**第二次文献阅读**

在文献[1]中，作者利用 MATLAB/Simulink 建立了锂离子电池的动态模型，通过观察不同充放电、温度和循环条件下电池端电压的变化，将模拟结果同试验结果对比。

该模型以文献[2]中的电池模型为基础，通过关联电池的瞬态行为与可变开路电压和内阻相结合的方式，预测电池运行时间和I-V性能。此外，文献[1]中的电池模型额外考虑了温度与容量衰减对电池动态性能的影响。

文献[1]中用到的电池参数如下：

|  |  |
| --- | --- |
|  | Battery output voltage [V] |
|  | Battery open-circuit voltage [V] |
|  | Battery equivalent internal impedance [Ω] |
|  | Battery current [A] |
|  | Temperature correction of the potential [V] |
|  | State of charge |
|  | Initial state of charge |
|  | Usable battery capacity [Ah] |
| T | Temperature [°C-°K] |
| t | Storage time [months] |
|  | Change in state of charge of battery negative electrode |
| N | Cycle number |
|  | Coefficient for the change in SOC of battery negative electrode [] |
|  | Coefficient for the change in SOC of battery negative electrode [] |
|  | Coefficient for the change in  [Ω/] |
| CCF | Capacity correction factor |
|  | Initial battery capacity [Ah] |

表1 电池参数

电池输出电压可以表示为：

(1)

1. 电池开路电压（文献[5]）

电池开路电压与 SOC 有关，具体可以描述为：

(2)

其中SOC由下式计算：

(3)

1. 容量衰减的影响（文献[3][4]）

一般认为，电池容量在80%以上是可用的，导致容量衰减的不可逆损失与电池退化相关联，当电池处在储存状态时会发生“日历寿命”损失（calendar life loss）,同样在使用过程中会发生“循环寿命”损失（cycle life loss）。这两种寿命损失与时间呈线性关系，并随温度的升高而急剧增加。通过定义容量校正因素来模拟容量衰减的影响：

(4)

(5)

其中日历寿命损失可表示为：

(6)

温度单位为开尔文。

循环寿命损失由下式表示：

(7)

为负极SOC。系数的值根据温度确定，如下表所示：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 温度（℃） | [] | [] | [] |
| 25 |  |  |  |
| 50 |  |  |  |

表2 循环温度所确定的系数值

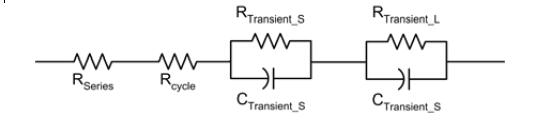
1. 电池可变等效内阻（文献[2][4]）

图1 电池可变等效内阻

如图1所示，电池等效内部阻抗由串联电阻和两个RC网络组成。

其中用于解释电池端电压瞬时压降，用于解释电池内阻随循环增加而增加的现象，RC网络用于解释电池内部阻抗的短时和长时瞬变。其值的大小由下式表示：

(8)

(9)

(10)

(11)

(12)

根据文献[4]

(13)

其中参数根据表2确定。

1. 温度校正（文献[5]）

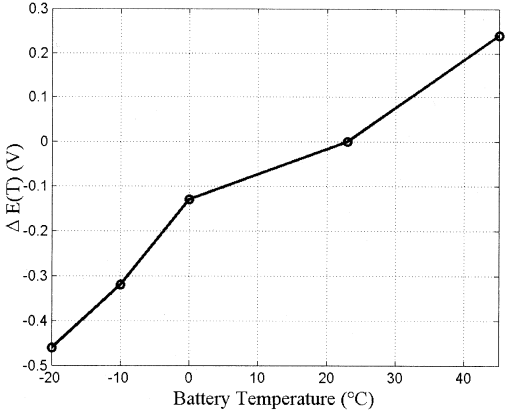
式1中用来补偿温度变化引起的平衡电位的变化，其值的大小详见于文献[5]。

图2 温度变化引起的平衡点位校正值(Sony US18650)

