



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104833917 A

(43) 申请公布日 2015. 08. 12

(21) 申请号 201410200256. 7

(22) 申请日 2014. 05. 13

(30) 优先权数据

61/939,072 2014. 02. 12 US

(71) 申请人 西奥公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 艾伯特·奥门塔多

斯科特·艾伦·穆林 M·辛

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 白云 郑霞

(51) Int. Cl.

G01R 31/36(2006. 01)

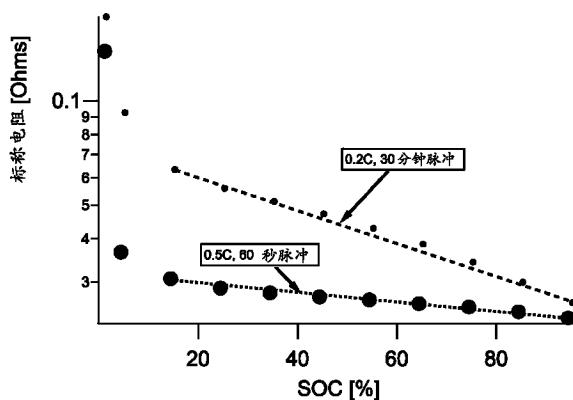
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

用于锂蓄电池中荷电状态实时估算的标称电阻的确定

(57) 摘要

在 SOC、标称电阻 ($R_{\text{标}}$) 与平均外加负载 ($P_{\text{均}}$) 之间已经建立一种函数关系的关联性，这样可以经验性地确定函数 $f(R_{\text{标}}, P_{\text{均}}) = \text{SOC}$ 。可以用平均功率或平均电流来描述负载。在运行之前对电池进行初始测试来确定这些值之间的这些关联性，以便创建一个查询表。在运行过程中，可以对 $R_{\text{标}}$ 和 $P_{\text{均}}$ 进行采样而无电池停用时间，并且可以将这两个值作为查询表的输入参数来精确地确定 SOC。



1. 一种实时确定蓄电池的荷电状态的方法,该方法包括以下步骤:
 - a) 在该蓄电池运行时测量作为时间的函数的电压和电流值;
 - b) 将在不同时间段上的这些电压和电流值记录在一个存储器位置中
 - c) 使用一个计算机处理器从在该存储器位置中所记录的这些电压和电流值来确定与每个时间段关联的一个标称电阻;
 - d) 在一个存储器位置中记录该标称电阻与相关联的时间段的数据对;
 - e) 通过使用一个计算机处理器将这些数据对与在一个存储器位置中的一个先前产生的查询表进行对比来确定该蓄电池的荷电状态,其中该查询表使这些数据对与多个荷电状态值进行关联。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中该蓄电池包括作为负极的金属锂、作为正极的磷酸铁锂、以及作为隔膜的一种聚合物电解质。
3. 如权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 (b) 中,这些时间段的长度为从大约 0.5 秒到 60 秒。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 (c) 中,确定一个标称电阻包括使用下列表达式来计算该标称电阻 ($R_{\text{标}}$) :

$$R_{\text{标}} = \frac{OCV_{\text{标}} - V_{\text{均}}}{I_{\text{均}}}$$

其中, $OCV_{\text{标}}$ 是一个标称开路电压, $V_{\text{均}}$ 是一个时间平均的电压值,并且 $I_{\text{均}}$ 是一个时间平均的电流值。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其中 $V_{\text{均}}$ 是由下式给出:

$$V_{\text{均}} = \frac{1}{\Delta T} \int V dt$$

并且, $I_{\text{均}}$ 是由下式给出:

$$I_{\text{均}} = \frac{1}{\Delta T} \int I dt$$

其中, ΔT 是步骤 (c) 中的时间段,并且积分是在一个时间界定的放电区域上进行的。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 (e) 中,该先前产生的查询表是通过以下方式创建的:

确定该电池以总库伦计的一个总容量;

使用一个电池测试器,随着该测试器根据一个预先确定的程序在该电池的整个容量范围上对电流进行提取和推送来计算流入和流出一个代表性电池的库伦数,以便生成一个查询表,该查询表包括作为时间的函数的电压相关值以及作为在该电池中的总库伦数的一个百分比 (SOC) 的库伦数相关值;

将该查询表存储在一个存储器位置中;并且

使用一个微处理器来计算在曲线上不同时间段的标称池电阻,并且将这些标称池电阻存储在该查询表中。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 (e) 中,该微处理器被编程来根据需要在该查询表中执行数值之间的线性内插。

