



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117906675 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 19

(21) 申请号 202410062225.3

(22) 申请日 2024.01.16

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100089 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 李腾 孙文明 王超 葛逸飞

(74) 专利代理机构 北京维正专利代理有限公司
11508

专利代理师 卓凡

(51) Int. Cl.

G01D 21/02 (2006.01)

G01K 17/00 (2006.01)

G01L 19/00 (2006.01)

B64F 5/60 (2017.01)

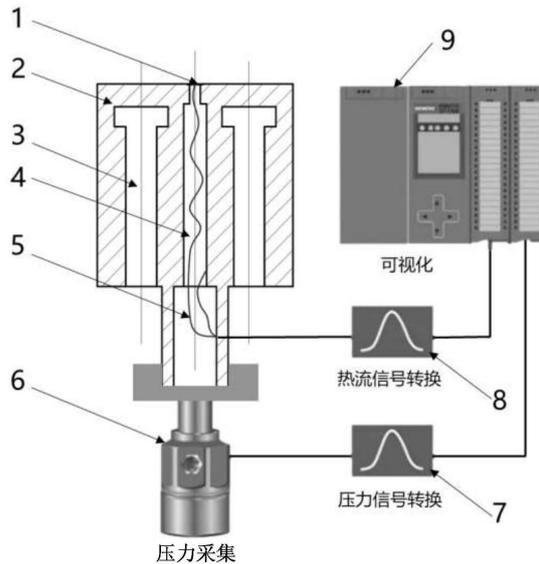
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种可测量当地静压的热流传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种可测量当地静压的热流传感器,包括:圆形箔片、热沉体、冷却槽道、集成信号测量通道、热流信号导线、压力采集装置、压力信号转换系统、热流信号转换系统、可视化系统;其特点是:所述集成信号测量通道在热流测量的基础上还集成了压力测量,能够同时测得相同位置的的压力信号和热流信号;本发明通过采用冷却槽技术,实现了快速响应的高热流测量;通过在常规辐射热流计箔片表面设计了开孔,使得箔片既能够实现导热功能,又能够实现大气通道的功能,从而消除了热流和压力测量的时空错位性,可同时测得相同位置的的压力和热流。



1. 一种可测量当地静压的热流传感器,包括:圆形箔片(1)、热沉体(2)、冷却槽道(3)、集成信号测量通道(4)、热流信号导线(5)、压力采集装置(6)、压力信号转换系统(7)、热流信号转换系统(8)、可视化系统(9);所述热沉体(2)由相对粗的上圆柱体和相对细的下圆柱体组成,热沉体(2)内设水冷槽道(3)和集成信号测量通道(4);所述集成信号测量通道(4)布设在热沉体(2)中心处并轴向贯穿热沉体(2)的两端;

其特征在于:

所述圆形箔片(1)上开有多个测压力的孔,圆形箔片(1)既用于导热,又作为测量压力的气体的入口;具体为:将所述圆形箔片(1)布设在所述集成信号测量通道(4)的上入口端,将所述热流信号导线(5)布设在圆形箔片(1)下表面中心处、用于传导圆形箔片(1)的热流信号、并将该热流信号通过热流信号转换器(8)传送到可视化系统(9)中;将所述压力采集装置(6)布设在集成信号测量通道(4)的下出口端,用于采集压力信号,并将压力信号通过压力信号转换器(7)发送给可视化系统(9)。

2. 根据权利要求1所述一种可测量当地静压的热流传感器,其特征在于:所述热沉体(2)内设的集成信号测量通道(4),按照直径由小到大分为上圆柱段,中圆柱段和下圆柱段,三个圆柱段具有相同的中心线;所述上圆柱段与所述圆形箔片(1)配合,所述中圆柱段、下圆柱段均作为容纳所述热流信号导线(5)的管道;上圆柱段和中圆柱段的交接处高于冷却槽道(3)的顶部,中圆柱段和下圆柱段的交接处与冷却槽道(3)的入口齐平,下圆柱段在冷却槽道(3)入口以下。

