



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109458864 B

(45)授权公告日 2020.07.28

(21)申请号 201811260261.1

(22)申请日 2018.10.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109458864 A

(43)申请公布日 2019.03.12

(73)专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西
路28号

(72)发明人 赵舒然 张丹 刘继平 严俊杰

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 何会侠

(51)Int.Cl.

F28D 15/04(2006.01)

(56)对比文件

CN 107529363 B,2013.07.24,
CN 107529363 B,2013.07.24,
CN 1639532 A,2005.07.13,
CN 102121803 A,2011.07.13,
CN 103189708 A,2013.07.03,
CN 204513304 U,2015.07.29,
SU 1592714 A1,1990.09.15,
JP 2008008512 A,2008.01.17,

审查员 张永秋

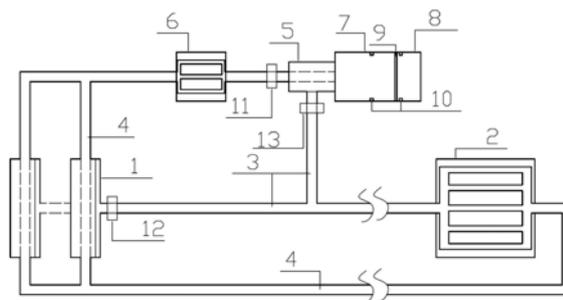
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管及工作方法

(57)摘要

本发明公开了一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管及工作方法,该热管包括主蒸发器,主辐射散热板,蒸汽管道,液相管道,储液室,调节室,辅助蒸发器,辅助辐射散热板,主液相管道阀门,主蒸汽阀门和辅助蒸汽阀门;主蒸发器包括液相通道区,吸液芯区,蒸汽通道区,外管壁等不同区域;吸液芯包括具有不同材料和当量孔径的蒸发吸液芯和隔热吸液芯;辅助蒸发器通过启动前蒸汽的排挤作用优化了启动,辅助辐射散热板和辅助蒸发器通过将主蒸发器中的含气泡液相工质引出并消除气泡,解决了稳定运行阶段的漏热问题,提高了热管运行的稳定性;储液室将储液区和调节区隔断,提高了调节的灵敏度并降低了能耗;该热管结构在外空间散热领域具有广阔的实用前景。



1. 一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在於:包括主蒸发器(1)、主辐射散热板(2)、蒸汽管道(3)、液相管道(4)、辅助蒸发器(5)、辅助辐射散热板(6)、储液室(7)、调节室(8)、绝热隔板(9)、限位环(10)、主液相管道阀门(11)、主蒸汽阀门(12)和辅助蒸汽阀门(13);具体连接方式如下:主蒸发器(1)为一个或多个,为多个时,相互并联,一个或多个主蒸发器(1)侧面开孔并连通蒸汽管道(3),在靠近主蒸发器(1)侧面开孔端的蒸汽管道上设置有主蒸汽阀门(12),蒸汽管道(3)另一端接入外空间中的主辐射散热板(2)入口;主辐射散热板(2)出口连接液相管道(4);液相管道(4)从一个或多个主蒸发器(1)一端接入主蒸发器液相通道,一个或多个主蒸发器(1)另一端再次通过液相管道(4)依次连接辅助辐射散热板(6)、辅助蒸发器(5)、储液室(7)和调节室(8);辅助蒸发器(5)靠近辅助辐射散热板(6)一端的出口安装主液相管道阀门(11);储液室(7)和调节室(8)共用一个刚性容器,两者中间用绝热隔板(9)作为两者的分界线,限位环(10)固定安装在储液室(7)和调节室(8)的容器壁上,绝热隔板(9)的活动范围受到限位环(10)的限制;辅助蒸发器(5)的侧面开孔连接辅助蒸汽阀门(13),最终接入主蒸发器(1)和主辐射散热板(2)之间的蒸汽管道(3);

