



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109830775 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910036244.8

H01M 10/659(2014.01)

(22)申请日 2019.01.15

B60L 58/26(2019.01)

(71)申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路  
301号

(72)发明人 徐晓明 唐伟 孙旭东

(51)Int.Cl.

H01M 10/613(2014.01)

H01M 10/617(2014.01)

H01M 10/625(2014.01)

H01M 10/635(2014.01)

H01M 10/653(2014.01)

H01M 10/6552(2014.01)

H01M 10/6554(2014.01)

H01M 10/6556(2014.01)

H01M 10/6567(2014.01)

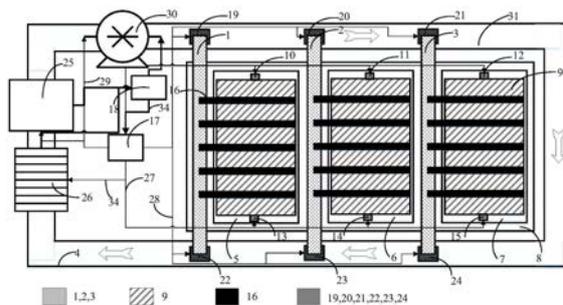
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

## (54)发明名称

一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法

## (57)摘要

本发明公开了一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法,包括电气系统、冷却系统,电气系统包括电池模组、温度传感器、电池管理系统、电源线束、蓄电池、多级散热制冷器控制线;冷却系统包括多级散热制冷器、相变储能导热板、平面热管、循环水管、散热器、水箱、水泵、冷却液。温度传感器用于采集电池模组温度,和电池管理系统相连;水泵、多个多级散热制冷器、散热器与蓄电池相连,并且由蓄电池提供能量;水泵、多个多级散热制冷器、散热器分别通过水泵控制线束、多级散热制冷器控制线束以及散热器控制线束与电池管理系统相连,并且受电池管理系统的实时控制,以控制动力电池包的整体温升。



1. 一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,包括电气系统和冷却系统;

所述电气系统包括动力电池包(8)、温度传感器A1(10)、温度传感器B1(11)、温度传感器C1(12)、温度传感器A2(13)、温度传感器B2(14)、温度传感器C2(15)、电池管理系统(17)、蓄电池(18);

所述的冷却系统包括多级散热制冷器A1(19)、多级散热制冷器B1(20)、多级散热制冷器C1(21)、多级散热制冷器A2(22)、多级散热制冷器B2(23)、多级散热制冷器C2(24)、相变储能导热板A(1)、相变储能导热板B(2)、相变储能导热板C(3)、液冷循环水管(4)、平面热管(16)、散热器(26)、水箱(25)、水泵(30)、冷却液(31);

温度传感器A1(10)、温度传感器A2(13)、温度传感器B1(11)、温度传感器B2(14)、温度传感器C1(12)、温度传感器C2(15)通过温度传感器信号线束(19)与电池管理系统(17)相连;

水泵30、多级散热制冷器A1(19)、多级散热制冷器B1(20)、多级散热制冷器C1(21)、多级散热制冷器A2(22)、多级散热制冷器B2(23)、多级散热制冷器C2(24)、散热器(26)通过电源线束与蓄电池(18)相连,并且由蓄电池(18)提供能量;水泵(30)、多级散热制冷器A1(19)、多级散热制冷器B1(20)、多级散热制冷器C1(21)、多级散热制冷器A2(22)、多级散热制冷器B2(23)、多级散热制冷器C2(24)、散热器(26)分别通过水泵控制线束(29)、多级散热制冷器控制线束(28)以及散热器控制线束(34)与电池管理系统(17)相连,并且受电池管理系统(17)的实时控制,以控制动力电池包(8)的整体温升。

2. 根据权利要求1所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述动力电池包(8)包括电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7);所述电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7)分别包含若干个电池单体(9)以及若干个平面热管(16)。

3. 根据权利要求2所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述平面热管(16)放置在电池单体(9)两两之间;平面热管(16)突出于电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7),电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7)的其余部分皆为密封。

4. 根据权利要求3所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述动力电池包(8)还包括三根相变储能导热板A(1)、相变储能导热板B(2)、相变储能导热板C(3);所述相变储能导热板A(1)、相变储能导热板B(2)、相变储能导热板C(3)在分别靠近电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7)的一侧为阶段凹槽,从电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7)内部伸出的平面热管(16)嵌入到所述凹槽内。

5. 根据权利要求4所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述相变储能导热板A(1)、相变储能导热板B(2)、相变储能导热板C(3)突出于动力电池包(8)的部分伸入到循环水管(4)中,将平面热管(16)吸收的电池单体的热量,通过循环水管中的冷却液(31)传导,再经过散热器(26)散热出去。

6. 根据权利要求5所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述冷却液流动的循环系统包括相连通的循环水管(4)、水泵

(30)、水箱(25)、散热器(26)。

7. 根据权利要求2所述的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,其特征在于,所述温度传感器A1(10)、温度传感器A2(13)、温度传感器B1(11)、温度传感器B2(14)、温度传感器C1(12)、温度传感器C2(15)分别放置在电池模组A(5)、电池模组B(6)、电池模组C(7)的内侧表面,与电池单体(9)紧密贴合。

8. 一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统的控制方法,其特征在于,电池管理系统(17)通过温度传感器检测各电池模组温度数据,结合动力电池包(8)的合适工作温度范围判断是否有动力电池包达到热管理要求,若有,则电池管理系统(17)控制多级散热制冷器打开、水泵(30)打开促使冷却液循环、散热器打开对冷却液进行散热;

电池管理系统(17)进一步通过温度传感器对需要散热的动力电池包(8)的温度分布进行分析,判断需要散热的电池模组内部的高低温度分布情况,计算分析最佳散热效率的多级散热制冷器开关情况,通过多级散热制冷器的切换以及水泵(30)的流速控制,达到最佳换热效率;散热开始后,电池管理系统(17)通过温度传感器实时监测需要散热的电池模组的温度变化,根据实时的温度变化状态时刻进行最佳散热效率的制冷功率分布的分析,实时对各多级散热制冷器的开关、水泵(30)的流速以及散热器风速大小进行控制,从而对系统温度进行实时控制,使散热效率始终维持在最佳状态。

9. 根据权利要求8所述的控制方法,其特征在于,对多级散热制冷器制冷功率以及水泵流量进行实时控制,使散热效率始终维持在最佳状态时采用的方法为:

设电池模组温度数据为 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ ,分别对应温度传感器A1(10)、温度传感器B1(11)、温度传感器C1(12)、温度传感器A2(13)、温度传感器B2(14)、温度传感器C2(15)采集的温度数值,并且对采集到的温度数据 $t_i$ 做加速度运算,得到 $a(t_i)$ ;

