



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102522607 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201110430805. 6 文 .
 (22) 申请日 2011. 12. 21 CN 101566541 A, 2009. 10. 28, 全文 .
 (73) 专利权人 中国检验检疫科学研究院 审查员 郭翠霞
 地址 100123 北京市朝阳区高碑店北路甲 3 号
 (72) 发明人 王宏伟 肖海清 邓爽 于红梅
 付艳玲 王超 杨宗辉 施亚申
 (74) 专利代理机构 北京世誉鑫诚专利代理事务
 所 (普通合伙) 11368
 代理人 郭官厚
 (51) Int. Cl.
 H01M 10/633(2014. 01)
 (56) 对比文件
 CN 102122735 A, 2011. 07. 13, 全文 .
 JP 特许第 3125198 号 B2, 2001. 01. 15, 全

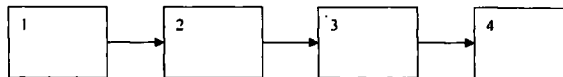
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

动力电池热稳定控制装置及方法

(57) 摘要

一种动力电池热稳定控制装置,其特征不在于:包括温度采集单元(1),比较判断单元(2),突变评估单元(3)以及控制响应单元(4)。温度采集单元(1)采集动力电池上多个不同地点的温度,然后实时的将采集的数据传送到比较判断单元(2),在比较判断单元(2)中,针对每个温度采集点,计算每个温度采集点的温升速率,并实时的将每个温度采集点的温升速率与基准值进行比较,当其中某个温升速率大于基准值时,启动突变评估单元(3),当温升速率小于或等于基准值时,不采取任何措施。该装置是在预测到热失控的时候就采取措施,而不是发现热失控后才采取措施,所以具有前瞻性和先进性,这样就不会使得电池经受任何损失。



1. 一种动力电池热稳定控制装置,其特征在于:包括温度采集单元(1),比较判断单元(2),突变评估单元(3)以及控制响应单元(4);

温度采集单元(1)采集动力电池上多个不同地点的温度,然后实时的将采集的数据传送到比较判断单元(2),在比较判断单元(2)中,针对每个温度采集点,计算每个温度采集点的温升速率,并实时的将每个温度采集点的温升速率与基准值进行比较,当其中某个温升速率大于基准值时,启动突变评估单元(3),当温升速率小于或等于基准值时,不采取任何措施;

在突变评估单元(3)中,首先对一段时间内的温升速率进行累积,然后对得到的累积温升速率函数进行 Taylor 公式展开,并且截取前五项,可得:

$$V(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3+a_4t^4 \quad (1)$$

其中 $V(t)$ 表示累积温升速率函数, t 表示累积时间,利用多元回归分析确定系数 a_0, a_1, \dots, a_4 ,

$$\text{计算: } \Delta x = 3 \times \sqrt[3]{\frac{\frac{a_3^3}{4a_4^2} + 2\frac{a_3a_2}{4a_4} + a_1}{2\sqrt[4]{4|a_4|}}} \text{ 值,}$$

突变评估单元(3)将计算出的 Δx 值送入到控制响应单元(4)内;控制响应单元(4)将突变评估单元(3)传送来的 Δx 值进行判断,如果 $\Delta x > 0$ 时,则表明动力电池将会发生热失控,则进一步判断 Δx 值的大小,并根据 Δx 值的大小采取不同的响应措施,如果 $\Delta x \leq 0$,则不采取任何措施;

所述不同的响应措施如下:

当 $\Delta x < 1$ 时,开启散热措施;

当 $1 \leq \Delta x < 3.5$ 时,开启散热和告警措施;

$\Delta x > 3.5$ 时,采取关断措施;

所述基准值为 $1^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于:所述的温度采集单元使用热电偶进行采集,采集间隔为 1s 。

3. 一种动力电池热稳定控制方法,其特征在于:温度采集单元(1)采集动力电池上多个不同地点的温度,然后实时的将采集的数据传送到比较判断单元(2),在比较判断单元(2)中,针对每个温度采集点,计算每个温度采集点的温升速率,并实时的将每个温度采集点的温升速率与基准值进行比较,当其中某个温升速率大于基准值时,启动突变评估单元(3),当温升速率小于或等于基准值时,不采取任何措施;

