(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 9 月 14 日 (14.09.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/169087 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/10 (2020.01) *H01M 10/613* (2014.01)
G06F 30/20 (2020.01) *H01M 10/625* (2014.01)
H01M 10/0525 (2010.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/072481

(22) 国际申请日: 2023 年 1 月 17 日 (17.01.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210238421.2 2022年3月10日 (10.03.2022) CN

(71) 申请人: 山 东 大 学 (SHANDONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(72) 发明人: 崔纳新(CUI, Naxin); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。
周剑文(ZHOU, Jianwen); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 李长龙 (LI, Changlong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 陆东 (LU, Dong); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 张承慧 (ZHANG, Chenghui); 中国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国山东省济南市历下区经十路17703号, Shandong 250061 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,

(54) **Title:** THERMAL MANAGEMENT AND THERMAL SPREAD SUPPRESSION METHOD FOR POWER BATTERY BASED ON LUMPED MODEL

(54) 发明名称: 基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法

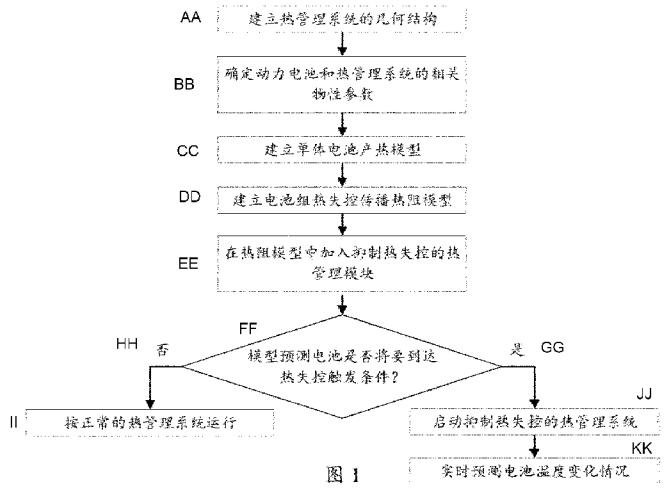

图 1

AA Establish a geometric structure of a thermal management system
BB Determine relevant physical property parameters of a power battery and the thermal management system
CC Establish battery cell thermal production models
DD Establish a thermal resistance model for thermal runaway propagation of a battery pack
EE Add, into the thermal resistance model, a thermal management module for suppressing thermal runaway
FF The model predicts whether the battery is about to meet a thermal runaway trigger condition
GG Yes
HH No
II Run according to a normal thermal management system
JJ Start a thermal management system for suppressing thermal runaway
KK Predict a temperature change condition of the battery in real time

(57) **Abstract:** A thermal management and thermal spread suppression method for a power battery based on a lumped model, which method relates to the technical field of battery management. The method comprises the following steps: constructing a thermal management geometric structure of a power battery on the basis of a liquid-cooling small/ micro-channel and a phase change material; acquiring physical property parameters of the thermal management geometric structure, and establishing battery cell thermal production models; according to a plurality of battery cell thermal production models and the physical property parameters combined with an equivalent circuit, constructing a lumped model of the power battery; and adding, into the lumped model, a management module for suppressing thermal runaway spread, predicting a temperature change of the power battery on the basis of the lumped model, determining that the power battery triggers a thermal runaway condition, and before a thermal runaway trigger condition of the power battery is met, starting the liquid-cooling small/micro-channel, so as to suppress thermal runaway spread. Therefore, thermal management of the power battery is realized.

WO 2023/169087 A1

[见续页]

IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，涉及电池管理技术领域。所述包括以下步骤：基于液冷小微通道和相变材料构建动力电池的热管理几何结构；获取所述热管理几何结构的物性参数，建立单体电池产热模型；根据多个单体电池产热模型和物性参数结合等效电路构建动力电池的集总模型；在所述集总模型中加入抑制热失控蔓延管理模块，基于所述集总模型预测所述动力电池的温度变化，确定动力电池触发热失控条件，在达到动力电池的热失控触发条件之前启动所述液冷小微通道，抑制热失控蔓延，实现动力电池的热管理。

基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法

本发明要求于2022年3月10日提交中国专利局、申请号为202210238421.2、发明名称为“基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本发明中。

技术领域

本公开属于电池管理技术领域，具体涉及一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术信息，不必然构成在先技术。

锂离子电池由于其能量和功率密度高、无记忆效应和循环寿命长等优点，通常被用作电动汽车的电源。然而，动力电池的安全性是电动汽车发展过程中首先要考虑和解决的问题，随着电池能量密度不断提高。电动汽车的电池热失控事故时有发生，限制了电动汽车的大规模应用，因此需要开展动力电池热管理方面的研究。

电动汽车的电池组需要应用实时热管理方法来保证和预测电池的安全使用，目前电池组在常温下正常工况时的热管理方法已经较为完善，有风冷、液冷、相变材料等热管理方式以及多种热管理方式相结合的方法。

据发明人了解，目前对于抑制热失控蔓延的热管理结构存在不合理的问题，若散热方向与热失控蔓延方向一致甚至可能会加剧热失控的蔓延；另外现有的加入热管理系统的热失控蔓延模型大部分是有限元模型，这就存在着计算速度慢，

难以应用于实车上；而目前已有的快速预测热失控蔓延模型都没有加入热管理系统，已有的快速预测热失控蔓延的模型有利用基于等效传热实验的热量传递函数来快速预测电池热失控后的蔓延情况，还有基于热阻建立电路模型快速预测热失控，两者不能做到有机结合，缺乏模型在有热管理系统抑制下的热失控蔓延情况的快速预测。

发明内容

为了解决上述问题，本公开提出了一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，基于相变材料和液冷小微通道相结合的结构作为热管理系统来抑制热失控的蔓延，充分考虑热失控可能的蔓延方向，液冷流向为竖直方向，不存在加剧热失控蔓延的可能性，抑制热失控速度快效果好。

根据一些实施例，本公开的方案提供了一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，采用如下的技术方案：

一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，包括以下步骤：

基于液冷小微通道和相变材料构建动力电池的热管理几何结构；

获取所述热管理几何结构的物性参数，建立单体电池产热模型；

根据多个单体电池产热模型构建动力电池的集总模型；

在所述集总模型中加入抑制热失控蔓延管理模块，基于所述集总模型预测所述动力电池的温度变化，确定动力电池触发热失控条件，在达到动力电池的热失控触发条件之前启动所述液冷小微通道，抑制热失控蔓延，实现动力电池的热管理。

作为进一步的技术限定，在所述构建动力电池的热管理几何结构的过程中，将所述相变材料包裹在每个单体电池的周围，将所述液冷小微通道设置为沿单体电池的竖直方向排列。

进一步的，单体电池正常工作时，所述热管理几何结构采用所述相变材料散热；单体电池进入热失控状态时，所述热管理几何结构再启动所述液冷小微通道散热，抑制动力电池的热失控蔓延。

