

基于Parameter Estimation Toolbox的锂离子电池参数辨识

韦超毅¹, 覃小婷¹, 班璐^{2*}, 许哲¹

¹广西大学机械工程学院, 广西 南宁

²南宁学院交通学院, 广西 南宁

Email: gxdavid@163.com, *15778887081@163.com

收稿日期: 2021年4月22日; 录用日期: 2021年5月10日; 发布日期: 2021年6月8日

摘要

近几年迎来锂离子电池的研究热潮, 建立可靠的电池模型和进行准确的电池参数辨识是开展电池研究的首要任务。文章以三元锂电池为研究对象, 选用兼顾准确度和简易度的二阶RC电池模型, 采用MATLAB自带的Parameter Estimation Toolbox对电池模型进行参数辨识。最后在HPPC工况和DST工况下验证了电池模型精准性, 证明电池参数辨识具有很好的效果, 该辨识方法简单实用, 可以广泛用于电池的研究。

关键词

三元锂电池, 二阶RC电池模型, 参数辨识

Parameter Identification of Li-ion Battery Based on Parameter Estimation Toolbox

Chaoyi Wei¹, Xiaoting Qin¹, Lu Ban^{2*}, Zhe Xu¹

¹College of mechanical engineering, Guangxi University, Nanning Guangxi

²School of transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

Email: gxdavid@163.com, *15778887081@163.com

Received: Apr. 22nd, 2021; accepted: May 10th, 2021; published: Jun. 8th, 2021

Abstract

In recent years, the research of li-ion battery is booming. The primary task of battery research is

*通讯作者。

文章引用: 韦超毅, 覃小婷, 班璐, 许哲. 基于 Parameter Estimation Toolbox 的锂离子电池参数辨识[J]. 电力与能源进展, 2021, 9(3): 132-139. DOI: 10.12677/aepe.2021.93014

to establish a reliable battery model and identify the battery parameters accurately. Taking ternary lithium battery as the research object, the second-order RC battery model with both accuracy and simplicity is selected, and the parameter estimation toolbox of MATLAB is used to identify the parameters of the battery model. Finally, the accuracy of the battery model is verified under HPPC and DST conditions, which proves that the battery parameter identification has a good effect. The identification method is simple and practical, and can be widely used in battery research.

Keywords

Ternary Lithium Battery, Second Order RC Cell Model, Parameter Identification

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

锂离子电池凭借着绿色环保、无记忆效应、有效寿命长以及体积小质量轻等诸多优势, 已经成为新一代动力电池的主流[1] [2] [3]。虽然锂离子电池的优势众多, 但是由于锂电池材料本身的特性, 使其在过充、过放、过温的工况下性能会严重衰减甚至出现安全问题[4]。为了保证电池的性能、延长使用寿命, 电池管理系统(BMS)起着关键作用。而对电池参数准确辨识, 建立可以准确表征电池工作特性的电池模型, 是电池管理系统有效工作的基础。

等效电路模型将电池内部复杂的电化学反应抽象化, 利用电容、电阻等电子器件来表征电池的工作特性。目前常用的等效电路模型有 3 种: Thevenin 模型、PNGV 模型和多阶模型。经综合对比分析, 二阶 RC 模型考虑了电池的极化现象, 可以及时准确地反映电池的状态信息, 在保证模型精度的同时也使模型相对简单。因此, 选用二阶 RC 电路模型展开研究。

非线性最小二乘法可以对电池的参数进行有效辨识, 是最常用的电池参数辨识方法之一[5]。本文在搭建二阶 RC 电池模型后, 使用 MATLAB 自带的 Parameter Estimation Toolbox 对电池参数进行辨识, 工具通过利用非线性最小二乘法将电池的试验数据与电池模型的仿真数据不断进行对比, 来辨识电池模型参数。该方法只需要进行简单的图形化操作, 不需编写代码, 具有简单实用的优点。

2. 电池模型的建立

2.1. 二阶 RC 等效电路模型

二阶 RC 等效电路模型如图 1 所示, 由一个稳定电压源、两个 RC 环、一个欧姆内阻串联组成。 R_1 、 C_1 模拟电池的极化影响, R_2 、 C_2 模拟电池的扩散效应。