所述主蒸发器(1)包括主蒸发器液相通道(1.1)、隔热毛细吸液芯(1.2)、蒸发毛细吸液芯(1.3)、周向蒸汽通道(1.4)、轴向蒸汽通道(1.5)和外管壁(1.6);所述外管壁(1.6)与蒸发毛细吸液芯(1.3)之间、蒸发毛细吸液芯(1.3)和隔热毛细吸液芯(1.2)之间均保持过盈配合,主蒸发器液相通道(1.1)被隔热毛细吸液芯(1.2)环绕;周向蒸汽通道(1.4)为设置在外管壁(1.6)内侧的沿主蒸发器轴向间隔且均匀分布的多个环状槽道,每个环状槽道的两端均分别与轴向蒸汽通道(1.5)连通,且每个环状槽道在主蒸发器的轴向上的截面形状呈长方形;轴向蒸汽通道(1.5)为外管壁(1.6)和蒸发毛细吸液芯(1.3)之间的轴向通道,外管壁(1.6)侧面开孔使得轴向蒸汽通道(1.5)连通蒸汽管道(3);蒸发毛细吸液芯(1.3)的横截面并不呈现标准的圆环形状,其靠近轴向蒸汽通道(1.5)的一侧,沿着轴向蒸汽通道(1.5)在外管壁(1.6)横截面圆上的两侧端点之间的连线进行切削,以提供更大的轴向蒸汽通流面积;

启动之初,打开主液相管道阀门(11),调节室(8)输入热量,体积膨胀,推动绝热隔板(9)向储液室(7)端移动,推动液相工质进入辅助蒸发器(5)和液相管道(4),工质注入的体积量使液相工质能够充满整个主蒸发器(1)和液相管道(4);注液完成后,打开主蒸汽阀门(12)和辅助蒸汽阀门(13),并向辅助蒸发器(5)输入热量,稳定运行预设时间后,主蒸发器(1)的周向蒸汽通道(1.4)和轴向蒸汽通道(1.5)内的液体会被重新排挤进入液相管道(4);之后,再向主蒸发器(1)内输入热量,这样就能够做到主蒸发器(1)的稳定启动。

2. 根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在於:所述主蒸发器(1)的毛细吸液芯采用分层结构,体现在吸液芯材料上不同,蒸发毛细吸液芯(1.3)采用铜或铝或镍导热性好的材料的粉末烧结金属或者泡沫金属结构,隔热毛细吸液芯(1.2)采用导热性差的陶瓷颗粒或者塑料颗粒的烧结吸液芯。

3. 根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在於:所述主蒸发器(1)的毛细吸液芯采用分层结构,体现在吸液芯当量孔径上不同,蒸发毛细吸液芯(1.3)的当量孔径在1~100微米范围内,隔热毛细吸液芯(1.2)的当量孔径等于或者大于蒸发毛细吸液芯(1.3)的当量孔径,且蒸发毛细吸液芯(1.3)当量孔径必须满足:

$$d < \frac{2\sigma}{\Delta p}$$

Δp 表示设计传热功率下的全程管道压损, σ 表示液相工质在工作温度下的表面张力, d 表示蒸发毛细吸液芯(1.3)的当量孔径。

4.根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在于:所述辅助蒸发器(5)采用单一种类的毛细吸液芯,该毛细吸液芯由导热性差的陶瓷颗粒或者耐高温塑料颗粒烧结而成,辅助蒸发器(5)的毛细吸液芯的当量孔径小于或等于主蒸发器(1)的蒸发毛细吸液芯(1.3)的当量孔径。

5.根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在于:所述主辐射散热板(2)的材料选择铝和钛金属,其外表面进行刷漆和镀层,以达到设定工作温度下的高发射率和对太阳能的低吸收比。

6.根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在于:所述储液室(7)完全由液相工质充满,并保持一定过冷度;所述调节室(8)内的工质始终保持两相共存的状态,其内安装主动控温装置,通过热量输入控制调节室(8)的压强和体积,从而控制储液室(7)中液相工质的体积,进而控制工作回路中的工质质量和工作压强,对整个回路的工况起到调节作用。

