



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112186298 A

(43) 申请公布日 2021.01.05

(21) 申请号 202011049476.6

H01M 10/6556 (2014.01)

(22) 申请日 2020.09.29

H01M 10/6567 (2014.01)

(30) 优先权数据

H01M 10/6568 (2014.01)

16/665,976 2019.10.28 US

(71) 申请人 百度(美国)有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州桑尼维尔波尔多道 1195

(72) 发明人 邵帅 杨华威 高天翼

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201

代理人 张润

(51) Int.Cl.

H01M 10/613 (2014.01)

H01M 10/633 (2014.01)

H01M 10/635 (2014.01)

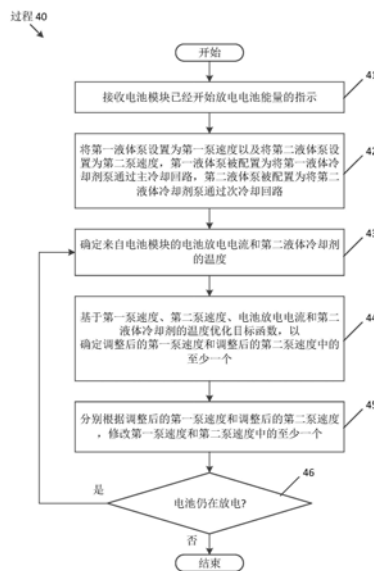
权利要求书2页 说明书16页 附图4页

(54) 发明名称

用于电池冷却系统的控制逻辑

(57) 摘要

电池冷却系统包括具有单元的电池模块、液体泵和热交换器。响应于电池模块放电电池能量,方法将第一液体泵设置为第一泵速度以及将第二液体泵设置为第二泵速度,第一液体泵被配置为将由单元产生的热量暖热的第一液体冷却剂推入热交换器的热侧,第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂推入热交换器的冷侧。方法通过基于第一泵速度、第二泵速度、电池放电电流和第二液体冷却剂的温度优化目标函数,确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度中的至少一个。目标函数是最小化系统的冷却组件的功耗,系统的冷却组件根据一个实施例是第一泵和第二泵。方法根据调整后的速度修改第一泵速度和第二泵速度中的至少一个。



1. 一种用于控制电池冷却系统的多个液体泵的方法,所述电池冷却系统包括具有电池单元的组和液体-液体热交换器的电池模块,所述方法包括:

响应于所述电池模块已经开始将存储在所述电池单元的组中的电池能量放电到负载的指示,

设置第一液体泵的第一泵速度,所述第一液体泵被配置为将至少部分浸没所述电池单元并且被所述电池单元产生的热量加热的第一液体冷却剂循环到所述液体-液体热交换器的热侧,以及

设置第二液体泵的第二泵速度,第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂循环到所述液体-液体热交换器的冷侧,其中所述液体-液体热交换器被配置为将热量从所述第一液体冷却剂传递到所述第二液体冷却剂;

确定来自所述电池模块的电池放电电流和所述第二液体冷却剂的温度;

通过基于所述第一泵速度、所述第二泵速度、所述电池放电电流和所述第二液体冷却剂的温度优化目标函数,确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度中的至少一个;以及

分别根据所述调整后的第一泵速度和所述调整后的第二泵速度,修改所述第一泵速度和所述第二泵速度中的至少一个。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中优化目标函数包括鉴于一个或多个性能约束,最小化所述第一液体泵和所述第二液体泵消耗的电力和。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述一个或多个性能约束包括将所述电池模块的温度维持在阈值温度以下。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述电池模块的温度是所述第一泵速度、所述第二泵速度、所述电池放电电流以及所述第二液体冷却剂的温度函数的函数。

5. 如权利要求3所述的方法,还包括:迭代地执行确定所述电池放电电流和温度、确定所述调整后的第一泵速度和所述调整后的第二泵速度、以及修改所述第一泵速度和所述第二泵速度,同时为所述电池模块还放电电池能量以保证所述电池模块的温度维持在所述阈值温度以下。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述电池模块是数据中心中的电池备用单元BBU,所述BBU被配置为向一个或多个IT设备提供电池备用电力。

7. 如权利要求1所述的方法,还包括:在所述液体-液体热交换器将热量从所述第一液体冷却剂传递到所述第二液体冷却剂之前,测量所述第二液体冷却剂的温度。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的方法,其中优化目标函数包括将所述电池模块温度维持在阈值温度以下,而无需执行所述电池模块的直接温度测量。

9. 一种电池冷却系统,包括:

电池模块,包括至少部分浸没在第一液体冷却剂内的电池单元的组;

液体-液体热交换器;

第一液体泵,被配置为将第一液体冷却剂从所述电池模块循环到所述液体-液体热交换器的热侧;

第二液体泵,被配置为将第二液体冷却剂从外部冷却源循环到所述液体-液体热交换器的冷侧;

至少一个处理器;以及

存储器,其中存储有指令的组,所述指令的组在由所述至少一个处理器执行时使所述电池冷却系统执行根据权利要求1至8中任一项所述的方法。

10. 一种非暂时性机器可读介质,其中存储有指令,所述指令在由处理器执行时使所述处理器执行根据权利要求1至8中任一项所述的用于控制电池冷却系统的多个液体泵的方法。

## 用于电池冷却系统的控制逻辑

### 技术领域

[0001] 本公开的实施例总体上涉及一种电池冷却系统。更具体地，本公开的实施例涉及控制电池冷却系统的液体泵。

### 背景技术

[0002] 电池备用单元 (BBU) 用作诸如数据中心的应用的备用电源或能量存储设备。电池组由串联、并联或这两者组合的电池单元组成。电池单元在放电和充电期间产生热量。放电速度与产生的热量正相关。由于多个单元连接在一起，内部温度值的明显差异可能导致不同单元的不同充电和放电速率，并因此导致电池组性能下降。因此，电池热管理系统在电池组的设计和操作中起着重要作用，并且直接影响电池组的性能。另外，热系统的不良设计可能会导致电池无法运行，诸如无法满足所需的备用时间。存在几种用于冷却电动车辆的常规电池热管理系统。这些电池热管理系统包括例如，空气冷却系统、被动或主动液体系统以及热电系统。然而，这样的系统是不够的。

### 发明内容

[0003] 根据一个实施例，提供用于控制电池冷却系统的多个液体泵的方法。电池冷却系统包括具有电池单元的组和液体-液体热交换器的电池模块。方法包括：响应于电池模块已经开始将存储在电池单元的组中的电池能量放电到负载的指示，设置第一液体泵的第一泵速度并设置第二液体泵的第二泵速度。第一液体泵被配置为将至少部分浸没所述电池单元并且被电池单元产生的热量加热的第一液体冷却剂循环到液体-液体热交换器的热侧，第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂循环到液体-液体热交换器的冷侧。液体-液体热交换器被配置为将热量从第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂。方法还包括：确定来自电池模块的电池放电电流和第二液体冷却剂的温度；通过基于第一泵速度、第二泵速度、电池放电电流和第二液体冷却剂的温度优化目标函数，确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度中的至少一个；以及分别根据调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度，修改第一泵速度和第二泵速度中的至少一个。

[0004] 在另一实施例中，提供电池冷却系统。该电池冷却系统包括：电池模块，包括至少部分浸没在第一液体冷却剂内的电池单元的组；液体-液体热交换器；第一液体泵，被配置为将第一液体冷却剂从电池模块循环到液体-液体热交换器的热侧；第二液体泵，被配置为将第二液体冷却剂从外部冷却源循环到液体-液体热交换器的冷侧；至少一个处理器；以及存储器，其中存储有指令的组。指令的组在由至少一个处理器执行时使电池冷却系统执行如上所述的方法。

[0005] 在又一实施例中，提供非暂时性机器可读介质，其中存储有指令。指令在由处理器执行时使处理器执行如上所述的用于控制电池冷却系统的多个液体泵的方法。

## 附图说明

[0006] 方面通过示例的方式示出并且不限于附图中的图,在附图中相同的附图标记表示相似的元件。应当注意的是,对本公开的“一”或“一个”方面的引用不一定是相同的方面,并且它们意味着至少一个。此外,为了简明和减少附图的总数,给定的附图可以用于示出多于一个方面的特征,并且对于给定的方面,并非附图中的所有元件都是必需的。

[0007] 图1是根据一个实施例的电池冷却系统的示例。

[0008] 图2是根据一个实施例的电池冷却系统的另一示例。

[0009] 图3是根据一个实施例的电池冷却系统的另一示例。

[0010] 图4示出根据一个实施例的电子机架的示例。

[0011] 图5是根据一个实施例的用于控制电池冷却系统的液泵的过程的流程图。

## 具体实施方式

[0012] 现在将参考附图解释本公开的若干方面。每当在给定方面中描述的部分的形状、相对位置和其他方面未被明确地限定,本文公开的范围就不仅限于所示的部分,所示的部分仅用于说明的目的。此外,虽然阐述了许多细节,但是应当理解的是,可以在没有这些细节的情况下实践一些方面。在其他实例中,没有详细示出公知的电路、结构和技术,以免混淆对本说明书的理解。此外,除非含义明显相反,否则本文描述的所有范围都被认为包括每个范围的端点。

[0013] 说明书中对“一个实施例”或“实施例”的引用意味着结合该实施例描述的具体特征、结构或特性可以包括在本公开的至少一个实施例中。在说明书中的各个地方出现的短语“在一个实施例中”不一定都指相同的实施例。

