



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108802090 A

(43)申请公布日 2018. 11. 13

(21)申请号 201810669541.1

(22)申请日 2018.06.22

(71)申请人 内蒙古工业大学

地址 010051 内蒙古自治区呼和浩特市新城区爱民街49号

(72)发明人 闫素英 吴泽 王峰 王兴

王胜捷 高世杰 田瑞

(74)专利代理机构 北京冠榆知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 11666

代理人 朱亚琦 魏振柯

(51) Int. Cl.

G01N 25/00(2006.01)

B82Y 15/00(2011.01)

B82Y 35/00(2011.01)

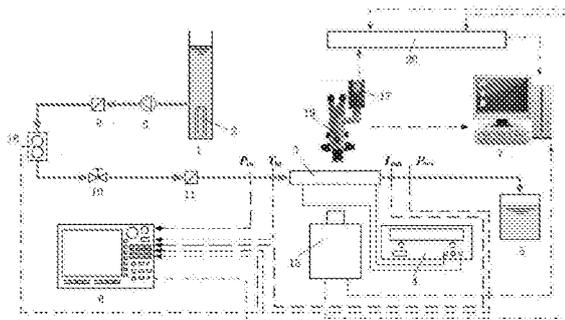
权利要求书4页 说明书15页 附图9页

(54)发明名称

一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置

(57)摘要

本发明公开了一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述微通道纳米流体强化换热试验测试装置包括储液罐、盘管式加热器、流体供给控制组、微通道盒组、直流电源、数据测量分析组和集液罐。微通道盒组的不同微通道换热模块,可以事前将被测微通道换热模块安装在上盖板两肋片间和下底板两肋片间,然后拼装微通道盒组的前侧板、后侧板、左侧板和右侧板,构成微通道盒组,减小微小结构在微小空间内组装的不便和因组装带来的系统误差。



1. 一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述微通道纳米流体强化换热试验测试装置包括储液罐(1)、盘管式加热器(2)、流体供给控制组、微通道盒组(3)、直流电源(4)、数据测量分析组和集液灌(5);所述盘管式加热器(2)位于所述储液罐内(1)内,所述储液罐(1)、所述流体供给控制组、所述微通道盒组(3)和所述集液灌(5)之间依次流体导通;所述直流电源(4)与所述微通道盒组(3)电连接;所述数据测量分析组包括光学数据收集仪、数据采集仪(6)、同步器(19)、水压及温度测量元件和数据分析仪(7),所述水压及温度测量元件包括进口温度传感器(12)、进口水压传感器(13)、出口温度传感器(14)、出口水压传感器(15)和用于测量流经所述流体供给控制组流体流量的流量计(16),所述进口温度传感器(12)的输出端、所述进口水压传感器(13)的输出端、所述出口温度传感器(14)的输出端、所述出口水压传感器(15)的输出端和所述流量计(16)的输出端分别与所述数据采集仪(6)的输入端连接;所述进口温度传感器(12)和所述进口水压传感器(13)位于所述微通道盒组(3)的进口端,所述出口温度传感器(14)和出口水压传感器(15)位于所述微通道盒组(3)的出口端;所述光学数据收集仪包括显微镜(19)、摄像机(17)和红外热成像仪(18),所述摄像机(17)安装在所述显微镜(19)上,所述显微镜(19)和所述红外热成像仪(18)分别位于所述微通道盒组(3)的前方和后方;所述摄像机(17)的时间信号输出端、所述红外热成像仪(18)的时间信号输出端和所述数据采集仪(6)的数据输出端分别与所述同步器(20)的输入端连接,所述摄像机(17)的图像信号输出端、所述红外热成像仪(18)的图像信号输出端和所述同步器(20)的数据输出端分别与所述数据分析仪(7)的输入端连接。

2. 根据权利要求1所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述流体供给控制组包括水泵(8)、第一过滤器(9)、调节阀(10)和第二过滤器(11),所述水泵(8)、所述第一过滤器(9)、所述调节阀(10)和所述第二过滤器(11)之间依次流体导通;所述流量计(16)设置在所述第一过滤器(9)和所述调节阀(10)之间的管路上,并与第一过滤器(9)的出口端和所述调节阀(10)的入口端流体导通;所述储液罐(1)的出口端与所述水泵(8)的入口端流体导通;所述第二过滤器(11)的出口端与所述微通道盒组(3)的入口端流体导通。

3. 根据权利要求1所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述微通道盒组(3)包括上盖板(3-1)、下底板(3-2)、左侧板(3-3)、右侧板(3-4)、前侧板(3-5)和后侧板(3-6);所述左侧板(3-3)和所述右侧板(3-4)分别固定粘合在所述下底板(3-2)的左侧和右侧,所述前侧板(3-5)和后侧板(3-6)分别固定粘合所述下底板(3-2)的前侧和后侧,所述上盖板(3-1)位于所述左侧板(3-3)、所述右侧板(3-4)、所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)的上端面,并可拆卸连接所述左侧板(3-3)、所述右侧板(3-4)、所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)的上端面。

4. 根据权利要求3所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述上盖板(3-1)的下底面有左上肋片(3-7)和右上肋片(3-8);所述下底板(3-2)的上表面有左下肋片(3-9)和右下肋片(3-10),所述左上肋片(3-7)位于左下肋片(3-9)的正上方,所述右上肋片(3-8)位于右下肋片(3-10)的正上方;所述左上肋片(3-7)和所述右上肋片(3-8)呈倒凹形结构(3-19),所述左下肋片(3-9)和所述右下肋片(3-10)呈上凸形结构(3-20);所述左上肋片(3-7)的所述倒凹形结构(3-19)与所述左下肋片(3-9)的上凸形结构凹凸配合、以及所述右上肋片(3-8)的所述倒凹形结构(3-19)与所述右下肋片(3-10)的上凸形结构(3-20)凹凸配合,分别形成高度为1-2mm的微通道结构左固定缝隙(3-16)和微通道结构右固定缝

隙(3-17)。

5. 根据权利要求4所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述上盖板(3-1)左侧部、所述下底板(3-2)左侧部、所述左侧板(3-3)、所述前侧板(3-5)左侧部、所述后侧板(3-6)左侧部、所述左上肋片(3-7)和左下肋片(3-9)之间围成第一腔体(3-A);所述上盖板(3-1)、所述下底板(3-2)、所述左上肋片(3-7)、所述右上肋片(3-8)、所述左下肋片(3-9)和所述右下肋片(3-10)之间围成第二腔体(3-B);所述上盖板(3-1)右侧部、所述下底板(3-2)右侧部、所述前侧板(3-5)右侧部、所述后侧板(3-6)右侧部、所述右上肋片(3-8)、所述右下肋片(3-10)和所述右侧板(3-4)之间围成第三腔体(3-C);所述第二过滤器(11)的出口端、所述第一腔体(3-A)、所述第二腔体(3-B)、所述第三腔体(3-C)和所述集液灌(5)依次流体导通;所述第一腔体(3-A)和所述第三腔体(3-C)内设置有扰流板;所述第一腔体(3-A)与所述第二腔体(3-B)之间通过所述微通道结构左固定缝隙(3-16)流体导通;所述第二腔体(3-B)和所述第三腔体(3-C)之间通过所述微通道结构右固定缝隙(3-17)流体导通。

6. 根据权利要求5所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述左侧板(3-3)的板上设置有所述微通道盒组(3)的圆形横截面进口,圆形横截面进口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述右侧板(3-4)的板上设置有所述微通道盒组(3)的圆形横截面出口,圆形横截面出口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述第二过滤器(11)的出口端通过所述左侧板(3-3)上的圆形横截面进口与所述第一腔体(3-A)流体导通,所述右侧板(3-4)上的圆形横截面出口与所述集液灌(5)流体导通;在所述前侧板(3-5)正对所述第一腔体(3-A)的板上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口水压传感器(13),螺纹孔公称直径为M12,在所述前侧板(3-5)正对所述第三腔体(3-C)的板上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装所述出口水压传感器(15),螺纹孔公称直径为M12;所述前侧板(3-5)正对所述第二腔体(3-B)的板上开设有安装豁口(3-18);在所述后侧板(3-6)正对所述第一腔体(3-A)的板上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口温度传感器(12),螺纹孔公称直径为M12,在所述后侧板(3-6)正对所述第三腔体(3-C)的板上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内安装有所述出口温度传感器(14),螺纹孔公称直径为M12;在所述上盖板(3-1)正对所述第二腔体(3-B)的板上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12;在所述下底板(3-2)正对所述第二腔体(3-B)的板上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12。

7. 根据权利要求3所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述上盖板(3-1)的长为136mm,宽为40mm;所述第一腔体(3-A)顶部的所述上盖板(3-1)板面厚度、所述第三腔体(3-C)顶部的所述上盖板(3-1)板面厚度、所述第一腔体(3-A)底部的所述下底板(3-2)板面厚度、所述第三腔体(3-C)底部的所述下底板(3-2)板面厚度、所述前侧板(3-5)板面厚度、所述后侧板(3-6)板面厚度、所述左侧板(3-3)板面厚度和所述右侧板(3-4)板面厚度均为8mm,所述第二腔体(3-B)顶部的所述上盖板(3-1)板面厚度以及所述第二腔体(3-B)底部的所述下底板(3-2)板面厚度均为6mm;所述左上肋片(3-7)和所述右上肋片(3-8)的肋片厚度为8mm,所述左上肋片(3-7)的左侧面与上盖板(3-1)的左端面的距离d1为40mm,所述左上肋片(3-7)的右侧面与所述右上肋片(3-8)的左侧面的距离d2为40mm,所述右上肋片(3-8)的右侧面与所述上盖板(3-1)的右端面的距离d3为40mm;所述倒凹形结构

(3-19)和所述上凸形结构(3-20)的宽度均为20mm、所述倒凹形结构(3-19)的深度为6mm;所述下底板(3-2)的长为120mm,宽为40mm,所述左下肋片(3-9)和所述右下肋片(3-10)的肋片厚度为8mm,所述左下肋片(3-9)左侧面与所述下底板(3-2)的左端面的距离 $d_4$ 为32mm,所述左下肋片(3-9)的右侧面与所述右下肋片(3-10)的左侧面的距离 $d_5$ 为40mm,所述右下肋片(3-10)的右侧面与所述下底板(3-2)的右端面的距离 $d_6$ 为32mm;所述左侧板(3-3)和右侧板(3-4)的高度均为30mm、所述左侧板(3-3)和右侧板(3-4)的宽度均为40mm,所述圆形横截面进口的圆心与所述左侧板(3-3)下底面的距离以及圆形横截面出口的圆心与所述右侧板(3-4)下底面的距离 $d_7$ 均为19mm,所述圆形横截面进口的圆心位于所述左侧板(3-3)的横向中心,所述圆形横截面出口的圆心位于所述右侧板(3-4)的横向中心;所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)的长为136mm,宽为38mm;安装所述进口水压传感器(13)和所述出口水压传感器(15)的螺纹孔圆心与所述前侧板(3-5)下端面的距离均 $d_8$ 为19mm,安装所述进口温度传感器(12)和所述出口温度传感器(14)的螺纹孔圆心与所述后侧板(3-6)的下端面的距离均 $d_9$ 为19mm,安装所述进口水压传感器(13)的螺纹孔圆心与所述前侧板(3-5)的左端面的距离 $d_{10}$ 为23mm,安装所述出口水压传感器(15)的螺纹孔圆心与所述前侧板(3-5)的右端面的距离 $d_{11}$ 为23mm,安装所述进口温度传感器(12)的螺纹孔圆心与所述后侧板(3-6)的左端面的距离 $d_{12}$ 为23mm,安装所述出口温度传感器(14)的螺纹孔圆心与所述后侧板(3-6)的右端面的距离 $d_{13}$ 为23mm。