根据基尔霍夫定律可以得到电池模型的状态方程:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{oc}(t) = IR_0 + U_1 + U_2 + U_L(t) \\ I = \frac{U_1}{R_1} + C_1 \frac{dU_1}{dt} \\ I = \frac{U_2}{R_2} + C_2 \frac{dU_2}{dt} \end{array} \right. \quad (1)$$

式中, U_{oc} 为稳定电压源, U_1 为第一个 RC 环的并联电压, U_2 为第二个 RC 环的并联电压, R_1 为极化电阻, C_1 为极化电容, R_2 为浓差电阻, C_2 为浓差电容, R_0 为电池的欧姆内阻, U_L 为端电压, I 为电流大小。

由式(1)可以看出, 想要建立一个精确的电池模型来表征电池的特性, 辨识出 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 、 R_0 这五个电池参数是关键。

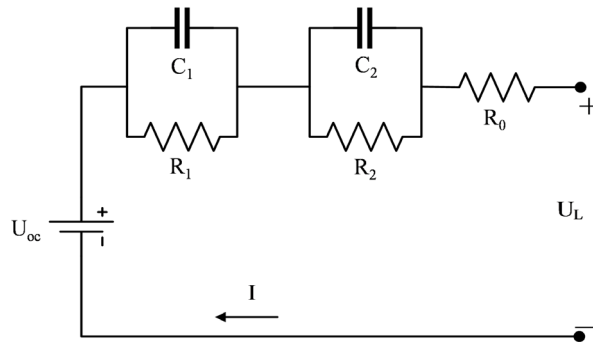


Figure 1. Second order RC equivalent circuit model
图 1. 二阶 RC 等效电路模型

2.2. 基于 Simscape 搭建等效电路模型

常用的锂离子电池建模方法有 Simulink 建模和 Simscape 建模等, 本文基于 Simscape 来搭建电池模型。Simscape 提供了一个简单、高效的搭建模型的方法, 其中的组件可以直接表示物理元件。使用 Simscape 搭建电池模型时, 模型之间的连线与实物中连接一一对应, 过程简单, 不需要计算复杂的状态方程。根据二阶 RC 等效电路搭建的 Simscape 模型如图 2 所示。

