



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113884884 B

(45) 授权公告日 2022.07.26

(21) 申请号 202111228552.4

(22) 申请日 2021.10.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113884884 A

(43) 申请公布日 2022.01.04

(73) 专利权人 山东大学  
地址 250061 山东省济南市历下区经十路  
17923号

(72) 发明人 崔纳新 袁海涛 石月美 王光峰  
商云龙 张承慧

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221  
专利代理师 李琳

(51) Int. Cl.

G01R 31/36 (2019.01)

(56) 对比文件

- WO 2021149973 A1, 2021.07.29
- US 2020088796 A1, 2020.03.19
- US 2017085091 A1, 2017.03.23
- US 2021239766 A1, 2021.08.05
- US 2018031639 A1, 2018.02.01
- JP H04250376 A, 1992.09.07
- US 2009295397 A1, 2009.12.03
- JP W02018008469 A1, 2019.04.25
- JP 2014126447 A, 2014.07.07
- WO 2018075793 A1, 2018.04.26
- WO 2021038943 A1, 2021.03.04

审查员 马佳伟

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

## (54) 发明名称

一种基于相关性的动力电池组故障诊断及系统

## (57) 摘要

本发明提供了一种基于相关性的动力电池组故障诊断及系统,获取动力电池组中与所述目标动力电池及参考动力电池之间符合相关性要求的参数相关联的数据;基于所述数据计算所述符合相关性要求的参数的真实值;利用基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;根据所述参数真实值和预测值,确定所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并在故障时进行预警;本发明能够在不同电池状态和测量噪声干扰下准确衡量电池异常,进行在线电池组短路故障诊断。



1. 一种基于相关性的动力电池组故障诊断方法,其特征是:包括以下步骤:

获取动力电池组中与目标动力电池及参考动力电池之间符合相关性要求的参数相关联的数据;所述参考动力电池是所述目标动力电池的连接位置相邻的电池或动力电池组的中位电池;

基于所述数据计算所述符合相关性要求的参数的真实值;

利用基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;所述基于相关性的参数预测算法通过使用相关系数公式和所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值来计算所述目标动力电池当前的参数估计值;所述基于相关性的参数预测算法,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值的具体过程包括:根据设置的滑动窗大小、相关性等级,得到参数预测方程;利用所述参数预测方程,根据所述目标动力电池及参考动力电池t-N到t时刻的参数真实值和参考动力电池t时刻的参数真实值,计算得到所述目标动力电池t时刻的参数预测值;参数预测方程推导:相关系数公式表示为:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, $r_{x,y}$ 是变量x和y之间的相关系数,N是滑动窗内数据的长度, $x_i$ 和 $y_i$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗中第i个真实参数数据, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗内真实参数数据的平均值,将相关性等级代入相关系数公式,可进一步化简为:

$$\left[ N \sum_{i=1}^{N-1} x_i y_i + N x_N y_N - \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right) \right]^2 = \left[ N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] \left[ N \sum_{i=1}^{N-1} y_i^2 + N y_N^2 - \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right)^2 \right]$$

即为基于相关性的参数预测方程,方程中只有所述目标动力电池滑动窗中第N个真实参数数据 $y_N$ 是未知量,其余变量都是已知量;

根据所述参数真实值和预测值,确定所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并在故障时进行预警;确定目标动力电池当前是否发生短路故障的具体过程包括:计算所述目标动力电池参数预测值和真实值之间的残差,通过统计推断中的累积和检测方法计算残差的累积和用于判断残差是否符合预定统计分布特性,当累积和超过预定阈值时确定为发生故障。

2. 如权利要求1所述的一种基于相关性的动力电池组故障诊断方法,其特征是:所述数据包括所述目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流、温度参数中一个或多个参数的值。

3. 如权利要求1所述的一种基于相关性的动力电池组故障诊断方法,其特征是:所述参数为目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流、温度、荷电状态参数中一个或多个参数的值。

4. 一种基于相关性的动力电池组故障诊断系统,其特征是:包括:

数据获取模块,被配置为获取动力电池组中与目标动力电池及参考动力电池之间符合相关性要求的参数相关联的数据;所述参考动力电池是所述目标动力电池的连接位置相邻的电池或动力电池组的中位电池;

数据处理模块,被配置为基于所述数据计算所述符合相关性要求的参数的真实值;