8. 根据权利要求6所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,在所述第二腔体(3-B)中安装有微通道换热模块(3-11),所述微通道换热模块的流体进口端位于所述微通道结构左固定缝隙(3-16)内,所述微通道换热模块的流体出口端位于所述微通道结构右固定缝隙(3-17)内;所述微通道换热模块(3-11)包括恒壁温微通道换热模块和恒热流微通道换热模块。

9. 根据权利要求8所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述恒壁温微通道换热模块包括微通道结构(3-12)和凝结水头(3-13),所述凝结水头(3-13)位于所述微通道结构(3-12)的上表面上,所述微通道结构(3-12)的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙(3-16)内,所述微通道结构(3-12)的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙(3-17)内。

10. 根据权利要求8所述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,其特征在于,所述恒热流微通道换热模块包括微通道结构(3-12)、电热膜(3-14)和塑料隔热板(3-15),所述电热膜(3-14)位于微通道结构(3-12)的上表面,所述塑料隔热板(3-15)位于所述电热膜(3-14)的上表面;所述微通道结构(3-12)的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙(3-16)内,所述微通道结构(3-12)的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙(3-17)内;所述电热膜(3-14)的电流输出端和电流输入端分别与直流电源(4)的输入端和输出端相连;所述下底板(3-2)位于所述左侧板(3-3)、所述右侧板(3-4)、所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)之间,并且所述下底板(3-2)的下表面、所述左侧板(3-3)下端面、所述右侧板(3-4)下端面、所述前侧板(3-5)下端面和所述后侧板(3-6)下端面五者平齐,所述下底板(3-2)的四个侧面与所述左侧板(3-3)、所述右侧板(3-4)、所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)的内侧板面液封粘合,所述上盖板(3-1)夹紧在所述前侧板(3-5)和所述后侧板(3-6)的内侧板面之间,并且所述上盖板(3-1)的左端压紧在所述左侧板(3-3)的上端面上,所述

上盖板 (3-1) 的右端压紧在所述右侧板 (3-4) 的上端面上;所述左上肋片 (3-7)、所述右上肋片 (3-8)、所述左下肋片 (3-9) 和所述右下肋片 (3-10) 的宽度均为40mm,所述左上肋片 (3-7)、所述右上肋片 (3-8)、所述左下肋片 (3-9) 和所述右下肋片 (3-10) 均夹紧在所述前侧板 (3-5) 和所述后侧板 (3-6) 的内侧板面之间。

## 一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种测试装置。具体地说是一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着科技的进步,电子、机械等领域都朝着小型化、微型化的方向发展,就必须考虑热质传递过程的尺度微细化、结构与条件复杂化等效应,微通道的研究开发成为当今的热点。纳米流体对微通道换热的影响,微通道结构对其换热效果的影响等问题也逐渐受到了人们的关注和重视。

[0003] 目前人们已经对不同纳米流体对不同微通道结构和尺寸的换热效率、换热量的影响进行了广泛的研究。但是由于微通道尺寸小,需要的连接传质、控温、控流、检测和分析装置多,在实验过程中,针对不同种类、不同颗粒直径的纳米流体、微通道的结构和尺寸,以及纳米流体的流速、温度、浓度等参数的研究,要反复拆装传质、控温、控流、检测和分析装置,给实验人员的操作带来了不便,增加了实验条件的不确定因素,使研究结果存在很大的误差,严重地影响了试验结果的重复性和一致性。

[0004] 微通道测试在以往的试验中都是通过刻蚀和压制粘连的方法制备成单个体积很小的一体化的微通道组件(还带有其他复杂的连接和密封结构),只能用于一个微通道结构的试验验证。如果要反复测量或更换核心微通道模块,需要很高的成本。

### 发明内容

[0005] 为此,本发明所要解决的技术问题在于提供一种微通道纳米流体强化换热试验检测装置。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述微通道纳米流体强化换热试验测试装置包括储液罐、盘管式加热器、流体供给控制组、微通道盒组、直流电源、数据测量分析组和集液灌;所述盘管式加热器位于所述储液罐内,所述储液罐、所述流体供给控制组、所述微通道盒组和所述集液灌之间依次流体导通;所述直流电源与所述微通道盒组电连接;所述数据测量分析组包括光学数据收集仪、数据采集仪、同步器、水压及温度测量元件和数据分析仪,所述水压及温度测量元件包括进口温度传感器、进口水压传感器、出口温度传感器、出口水压传感器和用于测量流经所述流体供给控制组流体流量的流量计,所述进口温度传感器的输出端、所述进口水压传感器的输出端、所述出口温度传感器的输出端、所述出口水压传感器的输出端和所述流量计的输出端分别与所述数据采集仪的输入端连接;所述进口温度传感器和所述进口水压传感器位于所述微通道盒组的进口端,所述出口温度传感器和出口水压传感器位于所述微通道盒组的出口端;所述光学数据收集仪包括显微镜、摄像仪和红外热成像仪,所述摄像仪安装在所述显微镜上,所述显微镜和所述红外热成像仪分别位于所述微通道盒组的前方和后方;所述摄像仪的时间信号输出端、所述红外

热成像仪的时间信号输出端和所述数据采集仪的数据输出端分别与所述同步器的输入端连接,所述摄像仪的图像信号输出端、所述红外热成像仪的图像信号输出端和所述同步器的数据输出端分别与所述分析仪的输入端连接。

[0008] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述流体供给控制组包括水泵、第一过滤器、调节阀和第二过滤器,所述水泵、所述第一过滤器、所述调节阀和所述第二过滤器之间依次流体导通;所述流量计设置在所述第一过滤器和所述调节阀之间的管路上,并与第一过滤器的出口端和所述调节阀的入口端流体导通;所述储液罐的出口端与所述水泵的入口端流体导通;所述第二过滤器的出口端与所述微通道盒组的入口端流体导通。

[0009] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述微通道盒组包括上盖板、下底板、左侧板、右侧板、前侧板和后侧板;所述左侧板和所述右侧板分别固定粘合在所述下底板的左侧和右侧,所述前侧板和后侧板分别固定粘合所述下底板的前侧和后侧,所述上盖板位于所述左侧板、所述右侧板、所述前侧板和所述后侧板的上端面,并可拆卸连接所述左侧板、所述右侧板、所述前侧板和所述后侧板的上端面。

[0010] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述上盖板的下底面有左上肋片和右上肋片;所述下底板的上表面有左下肋片和右下肋片,所述左上肋片位于左下肋片的正上方,所述右上肋片位于右下肋片的正上方;所述左上肋片和所述右上肋片呈倒凹形结构,所述左下肋片和所述右下肋片呈上凸形结构,所述左上肋片的所述倒凹形结构与所述左下肋片的上凸形结构凹凸配合、以及所述右上肋片的所述倒凹形结构与所述右下肋片的上凸形结构凹凸配合,分别形成高度为1-2mm的微通道结构左固定缝隙和微通道结构右固定缝隙。

[0011] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述上盖板左侧部、所述下底板左侧部、所述左侧板、所述前侧板左侧部、所述后侧板左侧部、所述左上肋片和左下肋片之间围成第一腔体;所述上盖板、所述下底板、所述左上肋片、所述右上肋片、所述左下肋片和所述右下肋片之间围成第二腔体;所述上盖板右侧部、所述下底板右侧部、所述前侧板右侧部、所述后侧板右侧部、所述右上肋片、所述右下肋片和所述右侧板之间围成第三腔体;所述第二过滤器的出口端、所述第一腔体、所述第二腔体、所述第三腔体和所述集液灌依次流体导通;所述第一腔体和所述第三腔体内设置有扰流板;所述第一腔体与所述第二腔体之间通过所述微通道结构左固定缝隙流体导通;所述第二腔体和所述第三腔体之间通过所述微通道结构右固定缝隙流体导通。

[0012] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述左侧板的板面上设置有所述微通道盒组的圆形横截面进口,圆形横截面进口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述右侧板的板面上设置有所述微通道盒组的圆形横截面出口,圆形横截面出口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述第二过滤器的出口端通过所述左侧板上的圆形横截面进口与所述第一腔体流体导通,所述右侧板上的圆形横截面出口与所述集液灌流体导通;在所述前侧板正对所述第一腔体的板面上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口水压传感器,螺纹孔公称直径为M12,在所述前侧板正对所述第三腔体的板面开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装所述出口水压传感器,螺纹孔公称直径为M12;所述前侧板正对所述第二腔体的板面开设有安装豁口;在所述后侧板正对所述第一腔体的板面开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口温度传感器,螺纹孔公称直径为M12,在所述后侧板正

对所述第三腔体的板面上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述出口温度传感器,螺纹孔公称直径为M12;在所述上盖板正对所述第二腔体的板面上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12;在所述下底板正对所述第二腔体的板面上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12。

[0013] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述上盖板的长为136mm,宽为40mm;所述第一腔体顶部的所述上盖板板面厚度、所述第三腔体顶部的所述上盖板板面厚度、所述第一腔体底部的所述下底板板面厚度、所述第三腔体底部的所述下底板板面厚度、所述前侧板板面厚度、所述后侧板板面厚度、所述左侧板板面厚度和所述右侧板)板面厚度均为8mm,所述第二腔体顶部的所述上盖板板面厚度以及所述第二腔体底部的所述下底板板面厚度均为6mm;所述左上肋片和所述右上肋片的肋片厚度为8mm,所述左上肋片的左侧面与上盖板的左端面的距离为40mm,所述左上肋片的右侧面与所述右上肋片的左侧面的距离为40mm,所述右上肋片的右侧面与所述上盖板的右端面的距离为40mm;所述倒凹形结构和所述上凸形结构的宽度均为20mm、所述倒凹形结构的深度为6mm;所述下底板的长为120mm,宽为40mm,所述左下肋片和所述右下肋片的肋片厚度为8mm,所述左下肋片左侧面与所述下底板的左端面的距离为32mm,所述左下肋片的右侧面与所述右下肋片的左侧面的距离为40mm,所述右下肋片的右侧面与所述下底板右端面的距离为32mm;所述左侧板和右侧板的高度均为30mm、所述左侧板和右侧板的宽度均为40mm,所述圆形横截面进口的圆心与所述左侧板下底面的距离以及圆形横截面出口的圆心与所述右侧板下底面的距离均为19mm,所述圆形横截面进口的圆心位于所述左侧板的横向中心,所述圆形横截面出口的圆心位于所述右侧板的横向中心,所述前侧板和所述后侧板的长为136mm,宽为38mm;安装所述进口水压传感器(13)和所述出口水压传感器的螺纹孔圆心与所述前侧板下端面的距离均为19mm,安装所述进口温度传感器和所述出口温度传感器的螺纹孔圆心与所述后侧板的下端面的距离均为19mm,安装所述进口水压传感器的螺纹孔圆心与所述前侧板的左端面的距离为23mm,安装所述出口水压传感器的螺纹孔圆心与所述前侧板的右端面的距离为23mm,安装所述进口温度传感器的螺纹孔圆心与所述后侧板的左端面的距离为23mm,安装所述出口温度传感器的螺纹孔圆心与所述后侧板的右端面的距离为23mm。

[0014] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,在所述第二腔体中安装有微通道换热模块,所述微通道换热模块的流体进口端位于所述微通道结构左固定缝隙内,所述微通道换热模块的流体进口端位于所述微通道结构右固定缝隙内;所述微通道换热模块包括恒壁温微通道换热模块和恒热流微通道换热模块。

[0015] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述恒壁温微通道换热模块包括微通道结构和凝结水头,所述凝结水头位于所述微通道结构的上表面上,所述微通道结构的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙内,所述微通道结构的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙内。

