



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103235269 A

(43) 申请公布日 2013.08.07

(21) 申请号 201310177901.3

(22) 申请日 2013.05.14

(71) 申请人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号
申请人 黑龙江省电力科学研究所

(72) 发明人 武国良 徐冰亮 董尔佳

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109
代理人 金永焕

(51) Int. Cl.
G01R 31/36(2006.01)

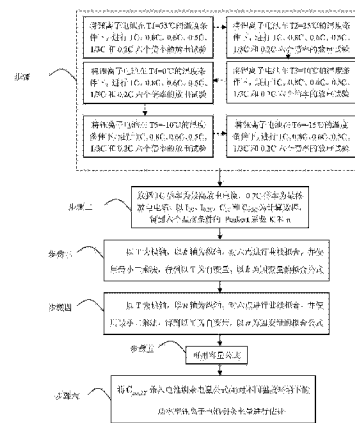
权利要求书3页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量
估计方法

(57) 摘要

宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,本发明涉及能量型锂离子电池剩余电量估计领域。本发明是要解决现有电池剩余电量估计方法未考虑温度对电池剩余电量的影响的问题。一、锂离子电池在六个温度条件下,进行六个倍率的放电试验;二、选择 1C 倍率为最高放电电流,0.2C 倍率为最低放电电流,得到六个温度条件的 Peukert 系数 K 和 n;三、对六点进行曲线拟合,得到以 T 为自变量,以 k 为因变量的拟合公式;四、对六点进行曲线拟合,得到以 T 为自变量,以 n 为因变量的拟合公式;五、可用容量公式;六、将 $C_{ava, I, T}$ 带入电池剩余电量公式 (4) 对不同温度环境下的功率型锂离子电池剩余电量进行估计。本发明应用于电池剩余电量估计领域。



1. 宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法按以下步骤实现:

一、将锂离子电池在 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C1} , $C_{0.8C1}$, $C_{0.6C1}$, $C_{0.5C1}$, $C_{1/3C1}$, $C_{0.2C1}$;

将锂离子电池在 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 的温度条下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C2} , $C_{0.8C2}$, $C_{0.6C2}$, $C_{0.5C2}$, $C_{1/3C2}$, $C_{0.2C2}$;

将锂离子电池在 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C3} , $C_{0.8C3}$, $C_{0.6C3}$, $C_{0.5C3}$, $C_{1/3C3}$, $C_{0.2C3}$;

将锂离子电池在 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C4} , $C_{0.8C4}$, $C_{0.6C4}$, $C_{0.5C4}$, $C_{1/3C4}$, $C_{0.2C4}$;

将锂离子电池在 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C5} , $C_{0.8C5}$, $C_{0.6C5}$, $C_{0.5C5}$, $C_{1/3C5}$, $C_{0.2C5}$;

将锂离子电池在 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C6} , $C_{0.8C6}$, $C_{0.6C6}$, $C_{0.5C6}$, $C_{1/3C6}$, $C_{0.2C6}$;

二、选择 1C 倍率为最高放电电流,0.2C 倍率为最低放电电流:

以 I_{1C1} , $I_{0.2C1}$, C_{1C1} 和 $C_{0.2C1}$ 为计算数据,得到在 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数为 k_1 和 n_1 ;

以 I_{1C2} , $I_{0.2C2}$, C_{1C2} 和 $C_{0.2C2}$ 为计算数据,得到在 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_2 和 n_2 ;

以 I_{1C3} , $I_{0.2C3}$, C_{1C3} 和 $C_{0.2C3}$ 为计算数据,得到在 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_3 和 n_3 ;

以 I_{1C4} , $I_{0.2C4}$, C_{1C4} 和 $C_{0.2C4}$ 为计算数据,得到在 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_4 和 n_4 ;

以 I_{1C5} , $I_{0.2C5}$, C_{1C5} 和 $C_{0.2C5}$ 为计算数据,得到在 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_5 和 n_5 ;

