



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111060552 B

(45) 授权公告日 2021.12.07

(21) 申请号 201911385363.0

F15B 11/00 (2006.01)

(22) 申请日 2019.12.28

F15B 1/26 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

(56) 对比文件

申请公布号 CN 111060552 A

CN 208255104 U, 2018.12.18

(43) 申请公布日 2020.04.24

US 2014298796 A1, 2014.10.09

(73) 专利权人 天津大学

CN 103438956 A, 2013.12.11

地址 300350 天津市津南区海河教育园雅
观路135号天津大学北洋园校区

CN 109164129 A, 2019.01.08

(72) 发明人 杨亚楠 刘崇义 王树新 张宏伟

侯圣智.温差能驱动自治式水下机器人动力
装置工作机理的研究.《中国优秀硕士学位论文
全文数据库信息科技辑》.2004, (第04期), 全文.

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

审查员 陈英杰

代理人 刘子文

(51) Int.Cl.

权利要求书3页 说明书7页 附图1页

G01N 25/02 (2006.01)

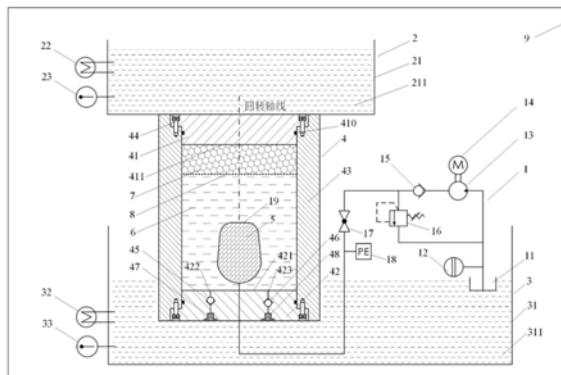
F15B 19/00 (2006.01)

(54) 发明名称

一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程
测试装置及方法

(57) 摘要

本发明公开一种蜡质类相变材料一维热交
换相变过程测试装置及方法,装置包括液压系
统、上水池、下水池、密封罐四部分。液压系统包
括油箱、液位传感器、液压泵、驱动电机、单向阀、
调压阀、截止手阀、压力传感器、橡胶皮囊;上水
池包括上水槽、上冷热交换机、上温度传感器;
下水池包括下水槽、下冷热交换机、下温度传感器;
密封罐包括导热上盖、导热下盖、陶瓷管壁、螺
栓、流体入口单向阀、流体出口单向阀、流体入口
堵头、流体出口堵头。本发明装置具备在多种温
度、压力条件下开展相变材料、相变材料与增强
导热纳米粉末混合物的一维热交换相变过程测
试及材料性能评估,具有测量精准、连续采集、自
动化程度高、通用性强等优点。



1. 一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,包括液压系统(1)、上水池(2)、下水池(3)和密封罐(4)四部分,所述液压系统(1)包括油箱(11)、液位传感器(12)、液压泵(13)、驱动电机(14)、单向阀(15)、调压阀(16)、截止手阀(17)、压力传感器(18)和橡胶皮囊(19);所述上水池(2)包括上水槽(21)、上冷热交换机(22)和上温度传感器(23);所述下水池(3)包括下水槽(31)、下冷热交换机(32)和下温度传感器(33);所述密封罐(4)包括导热上盖(41)、导热下盖(42)、陶瓷管壁(43)、螺栓(44)、流体入口单向阀(45)、流体出口单向阀(46)、流体入口堵头(47)和流体出口堵头(48);

所述液压系统(1)的油箱(11)与液压泵(13)入口油路相连,液压泵(13)出口油路与单向阀(15)进口相连,单向阀(15)出口分为两条支路,分别与调压阀(16)的进口和截止手阀(17)的进口相连,调压阀(16)的出口油路返回至油箱(11),截止手阀(17)的出口油路依次与压力传感器(18)和橡胶皮囊(19)相连,所述驱动电机(14)驱动液压泵(13)运行;

所述上水池(2)的上水槽(21)内注有水,上温度传感器(23)监测上水槽(21)内水的温度,上冷热交换机(22)依据上温度传感器(23)获取的水温数据,实时进行水温补偿,保持上水槽(21)内水温为设定目标温度值 T_1 ;

所述下水池(3)的下水槽(31)内注有水,下温度传感器(33)监测下水槽(31)内水的温度,下冷热交换机(32)依据下温度传感器(33)获取的水温数据,实时进行水温补偿,保持下水槽(31)内水温为设定目标温度值 T_2 ;