参数预测模块,其被配置为利用基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;所述基于相关性的参数预测算法通过使用相关系数公式和所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值来计算所述目标动力电池当前的参数估计值;所述基于相关性的参数预测算法,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值的具体过程包括:根据设置的滑动窗大小、相关性等级,得到参数预测方程;利用所述参数预测方程,根据所述目标动力电池及参考动力电池t-N到t时刻的参数真实值和参考动力电池t时刻的参数真实值,计算得到所述目标动力电池t时刻的参数预测值;参数预测方程推导:相关系数公式表示为:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, $r_{x,y}$ 是变量x和y之间的相关系数,N是滑动窗内数据的长度, $x_i$ 和 $y_i$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗中第i个真实参数数据, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗内真实参数数据的平均值,将相关性等级代入相关系数公式,可进一步化简为:

$$\left[ N \sum_{i=1}^{N-1} x_i y_i + N x_N y_N - \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right) \right]^2 = \left[ N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] \left[ N \sum_{i=1}^{N-1} y_i^2 + N y_N^2 - \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right)^2 \right]$$

即为基于相关性的参数预测方程,方程中只有所述目标动力电池滑动窗中第N个真实参数数据 $y_N$ 是未知量,其余变量都是已知量;

故障确定模块,被配置为根据所述参数真实值和预测值,确定所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并在故障时进行预警;确定目标动力电池当前是否发生短路故障的具体过程包括:计算所述目标动力电池参数预测值和真实值之间的残差,通过统计推断中的累积和检测方法计算残差的累积和用于判断残差是否符合预定统计分布特性,当累积和超过预定阈值时确定为发生故障。

5. 一种计算机可读存储介质,其特征是:用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成权利要求1-3中任一项所述的方法中的步骤。

6. 一种电子设备,其特征是:包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成权利要求1-3中任一项所述的方法中的步骤。

## 一种基于相关性的动力电池组故障诊断及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于动力电池组故障诊断技术领域,具体涉及一种基于相关性的动力电池组故障诊断及系统。

### 背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本发明相关的背景技术信息,不必然构成在先技术。

[0003] 动力电池组在短路故障状态下,会出现一致性变差,产生额外容量损耗,产热升高等症状。这不仅会大大缩短电动汽车的续航里程,还会对锂电池造成不可逆的损害,影响电池寿命甚至会引发热失控危及行车安全。这严重阻碍电动汽车的推广和发展。因此,需使用故障诊断方法及时高效地诊断动力电池组短路故障。

[0004] 在现有的技术方案中,为了诊断电池组短路故障,通常采用动力电池模型预测值和实测值之间的残差或者传感器测量数据的异常值来判断故障发生。然而保证电池模型在不同电池状态下的精度需要很高的计算复杂度,难以在线应用。测量噪声的干扰会影响异常值的检测,尤其在微小短路故障情况下异常值的检测难度进一步增加。

### 发明内容

[0005] 本发明为了解决上述问题,提出了一种基于相关性的动力电池组故障诊断及系统,本发明能够在不同电池状态和测量噪声干扰下准确衡量电池异常,进行在线电池组短路故障诊断。

[0006] 根据一些实施例,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种基于相关性的动力电池组故障诊断方法,包括以下步骤:

[0008] 获取动力电池组中与所述目标动力电池及参考动力电池之间符合相关性要求的参数相关联的数据;

[0009] 基于所述数据计算所述符合相关性要求的参数的真实值;

[0010] 利用基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;

[0011] 根据所述参数真实值和预测值,确定所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并在故障时进行预警。

[0012] 作为可选择的实施方式,所述参考动力电池是所述目标动力电池的连接位置相邻的动力电池或动力电池组的中位电池。

[0013] 作为可选择的实施方式,所述数据包括所述目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流、温度参数中一个或多个参数的值。

[0014] 作为可选择的实施方式,所述参数为目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流、温度、荷电状态参数中一个或多个参数的值。

[0015] 作为可选择的实施方式,所述基于相关性的参数预测算法,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值的具体过程包括:

[0016] 根据设置的滑动窗大小、相关性等级,得到参数预测方程;

[0017] 利用所述参数预测方程,根据所述目标动力电池及参考动力电池 $t-N$ 到 $t$ 时刻的参数真实值和参考动力电池 $t$ 时刻的参数真实值,计算得到所述目标动力电池 $t$ 时刻的参数预测值。

