



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110067712 B

(45) 授权公告日 2024. 03. 26

(21) 申请号 201910484572.4

(22) 申请日 2019.06.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110067712 A

(43) 申请公布日 2019.07.30

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72) 发明人 吴建军 李健 张宇 程玉强
王墨戈 杨雄 谭胜 欧阳
朱晓彬 胡润生 杜忻洳 吴必琦

(74) 专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理
有限公司 43225
专利代理师 邱轶

(51) Int.Cl.

F03H 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 101894605 A, 2010.11.24
- CN 104265590 A, 2015.01.07
- CN 104454418 A, 2015.03.25
- CN 107044396 A, 2017.08.15
- CN 107218187 A, 2017.09.29
- CN 107387348 A, 2017.11.24
- CN 107687404 A, 2018.02.13
- CN 210068399 U, 2020.02.14
- KR 100602258 B1, 2006.07.19
- US 2006218891 A1, 2006.10.05
- US 2018226217 A1, 2018.08.09

审查员 王萌

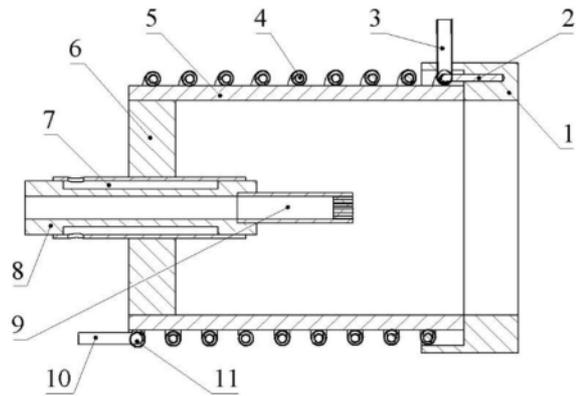
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器

(57) 摘要

本发明提供一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器,包括陶瓷隔离体、阳极线圈、阳极放电环以及阴极。通过设计一种可以感生轴向磁场并且具备冷却结构的阳极线圈,能够在放电腔内提供感生轴向磁场,加速等离子体喷出推力器本体,提高了推力器推力生成中的电磁加速作用。本发明省去了传统附加磁场磁等离子体推力器中的复杂外部线圈结构与相应的冷却系统,充分利用阳极线圈中放电电流的感生磁场对放电等离子体的加速机制。同时,通过合理设计阳极线圈在放电腔外侧缠绕的方式使感生磁场磁感线穿过阳极放电结构,避免传统推力器阳极表面的横断磁场对放电电流的阻碍,有效降低阳极电压降,从而提高推力器的效率。



1. 一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器,包括陶瓷隔离体、阳极线圈、阳极放电环以及阴极;所述陶瓷隔离体为一端开放,另一端由筒底壁封闭的圆筒形结构;所述阳极线圈提供感生轴向磁场;所述阳极放电环固定在筒体开放端的端口,远离筒体开放端的阳极线圈一端连接电源接口,靠近筒体开放端的阳极线圈一端和阳极放电环之间导电连接;所述阴极固定在陶瓷隔离体的筒底壁上,阴极从筒底壁的外侧伸入筒体内,且阴极与筒体同轴设置,所述阴极上设有阴极冷却结构;

其特征在于:

筒体内的空腔形成阴极和阳极放电环之间的放电腔;所述阴极为空心阴极,其内部为气体工质通道,气体工质从阴极的一端进入阴极内部的气体工质通道并从阴极的另一端流出进入放电腔;

采用阳极线圈为推力器提供感生轴向磁场的方式,阳极线圈呈螺旋状缠绕在陶瓷隔离体其筒体外侧,所述阳极线圈上设有线圈冷却结构,将阳极设计为带凹槽的环状结构即阳极放电环,充当阳极主要放电结构的角色,又能在凹槽位置进行冷却,以简化推力器的阳极冷却结构。

2. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:所述线圈冷却结构为冷却管,所述阳极线圈包括导线、绝缘外皮和冷却管,导线外紧贴包裹有一层绝缘外皮,包裹有绝缘外皮的导线套装在冷却管内,导线的绝缘外皮与冷却管之间即为供冷却介质流通的冷却通道,冷却管的两端分别设有线圈冷却管出口和线圈冷却管入口,冷却介质通过从线圈冷却管出入口到线圈冷却管出口之间的流动过程冷却阳极线圈。