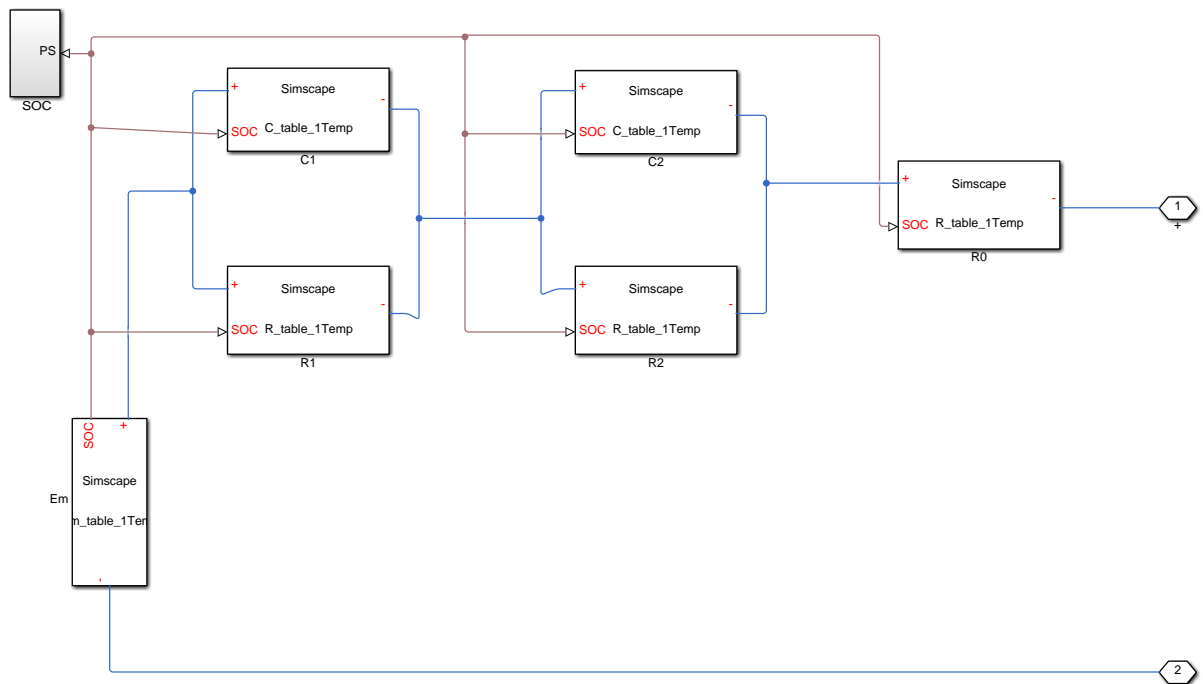


Figure 2. Simscape model of second order RC equivalent circuit
图 2. 二阶 RC 等效电路的 Simscape 模型

图 2 中, 电池电动势 E_m 、 R_1 、 R_2 、 C_1 和 C_2 均随着电池荷电状态(SOC)的变化而取值。封装后的电池模型如图 3 所示。

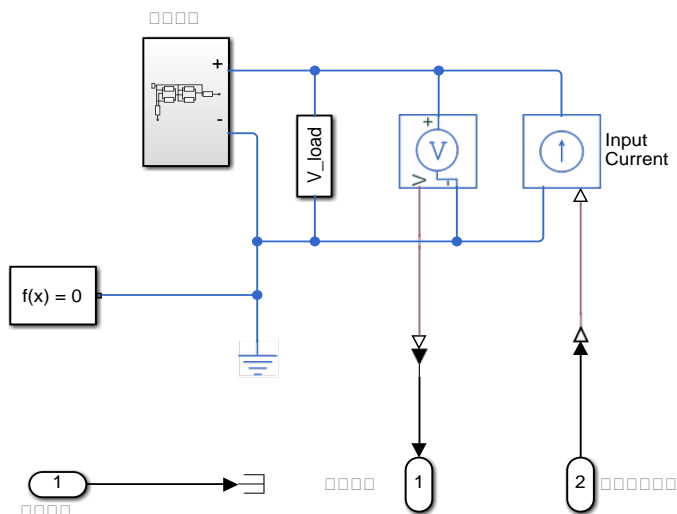


Figure 3. Equivalent model of packaged battery
图 3. 封装后的电池等效模型

在图 3 的模型中, 测试脉冲电流作为模型的激励, 参数辨识的过程就是输出的仿真电压与输入的测试电压做匹配的过程。

3. 电池模型参数辨识

电池模型建立后, 输出的仿真电压与导入的测试电压动态相匹配, 这样所搭建的电池模型才能代替真实的电池应用于汽车研究中。

本文使用 Parameter Estimation Toolbox 对电池参数进行辨识, 通过在相同输入下, 将输出的仿真数据与实验数据不断进行对比直至匹配, 从而达到模型参数估计的目的, 是一个优化的过程。其基础主界面如图 4 所示。

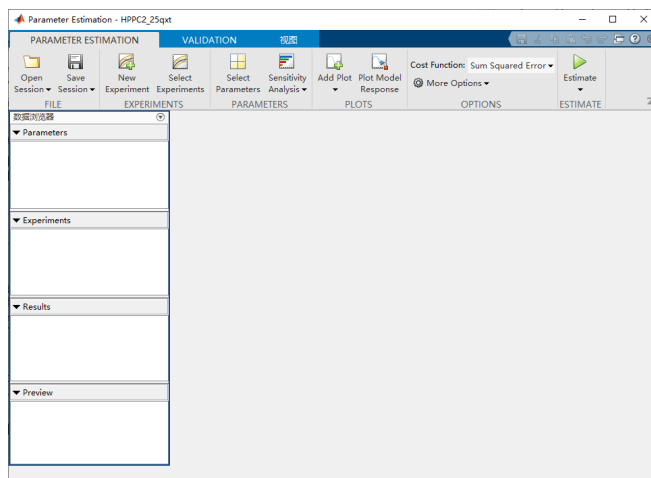


Figure 4. Main interface of Parameter Estimation Toolbox
图 4. Parameter Estimation Toolbox 主界面

使用 Parameter Estimation Toolbox 辨识电池参数的流程如图 5 所示。首先导入测试得到的脉冲电流数据和电压数据。然后将通过改变参数使得仿真计算的电压与实验数据电压匹配。