以 I_{1C6} , $I_{0.2C6}$, C_{1C6} 和 $C_{0.2C6}$ 为计算数据,得到在 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_6 和 n_6 ;

三、以 T 为横轴,以 k 轴为纵轴,对六点 (T_1, k_1) 、 (T_2, k_2) 、 (T_3, k_3) 、 (T_4, k_4) 、 (T_5, k_5) 和 (T_6, k_6) 进行曲线拟合,并使用最小二乘法,得到以 T 为自变量,以 k 为因变量的拟合公式,

$$k(T) = a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0 \quad (1)$$

四、以 T 为横轴,以 n 轴为纵轴,对六点 (T_1, n_1) 、 (T_2, n_2) 、 (T_3, n_3) 、 (T_4, n_4) 、 (T_5, n_5) 和 (T_6, n_6) 进行曲线拟合,并使用最小二乘法,得到以 T 为自变量,以 n 为因变量的拟合公

式,

$$n(T) = b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0 \quad (2)$$

五、可用容量公式为：

$$C_{ava,IT} = k(T)I^{(1-n(T))} = (a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0) * I^{(1-(b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0))}$$

$$I \subseteq [I_{0.2C}, I_{1C}, I_{3C}]$$

六、将 $C_{ava,I,T}$ 带入电池剩余电量公式 (4) 对宽温度环境下的能量型锂离子

子电池剩余电量进行

估计：

$$SOC = (SOC_{ini} - \frac{C_{dis}}{C_{ava}}) * 100 \quad (4)$$

其中, SOC_{ini} 为初始 SOC, C_{dis} 为放电容量, C_{ava} 为可用容量。

2. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T1 = 35^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T1 = 35^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C1} , $C_{0.8C1}$, $C_{0.6C1}$, $C_{0.5C1}$, $C_{1/3C1}$, $C_{0.2C1}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T2 = 25^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T2 = 25^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C2} , $C_{0.8C2}$, $C_{0.6C2}$, $C_{0.5C2}$, $C_{1/3C2}$, $C_{0.2C2}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T3 = 10^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T3 = 10^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C3} , $C_{0.8C3}$, $C_{0.6C3}$, $C_{0.5C3}$, $C_{1/3C3}$, $C_{0.2C3}$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T4 = 0^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T4 = 0^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、

0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C4} , $C_{0.8C4}$, $C_{0.6C4}$, $C_{0.5C4}$, $C_{1/3C4}$, $C_{0.2C4}$ 。

6. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T5 = -10^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T5 = -10^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C5} , $C_{0.8C5}$, $C_{0.6C5}$, $C_{0.5C5}$, $C_{1/3C5}$, $C_{0.2C5}$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤一中将锂离子电池在 $T6 = -15^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为:

步骤 1:在常温条件下,对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电,至电量充满状态;

步骤 2:将锂离子电池放置温度设定为 $T6 = -15^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱 12 小时;

步骤 3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C6} , $C_{0.8C6}$, $C_{0.6C6}$, $C_{0.5C6}$, $C_{1/3C6}$, $C_{0.2C6}$ 。

8. 根据权利要求 1 所述的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法,其特征在于:步骤二中对宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量进行估计:

$$\text{SOC} = \left(\text{SOC}_{\text{ini}} - \frac{C_{\text{dis}}}{C_{\text{ava},I,T}} \right) * 100 = \left(\text{SOC}_{\text{ini}} - \frac{C_{\text{dis}}}{k(T)I^{(1-n(T))}} \right) * 100 \quad (5)$$

其中,

$$k(T) = a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0 \quad (6)$$

$$n(T) = b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0 \quad (7)$$

宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及能量型锂离子电池剩余电量估计领域。

背景技术

[0002] 电池剩余电量的研究主要考虑常温条件下的应用,对不同温度环境下的电池剩余电量估计研究较少。传统的 Peukert 方程是估计电池剩余电量的一种方法,但也未充分考虑温度影响。

