



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109987000 A  
(43)申请公布日 2019.07.09

(21)申请号 201910123752.X

(22)申请日 2019.02.19

(71)申请人 中国第一汽车股份有限公司  
地址 130011 吉林省长春市长春汽车经济  
技术开发区东风大街8899号

(72)发明人 荣常如 孙焕丽 王书洋 王雯婷  
许立超 刘轶鑫 赵子亮 姜涛  
孟祥宇 任毅 窦智

(74)专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任  
公司 22201  
代理人 崔斌

(51)Int. Cl.  
B60L 58/24(2019.01)  
G01R 31/382(2019.01)

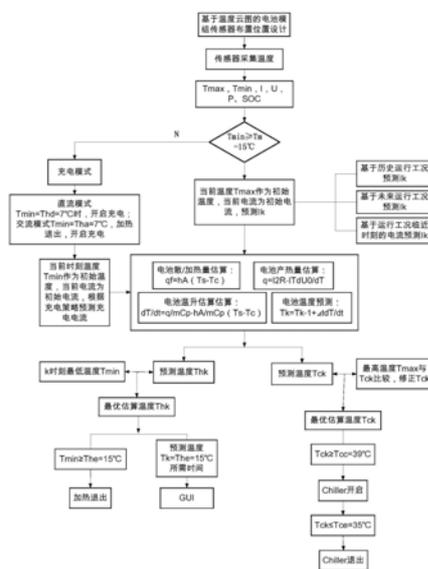
权利要求书4页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种动力电池温度预测系统及方法

(57)摘要

本发明属于动力电池领域,具体涉及一种动力电池温度预测系统及方法。本发明的动力电池温度预测系统,包括采集模块和温度预测模块,通过充放电过程中锂离子嵌脱反应的通量、电池容量衰减量以及低温加热充电的时间等多目标函数确定关键温度参数进行温度预测。本发明的方法提高了电池温度预测精度,降低温度对电池性能的不利影响。



1. 一种动力电池温度预测系统,其特征在于,该系统包括采集模块以及与其通讯连接的温度预测模块;所述的采集模块中的采样芯片将电压检测电路、电流传感器和温度传感器采集的电池最高温度 $T_{\max}$ 、电池最低温度 $T_{\min}$ 和电流值 $I$ ,输入至温度预测模块;所述的温度预测模块的运算芯片根据实时温度和SOC计算内阻 $R$ 及反应热系数 $k$ ,作为温度预测方程的输入量预测 $k$ 时刻电池温度 $T_k$ ,并将得到的温度预测值 $T_k$ 输入至电池热管理系统,整车控制器根据电池热管理系统输入的温度预测值 $T_k$ 对电池进行加热和散热管理。

2. 根据权利要求1所述的一种动力电池温度预测系统的预测方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、温度传感器分别布置在温度分布云图对应的电池模组最高温度点和最低温度点位置,传感器将采集到的最高温度 $T_{\max}$ 和最低温度 $T_{\min}$ 传输给电池管理系统BMS;电池管理系统BMS将所有传感器采集到的电池最高温度 $T_{\max}$ 和最低温度 $T_{\min}$ 传输给温度输入模块,温度输入模块将最低温度 $T_{\min}$ 中的最小值,与温度输入设定值 $T_m$ 比较,当 $T_{\min} < T_m$ 时,温度输入模块将传感器采集的最低温度 $T_{\min}$ 中的最小值或预测的最低温度 $T_{k, \min}$ 输入至温度预测模块、电流输入模块、内阻输入模块和反应热系数模块;当 $T_{\min} \geq T_m$ ,温度输入模块将最高温度 $T_{\max}$ 中的最大值或预测的最高温度 $T_{k, \max}$ 输入至至温度预测模块、电流输入模块、内阻输入模块和反应热系数模块;其中,温度输入设定值 $T_m$ 为温度控制目标,通过目标函数计算得到 $T_m$ 值;电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ 、电池容量衰减量 $Q_{de}$ 以及低温加热充电的时间 $t$ 为温度相关函数,以增加锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ ,降低电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de}$ ,以及低温加热充电的时间 $t$ 建立目标函数,

$$\begin{cases} \max[J = f(T)] & (1) \\ \min[Q_{de} = f(T)] & (2) \\ \min[t = f(T)] & (3) \end{cases}$$

约束条件 $T \leq T_{hde}$ ,  $T_{hde}$ 为电池边加热边充电时加热退出的临界温度;

所述的电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J = f(i_0, \alpha_n, \alpha_p, \eta, T)$ ,  $\alpha_p$ 与 $\alpha_n$ 为正负极传递系数, $\eta$ 为过电势, $i_0$ 为交换电流密度, $i_0 = f(\kappa_n, \kappa_p, \alpha_n, \alpha_p, C_{s, \max}, C_{s, \text{surf}}, C_l)$ ,  $\kappa_n, \kappa_p$ 是正负极电化学反应速率常数, $C_{s, \max}$ 为固相锂离子最大浓度, $C_{s, \text{surf}}$ 固相表面锂离子浓度, $C_l$ 液相锂离子浓度;

所述的电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de} = f(T, t, I, Ah_{\text{thr}}, E_a)$ ;

