

ICS 29.220

CCS K 80

T/MBJX

绵阳市计量学会团体标准

T/MBJX 0009—2022

锂离子电池老化机理建模评价规范

2022-03-16 发布

2022-03-16 实施

绵阳市标准计量学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 老化机理评价参数测量	1
4.1 电池内阻的测量	2
4.2 恒流恒压充电时间的测量	2
4.3 循环次数的测量	3
4.4 老化容量的测量	3
4.5 参数与测试条件	4
5 测试要求	4
5.1 试样要求	4
5.2 测试系统功能要求	4
6 老化机理建模方法	5
6.1 老化参数的校验标准	5
6.2 算法流程	5
7 测试报告	6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由西南科技大学提出。

本文件由绵阳市标准计量学会归口。

本文件起草单位：西南科技大学、绵阳市产品质量监督检验所、四川新智绿能测控技术有限公司、绵阳市维博电子有限责任公司、四川沃达检测技术有限公司、西藏汉明威实业有限责任公司、四川毅力绿能电源有限责任公司、成都为蓝新能源有限公司、四川省信捷迅科技有限公司、中国（绵阳）科技城工业技术研究院。

本文件主要起草人：王顺利、白德奎、彭正红、范永存、于春梅、靳玉红、余鹏、陈蕾、朱永杰、李伟、李建超、曹文、王娜、杨潇、王大兴、刘春梅、熊莉英、林涛、胡萍、张丽、王军栋、时浩添、谢滢馨、徐文华、乔家璐、任璞、夏黎黎、刘珂、周恒。

锂离子电池老化机理建模评价规范

1 范围

本文件规定了锂离子动力电池老化机理建模评价的术语和定义、老化机理评价参数测量、测试要求、老化机理建模方法以及测试报告。

本文件适用于电动汽车用锂离子动力电池老化机理评价，但不适用于其他类型的蓄电池老化状态的评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.41 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 19596 电动汽车术语