7.根据权利要求1所述的一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,其特征在于:所述蒸汽管道(3)和液相管道(4)均为内壁光滑的圆形截面管道,具体直径根据需要进行调整。

8.权利要求1至7任一项所述的具备外空间工作能力的毛细泵回路热管的工作方法:

稳态运行时:液相工质从主蒸发器液相通道(1.1)进入主蒸发器(1),大部分液相工质转化成蒸汽并带走大量热量,蒸汽通过周向蒸汽通道(1.4)汇集于轴向蒸汽通道(1.5),最终从主蒸发器(1)的侧面进入蒸汽管道(3);蒸汽由蒸汽管道(3)到达布置在外空间中的主辐射散热板(2),在前进过程中逐渐冷凝并将汽化潜热释放,在最终离开主辐射散热板(2)并进入液相管道(4)时保持一定程度的过冷;由于辅助蒸发器(5)内毛细吸液芯的抽吸作用,进入主蒸发器(1)的另一小部分液相工质将裹挟着主蒸发器(1)漏热产生的气泡进入辅助辐射散热板(6),蒸汽将重新转变成纯液相状态。

一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管及工作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间冷却技术,适用于失重且无空气等气体介质参与的外空间环境下的传热,具体涉及一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管及工作方法。

背景技术

[0002] 随着空间技术的发展,对于在太空中工作的装置能耗趋于高功率,工作时间趋于长期化,与之伴随的是更大的能源需求,而无论何种形式的能量最终都不得以热量的形式离开空间装置,如果热量不能及时散出,必然导致产热原件及其周围温度上升,对工作原件造成不可逆的破坏。由于太空中没有空气对流也没有外界物质导热,唯一的散热方式仅有热辐射。实现大功率的辐射散热必然需要较大的散热面积,矛盾的是:大面积的辐射板必然无法直接安装在产热原件附近。因此空间技术需要大功率、小体积、长距离、具备零重力条件下工作能力的高效传热系统,实现热量的导出和散失。

[0003] 毛细泵回路热管是实现上述功能需求的有效途径之一。毛细泵回路热管是一种回路闭合环型热管,本质上是一种相变换热装置。一般由蒸发器、冷凝器、储液器以及蒸气管线和液体管线构成。毛细泵热管工作原理是:工质在蒸发器处汽化吸热,蒸汽离开从蒸发器时带走热量,蒸汽通过蒸汽管道到达辐射板,在辐射板位置冷凝液化,辐射板通过辐射散热散失热量,冷凝后的工质从液相管道回流至蒸发器。

[0004] 与传统热管相比,毛细泵回路热管主要特点在于液相工质与气相工质的通道相互独立,而吸液芯仅仅存在于蒸发器内。对应的优点有:1.降低了工质的沿程压降,提高了热管的传质能力,进而提高了热管的传热能力。2.气相和液相管道布置路径更加灵活,传输距离也更远。3.由毛细泵提供循环动力,可以在无重力、无外界机械功输入的情况下持续工作,适合外太空的失重条件。

[0005] 毛细泵回路热管的吸液芯作为关键组件需要满足以下需求:低导热系数,这是为了防止发生漏热,即防止液相通道内发生汽化;高渗透率,这是为了减少液相工质在吸液芯内传输时的压损;小的当量孔径,这是为了提供更高的毛细力,而矛盾之处在于减小当量孔径的同时往往伴随渗透率的下降。

[0006] 毛细泵回路热管具有诸多优点,但是传统的毛细泵热管仍然存在缺陷:蒸发器热泄露导致传热能力下降甚至导致传热恶化的问题;高毛细力与高渗透率对孔径要求的矛盾;启动过程伴随明显的过热。因此,这就迫切需要开发一种能够克服以上缺陷的新型毛细泵回路热管。