所述的低温加热充电的时间 $t = f(T, I)$ ;

目标函数(1)、(2)和(3)归一化,附加不同的权重系数 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 得到总目标函数取极小值时对应的温度,此时温度即为温度设定值 $T_m$ ;其中,权重 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ;

步骤二、当温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min} < T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态;具体方法如下:

21) 充电时,根据通过充电装置与电池管理系统BMS的通讯交互,判定充电模式,当处于直流充电模式时,温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{hd0}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 及电池加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 比较,当 $T_{hd0} \leq T_{\min} < T_{hde}$ ,加热开启,充电开启, $T_{\min} = T_{hde}$ 时,加热关

闭,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池不加热充电临界温度 $T_{\text{hdm}}$ 及电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{\text{hde}}$ 比较,当 $T_{\text{hdm}} \leq T_{\min} \leq T_{\text{hde}}$ ,加热不开启,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

22) 当处于交流充电模式时,温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{\text{ha0}}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{\text{ha0}}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;当 $T_{\min} \geq T_{\text{ha0}}$ ,加热关闭,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

23) 放电时,温度输入模块输入至电流输入模块的电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池放电加热临界温度 $T_{\text{h0}}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{\text{h0}}$ ,加热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{\min} \geq T_{\text{h0}}$ ,加热退出,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

当温度输入模块输入至电流输入模块的电池最小温度值 $T_{\min} \geq T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态;具体如下:

24) 充电时,温度输入模块输入至电流输入模块的最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cc0}}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;温度输入模块输入至电流输入模块的最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 比较,当 $T_{\max} \geq T_{\text{cc0}}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;温度输入模块输入至电流输入模块的最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热退出临界温度 $T_{\text{cce}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cce}}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

25) 放电时,温度输入模块输入至电流输入模块的最高温度值 $T_{\max}$ 与电池放电散热临界温度 $T_{\text{cd0}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cd0}}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{\max} \geq T_{\text{cd0}}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;温度输入模块输入至电流输入模块的最高温度值 $T_{\max}$ 与电池放电散热退出临界温度 $T_{\text{cde}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cde}}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

步骤三、根据温度输入模块的温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{hd0}}$ 、电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{\text{hde}}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{\text{hdm}}$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{ha0}}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{\text{h0}}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{\text{cce}}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{\text{cd0}}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{\text{cde}}$ ,确定内阻输入模块的内阻温度区间为 $-20 \sim 45^\circ\text{C}$ ,计算不同SOC时的内阻值 $R$ ,根据温度输入模块的温度输入值和电池管理系统的SOC输入值,将内阻值 $R$ 输入至温度预测模块;

步骤四、根据温度输入模块的温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{hd0}}$ 、电池边加热边

充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{hdm}$ 、电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ ，确定反应热系数输入模块的温度区间为 $-20\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，计算不同SOC时的反应热系数 $k$ ，根据温度输入模块的温度输入值和电池管理系统的SOC输入值，将反应热系数 $k$ 输入至温度预测模块；

步骤五、温度输入模块输入至温度预测模块的温度 $T_{\max}$ 或 $T_{\min}$ ，电流输入模块输入至温度预测模块的 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，内阻输入模块输入至温度预测模块的内阻值 $R$ ，反应热系数模块输入至温度预测模块的反应热系数 $k$ ，以及电池管理系统BMS输入至温度预测模块的SOC值，作为温度预测模块的输入量，通过电池温度预测的状态方程和观测方程，预测 $k$ 时刻的电池温度 $T_k$ ；

电池温度预测的状态方程，

$$\hat{T}_k = A_{k-1}T_{k-1} + f(\hat{T}_{k-1}) - A_{k-1}\hat{T}_{k-1} + \omega_{k-1}$$

电池温度预测的观测方程，

$$T_{mk} = DT_{k-1} + v_{k-1}$$

其中，

$$A_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{hA}{mC_p}T_c & \frac{q}{mC_p} & \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right) \end{bmatrix}$$

$$D = [0 \ 0 \ 1]$$

$$f(X) = \begin{cases} X_1 \\ X_2 \\ \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right)T_{K-1} + \frac{q}{mC_p} - \frac{hA}{mC_p}T_c + \omega_{3,k-1} \end{cases}$$

式中， $\omega_{k-1}$ 为状态噪声， $v_{k-1}$ 为观测噪声， $h$ 为对流换热系数， $A$ 为热交换面积， $m$ 为电池质量， $T_{k-1}$ 为 $k-1$ 时刻的电池预测温度， $q$ 为单位时间内电池产热量， $T_c$ 为冷却介质温度， $C_p$ 为电池比热容。

步骤六、温度预测模块将预测温度 $T_k$ 输入至热管理模块进行温度控制，以及以温度为输入变量的控制器调用。

3. 根据权利要求2所述的一种动力电池温度预测系统的预测方法，其特征在于，步骤二中所述的基于运行工况预测输入至温度预测模块的 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 包括基于历史运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，和基于未来运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，基于运行工况临近时刻预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 。