3. 根据权利要求2所述一种可测量当地静压的热流传感器,其特征在于:圆形箔片(1)的直径大于上圆柱段的直径,使得圆形箔片(1)和热沉体(2)具有较大的接触面积。

4. 根据权利要求2所述一种可测量当地静压的热流传感器,其特征在于:中圆柱段的直径大于上圆柱段并小于下圆柱段,中圆柱段的外径与冷却管道距离以避免与冷却管道发生干涉为标准。

5. 根据权利要求1所述一种可测量当地静压的热流传感器,其特征在于:在圆形箔片(1)上开有多个测压力的孔并不改变圆形箔片(1)的直径,圆形箔片(1)的直径根据所测热流范围计算而来。

6. 根据权利要求1所述一种可测量当地静压的热流传感器,其特征在于:所述圆形箔片(1)上开有多个测压力的孔,该孔包括圆孔,该多个测压力的圆孔围绕圆形箔片(1)中心点多圈布设,每一圈由多个圆孔组成,圆形箔片(1)圆孔的数量和圆孔的面积要兼顾圆形箔片(1)非开孔区域的导热面积和压力测量的响应速度。

一种可测量当地静压的热流传感器

技术领域

[0001] 本发明属于航空飞行器测量技术领域,尤其涉及一种可测量当地静压的热流传感器。

背景技术

[0002] 航空航天技术的发展使飞行器的速度实现了高超声速,高超声速的飞行器表面的热流密度达到了兆瓦量级。高保真和高响应进行超声速飞行器热流测量是做好热防护措施的基础条件。

[0003] 超声速飞行器热流测量的难点在于:飞行器完整度要求、压力和热流测量的空间一致性要求。

[0004] 飞行器完整度要求:在表面温度达到2000K的热环境下,飞行器高温区域一般使用复合材料,由于具有层状纤维,复合材料对表面的冲刷非常敏感。为延长飞行器使用寿命,需要尽量避免在复合材料表面开孔。

[0005] 压力和热流测量的空间一致性要求:前缘当地动压对复合材料的剥蚀效应具有显著影响。现有技术的压力测量和热流测量需要采用不同的传感器,这种测量方式存在空间上的错位性,尚不存在同步测量同一位置静压及热流的传感器的先例。

发明内容

[0006] 本发明为解决现有技术存在的问题,提出一种可测量当地静压的热流传感器。第一目的在于以现有开孔的基础上集成压力测量,减少多余开孔对复合材料的剥蚀效果,提高飞行器使用寿命;第二目的在于消灭热流和压力测量的空间错位性,可同时测得相同位置的压力和热流,为飞行器安全和仿真验证产生巨大价值。

[0007] 本发明为解决其技术问题采用以下技术方案:

[0008] 本发明设计了一种可测量当地静压的热流传感器,包括:圆形箔片1、热沉体2、冷却槽道3、集成信号测量通道4、热流信号导线5、压力采集装置6、压力信号转换系统7、热流信号转换系统8、可视化系统9;所述热沉体2由相对粗的上圆柱体和相对细的下圆柱体组成,热沉体2内设水冷槽道3和集成信号测量通道4;所述集成信号测量通道4布设在热沉体2中心处并轴向贯穿热沉体2的两端;

[0009] 其特点是:

[0010] 所述圆形箔片1上开有多个测压力的孔,圆形箔片1既用于导热,又作为测量压力的气体的入口;具体为:将所述圆形箔片1布设在所述集成信号测量通道4的上入口端,将所述热流信号导线5布设在圆形箔片1下表面中心处、用于传导圆形箔片1的热流信号、并将该热流信号通过热流信号转换器8传送到可视化系统9中;将所述压力采集装置6布设在集成信号测量通道4的下出口端,用于采集压力信号,并将压力信号通过压力信号转换器7发送给可视化系统9。

[0011] 进一步地,所述热沉体2内设的集成信号测量通道4,按照直径由小到大分为上圆

柱段,中圆柱段和下圆柱段,三个圆柱段具有相同的中心线;所述上圆柱段与所述圆形箔片1配合,所述中圆柱段、下圆柱段均作为容纳所述热流信号导线5的管道;上圆柱段和中圆柱段的交接处高于冷却槽道3的顶部,中圆柱段和下圆柱段的交接处与冷却槽道3的入口齐平,下圆柱段在冷却槽道3入口以下。