3 术语和定义

GB/T 2900.41和GB/T 19596界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

[单体]电池

直接把化学能转化为电能的一种电源，是由电极、电解质、容器、极端、通常还有隔离层组成的基本功能单元。

3.2

电池健康状态

表征电池老化衰减情况。

3.3

容量

在规定的放电条件下电池放出的电荷。

3.4

循环

对蓄电池以相同顺序有规律的反复进行的成组操作。

3.5

电池充电

外电路给蓄电池提供电能，是电池内部发生化学变化，从而将电能转化为化学能储存起来的操作。

3.6

恒流充电

不考虑电池的温度或电压，充电期间电流保持恒定值的充电。

3.7

恒压充电

不考虑充电电流或温度，充电时使电压值维持恒定值的充电。

4 老化机理评价参数测量

老化模型的参数包含：电池内阻、循环次数、恒流充电持续时间、恒压充电持续时间，四种参数测量方式如图1所示。

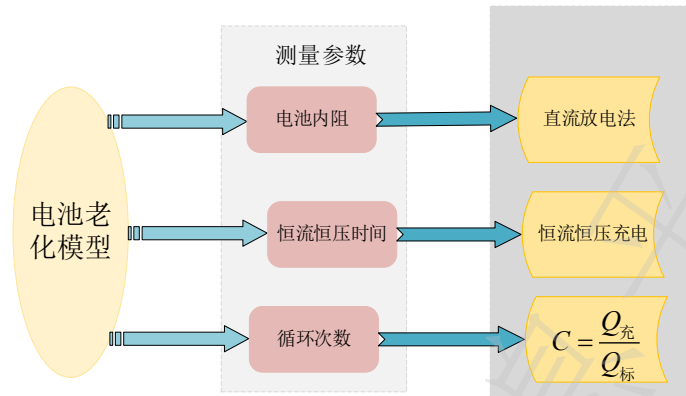


图1 老化模型参数

^a 其中电池内阻采用直流放电法计算；恒流、恒压充电持续时间提取恒流恒压充电方式中的对应阶段持续时间；循环次数采用充电容量与标准容量的比值。

4.1 电池内阻的测量

采用直流放电法测量电池内阻，即采用脉冲放电法测量电池电压降，再通过压降来计算锂电池内阻，测量过程电压特征点如图2所示。

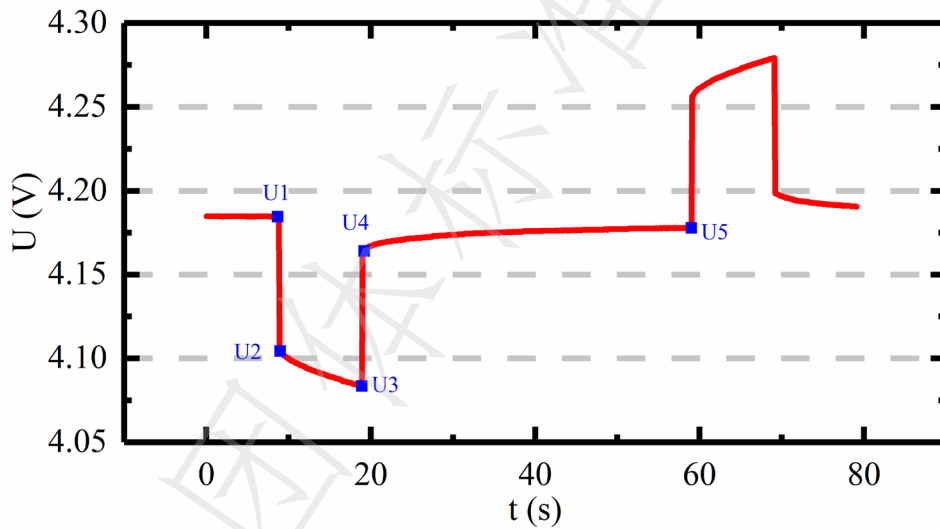


图2 内阻测量电压曲线

用1 C电流对电池进行一次放电和充电，将电压的瞬时压降作为电池内阻上的压降，将两次测量压降的平均值作为电池内阻上的平均值，电池内阻的计算方法如公式（1）所示：

$$R = \frac{(U_1 - U_2) + (U_4 - U_3)}{2I} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

U_1 、 U_2 —图2中各电流变化点的瞬时电压；

I —充放电的电流；

R —计算得到的电池内阻。

计算电池内阻也可采用充电阶段的瞬时电压变化数据，计算方法与放电阶段计算方法相同。

4.2 恒流恒压充电时间的测量

采用恒流恒压充电方式对电池进行充电，恒流、恒压充电持续时间为电池充电过程数据。电池在整个恒流恒压充电过程中电压数据提取过程如图3所示。

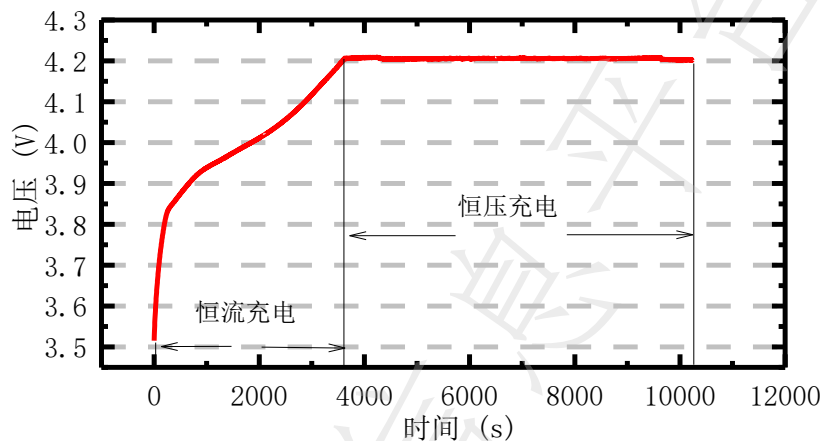


图3 恒流恒压充电过程

采用电池充放电仪器记录电池充电过程阶段时间，以电流和电压的变化时间点为分界线，分别对恒流充电阶段和恒压充电阶段的持续时间进行记录，采用的充放电设备电压采样精度应大于0.1 mV；采样时间精度应大于0.1 s。

