



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110954834 A

(43)申请公布日 2020.04.03

(21)申请号 201911241582.1

(22)申请日 2019.12.06

(71)申请人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路516号

(72)发明人 王海民 石伟杰 李环琪 胡学彬

王寓非 胡峰 陈思

(74)专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司 31204

代理人 郁旦蓉

(51) Int. Cl.

G01R 31/382(2019.01)

G01R 31/367(2019.01)

G01K 13/10(2006.01)

H01M 10/42(2006.01)

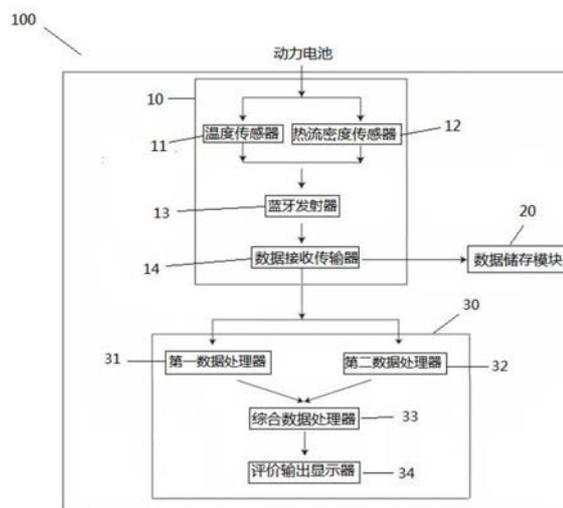
权利要求书6页 说明书14页 附图7页

(54)发明名称

一种移动式动力电池热管理系统检测装置及方法

(57)摘要

本发明提供了一种移动式动力电池热管理系统检测装置,用于检测并评估动力汽车的动力电池的热安全性,包括:数据检测模块,包括温度传感器、热流密度传感器、蓝牙发射器以及用于接收并传输温度参数和热流密度参数的数据接收传输器;数据储存模块,用于接收并储存温度参数和热流密度参数,并将温度参数和热流密度参数上传至云端;以及综合评价模块,包括用于初步计算处理得到平均温度的第一数据处理器、用于初步计算处理得到平均热流密度和平均热流密度斜率的第二数据处理器、用于进行综合计算的综合数据处理器以及评价输出显示屏。本发明还提供了一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法来评价动力电池的热安全性。



1. 一种移动式动力电池热管理系统检测装置,用于检测并评估动力汽车的动力电池的热安全性,其特征在于,包括:

数据检测模块,包括设置在所述动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内所述动力电池的温度参数的温度传感器、设置在所述动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内所述动力电池的热流密度参数的热流密度传感器、设置在所述动力电池间的用于将所述温度参数和所述热流密度参数进行蓝牙传输的蓝牙发射器以及用于接收并传输所述温度参数和所述热流密度参数的数据接收传输器;

数据储存模块,用于接收并储存所述温度参数和所述热流密度参数,并将所述温度参数和所述热流密度参数上传至云端;以及

综合评价模块,包括用于接收所述温度参数并进行初步计算处理得到平均温度的第一数据处理器、用于接收所述热流密度参数并进行初步计算处理得到平均热流密度和平均热流密度斜率的第二数据处理器、用于接收所述平均温度、所述平均热流密度以及所述平均热流密度斜率并进行综合计算的综合数据处理器以及用于将综合计算结果以数字化形式显示的评价输出显示屏,

其中,所述数据接收传输器、所述数据储存模块以及所述综合评价模块集成设置在模块集成箱中,该模块集成箱可移动地布置在动力汽车内部或者外部。

2. 基于如权利要求1所述的移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,将所述汽车从当前停车状态开始至下一个停车状态开始之间的运动区间作为一个运动学片段,在一个所述运动学片段内,通过所述数据检测模块以1Hz即每隔1s检测一次的频率来对温度参数和热流密度参数进行检测,并将温度参数和热流密度参数传输至所述数据储存模块进行储存,以10s作为一个周期,一个所述运动学片段内由N个周期组成,获取一个周期内的温度参数和热流密度参数并对应传输给所述第一数据处理器和所述第二数据处理器,得到一个周期内的平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率作为电池热监测数据,并将所述平均温度、所述平均热流密度以及所述平均热流密度斜率传输给所述综合数据处理器;

步骤2,所述综合数据处理器根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均温度对根据平均温度排序的电池状态得分 $\varphi_1$ 进行计算, $\varphi_1 \in [0,1]$ ;

步骤3,所述综合数据处理器根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度对根据平均热流密度排序的电池状态得分 $\varphi_2$ 进行计算, $\varphi_2 \in [0,1]$ ;

步骤4,所述综合数据处理器根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度斜率对根据平均热流密度斜率排序的电池状态得分 $\varphi_3$ 进行计算, $\varphi_3 \in [0,1]$ ;

步骤5,所述综合数据处理器根据平均温度下的电池状态得分 $\varphi_1$ 、平均热流密度下的电池状态得分 $\varphi_2$ 以及平均热流密度斜率下的电池状态得分 $\varphi_3$ ,运用Topsis优劣解距离法,再结合平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率对应的权重,计算电池热监测数

据与动力电池最佳运行状态的欧式距离,并得到总评价值 $\alpha$ ,正向化矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} \varphi_{111} & \varphi_{212} & \varphi_{313} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_{1N1} & \varphi_{2N2} & \varphi_{3N2} \end{bmatrix}$$

通过公式(1)消除量纲得到的标准化矩阵:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

得到一个运动学片段中由N个时间步长为10s的周期,M个评价指标组成标准化矩阵为:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{111} & Z_{212} & \dots & Z_{M1M} \\ Z_{121} & Z_{221} & \dots & Z_{M2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{1N1} & Z_{2N2} & \dots & Z_{MNM} \end{bmatrix},$$

定义评价最优解最大值:

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_M^+) \\ = (\max\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \max\{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \max\{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})$$

代入 $M=3$ ,即评价指标为平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率,得到评价最优解最大值 $Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, Z_3^+)$ ,定义评价最劣解最小值:

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_M^-) \\ = (\min\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \min\{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \min\{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})$$

代入 $M=3$ ,得到评价最优解最小值 $Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, Z_3^-)$ ,定义第*i*次电池热监测数据中各评价对象的综合最短距离,最大距离的计算如公式(2):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_j^+ - Z_{ij})^2} \quad (2)$$

代入评价最优解最大值,得到最大距离如公式(3)

$$D_i^+ = \sqrt{w (Z_1^+ - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^+ - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^+ - Z_{i3})^2} \quad (3)$$

最小距离的计算如公式(4):

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_1^- - Z_{ij})^2} \quad (4)$$

代入评价最劣解最小值,得到最小距离如公式(5):

$$D_i^- = \sqrt{w (Z_1^- - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^- - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^- - Z_{i3})^2} \quad (5)$$

归一化后评价得分为:

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, S_i \in [0,1]$$

转为10分制的总评价值 $\alpha$ 为: $\alpha_i = 10S_i, \alpha_i \in [0,10]$ ;

步骤6,设置 $\alpha_i = y$ 为动力汽车的电池热管理系统优秀运行工况线,根据公式(6)得到电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\text{高于 } \alpha_i = y \text{ 的总评价值之和}}{\text{一个运动学片段的总评价值之和}} \times 100\% \quad (6)$$

总评价值 $\alpha$ 以及电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ 以数字化形式在所述评价输出显示屏中显示。

3.根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,其特征在于:

其中,所述步骤2包括以下子步骤:

步骤2-1,当处于放电阶段时,当平均温度 $\leq 68^\circ\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\Phi_1$ 的计算公式如公式(7):

$$\Phi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{-20 - X_{Ti}}{M} & , X_{Ti} < -20 \\ 1 & , -20 \leq X_{Ti} \leq 50 \\ 1 - \frac{X_{Ti} - 50}{M} & , X_{Ti} > 50 \end{cases}, M = \max\{-20 - \min(X_{Ti}), \max(X_{Ti}) - 50\} \quad (7)$$

当平均温度 $> 68^\circ\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零;

步骤2-2,当处于充电阶段时,当平均温度 $\leq 58^\circ\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\Phi_1$ 的计算公式如公式(8):

$$\Phi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{0 - X_{Ti}}{M} & , X_{Ti} < 0 \\ 1 & , 0 \leq X_{Ti} \leq 45 \\ 1 - \frac{X_{Ti} - 45}{M} & , X_{Ti} > 45 \end{cases}, M = \max\{0 - \min(X_{Ti}), \max(X_{Ti}) - 45\} \quad (8)$$

当平均温度 $> 58^\circ\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零,

公式(7)和公式(8)中, $X_{Ti}$ 为放电阶段每个周期的平均温度, $X_{Ti}$ 为充电阶段每个周期的

平均温度,  $M$ 为最适温度区间在监测温度区间中邻域的最大长度。

4. 根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法, 其特征在于:

其中, 所述步骤3中包括以下子步骤:

步骤3-1, 当处于放电阶段时, 当平均热流密度小于所述动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度, 平均热流密度下的电池状态得分  $\varphi_2$  的计算公式如公式 (9):

$$\varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_{id} - X_{q_{dc}}}{m} & , X_{q_{dc}} < q_{id} \\ 1 & , q_{id} \leq X_{q_{dc}} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_{id} - \min(X_{q_{dc}}), \max(X_{q_{dc}}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{q_{dc}} - 0.8q_1}{m} & , X_{q_{dc}} > 0.8q_1 \end{cases} \quad (9)$$

当平均热流密度大于所述动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时, 总评价值  $\alpha$  直接归零;

步骤3-2, 当处于充电阶段时, 当平均热流密度小于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度, 平均热流密度下的电池状态得分  $\varphi_2$  的计算公式如公式 (10):

$$\varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_i - X_{q_c}}{m} & , X_{q_c} < q_i \\ 1 & , q_i \leq X_{q_c} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_i - \min(X_{q_c}), \max(X_{q_c}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{q_c} - 0.8q_1}{m} & , X_{q_c} > 0.8q_1 \end{cases} \quad (10)$$

当平均热流密度大于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时, 总评价值  $\alpha$  直接归零,

