



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112924885 A

(43) 申请公布日 2021.06.08

(21) 申请号 202110125389.2

(22) 申请日 2021.01.29

(71) 申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72) 发明人 魏学哲 乔冬冬 戴海峰 王学远

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 丁云

(51) Int. Cl.

G01R 31/389 (2019.01)

G01R 31/392 (2019.01)

G01R 31/388 (2019.01)

G01R 31/52 (2020.01)

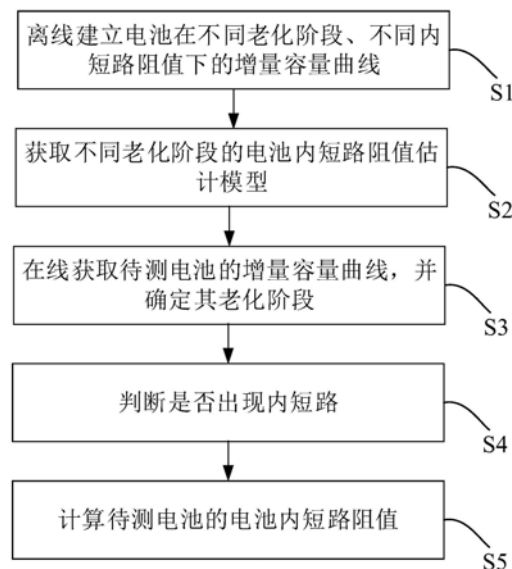
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法,包括如下步骤: 1) 建立电池在不同老化阶段、不同内短路阻值下的增量容量曲线,作为基准增量容量曲线;2) 确定不同老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度与电池内短路的关系,获取不同老化阶段的电池内短路阻值估计模型;3) 在线获取待测电池的增量容量曲线,并确定其老化阶段;4) 获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度,并与相应老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度进行比较,判断是否出现内短路;5) 根据对应老化阶段的电池内短路阻值估计模型计算待测电池的电池内短路阻值。与现有技术相比,本发明具有实施简便、诊断时间短、诊断准确度高优点。



1. 一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 该方法包括如下步骤:

1) 离线建立电池在不同老化阶段、不同内短路阻值下的增量容量曲线, 作为基准增量容量曲线;

2) 离线确定不同老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度与电池内短路的关系, 并获取不同老化阶段的电池内短路阻值估计模型;

3) 在线获取待测电池的增量容量曲线, 并确定其老化阶段;

4) 获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度, 并与相应老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度进行比较, 判断是否出现内短路;

5) 根据对应老化阶段的电池内短路阻值估计模型计算待测电池的电池内短路阻值。

2. 根据权利要求1所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 步骤1) 和步骤3) 中增量容量曲线通过如下方式获得:

a) 获取对应电池在标准充电工况下的充电电压曲线, 根据充电电压曲线获取初始增量容量曲线;

b) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的增量容量曲线。

3. 根据权利要求2所述的一种基于增量容量曲线峰值面积的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 所述的初始增量容量曲线为电池增量容量 dQ/dV 与电池端电压 V 的关系曲线, dQ 为电池容量增量, dV 为对应地电池端电压增量。

4. 根据权利要求3所述的一种基于增量容量曲线峰值面积的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 电池增量容量 dQ/dV 通过差分法获得, 具体通过如下公式计算得到:

$$\frac{dQ}{dV} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{Q_{t2} - Q_{t1}}{V_{t2} - V_{t1}}$$

其中, ΔQ 为电池容量增量, ΔV 为电池端电压增量, Q_{t2} 和 Q_{t1} 分别为 $t2$ 时刻和 $t1$ 时刻的电池电量, V_{t2} 和 V_{t1} 分别为 $t2$ 时刻和 $t1$ 时刻的电池端电压。

5. 根据权利要求2所述的一种基于增量容量曲线峰值面积的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 滤波算法采用卡尔曼滤波算法。

6. 根据权利要求2所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 步骤1) 具体包括:

11) 对所述电池进行离线耐久性循环寿命实验, 每隔一段时间进行一次标准容量测试, 确定其老化阶段;

12) 在电池的不同老化阶段进行不同内短路阻值下的标准工况的充电实验;

13) 根据充电实验数据获取对应老化阶段的不同内短路阻值下的原始增量容量曲线;

14) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线。

7. 根据权利要求1所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法, 其特征在于, 步骤2) 具体为: 将属于同一老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线绘制于同一坐标系中, 选取特征峰, 对应获取不同内短路阻值下特征峰的峰值高度, 以峰值高度为自变量, 内短路阻值为因变量进行拟合得到电池内短路阻值估计模型。