8. 一种计算机可读媒质,该计算机可读媒质包括代码,该代码在由计算机处理器来执

行时实施一种方法,该方法包括:

- a) 在该蓄电池运行时测量作为时间的函数的电压和电流值;
- b) 将在不同时间段上的这些电压和电流值记录在一个存储器位置中
- c) 使用一个计算机处理器从在该存储器位置中所记录的这些电压和电流值来确定与每个时间段关联的一个标称电阻;
- d) 在一个存储器位置中记录该标称电阻与相关联的时间段的数据对;
- e) 通过使用一个计算机处理器将这些数据对与在一个存储器位置中的一个先前产生的查询表进行对比来确定该蓄电池的荷电状态,其中该查询表使这些数据对与多个荷电状态值进行关联。

9. 如权利要求 8 所述的计算机可读媒质,其中该蓄电池组电池包括作为阳极的金属锂、作为阴极的磷酸铁锂、以及作为隔膜的一种聚合物电解质。

用于锂蓄电池中荷电状态实时估算的标称电池电阻的确定

发明人：艾伯特·奥门塔多，斯科特·艾伦·穆林，和 M. 辛

政府支持声明

[0001] 在此描述并请求保护的本发明是部分地利用由美国能源部根据合同 DE-0E0000223 提供的基金完成的。在本发明中政府有某些权利。

发明背景

发明领域

[0002] 本发明总体涉及用于确定二次蓄电池荷电状态的方法，并且，更确切地，涉及使用电池电流和电压参数来实时确定该荷电状态。

[0003] 蓄电池电流和电压参数的实时估算能够用于提供关于一个电池的荷电状态和健康状态的额外信息。

[0004] 荷电状态 (SOC) 对于蓄电池组相当于是在一辆电池电动车辆 (BEV)、混合动力车辆 (HEV)、或插入式混合电动汽车 (PHEV) 中的燃料计量表。SOC 通常被表达为满电荷的一个百分比（例如，0% = 空；100% = 满）。相同的度量的一种替代形式是放电深度 (DoD)，它是与 SOC 相反的（例如，100% = 空；0% = 满）。当讨论一个蓄电池在使用中的电流状态时通常使用 SOC，而当讨论一个电池在性能评级或循环寿命测试中的容量利用率时最常使用 DoD。

[0005] 荷电状态 (SOC) 和健康状态 (SOH) 对于监测和控制蓄电池是非常重要的参数，但是在许多情况下，它们难以确定。SOH 通常是通过跟踪一个电池的可存取容量来估算的。

[0006] 对于在放电期间开路电压 (OCV) 连续减小的电池化学过程，在其开路电压和 SOC 之间有一个合理的相关性。然而，这种方法需要周期性地将系统从负载断开，并且在真实世界的应用中（一个蓄电池系统可能在它寿命的多数时间在运行）这是不切实际的。在 OCV 随 SOC 显著变化且在负载条件下来自 OCV 的偏差相对小的化学过程中，负载条件下的电压可以被用作 OCV 的一个近似的代替值。因此，该电压与流入和流出电池的电流量一起可以用来对 SOC 进行估算。对于这样的蓄电池化学过程，这些估算在大多数的用途下常常是足够好的。

[0007] 但是对于一些其他的蓄电池化学过程，开路电压在放电期间并不连续地减小。例如，在金属锂为阳极且 LiFePO₄ 为阴极的一个电池中，开路电压在一开始放电的时候减小，然后在放电的大部分期间保持稳定直到最后在结束时下降。随着电池继续放电，SOC 减小然而开路电压几乎保持不变。这个相对平坦的开路电压曲线在尝试确定这样一个电池的 SOC 中是无用的。用来减轻这些因素的附加方法包括应用卡尔曼滤波器 (Kalman Filter) 理论、精确的库伦计数（电流积分）、和 / 或一个先验确定的复杂 RC 电路模型拟合。然而，这些附加方法有进一步的局限性，并且根据蓄电池化学过程、组件设计、或可用电子器件，这些方法的实施可能是不切实际的。

[0008] 另一种方法，被称为电流计算或库伦计数，通过测量蓄电池电流和电流随着时间的积分来计算 SOC。上述方法的问题包括长期漂移、缺乏参考点、以及关于一个电池的总可

存取容量（随着电池老化而改变）和工作历史的不确定性。只有完全充电和完全放电的电池才具有充分确定的 SOCs（分别是 100% 和 0%）。

[0009] 由于库伦计数中的误差，SOH 的确定是同样复杂的 – 精确电容的确定在动态的使用情境中是困难的。这些问题在传输限制导致显著电池极化的锂 – 聚合物电池中是特别复杂的，这种电池极化使在负载下电压终点的确定模糊不清。