4. 根据权利要求2所述的一种动力电池温度预测系统的预测方法，其特征在于，步骤二中所述的电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 为 $-20\sim 10^{\circ}\text{C}$ ；所述的电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 为 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ ；所述的电池不加热充电临界温度所述的 $T_{hdm}$ 为 $-20\sim 20^{\circ}\text{C}$ ；所述的电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 为 $-20\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，所述的电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 为 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，所述的电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 为 $30\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，所述的电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 为 $32\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，所述的电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 为 $20\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，所述的电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ 为 $15\sim$

45℃。

## 一种动力电池温度预测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于动力电池领域,具体涉及一种动力电池温度预测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 电动车的动力电池的性能受到温度的影响较大,不同温度下电池参数、电压输出和放电效率有所不同,使得不同温度下的电池最大许用功率和剩余可用能量有差别,影响实车使用中车辆的功率输出和续驶里程。而电池在当前和未来使用过程中充放电的产热也会导致温度的变化,从而造成电池性能的变化。因此,为了提升动力电池的性能的预测精度,需要实时预测电池温度变化,提升续驶里程估计精度,或充电时间估计精度,提高电池系统的能量利用率和车辆的里程利用率便会提高。

[0003] 公开号为CN106842050A的专利公开了一种电池温度预测方法及装置,公开号为CN104881550A的专利公开了一种动力电池运行温度的自适应预测方法,公开号为CN204791125U的专利公开了一种电动汽车动力电池温度预测及散热装置,公开号为KR101449276B1的专利公开了系统和方法用于预测电池的温度,公开号为CN103415957A的专利公开了一种电池温度控制装置,公开号为CN105048021A的专利公开了电池温度估计系统,公开号为CN107392352A的专利公开了一种基于融合极限学习机的电池未来温度预测方法及系统,文献《基于ps<sub>o</sub>\_FSVM的车用动力电池温度预测模型研究》(现代电子技术,2018,41)等介绍了一种基于ps<sub>o</sub>\_FSVM的车用动力电池温度预测模型研究,文献《基于热效应的电池温度预测和分类研究》(哈尔滨工程大学硕士毕业论文,2013年)根据充放电循环的历史数据,探究电池的温度特性,利用神经网络建立电池温度的预测模型,对不同环境温度和工作电流下的电池进行温度预测,文献《动力锂离子电池系统热管理研究》(北京理工大学博士毕业论文,2017年)针对一个大容量软包动力锂离子电池模组提出了不同的极耳散热方案,使用热模型推导了包含电池模组工作电流前馈环节的电池温度动态矩阵预测控制算法;文献《基于风冷散热的电动汽车电池组热模型与温度控制研究》(吉林大学硕士论文,2017年)介绍了分析了锂离子电池充放电过程中的生热机理和电池与外界空气间的传热特性,根据生热率模型和牛顿冷却定律建立了电池内阻和换热系数时变的单体电池热模型。

[0004] 综合以上分析可以看出,作为动力电池重要影响因素的温度获得了广泛关注和深入研究,这些研究主要集中在模型和/或神经网络建立预测模型,更早、更精确地预测温度,对电池温度控制更有效,减少因温度导致的性能衰减。但现有相关研究也存在待改进的问题,如温度等幅假设并不能真是反映车辆实际运行过程中电池温度变化;模型运算量较大,会使现有实际应用的电池管理系统微处理器负载率过大,预测的温度值很难实时给出;深度学习工作量大,实际驾驶习惯差别较明显,车辆功率输出不同导致电池产热不同,自适应能力适应实际运行还需要进一步提升。

### 发明内容

[0005] 本发明提供了一种能提高电池温度估算精度及热管理预先控制等问题的动力电

池温度预测系统,解决了现有动力电池温度预测系统和温度预测方法存在的上述不足。

[0006] 本发明技术方案结合附图说明如下:

[0007] 一种动力电池温度预测系统,该系统包括采集模块以及与其通讯连接的温度预测模块,采集模块中的采样芯片将电压检测电路、电流传感器和温度传感器采集的电池最高温度 $T_{\max}$ 、电池最低温度 $T_{\min}$ 和电流值 $I$ ,输入至温度预测模块;温度预测模块的运算芯片根据实时温度和SOC计算内阻 $R$ 及反应热系数 $k$ ,作为温度预测方程的输入量预测 $k$ 时刻电池温度 $T_k$ ,并将得到的温度预测值 $T_k$ 输入至电池热管理系统,整车控制器根据电池热管理系统输入的温度预测值 $T_k$ 对电池进行加热和散热管理。

[0008] 一种动力电池温度预测方法包括以下步骤:

[0009] S1:温度传感器分别布置在温度分布云图对应的电池模组最高温度点和最低温度点位置,将采集到的最高温度 $T_{\max}$ 和最低温度 $T_{\min}$ 传输给电池管理系统;电池管理系统将电池传感器采集到的所有电池最高温度 $T_{\max}$ 和电池最低温度 $T_{\min}$ ,或者预测的电池最高温度 $T_{k,\max}$ 和电池最低温度 $T_{k,\min}$ 传输给采集模块,所有 $T_{\min}$ 中的最小值与温度输入设定值 $T_m$ 比较,

[0010] 当 $T_{\min} < T_m$ 时, $T_{\min}$ 或 $T_{k,\min}$ 中的最小值作为电流值 $I$ 、不同温度下及不同SOC时内阻 $R$ 、反应热系数 $k$ 的输入变量,用来获得 $I$ 、 $R$ 、 $k$ , $T_{\min}$ 中的最小值输入至温度预测模块;