8. 根据权利要求1所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法,其特征在于,步骤4) 具体为:

41) 根据待测电池的老化阶段选取对应阶段未发生内短路的基准增量容量曲线;

42) 比较待测电池增量容量曲线以及选取的基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,若待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度高于基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,则待测电池发生内短路,否则待测电池未发生内短路。

9. 根据权利要求7所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法,其特征在于,步骤5) 具体为:获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度并代入电池内短路阻值估计模型进行计算得到待测电池的电池内短路阻值。

10. 根据权利要求1所述的一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法,其特征在于,步骤1) 中通过给电池并联不同阻值的电阻来模拟不同的内短路阻值。

基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法

技术领域

[0001] 本发明涉及储能电池技术领域,尤其是涉及一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法。

背景技术

[0002] 近年来,锂电池由于其高比能量(功率)密度、长寿命和安全可靠等优点正逐渐成为电动汽车的主要动力源。然而锂离子电池也存在一定的潜在问题,最大的潜在问题之一即是热失控,因为锂离子电池发生热失控时会在数分钟内快速升温并出现放热连锁反应,最终导致电池冒烟、燃烧甚至爆炸。

[0003] 现有的主流观点认为热失控是由于电池发生了内短路所致。为了提高电池的安全性,很多内短路诊断方法被提出,内短路检测算法可以分为以下4种类型:1)比较短时间内电压和温度的变化。在电池发生内短路末期,可以通过BMS监控电池电压异常降低和温度的异常升高来判断电池是否发生内短路。该方法主要适用于内短路发生的末期。然而这种方法没有足够的时间裕度和安全裕度来采取应对措施。2)模型参数差异法。根据短路电池与正常电池模型参数之间的差异来诊断电池是否发生内短路,但这种方法只能探测到内短路的有无无法定量对内短路进行诊断。3)电量损失法。通过计算电池长时间的漏电量可以定量诊断电池内短路,然而该方法持续时间较长,时效性较差。4)传感器直接测量。在并联电池组中,由于内短路电池持续放电,则其开路电压会逐渐降低,导致其它正常电池会向短路电池充电,在并联电池中串联电流表来监控这种充电效应也能够定量诊断电池组。然而该方法会大幅增加电池组成本,同时降低电池组的体积能量密度。5)交流阻抗法。将待测电池交流阻抗谱与正常电池交流阻抗谱进行比较,可以辨识出电池是否发生内短路,但是这种方法成本比较高,实现技术难度高,同时无法定量计算内短路阻值。

发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法,该方法包括如下步骤:

[0007] 1) 离线建立电池在不同老化阶段、不同内短路阻值下的增量容量曲线,作为基准增量容量曲线;

[0008] 2) 离线确定不同老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度与电池内短路的关系,并获取不同老化阶段的电池内短路阻值估计模型;

[0009] 3) 在线获取待测电池的增量容量曲线,并确定其老化阶段;

[0010] 4) 获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度,并与相应老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度进行比较,判断是否出现内短路;

[0011] 5) 根据对应老化阶段的电池内短路阻值估计模型计算待测电池的电池内短路阻值。

[0012] 优选地,步骤1)和步骤3)中增量容量曲线通过如下方式获得:

[0013] a) 获取对应电池在标准充电工况下的充电电压曲线,根据充电电压曲线获取初始增量容量曲线;

[0014] b) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的增量容量曲线。

[0015] 优选地,所述的初始增量容量曲线为电池增量容量 dQ/dV 与电池端电压 V 的关系曲线, dQ 为电池容量增量, dV 为对应地电池端电压增量。

[0016] 优选地,电池增量容量 dQ/dV 通过差分法获得,具体通过如下公式计算得到:

$$[0017] \quad \frac{dQ}{dV} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{Q_{t2} - Q_{t1}}{V_{t2} - V_{t1}}$$

[0018] 其中, ΔQ 为电池容量增量, ΔV 为电池端电压增量, Q_{t2} 和 Q_{t1} 分别为 t_2 时刻和 t_1 时刻的电池电量, V_{t2} 和 V_{t1} 分别为 t_2 时刻和 t_1 时刻的电池端电压。

[0019] 优选地,滤波算法采用卡尔曼滤波算法。

[0020] 优选地,步骤1)具体包括:

[0021] 11) 对所述电池进行离线耐久性循环寿命实验,每隔一段时间进行一次标准容量测试,确定其老化阶段;

[0022] 12) 在电池的不同老化阶段进行不同内短路阻值下的标准工况的充电实验;