作为进一步的技术限定，所述单体电池产热模型包括单体电池正常运行的产热量和单体电池热失控时的产热量。

作为进一步的技术限定，所述热管理几何结构的物性参数包括单体电池的热容、单体电池的热阻、单体电池之间的接触热阻、热管理材料的热容、单体电池与热管理材料的接触热阻、单体电池的对流热阻和热管理材料的对流热阻。

进一步的，在构建动力电池的集总模型的过程中，基于所建立的单体电池产热模型和物性参数建立动力电池的集总热阻网络，结合等效电路建立动力电池的集总热阻模型。

具体的，建立集总热阻网络后，得到了单体电池的热容、单体电池内部的传导热阻、单体电池之间的接触热阻等电池的传热特性。将得到的集总热阻网络用等效电路表示出来，用等效电流源的输出表示所述单体电池产热模型；用等效电容表示所述单体电池的热容；用等效电阻表示电池内部的传导热阻、电池之间的接触热阻等，最后等效电路用 MATLAB Simulink 进行搭建。

进一步的，所述动力电池的集总热阻网络包括动力电池正常工作的电池热阻网络和含小微通道的动力电池热阻网络。

进一步的，所述集总模型通过由等效电流源、等效电阻和等效电容构成的等效电路表示；其中，所述等效电流源的输出表示所述单体电池产热模型；所述等效电容表示所述单体电池的热容；所述等效电阻表示热阻。

作为进一步的技术限定，所述抑制热失控蔓延管理模块包括相变材料模块和液冷模块组成；将单体电池周围的所述相变材料模块作为一个整体，当所述相变

材料被加热到熔化温度时，所述相变材料产生从固态到液态的相变。

具体的，热管理模块由相变材料模块和液冷模块组成，在电池正常单体电池正常工作时，热管理只有相变材料模型在运行，即只有相变材料散热；当单体电池进入热失控状态时，热管理启动液冷模块，此时相变材料模型和液冷模块同时运行，液冷和相变材料共同散热，抑制动力电池的热失控蔓延；将热管理模块加入到在等效电路模型中的方法如下，对于相变材料模块，将一节电池周围的相变材料看成一个整体，同时因为相变材料在加热到熔化温度时，会产生从固态到液态的相变，所以一节电池周围的相变材料的热容用一个可变电容表示，电池与热管理材料的接触热阻用电阻表示；对于液冷模块，为了使模型模拟液体冷却流的效果，将一个小微通道的液体分为两个部分，用两个电容表示整节小微通道的热容，通过电路的开关控制实现散热循环，实现液体冷却的模拟。

作为进一步的技术限定，在确定动力电池触发热失控条件时，当动力电池温度超过热失控温度预设值或动力电池温升速率超过热失控温升速率预设值时，动力电池发生热失控。

与现有技术相比，本公开的有益效果为：

本公开基于相变材料和液冷小微通道相结合的结构作为热管理系统来抑制热失控的蔓延，充分考虑热失控可能的蔓延方向，液冷流向为竖直方向，不存在加剧热失控蔓延的可能性，抑制热失控速度快效果好。

附图说明

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

图 1 是本公开实施例中的基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法的流程图；

图 2 是本公开实施例中的动力电池的热管理几何结构的一种结构示意图；

图 3 是本公开实施例中的动力电池的热管理几何结构的另一种结构示意图；

图 4 是本公开实施例中的动力电池的热阻网络结构示意图；

图 5 是本公开实施例中的小微通道的热阻网络结构示意图；

图 6 是本公开实施例中的集总模型的等效电路图；

图 7 是本公开实施例中的小微通道的模拟示意图；

图 8（a）是本公开实施例中的热失控触发电池的温度变化示意图；

图 8（b）是本公开实施例中的相邻电池的温度变化示意图；

图 9 是本公开实施例中的模型的计算时间比较示意图；

图 10 是本公开实施例中的热失控触发电池(电池-1)以及相邻电池(电池-2)的温度变化示意图；

图 11 是本公开实施例中的加无液冷时热失控触发电池和相邻电池的温度变化示意图；

图 12 是本公开实施例中的多节电池同时触发热失控的温度变化示意图；

其中，1、1 号电池，2、2 号电池，3、3 号电池，4、4、号电池，5、5 号电池，6、6 号电池，7、7 号电池，8、8 号电池，9、9 号电池，10、10 号电池，11、11 号电池，12、12 号电池，13、电池，14、相变材料，15、液冷通道，16、冷却液入口，17、冷却液出口，18、冷却液热容，19、电路开关，20、与电池的接触热阻，21、与外界的接触热阻。

具体实施方式

下面结合附图与实施例对本公开作进一步说明。

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普

通技术人员通常理解的相同含义。

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公开的示例性实施方式。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。

在不冲突的情况下，本公开中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

本公开实施例一介绍了一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法。

如图 1 所示的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，包括以下步骤：

基于液冷小微通道和相变材料构建动力电池的热管理几何结构；

获取所述热管理几何结构的物性参数，建立单体电池产热模型；

根据多个单体电池产热模型构建动力电池的集总模型；

在所述集总模型中加入抑制热失控蔓延管理模块，基于所述集总模型预测所述动力电池的温度变化，确定动力电池触发热失控条件，在达到动力电池的热失控触发条件之前启动所述液冷小微通道，抑制热失控蔓延，实现动力电池的热管理。

作为一种或多种实施方式，热管理几何结构由液冷小微通道和相变材料组成，相变材料选择石蜡作为填充物，相变材料包裹在电池周围每个电池周围包裹的相变材料为 20g，液冷小微通道沿电池竖直方向排列，微通道的材料采用铝壳，用水作为冷却液，每节电池周围的总流量为 10L/min，如图 2 和图 3 所示的热管理几何

结构，电池组共有 12 块电池组成；其中电池正常工作时只采用 PCM 模型散热，当有电池进入热失控状态时系统启动液冷模块，抑制电池热失控的蔓延。

液冷小微通道设计的特点是由多个小型液冷通道组成，每节电池宽面两侧分布了 12 节通道,分布方式为在每块电池之间沿宽面方向两侧各均匀分布 6 条通道，液冷流向为竖直方向。

作为一种或多种实施方式，根据电池与热管理系统之间连接方式确立传热关系，根据传热关系确定集总模型的热参数，热参数包括电池的热容、电池内部的热阻、电池之间的接触热阻、热管理材料的热容、电池与热管理材料的接触热阻、电池的对流热阻、热管理材料的对流热阻。

