



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114156552 B

(45) 授权公告日 2025. 03. 25

(21) 申请号 202111426927.8

H02J 7/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.11.28

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106329616 A, 2017.01.11

申请公布号 CN 114156552 A

CN 107134827 A, 2017.09.05

(43) 申请公布日 2022.03.08

审查员 李慧

(73) 专利权人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72) 发明人 孙金磊 仇胜世 陈赛汗 刘欣伟

吕凯 陈思文 王谱宇 郭春义

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

专利代理师 陈鹏

(51) Int. Cl.

H01M 10/42 (2006.01)

H01M 10/44 (2006.01)

权利要求书4页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种考虑老化的串联电池组的均衡控制策略

(57) 摘要

本发明公开了一种考虑老化的串联电池模块的均衡控制策略,包括区分电池组电量状态和均衡优化控制两个部分;该方法是为了改善串联电池组的电量不一致,提高电池组的可用容量。通过电池特性实验获取电池组单体的容量、SOC和内阻,比较电池组平均电量和单体最小容量,区分电池组的电量状态为第一类电量状态和第二类电量状态;对两类不同电量状态的电池模组提出不同的均衡目标和不同的优化目标,利用遗传算法对目标优化,从而达到电池模组可用容量提高的目的。



1. 一种考虑老化的串联电池组的均衡控制策略,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1、通过容量测试实验获得电池组内各个电池的容量,通过HPPC测试实验获得OCV-SOC曲线和内阻,通过查找OCV-SOC曲线获得各个电池的SOC;

步骤2、利用得到的电池状态信息,分析电池组当前的电量状态;对第一类电量状态的电池组采用损耗均衡方法,对第二类电量状态的电池组采用预测电量均衡方法;具体为:

根据电池组当前状态下各个单体的容量和SOC,获得当前电池组的平均电量;此时区分第一类电量状态和第二类电量状态的方法是比较电池组平均电量和电池组中最小容量电池单体的容量;当电池组平均电量小于等于最小容量,则将此时的电池组归类为第一类电量状态;如果大于,则归类为第二类电量状态;

具体公式表达为:

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i}{n} \leq \min C_j \\ \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i}{n} > \min C_j \end{cases} \quad (1)$$

其中,n是电池组含有的电池数量,C是电池单体容量,SOC是电池荷电状态,i、j表示某一个电池,minC_j表示电池组单体最小容量;

对第二类电量状态的电池组采用预测电量均衡方法,首先对电池组进行放电操作,当电池组的平均电量小于电池组中最小容量电池单体的容量的时候,开始均衡,具体的公式如下:

$$\frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i - i_{dis} t_{dis}}{n} \leq \min C_j \quad (2)$$

其中,i_{dis}是放电电流,t_{dis}是放电时间;

步骤3、对处于第一类电量状态的电池组列写均衡电量转移方程和均衡过程损耗计算公式;对处于第二类电量状态的电池组,确定均衡时间,列写均衡过程中的温升方程和转移电量方程;具体如下:

处于第一类电量状态的电池组均衡电量转移方程如下:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{1_cell} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_pack} - \dots - \Delta Q_{n_pack} &= \Delta Q_{1_bal} \\ -\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_cell} - \Delta Q_{3_pack} - \dots - \Delta Q_{n_pack} &= \Delta Q_{2_bal} \\ -\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_cell} - \dots - \Delta Q_{n_pack} &= \Delta Q_{3_bal} \\ &\vdots \\ -\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_pack} - \dots + \Delta Q_{n_cell} &= \Delta Q_{n_bal} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,ΔQ_{i_cell}代表电池组向第i个电池单体转移的电量,ΔQ_{i_pack}代表第i个电池给电池组中每个电池转移的电量,ΔQ_{i_bal}代表第i个电池均衡时需要的转移电量;

处于第一类电量状态的电池组均衡过程损耗计算公式如下:

$$Q_{j_loss} = \begin{cases} (1-\eta_1)|Q_{j_bal}| & Q_{j_bal} < 0 \\ (\frac{1}{\eta_2}-1)Q_{j_bal} & Q_{j_bal} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_{loss_all} = \sum_{j=1}^n Q_{j_loss}$$

其中, Q_{j_loss} 表示第j节电池均衡时的电量损耗, Q_{loss_all} 表示整个均衡过程中的总电量损耗, η_1 表示电量从电池单体向电池组转移的效率, η_2 表示电量从电池组向电池单体转移的效率;

处于第二类电量状态的电池组温升计算方法如下:

采用Rint模型, 锂离子电池端电压方程为:

$$U_t = E + IR \quad (5)$$

其中 U_t 为电池端电压, E 为电池开路电压, I 为均衡电流, R 为步骤1中获得的电池欧姆内阻;

第k次均衡阶段的温升为:

$$mC\Delta T_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} I_k^2 R dt + \int_{t_{k-1}}^{t_k} TI_k \frac{\partial E}{\partial T} dt - \int_{t_{k-1}}^{t_k} Sh(T - T_a) dt \quad (6)$$

其中 m 为电池质量, C 为电池热容量, T 为电池表面温度, h 为热传递系数, S 为电池表面积, T_a 为环境温度;