[0018] 作为可选择的实施方式,确定目标动力电池当前是否发生短路故障的具体过程把包括:计算所述目标动力电池参数预测值和真实值之间的残差,通过统计推断中的累积和检测方法计算残差的累积和用于判断残差是否符合预定统计分布特性,当累积和超过预定阈值时确定为发生故障。

[0019] 一种基于相关性的动力电池组故障诊断系统,包括:

[0020] 数据获取模块,被配置为获取动力电池组中与所述目标动力电池及参考动力电池之间符合相关性要求的参数相关联的数据;

[0021] 数据处理模块,被配置为基于所述数据计算所述符合相关性要求的参数的真实值;

[0022] 参数预测模块,其被配置为利用基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;

[0023] 故障确定模块,被配置为根据所述参数真实值和预测值,确定所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并在故障时进行预警。

[0024] 一种计算机可读存储介质,用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成上述方法中的步骤。

[0025] 一种电子设备,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成上述方法中的步骤。

[0026] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0027] 由于相关性不受动力电池组内不同电池状态造成的参数偏差和参数倍乘的影响,且测量噪声符合一定的统计分布,本发明能够在不同电池状态和测量噪声干扰下准确衡量电池异常,无需电池内部参数,且无需建立复杂的电池模型,所需数据均可由通用电池管理系统BMS获取,成本较低便于在线应用。

[0028] 为使本发明的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

## 附图说明

[0029] 构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0030] 图1为本申请实施例一的动力电池组中短路故障诊断方法的具体流程图;

[0031] 图2为本申请实施例二的动力电池组中短路故障诊断系统的示意性结构图。

**具体实施方式：**

[0032] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0033] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解相同含义。

[0034] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0035] 实施例一,如图1所示,本实施例提供了串联动力电池组中短路故障诊断方法;

[0036] 电池组中短路故障诊断方法,包括以下步骤:

[0037] S1:采集动力电池组中与所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数相关联的数据,并随之基于该数据计算所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数的真实值;

[0038] 在本实施例中,较高相关性可以根据经验或者按照具体情况具体设定或选择。例如,在部分实施例中,可以选择参数相关性大于设定值的参数为较高相关性的参数。

[0039] S2:通过基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;

[0040] S3:基于所述参数真实值和预测值,来评估所述目标动力电池当前是否发生短路故障;

[0041] S4:当确定所述目标动力电池发生短路故障时触发故障处理操作。

[0042] 进一步地,S2中,基于相关性的参数预测算法具体流程为:

[0043] S21:算法基本参数设置:滑动窗尺寸设置为N,优选地,相关性等级设置为1;

[0044] S22:预测方程推导:相关系数公式表示为:

$$[0045] \quad r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

[0046] 其中, $r_{x,y}$ 是变量x和y之间的相关系数,N是滑动窗内数据的长度, $x_i$ 和 $y_i$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗中第i个真实参数数据, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别是参考动力电池及所述目标动力电池滑动窗内真实参数数据的平均值,将相关性等级代入公式(1),可进一步化简为:

$$[0047] \quad \left[ N \sum_{i=1}^{N-1} x_i y_i + N x_N y_N - \sum_{i=1}^N x_i \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right) \right]^2 = \left[ N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] \left[ N \sum_{i=1}^{N-1} y_i^2 + N y_N^2 - \left( \sum_{i=1}^{N-1} y_i + y_N \right)^2 \right] \quad (2)$$

[0048] 公式(2)即为基于相关性的参数预测方程,方程中只有所述目标动力电池滑动窗中第N个真实参数数据 $y_N$ 是未知量,其余变量都是已知量。

[0049] S23:在t时刻,向基于相关性的参数预测方程输入所述目标动力电池及参考动力

电池t-N到t时刻的参数真实值和参考动力电池t时刻的参数真实值,计算得到所述目标动力电池t时刻的参数预测值。

[0050] 进一步地,S3中,评估所述目标动力电池当前是否发生短路故障的具体流程为:

[0051] S31:本公开实例中,优选地,实时计算所述目标动力电池参数预测值和真实值之间的残差,通过统计推断中的累积和检测方法计算残差的累积和用于判断残差是否符合预定统计分布特性,当累积和超过预定阈值时向所述故障处理模块发生故障处理指令;

[0052] S311:初始化,设置累计和的初始值;