其中电池的热容由电池的质量与比热容确定，电池内部的热阻由电池的轴向热导率、电池径向热导率以及电池的几何尺寸确定，热管理材料的热容由热管理材料的质量与比热容确定，电池之间的传导热阻由电池之间的导热系数与接触面积确定，电池与热管理材料的传导热阻由电池与热管理材料的导热系数与接触面积确定，电池的对流热阻由电池与空气的导热系数与接触面积确定，热管理材料的对流热阻由热管理材料与空气的导热系数与接触面积确定。

电池的热容计算公式为：

$$C=\rho V C_p \tag{1}$$

其中，ρ 表示电池密度，C_p 表示电池比热容，V 表示电池体积。

电池内部的热阻计算公式为：

$$L_{x,y,z}=\frac{\delta_{x,y,z}}{\lambda_{x,y,z}} \tag{2}$$

其中，$\delta_{x,y,z}$表示电池内部x,y,z方向的厚度，$\lambda_{x,y,z}$表示电池内部x,y,z方向的导热系数。

电池之间以及电池与热管理材料之间的传导热阻计算公式为：

$$R_{cv,L}=\frac{1}{h_c A} \tag{3}$$

其中，h_c表示电池之间以及电池与热管理材料之间的对流换热系数，A表示电池之间以及电池与热管理材料之间的接触面积。

电池的对流热阻计算公式为：

$$R_{\mathrm{cov}}=\frac{1}{h_{\mathrm{cov}} A_{\mathrm{cov}}} \tag{4}$$

其中，h_{cov}为电池表面与环境之间的对流换热系数，A_{cov}表示电池表面与环境之间的接触面积。

作为一种或多种实施方式，单体电池产热功率由电池正常运行时的产热量与电池热失控时的产热量组成。

电池正常运行时的产热率由 Bernardi 公式确定，表达式如下：

$$q=\frac{1}{V}[(U-U_{oc})-T\frac{dU_{oc}}{dT}]$$

其中，I 为电流，U为电池端电压，U_{oc}为电池开路电压，V 为电池体积，$\frac{dU_{oc}}{dT}$为电池熵热系数，T表示热力学温度。

电池热失控时的产热量通过单体电池绝热热失控实验测得，绝热测试环境下，电池产生的热量完全被电池吸收并造成ΔT的温升。在电池的热容C_p已知的情况下，就可以准确获得绝热环境下的热失控产热量$\Delta H=MC_p\Delta T$。根据实验测得的产热量与电池的各种化学成分即可拟合出绝热热失控模型。

电池内部各种材料的化学反应的产热功率可以用统一的公式进行表达，即

$$Q_x(t)=\Delta H_x m_x \frac{dc_x{}^d(t)}{dt} \tag{5}$$

其中，$Q_x(t)$表示各个电池组份 x 的反应产热功率，下标 x 可以是 SEI, anode, electrolyte, cathode 等；$c_x{}^d(t)$表示反应物的归一化浓度。ΔH_x是反应物 x 的化学反应生成焓，即该反应物完全反应之后，放出的总热量。

热失控时内短路产生的热量为

$$Q_e(t)=\frac{1}{\Delta t}(\Delta H_e-\int_0^t Q_e(\tau)d\tau) \tag{6}$$

其中，ΔH_e代表电池在内短路发生时所具有的总电能；Δt代表电能释放的平均时间，在绝热热失控模型中，Δt被设定为 10 秒。

所以单体电池热失控时的产热为：

$$Q(t)=Q_e(t)+Q_x(t) \tag{7}$$

作为一种或多种实施方式，建立电池集总热阻参数网络；根据电池与热管理系统之间的传热关系建立集总热阻网络。

(1)正常工作时的电池热阻网络

正常工作时的电池热阻网络由电池组与相变材料模块组成，动力电池的热阻网络如图 4 所示，通过热阻与相邻电池，外界环境和相变材料模块之间传热。把一节电池周围的相变材料也看成一个整体，用一个温度节点表示，通过热阻与电池和外界环境和之间传热。与其中 T_c表示中心电池的温度；T_{neight}表示相邻电池的温度；R_c表示电池之间的接触电阻；R_h表示细胞表面和周围环境之间的对流阻力；R_x、R_y、R_z表示分别在电池芯部分和

电池表面之间的x、y和z方向上的导电电阻；R_{pcm}表示相变材料内部的传导热阻。

根据热阻网络，电池节点处的能量平衡方程为，下式

$$M_c C_{p,cell}\frac{dT_c}{dt}=Q+\sum_{i=x,y}\frac{T_c-T_{neight}}{R_i+R_c}+\sum_{i=1,2}\frac{T_c-T_a}{R_z+R_h}+\sum_{i=x,y}\frac{T_c-T_a}{R_i+R_{h,i}}+\sum_{i=x,y}\frac{T_c-T_{pcm}}{R_i+R_{pcm}} \tag{8}$$

其中，Q表示电池热失控时的产热率。M_c和 $C_{p,cell}$分别代表电池的质量和比热容。

(2)加入小微通道的电池热阻网络

以一节小微通道为例，它们的热阻网络结构如图5所示，将一节小微通道看成一个整体，用一个温度节点表示，通过热阻与相邻电池之间传热。

小微通道的能量平衡方程为下式：

$$M_L C_{p,L}\frac{dT_L}{dt}=\sum_{i=1,2}\frac{T_L-T_C}{R_{cv}+R_L} \tag{9}$$

其中，T_L表示小微通道的温度； R_L表示电池与小微通道的接触电阻。

根据建立的电池集总热阻网络建立集总模型

模型用等效电路表示，由等效电流源、等效热阻和等效电容构成如图6，在模型中电池的产热功率用电流源的输出表示，电池的热容用电容表示，电池与电池之间的传导热阻用电阻表示，电池与空气的对流热阻用电阻表示。

在电池集总热阻参数模型的基础上加入热管理模块。在模型中，因为相变材料在加热到熔化温度时，会产生从固态到液态的相变，所以热容用可变电容表示，电池与热管理材料的热阻用电阻表示；对于液冷模块，为了使模型模拟液体冷却流的效果，将一个小微通道的液体分为两个部分，

用两个电容表示整节小微通道的热容,通过电路的开关控制实现散热循环,实现液体冷却的模拟，如图 7 所示。

启动模型，判断电池是否到达热失控条件，如果达到热失控条件，启动抑制热失控的液冷模块后，观察热失控的蔓延情况，计算何时降到安全温度。

电池到达热失控条件当动力电池温度超过 150℃，或者温升速率 dT/dt 超过 1℃/s，则认为动力电池发生热失控。

为了验证热阻模型的准确性，用 COMSOL 建立了三维抑制热失控蔓延的热管理模型，电池的热失控由针刺触发，热管理模型由液冷小微通道和相变材料组成，相变材料包裹在电池周围，液冷小微通道沿电池竖直方向排列；采用本发明的集总热阻模型建立了相同的抑制热失控蔓延的热管理模型，将两个模型对热失控蔓延抑制的结果进行了比较。图 8（a）和图 8（b）分别表示热失控触发电池和相邻电池的温度变化，可以看出，热管理系统抑制了热失控的蔓延，同时两个模型的结果非常接近，证明了集总模型的可靠性。

