

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101692368 A

(43) 申请公布日 2010.04.07

(21) 申请号 200910185135.9

(22) 申请日 2009.09.30

(71) 申请人 中国科学院等离子体物理研究所
地址 230031 安徽省合肥市蜀山湖路 350 号

(72) 发明人 汪良斌 黄廷庆 周超

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理
有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

H01F 6/00 (2006.01)

H05H 1/02 (2006.01)

H05H 11/00 (2006.01)

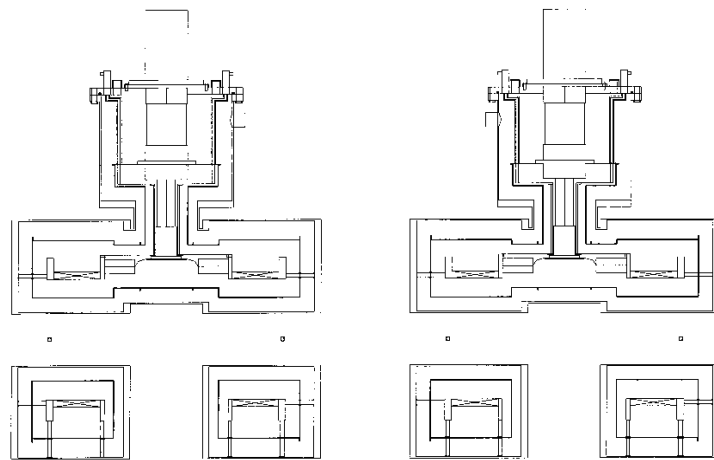
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统

(57) 摘要

本发明公开了一种磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统,包括有两个磁镜单元,两个磁镜单元结构相同,每一个磁镜单元均包括杜瓦筒体和两个高温超导磁体,每一个磁镜单元中均使用一个制冷机冷却两个高温超导磁体。本发明利用传导冷却的方式替代低温液体冷却,使用一个制冷机传导冷却两个超导磁体,极大简化了结构,实现了高真空,解脱了对液氦的依赖和高成本运行。它省去了低温液体冷却方式中庞大的低温系统与设备,同时消除了低温液体蒸发所带来的危险,而且可以将磁体降温到 77K 以下,提高磁体的临界电流来实现高磁场,从而使超导低温系统紧凑、高效、安全、方便,有利于实现超导器件与低温装置一体化。



1. 磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，包括有两个磁镜单元，其特征在于：两个磁镜单元结构相同，每一个磁镜单元均包括杜瓦筒体和两个高温超导磁体，所述杜瓦筒体具有一中空环形筒体，环形筒体中部上方还连接有一个圆柱形筒体，环形筒体中间为室温孔；所有杜瓦筒体中固定安装有环筒形状的铜冷屏，铜冷屏内左、右两侧分别安装有高温超导磁体；环形筒体外侧有端盖，铜冷屏两端安装有铜冷屏侧盖，杜瓦筒体中间的圆柱形筒体有上盖法兰，其内部铜冷屏安装有铜冷屏上盖；圆柱形筒体的上盖法兰与其内部的铜冷屏上盖上均设有安装制冷机的接口，制冷机冷头通过所述的接口安装于圆柱形筒体内；除了圆柱形筒体的上盖法兰与圆柱形筒体上端是采用螺栓连接，端盖与杜瓦筒体之间、杜瓦筒体的环形筒体与圆柱形筒体之间的结合部均采用焊接相连；铜冷屏侧盖和与侧盖最近的环形筒体端盖之间安装有端盖支撑杆，端盖支撑杆一端连接超导磁体，杜瓦筒体与铜冷屏筒体之间安装有筒体支撑杆，筒体支撑杆一端连接超导磁体；中间圆柱形筒体上有真空抽口，杜瓦筒体上盖法兰上安装有测量接口、电流引线接口，杜瓦筒体中处于真空状态，制冷机冷头与超导磁体之间采用软无氧铜导冷辫连接；铜电流引线与高温超导磁体连接，再将高温超导电流引线与铜电流引线连接，安装于冷屏上盖上的电流引线接口内的铜电流外引线在经过热沉后连接到高温超导电流引线。

2. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的高温超导磁体系统由两个磁镜单元组成，每一个磁镜单元中均使用一个制冷机冷却两个高温超导磁体。

3. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的放置制冷机的圆柱形筒体上盖法兰与圆柱形筒体之间有弹性减震垫片。

4. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的圆柱形筒体上盖法兰与杜瓦筒体材料是不锈钢、铝合金和钛合金。

5. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的高温超导磁体是由稀土-钡铜氧或铋锶钙铜氧带绕制而成。

6. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的端盖支撑杆、筒体支撑杆均采用环氧玻璃钢材料。

7. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的室温孔为同心室温孔。

8. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述的铜冷屏壳体外壁和铜冷屏上盖上开有条形槽，铜冷屏外壁附有绝热材料；高温超导磁体内、外壁均附有绝热材料。

9. 根据权利要求1所述的磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，其特征在于所述高温超导电流引线采用铜-高温超导体-铜二元复合结构。

磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种提供磁场的系统装置，属于低温工程和超导应用领域，是一种磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，使用传导冷却高温超导磁体，提供磁场，促进磁约束等离子体推进器的研究。

背景技术：

[0002] 目前，化学火箭虽仍将是地面进入轨道的优良工具，但是其载荷很大，不适合深空探测。随着人类对深空不断探索的需求，发展新型火箭已成为必然。新型火箭推进技术之一电推进具有很高的比冲，小载荷，适合空间推进任务。目前，性能较好的液氢液氧推进剂所能达到的比冲约为 400s，磁约束等离子体推进器比冲可达 30000s，比冲可变，从而通过比冲与推力的优化实现火箭飞行轨迹的优化，进而优化飞行时间。例如飞到火星，化学火箭需十个月，而磁约束等离子体推进器只需四个多月。

[0003] 磁约束等离子体推进器磁场系统可以利用低温超导磁体提供磁场，低温超导磁体是用液氦进行冷却的。由于使用液氦进行冷却，使得超导磁体的结构比较复杂，在运行过程中要不断的补充液氦，还要相应的氦气回收系统，致使操作比较繁琐，运行一次成本也较高。美国在可变比冲磁等离子体火箭实验研究中利用的是液氮冷却的铜线圈提供磁场，整个磁场系统较大，较重。

[0004] 高温超导体临界温度达到了液氮温区，人们也将具有陶瓷特性的高温超导体制成了具有一定弯曲能力的导线。高温超导材料由于临界温度高，具有很好的应用前景，比如高温超导变压器、高温超导电机、高温超导储能磁体、超导限流器、超导输电电缆等等。在这里，将高温超导带材绕制的高温超导磁体用在了磁约束等离子体推进器磁场系统中，使用制冷机传导冷却。磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统利用高温超导磁体提供磁场，采用一个制冷机传导冷却两个高温超导磁体，整体机构上会紧凑，重量也会减轻，运行只要有电就行。

[0005] 由于小型制冷机技术的突破和高温超导电流引线的出现，近十年来传导冷却超导磁体技术得到了快速发展，目前在很多应用领域，传导冷却磁体已经或正在取代浸泡冷却磁体。

[0006] 随着超导技术和制冷技术发展的需求，结构简单、操作简便、由制冷机进行冷却的超导磁体技术日益受到关注。直接冷却不同于低温液体冷却模式的特点在于：它省去了低温液体冷却方式中庞大的低温系统与设备，同时消除了低温液体蒸发所带来的危险，而且可以将磁体降温到 77K 以下，提高磁体的临界电流来实现高磁场，从而使超导低温系统紧凑、高效、安全、方便，有利于实现超导器件与低温装置一体化，是高温超导技术的发展方向。

发明内容：

[0007] 本发明的目的是提供一种磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，促进磁约

束等离子体推进器的研究。本发明利用传导冷却的方式替代低温液体冷却，使用一个制冷机传导冷却两个超导磁体，极大简化了结构，实现了高真空，解脱了对液氦的依赖和高成本运行。

