



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109860947 A

(43)申请公布日 2019.06.07

(21)申请号 201910036227.4

B60L 58/26(2019.01)

(22)申请日 2019.01.15

(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 10/633(2014.01)

H01M 10/635(2014.01)

H01M 10/6556(2014.01)

H01M 10/6563(2014.01)

H01M 10/6568(2014.01)

H01M 10/659(2014.01)

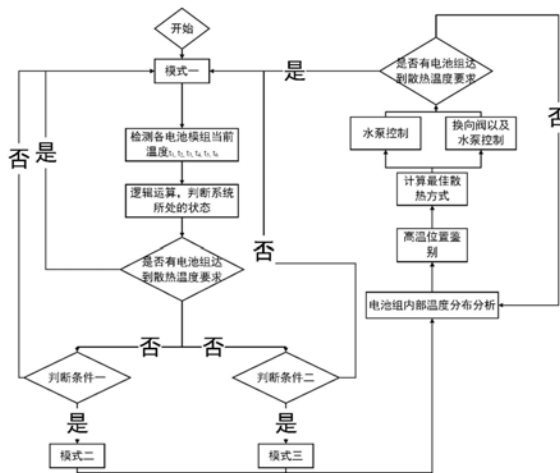
权利要求书4页 说明书10页 附图6页

(54)发明名称

一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法及系统,包括温度传感器、相变储能导热板、电池管理系统、换向阀、水泵、水箱、散热器、蓄电池、循环水管;平面热管放置在电池单体两两之间紧密贴合,平面热管嵌在相变储能导热板中,相变储能导热板伸入到循环水管中,循环水管中的冷却液通过进/出水管与外界散热器相连;温度传感器贴在动力电池包上,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;电池管理系统根据温度传感器传来的信息,通过PID算法控制水泵、散热器以及换向阀,进而调整循环水道中的冷却液流向以及流速,用以控制动力电池包的整体温升,增加动力电池包温度一致性。



CN 109860947 A

1. 一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:温度传感器获取动力电池系统自身运行状态信息,并将获得的温度信息发送给电池管理系统(17);

步骤2: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,结合动力电池包的合适工作温度范围判断是否有动力电池包达到散热要求;在有动力电池包达到散热要求时,执行步骤3;

步骤3:电池管理系统(17)根据温度传感器所发送的信息经数据处理分析,对所采集的电池模组的温度数据 $t_i$ 分别进行加速度运算,获得 $a(t_i)$ ;

步骤4:电池管理系统17根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度控制算法,实现热管理系统工作模式的切换,进行换向阀A(23)、换向阀B(24)方向、水泵(28)流量以及散热器(30)风量的匹配计算;

步骤5:电池管理系统(17)处理数据之后,按照模式切换的规则,根据系统内部和外部离散的输入信号,在离散事件的驱动下,控制整个热管理系统中某一部件工作,通过电池管理系统(17)中的控制算法,产生PWM驱动控制信号,再经过PWM调制驱动输出电枢电压信号,再将电枢电压信号发送给换向阀A(23)、换向阀B(24)、水泵(28)以及散热器(30),电池管理系统(17)根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度PID算法,进行换向阀A(23)、换向阀B(24)方向、水泵(28)流量以及散热器(30)风量的匹配计算;

步骤6:换向阀A(23)、换向阀B(24)、水泵(28)以及散热器(30)根据电池管理系统(17)输出的电枢电压信号,换向阀A(23)、换向阀B(24)实时输出不同的方向,驱动调整液冷循环水管(4)中的冷却液(31)流向;水泵(28)实时输出不同的流量,调整液冷循环水管(4)中的冷却液(31)流速;散热器(30)实时调整风速,驱动调整冷却液(31)的散热效率,实现热管理系统的高效运行。

2. 根据权利要求1所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法,其特征在于,还包括:步骤7:电池管理系统(17)通过后续的温度传感器数据,对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换向阀A(23)、换向阀B(24)开关、水泵(28)流量以及散热器(30)风速匹配,实现对动力电池系统温度的实时PID控制。

3. 根据权利要求1所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法,其特征在于,所述步骤4和步骤5中,工作模式的定义和切换规则如下:

当温度传感器检测到的温度数值中的最大值 $t_i \leq T_0$ ,  $T_0$ 表示第一温度阈值,并且温度中的最大值与最小值之差 $\leq D_0$ ,  $D_0$ 表示动力电池包的内部温差第一阈值时,为模式一状态;

当温度传感器检测到的温度数值中的最大值 $t_i \geq T_0$ ,  $T_0$ 表示第一温度阈值,或者检测到的温度中的最大值与最小值之差 $\geq D_0$ ,  $D_0$ 表示动力电池包的内部温差第一阈值时,为模式二状态;

在满足模式二的前提下,当电池模组A两端的温度差绝对值 $|t_4 - t_1|$ 、电池模组B两端的温度差绝对值 $|t_5 - t_2|$ 、电池模组C两端的温度差绝对值 $|t_6 - t_3|$ , ..., 这些温度差的最大值大于 $D_1$ ,  $D_1$ 表示单个电池模组的温差阈值,此时为模式三状态。

4. 根据权利要求3所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法,其特征在于,所述步骤4和5中,换向阀A(23)、换向阀B(24)方向,水泵(28)流量以及散热器(30)风量的匹

配的规则如下：

当满足模式一时，此时换向阀A (23)、换向阀B (24)、水泵 (28) 以及散热器 (30) 的控制参数如下：电池管理系统 (17) 控制换向阀A (23)、换向阀B (24) 关闭、水泵 (28) 打开，促使冷却液 (31) 循环、散热器 (30) 打开对冷却液 (31) 进行散热。对水泵 (28) 以及散热器 (30) 进行实时控制，让水泵 (28) 在5%~25%流量开度，散热器 (30) 保持在5%~25%风扇转速之间，流道为进水管 (25)、液冷循环水管 (4)、出水管A (26)。

当满足模式二时，此时换向阀A (23)、换向阀B (24)、水泵 (28) 以及散热器 (30) 的控制参数如下：电池管理系统 (17) 控制换向阀A (23)、换向阀B (24) 关闭、水泵 (28) 打开，促使冷却液 (31) 循环、散热器 (30) 打开对冷却液 (31) 进行散热。对水泵 (28) 以及散热器 (30) 进行实时控制，让水泵 (28) 在26%~95%流量开度，散热器 (30) 保持在26%~95%风扇转速之间，流道为进水管 (25)、液冷循环水管 (4)、出水管A (26)。

当满足模式三时，此时换向阀A (23)、换向阀B (24)、水泵 (28) 以及散热器 (30) 的控制参数如下：电池管理系统 (17) 控制换向阀A (23)、换向阀B (24) 关闭、水泵 (28) 打开，促使冷却液 (31) 循环、散热器 (30) 打开对冷却液 (31) 进行散热。对水泵 (28) 以及散热器 (30) 进行实时控制，让水泵 (28) 在26%~95%流量开度，散热器 (30) 保持在26%~95%风扇转速之间，流道为进水管 (25)、液冷循环水管 (4)、出水管B (27)。