[0010] 一些 SOC 确定方法包括，在一个先验测试中对复杂电阻电容 (RC) 电路模型的拟合，以便为动态电池的行为建模。然而，这些方法是非常复杂的、计算密集的、并且是间接的，所有的这些方法都会导致误差和成本。此外，这样的方法是提前创建的，并且不被用来预测实时状态指示物。

[0011] 需要的是一种简单、直接、精确的方法用于确定可充电蓄电池的 SOC。

附图简要说明

[0012] 当结合附图来阅读以下说明性实施例的描述时，技术人员将容易领会上述方面和其他方面。

[0013] 图 1 是一个曲线图，该图显示了对于两种不同的简单负载和脉冲时长 $R_{\text{标}}$ （标称电阻）作为 SOC（荷电状态）的函数。

[0014] 图 2 是一个示例性的电压分布图，该电压分布可以通过一个电池测试器用于在一个电池上施加一个复杂的动态应力负载。

[0015] 图 3 是一个基于充电和放电小区域的数据解析的例子。

[0016] 图 4 是一个曲线图，该图显示了对于三种不同的复杂动态应力负载状态， $R_{\text{标}}$ 作为 SOC 的函数，这些动态应力负载如图 2 所示。

发明内容

[0017] 公开了一种实时确定蓄电池的荷电状态的方法。该方法包括：

- a) 在该蓄电池运行时测量作为时间的函数的电压和电流值；
- b) 将在不同时间段上的这些电压和电流值记录在一个存储器位置中
- c) 使用一个计算机处理器从在该存储器位置中所记录的这些电压和电流值来确定与每个时间段关联的一个标称电阻；
- d) 在一个存储器位置中记录该标称电阻与相关联的时间段的数据对；
- e) 通过使用一个计算机处理器将这些数据对与在一个存储器位置中的一个先前产生 (previously-populated) 的查询表进行对比来确定该蓄电池的荷电状态，其中该查询表使这些数据对与多个荷电状态值进行关联。

[0018] 该蓄电池组具有作为阳极的金属锂、作为阴极的磷酸铁锂、以及作为隔膜的一种聚合物电解质。

[0019] 在步骤 (b) 中，这些时间段的长度可以为从大约 0.5 秒到 60 秒。在步骤 (c) 中，确定一个标称电阻，包括使用下列表达式来计算该标称电阻 ($R_{\text{标}}$)：

$$R_{\text{标}} = \frac{OCV_{\text{标}} - V_{\text{均}}}{I_{\text{均}}}$$

其中， $OCV_{\text{标}}$ 是一个标称开路电压， $V_{\text{均}}$ 是一个时间平均的电压值，以及 $I_{\text{均}}$ 是一个时间平均的电流值。 $V_{\text{均}}$ 可以由下式给出：

$$V_{\text{均}} = \frac{1}{\Delta T} \int V dt$$

其中, ΔT 是步骤 (c) 中的时间段, 并且积分是在一个时间界定的放电区域上进行的。

[0020] 在步骤 (e) 中, 该先前产生的查询表是通过以下方式创建的:

i. 确定该电池的以总库伦计的一个总容量;

ii. 使用一个电池测试器, 随着该测试器根据一个预先确定的程序在该电池的整个容量范围上对电流进行提取和推送来计数流入和流出一个代表性电池的库伦数, 以便生成一个查询表, 该查询表包括作为时间的函数的电压相关值以及作为在该电池中的总库伦数的一个百分比 (SOC) 的库伦数相关值;

iii. 将该查询表存储在一个存储器位置中; 并且

iv. 使用一个微处理器来计算在曲线上不同时间段的标称电池电阻, 并且将这些标称电池电阻存储在该查询表中。

并且该微处理器被编程来根据需要在该查询表中执行数值之间的一种线性内插。

[0021] 在本发明的另一方面, 公开了一种计算机可读媒质。该计算机可读媒质具有代码, 该代码在由计算机处理器执行时实施一种方法, 该方法包括:

1. 在该蓄电池组运行时测量作为时间的函数的电压和电流值;

2. 将在不同时间段上的这些电压和电流值记录在一个存储器位置中

3. 使用一个计算机处理器从在该存储器位置中所记录的这些电压和电流值来确定与每个时间段关联的一个标称电阻;

4. 在一个存储器位置中记录该标称电阻与相关联的时间段的数据对;