3. 根据权利要求2所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:线圈冷却管出口和线圈冷却管入口分别设置在阳极线圈的两端;包裹有绝缘外皮的导线两端头分别从对应的冷却管穿出,且包裹有绝缘外皮的导线与冷却管穿出位置处作密封处理;阳极线圈两端的冷却管延伸一定距离分别作为线圈冷却管出口和线圈冷却管入口。

4. 根据权利要求2所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:阳极放电环与阳极线圈的导线端头之间通过阳极联接件导电连接,阳极联接件为导体,其一端连接阳极线圈的导线端头,其另一端通过螺接的方式与阳极放电环固定连接。

5. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:阳极线圈的螺旋方向从筒体封闭端观察为顺时针方向,保证推力器放电时阳极线圈电流的感生磁场方向指向筒体出口端。

6. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:所述阳极放电环由金属铜制成。

7. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:阳极放电环的一端通过凹槽与筒体开放端套接,且阳极放电环的内端面与筒体开放端的外端面贴合;阳极放电环的内环面半径与筒体半径相同;阳极线圈延伸至阳极放电环其凹槽内,且凹槽内壁、阳极线圈以及筒体外壁之间呈紧压状态。

8. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:所述阴极包括阴极主体以及阴极放电头,阴极放电头与阴极主体采用可拆卸连接的方式连接在一起;

阴极主体以及阴极放电头均为空心结构,且内部联通形成气体工质通道,阴极放电头的头部设有与气体工质通道相同的出孔。

9. 根据权利要求8所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:阴极放电头的头部为多条圆柱形钨金属组成的电子热发射芯结构,圆柱形钨金属之间留有空隙作为与气体工质通道相同的出孔,供气体工质流到放电腔内。

10. 根据权利要求1所述的感生轴向磁场的磁等离子体推力器,其特征在于:阴极冷却结构包括阴极水冷套、冷却水通道、冷却水入口与冷却水出口,阴极主体的外表面密封套装有绝缘材料制成阴极水冷套,阴极水冷套内侧的阴极主体外表面上开设有环形凹腔,环形凹腔的内壁上均贴覆有导热绝缘硅胶皮,环形凹腔形成阴极水冷套与阴极主体之间的冷却水通道;阴极水冷套远离放电腔的一端设有冷却水入口与冷却水出口。

一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器

技术领域

[0001] 本发明属于航空航天电推进领域,是一种电推力器,具体来说是一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器。

背景技术

[0002] 磁等离子体推力器作为一种高功率空间电推进装置,通过对气体加热、电离过程产生等离子体,利用阴极和阳极之间的强放电电流与感生或附加磁场相互作用,使等离子体加速喷出推力器本体从而获得推力。一方面因其具有高功率的特点,成为最适合与空间太阳能和核能系统对接的推力器之一,另外,推力器推力密度大、比冲高、寿命长等显著优点,也使其在长周期或大推力的空间任务中成为首选的空间电推力器。

[0003] 磁等离子体推力器由电弧加热推力器发展而来,主要依靠等离子体的放电电流感生出磁场,通过洛伦兹力加速与气动加速共同产生推力。早期,学者们的研究重点是自磁场磁等离子体推力器,足以应对功率在100kW以内的任务需求。然而,随着空间任务对推力器性能需求的提高,为了获得足够大的推力,相应的感生磁场要求推力器工作电流为几千安培甚至超过上万安培,这对于空间电能设备要求极为苛刻,现有条件下难以满足,因此,自磁场磁等离子体推力器的应用受到一定限制。

[0004] 为了增大磁场在推力生成过程中的作用,国内外广泛开展了对附加磁场磁等离子体推力器的研究。附加磁场磁等离子体推力器中,推力器外部缠绕的线圈通电后在放电腔中产生轴向磁场,等离子体在磁场的作用下通过多种机制加速喷出推力器本体,产生推力。然而,这一过程中存在诸多难以解决的问题。比如,线圈在提供磁场的同时,会产生大量的热,在空间环境中难以自然冷却,需要配备水冷或其他冷却设备,这无疑给推力器的设计带来困难。尽管附加磁场可以加速等离子体,同时也会导致放电等离子体的轴向箍缩效应,电流难以越过阳极表面的横向磁场到达阳极,进而使得大部分等离子体聚集在阴极附近区域。为了维持放电的进行,一部分放电电压必须积聚在阳极表面以克服横向磁场的阻碍,相应地产生了阳极电压降。因此,附加磁场增大了推力器的阳极功率沉积,降低推力器的效率。研究表明,附加磁场磁等离子体推力器效率一般低于50%,有的推力器效率甚至低于30%。如此多的能量耗散最终会以热的形式沉积在阳极表面,增加了阳极冷却的难度。如果不能合理地设计推力器的结果,解决这些问题,附加磁场磁等离子体推力器将难以实现在众多空间任务中的广泛应用。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的不足,本发明提供一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器。