所述密封罐(4)的导热上盖(41)、导热下盖(42)、陶瓷管壁(43)组成承压密封腔体;所述密封罐(4)的承压密封腔体内装有水、相变材料(7)、橡胶皮囊(19)和液压油(5);在密封罐(4)内,所述相变材料(7)浮于密封罐内的水上部,相变材料(7)与密封罐内的水存在液体分界面(8);导热上盖(41)与相变材料(7)的接触面为上导热界面(411),导热下盖(42)与密封罐内的水的接触面为下导热界面(421);所述橡胶皮囊(19)完全浸没在密封罐内的水中,液压系统(1)、橡胶皮囊(19)内填充液压油(5),所述液压油(5)与密封罐内的水由橡胶皮囊(19)物理隔离;所述油箱(11)、密封罐(4)安放在下水池(3)中;所述上水池(2)与导热上盖(41)进行热交换,所述下水池(3)与导热下盖(42)、油箱(11)进行热交换。

2. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述上水池(2)布置于密封罐(4)顶部,上水槽(21)底部与导热上盖(41)顶部端面接触。

3. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述橡胶皮囊(19)安装于导热下盖(42)回转轴线处并置于密封罐(4)内;单向阀(15)用于防止液压油(5)反向回流至液压泵(13),调压阀(16)用于调节并保持橡胶皮囊(19)的充油压力为设定值 p_0 ,截止手阀(17)用于关断橡胶皮囊(19)以保持橡胶皮囊(19)内的液压油(5)体积恒定;压力传感器(18)用于监测橡胶皮囊(19)的充油压力 p_0 。

4. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述相变材料(7)为相变温度介于0℃至100℃之间,密度小于1g/cm³且不溶于水的蜡质类材料,其中,蜡质类材料由石蜡材料、正十七烷、正十六烷、正十五烷、正十四烷的一种或几种组成。

5. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述导热上盖(41)、导热下盖(42)为回转阶梯圆柱结构并在圆周面设计有沟槽,沟槽内设有密封圈(410)实现承压密封腔体的径向密封;导热上盖(41)、导热下盖(42)在端面边缘

处圆周均布螺栓安装孔并采用螺栓(44)与陶瓷管壁(43)紧固连接。

6. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述导热下盖(42)设置有流体入口(422)、流体出口(423);水、相变材料(7)经流体入口(422)注入密封罐(4)内,同时密封罐(4)内的空气在水、相变材料(7)液体注入密封罐(4)过程中经流体出口(423)排出;流体入口(422)内安装有流体入口单向阀(45),流体出口(423)内安装有流体出口单向阀(46);所述流体入口单向阀(45)、流体出口单向阀(46)用于保持流体单向流动;流体入口堵头(47)安装于导热下盖(42)端面以密闭流体入口(422),流体出口堵头(48)安装于导热下盖(42)端面以密闭流体出口(423)。

7. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述陶瓷管壁(43)为绝热陶瓷制成的圆管结构且其回转轴线沿竖直方向布置,能够避免密封罐(4)沿圆周向发散或吸收热量;相变材料(7)在上导热界面(411)、液体分界面(8)与外界产生热交换,且热交换过程是仅沿密封罐(4)竖直回转轴线方向进行的一维过程。

8. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,该测试装置在恒温室(9)中开展测试,恒温室(9)与下水池(3)中水(311)温度保持一致均为 T_2 ;该测试装置的测试温度条件 T_0, T_1, T_2 满足关系 $T_1 < T_0 < T_2$ 。

9. 根据权利要求1所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,所述密封罐(4)中相变材料(7)液体体积 V_0 远小于密封罐内的水的体积,相变材料(7)液体体积 V_0 为橡胶皮囊(19)标称容积 V_1 的50%。

10. 一种一维热交换相变过程测试装置的测试方法,基于权利要求1所述蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 密封罐(4)圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热下盖(42)位于导热上盖(41)上方;拧松流体入口堵头(47)、流体出口堵头(48),经流体入口(422)向密封罐(4)内腔注入密封罐内的水,密封罐(4)内腔空气经流体出口(423)排出,橡胶皮囊(19)内空气经橡胶皮囊(19)接口排出;当流体出口(423)连续流出密封罐内的水时,表明密封罐(4)内腔与橡胶皮囊(19)内的空气完全排出,密封罐(4)内腔充满密封罐内的水,橡胶皮囊(19)被压瘪,拧紧流体入口堵头(47)、流体出口堵头(48);

S2. 在密封罐(4)完成注水后,橡胶皮囊(19)与液压系统(1)连接,开启截止手阀(17)、压力传感器(18),调节调压阀(16)使油路压力为零状态,启动驱动电机(14)并带动液压泵(13)连续运行,液压油(5)自油箱(11)逐步循环至液压系统(1)管路中,并将管路内残留空气从调压阀(16)出口排出;当调压阀(16)出口连续流出液压油(5),液位传感器(12)检测油箱(11)液面高度值 h 保持恒定时,表明液压系统(1)内空气完全排出并充满液压油(5),随后关闭驱动电机(14)、截止手阀(17)、压力传感器(18);

