



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103674556 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201310552308. 2

(22) 申请日 2013. 11. 08

(66) 本国优先权数据

201310421332. 2 2013. 09. 16 CN

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 袁越明 李龙 程迪 陆阳
卢锡年 范学军

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 王艺

(51) Int. Cl.

G01M 15/14(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102507194 A, 2012. 06. 20, 说明书第

[0022]-[0040] 段, 附图 1-2.

CN 101403654 A, 2009. 04. 08, 全文.

CN 202836968 U, 2013. 03. 27, 全文.

CN 2039416 U, 1989. 06. 14, 全文.

US 5152184 A, 1992. 10. 06, 全文.

吴大方等. 高超声速飞行器材料与结构气动热环境模拟方法及试验研究. 《航天器环境工程》. 2012, 第 29 卷(第 3 期), 第 254-255 页.

审查员 周群

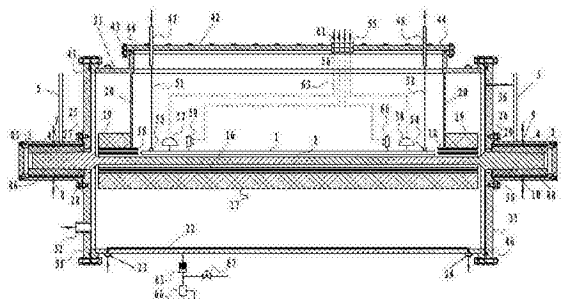
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于主动冷却实验的辐射加热装置

(57) 摘要

本发明公开一种用于主动冷却实验的辐射加热装置,其采用红外辐射的方式对冷却面板进行加热,包括:辐射加热元件、电极组件、保温隔热组件和箱体,辐射加热元件为石墨板状结构,位于冷却面板下部,其长度和宽度均大于冷却面板的长度和宽度,用于对冷却面板单侧均匀加热;电极组件位于所述辐射加热元件两端;保温隔热组件为U形,辐射加热元件位于所述保温隔热组件的凹槽内;辐射加热元件和保温隔热组件位于所述箱体内部,电极组件位于所述箱体的两端,箱体上设置有碳氢燃料的进口管道和出口管道。本发明能够对最大尺寸为 1000mm x 40mm 的冷却面板的下表面提供长大于 1000mm,宽大于 40mm,且热流密度高于 1Mw/m²的均匀辐射加热区,且在此辐射热流条件下可长时间持续工作。



CN 103674556 B

1. 一种用于主动冷却实验的辐射加热装置,其特征在于,采用红外辐射的方式对冷却面板进行加热,该辐射加热装置包括:辐射加热元件、电极组件、保温隔热组件和箱体,其中,所述辐射加热元件为石墨板状结构,位于冷却面板下部,并且所述辐射加热元件的长度和宽度均大于所述冷却面板的长度和宽度,所述辐射加热元件用于对冷却面板单侧均匀加热;所述电极组件位于所述辐射加热元件两端,所述辐射加热元件通过电极组件与供电设备连接;所述保温隔热组件为U形,所述辐射加热元件位于所述保温隔热组件的凹槽内;所述辐射加热元件和保温隔热组件位于所述箱体内部,所述电极组件位于所述箱体的两端,所述箱体上设置有碳氢燃料的进口管道和出口管道;

所述电极组件有两组,分别位于所述辐射加热元件两端,均包括导线、黄铜电极和石墨电极,其中,所述导线一端与黄铜电极相连,另一端与供电设备相连;所述黄铜电极通过石墨电极连接至辐射加热元件两端;

所述黄铜电极为双层圆筒状结构,夹层内设有水冷却槽道,用于电极冷却;所述黄铜电极圆筒内表面为细牙螺纹结构;所述石墨电极的材料为等静压石墨,为圆筒状结构,其外表面为细牙螺纹结构,与所述黄铜电极的内螺纹连接配合,保证二者接触面积大且紧密;所述石墨电极的内表面为具有 1° 锥角的曲面;所述辐射加热元件的两端相应地为 1° 锥角的圆台结构,所述圆台结构位于所述石墨电极中。

2. 如权利要求1所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述辐射加热元件的长度大于1000mm和宽度大于40mm,厚度 $H \geq 16\text{mm}$ 。