[0003] 电池可用容量的估计,最著名方法是 1897 年 Peukert 提出的 Peukert 方程,该方程描述了电池可用容量与放电电流的关系,并得到了较广泛的接受,该公式为:

$$[0004] \quad C_{\text{ava}, I} = K * I^{(1-n)}$$

[0005] 其中, K 和 n 为常数,称为 Peukert 系数 K 和 n。

[0006] 但该公式未考虑温度在可用容量估计中的作用。

发明内容

[0007] 本发明是要解决现有电池剩余电量估计方法未考虑温度对电池剩余电量的影响的问题,而提供了宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法。

[0008] 宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法按以下步骤实现:

[0009] 一、将锂离子电池在 $T1 = 35^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C1} , $C_{0.8C1}$, $C_{0.6C1}$, $C_{0.5C1}$, $C_{1/3C1}$, $C_{0.2C1}$;

[0010] 将锂离子电池在 $T2 = 25^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C2} , $C_{0.8C2}$, $C_{0.6C2}$, $C_{0.5C2}$, $C_{1/3C2}$, $C_{0.2C2}$;

[0011] 将锂离子电池在 $T3 = 10^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C3} , $C_{0.8C3}$, $C_{0.6C3}$, $C_{0.5C3}$, $C_{1/3C3}$, $C_{0.2C3}$;

[0012] 将锂离子电池在 $T4 = 0^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C4} , $C_{0.8C4}$, $C_{0.6C4}$, $C_{0.5C4}$, $C_{1/3C4}$, $C_{0.2C4}$;

[0013] 将锂离子电池在 $T5 = -10^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C5} , $C_{0.8C5}$, $C_{0.6C5}$, $C_{0.5C5}$, $C_{1/3C5}$, $C_{0.2C5}$;

[0014] 将锂离子电池在 $T6 = -15^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验,得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电容量,分别记为 C_{1C6} , $C_{0.8C6}$, $C_{0.6C6}$, $C_{0.5C6}$, $C_{1/3C6}$, $C_{0.2C6}$;

[0015] 二、选择 1C 倍率为最高放电电流,0.2C 倍率为最低放电电流;

[0016] 以 I_{1C1} , $I_{0.2C1}$, C_{1C1} 和 $C_{0.2C1}$ 为计算数据, 得到在 $T1 = 35^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k1$ 和 $n1$;

[0017] 以 I_{1C2} , $I_{0.2C2}$, C_{1C2} 和 $C_{0.2C2}$ 为计算数据, 得到在 $T2 = 25^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k2$ 和 $n2$;

[0018] 以 I_{1C3} , $I_{0.2C3}$, C_{1C3} 和 $C_{0.2C3}$ 为计算数据, 得到在 $T3 = 10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k3$ 和 $n3$;

[0019] 以 I_{1C4} , $I_{0.2C4}$, C_{1C4} 和 $C_{0.2C4}$ 为计算数据, 得到在 $T4 = 0^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k4$ 和 $n4$;

[0020] 以 I_{1C5} , $I_{0.2C5}$, C_{1C5} 和 $C_{0.2C5}$ 为计算数据, 得到在 $T5 = -10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k5$ 和 $n5$;

[0021] 以 I_{1C6} , $I_{0.2C6}$, C_{1C6} 和 $C_{0.2C6}$ 为计算数据, 得到在 $T6 = -15^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 $k6$ 和 $n6$;