[0008] 本发明的技术方案如下：

[0009] 磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，包括有两个磁镜单元：两个磁镜单元结构相同，每一个磁镜单元均包括杜瓦筒体和两个高温超导磁体，所述杜瓦筒体具有一中空环形筒体，环形筒体中部上方还连接有一个圆柱形筒体，环形筒体中间为室温孔；所有杜瓦筒体中固定安装有环筒形状的铜冷屏，铜冷屏内左、右两侧分别安装有高温超导磁体；环形筒体外侧有端盖，铜冷屏两端安装有铜冷屏侧盖，杜瓦筒体中间的圆柱形筒体有上盖法兰，其内部铜冷屏安装有铜冷屏上盖；圆柱形筒体的上盖法兰与其内部的铜冷屏上盖上均设有安装制冷机的接口，制冷机冷头通过所述的接口安装于圆柱形筒体内；除了圆柱形筒体的上盖法兰与圆柱形筒体上端是采用螺栓连接，端盖与杜瓦筒体之间、杜瓦筒体的环形筒体与圆柱形筒体之间的结合部均采用焊接相连；铜冷屏侧盖和与侧盖最近的环形筒体端盖之间安装有端盖支撑杆，端盖支撑杆一端连接超导磁体，杜瓦筒体与铜冷屏筒体之间安装有筒体支撑杆，筒体支撑杆一端连接超导磁体；中间圆柱形筒体上有真空抽口，杜瓦筒体上盖法兰上安装有测量接口、电流引线接口，杜瓦筒体中处于真空状态，制冷机冷头与超导磁体之间采用软无氧铜导冷辫连接；铜电流引线与高温超导磁体连接，再将高温超导电流引线与铜电流引线连接，安装于冷屏上盖上的电流引线接口内的铜电流外引线在经过热沉后连接到高温超导电流引线。

[0010] 所述的高温超导磁体系统由两个磁镜单元组成，每一个磁镜单元中均使用一个制冷机冷却两个高温超导磁体。

[0011] 所述的放置制冷机的圆柱形筒体上盖法兰与圆柱形筒体之间有弹性减震垫片。

[0012] 所述的圆柱形筒体上盖法兰与杜瓦筒体材料是不锈钢、铝合金和钛合金。

[0013] 所述的高温超导磁体是由稀土 - 钡铜氧或铋锶钙铜氧带绕制而成。

[0014] 所述的端盖支撑杆、筒体支撑杆均采用环氧玻璃钢材料。

[0015] 所述的室温孔为同心室温孔。

[0016] 所述的铜冷屏壳体外壁和铜冷屏上盖上开有条形槽，铜冷屏外壁附有绝热材料；高温超导磁体内、外壁均附有绝热材料。

[0017] 所述高温超导电流引线采用铜 - 高温超导体 - 铜二元复合结构。

[0018] 本发明的优点在于：

[0019] 本发明利用传导冷却的方式替代低温液体冷却，使用一个制冷机传导冷却两个超导磁体，极大简化了结构，实现了高真空，解脱了对液氦的依赖和高成本运行。它省去了低温液体冷却方式中庞大的低温系统与设备，同时消除了低温液体蒸发所带来的危险，而且可以将磁体降温到 77K 以下，提高磁体的临界电流来实现高磁场，从而使超导低温系统紧凑、高效、安全、方便，有利于实现超导器件与低温装置一体化。