[0014] 根据一个实施例,用于控制电池冷却系统的多个液体泵的方法,电池冷却系统包括具有电池单元组的电池模块和液体-液体热交换器。方法包括:响应于电池模块已经开始将存储在电池单元组中的电池能量放电至负载、或从外部电源汲取电力以对电池单元充电的指示,1) 设置第一液体泵的第一泵速度,第一液体泵被配置为至少部分淹没电池单元并且被电池单元产生的热量暖热的第一液体冷却剂推入液体-液体热交换器的热侧,以及2) 设置第二液体泵的第二泵速度,第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂推入液体-液体热交换器的冷侧,其中热交换器被配置为将热量从第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂。方法确定来自电池模块的电池放电电流和第二液体冷却剂的温度。方法通过基于第一泵速度、第二泵速度、电池放电电流和第二液体冷却剂的温度优化目标函数,确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度中的至少一个。方法分别根据调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速,修改第一泵速度和第二泵速度中的至少一个。

[0015] 在一个实施例中,优化目标函数包括鉴于一个或多个性能约束,最小化第一液体泵和第二液体泵消耗的电力和。在另一实施例中,一个或多个性能包括将电池模块的温度维持在阈值温度以下。在一些实施例中,电池模块的温度是第一泵速度、第二泵速度、电池放电电流以及第二液体冷却剂的温度温度的函数。在另一实施例中,方法还包括迭代地执行确定电池放电电流和温度、确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度、以及修改第一泵速度和第二泵速度,同时为了确保电池模块的温度维持在阈值温度以下,电池模块还放电电池能量或汲取电力。

[0016] 在一个实施例中,电池模块是数据中心中的电池备用单元(BBU),BBU被配置为向一个或多个IT设备提供电池备用电力。

[0017] 在另一实施例中,方法还包括在液体-液体热交换器将热量从第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂之前,测量第二液体冷却剂的温度。

[0018] 在一些实施例中,优化目标函数包括在不执行电池模块的直接温度测量的情况下,将电池模块温度维持在阈值温度以下。

[0019] 根据另一个实施例,电池冷却系统包括电池模块,电池模块包括至少部分浸没在第一液体冷却剂中的电池单元组,其中电池单元组被配置为向负载提供电池能量并且被配置为从外部电源汲取电力以对电池单元充电。系统还包括液体-液体热交换器、第一液体泵和第二液体泵,第一液体泵被配置为将第一液体冷却剂从电池模块推入热交换器的热侧,第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂从外部冷却源推入热交换器的冷侧。系统还包括至少一个处理器和在其中存储有指令的存储器,指令在由至少一个处理器执行时使系统执行本文描述的至少一些操作。

[0020] 根据另一实施例,非暂时性机器可读介质,其上存储有指令,指令在由处理器执行时使处理器执行本文描述的用于控制电池冷却系统的多个液体泵的操作。

[0021] 对在放电和充电周期期间产生热量的电池进行冷却可能是至关重要的,因为通常标称电池性能是针对电池单元的工作温度范围(例如25°C到35°C)指定的。温度对于电池老化也起着重要作用。超出工作范围的温度可能导致降低的性能,并对电池健康产生负面影响。另外,当连接多个电池单元时,在不同的单元温度之间可能存在较大的内部差异,这可能导致每个单元的不同充电和放电速率,并降低电池组的性能。重要的是,如果电池温度超过安全热极限,可能导致极端的损坏或伤害,甚至导致灾难性后果。因此,冷却方案(或方法)是电池设计和操作中的重要考虑因素,因为不正确的冷却不仅会影响电池如何操作,还会影响电池的健康、寿命和安全性。

[0022] 备用电池单元(BBU)用作诸如数据中心的应用的备用电源或能量存储设备。电池组由串联、并联或这两者组合的电池单元组成。电池单元在放电和充电期间产生热量。放电速度与产生的热量正相关。在具体实施例中,电池冷却系统(或电池热管理系统)可以包括浸入包含在浸没槽中的冷却液体中的一个或多个电池单元。电池组的冷却系统是非常重要的,因为较高温度或较低温度可能对电池性能以及电池健康状况产生负面影响。由于多个单元连接在一起,内部温度值的明显差异可能导致不同单元的不同充电和放电速率,并因此导致电池组性能下降。因此,电池热管理系统在电池组的设计和操作中起着至关重要的作用,并且直接影响电池组的性能。另外,冷却系统的不良设计可能会导致电池无法运行,诸如无法满足所需的备用时间。存在几种用于冷却电动车辆的常规电池热管理系统。这些电池热管理系统包括例如,空气冷却系统、被动或主动液体系统以及热电系统。然而,这样的系统是不够的。

[0023] 包括浸入式冷却的用于数据中心应用中的电池能量存储的高级热管理可能需要用于优化控制器的专用控制逻辑。在这种情况下,调节电池温度的先前尝试已经提供了具有电池温度的反馈的冷却控制逻辑。这些先前尝试取决于电池温度作为反馈,然后确定冷却引擎(例如,风扇、泵等)的速度。然而,对于高级电池冷却系统(例如,浸入式冷却),一个或多个电池的热质量可能相对较高。与电池产生的热量的变化相比,这可能导致温度的变

化被延迟。这可能导致电池经历的实际热量比系统的反馈所指示的要发生的早得多。反馈的延迟可能会导致电池在系统可以对其进行冷却之前变得过热。为了防止这种情况发生，使用低延迟控制算法可能是必需的。

[0024] 本公开的实施例提出不需要电池温度的实时反馈的控制器。这明显地减少延迟。本公开的实施例介绍了一种控制器，该控制器实现用于数据中心应用的一个或多个电池模块（例如，在电池备用单元中）的热管理。控制器可以平衡冷却电池模块的需求与减少能耗的目的。能量可能被电池系统内的至少两个泵消耗。

[0025] 一个或多个电池可以用作备用电源或能量存储设备。一个或多个电池的操作可能具有挑剔的要求，诸如工作温度的上限。如果在放电期间电池温度升高到阈值以上，电池可能会发生故障。因此，在放电期间，冷却电池以防止其温度升高到阈值以上是重要的。电池冷却系统可以（1）提取电池组产生的热量；（2）满足电池组的操作要求，诸如确保电池的温度保持在其最大工作阈值温度（诸如70°C）以下；以及（3）减少或最小化泵消耗的电力。这些目标可以由控制器（或控制逻辑）来实现，控制器允许泵提供所需的冷却能力，同时最小化或减少泵功率的能耗。由电池产生的热量被传递到第一液体冷却剂。第一液体冷却剂在液体-液体热交换器的热侧和电池组之间循环，从而生成主冷却回路。热交换器是液体冷却的，其将热量从正在循环的第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂，第二液体冷却剂在热交换器的冷侧和外部冷却源（例如，冷却塔）之间循环，其生成次冷却回路。热交换器将热量从第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂。电池温度可能需要维持在阈值温度以下，作为过热保护。为了确保过热保护，基于几个约束（诸如电池放电电流和第二液体冷却剂的温度），控制使能液体冷却剂在主冷却回路和次冷却回路中的循环的泵。

[0026] 当前公开内容设想一种电池冷却系统，该电池冷却系统基于系统的热特性和流动特性来提供新的控制器设计，以达到给定约束内（例如，将电池温度维持在阈值温度以下）为液体泵供电的最佳能量成本。电池热管理系统还可以提供一种用于确定液体泵的泵速度、电池放电电流和第二液体冷却剂的温度与在给定约束内冷却系统的电池温度之间的关系的方法。而且，电池热管理系统可以完成以上操作，而无需电池温度的任何实时反馈。即，不需要电池温度的实时反馈来确定电池热管理系统的工作参数。与具有温度反馈的控制方法相比，响应时间可能明显降低。另外，当前公开内容设想一种确定在电池冷却系统中使用的热交换器的热量传递性能的方法。

[0027] 应当提及的是，短语“电池组”在本文中可以与“电池备用单元模块（BBU模块）”以及“BBU组”互换地使用。而且，BBU可以包括一个或多个电池模块（或电池组）。电池模块可以包括几个电池单元。其他特征还在以下实施例中描述。

[0028] 图1是示出根据一个实施例的具有液体-液体热交换器的电池冷却系统的示例的框图。具体地，该图示出具有电池模块2、热交换器3（例如液体-液体热交换器）、热侧液体泵14（或第一液体泵）、冷侧液体泵24（或第二液体泵）、外部冷却源4和控制器5的电池冷却系统10（或电池热管理系统），该图是自上而下视图。在一个实施例中，系统10可以包括本文描述的更多或更少的元件。例如，系统10可以包括两个或更多个电池模块，每个电池模块耦接到热交换器或分开的热交换器。

[0029] 电池模块2具有带有一个或多个电池单元7和（第一液体）冷却剂8的冷却剂槽6。槽6可以具有任何形状和构造。例如，如图所示，槽6是矩形容器。然而，在一个实施例中，槽6可以

是方形或圆柱形容器。在另一实施例中，槽包括包含在其中的串联、并联或其组合的一个或多个电池。电池单元7可以是任何类型，诸如锂离子、镍镉等。在一个实施例中，冷却剂槽6是浸没式槽，使得电池单元至少部分地浸没在冷却剂8内，以促进热量从单元传递到冷却剂中，如本文所描述的。在另一实施例中，冷却剂8可以是任何类型的液体(或流体)，诸如介电液体。

[0030] 电池模块2还包括一对输出连接器9(一个阳极和一个阴极)，输出连接器9耦接到电池单元并且被配置成耦接到负载(例如，负载可以是至少一个服务器)，以便电池模块经由输出连接器将存储在单元内的电池能量提供给负载。连接器还被配置为将电池模块耦接到外部电源(或源)，诸如AC主电网，以便电池模块经由连接器从电源汲取电力以对电池单元充电。在一个实施例中，输出连接器被配置为可移除地耦接到负载(或电源)(例如，负载或电源的连接器)，以允许将电池模块移除和/或添加(串联或并联)到负载(或电源)。