[0006] 为实现本发明的技术目的,采用以下技术方案:

[0007] 一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器,包括陶瓷隔离体、阳极线圈、阳极放电环以及阴极;所述陶瓷隔离体为一端开放,另一端由筒底壁封闭的圆筒形结构;所述阳极线圈提供感生轴向磁场,阳极线圈呈螺旋状缠绕在陶瓷隔离体其筒体外侧,所述阳极线圈上设

有线圈冷却结构;所述阳极放电环固定在筒体开放端的端口,远离筒体开放端的阳极线圈一端连接电源接口,靠近筒体开放端的阳极线圈一端和阳极放电环之间导电连接;所述阴极固定在陶瓷隔离体的筒底壁上,阴极从筒底壁的外侧伸入筒体内,且阴极与筒体同轴设置,所述阴极上设有阴极冷却结构;筒体内的空腔形成阴极和阳极放电环之间的放电腔。所述阴极为空心阴极,其内部为气体工质通道,气体工质从阴极的一端进入阴极内部的气体工质通道并从阴极的另一端流出进入放电腔。工作时,阳极线圈的电源接口和阴极分别连接电源的正、负极。

[0008] 所述线圈冷却结构为冷却管,所述阳极线圈包括导线、绝缘外皮和冷却管,导线外紧贴包裹有一层绝缘外皮,包裹有绝缘外皮的导线套装在冷却管内,导线的绝缘外皮与冷却管之间即为供冷却介质流通的冷却通道,冷却管的两端分别设有线圈冷却管出口和线圈冷却管入口,冷却介质(一般为水)可通过从线圈冷却管出入口到线圈冷却管出口之间的流动过程冷却阳极线圈,防治其温度过高而熔断。冷却管为内置辅助定型钢丝的耐高温橡胶管,绝缘外皮与冷却管之间为大于5mm的冷却通道,可供足量的冷却介质流过。

[0009] 阳极线圈其线圈冷却结构中的线圈冷却管出口和线圈冷却管入口,要实现阳极线圈导线与冷却水分离。线圈冷却管出口和线圈冷却管入口分别设置在阳极线圈的两端。包裹有绝缘外皮的导线两端头分别从对应的冷却管穿出,且包裹有绝缘外皮的导线与冷却管穿出位置处作密封处理。阳极线圈两端的冷却管延伸一定距离分别作为线圈冷却管出口和线圈冷却管入口。

[0010] 优选地,本发明中:阳极放电环与阳极线圈的导线端头之间通过阳极联接件导电连接,阳极联接件为导体,其一端连接阳极线圈的导线端头,其另一端通过螺接的方式与阳极放电环固定连接。

[0011] 阳极线圈的螺旋方向从筒体封闭端观察为顺时针方向,保证推力器放电时阳极线圈电流的感生磁场方向指向筒体出口端。

[0012] 所述阳极放电环由金属铜制成。阳极放电环的一端通过凹槽与筒体开放端套接,且阳极放电环的内端面与筒体开放端的外端面贴合。阳极放电环的内环面半径与筒体半径相同。阳极线圈延伸至阳极放电环其凹槽内,且凹槽内壁、阳极线圈以及筒体外壁之间呈紧压状态,保证阳极线圈上的阳极冷却结构对阳极放电环同样具备一定的冷却效果。

[0013] 所述阴极包括阴极主体以及阴极放电头,阴极放电头与阴极主体采用可拆卸连接(如螺接)的方式连接在一起。阴极主体以及阴极放电头均为空心结构,且内部联通形成气体工质通道,阴极放电头的头部设有与气体工质通道相同的出孔。优选地,阴极放电头的头部为多条圆柱形钨金属组成的电子热发射芯结构,圆柱形钨金属之间留有空隙作为与气体工质通道相同的出孔,供气体工质流到放电腔内。阴极放电头的头部采用钨金属,受热后利于电子发射。