总温升:

$$T = T_1 + \sum_{k=2}^n \Delta T_k \quad (7)$$

其中 T_1 为第一次均衡的温升, ΔT_k 为第k次均衡温升;

处于第二类电量状态的电池组均衡过程的转移电量方程:

$$\Delta Q = \max(C_i \times SOC_i) - \min(C_i \times SOC_i) \quad (8)$$

其中 C_i 和 SOC_i 分别是电池的容量和荷电状态, i 表示某一个电池;

步骤4、利用遗传算法, 结合均衡限制因素, 对处于第一类电量状态的电池组以均衡后电量保持一致和均衡过程中损耗最小为目标进行优化, 确定均衡电量和均衡时间; 对处于第二类电量状态的电池组以每次均衡过程中温升越小和电池组电量差越小为目标对均衡电量进行优化, 确定每次均衡过程中的均衡电量; 具体如下:

对于处理处于第一类电量状态电池组均衡优化的目标函数:

$$J(x) = \min(Q_{loss_all}^2 + \frac{1}{n}(Q_i - \bar{Q})^2) \quad (9)$$

其中, Q_i 是均衡单体结束时的电量, \bar{Q} 是电池组内电池单体平均电量, Q_{loss_all} 表示整个均衡过程中的总电量损耗;

对于处理处于第二类电量状态电池组均衡优化的目标函数:

$$J(x) = \max(C_i \times SOC_i) - \min(C_i \times SOC_i) + \min T \quad (10)$$

其中, T 是均衡总温升;

适应度函数表达式:

$$F(x) = \frac{1}{J(x)} + \beta \times p(x) \quad (11)$$

其中 β 奖励因子, $p(x)$ 奖励函数;

使用遗传算法的具体步骤如下:

1) 创建初始种群;用实数编码法将SOC和均衡电量编码;

$$x = (\text{SOC}, Q) \quad (12)$$

2) 用适应度函数计算种群中每个个体的适应度;

3) 设计选择函数;选择适应度高的个体去繁衍下一代种群;选择函数如下:

$$P(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad (13)$$

4) 遗传算子的选择;交叉率表达式如下:

$$p_c = \begin{cases} p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f_{\max} - f_c')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{c1}, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (14)$$

其中 f_{\max} 是整个种群中的最大的适应度, f_{avg} 是整个种群中的适应度平均值, f_c' 是要交叉的个体的适应度;

变异率表达式如下:

$$p_m = \begin{cases} p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f_{\max} - f_m')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{m1}, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (15)$$

其中 f_{\max} 是整个种群中的最大的适应度, f_{avg} 是整个种群中的适应度平均值, f_m' 是要变异的个体的适应度;

5) 重复步骤2)到步骤4),遗传算法不断寻优均衡电量,找到一组在当前迭代次数下使适应度函数值最大的解,直到同时满足下列收敛条件,完成均衡优化控制:

$$(a) \min J(x_i) < m$$

其中, $J(x_i)$ 为第*i*次迭代之后目标函数的最小值, m 为常量;

(b) 第*i*次迭代后适应度函数F标准差不小于 n , n 为常量。

2. 根据权利要求1所述的考虑老化的串联电池组的均衡控制策略,其特征在于,各个电池的容量,SOC以及内阻不同,步骤1的容量测试具体为:

步骤1-1,在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;

步骤1-2,静置2小时;

步骤1-3,以0.5C恒流放电,至电池下限截止电压;

步骤1-4,以此时各个电池的放电电量作为各个电池的容量;

HPPC测试具体如下:

步骤1-5,在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;

步骤1-6,静置2小时;

步骤1-7, 1C恒流放电10s, 静置40s, 0.75C恒流充电10s, 静置40s;
步骤1-8, 对电池以0.5C恒流放电12分钟, 即放出10%电量;
步骤1-9, 静置2小时;
步骤1-10, 重复步骤1-7到步骤1-9直至电池放电到下限截止电压;
步骤1-11, 利用参数辨识程序获得各个电池的OCV-SOC曲线和欧姆内阻;
步骤1-12, 通过查找OCV-SOC曲线获得每个电池的初始SOC。

3. 根据权利要求1所述的考虑老化的串联电池组的均衡控制策略, 其特征在于, 处于第二类电量状态的电池组每次的均衡时间是固定的。

4. 根据权利要求1所述的考虑老化的串联电池组的均衡控制策略, 其特征在于, 所述优化算法的约束条件如下:

1) 均衡温升和均衡电量平衡: 当电池温度低于温度阈值时, 采用大于设定的电流阈值的电流均衡; 当电池温度大于等于温度阈值时, 减小当前均衡电流;

2) 均衡电压和电流约束: 各电池均衡过程中电压和电流应保持在电池所允许的最大上下限范围内;

3) 电量约束: 电池均衡过程中电量应保持在设定范围内;

4) 电池温度约束: 电池均衡过程中自身温度不高于允许温度。

5. 一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1~4中任一项所述考虑老化的串联电池组的均衡控制策略的步骤。