在突变评估单元(3)中,首先对一段时间内的温升速率进行累积,然后对累积温升速率进行 Taylor 公式展开,并且截取前五项,可得:

$$V(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3+a_4t^4 \quad (1)$$

其中 $V(t)$ 表示累积温升速率, t 表示累积时间,利用多元回归分析确定系数 a_0, a_1, \dots, a_4 ,

$$\text{计算: } \Delta x = 3 \times \sqrt[3]{\frac{\frac{a_3^3}{4a_4^2} + 2\frac{a_3 a_2}{4a_4} + a_1}{2\sqrt[4]{4|a_4|}}} \text{ 值,}$$

突变评估单元 (3) 将计算出的 Δx 值送入到控制响应单元 (4) 内; 控制响应单元 (4) 将突变评估单元 (3) 传送来的 Δx 值进行判断, 如果 $\Delta x > 0$ 时, 则表明动力电池将会发生热失控, 则进一步判断 Δx 值的大小, 并根据 Δx 值的大小采取不同的响应措施, 如果 $\Delta x \leq 0$, 则不采取任何措施;

所述不同的响应措施如下:

当 $\Delta x < 1$ 时, 开启散热措施;

当 $1 \leq \Delta x < 3.5$ 时, 开启散热和告警措施;

$\Delta x > 3.5$ 时, 采取关断措施;

所述基准值为 $1^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

4. 如权利要求 3 所述的方法, 其特征在于: 所述的温度采集单元使用热电偶进行采集, 采集间隔为 1s。

动力电池热稳定控制装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种动力电池热稳定的控制装置和方法,更特别地说,是指一种采用突变模型对动力电池进行热稳定控制的装置与方法。

背景技术

[0002] 由于全球性的石油资源持续紧缺与大气环境的不断恶化,新能源的开发和利用受到了世界各国的普遍重视,而作为消费全世界总能源 10% 的汽车行业,电动汽车的研究与发展,被认为是目前解决能源危机 and 环境保护的最现实、最有效的途径,而电动汽车发展的核心技术就是动力电池。但动力电池在高温、振动或挤压等情况下,电池内部会发生剧烈的反应,产生大量的热,若热量来不及散失而在电池内部积累,电池可能会燃烧或爆炸。为了可靠、安全的使用电池,要及时、正确地评价电池的热稳定性。

[0003] 但是,现行电池热管理模块实现对电池组的加热或是制冷都只是以温度或温升速率为判断依据,当电池组温度或温升速率高于某一对应值时,开始对电池组进行冷却。针对电池的预测研究多为预测电池的寿命或是电池的容量、荷电状态、剩余电量等,没有对电池热稳定性的变化趋势进行相应的预测,使得现有电池管理系统存在一定的安全隐患,无法及时或是前瞻性的采取相应的反馈措施。

[0004] 因此,为确保动力电池的安全运行,须建立一种更安全的电动汽车热稳定性的评估系统,从而实现对电池温度以及温升速率进行实时的监控、评估、预测和控制。

发明内容

[0005] 本发明正是针对上述问题而提出的,提供了一种采用突变模型对动力电池进行热稳定控制的装置与方法,可以有效的实现对电池温度以及温升速率进行实时监控、评估、预测和控制,从而有效安全的实现电池的热管理。

[0006] 突变理论 (Catastrophe Theory) 是法国数学家 Thom 于 1972 年创立的,主要用来描述自然界中大量存在的不连续的突然变化现象。它是在拓扑学、群论、奇点理论、分叉理论、微分流形等数学分支上发展起来的。通常,系统存在着很多稳定状态,并沿着很多路径在各状态间转变,突变理论认为自然界中的一切突变形式可以根据系统的控制时间和状态空间的维数进行分类。通常,可以有七种基本突变形式,分别是折叠、尖点、燕尾、蝴蝶、双曲脐点、椭圆脐点、抛物脐点。尖点突变模型是比较简单的突变类型,且是应用最广泛的一种模型,为此,本文采用这种模型,建立了动力电池热稳定性评估装置和方法。

[0007] 该装置或方法具有的的优点如下:

[0008] 1) 本装置(或方法)首次把突变理论应用到了电池的热稳定性的监控、评估和预测的过程中,并取得了良好的效果;

[0009] 2) 该装置(或方法)可提前预测电池的热失控状态,并通过控制模块采取相应的应急措施,由于该装置(或方法)能提前预测到动力电池的热状态变化,而不是在热状态发生变化后才感知到变化的发生,该装置(或方法)是在预测到热失控的时候就采取措施,而