3. 如权利要求1所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述保温隔热组件包括隔热屏和隔热层,其中,所述隔热屏和隔热层均为U形,所述隔热屏位于内层,采用石墨毡材料;所述隔热层位于外层,采用高硅氧布纤维材料。

4. 如权利要求1~3中任意一项所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述箱体为圆筒结构,为不锈钢材料,其内表面设置有冷却水管道。

5. 如权利要求1所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述箱体上设置有抽真空管道接口和氮气管道接口。

6. 如权利要求1所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述箱体上设置有排线插座。

7. 如权利要求1~3,5~6中任意一项所述的辐射加热装置,其特征在于,

所述箱体上设置有观察窗。

一种用于主动冷却实验的辐射加热装置

技术领域

[0001] 本发明涉及超燃冲压发动机实验领域,特别涉及一种用于主动冷却实验的辐射加热装置。

背景技术

[0002] 超声速飞行过程中,在高马赫数下飞行器外表面的温度将超出许多常用轻质材料的许用温度,再加上燃烧室内有氧气和强气流冲刷的环境,常规的结构材料在没有冷却的条件下难以长时间工作。

[0003] 针对高超声速飞行面临的热环境,主动冷却技术被提出用以解决超燃冲压发动机的热防护问题,即利用机载燃料流过开在燃烧室壁板内的冷却通道冷却燃烧室壁面,然后再将其喷注到燃烧室内燃烧。超燃发动机以液态碳氢化合物作为燃料,如煤油。煤油经冷却通道流动吸热至超临界态,进入燃烧室后将直接气化。若煤油被加热至超过裂解温度,煤油开始裂解产生小分子烃,不仅能够有效促进燃烧,而且能够提高煤油热沉,从而使得发动机的运行性能得到显著优化。因此,研究主动冷却系统,需从实验方面探索碳氢燃料在冷却通道中的流动与传热特性。

[0004] 能够模拟超燃冲压发动机真实热环境的典型实验设备有直联式超燃实验台和高温射流风洞,但这些大设备难以对热环境参数精确控制,运行成本高昂也不利于反复多次进行实验。一些能够精确控制热流条件的实验装置多以金属圆管模拟冷却通道,并通电加热的方式。这种方式圆管四周热流分布均匀,与实际超燃冲压发动机冷却面板为单侧加载热流的情况截然不同,因此无法模拟超燃冲压发动机真实热环境。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题就是克服现有技术的缺陷,提出一种用于主动冷却实验的辐射加热装置,为离线测试主动冷却面板中的碳氢燃料在热流单侧加载条件下的物性、流动与换热特性,提供模拟超燃冲压发动机真实热环境的高热流和单侧加载条件。

[0006] 为了解决上述问题,本发明提供一种用于主动冷却实验的辐射加热装置,其采用红外辐射的方式对冷却面板进行加热,该辐射加热装置包括:辐射加热元件、电极组件、保温隔热组件和箱体,其中,所述辐射加热元件为石墨板状结构,位于冷却面板下部,并且所述辐射加热元件的长度和宽度均大于所述冷却面板的长度和宽度,所述辐射加热元件用于对冷却面板单侧均匀加热;所述电极组件位于所述辐射加热元件两端,所述辐射加热元件通过电极组件与供电设备连接;所述保温隔热组件为U形,所述辐射加热元件位于所述保温隔热组件的凹槽内;所述辐射加热元件和保温隔热组件位于所述箱体内部,所述电极组件位于所述箱体的两端,所述箱体上设置有碳氢燃料的进口管道和出口管道。

[0007] 优选地,所述辐射加热元件的长度大于1000mm和宽度大于40mm,厚度 $H \geq 16\text{mm}$ 。

[0008] 优选地,所述电极组件有两组,分别位于所述辐射加热元件两端,均包括导线、黄铜电极和石墨电极,其中,所述导线一端与黄铜电极相连,另一端与供电设备相连;所述黄

铜电极通过石墨电极连接至辐射加热元件两端。

[0009] 优选地,所述黄铜电极为双层圆筒状结构,夹层内设有水冷却槽道,用于电极冷却;所述黄铜电极圆筒内表面为细牙螺纹结构;所述石墨电极的材料为等静压石墨,为圆筒状结构,其外表面为细牙螺纹结构,与所述黄铜电极的内螺纹连接配合,保证二者接触面积大且紧密;所述石墨电极的内表面为具有 1° 锥角的曲面;所述辐射加热元件的两端相应地为 1° 锥角的圆台结构,所述圆台结构位于所述石墨电极中。