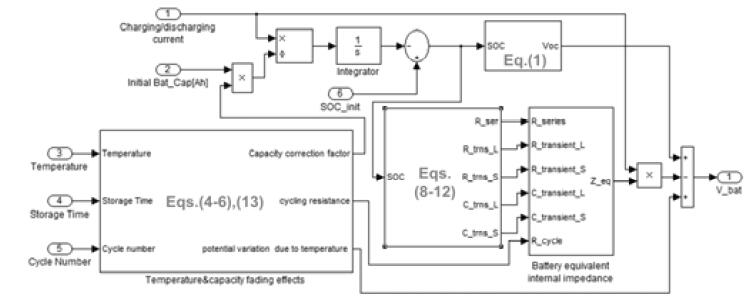
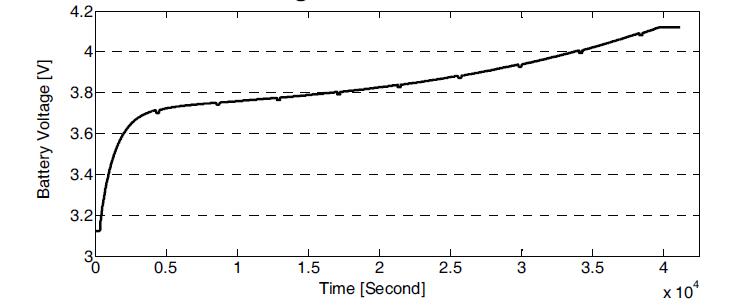
**Simulink模型**

图2 Simulink 模型

Simulink 模型如图2所示，应用式(1)-(13)得到锂电池输出电压。

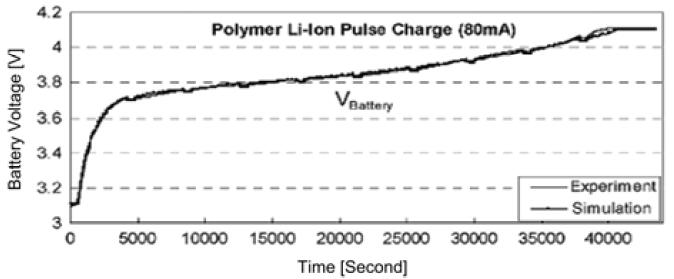
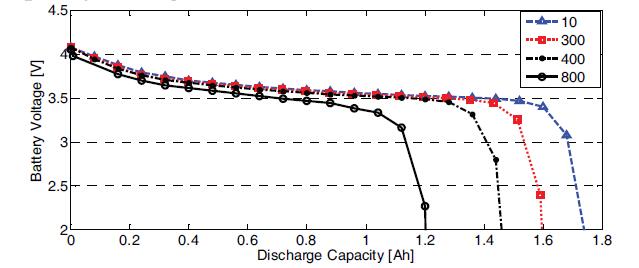
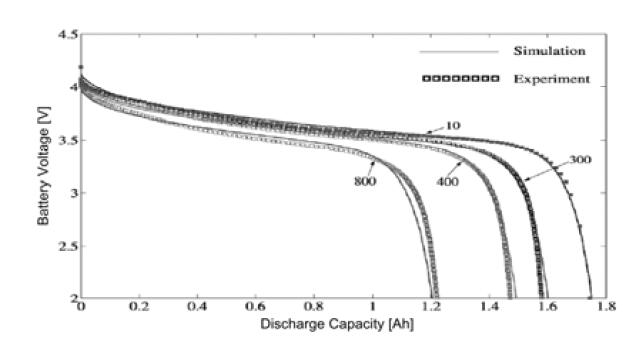
图3 (a)

图3 (b)

图3显示了室温25℃下850mAh锂离子电池在80mA脉冲充电条件下，模型输出电压和文献[2]中试验所得数据的对比。



图4 (a)