[0022] 三、以 T 为横轴, 以 k 轴为纵轴, 对六点 $(T1, k_1)$ 、 $(T2, k_2)$ 、 $(T3, k_3)$ 、 $(T4, k_4)$ 、 $(T5, k_5)$ 和 $(T6, k_6)$ 进行曲线拟合, 并使用最小二乘法, 得到以 T 为自变量, 以 k 为因变量的拟合公式,

$$[0023] \quad k(T) = a_4T^4 + a_3T^3 + a_2T^2 + a_1T + a_0 \quad (1)$$

[0024] 四、以 T 为横轴, 以 n 轴为纵轴, 对六点 $(T1, n_1)$ 、 $(T2, n_2)$ 、 $(T3, n_3)$ 、 $(T4, n_4)$ 、 $(T5, n_5)$ 和 $(T6, n_6)$ 进行曲线拟合, 并使用最小二乘法, 得到以 T 为自变量, 以 n 为因变量的拟合公式,

$$[0025] \quad n(T) = b_4T^4 + b_3T^3 + b_2T^2 + b_1T + b_0 \quad (2)$$

[0026] 五、可用容量公式为:

$$[0027] \quad C_{ava, I, T} = k(T)I^{(1-n(T))} = (a_4T^4 + a_3T^3 + a_2T^2 + a_1T + a_0) * I^{(1-(b_4T^4 + b_3T^3 + b_2T^2 + b_1T + b_0))},$$

$$I \subseteq [I_{0.2C}, I_{1C}A]$$

(3)

[0028] 六、将 $C_{ava, I, T}$ 带入电池剩余电量公式 (4) 对宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量进行估计:

$$[0029] \quad SOC = (SOC_{ini} - \frac{C_{dis}}{C_{ava}}) * 100 \quad (4)$$

[0030] 其中, SOC_{mi} 为初始 SOC, C_{dis} 为放电容量, C_{ava} 为可用容量。

[0031] 本发明效果:

[0032] 本发明在不同温度条件下, 针对能量型锂离子电池, 进行不同倍率下的放电实验, 建立和推倒考虑温度的 Peukert 方程, 从而估计不同温度环境下电池的可用容量, 建立宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法, 从而估计宽温度环境下的电池剩余电量。本发明实现了宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计。

附图说明

[0033] 图 1 是本发明流程图。

具体实施方式

[0034] 具体实施方式一：本实施方式的宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法按以下步骤实现：

[0035] 一、将锂离子电池在 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C1} ， $C_{0.8C1}$ ， $C_{0.6C1}$ ， $C_{0.5C1}$ ， $C_{1/3C1}$ ， $C_{0.2C1}$ ；

[0036] 将锂离子电池在 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C2} ， $C_{0.8C2}$ ， $C_{0.6C2}$ ， $C_{0.5C2}$ ， $C_{1/3C2}$ ， $C_{0.2C2}$ ；

[0037] 将锂离子电池在 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C3} ， $C_{0.8C3}$ ， $C_{0.6C3}$ ， $C_{0.5C3}$ ， $C_{1/3C3}$ ， $C_{0.2C3}$ ；

[0038] 将锂离子电池在 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C4} ， $C_{0.8C4}$ ， $C_{0.6C4}$ ， $C_{0.5C4}$ ， $C_{1/3C4}$ ， $C_{0.2C4}$ ；

[0039] 将锂离子电池在 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C5} ， $C_{0.8C5}$ ， $C_{0.6C5}$ ， $C_{0.5C5}$ ， $C_{1/3C5}$ ， $C_{0.2C5}$ ；

[0040] 将锂离子电池在 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 的温度条件下，进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验，得到锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量，分别记为 C_{1C6} ， $C_{0.8C6}$ ， $C_{0.6C6}$ ， $C_{0.5C6}$ ， $C_{1/3C6}$ ， $C_{0.2C6}$ ；

[0041] 二、选择 1C 倍率为最高放电电流，0.2C 倍率为最低放电电流：

[0042] 以 I_{1C1} ， $I_{0.2C1}$ ， C_{1C1} 和 $C_{0.2C1}$ 为计算数据，得到在 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数为 k_1 和 n_1 ；

[0043] 以 I_{1C2} ， $I_{0.2C2}$ ， C_{1C2} 和 $C_{0.2C2}$ 为计算数据，得到在 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_2 和 n_2 ；

[0044] 以 I_{1C3} ， $I_{0.2C3}$ ， C_{1C3} 和 $C_{0.2C3}$ 为计算数据，得到在 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_3 和 n_3 ；