S3. 密封罐(4)保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热上盖(41)位于导热下盖(42)上方;拧松流体入口堵头(47)、流体出口堵头(48),经流体入口(422)向密封罐(4)内腔注入体积为 V_0 的相变材料(7)液体;相变材料(7)因密度低于密封罐内的水且不溶于密封罐内的水,在进入内腔后,相变材料(7)浮于密封罐内的水上层,注入相变材料(7)过程中,密封罐(4)经流体出口(423)排出等量体积 V_0 的密封罐内的水,随后拧紧流体入口堵头(47)、流体出口堵头(48);

S4. 密封罐(4)保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热上盖(41)位于导热下盖(42)

上方;开启截止手阀(17)、压力传感器(18),启动驱动电机(14)并带动液压泵(13)连续运行,调节调压阀(16)使橡胶皮囊(19)的充油压力为 p_0 ,拧松流体出口堵头(48),液压系统(1)向橡胶皮囊(19)内注入液压油(5),且注入体积为橡胶皮囊(19)标称容积 V_1 的50%,同时密封罐(4)经流体出口(423)排出50% V_1 体积的密封罐内的水,随后拧紧流体出口堵头(48),关闭截止手阀(17)、压力传感器(18)、驱动电机(14);

S5.恒温室内环境温度调节为 T_2 ,所述下水池(3)中保存有温度为 T_2 的水,将已注入相变材料(7)的密封罐(4)、油箱(11)放入下水槽(31)内,且保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,密封罐(4)的导热上盖(41)位于导热下盖(42)上方;开启截止手阀(17)、压力传感器(18),启动驱动电机(14)并带动液压泵(13)连续运行,调节调压阀(16)至橡胶皮囊(19)的充油压力为 p_0 ;密封罐(4)、油箱(11)在下水池(3)中静置足够长时间,直至达到液位传感器(12)所检测的油箱(11)液位高度为恒值 h ,液压油(5)、密封罐内的水、相变材料(7)温度均为 T_2 的平衡状态;

S6.上水池(2)中保存有温度为 T_1 的水;在液压油(5)、密封罐内的水、相变材料(7)温度均为 T_2 后,开启测试,将上水池(2)放置在导热上盖(41)顶部;

S7.在温度 $T_1 < T_0 < T_2$ 条件下,在上水池(2)、下水池(3)温差作用下,上导热界面(411)、相变材料(7)、液体分界面(8)产生沿轴线方向的热交换,相变材料(7)自上导热界面(411)并沿竖直轴线向下逐渐发生由液体至固体的一维相变,相变材料(7)体积逐渐收缩,液体分界面(8)高度逐渐上升,橡胶皮囊(19)逐渐膨胀,液压油(5)补充至橡胶皮囊(19)内,油箱(11)液面高度下降,液位传感器(12)连续采集油箱(11)液面高度 h 变化过程,并记录出液面高度变化量 Δh 曲线;当相变材料(7)、密封罐内的水再次达到平衡状态时,油箱(11)液面高度 h 停止变化;

S8.重复上述S1至S7工作过程,在多种压力 p_0 条件下及 T_1 、 T_2 温度边界条件下,对不同相变材料(7)开展对比测试;

S9.相变材料体积变化率以在压力 p_0 、温度 T_1 与 T_2 条件下,开展时长 t 的热交换测试后经计算 $S \cdot \Delta h \cdot V_0^{-1}$ 值进行评估,相变材料导热能力以时间点 t_0 处的液面高度 h 变化率 dh/dt_0 进行评估,油箱为等截面油箱,其横截面积为 S 。

一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于相变驱动技术领域,具体涉及一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置及方法。

背景技术

[0002] 相变驱动是一种利用材料在固-液相变过程中产生的体积变化实现对外做功的驱动方式,其中,相变材料是实现相变驱动的关键,相变材料在相变温度点附近吸收足够热量后从固相转变为液相并实现体积膨胀,或释放足够热量后从液相转变为固相并实现体积缩小。相变驱动不需要额外电源或控制单元,仅依靠环境温度变化便可完成驱动过程,节约了电能并且具有输出驱动力大的特点,近年来,已受到航空航天、海洋、医疗等领域的关注,在深海潜器浮力调节系统、航天器微动机构、医疗微动针头等装置上得到初步应用。

[0003] 相变材料根据其物理和化学性质大致可分为:蜡质类、醋酸类、水合盐类、熔融盐类、金属或合金等。在诸多相变材料中,蜡质类相变材料以其相变温度可选范围广、相变潜热高、无毒、无腐蚀性,具有较稳定的物化性能等优点,在航空航天、海洋、医疗领域是优先选用的相变材料。针对相变驱动,相变材料的体积变化率是首要性能评价指标,此外,通常采用在相变材料中添加增强导热纳米粉末的途径提升材料导热能力,因此对相变材料、相变材料与增强导热纳米粉末混合物开展体积变化率、导热能力测试十分必要,可为相变驱动装置设计提供数据参考。