4.3 循环次数的测量

循环次数测量为恒流恒压充电过程与恒流放电过程的结合，一个充放电过程记录为一次循环。采用电池充电容量作为循环次数的转化标准，转化公式如（2）所示：

$$C = \frac{Q_{\text{充}}}{Q_{\text{标}}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C—计算的电池循环次数；

$Q_{\text{充}}$ —电池总的充电容量；

$Q_{\text{标}}$ —电池标定容量。

公式（2）通过充电容量与电池标定容量之间的关系，将电池充电容量转化为电池循环次数；通过实时记录电池的充电电流，再结合安时积分公式就计算电池总的充放电容量。

4.4 老化容量的测量

采用1 C恒流放电，直到电池达到截止电压2.5 V时所放出的容量作为该电池的老化容量。对电池容量的测试如图4所示。

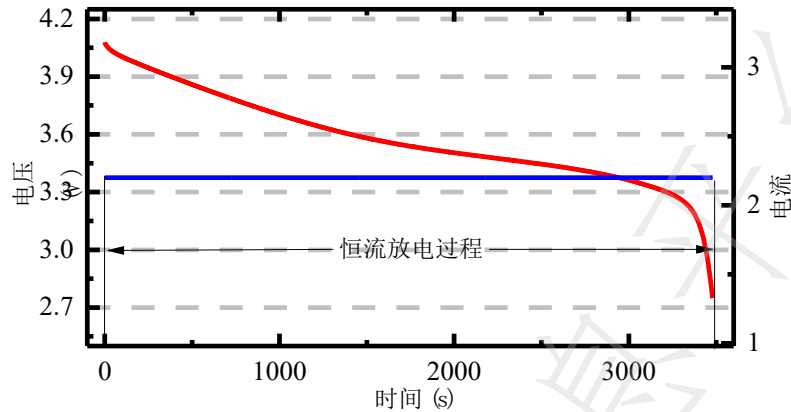


图4 电池容量测试数据

^a 图中蓝色曲线为电流数据，电池的放电电流为 2.2A；红色曲线为电池放电电压曲线，电池放电到截止电压 2.5V。

电池放电容量计算公式如（3）所示：

$$Q = \int_{t=0}^n i^* d(t) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Q—计算的电池容量；

i*—电池实时电流大小；

t—电池持续放电时间。

仪器采样时间不大于 0.1 s。电池当前老化容量通过公式（3）和仪器记录的电池实时电流数据进行计算。

4.5 参数与测试条件

本文件规定对电池的参数测量环境如下：

- a) 测试的气压条件为一个标准大气压；
- b) 测试电池的温度为 25 ℃；
- c) 空气相对湿度：25%~75%。

5 测试要求

5.1 试样要求

测试用试样应符合下列要求：

- a) 试样为锂离子动力电池；
- b) 电池欧姆内阻≤10 mΩ；
- c) 电池最大充电电流≥2 C。

5.2 测试系统功能要求

测试系统应具有下列功能

- a) 充电功能：恒压充电、恒流充电、恒功率充电、连续可调步骤充电；
- b) 放电功能：恒压放电、恒流放电、恒功率放电、连续可调步骤放电；
- c) 内阻功能：在电流转化过程可采用直流法测量电池内阻。

6 老化机理建模方法

采用固定工况和循环老化来评价电池老化特性。通过选取的四个电池参数建立多元回归方程，如(4)所示。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \dots \dots \dots (4)$$

式中：

x_1 —循环次数；

x_2 —电池内阻；

x_3 —恒流充电持续时间；

x_4 —恒压充电持续时间。

对原有多元回归方程进行变形将方程进行矩阵化表达，将方程的输入扩展为四个参数，方程的矩阵化表述如(5)所示：

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{31} & x_{41} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{32} & x_{42} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & x_{3n} & x_{4n} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