5. 根据权利要求1所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法，其特征在于，所述步骤5和步骤7中，PID控制算法如下：

将受控对象的传递函数定义为：

$$M_n = K_c * (SV - PV_n) + (K_I * (SV - PV_n) + MX) + K_D * (PV_{n-1} - PV_n) + M_{initial} \quad (1)$$

式中： $M_n$ 是在第 $n$ 采样时刻，PID回路的输出计算值； $SV$ 是PID回路设定值； $PV_n$ 是在第 $n$ 采样时刻的过程变量值； $PV_{n-1}$ 是在第 $n-1$ 采样时刻的过程变量值； $MX$ 是积分前项值； $M_{initial}$ 是PID回路的静态输出值； $K_c$ 是PID回路的比例增益； $K_I$ 是积分项的比例常数 $K_I = K_c * T_s / T_i$ ； $T_s$ 是离散化时的采样时间间隔； $T_i$ 是积分时间参数； $K_D$ 是微分项的比例常数 $K_D = K_c * T_d / T_s$ ；

$W_c(n) = K_c * (SV - PV_n)$  为比例项

$W_I(n) = K_I * (SV - PV_n) + MX$  为积分项

$W_D(n) = K_D * (PV_{n-1} - PV_n)$  为微分项

$M_{initial}$  为静态输出项

换向阀A和换向阀B的位置型控制：

a) 首先电池管理系统17先获取各个温度传感器 (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) 的温度数据，综合判断当前的模式；

b) 根据当前模式，确定当前模式下的温度阈值 $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ ；

c) 根据采集到的温度，判断是否满足温度阈值 $T_0$ ；计算PID输入参数温度差值 $e(n)$ ，判断是否满意温差第一阈值 $D_0$ ，综合判断处于哪种模式，模式二和模式三即执行下一步命令；

d) 计算 $K_p e(n)$ ；

e) 计算 $K_p e(n-1)$ ；

f) 计算 $K_p e(n) + K_p e(n-1)$ ；

g) 计算 $K_p e(n-2)$ ；

- h) 计算  $\Delta M(n)$  ;
- i) 更新  $e(n-1)$  ,  $e(n-2)$  ;
- j) 进一步判断是否满足温度阈值  $T_0$  ; 计算PID输入参数温度差值  $e(n)$  , 判断是否满意温差第一阈值  $D_0$  以及温差第二阈值  $D_1$  ;
- k) 如果还处于模式二和模式三, 执行换向阀A23、换向阀B 24的换向过程, 返回重复计算过程;
- h) 如果处于模式一, 跳出循环;
- 水泵 (28) 和散热器 (30) 的增量型控制:
- a) 首先电池管理系统17先获取各个温度传感器 (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) 的温度数据, 综合判断当前的模式;
- b) 根据当前模式, 确定当前模式下的温度阈值 ( $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ ) ;
- c) 根据采集到的温度, 判断是否满足温度阈值  $T_0$  ; 计算PID输入参数温度差值  $e(n)$  , 判断是否满意温差第一阈值  $D_0$  , 综合判断处于哪种模式, 模式二和模式三即执行下一步命令;
- d) 计算  $K_p e(n)$  ;
- e) 计算  $K_p e(n-1)$  ;
- f) 计算  $K_p e(n) + K_p e(n-1)$  ;
- g) 计算  $K_p e(n-2)$  ;
- h) 计算  $\Delta M(n)$  ;
- i) 计算  $\Delta M(n) + M(n)(n-1)$  ;
- j) 转换  $e(n-1) \rightarrow e(n-2)$  ;  
 $e(n) \rightarrow e(n-1)$  ;  
 $M(n) \rightarrow M(n-1)$  ;
- k) 进一步判断是否满足温度阈值  $T_0$  ; 计算PID输入参数温度差值  $e(n)$  , 判断是否满意温差第一阈值  $D_0$  以及温差第二阈值  $D_1$  ;
- l) 如果还处于模式二和模式三, 执行水泵28、散热器30的开度调节, 返回重复计算过程;
- m) 如果处于模式一, 跳出循环。
6. 一种动力电池包可变流道主动热管理控制系统, 其特征在于, 包括: 电气系统、冷却系统; 所述电气系统包括温度传感器、电池管理系统 (17) 、蓄电池 (18) ; 所述的冷却系统包括换向阀、相变储能导热板、平面热管 (16) 、循环水管 (4) 、散热器 (30) 、水箱 (29) 、水泵 (28) ;
- 所述温度传感器采集电池模组温度, 温度传感器与电池管理系统 (17) 通过温度传感器信号线束相连; 蓄电池 (18) 通过电源线束与换向阀、水泵 (28) 、散热器 (30) 、电池管理系统 (17) 连接, 并为它们供电; 电池管理系统 (17) 根据温度传感器传来的信息, 控制水泵 (28) 、散热器 (30) 以及换向阀, 用以控制动力电池包 (8) 的整体温升, 增加动力电池包 (9) 一致性;
- 平面热管 (16) 、相变储能导热板、循环水管 (4) 形成散热通路, 平面热管 (16) 吸收动力电池包 (8) 的热量, 传递给相变储能导热板、之后通过循环水管 (4) 内流动的冷却液 (31) 将热量带至散热器 (30) 散出去; 循环水管 (4) 内冷却液 (31) 的状态可以受换向阀、水箱 (29) 、

水泵(28)的调节。

7. 根据权利要求6所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制系统,其特征在于,所述动力电池包(8)包括3个电池模组和3根相变储能导热板;3个电池模组均包括6个电池单体(9)以及5个平面热管(16),所述平面热管(16)放置在电池单体(9)两两之间;平面热管(16)突出电池模组,电池模组其余部分皆为密封部件;所述相变储能导热板位于电池模组一侧,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(16)嵌入到所述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;相变储能导热板的端部突出动力电池包(8),动力电池包(8)其余部分皆为密封部件,相变储能导热板突出动力电池包(8)的部分伸入到所述循环水管(4)中,进而将吸收的平面热管(16)的热量,通过循环水管(4)中的冷却液传导出,再经过散热器(30)进行散热。

8. 根据权利要求6所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制系统,其特征在于,所述循环水管(4)与换向阀、换向阀与进/出水管、进/出水管与水泵(28)、水泵(28)与水箱(29)、水箱(29)与散热器(30)、散热器(30)与进/出水管之间相连通,形成冷却液循环系统。

9. 根据权利要求8所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制系统,其特征在于,所述换向阀包括换向阀A(23)和换向阀B(24),两者控制循环水管(4)中的冷却液(31)流向,冷却液(31)通过进水管进入循环水管(4),两个换向阀联动,切换循环水管(4)中冷却液流向,并且分别通过两个出水管A(26)和出水管B(27)分别进入散热器(30)中。