[0023] 13) 根据充电实验数据获取对应老化阶段的不同内短路阻值下的原始增量容量曲线;

[0024] 14) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线。

[0025] 优选地,步骤2)具体为:将属于同一老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线绘制于同一坐标系中,选取特征峰,对应获取不同内短路阻值下特征峰的峰值高度,以峰值高度为自变量,内短路阻值为因变量进行拟合得到电池内短路阻值估计模型。

[0026] 优选地,步骤4)具体为:

[0027] 41) 根据待测电池的老化阶段选取对应阶段未发生内短路的基准增量容量曲线;

[0028] 42) 比较待测电池增量容量曲线以及选取的基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,若待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度高于基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,则待测电池发生内短路,否则待测电池未发生内短路。

[0029] 优选地,步骤5)具体为:获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度并代入电池内短路阻值估计模型进行计算得到待测电池的电池内短路阻值。

[0030] 优选地,步骤1)中通过给电池并联不同阻值的电阻来模拟不同的内短路阻值。

[0031] 与现有技术相比,本发明具有如下优点:

[0032] (1) 本发明电池内短路定量诊断方法能够在线快速、准确的计算出电池在每次循环过程的是否发生内短路,及内短路阻值,可以有效提高电动汽车的安全性。

[0033] (2) 本发明方法具有实施简便、诊断时间短、诊断准确度高等优点。

附图说明

- [0034] 图1为本发明方法的流程框图；
- [0035] 图2为本发明实施例中某一老化阶段下不同内短路阻值时的标准工况充电电压曲线；
- [0036] 图3为本发明实施例中差分法得到的增量容量曲线；
- [0037] 图4为本发明实施例中经卡尔曼滤波后的增量容量曲线；
- [0038] 图5为本发明特定老化阶段下不同内短路阻值时的增量容量曲线；
- [0039] 图6为本发明实施例中特定老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度与电池内短路的关系曲线。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。注意，以下的实施方式的说明只是实质上的例示，本发明并不意在对其适用物或其用途进行限定，且本发明并不限定于以下的实施方式。

[0041] 实施例

[0042] 如图1所示，一种基于增量容量曲线峰值高度的电池内短路定量诊断方法，该方法包括如下步骤：

[0043] 1) 离线建立电池在不同老化阶段、不同内短路阻值下的增量容量曲线，作为基准增量容量曲线；

[0044] 2) 离线确定不同老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度与电池内短路的关系，并获取不同老化阶段的电池内短路阻值估计模型；

[0045] 3) 在线获取待测电池的增量容量曲线，并确定其老化阶段；

[0046] 4) 获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度，并与相应老化阶段基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度进行比较，判断是否出现内短路；

[0047] 5) 根据对应老化阶段的电池内短路阻值估计模型计算待测电池的电池内短路阻值。

[0048] 步骤1) 和步骤3) 中增量容量曲线通过如下方式获得：

[0049] a) 获取对应电池在标准充电工况下的充电电压曲线，根据充电电压曲线获取初始增量容量曲线；

[0050] b) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的增量容量曲线。

[0051] 初始增量容量曲线为电池增量容量 dQ/dV 与电池端电压 V 的关系曲线， dQ 为电池容量增量， dV 为对应地电池端电压增量。

[0052] 电池增量容量 dQ/dV 通过差分法获得，具体通过如下公式计算得到：

$$[0053] \quad \frac{dQ}{dV} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{Q_{t2} - Q_{t1}}{V_{t2} - V_{t1}}$$

[0054] 其中， ΔQ 为电池容量增量， ΔV 为电池端电压增量， Q_{t2} 和 Q_{t1} 分别为 t_2 时刻和 t_1 时刻的电池电量， V_{t2} 和 V_{t1} 分别为 t_2 时刻和 t_1 时刻的电池端电压。

[0055] 滤波算法采用卡尔曼滤波算法。

[0056] 步骤1) 具体包括：

[0057] 11) 对所述电池进行离线耐久性循环寿命实验,每隔一段时间进行一次标准容量测试,确定其老化阶段;

[0058] 12) 在电池的不同老化阶段进行不同内短路阻值下的标准工况的充电实验;

[0059] 13) 根据充电实验数据获取对应老化阶段的不同内短路阻值下的原始增量容量曲线;

[0060] 14) 采用滤波算法对原始增量容量曲线进行滤波得到相应的老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线。

[0061] 步骤2) 具体为:将属于同一老化阶段的不同内短路阻值下的基准增量容量曲线绘制于同一坐标系中,选取特征峰,对应获取不同内短路阻值下特征峰的峰值高度,以峰值高度为自变量,内短路阻值为因变量进行拟合得到电池内短路阻值估计模型。