[0016] 上述的微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述恒热流微通道换热模块包括微通道结构、电热膜和塑料隔热板,所述电热膜位于微通道结构的上表面,所述塑料隔热板位于所述电热膜的上表面;所述微通道结构的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙内,所述微通道结构的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙内;所述电热膜的电流输出端和电流输入端分别与直流电源的输入端和输出端相连;所述下底板位于所述左

侧板、所述右侧板、所述前侧板和所述后侧板之间,并且所述下底板的下表面、所述左侧板下端面、所述右侧板下端面、所述前侧板下端面和所述后侧板下端面五者平齐,所述下底板的四个侧面与所述左侧板、所述右侧板、所述前侧板和所述后侧板的内侧板面液封粘合,所述上盖板夹紧在所述前侧板和所述后侧板的内侧板面之间,并且所述上盖板的左端压紧在所述左侧板的上端面上,所述上盖板的右端压紧在所述右侧板的上端面上;所述左上肋片、所述右上肋片、所述左下肋片和所述右下肋片的宽度均为40mm,所述左上肋片、所述右上肋片、所述左下肋片和所述右下肋片均夹紧在所述前侧板和所述后侧板的内侧板面之间。

[0017] 有益效果

[0018] 1.微通道盒组的不同微通道换热模块,可以事前将被测微通道换热模块安装在上盖板两肋片间和下底板两肋片间,然后拼装微通道盒组的前侧板、后侧板、左侧板和右侧板,构成微通道盒组,减小微小结构在微小空间内组装的不便和因组装带来的系统误差,试验过程中针对换热系数 $h$ 进行了误差分析,其误差低于8.37%。

[0019] 2.微通道盒组的前侧板上开设有凹槽,上盖板和下底板上开设有多个螺纹孔,可以通过凹槽和多个螺纹孔,实现试验过程中对微通道换热模块的调试,而不需要拆装整个微通道盒组,操作简便,也减少了拆装过程带来的微通道盒组的系统误差对试验结果的影响。

[0020] 3.通过改变微通道盒组的上盖板上肋片的尺寸和结构,可以改变上盖板和下底板肋片间的配合的缝隙,从而配合不同尺寸和不同换热方式的微通道换热模块。

[0021] 4.本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置可拆卸、可更换调节微通道结构、可以适用于恒壁温和恒热流两种测试模式、并可适用于不同微通道结构的测量,减少了实验的成本;相比传统的制成一体化的微通道组件,本发明可以将原来每个微通道结构测试组件制作及测量成本由500元以上降低到100元以下(不含微通道结构本身的价格)。

## 附图说明

[0022] 图1本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道纳米流体强化换热试验测试装置结构示意图;

[0023] 图2本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组正视图结构示意图;

[0024] 图3本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组俯视图结构示意图;

[0025] 图4本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组侧视图结构示意图;

[0026] 图5本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组上盖板侧视图结构示意图;

[0027] 图6本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组下底板侧视图结构示意图;

[0028] 图7本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的恒壁温微通道换热模块结构示意图;

[0029] 图8本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的恒热流微通道换热模块结构

示意图；

[0030] 图9本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组的前侧板结构示意图；

[0031] 图10本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组的后侧板结构示意图；

[0032] 图11本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组的左侧板结构示意图；

[0033] 图12本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组的上盖板结构示意图；

[0034] 图13本发明微通道纳米流体强化换热试验测试装置的微通道盒组的下底板结构示意图；

[0035] 图14本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的不同横壁温对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0036] 图15本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的不同横热流对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0037] 图16本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的纳米流体不同入口流速对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0038] 图17本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的纳米流体不同雷诺数对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0039] 图18本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的不同纳米流体对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0040] 图19本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的不同浓度纳米流体对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0041] 图20本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的微通道个数对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0042] 图21本发明微通道纳米流体强化换热试验测试方法的微通道管径对换热量 $Q$ 与换热系数 $h$ 的影响图；

[0043] 图中附图标记表示为：

[0044] 1:储液罐,2:盘管式加热器,3:微通道盒组,4:直流电源,5:集液灌,6数据采集仪,7:数据分析师,8:水泵,9:第一过滤器,10:调节阀,11:第二过滤器,12:进口温度传感器,13:进口水压传感器,14:出口温度传感器,15:出口水压传感器,16:流量计,17:摄像机,18:红外热成像仪,19:显微镜,20:同步器,3-1:上盖板,3-2:下底板,3-3:左侧板,3-4:右侧板,3-5:前侧板,3-6:后侧板,3-7:左上肋片,3-8:右上肋片,3-9:左下肋片,3-10:右下肋片,3-11:微通道换热模块,3-12:微通道结构;3-13:凝结水头,3-14:电热膜,3-15:塑料隔热板;3-A:第一腔体,3-B:第二腔体,3-C:第三腔体;3-16:微通道结构左固定缝隙,3-17:微通道结构右固定缝隙,3-18:安装豁口,3-19:倒凹形结构,3-20:上凸形结构。

## 具体实施方式

[0045] 如图1和图3所示,所述的一种微通道纳米流体强化换热试验测试装置,所述微通

道纳米流体强化换热试验测试装置包括储液罐1、盘管式加热器2、流体供给控制组、微通道盒组3、直流电源4、数据测量分析组和集液灌5；所述盘管式加热器2位于所述储液罐1内，所述储液罐1、所述流体供给控制组、所述微通道盒组3和所述集液灌5之间依次流体导通；所述直流电源4与所述微通道盒组3电连接；所述数据测量分析组包括光学数据收集仪、数据采集仪6、同步器19、水压及温度测量元件和数据分析仪7，所述水压及温度测量元件包括进口温度传感器12、进口水压传感器13、出口温度传感器14、出口水压传感器15和用于测量流经所述流体供给控制组流体流量的流量计16，所述进口温度传感器12的输出端、所述进口水压传感器13的输出端、所述出口温度传感器14的输出端、所述出口水压传感器15的输出端和所述流量计16的输出端分别与所述数据采集仪6的输入端连接；所述进口温度传感器12和所述进口水压传感器13位于所述微通道盒组3的进口端，所述出口温度传感器14和出口水压传感器15位于所述微通道盒组3的出口端；所述光学数据收集仪包括显微镜19、摄像机17和红外热成像仪18，所述摄像机17安装在所述显微镜19上，所述显微镜19和所述红外热成像仪18分别位于所述微通道盒组3的前方和后方；所述摄像机17的时间信号输出端、所述红外热成像仪18的时间信号输出端和所述数据采集仪6的数据输出端分别与所述同步器20的输入端连接，所述摄像机17的图像信号输出端、所述红外热成像仪18的图像信号输出端和所述同步器20的数据输出端分别与所述数据分析仪7的输入端连接。。

[0046] 所述流体供给控制组包括水泵8、第一过滤器9、调节阀10和第二过滤器11，所述水泵8、所述第一过滤器9、所述调节阀10和所述第二过滤器11之间依次流体导通；所述流量计16设置在所述第一过滤器9和所述调节阀10之间的管道上，并与第一过滤器9的出口端和所述调节阀10的入口端流体导通；所述储液罐1的出口端与所述水泵8的入口端流体导通；所述第二过滤器11的出口端与所述微通道盒组3的入口端流体导通。

[0047] 如图2至图4所示，所述微通道盒组3包括上盖板3-1、下底板3-2、左侧板3-3、右侧板3-4、前侧板3-5和后侧板3-6；所述左侧板3-3和所述右侧板3-4分别固定粘合在所述下底板3-2的左侧和右侧，所述前侧板3-5和后侧板3-6分别固定粘合所述下底板3-2的前侧和后侧，所述上盖板3-1位于所述左侧板3-3、所述右侧板3-4、所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的上端面，并可拆卸连接所述左侧板3-3、所述右侧板3-4、所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的上端面。

[0048] 所述上盖板3-1的下底面有左上肋片3-7和右上肋片3-8；所述下底板3-2的上表面有左下肋片3-9和右下肋片3-10，所述左上肋片3-7位于左下肋片3-9的正上方，所述右上肋片3-8位于右下肋片3-10的正上方；所述左上肋片3-7和所述右上肋片3-8呈倒凹形结构3-19，所述左下肋片3-9和所述右下肋片3-10呈上凸形结构3-20；所述左上肋片3-7的所述倒凹形结构3-19与所述左下肋片3-9的上凸形结构3-20凹凸配合、以及所述右上肋片3-8的所述倒凹形结构3-19与所述右下肋片3-10的上凸形结构3-20凹凸配合，分别形成高度为1-2mm的微通道结构左固定缝隙3-16和微通道结构右固定缝隙3-17。

[0049] 所述上盖板3-1左侧部、所述下底板3-2左侧部、所述左侧板3-3、所述前侧板3-5左侧部、所述后侧板3-6左侧部、所述左上肋片3-7和左下肋片3-9之间围成第一腔体3-A；所述上盖板3-1、所述下底板3-2、所述左上肋片3-7、所述右上肋片3-8、所述左下肋片3-9和所述右下肋片3-10之间围成第二腔体3-B；所述上盖板3-1右侧部、所述下底板3-2右侧部、所述前侧板3-5右侧部、所述后侧板3-6右侧部、所述右上肋片3-8、所述右下肋片3-10和所述右

侧板3-4之间围成第三腔体3-C;所述第一腔体3-A和所述第三腔体3-C内设置有扰流板;所述第二过滤器11的出口端、所述第一腔体3-A、所述第二腔体3-B、所述第三腔体3-C和所述集液灌5依次流体导通;所述第一腔体3-A和所述第三腔体3-C内设置有扰流板;所述第一腔体3-A与所述第二腔体3-B之间通过所述微通道结构左固定缝隙3-16流体导通;所述第二腔体3-B和所述第三腔体3-C之间通过所述微通道结构右固定缝隙3-17流体导通。

[0050] 所述左侧板3-3的板面上设置有所述微通道盒组3的圆形横截面进口,圆形横截面进口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述右侧板3-4的板面上设置有所述微通道盒组3的圆形横截面出口,圆形横截面出口为螺纹孔,螺纹孔公称直径为M8,所述第二过滤器11的出口端通过所述左侧板3-3上的圆形横截面进口与所述第一腔体3-A流体导通,所述右侧板3-4上的圆形横截面出口与所述集液灌5流体导通;在所述前侧板3-5正对所述第一腔体3-A的板面上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口水压传感器13,螺纹孔公称直径为M12,在所述前侧板3-5正对所述第三腔体3-C的板面开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装所述出口水压传感器15,螺纹孔公称直径为M12;所述前侧板3-5正对所述第二腔体3-B的板面开设有安装豁口3-18;在所述后侧板3-6正对所述第一腔体3-A的板面开设有螺纹孔,并在螺纹孔内螺纹配合安装有所述进口温度传感器12,螺纹孔公称直径为M12,在所述后侧板3-6正对所述第三腔体3-C的板面上开设有螺纹孔,并在螺纹孔内安装有所述出口温度传感器14,螺纹孔公称直径为M12;在所述上盖板3-1正对所述第二腔体3-B的板面上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12;在所述下底板3-2正对所述第二腔体3-B的板面上开设有4个螺纹孔,螺纹孔公称直径为M12。