10. 根据权利要求6-9任一项所述的一种动力电池包可变流道主动热管理控制系统,其特征在于,所述电池模组、循环水管(4)、相变储能导热板下表面齐平。

## 一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及轨道交通设备用动力电池包热管理系统的技术领域,具体涉及一种动力电池包可变流道主动热管理控制方法及系统。

### 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动力电池包可变流道主动热管理控制方法及系统,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:一种动力电池包可变流道主动热管理系统,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、换向阀控制线、散热器控制线束,所述的冷却系统包括换向阀、相变储能导热板、平面热管、循环水管、散热器、水箱、水泵、进水管、出水管、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换向阀、水泵、散热器、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、散热器以及换向阀,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管中,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。

[0010] 同时,循环水管与换向阀、换向阀与进/出水管、进/出水管与水泵、水泵与水箱、水箱与散热器、散热器与进/出水管之间相连,形成冷却液循环系统,冷却液在该循环系统内流动;电池管理系统通过换向阀控制线束、水泵控制线束与换向阀、水泵相连;同时换向阀、水泵通过电源线束与蓄电池相连。

[0011] 同时,提出的热管理系统有两个换向阀,能够控制循环水管中的冷却液流向,冷却液通过进水管进入循环水管,两个换向阀联动,能够切换循环水管中冷却液流向,并且分别通过两个出水管分别进入散热器中。

[0012] 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。

[0013] 上述所述的多个电池模组、循环水管、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);

[0014] 结合所述的轨道交通动力电池包的热管理系统,本发明提供如下控制方法:

[0015] 步骤1:各个温度传感器获取动力电池系统自身运行状态信息,并将获得的信息发送给电池管理系统;

[0016] 步骤2:电池管理系统通过温度传感器检测各电池模组温度数据,结合以及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散热要求;

[0017] 步骤3:电池管理系统根据温度传感器所发送的信息经数据处理模块进行分析处理,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);

[0018] 步骤4:电池管理系统根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度控制算法,从而实现了本发明所提出的热管理系统的工作模式的切换,进行换向阀方向、水泵流量以及散热器风量的匹配计算;

[0019] 步骤5:电池管理系统处理数据之后,按照模式切换的规则,并根据系统内部和外部离散的输入信号,在离散事件的驱动下,控制整个热管理系统中某一部件(换向阀、水泵以及散热器)工作,通过电池管理系统中的控制算法,产生PWM驱动控制信号,再经过PWM调制驱动输出电枢电压信号,再将电枢电压信号发送给换向阀、水泵以及散热器,电池管理系统根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度PID法,进行换向阀方向、水泵流量以及散热器风量的匹配计算;

[0020] 步骤6:换向阀、水泵以及散热器根据电池管理系统输出的电枢电压信号,换向阀实时输出不同的方向,驱动调整循环水管中的流向;水泵实时输出不同的流量,调整循环水管中的冷却液流速;散热器实时调整风速,驱动调整冷却液的散热效率,从而实现热管理系统的高效运行;

[0021] 步骤7:进一步的,电池管理系统通过后续的温度传感器数据,对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换向阀开关、水泵流量以及散热器风速匹配,实现对动力电池系统温度的实时PID控制;

[0022] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0023] (1) 本发明提供的散热系统通过三种模式的划分,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、散热器风速以及水道流向,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,以提高动力电池包的热均衡性。

[0024] (2) 本发明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。

[0025] (3) 本发明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。

[0026] (4) 本发明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。

[0027] (5) 本发明采用变流道结构,针对动力电池包的温度场变化,利用两个换向阀,适



时调整液冷流道的流向,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。

[0028] (6) 本发明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。

[0029] (7) 本发明引入温度PID控制理论,实现了动力电池热管理控制系统全工况下的控制,在各个工况引入适当的PID控制算法,能够在各工况下输出最佳的热管理性能,既能满足系统局部控制性能,又能达到整体优化的目的,提高了动力电池系统的温度一致性。

## 附图说明

[0030] 图1为本发明实施例提供的动力电池包散热系统图

[0031] 图2为本发明实施例提供的动力电池包装配图45°透视图

[0032] 图3为本发明实施例提供的动力电池包装配图俯视图

[0033] 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

[0034] 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

[0035] 图6为本发明实施例提供的相变储能导热板结构剖析图

[0036] 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

[0037] 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

[0038] 图9为本发明实施例提供的动力电池包循环水管俯视图

[0039] 图10为本发明实施例提供的动力电池包散热系统工作流程图

[0040] 图11为本发明实施例提供的模式一、二液冷流道图

[0041] 图12为本发明实施例提供的模式三液冷流道图

[0042] 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-液冷循环水管、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-温度传感器信号线束、20-换向阀控制线束、21-水泵控制线束、22-电源线束、23-换向阀A、24-换向阀B、25-进水管、26-出水管A、27-出水管B、28-水泵、29-水箱、30-散热器、31-冷却液、32-相变材料、33-相变储能导热板壳体、34-散热器控制线束。

## 具体实施方式

[0043] 本发明实施例公开了一种动力电池包可变流道主动热管理系统及控制方法,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。

[0044] 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。

[0045] 如图1、图2、图3以及图4所示,本发明实施例提供的动力电池包主动热管理系统包

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19、电池管理系统17、电源线束22、蓄电池18、换向阀控制线束20、水泵控制线束21;所述的冷却系统包括换向阀A 23、换向阀B 24、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、液冷循环水管4、平面热管16、进水管25、出水管A 26、出水管B 27、散热器30、水箱29、水泵28、冷却液31。

[0046] 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19与电池管理系统17相连;水泵28、换向阀A 23、换向阀B 24、散热器30通过电源线束22与蓄电池18相连,并且由蓄电池18提供能量;另外散热器30、水泵28、换向阀A 23、换向阀B 24分别通过散热器控制线束34、水泵控制线束21、换向阀控制线束20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;实现对换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28、散热器30工作的控制,进而控制动力电池包热管理系统内部流道流向的切换。

[0047] 如图7以及图8所示,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。

[0048] 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A 1、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A1、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,通过冷却液31传导出去,再经过散热器30进行散热。

[0049] 同时,液冷循环水管4与换向阀A 23、换向阀B 24,换向阀A 23、换向阀B 24与出水管A26、出水管B 27,出水管A 26、出水管B 27与水泵28,水泵28与水箱29,水箱29与散热器30,散热器30与出水管A 26、出水管B 27之间相连,冷却液31在该循环系统内流动;液冷循环水管4由进水管25、出水管A 26、出水管B27以及位于管内的换向阀A和换向阀B组成。

[0050] 同时,提出的热管理系统有两个换向阀A 23、换向阀B 24,能够控制循环水管中的冷却液31流向,冷却液31通过进水管25进入循环水管4,换向阀A 23、换向阀B 24联动,能够切换循环水管4中冷却液流向,并且分别通过出水管A 26、出水管B 27分别进入散热器30

中。本发明动力电池包循环水管俯视图如图9所示。

[0051] 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。

[0052] 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、液冷循环水管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。

[0053] 结合所述的轨道交通动力电池包基于相变储能导热板A 1、相变储能导热板B 2、相变储能导热板C 3、平面热管16以及冷却液31耦合的热管理系统,本发明提供如下控制方法:

[0054] 如图10所示,本发明实施例提供的一种动力电池包可变流道主动热管理系统的控制方法如下:

[0055] 步骤1:各个温度传感器(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)获取动力电池系统自身运行状态信息,并将获得的信息发送给电池管理系统17;

[0056] 步骤2:电池管理系统17通过温度传感器(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)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散热要求;在有动力电池包达到散热要求时,执行步骤3;

[0057] 步骤3:电池管理系统17根据温度传感器(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)所发送的信息经数据处理模块进行分析处理,电池模组的温度数据 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 分别对应着温度传感器A1 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;

[0058] 步骤4:电池管理系统17根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度控制算法,实现了本发明所提出的热管理系统的工作模式切换,进行换向阀A 23、换向阀B 24方向、水泵28流量以及散热器30风量的匹配计算;

[0059] 步骤5:电池管理系统17处理数据之后,按照工作模式切换的规则,并根据系统内部和外部离散的输入信号,在离散事件的驱动下,控制整个热管理系统中某一部件(换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30)工作,通过电池管理系统17中的控制算法,产生PWM驱动控制信号,再经过PWM调制驱动输出电枢电压信号,再将电枢电压信号发送给换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30,电池管理系统17根据实时温度数据以及当前工况合适温度区间,利用温度PID法,进行换向阀A 23、换向阀B 24方向、水泵28流量以及散热器30风量的匹配计算;

[0060] 步骤6:换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30根据电池管理系统17输出的电枢电压信号,换向阀A 23、换向阀B 24实时输出不同的方向,驱动调整液冷循环水管4中的冷却液31流向;水泵28实时输出不同的流量,调整液冷循环水管4中的冷却液31流速;散热器30实时调整风速,驱动调整冷却液31的散热效率,从而实现热管理系统的高效运行;

[0061] 步骤7:进一步的,电池管理系统17通过后续的温度传感器(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)数据,对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换向阀A 23、换向阀B 24开关、水泵28流量以及散热器30风速匹配,实现对动力电池系统温度的实时PID控制;

[0062] 所述步骤4模式切换的定义和规则如下:

[0063] 1)当六个温度传感器(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)检测到的温度( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ )中的最大值 $t_i \leq T_0$ ( $T_0$ 表示第一温度阈值),并且温度( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ )中的最大值与最小值之差 $\leq D_0$ ( $D_0$ 表示动力电池包的内部温差第一阈值)时候为模式一状态;

[0064] 2)当六个温度传感器(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)检测到的温度( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ )中的最大值 $t_i \geq T_0$ ( $T_0$ 表示第一温度阈值),或者检测到的温度( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ )中的最大值与最小值之差 $\geq D_0$ ( $D_0$ 表示动力电池包的内部温差第一阈值)时候为模式二状态;

[0065] 3)在满足模式二的前提下,当温度传感器A2 13与温度传感器A1 10的温度差绝对值 $|t_4 - t_1|$ ,温度传感器B2 14与温度传感器B1 11的温度差绝对值 $|t_5 - t_2|$ 、温度传感器C2 15与温度传感器C1 12的温度差绝对值 $|t_6 - t_3|$ ,这三者的最大值大于 $D_1$ ( $D_1$ 表示单个电池模组的温差阈值),此时为模式三状态;

[0066] 4)温度传感器A2 13与温度传感器A1 10的温度差绝对值 $|t_4 - t_1|$ 表示的是电池模组A(5)的温差;温度传感器B2 14与温度传感器B1 11的温度差绝对值 $|t_5 - t_2|$ 表示的是电池模组B(6)的温差;温度传感器C2 15与温度传感器C1 12的温度差绝对值 $|t_6 - t_3|$ 表示的是电池模组C(7)的温差;

[0067] 5)其中, $T_0, D_0, D_1$ 的数值通过实验来获得,根据NEDC工况以及实车测试工况,实时检测各个电池模组的温度值,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 $5^\circ\text{C} \sim 6^\circ\text{C}$ 。

[0068] 所述步骤4和5中,换向阀A 23、换向阀B 24方向、水泵28流量以及散热器30风量的匹配的规则如下:

[0069] 1)当满足模式一时,此时换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30的控制参数如下:电池管理系统17控制换向阀A 23、换向阀B 24关闭、水泵28打开,促使冷却液31循环、散热器30打开对冷却液31进行散热。对水泵28以及散热器30进行实时控制,让水泵28在5%~25%流量开度,散热器30保持在5%~25%风扇转速之间,流道为进水管25-液冷循环水管4-出水管A 26,如图11所示。

[0070] 2)当满足模式二时,此时换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30的控制参数如下:电池管理系统17控制换向阀A 23、换向阀B 24关闭、水泵28(流量调整)打开,促使冷却液31循环、散热器30打开对冷却液31进行散热。对水泵28以及散热器30进行实时控制,让水泵28在26%~95%流量开度,散热器30保持在26%~95%风扇转速之间,流道为进水管25-液冷循环水管4-出水管A 26,如图11所示。

[0071] 3)当满足模式三时,此时换向阀A 23、换向阀B 24、水泵28以及散热器30的控制参数如下:电池管理系统17控制换向阀A 23、换向阀B 24关闭、水泵28(流量调整)打开,促使冷却液31循环、散热器30打开对冷却液31进行散热。对水泵28以及散热器30进行实时控制,

让水泵28在26%~95%流量开度,散热器30保持在26%~95%风扇转速之间,流道为进水管25-液冷循环水管4-出水管B 27,如图12所示。

[0072] 所述步骤5和步骤7中采用的PID控制算法如下:

[0073] 本发明温控系统的受控对象采用PID算法表示,其传递函数是:

$$[0074] \quad M_n = K_c * (SV - PV_n) + (K_I * (SV - PV_n) + MX) + K_D * (PV_{n-1} - PV_n) + M_{initial} \quad (1)$$

[0075] 式中: $M_n$ 是在第 $n$ 采样时刻,PID回路的输出计算值; $SV$ 是PID回路设定值; $PV_n$ 是在第 $n$ 采样时刻的过程变量值; $PV_{n-1}$ 是在第 $n-1$ 采样时刻的过程变量值; $MX$ 是积分前项值; $M_{initial}$ 是PID回路的静态输出值; $K_p$ 是PID回路的比例增益; $K_I$ 是积分项的比例常数 $K_I = K_c * T_s / T_i$ ;  $T_s$ 是离散化时的采样时间间隔; $T_i$ 是积分时间参数; $K_D$ 是微分项的比例常数 $K_D = K_c * T_d / T_s$ 。

[0076]  $W_c(n) = K_p * (SV - PV_n)$  为比例项

[0077]  $W_I(n) = K_I * (SV - PV_n) + MX$  为积分项

[0078]  $W_D(n) = K_D * (PV_{n-1} - PV_n)$  为微分项

[0079]  $M_{initial}$  为静态输出项

[0080] 1) 位置型控制(换向阀A 23、换向阀B 24)

$$[0081] \quad M(n) = K_p \left\{ e(n) + \frac{K}{K_I} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{K_D}{K} [e(n) - e(n-1)] \right\} + M_0 \quad (2)$$

