



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104409788 B

(45) 授权公告日 2016.06.29

(21) 申请号 201410680901.X

(22) 申请日 2014.11.24

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 朱春波 孙金磊 杨鹏 胡宸

宋凯 魏国 逯仁贵

(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 杨立超

(51) Int. Cl.

H01M 10/44(2006.01)

审查员 郑雨

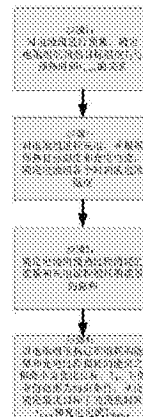
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法

(57) 摘要

一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,涉及一种电池组充电方法。本发明的目的是对电池组低温环境下充电过程中的预热过程的能量消耗和充电过程的能量损耗进行最优化。技术要点:在低温环境下通过对电池组进行预加热,使电池组充电性能得到恢复。然后以电池预加热目标温度和电池充电电流为求解量,根据在电池厂商提供的充电电流及工作温度范围内,以预热、充电过程中能量消耗最小为目标确定,利用现代数据优化算法确定预加热目标温度和电池组恒流充电电流。该方法可以有效提升电池组低温运行能力。



1.一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,其特征在于:所述方法的实现过程为:

步骤一、对电池组进行预热,确定电池组的预热目标温度 T_1 与预热时间 t_{heat} 的关系:

考虑预热能量一部分用于加热电池组,另一部分传递给空气,给出电池组预热阶段的能量平衡方程为:

$$Pdt_{\text{heat}} = nC_{\text{battery}}m_{\text{battery}}dT + C_{\text{air}}m_{\text{air}}dT \quad (1-1)$$

其中 P 为对电池组进行预热的功率, n 为电池组中电池个数, C_{battery} 为单体电池的比热容, m_{battery} 为单体电池的质量, T 为电池温度, C_{air} 为空气比热容, m_{air} 为电池箱中空气的质量,上述参数均可测量,为已知参数;

根据上述已知参数计算得到用于加热电池组预热消耗的能量占总预热能量比例 μ 为:

$$\mu = nC_{\text{battery}}m_{\text{battery}}(T_1 - T_0) / Pt_{\text{heat}} \quad (1-2)$$

上式(1-2)简化为:

$$T_1 = F_1(t_{\text{heat}}) \quad (1-3)$$

根据实际需求或电池厂家提供的电池推荐工作温度对预热目标温度 T_1 进行如下限定:

$$T_{1\text{min}} \leq T_1 \leq T_{1\text{max}} \quad (1-4)$$

为使电池组的充电性能得到一定程度的恢复,对预热时间 t_{heat} 进行如下限定,

$$t_{\text{heat}} \geq t_{\text{min}} \quad (1-5)$$

步骤二、对电池组进行充电,并根据预热目标温度 T_1 和充电电流,确定电池组各个时刻的电池温度:

在将电池箱中电池组预热到一定温度 T_1 后,对电池组进行充电,在充电过程中,在使用不同的充电电流时,充电所消耗的时间不同;根据电池热平衡方程以及生热、散热方程获得电池在充电过程中 t_{charge} 时间内,充电电流 I_{CHARGE} 下充电结束时的温度;

其中对于电池组单体有热平衡方程:

$$mC_p \frac{dT}{dt} = H_t^{\text{in}} - H_t^{\text{out}} \quad (1-6)$$

其中 m 是单体质量, C_p 是电池热容量, T 为电池某一时刻 t 的温度, H_t^{in} 代表电池生热, H_t^{out} 代表电池散热;

其中单体电池的生热方程为:

$$H_t^{\text{in}} = \eta_t I_{\text{CHARGE}} - \frac{I_{\text{CHARGE}} T \Delta S}{nF} \quad (1-7)$$

在生热方程中 η_t 为过电势,即 t 时刻电池端电压与开路电压的差值,其与电池的充放电电流和电池剩余电量SOC有关,即

$$\eta_t = F(\text{SOC}, I_{\text{charge}}) \quad (1-8)$$

其中 ΔS 为化学反应中的熵变, n 为参与化学反应的电子数量, F 为法拉第常数;

用等式

$$\Delta S = nF \left(\frac{\partial \text{OCV}}{\partial T} \right)_{\text{SOC}, P} \quad (1-9)$$