[0051] 如图9至图13所示,所述上盖板3-1的长为136mm,宽为40mm;所述第一腔体3-A顶部的所述上盖板3-1板面厚度、所述第三腔体3-C顶部的所述上盖板3-1板面厚度、所述第一腔体3-A底部的所述下底板3-2板面厚度、所述第三腔体3-C底部的所述下底板3-2板面厚度、所述前侧板3-5板面厚度、所述后侧板3-6板面厚度、所述左侧板3-3板面厚度和所述右侧板3-4板面厚度均为8mm,所述第二腔体3-B顶部的所述上盖板3-1板面厚度以及所述第二腔体3-B底部的所述下底板3-2板面厚度均为6mm;所述左上肋片3-7和所述右上肋片3-8的肋片厚度为8mm,所述左上肋片3-7的左侧面与上盖板3-1的左端面的距离d1为40mm,所述左上肋片3-7的右侧面与所述右上肋片3-8的左侧面的距离d2为40mm,所述右上肋片3-8的右侧面与所述上盖板3-1的右端面的距离d3为40mm;所述倒凹形结构3-19和所述上凸形结构3-20的宽度均为20mm、所述倒凹形结构3-19的深度为6mm;所述下底板3-2的长为120mm,宽为40mm,所述左下肋片3-9和所述右下肋片3-10的肋片厚度为8mm,所述左下肋片3-9左侧面与所述下底板3-2的左端面的距离d4为32mm,所述左下肋片3-9的右侧面与所述右下肋片3-10的左侧面的距离d5为40mm,所述右下肋片3-10的右侧面与所述下底板3-2的右端面的距离d6为32mm;所述左侧板3-3和右侧板3-4的高度均为30mm、所述左侧板3-3和右侧板3-4的宽度均为40mm,所述圆形横截面进口的圆心与所述左侧板3-3下底面的距离以及圆形横截面出口的圆心与所述右侧板3-4下底面的距离d7均为19mm,所述圆形横截面进口的圆心位于所述左侧板3-3的横向中心,所述圆形横截面出口的圆心位于所述右侧板3-4的横向中心;所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的长为136mm,宽为38mm;安装所述进口水压传感器13和所述出口水压传感器15的螺纹孔圆心与所述前侧板3-5下端面的距离d8均为19mm,安装所述进口温度传感器12和所述出口温度传感器14的螺纹孔圆心与所述后侧板3-6的下端面的距

离d9均为19mm,安装所述进口水压传感器13的螺纹孔圆心与所述前侧板3-5的左端面的距离d10为23mm,安装所述出口水压传感器15的螺纹孔圆心与所述前侧板3-5的右端面的距离d11为23mm,安装所述进口温度传感器12的螺纹孔圆心与所述后侧板3-6的左端面的距离d12为23mm,安装所述出口温度传感器14的螺纹孔圆心与所述后侧板3-6的右端面的距离d13为23mm。

[0052] 如图7和图8所示,在所述第二腔体3-B中紧配合安装有微通道换热模块3-11,所述微通道换热模块的流体进口端与位于所述微通道结构左固定缝隙3-16内,所述微通道换热模块的流体进口端位于所述微通道结构右固定缝隙3-17内;所述微通道换热模块3-11包括恒壁温微通道换热模块和恒热流微通道换热模块。

[0053] 所述恒壁温微通道换热模块包括微通道结构3-12和凝结水头3-13,所述凝结水头3-13位于所述微通道结构3-12的上表面上,所述微通道结构3-12的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙3-16内,所述微通道结构3-12的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙3-17内。

[0054] 所述恒热流微通道换热模块包括微通道结构3-12、电热膜3-14和塑料隔热板3-15,所述电热膜3-14位于微通道结构3-12上表面,所述塑料隔热板3-15位于所述电热膜3-14的上表面;所述微通道结构3-12的左端紧配合安装在所述微通道结构左固定缝隙3-16内,所述微通道结构3-12的右端紧配合安装在所述微通道结构右固定缝隙3-17内;所述电热膜3-14的电流输出端和电流输入端分别与直流电源4的输入端和输出端相连。

[0055] 如图2至图3所示所述下底板3-2位于所述左侧板3-3、所述右侧板3-4、所述前侧板3-5和所述后侧板3-6之间,并且所述下底板3-2的下表面、所述左侧板3-3下端面、所述右侧板3-4下端面、所述前侧板3-5下端面和所述后侧板3-6下端面五者平齐,所述下底板3-2的四个侧面与所述左侧板3-3、所述右侧板3-4、所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的内侧板面液封粘合,所述上盖板3-1夹紧在所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的内侧板面之间,并且所述上盖板3-1的左端压紧在所述左侧板3-3的上端面上,所述上盖板3-1的右端压紧在所述右侧板3-4的上端面上;所述左上肋片3-7、所述右上肋片3-8、所述左下肋片3-9和所述右下肋片3-10的宽度均为40mm,所述左上肋片3-7、所述右上肋片3-8、所述左下肋片3-9和所述右下肋片3-10均夹紧在所述前侧板3-5和所述后侧板3-6的内侧板面之间。

[0056] 工作原理:

[0057] 实施例1

[0058] 配制不同浓度的纳米流体,置于储液罐1中,打开盘管式加热器2对储液罐1的纳米流体进行加热,当加热到一定温度后,打开水泵8,储液罐1中纳米流体通过第一过滤器9进行第一次过滤,过滤后的纳米流体,经过调节阀10调整纳米流体的流速,然后进入第二过滤器11,经过二次过滤后的纳米流体,进入微通道盒组3,从微通道盒组3左侧板3-3的进口进入第一腔体3-A,安装在第一腔体3-A的前侧板3-5上的进口水压传感器13检测进口端的水压,安装在第一腔体3-A的后侧板3-6上的进口温度传感器12检测进口端的温度;流入第一腔体3-A的纳米流体,通过微通道结构左固定缝隙3-16进入微通道换热模块3-11,进行换热,此时,设置在微通道盒组3前方的红外热成像仪18和微通道盒组3后方的显微镜19上的摄像仪17开始记录微通道换热模块3-11内的热交换情况;换热后的纳米流体从微通道换热模块3-11的出口流出,通过微通道结构右固定缝隙3-17进入到第三腔体3-C内,安装在第三

腔体3-C的前侧板3-5上的出口水压传感器15检测出口端的水压,安装在第三腔体3-C的后侧板3-6上的出口温度传感器14检测出口端的温度;然后第三腔体3-C内纳米流体从右侧板3-4的出口流出,进入集液罐5,完成纳米流体的传质过程。

[0059] 与此同时,数据采集仪6收集流量计16的纳米流体的流量 $q_m$ 、进口温度传感器12测得的纳米流体在微通道盒组进口端的温度 $t_{in}$ 、进口水压传感器13测得的纳米流体在微通道盒组进口端的温度 $P_{in}$ 、出口温度传感器14在微通道盒组进口端的温度 $t_{out}$ 、出口水压传感器15在微通道盒组进口端的温度 $P_{out}$ ,光学数据收集仪收集微通道盒组3前方红外热成像仪18成像情况和微通道盒组2后方显微镜19上的摄像机17记录微通道换热模块3-11内的流动影像。摄像机17的时间信号输出端、红外热成像仪18的时间信号输出端和数据采集仪6的数据输出端分别与同步器20的输入端连接,所述摄像机17的图像信号输出端、所述红外热成像仪18的图像信号输出端和所述同步器20的数据输出端分别与所述数据分析师7的输入端连接。摄像机17的时间输出信号、红外热成像仪18的时间输出信号和数据采集仪6的换热数据信号进入到同步器18进行同步,减少误差,然后摄像机17的图像信号、红外热成像仪18图像信号和同步器中被同步的摄像机17的时间输出信号、红外热成像仪18的时间输出信号和数据采集仪6的换热数据信号,传送到数据分析师7进行分析,进而计算微通道的换热效率和换热量。

[0060] 当微通道换热模块3-11为恒壁温微通道换热模块时,微通道结构3-12的上表面的凝结水头3-13进口端和出口端需要打开并连通通过加热沸腾产生的过量蒸汽,通过控制蒸汽的成分凝结成分对应的固定凝点控制微通道结构3-12的壁温恒定,得到 $t_w$ 。

[0061] 当微通道换热模块3-11为恒热流微通道换热模块时,微通道结构3-12上表面的电热膜3-14,通过外接的直流电源4加热,通过直流电源4上电压表显示的电压 $U$ 和电流表显示的电流 $I$ ,可以得到电热膜3-14的电加热功率,直流电源4与滑动变阻器相连,通过改变流过电热膜3-14的电流,改变电热膜3-14的电加热功率。

[0062] 在第一腔体3-A和第二腔体3-C内安装有扰流板,使进入微通道换热模块3-11入口的温度均匀、纳米流体的成分均匀。

[0063] 微通道盒组3的材质为导热性差,例如透光性强的透明亚克力板或玻璃。可以认为微通道盒组3是绝热的,红外热成像仪18拍摄的微通道盒组3内部温度分布就是:微通道换热模块3-11表面的温度,与微通道盒组3本身的温度无关。

[0064] 电热膜3-14的电阻很小,因此在使用时外接的直流电源4加热时,电路应采用电流表外接法,并忽略流经电压表的电流。

[0065] 凝结水头3-13的腔体为铜制,材质导热性能很强且结构尺寸小,因此边缘处的温度也近似于微通道结构3-12的壁温温度 $t_w$ 。

[0066] 实施例2

[0067] 为了研究不同粒度的纳米流体在不同结构和不同孔径的微通道换热模块3-11中换热效率和换热量,仅仅需要对微通道纳米流体强化热试验检测装置中的微通道盒组3进行调整。

[0068] 1.改变微通道换热模块3-11

[0069] 针对试验中的不同要求,需要改变微通道换热模块3-11微通道结构3-12的尺寸和结构,以及不同传热方式的微通道换热模块3-11。在本发明的装置中,可以单独对微通道换

热模块3-11进行组装,然后通过所述前侧板3-5正对所述第二腔体3-B的板面开设的凹槽将微通道换热模块3-11安装到微通道盒组3内第二腔体3-B内,在安装过程中,可以通过上盖板3-1和下底板3-2上的4个孔对微通道换热模块3-11进行调整,使得微通道换热模块3-11的进口端与微通道结构左固定缝隙3-16紧密配合,防止纳米流体的渗出,微通道换热模块3-11的出口端与微通道结构右固定缝隙3-17紧密配合,防止纳米流体的渗出。非常方便操作。

[0070] 2.改变肋片间缝隙

[0071] 上盖板3-1可以从左侧板3-3、右侧板3-4、前侧板3-5和后侧板3-6上取下,通过调整上盖板3-1上的左上肋片3-7和右上肋片3-8与下底板3-2上的左下肋片3-9和右下肋片3-10的凹凸配合的微通道结构左固定缝隙3-16和微通道结构右固定缝隙3-17,以适应微通道换热模块3-11的尺寸。上盖板3-1与下底板3-2、左侧板3-3、右侧板3-4、前侧板3-5和后侧板3-6的分体式设计,可以方便试验过程中对上盖板3-1的更换。

[0072] 实施例3

[0073] 利用本发明的微通道纳米流体强化换热试验测试装置用于微通道纳米流体强化换热试验中,具体测试结果如下。

[0074] 热平衡式:

$$[0075] \quad Q = hA \Delta t_m = q_m c_p (t_{in} - t_{out})$$

[0076] 其中, $Q$ 为液体的换热量、单位W, $h$ 为对流换热系数、单位 $W/m^2 \cdot K$ , $A$ 为换热面积、单位 $m^2$ , $\Delta t_m$ 为算数平均温差、单位K, $q_m$ 为对流换热中的流体质量流量、单位kg/s, $c_p$ 为液体定压比热容、单位 $J/(kg \cdot K)$ , $t_{in}$ 为液体进口微通道盒组的入口温度、单位K, $t_{out}$ 为液体流出微通道盒组的出口温度、单位K。