[0004] 现有相变材料测试装置大多采用阿基米德原理测量法、排开液体观察法、气体压力间接测量法等途径,上述方法仍有诸多不足,1.未考虑相变过程压力条件对相变体积变化率、导热能力的影响;2.人眼观察记录数据精度较低且无法实时、连续记录数据;3.热干扰因素多,相变材料无法实现理想一维热交换相变过程,影响了测试的准确性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服现有技术中的不足,提供一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置及方法,具备在多种温度、压力条件下开展相变材料、相变材料与增强导热纳米粉末混合物的一维热交换相变过程测试与材料性能评估。具有测量精准、连续采集、自动化程度高、通用性强等优点。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置,包括液压系统、上水池、下水池、密封罐四部分,所述液压系统包括油箱、液位传感器、液压泵、驱动电机、单向阀、调压阀、截止手阀、压力传感器、橡胶皮囊;所述上水池包括上水槽、上冷热交换机、上温度传感器;所述下水池包括下水槽、下冷热交换机、下温度传感器;所述密封罐包括导热上盖、导热下盖、陶瓷管壁、螺栓、流体入口单向阀、流体出口单向阀、流体入口堵头、流体出口堵头;

[0008] 所述液压系统的油箱与液压泵入口油路相连,液压泵出口油路与单向阀进口相连,单向阀出口分为两条支路,分别与调压阀进口、截止手阀进口相连,调压阀出口油路返

回至油箱,截止手阀出口油路依次与压力传感器、橡胶皮囊相连;

[0009] 所述上水池的上水槽内注有水,上温度传感器监测上水槽内水的温度,上冷热交换机依据上温度传感器获取的水温数据,实时进行水温补偿,保持上水槽内水温为设定目标温度值 T_1 ;

[0010] 所述下水池的下水槽内注有水,下温度传感器监测下水槽内水的温度,下冷热交换机依据下温度传感器获取的水温数据,实时进行水温补偿,保持下水槽内水温为设定目标温度值 T_2 ;

[0011] 所述密封罐的导热上盖、导热下盖、陶瓷管壁组成承压密封腔体。所述密封罐承压密封腔体内有水、相变材料、橡胶皮囊、液压油。在密封罐内,所述相变材料浮于水上部,相变材料与水存在液体分界面。导热上盖与相变材料的接触面为上导热界面,导热下盖与水的接触面为下导热界面。所述橡胶皮囊完全浸没在水中,所述液压油与水由橡胶皮囊物理隔离。

[0012] 进一步的,所述上水池布置于密封罐顶部,上水槽底部与导热上盖顶部端面接触。所述油箱、密封罐安放在下水池中。所述上水池与导热上盖进行热交换,所述下水池与导热下盖、油箱进行热交换。

[0013] 进一步的,所述橡胶皮囊安装于导热下盖回转轴线处并置于密封罐内。液压系统、橡胶皮囊内填充液压油。所述驱动电机驱动液压泵运行,单向阀防止液压油反向回流至液压泵,调压阀可调节并保持橡胶皮囊的充油压力为设定值 p_0 ,截止手阀可关断橡胶皮囊以保持橡胶皮囊内的液压油体积恒定。压力传感器可监测橡胶皮囊的充油压力 p_0 。

[0014] 进一步的,所述油箱液面高度随橡胶皮囊内充入液压油体积变化产生浮动。油箱为等截面油箱,其横截面积为 S 。液位传感器用于检测油箱液面高度值 h 。所述橡胶皮囊的充油体积变化值 ΔV 可计为 $S \cdot \Delta h$ 。

[0015] 进一步的,所述相变材料为相变温度介于0℃至100℃之间,密度小于1g/cm³且不溶于水的蜡质类材料,其中,蜡质类材料由石蜡材料、正十七烷、正十六烷、正十五烷、正十四烷的一种或几种组成。

[0016] 进一步的,所述导热上盖、导热下盖为回转阶梯圆柱结构并在圆周面设计有沟槽,沟槽内的密封圈实现承压密封腔体的径向密封。导热上盖、导热下盖在端面边缘处圆周均布螺栓安装孔并采用螺栓与陶瓷管壁紧固连接。

[0017] 进一步的,所述导热下盖设置有流体入口、流体出口。水、相变材料经流体入口注入密封罐内,同时密封罐内的空气在水、相变材料液体注入密封罐过程中经流体出口排出。流体入口内安装有流体入口单项阀,流体出口内安装有流体出口单项阀。所述流体入口单项阀、流体出口单项阀用于保持流体单向流动。流体入口堵头安装于导热下盖端面以密闭流体入口,流体出口堵头安装于导热下盖端面以密闭流体出口。