[0012] 进一步地,圆形箔片1的直径大于上圆柱段的直径,使得圆形箔片1和热沉体2具有较大的接触面积。

[0013] 进一步地,中圆柱段的直径大于上圆柱段并小于下圆柱段,中圆柱段的外径与冷却管道距离以避免与冷却管道发生干涉为标准。

[0014] 进一步地,在圆形箔片1上开有多个测压力的孔并不改变圆形箔片1的直径,圆形箔片1的直径根据所测热流范围计算而来。

[0015] 进一步地,所述圆形箔片1上开有多个测压力的孔,该孔包括圆孔,该多个测压力的圆孔围绕圆形箔片1中心点多圈布设,每一圈由多个圆孔组成,圆形箔片1圆孔的数量和圆孔的面积要兼顾圆形箔片1非开孔区域的导热面积和压力测量的响应速度。

[0016] 本发明的优点效果

[0017] 1、本发明通过在常规辐射热流计箔片表面设计开孔,在飞行器表面不引入破坏的情况下实现了类似于皮托管的设计,实现了对高温区域完整度的保护,减少多余开孔对复合材料的剥蚀效果,提高飞行器使用寿命。

[0018] 2、本发明通过在常规辐射热流计箔片表面设计了开孔,使得箔片既能够实现导热功能,又能够实现大气通道的功能,从而消除了热流和压力测量的空间错位性,可同时测得相同位置的压力和热流,为飞行器安全和仿真验证产生巨大价值。

[0019] 3、本发明装置制作成本低、所用介质环保安全:基体采用黄铜,箔片采用康铜,测量过程安全简便;

[0020] 4、本发明循环冷却效率高,装置轻量化程度高:冷却工质采用蒸馏水,安全可靠,无毒无害。基于优化设计的冷却槽道,能够高效带走箔片和基体上表面受到的热量,将箔片边缘长时间稳定在设定温度。同时,该方式不需要携带其他冷却工质,有利于减少冷却系统部件数量,实现轻量化;

[0021] 5、本发明紧凑性好,空间利用率高:本发明安装直径小于26mm,安装后可以与孔面保持平齐,对气动性能影响小。仅使用该孔面可以同时测量冷壁热流和当地压力,在实现设备轻量化的同时对延长飞行器使用寿命具有重要作用。

附图说明

[0022] 图1、本发明的应用场景图;

[0023] 图2、本发明的三维视图;

[0024] 图3、本发明的半剖视图;

[0025] 图4、本发明箔片的三维图;

[0026] 图5、本发明箔片的俯视图。

[0027] 图6、本发明热流传感器尺寸图。

[0028] 图中,1、圆形箔片;1-1、箔片孔;2、热沉体;3、冷却槽道;4、集成信号测量通道;5、热流信号导线;6、压力采集装置;7、压力信号转换系统;8、热流信号转换系统;9、可视化系

统。

具体实施方式

[0029] 本发明设计原理

[0030] 1、完整性设计原理:本发明和现有技术的区别在于:传统热流传感器只能测量热流,而本发明热流传感器同时兼做压力传感器、一器两用。本发明由于热流传感器同时兼做压力传感器,所以在飞行器上只开1个孔,开孔如图6所示,只需要在飞行器表面开一个能够安装直径为2.54厘米和高度为3.8厘米的一个孔即可,而现有技术如果又测量热流又测量压力,则需要在飞行器表面开2个孔,一个孔用于安装热流传感器,一个孔用于安装压力传感器。由于本发明将2个孔合并为1个孔,最大限度保证了飞行器的完整性。

[0031] 2、一致性设计原理。所述一致性就是热流传感器和压力传感器在空间上的一致性,现有技术需要在飞行器上开2个孔,这2个孔的位置不同,假设A孔测量热流,B孔测量压力,则B孔位置测得的压力并不代表A孔位置的压强,因为不在同一个位置;A孔位置的热流并不代表B孔位置的热流,因为也不在同一个位置。这就是空间上的错位。本发明一孔二用,上段圆柱、中段圆柱、下段圆柱共用一条轴线,圆形箔片的中心点也是压力测量的中心点,不存在中心点错位现象,从根本上解决了二种不同的传感器空间错位的问题。