式(1-9)中SOC代表电池剩余电量, P 代表当前环境下的压强,表明熵变与电池开路电压

OCV对温度T的导数的关系,根据实验确定式(1-7)中的 $\frac{\Delta S}{nF}$;

$$\frac{\Delta S}{nF} = \left(\frac{\partial OCV}{\partial T} \right)_{SOC,P} = F(SOC) \quad (1-10)$$

单体电池的散热方程表示为:

$$H_i^{out} = hA(T - T_a) \quad (1-11)$$

在散热方程中h代表传热系数,A为单体表面面积, T_a 为环境温度,均为已知参数;

根据6个方程(1-6)-(1-11)可求解在电流 I_{charge} 充电过程中任意单体在任意时刻的温度为:

$$T = f(I_{charge}, t_{charge}, SOC, T_1) \quad (1-12)$$

其中:

$$SOC * C_{battery} = SOC_0 * C_{battery} + I_{charge} * t_{charge} \quad (1-13)$$

式中, SOC_0 是充电时的初始电池组电量

认为充电的最终状态为电池组最终达到充满,此时电池组 $SOC = 100\%$;

即式(1-12)表示为:

$$T = f(I_{charge}, t_{heat}) \quad (1-14)$$

根据电池手册或使用说明书,会对电池充电电流以及电池工作最大温度进行如下限定:

$$I_{min} \leq I_{charge} \leq I_{max} \quad (1-15)$$

$$T_2 \leq T_{max} \quad (1-16)$$

步骤三、确定电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量的总和:

根据以上所示在选取不同的充电电流 I_{charge} 时,电池充满所需要的充电时间 t_{charge} 也不同,整个预热充电环节消耗的总时间为:

$$t_{total} = t_{heat} + t_{charge} \quad (1-17)$$

根据式(1-13)可得上式的简化公式:

$$t_{total} = t_{heat} + \frac{(1 - SOC) * C_{battery}}{I_{charge}} = G(t_{heat}, I_{charge}) \quad (1-18)$$

对于预热环节,其能量损耗为:

$$W_{heat} = P * t_{heat} = H_1(t_{heat}) \quad (1-19)$$

对于充电环节,其过程中的能量损耗为:

$$W_{charge} = \int_0^{t_{charge}} I_{charge} * \eta dt = H_2(I_{charge}, SOC, t_{charge}) = H_3(I_{charge}) \quad (1-20)$$

则整个预热充电环节的能量损耗总和为:

$$W_{total} = W_{heat} + W_{charge} = H(I_{charge}, t_{heat}) \quad (1-21)$$

步骤四、以电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量之和最小为优化目标, T_1 、 T_2 的取值范围为约束条件,从而确定最优目标下的预热时间 t_{heat} 和充电电流 I_{charge} :

整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 和预热充电时间 t_{total} 均与电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 有关,可由公式(1-4),(1-5),(1-15),(1-16)确定电池

组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值范围:

$$t_{\text{heat}} \in U_1$$

$$I_{\text{charge}} \in U_2 \quad (1-22)$$

U_1 、 U_2 的范围为已知,利用优化算法确定整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 最小时的电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值。

2.根据权利要求1所述的一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,其特征在于:在步骤一中, t_{min} 的取值范围为 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 。

3.根据权利要求1或2所述的一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,其特征在于:在步骤四中,所述优化算法为最小二乘法、神经网络、遗传算法或粒子群优化。

一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电池组充电方法。

背景技术

[0002] 在低温环境下,电池组的充电性能会下降,影响电池组的低温运行能力,当温度过低时,甚至无法进行充电。因此在低温环境下往往需要对电池组进行预加热,使电池组充电性能得到恢复。现有技术对低温环境的电池组进行充电时,没有考虑预热充电过程中能量损耗和整个预热充电过程的时间消耗,所以没有对预热充电过程中的消耗能量和消耗时间进行控制,没有实现损耗最优化管理控制,导致容易出现电池组中的某个单体过温,产生充电过程中热失控,严重地影响了整个电池组的使用使命。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,以对电池组低温环境下充电过程中的预热过程的能量消耗和充电过程的能量损耗进行最优化。

[0004] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是:

[0005] 一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,所述方法的实现过程为:

[0006] 步骤一、对电池组进行预热,确定电池组的预热目标温度 T_1 与预热时间 t_{heat} 的关系:

[0007] 考虑预热能量一部分用于加热电池组,另一部分传递给空气,给出电池组预热阶段的能量平衡方程为:

$$[0008] \quad Pdt_{\text{heat}} = nC_{\text{battery}}m_{\text{battery}}dT + C_{\text{air}}m_{\text{air}}dT \quad (1-1)$$

[0009] 其中 P 为对电池组进行预热的功率, n 为电池组中电池个数, C_{battery} 为单体电池的比热容, m_{battery} 为单体电池的质量, T 为电池温度, C_{air} 为空气比热容, m_{air} 为电池箱中空气的质量,上述参数均可测量,为已知参数;

[0010] 根据上述已知参数计算得到用于加热电池组预热消耗的能量占总预热能量比例 μ 为:

$$[0011] \quad \mu = nC_{\text{battery}}m_{\text{battery}}(T_1 - T_0) / Pt_{\text{heat}} \quad (1-2)$$

[0012] 上式(1-2)简化为:

$$[0013] \quad T_1 = F_1(t_{\text{heat}}) \quad (1-3)$$

[0014] 根据实际需求或电池厂家提供的电池推荐工作温度对预热目标温度 T_1 进行如下限定:

$$[0015] \quad T_{1\text{min}} \leq T_1 \leq T_{1\text{max}} \quad (1-4)$$

[0016] 为使电池组的充电性能得到一定程度的恢复,对预热时间 t_{heat} 进行如下限定,

$$[0017] \quad t_{\text{heat}} \geq t_{\text{min}} \quad (1-5)$$

[0018] 步骤二、对电池组进行充电,并根据预热目标温度 T_1 和充电电流,确定电池组各个时刻的电池温度:

[0019] 在将电池箱中电池组预热到一定温度 T_1 后,对电池组进行充电,在充电过程中,在使用不同的充电电流时,充电所消耗的时间不同,充电过程中由于电池内阻的存在将引起温度的上升;

[0020] 根据电池热平衡方程以及生热、散热方程获得电池在充电过程中 t_{charge} 时间内,充电电流 I_{CHARGE} 下充电结束时的温度;

[0021] 其中对于电池组单体有热平衡方程:

$$[0022] \quad mC_p \frac{dT}{dt} = H_i^m - H_i^{\text{out}} \quad (1-6)$$

[0023] 其中 m 是单体质量, C_p 是电池热容量, T 为电池某一时刻 t 的温度, H_i^m 代表电池生热, H_i^{out} 代表电池散热;

[0024] 其中单体电池的生热方程为:

$$[0025] \quad H_i^m = \eta_t I_{\text{CHARGE}} - \frac{I_{\text{CHARGE}} T \Delta S}{nF} \quad (1-7)$$

[0026] 在生热方程中 η_t 为过电势,即 t 时刻电池端电压与开路电压的差值,其与电池的充放电电流和电池剩余电量SOC有关,即

$$[0027] \quad \eta_t = F(\text{SOC}, I_{\text{charge}}) \quad (1-8)$$

[0028] 其中 ΔS 为化学反应中的熵变, n 为参与化学反应的电子数量, F 为法拉第常数;

[0029] 用等式

$$[0030] \quad \Delta S = nF \left(\frac{\partial \text{OCV}}{\partial T} \right)_{\text{SOC}, P} \quad (1-9)$$

[0031] 式1-9中SOC代表电池剩余电量, P 代表当前环境下的压强,表明熵变与电池开路电压OCV对温度 T 的导数的关系,根据实验确定式(1-7)中的 $\frac{\Delta S}{nF}$:

$$[0032] \quad \frac{\Delta S}{nF} = \left(\frac{\partial \text{OCV}}{\partial T} \right)_{\text{SOC}, P} = F(\text{SOC}) \quad (1-10)$$

[0033] 单体电池的散热方程表示为:

$$[0034] \quad H_i^{\text{out}} = hA(T - T_a) \quad (1-11)$$

[0035] 在散热方程中 h 代表传热系数, A 为单体表面面积, T_a 为环境温度,均为已知参数;

[0036] 根据6个方程(1-6)-(1-11)可求解在电流 I_{charge} 充电过程中任意单体在任意时刻的温度为:

$$[0037] \quad T = f(I_{\text{charge}}, t_{\text{charge}}, \text{SOC}, T_1) \quad (1-12)$$