[0010] 优选地,所述保温隔热组件包括隔热屏和隔热层,其中,所述隔热屏和隔热层均为U形,所述隔热屏位于内层,采用石墨毡材料;所述隔热层位于外层,采用高硅氧布纤维材料。

[0011] 优选地,所述箱体为圆筒结构,为不锈钢材料,其内表面设置有冷却水管道。

[0012] 优选地,所述箱体上设置有抽真空管道接口和氮气管道接口。

[0013] 优选地,所述箱体上设置有排线插座。

[0014] 优选地,所述箱体上设置有观察窗。

[0015] 本发明为离线测试主动冷却面板中碳氢燃料在热流单侧加载条件下的物性、流动与换热特性,提供模拟超燃冲压发动机真实热环境的高热流和单侧加载条件。本发明的辐射加热装置能够对最大尺寸为 $1000\text{mm}\times 40\text{mm}$ 的冷却面板的下表面提供长大于 1000mm ,宽大于 40mm ,且热流密度高于 $1\text{Mw}/\text{m}^2$ 的均匀辐射加热区,且在此辐射热流条件下可长时间持续工作。

附图说明

[0016] 图1为本发明实施例的辐射加热装置的结构示意图;

[0017] 图2为本发明实施例的辐射加热装置电极组件安装结构示意图;

[0018] 图3为本发明实施例的U形保温隔热组件的剖面视图。

具体实施方式

[0019] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0020] 本发明实施例的辐射加热装置,采用红外辐射的方式对冷却面板进行加热,该辐射加热装置包括:辐射加热元件、电极组件、保温隔热组件和箱体,其中,所述辐射加热元件为石墨板状结构,位于冷却面板下部,并且所述辐射加热元件的长度和宽度均大于所述冷却面板的长度和宽度,所述辐射加热元件用于对冷却面板单侧均匀加热;所述电极组件位于所述辐射加热元件两端,所述辐射加热元件通过电极组件与供电设备连接;所述保温隔热组件为U形,所述辐射加热元件位于所述保温隔热组件的凹槽内;所述辐射加热元件和保温隔热组件位于所述箱体内部,所述电极组件位于所述箱体的两端,所述箱体上设置有碳氢燃料的进口管道和出口管道、排线插座、观察窗、抽真空管道接口、氮气管道接口以及进/出冷却水管道接口。

[0021] 本发明实施例的主动冷却实验的辐射加热装置,其结构示意图如图1所示。该辐射加热装置采用红外辐射的方式对冷却面板1(也称为主动冷却面板)进行高热流长时间单侧加热。由于冷却面板1为板状结构,最大尺寸为 $1000\text{mm}\times 40\text{mm}$,为了保证冷却面板1所

受辐射均匀,辐射加热元件 2 为板状结构,冷却面板 1 位于辐射加热元件 2 上方中央区域,其长 L 和宽 W 分别满足 $L > 1000\text{mm}$ 和 $W > 40\text{mm}$, L 和 W 越大,其对冷却面板 1 的辐射角系数越大。若辐射加热元件 2 的上表面对冷却面板 1 的下表面提供的 $1\text{Mw}/\text{m}^2$ 辐射热流,则对于发射率为 1 的黑体来说,该热流密度对应的表面温度约为 1776.3°C ,因此辐射加热元件 2 的材料须至少在这个温度下能够正常工作。故选用耐高温、热密度大的高纯石墨作为辐射加热元件 2 的材料。为了保证辐射加热元件(也称为石墨加热板) 2 在高温时具有足够的强度,石墨加热板 2 的厚度 $H \geq 16\text{mm}$ 。

[0022] 石墨加热板 2 依次通过其两端的石墨电极 3,黄铜电极 4,导线 5 连接至供电设备,从而形成通电回路。导线 5 为紫铜板导线,具有纯度高、导电性能好的特点,通过增大紫铜板导线 5 的横截面积减小电阻,使其消耗的功率为石墨加热板 2 上消耗功率的 1%。本实施例中黄铜电极 4 采用水冷黄铜电极。紫铜板导线 5 与水冷黄铜电极 4 焊接连接。为了避免水冷黄铜电极 4 与石墨加热板 2 直接接触增大石墨加热板的热损失,辐射加热装置中水冷黄铜电极 4 与石墨加热板 2 之间通过石墨电极 3 过渡连接。