[0032] 3、本发明设计难点:难点之一在于:传感器体积小和传感器多功能的矛盾。一方面要求热流传感器的体积越小越好,(因为体积小则飞行器表面开孔就小,破坏程度就小),另一方面热流传感器又增加了压力测量的功能。虽然在圆形箔片上开了多个孔,但圆形箔片的直径没有跟着扩大,还是2mm,这就使得圆形箔片的导热面积变小了,虽然导热面积变小了,但是热流传递的速度不能降低,这就是矛盾。本发明的解决方案是在圆形箔片的直径不变的情况下,增加热沉体和圆形箔片的接触面积,也就是将上段圆柱体的直径尽量小,只有1.4mm,圆形箔片的外圆到上段圆柱体的距离缩进去0.3mm,缩进去的部分就是增加的热沉体和圆形箔片的接触面积。难点之二在于:既要兼顾热流传递的效率又要兼顾压力响应的速度,后者希望开孔越大越好,开孔越大则压力响应速度越快,但是开孔过大就会“侵占”传热面积,因此在二者之间需要找到一个平衡点。本发明的解决方案是在圆形箔片上开多圈圆孔,第一,圆形箔片中心位置不能开孔,因为中心位置热量最高,热量最高的地方要布设热流导线。第二、圆形箔片的中心位置和圆形箔片的大半径之间要有连接的桥梁,以保证中心位置布设的导线能够将圆形箔片整体的热量传递给上位机。基于以上两点,本发明将开孔设计为:由多个小孔组成一圈的多圈孔的形式。这样,既能保证圆形箔片的中心位置不被破坏,又能保证在不破坏圆形箔片中心位置的情况,通过多个孔提高压力响应速度。

[0033] 4、冷却槽、完整性、一致性三者配合的技术

[0034] 当冷却功能、完整性功能、一致性功能融为一体的时候,如果处理不当,就会出现相互的干扰。例如,本发明的热流传感器自带冷却工质虽然便于散热,但是,由于整个热流传感器的直径只有2.5厘米,高度只有3.8厘米,导热通道和冷却管道距离太近就会相互干扰;将箔片上的热量导出时,希望导出通道越粗越好,越粗就越利于散热,但由于通道要经过冷却槽通道,当导热通道过粗时就会受到临近冷却槽通道的干扰;在圆形箔片上开孔时,如果开孔的数量或者孔的尺寸和压力传感器的直径不匹配,虽然开了孔,其效果可能达不到单独开孔测压力的效果。

[0035] 为了在冷却槽、完整性、一致性三者利益之间找到一个平衡点,本发明对集成信号测量通道的结构进行了优化。所述对集成信号测量通道结构的优化,就是将该集成信号测量通道的结构设计为上段圆柱、中段圆柱、下段圆柱的三阶梯的形状,上段圆柱相对很细、其直径小于箔片直径,是为了尽量增大热沉体和箔片的接触面积,由于热沉体散热快于箔片,当该接触面积增大时就利于导热;中段圆柱的直径小于下段圆柱的直径,是因为中段圆柱的旁边是冷却槽(上段圆柱不受冷却槽的干扰是因为上段圆柱在冷却槽以上),为了热流导线5穿过中段圆柱时不会受到旁边冷水槽的干扰,因此中段圆柱不能和冷却槽距离太近;为了传热快,尽量将集成信号测量通道的直径做粗,虽然上段圆柱、中段圆柱的直径受到限制,直径不能太大,但是下段圆柱的直径可以尽量加粗,因为下段圆柱的轴向空间已经脱离了冷却槽道的范围,因此,集成信号测量通道结构优化的结果是一个三阶梯的形状。三阶梯的最上层满足了尽量增大热沉体和箔片的接触面积的需求;三阶梯的中层满足了传热导线5不会受到冷却槽道干扰的需求;三阶梯的下层满足了导热通道尽量粗导热快的需求同时实现了热流计的减重需求。

[0036] 基于以上发明原理,本发明设计了一种可测量当地静压的热流传感器,如图1-6所示,包括:圆形箔片1、热沉体2、冷却槽道3、集成信号测量通道4、热流信号导线5、压力采集装置6、压力信号转换系统7、热流信号转换系统8、可视化系统9;所述热沉体2由相对粗的上圆柱体和相对细的下圆柱体组成,热沉体2内设水冷槽道3和集成信号测量通道4;所述集成信号测量通道4布设在热沉体2中心处并轴向贯穿热沉体2的两端;