通过对比 COMSOL 三维模型与集总热阻模型这两种方法的计算时间，如图 9 所示，可以看出，本发明的集总热阻网络方法的计算速度要明显快于 COMSOL 模型的计算速度，这将大大提升热失控过程的预测效率。

对本热管理系统的具体运行进行演示，首先在电池正常工作时，假设一节电池 (电池-1)因针刺导致温度急剧上升，此时系统开始对电池各节电池的温度进行预测，模拟结果说明电池(电池-1)热失控发生后，热量逐渐蔓延到相邻电池，410s 时已经引发相邻电池热失控，如图 10 所示是热失控触发电池(电池-1)以及相邻电池(电池-2)的温度变化示意图。此时系统判

定电池将要到达热失控条件，立刻启动抑制热失控的热管理系统。

启动抑制热失控的热管理系统后，液冷小微通道模块也开始工作，此时系统在根据当前的冷却情况开始对电池各节电池的温度进行预测，观察了热失控触发电池（电池-1）与热失控触发电池的相邻电池（电池-2）的温度变化，如图 11 所示，预测相邻电池的最高温度为 83℃，700s 后热失控触发电池降低到 100℃以下，热失控蔓延得到了很好的抑制。

即使发生了多节电池同时触发热失控的情况，本模型中的相变材料和液冷结合的方式也可以很好的抑制这种极端情况。设定有两节电池（电池-1、7）触发热失控，观察了热失控触发电池（电池-1）与热失控触发电池的相邻电池（电池-2，3，4）的温度变化，如图 12 所示，相邻电池没有触发热失控，900s 后热失控触发电池降低到 100℃以下，证明了该热管理系统抑制热失控蔓延的良好效果。

以上所述仅为本公开的优选实施例而已，并不用于限制本公开，对于本领域的技术人员来说，本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本公开的保护范围之内。

权利要求书

1.一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，包括以下步骤：

基于液冷小微通道和相变材料构建动力电池的热管理几何结构；

获取所述热管理几何结构的物性参数，构建动力电池的集总模型；

在所述集总模型中加入抑制热失控蔓延管理模块，基于所述集总模型预测所述动力电池的温度变化，确定动力电池触发热失控条件，在达到动力电池的热失控触发条件之前启动所述液冷小微通道，抑制热失控蔓延，实现动力电池的热管理。

2.如权利要求 1 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，在所述构建动力电池的热管理几何结构的过程中，将所述相变材料包裹在每个单体电池的周围，将所述液冷小微通道设置为沿单体电池的竖直方向排列。

3.如权利要求 2 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，单体电池正常工作时，所述热管理几何结构采用所述相变材料散热；单体电池进入热失控状态时，所述热管理几何结构再启动所述液冷小微通道散热，抑制动力电池的热失控蔓延。

4.如权利要求 1 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，所述单体电池产热模型包括单体电池正常运行的产热量和单体电池热失控时的产热量。

5.如权利要求 1 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，所述热管理几何结构的物性参数包括单体电池的热容、单体电池的热阻、单体电池之间的接触热阻、热管理材料的热容、单体电池与热管理

材料的接触热阻、单体的对流热阻和热管理材料的对流热阻。

6.如权利要求 5 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，在构建动力电池的集总模型的过程中，基于所建立的单体电池产热模型和物性参数建立动力电池的集总热阻网络，结合等效电路建立动力电池的集总热阻模型。

7.如权利要求 6 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，所述动力电池的集总热阻网络包括动力电池正常工作的电池热阻网络和含小微通道的动力电池热阻网络。

8.如权利要求 7 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，所述集总模型通过由等效电流源、等效电阻和等效电容构成的等效电路表示；其中，所述等效电流源的输出表示所述单体电池产热模型；所述等效电容表示所述单体电池的热容；所述等效电阻表示热阻。

9.如权利要求 8 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，所述抑制热失控蔓延管理模块包括相变材料模块和液冷模块组成；将单体电池周围的所述相变材料模块作为一个整体，当所述相变材料被加热到熔化温度时，所述相变材料产生从固态到液态的相变。

10.如权利要求 1 中所述的一种基于集总模型的动力电池热管理及热蔓延抑制方法，其特征在于，在确定动力电池触发热失控条件时，当动力电池温度超过热失控温度预设值或动力电池温升速率超过热失控温升速率预设值时，动力电池发生热失控。

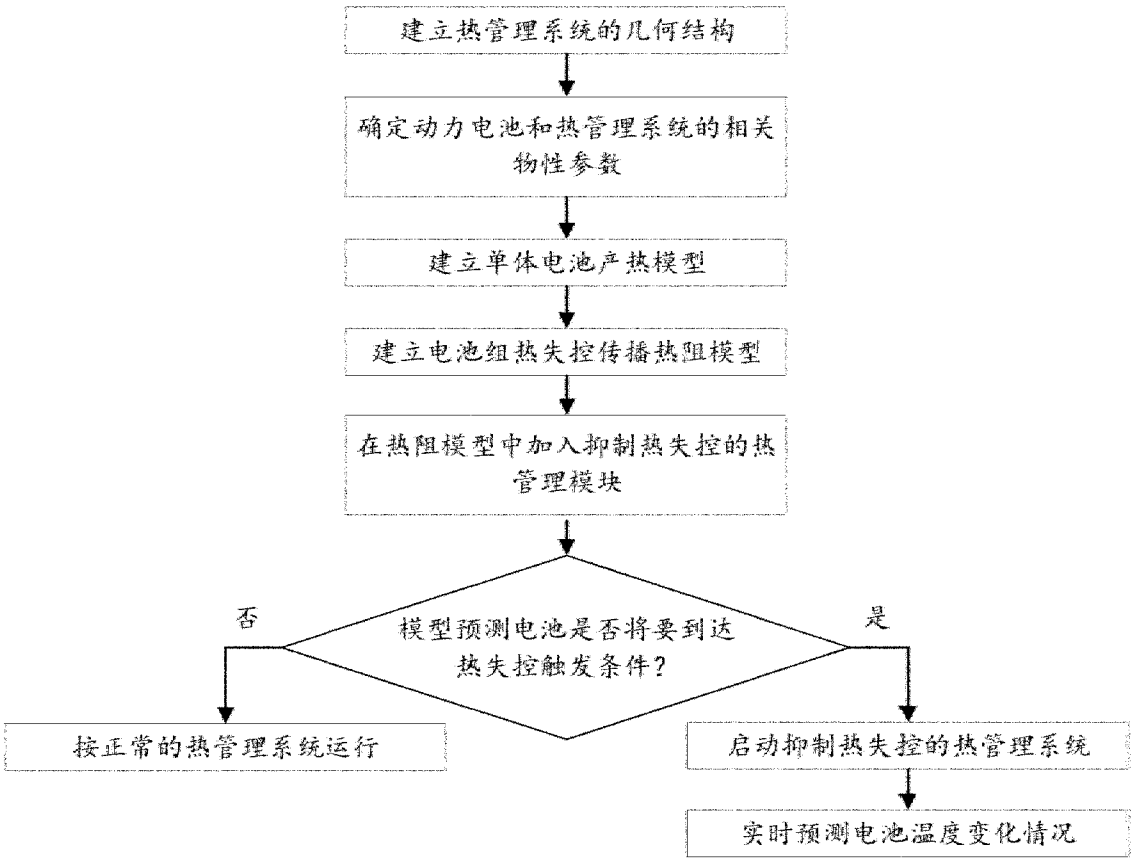
建立热管理系统的几何结构
确定动力电池和热管理系统的相关物性参数
建立单体电池产热模型
建立电池组热失控传播热阻模型
在热阻模型中加入抑制热失控的热管理模块
模型预测电池是否将要到达热失控触发条件?
否
是
按正常的热管理系统运行
启动抑制热失控的热管理系统
实时预测电池温度变化情况