6. 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1~4中任一项所述考虑老化的串联电池组的均衡控制策略的步骤。

一种考虑老化的串联电池组的均衡控制策略

技术领域

[0001] 本发明涉及电池管理技术领域,特别是一种考虑老化的串联电池组的均衡控制策略。

背景技术

[0002] 为了大部分应用场景的大功率和高电压需求,常常将电池单体串联成电池组使用。由于加工工艺的差异,即便是同一家厂商生产的电池也会存在容量、内阻、库伦效率、自放电率等电池参数的不一致,而且成组之后每个电池所处的位置和环境不一样,随着电池组的使用次数增加,电池间的不一致性会加剧,进而造成电池组容量损失和电池组性能下降,降低电池组的使用寿命。针对串联电池组因为电池间容量和SOC不一致导致电池组可用容量下降,使用寿命减少的问题,制定均衡控制策略,通过均衡电路板可以实现电池组可用容量提高,使用寿命延长。

[0003] 目前常见的均衡控制策略主要以电压一致作为依据,当电池组内电池的电压不一致达到设定的阈值则启动均衡,当电池组内电池的电压变得一致时则关闭均衡。然后,由于电池的端电压在充放电过程存在一定的滞后特性,所以在关闭均衡后电压不一定会一致。而且,电压并不能很好的反应电池的电量状态,并没有起到改善电池组间不一致的作用。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种考虑老化的串联电池组均衡控制策略,解决老化导致电池组单体出现容量不一致以及SOC不一致导致电池组电量不一致的电池组容量衰退和性能衰退问题。

[0005] 实现本发明目的的技术方案为:一种考虑老化的串联电池组均衡控制策略,包括以下步骤:

[0006] 步骤1、通过容量测试实验获得电池组内各个电池的容量,通过HPPC测试实验获得OCV-SOC曲线和内阻,通过查找OCV-SOC曲线获得各个电池的SOC;

[0007] 步骤2、利用得到的电池状态信息,分析电池组当前的电量状态;对第一类电量状态的电池组采用损耗均衡方法,对第二类电量状态的电池组采用预测电量均衡方法;

[0008] 步骤3、对处于第一类电量状态的电池组列写均衡电量转移方程和均衡过程损耗计算公式;对处于第二类电量状态的电池组,确定均衡时间,列写均衡过程中的温升方程和转移电量方程;

[0009] 步骤4、利用遗传算法,结合均衡限制因素,对处于第一类电量状态的电池组以均衡后电量保持一致和均衡过程中损耗最小为目标进行优化,确定均衡电量和均衡时间;对处于第二类电量状态的电池组以每次均衡过程中温升越小和电池组电量差越小为目标对均衡电量进行优化,确定每次均衡过程中的均衡电量。

[0010] 一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述考虑老化的串联电池组的均衡控

制策略的步骤。

[0011] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述考虑老化的串联电池组的均衡控制策略的步骤。

[0012] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:(1)本发明提供了考虑老化的串联电池组均衡控制策略,能够根据老化电池组的当前电量状态选择不同的均衡方法,能够保证均衡过程中老化比较严重的电池的安全性,简单实用,具有普遍适用性;(2)本发明提出的均衡控制策略,可以实现电池组内单体电量同时放空,最大化的利用电池组可用容量,延长电池组使用寿命。

附图说明

[0013] 图1为本发明的均衡控制策略流程图。

[0014] 图2为电池容量测试实验图。

[0015] 图3为电池HPPC测试电压图。

[0016] 图4为辨识得到的电池OCV-SOC图。

[0017] 图5为辨识得到的电池内阻-SOC图。

具体实施方式

[0018] 如图1所示,一种考虑老化的串联电池组均衡控制策略,包括以下步骤:

[0019] 步骤一:通过特性测试实验获得电池组内各个电池的容量、SOC和内阻;

[0020] 步骤二:利用得到的电池状态信息,分析电池组当前的电量状态。对第一类电量状态的电池组采用损耗均衡方法,对第二类电量状态的电池组采用预测电量均衡方法;

[0021] 步骤三:对处于第一类电量状态的电池组列写均衡电量转移方程和均衡过程损耗计算公式。对处于第二类电量状态的电池组,确定均衡时间,列写均衡过程中的温升方程和转移电量方程。

[0022] 步骤四:利用遗传算法,结合均衡限制因素,对处于第一类电量状态的电池组以均衡后电量保持一致和均衡过程中损耗最小为目标进行优化,确定均衡电量和均衡时间;对处于第二类电量状态的电池组以每次均衡过程中温升越小和电池组电量差越小为目标对均衡电量进行优化,确定每次均衡过程中的均衡电量。

[0023] 在进行均衡优化前,首先对电池组内单体进行特性测试,获取各单体的容量、SOC、内阻。然后根据提出的分类公式将电池组此时的状态分为第一类电量状态和第二类电量状态。第三步,针对两种不同的电量状态提出不同的优化目标和各自优化目标的计算公式。最后,采用遗传算法进行均衡优化,得到相应的均衡转移电量。