[0037] 其特点是:

[0038] 所述圆形箔片1上开有多个测压力的孔,圆形箔片1既用于导热,又作为测量压力的气体的入口;具体为:将所述圆形箔片1布设在所述集成信号测量通道4的上入口端,将所述热流信号导线5布设在圆形箔片1下表面中心处、用于传导圆形箔片1的热流信号、并将该热流信号通过热流信号转换器8传送到可视化系统9中;将所述压力采集装置6布设在集成信号测量通道4的下出口端,用于采集压力信号,并将压力信号通过压力信号转换器7发送给可视化系统9。

[0039] 进一步地,如图3所示,所述热沉体2内设的集成信号测量通道4,按照直径由小到大分为上圆柱段,中圆柱段和下圆柱段,三个圆柱段具有相同的中心线;所述上圆柱段与所述圆形箔片1配合,所述中圆柱段、下圆柱段均作为容纳所述热流信号导线5的管道;上圆柱段和中圆柱段的交接处高于冷却槽道3的顶部,中圆柱段和下圆柱段的交接处与冷却槽道3的入口齐平,下圆柱段在冷却槽道3入口以下。

[0040] 进一步地,圆形箔片1的直径大于上圆柱段的直径,使得圆形箔片1和热沉体2具有较大的接触面积。

[0041] 进一步地,中圆柱段的直径大于上圆柱段并小于下圆柱段,中圆柱段的外径与冷却管道距离以避免与冷却管道发生干涉为标准。

[0042] 补充说明1

[0043] 上述“中圆柱段的外径与冷却管道距离以避免与冷却管道发生干涉为标准”。具体为:如图6所示,当热流传感器的直径为25.4mm,高为38mm时,所述圆形箔片1的直径优选2mm、所述圆柱上段的直径优选1.4mm,圆柱中段的直径优选3mm,圆柱下段的直径优选5.6mm;T字形冷却槽道3相对较宽的地方和圆柱中段的距离优选2mm。

[0044] 进一步地,在圆形箔片1上开有多个测压力的孔并不改变圆形箔片1的直径,圆形箔片1的直径根据所测热流范围计算而来。

[0045] 补充说明2

[0046] 所述圆形箔片1的直径根据所测热流范围计算而来,即是:在热流量程小于 $2\text{MW}/\text{m}^2$ 时,圆形箔片1的直径优选 2mm 。

[0047] 进一步地,所述圆形箔片1上开有多个测压力的孔,该孔包括圆孔,该多个测压力的圆孔围绕圆形箔片1中心点多圈布设,每一圈由多个圆孔组成,圆形箔片1圆孔的数量和圆孔的面积要兼顾圆形箔片1非开孔区域的导热面积和压力测量的响应速度。

[0048] 补充说明3

[0049] 上述“圆形箔片1圆孔的数量和圆孔的面积要兼顾圆形箔片1非开孔区域的导热面积和压力测量的响应速度”,具体为:如图4-5所示,当圆形箔片1非开孔区域的导热面积为 2.47m^2 时,箔片位置所开孔径为 0.24mm ,个数为15个,总面积为 0.67mm^2 。

[0050] 实施例一:飞行器大面积区域压力和热流测量

[0051] 高速飞行器巡航状态时,其前缘驻点热流达到 $10\text{MW}/\text{m}^2$ 量级,迎风面大面积热流达到 MW/m^2 量级,飞行器工作时间在小时量级。长时间的热环境使材料一般选择复合材料。复合材料由于具有层间纤维,开孔、当地温度、当地压力都会影响剥蚀速率,因此应尽量减少开孔的同时测量有效当地静压。

[0052] 本实例在常规辐射热流计箔片表面设计了开孔,使飞行器表面不引入破坏的情况下实现了类似于皮托管的设计,实现了对高温区域完整度的保护,提高了空间利用效率和飞行器使用寿命。通过箔片-热沉体一体化流固耦合仿真对箔片结构和热沉体结构进行了优化,增大了热流计量程和使用寿命。热流和压力的位置一致性也将对后续复合材料的改性研发提供可靠的数据支持。