[0062] 步骤4) 具体为:

[0063] 41) 根据待测电池的老化阶段选取对应阶段未发生内短路的基准增量容量曲线;

[0064] 42) 比较待测电池增量容量曲线以及选取的基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,若待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度高于基准增量容量曲线中特征峰的峰值高度,则待测电池发生内短路,否则待测电池未发生内短路。

[0065] 步骤5) 具体为:获取待测电池增量容量曲线中特征峰的峰值高度并代入电池内短路阻值估计模型进行计算得到待测电池的电池内短路阻值。

[0066] 步骤1) 中通过给电池并联不同阻值的电阻来模拟不同的内短路阻值。

[0067] 本实施例中以为18650三元锂离子电池为例进行内短路诊断:

[0068] 1、离线进行耐久性循环寿命实验及不同短路电阻下的标准充电实验。

[0069] 在此步骤中充放电截止电压分别为4.2V和2.5V,实际应用中并不限于此,然后对电池进行耐久性循环寿命实验。间隔一定充放电循环进行电池容量标定测试。在完成电池容量标定测试后短接不同阻值的电阻进行标准工况的充电实验,本案例选择外接不同阻值电阻来模拟电池发生内短路,电阻分别为100 Ω 、200 Ω 、500 Ω 、1000 Ω 进行标准工况下的充电实验。获取电池从寿命开始至寿命结束不同阶段的标准容量,及不同阶段、不同短路电阻下的标准充电数据,如图2所示。

[0070] 2、构建各老化阶段不同短路阻值下的增量容量曲线:

[0071] 构建各老化阶段不同短路阻值下的增量容量曲线,本实施例采用差分法构建增量容量曲线,如图3所示。

[0072] 这种计算方法会因为数值微分引入过多的噪声,影响对增量容量曲线峰的辨识,因此需要对其做进一步的滤波处理。常见的滤波算法有平均滤波、高斯滤波、卡尔曼滤波等算法。

[0073] 本案例选择卡尔曼滤波算法对增量容量曲线进行滤波,其状态方程和观测方程分别为

$$[0074] \quad x_k = x_{k-1} + w_k$$

$$[0075] \quad y_k = x_k + v_k$$

[0076] 其中, x_k 为k时刻的增量容量 $\frac{\Delta Q}{\Delta V}$, y_k 为带有观测噪声的 x_k , w_k 为附加的高斯过程噪声, v_k 为观测噪声。卡尔曼滤波具体步骤如下:

$$[0077] \quad \hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1}$$

$$[0078] \quad P_k^- = \hat{P}_{k-1} + Q$$

$$[0079] \quad K_k = P_k^- (P_k^- + R)^{-1}$$

$$[0080] \quad \hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - \hat{x}_k^-)$$

$$[0081] \quad \hat{P}_k = (I - K_k) P_k^-$$

[0082] 其中, P_k^- 为协方差矩阵, K_k 为Kalman增益, Q 为系统噪声协方差, R 为观测噪声协方差。卡尔曼滤波后增量容量曲线如图4所示。

[0083] 3、确定不同老化阶段增量容量曲线峰值高度与电池内短路的关系:

[0084] 以端电压为横轴, 增量容量曲线为纵轴, 绘制不同老化阶段下滤波后的增量容量曲线, 这里仅给出特定老化状态和电阻下的增量容量曲线, 如图5所示。

[0085] 从图5可以看出, 增量容量曲线呈现出不同的峰和谷, 将其划分为4个峰和3个谷, 峰分别为峰A, 峰B, 峰C和峰D, 谷分别为谷A, 谷B和谷C, 随着短路电阻的降低 (代表电池发生内短路), 增量容量曲线呈上降的趋势, 初步体现出了增量容量曲线与电池内短路存在相关性。

[0086] 选取与电池内短路相关的不同峰的高度作为特征, 并建立增量容量曲线峰值高度与电池短路阻值之间的关系; 峰A的SOC范围为0~16%, 处于低SOC区间, 由于电动汽车在实际使用过程通常不会将电量放空至0% SOC, 因此在大多充电过程中不能采集到峰A所对应的充电电压数据, 使得该峰难以在实车在线使用。

[0087] 因此本实施例中优选峰B来建立峰值高度H与短路电阻的关系。图6绘制了峰B的高度与电池内短路阻值之间的对应关系, 由此本实施例中电池内短路阻值估计模型为线性分段函数形式, 需要说明的是: 以峰值高度为自变量, 内短路阻值为因变量进行拟合得到电池内短路阻值估计模型中拟合函数可以根据需要设定, 不限于本实施例线性分段函数形式。