[0045] 以 I_{1C4} ， $I_{0.2C4}$ ， C_{1C4} 和 $C_{0.2C4}$ 为计算数据，得到在 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_4 和 n_4 ；

[0046] 以 I_{1C5} ， $I_{0.2C5}$ ， C_{1C5} 和 $C_{0.2C5}$ 为计算数据，得到在 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_5 和 n_5 ；

[0047] 以 I_{1C6} ， $I_{0.2C6}$ ， C_{1C6} 和 $C_{0.2C6}$ 为计算数据，得到在 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 温度条件的 Peukert 系数 k_6 和 n_6 ；

[0048] 三、以 T 为横轴，以 k 轴为纵轴，对六点 (T_1, k_1) 、 (T_2, k_2) 、 (T_3, k_3) 、 (T_4, k_4) 、 (T_5, k_5) 和 (T_6, k_6) 进行曲线拟合，并使用最小二乘法，得到以 T 为自变量，以 k 为因变量的拟合公式，

$$k(T) = a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0 \quad (1)$$

[0050] 四、以 T 为横轴，以 n 轴为纵轴，对六点 (T_1, n_1) 、 (T_2, n_2) 、 (T_3, n_3) 、 (T_4, n_4) 、 $(T_5,$

n_5) 和 (T_6, n_6) 进行曲线拟合, 并使用最小二乘法, 得到以 T 为自变量, 以 n 为因变量的拟合公式,

$$[0051] \quad n(T) = b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0 \quad (2)$$

[0052] 五、可用容量公式为：

$$[0053] \quad C_{ava, I, T} = k(T) I^{(1-n(T))} = (a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0) * I^{(1-(b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0))},$$

$I \subseteq [I_{0.2C}, A, I_{1C}, A]$

[0054] (3) 六、将 $C_{ava, I, T}$ 带入电池剩余电量公式 (4) 对宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量进行估计：

$$[0055] \quad SOC = (SOC_{ini} - \frac{C_{dis}}{C_{ava}}) * 100 \quad (4)$$

[0056] 其中, SOC_{mi} 为初始 SOC, C_{dis} 为放电容量, C_{ava} 为可用容量。

[0057] 本实施方式效果：

[0058] 本实施方式在不同温度条件下, 针对能量型锂离子电池, 进行不同倍率下的放电实验, 建立和推倒考虑温度的 Peukert 方程, 从而估计不同温度环境下电池的可用容量, 建立宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计方法, 从而估计宽温度环境下的电池剩余电量。本实施方式实现了宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量估计。

[0059] 具体实施方式二：本实施方式与具体实施方式一不同的是：步骤一中将锂离子电池在 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 的温度条件下, 进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为：

[0060] 步骤 1：在常温条件下, 对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电, 至电量充满状态；

[0061] 步骤 2：将锂离子电池放置温度设定为 $T_1 = 35^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时；

[0062] 步骤 3：然后进行放电, 放电至截止电压, 并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量, 分别记为 C_{1C1} , $C_{0.8C1}$, $C_{0.6C1}$, $C_{0.5C1}$, $C_{1/3C1}$, $C_{0.2C1}$ 。

[0063] 其它步骤及参数与具体实施方式一相同。

[0064] 具体实施方式三：本实施方式与具体实施方式一或二不同的是：步骤一中将锂离子电池在 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 的温度条件下, 进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为：

[0065] 步骤 1：在常温条件下, 对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电, 至电量充满状态；

[0066] 步骤 2：将锂离子电池放置温度设定为 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时；

[0067] 步骤 3：然后进行放电, 放电至截止电压, 并分别记录锂离子电池在 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的的放电容量, 分别记为 C_{1C2} , $C_{0.8C2}$, $C_{0.6C2}$, $C_{0.5C2}$, $C_{1/3C2}$, $C_{0.2C2}$ 。