[0024] 本实施例中通过对串联电池组单体的容量、SOC和内阻的获取,按照提出的分类公式将电池组的电量状态分为第一类电量状态和第二类电量状态,列写不同状态下的优化目标的计算公式,结合不同的优化目标和遗传算法,通过优化均衡电量,实现满足均衡优化目标的均衡控制策略。

[0025] 进一步地,本实施例中步骤一可以按照下述步骤获取电池组单体的容量、SOC和内阻,容量测试具体如下:

[0026] 步骤1,在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限

截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;

[0027] 步骤2,静置2小时;

[0028] 步骤3,以0.5C恒流放电,至电池下限截止电压;

[0029] 步骤4,以此时各个电池的放电电量作为各个电池的容量;

[0030] HPPC测试具体如下:

[0031] 步骤5,在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;

[0032] 步骤6,静置2小时;

[0033] 步骤7,1C恒流放电10s,静置40s,0.75C恒流充电10s,静置40s;

[0034] 步骤8,对电池以0.5C恒流放电12分钟,即放出10%电量;

[0035] 步骤9,静置2小时;

[0036] 步骤10,重复步骤7到步骤9直至电池放电到下限截止电压;

[0037] 步骤11,利用参数辨识可以获得各个电池的OCV-SOC曲线和欧姆内阻;

[0038] 步骤12,可以根据通过查找OCV-SOC曲线获得每个电池的初始SOC;

[0039] 进一步地,本实施例中步骤二可以按照下述步骤区分电池组的电量状态,具体为:

[0040] 利用步骤一得到的当前状态下电池组各个单体的容量和SOC,通过计算可以得到当前电池组的平均电量。此时区分第一类电量状态和第二类电量状态的方法是比较电池组平均电量和电池组中最小容量电池单体的容量。当电池组平均电量小于等于最小容量,则将此时的电池组归类为第一类电量状态;如果大于,则归类为第二类电量状态。

[0041] 具体公式表达为:

$$[0042] \quad \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i}{n} \leq \min C_j & \text{第一类电量状态} \\ \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i}{n} > \min C_j & \text{第二类电量状态} \end{cases}$$

[0043] 其中,n是电池组含有的电池数量,C是电池单体容量,SOC是电池荷电状态,i、j表示某一个电池,minC_j表示电池组单体最小容量。

[0044] 对处于第二类电量状态的电池组采用的“预测电量均衡”的原因是当电池组的平均电量大于电池组单体最小容量时,此时直接进行均衡操作是不能使得电池组电量平衡,而且会造成电池组内某个电池的过充或者过放。所以需要先对电池组进行放电操作,当电池组的平均电量小于电池组单体最小容量时,此时进行均衡操作才能够使得电池组电量平衡并保证电池电量处于正常工作区间。

[0045] 具体方法是首先对电池组进行放电操作,当电池组的平均电量小于电池组中最小容量电池单体的容量的时候,开始均衡,具体的公式如下:

$$[0046] \quad \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i C_i - i_{dis} t_{dis}}{n} \leq \min C_j \quad (2)$$

[0047] 其中,i_{dis}是放电电流,t_{dis}是放电时间。

[0048] 进一步地,本实施例中步骤三可以按照下述公式计算均衡过程损耗和转移电量、均衡过程的温升和电量差,具体为:

[0049] 处于第一类电量状态的电池组均衡过程电量转移方程如下：

$$\begin{aligned} \Delta Q_{1_cell} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_pack} - \dots - \Delta Q_{n_pack} &= \Delta Q_{1_bal} \\ -\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_cell} - \Delta Q_{3_pack} - \dots - \Delta Q_{n_pack} &= \Delta Q_{2_bal} \end{aligned}$$

[0050] $-\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_cell} - \dots - \Delta Q_{n_pack} = \Delta Q_{3_bal}$

⋮

$$-\Delta Q_{1_pack} - \Delta Q_{2_pack} - \Delta Q_{3_pack} - \dots + \Delta Q_{n_cell} = \Delta Q_{n_bal}$$

[0051] 其中， ΔQ_{i_cell} 代表电池组向第i个电池单体转移的电量， ΔQ_{i_pack} 代表第i个电池给电池组中每个电池转移的电量， ΔQ_{i_bal} 代表第i个电池均衡时需要的转移电量。

[0052] 处于第一类电量状态的电池组均衡过程损耗计算公式如下：

$$[0053] \quad Q_{j_loss} = \begin{cases} (1-\eta_1)|Q_{j_bal}| & Q_{j_bal} < 0 \\ (\frac{1}{\eta_2}-1)Q_{j_bal} & Q_{j_bal} > 0 \end{cases}$$

$$[0054] \quad Q_{loss_all} = \sum_{j=1}^n Q_{j_loss}$$

[0055] 其中， Q_{j_loss} 表示第j节电池均衡时的电量损耗， Q_{loss_all} 表示整个均衡过程中的总电量损耗， η_1 表示电量从电池单体向电池组转移的效率， η_2 表示电量从电池组向电池单体转移的效率。