[0053] 所述热流信号导线5为双引线,一条引线焊接在所述圆形箔片1的底面中心,另一条引线焊接在所述中圆柱段的内壁上;所述圆形箔片1的周边焊接在所述上圆柱段的顶部。

[0054] 取圆形箔片1中心温度上限为 190°C , $T_0=0^\circ\text{C}$,圆箔片中心对热沉体2最大温差 $\Delta T_{\text{max}}=190^\circ\text{C}$,最大输出电势约为 $10(9.02948)\text{mV}$ 。

[0055] 所述热沉体2采用黄铜,圆形箔片1采用康铜。

[0056] 需要强调的是,上述具体实施例仅仅是对本发明的解释,其并不是对本发明的限制,本领域技术人员在阅读完本说明书后可以根据需要对上述实施例做出没有创造性贡献的修改,但只要在本发明的权利要求范围内都受到专利法的保护。

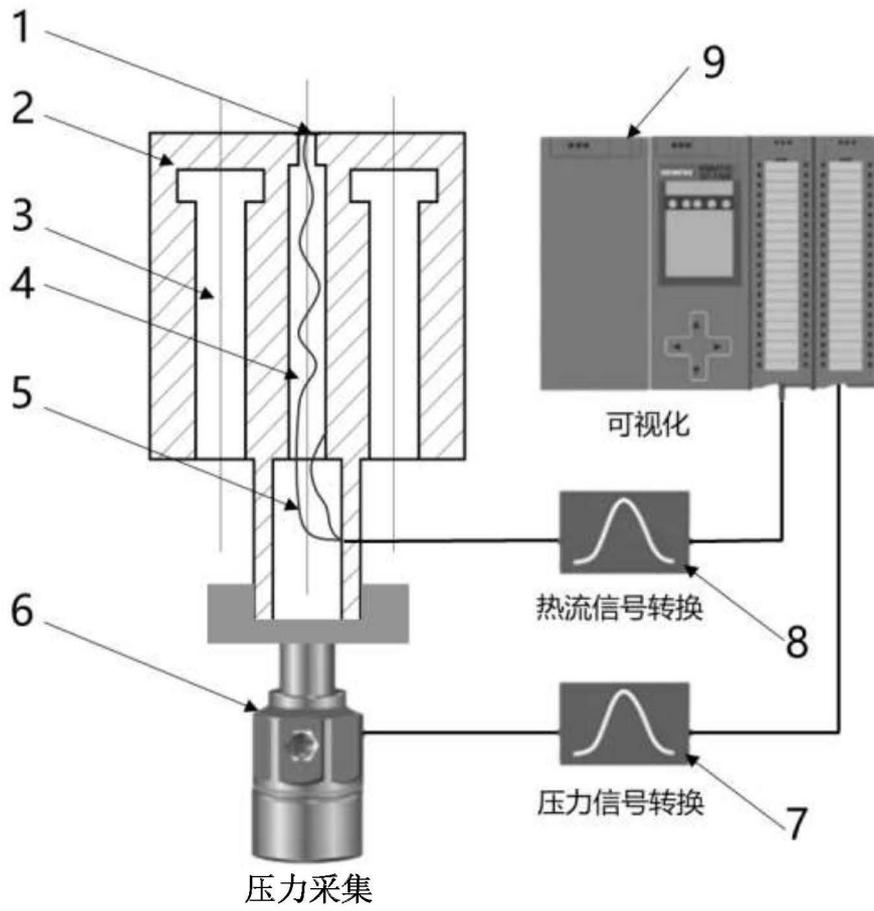


图1