[0082] 其中: $e(n) = SV - PV_n$   $e(i) = SV - PV_i$

[0083] a) 首先电池管理系统17先获取各个温度传感器(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)的温度数据,综合判断当前的模式;

[0084] b) 根据当前模式,确定当前模式下的温度阈值( $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ );

[0085] c) 根据采集到的温度,判断是否满足温度阈值 $T_0$ ;计算PID输入参数温度差值 $e(n)$ ,判断是否满意温差第一阈值 $D_0$ ,综合判断处于哪种模式,模式二和模式三即执行下一步命令;

[0086] d) 计算 $K_p e(n)$ ;

[0087] e) 计算 $K_p e(n-1)$ ;

[0088] f) 计算 $K_p e(n) + K_p e(n-1)$ ;

[0089] g) 计算 $K_p e(n-2)$ ;

[0090] h) 计算 $\Delta M(n)$ ;

[0091] i) 更新 $e(n-1)$ ,  $e(n-2)$

[0092] j) 进一步判断是否满足温度阈值 $T_0$ ;计算PID输入参数温度差值 $e(n)$ ,判断是否满意温差第一阈值 $D_0$ 以及温差第二阈值 $D_1$ ;

[0093] k) 如果还处于模式二和模式三,执行换向阀A 23、换向阀B 24的换向过程,返回重复计算过程;

[0094] h) 如果处于模式一,跳出循环。

[0095] 换向阀A 23、换向阀B 24的控制过程是一个实时性很高的设备,但是由于冷却液31存在的惯性,需要过一段时间,冷却液31的流向才会发生变化。本发明把换向阀A 23、换向阀B 24控制分为两个状态,有“开和关”两种状态。

[0096] 2) 增量型控制(水泵28和散热器30)

$$\Delta u(n) = u(n) - u(n-1)$$

$$[0097] = K_p [e(n) - e(n-1)] + K_p \frac{T}{T_i} e(n) + K_p \frac{T_D}{T} [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \quad (3)$$

[0098] a) 首先电池管理系统17先获取各个温度传感器(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)的温度数据,综合判断当前的模式;

[0099] b) 根据当前模式,确定当前模式下的温度阈值( $T_0$ 、 $D_0$ 、 $D_1$ );

[0100] c) 根据采集到的温度,判断是否满足温度阈值 $T_0$ ;计算PID输入参数温度差值 $e(n)$ ,判断是否满意温差第一阈值 $D_0$ ,综合判断处于哪种模式,模式二和模式三即执行下一步命令;

[0101] d) 计算 $K_p e(n)$ ;

[0102] e) 计算 $K_p e(n-1)$ ;

[0103] f) 计算 $K_p e(n) + K_p e(n-1)$ ;

[0104] g) 计算 $K_p e(n-2)$ ;

[0105] h) 计算 $\Delta M(n)$ ;

[0106] i) 计算 $\Delta M(n) + M(n)(n-1)$

[0107] j) 转换 $e(n-1) \rightarrow e(n-2)$

[0108]  $e(n) \rightarrow e(n-1)$

[0109]  $M(n) \rightarrow M(n-1)$

[0110] k) 进一步判断是否满足温度阈值 $T_0$ ;计算PID输入参数温度差值 $e(n)$ ,判断是否满意温差第一阈值 $D_0$ 以及温差第二阈值 $D_1$ ;

[0111] l) 如果还处于模式二和模式三,执行水泵28、散热器30的开度调节,返回重复计算过程;

[0112] m) 如果处于模式一,跳出循环。

[0113] 温度控制系统是一个惯性较大的系统,也就是说,当给温区开始散热之后,并不能立即观察得到温区温度的明显下降;同样的,当关闭散热之后,温区的温度仍然有一定程度的上升。另外,温度传感器(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)对温度的检测,与实际的温区温度相比较,也存在一定的滞后效应,给温度的控制带来了困难。

[0114] 针对此情况,本发明把温度控制分为两个阶段。

[0115] PID调节前阶段

[0116] 在这个阶段,因为温区的温度距离设定值还很远,为了加快加热速度,水泵28和散热器30处于当前最高负载状态(模式一为25%开度以及功率,模式二和模式三为95%开度以及功率),只有当温度上升速度超过控制参数“加速速率”,水泵28和散热器30才关闭输出。“加速速率”描述的是温度在单位时间的跨度,反映的是温度升降的快慢。用“加速速率”限制温升过快,是为了降低温度进入PID调节区的惯性,避免首次到达温度设定值(SV)时超调过大。

[0117] 在这个阶段,要么占空比 $K=0$ ,水泵28和散热器30关闭;要么占空比 $K=100\%$ ,水

泵28和散热器30在当前模式全速输出。PID调节器不起作用,仅由“加速速率”控制温升快慢。

[0118] PID调节阶段

[0119] 在这个阶段,PID调节器调节输出,根据偏差值计算占空比(0—100%),保证偏差(EV)趋近于零,即使系统受到外部干扰时,也能使系统回到平衡状态。

[0120] 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、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,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。