[0011] 当 $T_{\min} \geq T_m$ 时, $T_{\max}$ 或 $T_{k,\max}$ 中的最大值作为电流值 $I$ 、不同温度下及不同SOC时内阻 $R$ 、反应热系数 $k$ 的输入变量,用来获得 $I$ 、 $R$ 、 $k$ , $T_{\max}$ 输入至温度预测模块;

[0012] 其中,温度输入设定值 $T_m$ 为温度控制目标,通过目标函数计算得到 $T_m$ 值;电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ 、电池容量衰减量 $Q_{de}$ 以及低温加热充电的时间 $t$ 为温度相关函数,以增加锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ ,降低电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de}$ ,以及低温加热充电的时间 $t$ 建立目标函数,

$$[0013] \begin{cases} \max[J = f(T)] & (1) \\ \min[Q_{de} = f(T)] & (2) \\ \min[t = f(T)] & (3) \end{cases}$$

[0014] 约束条件 $T \leq T_{hde}$ , $T_{hde}$ 为电池边加热边充电时加热退出的临界温度;

[0015] 所述的电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J = f(i_0, \alpha_n, \alpha_p, \eta, T)$ , $\alpha_p$ 与 $\alpha_n$ 为正负极传递系数, $\eta$ 为过电势, $i_0$ 为交换电流密度, $i_0 = f(k_n, k_p, \alpha_n, \alpha_p, C_{s,\max}, C_{s,\text{surf}}, C_l)$ , $k_n, k_p$ 是正负极电化学反应速率常数, $C_{s,\max}$ 为固相锂离子最大浓度, $C_{s,\text{surf}}$ 固相表面锂离子浓度, $C_l$ 液相锂离子浓度;

[0016] 所述的电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de} = f(T, t, I, Ah_{\text{thr}}, E_a)$ ;

[0017] 所述的低温加热充电的时间 $t = f(T, I)$ ;

[0018] 目标函数(1)、(2)和(3)归一化,附加不同的权重系数 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 得到总目标函数取极小值时对应的温度,此时温度即为温度设定值 $T_m$ ;其中,权重 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ;

[0019] S2:当电池最低温度值 $T_{\min} < T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态;具体方法如下:

[0020] 2a) 充电时,根据充电装置与电池管理系统的通信交互,判定充电模式,当处于直流充电模式时,电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{hd0}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 及电池加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 比较,当 $T_{hd0} \leq T_{\min} < T_{hde}$ ,加热开启,充电开启, $T_{\min} = T_{hde}$

时,加热关闭,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池不加热充电临界温度 $T_{\text{hdm}}$ 及电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{\text{hde}}$ 比较,当 $T_{\text{hdm}} \leq T_{\min} \leq T_{\text{hde}}$ ,加热不开启,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

[0021] 2b) 当处于交流充电模式时,电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池加热临界温度 $T_{\text{ha0}}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{\text{ha0}}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;当 $T_{\min} \geq T_{\text{ha0}}$ ,加热关闭,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

[0022] 2c) 放电时,电池最低温度值 $T_{\min}$ 与电池放电加热临界温度 $T_{\text{h0}}$ 比较,当 $T_{\min} < T_{\text{h0}}$ ,加热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{\min} \geq T_{\text{h0}}$ ,加热退出,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0023] 当温度输入模块输入至电流输入模块的电池最小温度值 $T_{\min} \geq T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态;具体如下:

[0024] 2d) 充电时,最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cc0}}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 比较,当 $T_{\max} \geq T_{\text{cc0}}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{\max}$ 与电池充电散热退出临界温度 $T_{\text{cce}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cce}}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0025] 2e) 放电时,最高温度值 $T_{\max}$ 与电池放电散热临界温度 $T_{\text{cd0}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cd0}}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{\max} \geq T_{\text{cd0}}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{\max}$ 与电池放电散热退出临界温度 $T_{\text{cde}}$ 比较,当 $T_{\max} < T_{\text{cde}}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0026] S3: 根据温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{hd0}}$ 、电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{\text{hde}}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{\text{hdm}}$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{ha0}}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{\text{h0}}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{\text{cce}}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{\text{cd0}}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{\text{cde}}$ ,确定温度区间为 $-20 \sim 45^\circ\text{C}$ ,计算不同SOC时的内阻值 $R$ ,根据温度输入值度 $T_{\max}$ 或 $T_{\min}$ 或 $T_{k,\max}$ 或 $T_{k,\min}$ ,以及和电池管理系统的SOC输入值,将内阻值 $R$ 输入至温度预测模块;

[0027] S4: 根据温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{hd0}}$ 、电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{\text{hde}}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{\text{hdm}}$ 、电池加热临界温度 $T_{\text{ha0}}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{\text{h0}}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{\text{cc0}}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{\text{cce}}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{\text{cd0}}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{\text{cde}}$ ,确定温度区间为 $-20 \sim 45^\circ\text{C}$ ,计算不同SOC时的反