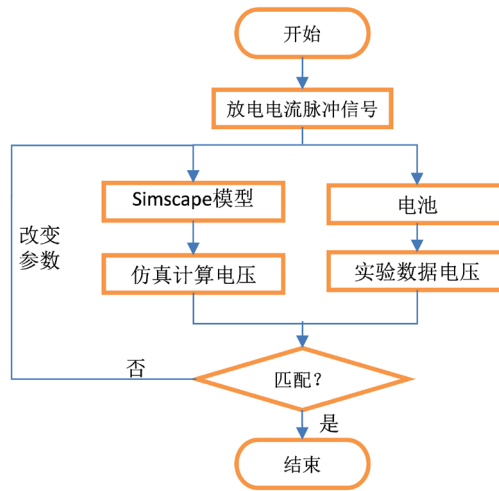


Figure 5. Parameter estimation process
图 5. 参数估计流程

4. 电池参数辨识结果

本文所使用的电池测试试验数据来自于美国马里兰大学 CALCE 电池研究小组[6]，电池额定容量为 2000 mAh，测试环境温度为 25℃，脉冲电流倍率为 0.5 C (即 1 A)。

在进行电池参数辨识前，设定电池参数的初始值为： $E_m = 3.8$ ， $R_0 = 0.01$ ， $R = R_2 = 0.0001$ ， $C_1 = C_2 = 10000$ ，导入的测试脉冲电流和测试电压以及辨识前模型输出的仿真电压如图 6 所示。

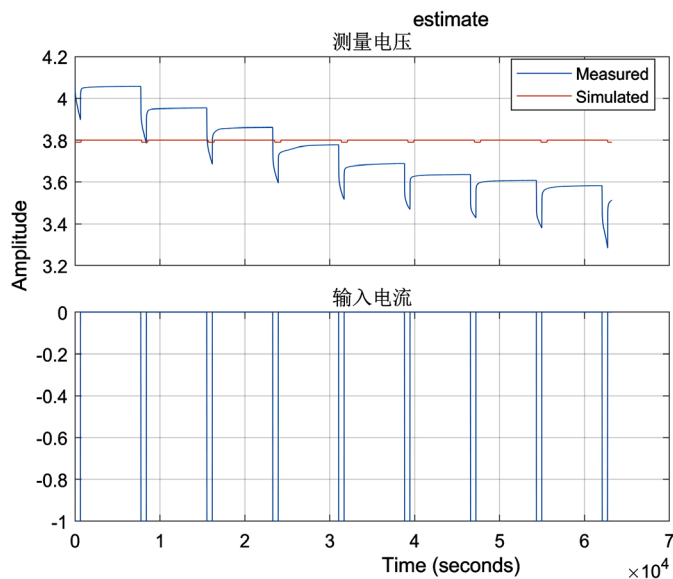


Figure 6. Comparison of measured voltage and simulated voltage before parameter identification