5. 通过使用一个计算机处理器将这些数据对与在一个存储器位置中的一个先前产生的查询表进行对比来确定该蓄电池的荷电状态, 其中该查询表使这些数据对与多个荷电状态值进行关联。

详细说明

[0022] 在金属锂为阳极和 LiFePO_4 为阴极的一个蓄电池中荷电状态 (SOC) 测量的背景下解释这些实施例。然而, 技术人员将会很容易领会, 本发明中所公开的材料和方法将应用在许多希望精确确定 SOC 的其他情境中, 特别是在一些开路电压和 SOC 之间没有明显函数关系的情境中。

[0023] 在本发明的这些和其他目的及优点将从以下与附图相结合的描述中更明显地体现。

[0024] 出于本披露的目的, 一种“标称电阻”被定义为。

$$R_{\text{标}} = \frac{OCV_{\text{标}} - V_{\text{均}}}{I_{\text{均}}} \quad [\text{Ohms}] \quad (1)$$

其中, $OCV_{\text{标}}$ 是一个可以对特定电池化学过程定义的标称开路电压。在一个实例中, 上述 $OCV_{\text{标}}$ 是在整个 SOC 范围内的平均平衡电压。在另外一个实例中, 上述 $OCV_{\text{标}}$ 是在一个单一 SOC 值下的平衡 OCV。 $V_{\text{均}}$ 和 $I_{\text{均}}$ 分别是电压和电流的时间平均值, 并且这两个值能对一个特定的负载应用进行确定 (例如, 30s 的 15amp 脉冲)。用于确定这些值的方程式呈现在本披露的后文中。

[0025] 在足够高的负载下的电池系统中, 由于对于电池电化学而言内在的、带电物质的

有限迁移率而使这个电池可能变得传输受限。比如,这样一个传输限制会导致一个浓度梯度,由于充电物质的偏压极化这个浓度梯度造成在电池中的一个附加电压。标称电阻的概念已被引入以便可以考虑与标称开路电压的这种偏差。

初始电池表征

[0026] 初始地,在电池被生产后,对它们进行了大量的质量测试。通过测试的电池可以被认为是在开始时大致全都一样。在本发明中的一个实施例中,一个或多个电池经受了附加测试。在一个安排中,将一个完全充电的电池连接至一个精密的电池测试设备,该设备被编程为在不同负载条件下推送电流流入及提取电流流出该电池。在整个这样的过程中,监测电压并且计数库伦数以便可以随时确定 SOC。对于不同负载持续时间使用方程式(1)确定标称电阻。

[0027] 图 1 是一个曲线图,该图显示了在两种不同的简单的外加载载和负载持续时间下 $R_{\text{标}}$ (标称电阻) 作为 SOC(荷电状态) 的函数:在 0.2C 下 30 分钟脉冲 (在该速率下电池将会在 5 小时内完全放电),并且在 0.5C 下 60 秒钟脉冲 (在该速率下电池将会在 2 小时内完全放电)。SOC 的计算是根据该电池中已知的额定容量和来自该精密的电池测试设备的精确的库伦计数 (或替代性地,电流积分)。可以看出标称电阻是强烈地取决于 SOC。此外,这两个曲线可以通过负载条件进行区分。

[0028] 在另外一个安排中,将一个完全充电的电池连接至一个精密的电池测试设备,该设备被编程为推送电流流入及提取电流流出该电池,就像该电池正在经历复杂的动态应力加载一样。在图 2 中显示了对于这样一种测试的一个电压分布图 (电压相对时间)。该电压分布图是一个逼真的并且复杂的负载特征曲线,该负载特征曲线是一个电池在实际运行中可能经历的,例如在一个电动车辆中。当在高度动态的应力下,这种在蓄电池运行中精确地测量 SOC 的能力变得至关重要,因为不存在实际的方式如同许多其他方法要求的来停止电池运行以便测量 SOC。这种复杂的并且动态的负载特征曲线显示在图 2 中,该负载特征曲线是在一个大约 23 分钟的周期下循环地反复直到该电池的 SOC 达到 0%。

[0029] 图 3 是在图 2 中的数据的一个不同的视图,在图 3 中 x 轴被放大以便突显该负载特征曲线的复杂性和动态性质,并且图 3 中的 y 轴作为功率绘制。功率是瞬时电池电压和穿过末端的电流的乘积,它能很清楚地区别在该特征曲线中该电池正在放电 (在此显示的按惯例的负功率,与负电流相一致) 的区域和该电池正在充电 (在此显示的按惯例的正功率,与正电流相一致) 的区域。