[0038] t_{charge} 是充电时间,与前面 t 时刻含义不同;前面的 t 时刻可以理解为 t_{charge} 时间段内的某一时刻;

[0039] 其中:

$$[0040] \quad \text{SOC} * C_{\text{battery}} = \text{SOC}_0 * C_{\text{battery}} + I_{\text{charge}} * t_{\text{charge}} \quad (1-13)$$

[0041] 式中, SOC_0 是充电时的初始电池组电量

[0042] 这里认为充电的最终状态为电池组最终达到充满,此时电池组 $\text{SOC} = 100\%$;

[0043] 即式(1-12)表示为:

[0044] $T=f(I_{\text{charge}}, t_{\text{heat}})$ (1-14)

[0045] 根据电池手册或使用说明书,会对电池充电电流以及电池工作最大温度进行如下限定:

[0046] $I_{\text{min}} \leq I_{\text{charge}} \leq I_{\text{max}}$ (1-15)

[0047] $T_2 \leq T_{\text{max}}$ (1-16)

[0048] 步骤三、确定电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量的总和:

[0049] 根据以上所示在选取不同的充电电流 I_{charge} 时,电池充满所需要的充电时间 t_{charge} 也不同,整个预热充电环节消耗的总时间为:

[0050] $t_{\text{total}} = t_{\text{heat}} + t_{\text{charge}}$ (1-17)

[0051] 根据式(1-13)可得上式的简化公式:

[0052] $t_{\text{total}} = t_{\text{heat}} + \frac{(1-\text{SOC}) * C_{\text{battery}}}{I_{\text{charge}}} = G(I_{\text{heat}}, I_{\text{charge}})$ (1-18)

[0053] 对于预热环节,其能量损耗为:

[0054] $W_{\text{heat}} = P * t_{\text{heat}} = H_1(t_{\text{heat}})$ (1-19)

[0055] 对于充电环节,其过程中的能量损耗为:

[0056] $W_{\text{charge}} = \int_0^{t_{\text{charge}}} I_{\text{charge}} * \eta dt = H_2(I_{\text{charge}}, \text{SOC}, t_{\text{charge}}) = H_3(I_{\text{charge}})$ (1-20)

[0057] 则整个预热充电环节的能量损耗总和为:

[0058] $W_{\text{total}} = W_{\text{heat}} + W_{\text{charge}} = H(I_{\text{charge}}, t_{\text{heat}})$ (1-21)

[0059] 步骤四、以电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量之和最小为优化目标, T_1 、 T_2 的取值范围为约束条件,从而确定最优目标下的预热时间 t_{heat} 和充电电流 I_{charge} :

[0060] 整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 和预热充电时间 t_{total} 均与电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 有关,可由公式(1-4), (1-5), (1-15), (1-16) 确定电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值范围:

[0061] $t_{\text{heat}} \in U_1$

[0062] (1-22)

[0063] $I_{\text{charge}} \in U_2$

[0064] U_1 、 U_2 的范围在前文已给出,在这个取值范围内,利用优化算法确定整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 最小时的电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值。

[0065] 本发明的有益效果是:

[0066] 本发明提供考虑电池热管理系统预热充电过程中能量损耗和整个预热充电过程消耗时间下的充电策略。通过调整预热过程中的加热时间和充电过程中的充电电流大小实现对预热充电过程中的消耗能量和消耗时间的控制,为电池热管理系统设计提供参考。在低温环境下通过对电池组进行预加热,使电池组充电性能得到恢复。然后以电池预加热目标温度和电池充电电流为求解量,根据在电池厂商提供的充电电流及工作温度范围内,以预热、充电过程中能量消耗最小为目标确定,利用现代数据优化算法确定预加热目标温度和电池组恒流充电电流。该方法可以有效提升电池组低温运行能力。

[0067] 实验效果说明

[0068] 低温条件下由于电池内阻增大,电池充电过程中很快就超过了上限截止电压,而且在低温环境下对电池进行充电容易造成锂枝晶,刺穿电池隔膜造成内短路,对电池安全性造成严重威胁。对一个额定容量20Ah的磷酸铁锂电池进行不同温度和倍率下充电。由图4可以看出,在低温-30度环境下不同倍率充电容量最多也只有50%额定容量。利用本发明的方法对电池进行预加热后进行充电,当预热后的温度达到0度时就可以充入额定容量的80%以上,可以看出本发明的方法对于提升电池充电能力有提升作用。通过寻优算法,可以确定最优的预热时间和充电电流,使电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量之和最小,减少能耗的同时提升电池充电性能。