[0018] 进一步的,所述陶瓷管壁为绝热陶瓷制成的圆管结构且其回转轴线沿竖直方向布置,可避免密封罐沿圆周向发散或吸收热量。相变材料在上导热界面、液体分界面与外界产生热交换,且热交换过程是仅沿密封罐竖直回转轴线方向进行的一维过程。

[0019] 进一步的,所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置在恒温室中开展测试,恒温室与下水池中水温度保持一致均为 T_2 。

[0020] 进一步的,所述一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置的测试温度条

件 T_0 、 T_1 、 T_2 满足关系 $T_1 < T_0 < T_2$ 。

[0021] 进一步的,所述密封罐中相变材料液体体积 V_0 远小于水体积,相变材料液体体积 V_0 为橡胶皮囊标称容积 V_1 的50%。

[0022] 一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试方法,包括以下步骤:

[0023] S1:所述密封罐圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热下盖位于导热上盖上方。拧松流体入口堵头、流体出口堵头,经流体入口向密封罐内腔注入水,密封罐内腔空气经流体出口排出,橡胶皮囊内空气经橡胶皮囊接口排出。当流体出口连续流出水时,表明密封罐内腔与橡胶皮囊内的空气完全排出,密封罐内腔充满水,橡胶皮囊被压瘪,拧紧流体入口堵头、流体出口堵头。

[0024] S2:在密封罐完成注水后,橡胶皮囊与液压系统连接,开启截止手阀、压力传感器,调节调压阀使油路压力为零状态,启动驱动电机并带动液压泵连续运行,液压油自油箱逐步循环至液压系统管路中,并将管路内残留空气从调压阀出口排出。当调压阀出口连续流出液压油,液位传感器检测油箱液面高度值 h 保持恒定时,表明液压系统内空气完全排出并充满液压油,随后关闭驱动电机、截止手阀、压力传感器。

[0025] S3:所述密封罐保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热上盖位于导热下盖上方。拧松流体入口堵头、流体出口堵头,经流体入口向密封罐内腔注入体积为 V_0 的相变材料液体。相变材料因密度低于水且不溶于水,在进入内腔后,相变材料浮于水上层,注入相变材料过程中,密封罐经流体出口排出等量体积 V_0 的水,随后拧紧流体入口堵头、流体出口堵头。

[0026] S4:所述密封罐保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,且导热上盖位于导热下盖上方。开启截止手阀、压力传感器,启动驱动电机并带动液压泵连续运行,调节调压阀使橡胶皮囊的充油压力为 p_0 ,拧松流体出口堵头,液压系统向橡胶皮囊内注入液压油,且注入体积为橡胶皮囊标称容积 V_1 的50%,同时密封罐经流体出口排出50% V_1 体积的水,随后拧紧流体出口堵头,关闭截止手阀、压力传感器、驱动电机。

[0027] S5:恒温室中环境温度调节为 T_2 ,所述下水池中保存有温度为 T_2 的水,将已注入相变材料的密封罐、油箱放入水槽内,且保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置,密封罐的导热上盖位于导热下盖上方。开启截止手阀、压力传感器,启动驱动电机并带动液压泵连续运行,调节调压阀至橡胶皮囊的充油压力为 p_0 。密封罐、油箱在水池中静置足够长时间,直至达到液位传感器所检测的油箱液位高度为恒值 h ,液压油、水、相变材料温度均为 T_2 的平衡状态。

[0028] S6:上水池中保存有温度为 T_1 的水。在液压油、水、相变材料温度均为 T_2 后,开启测试,将上水池放置在导热上盖顶部。

[0029] S7:在温度 $T_1 < T_0 < T_2$ 条件下,在上水池、下水池温差作用下,导热界面、相变材料、液体分界面产生沿轴线方向的热交换,相变材料自上导热界面并沿竖直轴线向下逐渐发生由液体至固体的一维相变,相变材料体积逐渐收缩,液体分界面高度逐渐上升,橡胶皮囊逐渐膨胀,液压油补充至橡胶皮囊内,油箱液面高度下降,液位传感器连续采集油箱液面高度 h 变化过程,并记录出液面高度变化量 Δh 曲线。当相变材料、水再次达到平衡状态时,油箱液面高度 h 停止变化。

[0030] S8:重复上述S1至S7工作过程,可使用本发明在多种压力 p_0 条件下及 T_1 、 T_2 温度边界条件下,对不同相变材料开展对比测试。

[0031] S9: 相变材料体积变化率以在压力 p_0 、温度 T_1 与 T_2 条件下, 开展时长 t 的热交换测试后经计算 $S \cdot \Delta h \cdot V_0^{-1}$ 值进行评估, 相变材料导热能力以时间点 t_0 处的液面高度 h 变化率 dh/dt_0 进行评估。

[0032] 与现有技术相比, 本发明的技术方案所带来的有益效果是:

[0033] 1. 本发明利用水与相变材料的互不相溶性及密度不同, 实现了相变材料在密封罐内腔顶部并浮于水上方形式封存。利用橡胶皮囊的柔软特性, 实现了液压油与水的物理隔离。水与相变材料间的液体分界面随相变过程在竖直方向移动, 橡胶皮囊随充油体积变化改变形状, 并均无摩擦阻力损耗。

[0034] 2. 本发明利用水封装相变材料, 在液体分界面上相变材料与水紧密接触, 无附加接触热阻存在; 液压系统施加的充油压力有助于提升相变材料与导热上盖在上导热界面的接触紧密程度。

[0035] 3. 在测试过程中, 本发明仅需通过采集液位传感器数据来测量油箱液面高度变化值, 以间接获取相变材料在相变过程中的体积变化数据, 自动化程度高、数据连续性强。

[0036] 4. 本发明陶瓷管壁避免了周向热交换, 作为热源与冷源的上水池、下水池以及导热上盖、导热下盖、相变材料、水在竖直方向布置, 装置热交换沿竖直回转轴线方向开展, 实现了相变材料在装置中以理想的一维热交换形式进行相变过程, 便于开展不同相变材料导热能力、体积变化率的对比评估。

[0037] 5. 本发明通过上水池与下水池可设置多种的恒定温差条件, 通过液压系统可设置多种的相变压力条件, 实现在多种温度、压力条件下开展测试。

[0038] 6. 本发明装置结构简单、易于实现、造价低、通用性强, 适用于多种蜡质类相变材料及其混合物。

附图说明

[0039] 图1是本发明的结构及原理示意图;

具体实施方式

[0040] 以下结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。应当理解, 此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明, 并不用于限定本发明。

[0041] 如图1所示, 一种蜡质类相变材料一维热交换相变过程测试装置, 包括液压系统1、上水池2、下水池3、密封罐4四部分, 液压系统1包括油箱11、液位传感器12、液压泵13、驱动电机14、单向阀15、调压阀16、截止手阀17、压力传感器18、橡胶皮囊19; 上水池2包括上水槽21、上冷热交换机22、上温度传感器23; 下水池3包括下水槽31、下冷热交换机32、下温度传感器33; 密封罐4包括导热上盖41、导热下盖42、陶瓷管壁43、螺栓44、流体入口单向阀45、流体出口单向阀46、流体入口堵头47、流体出口堵头48。

[0042] 液压系统1的油箱11与液压泵13入口油路相连, 液压泵13出口油路与单向阀15进口相连, 单向阀15出口分为两条支路, 分别与调压阀16进口、截止手阀17进口相连, 调压阀16出口油路返回至油箱11, 截止手阀17出口油路依次与压力传感器18、橡胶皮囊19相连。橡胶皮囊19安装于导热下盖42回转轴线处并置于密封罐4内。液压系统1、橡胶皮囊19内填充液压油5。驱动电机14驱动液压泵13运行, 单向阀15防止液压油5反向回流至液压泵13, 调压

阀16可调节并保持橡胶皮囊19的充油压力为设定值 p_0 ，截止手阀17可关断橡胶皮囊19以保持橡胶皮囊19内的液压油5体积恒定。压力传感器18可监测橡胶皮囊19的充油压力 p_0 。

[0043] 上水池2的上水槽21内注有水211，上温度传感器23监测上水槽21内水211的温度，上冷热交换机22依据上温度传感器23获取的水温数据，实时进行水温补偿，保持上水槽21内水温为设定目标温度值 T_1 。下水池3的下水槽31内注有水311，下温度传感器33监测下水槽31内水311的温度，下冷热交换机32依据下温度传感器33获取的水温数据，实时进行水温补偿，保持下水槽31内水温为设定目标温度值 T_2 。

[0044] 密封罐4的导热上盖41、导热下盖42、陶瓷管壁43组成承压密封腔体，陶瓷管壁43为圆管结构且其回转轴线沿竖直方向布置，导热上盖41、导热下盖42为回转阶梯圆柱结构并在圆周面设计有沟槽，沟槽内的密封圈410实现承压密封腔体的径向密封。导热上盖41、导热下盖42在端面边缘处圆周均布设置螺栓安装孔并采用螺栓44与陶瓷管壁43紧固连接。

[0045] 密封罐4承压密封腔体内有水6、相变材料7、橡胶皮囊19、液压油5。在密封罐4内，相变材料7浮于水6上部，相变材料7与水6存在液体分界面8。导热上盖41与相变材料7的接触面为上导热界面411，导热下盖42与水6的接触面为下导热界面421。述橡胶皮囊19完全淹没在水6中，液压油5与水6由橡胶皮囊19物理隔离。

[0046] 优选地，相变材料7为相变温度介于0℃至100℃之间，密度小于1g/cm³且不溶于水的蜡质类材料。其中，蜡质材料由石蜡材料、正十七烷、正十六烷、正十五烷、正十四烷的一种或几种组成。