[0023] 为了减小石墨电极 3 与水冷黄铜电极 4 之间的接触电阻,可采用螺纹连接的方式保证其二者接触紧密且具有较大的接触面积。而石墨加热板 2 与之石墨电极 3 间接触紧密,则是依靠石墨加热板 2 两端设计的圆台结构与石墨电极 3 内与圆台相同锥角的曲面结构在通电加热的情况下热膨胀变形导致相互挤压实现。水冷黄铜电极 4 加工为双层圆筒状结构,内设 20 根冷却槽道如 85,每根槽道直径 $\phi 2\text{mm}$ 。黄铜电极 4 上的进口冷却水管 8、10 和出口冷却水管 7 和 9 的管径为 $\phi 10\text{mm}$,材料为不锈钢管。

[0024] 电极组件结构示意图如图 2 所示。水冷黄铜电极 4 圆筒内表面加工为细牙螺纹。石墨电极 3 的材料为强度好、发热率低的等静压石墨,同样将其加工为圆筒状结构,外表面加工为细牙螺纹结构,与黄铜电极 4 的内螺纹连接配合,保证二者接触面积大且紧密。同时,石墨电极 3 内表面设计为 1° 锥角的曲面。石墨加热板 2 两端相应设计为 1° 锥角的圆台结构 204。安装时,将石墨加热板 2 的两端分别插入石墨电极 3 当中。当石墨加热板 2 升温时沿轴向发生热膨胀,石墨加热板 2 两端圆台 204 与石墨电极 3 内表面相互挤压,从而保证石墨加热板 2 两端圆台 204 与石墨电极 3 内表面紧密接触。

[0025] 考虑石墨加热板 2 轴线方向膨胀变形,石墨电极 3 的 1° 锥角的内表面沿轴线方向的长度应长于圆台的长度,为石墨加热板 2 轴向变形留出伸长空间。经查表可知:高纯石墨在 $20 \sim 100^\circ\text{C}$ 温度范围内,沿轴线(即平行于挤压层)方向的热膨胀系数为 $\alpha_0 = 1.97 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,温度达到 2000°C 左右时,此热膨胀系数还需在 $20 \sim 100^\circ\text{C}$ 区间测定的热膨胀系数基础上加一个附加系数 $\alpha_\Delta = 2.12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,因此可得高纯石墨在 2000°C 左右时热膨胀系数为 $\alpha_{2000} = 4.09 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,如令石墨加热板 2 长度 $L = 1300\text{mm}$,升温范围从 20°C 到 2000°C ,计算可知石墨加热板 2 沿轴向的变形量 ΔL 为 $\Delta L = \alpha_{2000} L \Delta T = 9.52\text{mm}$,因而可设计石墨电极 3 轴线方向比石墨加热板 2 两端圆台 204 长 15mm 。为了减小石墨加热板 2 与石墨电极 3 的接触电阻,石墨加热板 2 两端圆台 204 与石墨电极 3 的接触面积(即圆台侧面积)设计为石墨加热板 2 横截面积的 30 倍。在石墨加热板 2 两端的圆台 204 端面上开深槽 206 来释放挤压过程所产生的应力。为了防止出现棱角造成应力集中,石墨加热板 2 矩形横截面与两端圆台 204 的圆截面之间平滑过渡 205。