[0068] 其它步骤参数与具体实施方式一或二相同。

[0069] 具体实施方式四：本实施方式与具体实施方式一至三之一不同的是：步骤一中将锂离子电池在 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 的温度条件下, 进行 1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C 和 0.2C 六个倍率的放电试验具体为：

[0070] 步骤 1：在常温条件下, 对锂离子电池以 1/3C 倍率进行充电, 至电量充满状态；

[0071] 步骤 2：将锂离子电池放置温度设定为 $T_3 = 10^\circ\text{C}$ 的恒温箱 12 小时；

[0072] 步骤3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C3} , $C_{0.8C3}$, $C_{0.6C3}$, $C_{0.5C3}$, $C_{1/3C3}$, $C_{0.2C3}$ 。

[0073] 其它步骤及参数与具体实施方式一至四之一相同。

[0074] 具体实施方式五:本实施方式与具体实施方式一至四之一不同的是步骤一中将锂离子电池在 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的放电试验具体为:

[0075] 步骤1:在常温条件下,对锂离子电池以1/3C倍率进行充电,至电量充满状态;

[0076] 步骤2:将锂离子电池放置温度设定为 $T_4 = 0^\circ\text{C}$ 的恒温箱12小时;

[0077] 步骤3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C4} , $C_{0.8C4}$, $C_{0.6C4}$, $C_{0.5C4}$, $C_{1/3C4}$, $C_{0.2C4}$ 。

[0078] 其它步骤及参数与具体实施方式一至五之一相同。

[0079] 具体实施方式六:本实施方式与具体实施方式一至五之一不同的是步骤一中将锂离子电池在 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的放电试验具体为:

[0080] 步骤1:在常温条件下,对锂离子电池以1/3C倍率进行充电,至电量充满状态;

[0081] 步骤2:将锂离子电池放置温度设定为 $T_5 = -10^\circ\text{C}$ 的恒温箱12小时;

[0082] 步骤3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C5} , $C_{0.8C5}$, $C_{0.6C5}$, $C_{0.5C5}$, $C_{1/3C5}$, $C_{0.2C5}$ 。

[0083] 其它步骤及参数与具体实施方式一至五之一相同。

[0084] 具体实施方式七:本实施方式与具体实施方式一至六之一不同的是:步骤一中将锂离子电池在 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 的温度条件下,进行1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的放电试验具体为:

[0085] 步骤1:在常温条件下,对锂离子电池以1/3C倍率进行充电,至电量充满状态;

[0086] 步骤2:将锂离子电池放置温度设定为 $T_6 = -15^\circ\text{C}$ 的恒温箱12小时;

[0087] 步骤3:然后进行放电,放电至截止电压,并分别记录锂离子电池在1C、0.8C、0.6C、0.5C、1/3C和0.2C六个倍率的的放电容量,分别记为 C_{1C6} , $C_{0.8C6}$, $C_{0.6C6}$, $C_{0.5C6}$, $C_{1/3C6}$, $C_{0.2C6}$ 。

[0088] 其它步骤及参数与具体实施方式一至六之一相同。

[0089] 具体实施方式八:本实施方式与具体实施方式一至七之一不同的是:步骤二中对宽温度环境下的能量型锂离子电池剩余电量进行估计:

$$[0090] \quad \text{SOC} = (\text{SOC}_{\text{ini}} - \frac{C_{\text{dis}}}{C_{\text{ava},IT}}) * 100 = (\text{SOC}_{\text{ini}} - \frac{C_{\text{dis}}}{k(T)I^{(1-n(T))}}) * 100 \quad (5)$$

