



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107843846 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(21)申请号 201711014776.9

(22)申请日 2017.10.26

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 尹鸽平 杨杰 杜春雨 高云智
左朋建 程新群 马玉林

(74)专利代理机构 哈尔滨龙科专利代理有限公
司 23206

代理人 高媛

(51)Int.Cl.

G01R 31/36(2006.01)

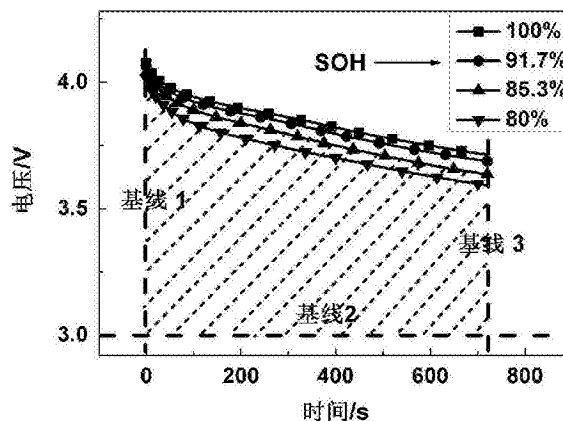
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种锂离子电池健康状态估计方法

(57)摘要

一种锂离子电池健康状态估计方法,所述方法如下:获取锂离子电池老化前后以一定的工作制度充放电时的放电电压、放电电路、放电时间数据;截取第一步获取的数据在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据;定义锂离子电池的健康状态指示因子表达式;获取第三步中的 $V_{lower\ limit}$ 值;得到公式中的HI值,获得电池的健康状态。本发明的优点是:本发明从电池工作时可实时测量的表观数据(放电电压、放电电流、放电时间)出发,获得的锂离子电池健康状态估计方法具有参数易获取、普适通用、可实时应用的特性,易于嵌入电池管理系统估计电池的健康状态,大大改善了现有的测试制度或测试设备的缺点,实用性很强。



1. 一种锂离子电池健康状态估计方法,其特征在于:所述状态估计方法包括以下步骤:

步骤一:获取锂离子电池老化前后以一定的工作制度充放电时的放电电压、放电电流、放电时间数据;所述的工作制度包括充放电方式、充放电电流和温度;

步骤二:截取步骤一中获取的数据在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据;

步骤三:提出锂离子电池的健康状态指示因子表达式:

$$HI = \frac{\int_{t_{01}}^{t_{end1}} [V_{aged}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} [V_{fresh}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt} \times 100\% \quad (3)$$

其中,所述HI为锂离子电池的健康状态值, t_{01} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_0 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_{end1} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的终止时刻, t_{end} 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的终止时刻, $V_{fresh}(t)$ 和 $V_{aged}(t)$ 分别为电池老化前及老化后在步骤二中相同荷电状态区间内的放电电压数据, $V_{lower\ limit}$ 取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值, $I(t)$ 是步骤二中相同荷电状态区间内锂离子电池的放电电流;

步骤四:设置 $V_{lower\ limit}$ 值;

步骤五:根据公式(3)得到HI值,从而获得电池的健康状态。

2. 根据权利要求1所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,其特征在于:步骤一中,所述的工作制度为前后循环时温度及电流是相同的或者其变化是相同的。

3. 根据权利要求1所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,其特征在于:步骤一的具体过程为:

采用一定的工作制度对老化前后的锂离子电池进行充放电,获取锂离子电池在不同老化阶段的放电电压、放电电流、放电时间数据。

4. 根据权利要求1所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,其特征在于:步骤二的具体过程为:

设定期望的荷电状态区间起始值和终止值,截取步骤一中所获取的数据在这一区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据作为健康状态估计方法的输入数据。

5. 一种权利要求1~5任一权利要求所述的锂离子电池健康状态估计方法适用于所有材料体系的锂离子电池单体及电池组。

一种锂离子电池健康状态估计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种锂离子电池健康状态估计方法。