[0031] 在一个实施例中，热交换器3是液体-液体热交换器，热交换器3被配置为在无需(例如，经由管或板)将两种液体混合在一起或变成直接成分的情况下，将热量从一种液体传递到另一种液体。具体地，热交换器具有热侧11和冷侧21。热交换器被配置为经由热侧11上的入口接收冷却剂(例如，冷却剂8)，并且被配置为经由冷侧21上的入口接收冷却剂25。在热交换器内部，包含在冷却剂8中的热量(例如，经由将两种液体分开的板)传递到冷却剂25。结果，冷却剂8经由热侧上的出口离开热交换器，其相比于经由冷侧上的出口离开热交换器的冷却剂25更冷。在一个实施例中，液体-液体热交换器可以是任何类型的热交换器。例如，热交换器可以是逆流式热交换器或交叉流式热交换器。

[0032] 外部冷却源4是被配置为从冷却剂25提取热量的任何源(或设备)。例如，源4可以是冷却塔，或可以是数据中心冷却水系统或IT液体冷却水系统(未示出)。作为另一示例，源可以是另一热交换器。在一个实施例中，源可以是被配置为冷却冷却剂25的任何类型的源。

[0033] 如图所示，电池模块2(的冷却剂槽6)经由返回管线12和供应管线13耦接到热交换器3，从而生成主冷却回路26。另外，外部冷却源4经由返回管线22和供应管线23耦接到热交换器，从而生成次冷却回路27。具体地，管线12和13的一端耦接到槽，且管线12和13的另一端耦接到热交换器的热侧(一侧)11。具体地，管线12和13的端部分别耦接到热交换器的热侧11的入口/出口。类似地，管线22和23的一端耦接到源，且管线22和23的另一端耦接到热交换器的冷侧(第二侧)21。具体地，管线22和23的端部分别耦接到热交换器的冷侧21的出口/入口。热侧液体泵14设置在供给管线13上，热侧液体泵14被配置为促进冷却剂8通过主冷却回路26的循环。具体地，泵14被配置为将冷却剂8从槽6通过返回管线12推入热交换器。类似地，泵被配置为将冷却剂从热交换器吸出、通过供应管线并进入槽中。另外，冷侧液体泵24设置在返回管线22上，冷侧液体泵24被配置为促进冷却剂25通过次冷却回路27的循环。具体地，泵24被配置为将冷却剂25从源通过供应管线23推入热交换器，以及将冷却剂从热交换器吸出、通过返回管线22并进入源4。在一个实施例中，任何泵可以设置在任何管线上。例如，不是将泵布置在供应管线13上，而是可以将泵设置在返回管线12上，或者可以将附加泵设置在返回管线12上。

[0034] 在一个实施例中，任何管线(例如12、13、22和/或23)可以由任何材料组成。例如，管线可以由诸如铜的金属、聚合物(例如，橡胶)和/或塑料组成。在一个实施例中，管线可以由诸如橡胶的柔性材料组成。在另一实施例中，一条管线(例如，供应管线)可以由与另一条



管线(例如,返回管线)不同的材料组成。在一个实施例中,管线可以可移除地耦接到本文描述的任何组件。例如,电池模块可以包括连接器(供应连接器和/或返回连接器),连接器被配置为可移除地耦接到供应管线13和返回管线12。结果,两条管线可以与电池模块连接/断开连接。在一个实施例中,热交换器和/或源4也可以包括连接器。在另一实施例中,连接器可以是任何类型的连接器,例如允许简单的连接/移除各个管线的快速连接配件。

[0035] 如本文所描述的,液体-液体热交换器3被配置为将包含在冷却剂8中的热量传递到冷却剂25中,以降低冷却剂8的温度。例如,当电池模块活跃(意味着模块将存储在电池单元中的电池能量放电到负载、或从外部电源汲取电力来对电池单元充电)时,产生热能并被冷却剂8吸收。作为响应,可以(例如,由控制器5)激活泵,以开始使冷却剂通过两个冷却回路循环。具体地,泵14经由返回管线12将由单元产生的热量暖热的冷却剂8推入热交换器的热侧11,其中冷却剂具有热侧11处的入口温度 $T_{h,in}$ 。热交换器将热量从冷却剂8传递到由泵24循环的冷却剂25,并且具有出口温度 $T_{h,out}$ (低于 $T_{h,in}$ )的冷却剂进入供应管线13。因此,冷却剂8被冷却并返回到冷却剂槽6。相反,冷却剂25以入口温度 $T_{c,in}$ 进入热交换器,由于热传递,入口温度 $T_{c,in}$ 低于冷却剂25在离开热交换器并进入返回管线22时的出口温度 $T_{c,out}$ 。

[0036] 控制器5可以是专用处理器,诸如应用专用集成电路(ASIC)、通用微处理器、现场可编程门阵列(FPGA)、数字信号控制器或一组硬件逻辑结构(例如,滤波器、算术逻辑单元和专用状态机)。在一个实施例中,控制器可以是具有模拟元件(例如,电阻器、电容器、电感器等)和/或数字元件(例如,基于逻辑的元件,诸如晶体管等)的组的电路。控制器还可以包括存储器。在一个实施例中,控制器可以是电池模块的部分(例如,包含在模块内或耦合到模块的外部),或者可以通信地耦接到包括电池模块(例如,可以是BBU组的电路的部分或者支撑BBU组的电子机架的部分)的BBU组。在另一实施例中,控制器5可以通信地耦接到两个泵14和24。例如,控制器可以直接连线到两个泵,或可以无线地耦接(例如,经由任何无线协议,诸如蓝牙协议)。

[0037] 在一个实施例中,控制器5被配置为控制泵14和24中的至少一个(例如,通过将控制信号发送到泵的控制电路,诸如电子开关),以激活冷却回路26和27中的至少一个。控制器还被配置为最小化泵消耗的电力,同时确保电池模块的温度不超过阈值温度。具体地,当电池将电池能量放电到负载(例如,服务器)时,运行泵所需的电力也从电池中汲取。由于电池模块具有有限的能量(例如,可能持续短到五分钟),因此迫切的是最大化负载的可获得电力。因此,控制器包括热管理和电力优化算法,算法被配置为在给定性能约束内达到为泵供电以使冷却剂通过两个冷却回路循环的最佳能量成本,例如给定性能约束是将电池温度(例如,电池模块的温度)维持在阈值温度以下(或等于阈值温度)。该算法可以完成此,而无需电池温度的任何实时反馈。即,算法可以基于 $I_{battery,dis}$ 、 $T_{c,in}$ 以及设置两个泵14和24的当前泵速度的函数,确定(或估计)电池温度。这与需要电池温度测量反馈的常规方法相反。结果,本方法可以最大化负载的可获得电池电力,同时具有可以明显降低的响应时间。本文描述了更多关于算法执行的操作。

[0038] 控制变量(例如,(一个或多个)风扇速度、(一个或多个)泵速度)和目标变量(例如,保持低于阈值温度的电池温度)之间的关系可以使用可以至少部分地由算法执行的五步公式(five-step formula)得出。五步公式可以用于为控制变量和目标变量之间的关系提供数学表达式。在讨论五步公式之前,提供命名表可能是有益的。表1提供用于本公开的

命名表。

[0039] 表1用于本公开的命名

名称	描述
$P_{pump}$	泵功率 (W)
$T$	温度 (°C)
$v_{pump}$	泵速度 (RPM)
$R_{battery}$	电池组的内阻 (°C/W)
$\varepsilon$	热交换器效率
$C_{min}$	两种流体流容量, 流容中的较小者 (J/K)
$c_p$	流体比热容 (J/(kgK))
$V$	体积流速 (m <sup>3</sup> /s)
$A_{device}$	冷却设备中的热传递面积 (m <sup>2</sup> )
$A$	热交换器中的热传递面积 (m <sup>2</sup> )
$h_{l,device}$	使用流体的冷却设备的平均对流热传递系数 (W/m <sup>2</sup> K)
$h$	热交换器的对流热传递系数 (W/m <sup>2</sup> K)
$R_{th}$	冷却设备的热阻 (°C/W)
NTU	热传递单元的数量
$m$	质量流速 (kg/s)
$\rho$	质量密度 (kg/m <sup>3</sup> )
下标	
$h$	热交换器的热侧流体
$c$	热交换器的冷侧流体
$max$	最大值
$min$	最小值
上标	
(1)	参考测试例 1
(2)	参考测试例 2

[0042] 在一个实施例中,系统在稳态下以已知泵速度使两个泵14和24运行,已知泵速度

可能彼此不同。具体地,将热侧泵14设置为泵速度 $v_{pump,h}$ 、并将冷侧泵设置为(相同或不同的)泵速度 $v_{pump,c}$ 。在运行时,电池模块以电池放电电流 $I_{battery,dis}$ 来放电电池能量(或汲取电池能量)。系统运行直至其达到稳态。在本公开中,将系统运行到稳态的该过程称为“参考测试例”。在一个实施例中,该过程可以被执行一次或多次。参考例中的所有工作参数可以通过使用适当的传感器来获得,诸如通过温度传感器获得温度(例如电池温度 $T_{battery}$ 和/或本文描述的任何液体冷却剂温度)、通过流量计或任何其他合适的传感器获得的液体体积流速 $V$ 。

[0043] 以下是对本文描述的五步公式的讨论。尽管按数字顺序描述,在一个实施例中,步骤不必按顺序执行。例如,步骤可以不按顺序执行。作为另一示例,步骤中的至少一些可以彼此同时执行。具体地,步骤中的每个可以同时执行。