图 1

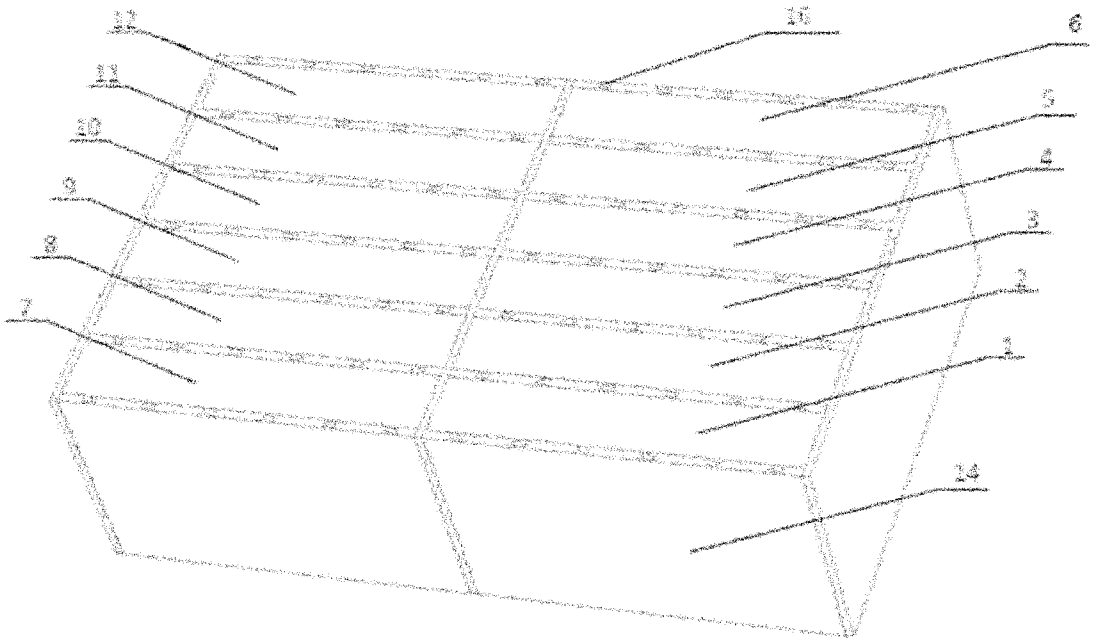

图 2

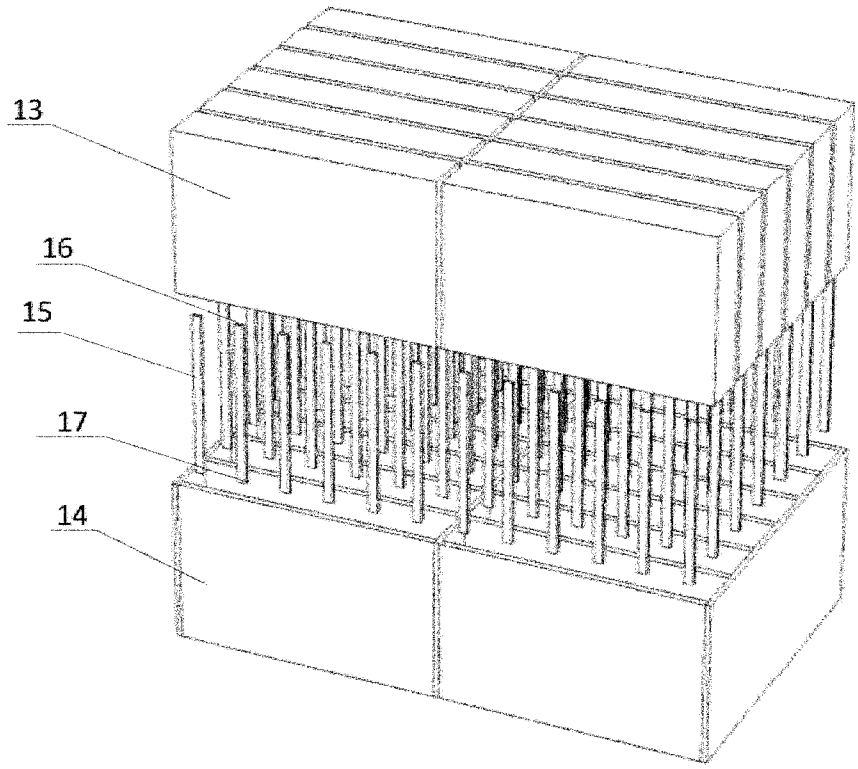
13
16
15
17
14

图 3

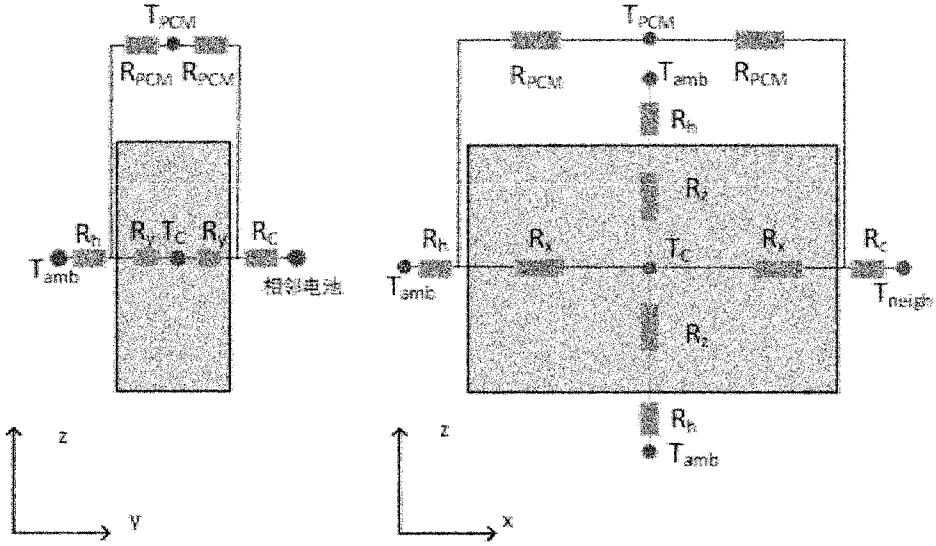
T_{PCM}
R_{PCM} R_{PCM}
R_h
R_y T_C R_y
R_C
T_{amb}
相邻电池
z
y
T_{PCM}
R_{PCM}
T_{amb}
R_{PCM}
R_h
R_x
R_h
R_x T_C R_x
R_C
T_{amb}
T_{neigh}
R_z
R_h
T_{amb}
z
x

图 4