[0026] 由于辐射加热元件 2 为石墨板状结构,且只有上表面对冷却面板 1 单侧加载辐射

热流,而另外他三个表面均为非有效辐射表面,需尽可能的减小其辐射损失。因此,该加热装置的设计有 U 形保温隔热组件。保温隔热组件由隔热屏 16 和隔热层 17 组成。U 形保温隔热组件内表面沿与石墨加热板 2 非有效工作表面平行,沿加热板轴线方向的长度与石墨加热板 2 长度 L 相同(该长度 L 不包括圆台 204 部分)。图 3 为保温隔热组件的侧视图,内层为 U 形隔热屏 16,选用热导率小、耐热冲击性能好、易于加工的石墨毡材料制成。外层为 U 形隔热层 17,由导热系数低的高硅氧布纤维组成。U 形隔热屏 16 内层与石墨加热板 2 相邻的三个表面分别与石墨加热板 2 的三个非有效辐射表面(即两个侧面和底面)平行。石墨加热板 2 与隔热屏 16,以及各屏相邻表面之间通过辐射的方式换热。最外层隔热屏 16 与高硅氧布隔热层 17 相互接触,因此二者之间通过热传导的方式换热。石墨加热板 2 对冷却面板 1 进行单侧加热时,石墨加热板 2 的非有效工作表面与 U 形隔热屏 16 最内层各表面之间开始进行辐射换热,当达到辐射换热平衡时,石墨加热板 2 非有效表面的辐射损失不足加热板 2 上表面辐射功率的 1%,故可以忽略不计,从而有效降低了石墨加热板 2 非有效工作面的辐射损失。进一步,为了防止从石墨加热板 2 两端相比冷却面板 1 长出的部分直接对辐射加热装置的外壳腔体 21 或冷却面板 1 进出碳氢燃料的管道 51、52 进行辐射,造成对设备损坏或影响实验测量结果,在加热板 2 两端沿上表面法线方向由内向外依次用隔热屏 18 和隔热层 19 将其遮挡,并且利用石墨挡板 20 将该隔热屏 18 和隔热层 19 与工作区之间隔开。

[0027] 由于辐射加热装置是在高温真空中工作,因此辐射加热装置的箱体 21 采用强度高的圆筒状结构,选用可焊性好、加工性能好、机械强度高的不锈钢板作为箱体外壳材料。辐射加热装置的箱体 21,由不锈钢板卷筒后焊接而成,内表面分布有冷却管道 22,箱体底部外壳上设置的冷却水进口管道 23 和冷却水出口管道 24 的管径为 $\phi 20\text{mm}$,可采用 $\phi 26 \times 3$ 的紫铜管与箱体焊接密封,从而确保辐射加热装置对冷却面板高温加热时箱体外壳不会出现局部过热或烧坏等现象。箱体两端采用法兰结构 25 和 26 与电极组件相连,并采用耐高温的氟胶圈密封 27。为了防止石墨加热板 2、冷却面板 1 在高温下被氧化,在箱体左侧法兰 31 上设有抽真空管道接口 32。该管道接口 32 采用紫铜管道,与法兰 31 之间采用焊接密封,该抽真空管道接口连至抽真空设备。在箱体 21 内充入一定压力的氮气,可以防止箱体内部在高温加热过程中辉光放电,同时抑制石墨加热板在高温下蒸发,延长其使用寿命。因此在箱体右侧端面的法兰 35 上设置氮气管道 36,氮气管道 36 采用 $\phi 6 \times 1$ 的紫铜管,与箱体连接处采用焊接的方式密封。在箱体 21 底部设有单向阀 65、溢流阀 66 和手动放气阀 67,当辐射加热装置内部压力过高(即已经超过某个预设最高压力时),溢流阀 66 起到卸荷保护的作用,同时也可以通过手动阀 67 排放辐射加热装置内部气体从而起到卸荷的作用。单向阀 65 则防止箱内为负压时,误开手动放气阀 67 而导致箱外气体倒灌至箱体 21 中。

[0028] 冷却面板 1 正上方为辐射加热装置的顶盖 42,顶盖 42 与圆筒箱体 21 之间采用法兰 43 连接,硅橡胶密封 44。顶盖 42 上设有液态碳氢燃料的进口管道 47 和出口管道 48,均采用不锈钢管与顶盖 42 外部焊接密封连接。箱体外侧碳氢燃料进、出口 47 和 48 分别与燃料供应装置和热燃料收集装置连接,而顶盖内侧则采用一条不锈钢直管 51 将顶盖 42 上的内侧碳氢燃料进口 47 与冷却面板 1 上的碳氢燃料进口 53 连接。采用另一条不锈钢直管 52 将顶盖上的内侧碳氢燃料出口管道 48 与冷却面板 1 上的碳氢燃料出口 54 连接。实验时,燃料从燃料供应装置流出进入被单侧加热的冷却面板 1,再从面板另一端出口 54 流出,进而