[0077] 根据热平衡式,通过进口温度传感器12测量纳米流体进入微通道盒组的入口温度 $t_{in}$ 、出口温度传感器14测量纳米流体进出微通道盒组的出口温度 $t_{out}$ 、流量计16测量通过微通道盒组的质量流量 $q_m$ ;然后计算得到不同流速、不溶壁温、不同热流、不同纳米流体、不同纳米流体浓度、不同微通道结构的换热量 $Q$ 和换热系数 $h$ ,从而得到相关的影响因素。本体系中,由于纳米流体的浓度很小,纳米流体定压比热容 $c_p$ 均近似为大气压下水的定压比热容。通过测量进口水压传感器13和出口水压传感器15测量纳米流体在微通道盒组的压力变化情况,可以对换热量和换热系数进行修正。

[0078] 1.壁温对换热量与换热系数的影响

[0079] 表1和图14所示,随着壁温升高,壁面与水、纳米流体的换热量 $Q$ 分别提高至0.9kJ和1.1kJ;相同结构下分别采用水及纳米流体的情况下,换热系数 $h$ 分别在 $40000W/(m^2 \cdot K)$ 和 $50000W/(m^2 \cdot K)$ 附近,并不随温差变化;相同壁温设置下,纳米流体换热系数明显大于水的换热系数。纳米流体为 $SiO_2$ , $SiO_2$ 的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O})=0.03$ 。

[0080] 换热系数不发生改变原因是系统结构未发生改变,换热工质未发生改变;纳米流体与水对比时,相对而言换热工质不同,纳米流体中的固体颗粒换热系数明显大于流体,强化了混合流的换热。

[0081] 表1

[0082]

流体	不同壁温	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
	(K)	$(t_{in} - t_{out})(K)$	$q_m(kg/s)$	$C_p(J/(kg \cdot K))$	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})(J)$	$\Delta t_m(K)$	$h\Delta t_m=Q/A$	h
水	351	3.03	0.0500	4174	0.00032	633.5282	49.48	1979775.564	40009
水	356	3.33	0.0500	4174	0.00032	695.6422	54.34	2173881.832	40009
水	373	4.34	0.0500	4174	0.00032	906.6518	70.83	2833286.931	40001
纳米 SiO <sub>2</sub>	351	3.72	0.0500	4174	0.00032	777.1301	49.14	2428531.655	49421
纳米 SiO <sub>2</sub>	356	4.09	0.0500	4174	0.00032	853.4873	53.96	2667147.947	49431
纳米 SiO <sub>2</sub>	373	5.33	0.0500	4174	0.00032	1112.5871	70.34	3476834.763	49431

[0083] 2. 热流对换热量与换热系数的影响

[0084] 如表2和图15所示,随着壁温升高,壁面与水、纳米流体的换热量Q分别提高至2.189kJ和2.199kJ;相同结构下分别采用水及纳米流体的情况下,换热系数分别在39600W/(m<sup>2</sup>·K)和40000W/(m<sup>2</sup>·K)附近,不随温差变化;与图1不同,相同热流下纳米流体与水的换热量、换热系数相差较小。纳米流体为SiO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub>的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O}) = 0.03$ 。

[0085] 换热系数不发生改变原因是系统结构未发生改变,换热工质未发生改变;纳米流体与水对比时,相对而言换热工质不同,纳米流体中的固体颗粒换热系数明显大于流体,强化了混合流的换热,但与恒壁温不同,能量的加载方式使得金属壁面温度是渐变的,减弱了流体换热能力的影响,故换热系数与换热量差值较小。

[0086] 表2

[0087]

流体	不同热流	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
	(W)	$(t_{in} - t_{out})(K)$	$q_m(kg/s)$	$C_p(J/(kg \cdot K))$	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})(J)$	$\Delta t_m(K)$	$h\Delta t_m=Q/A$	h
水	40w	8.38	0.0500	4174	0.00032	1750.0051	138.31	5468766.042	39540
水	45w	9.43	0.0500	4174	0.00032	1969.1475	155.23	6153585.856	39642
水	50w	10.48	0.0500	4174	0.00032	2189.1777	172.56	6841180.201	39645
纳米 SiO <sub>2</sub>	40w	8.42	0.0500	4174	0.00032	1759.2806	137.65	5497751.743	39940
纳米 SiO <sub>2</sub>	45w	9.48	0.0500	4174	0.00032	1979.3922	154.41	6185600.692	40060
纳米 SiO <sub>2</sub>	50w	10.53	0.0500	4174	0.00032	2199.3138	171.74	6872855.566	40019

[0088] 3. 入口流速对换热量与换热系数的影响

[0089] 如表3和图16所示,随着入口流速u升高,壁面与水、纳米流体的换热量Q分别提高至0.633kJ和0.777kJ;换热系数随流速升高,均有明显的提高;相同流速下,纳米流体明显大于水的换热系数与换热量。纳米流体为SiO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub>的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O}) = 0.03$ 。

[0090] 随着流速增加,流体的载热量提高,与壁面的相对速度提高,虽然进出口温差降低,但流量的提高增加了系统的换热能力,使得换热系数与换热量均有较明显的变化。

[0091] 表3

[0092]

流体	不同流速	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
	$v$ (m/s)	$(t_{in} - t_{out})$	$q_m$ (kg/s)	$C_p$ (J/(kg·K))	$A$ (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})$ (J)	$\Delta t_m$ (K)	$h\Delta t_m = Q/A$	$h$

[0093]

		(K)							
水	0.4	4.59	0.0200	4174	0.00032	383.3062	48.71	1197831.723	24593
水	0.7	3.50	0.0350	4174	0.00032	511.7242	49.25	1599138.22	32470
水	1	3.03	0.0500	4174	0.00032	633.3579	49.48	1979243.403	39998
纳米 SiO <sub>2</sub>	0.4	5.63	0.0200	4174	0.00032	470.3166	48.19	1469739.524	30501
纳米 SiO <sub>2</sub>	0.7	4.29	0.0350	4174	0.00032	627.8856	48.85	1962142.596	40164
纳米 SiO <sub>2</sub>	1	3.72	0.0500	4174	0.00032	777.1301	49.14	2428531.655	49421

[0094] 4. 雷诺数Re对换热量与换热系数的影响

[0095] 如图表4和图17所示,随着Re升高,换热量随之升高;同时,相同结构下分别采用水及纳米流体的不同况下,换热系数随Re增加而增加;相同Re下,纳米流体的换热系数与换热量明显大于水,其规律与图16变流量的影响基本一致。纳米流体为SiO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub>的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2} / (V_{SiO_2} + V_{H_2O}) = 0.03$ 。

[0096] 雷诺数受流速,当量直径与运动粘度影响,其中当量直径由系统结构决定,不发生改变;由于流体温度变化较小,运动粘度影响因素也不明显,故对雷诺数最明显的影响因素是通道内的流速,故随雷诺数变化图线与随流速变化十分相似。

[0097] 表4

[0098]

流体	雷诺数 Re	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
		$(t_{in} - t_{out})$ (K)	$q_m$ (kg/s)	$C_p$ (J/(kg·K))	$A$ (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})$ (J)	$\Delta t_m$ (K)	$h\Delta t_m = Q/A$	$h$
水	4000	4.70	0.0192	4174	0.00032	376.9746	48.65	1178045.673	24215
水	7000	3.57	0.0337	4174	0.00032	502.0398	49.21	1568874.482	31878
水	10000	3.07	0.0480	4174	0.00032	616.1959	49.46	1925612.291	38930
纳米 SiO <sub>2</sub>	4000	5.77	0.0192	4174	0.00032	462.5479	48.12	1445462.041	30041
纳米 SiO <sub>2</sub>	7000	4.38	0.0337	4174	0.00032	616.0029	48.81	1925008.989	39439
纳米 SiO <sub>2</sub>	10000	3.77	0.0480	4174	0.00032	756.0724	49.12	2362726.281	48106

## [0099] 5. 不同种类纳米颗粒对换热量与换热系数的影响

[0100] 如表5和图18所示,随着纳米流体变化,水、SiO<sub>2</sub>纳米流体和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米流体的换热量分别为0.633kJ、0.777kJ和0.971kJ;同时,相同结构下分别采用水、SiO<sub>2</sub>及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>情况下,换热系数有明显变化;相同工况下,采用SiO<sub>2</sub>换热系数与换热量明显小于采用Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的情况。SiO<sub>2</sub>纳米流体的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O})=0.03$ ,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米流体的体积比为0.03,即 $V_{Al_2O_3}/(V_{Al_2O_3}+V_{H_2O})=0.03$ 。

[0101] 相对于水,纳米流体中的固体颗粒换热系数明显大于流体,强化了混合流的换热;不同纳米颗粒材料的导热性不同,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>导热系数明显大于SiO<sub>2</sub>,导致换热系数与换热量均有较大差距。

[0102] 表5

[0103]

流体	不同壁温	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
	(K)	$(t_{in}-t_{out})(K)$	$q_m(kg/s)$	$C_p(J/(kg \cdot K))$	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out}) (J)$	$\Delta t_m (K)$	$h \Delta t_m = Q/A$	h
水	351	3.03	0.0500	4174	0.00032	633.5282	49.48	1979775.564	40009
纳米SiO <sub>2</sub>	351	3.72	0.0500	4174	0.00032	777.1301	49.14	2428531.655	49421
纳米Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	351	4.65	0.0500	4174	0.00032	970.7985	48.68	3033745.246	62325

## [0104] 6. 不同浓度纳米颗粒对换热量与换热系数的影响

[0105] 如表6和图19所示,随纳米流体体积比提高,换热量和换热系数分别提高至0.3157kJ和22711W/(m<sup>2</sup>·K)。表6中为Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米流体的体积比,即 $V_{Al_2O_3}/(V_{Al_2O_3}+V_{H_2O})$ 。

[0106] 体积比的增加提高了纳米颗粒的数量,强化了混合流的总换热能力,从而提高了换热系数和换热量。

[0107] 表6

[0108]

流体	纳米流体体积比	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
		$(t_{in}-t_{out})(K)$	$q_m(kg/s)$	$C_p(J/(kg \cdot K))$	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out}) (J)$	$\Delta t_m (K)$	$h \Delta t_m = Q/A$	h
纳米Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	15.08	0.0050	4174	0.00032	315.0356	43.46	984486.2575	22653
纳米Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	15.10	0.0050	4174	0.00032	315.3926	43.45	985601.9459	22683
纳米Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	15.10	0.0050	4174	0.00032	315.4488	43.45	985777.5574	22688
纳米Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	15.11	0.0050	4174	0.00032	315.7313	43.44	986660.1851	22711

## [0109] 7. 微通道个数对换热量与换热系数的影响

[0110] 如表7和图20所示,通道流速不变的情况下,随着通道数的增加,水与SiO<sub>2</sub>纳米流体换热量分别提高至0.674kJ和0.642kJ;除个别波动外,随通道数增加,总换热面积增加,单位换热面积的换热系数降低,水与SiO<sub>2</sub>纳米流体换系数分别降低至48988W/(m<sup>2</sup>·K)和46572W/(m<sup>2</sup>·K)。SiO<sub>2</sub>纳米流体的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O})=0.03$ 。

[0111] 通道数增加使得流体流动状况更加均匀与平缓,降低了与壁面的换热能力,故换热系数降低,流量的增加使得总换热量提高。

[0112] 表7

[0113]