附图说明：

[0020] 图 1 为本发明结构示意图。

[0021] 图 2 为本发明中一个磁镜单元的结构示意图。

具体实施方式：

[0022] 参见图 1、2：

[0023] 磁约束等离子体推进器高温超导磁体系统，包括有两个磁镜单元，其结构相同。就其中一个磁镜单元描述，包括有杜瓦筒体 4，而其中环形筒体中间为同心室温孔 10，杜瓦筒体 4 中安装有环筒形状的铜冷屏 6。上盖法兰 11 上安装有制冷机 1。放置超导磁体的杜瓦筒体端盖 8、内部冷屏盖 9 之间安装有环氧玻璃钢支撑杆 13，支撑杆 13 左端连接超导磁体 12。杜瓦筒体与超导磁体间装有环氧玻璃钢支撑杆 14、15，环氧玻璃钢支撑杆 14 是为了前后限位而用，环氧玻璃钢支撑杆 15 起到主要支撑超导磁体的作用。杜瓦筒体 4 上有真空抽口 16，上盖法兰 11 上有测量引线接口 2、电流引线接口 17，杜瓦筒体 4 上端用螺栓 3 安装到上盖法兰 11 上。铜电流外引线 18 在冷屏上盖 5 上经过热沉后连接到高温超导电流引线 19，铜电流引线 21 再将高温超导电流引线 19 与高温超导磁体 12 连接起来。用软无氧铜导冷辫 20 将二级冷头下端的铜片和冷却高温超导磁体的导冷铜棒 7 相连接。环绕超导磁体的铜冷屏外壁上开有若干个条形槽；铜冷屏外壁绝热材料在 80-100 层，包绝热层前先将吸附剂紧贴冷屏表面；铜冷屏内表面抛光。

[0024] 电流引线接口 17 与上盖法兰 11 之间采用威尔逊密封。

[0025] 本发明的电流引线采用铜 - 高温超导体 - 铜二元复合结构，引线的中间接头在冷屏处 (80K) 和二级冷头处 (20K) 各热沉一次，从而引线向二级冷头以及电流引线向超导磁体的漏热可以做到比气冷引线低的多的水平。

[0026] 环绕超导磁体的铜冷屏壳体整体开一贯穿整个上半部的槽，以减少励磁以及运行时电流变化引起的磁场变化，从而产生的涡流电流，并在磁场集中分布的内壁圆周均布若干个槽，阻断大的涡流电流以及局部涡流，从而减少涡流热。

[0027] 铜冷屏外壁绝热材料在 80-100 层之间，包绝热层前先将吸附剂紧贴冷屏表面，并防止热短路现象。

[0028] 铜冷屏内表面 (向低温区热辐射面) 抛光，以减少辐射传热，保证磁体的温度，防止超导线圈失超。

[0029] 高温超导磁体内外包绝热材料在 40-80 层。

[0030] 虽然可以利用制冷机不断的运行来对超导磁体系统降温以保持磁体的运行温度，但是这种制冷机传导冷却的磁体处在真空环境中，由于扰动或磁体励磁时的交流损耗都容易使磁体的温度升高，若扰动较大或励磁速度过快，磁体就很容易失超。本发明采用软无氧铜导冷辫，实现冷头与磁体之间的软连接，减少制冷机震动引起的磁体震动从而引起的磁体产热和温度升高。

[0031] 在电流引线和铜冷屏、二级冷头之间实现热沉时，连接处垫氮化铝陶瓷垫片，即起到电绝缘作用，又有良好的热导。

[0032] 外真空杜瓦各焊接处均采用氩弧焊，并做后续清理，不仅满足真空要求，还要满足强度要求。

[0033] 环氧玻璃钢支撑杆本身导热效果差，并在铜冷屏处实现一次热沉，其两端是双旋向螺纹，可省去螺栓紧固，减少低温部分的热容，减少预冷时间，并且使结构简单，紧密性高。

[0034] 制冷机接口，螺栓连接的螺纹孔不贯穿上盖法兰，以及圆形密封圈，以保证高真空要求，并且在制冷机与上盖法兰间加橡皮垫片，减少震动向杜瓦整体的传递，减少震动噪声，从而减少磁体震动引起的线圈涡流热。