背景技术

[0002] 锂离子电池的健康状态(State of Health,SOH)经常被用于表征电池的老化程度,目前主要有两种定义方法,一:电池老化后的最大可用容量与电池完全健康时的最大可用容量的百分比;二:电池老化后的阻抗与电池完全健康时的阻抗的百分比。准确及时地估计电池健康状态不仅对电池安全高效地运行具有重大意义,而且可以为电池剩余可用寿命的预测提供数据支持。

[0003] 现有的锂离子电池健康状态估计方法中,容量值的获取需要在恒定温度条件下采用恒流恒压法将电池充电至满荷电状态,然后采用恒流法将电池放电至截至电压,并循环充放电至少3次,取平均值作为电池当前状态的最大可用容量值,不仅耗时长,而且多数情况下电池都是在动态充放电或浅充放电,因此这种方法难以实现实时在线应用。阻抗值的获取主要有脉冲法和电化学阻抗谱法,但这两种方法均存在较大的弊端,一方面需要保证电池老化前后的荷电状态及温度相同,另一方面前者需要测试设备具有足够高的测量精度,而后者需要特定的测试设备,此外,由于电池在老化前后其阻抗值的变化幅度较小,因此基于阻抗的健康状态估计方法难以实际应用。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了解决现有锂离子电池健康状态估计方法需要特定的测试实验或特定的测试设备导致参数获取难且不适于在线实时应用的问题,提供一种锂离子电池健康状态估计方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:

[0006] 一种锂离子电池健康状态估计方法,所述状态估计方法包括以下步骤:

[0007] 步骤一:获取锂离子电池老化前后以一定的工作制度充放电时的放电电压、放电电流、放电时间数据;所述的工作制度包括充放电方式、充放电电流和温度;

[0008] 步骤二:截取步骤一中获取的数据在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据;

[0009] 步骤三:提出锂离子电池的健康状态指示因子表达式:

$$[0010] \quad HI = \frac{\int_{t_{01}}^{t_{end1}} [V_{aged}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} [V_{fresh}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt} \times 100\% \quad (3)$$

[0011] 其中,所述HI为锂离子电池的健康状态值, t_{01} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_0 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_{end1} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的终止时刻, t_{end} 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的终止

时刻, $V_{\text{fresh}}(t)$ 和 $V_{\text{aged}}(t)$ 分别为电池老化前及老化后在步骤二中相同荷电状态区间内的放电电压数据, $V_{\text{lower limit}}$ 取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值, $I(t)$ 是步骤二中相同荷电状态区间内锂离子电池的放电电流;

[0012] 步骤四: 设置 $V_{\text{lower limit}}$ 值;

[0013] 步骤五: 根据公式 (3) 得到 HI 值, 从而获得电池的健康状态。

[0014] 一种以上所述的锂离子电池健康状态估计方法适用于所有材料体系的锂离子电池单体及电池组。

[0015] 本发明相对于现有技术的有益效果是: 本发明从电池工作时可实时测量的表观数据(放电电压、放电电流、放电时间)出发, 获得的锂离子电池健康状态估计方法具有参数易获取、普适通用、可实时应用的特性, 易于嵌入电池管理系统估计电池的健康状态, 只需要利用电池工作时在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据即可实时获得电池的健康状态估计值, 克服了现有的基于容量或阻抗的健康状态估计方法需要标准的测试制度或测试设备的缺点, 实用性很强。且能够进一步将温度对电池放电性能的影响引入这种锂离子电池健康状态估计方法中, 获得适用范围更广的改进的锂离子电池健康状态估计方法。此外, 这一锂离子电池健康状态估计方法能够用于电池最佳工作温度的快速评估、电池一致性的快速筛选以及初步快速评估电极材料的性能等方面。

附图说明

[0016] 图1为锂离子电池在不同健康状态时的恒流放电曲线图;

[0017] 基线1代表的时刻表示电池荷电状态为100%, 基线2代表锂离子电池的放电截止电压, 基线3代表的时刻表示电池放电至同一荷电状态, 方形记号、圆形记号、上正三角形记号及下正三角形记号所标记的曲线分别表示电池健康状态为100%、91.7%、85.3%及80%时的恒流放电曲线, 此处为了便于比较, 电池老化前后的放电电流取恒定值。