[0014] 阴极冷却结构包括阴极水冷套、冷却水通道、冷却水入口与冷却水出口,所述阴极主体的外表面密封套装有绝缘材料制成阴极水冷套,阴极水冷套内侧的阴极主体外表面上开设有环形凹腔,环形凹腔的内壁上均贴覆有导热绝缘硅胶皮,环形凹腔形成阴极水冷套与阴极主体之间的冷却水通道。阴极水冷套远离放电腔的一端设有冷却水入口与冷却水出口。

[0015] 本发明通过设计一种可以感生轴向磁场并且具备冷却结构的阳极线圈,为推力器

提供感生轴向磁场。从而省去了传统附加磁场磁等离子体推力器中的复杂外部线圈结构与相应的冷却系统,避免了传统附加磁场磁等离子体推力器散热等难题。具体地,与现有技术相比,本发明能够产生以下技术效果:

[0016] (1) 本发明采用阳极线圈为推力器提供感生轴向磁场的方式,无需额外的附加磁场装置,极大地简化了传统附加磁场磁等离子体推力器的复杂结构。

[0017] (2) 本发明将阳极设计为带凹槽的环状结构即阳极放电环,充当阳极主要放电结构的角色,又能在凹槽位置进行冷却,简化了推力器的阳极冷却结构。

[0018] (3) 本发明阳极线圈带有冷却结构,为推力器提供感生轴向磁场的同时自带冷却功能。

[0019] (4) 本发明阳极线圈其线圈冷却结构中的线圈冷却管出口和线圈冷却管入口,要实现阳极线圈导线与冷却水分离,本发明设计的一种分离结构,可以将阳极线圈导线与冷却水分离,能够实现导电与冷却的双重作用。

[0020] (5) 阳极线圈在放电腔外侧缠绕的方式可以根据实际情况设计调整,如改变缠绕匝数,缠绕位置等。不同的缠绕方式可以感生出不同磁场大小和方向,通过合理的设计,可以使感生轴向磁场磁感线穿过阳极放电板,引导等离子体中电子到达阳极,能够解决传统附加磁场磁等离子体推力器中电子难以越过阳极表面的横向磁场,不能被阳极吸收而聚集在阴极附近的难题,减弱放电等离子体的箍缩效应,从而有效降低阳极表面轴向磁场带来的能量沉积问题,提高推力器效率。

[0021] (6) 本发明采用空心阴极结构,阴极头部由多条圆柱形钨金属组成的电子热发射芯结构能够提高电子发射能力。

[0022] (7) 本发明可通过调整阳极线圈匝数满足推力器对不同磁场的需求。另外,也可以同时使用双线圈或多线圈结构的实现形式来调节所需的感生轴向磁场。

附图说明

[0023] 图1为本发明的装配剖视图。

[0024] 图2为阳极放电环的结构示意图。

[0025] 图3为阳极线圈及其冷却结构的结构示意图。

[0026] 图4为阳极线圈的细节示意图。

[0027] 图5为阴极的结构示意图。

[0028] 图1中:1为阳极放电环,2为阳极联接件,3为线圈冷却管出口;4为阳极线圈;5为陶瓷隔离体的筒体,6为陶瓷隔离体的筒底壁;7为环形凹腔,8为阴极;9为气体工质通道;10为电源接口;11为线圈冷却管入口。

[0029] 图2中:101为阳极联接口;102为阳极冷却管出口,103为阳极放电壁面,104为凹槽;

[0030] 图4中:401为冷却管,402为绝缘外皮,403为导线;

[0031] 图5中:801为阴极水冷套,802为阴极主体,803为阴极冷却水接口,804为气体工质通道;901为阴极放电头,902为电子热发射芯结构。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图,对本发明的实施方式进行进一步的详细说明。