公式 (9) 和公式 (10) 中,  $q_{dc}$  为放电阶段动力电池发热的热流密度,  $q_c$  为充电阶段动力电池发热的热流密度,  $q_{id}$  为涓流放电时的最小热流密度,  $q_i$  为涓流充电时的最小热流密度,  $q_1$  为制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,  $X_{q_{dc}}$  为放电阶段每个周期的平均热流密度,  $X_{q_c}$  为充电阶段每个周期的平均热流密度,  $m$  为最适平均热流密度区间在监测平均热流密度区间中邻域的最大长度。

5. 根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法, 其特征在于:

其中, 所述步骤4包括以下子步骤:

步骤4-1, 当处于放电阶段时, 当平均热流密度斜率  $k_{qd} < 0.8$ , 平均热流密度斜率下的电池状态得分  $\varphi_3$  的计算公式如公式 (11):

$$\varphi_3 = \frac{Max_{k_{qd}} - X_{k_{qd}}}{Max_{k_{qd}} - Min_{k_{qd}}} \quad (11)$$

当平均热流密度斜率 $k_{qd} \geq 0.8$ ,总评价值 $\alpha$ 直接归零;

步骤4-2,当处于充电阶段时,当平均热流密度斜率 $k_{qd} < 0.8$ ,平均热流密度斜率下的电池状态得分 $\varphi_3$ 的计算公式如公式(12):

$$\varphi_3 = \frac{Max_{k_{qc}} - X_{k_{qc}}}{Max_{k_{qc}} - Min_{k_{qc}}} \quad (12)$$

当平均热流密度斜率 $k_{qd} \geq 0.8$ ,总评价值 $\alpha$ 直接归零,

公式(11)和公式(12)中, $k_{qd}$ 为放电阶段动力电池平均热流密度斜率, $k_{qc}$ 为充电阶段动力电池平均热流密度斜率, $Max_{k_{qd}}$ 为 $k_{qd} < 0.8$ 条件下热流密度斜率最大值, $Min_{k_{qd}}$ 为 $k_{qd} < 0.8$ 时热流密度斜率最小值, $X_{k_{qd}}$ 为放电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值, $Max_{k_{qc}}$ 为 $k_{qc} < 0.8$ 时热流密度斜率最大值, $Min_{k_{qc}}$ 为 $k_{qc} < 0.8$ 时热流密度斜率最小值, $X_{k_{qc}}$ 为充电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值。

6.根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,其特征在于:

其中,公式(3)和公式(5)中, $w$ 为平均温度对应的权重,

在放电阶段,当平均温度 $< -20^\circ\text{C}$ 时,动力电池处于低温工作状态,对应的权重值为 $W_1$ ,

当 $-20^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 50^\circ\text{C}$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_2$ ,

当 $50^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 60^\circ\text{C}$ 时,动力电池处于高温工作状态,对应的权重值为 $W_3$ ,

当 $60^\circ\text{C} < \text{平均温度}$ 时,动力电池处于危险工作状态,对应的权重值为 $W_4$ , $W_2 > W_1 > W_3 > W_4$ ,

在充电阶段,当平均温度 $< 0^\circ\text{C}$ 时,动力电池处于低温工作状态,对应的权重值为 $W_{d1}$ ,

当 $0^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 45^\circ\text{C}$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_{d2}$ ,

当 $45^\circ\text{C} < \text{平均温度}$ 时,动力电池处于高温工作状态,对应的权重值为 $W_{d3}$ , $W_{d2} > W_{d1} > W_{d3}$ 。

7.根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,其特征在于:

其中,公式(3)和公式(5)中, $w'$ 为平均热流密度对应的权重,

在放电阶段,当 $q_{dc} \leq q_{id}$ 时,动力电池处于低倍率放电工作状态,对应的权重值为 $W_1'$ ,

当 $q_{id} < q_{dc} < 0.8q_1$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_2'$ ,

当 $q_{dc} \geq 0.8q_1$ 时,动力电池处于过热工作状态,对应的权重值为 $W_3'$ , $W_2' > W_1' > W_3'$ ,

在充电阶段,当 $q_c \leq q_i$ 时,动力电池处于小电流充电工作状态,对应的权重值为 $W_{d1}'$ ,

当 $q_i \leq q_c \leq 0.8q_1$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_{d2}'$ ,

当 $q_c \geq 0.8q_1$ 时,动力电池处于过热工作状态,对应的权重值为 $W_{d3}'$ , $W_{d2}' > W_{d1}' > W_{d3}'$ 。

8.根据权利要求2所述的基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,其特征在于:

其中,公式(3)和公式(5)中, $w''$ 为平均热流密度斜率对应的权重,  
在放电阶段,当 $0 \leq k_{qd} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_1''$ ,  
当 $k_{qd} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_2''$ , $W_1'' > W_2''$ ,  
在充电阶段,当 $0 \leq k_{qc} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_{d1}''$ ,  
当 $k_{qc} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_{d2}''$ , $W_{d1}'' > W_{d2}''$ 。

## 一种移动式动力电池热管理系统检测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于动力电池热特性测试技术领域,具体涉及一种移动式动力电池热管理系统检测装置及方法。

### 背景技术

[0002] 随着动力电池运用途径的不断扩大,目前动力电池热失控检测技术还需进一步提升,尤其在电动汽车中,锂离子电池的使用环境十分复杂和苛刻,所以建立更加科学的定量测试与评价方法显得尤为紧迫。

[0003] 公开号CN109752659A公开了一种液冷电池的PACK测试系统及方法,发明了一种液冷电池的PACK在充放电状态下的测试系统及方法,检测热性参数只以温度数据作为根据,检测的参数比较单一,无法保证检测的准确性与精度,且对于变化较快的热流密度参数没有涉及,不能科学的评价电池系统的热安全性。

### 发明内容

[0004] 本发明是为了解决上述问题而进行的,目的在于提供一种移动式动力电池热管理系统检测装置及方法。

[0005] 本发明提供了一种移动式动力电池热管理系统检测装置,用于检测并评估动力汽车的动力电池的热安全性,具有这样的特征,包括:数据检测模块,包括设置在动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内动力电池的温度参数的温度传感器、设置在动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内动力电池的热流密度参数的热流密度传感器、设置在动力电池间的用于将温度参数和热流密度参数进行蓝牙传输的蓝牙发射器以及用于接收并传输温度参数和热流密度参数的数据接收传输器;数据储存模块,用于接收并储存温度参数和热流密度参数,并将温度参数和热流密度参数上传至云端;以及综合评价模块,包括用于接收温度参数并进行初步计算处理得到平均温度的第一数据处理器、用于接收热流密度参数并进行初步计算处理得到平均热流密度和平均热流密度斜率的第二数据处理器、用于接收平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率并进行综合计算的綜合数据处理器以及用于将综合计算结果以数字化形式显示的评价输出显示屏,其中,数据接收传输器、数据储存模块以及综合评价模块集成设置在模块集成箱中,该模块集成箱可移动地布置在动力汽车内部或者外部。

[0006] 本发明还提供了一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,具有这样的特征,包括以下步骤:步骤1,将汽车从当前停车状态开始至下一个停车状态开始之间的运动区间作为一个运动学片段,在一个运动学片段内,通过数据检测模块以1Hz即每隔1s检测一次的频率来对温度参数和热流密度参数进行检测,并将温度参数和热流密度参数传输至数据储存模块进行储存,以10s作为一个周期,一个运动学片段内由N个周期组成,获取一个周期内的温度参数和热流密度参数并对应传输给第一数据处理器和第二数据处理器,得到一个周期内的平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率作为电池热监

测数据,并将平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率传输给综合数据处理器;

[0007] 步骤2,综合数据处理器根据动力电池的放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均温度对根据平均温度排序的电池状态得分  $\varphi_1$  进行计算,  $\varphi_1 \in [0,1]$ ;

[0008] 步骤3,综合数据处理器根据动力电池的根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度对根据平均热流密度排序的电池状态得分  $\varphi_2$  进行计算,  $\varphi_2 \in [0,1]$ ;

[0009] 步骤4,综合数据处理器根据动力电池的根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度斜率对根据平均热流密度斜率排序的电池状态得分  $\varphi_3$  进行计算,  $\varphi_3 \in [0,1]$ ;

[0010] 步骤5,综合数据处理器根据动力电池的根据平均温度下的电池状态得分  $\varphi_1$ 、平均热流密度下的电池状态得分  $\varphi_2$  以及平均热流密度斜率下的电池状态得分  $\varphi_3$ ,运用Topsis优劣解距离法,再结合平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率对应的权重,计算电池热监测数据与动力电池最佳运行状态的欧式距离,并得到总评价值 $\alpha$ ,正向化矩阵为:

$$[0011] \quad X = \begin{bmatrix} \varphi_{111} & \varphi_{212} & \varphi_{313} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_{1N1} & \varphi_{2N2} & \varphi_{3N2} \end{bmatrix}$$

[0012] 通过公式(1)消除量纲得到的标准化矩阵:

$$[0013] \quad Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

[0014] 得到一个运动学片段中由N个时间步长为10s的周期,小于10s的片段也均视为一个周期进行处理,M个评价指标组成标准化矩阵为:

$$[0015] \quad Z = \begin{bmatrix} Z_{111} & Z_{212} & \dots & Z_{M1M} \\ Z_{121} & Z_{221} & \dots & Z_{M2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{1N1} & Z_{2N2} & \dots & Z_{MNM} \end{bmatrix},$$

[0016] 定义评价最优解最大值:

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_M^+)$$

[0017]

$$= (\max\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \max\{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \max\{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})$$

[0018] 代入M=3,即评价指标为平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率,得到评价最优解最大值  $Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, Z_3^+)$ ,定义评价最劣解最小值:

$$\begin{aligned}
 & Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_M^-) \\
 [0019] \quad & = (\min \{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \min \{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \min \{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})
 \end{aligned}$$

[0020] 代入 $M=3$ ,得到评价最优解最小值 $Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, Z_3^-)$ ,定义第 $i$ 次电池热监测数据中各评价对象的综合最短距离,最大距离的计算如公式(2):

$$[0021] \quad D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_j^+ - Z_{ij})^2} \quad (2)$$

[0022] 代入评价最优解最大值,得到最大距离如公式(3)

$$[0023] \quad D_i^+ = \sqrt{w (Z_1^+ - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^+ - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^+ - Z_{i3})^2} \quad (3)$$

[0024] 最小距离的计算如公式(4):

$$[0025] \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_j^- - Z_{ij})^2} \quad (4)$$