[0030] 可以通过负载条件将该数据解析并分块 (binned)。这些负载条件是通过一个功率 (以 W 为单位) 和持续时间 (以秒为单位) 指定的,并且用 1% 的相对宽度为分类成块。例如,一个功率为 4.6W 且持续时间为 24.4 秒的块捕获所有功率在 4.554W 和 4.646W 之间的及持续时间在 24.156 秒和 24.644 秒之间的区域。所有的数据被分块到少于 20 种负载条件下。

[0031] 图 4 是一个曲线图,该图显示了 $R_{\text{标}}$ (标称电阻),该标称电阻对于图 2 中所示的复杂的和动态的负载特征曲线作为 SOC 的函数。在图 4 中的该 $R_{\text{标}}$ 值是对于放电区域估算,其解析如上所述。为清楚起见,三种负载条件显示如下:负载条件 A 是最高的负载 [14.9W, 52.6s],负载条件 B 是一个中等的负载 [13.7W, 10.4s],并且负载条件 C 是最低负载 [4.6W, 24.4s]。

[0032] 电池极化是一个动态的且繁复的现象，该现象强烈地取决于持续时间、外加功率的强度和方向。 $R_{\text{标}}$ 被该电池极化强烈地影响。技术人员将领会上述的信息并且理解这些动态的负载条件可以按不同的方式解析并计算，包括结合充电及放电区域和 / 或通过所传递的净电荷或能量来分块，以便获得本发明中所呈现的附加信息。图 3 和图 4 应被认为仅仅是用于说明性目的的例子。

[0033] 尽管在图 2 中的该负载特征曲线有动态的和复杂的性质，图 4 中的 $R_{\text{标}}$ 值显示了一种对 SOC 强的、清楚的依赖性。

[0034] 从简单的或者复杂的电池测试条件得到的结果可以通过图表方式，如图 1 和 4 所示，或者在一个如下所示的查询表中呈现。仅仅为了说明的目的，一个查询表可以从以下所示的一些数据中创建。

标称电阻	SOC	负载持续时间
50mΩ	10%	10sec
60mΩ	20%	10sec
50mΩ	30%	5sec

[0035] 一个查询表是一个数组，该数组用一个更简单的数组寻址操作代替运行时间计算。在处理时间方面的节省可以是显著的，因为从存储器中检索一个值常常是比一个进行‘昂贵的’计算或输入 / 输出操作更快的。这些表格可能是先前计算的并储存于静态程序存储器中，作为一个程序初始化阶段（存储）的一部分而计算的（或‘预先获取的’），或者甚至是以硬件方式储存在专用平台中的。

[0036] 在一些其他的实现方式中，该查询表可能包含附加的或不同的信息，包括但不限于平均功率、净通过电荷（通过库伦计数确定）。

[0037] 对于每个区域的该时间平均的电压 $V_{\text{均}}$ 和该时间平均的电流 $I_{\text{均}}$ 由下式给出：

$$V_{\text{均}} = \frac{1}{\Delta T} \int V dt \quad (2)$$

$$I_{\text{均}} = \frac{1}{\Delta T} \int I dt \quad (3)$$

其中， ΔT 是该负载的时间段，并且积分是在一个时间界定的放电区域上进行的。在一些安排中，这些平均值可以使用通常的数值积分方法在负载的总持续时间上计算，例如梯形积分。

[0038] 一旦确定了这些值，就可以计算在各种负载条件下的这些标称电阻值 $R_{\text{标}}$ 。该 $R_{\text{标}}$ 和负载持续时间可以通过精确的库伦计数与 SOC 联系在一起。这些值可以用来产生一个查询表或创建一个图，该查询表或图可以用作实际电池运行过程中的一个参考。

[0039] 在本发明中所述的方法的一些关键优点包括：

1. 它是被设计为在一个蓄电池组正在运行时使用；
2. 它是低成本的 - 仅有的附加的组件硬件是微处理器和存储器；并且
3. 它测量的是在该蓄电池组中每一个单独的电池的 SOC；
4. 它可以与动态电池负载一起使用。

[0040] 当该蓄电池组正在运行时,该方法可以即时地使用。无需停用时间。这是一个极大的优点。已经设计了一些组件用于监测每一个电池的电压和电流和对于整个组件(也适用于每个电池)的时间。该方法所需的所有数据已经收集于一个标准的蓄电池管理系统(BMS)中。可能有用的仅有的附加硬件是一个微处理器和一个存储器。在本发明的一些实施例中,在BMS中的该微处理器和该存储器在无附加硬件情况下有足够的能力去执行该SOC确定方法。