具体控制策略针对以下工作模式实施:

1) 模式一:

$$\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \leq \text{温度阈值}T_0\} \cap \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \leq \text{温差阈值}D_0$$

2) 模式二:

$$\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_0\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_0$$

3) 模式三:

$$\{\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_0\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_0\} \cap \{\{\text{Max}\{(t_4-t_1), (t_5-t_2), (t_6-t_3)\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cup \{\text{Min}\{(a(t_4)-a(t_1)), (a(t_5)-a(t_2)), (a(t_6)-a(t_3))\} \geq \text{阈值}DA_1\}\}$$

模式四

$$\{\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_1\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cap \{\text{Max}\{a(t_1), a(t_2), a(t_3), a(t_4), a(t_5), a(t_6)\} \geq \text{温度变化速率阈值}A_1\}$$

$T_0$ 表示第一温度阈值(动力电池包的温度阈值), $D_0$ 表示第一温差阈值(动力电池包的内部温差), $D_1$ 表示单个电池模组的温差阈值; $DA_1$ 表示单个电池模组两侧温度变化率差值的阈

值; $T_1$ 表示第二温度阈值; $A_1$ 表示电池模组两侧温度变化率阈值; $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 表示动力电池包中3个电池模组的温度, $t_1, t_2$ 表示电池模组A(5)的温度, $t_3, t_4$ 表示电池模组B(6)的温度, $t_5, t_6$ 表示电池模组C(7)的温度;

当判断电池包处于模式一时,多级散热制冷器关闭,根据多传感器融合数据对水泵(30)以及散热器(26)进行实时控制,让水泵(30)在5%~25%流量开度,散热器(26)保持在5%~25%风扇转速之间,维持动力电池包(8)的温度在最佳区间内,实现动力电池包温度的实时控制;

当触发条件满足模式二、模式三、模式四的条件要求时,散热开始,电池管理系统(17)根据实时的多传感器融合数据变化状态时刻判断动力电池包所处的模式,首先进行水泵和散热器的控制,变换水泵(30)流量以及散热器风量,然后进行最佳散热效率时的水泵(30)流量、散热器(26)风速以及多级散热制冷器制冷功率匹配的最佳参数组合分析,实时对水泵(30)、散热器(26)以及多级散热制冷器的控制,从而对流道的水流速度、散热风速以及多级散热制冷器制冷功率进行实时控制,使系统散热效率始终维持在最佳状态。

上述过程中,电池管理系统根据实时的多传感器融合数据,综合判断动力电池包所处的模式,当判断动力电池包出于模式一时,则散热完成,将多级散热制冷器关闭,控制水泵在5%~25%流量开度,散热器保持在5%~25%风扇转速之间,使动力电池包内部流道重置为初始状态;当判断动力电池包处于模式二、模式三、模式四时,则继续上述方式进行散热。

10. 根据权利要求9所述的控制方法,其特征在于,所述 $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ 、 $DA_1$ 、 $T_1$ 、 $A_1$ 的数值通过实验获得,根据NEDC工况以及实车测试工况,实时检测各个模组的温度值,进而确定上述阈值大小;其中 $T_0$ 的大致范围为 $40^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ ;  $D_0$ 的大致范围为 $3.5^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ ;  $D_1$ 的大致范围为 $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ ;  $DA_1$ 的大致范围为 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 0.15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $T_1$ 的大致范围为 $42^{\circ}\text{C}\sim 48^{\circ}\text{C}$ ;  $A_1$ 的大致范围为 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

## 一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包 多级散热系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及轨道交通设备用动力电池包散热系统的技术领域,具体涉及一种基于平面热管&液冷&相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法。

### 背景技术

[0002] 世界范围内大城市轨道交通因供电系统(包括交流高压网、直流接触网)自身故障、人为(恐怖)破坏、偶发因素、自然灾害等引起的列车供电短时中断或长时间瘫痪情况的时有发生。因非车辆原因造成的列车无法正常受电事故的恢复时间都比较长,往往超过车辆的应急供电时间。因此,从运营现状考虑,列车如能通过车载电池实现应急牵引,能够有效解决应列车外部供电原因引起的区间迫停问题,减少乘客恐慌、无序疏散等引起的踩踏事故。轨道车装载应急牵引动力电池包系统,是在车辆故障情况下,依靠自身配置的应急牵引动力电池包系统将列车行驶至最近的站点。由于动力电池包作为主要应急牵引来源,需要的放电倍率大、持续时间长,所以动力电池包的产热会极为明显。同时由于动力电池包内部结构的原因,各电池单体的温度上升速率存在差异,长时间工作时,部分电池温度过高,同时动力电池包内部温度差异过大,会使动力电池包整体使用性能以及使用寿命降低。为了保证动力电池包能正常工作,延长其使用寿命并保证其工作性能,动力电池包的散热系统至关重要。

[0003] 现在对于应急动力电池包系统的散热方式与电动汽车的动力电池包散热方式比较近似,由于放电倍率大的原因,采用液冷板的液冷式或者相变材料散热是主流。通过在动力电池包下方布置液冷板,冷却液流经液冷板将电池传递至液冷板的热量带走,实现对动力电池包的降温,但是目前的液冷板结构形式固定,仅能调节流量大小,无法根据动力电池包实时变化的温度分布进行散热效率的调整,散热模式单一,即无法针对高温区域进行局部强化散热,造成散热效率低下,无法将因为工况变化造成的高温电池控制在合适温度范围,同时动力电池包热均衡性差,使电池的使用性能与使用寿命受到限制;或者简单的将相变材料放置在电池与液冷板之间,这样即降低了整包能量密度,另外由于无法针对高温区域进行针对性的散热。

[0004] 专利公开号CN105742693A,公开日2016年7月6日,发明创造的名称为一种高安全性锂离子电池模块,该申请公开了一种高安全性锂离子电池模块,其不足之处是:1、该发明专利公开的高安全性锂离子电池模块所采用的液冷装置无法根据动力电池包的实时温度分布调整散热效率;2、将电池散热到某一温度值所需要的时间较长。

[0005] 专利公开号CN201420140914.3,公开日2014年03月26日,发明创造的名称为电池组和具有该电池组的电池包和车辆,该申请公开了一种电池散热结构,其不足之处是采用相变材料板与液冷板叠加对动力电池包进行散热,这样并不能发挥相变板的效能,只是将二者简单的叠加,降低了整包能量密度,而且无法根据动力电池包温度的实时变化进行散热效率的调整,从而降低电池的热均衡性。