[0018] 图2为以标准性能测试获得的容量值作为健康状态因子的健康状态与循环次数之间的关系图;

[0019] 图3为以本发明提出的健康状态估计方法获得的健康状态与循环次数之间的关系图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步的说明, 但并不局限于此, 凡是对本发明技术方案进行修改或者等同替换, 而不脱离本发明技术方案的精神和范围, 均应涵盖在本发明的保护范围内。

[0021] 具体实施方式一: 本实施方式记载的是一种锂离子电池健康状态估计方法, 所述状态估计方法包括以下步骤:

[0022] 步骤一: 获取锂离子电池老化前后以一定的工作制度充放电时的放电电压、放电电流、放电时间数据; 所述的工作制度包括充放电方式、充放电电流和温度;

[0023] 步骤二: 截取步骤一中获取的数据在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据;

[0024] 步骤三: 提出锂离子电池的健康状态指示因子表达式:

$$[0025] \quad HI = \frac{\int_{t_{01}}^{t_{end1}} [V_{aged}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} [V_{fresh}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt} \times 100\% \quad (3)$$

[0026] 其中,所述HI为锂离子电池的健康状态值, t_{01} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_0 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_{end1} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的终止时刻, t_{end} 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的终止时刻, $V_{fresh}(t)$ 和 $V_{aged}(t)$ 分别为电池老化前及老化后在步骤二中相同荷电状态区间内的放电电压数据, $V_{lower\ limit}$ 取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值, $I(t)$ 是步骤二中相同荷电状态区间内锂离子电池的放电电流;

[0027] 步骤四:设置 $V_{lower\ limit}$ 值;

[0028] 步骤五:根据公式(3)得到HI值,从而获得电池的健康状态。

[0029] 具体实施方式二:具体实施方式一所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,步骤一中,所述的工作制度为前后循环时温度及电流是相同的或者其变化是相同的。

[0030] 具体实施方式三:具体实施方式一所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,步骤一的具体过程为:

[0031] 采用一定的工作制度对老化前后的锂离子电池进行充放电,获取锂离子电池在不同老化阶段的放电电压、放电电流、放电时间数据。如图1所示,为锂离子电池以恒流恒压法充至100%荷电状态,然后以恒流法放电至70%荷电状态的示例图。图中曲线所采用的充放电制度在锂离子电池老化前后保持相同。

[0032] 具体实施方式四:具体实施方式一所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,步骤二的具体过程为:

[0033] 设定期望的荷电状态区间起始值和终止值,截取步骤一中所获取的数据在这一区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据作为健康状态估计方法的输入数据。

[0034] 具体实施方式五:具体实施方式一所述的一种锂离子电池健康状态估计方法,所述步骤三中获取锂离子电池健康状态指示因子表达式的具体依据为:

[0035] 锂离子电池随着循环充放电或长期静置会发生老化,电池负极上生成固体电解质界面膜并持续增厚,造成电池的阻抗增加,同时消耗电解液和可用的锂离子,因此,当电池以相同的工作制度充放电时,其极化电压随着老化而逐渐增大,在放电曲线与放电时间关系图(如图1所示)中表现为:在相同的荷电状态处,锂离子电池的放电电压曲线随电池的老化在纵轴方向逐渐下移,也就是说在相同的荷电状态区间内,电池的放电曲线与放电起始轴(基线1)、终止轴(基线3)以及电池完全放电时的放电截止电压轴(基线2)所围成的图形的面积随着电池的老化在逐渐减小,如图1所示

$$[0036] \quad S_i = \int_{t_0}^{t_{end}} [V_i(t) - V_{lower\ limit}] dt \quad (1)$$

[0037] 其中,所述 S_i 为电池第*i*次放电时的放电曲线与基线轴所围成图形的面积,如图1所示,*i*为循环次数, t_0 和 t_{end} 分别为对应于图1中基线1和基线3所代表的时刻, $V_i(t)$ 为电池第*i*次的放电电压 V 随时间 t 变化的数据,由于业内公认锂离子电池的放电电压降低至放电截止电压时,电池无法继续对外做功,因此, $V_{lower\ limit}$ 在这里取锂离子电池完全放电时的