[0069] 本发明方法的有益效果具体如下:

[0070] 一、本发明提供了电池组在低温下预热充电的策略,该策略能够有效预测电池温度变化,消耗能量变化和消耗时间变化,简单实用,具有普遍适用性。

[0071] 二、本发明所提出电池组在低温下的预热充电策略,可以保证单体不过温的同时,对整个过程的消耗能量和消耗时间进行控制。达到节约能耗的目的。

[0072] 三、本发明的充电电流是根据电池温度获得的,能够有效的防止充电过程中热失控的出现,起到保护作用。

附图说明

[0073] 图1是本发明的预热充电方法的流程框图;

[0074] 图2为电压与SOC关系曲线图(电池充电端电压与开路电压OCV对比);

[0075] 图3为开路电压随温度变化率与SOC关系曲线图,图中,纵坐标 $\Delta E/\Delta T$ 表示开路电压随温度的变化率;

[0076] 图4为度环境下不同倍率充电容量对比曲线图。

具体实施方式

[0077] 具体实施方式一:如图1~3所示,本实施方式所述的一种低温环境下充电损耗最优化电池组充电方法的实现过程为:

[0078] 一种低温环境下预热充电损耗最优化电池组充电方法,所述方法的实现过程为:

[0079] 步骤一、对电池组进行预热,确定电池组的预热目标温度 T_1 与预热时间 t_{heat} 的关系:

[0080] 考虑预热能量一部分用于加热电池组,另一部分传递给空气,给出电池组预热阶段的能量平衡方程为:

$$[0081] \quad P t_{\text{heat}} = n C_{\text{battery}} m_{\text{battery}} dT + C_{\text{air}} m_{\text{air}} dT \quad (1-1)$$

[0082] 其中 P 为对电池组进行预热的功率, n 为电池组中电池个数, C_{battery} 为单体电池的比热容, m_{battery} 为单体电池的质量, T 为电池温度, C_{air} 为空气比热容, m_{air} 为电池箱中空气的质量,上述参数均可测量,为已知参数;

[0083] 根据上述已知参数计算得到用于加热电池组预热消耗的能量占总预热能量比例 μ 为:

$$[0084] \quad \mu = n C_{\text{battery}} m_{\text{battery}} (T_1 - T_0) / P t_{\text{heat}} \quad (1-2)$$

[0085] 上式(1-2)简化为:

[0086] $T_1 = F_1(t_{\text{heat}})$ (1-3)

[0087] 根据实际需求或电池厂家提供的电池推荐工作温度对预热目标温度 T_1 进行如下限定：

[0088] $T_{1\min} \leq T_1 \leq T_{1\max}$ (1-4)

[0089] 为使电池组的充电性能得到一定程度的恢复，对预热时间 t_{heat} 进行如下限定，

[0090] $t_{\text{heat}} \geq t_{\min}$ (1-5)

[0091] t_{\min} 的取值范围一般为 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ ；

[0092] 步骤二、对电池组进行充电，并根据预热目标温度 T_1 和充电电流，确定电池组各个时刻的电池温度：

[0093] 在将电池箱中电池组预热到一定温度 T_1 后，对电池组进行充电，在充电过程中，在使用不同的充电电流时，充电所消耗的时间不同，充电过程中由于电池内阻的存在将引起温度的上升；

[0094] 根据电池热平衡方程以及生热、散热方程获得电池在充电过程中 t_{charge} 时间内，充电电流 I_{CHARGE} 下充电结束时的温度；

[0095] 其中对于电池组单体有热平衡方程：

[0096] $mC_p \frac{dT}{dt} = H_t^{\text{in}} - H_t^{\text{out}}$ (1-6)

[0097] 其中 m 是单体质量， C_p 是电池热容量， T 为电池某一时刻 t 的温度， H_t^{in} 代表电池生热， H_t^{out} 代表电池散热；

[0098] 其中单体电池的生热方程为：

[0099] $H_t^{\text{in}} = \eta_t I_{\text{CHARGE}} - \frac{I_{\text{CHARGE}} T \Delta S}{nF}$ (1-7)