[0047] 优选地，上水池2布置于密封罐4顶部，上水槽21底部与导热上盖41顶部端面接触。油箱11、密封罐4安放在下水池3中。上水池2与导热上盖41进行热交换，下水池3与导热下盖42、油箱11进行热交换。

[0048] 优选地，陶瓷管壁43为绝热陶瓷制成，可避免密封罐4沿圆周向发散或吸收热量。相变材料7在上导热界面411、液体分界面8与外界产生热交换，且热交换过程是仅沿密封罐4竖直回转轴线方向进行的一维过程。

[0049] 优选地，油箱11液面高度随橡胶皮囊19内充入液压油5体积变化产生浮动。油箱11为等截面油箱，其横截面积为S。液位传感器12用于检测油箱11液面高度值h。橡胶皮囊19的充油体积变化值 ΔV 可计为 $S \cdot \Delta h$ 。

[0050] 优选地，导热下盖42设置有流体入口422、流体出口423。水6、相变材料7经流体入口422注入密封罐4内，同时密封罐4内的空气在水6、相变材料7液体注入密封罐4过程中经流体出口423排出。流体入口422内安装有流体入口单项阀45，流体出口423内安装有流体出口单项阀46。流体入口单项阀45、流体出口单项阀46用于保持流体单向流动。流体入口堵头47安装于导热下盖42端面以密闭流体入口422，流体出口堵头48安装于导热下盖42端面以密闭流体出口423。

[0051] 优选地，可将本发明测试装置在恒温室9中开展测试，恒温室9与下水池3中水311温度保持一致均为 T_2 。本发明测试装置的测试温度条件 T_0 、 T_1 、 T_2 满足关系 $T_1 < T_0 < T_2$ 。密封罐4中相变材料7液体体积 V_0 远小于水6体积，相变材料7液体体积 V_0 为橡胶皮囊19标称容积 V_1 的50%。

[0052] 本发明测试装置的测量方法包括以下步骤：

[0053] 1. 密封罐4圆柱回转轴线沿竖直方向放置，且导热下盖42位于导热上盖41上方。拧

松流体入口堵头47、流体出口堵头48，经流体入口422向密封罐4内腔注入水6，密封罐4内腔空气经流体出口423排出，橡胶皮囊19内空气经橡胶皮囊19接口排出。当流体出口423连续流出水6时，表明密封罐4内腔与橡胶皮囊19内的空气完全排出，密封罐4内腔充满水6，橡胶皮囊19被压瘪，拧紧流体入口堵头47、流体出口堵头48。

[0054] 2. 在密封罐4完成注水后，橡胶皮囊19与液压系统1连接，开启截止手阀17、压力传感器18，调节调压阀16使油路压力为零状态，启动驱动电机14并带动液压泵13连续运行，液压油5自油箱11逐步循环至液压系统1管路中，并将管路内残留空气从调压阀16出口排出。当调压阀16出口连续流出液压油5，液位传感器12检测油箱11液面高度值h保持恒定时，表明液压系统1内空气完全排出并充满液压油5，随后关闭驱动电机14、截止手阀17、压力传感器18。

[0055] 3. 密封罐4保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置，且导热上盖41位于导热下盖42上方。拧松流体入口堵头47、流体出口堵头48，经流体入口422向密封罐4内腔注入体积为 V_0 的相变材料7液体。相变材料7因密度低于水6且不溶于水6，在进入内腔后，相变材料7浮于水6上层，注入相变材料7过程中，密封罐4经流体出口423排出等量体积 V_0 的水6，随后拧紧流体入口堵头47、流体出口堵头48。

[0056] 4. 密封罐4保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置，且导热上盖41位于导热下盖42上方。开启截止手阀17、压力传感器18，启动驱动电机14并带动液压泵13连续运行，调节调压阀16使橡胶皮囊19的充油压力为 p_0 ，拧松流体出口堵头48，液压系统1向橡胶皮囊19内注入液压油5，且注入体积为橡胶皮囊19标称容积 V_1 的50%，同时密封罐4经流体出口423排出50% V_1 体积的水6，随后拧紧流体出口堵头48，关闭截止手阀17、压力传感器18、驱动电机14。

[0057] 5. 恒温室内环境温度调节为 T_2 ，下水池3中保存有温度为 T_2 的水311，将已注入相变材料7的密封罐4、油箱11放入水槽31内，且保持圆柱回转轴线沿竖直方向放置，密封罐4的导热上盖41位于导热下盖42上方。开启截止手阀17、压力传感器18，启动驱动电机14并带动液压泵13连续运行，调节调压阀16至橡胶皮囊19的充油压力为 p_0 。密封罐4、油箱11在水池3中静置足够长时间，直至达到液位传感器12所检测的油箱11液位高度为恒值h，液压油5、水6、相变材料7温度均为 T_2 的平衡状态。