[0041] 值得注意的是该方法测量每一个单独的电池的SOC。在对于串联电池采用库伦计数的一些SOC确定方法中,可能会出现并且确实出现了误差。这样的方法无法对每个电池测量SOC,相反地会得到许多种复合值。理解这样一个复合值的真正含义是困难的。例如,在一些组件中设计一个50% SOC复合值可能意味着所有电池都处于50% SOC。或者它可能意味着一半的电池是完全停用的并且另一半电池处于100% SOC。

[0042] 在本发明的各种实施例中,使用该标称电阻 $R_{\text{标}}$ 和已知的负载条件来捕获该依赖于SOC的偏差,作为一种解析复杂的和动态的数据的工具,以便在运行中对估计SOC提供一种真实世界实用的方法。这个信息可能用作一种直接的度量或用于补足现有的SOC估算算法。因为该信息在贯穿工作寿命的过程中是容易获得的,在给定该系统的初始状态和偏差如何随着时间变化时也可以应用于SOH估算中。

[0043] 已在此非常详细地描述了本发明,以便为那些本领域的技术人员提供与根据需要应用这些新颖的原理并构造且利用这类专用的组件相关的信息。然而,需要理解的是本发明能够通过不同的装置、材料和设备执行,并且在不偏离本发明本身的范畴的情况下能实现关于装置和操作程序二者的各种修改。