图 6. 参数辨识前测量电压与仿真电压对比

4.1. 参数辨识结果

电池参数辨识过程中仿真电压与测试电压的对比如图 7 所示，参数变化如图 8 所示。

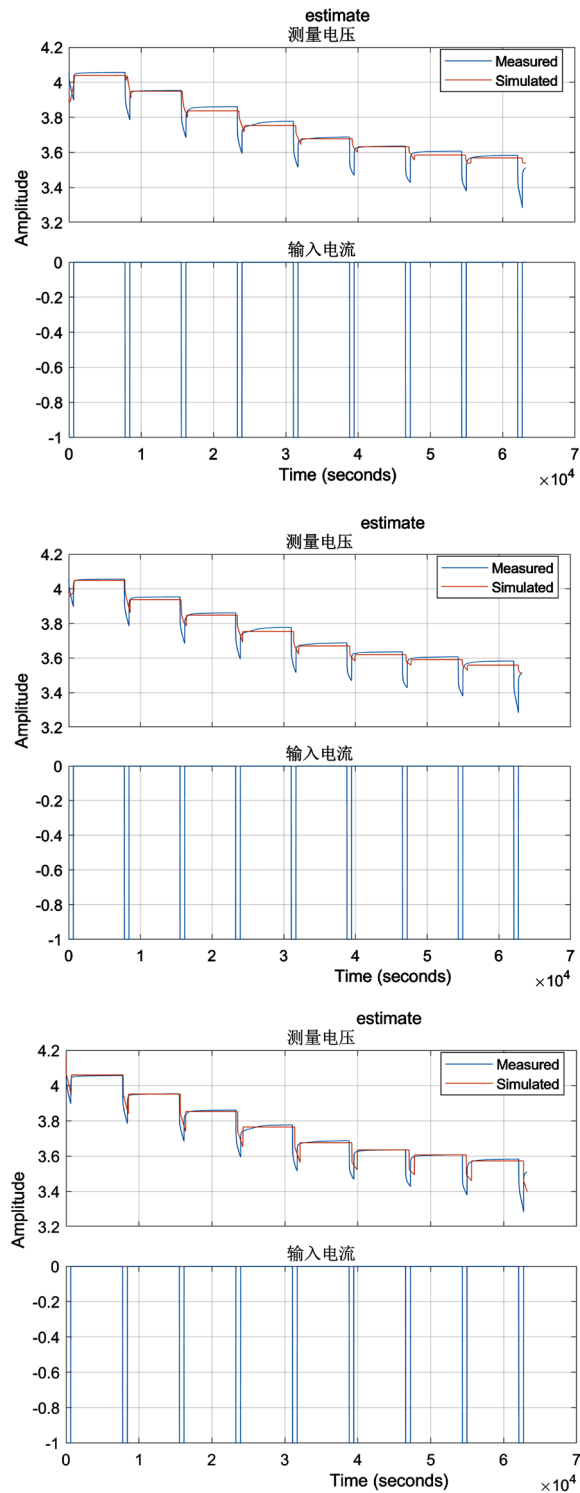


Figure 7. Comparison of test voltage and simulation voltage
图 7. 测试电压与仿真电压对比

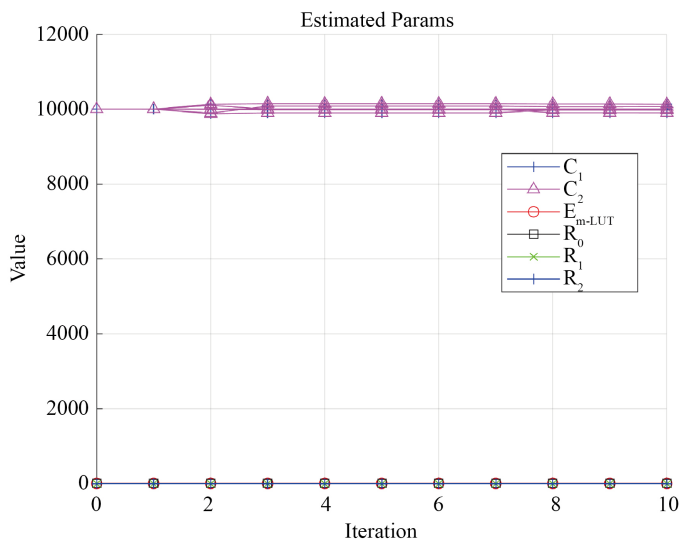


Figure 8. Changes of battery parameters
图 8. 电池参数的变化

本文使用的优化方法是工具箱提供的非线性最小二乘法，使用的算法是 Trust-Region-Reflective，由图 7 的参数估计结果可以看出，测试电压曲线与仿真电压曲线最终重合，仿真电压能够很好地跟踪测试电压，输出的仿真电压与导入的测试电压动态相匹配，说明采用 Parameter Estimation Toolbox 可以实现对电池参数的精确辨识。

4.2. 辨识结果的验证

参数辨识完成后，将估计结果与其他实验进行对比验证是非常重要的。一个成功的估计将不仅匹配用于估计的实验数据，而且匹配在实验中收集的其他独立测量数据。为了加深模型的可信程度，分别在 HPPC 和 DST 工况下，使用工具箱的 validation 部分对电池模型的辨识结果进行验证，验证结果分别如图 9、图 10 所示。