[0053] S312:根据残差数据,计算t时刻残差的似然对数比,公式表示为:

$$[0054] \quad s(c) = \log_e \frac{p_{H1}(c)}{p_{H0}(c)} \quad (5)$$

[0055] 其中,s(c)是似然对数比,c是残差, $H_1$ 和 $H_0$ 是故障假设和无故障假设, $p_{H1}(c)$ 和 $p_{H0}(c)$ 是故障假设和无故障假设下的概率密度函数。

[0056] 假设无故障和有故障情况下残差均可视作具有高斯分布的随机变量,短路故障发生时,残差的均值或方差发生变化,公式5可进一步表示为:

$$[0057] \quad s(c) = \log_e \frac{\sigma_0}{\sigma_1} - \frac{(c - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2} + \frac{(c - \mu_0)^2}{2\sigma_0^2} \quad (6)$$

[0058] 其中, $\mu_1$ 和 $\sigma_1$ 是无故障情况下的残差的均值和方差, $\mu_0$ 和 $\sigma_0$ 是有故障情况下的残差的均值和方差。

[0059] S313:计算t时刻的累计和的值,公式表达为:

$$[0060] \quad S_t = \begin{cases} S_{t-1} + s(c_t) & S_{t-1} + s(c_t) \geq 0 \\ 0 & S_{t-1} + s(c_t) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

[0061] S314:根据累计和与预定的阈值进行比较,判断残差是否符合预定统计分布特性;

[0062] S315:当累积和超过预定阈值时生成故障处理指令。

[0063] 优选地,在本公开的动力电池组短路故障诊断方法中,所述参考动力电池是所述目标动力电池的连接位置相邻的电池或动力电池组的中位电池。

[0064] 优选地,在本公开的动力电池组短路故障诊断方法中,所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数相关联的数据是所述目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流和温度等参数中一个或多个参数的值。

[0065] 优选地,在本公开的动力电池组短路故障诊断方法中,所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数是所述目标动力电池及参考动力电池的工作电压、电流、温度、荷电状态等参数中一个或多个参数的值。

[0066] 优选地,在本公开的动力电池组短路故障诊断方法中,所述基于相关性的参数预测算法通过使用相关系数公式和所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值来计算所述目标动力电池当前的参数估计值。

[0067] 优选地,在本公开的动力电池组短路故障诊断方法中,所述目标动力电池当前是否发生短路故障以如下方式评估:实时计算所述目标动力电池参数预测值和真实值之间的残差,通过统计推断中的累积和检测方法计算残差的累积和用于判断残差是否符合预定统计分布特性,当累积和超过预定阈值时发生故障处理指令。

[0068] 本发明构建了基于相关性的电压预测算法和基于统计推断的残差评估策略,能够在不同电池状态和测量噪声干扰下准确衡量电池异常,且成本较低便于在线应用。

[0069] 实施例二,如图2所示,本实施例还提供了一种用于动力电池组短路故障诊断系统;

[0070] 一种用于动力电池组短路故障诊断系统,包括:

[0071] 数据采集模块,其被配置为:获取动力电池组中与所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数相关联的数据;

[0072] 数据处理模块,其被配置为:基于该数据计算所述目标动力电池及参考动力电池之间具有较高相关性的参数的真实值;

[0073] 参数预测模块,其被配置为:通过基于相关性的参数预测算法,根据所述目标动力电池及参考动力电池历史的参数真实值和参考动力电池当前的参数真实值,计算得到所述目标动力电池当前的参数预测值;

[0074] 故障确定模块,其被配置为:基于所述参数真实值和预测值,来评估所述目标动力电池当前是否发生短路故障,并且当确定所述目标动力电池发生短路故障时向故障处理模块发送故障处理指令以触发故障处理操作;

[0075] 在部分实施例中,还包括故障处理模块,其被配置为:接收到来自故障评估模块的故障处理指令后执行故障处理操作。

[0076] 实施例三,本实施例还提供了一种电子设备,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成实施例一所述方法的步骤。

[0077] 实施例四,本实施例还提供了一种计算机可读存储介质,用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成实施例一所述方法的步骤。

[0078] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0079] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0080] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0081] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或

其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0082] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,本领域技术人员不需要付出创造性劳动所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