[0056] 处于第二类电量状态的电池组温升计算方法如下：

[0057] 采用Rint模型，锂离子电池端电压方程为：

$$[0058] \quad U_t = OCV + IR$$

[0059] 其中 U_t 为电池端电压，OCV为电池开路电压，I为均衡电流，R为步骤1中获得的电池欧姆内阻。

[0060] 第k次均衡阶段的温升为：

$$[0061] \quad mC\Delta T_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} I_k^2 R dt + \int_{t_{k-1}}^{t_k} TI_k \frac{\partial E}{\partial T} dt - \int_{t_{k-1}}^{t_k} Sh(T - T_a) dt$$

[0062] 其中m为电池质量，C为电池热容量，T为电池表面温度，E为电池开路电压，h为热传递系数，S为电池表面积， T_a 为环境温度；

[0063] 总温升：

$$[0064] \quad T = T_1 + \sum_{k=2}^n \Delta T_k$$

[0065] 其中 T_1 为第一次均衡的温升， T_k 为第k次均衡温升。

[0066] 处于第二类电量状态的电池组均衡过程的电量差的计算方法：

$$[0067] \quad \Delta Q = \max(C_i \times SOC_i) - \min(C_i \times SOC_i)$$

[0068] 其中 C_i 和 SOC_i 分别是电池的容量和荷电状态，i表示某一个电池。

[0069] 进一步地，本实施例中步骤四可以按照下述步骤优化处于不同电量状态下的电池组的均衡电流实现老化电池组的均衡优化控制，具体为：

[0070] 步骤1，确定优化目标函数、适应度函数及优化条件。对于处理处于第一类电量状态电池组均衡优化的目标函数：

$$[0071] \quad J(x) = \min(Q_{loss_all}^2 + \frac{1}{n}(Q_i - \bar{Q})^2)$$

[0072] 其中, Q_i 是均衡单体结束时的电量, \bar{Q} 是电池组内电池单体平均电量, $Q_{\text{loss_all}}$ 表示整个均衡过程中的总电量损耗。

[0073] 对于处理处于第二类电量状态电池组均衡优化的目标函数:

$$[0074] \quad J(x) = \max(C_i \times \text{SOC}_i) - \min(C_i \times \text{SOC}_i) + \min T$$

[0075] 其中, T 是均衡总温升。

[0076] 适应度函数表达式:

$$[0077] \quad F(x) = \frac{1}{J(x)} + \beta \times p(x)$$

[0078] 其中 β 奖励因子, $p(x)$ 奖励函数。

[0079] 所述优化算法的约束条件如下:

[0080] 1) 均衡温升和均衡电量平衡: 当电池温度低于阈值时, 采用大于设定阈值的电流均衡; 当电流温度高于等于阈值时候, 减小当前均衡电流。

[0081] 2) 均衡电压和电流约束: 各电池均衡过程中电压和电流应保持在电池所允许的最大上下限范围内。

[0082] 3) 电量约束: 电池均衡过程中电量应保持在设定范围内。

[0083] 4) 电池温度约束: 电池均衡过程中自身温度不高于允许温度。

[0084] 步骤2, 创建初始种群。用实数编码法将SOC和均衡电量编码;

$$[0085] \quad x = (\text{SOC}, Q)$$

[0086] 步骤3, 用适应度函数计算种群中每个个体的适应度;

[0087] 步骤4, 设计选择函数。选择适应度高的个体去繁衍下一代种群; 选择函数如下:

$$[0088] \quad P(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^n f(x_i)}$$

[0089] 步骤5, 遗传算子的选择。交叉率表达式如下:

$$[0090] \quad p_c = \begin{cases} p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f_{\max} - f_c')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{c1}, & f < f_{\text{avg}} \end{cases}$$

[0091] 其中 f_{\max} 是整个种群中的最大的适应度, f_{avg} 是整个种群中的适应度平均值, f_c' 是要交叉的个体的适应度。

[0092] 变异率表达式如下:

$$[0093] \quad p_m = \begin{cases} p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f_{\max} - f_m')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{m1}, & f < f_{\text{avg}} \end{cases}$$

[0094] 其中 f_{\max} 是整个种群中的最大的适应度, f_{avg} 是整个种群中的适应度平均值, f_m' 是要变异的个体的适应度。

[0095] 步骤6, 重复步骤3到步骤5, 遗传算法不断寻优均衡电量, 找到一组在当前迭代次数下使适应度函数值最大的解, 直到同时满足下列收敛条件, 完成均衡优化控制:

$$[0096] \quad (a) \min J(x_i) < m$$

[0097] 其中, $J(x_i)$ 为第 i 次迭代之后目标函数的最小值, m 为常量

- [0098] (b) 第*i*次迭代后适应度函数*F*标准差不小于*n*,*n*为常量。
- [0099] 下面以某三元锂电池为例对本发明进行仿真说明
- [0100] 仿真例
- [0101] 选用3个额定容量是2.5Ah的电池单体,首先按照厂家提供的手册进行一次标准循环充放电,其具体过程如下。
- [0102] 步骤1:在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;
- [0103] 步骤2:静置2小时;
- [0104] 步骤3:以0.5C恒流放电,至电池下限截止电压;
- [0105] 以此时各个电池的放电电量作为各个电池的容量,放电过程的容量与时间关系的图如图2所示。
- [0106] 接着对三个电池分别进行HPPC测试,HPPC测试电压图如图3所示。具体过程如下。
- [0107] 步骤1:在室温环境下对电池组内各个单体首先以0.5C倍率恒流充电至电池上限截止电压,接着转为恒定上限截止电压充电至充电电流小于0.02C时,停止充电;
- [0108] 步骤2:静置2小时;
- [0109] 步骤3:1C恒流放电10s,静置40s,0.75C恒流充电10s,静置40s;
- [0110] 步骤4:对电池以0.5C恒流放电12分钟,即放出10%电量;
- [0111] 步骤5:静置2小时;
- [0112] 步骤6:重复步骤1-7到步骤1-9直至电池放电到下限截止电压;
- [0113] 利用参数辨识可以获得各个电池的OCV-SOC曲线和欧姆内阻曲线,分别是图4和图5。
- [0114] 由此可以获得三个电池的容量分别是2.35Ah、2.48Ah和2.28Ah,初始SOC分别是61.7%、67.7%和68.4%,内阻分别是35.6mΩ、36.5mΩ和35.2mΩ。
- [0115] 首先,比较电池组平均电量和电池组单体最小容量。
- [0116]
$$\frac{1.45+1.68+1.56}{3} = 1.563 < 2.28$$
- [0117] 由计算结果可以发现电池组平均电量小于电池组单体最小容量,说明电池组此时处于第一类电量状态。采用“损耗均衡”方法进行均衡优化控制。采用图1给出的算法流程图进行均衡优化。首先是遗传算法种群初始化,采用实数编码将均衡电量和SOC编码成为染色体,设置适应度函数和目标函数。
- [0118] 通过电量转移方程和损耗计算公式分别计算均衡后的电量和均衡损耗。并将结果输入适应度函数得到适应度值。
- [0119] 通过判断收敛条件,若满足当前优化结果为最优均衡转移电量。否则通过遗传算法迭代更新均衡电量,重新计算均衡后的电量和均衡损耗。
- [0120] 所得到的满足损耗较小的均衡结果如表1所示。
- [0121] 表1

	电池 1 电量	电池 2 电量	电池 3 电量	均衡损耗	
[0122]	均衡前	1.453Ah	1.682Ah	1.564Ah	0.024Ah
	均衡后	1.555Ah	1.555Ah	1.555Ah	

[0123] 可以看出均衡后各个电池的电量都是1.555Ah,而且此次均衡的均衡损耗是0.024Ah。可以从均衡结果看出第三个电池没有均衡操作,只通过对前面两个电池的均衡操作就可以实现电池组各个单体的电量均衡,所以损耗也较低。均衡前电池组容量为1.453Ah,均衡后电池组容量为1.555Ah。所以通过提出的均衡方法,可以提高电池组使用容量,延长电池组使用寿命。