[0058] 6. 上水池2中保存有温度为 T_1 的水211。在液压油5、水6、相变材料7温度均为 T_2 后，开启测试，将上水池2放置在导热上盖41顶部。

[0059] 7. 在温度 $T_1 < T_0 < T_2$ 条件下，在上水池2、下水池3温差作用下，导热界面411、相变材料7、液体分界面8产生沿轴线方向的热交换，相变材料7自上导热界面411并沿竖直轴线向下逐渐发生由液体至固体的一维相变，相变材料7体积逐渐收缩，液体分界面8高度逐渐上升，橡胶皮囊19逐渐膨胀，液压油5补充至橡胶皮囊19内，油箱11液面高度下降，液位传感器12连续采集油箱11液面高度h变化过程，并记录出液面高度变化量 Δh 曲线。当相变材料7、水6再次达到平衡状态时，油箱11液面高度h停止变化。

[0060] 8. 重复上述第1至第7工作过程，可使用本发明在多种压力 p_0 条件下及 T_1 、 T_2 温度边界条件下，对不同相变材料7开展对比测试。

[0061] 9. 相变材料体积变化率以在压力 p_0 、温度 T_1 与 T_2 条件下，开展时长t的热交换测试后经计算 $S \cdot \Delta h \cdot V_0^{-1}$ 值进行评估，相变材料导热能力以时间点 t_0 处的液面高度h变化率

dh/dt_0 进行评估。

[0062] 本发明并不限于上文描述的实施方式。以上对具体实施方式的描述旨在描述和说明本发明的技术方案,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的。在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,本领域的普通技术人员在本发明的启示下还可做出很多形式的具体变换,这些均属于本发明的保护范围之内。

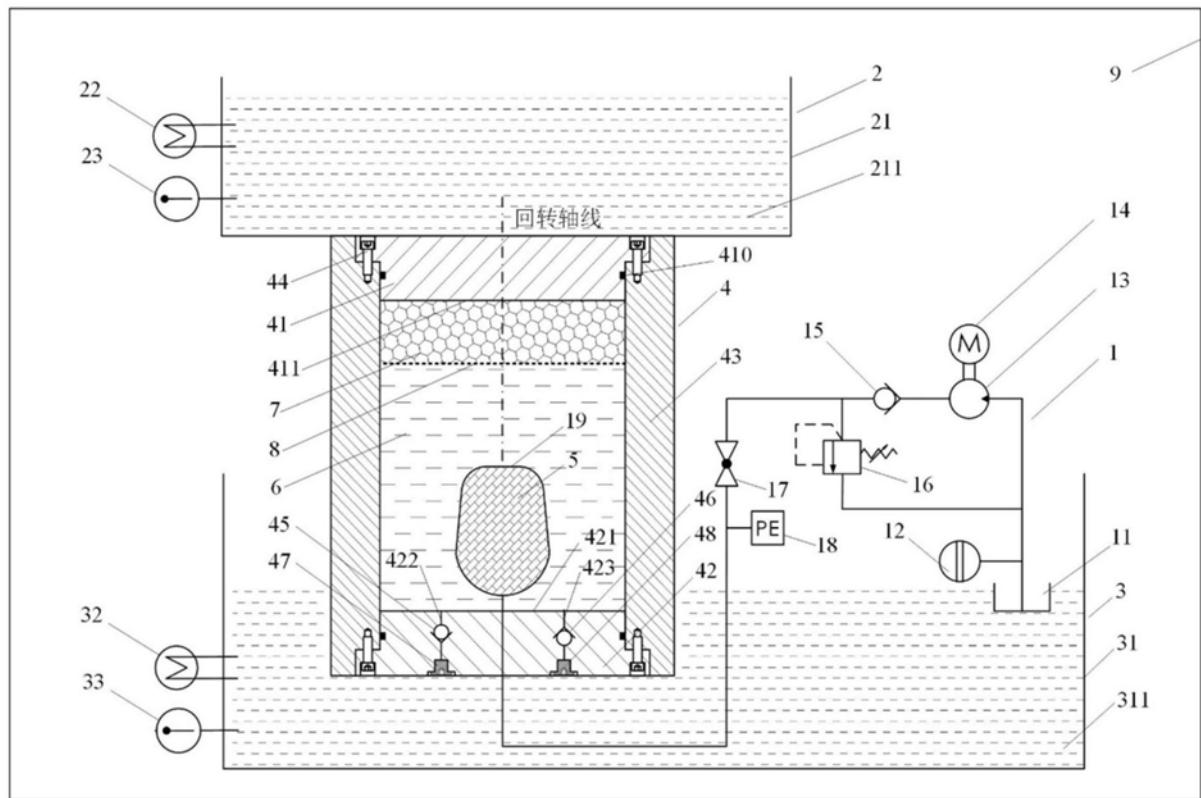


图1