## 发明内容

[0006] 鉴于此,本发明的目的是提供一种基于平面热管&液冷&相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法,用于高速动车组应急动力电池系统中,以保证动力电池包在工作时始终处于最佳放电温度区间,提高动力电池包的热均衡性,保证高铁动车组在应急状态下动力电池包的使用性能与使用寿命。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法,包括:电气系统、冷却系统,所述电气系统包括电池模组、温度传感器、温度传感器信号线束、电池管理系统、电源线束、蓄电池、水泵控制线束、散热器控制线束、多级散热制冷器控制线;所述的冷却系统包括多级散热制冷器、相变储能导热板、平面热管、循环水管、散热器、水箱、水泵、冷却液。

[0008] 电池模组有6个电池单体以及5个平面热管组成,平面热管放置在电池单体两两之间,平面热管作为高效的传热介质,能够将电池单体的热量快速的传导出去;平面热管突出电池模组,电池模组其余部分皆为密封部件;温度传感器放置在电池模组内侧,与电池单体贴合,温度传感器与电池管理系统通过温度传感器信号线束相连;蓄电池通过电源线束与多级散热制冷器、水泵、电池管理系统连接,并为它们供电;电池管理系统根据温度传感器传来的信息,控制水泵以及多级散热制冷器,用以控制动力电池包的整体温升,增加动力电池包一致性;本系统具有灵活度高,散热效果好,适应性强的特点;温度传感器固定在各个电池模组内表面外侧表面上,通过温度传感器信号线束将动力电池包的详细温度数据传输给电池管理系统,蓄电池通过电源线束与电池管理系统连接。

[0009] 动力电池包由3个电池模组以及3根相变储能导热板组成;相变储能导热板靠近电池模组的那一侧为阶段凹槽,从电池模组内部伸出的平面热管嵌入到这些凹槽中进行定位以及固定;平面热管吸收的电池单体的热量,通过与相变储能导热板的接触面将热量传导给相变储能导热板,相变储能导热板吸收热量,进行相态变化,储存这部分热量;相变储能导热板突出动力电池包,动力电池包其余部分皆为密封部件;相变储能导热板突出动力电池包的部分伸入到循环水道中,进而将吸收的平面热管的热量,通过冷却液传导出去,再经过散热器进行散热,多级散热制冷器用以加强液冷的换热效果。

[0010] 同时,循环水管与水泵、水泵与水箱、水箱与散热器、散热器与循环水管之间相连通,冷却液在该循环系统内流动;电池管理系统通过多级散热制冷器控制线束、水泵控制线束、散热器控制线束与多级散热制冷器、水泵、散热器相连;同时电池管理系统、水泵、散热器通过电源线束与蓄电池相连。

[0011] 同时,提出的热管理系统有六个多级散热制冷器,能够单独控制温度,用以加强伸入循环水道中的三根相变储能导热板两端的传热效率,并且强化系统的热管理效能,冷却液进入循环水道,六个多级散热制冷器联动,能够精确控制循环水道中冷却液以及三根相变储能导热板的温度,进而能够保证动力电池包的温度一致性。

[0012] 同时,本发明中所述的多级散热制冷器为热电半导体制冷器,该多级散热制冷器制冷端贴在循环水道表面,位于相变储能导热板伸入循环水道部分的上方,用以加强系统的换热系统。

[0013] 同时,本发明中所述的相变储能导热板包括导热板壳体、相变材料。相变储能导热板壳体由铝合金等轻质高导热系数材料制成,导热板内部为密闭的相变材料,相变材料导

热管一面为阶段凹槽结构,用以嵌入平面热管。

[0014] 上述所述的多个电池模组、循环水道、相变储能导热板下表面齐平(以图1中相变储能导热板、动力电池包为参考,对应的相变储能导热板和动力电池包的下表面齐平);

[0015] 结合所述的轨道交通用一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,本发明提供如下控制方法:

[0016] 电池管理系统通过温度传感器检测各电池模组温度数据,结合动力电池包的合适工作温度范围判断是否有动力电池包达到热管理要求,若有,则电池管理系统控制多级散热制冷器打开、水泵打开促使冷却液循环、散热器打开对冷却液进行散热;

[0017] 电池管理系统进一步通过温度传感器对需要散热的动力电池包的温度分布进行分析,判断需要散热的电池模组内部的高低温度分布情况,进一步计算分析最佳散热效率的多级散热制冷器开关情况,通过多级散热制冷器的切换以及水泵的流速控制,达到最佳换热效率。散热开始后,电池管理系统通过温度传感器实时监测需要散热的电池模组的温度变化,根据实时的温度变化状态时刻进行最佳散热效率的制冷功率分布的分析,实时对各多级散热制冷器的开关、水泵的流速以及散热器风速大小进行控制,从而对系统温度进行实时控制,使散热效率始终维持在最佳状态;

[0018] 上述对多级散热制冷器制冷功率以及水泵流量进行实时控制,使散热效率始终维持在最佳状态时采用的方法为:电池模组温度数据 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ (分别对应着温度传感器A1、温度传感器B1、温度传感器C1、温度传感器A2、温度传感器B2、温度传感器C2采集的温度数值),并且对采集到的温度数据 $t_i$ 做加速度运算,得到 $a(t_i)$ ;具体控制策略以及工作模式包括如下几种情况:

[0019] 1) 模式一:

[0020]  $\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \leq \text{温度阈值}T_0\} \cap \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \leq \text{温差阈值}D_0$

[0021] 2) 模式二:

[0022]  $\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_0\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_0$

[0023] 3) 模式三:

[0024]  $\{\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_0\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_0\} \cap \{\{\text{Max}\{(t_4-t_1), (t_5-t_2), (t_6-t_3)\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cup \{\text{Min}\{(a(t_4)-a(t_1)), (a(t_5)-a(t_2)), (a(t_6)-a(t_3))\} \geq \text{阈值}DA_1\}\}$

[0025] 模式四

[0026]  $\{\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_1\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cap \{\text{Max}\{a(t_1), a(t_2), a(t_3), a(t_4), a(t_5), a(t_6)\} \geq \text{温度变化速率阈值}A_1\}$

[0027]  $T_0$ 表示第一温度阈值(动力电池包的温度阈值), $D_0$ 表示第一温差阈值(动力电池包的内部温差), $D_1$ 表示单个电池模组的温差阈值; $DA_1$ 表示单个电池模组两侧温度变化率差值的阈值; $T_1$ 表示表示第二温度阈值(动力电池包的温度阈值); $A_1$ 表示电池模组两侧温度变化率阈值; $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 表示动力电池包中3个电池模组的温度,具体地, $t_1, t_2$ 表示电池模组A的温度, $t_3, t_4$ 表示电池模组B的温度, $t_5, t_6$ 表示电池模组C的温度。

