 45% SOC to 55% SOC at 1/6C and 1/3C charge and discharge ratio at 35°C, 45°C and 55°C. The experimental data show that high temperature can accelerate the aging speed of the battery, and the more obvious the capacity attenuation of the battery. At the same temperature, the attenuation of 1/6C cycle charge discharge capacity is more serious than that of 1/3C cycle charge discharge capacity. The results show that the established battery attenuation model can accurately predict the battery cycle life at a certain temperature.

关键词: 锂离子电池; SOC; 温度; 充放电倍率; 循环寿命模型

Keywords: lithium ion battery; SOC; temperature; charge discharge ratio; cycle life model

DOI: 10.12346/etr.v4i2.5497

1 引言

车载动力电池在使用过程当中循环寿命会逐步衰减, 动力电池的耐久性制约电池汽车发展的重要因素之一。电池的循环寿命是衡量电池在充放电过程中的耐久性。李哲^[1]从多方面加速应力研究了电池寿命的影响, 并建立了耦合应力的电池寿命模型。黄海^[2]通过性能方法和经验方法来预测电池的寿命。茆诗松^[3]等人将电池的常规循环充放电和运行工况循环充放电相结合设计加速寿命试验以此来研究电池的循环寿命。正常情况下车在动力电池的放电深度很少会到达 100%^[4], 电池的真实运行工况一般都是在某一充放电区间进行。而电动汽车不同季节及时间所处的温度环境都有差异^[5], 为获得不同温度下电池寿命模型, 本文把温度设定在 35°C、45°C、55°C 下对电池进行 45%~55%SOC 区间的充放电循环, 之后对其进行容量测试研究其寿命衰减情况。

2 实验对象

以车载三元锂电池单体为试验对象。其基本参数如表 1 所示。

表 1 试验电池参数

项目	参数
容量 (Ah)	32.5±4%
充电截止电压 (V)	4.15
放电截止电压 (V)	2.5
最大充电电流 (A)	65
最大放电电流 (A)	65

3 试验方法

图 1 为电池实验测试示意图。实验设备包括上位机、电池测试系统、恒温箱。实验时需要将 NTC 传感器安装固

【作者简介】朱志成 (1992-), 中国江西九江人, 硕士, 讲师, 从事新能源汽车车载动力电池耐久性研究。

定在电池上。整个实验分成三组，分别对应三个不同温度 35℃、45℃、55℃。每组实验用 2 块新鲜电池，其中一块电池以 1/3C 倍率循环另一块以 1/6C 倍率循环。

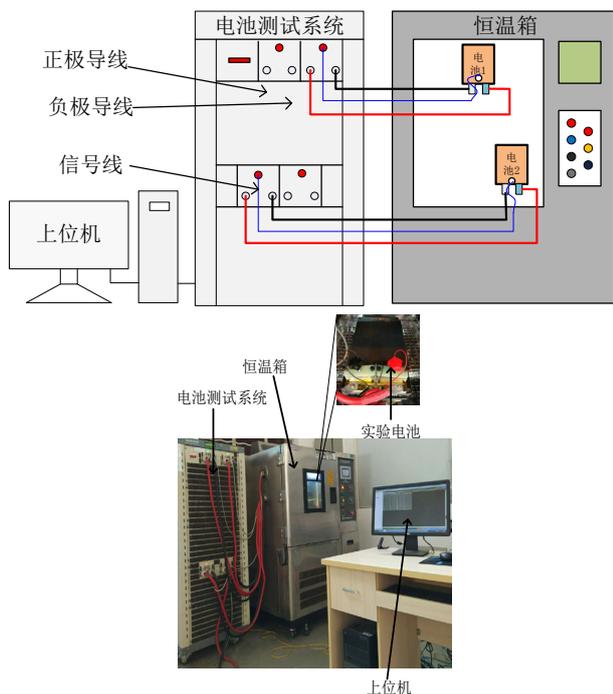


图 1 实验测试示意图

图 2 为每组电池实验的流程。对新鲜电池进行容量测试后，再对其进行电阻测试，将电池的 SOC 调至 45%。再对电池进行不同温度下 (35℃、45℃、55℃) 电池的 45%SOC~55%SOC 循环充放电，将每次充放电循环所用的时间设定在 10 天。完成一组循环充放电后需要进行电池的容量测试，观察其容量衰减情况，电池容量衰减 20% 即停止实验。