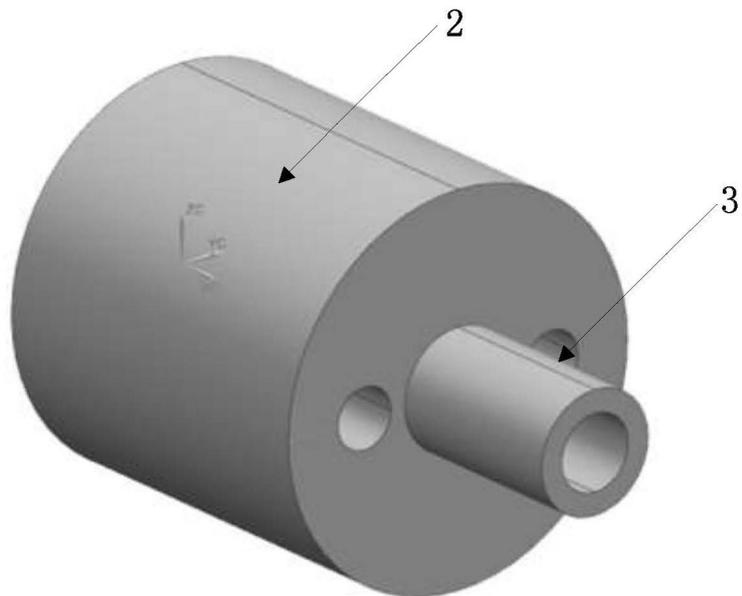


图2

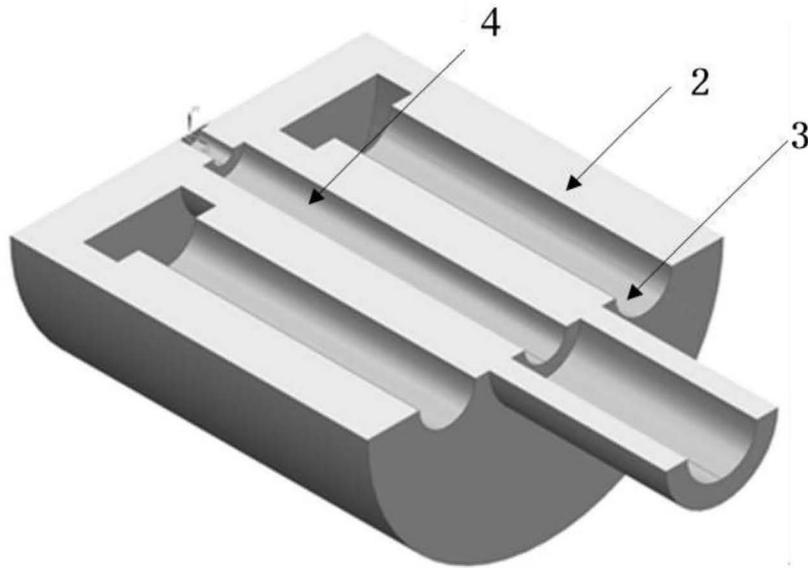


图3

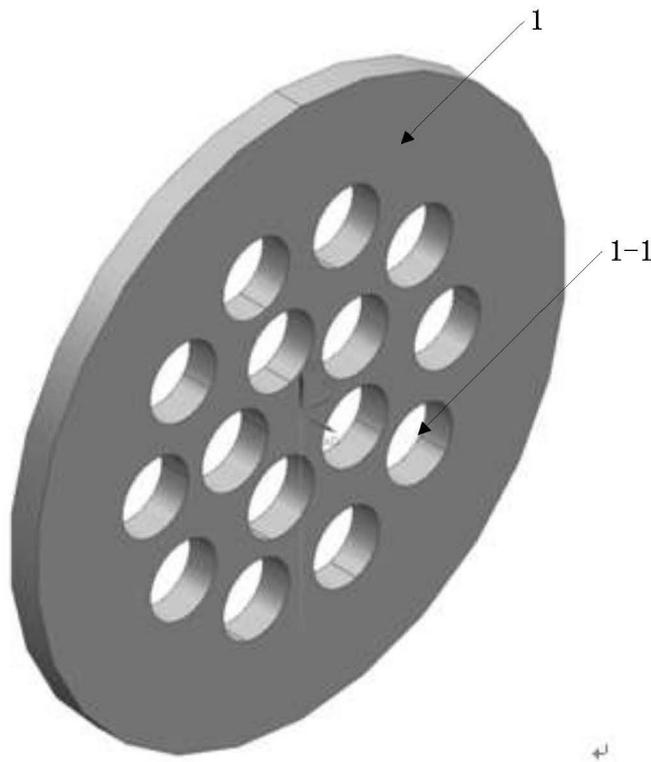


图4

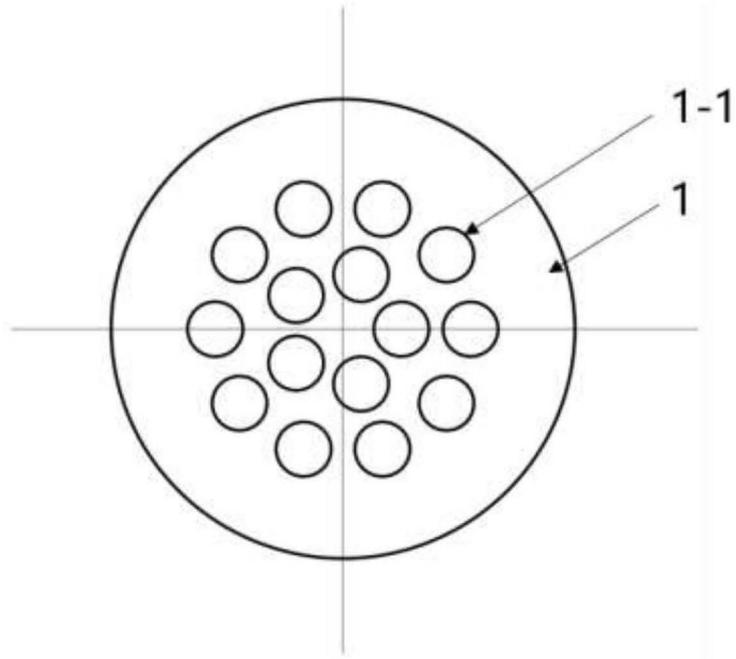


图5

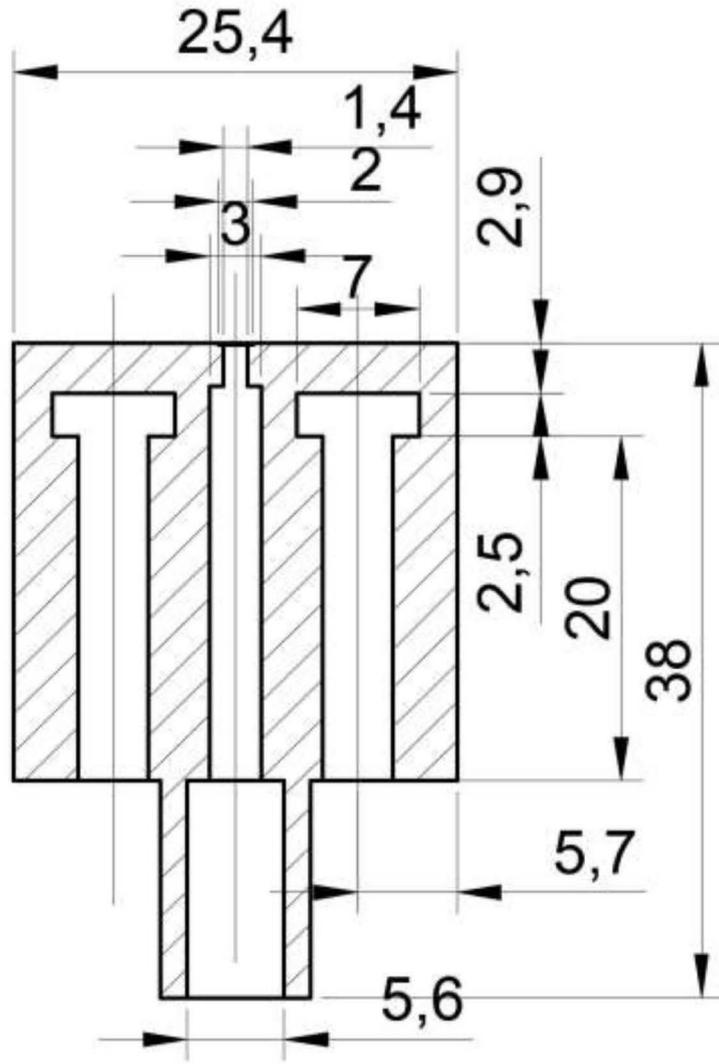


图6