发明内容

[0007] 为克服上述现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管及工作方法,包括新的吸液芯结构,新的布局方式以及相应的启动操作流程,从而能够实现外空间环境下稳定的启动和工作,提供高效的传热性能。

[0008] 为了达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种具备外空间工作能力的毛细泵回路热管,包括主蒸发器1、主辐射散热板2、蒸汽管道3、液相管道4、辅助蒸发器5、辅助辐射散热板6、储液室7、调节室8、绝热隔板9、限位环10、主液相管道阀门11、主蒸汽阀门12和辅助蒸汽阀门13;具体连接方式如下:主蒸发器1为一个或多个,为多个时,相互并联,一个或多个主蒸发器1侧面开孔,并连通蒸汽管道3,蒸汽管道3另一端接入外空间中的主辐射散热板2入口;主辐射散热板2出口连接液相管道4;液相管道4从一个或多个主蒸发器1一端接入主蒸发器液相通道,一个或多个主蒸发器1另一端再次通过液相管道4依次连接辅助辐射散热板6、辅助蒸发器5、储液室7和调节室8;辅助蒸发器5靠近辅助辐射散热板6一端的出口安装主液相管道阀门11;储液室7和调节室8共用一个刚性容器,两者中间用绝热隔板9作为两者的分界线,限位环10固定安装在储液室7和调节室8的容器壁上,绝热隔板9的活动范围受到限位环10的限制;辅助蒸发器5的侧面开孔连接辅助蒸汽阀门13,最终接入主蒸发器1和主辐射散热板2之间的蒸汽管道3。

[0010] 所述主蒸发器1包括主蒸发器液相通道1.1、隔热毛细吸液芯1.2、蒸发毛细吸液芯1.3、周向蒸汽通道1.4、轴向蒸汽通道1.5和外管壁1.6;所述外管壁1.6、蒸发毛细吸液芯1.3和隔热毛细吸液芯1.2两两间均保持过盈配合,主蒸发器液相通道1.1被隔热毛细吸液芯1.2环绕;周向蒸汽通道1.4是外管壁1.6内侧长方形截面的交替分布的环状槽道,轴向蒸汽通道1.5为外管壁1.6和蒸发毛细吸液芯1.3之间的轴向通道,外管壁1.6侧面开孔使得轴向蒸汽通道1.5连通蒸汽管道3;蒸发毛细吸液芯1.3的横截面并不呈现标准的圆环形状,其靠近轴向蒸汽通道1.5的一侧,沿着轴向蒸汽通道1.5在外管壁1.6横截面圆上的两侧端点之间的连线进行切削,以提供更大的轴向蒸汽通流面积。

[0011] 所述主蒸发器1的毛细吸液芯采用分层结构,体现在吸液芯材料上不同,蒸发毛细吸液芯1.3采用铜或铝或镍导热性好的材料的粉末烧结金属或者泡沫金属结构,隔热毛细吸液芯1.2采用导热性差的陶瓷颗粒或者塑料颗粒的烧结吸液芯。

[0012] 所述主蒸发器1的毛细吸液芯采用分层结构,体现在吸液芯当量孔径上不同,蒸发毛细吸液芯1.3的当量孔径在1~100微米范围内,隔热毛细吸液芯1.2的当量孔径等于或者大于蒸发吸液芯结构,且蒸发毛细吸液芯1.3当量孔径必须满足:

$$[0013] \quad d < \frac{2\sigma}{\Delta p}$$

[0014] Δp 表示设计传热功率下的全程管道压损, σ 表示液相工质在工作温度下的表面张力,d表示蒸发吸液芯的当量孔径。

[0015] 所述辅助蒸发器5采用单一种类的毛细吸液芯,该毛细吸液芯由导热性差的陶瓷颗粒或者耐高温塑料颗粒烧结而成,辅助蒸发器5的毛细吸液芯的当量孔径小于或等于主蒸发器1的蒸发毛细吸液芯1.3的当量孔径。