[0028] 其中,  $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ 、 $DA_1$ 、 $T_1$ 、 $A_1$ 的数值通过实验来获得, 根据NEDC工况以及实车测试工况, 实时检测各个模组的温度值, 进而确定上述阈值大小。其中 $T_0$ 的大致范围为 $40^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ ;  $D_0$ 的大致范围为 $3.5^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ ;  $D_1$ 的大致范围为 $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ ;  $DA_1$ 的大致范围为 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 0.15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;  $T_1$ 的大致范围为 $42^{\circ}\text{C}\sim 48^{\circ}\text{C}$ ,  $A_1$ 的大致范围为 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

[0029] 当判断电池包处于模式一时, 多级散热制冷器关闭, 根据多传感器融合数据(多个电池模组温度数据)对水泵以及散热器进行实时控制, 让水泵在 $5\%\sim 25\%$ 流量开度, 散热器保持在 $5\%\sim 25\%$ 风扇转速之间, 维持动力电池包的温度在最佳区间内, 实现动力电池包温度的实时控制。

[0030] 当触发条件满足模式二、模式三、模式四的条件要求时, 散热开始, 电池管理系统根据实时的多传感器融合数据(多个电池模组温度数据)变化状态时刻判断动力电池包所处的模式, 首先进行水泵和散热器的控制, 变换水泵流量以及散热器风量, 然后进行最佳散热效率时的水泵流量、散热器风速以及多级散热制冷器制冷功率匹配的最佳参数组合分析, 实时对水泵、散热器以及多级散热制冷器的控制。从而对流道的水流速度、散热风速以及多级散热制冷器制冷功率进行实时控制, 使系统散热效率始终维持在最佳状态。

[0031] 并且, 电池管理系统根据实时的多传感器融合数据(多个电池模组温度数据), 综合判断动力电池包所处的模式, 当判断动力电池包出于模式一时, 则散热完成, 将多级散热制冷器关闭, 控制水泵在 $5\%\sim 25\%$ 流量开度, 散热器保持在 $5\%\sim 25\%$ 风扇转速之间, 使动力电池包内部流道重置为初始状态; 当判断动力电池包处于模式二、模式三、模式四时, 则继续进行上述方式进行散热。

[0032] 与现有技术相比, 本发明具有如下有益效果:

[0033] (1) 本发明公开的一种基于平面热管&液冷&相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法使动力电池包内部温差控制在比较小的范围之内, 提高动力电池包的热均衡性。同上, 之前的电池包散热系统大多采用固定的散热方式(固定几个水泵流量或者散热风速等), 本发明提供的散热系统通过四种模式的划分, 根据温度传感器数据监测电池包产热情况, 提早实时调整水泵流量、散热器风速以及多级散热制冷器制冷功率, 可以极大地提升动力电池包的散热效率, 并且采用的平面热管能够很好的将热量从动力电池包导出到相变储能导热板中, 并且通过液冷系统将相变储能导热板的热量传导出去, 并且多级散热制冷器可以极大的提高该过程中的系统散热效率, 以提高动力电池包的热均衡性。

[0034] (2) 本发明公开的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法将平面热管放置在电池单体之间, 加强电池单体的换热效率, 提高电池模组的温度一致性。

[0035] (3) 本发明公开的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法将平面热管嵌入到相变储能导热板中, 将平面热管吸收的电池单体热量快速的传导给相变储能导热板, 相变储能板由于其自身相变潜热巨大, 能够快速的吸收这部分热量, 从而降低电池模组的温度。

[0036] (4) 本发明公开的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法将相变材料密闭在导热板中, 防止因相变材料相态变化导致系统结构不稳的情况发生, 并且平面热管嵌入到相变储能导热板凹槽内, 吸收平面热管传导过来的热量, 并且通过冷却液将相变材料吸收的热量传导出去, 极大的提升散热效能。

[0037] (5) 本发明公开的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法采用多级散热制冷器,针对动力电池包的温度场变化,利用六个多级散热制冷器,根据温度的变化适时调整多级散热制冷器制冷功率的大小,进而可以改善动力电池包的温度均匀性,提高动力电池包的使用性能。

[0038] (6) 本发明公开的一种基于平面热管、相变储能导热板以及液冷耦合的动力电池包可变流道主动热管理系统及控制方法通过平面热管以及相变储能导热板的热传导将液冷系统放置在动力电池包之外,进而避免因为液冷系统漏液而导致电池短路现象发生;另外将液冷系统放置在动力电池包之外还可以提高动力电池包的能量密度。

## 附图说明

[0039] 图1为本发明实施例提供的动力电池包散热系统图

[0040] 图2为本发明实施例提供的动力电池包装配图45°透视图

[0041] 图3为本发明实施例提供的动力电池包装配图俯视图

[0042] 图4为本发明实施例提供的动力电池包装配图正视剖视图

[0043] 图5为本发明实施例提供的相变储能导热板45°俯视透视图

[0044] 图6为本发明实施例提供的相变储能导热板结构剖析图

[0045] 图7为本发明实施例提供的动力电池包电池模组45°俯视透视图

[0046] 图8为本发明实施例提供的动力电池包电池模组结构剖析图

[0047] 图9为本发明实施例提供的动力电池包散热系统工作流程图

[0048] 其中:1-相变储能导热板A、2-相变储能导热板B、3-相变储能导热板C、4-循环水管、5-电池模组A、6-电池模组B、7-电池模组C、8-动力电池包、9-电池单体、10-温度传感器A1、11-温度传感器B1、12-温度传感器C1、13-温度传感器A2、14-温度传感器B2、15-温度传感器C2、16-平面热管、17-电池管理系统、18-蓄电池、19-多级散热制冷器A1、20-多级散热制冷器B1、21-多级散热制冷器C1、22-多级散热制冷器A2、23-多级散热制冷器B2、24-多级散热制冷器C2、25-水箱、26-散热器、27-温度传感器信号线束、28-多级散热制冷器控制线束、29-水泵控制线束、30-水泵、31-冷却液、32-相变材料、33-导热板壳体、34-散热器控制线束。

## 具体实施方式

[0049] 本发明实施例公开了一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法,用于高铁动车组的应急动力电池包系统,能保证高铁动车组的应急动力电池包系统在工作时处于最佳温度区间。

[0050] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0051] 如图1、图2、图3以及图4所示,本发明实施例提供的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统,包括电气系统、冷却系统,所述电气系统包括动力电池包8、温度传感器A1 10、温度传感器B1 11、温度传感器C1 12、温度传感器A2 13、

温度传感器B2 14、温度传感器C2 15、温度传感器信号线束27、电池管理系统17、电源线束34、蓄电池18、多级散热制冷器控制线束28、水泵控制线束29；所述的冷却系统包括多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24、相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3、液冷循环水管4、平面热管16、散热器26、水箱25、水泵30、冷却液31。