[0033] 参照图1至图5,本发明提供一种感生轴向磁场的磁等离子体推力器,包括陶瓷隔离体、阳极线圈4、阳极放电环1以及阴极8。

[0034] 所述陶瓷隔离体为圆筒形陶瓷结构,采用氮化硼材料制成。陶瓷隔离体其一端开放,另一端由筒底壁封闭。

[0035] 所述阳极线圈4提供感生轴向磁场,阳极线圈4整体按照一定匝数呈螺旋状缠绕在陶瓷隔离体的筒体5外侧。阳极线圈4的螺旋方向从筒体封闭端观察为顺时针方向,保证推力器放电时阳极线圈电流的感生磁场方向指向筒体出口端。

[0036] 参照图1、图3和图4,所述阳极线圈4上设有线圈冷却结构。所述线圈冷却结构为冷却管401。所述阳极线圈4包括导线403、绝缘外皮402和冷却管401,导线403采用直径3~5mm的铜质粗导线403,导线403外侧紧紧包裹着1mm厚导热绝缘性能的较好的硅胶皮作为其绝缘外皮402,包裹有绝缘外皮402的导线403套装在冷却管401内,导线403的绝缘外皮402与冷却管401之间即为供冷却介质流通的冷却通道。冷却管401的两端分别设有线圈冷却管出口3和线圈冷却管入口11,冷却介质(一般为水)可通过从线圈冷却管出入口11到线圈冷却管出口3之间的流动过程冷却阳极线圈4内的导线403,防治其温度过高而熔断。冷却管401为内置辅助定型钢丝的耐高温橡胶管,绝缘外皮402与冷却管401之间为大于5mm的冷却通道,可供足量的冷却介质流过。

[0037] 阳极线圈其线圈冷却结构中的线圈冷却管出口和线圈冷却管入口设计时要实现阳极线圈内导线与冷却水分离。线圈冷却管出口3和线圈冷却管入口11分别设置在阳极线圈4的两端。包裹有绝缘外皮402的导线403两端头分别从对应的冷却管401穿出,且包裹有绝缘外皮402的导线403与冷却管401穿出位置处作密封处理,如使用密封胶、密封垫密封等。阳极线圈4两端的冷却管401延伸一定距离分别作为线圈冷却管出口3和线圈冷却管入口11。

[0038] 所述阳极放电环1固定在筒体5其开放端的端口。远离筒体开放端的阳极线圈4的一端连接电源接口10,靠近筒体开放端的阳极线圈4的一端和阳极放电环1之间导电连接。阳极放电环1与阳极线圈4的导线端头之间通过阳极联接件2导电连接,阳极联接件2为导体,其一端连接阳极线圈4的导线端头,其另一端通过螺接的方式与阳极放电环1上对应开设的阳极联接口101固定连接,保证接触部位良好的导电性。

[0039] 参照图1和图2,所述阳极放电环1由金属铜制成。阳极放电环1的一端设有凹槽104,通过凹槽104与筒体开放端套接,且阳极放电环1的内端面与筒体开放端的外端面贴合。阳极放电壁面103的半径与筒体内壁面半径相同。阳极线圈4延伸至阳极放电环1其凹槽104内,且凹槽内壁、阳极线圈以及筒体外壁之间呈紧压状态,尽可能多地增加冷却管与凹槽外壁的接触面积,增强阳极的冷却效果。参照图1,本实施例中,线圈冷却管出口3从阳极放电环1上开设的阳极冷却管出口102穿出。

[0040] 所述阴极8固定在陶瓷隔离体的筒底壁6上,阴极8从筒底壁6的外侧伸入筒体5内,且阴极8与筒体5同轴设置。所述阴极8上设有阴极冷却结构。筒体5内的空腔形成阴极8和阳极放电环1之间的放电腔。所述阴极8为空心阴极,其内部为气体工质通道9,气体工质从阴极8的一端进入阴极内部的气体工质通道9并从阴极的另一端流出进入放电腔。

[0041] 参照图1和图5,所述阴极8包括阴极主体802以及阴极放电头901,阴极放电头901与阴极主体802采用可拆卸连接(如螺接)的方式连接在一起。阴极主体802以及阴极放电头901均为铜金属材质的空心结构,且内部联通形成气体工质通道804,阴极放电头901的头部为多条圆柱形钨金属组成的电子热发射芯结构902,圆柱形钨金属之间留有足够的空隙作为与气体工质通道相同的出孔,供气体工质流到放电腔内。阴极放电头的头部采用钨金属,受热后利于电子发射。