[0016] 所述主辐射散热板2的材料选择铝、钛等金属,其外表面进行进行刷漆和镀层,以达到设定工作温度下的高发射率和对太阳能的低吸收比。

[0017] 所述储液室7完全由液相工质充满,并保持一定过冷度。

[0018] 所述调节室8内的工质始终保持两相共存的状态,其内安装主动控温装置,通过热量输入控制调节室8的压强和体积,从而控制储液室7中液相工质的体积,进而控制工作回路中的工质质量和工作压强,对整个回路的工况起到调节作用。

[0019] 所述蒸汽通道3和液相通道4均为内壁光滑的圆形截面管道,具体直径根据需要进

行调整

[0020] 所述具备外空间工作能力的毛细泵回路热管的工作方法:启动之初,打开主液相管道阀门11,调节室8输入热量,体积膨胀,推动绝热隔板9向储液室7端移动,推动液相工质进入辅助蒸发器5和液相通道4,工质注入的体积量使液相工质能够充满整个主蒸发器1和液相通道4;注液完成后,打开主蒸汽阀门12和辅助蒸汽阀门13,并向辅助蒸发器5输入热量,稳定运行预设时间后,主蒸发器1的周向蒸汽通道1.4和轴向蒸汽通道1.5内的液体会被重新排挤进入液相通道4;之后,再向主蒸发器1内输入热量,这样就能够做到主蒸发器1的稳定启动;

[0021] 稳态运行时:液相工质从主蒸发器液相管道1.1进入主蒸发器1,大部分液相工质转化成蒸汽并带走大量热量,蒸汽通过周向蒸汽通道1.4汇集于轴向蒸汽通道1.5,最终从主蒸发器1的侧面进入蒸汽管道3;蒸汽由蒸汽管道3到达布置在外空间中的主辐射散热板2,在前进过程中逐渐冷凝并将汽化潜热释放,在最终离开主辐射散热板2并进入液相管道4时保持一定程度的过冷;由于辅助蒸发器5内毛细吸液芯的抽吸作用,进入主蒸发器1的另一小部分液相工质将裹挟着主蒸发器1漏热产生的气泡进入辅助辐射散热板6,在这里蒸汽将重新转变成纯液相状态。

[0022] 本发明中所提出的毛细泵热管结构的突出优点在于:

[0023] 1.动力上,采用毛细吸液芯作为克服流动阻力的动力来源,可以不借助重力和外部机械力,因此适用于外空间的失重环境。能量上,采用主辐射散热板2作为散热原件,适用于外空间的无空气环境。两者相互搭配,使本结构具备外空间工作能力。

[0024] 2.对主蒸发器1的毛细吸液芯进行分层,从而同时满足毛细吸液芯对导热,隔热,提供高毛细力,保持高渗透率这几种功能性要求。进一步体现在两方面:一方面是材料的不同,一方面是当量孔径不同。蒸发毛细吸液芯1.3,采用高导热性的金属材料和小孔隙率孔径,目的在于扩大有效蒸发范围,降低导热热阻,提供高毛细力。隔热毛细吸液芯1.2,采用低导热性非金属材料 and 较大孔隙率孔径,目的在于防止热量渗透到液相通道,防止主蒸发器液相通道1.1内的工质发生汽化,并降低液体流动阻力,保持高渗透率。

[0025] 3.通过辅助蒸发器5和辅助辐射散热板6解决漏热问题。主蒸发器1的没有成为液相工质路径的终点,后面跟着设立了辅助辐射散热板6和辅助蒸发器5,即便主蒸发器1内的液相通道1.1发生漏热,产生气泡,由于辅助蒸发器5的抽吸作用,气泡不会堆积在主蒸发器1内,而会进一步前进到达辅助辐射散热板6,重新凝结,最终进入辅助蒸发器5。