[0091] 其中,

$$[0092] \quad k(T) = a_4 T^4 + a_3 T^3 + a_2 T^2 + a_1 T + a_0 \quad (6)$$

$$[0093] \quad n(T) = b_4 T^4 + b_3 T^3 + b_2 T^2 + b_1 T + b_0 \quad (7)。$$

[0094] 其它步骤及参数与具体实施方式一至七之一相同。

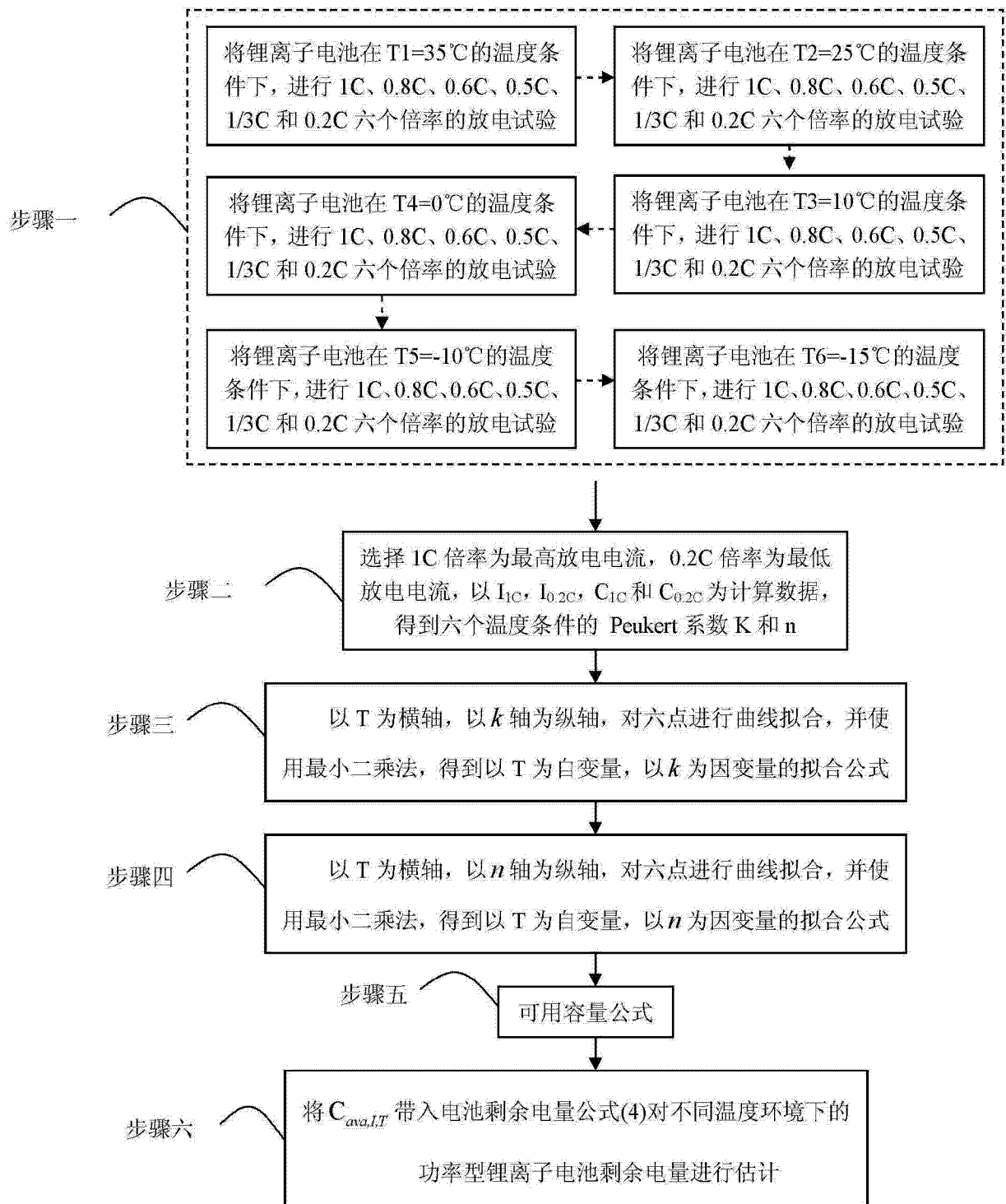


图 1