[0052] 温度传感器A1 10、温度传感器A2 13、温度传感器B1 11、温度传感器B2 14、温度传感器C1 12、温度传感器C2 15分别放置在电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7的内侧表面，与电池单体9紧密贴合；温度传感器A1 10、温度传感器A2 13、温度传感器B1 11、温度传感器B2 14、温度传感器C1 12、温度传感器C2 15通过温度传感器信号线束27与电池管理系统17相连；水泵30、多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24、散热器26通过电源线束34与蓄电池18相连，并且由蓄电池18提供能量；另外水泵30、多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24、散热器26分别通过水泵控制线束29、多级散热制冷器控制线束28以及散热器控制线束34与电池管理系统17相连，并且受电池管理系统17的实时控制，用以控制动力电池包的整体温升，增加动力电池包一致性；实现对多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24、水泵30、散热器26工作的控制，进而控制动力电池包热管理系统内部冷却液的温度控制。

[0053] 如图7以及图8所示，动力电池包8包括电池模组A5、电池模组B6、电池模组C7，六个电池单体9以及五个平面热管16分别组成电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7，平面热管16放置在电池单体9两两之间，平面热管16作为高效的传热介质，能够将电池单体9的热量快速的传导出去；平面热管16突出电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7，电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7其余部分皆为密封部件。

[0054] 如图1、图2、图3以及图4所示，动力电池包8由三个电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7以及三根相变储能导热板A1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3组成；相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3靠近电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7的那一侧为阶段凹槽，从电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7内部伸出的平面热管16嵌入到这些凹槽中进行定位以及固定；平面热管16吸收的电池单体9的热量，通过与相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3的接触面将热量传导给相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3，相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3吸收热量，进行相态变化，储存这部分热量；相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3突出动力电池包8，动力电池包8其余部分皆为密封部件；相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3突出动力电池包8的部分伸入到循环水管4中，进而将吸收的平面热管16的热量，通过循环水道中的冷却液31传导出去，再经过散热器26进行散热。

[0055] 同时，循环水管4与水泵30，水泵30与水箱29，水箱29与散热器26，散热器26与循环水管4之间相连，冷却液31在该循环系统内流动。

[0056] 同时，提出的热管理系统有六个多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多

级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24,放置在循环水管4上(位于相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3伸入循环水管4部分的上侧),能够控制循环水管4中的冷却液31的温度。

[0057] 如图5以及图6所示,本发明中所述的相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3包括导热板壳体33、相变材料32。相变储能导热板壳体33由铝合金等轻质高导热系数材料制成,导热板内部为密闭的相变材料32,相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3一面为阶段凹槽结构,用以嵌入平面热管16。

[0058] 上述所述的多个电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7、循环水管4、相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3下表面齐平。

[0059] 结合所述的轨道交通动力电池包基于相变储能导热板A1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3、平面热管16以及冷却液31耦合的热管理系统,本发明提供如下热管理控制方法:

[0060] 如图9所示,本发明实施例提供的一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统的控制方法如下:

[0061] 电池管理系统17通过温度传感器A1 10、温度传感器A2 13、温度传感器B1 11、温度传感器B2 14、温度传感器C1 12、温度传感器C2 15分别检测电池模组A 5、电池模组B 6、电池模组C 7的温度,结合动力电池包8的合适工作温度范围判断是否有动力电池包8达到散热要求。得到采集被监控设备中的电池模组A5、电池模组B 6、电池模组C 7的温度数据 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 。

[0062] 模式一:

[0063] 如图9所示,若没有超过动力电池包8的合适工作温度范围,则系统处于模式一状态,则电池管理系统17控制多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24关闭、水泵30打开,促使冷却液31循环、散热器26打开对冷却液31进行散热。对水泵30以及散热器26进行实时控制,让水泵30在5%~25%流量开度,散热器26保持在5%~25%风扇转速之间,维持动力电池包8的温度在最佳区间内,实现动力电池包8温度的实时控制;

[0064] 参考阈值如下所示:

[0065]  $\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \leq \text{温度阈值}T_0\} \cap \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \leq \text{温差阈值}D_0$

[0066] 模式二:

[0067] 如图9所示,当检测到的数据满足达到模式二启动条件时,则电池管理系统17控制多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24打开,制冷器功率根据采集的对应的温度数据进行实时的调整,多级散热制冷器A1 19对应的是通过温度传感器A1 10、多级散热制冷器B1 20对应的是温度传感器B1 11、多级散热制冷器C1 21对应的是温度传感器C1 12、多级散热制冷器A2 22对应的是温度传感器A2 13、多级散热制冷器B2 23对应的是温度传感器B2 14、多级散热制冷器C2 24对应的是温度传感器C2 15;多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24的制冷功率分别为 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ;其中 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ 上限制

冷功率为30W。

$$[0068] \quad P_1 = (t_1 - 35) * 0.8W;$$

$$[0069] \quad P_2 = (t_2 - 35) * 0.8W;$$

$$[0070] \quad P_3 = (t_3 - 35) * 0.8W;$$

$$[0071] \quad P_4 = (t_4 - 35) * 0.8W;$$

$$[0072] \quad P_5 = (t_5 - 35) * 0.8W;$$

$$[0073] \quad P_6 = (t_6 - 35) * 0.8W;$$

[0074] 水泵30(流量调整)打开,促使冷却液31循环、散热器26打开对冷却液14进行散热。对水泵30以及散热器26进行实时控制,让水泵30在26%~50%流量开度,散热器26保持在26%~50%风扇转速之间,维持动力电池包8的温度在最佳区间内,实现动力电池8包温度的实时控制;

[0075] 参考阈值如下所示:

$$[0076] \quad \{ \text{Max} \{ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 \} \geq \text{温度阈值} T_0 \} \cup \{ \text{Max} \{ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 \} - \text{Min} \{ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 \} \} \geq \text{温差阈值} D_0$$

[0077] 模式三:

[0078] 如图9所示,当检测到的数据满足达到模式三启动条件时,则电池池管理系统17控制多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24打开;制冷器功率根据采集的对应的温度数据进行实时的调整,多级散热制冷器A1 19对应的是通过温度传感器A1 10、多级散热制冷器B1 20对应的是温度传感器B1 11、多级散热制冷器C1 21对应的是温度传感器C1 12、多级散热制冷器A2 22对应的是温度传感器A2 13、多级散热制冷器B2 23对应的是温度传感器B2 14、多级散热制冷器C2 24对应的是温度传感器C2 15;多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24的制冷功率分别为 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ;其中 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ 上限制冷功率为30W。