[0121] 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。

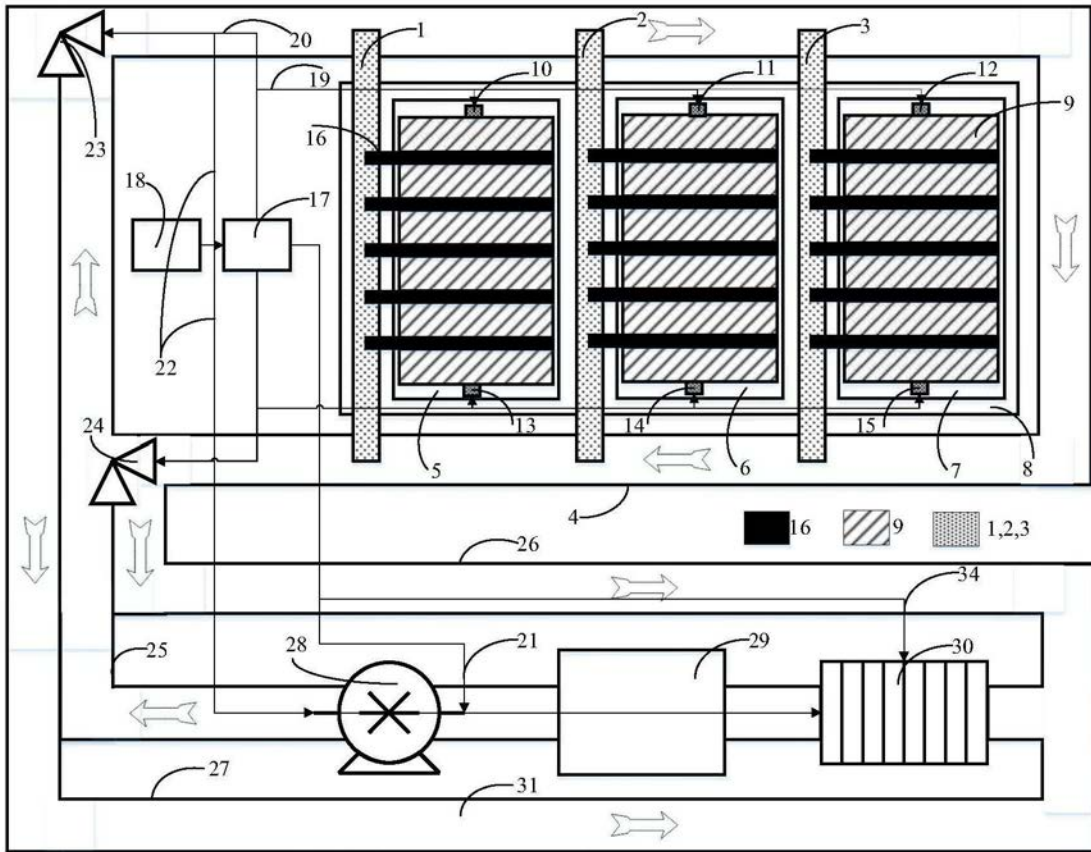


图1

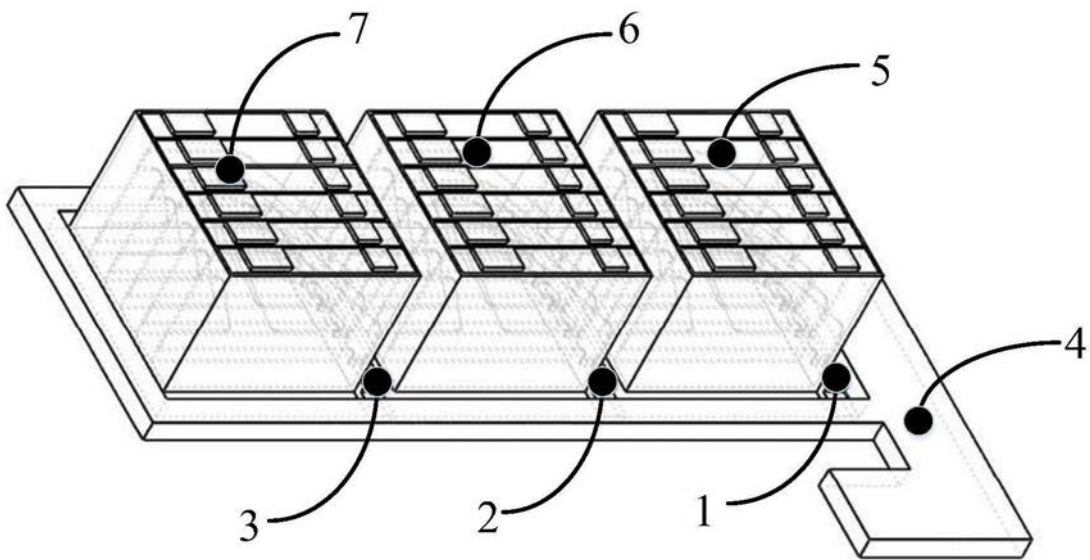


图2



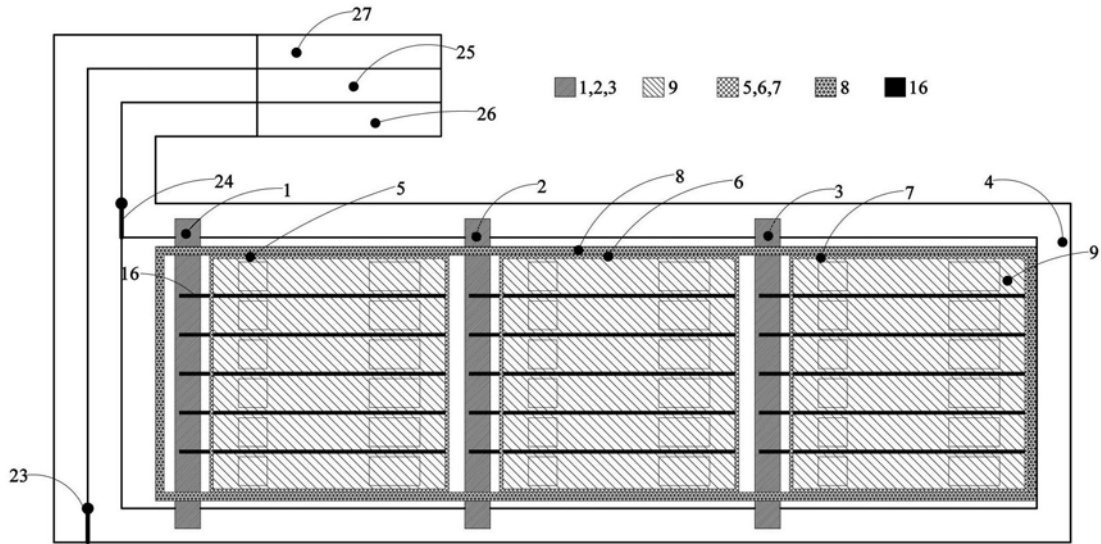


图3