[0026] 代入评价最劣解最小值,得到最小距离如公式(5):

$$[0027] \quad D_i^- = \sqrt{w (Z_1^- - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^- - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^- - Z_{i3})^2} \quad (5)$$

[0028] 归一化后评价得分为:

$$[0029] \quad S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, S_i \in [0,1]$$

[0030] 转为10分制的总评价值 $\alpha$ 为: $\alpha_i = 10S_i, \alpha_i \in [0,10]$ ;

[0031] 步骤6,设置 $\alpha_i = y$ 为动力汽车的电池热管理系统优秀运行工况线,根据公式(6)得到电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ :

$$[0032] \quad \varepsilon = \frac{\text{高于 } \alpha_i = y \text{ 的总评价值之和}}{\text{一个运动学片段的总评价值之和}} \times 100\% \quad (6)$$

[0033] 总评价值 $\alpha$ 以及电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ 以数字化形式在评价输出显示屏中显示。

[0034] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中,还可以具有这样的特征,其中:步骤2包括以下子步骤:

[0035] 步骤2-1,当处于放电阶段时,当平均温度 $\leq 68^\circ\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\Phi_1$ 的计算公式如公式(7):

$$[0036] \quad \varphi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{-20 - X_{T1}}{M} & , X_{T1} < -20 \\ 1 & , -20 \leq X_{T1} \leq 50, \quad M = \max\{-20 - \min(X_{T1}), \max(X_{T1}) - 50\} \\ 1 - \frac{X_{T1} - 50}{M} & , X_{T1} > 50 \end{cases} \quad (7)$$

[0037] 当平均温度 $>68^{\circ}\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零;

[0038] 步骤2-2,当处于充电阶段时,当平均温度 $\leq 58^{\circ}\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\varphi_1$ 的计算公式如公式(8):

$$[0039] \quad \varphi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{0 - X_{T1}}{M} & , X_{T1} < 0 \\ 1 & , 0 \leq X_{T1} \leq 45, \quad M = \max\{0 - \min(X_{T1}), \max(X_{T1}) - 45\} \\ 1 - \frac{X_{T1} - 45}{M} & , X_{T1} > 45 \end{cases} \quad (8)$$

[0040] 当平均温度 $>58^{\circ}\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零,

[0041] 公式(7)和公式(8)中, $X_{Ti}$ 为放电阶段每个周期的平均温度, $X_{TI}$ 为充电阶段每个周期的平均温度, $M$ 为最适温度区间在监测温度区间中邻域的最大长度。

[0042] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中,还可以具有这样的特征,其中:步骤3中包括以下子步骤:

[0043] 步骤3-1,当处于放电阶段时,当平均热流密度小于动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,平均热流密度下的电池状态得分 $\varphi_2$ 的计算公式如公式(9):

$$[0044] \quad \varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_{id} - X_{qdc}}{m} & , X_{qdc} < q_{id} \\ 1 & , q_{id} \leq X_{qdc} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_{id} - \min(X_{qdc}), \max(X_{qdc}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{qdc} - 0.8q_1}{m} & , X_{qdc} > 0.8q_1 \end{cases}$$

[0045] (9)

[0046] 当平均热流密度大于动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时,总评价值 $\alpha$ 直接归零;

[0047] 步骤3-2,当处于充电阶段时,当平均热流密度小于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,平均热流密度下的电池状态得分 $\varphi_2$ 的计算公式如公式(10):

$$[0048] \quad \varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_i - X_{qc}}{m} & , X_{qc} < q_i \\ 1 & , q_i \leq X_{qc} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_i - \min(X_{qc}), \max(X_{qc}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{qc} - 0.8q_1}{m} & , X_{qc} > 0.8q_1 \end{cases} \quad (10)$$

[0049] 当平均热流密度大于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时,总评价值 $\alpha$ 直接归零,

[0050] 公式(9)和公式(10)中, $q_{dc}$ 为放电阶段动力电池发热的热流密度, $q_c$ 为充电阶段动

力电池发热的热流密度,  $q_{id}$  为涓流放电时的最小热流密度,  $q_i$  为涓流充电时的最小热流密度,  $q_1$  为制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,  $X_{qdc}$  为放电阶段每个周期的平均热流密度,  $X_{qc}$  为充电阶段每个周期的平均热流密度,  $m$  为最适平均热流密度区间在监测平均热流密度区间中邻域的最大长度。

[0051] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中, 还可以具有这样的特征, 其中: 步骤4包括以下子步骤:

[0052] 步骤4-1, 当处于放电阶段时, 当平均热流密度斜率  $k_{qd} < 0.8$ , 平均热流密度斜率下的电池状态得分  $\varphi_3$  的计算公式如公式 (11):

$$[0053] \quad \varphi_3 = \frac{Max_{k_{qd}} - X_{k_{qd}}}{Max_{k_{qd}} - Min_{k_{qd}}} \quad (11)$$

[0054] 当平均热流密度斜率  $k_{qd} \geq 0.8$ , 总评价值  $\alpha$  直接归零;

[0055] 步骤4-2, 当处于充电阶段时, 当平均热流密度斜率  $k_{qc} < 0.8$ , 平均热流密度斜率下的电池状态得分  $\varphi_3$  的计算公式如公式 (12):

$$[0056] \quad \varphi_3 = \frac{Max_{k_{qc}} - X_{k_{qc}}}{Max_{k_{qc}} - Min_{k_{qc}}} \quad (12)$$

[0057] 当平均热流密度斜率  $k_{qc} \geq 0.8$ , 总评价值  $\alpha$  直接归零,

[0058] 公式 (11) 和公式 (12) 中,  $k_{qd}$  为放电阶段动力电池平均热流密度斜率,  $k_{qc}$  为充电阶段动力电池平均热流密度斜率,  $Max_{k_{qd}}$  为  $k_{qd} < 0.8$  条件下热流密度斜率最大值,  $Min_{k_{qd}}$  为  $k_{qd} < 0.8$  时热流密度斜率最小值,  $X_{k_{qd}}$  为放电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值,  $Max_{k_{qc}}$  为  $k_{qc} < 0.8$  时热流密度斜率最大值,  $Min_{k_{qc}}$  为  $k_{qc} < 0.8$  时热流密度斜率最小值,  $X_{k_{qc}}$  为充电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值。

[0059] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中, 还可以具有这样的特征, 其中: 公式 (3) 和公式 (5) 中,  $w$  为平均温度对应的权重, 在放电阶段, 当平均温度  $< -20^\circ\text{C}$  时, 动力电池处于低温工作状态, 对应的权重值为  $W_1$ , 当  $-20^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 50^\circ\text{C}$  时, 动力电池处于最佳工作状态, 对应的权重值为  $W_2$ , 当  $50^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 60^\circ\text{C}$  时, 动力电池处于高温工作状态, 对应的权重值为  $W_3$ , 当  $60^\circ\text{C} < \text{平均温度}$  时, 动力电池处于危险工作状态, 对应的权重值为  $W_4$ ,  $W_2 > W_1 > W_3 > W_4$ , 在充电阶段, 当平均温度  $< 0^\circ\text{C}$  时, 动力电池处于低温工作状态, 对应的权重值为  $W_{d1}$ , 当  $0^\circ\text{C} < \text{平均温度} < 45^\circ\text{C}$  时, 动力电池处于最佳工作状态, 对应的权重值为  $W_{d2}$ , 当  $45^\circ\text{C} < \text{平均温度}$  时, 动力电池处于高温工作状态, 对应的权重值为  $W_{d3}$ ,  $W_{d2} > W_{d1} > W_{d3}$ 。

[0060] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中, 还可以具有这样的特征, 其中: 公式 (3) 和公式 (5) 中,  $w'$  为平均热流密度对应的权重, 在放电阶段, 当  $q_{dc} \leq q_{id}$  时, 动力电池处于低倍率放电工作状态, 对应的权重值为  $W_1'$ , 当  $q_{id} <$

$q_{dc} < 0.8q_1$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_2'$ ,当 $q_{dc} \geq 0.8q_1$ 时,动力电池处于过热工作状态,对应的权重值为 $W_3'$ , $W_2' > W_1' > W_3'$ ,在充电阶段,当 $q_c \leq q_i$ 时,动力电池处于小电流充电工作状态,对应的权重值为 $W_{d1}'$ ,当 $q_i < q_c < 0.8q_1$ 时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_{d2}'$ ,当 $q_c \geq 0.8q_1$ 时,动力电池处于过热工作状态,对应的权重值为 $W_{d3}'$ , $W_{d2}' > W_{d1}' > W_{d3}'$ 。

[0061] 在本发明提供的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法中,还可以具有这样的特征,其中:公式(3)和公式(5)中, $w''$ 为平均热流密度斜率对应的权重,在放电阶段,当 $0 \leq k_{qd} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_1''$ ,当 $k_{qd} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_2''$ , $W_1'' > W_2''$ ,在充电阶段,当 $0 \leq k_{qc} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_{d1}''$ ,当 $k_{qc} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_{d2}''$ , $W_{d1}'' > W_{d2}''$ 。

[0062] 发明的作用与效果

[0063] 根据本发明所涉及的一种移动式动力电池热管理系统检测装置,因为设有温度传感器来获取温度参数,同时设有热流密度传感来获取热流密度参数,所以,能够更全面地构建电池运行过程中的热性能参数,更有效地描述电池的运行状态;因为设有蓝牙发射器来进行温度参数和热流密度参数的蓝牙传输,所以,只需在动力汽车的动力电池处安装传感器与蓝牙发射器,数据接收传输器、数据储存模块以及综合评价模块集成设置在模块集成箱中,并且可以选择性的设置在车内或者车外,且各模块之间的数据传输均采用蓝牙传输,能够减少复杂的传感器布线,具有很强的布置灵活性;因为还设有数据储存模块能将接收到的数据上传至云端,所以,能够对采集到大量的温度参数与热流密度参数进行储存。另外,本发明的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,因为采用了平均热流密度、平均温度以及平均热流密度斜率三大标准进行评分,并且对三大标准设置权重,最终计算出综合得分,所以,能够通过实时监测动力电池的热特征参数,更加综合全面的评价动力电池热安全性,为预防热失控的发生提供重要参考信息。

## 附图说明

[0064] 图1是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置的结构框图;