流体	不同微通道数量	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算数平均温差		换热系数
		$(t_{in} - t_{out})$ (K)	$q_m$ (kg/s)	$C_p$ (J/(kg·K))	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})$ (J)	$\Delta t_m$ (K)	$h \Delta t_m = Q/A$	h
水	1	3.93	0.0063	4174	0.00004	102.7034	49.03	2567584.678	52364
水	2	4.02	0.0125	4174	0.00008	209.8460	48.99	2623075.32	53542
水	3	3.79	0.0188	4174	0.00012	297.1755	49.10	2476462.514	50434
水	4	3.77	0.0250	4174	0.00016	393.4744	49.12	2459214.717	50069
水	5	3.76	0.0313	4174	0.0002	490.7462	49.12	2453730.935	49953
水	6	3.69	0.0375	4174	0.00024	577.8840	49.16	2407849.966	48984
水	7	3.69	0.0438	4174	0.00028	674.2547	49.16	2408052.344	48988
纳米 SiO <sub>2</sub>	1	3.74	0.0063	4174	0.00004	97.7756	49.13	2444388.923	49756
纳米 SiO <sub>2</sub>	2	3.72	0.0125	4174	0.00008	194.2267	49.14	2427833.126	49406
纳米 SiO <sub>2</sub>	3	3.68	0.0188	4174	0.00012	288.1735	49.16	2401445.693	48849
纳米 SiO <sub>2</sub>	4	3.63	0.0250	4174	0.00016	378.9554	49.19	2368471.195	48153
纳米 SiO <sub>2</sub>	5	3.58	0.0313	4174	0.0002	467.6882	49.21	2338440.965	47521
纳米 SiO <sub>2</sub>	6	3.52	0.0375	4174	0.00024	550.7283	49.24	2294701.282	46600
纳米 SiO <sub>2</sub>	7	3.51	0.0438	4174	0.00028	642.1471	49.24	2293382.563	46572

[0114] 8. 微通道管径对换热量与换热系数的影响

[0115] 如表8和图21所示,通道流速不变的情况下,随着通道管径的增加,换热系数与换热量增加,且斜率逐渐降低,管径从0.3mm增至0.8mm后,水与SiO<sub>2</sub>纳米流体的换热量分别提高至0.741KJ和0.748KJ,换热系数分别提高至46461W/(m<sup>2</sup>·K)和46879W/(m<sup>2</sup>·K)。SiO<sub>2</sub>纳米流体的体积比为0.03,即 $V_{SiO_2}/(V_{SiO_2}+V_{H_2O})=0.03$ 。

[0116] 流速不变时,微通道的管径增加导致流量增加,流体的载热量增加,换热系数与换热量随之提高;由于纳米流体换热能力强于水,换热系数与换热量均高于后者。

[0117] 表8

[0118]

流体	微通道管径	进出口温差	质量流量	水定压比热容	8通道总换热面积 8*1*40	换热量	算术平均温差		换热系数
	(mm)	$(t_{in} - t_{out})$ (K)	$q_m$ (kg/s)	$C_p$ (J/(kg·K))	A (m <sup>2</sup> )	$Q = q_m c_p (t_{in} - t_{out})$ (J)	$\Delta t_m$ (K)	$h\Delta t_m = Q/A$	h
水	0.3	2.95	0.0300	4174	0.00032	369.5166	49.53	1154739.383	23316
水	0.5	2.66	0.0500	4174	0.00032	554.9524	49.67	1734226.206	34914
水	0.8	2.22	0.0801	4174	0.00032	741.7398	49.89	2317936.846	46461
纳米 SiO <sub>2</sub>	0.3	3.10	0.0300	4174	0.00032	388.3783	49.45	1213682.197	24543
纳米 SiO <sub>2</sub>	0.5	2.80	0.0500	4174	0.00032	585.2124	49.60	1828788.789	36871
纳米 SiO <sub>2</sub>	0.8	2.24	0.0801	4174	0.00032	748.2677	49.88	2338336.512	46879