放电截止电压值；

[0038] 为引入放电电流 $I(t)$ 对锂离子电池放电曲线的影响，获得公式 (2)，

$$[0039] \quad W_i = \int_{t_0}^{t_{end}} [V_i(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt \quad (2)$$

[0040] 其中，所述 W_i 为电池第 i 次放电时在 t_0 和 t_{end} 区间内的做功能力，能够看出这一数值也随着电池的老化而减小， i 为循环次数， t_0 和 t_{end} 分别为对应于图1中基线1和基线3所代表的时刻， $V_i(t)$ 为电池第 i 次的放电电压随时间变化的数据， $V_{lower\ limit}$ 在这里取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值。

[0041] 基于公式 (2) 获得锂离子电池的健康状态估计方法，如公式 (3) 所示

$$[0042] \quad HI = \frac{\int_{t_{01}}^{t_{end1}} [V_{aged}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} [V_{fresh}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt} \times 100\% \quad (3)$$

[0043] 其中，所述 HI 为锂离子电池的健康状态值， t_{01} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的起始时刻， t_0 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的起始时刻， t_{end1} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的终止时刻， t_{end} 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的终止时刻， $V_{fresh}(t)$ 和 $V_{aged}(t)$ 分别为电池老化前及老化后在步骤二中相同荷电状态区间内的放电电压数据， $V_{lower\ limit}$ 取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值， $I(t)$ 是步骤二中相同荷电状态区间内锂离子电池的放电电流。

[0044] 具体实施方式六：具体实施方式一所述的一种锂离子电池健康状态估计方法，步骤四中，所述 $V_{lower\ limit}$ 的取值要求为：

[0045] $V_{lower\ limit}$ 的取值可以根据不同的锂离子电池体系取不同的数值，最简便通用且利于比较公式 (3) 中 HI 变化的取值方法为取锂离子电池完全放电时的放电截止电压作为 $V_{lower\ limit}$ 的值，不同的锂离子电池体系电池完全放电时的放电截止电压具有不同的取值，但特定电极材料的锂离子电池体系的放电截止电压是固定的，如钴酸锂/石墨电池，其完全放电的放电截止电压为 3V。此外，这一参数的取值不仅限于取电池完全放电时的放电截止电压，理论上可以取任意值，但为了便于比较， $V_{lower\ limit}$ 的取值原则是所取的 $V_{lower\ limit}$ 值需要使得公式 (3) 中的 HI 值在电池发生老化时发生较为明显的变化即可。

[0046] 具体实施方式七：一种具体实施方式一至六中任一具体实施方式所述的锂离子电池健康状态估计方法适用于所有材料体系（如锰酸锂体系、镍酸锂体系、三元体系、钴酸锂体系等）的锂离子电池、单体及电池组。

[0047] 实施例1：

[0048] 一种锂离子电池健康状态估计方法，具体步骤如下：

[0049] 步骤一：获取锂离子电池老化前后以相同工作制度充放电时的放电电压、放电电流、放电时间数据；

[0050] 采用额定容量为 1.2Ah 的钴酸锂/石墨锂离子电池作为实验对象，实验前首先采用标准性能测试 (Reference Performance Test, RPT) 标定电池的容量值，具体的方法为：采用恒流恒压法 (0.6C 恒流倍率充电至 4.2V，保持恒压 4.2V 充电至电流降低至 0.05C) 将其充电至满荷电状态，静置 2min，然后 0.6C 恒流倍率放电至 3V，循环 3 次，取平均值作为电池的容

量值。然后,对电池进行循环老化试验,具体方法为:采用恒流恒压法(1.5C恒流倍率充电至4.2V,保持恒压4.2V充电至电流降低至0.05C)将其充电至满荷电状态,静置2min,然后1.5C恒流倍率放电12min,每循环100次对电池进行标准性能测试,获取电池的容量值,作为电池老化的参照,如图2所示。