[0065] 图2是本发明的实施例中的温度传感器与热流密度传感器的传感器布置点位置示意图;

[0066] 图3是本发明的实施例中的蓝牙发射器的位置示意图;

[0067] 图4是本发明的实施例中的模块集成箱中的模块分布示意图;

[0068] 图5是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置车载使用时的装置透视图;

[0069] 图6是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置车载使用时的装置示意图;

[0070] 图7是本发明的实施例中的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法的流程图;

[0071] 图8是本发明的实施例中的运动学片段的定义图;

- [0072] 图9是本发明的实施例中的充电阶段的平均温度的评分曲线图；
- [0073] 图10是本发明的实施例中的放电阶段的平均热流密度的评分曲线图；
- [0074] 图11是本发明的实施例中的放电阶段的平均热流密度斜率的评分曲线图。

### 具体实施方式

[0075] 为了使本发明实现的技术手段与功效易于明白了解,以下结合实施例及附图对本发明作具体阐述。

[0076] 图1是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置的结构框图。

[0077] 如图1所示,本实施例的一种移动式动力电池热管理系统检测装置100,用于检测并评估动力汽车的动力电池的热安全性,包括数据检测模块10、数据储存模块20以及综合评价模块30。

[0078] 数据检测模块10包括设置在动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内动力电池的温度参数的温度传感器11、设置在动力电池的表面的用于检测设定时间阈值内动力电池的热流密度参数的热流密度传感器12、设置在动力电池间的用于将温度参数和热流密度参数进行蓝牙传输的蓝牙发射器13以及用于接收并传输温度参数和热流密度参数的数据接收传输器14。

[0079] 图2是本发明的实施例中的温度传感器与热流密度传感器的传感器布置点位置示意图,图3是本发明的实施例中的蓝牙发射器的位置示意图。

[0080] 如图2和图3所示,温度传感器11和热流密度传感器12设置在动力电池的传感器布置点处,蓝牙发射器13设置在动力电池之间。

[0081] 数据储存模块20用于接收并储存温度参数和热流密度参数,并将温度参数和热流密度参数上传至云端。

[0082] 综合评价模块30包括用于接收温度参数并进行初步计算处理得到平均温度的第一数据处理器31、用于接收热流密度参数并进行初步计算处理得到平均热流密度和平均热流密度斜率的第二数据处理器32、用于接收平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率并进行综合计算的综合数据处理器33以及用于将综合计算结果以数字化形式显示的评价输出显示屏34。

[0083] 图4是本发明的实施例中的模块集成箱中的模块分布示意图。

[0084] 如图4所示,数据接收传输器14、数据储存模块20以及综合评价模块30集成设置在模块集成箱40中,该模块集成箱40可移动地布置在动力汽车内部或者外部。

[0085] 图5是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置车载使用时的装置透视图,图6是本发明的实施例中的一种移动式动力电池热管理系统检测装置车载使用时的装置示意图。

[0086] 如图5和图6所示所示,集成模块箱40设置在动力汽车的底层中,并设置在动力电池的水冷管路旁,本实施例中,集成模块箱40车载使用时,综合数据处理器33还与动力汽车驾驶舱内的主控显示屏蓝牙连接,来使综合计算结果显示在主控显示屏中,便于驾驶员了解动力电池的热安全状况。

[0087] 数据储存模块20将监测的温度参数与热流密度参数通过蓝牙传输上传至云端。

[0088] 图7是本发明的实施例中的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法的流程图。

[0089] 如图7所示,本实施例还提供了一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,包括以下步骤:

[0090] 图8是本发明的实施例中的运动学片段的定义图。

[0091] 步骤1,如图8所示,将汽车从当前停车状态开始至下一个停车状态开始之间的运动区间作为一个运动学片段,在一个运动学片段内,通过数据检测模块10以1Hz即每隔1s检测一次的频率来对温度参数和热流密度参数进行检测,并将温度参数和热流密度参数传输至数据储存模块20进行储存,以10s作为一个周期,一个运动学片段内由N个周期组成,获取一个周期内的温度参数和热流密度参数并对应传输给第一数据处理器31和第二数据处理器32,得到一个周期内的平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率作为电池热监测数据,并将平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率传输给综合数据处理器33。

[0092] 步骤2,综合数据处理器33根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均温度对根据平均温度排序的电池状态得分 $\varphi_1$ 进行计算, $\varphi_1 \in [0,1]$ , $\varphi_1$ 越接近1电池热管理系统性能越好。

[0093] 步骤2包括以下子步骤:

[0094] 步骤2-1,当处于放电阶段时,当平均温度 $\leq 68^\circ\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\varphi_1$ 的计算公式如公式(7):

$$[0095] \quad \varphi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{-20 - X_{Ti}}{M} & , X_{Ti} < -20 \\ 1 & , -20 \leq X_{Ti} \leq 50 \\ 1 - \frac{X_{Ti} - 50}{M} & , X_{Ti} > 50 \end{cases}, M = \max\{-20 - \min(X_{Ti}), \max(X_{Ti}) - 50\} \quad (7)$$

[0096] 当平均温度 $> 68^\circ\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0097] 步骤2-2,当处于充电阶段时,当平均温度 $\leq 58^\circ\text{C}$ ,平均温度下的电池状态得分 $\varphi_1$ 的计算公式如公式(8):

$$[0098] \quad \varphi_1 = \begin{cases} 1 - \frac{0 - X_{Ti}}{M} & , X_{Ti} < 0 \\ 1 & , 0 \leq X_{Ti} \leq 45 \\ 1 - \frac{X_{Ti} - 45}{M} & , X_{Ti} > 45 \end{cases}, M = \max\{0 - \min(X_{Ti}), \max(X_{Ti}) - 45\} \quad (8)$$

[0099] 当平均温度 $> 58^\circ\text{C}$ 时,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0100] 公式(7)和公式(8)中, $X_{Ti}$ 为放电阶段每个周期的平均温度, $X_{Ti}$ 为充电阶段每个周期的平均温度,M为最适温度区间在监测温度区间中邻域的最大长度。

[0101] 步骤3,综合数据处理器33根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度对根据平均热流密度排序的电池状态得分 $\varphi_2$ 进行计算, $\varphi_2 \in [0,1]$ , $\varphi_2$ 越接近1电池热管理系统性能越好。

[0102] 步骤3中包括以下子步骤:步骤3-1,当处于放电阶段时,当平均热流密度小于动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,平均热流密度下的电池状态得

分 $\varphi_2$ 的计算公式如公式(9)：

$$[0103] \quad \varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_{id} - X_{qdc}}{m} & , X_{qdc} < q_{id} \\ 1 & , q_{id} \leq X_{qdc} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_{id} - \min(X_{qdc}), \max(X_{qdc}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{qdc} - 0.8q_1}{m} & , X_{qdc} > 0.8q_1 \end{cases} \quad (9)$$

[0104] 当平均热流密度大于动力汽车的制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0105] 步骤3-2,当处于充电阶段时,当平均热流密度小于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度,平均热流密度下的电池状态得分 $\varphi_2$ 的计算公式如公式(10)：

$$[0106] \quad \varphi_2 = \begin{cases} 1 - \frac{q_i - X_{qc}}{m} & , X_{qc} < q_i \\ 1 & , q_i \leq X_{qc} \leq 0.8q_1, \quad m = \max\{q_i - \min(X_{qc}), \max(X_{qc}) - 0.8q_1\} \\ 1 - \frac{X_{qc} - 0.8q_1}{m} & , X_{qc} > 0.8q_1 \end{cases} \quad (10)$$

[0107] 当平均热流密度大于制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度时,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0108] 公式(9)和公式(10)中, $q_{dc}$ 为放电阶段动力电池发热的热流密度, $q_c$ 为充电阶段动力电池发热的热流密度, $q_{id}$ 为涓流放电时的最小热流密度, $q_i$ 为涓流充电时的最小热流密度, $q_1$ 为制冷机组满负载运转时最大制冷量对应的热流密度, $X_{qdc}$ 为放电阶段每个周期的平均热流密度, $X_{qc}$ 为充电阶段每个周期的平均热流密度, $m$ 为最适平均热流密度区间在监测平均热流密度区间中邻域的最大长度。

[0109] 步骤4,综合数据处理器33根据放电阶段和充电阶段得到的每个周期内的平均热流密度斜率对根据平均热流密度斜率排序的电池状态得分 $\varphi_3$ 进行计算, $\varphi_3 \in [0,1]$ , $\varphi_3$ 越接近1电池热管理系统性能越好。

[0110] 步骤4包括以下子步骤:步骤4-1,当处于放电阶段时,当平均热流密度斜率 $k_{qd} < 0.8$ ,平均热流密度斜率下的电池状态得分 $\varphi_3$ 的计算公式如公式(11)：

$$[0111] \quad \varphi_3 = \frac{\text{Max}k_{qd} - Xk_{qd}}{\text{Max}k_{qd} - \text{Min}k_{qd}} \quad (11)$$

[0112] 当平均热流密度斜率 $k_{qd} \geq 0.8$ ,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0113] 步骤4-2,当处于充电阶段时,当平均热流密度斜率 $k_{qc} < 0.8$ ,平均热流密度斜率下的电池状态得分 $\varphi_3$ 的计算公式如公式(12)：

$$[0114] \quad \varphi_3 = \frac{Max_{k_{qc}} - X_{k_{qc}}}{Max_{k_{qc}} - Min_{k_{qc}}} \quad (12)$$

[0115] 当平均热流密度斜率 $k_{qc} \geq 0.8$ ,总评价值 $\alpha$ 直接归零。

[0116] 公式(11)和公式(12)中, $k_{qd}$ 为放电阶段动力电池平均热流密度斜率, $k_{qc}$ 为充电阶段动力电池平均热流密度斜率, $Max_{k_{qd}}$ 为 $k_{qd} < 0.8$ 条件下热流密度斜率最大值, $Min_{k_{qd}}$ 为 $k_{qd} < 0.8$ 时热流密度斜率最小值, $X_{k_{qd}}$ 为放电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值, $Max_{k_{qc}}$ 为 $k_{qc} < 0.8$ 时热流密度斜率最大值, $Min_{k_{qc}}$ 为 $k_{qc} < 0.8$ 时热流密度斜率最小值, $X_{k_{qc}}$ 为充电阶段每个周期监测到热流密度斜率的平均值。

