



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 205124106 U

(45) 授权公告日 2016. 03. 30

(21) 申请号 201520903910. 0

(22) 申请日 2015. 11. 13

(73) 专利权人 兰州大学

地址 730000 甘肃省兰州市天水南路 222 号

(72) 发明人 姚泽恩 王俊润 张宇 韦铮

徐大鹏 卢小龙

(74) 专利代理机构 兰州振华专利代理有限责任

公司 62102

代理人 张晋

(51) Int. Cl.

H05H 3/06(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

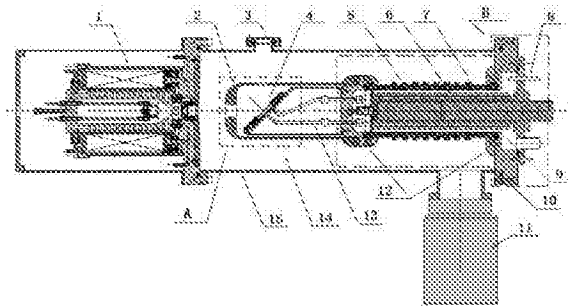
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种紧凑型 D-D 中子发生器

(57) 摘要

本实用新型公开一种紧凑型 D-D 中子发生器。本实用新型包括：真空腔体、离子源系统、束流引出加速系统、靶系统、高压馈入系统及真空泵系统，其中由离子源产生的离子束流被引出、加速并与靶系统上的氘靶发生 D-D 聚变核反应放出中子，其真空腔体的两端分别用离子源阳极法兰和第二法兰与离子源系统和束流引出加速系统、靶系统、高压馈入系统实现联接，真空腔体与离子源阳极法兰和高压馈入系统法兰间通过“O”型圈实现密封，所述的离子源为双等离子源，其内通有 D 气体。本实用新型中子产额可大于 $1 \times 10^8 s^{-1}$ 量级，并可以很方便地更换离子源或靶片等系统及其它的内设部件，同时大大降低了使用的成本。



1. 一种紧凑型D-D中子发生器,包括:真空腔体;离子源系统;束流引出加速系统;靶系统;高压馈入系统及真空泵系统;其中由离子源产生的离子束流被引出、加速并与靶系统上的氘靶发生D-D聚变核反应放出中子,其特征在于真空腔体为一段管状构件,其两端分别用离子源阳极法兰和第二法兰与离子源系统和束流引出加速系统、靶系统、高压馈入系统实现联接,真空腔体与离子源阳极法兰和高压馈入系统法兰间分别通过第一和第二“O”型圈实现真空密封,同时由真空泵系统抽气保持真空腔体内为高真空,所述的离子源为双等离子源,其内通有D气体。

2. 根据权利要求1所述的一种紧凑型D-D中子发生器,其特征在于:所述的真空腔体用不锈钢制造,其管壁上设置有连通真空泵的管路,且真空腔体接地;所述的束流引出加速系统包括:一个由不锈钢制成的引出加速电极,由高压馈入系统将负高压馈入到引出加速电极上,在离子源阳极和引出加速电极之间形成电场,从离子源中引出并加速D离子束,D离子束穿过引出加速电极孔到靶上。

3. 根据权利要求2所述的一种紧凑型D-D中子发生器,其特征在于:引出加速电极为一筒状结构,筒状的引出加速电极内的筒底上与离子源的离子输出位置相对应位置开设有一个供离子进入并作用于靶材上的准直孔,靶系统设置于筒状的引出加速电极内,所述的靶系统包括靶托、靶片和靶片安装法兰构成,靶片用靶片安装法兰和第三“O”型密封圈安装在靶托上,靶托上设有与冷却管道连通的冷却槽,冷却液经冷却管道和冷却槽对靶片进行良好冷却。

4. 根据权利要求3所述的一种紧凑型D-D中子发生器,其特征在于:高压馈入系统包括:其两端带有凸缘的管状陶瓷高压绝缘构件、用于固定引出加速电极并实现电联接的第一法兰、第二法兰和高压电缆,其中:管状陶瓷高压绝缘构件的两端凸缘与引出加速电极法兰和高压馈入系统法兰间分别用活套法兰和螺钉固定安装,管状陶瓷高压绝缘构件的两端凸缘与活套法兰间用第四“O”型密封圈实现真空密封;管状陶瓷高压绝缘构件的内腔插入高压电缆;高压电缆的外缘设置有冷却液管道,管状陶瓷构件的内腔与高压电缆外缘和冷却管道的间隙间充有绝缘介质,以实现该区域的良好高压绝缘性能。