应热系数 $k$ ,根据温度输入值 $T_{\max}$ 或 $T_{\min}$ 或 $T_{k,\max}$ 或 $T_{k,\min}$ ,以及电池管理系统的SOC输入值,将反应热系数 $k$ 输入至温度预测模块;

[0028] S5:输入至温度预测模块的温度 $T_{\max}$ 或 $T_{\min}$ , $k$ 时刻的电流 $I_k$ ,内阻值 $R$ ,反应热系数 $k$ ,以及电池管理系统输入至温度预测模块的SOC值,作为温度预测模块的输入量,通过电池温度预测的状态方程和观测方程,预测 $k$ 时刻的电池温度 $T_k$ ;

[0029] 电池温度预测的状态方程,

$$[0030] \quad \hat{T}_k = A_{k-1}T_{k-1} + f(\hat{T}_{k-1}) - A_{k-1}\hat{T}_{k-1} + \omega_{k-1}$$

[0031] 电池温度预测的观测方程,

$$[0032] \quad T_{mk} = DT_{k-1} + v_{k-1}$$

[0033] 其中,

$$[0034] \quad A_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{hA}{mC_p}T_c & \frac{q}{mC_p} & \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right) \end{bmatrix}$$

$$[0035] \quad D = [0 \ 0 \ 1]$$

$$[0036] \quad f(X) = \begin{cases} X_1 \\ X_2 \\ \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right)T_{k-1} + \frac{q}{mC_p} - \frac{hA}{mC_p}T_c + \omega_{3,k-1} \end{cases}$$

[0037] 式中, $\omega_{k-1}$ 为状态噪声, $v_{k-1}$ 为观测噪声, $h$ 为对流换热系数, $A$ 为热交换面积, $m$ 为电池质量, $T_{k-1}$ 为 $k-1$ 时刻的电池预测温度, $q$ 为单位时间内电池产热量, $T_c$ 为冷却介质温度, $C_p$ 为电池比热容。

[0038] S6:温度预测模块输出的预测温度 $T_k$ 输入至热管理系统进行温度控制,以及以温度为输入变量的控制器调用。

[0039] S2中所述的基于运行工况预测输入至温度预测模块的 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 包括基于历史运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ,和基于未来运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ,基于运行工况临近时刻预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 。

[0040] S2中所述的电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 为 $-20 \sim 10^\circ\text{C}$ ;所述的电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 为 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ ;所述的电池不加热充电临界温度所述的 $T_{hdm}$ 为 $-20 \sim 20^\circ\text{C}$ ;所述的电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 为 $-20 \sim 10^\circ\text{C}$ ,所述的电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 为 $-10 \sim 20^\circ\text{C}$ ,所述的电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 为 $30 \sim 45^\circ\text{C}$ ,所述的电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 为 $32 \sim 45^\circ\text{C}$ ,所述的电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 为 $20 \sim 45^\circ\text{C}$ ,所述的电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ 为 $15 \sim 45^\circ\text{C}$ 。

[0041] 本发明的有益效果:本发明的动力电池温度预测系统,包括采集模块和温度预测模块,通过充放电过程中锂离子嵌脱反应的通量、电池容量衰减量以及低温加热充电的时间等多目标函数确定关键温度参数进行温度预测。本发明的方法提高了电池温度预测精度,降低温度对电池性能的不利影响。

## 附图说明

- [0042] 图1是本发明实施例的温度分布云图。  
 [0043] 图2是本发明实施例的温度预测方法策略示意图。  
 [0044] 图3是本发明实施例的温度预测曲线图。

## 具体实施方式

[0045] 本发明的目的在于提供一种动力电池温度预测系统及方法,用于预测动力电池模组充放电过程中热能和电能的变化引起的温度变化。

[0046] 一种动力电池温度预测系统,该系统包括采集模块以及与其通讯连接的温度预测模块,采集模块中的采样芯片将电压检测电路、电流传感器和温度传感器采集的电池最高温度 $T_{max}$ 、电池最低温度 $T_{min}$ 和电流值 $I$ ,输入至温度预测模块;温度预测模块的运算芯片根据实时温度和SOC计算内阻 $R$ 及反应热系数 $k$ ,作为温度预测方程的输入量预测 $k$ 时刻电池温度 $T_k$ ,并将得到的温度预测值 $T_k$ 输入至电池热管理系统,整车控制器根据电池热管理系统输入的温度预测值 $T_k$ 对电池进行加热和散热管理。

[0047] 一种动力电池温度预测方法包括以下步骤:

[0048] 温度传感器分别布置在温度分布云图对应的电池模组最高温度点和最低温度点位置,将采集到的最高温度 $T_{max}$ 和最低温度 $T_{min}$ 传输给电池管理系统;图1为本发明实施例中的四个电芯组成的动力电池模组铺展开的温度场分布云图,所述的动力电池模组温度场分布云图用于设计电池模组最高温度点 $T_{max}$ 和最低温度点 $T_{min}$ 的传感器位置。图1中电池模组温度最高点 $T_{max}$ 传感器布置位置为(244,485),温度最低点 $T_{min}$ 传感器布置位置为(56,289)。