[0117] 步骤5,根据平均温度下的电池状态得分 $\varphi_1$ 、平均热流密度下的电池状态得分 $\varphi_2$ 以及平均热流密度斜率下的电池状态得分 $\varphi_3$ ,运用Topsis优劣解距离法,再结合平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率对应的权重,计算电池热监测数据与动力电池最佳运行状态的欧式距离,并得到总评价值 $\alpha$ ,正向化矩阵为:

$$[0118] \quad X = \begin{bmatrix} \varphi_{111} & \varphi_{212} & \varphi_{313} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_{1N1} & \varphi_{2N2} & \varphi_{3N2} \end{bmatrix}$$

[0119] 通过公式(1)消除量纲得到的标准化矩阵:

$$[0120] \quad Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

[0121] 得到一个运动学片段中由N个时间步长为10s的周期,M个评价指标组成标准化矩阵为:

$$[0122] \quad Z = \begin{bmatrix} Z_{111} & Z_{212} & \dots & Z_{M1M} \\ Z_{121} & Z_{221} & \dots & Z_{M2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{1N1} & Z_{2N2} & \dots & Z_{MNM} \end{bmatrix},$$

[0123] 定义评价最优解最大值:

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_M^+)$$

[0124]

$$= (\max\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \max\{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \max\{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})$$

[0125] 代入 $M=3$ ,即评价指标为平均温度、平均热流密度以及平均热流密度斜率,得到评价最优解最大值 $Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, Z_3^+)$ ,定义评价最劣解最小值:

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_M^-)$$

[0126]  $= (\min \{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{N1}\}, \min \{Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{N2}\}, \dots, \min \{Z_{1M}, Z_{2M}, \dots, Z_{NM}\})$

[0127] 代入 $M=3$ ,得到评价最优解最小值 $Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, Z_3^-)$ ,定义第 $i$ 次电池热监测数据中各评价对象的综合最短距离,最大距离的计算如公式(2):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_j^+ - Z_{ij})^2}$$

[0128] (2)

[0129] 代入评价最优解最大值,得到最大距离如公式(3)

$$D_i^+ = \sqrt{w (Z_1^+ - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^+ - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^+ - Z_{i3})^2}$$

[0130] (3)

[0131] 最小距离的计算如公式(4):

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^M w_j (Z_j^- - Z_{ij})^2}$$

[0132] (4)

[0133] 代入评价最劣解最小值,得到最小距离如公式(5):

$$D_i^- = \sqrt{w (Z_1^- - Z_{i1})^2 + w' (Z_2^- - Z_{i2})^2 + w'' (Z_3^- - Z_{i3})^2}$$

[0134] (5)

[0135] 归一化后评价得分为:

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, S_i \in [0, 1]$$

[0136]

[0137] 转为10分制的总评价值 $\alpha$ 为: $\alpha_i = 10S_i, \alpha_i \in [0, 10]$ 。

[0138] 步骤6,设置 $\alpha_i = y$ 为动力汽车的电池热管理系统优秀运行工况线,根据公式(6)得到电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\text{高于 } \alpha_i = y \text{ 的总评价值之和}}{\text{一个运动学片段的总评价值之和}} \times 100\%$$

[0139] (6)

[0140] 总评价值 $\alpha$ 以及电池热管理系统优秀运转占比 $\varepsilon$ 以数字化形式在评价输出显示屏34中显示。

[0141]  $\varepsilon$ 越大说明电池热管理系统控制得越好,电池更能保持在最佳工作范围内工作,发生热失控危险性相应降低。

[0142] 表1平均温度对电池热管理系统性能的评价标准表

[0143]

放	动力电池平均温度区间	动力电池热性能状态	平均温度权重	阈值
---	------------	-----------	--------	----

[0144]	电 阶 段	平均温度 < -20°C	低温工作状态区域	$W_1$	68°C
		-20°C < 平均温度 < 50°C	最佳工作状态区域	$W_2$	
		50°C < 平均温度 < 60°C	高温工作状态区域	$W_3$	
		60°C < 平均温度	危险工作状态区域	$W_4$	
	$W_2 > W_1 > W_3 > W_4$				
充 电 阶 段	平均温度 < 0°C	低温工作状态区域	$W_{d1}$	58°C	
	0°C < 平均温度 < 45°C	最佳工作状态区域	$W_{d2}$		
	45°C < 平均温度	高温工作状态区域	$W_{d3}$		
	$W_{d2} > W_{d1} > W_{d3}$				

[0145] 公式(3)和公式(5)中,  $w$ 为平均温度对应的权重,表一为平均温度对电池热管理系统性能的评价标准,如表1所示,在放电阶段,当平均温度<-20°C时,动力电池处于低温工作状态,对应的权重值为 $W_1$ ,当-20°C<平均温度<50°C时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_2$ ,当50°C<平均温度<60°C时,动力电池处于高温工作状态,对应的权重值为 $W_3$ ,当60°C<平均温度时,动力电池处于危险工作状态,对应的权重值为 $W_4$ , $W_2 > W_1 > W_3 > W_4$ ,

[0146] 图9是本发明的实施例中的充电阶段的平均温度的评分曲线图。

[0147] 如图9所示,在充电阶段,当平均温度<0°C时,动力电池处于低温工作状态,对应的权重值为 $W_{d1}$ ,当0°C<平均温度<45°C时,动力电池处于最佳工作状态,对应的权重值为 $W_{d2}$ ,当45°C<平均温度时,动力电池处于高温工作状态,对应的权重值为 $W_{d3}$ , $W_{d2} > W_{d1} > W_{d3}$ 。

[0148] 表2平均热流密度对电池热管理系统性能的评价标准表

[0149]

	动力电池热流密度区间	动力电池热性能状态	平均热流密度权重	阈值
放电阶段	$q_{dc} \leq q_{id}$	低倍率放电工作状态区域	$W_1'$	$q_{dc} = q_1$
	$q_{id} < q_{dc} < 0.8q_1$	最佳工作状态区域	$W_2'$	
	$q_{dc} \geq 0.8q_1$	过热工作状态区域	$W_3'$	
	$W_2' > W_1' > W_3'$			
充电阶段	$q_c \leq q_i$	小电流充电工作状态区域	$W_{d1}'$	$q_c = q_1$
	$q_i < q_c < 0.8q_1$	最佳工作状态区域	$W_{d2}'$	
	$q_c \geq 0.8q_1$	过热工作状态区域	$W_{d3}'$	
	$W_{d2}' > W_{d2}' > W_{d3}'$			

[0150] 图10是本发明的实施例中的放电阶段的平均热流密度的评分曲线图。

[0151] 公式 (3) 和公式 (5) 中,  $w'$  为平均热流密度对应的权重, 如表2与图10所示, 在放电阶段, 当  $q_{dc} \leq q_{id}$  时, 动力电池处于低倍率放电工作状态, 对应的权重值为  $W_1'$ , 当  $q_{id} < q_{dc} < 0.8q_1$  时, 动力电池处于最佳工作状态, 对应的权重值为  $W_2'$ , 当  $q_{dc} \geq 0.8q_1$  时, 动力电池处于过热工作状态, 对应的权重值为  $W_3'$ ,  $W_2' > W_1' > W_3'$ ,

[0152] 在充电阶段, 当  $q_c \leq q_i$  时, 动力电池处于小电流充电工作状态, 对应的权重值为  $W_{d1}'$ , 当  $q_i < q_c < 0.8q_1$  时, 动力电池处于最佳工作状态, 对应的权重值为  $W_{d2}'$ , 当  $q_c \geq 0.8q_1$  时, 动力电池处于过热工作状态, 对应的权重值为  $W_{d3}'$ ,  $W_{d2}' > W_{d1}' > W_{d3}'$ 。

[0153] 表3平均热流密度斜率对电池热管理系统性能的评价标准表

[0154]

	动力电池平均热流密度斜率区间	动力电池热性能状态	平均热流密度斜率权重	阈值
放电阶段	$0 \leq k_{qd} \leq 0.7$	生热速率稳定区域	$W_1''$	$k=0.8$
	$k_{qd} \geq 0.7$	生热速率阶跃区域	$W_2''$	
	$W_1'' > W_2''$			
充电阶段	$0 \leq k_{qc} \leq 0.7$	生热速率稳定区域	$W_{d1}''$	$k=0.8$
	$k_{qc} \geq 0.7$	生热速率阶跃区域	$W_{d2}''$	
	$W_{d1}'' > W_{d2}''$			

[0155] 图11是本发明的实施例中的放电阶段的平均热流密度斜率的评分曲线图。

[0156] 公式(3)和公式(5)中, $w''$ 为平均热流密度斜率对应的权重,如表3与图11所示,在放电阶段,当 $0 \leq k_{qd} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_1''$ ,当 $k_{qd} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_2''$ , $W_1'' > W_2''$ ,

[0157] 在充电阶段,当 $0 \leq k_{qc} \leq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率稳定阶段,对应的权重值为 $W_{d1}''$ ,当 $k_{qc} \geq 0.7$ 时,动力电池处于生热速率阶跃阶段,对应的权重值为 $W_{d2}''$ , $W_{d1}'' > W_{d2}''$ 。

[0158] 实施例的作用与效果

[0159] 根据本实施例所涉及的一种移动式动力电池热管理系统检测装置,因为设有温度传感器来获取温度参数,同时设有热流密度传感来获取热流密度参数,所以,能够更全面地构建电池运行过程中的热性能参数,更有效地描述电池的运行状态;因为设有蓝牙发射器来进行温度参数和热流密度参数的蓝牙传输,所以,只需在动力汽车的动力电池处安装传感器与蓝牙发射器,数据接收传输器、数据储存模块以及综合评价模块集成设置在模块集成箱中,并且可以选择性的设置在车内或者车外,且各模块之间的数据传输均采用蓝牙传输,能够减少复杂的传感器布线,具有很强的布置灵活性;因为还设有数据储存模块能将接收到的数据上传至云端,所以,能够对采集到大量的温度参数与热流密度参数进行储存。另外,本实施例的一种基于移动式动力电池热管理系统检测装置的检测评估方法,因为采用了平均热流密度、平均温度以及平均热流密度斜率三大标准进行评分,并且对三大标准设置权重,最终计算出综合得分,所以,能够通过实时监测动力电池的热特征参数,更加综合全面的评价动力电池热安全性,为预防热失控的发生提供重要参考信息。