5. 根据权利要求4所述的一种紧凑型D-D中子发生器,其特征在于冷却液管道为绝缘材料制成的绕于高压电缆外缘的两层螺旋状管道。

6. 根据权利要求3至5所述的任一种紧凑型D-D中子发生器,其特征在于圆筒形真空腔体壁上和筒状束流引出加速电极的筒壁上相对应位置分别设置有中子输出窗口。

一种紧凑型D-D中子发生器

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种中子发生器,特别是一种可适用于中子活化分析或中子照相使用的紧凑型D-D发生器。

背景技术

[0002] 强流氘氘(D-D)和氘氚(D-T)聚变反应加速器中子源是重要的单能中子源(简称中子发生器),可广泛应用于核数据测量、核聚变堆基础研究、军工基础研究、快中子应用技术等各个方面。D-D和D-T聚变反应的特点是,在较低的D束流能量下,有较大的反应截面,即可用低能加速器加速D离子束,轰击氘钛(TiD)靶或氚钛(TiT)靶发生氘氘(D-D)或氘氚(D-T)聚变反应产生强的快中子。

[0003] 目前,D-D和D-T中子发生器有两个发展方向,一个是利用倍压式加速器将约几十mA的D离子束加速到300-400keV能量,轰击高速旋转水冷氘钛(TiD)靶或氚钛(TiT)靶,产生强流快中子,D-D和D-T反应快中子产额分别可达到 $1-5 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 和 $1-5 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ 量级。这种强流中子发生器体积较大,无法用于中子活化分析、中子照相等小型化可移动式中子应用技术装置,主要用于科研实验室,以开展核数据测量、核聚变堆及军工等领域的基础研究;另一个发展方向是小型化的密封中子管,其工作方式是,将0.1-0.2mA的D束流加速到100-120keV能量,轰击氘钛(TiD)靶或氚钛(TiT)靶,其D-D和D-T反应快中子产额一般大于 10^7 s^{-1} 和 10^9 s^{-1} 量级,其优点是体积微小,缺点是中子产额难于进一步提高,同时,密封中子管为一次性真空密封元件,靶材耗尽后整个密封中子管将报废,使用寿命短,成本高。目前,国内的中子管寿命只能达到几百小时,国际上的中子管寿命可达上千小时。

[0004] 另外,相比较而言,D-T中子管虽然中子产额高,但要使用放射性气体氚,其环保安全性差,D-D中子管不使用放射性气体氚,有更高的环保安全性,但D-D中子管 10^7 s^{-1} 的中子产额指标偏低,无法很好的满足小型化可移动式中子应用技术装置的要求。

[0005] 现已有多种形式的中子发生器公开并申请了专利。例如:1、中国专利CN102548181A【申请公布日:2012年7月4日】公布了一个小直径射频驱动氘氘中子管,其特点是体积很小,尤其适用于中子测井应用。此中子管DD中子产额虽然可达 $1 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 量级,但由于采取了一次性真空密封结构,1000小时的靶寿命到达后只能整体报废,无法满足工业在线活化分析及其他中子应用技术对使用寿命的要求。2、中国专利CN102548181A【申请公布日:2012年12月24日】公布了一个小型高产额氘氘中子发生器,该专利给出了4个实施方案:1)D束能量100keV,D束流强100mA,采用纯钛靶,靶上束流功率10kw;2)将方案1中的D束流强提高到400mA,采用陶瓷靶,靶上束流功率40kw;3)D束能量200keV,D束流强1000mA,采用纯钛靶,靶上束流功率200kw;4)将方案3中的钛靶换成陶瓷靶,束流提高到4000mA,靶上束流功率8000kw。以上四种实施方案从理论上讲,可以实现DD中子产额大于 10^{11} s^{-1} ,甚至可达 10^{12} s^{-1} ,但上述方案靶上束流功率太大,用方案中提到的油冷去无法保证对靶温度的控制,靶寿命将很短,另外,此方案中子发生的高频离子源的天线处于中子发生器的外段,天线发出的高频电磁波将对中子发生器的电源及控制元件产生强的干扰,会造成运行

不稳定。3、中国专利CN203748097U【授权公告日2014年7月3日】公布了小型定向中子发生器方案,其特点是在同轴电场加速下,轰击长形定向靶,在靶轴线方向产生高通量的中子,但寿命短与中子管相当。4、中国专利CN203761670U【授权公告日2014年8月6日】公布了一个采用栅极的一种中子发生器方案,其特点是采用栅极有效抑制二次电子反加速加速,产额不高,寿命短与中子管相当。5、中国专利CN101978429B【授权公告日2015年4月29日】公布了一个寿命长的高效中子发生器,该中子发生器采用了高频线圈感应式高频离子源,其特点是D粒子束单原子离子比高(约80%),效率高,但离子源的石英玻璃腔内表面容易因离子溅射形成金属膜,影响高频电磁波馈入放电腔,需要定期清洗维护。现有技术还存在一个共同的不足,即所产生的中子在装置的周围散射,造成使用中的不便,另一方面也会使产生的中子能量衰减而不利于其应用。