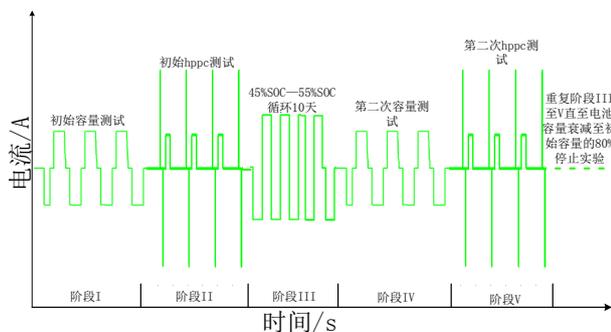


图 2 电池循环寿命的实验流程图

4 实验结果分析

4.1 电流电压分析

如图 3 和图 4 分别代表 1/3C 倍率充放电和 1/6C 倍率充放电第一个 10 天循环的电流与电压变化，随着充放电循环的进行电池的电流基本恒定不变，而电池电压则随着电池循

环充放电的进行而呈现下降的趋势，且 1/6C 倍率充放电循环电压比 1/3C 倍率充放电循环下降的更加明显。由于电池充放电循环是在 45%SOC 至 55%SOC 这一固定区间，根据 SOC 和开路电压之间的关系，电池电压变化也应趋于某一电压区间。电池电压趋于减少的主要原因是随着循环实验的进行电池的充电效率下降，而电池放电效率没有发生明显变化^[6]，因此造成循环充放电过程中电池的充电电量小于电池的放电电量，随着电池充放电时间的增加，电池 SOC 处于不断下降，与之相对应的电池电压也呈现下降趋势。

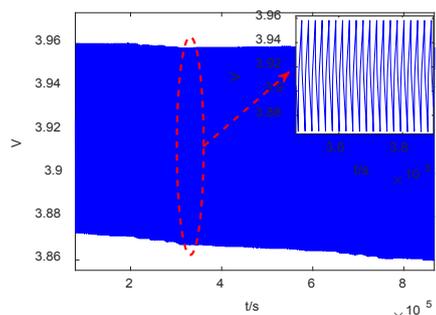
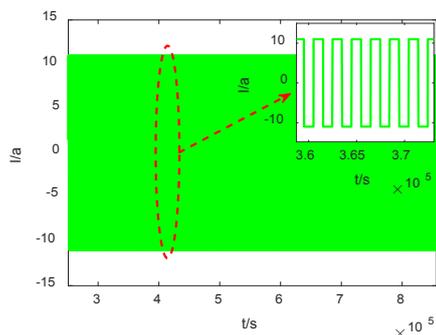


图 3 1/3C 循环充放电电流电压变化

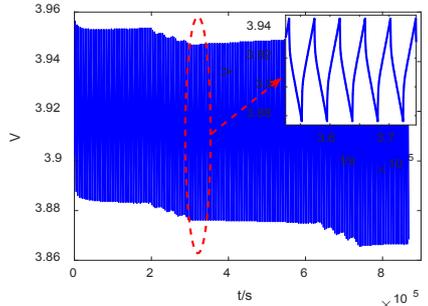
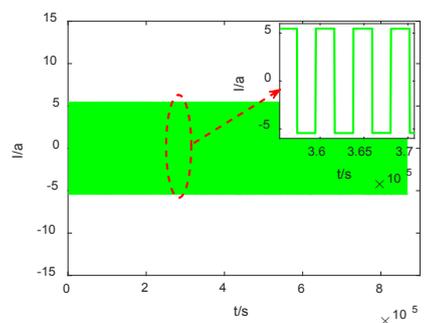