不是发现热失控后才采取措施,所以具有前瞻性和先进性,这样就不会使得电池经受任何损失。

[0010] 3) 该系统易于普及。

附图说明

[0011] 图 1 是本发明电池热稳定控制装置的结构框图;

[0012] 图 2 是本发明中电池热稳定控制装置中电池上热电偶布置示意图;

[0013] 图 3 是正则尖点突变模型图;

[0014] 图 4 是对偶尖点突变模型图;

[0015] 图 5 表示实验中突变量 Δx 随时间的变化。

具体实施方式

[0016] 下面将结合附图和实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0017] 如图 1 所示,本发明的动力电池热稳定控制装置包括:温度采集单元 1,比较判断单元 2,突变评估单元 3,控制响应单元 4。

[0018] 温度采集单元 1 采集动力电池组中各个单体电池的温度,其采集使用热电偶,其中热电偶的分布可如图 2 所示,单体电池上端布置两个热电偶,中部和下部各布置一个热电偶。其中的数据采集频率可根据需要自由掌握,采集频率越高监控效果越好,优选每隔 1s 或 5s 或 10s 采集一次。

[0019] 温度采集单元实时的将采集的数据传送到比较判断单元 2,在该单元中,针对每个热电偶布置点(也即每个温度采集点),计算相邻 2 个采集时刻之间的温度斜率(即温升速率),并将每个温度采集点的温升速率与基准值进行比较,当其中某个温升速率大于基准值时,启动突变评估单元,当温升速率小于或等于基准值时,不采取任何措施。其中基准值优选为 $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

[0020] 在突变评估单元 3 中,首先对动力电池的一段时间内的温升速率进行累积,也即是计算将所计算得到的温升速率进行叠加,得到关于温升速率的一个累积函数,此处选择累积温升速率作为动力电池热稳定性突变模型的判断参数的原因在于:动力电池的温升速率能时刻反应电池内部热量的累积程度,并且在电池温度持续上升的过程中,温升速率的累积结果又具有单调递增的规律。然后对累积温升速率函数进行 Taylor 公式展开,并且截取前五项,可得:

$$[0021] \quad V(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 \quad (1)$$

[0022] 其中 $V(t)$ 表示累积温升速率, t 表示累积时间,利用多元回归分析确定系数 a_0, a_1, \dots, a_4

$$[0023] \quad \text{计算: } \Delta x = 3 \times \sqrt[3]{\frac{a_3^3 + 2 \frac{a_3 a_2}{4a_4} + a_1}{2\sqrt[4]{4|a_4|}}}$$

[0024] 突变评估单元 3 将计算出的 Δx 值送入到控制响应单元 4 内。

[0025] 控制响应单元 4 将突变评估单元 3 传送来的 Δx 值进行判断,如果 $\Delta x > 0$ 时,则表明动力电池将会发生热失控,则需要采取相应的措施,如果 $\Delta x \leq 0$,则不采取任何措施。

[0026] 如果判断出 $\Delta x > 0$, 则需要进一步进行判断 Δx 值的大小, 并根据该数值的大小来采取不同级别的相应措施, 其中不同级别的相应措施优选如下:

[0027] 当 $\Delta x < 1$ 开启散热措施;

[0028] 当 $1 \leq \Delta x < 3.5$ 开启散热和告警措施;

[0029] $\Delta x > 3.5$ 采取关断措施。

[0030] 下面来解释为何将 Δx 值作为动力电池热稳定性的评估参数的原因: 累积温升速率进行 Taylor 公式展开的结果如上面所示, 也即为:

$$[0031] \quad V(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 \quad (1)$$

[0032] 利用多元回归分析确定系数 a_0, a_1, \dots, a_4

$$[0033] \quad \text{令 } t = z - p, \text{ 式中 } : p = \frac{a_3}{4a_4}$$

$$[0034] \quad \text{可得 } V = b_4 z^4 + b_2 z^2 + b_1 z + b_0 \quad (2)$$

[0035] 式中:

$$[0036] \quad b_0 = p^4 a_4 - p^3 a_3 + p^2 a_2 - p a_1 + a_0$$

$$[0037] \quad b_1 = -4p^3 a_4 + 3p^2 a_3 - 2p a_2 + a_1$$

$$[0038] \quad b_2 = 6p^2 a_4 - 3p a_3 + a_2$$

$$[0039] \quad b_4 = a_4$$

$$[0040] \quad \text{再令 } : z = \sqrt[4]{\frac{1}{4b_4}} x \quad (b_4 > 0),$$

$$[0041] \quad \text{或 } z = \sqrt[4]{\frac{1}{-4b_4}} x \quad (b_4 < 0),$$

[0042] 代入式 (1), 则有:

[0043] 当 $b_4 > 0$ 时,

$$[0044] \quad V = \frac{1}{4} x^4 + \frac{1}{2} u x^2 + v x + w \quad (3)$$

[0045] 式中, $u = \frac{b_2}{\sqrt{b_4}}, v = \frac{b_1}{\sqrt[4]{4b_4}}, w = b_0$ 对突变分析无意义, 舍弃。式 (3) 为尖点突变的标

准势函数, 称为正则尖点突变, 其平衡曲面 M 和分叉集 Σ 如图 3 所示。

[0046] 当 $b_4 < 0$ 时, 则有:

$$[0047] \quad V = -\frac{1}{4} x^4 + \frac{1}{2} u x^2 + v x + w \quad (4)$$

[0048] 式中, $u = \frac{b_2}{\sqrt{-b_4}}, v = \frac{b_1}{\sqrt[4]{-4b_4}}, w = b_0$ 对突变分析无意义, 舍弃。式 (4) 为对偶尖点

突变的势函数的标准式, 其平衡曲面 M 和分叉集 Σ 如图 4 所示。

[0049] 对于 $b_4 > 0$ 和 $b_4 < 0$ 的两种情况来说, 都满足 $v = \frac{b_1}{\sqrt[4]{4|b_4|}}$ 。

[0050] 上述突变模型的平衡曲面方程为:

[0051] ①正则尖点突变: $x^3 + ux + v = 0$;

[0052] ②对偶尖点突变: $-x^3 + ux + v = 0$ 。

[0053] 如图 4 和 5 所示,平衡曲面 M 在 (x, v, u) 空间中的图形为一具有褶皱的光曲面,当点 (x, v, u) 经过褶皱边缘时就会产生跳跃,发生突变。因此,所有在平衡曲面上有竖直切线的点就构成了状态的分叉集方程:

[0054] ①正则尖点突变: $\Delta = 4u^3 + 27v^2$;

[0055] ②对偶尖点突变: $\Delta = 4u^3 + 27v^2$ 。

[0056] 因此,可得动力电池热稳定性突变模型的实时判据依据:①若 $\Delta > 0$, 电池的热稳定性处于稳定状态;②若 $\Delta < 0$, 且 $3x^2 + u < 0$, 电池的热稳定性处于不稳定状态,将会发生热失控;③若 $\Delta = 0$, 电池的热稳定性处于临界状态。

[0057] 所以,可根据分叉集方程 Δ 与 0 的关系,判断电池的热稳定状态,即系统从稳定状态转化到不稳定状态 ($\Delta < 0$) 时,都要经过临界状态 ($\Delta = 0$),其中 $\Delta = 0$ 时,平衡曲面方程的解为:

$$[0058] \quad x_1 = 2 \times \sqrt[3]{-\frac{v}{2}}$$

$$[0059] \quad x_2 = x_3 = -\sqrt[3]{-\frac{v}{2}}$$

$$[0060] \quad \text{或} x_1 = \sqrt[3]{-\frac{v}{2}}$$

$$[0061] \quad x_2 = x_3 = -2 \times \sqrt[3]{-\frac{v}{2}}$$

[0062] 所以,跨越分叉集时的状态变量发生跳跃,即电池的热稳定状态发生转变时的突变量的变化量为

$$[0063] \quad \Delta x = x_1 - x_2 = 3 \times \sqrt[3]{-\frac{v}{2}} \quad (5)$$

[0064] 因此,可以把突变量的变化量 Δx 作为动力电池热稳定性的评估参数,当突变量的变化量 $\Delta x > 0$ 时,动力电池将会发生热失控。将 v 中的各数值使用系数 a_0, a_1, \dots, a_4

进行表示,可得:
$$\Delta x = 3 \times \sqrt[3]{\frac{\frac{a_3^3}{4a_4^2} + 2\frac{a_3 a_2}{4a_4} + a_1}{2\sqrt[4]{4|a_4|}}}$$
。

[0065] 下面以实验的形式来验证该装置实用性:

[0066] 实验动力电池样品:1) 额定电压 3.7V, 额定容量 11Ah; 2) 电池的组成: 正极活性材料为 LiMn_2O_4 , 负极活性材料为石墨, 电解液的主要成分为 LiPF_6 、EC (碳酸乙烯酯) 和 DMC (碳酸二甲酯), 以及 celgard 2325 隔膜。

[0067] 实验仪器: 防爆撞击箱 (型号 H-FZ-500); 数据采集器 (型号 FLUKE 2620); 热成像仪 (型号 Fluke Ti25)。

[0068] 实验方法: 在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的试验环境下, 将布好温度采集点的待检测电池放在平面上 (4 个热电偶布点如图 2 所示), 直径为 15.8mm 的钢棒放在样品中心, 让 9.1kg 的重锤从 $(1000 \pm 15)\text{mm}$ 高度落在此钢棒上, 同时采集温度数据, 继续观察被检样品。

[0069] 步骤一: 应用温度采集单元采集电池的温度;

[0070] 步骤二: 应用比较判断单元判断每个温度采集点相邻 2 个数据采集时刻之间的斜

率（即温升速率），当温升速率 $> 1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时，启动突变评估单元 3，当温升速率 $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时，不采取任何措施。其中电池组中的单体电池 IT₃₀1 布点 1 在 25s 时的温升速率为 $1.158^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ($> 1^{\circ}\text{C}/\text{s}$)，此时启动突变评估单元 3，突变评估单元 3 分析可得在 25s-72s 的时间内突变变量的变化量 Δx 没有变化，在 76s 时，突变变量的变化量 $\Delta x \approx 7.85$ 。突变变量的变化量 Δx 如图 5 所示。此时 $\Delta x \approx 7.85 > 3.5$ ，控制响应单元 4 采取关断措施以保护电池的安全。

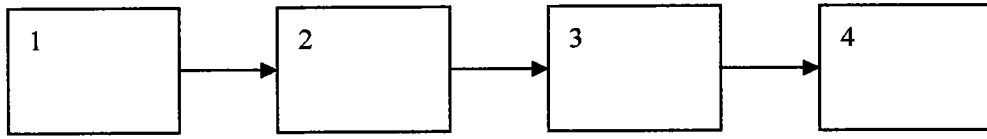


图 1

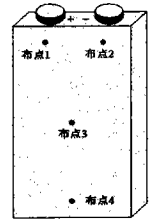


图 2

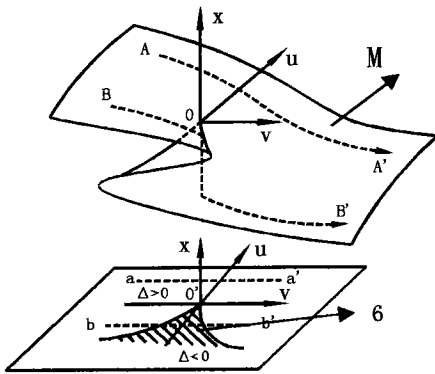


图 3

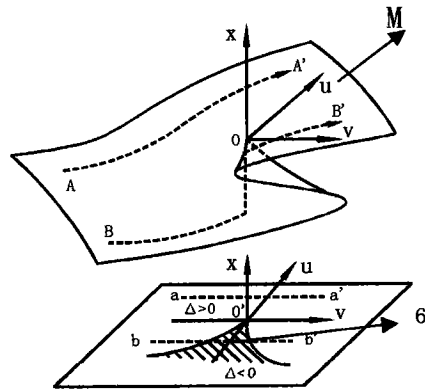


图 4

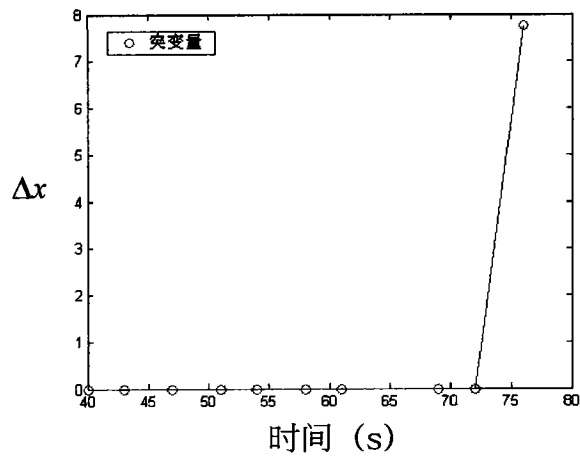


图 5