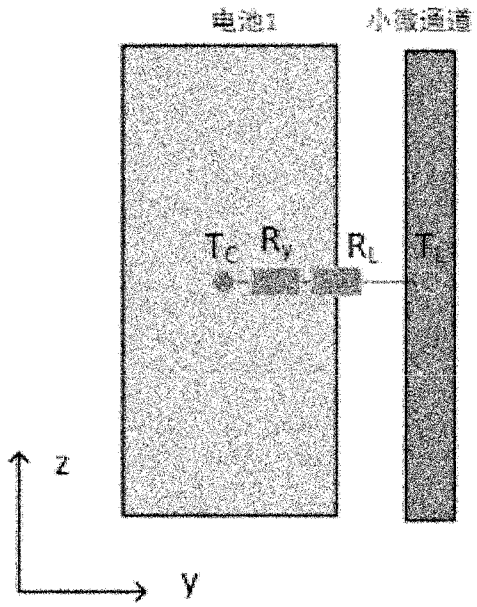

图 5

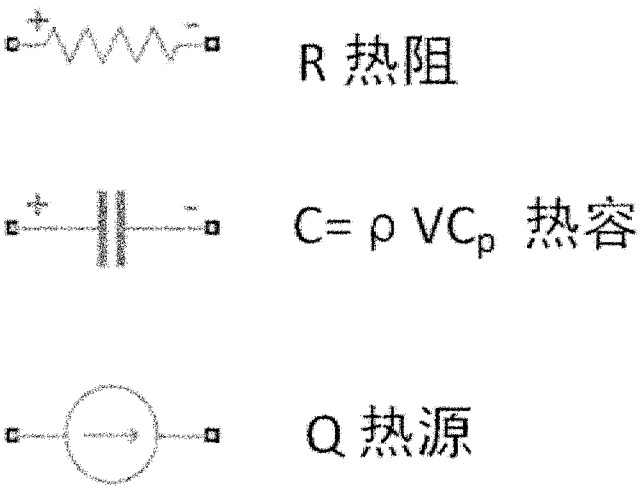

图 6

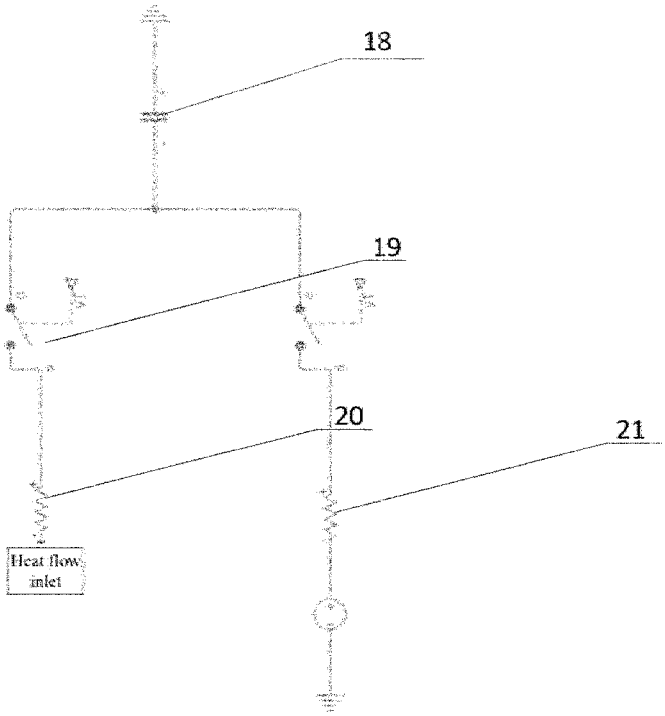
18
19
20
21
Heat flow inlet

图 7

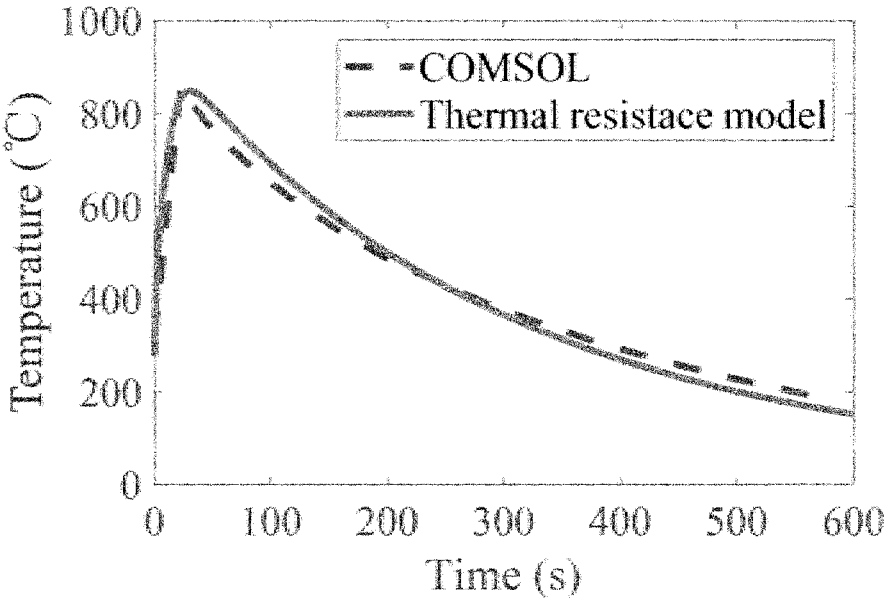
1000
800
600
400
200
0
Temperature (°C)
COMSOL
Thermal resistace model
0
100
200
300
400
500
600
Time (s)