[0026] 4.通过辅助蒸发器5优化了启动性能。在启动之初,辅助蒸发器5先进行工作,产生蒸汽,由于主蒸发器1和辅助蒸发器5的蒸汽管道3相通,辅助蒸发器5产生的蒸汽能够起到排挤作用,从而将主蒸发器1的周向蒸汽通道和1.4轴向蒸汽通道1.5内的液相工质清除,有利于实现主蒸发器1的平稳启动。

[0027] 5.将传统的储液室分为了储液室7和调节室8,中间用绝热隔板9隔断,提高了调节的灵敏度并降低了能耗。

附图说明

[0028] 图1为本发明具有空间工作能力的毛细泵回路热管的整体结构图。

[0029] 图2为本发明中毛细泵回路热管主蒸发器的垂直于轴向方向的截面图。

[0030] 图3为本发明中毛细泵回路热管主蒸发器的轴向截面图。

[0031] 附图说明:1-主蒸发器,2-主辐射散热板,3-蒸汽管道,4-液相管道,5-辅助蒸发器,6-辅助辐射散热板,7-储液室,8-调节室,9-绝热隔板,10-限位环,11-主液相管道阀门,12-主蒸汽阀门,13-辅助蒸汽阀门。

[0032] 1.1-主蒸发器液相通道,1.2-隔热毛细吸液芯,1.3-蒸发毛细吸液芯,1.4-周向蒸汽通道,1.5-轴向蒸汽通道,1.6-外管壁。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0034] 如图1所示的该毛细泵回路热管整体结构图;图2所示的主蒸发器的垂直于轴向方向的截面图,图3所示的主蒸发器轴向截面图。

[0035] 在图1中,液相工质从主蒸发器液相管道1.1进入主蒸发器1,大部分液相工质转化成蒸汽并带走大量热量,蒸汽通过周向蒸汽通道1.4汇集于轴向蒸汽通道1.5,最终从主蒸发器1的侧面进入蒸汽管道3。蒸汽由蒸汽管道3到达布置在外空间中的主辐射散热板2,在前进过程中逐渐冷凝并将汽化潜热释放,在最终离开主辐射散热板2并进入液相管道4时保持一定程度的过冷。由于辅助蒸发器5内毛细芯的抽吸作用,进入主蒸发器1的另一小部分液相工质将裹挟着主蒸发器1漏热产生的气泡进入辅助辐射散热板6,在这里蒸汽将重新转变成纯液相状态。而传统设计中由于主蒸发器就是液相工质的终点,主蒸发器1漏热产生的气泡会淤积在主蒸发器1的液相通道1.1内,导致传热能力下降,工况不再稳定。

[0036] 在图1中,启动之初,先打开主液相管道阀门11,调节室8输入热量,调节室内的两相工质体积膨胀,推动绝热隔板9向储液室7端移动,推动液相工质进入辅助蒸发器5和液相通道4,工质注入的体积量使液相工质能够充满整个主蒸发器1和液相通道4。注液完成后,打开主蒸汽阀门12和辅助蒸汽阀门13,并向辅助蒸发器5输入热量,稳定运行一段时间后,主蒸发器1的周向蒸汽通道1.4和轴向蒸汽通道1.5内的液体会被重新排挤进入液相通道4。之后,再向主蒸发器1内输入热量,这样就可以做到主蒸发器1的稳定启动。

[0037] 在图1中的辅助蒸发器5,结构上不再要求和主蒸发器一样采用双层毛细吸液芯结构,只采用单层毛细吸液芯结构,在满足毛细抽吸力的前提下材料上优先考虑隔热性能,设计功率上远小于主蒸发器1。