[0035] 本发明的杜瓦筒体上设有真空抽口，抽真空时连接真空阀，抽好真空后，用双O型圈密封块堵住真空抽口，可卸下真空阀门，方便实用。

[0036] 法兰的连接件基本采用焊接连接方式。

[0037] 系统安装时，按材料的低温下形变，留有余量，以保证在低温变形以后，仍保证各连接件连接强度、导热或绝热要求。

[0038] 按照设计的位置和角度安装杜瓦的支撑部分，以保证杜瓦的形变、应力以及导热和漏热满足设计要求。

[0039] 若拆卸时需进行切割，尽量避免螺纹的破损，每次更换密封圈和导热器件，以保证重复利用的时候，达到好的效果。

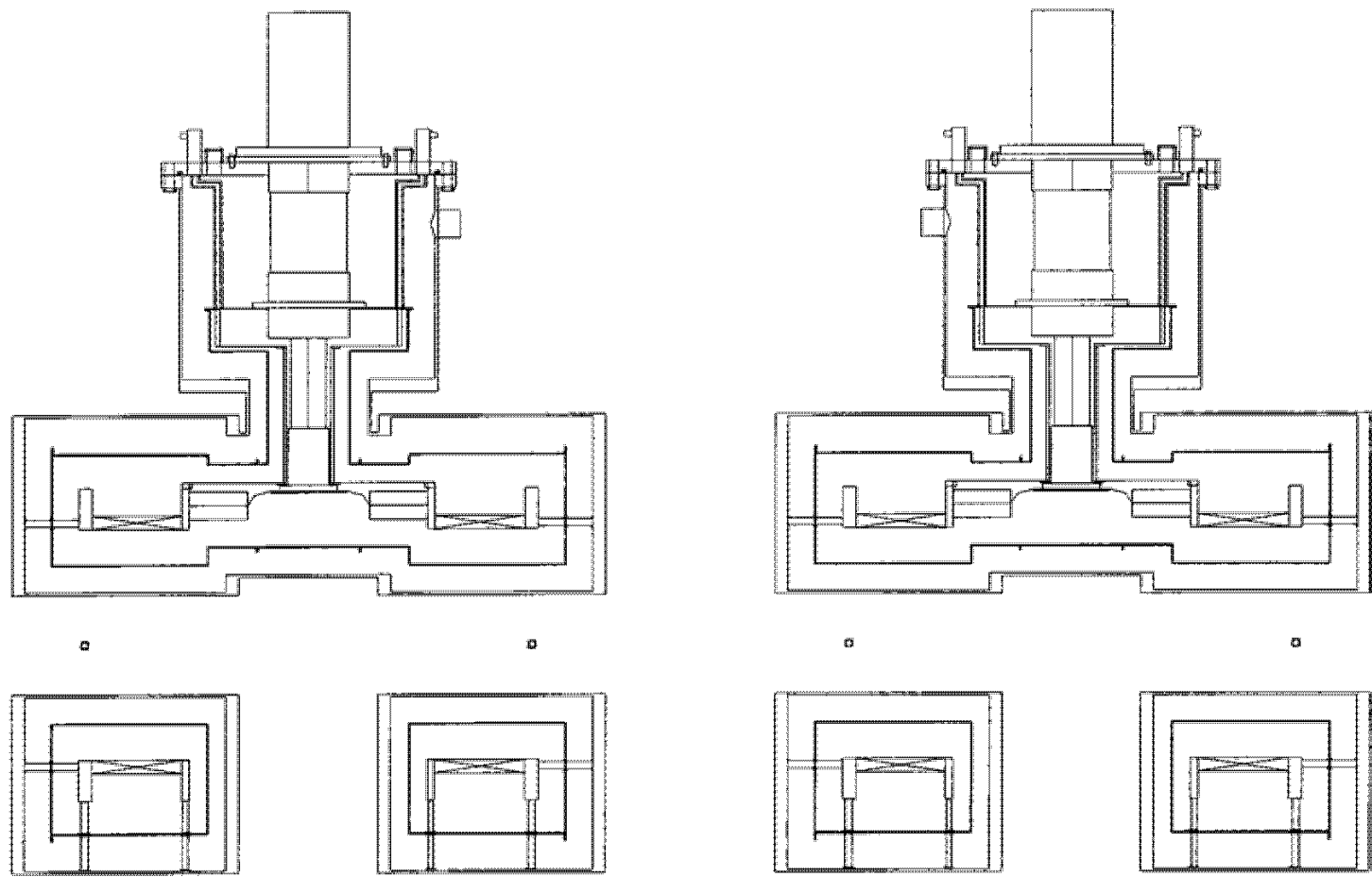


图 1

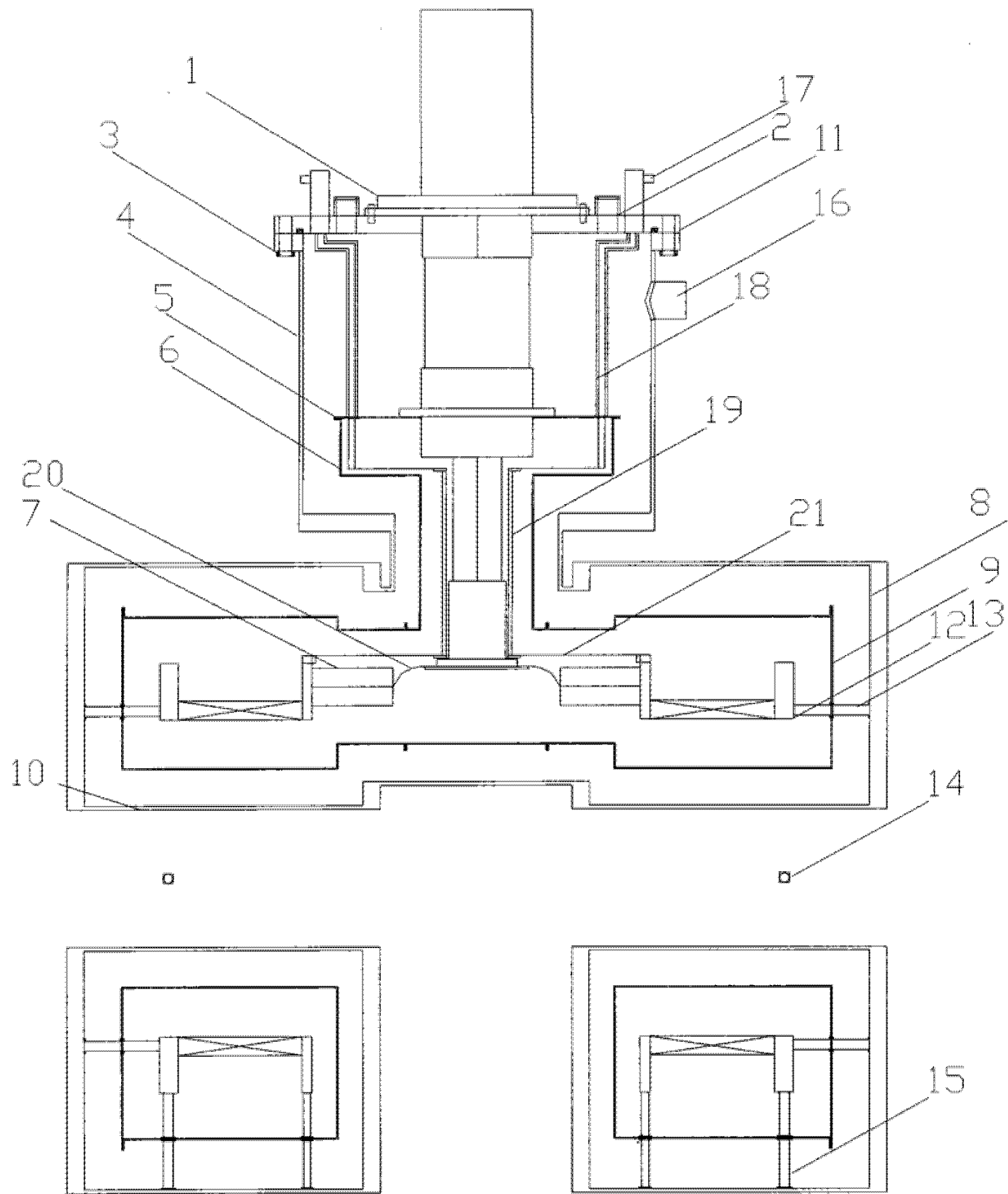


图 2