发明内容

[0006] 本实用新型提供一种可克服现有技术不足的、可适用于中子活化分析或中子照相使用的紧凑型D-D中子发生器。

[0007] 本实用新型的紧凑型D-D中子发生器包括:真空腔体;离子源系统;束流引出加速系统;靶系统;高压馈入系统及真空泵系统;其中由离子源产生的离子束流被引出、加速并与靶系统上的氘靶发生D-D聚变核反应放出中子,其特征真空腔体为一段管状构件,其两端分别用离子源阳极法兰和第二法兰与离子源系统和束流引出加速系统、靶系统、高压馈入系统实现联接。真空腔体与离子源阳极法兰和高压馈入系统法兰间分别通过第一和第二“O”型圈实现真空密封,同时由真空泵系统抽气保持真空腔体内为高真空。所述的离子源为双等离子源,其内通有D气体通过放电产生等离子体,通过机械压缩和磁压缩实现高的等离子体密度,能容易引出大于2mA的D离子束流,其束流的D单原子离子比约为50%。

[0008] 本实用新型的一种紧凑型D-D中子发生器的实施例中,其真空腔体用不锈钢制造,其管壁上设置有连通真空泵的管路,且真空腔体接地;所述的束流引出加速系统包括:一个由不锈钢制成的引出加速电极,由高压馈入系统将负高压馈入到引出加速电极上,在离子源阳极和引出加速电极之间形成电场,从离子源中引出并加速D离子束,D离子束穿过引出加速电极孔到靶上。

[0009] 本实用新型的一种紧凑型D-D中子发生器的实施例中,其引出加速电极为一筒状结构,筒状的引出加速电极内的筒底上与离子源的离子输出位置相对应位置开设有一个供离子进入并作用于靶材上的准直孔,靶系统设置于筒状的引出加速电极内,所述的靶系统包括靶托、靶片和靶片安装法兰构成,靶片用靶片安装法兰和第三“O”型密封圈安装在靶托上,靶托上设有与冷却管道连通的冷却槽,冷却液经冷却管道和冷却槽对靶片进行良好冷却。

[0010] 本实用新型的一种紧凑型D-D中子发生器,其高压馈入系统包括:其两端带有凸缘的管状陶瓷高压绝缘构件、用于固定引出加速电极并实现电联接的第一法兰、第二法兰和高压电缆,其中:管状陶瓷高压绝缘构件的两端凸缘与第一法兰和第二法兰间分别用活套法兰和螺钉固定安装,管状陶瓷高压绝缘构件的两端凸缘与活套法兰间用第四“O”型密封圈实现真空密封;管状陶瓷高压绝缘构件的内腔插入高压电缆;高压电缆的外缘设置有冷却液管道,管状陶瓷构件的内腔与高压电缆外缘和冷却管道的间隙间充有如变压器油类的

绝缘介质,以实现该区域的良好高压绝缘性能。

[0011] 本实用新型的一种紧凑型D-D中子发生器,其冷却液管道为绝缘材料制成的绕于高压电缆外缘的螺旋状管道。

[0012] 本实用新型的一种中子发生器,其特征在于圆筒形真空腔体壁上和筒状束流引出加速电极的筒壁上相对应位置分别设置有中子输出窗口。

[0013] 本实用新型由于在真空腔体上采用法兰联接离子源和靶系统等,因此可以很方便地更换离子源或靶片等系统及其它的内设部件,这样就可大大方便其应用,同时大大降低了使用的成本。

[0014] 本实用新型由于采用了双等离子源,其内通过管路与D气体源连通,这一结构使避免了现有技术中将离子源设置于石英玻璃腔内,造成其表面容易因离子溅射形成金属膜的弊病。

[0015] 本实用新型中在筒状结构的引出加速电极内的筒底上与离子源的离子输出位置相对应位置开设有一个供离子进入并作用于靶材上的准直孔,而将靶系统设置于筒状的引出加速电极内,通过靶托和靶片安装法兰将靶片固定,同时在靶托上设有与冷却管道连通的冷却槽,这一结构实现了对靶片的良好冷却,同时用“O”型密封圈实现密封,其结构相对简单,且也更方便靶片的更换。