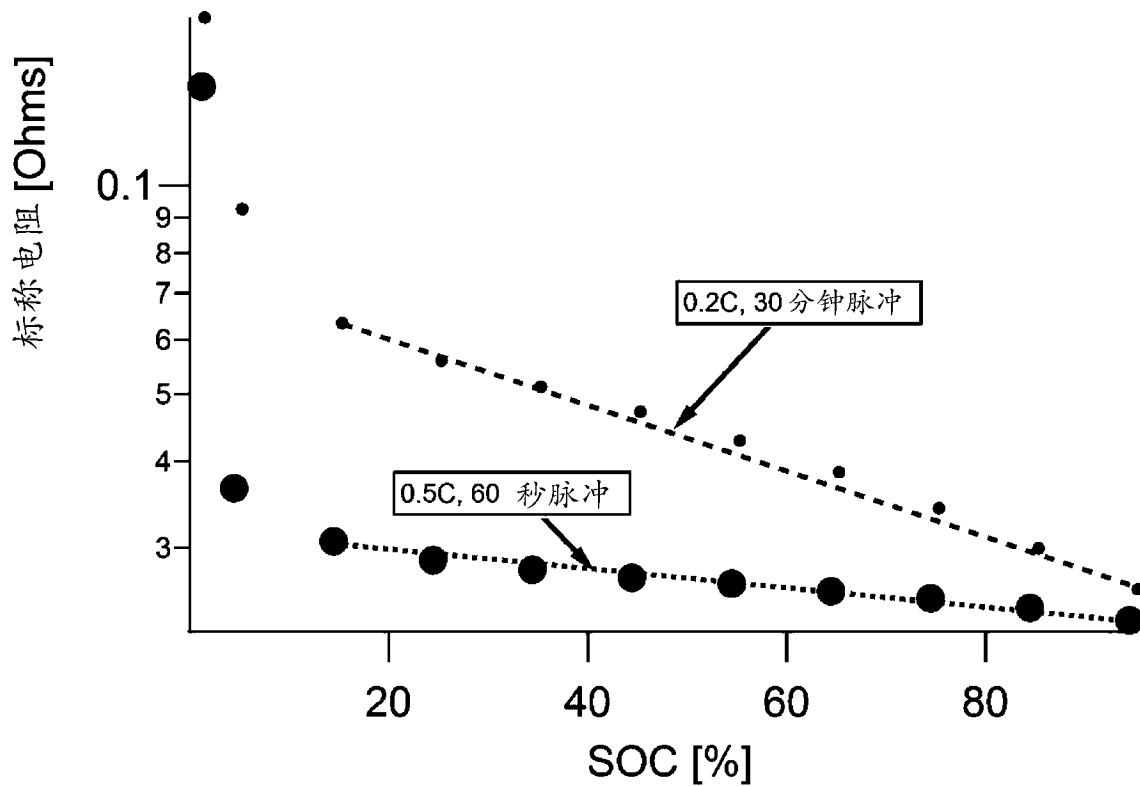


图 1

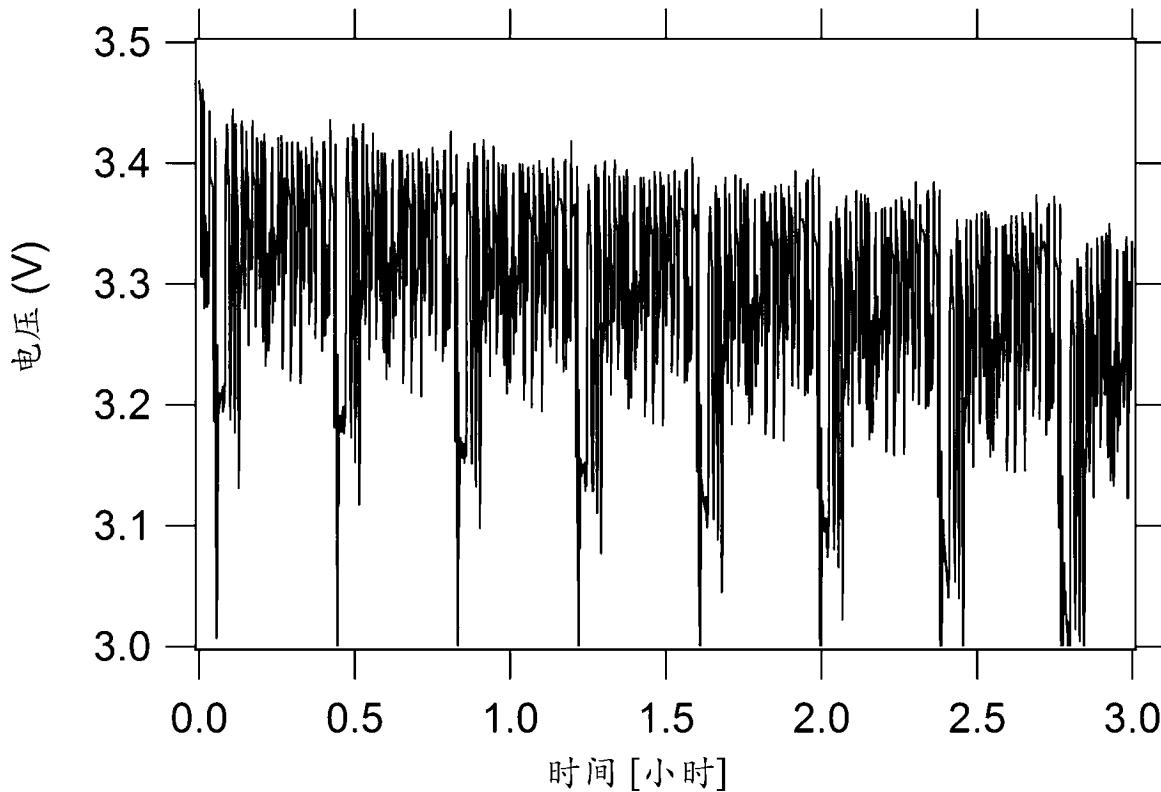


图 2