[0160] 上述实施方式为本发明的优选案例,并不用来限制本发明的保护范围。

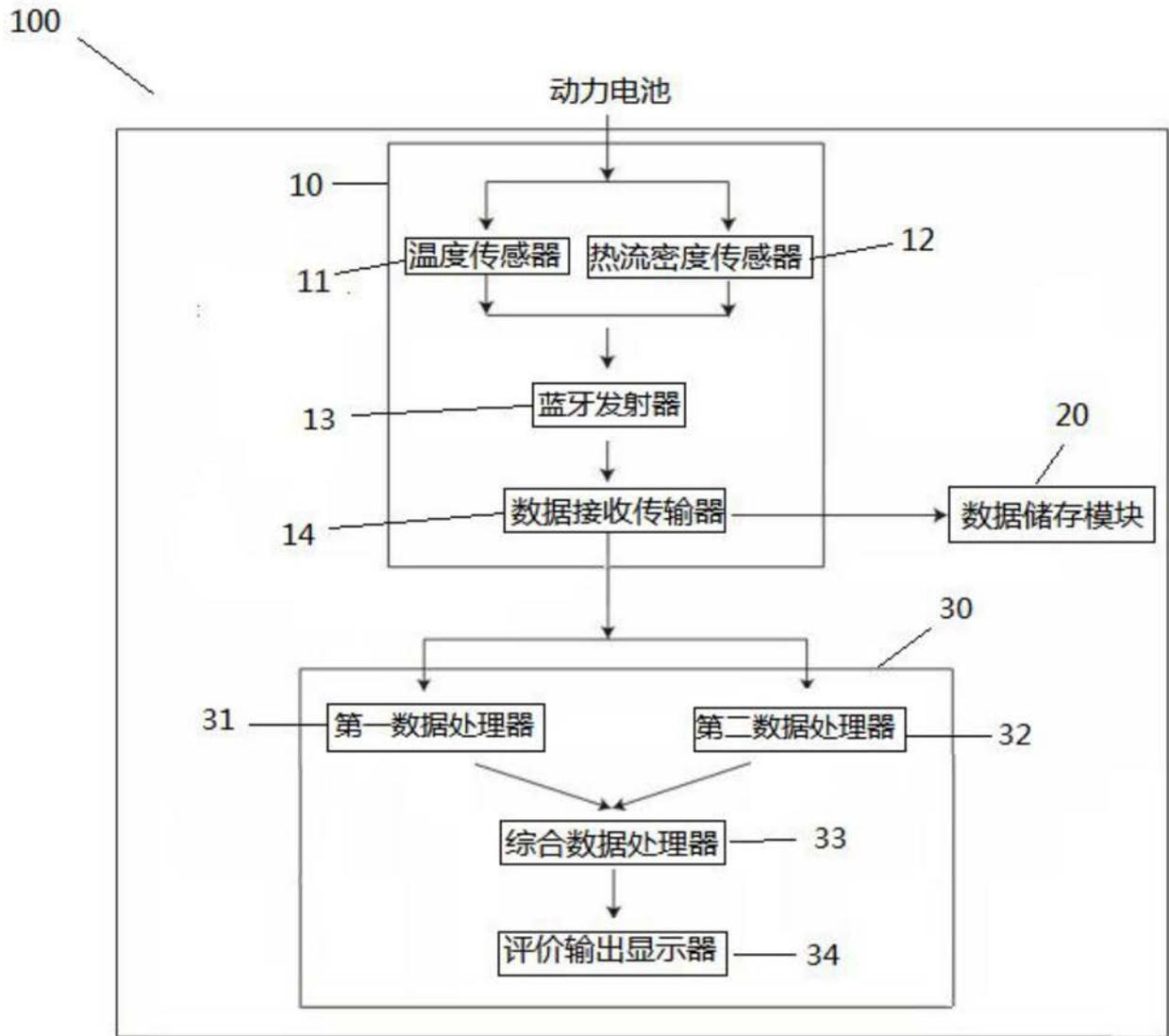


图1

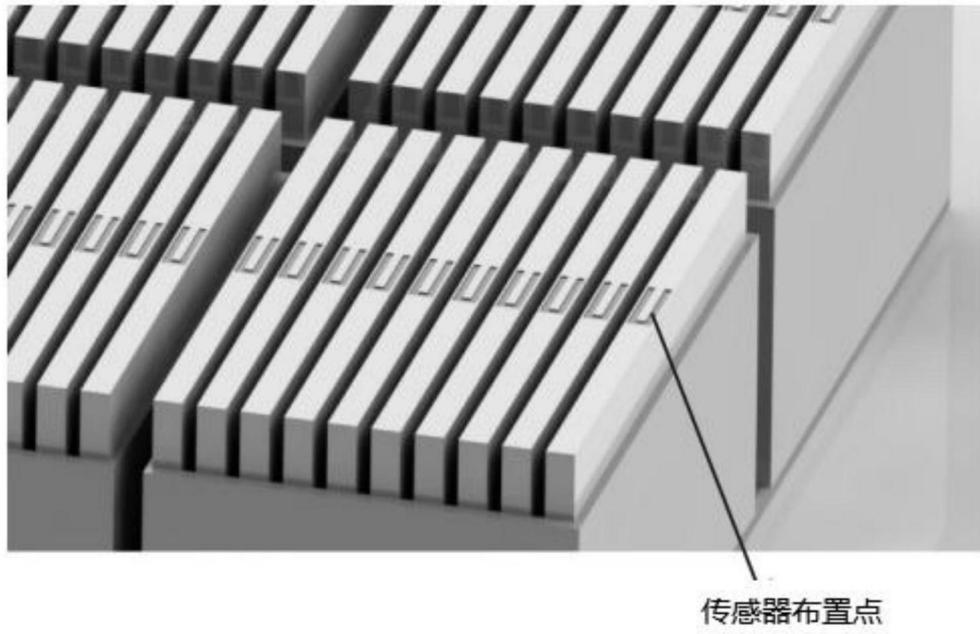


图2

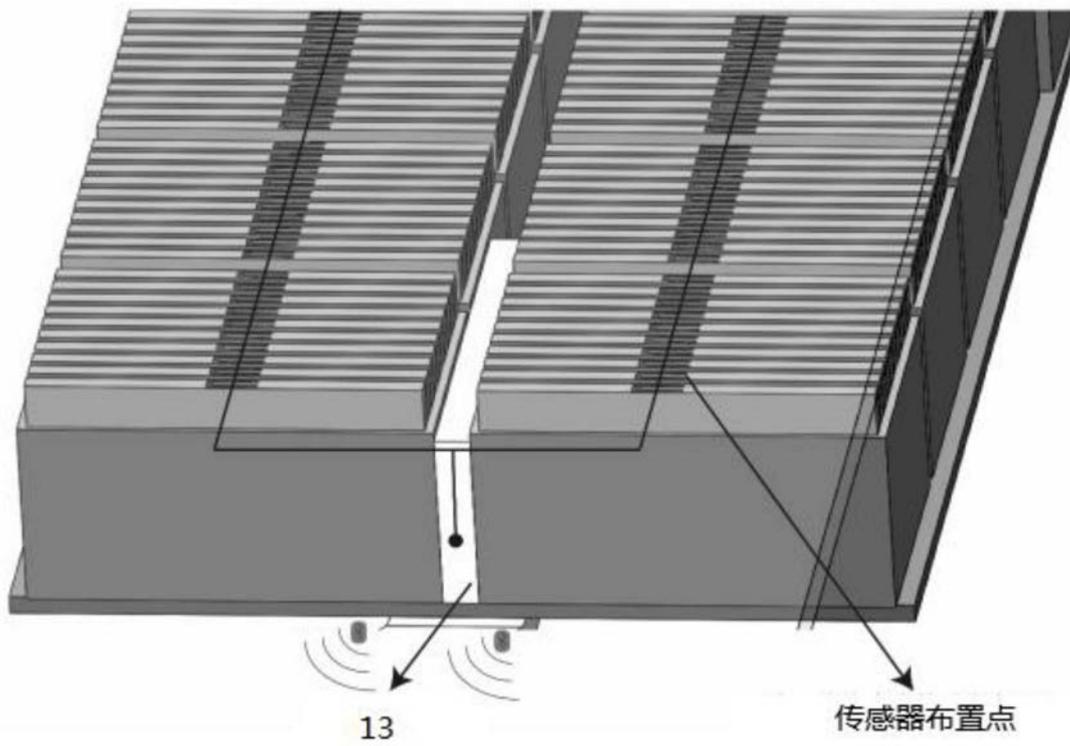


图3