[0049] 所述的温度云图为仿真和/或实际测试绘制。

[0050] 电池管理系统将传感器采集到的所有电池最高温度 $T_{max}$ 和电池最低温度 $T_{min}$ ,或者预测的电池最高温度 $T_{k,max}$ 和电池最低温度 $T_{k,min}$ 传输给采集模块,所有 $T_{min}$ 中的最小值与温度输入设定值 $T_m$ 比较,

[0051] 当 $T_{min} < T_m$ 时, $T_{min}$ 或 $T_{k,min}$ 中的最小值作为电流值 $I$ 、不同温度下及不同SOC时内阻 $R$ 、反应热系数 $k$ 的输入变量,用来获得 $I$ 、 $R$ 、 $k$ 、 $T_{min}$ 中的最小值输入至温度预测模块。

[0052] 当 $T_{min} \geq T_m$ 时, $T_{max}$ 或 $T_{k,max}$ 中的最大值作为电流值 $I$ 、不同温度下及不同SOC时内阻 $R$ 、反应热系数 $k$ 的输入变量,用来获得 $I$ 、 $R$ 、 $k$ 、 $T_{max}$ 输入至温度预测模块。

[0053] 其中,温度输入设定值 $T_m$ 为温度控制目标,通过目标函数计算得到 $T_m$ 值;电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ 、电池容量衰减量 $Q_{de}$ 以及低温加热充电的时间 $t$ 为温度相关函数,以增加锂离子嵌脱反应产生通量 $J$ ,降低电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de}$ ,以及低温加热充电的时间 $t$ 建立目标函数,

$$[0054] \begin{cases} \max[J = f(T)] & (1) \\ \min[Q_{de} = f(T)] & (2) \\ \min[t = f(T)] & (3) \end{cases}$$

[0055] 约束条件 $T \leq T_{hde}$ , $T_{hde}$ 为电池边加热边充电时加热退出的临界温度。

[0056] 所述的电池充放电过程中锂离子嵌脱反应产生通量 $J = f(i_0, \alpha_n, \alpha_p, \eta, T)$ , $\alpha_p$ 与 $\alpha_n$ 为正负极传递系数, $\eta$ 为过电势, $i_0$ 为交换电流密度, $i_0 = f(k_n, k_p, \alpha_n, \alpha_p, C_{s,max}, C_{s,surf}, C_l)$ , $k_n, k_p$ 是正负极电化学反应速率常数, $C_{s,max}$ 为固相锂离子最大浓度, $C_{s,surf}$ 固相表面锂离子浓度,

$c_1$ 液相锂离子浓度。

[0057] 所述的电池充放电过程中容量衰减量 $Q_{de} = f(T, t, I, Ah_{thr}, E_a)$ 。

[0058] 所述的低温加热充电的时间 $t = f(T, I)$ 。

[0059] 目标函数(1)、(2)和(3)归一化,附加不同的权重系数 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 得到总目标函数取极小值时对应的温度,此时温度即为温度设定值 $T_m$ ;其中,权重 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。

[0060] 如图2,当温度输入模块输入至电流输入模块的电池最小温度值 $T_{min} < T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态。

[0061] 充电时,根据充电装置与电池管理系统的通信交互,判定充电模式,当处于直流充电模式时,电池最低温度值 $T_{min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 比较,当 $T_{min} < T_{hd0}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;电池最低温度值 $T_{min}$ 与电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 及电池加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 比较,当 $T_{hd0} \leq T_{min} < T_{hde}$ ,加热开启,充电开启, $T_{min} = T_{hde}$ 时,加热关闭,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;电池最低温度值 $T_{min}$ 与电池不加热充电临界温度 $T_{hdm}$ 及电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 比较,当 $T_{hdm} \leq T_{min} \leq T_{hde}$ ,加热不开启,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

[0062] 当处于交流充电模式时,电池最低温度值 $T_{min}$ 与电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 比较,当 $T_{min} < T_{ha0}$ ,加热开启,充电不开启,输入至温度预测模块的电流值为0;当 $T_{min} \geq T_{ha0}$ ,加热关闭,充电开启,根据充电策略估算输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ;

[0063] 放电时,电池最低温度值 $T_{min}$ 与电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 比较,当 $T_{min} < T_{h0}$ ,加热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{min} \geq T_{h0}$ ,加热退出,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0064] 当温度输入模块输入至电流输入模块的电池最小温度值 $T_{min} \geq T_m$ 时,根据车辆运行状态,判断电池的充放电状态;具体如下:

[0065] 充电时,最高温度值 $T_{max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 比较,当 $T_{max} < T_{cc0}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{max}$ 与电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 比较,当 $T_{max} \geq T_{cc0}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{max}$ 与电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 比较,当 $T_{max} < T_{cce}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0066] 放电时,最高温度值 $T_{max}$ 与电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 比较,当 $T_{max} < T_{cd0}$ ,散热不开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;当 $T_{max} \geq T_{cd0}$ ,散热开启,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;最高温度值 $T_{max}$ 与电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ 比较,当 $T_{max} < T_{cde}$ ,散热关闭,基于运行工况预测输入至温度预测模块的k时刻的电流 $I_k$ ,初始时刻传感器采集的电流值作为输入至温度预测模块的电流初始值 $I_0$ ;