[0044] 在一个实施例中,五步公式的第一步是确定电池的热量产生。在一个实施例中,电池放电电流 $I_{battery,dis}$ 和冷却剂25从供应管线23进入热交换器之前的温度 $T_{c,in}$ 被认为是约束条件。这些条件可以由在冷却系统10中实现的传感器(未示出)来监控。因此,可以由电池放电电流 $I_{battery,dis}$ 和内阻 $R_{battery}$ 确定来自电池模块的热量产生 $Q_{battery}$ :

$$[0045] \quad Q_{battery} = I_{battery,dis}^2 R_{battery} \quad (1)$$

[0046] 在参考测试例1中,等式可以如下所示:

$$[0047] \quad R_{battery} = \frac{Q_{battery}^{(1)}}{\left(I_{battery,dis}^{(1)}\right)^2} \quad (2)$$

[0048] 一方面,电池的内阻可以保持恒定。另一方面,如果在阈值时间段(例如一个月)内执行测试例,内部电阻保持恒定。将等式(2)代入等式(1),可以将 $Q_{battery}$ 与 $I_{battery,dis}$ 之间的关系表示为如下:

$$[0049] \quad Q_{battery} = \frac{Q_{battery}^{(1)}}{\left(I_{battery,dis}^{(1)}\right)^2} I_{battery,dis}^2 \quad (3)$$

[0050] 在一个实施例中,如果在计算等式2之前可获得电池内阻,可能不需要参考例1中的数据。

[0051] 在一个实施例中,五步公式的第二步骤是得出两个泵的流体流速。亲和定律适用于泵、风扇和水轮机。在这些旋转实现方式中,亲和定律适用于离心流和轴向流。根据亲和定律,一旦有工作参数,诸如泵速度(例如 $v_{pump,h}^{(1)}$ 和 $v_{pump,c}^{(1)}$ )及其对应的流体流速(例如, $V_h^{(1)}$ 和 $V_c^{(1)}$ ),新的泵速度和新的流体流速(在热侧和冷侧)可以由以下等式计算:

$$[0052] \quad \frac{v_{pump,h}}{v_{pump,h}^{(1)}} = \frac{V_h}{V_h^{(1)}} \quad (4)$$

$$[0053] \quad \frac{v_{pump,c}}{v_{pump,c}^{(1)}} = \frac{V_c}{V_c^{(1)}} \quad (5)$$

[0054] 在一个实施例中,等式(4)和(5)假设泵效率保持恒定。

[0055] 在一个实施例中,五步公式的第三步骤可以包括表征电池冷却设备的热性能。例如,电池冷却设备可以是电池模块,或更具体地可以是模块的冷却剂槽6。作为另一示例,表

征可以是电池冷却系统10的至少部分(例如,电池模块2、返回管线12、供应管线13等)。热液体温度 $T_{h,out}$ 是针对在进入冷却剂槽6之前从热交换器3离开进入供应管线13的出口液体冷却剂8定义的,意味着冷却剂8尚未提取由电池产生的热量。电池产生的所有热量基本上可以被主冷却回路26中的循环冷却剂8吸收。电池热量产生表示为:

$$[0056] \quad Q_{battery} = \frac{(T_{battery} - T_{h,out})}{R_{th}} \quad (6)$$

[0057] 这里, $R_{th}$ 是电池冷却设备的热阻,其是流体流速 $V_h$ 的单调递减函数。 $R_{th}$ 表示冷却设备的热阻,是对于给定流体流速确定的。因此,可以确定电池温度和冷液体温度之间的关系。

[0058] 在参考例(例如,参考测试例1)中,冷却设备的热阻可以表示为:

$$[0059] \quad R_{th}^{(1)} = \frac{T_{battery}^{(1)} - T_{h,out}^{(1)}}{Q_{battery}^{(1)}} = \frac{1}{h_{l,device}^{(1)} A} \quad (7)$$

[0060] 在一个实施例中,热阻 $R_{th}$ 针对不同的流体流速而变化。因此,对于热侧11上的某个泵速度 $v_{pump,h}$ ,热阻 $R_{th}$ 表示为:

$$[0061] \quad R_{th} = \frac{1}{h_{l,device} A_{device}} \quad (8)$$

[0062]  $A$ 是冷却设备中的热传递面积,并且在一个实施例中, $A$ 对于不同的泵速度保持恒定。现在,对于新的泵速度 $v_{pump}$ ,可以计算对应的 $R_{th}$ 。以下理论相关性被用于涉及参考测试例1,

$$[0063] \quad \frac{h_{l,device}}{h_{l,device}^{(1)}} = \left(\frac{v}{v^{(1)}}\right)^\eta = \left(\frac{v_{pump,h}}{v_{pump,h}^{(1)}}\right)^\eta \quad (9)$$

[0064] 对于充分发展流, $\eta$ 的公认值为0.8。在另一实施例中, $\eta$ 可以是不同的值。因此,对于任意泵速度 $v_{pump,h}$ ,冷却设备的热阻可以表示为,

$$[0065] \quad R_{th} = \frac{h_{l,device}^{(1)}}{h_{l,device}} R_{th}^{(1)} = \left(\frac{v_{pump,h}^{(1)}}{v_{pump,h}}\right)^{0.8} R_{th}^{(1)} \quad (10)$$

[0066] 将等式(10)插入等式(6),提供以下描述电池冷却设备中的热传递过程的关系,

$$[0067] \quad Q_{battery} = \left(\frac{v_{pump,h}}{v_{pump,h}^{(1)}}\right)^{0.8} \times \frac{(T_{battery} - T_{h,out})}{R_{th}^{(1)}} \quad (11)$$

[0068] 在一个实施例中,五步公式的第四步可以包括确定热交换器(例如,液体-液体热交换器3)的热性能特征。由电池产生的所有热量被主冷却回路26中的循环冷却剂8吸收,并被热交换器排走(或传递)到在次冷却回路27内循环的冷却剂25中。在一个实施例中,热交换器效率是表示其热传递性能的指标。根据 $\varepsilon$ -NTU方法,热交换器效率表示为如下:

$$[0069] \quad \varepsilon = \frac{Q_{battery}}{C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (12)$$

[0070] 其中

$$[0071] \quad C_{min} = C_{h/c} = m_{h/c} \times c_{p,h/c} \quad (13)$$

[0072] 可以确定 $C_{\min}$ ,因为它与流体或空气的材料特性(例如,比热容 $c_{p,h/c}$ )及其质量流速 $m_h/c$ 有关。为得出效率 $\varepsilon$ ,逆流式热交换器的 $\varepsilon$ -NTU理论相关性表示为如下,

$$[0073] \quad \varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU \times (1-E)]}{1 - E \times \exp[-NTU \times (1-E)]}, \quad (14)$$

[0074] 其中,

$$[0075] \quad E = \frac{(mc_p)_h}{(mc_p)_c} = \frac{(\rho \times V \times c_p)_h}{(\rho \times V \times c_p)_c}. \quad (15)$$

[0076] 在一个实施例中,NTU的值可以使用如下关系获得,

$$[0077] \quad \frac{1}{NTU} = C_{\min} \left( \frac{1}{h_c A_c} + \frac{1}{h_h A_h} \right). \quad (16)$$

[0078] 在进行了两个参考测试例(1和2)之后,使用等式(12)-(16)可以计算 $\varepsilon$ 的值。一方面,仅需要一个测试例。得出的详细信息如下所示:

[0079] 在参考测试例1中,等式(12)和等式(14)变为

$$[0080] \quad Q_{\text{battery}}^{(1)} = \varepsilon^{(1)} C_{\min}^{(1)} (T_{h,in}^{(1)} - T_{c,in}^{(1)}), \quad (17)$$

$$[0081] \quad \varepsilon^{(1)} = \frac{1 - \exp[-NTU^{(1)} \times (1-E^{(1)})]}{1 - E^{(1)} \times \exp[-NTU^{(1)} \times (1-E^{(1)})]}, \quad (18)$$

[0082] 其中,

$$[0083] \quad E^{(1)} = \frac{(mc_p)_h^{(1)}}{(mc_p)_c^{(1)}}. \quad (19)$$

[0084] 这里,等式(17)是等式(12)的等同形式。从参考测试例2生成的表达式可以是类似的形式。

[0085] 在一个实施例中,由于在两个参考例中已知流体质量流速 $m_c$ 、 $m_h$ 和其他工作参数,可以从等式(17)和等式(19)计算 $\varepsilon^{(1)}$ 和 $E^{(1)}$ 。 $\varepsilon^{(2)}$ 、 $E^{(2)}$ 以类似的方式获得。然后,可以从等式(18)反求解 $NTU^{(1)}$ 和 $NTU^{(2)}$ 。此外,等式(16)变为

$$[0086] \quad \frac{1}{NTU^{(1)}} = C_{\min} \left[ \frac{1}{h_c^{(1)} A_c} + \frac{1}{h_h^{(1)} A_h} \right], \quad (20)$$

$$[0087] \quad \frac{1}{NTU^{(2)}} = C_{\min} \left[ \frac{1}{h_c^{(2)} A_c} + \frac{1}{h_h^{(2)} A_h} \right]. \quad (21)$$

[0088] 对于两个参考测试例。在一个实施例中,对于不同流速,热传递面积 $A_h$ 和 $A_c$ 不变。在一个实施例中,对于热交换器的冷侧,

$$[0089] \quad h_c^{(2)} = \left( \frac{m_c^{(2)}}{m_c^{(1)}} \right)^{0.8} h_c^{(1)}. \quad (22)$$

[0090] 在另一实施例中,对于热交换器的热侧,

$$[0091] \quad h_h^{(2)} = \left( \frac{m_h^{(2)}}{m_h^{(1)}} \right)^{0.8} h_h^{(1)}. \quad (23)$$

[0092] 因此,就两个参考例中测量的测试数据而言,同时求解方程(20)-(23)可以导致 $h_c^{(1)} A_c$ 、 $h_h^{(1)} A_h$ 、 $h_c^{(2)} A_c$ 和 $h_h^{(2)} A_h$ 的求解。在一个实施例中, $h$ 与 $A$ 的乘积可以被视为一个整体