图 8（a）

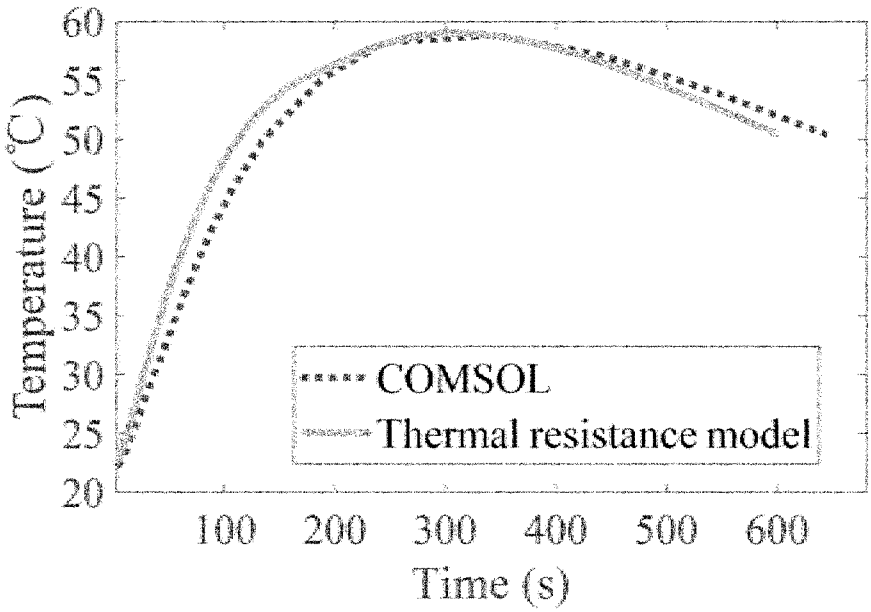
Temperature (°C)
60
55
50
45
40
35
30
25
20
100
200
300
400
500
600
Time (s)
COMSOL
Thermal resistance model

图 8（b）

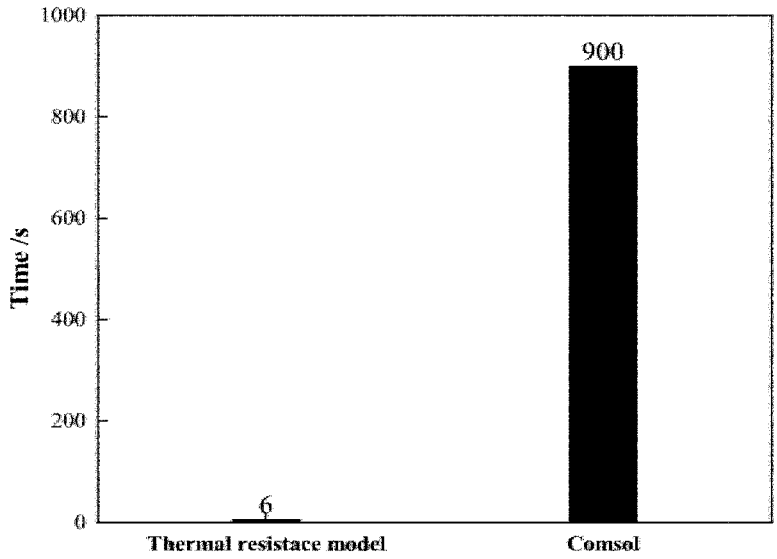
Time /s
1000
800
600
400
200
0
900
6
Thermal resistace model
Comsol

图 9

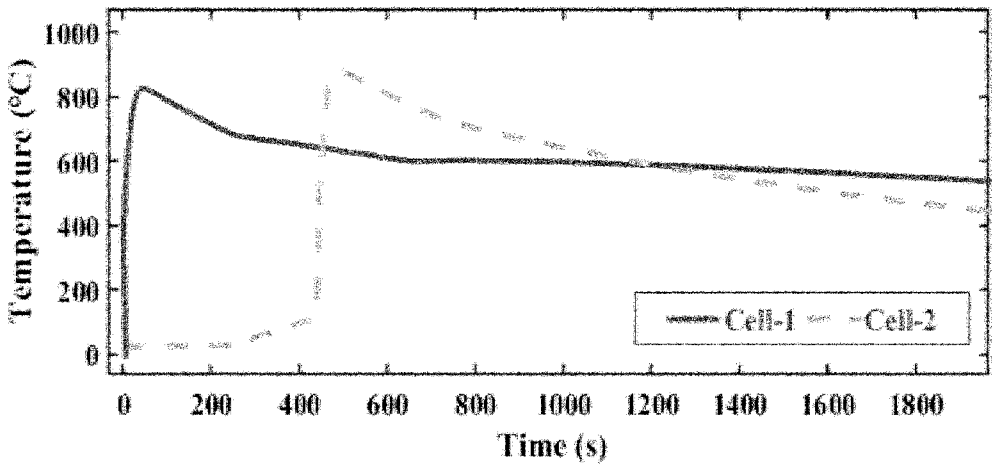
Temperature (°C)
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Time (s)
Cell-1
Cell-2

图 10

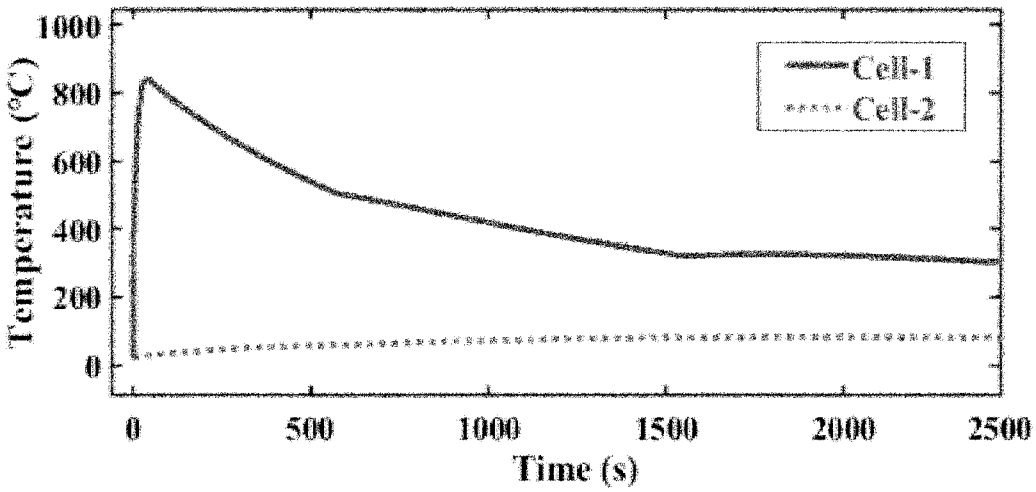
Temperature (°C)
1000
800
600
400
200
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Time (s)
Cell-1
Cell-2