[0042] 阴极冷却结构包括阴极水冷套801、冷却水通道、冷却水入口与冷却水出口,所述阴极主体的外表面密封套装有绝缘材料制成的阴极水冷套,阴极水冷套内侧的阴极主体外表面上开设有环形凹腔7,环形凹腔7形成阴极水冷套801与阴极主体802之间的冷却水通道。环形凹腔7的内壁上均贴覆有导热绝缘硅胶皮,保证阴极与冷却水之间的绝缘效果。阴极水冷套801远离放电腔的一端设有两个阴极冷却水接口803,分别作为冷却水入口与冷却水出口。

[0043] 本发明通过设计一种可以感生轴向磁场并且具备冷却结构的阳极线圈,能够在放电腔内提供感生轴向磁场,加速等离子体喷出推力器本体,提高了推力器推力生成中的电磁加速作用。本发明省去了传统附加磁场磁等离子体推力器中的复杂外部线圈结构与相应的冷却系统,充分利用阳极线圈中放电电流的感生磁场对放电等离子体的加速机制,为优化磁等离子体推力器的结构提供了一种新的思路。同时,通过合理设计阳极线圈在放电腔外侧缠绕的方式使感生磁场磁感线穿过阳极放电结构,避免传统推力器阳极表面的横断磁场对放电电流的阻碍,有效降低阳极电压降,从而提高推力器的效率。