流入燃料收集装置,形成燃料流动回路。为了进一步测试在高热流单侧加载条件下冷却面板 1 内碳氢燃料的流动换热特性,需要在实验过程中直接测量冷却面板 1 进口 53、出口 54 处碳氢燃料的温度、压力以及冷却面板 1 辐射热流加载表面与非热流加载表面的温度分布等参数。故在顶盖 42 上安装排线插座 55。箱体内部管脚 56 分别与冷却面板 1 上所安装的热电偶 57、58 和压力传感器 59、60 引线相连接,而箱体外部管脚 61 则直接通过缆线连至信号采集装置,记录实验数据。辐射加热装置通过红外测温仪进行反馈控温。红外测温仪通过辐射加热装置箱体侧面的观察窗来测量石墨加热板侧表面水平中心位置的实时温度,其测温范围为 750 ~ 3000℃。红外测温仪的输出信号与 PID 温度控制装置相连接, PID 温度控制装置则通过对实测温度与目标温度进行比较,来控制电源提供的加热电压大小。因此,需在辐射加热装置的箱体侧面正对石墨加热板侧面水平中心的位置开设观察窗,方便红外测温仪测量温度。观察窗与箱体之间通过法兰连接,采用硅橡胶密封圈进行密封。由于石墨加热板的辐射温度在 2000℃左右,因此选用性能优良的石英玻璃作为观察窗的材料。采用六方氮化硼陶瓷管作为通光孔,其一端与安装观察窗的法兰螺纹连接,另一端穿过隔热层 16 和隔热屏 17 后对准石墨加热板侧面水平中心位置。六方氮化硼具有耐高温、导热率高、热膨胀系数小、可承受温度的急剧变化等良好的热性能,可使其温度很容易与石墨加热板温度相近,因此可以减小红外测温仪的测量误差。