变量,而不是分开求解它们中的每个。

[0093] 在一个实施例中,给定冷侧上的质量流速 $m_c$ 和热侧上的质量流速 $m_h$ ,热交换器的对应效率 $\varepsilon(m_c, m_h)$ 可以如下计算。

[0094] 对于逆流式热交换器,

$$[0095] \quad \varepsilon(m_c, m_h) = \frac{1 - \exp[-NTU \times (1-E)]}{1 - E \times \exp[-NTU \times (1-E)]} \quad (24)$$

[0096] 等式(24)中NTU和E的值可以由以下等式计算:

$$[0097] \quad \frac{1}{NTU} = C_{min} \left[ \frac{1}{(hA)_c} + \frac{1}{(hA)_h} \right] = C_{min} \left[ \frac{1}{\left(\frac{m_c}{m_c^{(1)}}\right)^{0.8} h_c^{(1)} A_c} + \frac{1}{\left(\frac{m_h}{m_h^{(1)}}\right)^{0.8} h_h^{(1)} A_h} \right], \quad (25)$$

$$[0098] \quad E = \frac{(mc_p)_h}{(mc_p)_c} = \frac{(\rho \times V \times c_p)_h}{(\rho \times V \times c_p)_c} \quad (26)$$

[0099] 对于交叉流式热交换器,等式(24)变为以下:

$$[0100] \quad \varepsilon(m_c, m_h) = 1 - \exp \left\{ \frac{NTU^{0.22}}{E} [\exp(-E \times NTU^{0.78}) - 1] \right\} \quad (27)$$

[0101] 同时,等式(25)和(26)保持不变。

[0102] 在一个实施例中,五步公式中的第五步骤包括预测电池温度。具体地,关于用于电池热量产生的热液体和冷液体的温度差的能量平衡等式如下所示,

$$[0103] \quad Q_{battery} = c_{p,liquid} \times \rho_{liquid} \times V_h \times (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (28)$$

[0104] 将等式(4)插入等式(28),得到

$$[0105] \quad Q_{battery} = c_{p,liquid} \times \rho_{liquid} \times \frac{v_h^{(1)}}{v_{pump,h}^{(1)}} \times v_{pump,h} \times (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (29)$$

[0106] 因此,对于给定泵速度 $v_{pump,h}$ 和 $v_{pump,c}$ 、电池放电电流 $I_{battery,dis}$ 和温度 $T_{c,in}$ ,同时求解方程(3)、(11)-(12)、(24)-(26)和(29)导致七个解 $\varepsilon$ 、 $Q_{battery}$ 、 $T_{battery}$ 、 $T_{h,in}$ 、 $T_{h,out}$ 、E和NTU。这是用于逆流式热交换器。对于交叉流式换热器,等式(24)需要用等式(27)代替。

[0107] 根据以上,然后可以成功地估计(或预测)电池温度。具体地,电池温度(例如,电池模块2的温度)是两个泵速度、电池放电电流 $I_{battery,dis}$ 和冷侧液体(冷却剂25)温度 $T_{c,in}$ 的函数(即 $f_c$ ),如下所示:

$$[0108] \quad T_{battery} = f_c(v_{pump,c}, v_{pump,h}, I_{battery,dis}, T_{c,in}) \quad (30)$$

[0109] 总目标函数是电池冷却系统10内的泵(例如,热侧泵14和冷侧泵24)的总功耗。可以使用参考测试例中的一个或多个中的测试数据来获得泵的功耗。基于亲和定律,

$$[0110] \quad P_{pump,c} = \left( \frac{v_{pump,c}}{v_{pump,c}^{(1)}} \right)^3 P_{pump,c}^{(1)} \quad (31)$$

$$[0111] \quad P_{pump,h} = \left( \frac{v_{pump,h}}{v_{pump,h}^{(1)}} \right)^3 P_{pump,h}^{(1)} \quad (32)$$

[0112] 在一个实施例中,假设泵效率保持恒定。

[0113] 实际上,发展约束以满足温度的要求和泵速度工作范围:

[0114]  $T_{\text{battery}} \leq T_{\text{battery,max}}, \quad (33)$

[0115]  $v_{\text{pump,c,min}} \leq v_{\text{pump,c}} \leq v_{\text{pump,c,max}}, \quad (34)$

[0116]  $v_{\text{pump,h,min}} \leq v_{\text{pump,h}} \leq v_{\text{pump,h,max}}. \quad (35)$

[0117] 将等式 (30) 应用于不等式 (33), 得出  $f_c$  的约束模型如下:

[0118]  $f_c(v_{\text{pump,c}}, v_{\text{pump,h}}, I_{\text{battery,dis}}, T_{c,in}) - T_{\text{battery,max}} \leq 0. \quad (36)$

[0119] 因此, 性能约束包括将电池模块的温度维持为小于或等于最大电池温度 (例如 70 °C)。在一个实施例中, 不等式可以基于不同于最大电池温度的温度阈值, 以保证几乎没有过冲的可能性。

[0120] 控制变量矢量形成

[0121]  $\vec{x} = \begin{pmatrix} v_{\text{pump,c}} \\ v_{\text{pump,h}} \end{pmatrix}.$

[0122] 目标函数可以定义为系统 10 中的液体泵 (例如, 泵 14 和泵 24) 消耗的电力和。因此, 函数可以定义为:

[0123]  $f_{\text{obj}}(\vec{x}) = P_{\text{pump,c}} + P_{\text{pump,h}}. \quad (37)$

[0124] 性能约束可以转换为一组不等式, 诸如:

[0125]  $\vec{g}(\vec{x}) = \begin{pmatrix} g_1(\vec{x}) \\ g_2(\vec{x}) \\ g_3(\vec{x}) \\ g_4(\vec{x}) \\ g_5(\vec{x}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_0(v_{\text{pump,c}}, v_{\text{pump,h}}, I_{\text{battery,dis}}, T_{c,in}) - T_{\text{battery,max}} \\ v_{\text{pump,c,min}} - v_{\text{pump,c}} \\ v_{\text{pump,c}} - v_{\text{pump,c,max}} \\ v_{\text{pump,h,min}} - v_{\text{pump,h}} \\ v_{\text{pump,h}} - v_{\text{pump,h,max}} \end{pmatrix} \leq \vec{0}. \quad (38)$

[0126] 因此, 这成为最佳控制器, 以: 最小化变量:  $f_{\text{obj}}(\vec{x})$ , 受公式 (38) 的影响,  $\vec{g}(\vec{x}) < \vec{0}$ 。具体地, 控制器 5 被配置为鉴于公式 (38) 内的一个或多个性能约束, 通过最小化泵消耗的电力和来优化目标函数。由于目标函数  $f_{\text{obj}}(\vec{x})$  是凸函数, 控制器设计可能会成为凸优化。在两个泵速度的有界范围内, 可能存在最小化向量  $\vec{x}^*$ , 以使  $f_{\text{obj}}(\vec{x}^*)$  达到最低点。在一个实施例中, 当需要电池能量 (例如, 负载不再从交流电源接收电力) 时, 电池开始放电。泵 14 和泵 24 这两个泵被设置为初始泵速度。在一个实施例中, 初始泵速度是预定速度, 诸如最大泵速度。然后控制器 5 (在控制器 5 中运行的热管理和电力优化算法) 从电池模块 2 接收电池放电电流以及 (例如从温度传感器) 接收液体冷却剂 25 的入口冷侧温度。具有这些动态约束参数, 可以生成最佳控制函数, 因此可以获得最佳泵速度。当电池停止放电时, 泵也将停止运行。这可以经由任何合适的方法来完成, 诸如一旦电池停止放电就断开的传感器或电路。

[0127] 图 2 示出根据一个实施例的电池冷却系统的另一示例。具体地, 该图示出电池冷却系统 20, 除了系统包括空气-液体热交换器 28 而不是液体-液体热交换器 3 之外, 电池冷却系统 20 类似于图 1 的系统 10。此外, 不是具有冷侧泵 24, 该系统包括被配置为移动空气并促进热交换器进行的热传递的一个或多个风扇 29。在一个实施例中, 数据中心冷却空气 (例如, 在数据中心集中供应的低温空气) 用于冷却热交换器。

[0128] 在一个实施例中, 这里由控制器 5 执行的用于热管理和电力优化的操作可以使用泵和风扇来执行。具体地, 冷侧泵 24 的泵速度  $v_{\text{pump,c}}$  可以由一个或多个风扇 29 的风扇速度  $v_{\text{fan}}$  代替, 并且可以由控制器 5 使用本文描述的算法 (例如, 五步公式的至少部分) 最佳地控

制风扇速度和热侧泵的泵速度。

[0129] 图3示出根据一个实施例的电池冷却系统的另一示例。具体地,该图示出两相电池冷却系统30,两相电池冷却系统30包括电池模块32、空气-液体热交换器28、一个或多个风扇29以及控制器5。电池模块32包括具有两个腔室的冷却剂槽33:包括至少部分地浸没在液体冷却剂8中的一个或多个电池单元7的电池单元腔室34,以及不包括液体冷却剂8但被配置为收集蒸气冷却剂38的蒸气腔室35。当电池单元7产生热量时(例如,在放电期间),液体冷却剂8从电池单元提取热量,并且冷却剂从液相变为气相。低密度蒸气冷却剂38在槽中上升并进入蒸气腔室35。蒸气通过蒸气返回管线39行进到热交换器。类似于图2的电池冷却系统20,该系统30还包括空气-液体热交换器28和风扇29。因此,风扇速度和泵速度可以由本文描述的控制器最佳地控制。