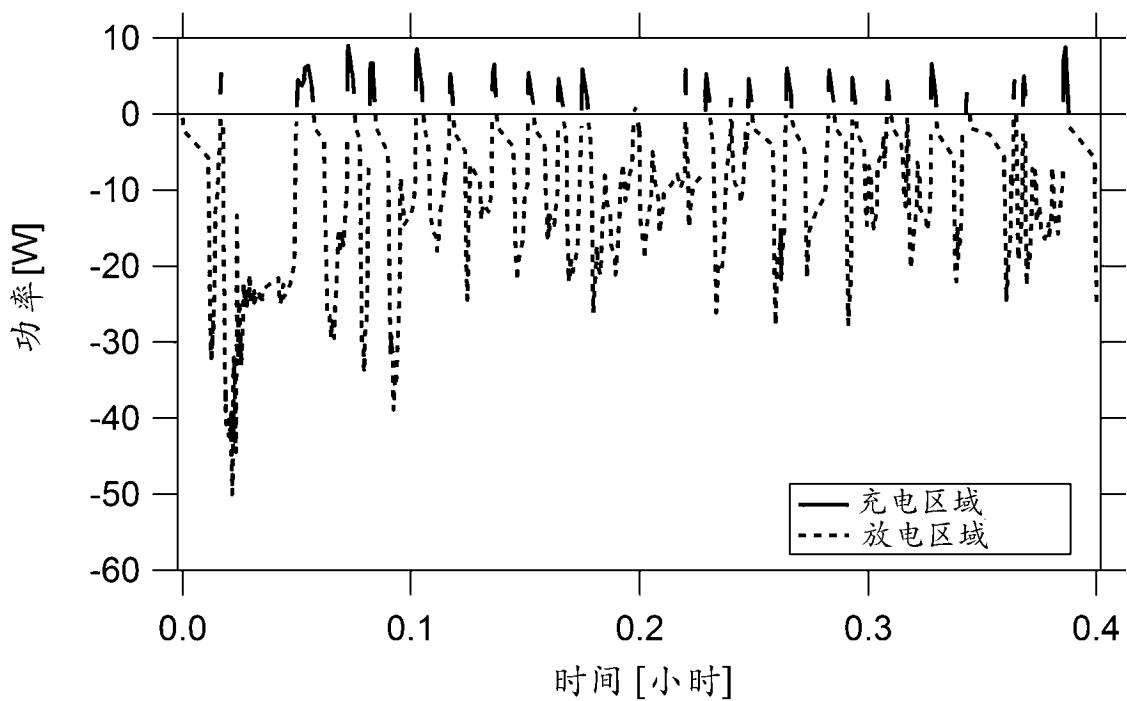


图 3

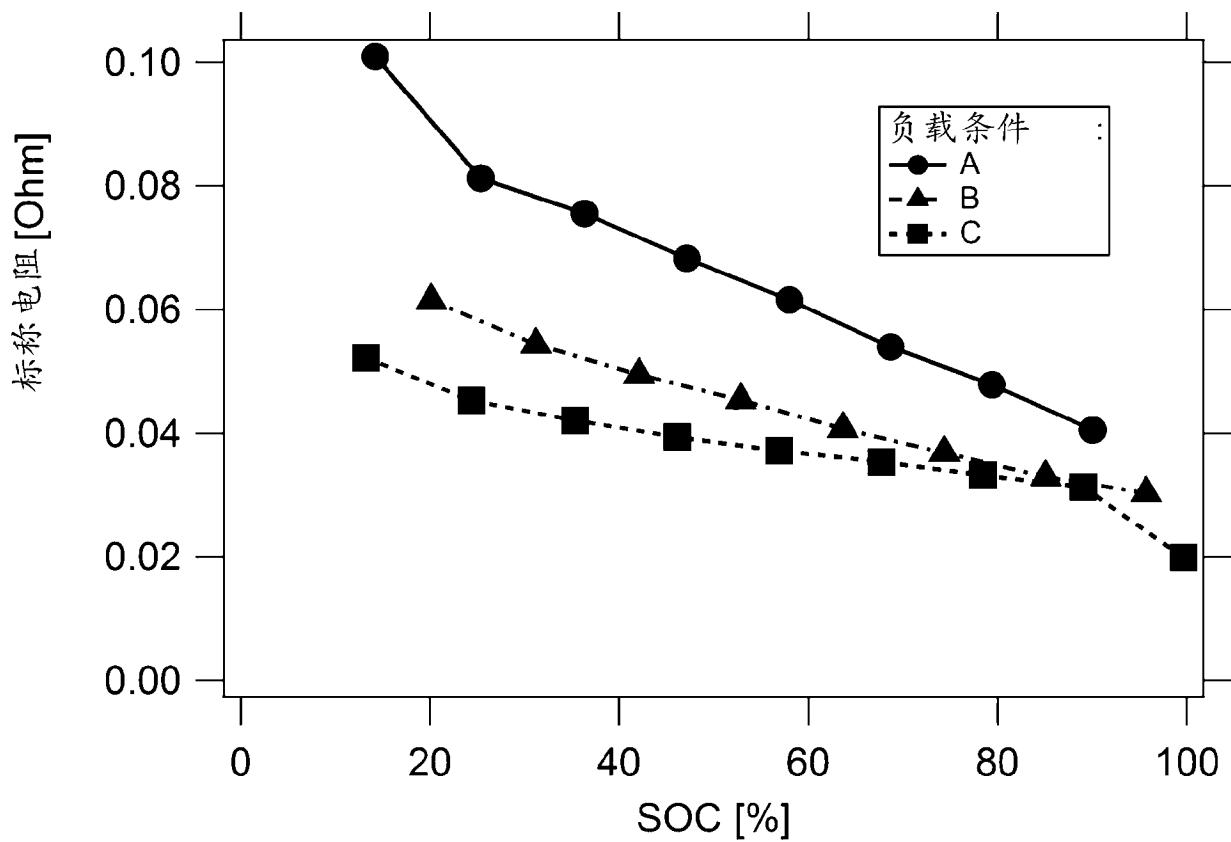


图 4