[0051] 步骤二:截取步骤一中所获取的数据在相同荷电状态区间内的放电电压、放电电流、放电时间数据:

[0052] 为了便于说明本发明提出的一种锂离子电池健康状态估计方法的可行性,步骤一中的循环老化试验均在100%荷电状态和70%荷电状态之间的开展,因此截取步骤一中100%荷电状态(基线1)和70%荷电状态(基线3)之间的放电电压、放电电流(1.5C)、放电时间(12min,或720s)数据,如图1所示。

[0053] 步骤三:获取锂离子电池的健康状态指示因子表达式:

$$[0054] \quad HI = \frac{\int_{t_{01}}^{t_{end1}} [V_{aged}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} [V_{fresh}(t) - V_{lower\ limit}] \cdot I(t) dt} \times 100\% \quad (3)$$

[0055] 其中,所述HI为锂离子电池的健康状态值, t_{01} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_0 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的起始时刻, t_{end1} 为电池老化前其对应相同荷电状态区间的终止时刻, t_{end} 为电池老化后其对应相同荷电状态区间的终止时刻, $V_{fresh}(t)$ 和 $V_{aged}(t)$ 分别为电池老化前及老化后在步骤二中相同荷电状态区间内的放电电压数据, $V_{lower\ limit}$ 取锂离子电池完全放电时的放电截止电压值, $I(t)$ 是步骤二中相同荷电状态区间内锂离子电池的放电电流;

[0056] 步骤四:对步骤三中的 $V_{lower\ limit}$ 进行取值;

[0057] 针对钴酸锂/石墨锂离子电池体系,取 $V_{lower\ limit} = 3V$,即电池完全放电时的放电截止电压值。

[0058] 步骤五:根据步骤二、步骤三和步骤四得到公式(3)中的HI值,获得电池的健康状态;

[0059] 如图3所示,为根据本发明提出的一种锂离子电池健康状态估计方法获得的锂离子电池健康状态随循环次数的变化关系,由图可知此方法可以用于锂离子电池健康状态的估计,而且所需要的输入数据(放电电压、放电电流、放电时间)均可实时测量,因此可用于锂离子电池健康状态实时在线估计,大大改善了现有锂离子电池健康状态估计方法需要特定标定试验、或需要特定测试设备的缺点。