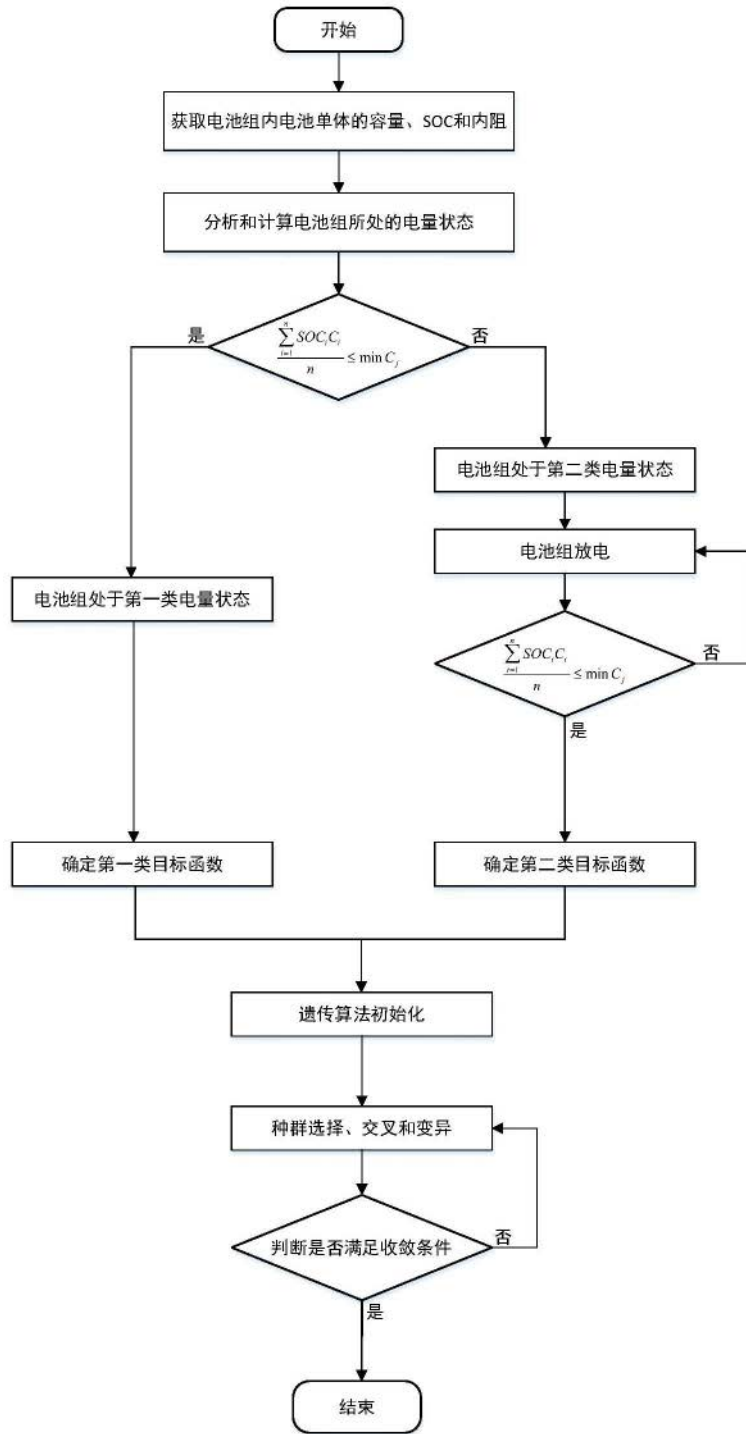


图1

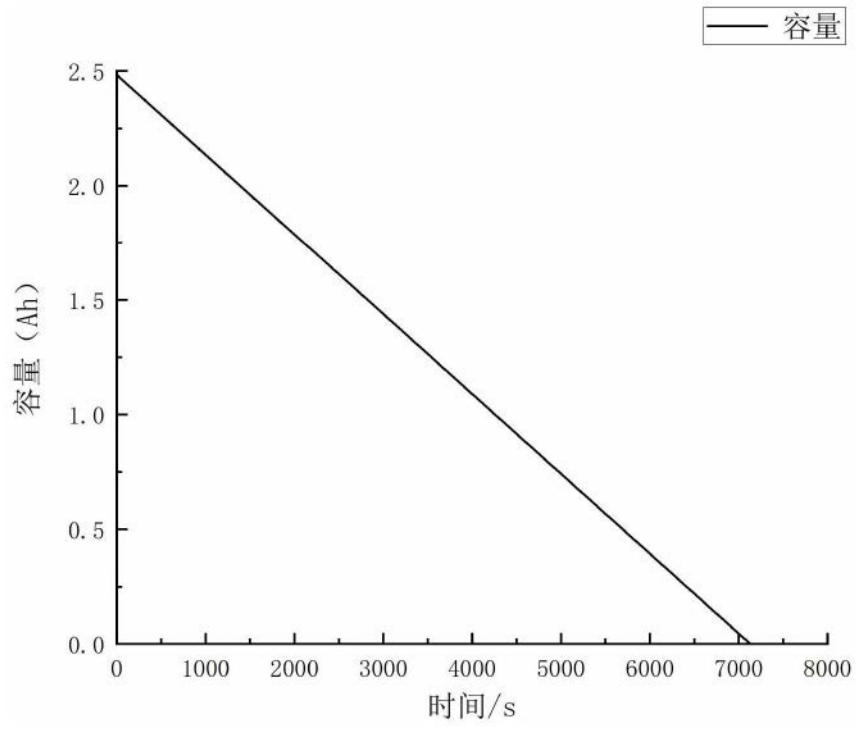


图2

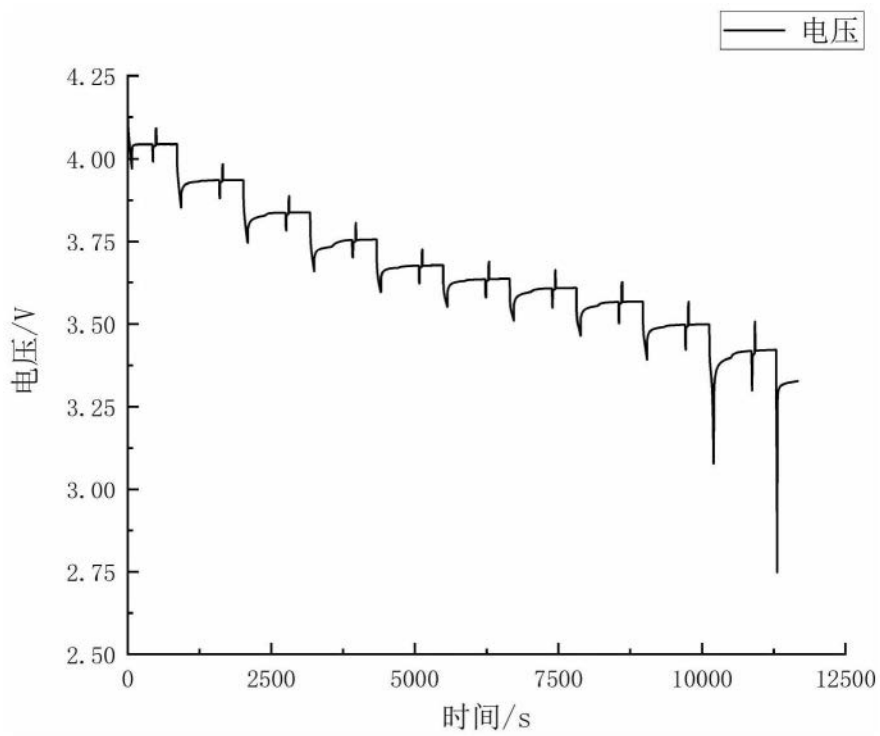