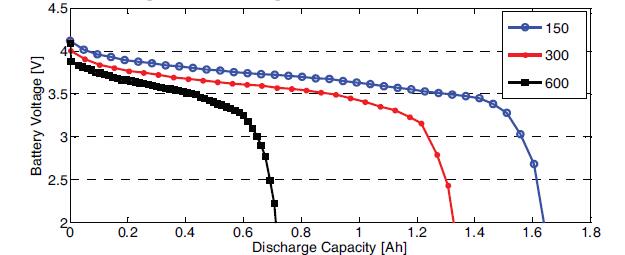
图4 (b) 25℃下不同循环次数下电池输出电压

图5 （a）

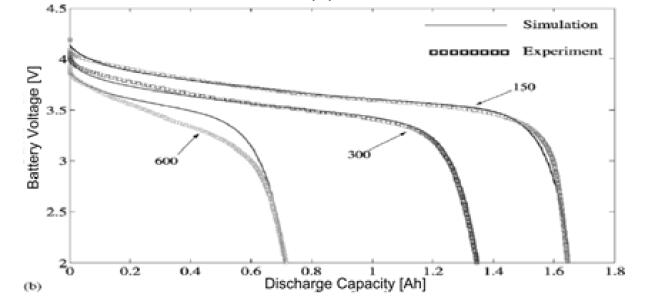
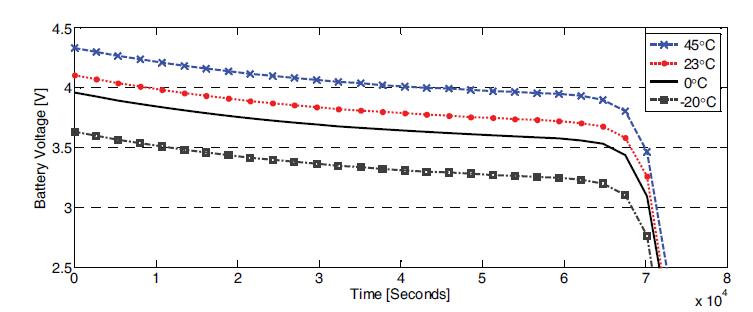


图5 （b） 50℃下不同循环次数电池输出电压

图4显示了25℃下不同循环次数下电池输出电压的变化，图5 显示了50℃下电池输出电压变化。从图4和图5中可以看出温度和循环次数对容量衰减有强烈影响，其随着温度和循环次数的增加而显著增加。

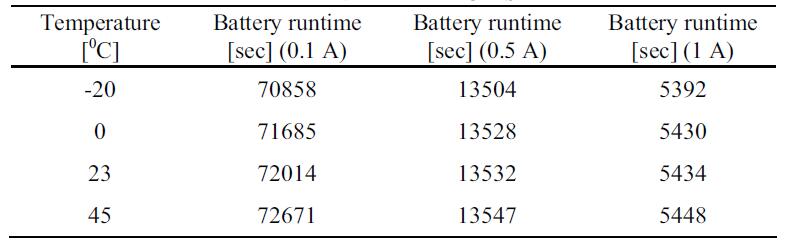
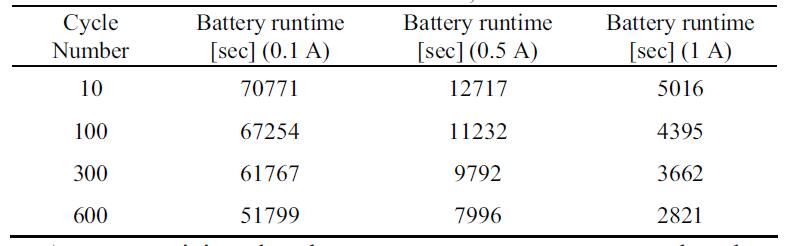
图6 （a）不同温度下0.1 A放电条件下电池运行时间的变化

图6 （b） 不同温度下电池运行时间

图6（c） 不同循环次数下电池运行时间

从图6中可以看出，针对不同循环次数模拟所得结果表明，考虑容量衰减对电池动态特性的影响十分重要，仅考虑温度效应不足以建立精确的电池模型。

**参考文献**

1. Erdinc.O, Vural.B, Uzunoglu.M. A dynamic lithium-ion battery model considering the effects of temperature and capacity fading. 2009.
2. Chen M, Mora A R. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.21, pp.504-511,2006.
3. Spotniz R. Simulation of capacity fade in lithium-ion batteries. Journal of Power Sources, vol.113, pp.72-80,2003.
4. Ramadass P, Haran B, White R, Popov B N. Mathematical modeling of the capacity fade of Li-ion cells. Journal of Power Sources, vol.123, pp.230-240,2003.
5. Gao L, Liu S, Dougal R A. Dynamic Lithium-Ion Battery Model for System Simulation. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, vol.25, pp.495-505,2002.