图 4 1/6C 循环充放电电流电压变化

4.2 循环容量放电曲线分析

对电池每进行 10 天充放电循环后，对电池进行标准容量测试，以 1/3C 充放电倍率倍率为例，图 5 为 1/3C 倍率下 35℃、45℃、55℃ 下循环容量放电曲线，35℃ 环境下电池的循环容量放电曲线在放电前 9000s 电压一致性较好，从 9000s 以后电池的电压开始逐步发散，当电池循环至 2467 次（10 天）后对电池进行容量测试电池的电压和新鲜电池相比达到放电截止电压所用的时间提前了接近 800s。随着电池充放电的循环时间的增加电池到达放电截止电压所用的时间逐步减少^[7]。45℃ 环境下电池的循环容量放电曲线在放电前 8000s 电压一致性较好。8000s 以后电池的电压开始逐步发散，经过 2498 次（10 天）充放电循环后对电池进行容量测试电池放电电压曲线达到放电截止电压所用的时间接近 10000s。55℃ 下电池的循环容量放电曲线出现一致性趋势所用的时间相较 35℃、45℃ 出现了明显减少。5000s 后电池放电曲线开始呈现较明显的发散现象。经过 2646 次（10 天）循环，电池电压放电曲线达到放电截止电压所用的时间小于 9000s。综上所述，55℃ 环境下电池的放电曲线发散程度比 35℃、45℃ 环境下更明显。因此在较高温度下电池达到放电截止电压所用时间会减少^[8]。

4.3 容量衰减分析

电池在不同加速应力下可导致电池容量的衰减电池寿命的降低。如图 6 所示为三元锂电池在 35℃、45℃、55℃ 和不同充放电倍率下电池的容量衰减情况。其中电池的剩余容量百分比表征电池当前容量和初始容量的百分比。当剩余容量百分比达到 80% 时，即可认为电池接近寿命终点。如图 6（1）所示，电池以 1/6C 倍率充放电时，经过 2 个月电池 45%SOC 至 55%SOC 充放电循环实验，35℃ 和 45℃ 环境下电池剩余容量百分比均大于 92.5%，均未达到寿命终点。而 55℃ 环境下电池的剩余容量百分比为 82.85%，电池的容量衰减程度相较 35℃ 和 45℃ 环境下更加明显。所以高温可以加剧电池的老化速度^[9]。经过 2 个月电池 45%SOC 至 55%SOC 充放电循环实验，如图 6（2）所示，图中散点图表征电池的容量衰减率，55℃ 环境下以不同倍率充放电电池的容量衰减率显著高于 35℃ 和 45℃ 环境下的容量衰减率。如图 6（3）和（4）所示，电池容量的衰减情况可以直观的从容量柱状图中观察，在不同温度不同倍率下电池的容量随着实验循环时间的增加而呈逐渐减小的趋势且 55℃ 环境温度下容量衰减的最为明显^[10]。经过 2 个月的循环实验，1/6C 倍率下循环和 1/3C 倍率循环电池容量均衰减了近 6Ah。