[0130] 图4是示出根据一个实施例的电子机架的示例的框图。电子机架900可以包括一个或多个服务器槽以分别容纳一个或多个服务器。每个服务器包括一个或多个信息技术(IT)组件(例如,处理器、存储器、存储设备、网络接口)。根据一个实施例,电子机架900包括但不限于CDU901、机架管理单元(RMU)902(可选的)、电源单元(PSU)950、BBU951(其可以包括一个或多个电池模块)和一个或多个IT设备(或IT设备)903A-903D,它们可以是任何类型的IT设备,诸如刀片式服务器。IT设备903可以分别从电子机架900的前端904或后端905插入到服务器槽的阵列中。PSU950和/或BBU951可以插入到电子机架900内的服务器槽903中的任一个中。在一个实施例中,一个或多个BBU可以插入电子机架900内的服务器槽903中的任一个中。

[0131] 注意,尽管这里仅示出四个IT设备903A-903D,但是可以在电子机架900内维持更多或更少的IT设备。还应注意的是,CDU901、RMU902、PSU950、BBU951和IT设备903的具体位置仅出于说明的目的而示出;也可以实施CDU901、RMU902、BBU951和IT设备903的其他布置或配置。注意,电子机架900可以对环境开放或部分地由机架容器容纳,只要冷却风扇可以生成从前端到后端的气流。

[0132] 另外,风扇模块可以与IT设备903和BBU951中的每个相关联。在该实施例中,风扇模块931A-931E,统称为风扇模块931,并且分别与IT设备903A-903D相关联。风扇模块931中的每个包括一个或多个冷却风扇。风扇模块931可以安装在IT设备903和/或BBU951的后端上,以生成从前端904流动、流经IT设备903的空气间层、并且在电子机架900的后端905处离开的气流。在一个实施例中,风扇模块中的每个可以安装在IT设备903和一个或多个BBU951的后端上。在另一实施例中,风扇模块中的一个或多个可以被定位在机架900的前端904上。这种前端风扇可以被配置为将空气推入IT设备903和/或BBU951。

[0133] 在一个实施例中,CDU901主要包括热交换器911、液体泵912和泵控制器(未示出)以及一些其他组件,诸如贮液器、电源、监控传感器等。热交换器911可以是液-液热交换器。热交换器911包括具有入口和出口的第一回路,第一回路具有耦接到外部液体返回/供应管线932-933的第一对液体连接器以形成主回路。耦接到外部液体返回/供应管线932-933的连接器可以布置或安装在电子机架900的后端905上。液体返回/供应管线932-933耦接到一组房间歧管,房间歧管耦接到外部排热系统或外部冷却回路。此外,热交换器911还包括具有两个端口的第二回路,第二回路具有耦接到液体歧管925的第二对液体连接器以形成次回路,次回路可以包括将冷却液体供应到IT设备903的供应歧管和将较暖液体返回到



CDU901的返回歧管。注意,CDU901可以是任何种类的市售的CDU或定制的CDU。因此,CDU901的细节将不在这里描述。

[0134] IT设备903中的每个可以包括一个或多个IT组件(例如,中央处理单元或CPU、图形处理单元(GPU)、存储器和/或存储设备)。每个IT组件可以执行数据处理任务,其中IT组件可以包括安装在存储设备中、加载到存储器中并且由一个或多个处理器执行以执行数据处理任务的软件。这些IT组件中的至少一些可以被附接到如上所述的任何冷却设备的底部。IT设备903可以包括耦接到一个或多个计算服务器(也称为计算节点,诸如CPU服务器和GPU服务器)的主机服务器(称为主机节点)。主机服务器(具有一个或多个CPU)通常通过网络(例如,因特网)与客户端接口,以接收对具体服务的请求,具体服务诸如存储服务(例如,诸如备用和/或恢复的基于云的存储服务)、执行应用以执行某些操作(例如,作为软件即服务或SaaS平台的部分的图像处理、深度数据学习算法或建模等)。响应于请求,主机服务器将任务分配给由主机服务器管理的一个或多个性能计算节点或计算服务器(具有一个或多个GPU)。性能计算服务器执行实际任务,其可能在操作期间产生热量。

[0135] 在一个实施例中,当机架没有正在从主电源汲取电力(诸如在停电期间)时,BBU951被配置为向机架(例如,一个或多个IT设备903)提供备用电力(例如,从包含在其中的一个或多个电池模块中汲取电池能量)。一方面,BBU951可以包括本文描述的电池模块(例如,电池模块2)中的一个或多个。

[0136] 电子机架900还包括可选的RMU902,其被配置为提供和管理供给服务器903、风扇模块931和CDU901的电力。优化模块921和RMC922可以在一些应用中与控制器通信。RMU902可以耦接到PSU950以管理PSU的功耗。PSU950可以包括必要的电路(例如,交流(AC)到直流(DC)或DC到DC功率转换器、备用电池、变压器或调节器等)以向电子机架900的其余组件提供电力。

[0137] 在一个实施例中,RMU902包括优化模块921和机架管理控制器(RMC)922。RMC922可以包括监测电子机架900内的各种组件(诸如,例如计算节点903、CDU901和风扇模块931)的操作状态的监测器。具体地,监测器从各种传感器接收表示电子机架900的操作环境的操作数据。例如,监测器可以接收表示处理器、冷却液体和气流的操作数据,操作数据可以经由各种温度传感器捕获和采集。监测器还可以接收表示由风扇模块931和液体泵912生成的风扇功率和泵功率的数据,功率可以与它们相应的速度成比例。这些操作数据被称为实时操作数据。在一实施例中,RMC922可以监测机架的各种组件的功耗。例如,当BBU是活跃的(例如,正在提供备用电池电力)时,RMC922可以监测由BBU951提供的电池能量。例如,RMC922可以从电流传感器获得表示BBU的电流放电的电流数据。注意,监测器可以实现为RMU902内的分离的模块。

[0138] 基于操作数据,优化模块921使用预定的优化函数或优化模型执行优化,以得出用于风扇模块931的一组最佳风扇速度和用于液体泵912的最佳泵速度,使得液体泵912和风扇模块931的总功耗达到最小,同时与液体泵912和风扇模块931的冷却风扇相关联的操作数据在它们相应的设计规范内。尽管图示为仅具有一个泵,是CDU可以包括两个或更多个泵,如本文描述的。例如,液体泵912可以促进冷却剂在热交换器、BBU951和/或一个或多个IT设备之间的循环(例如,热侧泵14),同时CDU可以包括促进冷却剂在热交换器和外部排热系统之间的循环的另一个泵(例如,冷侧泵24)。因此,优化模块921可以执行热管理和电力

优化算法中的一个或多个操作,电力优化算法在给定约束内优化为液体泵供电的能量成本,如本文所描述的。在一个实施例中,一旦确定了最佳泵速度和最佳风扇速度,RMC922基于最佳泵速度和风扇速度配置液体泵912和风扇模块931的冷却风扇。

[0139] 作为示例,基于最佳泵速,RMC922与CDU901的泵控制器通信以控制液体泵912的速度,其又控制供给液体歧管925的冷却液体的流体流速,液体歧管925将被分配给刀片式服务器903中的至少一些。因此,操作条件和对应的冷却设备性能被调节。类似地,基于最佳风扇速度,RMC922与风扇模块931中的每个通信以控制风扇模块931的每个冷却风扇的速度,其又控制风扇模块931的气流速率。注意,风扇模块931的每个可以使用其特定的最佳风扇速度被单独地控制,并且不同风扇模块和/或在相同风扇模块中的不同冷却风扇可以具有不同的最佳风扇速度。

[0140] 注意,IT组件903的中的一些或全部(例如,903A、903B、903C和/或903D)可以附接到经由使用散热器的空气冷却或者经由使用冷却板的液体冷却的上述冷却设备中的任一个。一个服务器可以利用空气冷却,而另一服务器可以利用液体冷却。可替换地,服务器的一个IT组件可以利用空气冷却,而相同服务器的另一IT组件可以利用液体冷却。此外,这里未示出开关,该开关可以被空气冷却的或液体冷却的。

[0141] 图5是根据一个实施例的用于控制电池冷却系统的液体泵的过程40的流程图。具体地,过程40可以由本文描述的电池冷却系统的控制器5(例如,在其上执行的热管理和电力优化算法)执行。在一个实施例中,过程40可以由电子机架的RMU902执行。过程40开始于接收电池模块已经开始放电电池能量的指示(在框41处)。例如,控制器5可以检测到电流已经开始从电池放电(例如,经由电流传感器)。作为另一个示例,控制器可以从PSU950接收到机架不再从AC电源接收电力的指示。过程40将第一液体泵设置为第一泵速度以及将第二液体泵设置为第二泵速度(在框42处),第一液体泵被配置为将第一液体冷却剂泵通过主冷却回路,第二液体泵被配置为将第二液体冷却剂泵通过次冷却回路。例如,参考图1,热侧泵14被设置为第一泵速度,以及冷侧泵24被设置为第二泵速度。在一个实施例中,两个速度可以相同或不同。在另一实施例中,该初始速度是两个泵的最大运行速度。

[0142] 过程40确定来自电池模块的电池放电电流和第二液体冷却剂的温度(在框43处)。具体地,冷却剂的温度是入口温度 $T_{c,in}$ ,入口温度 $T_{c,in}$ 是热交换器将热量从第一液体冷却剂传递到第二液体冷却剂之前的冷却剂的温度。在一实施例中,温度可以是出口温度 $T_{c,out}$ 。在一个实施例中,控制器可以经由传感器(例如,电流传感器和温度传感器)接收该数据。过程40基于第一泵速度、第二泵速度、电池放电电流和第二液体冷却剂的温度优化目标函数,以确定调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速度中的至少一个(在框44处)。如本文所描述的,鉴于一个或多个性能约束(其包括将电池模块的温度维持在阈值温度以下(或等于阈值温度)),优化目标函数以最小化泵消耗的电力和。为满足此约束,控制器将电池模块的温度确定为泵速度、电流和入口温度的函数。结果,目标函数的优化包括将电池模块温度维持在阈值温度以下,而无需执行电池模块的直接温度测量(例如,经由温度传感器)。