[0067] 根据温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 、电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{hdm}$ 、电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ ，确定温度区间为 $-20\sim 45^\circ\text{C}$ ，计算不同SOC时的内阻值 $R$ ，根据温度输入值度 $T_{max}$ 或 $T_{min}$ 或 $T_{k,max}$ 或 $T_{k,min}$ ，以及和电池管理系统的SOC输入值，将内阻值 $R$ 输入至温度预测模块；

[0068] 根据温度输入设定值 $T_m$ 、电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 、电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 、电池不加热充电临界温度 $T_{hdm}$ 、电池加热临界温度 $T_{ha0}$ 、电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 、电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 、电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 、电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 、电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ ，确定温度区间为 $-20\sim 45^\circ\text{C}$ ，计算不同SOC时的反应热系数 $k$ ，根据温度输入值 $T_{max}$ 或 $T_{min}$ 或 $T_{k,max}$ 或 $T_{k,min}$ ，以及电池管理系统的SOC输入值，将反应热系数 $k$ 输入至温度预测模块；

[0069] 输入至温度预测模块的温度 $T_{max}$ 或 $T_{min}$ ， $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，内阻值 $R$ ，反应热系数 $k$ ，以及电池管理系统输入至温度预测模块的SOC值，作为温度预测模块的输入量，通过电池温度预测的状态方程和观测方程，预测 $k$ 时刻的电池温度 $T_k$ ；

[0070] 电池温度预测的状态方程，

$$[0071] \quad \hat{T}_k = A_{k-1}T_{k-1} + f(\hat{T}_{k-1}) - A_{k-1}\hat{T}_{k-1} + \omega_{k-1}$$

[0072] 电池温度预测的观测方程，

$$[0073] \quad T_{mk} = DT_{k-1} + v_{k-1}$$

[0074] 其中，

$$[0075] \quad A_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\frac{hA}{mC_p}T_c & \frac{q}{mC_p} & \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right) \end{bmatrix}$$

$$[0076] \quad D = [0 \ 0 \ 1]$$

$$[0077] \quad f(X) = \begin{cases} X_1 \\ X_2 \\ \left(1 + \frac{hA}{mC_p}\right)T_{K-1} + \frac{q}{mC_p} - \frac{hA}{mC_p}T_c + \omega_{3,k-1} \end{cases}$$

[0078] 式中， $\omega_{k-1}$ 为状态噪声， $v_{k-1}$ 为观测噪声， $h$ 为对流换热系数， $A$ 为热交换面积， $m$ 为电池质量， $T_{k-1}$ 为 $k-1$ 时刻的电池预测温度， $q$ 为单位时间内电池产热量， $T_c$ 为冷却介质温度， $C_p$ 为电池比热容。

[0079] 温度预测模块输出的预测温度 $T_k$ 输入至热管理系统进行温度控制，以及其他控制器调用。

[0080] 所述的基于运行工况预测输入至温度预测模块的 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 包括基于历史运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，和基于未来运行工况预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ ，基于运行工况临近时刻预测 $k$ 时刻的电流 $I_k$ 。

[0081] 所述的电池加热临界温度 $T_{hd0}$ 为 $-20\sim 10^\circ\text{C}$ ，电池边加热边充电时加热退出的临界温度 $T_{hde}$ 为 $10\sim 30^\circ\text{C}$ ，电池不加热充电临界温度所述的 $T_{hdm}$ 为 $-20\sim 20^\circ\text{C}$ ，所述的电池加热临

界温度 $T_{ha0}$ 为 $-20\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,所述的电池放电加热临界温度 $T_{h0}$ 为 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ,所述的电池充电散热临界温度 $T_{cc0}$ 为 $30\sim 45^{\circ}\text{C}$ ,所述的电池充电散热退出临界温度 $T_{cce}$ 为 $32\sim 45^{\circ}\text{C}$ ,所述的电池放电散热临界温度 $T_{cd0}$ 为 $20\sim 45^{\circ}\text{C}$ ,所述的电池放电散热退出临界温度 $T_{cde}$ 为 $15\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。

[0082] 所述的动力电池包括用于弱混合动力车、混合动力车、插电式混合动力车、增程式电动车、纯电动车和燃料电池车辆的电池。图3为纯电动车动力电池在US06工况下的温度预测值和实测值曲线。

[0083] 所述的温度输入模块输入至电流输入模块的最小温度值 $T_{\min} < T_m$ 时,混合动力车辆的发动机废气热循环加热电池,纯电动车加热元器件和/或电机余热循环加热电池。充电时候,空调可提供一部分散热能力。