[0079] 此时,循环水管4进出水口温度差异(即温度传感器A2 13与温度传感器A1 10、温度传感器B2 14与温度传感器B1 11、温度传感器C2 15与温度传感器C1 12的温差)达到阈值。 $\text{Max} \{ (t_4 - t_1), (t_5 - t_2), (t_6 - t_3) \} \geq \text{温差阈值} D_1$

[0080] 则:

$$[0081] \quad P_1 = (t_1 - 35) * 0.8W;$$

$$[0082] \quad P_2 = (t_2 - 35) * 0.8W;$$

$$[0083] \quad P_3 = (t_3 - 35) * 0.8W;$$

$$[0084] \quad P_4 = (t_4 - 35) * 0.8 + P_1 * 0.5W;$$

$$[0085] \quad P_5 = (t_5 - 35) * 0.8 + P_2 * 0.5W;$$

$$[0086] \quad P_6 = (t_6 - 35) * 0.8 + P_3 * 0.5W;$$

[0087] 水泵30打开促使冷却液31循环、散热器26打开对冷却液31进行散热。对水泵30以及散热器26进行实时控制,让水泵30在51%~75%流量开度,散热器26保持在51%~75%风扇转速之间,维持动力电池包8的温度在最佳区间内,实现动力电池8包温度的实时控制;

[0088] 参考阈值如下所示:

[0089]  $\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_0\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_0\} \cap \{\text{Max}\{(t_4-t_1), (t_5-t_2), (t_6-t_3)\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cup \{\text{Min}\{(a(t_4)-a(t_1)), (a(t_5)-a(t_2)), (a(t_6)-a(t_3))\} \geq \text{阈值}DA_1\}$

[0090] 模式四:

[0091] 如图9所示,当检测到的数据满足达到模式四启动条件时,则电池池管理系统17控制多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24打开;制冷器功率根据采集的对应的温度数据进行实时的调整,多级散热制冷器A1 19对应的是通过温度传感器A1 10、多级散热制冷器B1 20对应的是温度传感器B1 11、多级散热制冷器C1 21对应的是温度传感器C1 12、多级散热制冷器A2 22对应的是温度传感器A2 13、多级散热制冷器B2 23对应的是温度传感器B2 14、多级散热制冷器C2 24对应的是温度传感器C2 15;多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24的制冷功率分别为 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ;其中 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ 上限制冷功率为30W。

[0092] 此时,各温度传感器的温度达到第二阈值,动力电池包8的内部温差达到第二阈值,并且各温度传感器的温度上升速率达到阈值。

[0093] 则:

[0094]  $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 30W$ ;

[0095] 水泵30打开促使冷却液31循环、散热器26打开对冷却液31进行散热。对水泵30以及散热器26进行实时控制,让水泵30在76%~100%流量开度,散热器26保持在76%~100%风扇转速之间,维持动力电池包8的温度在最佳区间内,实现动力电池8包温度的实时控制;

[0096] 参考阈值如下所示:

[0097]  $\{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} \geq \text{温度阈值}T_1\} \cup \{\text{Max}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\} - \text{Min}\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}\} \geq \text{温差阈值}D_1\} \cap \{\text{Max}\{a(t_1), a(t_2), a(t_3), a(t_4), a(t_5), a(t_6)\} \geq \text{温度变化速率阈值}A_1\}$

[0098] 散热开始后,电池管理系统17通过温度传感器A1 10、温度传感器A2 13、温度传感器B1 11、温度传感器B2 14、温度传感器C1 12、温度传感器C2 15实时监测需要散热的电池模组A5、电池模组B 6、电池模组C 7的温度变化,根据实时的温度变化状态时刻进行最佳散热效率时的水泵30流量、散热器26风速以及多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24制冷功率匹配的最佳参数组合分析,实时对水泵30、散热器26以及多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24的控制。从而对循环水道4的水流速度、散热风速以及制冷功率进行实时控制,使系统散热效率始终维持在最佳状态。

[0099] 实时的温度变化状态时刻进行最佳散热效率的冷却液31温度的分析,实时对各多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24的通电进行控制,从而对流动冷却液31温度进行实时控制,使散热效率始终维持在最佳状态;

[0100] 并且,模式一为系统初始状态,电池管理系统17根据传感器数据判断系统处理哪种模式,如不满足模式二、模式三的条件要求,则认为散热完成,停止对多级散热制冷器A1 19、多级散热制冷器B1 20、多级散热制冷器C1 21、多级散热制冷器A2 22、多级散热制冷器B2 23、多级散热制冷器C2 24以及水泵30的控制,使系统重置为初始状态(模式一),若满足模式二、模式三、模式四的条件要求,则继续按上述情况进行散热。

[0101] 从上述技术方案可以看出,本发明实施例提供一种基于平面热管、液冷、相变储能导热板耦合的动力电池包多级散热系统及控制方法,解决高铁动车组应急电池系统在工作时的散热问题,保证应急动力电池包系统在工作时在短时间内达到动力电池包工作的最佳温度区间,提高动力电池包的热均衡性,保证轨道列车在应急牵引动力电池包系统的使用性能与使用寿命。