图 11

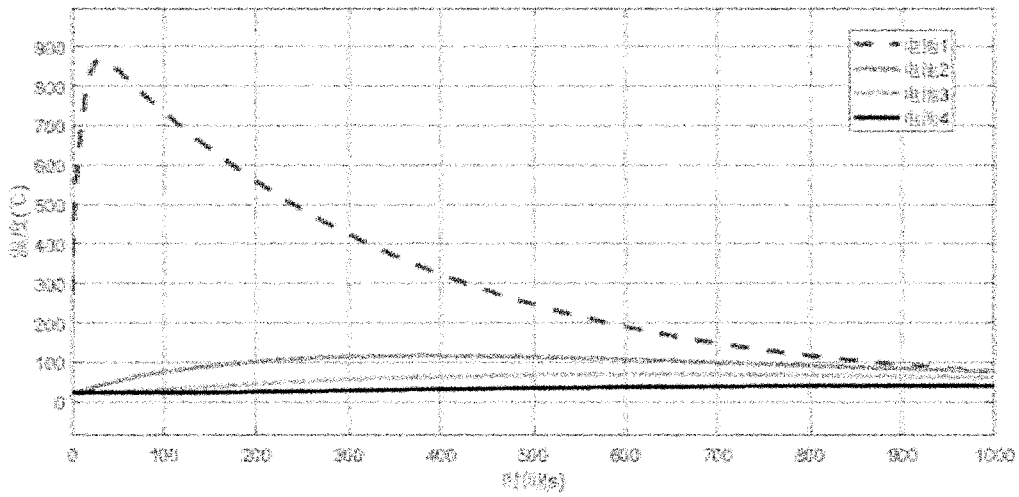

图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/072481

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 30/10(2020.01)i;G06F 30/20(2020.01)i;H01M 10/0525(2010.01)i;H01M 10/613(2014.01)i;H01M 10/625(2014.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06F, H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 电池, 热管理, 热失控, 热蔓延, 抑制, 相变材料, 相变复合材料, 液冷, 微通道, 触发, 单体, 集总, 模型, battery, thermal management, thermal runaway, thermal propagation, inhibit, PCM, PCC, liquid cooling, microchannel, trigger, cell, lumped, mode

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114707184 A (SHANDONG UNIVERSITY) 05 July 2022 (2022-07-05) claims 1-10	1-10
Y	CN 112838294 A (CIVIL AVIATION FLIGHT UNIVERSITY OF CHINA) 25 May 2021 (2021-05-25) abstract, description, paragraphs 38-53, and figures 12-15	1-10
Y	CN 108647432 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 12 October 2018 (2018-10-12) abstract, description, paragraphs 36-50, and figures 2 and 7-8	1-10
A	CN 110994070 A (UNIVERSITY OF SHANGHAI FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY) 10 April 2020 (2020-04-10) entire document	1-10
A	CN 210692721 U (JIANG GUIWEN et al.) 05 June 2020 (2020-06-05) entire document	1-10
A	CN 214153004 U (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07 September 2021 (2021-09-07) entire document	1-10

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 April 2023	**21 April 2023**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2016211558 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 21 July 2016 (2016-07-21) entire document	1-10
A	杨娜 等 (YANG, Na et al.). "基于相变材料的电池模组热失控传播过程研究 (Non-official translation: Research on Thermal Runaway Propagation Process of Battery Modules Based on Phase Change Materials)" *汽车工程 (Automotive Engineering),* Vol. 43, No. 8, 25 August 2021 (2021-08-25), entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/072481

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 114707184 A	05 July 2022	None	
CN 112838294 A	25 May 2021	None	
CN 108647432 A	12 October 2018	None	
CN 110994070 A	10 April 2020	None	
CN 210692721 U	05 June 2020	None	
CN 214153004 U	07 September 2021	None	
US 2016211558 A1	21 July 2016	WO 2015035406 A1	12 March 2015
		KR 20160051882 A	11 May 2016
		MX 2016003123 A	26 May 2016
		JP 2016535419 A	10 November 2016
		EP 3033799 A1	22 June 2016
		EP 3033799 A4	03 May 2017

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/072481

A. 主题的分类

G06F 30/10(2020.01)i;G06F 30/20(2020.01)i;H01M 10/0525(2010.01)i;H01M 10/613(2014.01)i;H01M 10/625(2014.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06F, H01M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE：电池，热管理，热失控，热蔓延，抑制，相变材料，相变复合材料，液冷，微通道，触发，单体，集总，模型，battery, thermal management, thermal runaway, thermal propagation, inhibit, PCM, PCC, liquid cooling, microchannel, trigger, cell, lumped, mode

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 114707184 A (山东大学) 2022年7月5日 (2022-07-05) 权利要求1-10	1-10
Y	CN 112838294 A (中国民用航空飞行学院) 2021年5月25日 (2021-05-25) 摘要、说明书第38-53段，图12-15	1-10
Y	CN 108647432 A (西安交通大学) 2018年10月12日 (2018-10-12) 摘要，说明书第36-50段，图2和7-8	1-10
A	CN 110994070 A (上海理工大学) 2020年4月10日 (2020-04-10) 全文	1-10
A	CN 210692721 U (姜贵文 等) 2020年6月5日 (2020-06-05) 全文	1-10
A	CN 214153004 U (广东工业大学) 2021年9月7日 (2021-09-07) 全文	1-10
A	US 2016211558 A1 (UNIV. CALIFORNIA) 2016年7月21日 (2016-07-21) 全文	1-10

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。　　☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：
"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件
"D" 申请人在国际申请中引证的文件
"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利
"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）
"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件
"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件
"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件
"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性
"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性
"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2023年4月17日	2023年4月21日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	受权官员 姜晓庆 电话号码 (+86) 010-53961427

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/072481

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	杨娜 等. "基于相变材料的电池模组热失控传播过程研究" 汽车工程, 第43卷，第8期，2021年8月25日 (2021 - 08 - 25)， 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/072481

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	114707184	A	2022年7月5日	无			
CN	112838294	A	2021年5月25日	无			
CN	108647432	A	2018年10月12日	无			
CN	110994070	A	2020年4月10日	无			
CN	210692721	U	2020年6月5日	无			
CN	214153004	U	2021年9月7日	无			
US	2016211558	A1	2016年7月21日	WO	2015035406	A1	2015年3月12日
				KR	20160051882	A	2016年5月11日
				MX	2016003123	A	2016年5月26日
				JP	2016535419	A	2016年11月10日
				EP	3033799	A1	2016年6月22日
				EP	3033799	A4	2017年5月3日