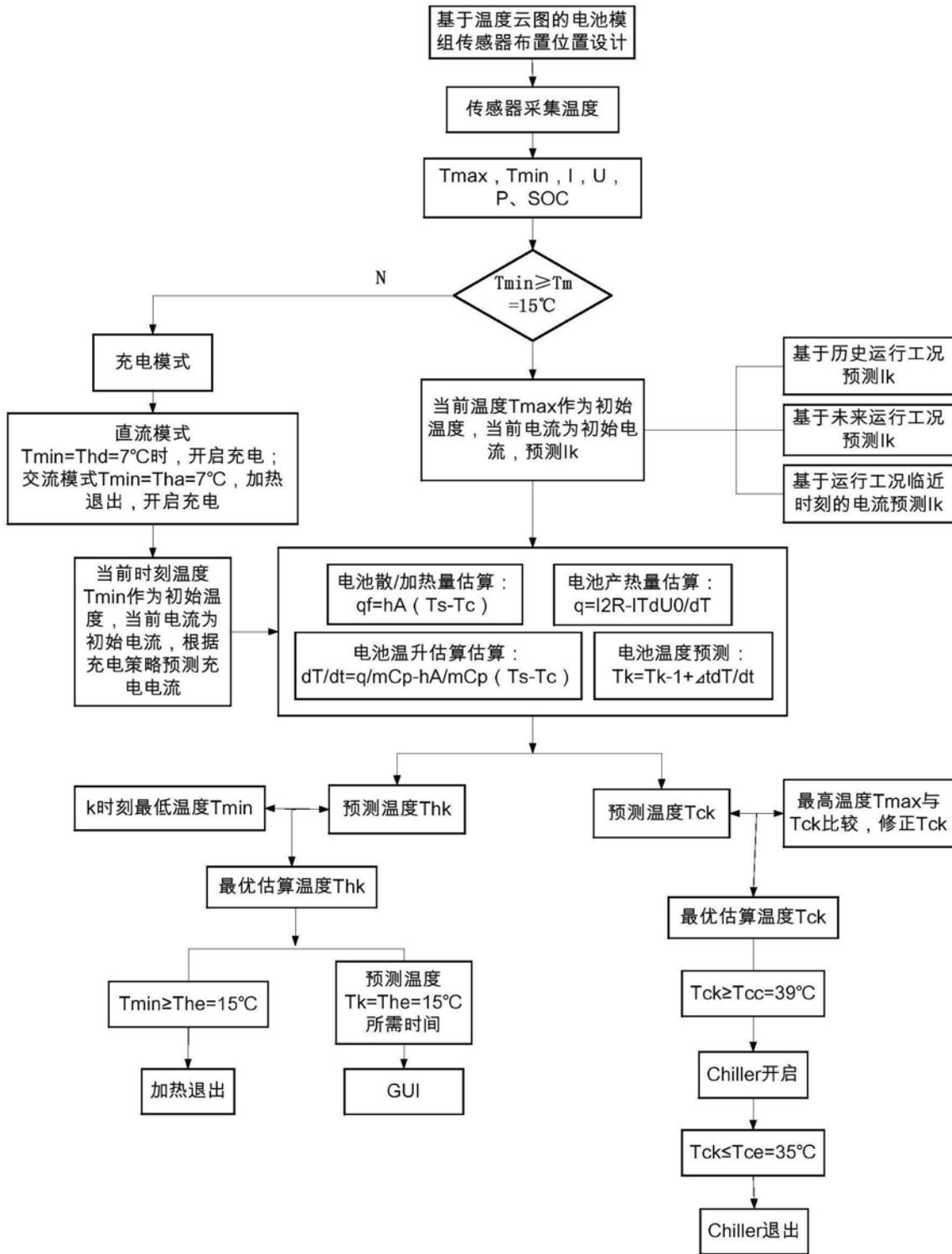


图2

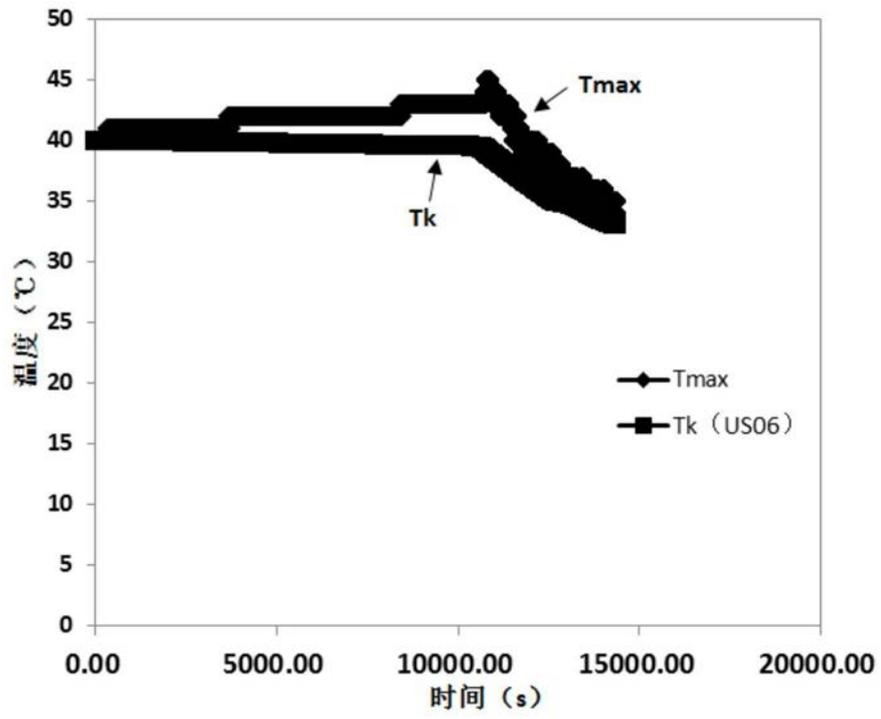


图3