[0100] 在生热方程中 η_t 为过电势，即 t 时刻电池端电压与开路电压的差值，其与电池的充放电电流和电池剩余电量SOC有关，即

[0101] $\eta_t = F(\text{SOC}, I_{\text{charge}})$ (1-8)

[0102] 其中 ΔS 为化学反应中的熵变， n 为参与化学反应的电子数量， F 为法拉第常数；

[0103] 用等式

[0104] $\Delta S = nF \left(\frac{\partial \text{OCV}}{\partial T} \right)_{\text{SOC}, P}$ (1-9)

[0105] 式1-9中SOC代表电池剩余电量， P 代表当前环境下的压强，表明熵变与电池开路电压OCV对温度 T 的导数的关系，根据实验确定式(1-7)中的 $\frac{\Delta S}{nF}$ ：

[0106] $\frac{\Delta S}{nF} = \left(\frac{\partial \text{OCV}}{\partial T} \right)_{\text{SOC}, P} = F(\text{SOC})$ (1-10)

[0107] 单体电池的散热方程表示为：

[0108] $H_t^{\text{out}} = hA(T - T_a)$ (1-11)

[0109] 在散热方程中 h 代表传热系数， A 为单体表面面积， T_a 为环境温度，均为已知参数；

[0110] 根据6个方程(1-6)-(1-11)可求解在电流 I_{charge} 充电过程中任意单体在任意时刻

的温度为：

$$[0111] \quad T = f(I_{\text{charge}}, t_{\text{charge}}, \text{SOC}, T_1) \quad (1-12)$$

[0112] t_{charge} 是充电时间,与前面 t 时刻含义不同;前面的 t 时刻可以理解为 t_{charge} 时间段内的某一时刻;

[0113] 其中:

$$[0114] \quad \text{SOC} * C_{\text{battery}} = \text{SOC}_0 * C_{\text{battery}} + I_{\text{charge}} * t_{\text{charge}} \quad (1-13)$$

[0115] 式中, SOC_0 是充电时的初始电池组电量,

[0116] 认为充电的最终状态为电池组最终达到充满,此时电池组 $\text{SOC} = 100\%$;

[0117] 即式(1-12)表示为:

$$[0118] \quad T = f(I_{\text{charge}}, t_{\text{heat}}) \quad (1-14)$$

[0119] 根据电池手册或使用说明书,会对电池充电电流以及电池工作最大温度进行如下限定:

$$[0120] \quad I_{\text{min}} \leq I_{\text{charge}} \leq I_{\text{max}} \quad (1-15)$$

$$[0121] \quad T_2 \leq T_{\text{max}} \quad (1-16)$$

[0122] 步骤三、确定电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量的总和:

[0123] 根据以上所示在选取不同的充电电流 I_{charge} 时,电池充满所需要的充电时间 t_{charge} 也不同,整个预热充电环节消耗的总时间为:

$$[0124] \quad t_{\text{total}} = t_{\text{heat}} + t_{\text{charge}} \quad (1-17)$$

[0125] 根据式(1-13)可得上式的简化公式:

$$[0126] \quad t_{\text{total}} = t_{\text{heat}} + \frac{(1 - \text{SOC}) * C_{\text{battery}}}{I_{\text{charge}}} = G(t_{\text{heat}}, I_{\text{charge}}) \quad (1-18)$$

[0127] 对于预热环节,其能量损耗为:

$$[0128] \quad W_{\text{heat}} = P * t_{\text{heat}} = H_1(t_{\text{heat}}) \quad (1-19)$$

[0129] 对于充电环节,其过程中的能量损耗为:

$$[0130] \quad W_{\text{charge}} = \int_0^{t_{\text{charge}}} I_{\text{charge}} * \eta \, dt = H_2(I_{\text{charge}}, \text{SOC}, t_{\text{charge}}) = H_3(I_{\text{charge}}) \quad (1-20)$$

[0131] 则整个预热充电环节的能量损耗总和为:

$$[0132] \quad W_{\text{total}} = W_{\text{heat}} + W_{\text{charge}} = H(I_{\text{charge}}, t_{\text{heat}}) \quad (1-21)$$