[0088] 4、在线获取增量容量曲线特征并确定电池是否发生内短路;

[0089] 判断电池是否发生内短路常用的方法为: 根据峰B、C和D的高度, 谷B、C和D的深度, 同时衍生的有对应峰的面积大小。在实际车载应用中, 电池管理系统在充电过程中实时采集电池的端电压以及电流, 并得到当前电池状态下的增量容量曲线。然后根据峰的高度、谷的深度和峰的面积进行判断。本实施例选用峰B的高度进行判断。若在线获取B的峰值高度大于未短路情况下对应增量容量曲线峰值高度, 则认为该电池发生内短路, 否则判定该电池未发生内短路。

[0090] 5、根据在线获取增量容量曲线峰值高度定量计算内短路阻值。

[0091] 将在线获取增量容量曲线峰B的高度带入图6中峰B高度与内短路的电池内短路阻值估计模型中, 可以获得内短路电池的短路电阻。

[0092] 在实际应用中除峰B外, 峰C和D, 谷A, B和C均可建立峰值高度与内短路关系, 并以此为基础在线进行电池内短路诊断。

[0093] 上述实施方式仅为例举, 不表示对本发明范围的限定。这些实施方式还能以其它各种方式来实施, 且能在不脱离本发明技术思想的范围内作各种省略、置换、变更。