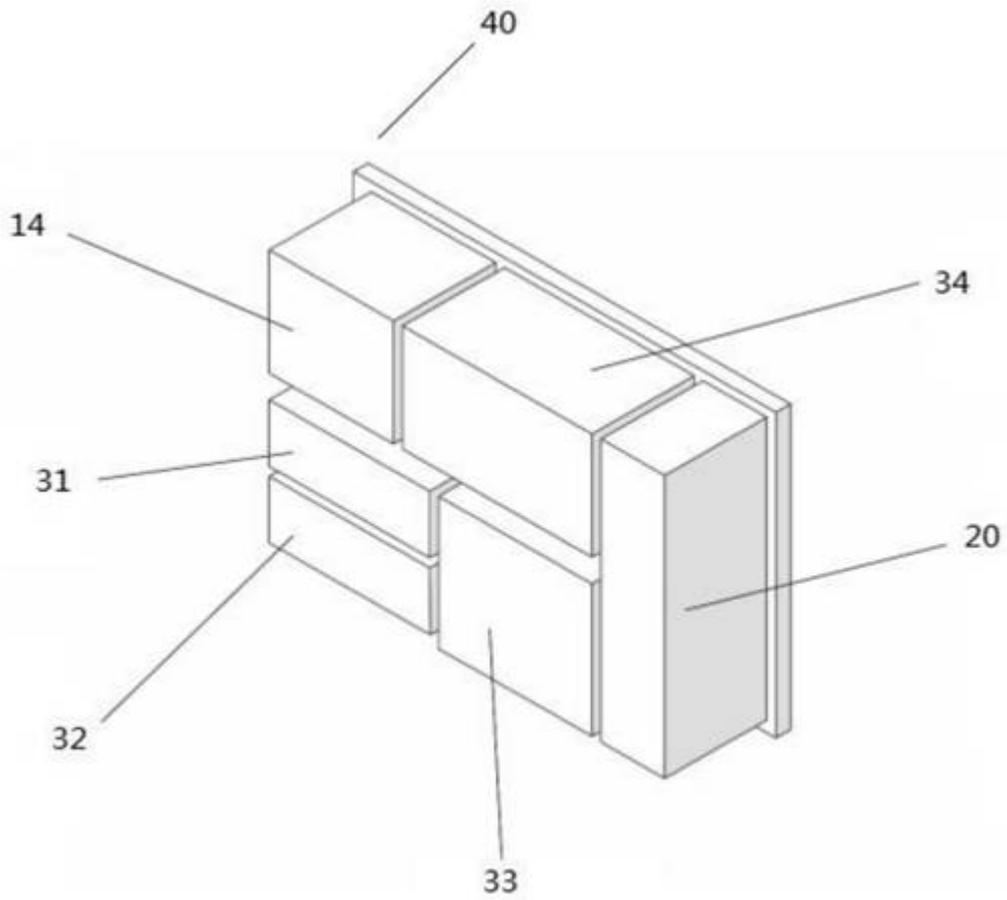


图4

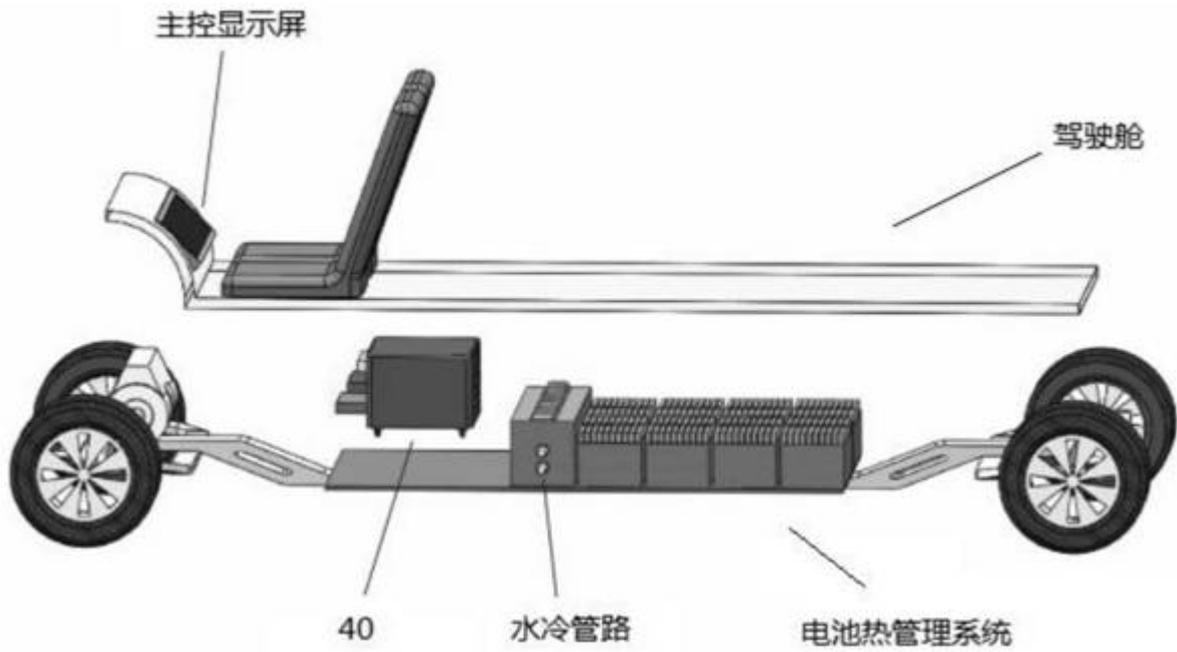


图5

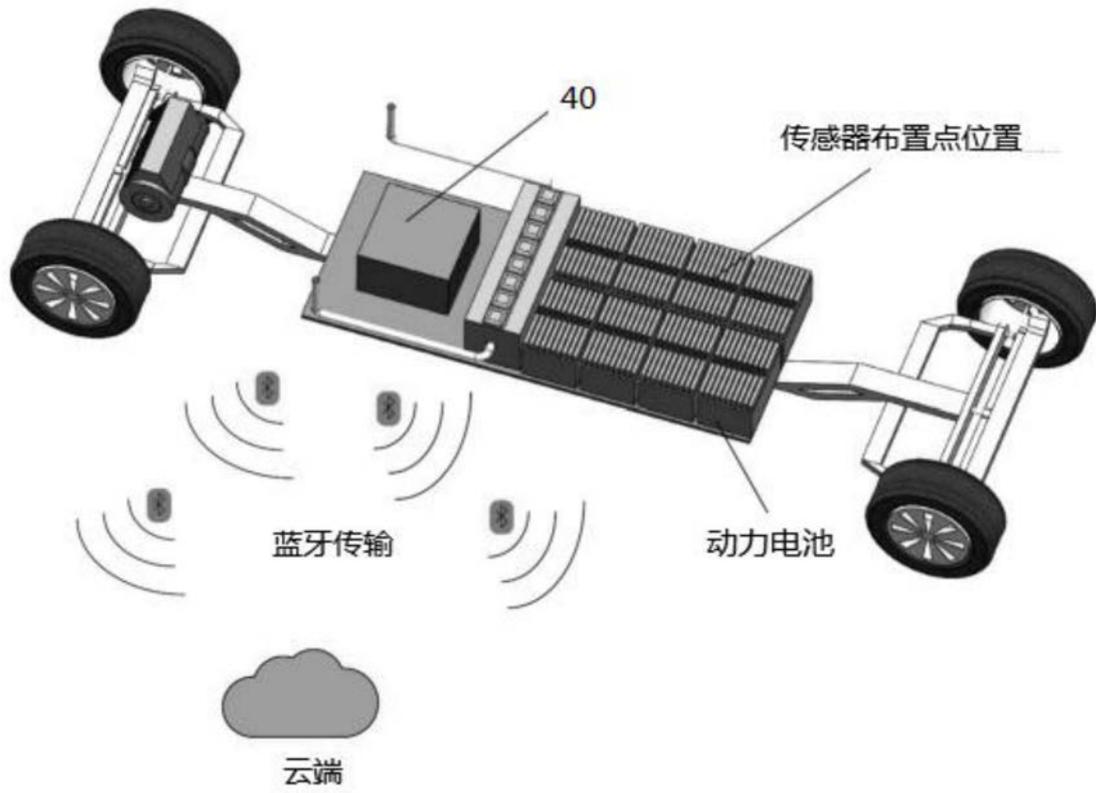


图6

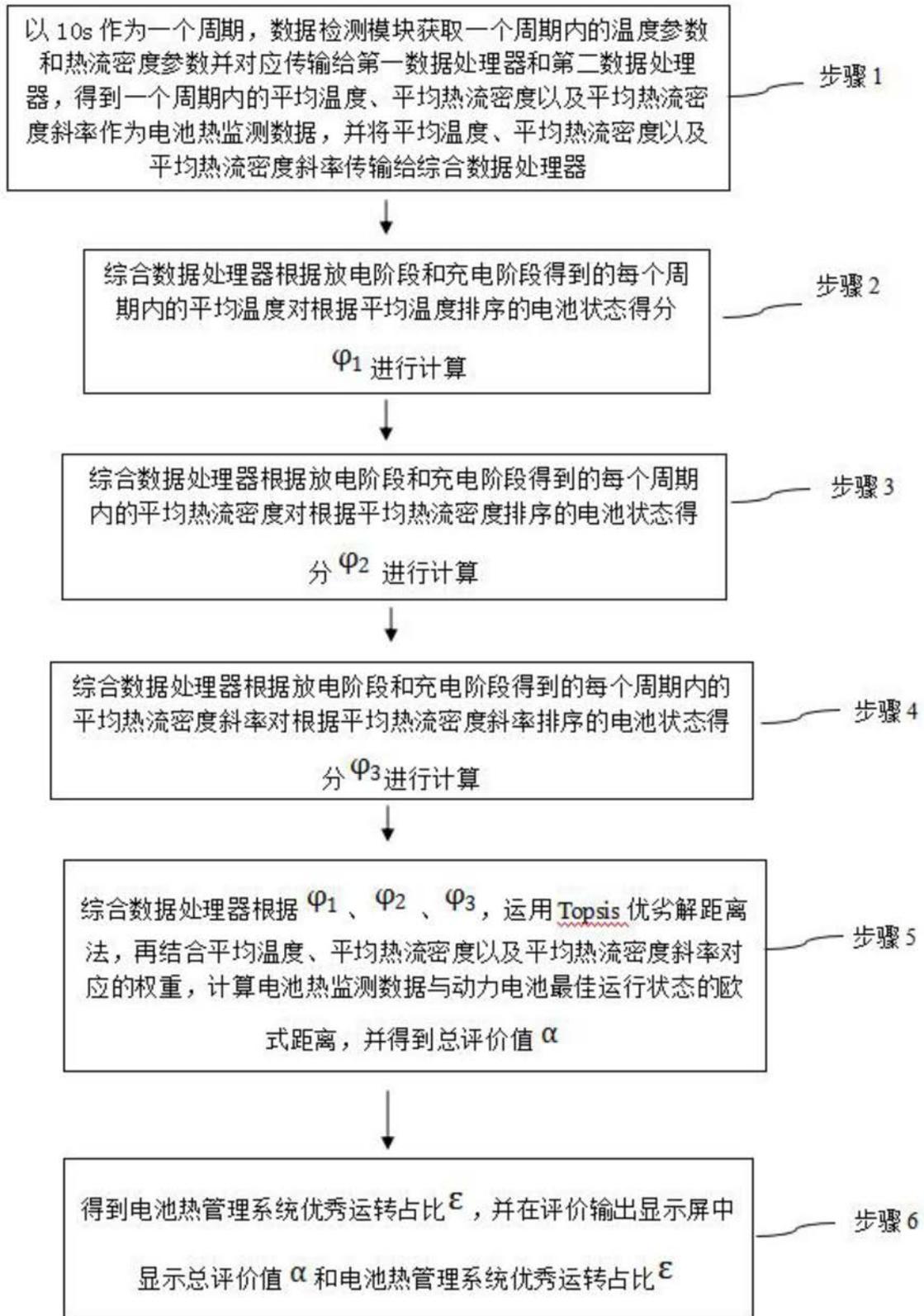


图7