[0102] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

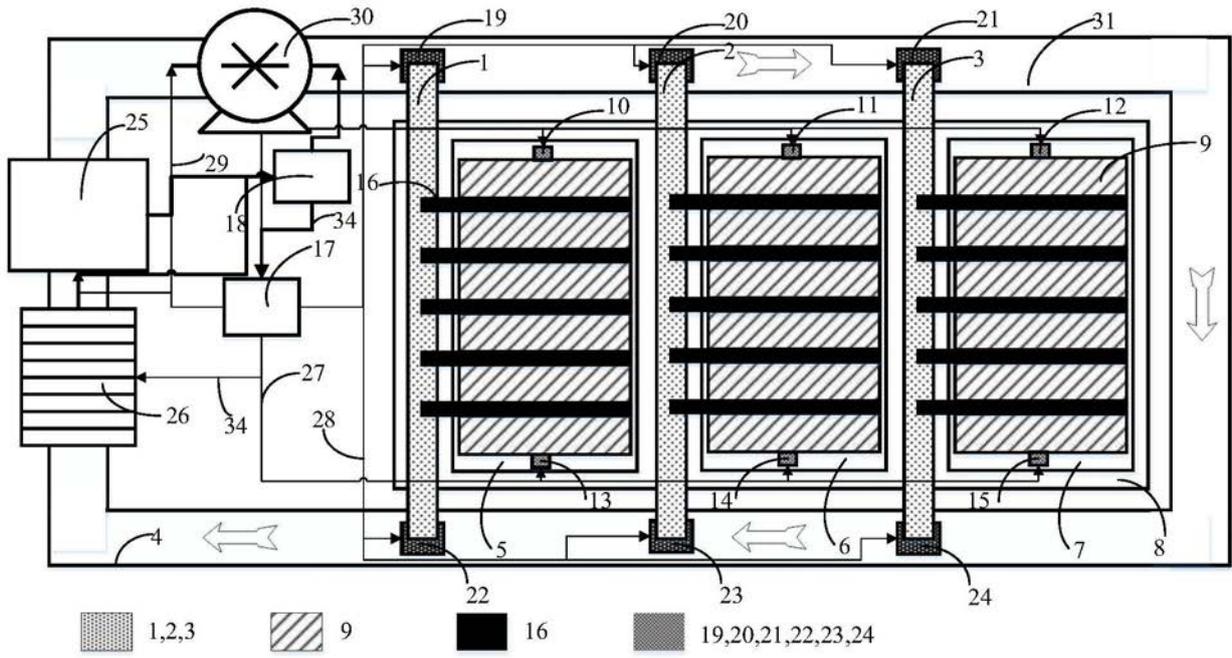


图1

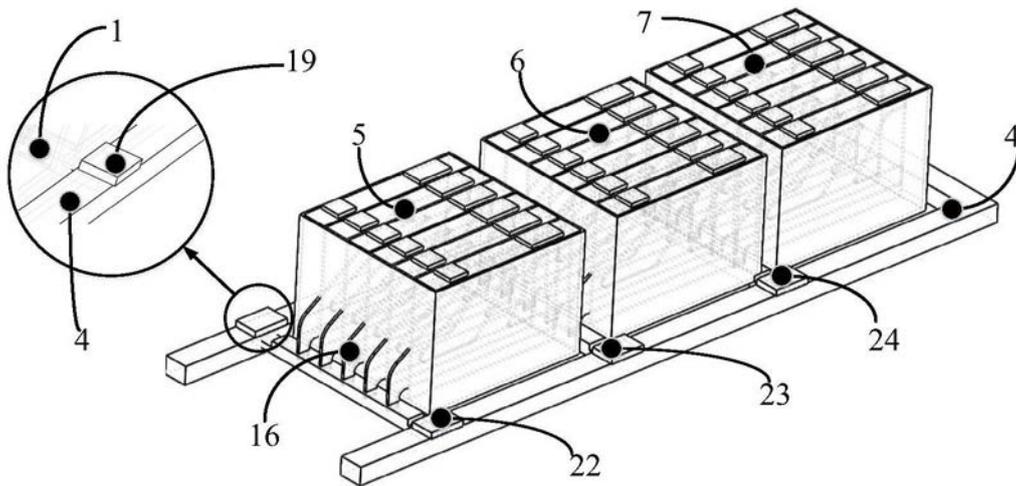


图2

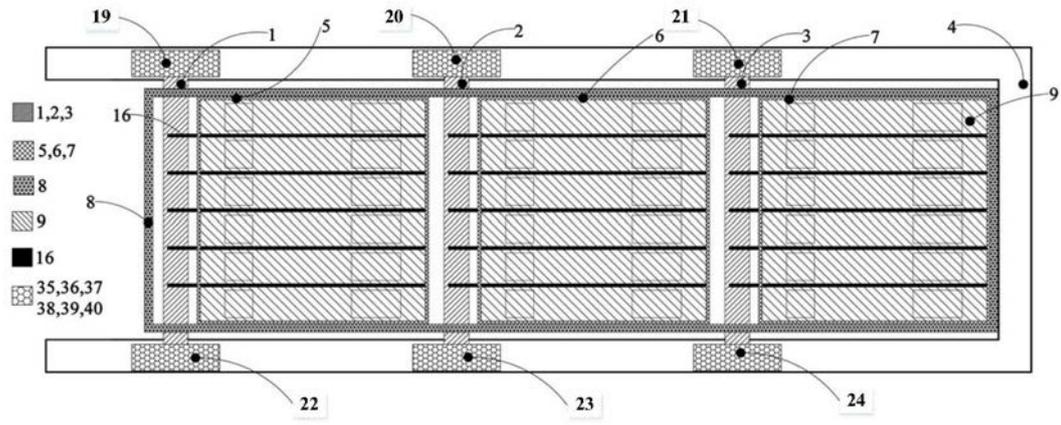


图3

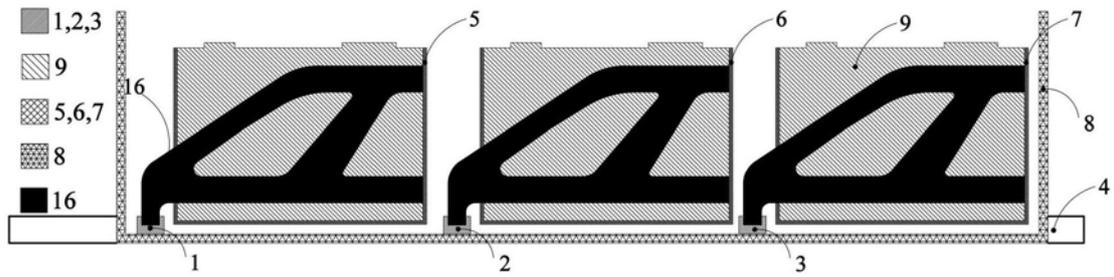