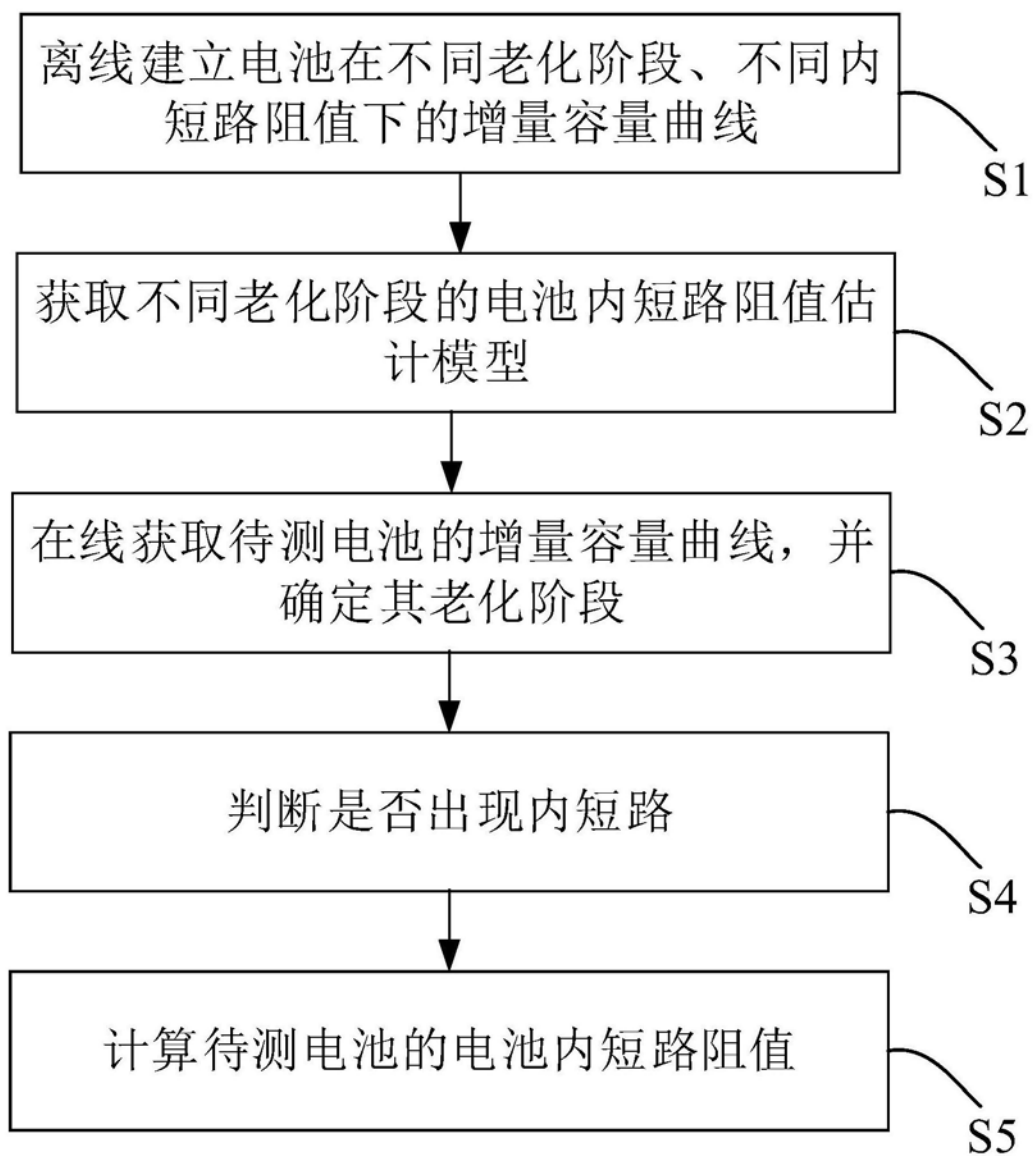


图1

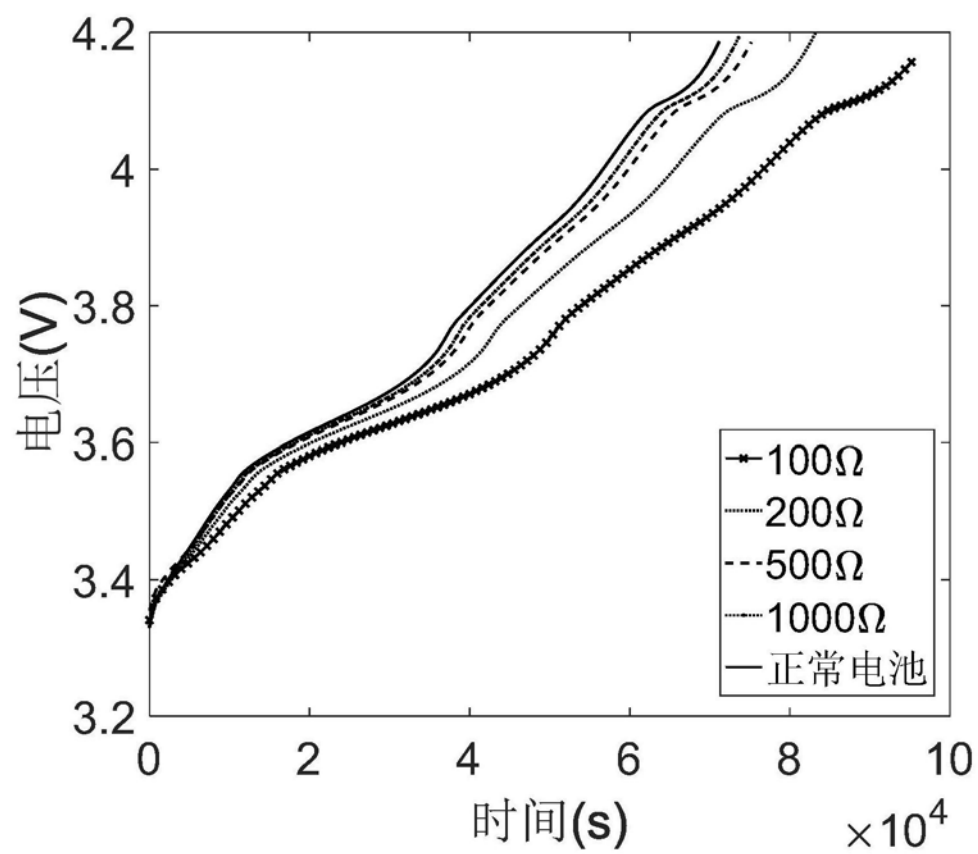


图2