[0143] 过程40分别根据调整后的第一泵速度和调整后的第二泵速,修改第一泵速度和第二泵速度中的至少一个(在框45处)。具体地,如果确定调整后的泵速度不同于先前设置的速度,则控制器5将控制信号发送到相应的泵,以便泵相应地改变其泵速度。过程40确定电池是否仍在放电(在判定框46处)。如果是,则过程40返回到框43以重复从框43开始的操作。

因此,过程40将迭代地执行框43到框45的操作,同时电池模块放电电池能量以保证电池模块的温度维持在阈值温度以下,以优化功耗。

[0144] 然而,如果电池停止放电,则过程40结束。在一个实施例中,一旦电池停止放电,控制器5可以将控制信号发送到泵以停止泵。

[0145] 一些实施例可以对本文描述的过程进行变化。例如,过程中的至少一些的操作可以不按照示出和描述的确切顺序执行。在一个连续的操作系列中可以不执行特定操作,并且可以在不同的实施例中执行不同的特定操作。例如,如本文描述的,不是执行优化两个泵的泵速度的过程,可以执行优化泵(例如,热侧泵)的泵速度和一个或多个风扇的风扇速度的过程。在一个实施例中响应于控制器接收到电池模块的状态的其他指示,可以执行过程。例如,电池模块还被配置为通过从外部电源(例如,交流电源)汲取电力来对电池单元充电。充电时,电池模块可能会产生热量。因此,一旦控制器接收到模块正在对电池单元充电的指示时,可以开始过程。在该实施例中,在框43处不是确定放电电流,可以确定充电电流。

[0146] 如前所解释说明的,本公开的实施例可以是(或包括)在其上存储有指令的非暂时性机器可读介质(诸如微电子存储器),指令对一个或多个数据处理组件(这里统称为“处理器”)编程以执行热管理操作和/或泵/风扇优化操作,诸如本文描述的控制泵和/或风扇。在其他实施例中,这些操作中的一些可以由包含硬连线逻辑的特定硬件组件执行。这些操作可以可替换地由被编程的数据处理组件和被固定的硬连线电路组件的任何组合执行。

[0147] 在前述说明书中,已经参考本公开的具体示例性实施例描述了本公开的实施例。显然地,在不脱离所附权利要求中阐述的本公开的更宽的精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改。因此,说明书和附图应被认为是说明性的而不是限制性的。

[0148] 虽然已经描述并且在附图中示出了某些方面,应当理解的是,这些方面仅仅是对宽泛的公开的说明而非限制,并且本公开不限于所示出和描述的具体构造和布置,因为本领域普通技术人员可以想到各种其他修改。因此,本说明书应被认为是说明性的而非限制性的。

[0149] 在一些方面,本公开可以包括语言,例如,“[元件A]和[元件B]中的至少一个”。这种语言可以指元件中的一个或多个。例如,“A和B中的至少一个”可指“A”、“B”或“A和B”。具体地,“A和B中的至少一个”可以指“A中的至少一个和B中的至少一个”或“A或B中的至少一个”。在一些方面,本公开可以包括语言,例如,“[元件A]、[元件B]和/或[元件C]”,该语言可指元件中的任一个或其任何组合。例如,“A、B和/或C”可指“A”、“B”、“C”、“A和B”、“A和C”、“B和C”或“A、B和C”。