[0044] 以上所述仅为本发明的优选的实施例而已,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。

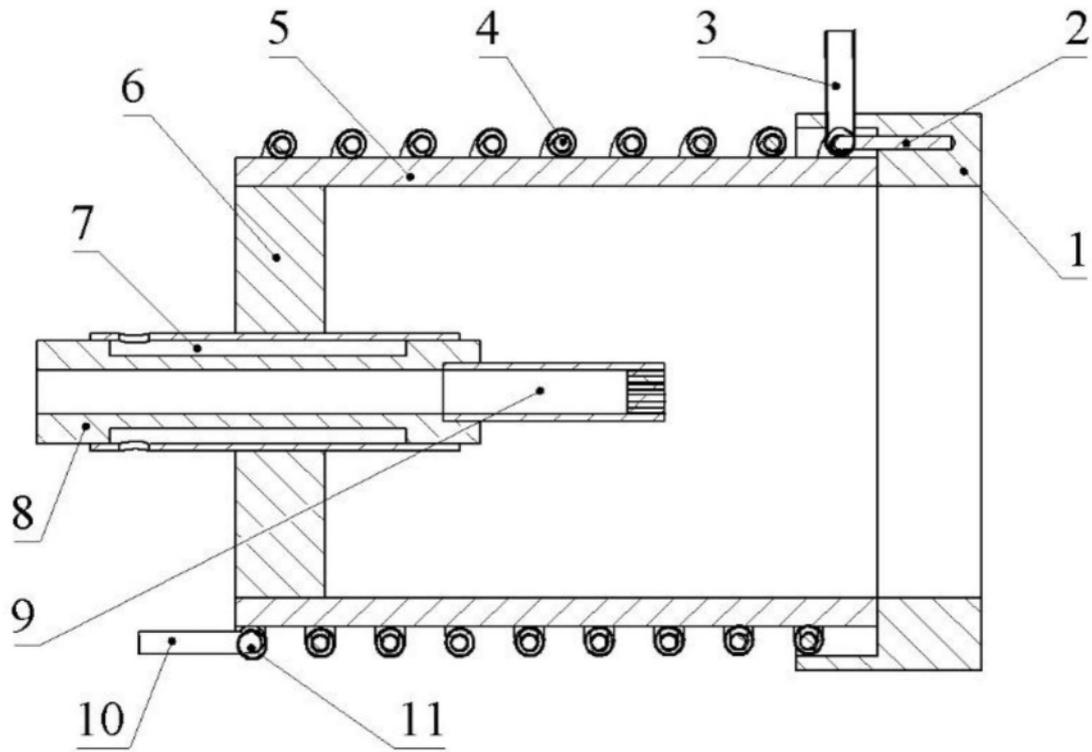


图1

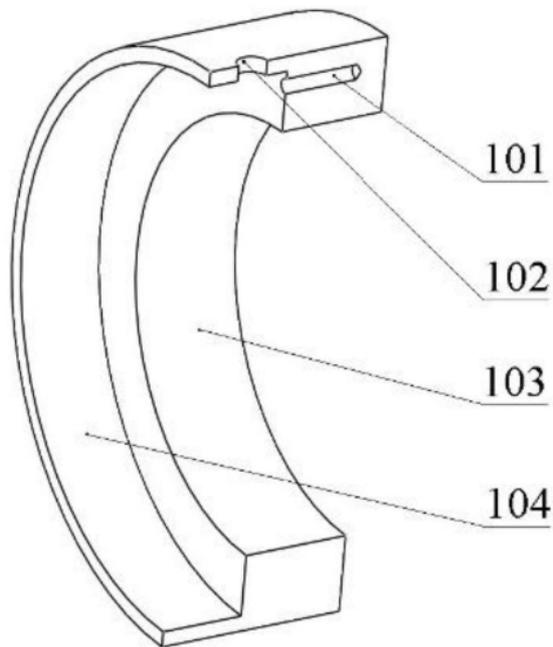


图2

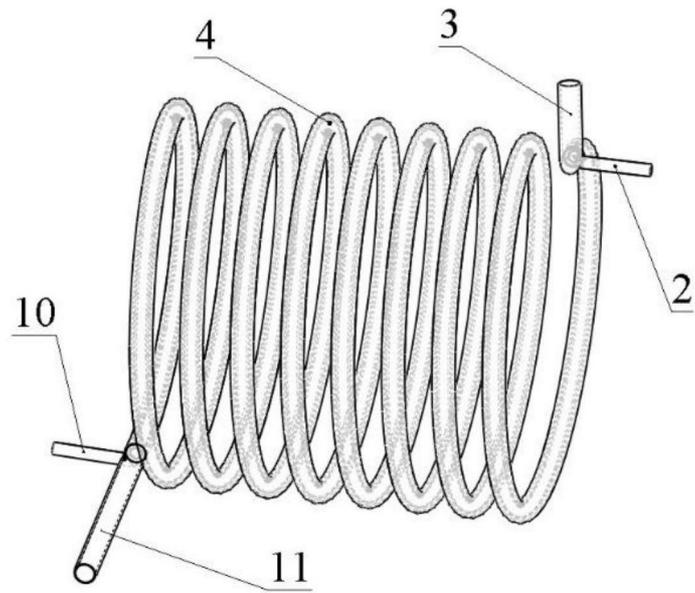


图3

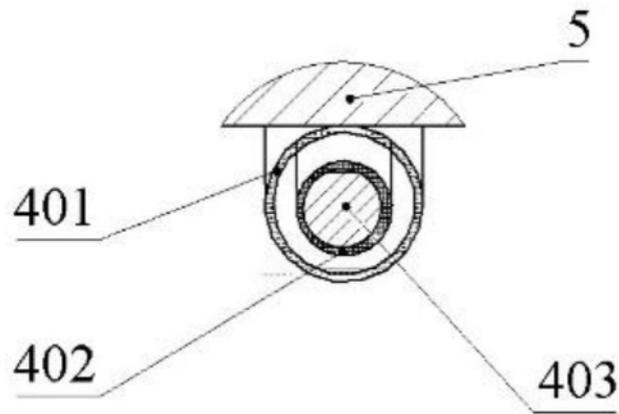


图4

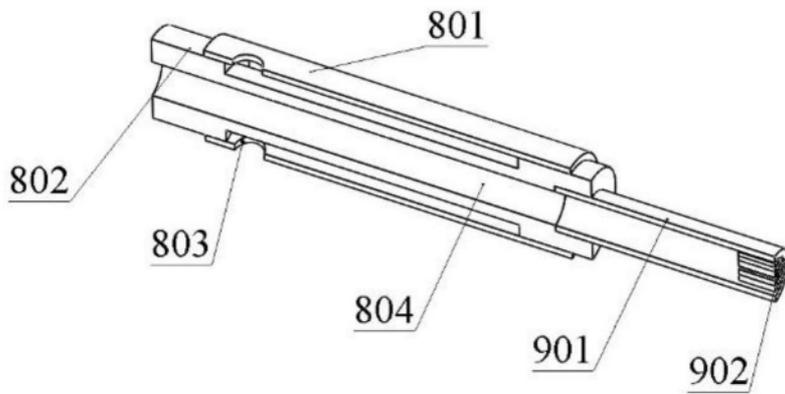


图5