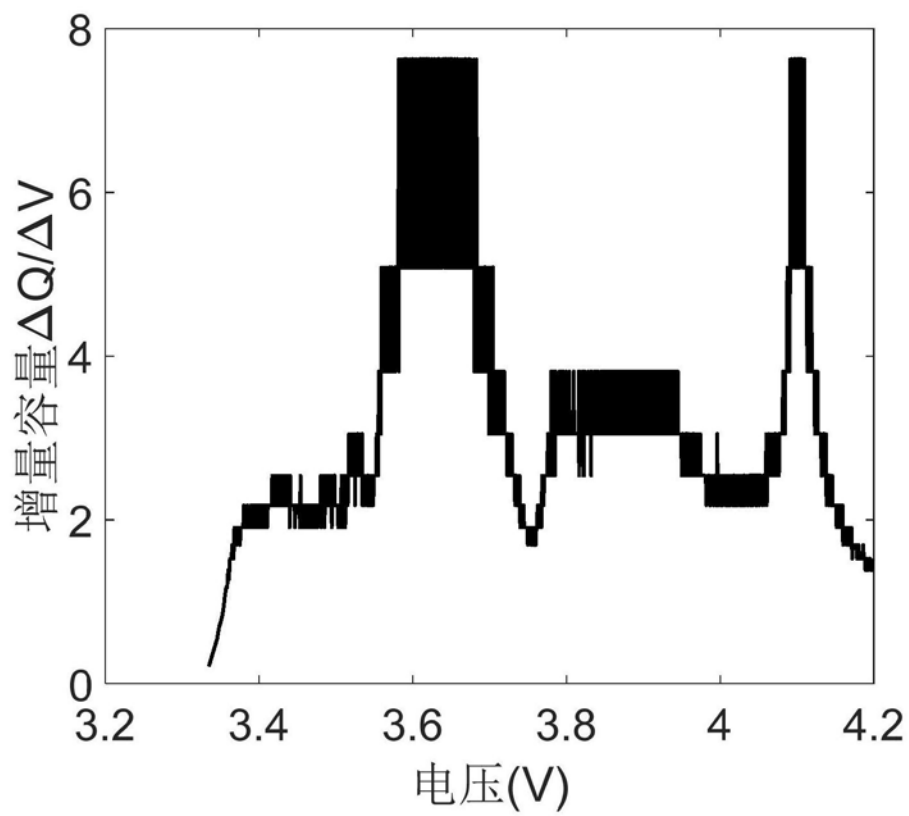


图3

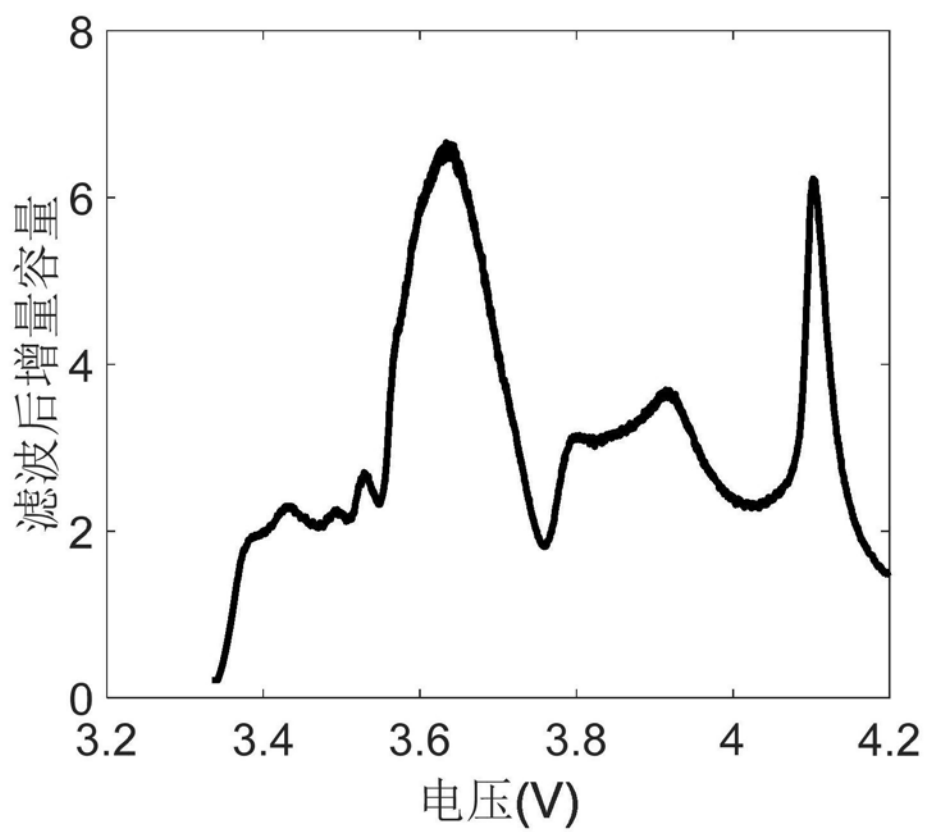


图4