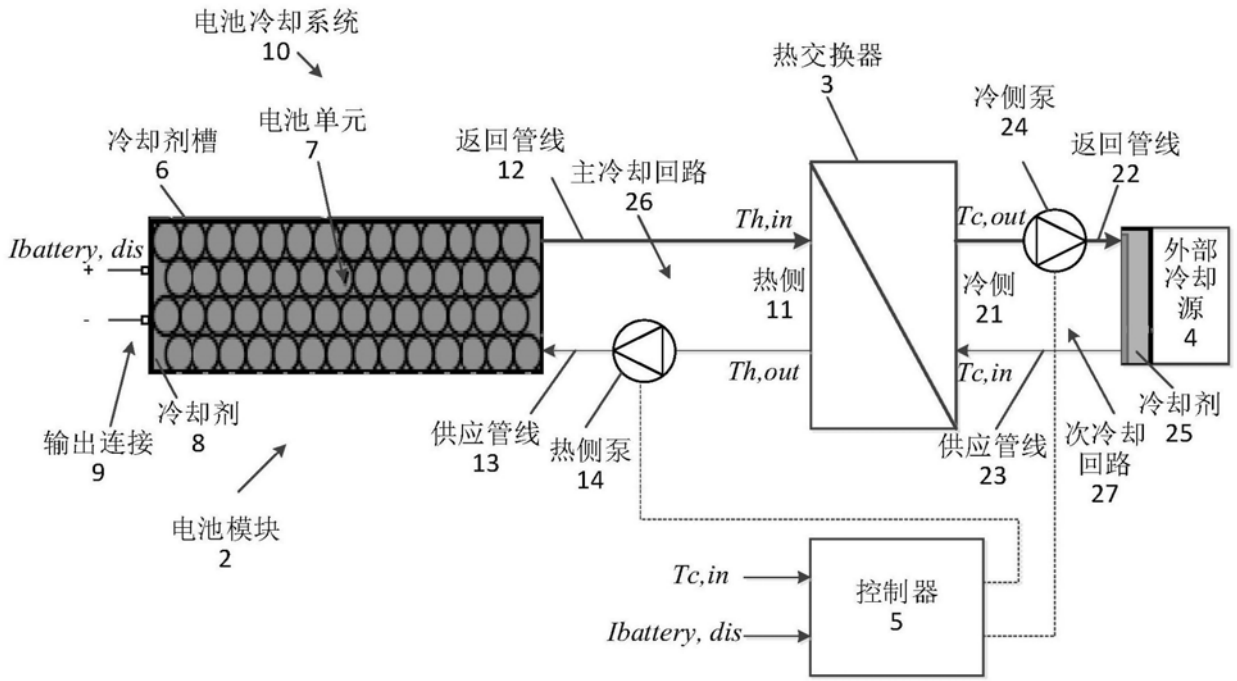


图1

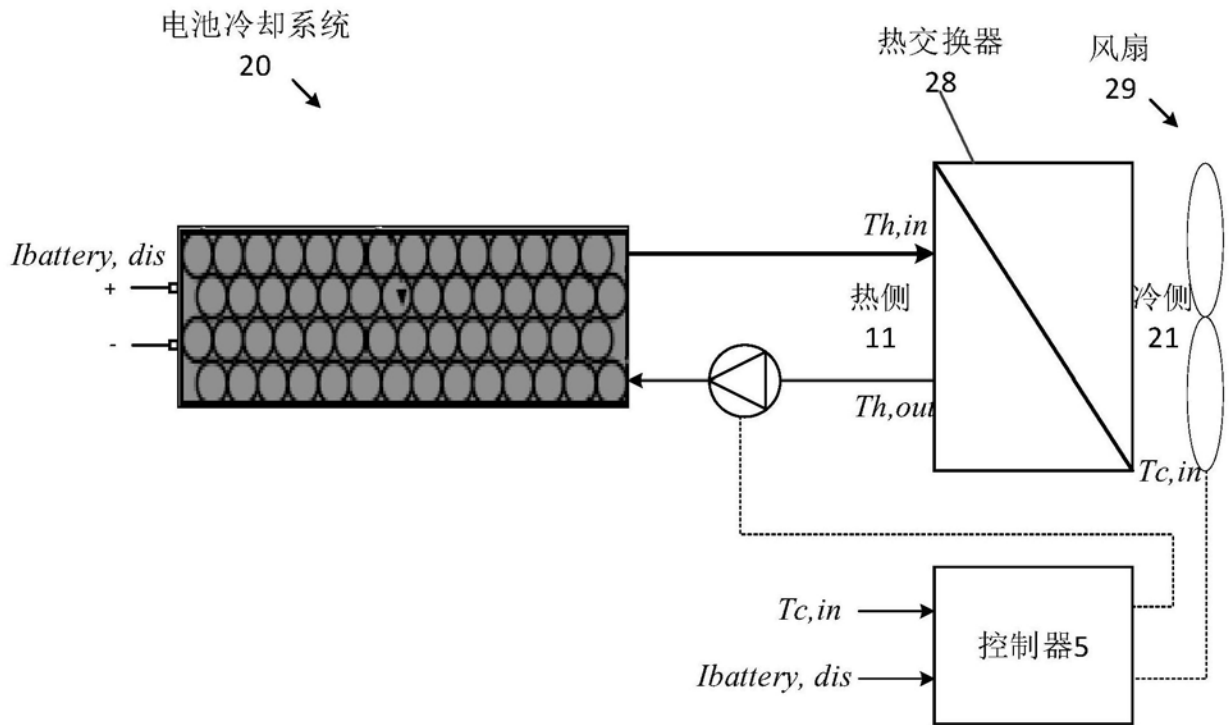


图2

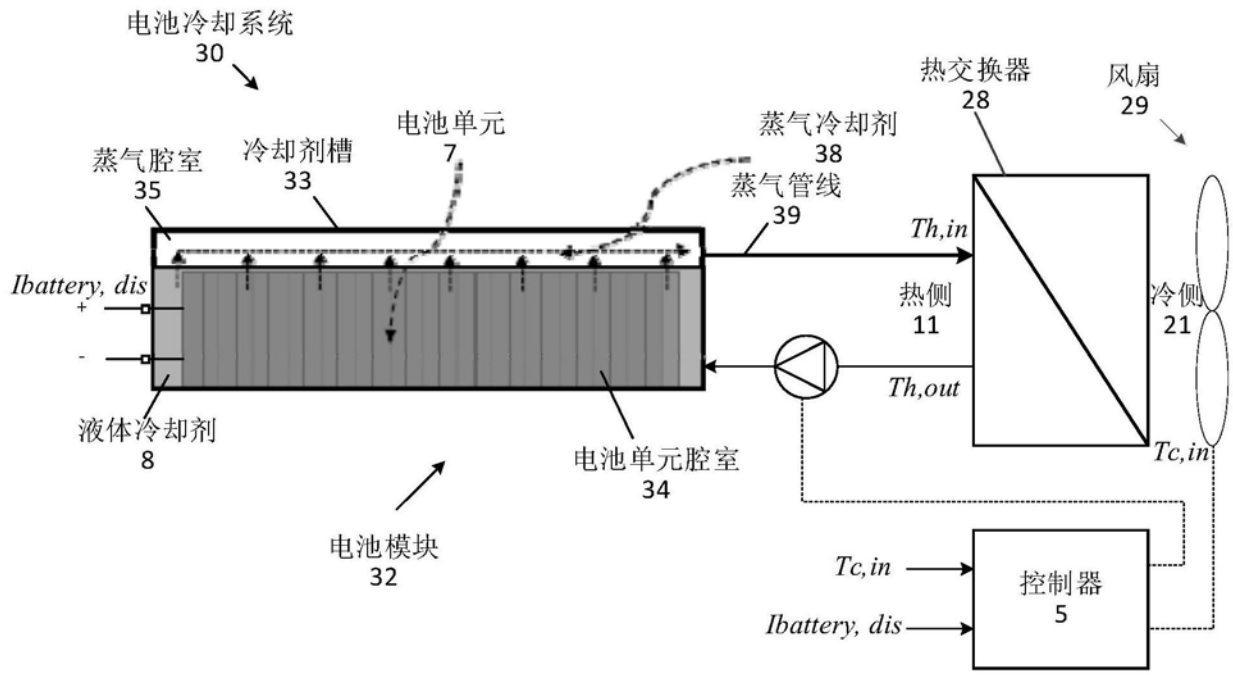


图3

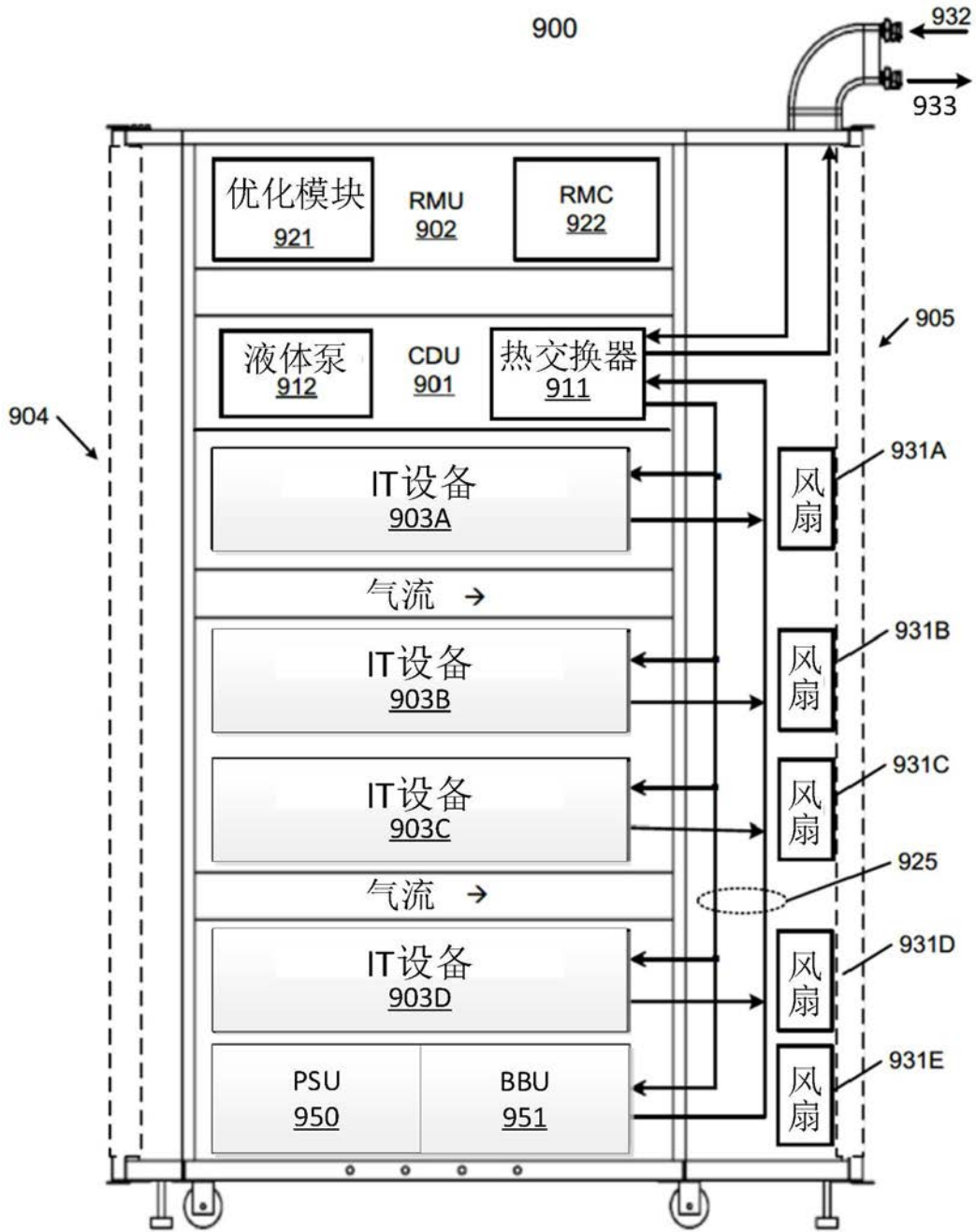


图4

过程 40

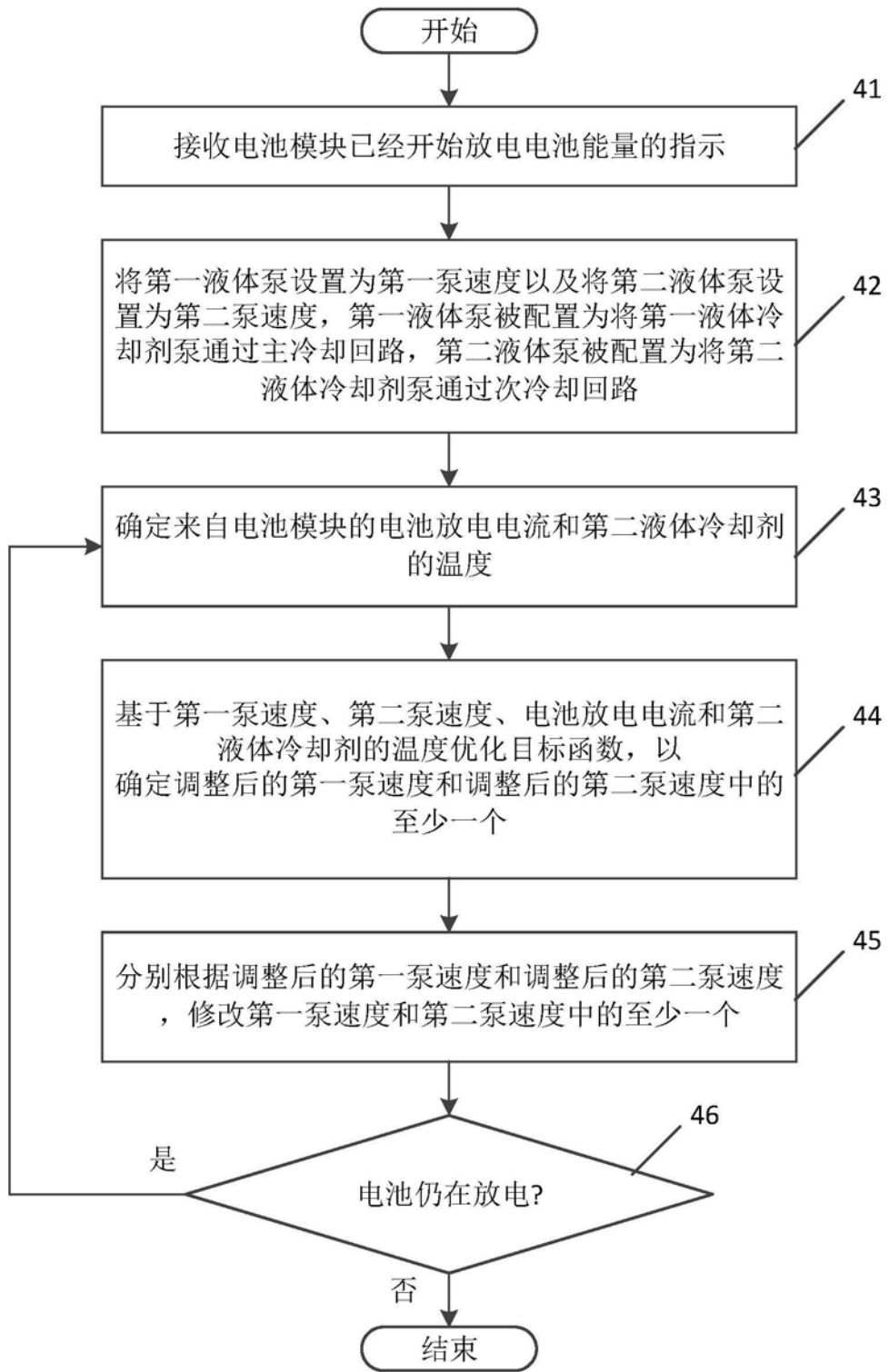


图5