图3

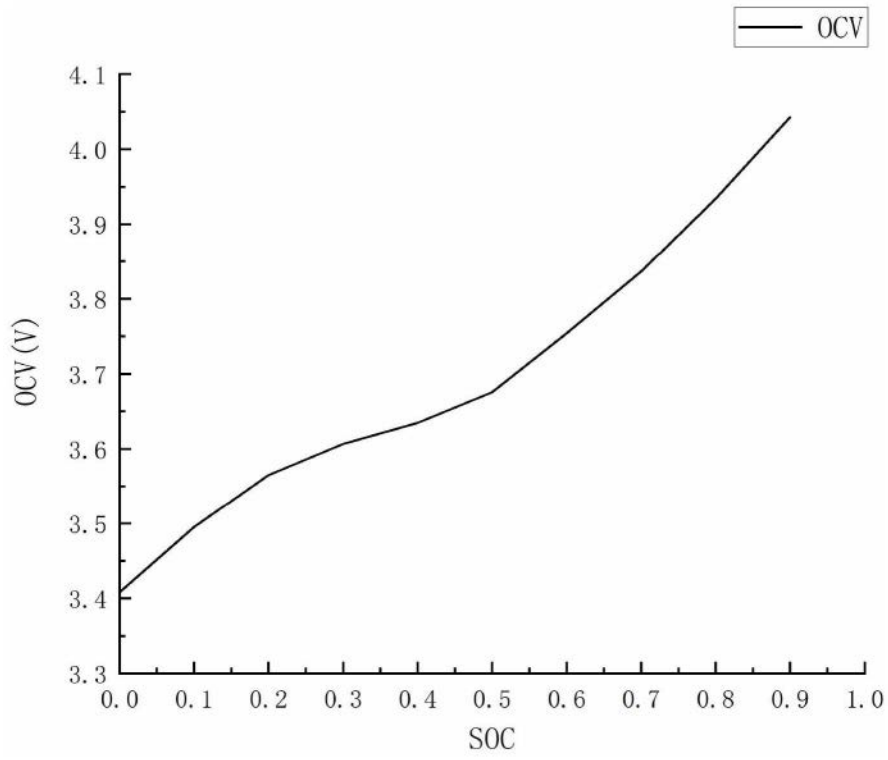


图4

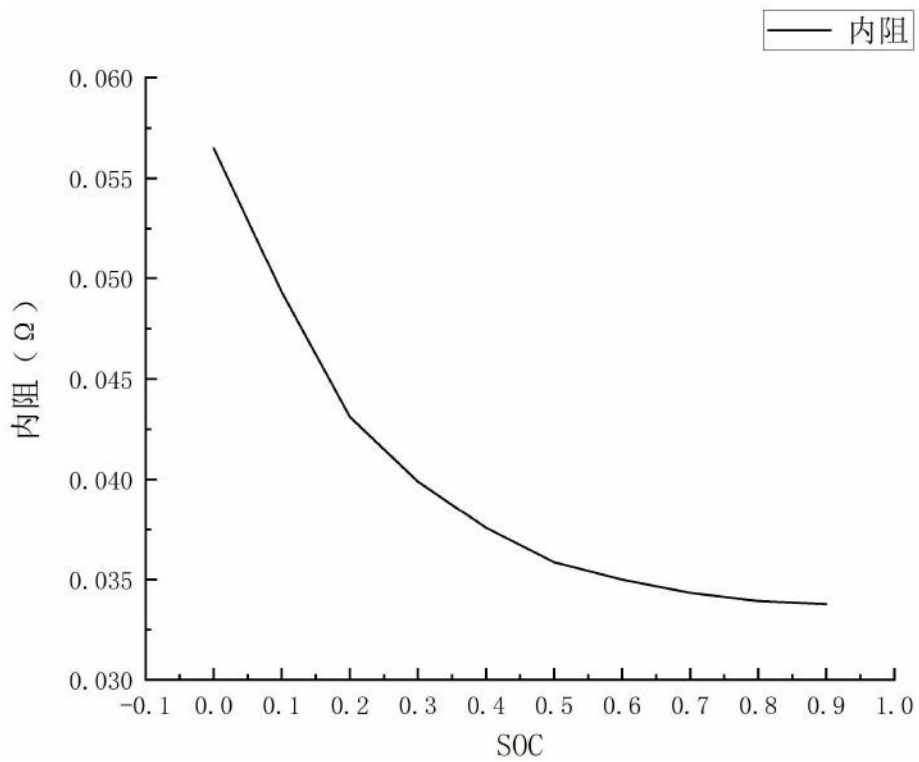


图5