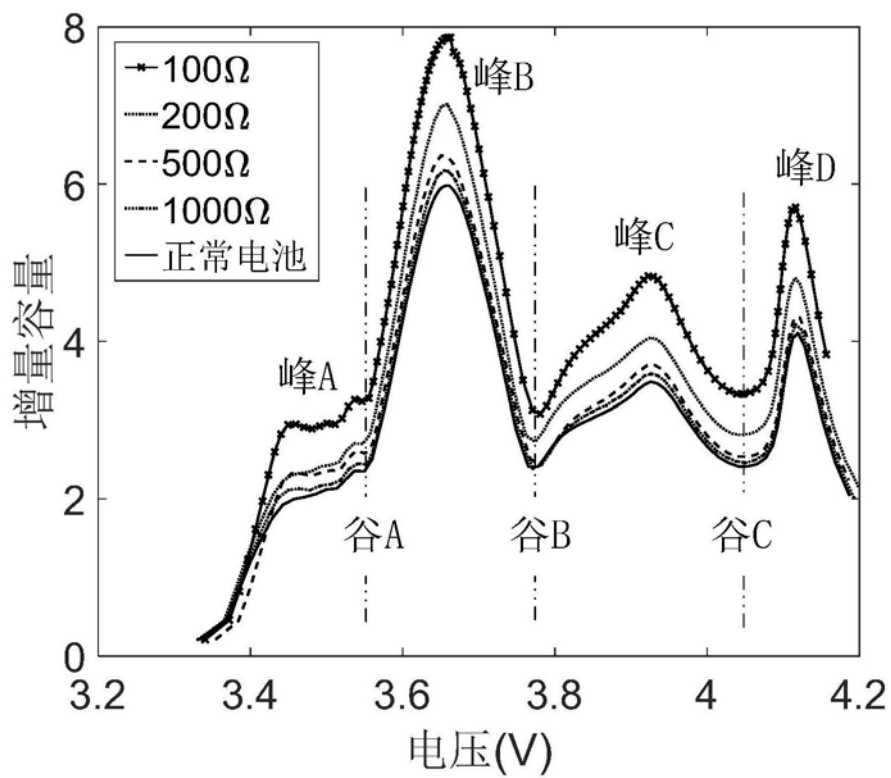


图5

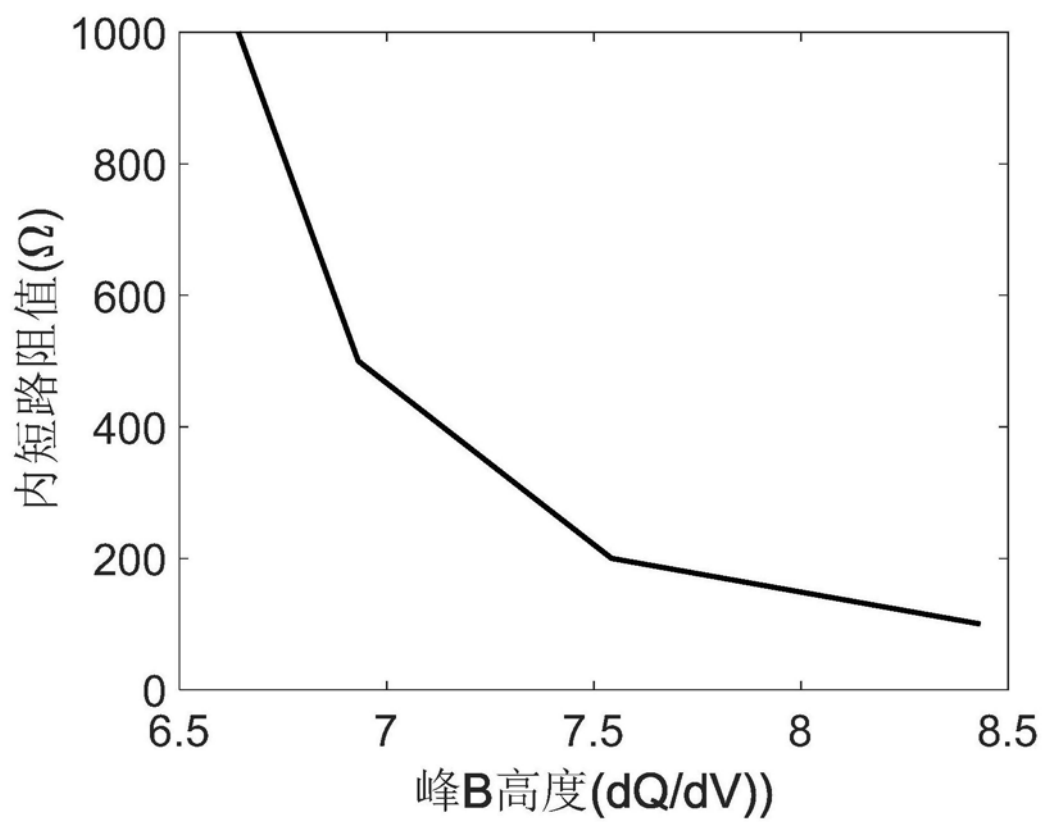


图6