[0119] 整体分析,不同壁温条件下得到的结果更加显著,微通道结构与流速与流体类型决定了换热系数,在进出口温差降低时,总换热系数反而可能因为流量的增加而提高。

[0120] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

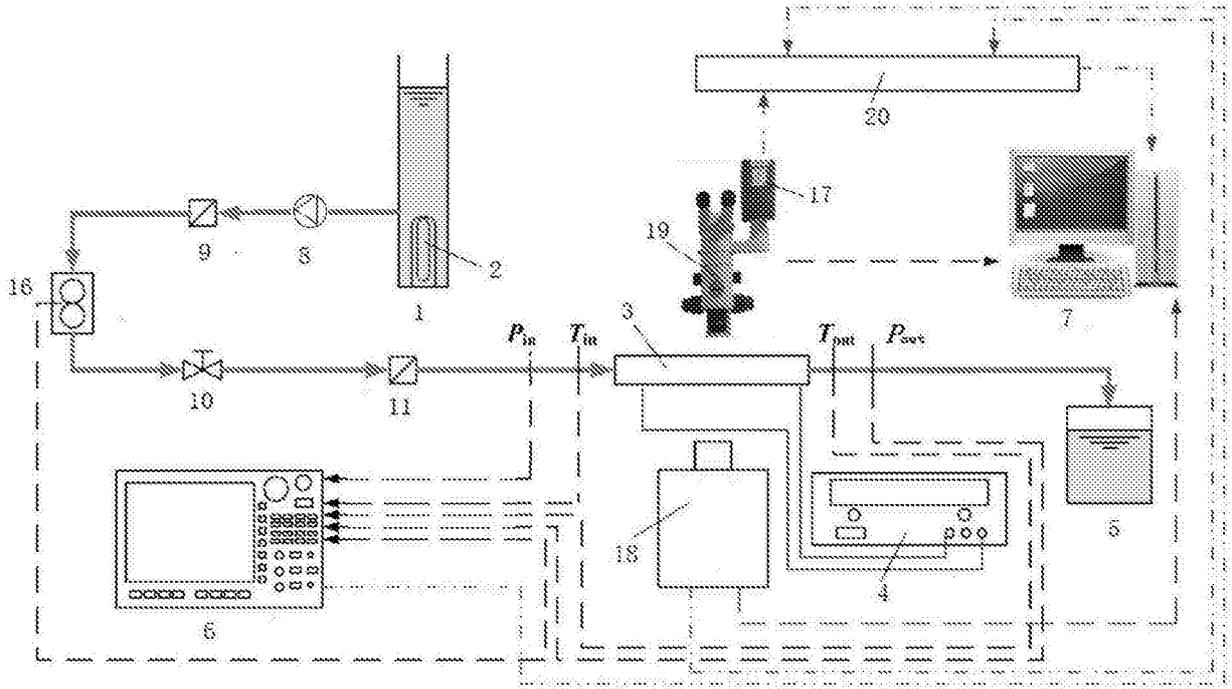


图1

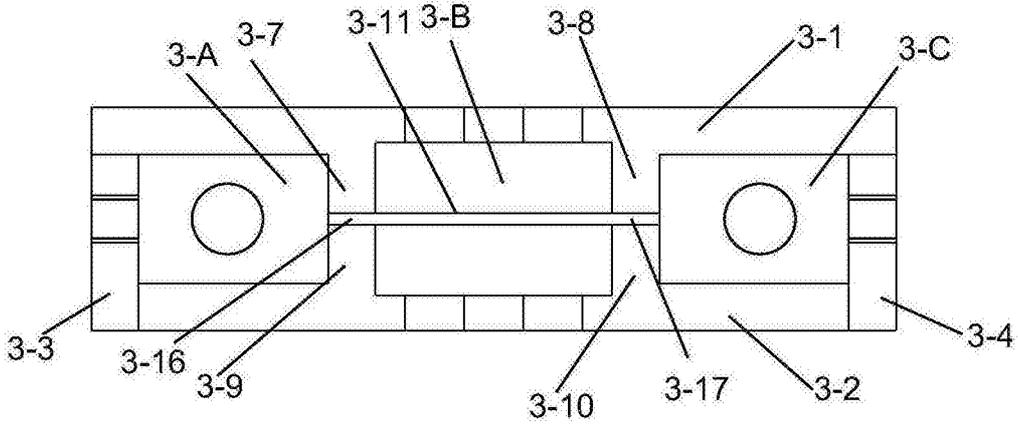


图2

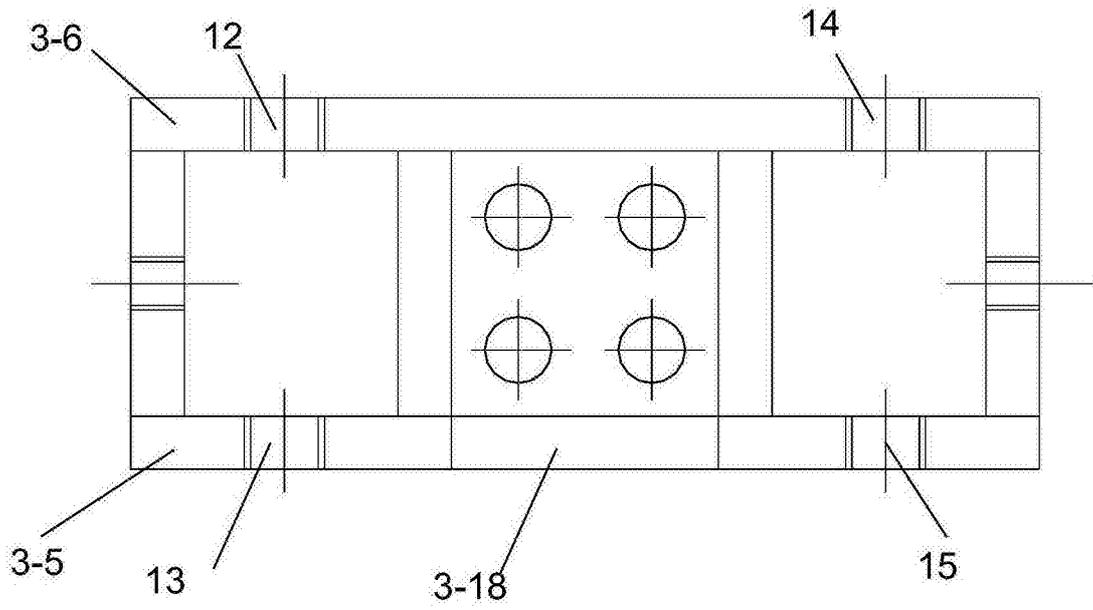


图3

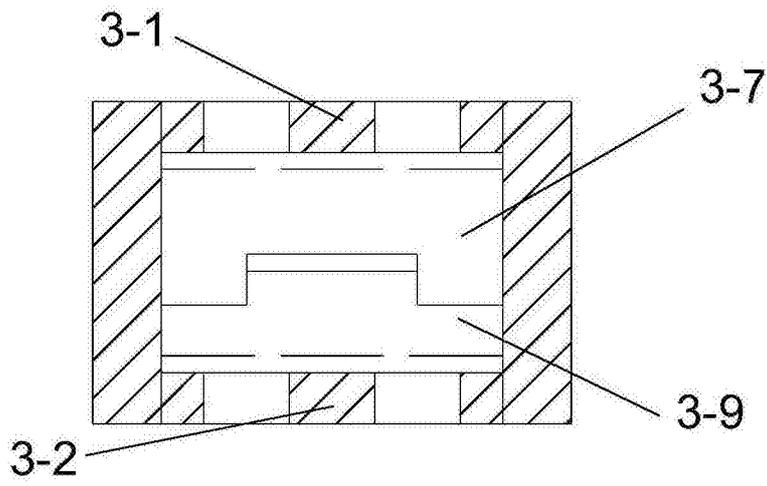


图4

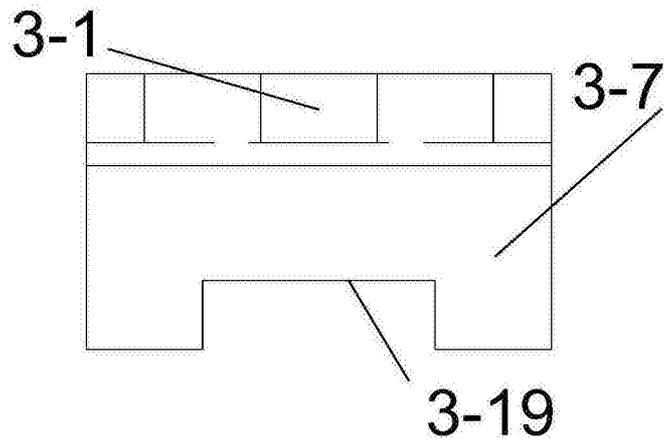


图5

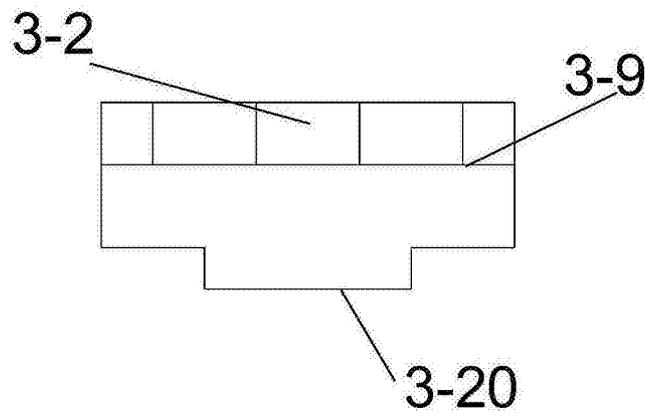


图6

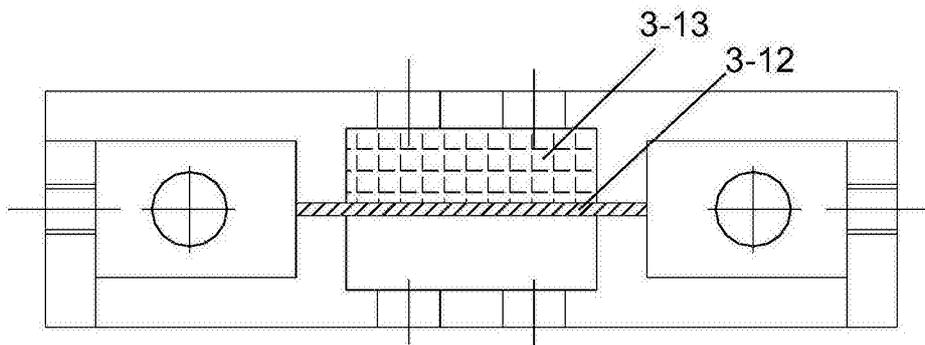


图7

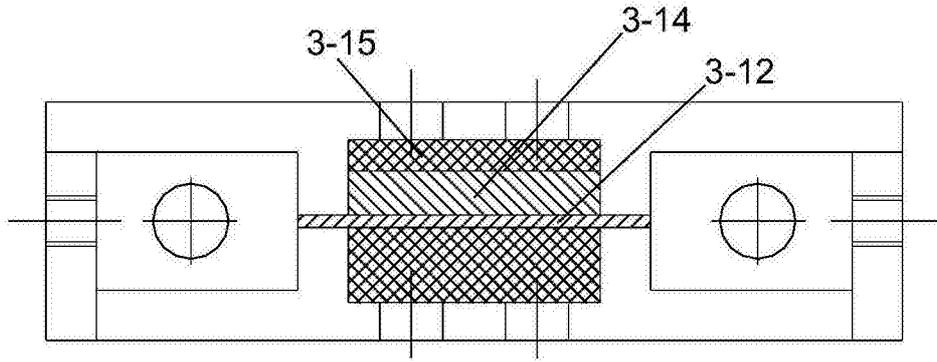


图8

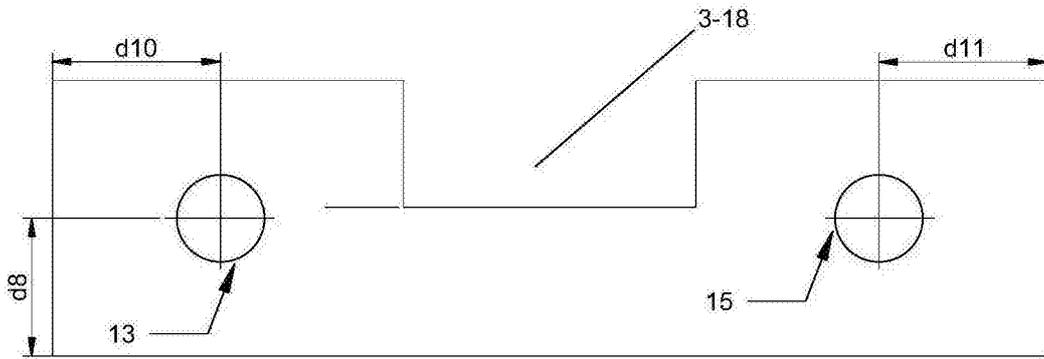


图9