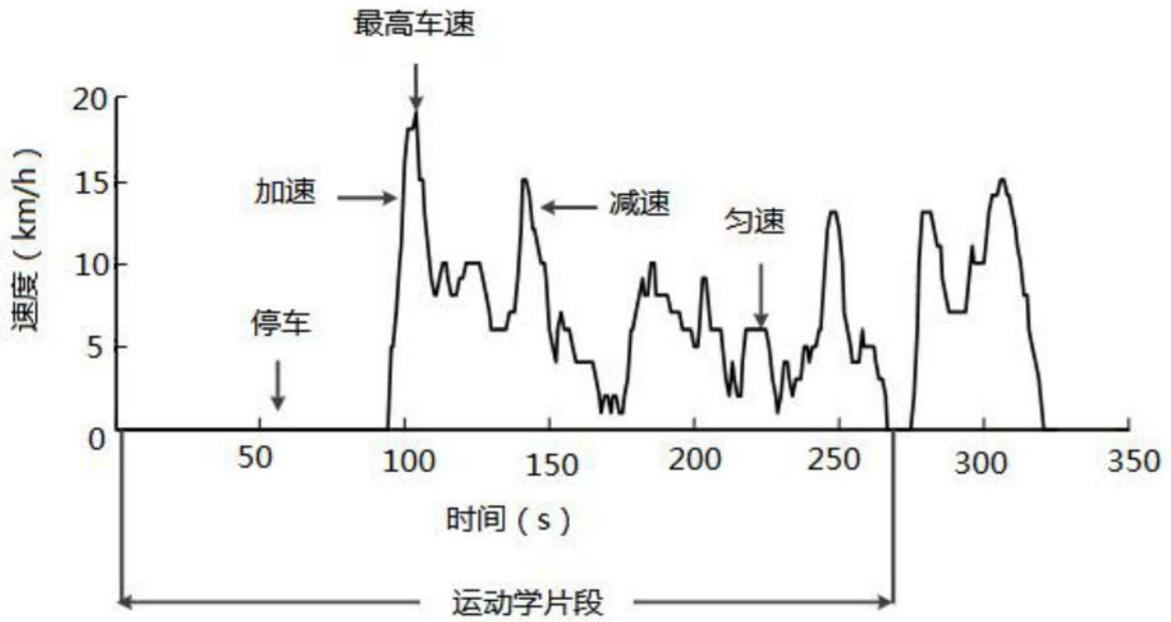


图8

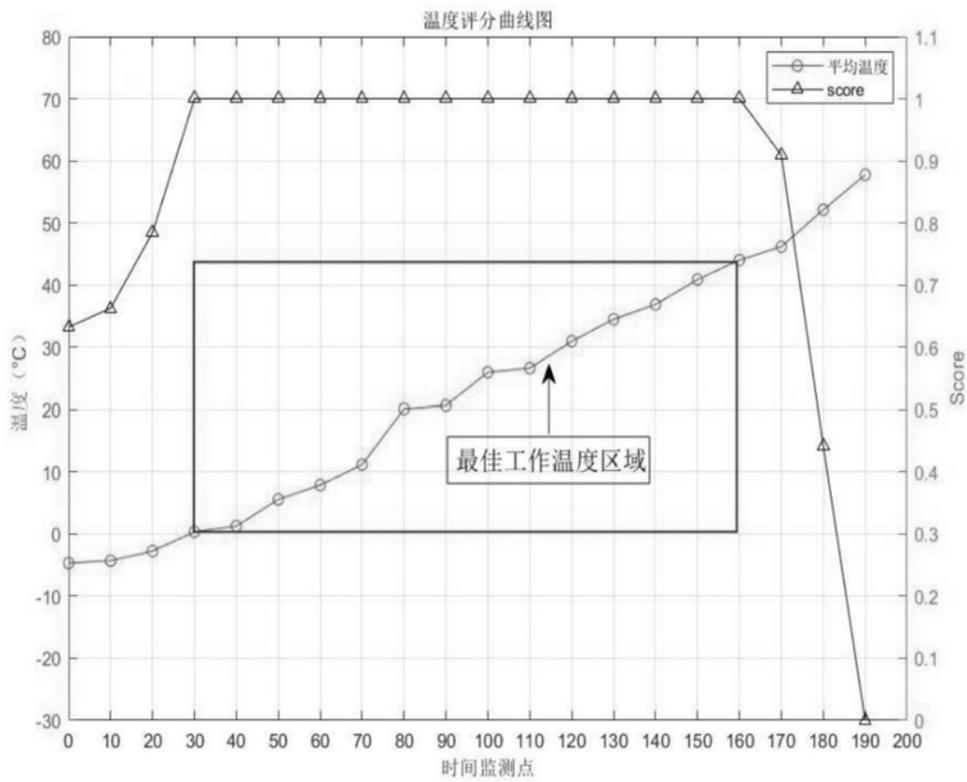


图9

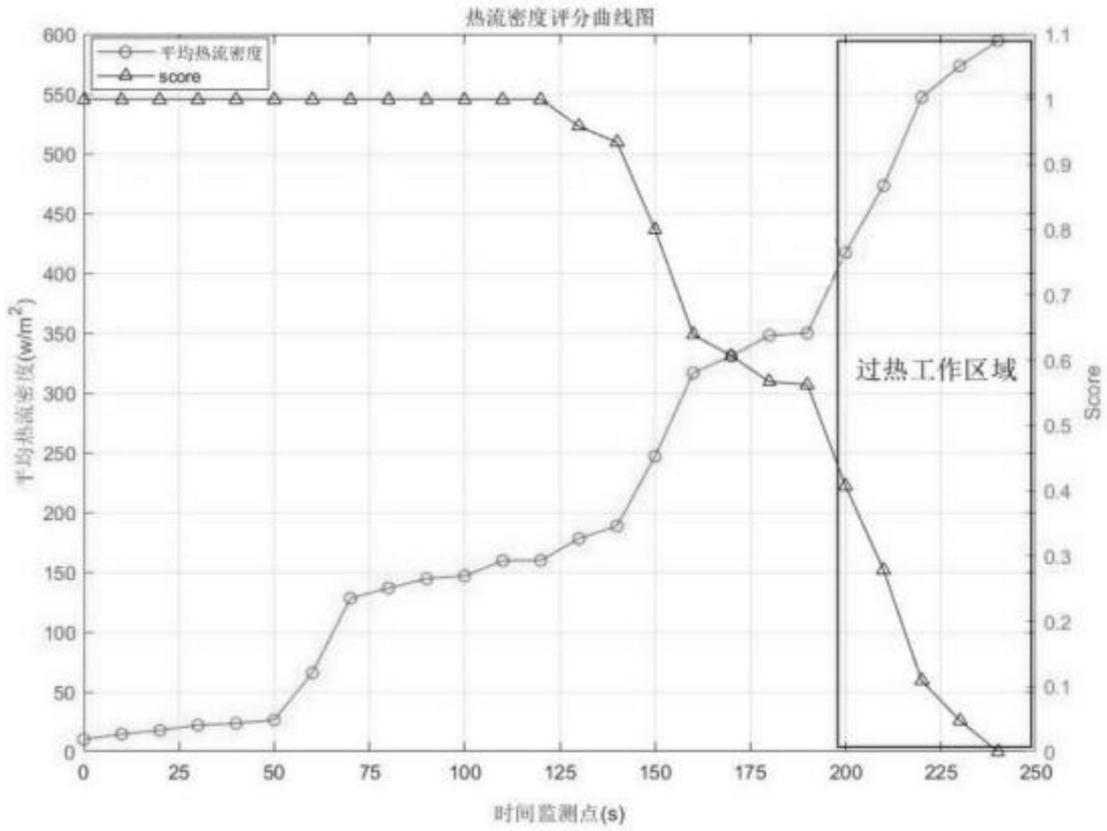


图10

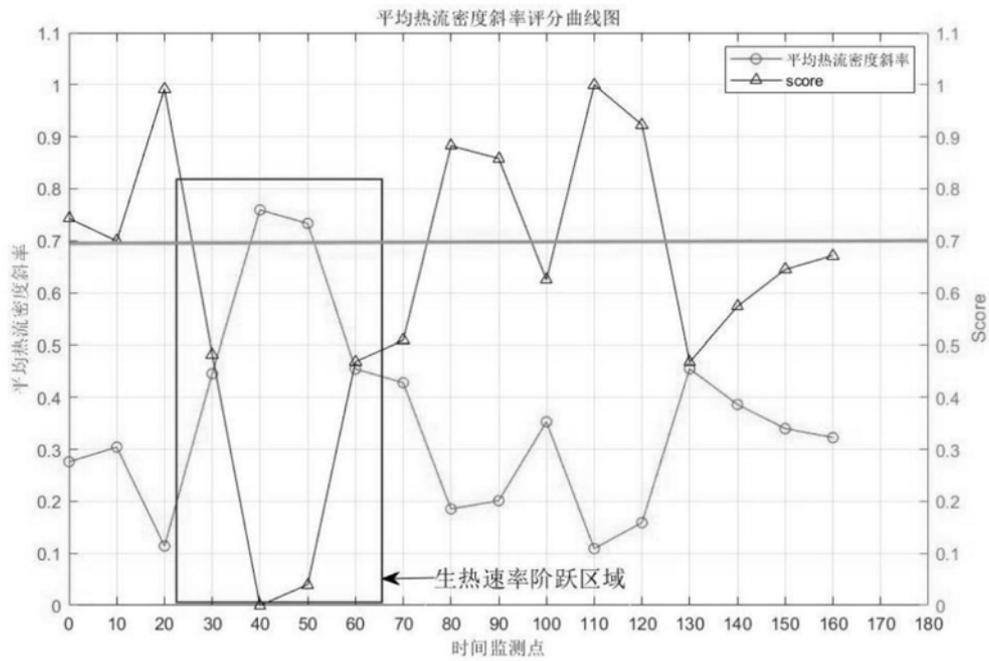


图11