[0038] 在图2和图3中为主蒸发器1的两个方向的剖面图,液相工质从主蒸发器液相管道1.1进入隔热毛细吸液芯1.2和蒸发毛细吸液芯1.3,在蒸发毛细吸液芯1.3内部汽化,蒸汽进入外管壁1.6上的周向蒸汽通道1.4并汇集于轴向蒸汽通道1.5。蒸发毛细吸液芯1.3采用导热性好的材料,是为了扩大有效蒸发面积,进而降低热阻。之所以采用小当量孔径使因为,毛细抽吸力产生的位置是气相和液相的交界面,当量孔径满足:

$$[0039] \quad d < \frac{2\sigma}{\Delta p}$$

[0040] Δp 表示设计传热功率下的全程管道压损, σ 表示液相工质在工作温度下的表面张力, d 表示气液交界面处吸液芯的当量孔径。隔热毛细吸液芯1.2的作用是防止吸液芯向主蒸发器液相通道1.1内导热,一旦隔热毛细吸液芯1.2内侧温度达到主蒸发器液相通道1.1压强下对应的饱和温度,就有可能导致液相工质汽化,即漏热发生,因此需要隔热毛细吸液

芯1.2要求良好的隔热性能以减少漏热量。

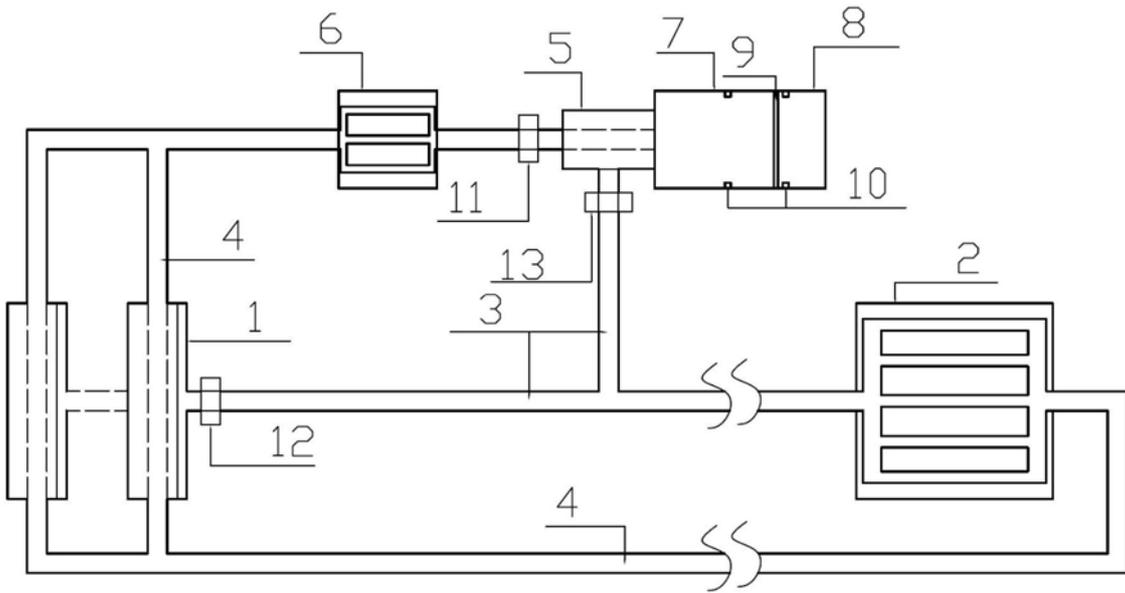


图1

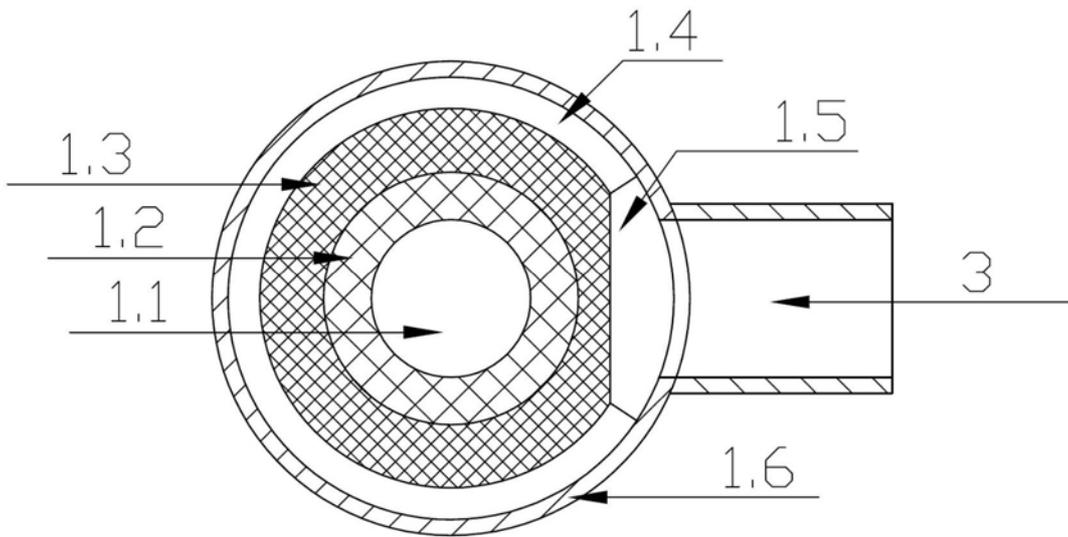


图2

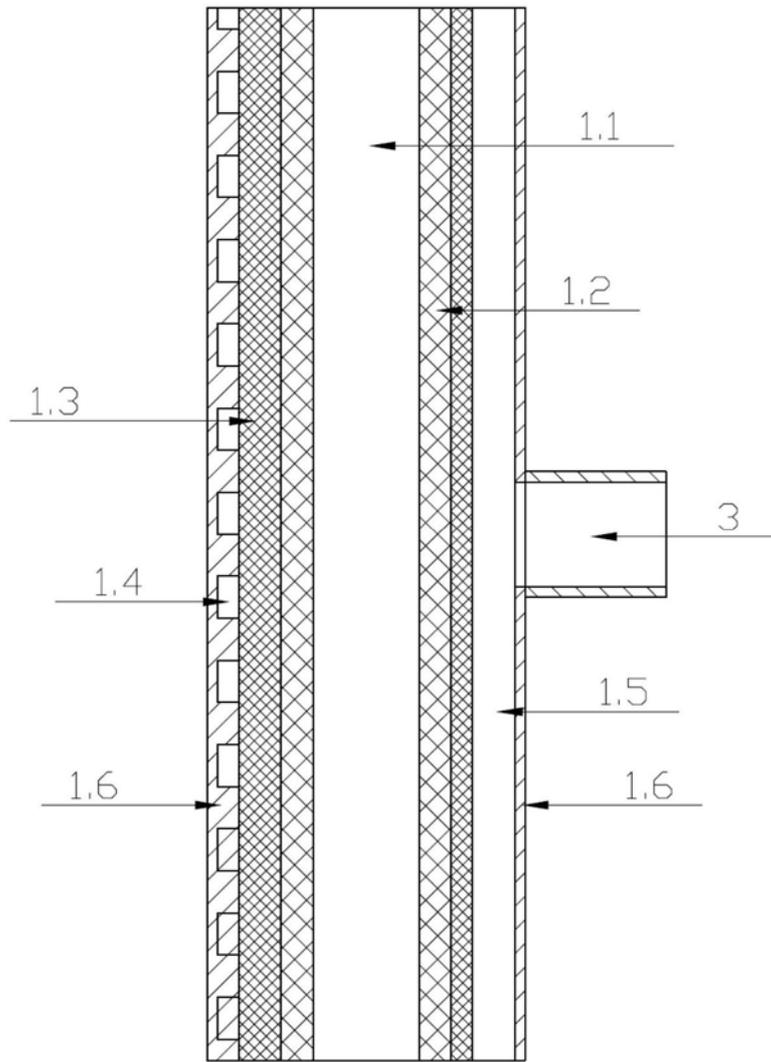


图3