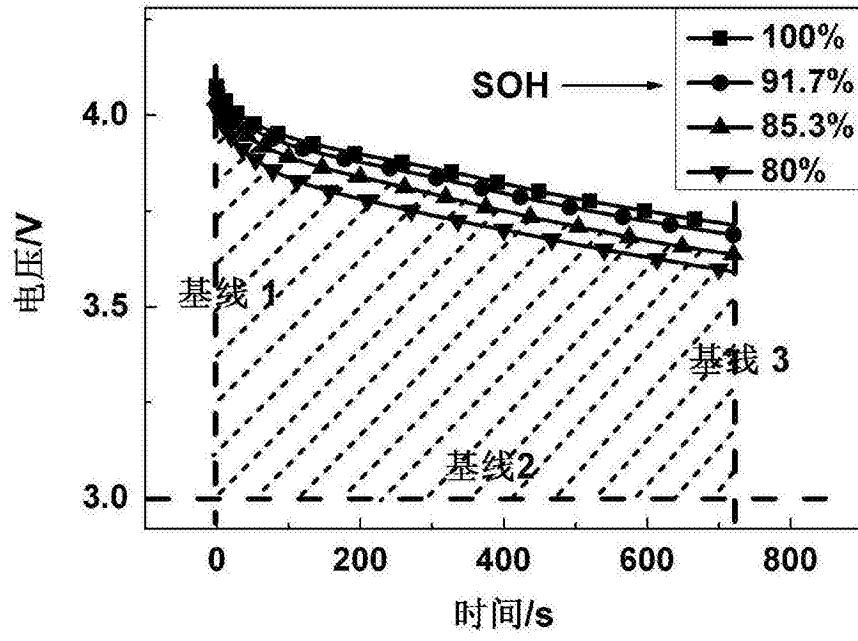


图1

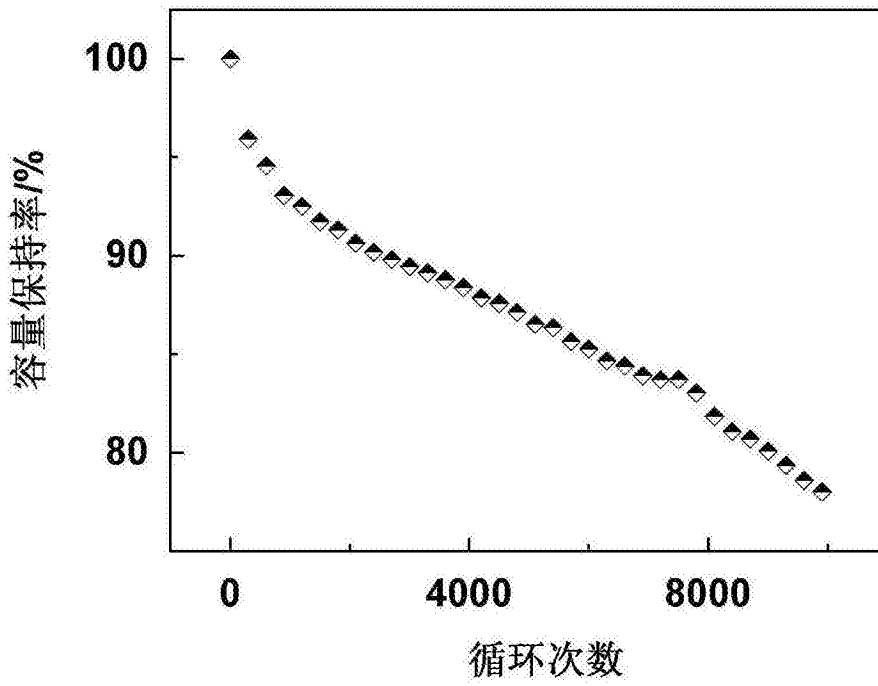


图2

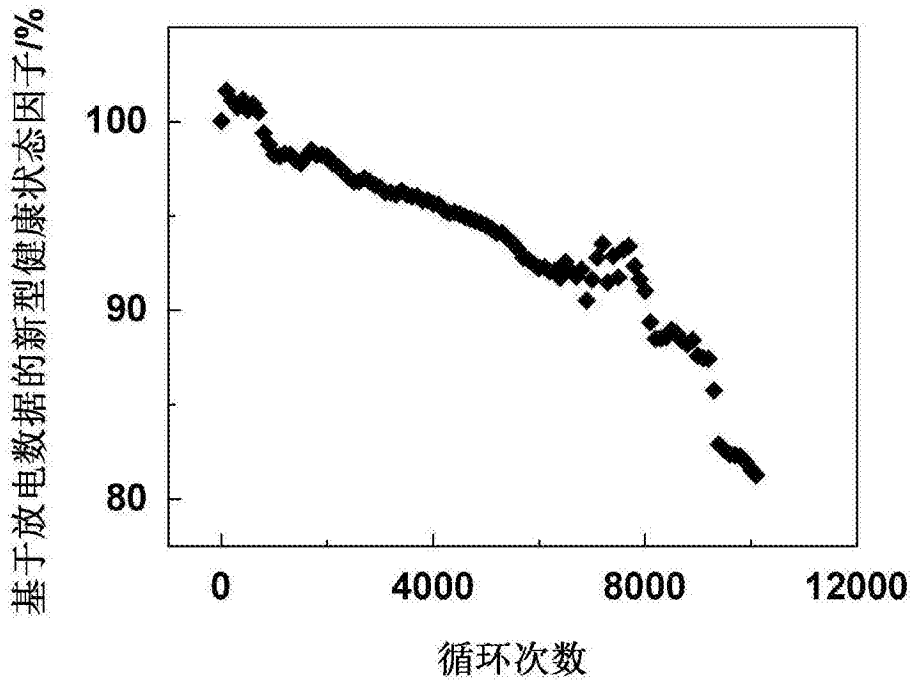


图3