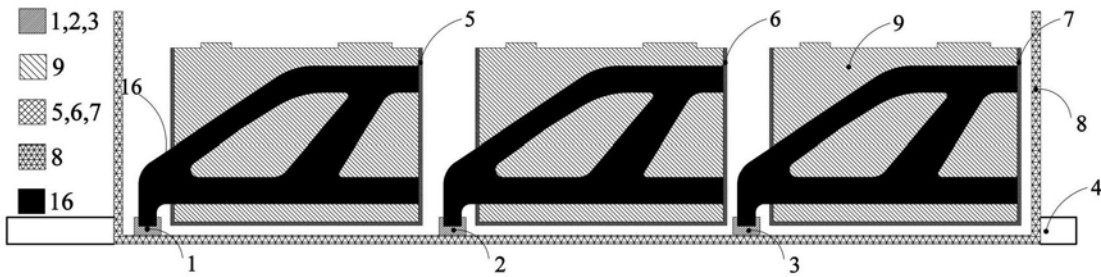


图4

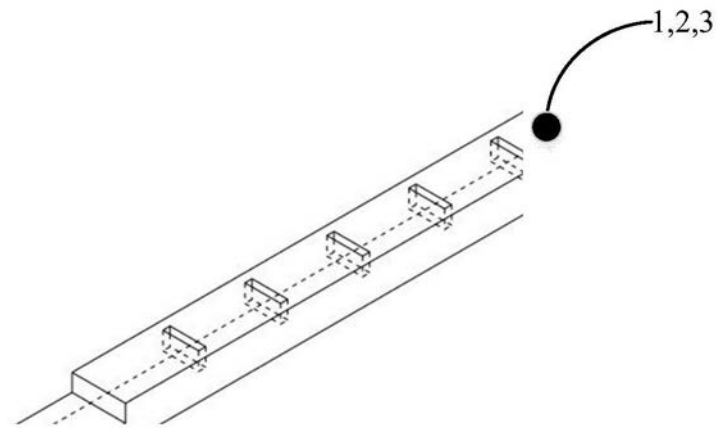


图5

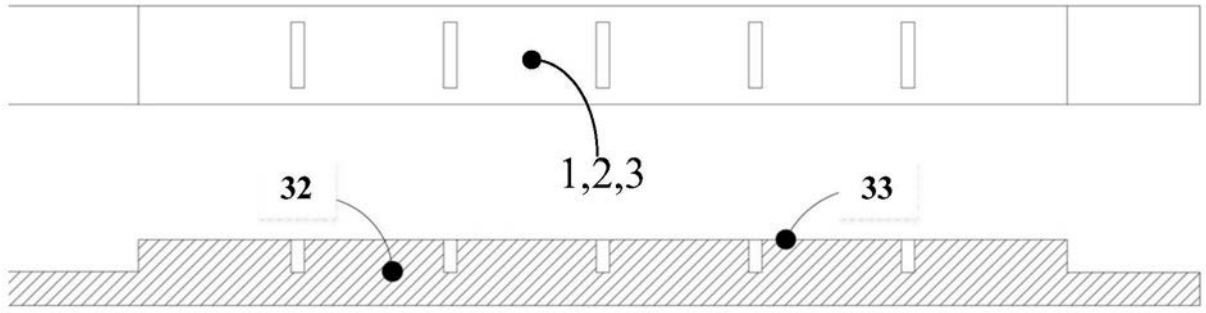


图6

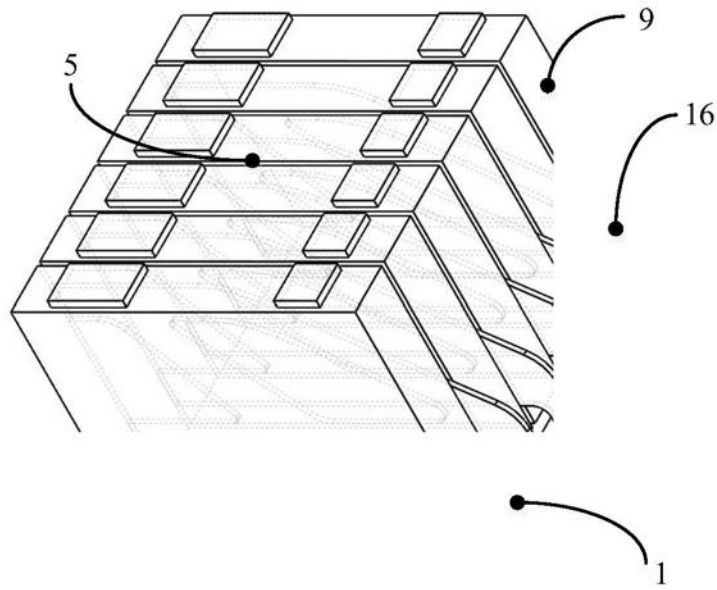


图7

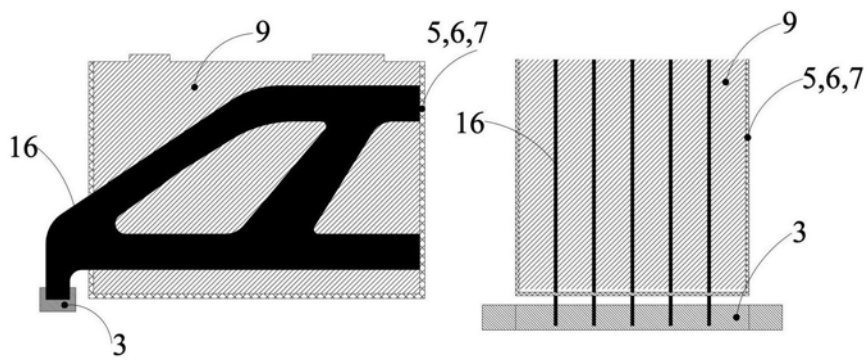