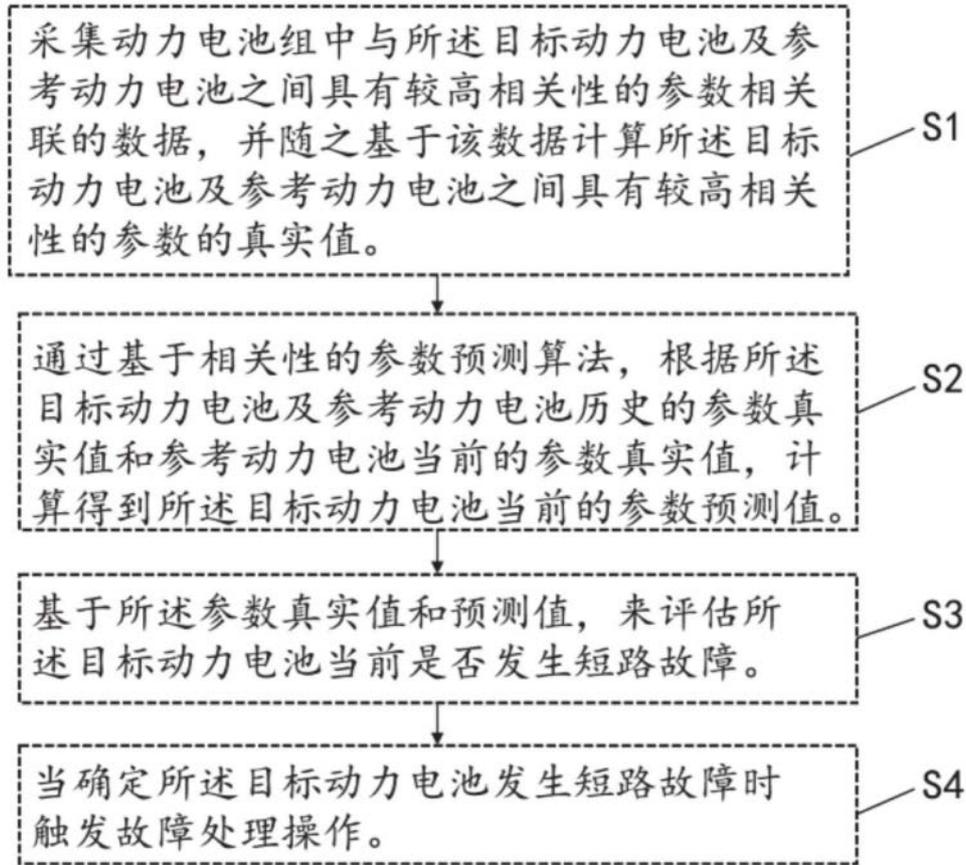


图1

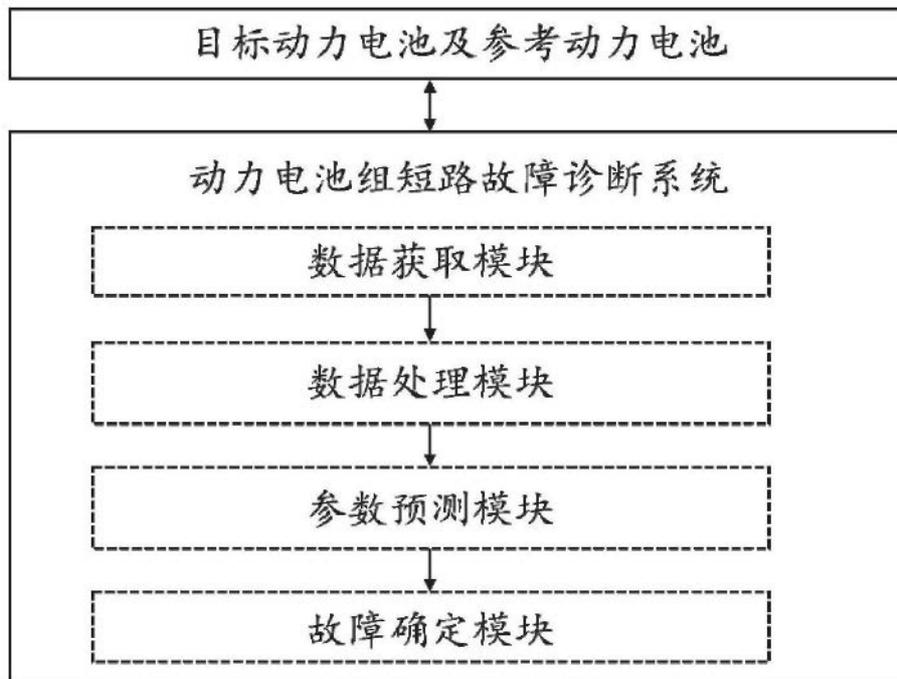


图2