[0029] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

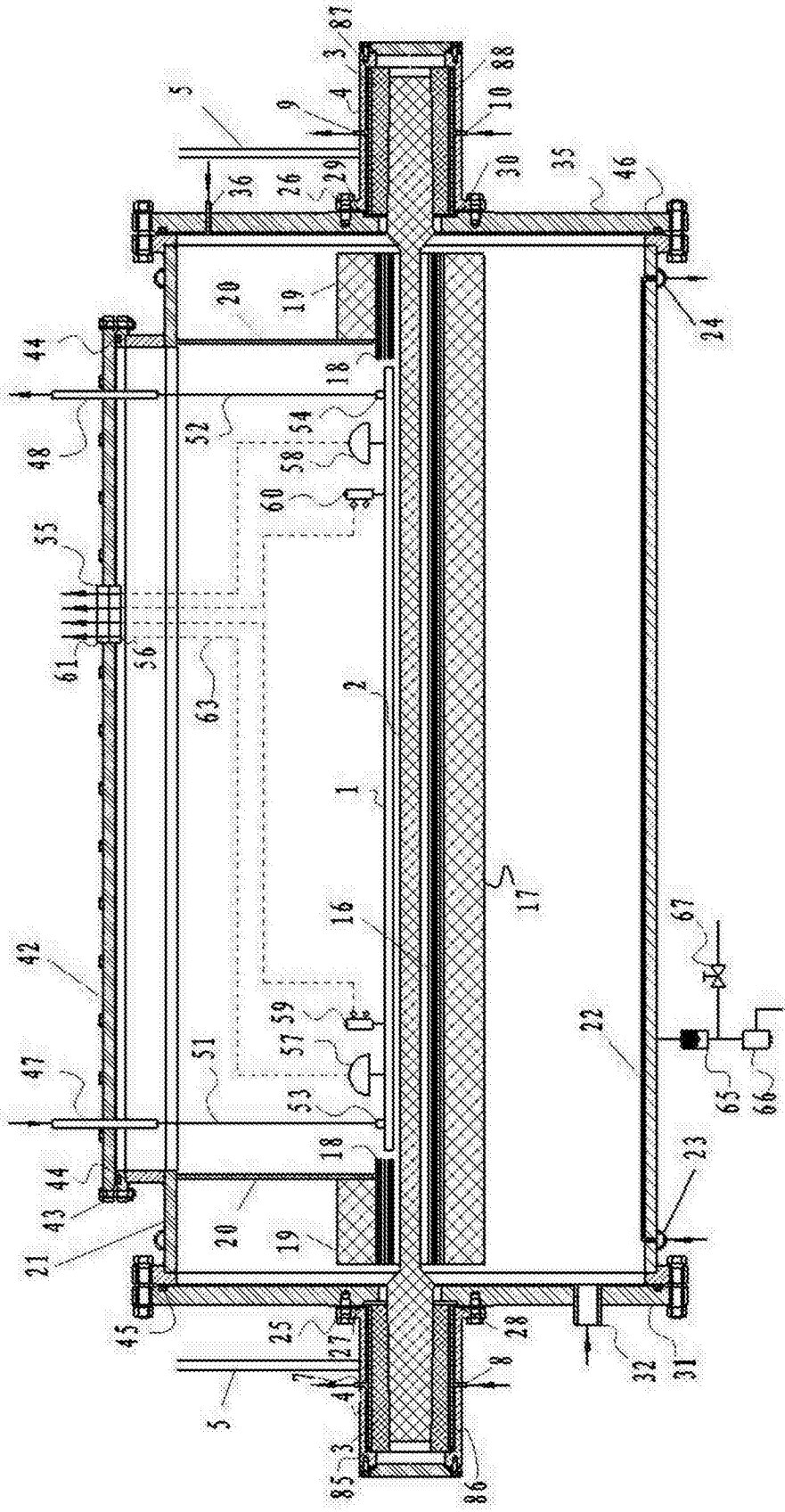


图 1

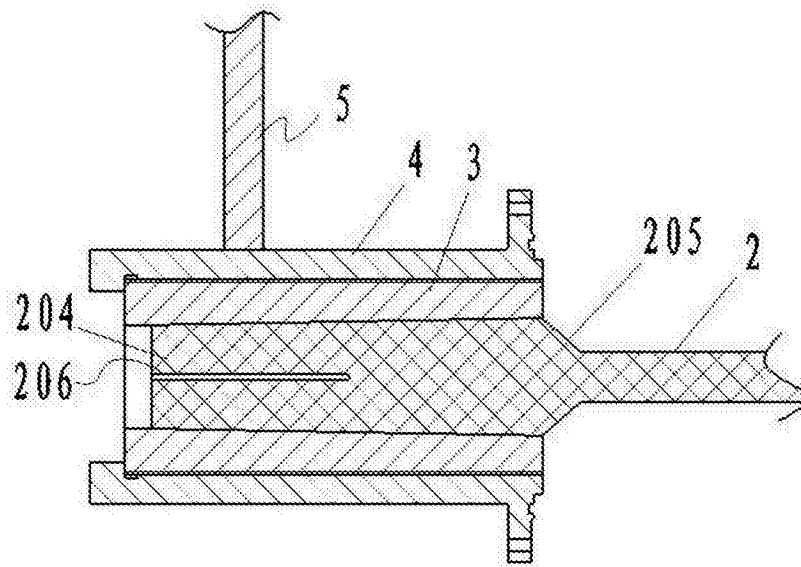


图 2

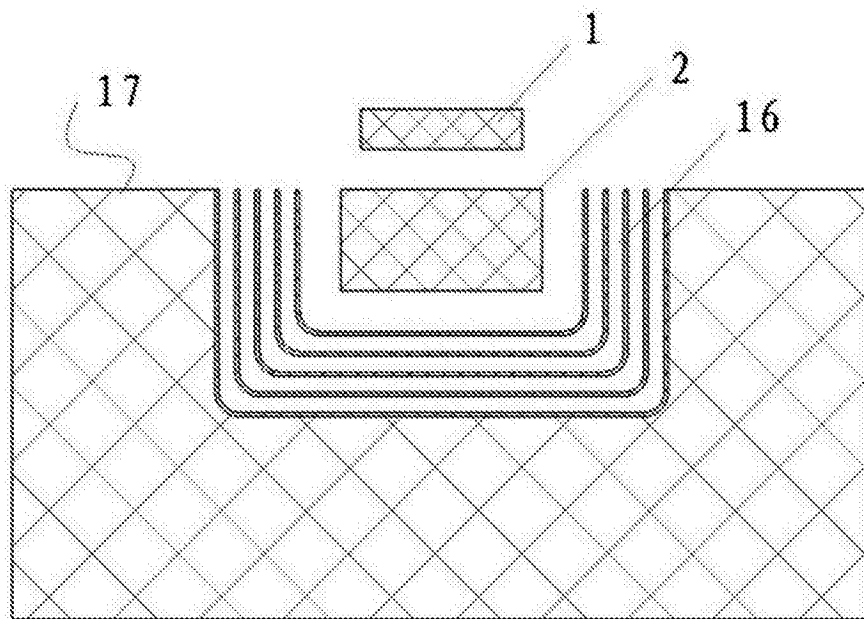


图 3