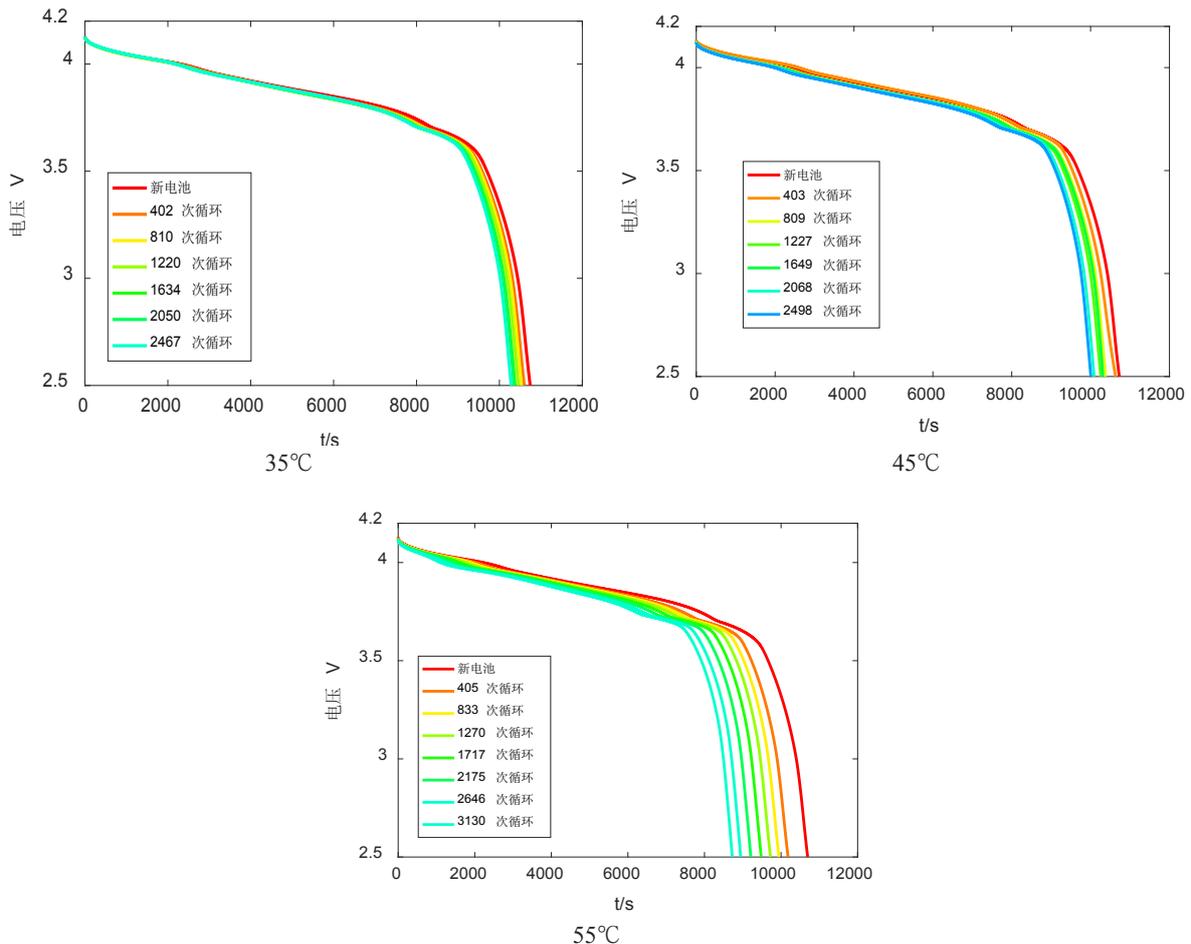
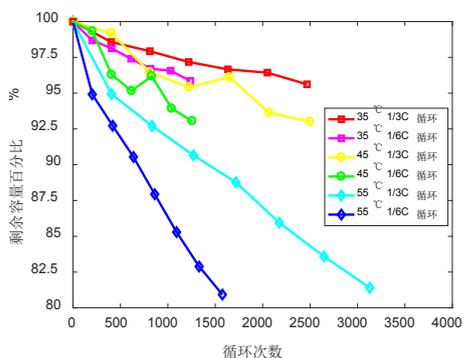
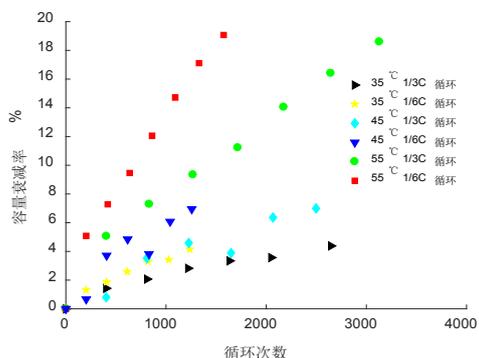


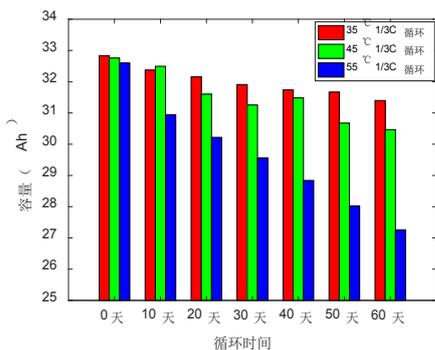
图 5 不同温度下循环容量放电曲线



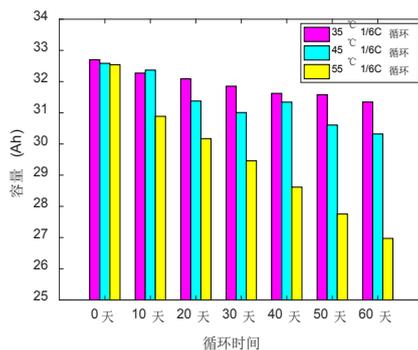
(1) 电池剩余容量百分比 %



(2) 电池容量衰减率



(3) 1/3C 电池容量衰减结果



(4) 1/6C 电池容量衰减结果

图 6 电池容量衰减情况

5 建模

对三元锂电池循环寿命结果分析后,为了进一步分析 35°C、45°C、55°C 下的电池容量衰减情况根据实验数据建立电池容量与循环次数之间的函数模型即电池的循环寿命模型,通过电池寿命模型可以较为准确的估计出电池的使用寿命^[11]。为了得到较高精度的电池寿命模型,通过多种拟合方法建立电池寿命模型,并比较各种拟合方法所得的寿命模型精度^[12,13]。从中选取精度最高的电池寿命模型。35°C、45°C、55°C 函数拟合得出电池的寿命模型如下:

$$\frac{C_n}{32.8357} = 0.9975 - 0.0009804\sqrt{n} \quad (1) \text{ 35°C 循环寿命模型}$$

$$\frac{C_n}{32.7575} = -0.9969 - 2.778 \times 10^{-5}n \quad (2) \text{ 45°C 循环寿命模型}$$

$$\frac{C_n}{32.5945} = 1 - 0.001131n^{0.625} \quad (3) \text{ 55°C 循环寿命模型}$$

其中 n 为电池的充放电循环次数,为电池经过 n 次充放电循环后的容量。35°C、45°C、55°C 下的循环寿命模型可以较精准的预测当前温度状态下的电池寿命。

6 结论

通过对三元锂电池在 35°C、45°C、55°C 下电池在 45%~55%SOC 区间的循环寿命研究。得出了如下结论:

① 55°C 环境下电池的放电曲线发散程度比 35°C、45°C 环境下更明显。因此高温可以缩短电池达到放电截止电压所用的时间。

② 相同温度下,1/6C 倍率循环实验容量衰减比 1/3C 倍率循环实验容量衰减更为明显。

③ 经过 2 个月电池 45%SOC 至 55%SOC 充放电循环实验,35°C 和 45°C 环境下电池剩余容量百分比均大于 92.5%,均未达到寿命终点。而 55°C 环境下电池的剩余容量百分比为 82.85%,电池的容量衰减程度相较 35°C 和 45°C 环境下更加明显。

④ 55°C 下环境下,经过 2 个月的循环实验,1/6C 倍率和 1/3C 倍率循环电池容量均衰减均接近 6Ah。

⑤ 所建立的 35°C、45°C、55°C 下的循环寿命模型可以较精准的预测当前温度状态下的电池寿命。为电池的耐久性研究提供了重要参考价值。

参考文献

- [1] 李哲. 纯电动汽车磷酸铁锂电池性能研究[D]. 北京:清华大学,2011.
- [2] 黄海. 锂离子动力电池老化特性研究与循环寿命预测[D]. 济南:山东大学,2016.
- [3] 茆诗松,王玲玲. 加速寿命试验[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [4] 姜琳. 锂离子电池荷电状态估计与寿命预测技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2013.
- [5] 韩雪冰. 车用锂离子电池机理模型与状态估计研究[D]. 北京:清华大学,2014.
- [6] 张志华. 加速寿命试验及其统计分析[M]. 北京:北京工业大学出

- 版社,2002.
- [7] Han X, Ouyang M, Lu L, et al. A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism identification[J]. Journal of Power Sources,2014(251):38-54.
- [8] 韩雪冰,欧阳明高,卢兰光,等.电动车磷酸铁锂电池衰减后开路电压特性分析[J].电源技术,2015,39(9):1876-1878.
- [9] 孙庆,吴战宇,沙树勇,等.充电SOC对磷酸铁锂电池寿命的影响对磷酸铁锂电池寿命的影响充电SOC[J].中国自行车,2015(11):104-111.
- [10] 朱志成,郑岳久.车载电池在不同温度下可充电电量的预测方法[J].农业装备与车辆工程,2017,8(244):5-9.
- [11] 周萍,孙林,郑岳久,等.车用镍钴锰三元锂离子电池过放电后的性能实验研究[J].汽车安全与节能学报,2017,8(1):72-78.
- [12] 郑岳久,许霜霜,张振东.三元锂电池荷电状态估计的传感器误差影响[J].汽车安全与节能学报,2017,8(2):198-204.
- [13] 来鑫,秦超,郑岳久,等.基于恒流充电曲线电压特征点的锂离子电池自适应容量估计方法[J].汽车工程,2019,41(1):1-6+20.