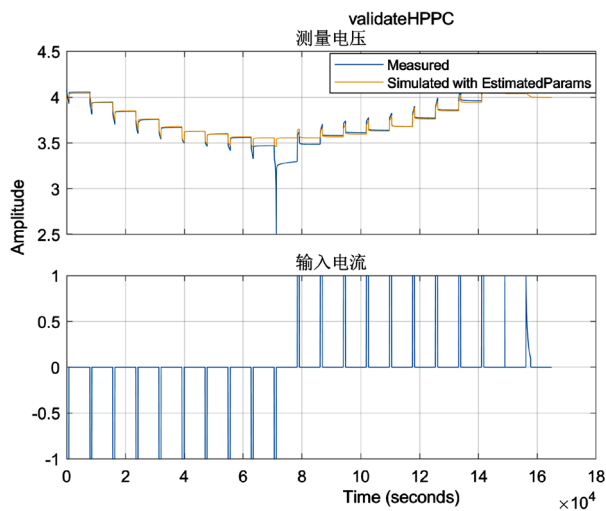


Figure 9. Comparison of test voltage and simulation voltage under HPPC condition
图 9. HPPC 工况下测试电压与仿真电压对比

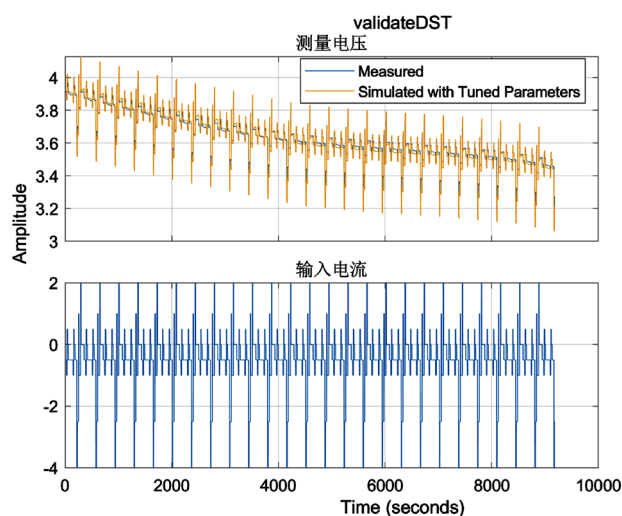


Figure 10. Comparison of test voltage and simulation voltage under DST condition

图 10. DST 工况下测试电压与仿真电压对比

由图 9 和图 10 的验证结果可以看出，测试电压曲线和仿真电压曲线无论是在 HPPC 工况下还是在 DST 工况下，均能达到高度重合，模型输出的仿真电压能够很好地跟踪测试电压。说明电池的参数辨识结果准确度高，所建立的电池模型可信度高，并且可以适用于不同的工况条件。

5. 总结

本文所使用的电池测试试验数据来自于美国马里兰大学 CALCE 电池研究小组[6]，电池额定容量为 2000 mAh，测试环境温度为 25℃，脉冲电流倍率为 0.5 C (即 1 A)。本文首先选用了兼顾准确度和简易度的二阶 RC 电池模型，并使用 Simscape 搭建对应的等效电路模型，接着使用 Parameter Estimation Toolbox 辨识出了电池的参数。最后分别在 HPPC 工况下和 DST 工况下的仿真电压与测试电压对比。结果表明：模型输出的仿真电压能够很好地跟踪测试电压，验证了电池模型的准确性。基于 Parameter Estimation Toolbox 的电池参数辨识，可以得到准确的参数化的电池模型，该方法操作简单，不需要编写复杂的代码，具有很强的工程实用性。

参考文献

- [1] 李玲慧. 电池管理系统的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
- [2] 张东华, 马燕, 陈思琪, 等. 锂电池模型参数估计与荷电状态估算研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2015, 37(2): 179-182.
- [3] Li, S. and Cheng, X. (2014) A Comparative Study on RC Models of Lithium-Ion Battery. *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 31 August - 3 September 2014, Beijing, 1-4.
- [4] 赵红光, 李静, 张洪凯, 等. 动力型锂离子电池与燃料电池发展现状与展望[J]. 电池工业, 2017, 21(2): 46-50.
- [5] 袁赛, 邓志刚, 帅孟超. 大容量锂电池在线参数辨识及 SOC 联合估计[J]. 电气开关, 2019, 57(2): 7-11.
- [6] Zheng, F.D., Xing, Y.J., Jiang, J.C., et al. (2016) Influence of Different Open Circuit Voltage Tests on State of Charge Online Estimation for Lithium-Ion Batteries. *Applied Energy*, **183**, 513-525.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.010>