图8

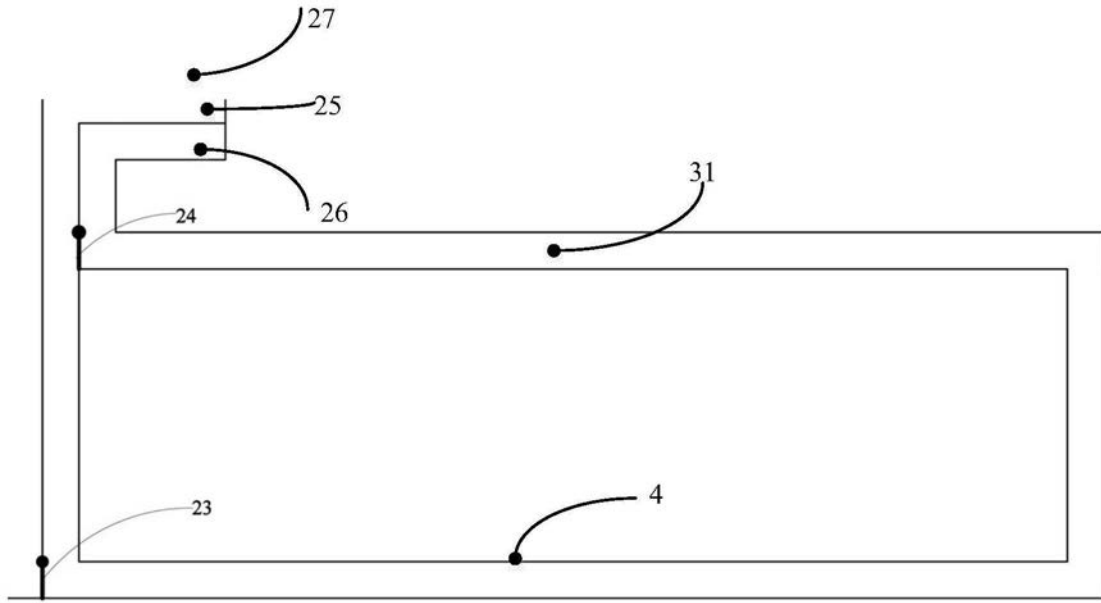


图9

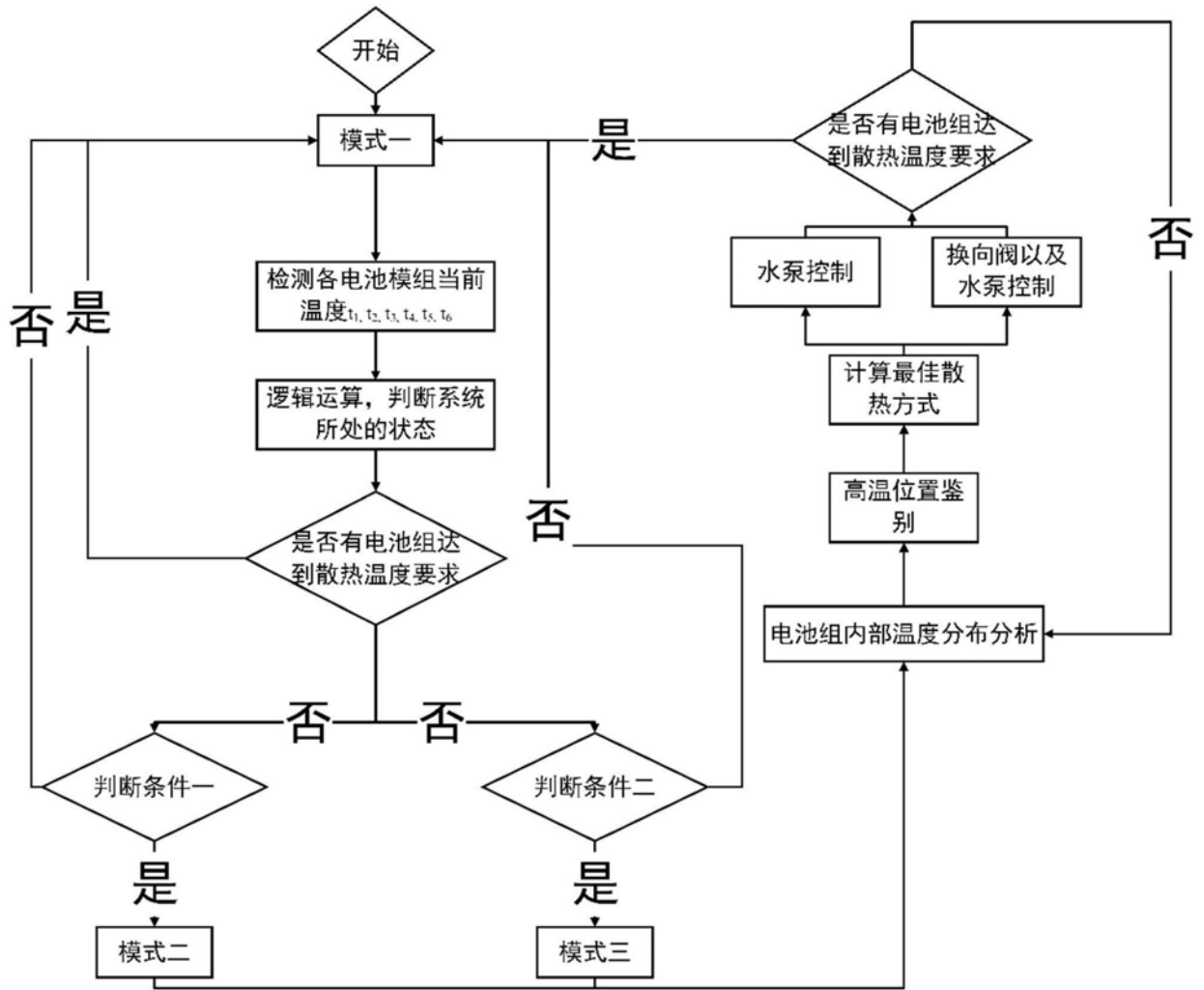


图10

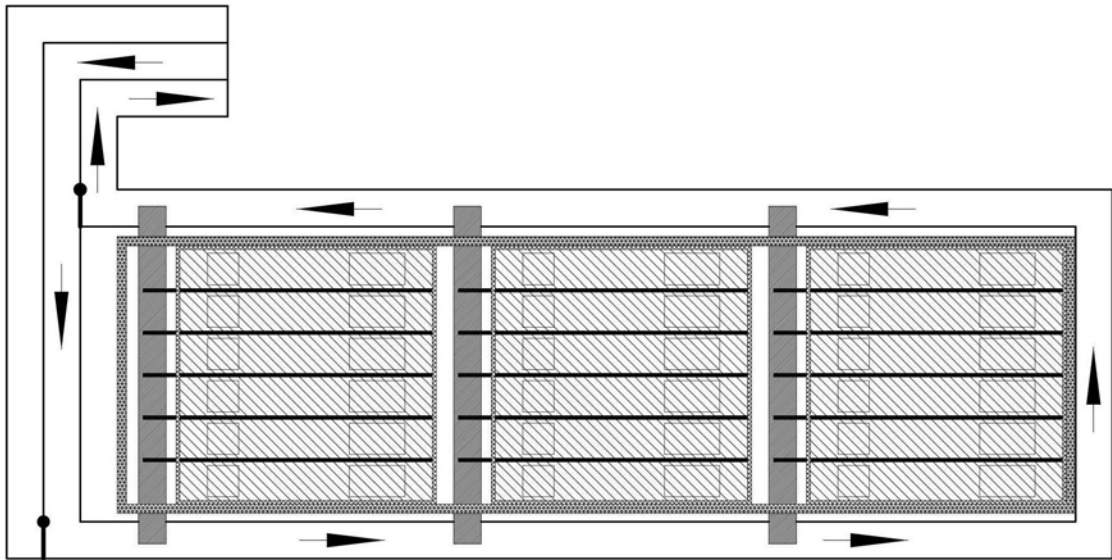


图11

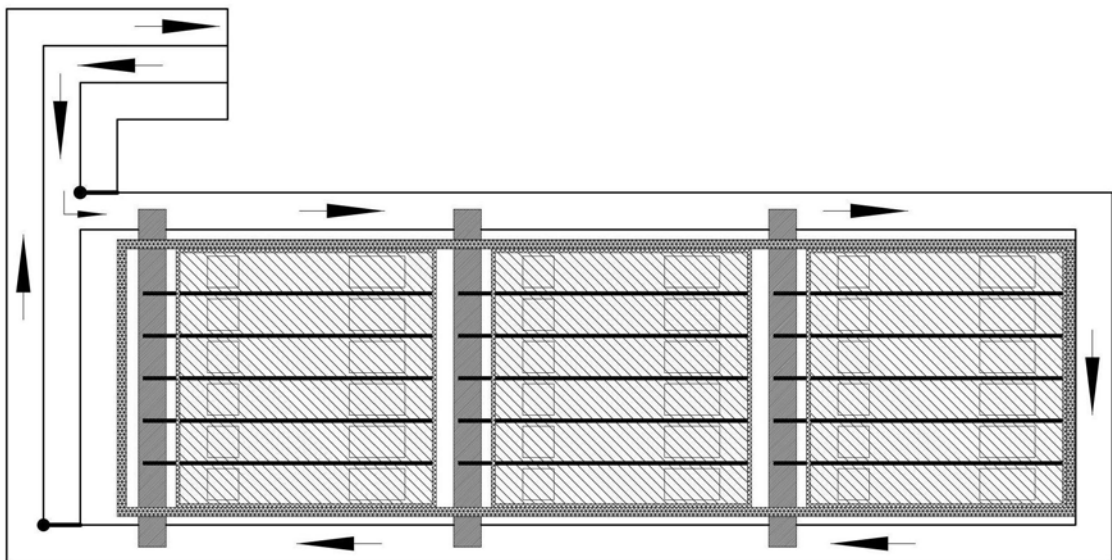


图12