[0133] 步骤四、以电池组预热过程消耗的能量和充电过程损耗的能量之和最小为优化目标, T_1 、 T_2 的取值范围为约束条件,从而确定最优目标下的预热时间 t_{heat} 和充电电流 I_{charge} :

[0134] 整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 和预热充电时间 t_{total} 均与电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 有关,可由公式(1-4),(1-5),(1-15),(1-16)确定电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值范围:

$$[0135] \quad t_{\text{heat}} \in U_1$$

$$[0136] \quad (1-22)$$

$$[0137] \quad I_{\text{charge}} \in U_2$$

[0138] U_1 、 U_2 的范围在前文已给出,在这个取值范围内,利用优化算法确定整个电池组的预热充电损耗 W_{total} 最小时的电池组预热阶段消耗的时间 t_{heat} 和充电阶段的充电电流 I_{charge} 这两个变量的取值,所述优化算法为最小二乘法、神经网络、遗传算法或粒子群优化。

[0139] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

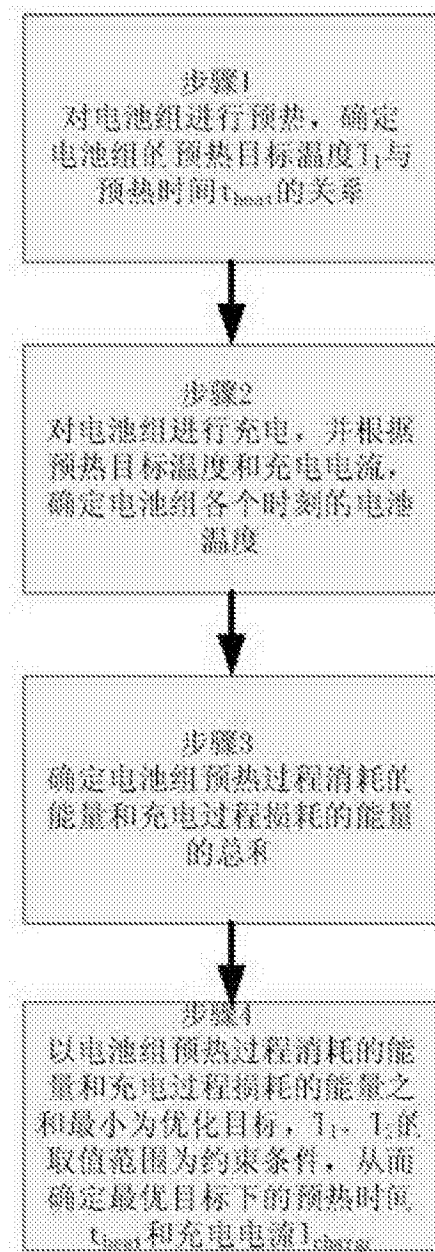


图1

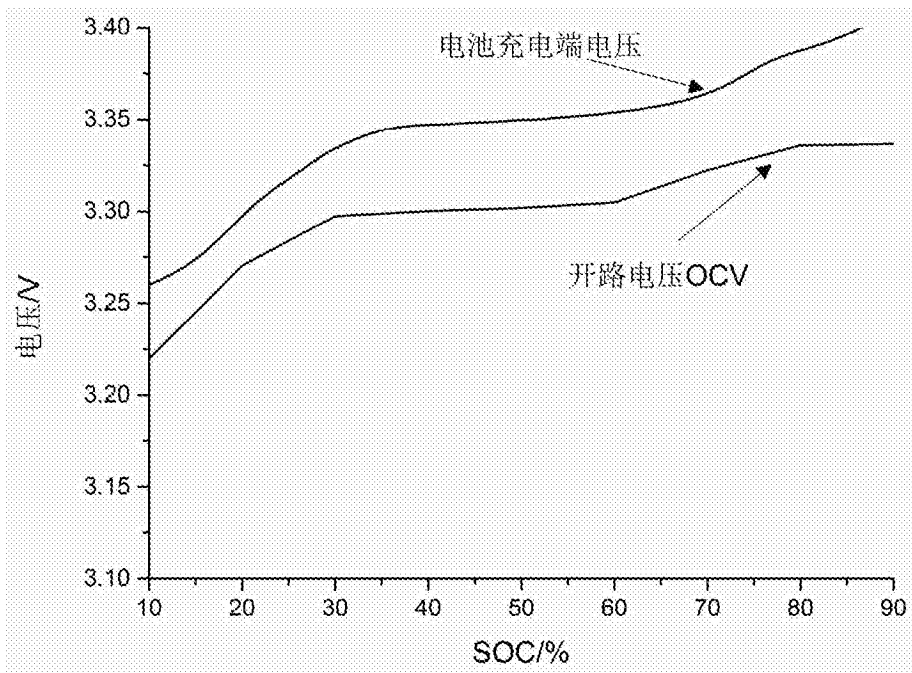


图2

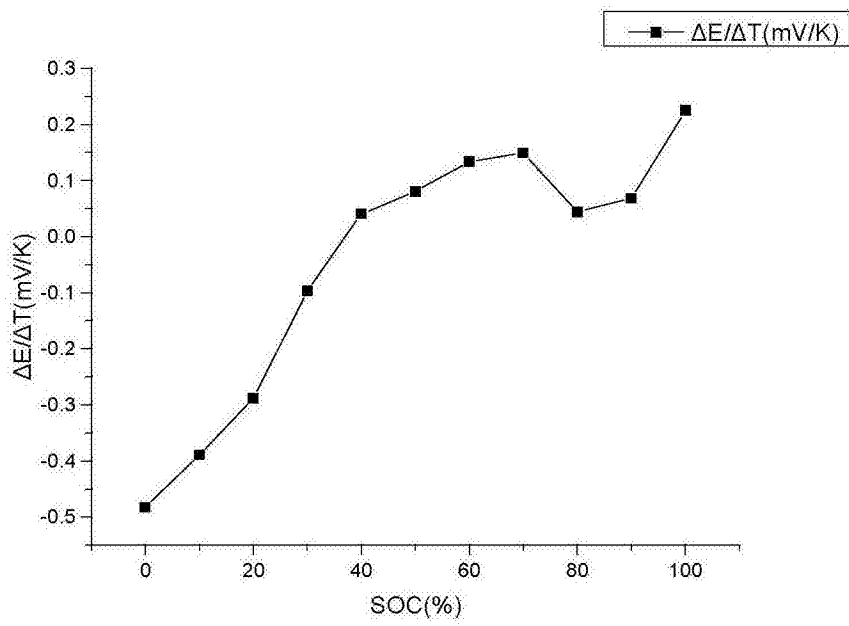


图3

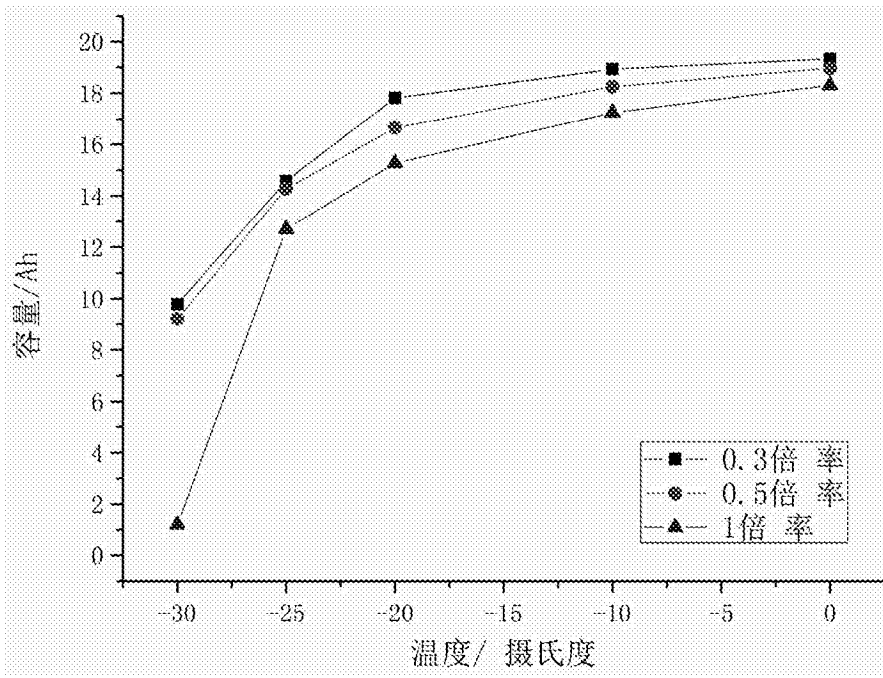


图4