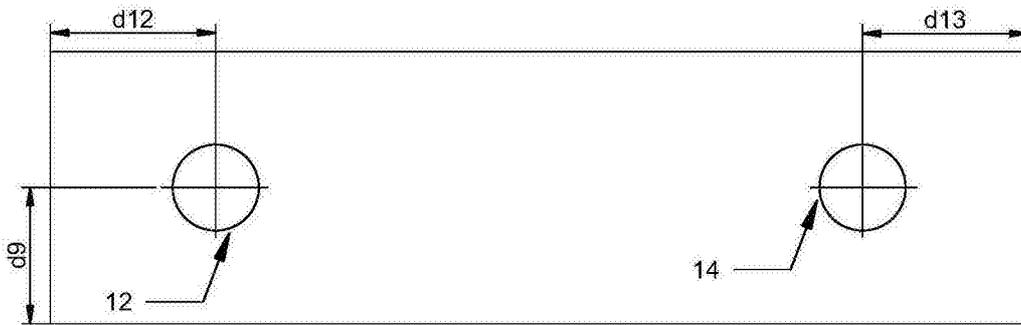


图10

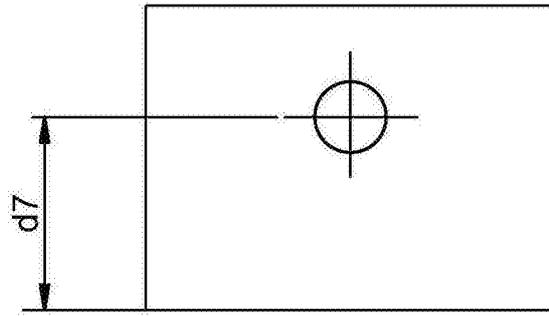


图11

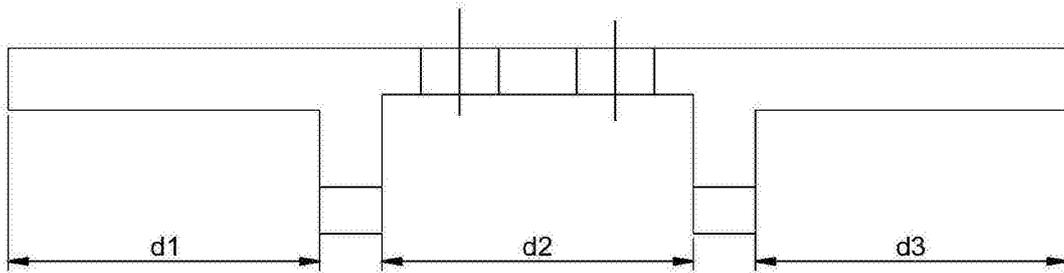


图12

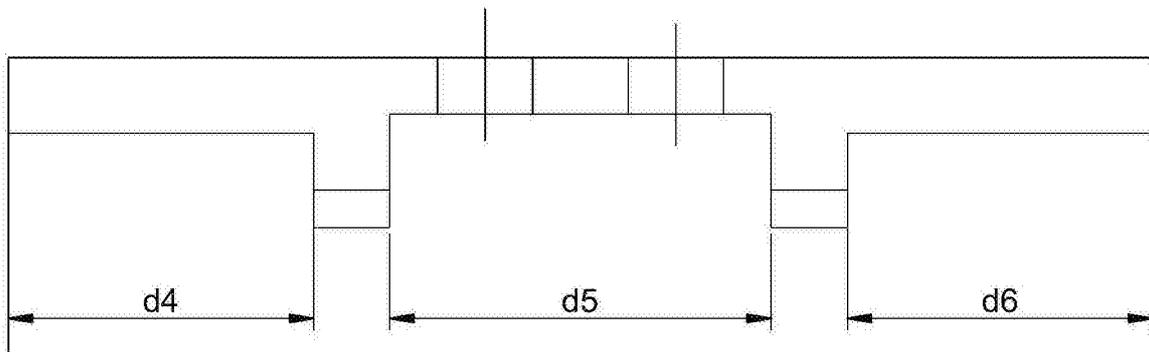


图13

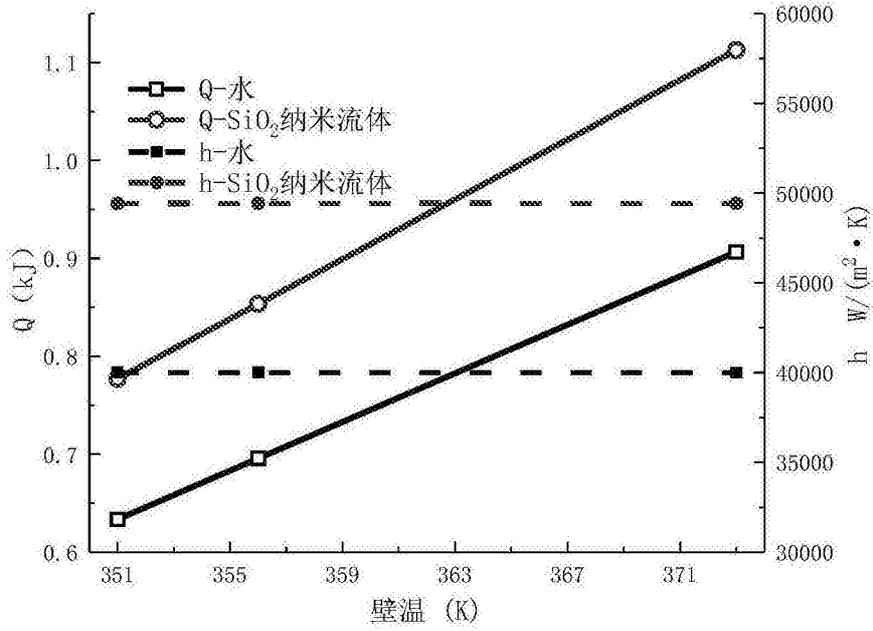


图14

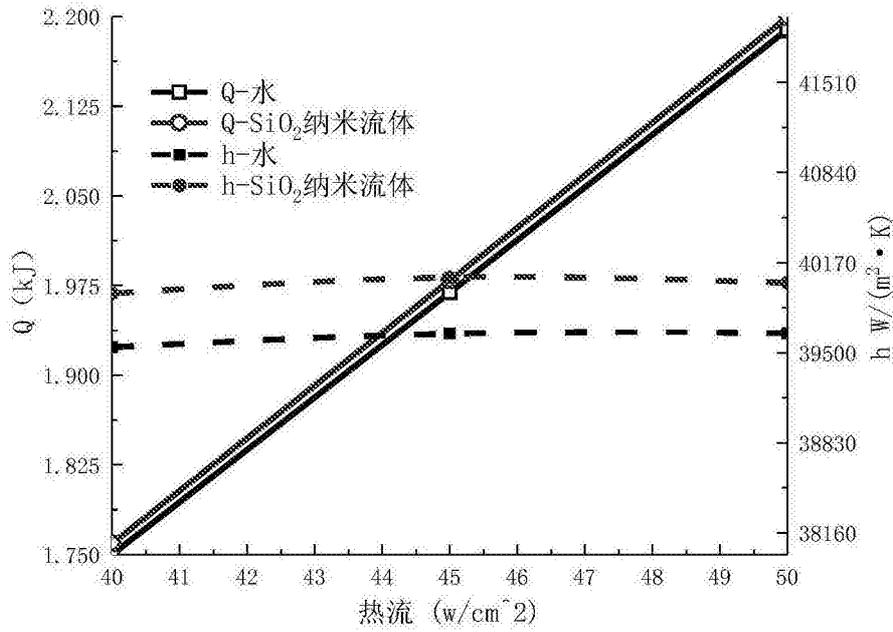


图15

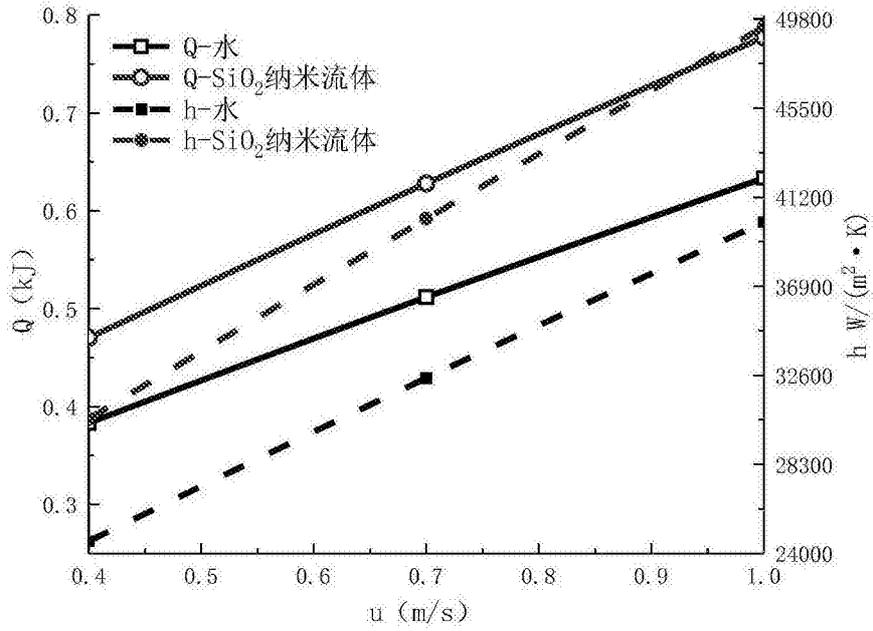


图16

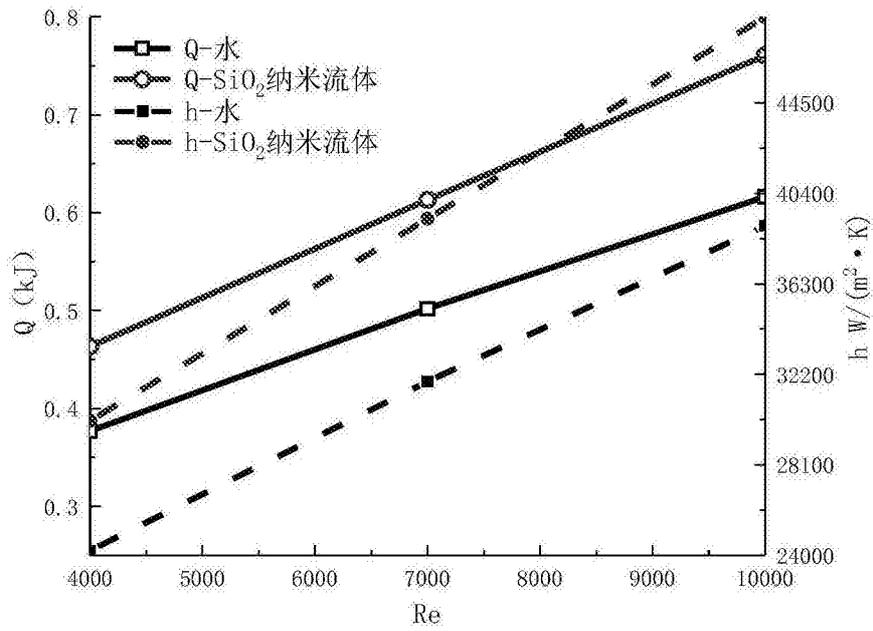


图17

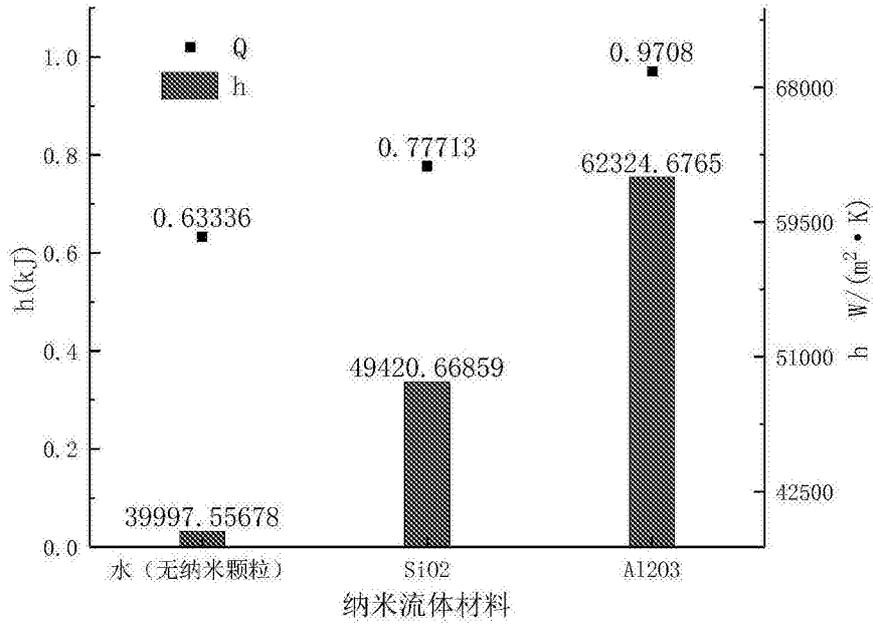


图18

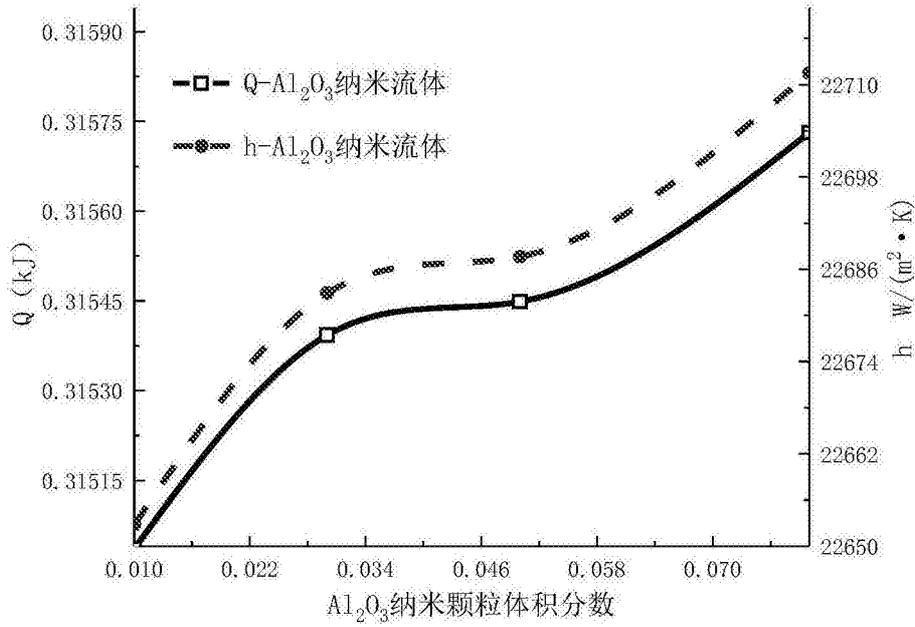


图19

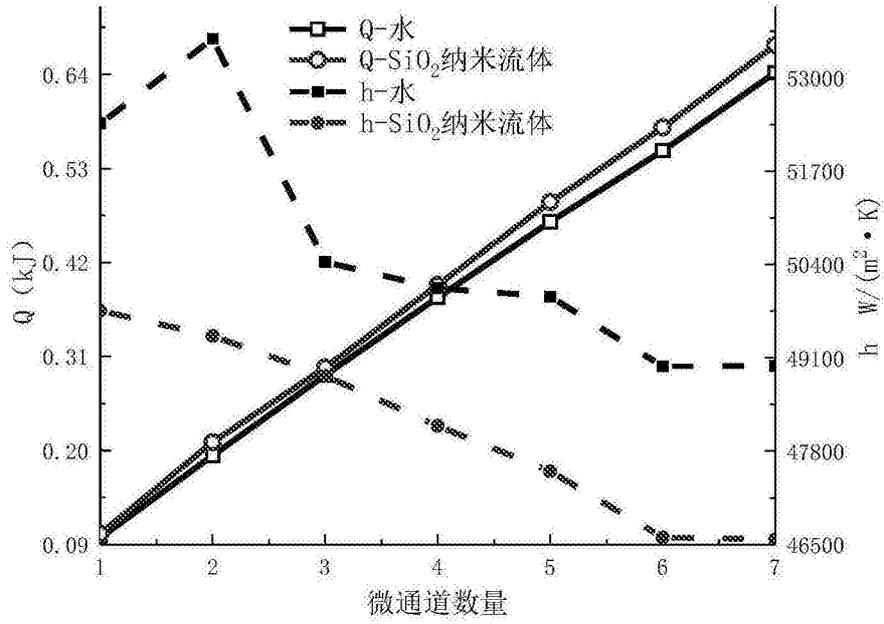


图20

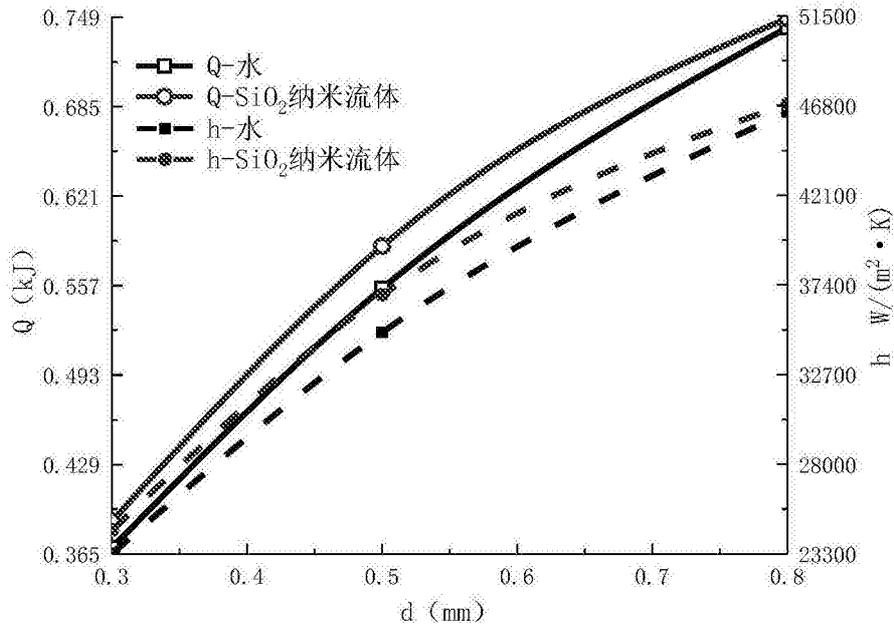


图21