图4

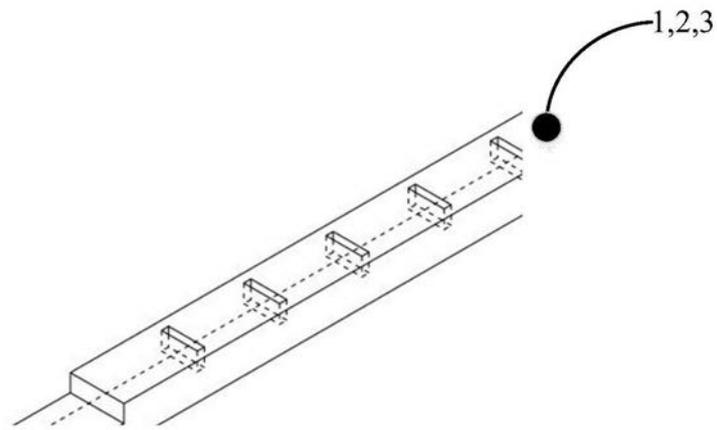


图5

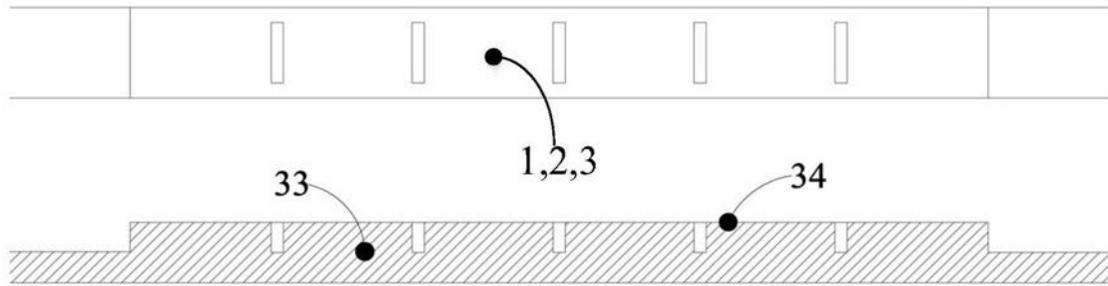


图6

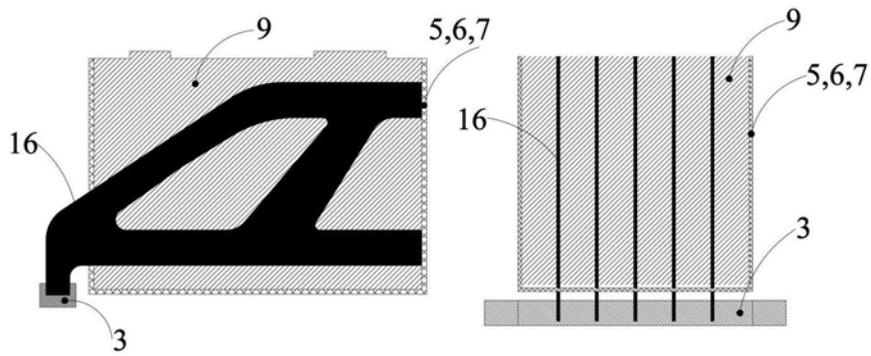


图7

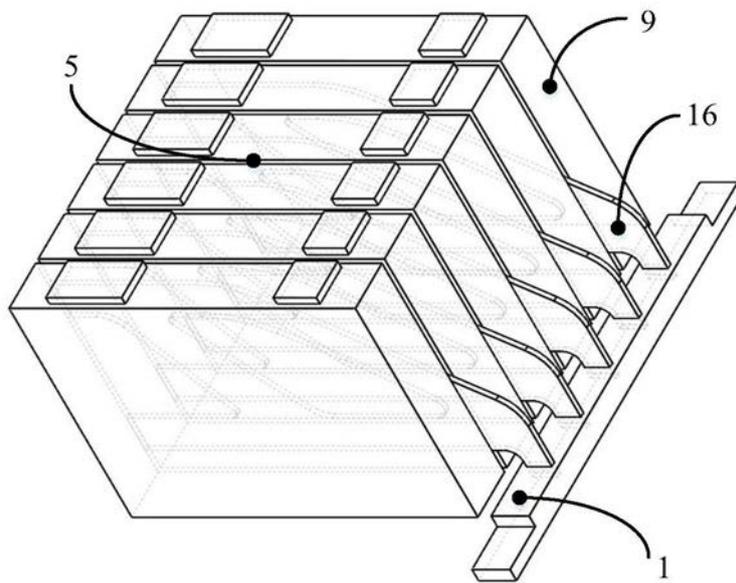


图8

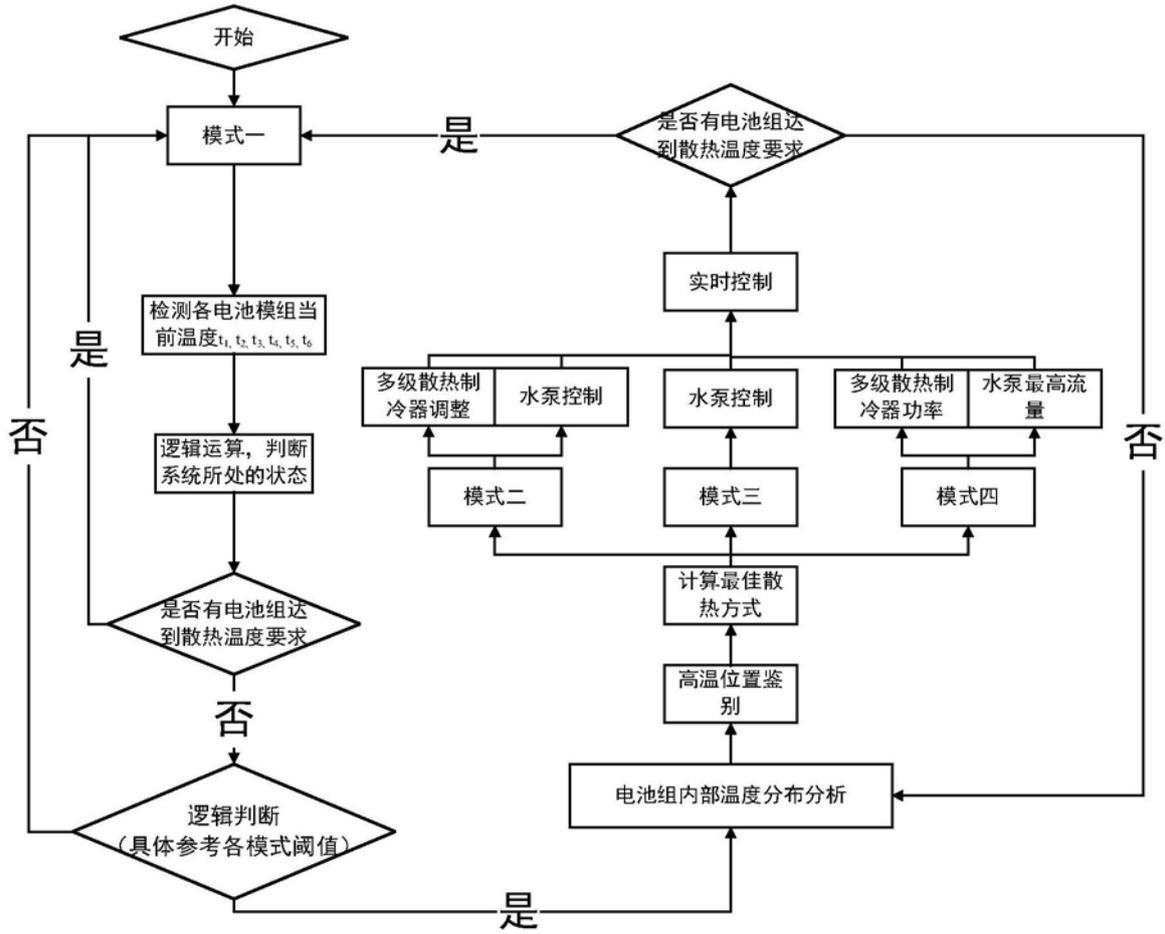


图9