采用最小二乘原理对上述模型求取最优解，对模型参数进行辨识。辨识的相关系数带入多元回归算法得到锂电池老化机理评价模型，该模型通过输入四种参数计算电四种老化特征参数来计算锂电池SOH，实现电池SOH的在线实时计算。

6.1 老化参数的校验标准

采用相关系数来表征电池多元参数的相关程度。电池实际容量与相关系数的计算公式如(6)所示：

$$r(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var[x]var[y]}} \dots \dots \dots (6)$$

在电池的老化相关参数中，多元线性回归模型研究的是一个因变量与多个自变量之间的线性关系，通过分别计算不同参数与SOH之间的线性关系判断该参数是否能准确刻画因变量的变化情况。采用的四个参数对应的相关系数如(7)所示：

$$\begin{cases} r(Cyc, SOH) = \frac{cov(Cyc, SOH)}{\sqrt{var[Cyc]var[SOH]}}; r(R, SOH) = \frac{cov(R, SOH)}{\sqrt{var[R]var[SOH]}} \\ r(CC_t, SOH) = \frac{cov(CC_t, SOH)}{\sqrt{var[CC_t]var[SOH]}}; r(CV_t, SOH) = \frac{cov(CV_t, SOH)}{\sqrt{var[CV_t]var[SOH]}} \end{cases} \dots \dots \dots (7)$$

式中：

Cyc —循环次数；

R —电荷转移电阻；

CC_t —恒流充电时间；

CV_t —恒压充电时间；

负号—表示参数之间呈线性负相关。

循环次数、内阻、恒压充电时间与SOH呈正相关，恒流充电时间与SOH呈负相关。在电池老化建模过程中，应保证电池老化参数的相关系数在85%以上，并至少含两个90%以上的相关参数。

6.2 算法流程

建立的模型中包含循环次数、内阻、恒流时间、恒压时间四种参数。对SOH的估算采用多元线性回归算法原理,建立SOH的多元回归模型。该方法对锂离子电池SOH的实时高效预估受四个电池参数的影响,其算法的流程图如图5所示。

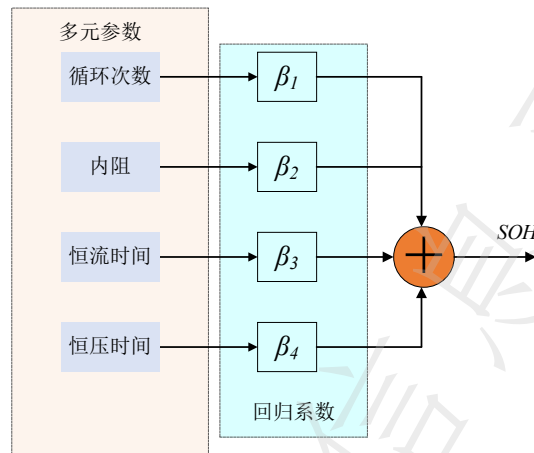


图5 多元回归过程

循环次数根据公式(2)进行实时计算,电池内阻通过瞬时充放电的电流和电压进行计算得出,恒流充电持续时间和恒压充电持续时间根据电池在进行恒流恒压充电的过程中依靠充放电设备进行记录。

在进行数据获取的过程中应保证充放电设备的电压精度大于0.1 mV,电流精度大于0.1 mA,设备采样时间精度大于0.1 s,保证算法的精度。在至少采用上述四种参数作为模型老化评价参数时,应保证模型输出SOH误差小于5%。

7 测试报告

测试报告至少应包括:

- a) 根据本标准的测试声明;
- b) 试样名称;
- c) 试样规格尺寸;
- d) 测量装置(电池系统电压精度,采样时间精度);
- e) 测量结果;
- f) 测量机构与人员;
- g) 测量环境条件;
- h) 测量日期。