[0016] 本实用新型中将高压馈入系统管状陶瓷高压绝缘构件之内,并在这一管状陶瓷高压绝缘构件的内部设置高压电缆,在其一端设置加速电极,在现有技术中陶瓷高压绝缘构件与金属的联接是非常难以解决的问题,现采用的联接技术措施是将陶瓷与金属件进行焊接,其成品率低,且费用很高。本实用新型中采用了其两端带有凸缘的管状陶瓷高压绝缘构件,并用活套法兰和螺钉实现陶瓷部件与金属部件的联接,采用“O”型密封圈实现联接部位的真空密封,其结构极为简单且具有极佳的联接与密封效果,解决了现有技术长期未能解决的技术难题。

[0017] 本实用新型的冷却液管道为绝缘材料制成的绕于高压电缆外缘的两层螺旋状管道,本实用新型采用螺旋状管道增加了冷却液管路的长度,可有效增大冷却液电阻,采用电阻率20k Ω 纯净水作为冷却液,即可保证有较小的高压漏电流,避免现有技术中冷却液使用变压器油所造成的冷却效果差的缺陷。

[0018] 本实用新型的一种中子发生器,其特征在于圆筒形真空腔体壁上和筒状束流引出加速电极的筒壁上相对应位置分别设置有中子输出窗口。窗为1mm厚的不锈钢,可有效降低窗材料与快中子的相互作用几率,以降低对中子能谱和中子通量的影响。

[0019] 本实用新型的一个紧凑型D-D中子发生器的实施例其外形长度1000mm,直径 Φ 300mm,D-D中子产额可大于 $1 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 量级,使D-D中子产额比D-D密封中子管高一个量级。

附图说明

[0020] 附图1为本实用新型的剖面结构示意图。

[0021] 附图2为附图1中A部位局部放大示意图。

[0022] 附图3为附图1中B部位局部放大示意图。

[0023] 附图4为本实用新型的真空腔中电场等位面分布图。

[0024] 附图中:1-离子源;2-束流引出加速电极;3-中子输出窗;4-靶系统;5-管状陶瓷高

压绝缘构件;6-螺旋状冷却液管道;7-高压电缆;8-冷却液进出管;9-管状陶瓷高压绝缘构件5的内腔;10-真空法兰;11-真空泵;12-活套法兰;13-冷却管道;14-真空腔体;15-不锈钢真空腔体壳;16-靶托;17-靶片真空封接法兰;18-靶片;19-第三真空密封“O”型橡胶圈;20-第一法兰;21-第二法兰;22-第四真空密封“O”型橡胶圈,23-位于管状陶瓷高压绝缘构件5两端的凸缘。

具体实施方式

[0025] 本实用新型以下结合附图及实施例解说。以下所有内容仅为说明本实用新型的实施例中相关结构,而不能视为对本实用新型内容的限制。

[0026] 附图1为本实用新型的紧凑型中子发生器的一个实施例的剖面结构示意图,其中有一个整体为圆筒形结构的真空腔体14,在真空腔体14连通真空泵11。在真空腔体14左端用离子源阳极法兰实现与离子源的联接,右端用高压馈入系统法兰实现与束流引出加速系统、靶系统、高压馈入系统的联接。本实施例中,所用的离子源是双等离子源,其中设有连通氙气源的管路,所述的氙气源可以是氙气瓶,并通过减压阀和气体质量流量控制器来实现对进气量的精确控制。本实施例的高压馈入系统包括:其两端带有凸缘23的管状陶瓷高压绝缘构件5、用于固定束流引出加速电极2并实现电联接的第一法兰20、第二法兰21和高压电缆7,以及束流引出加速电极2、靶系统,参见附图3。其中:管状陶瓷高压绝缘构件5的两端各设置有凸缘23,这两个凸缘23分别与第一法兰20和第二法兰间用活套法兰21和螺钉分别固定安装,所述的活套法兰是指由至少两个半圆的法兰体构成的法兰。在管状陶瓷高压绝缘构件5的两端凸缘23与活套法兰间用第四“O”型密封圈实现真空密封。管状陶瓷高压绝缘构件5的内腔9内插入高压电缆7,高压电缆7的外缘为螺旋状的冷却液管道6,本实施例中的螺旋状的冷却液管道6为两层,其输入端与输出端分别与冷却液进管8和冷却液出管导通,附图1和附图3中只表现了冷却液进管8,而未表示出冷却液出管。在管状陶瓷高压绝缘构件5的内腔壁与高压电缆外缘和冷却管道的间隙间充有绝缘介质,本实施例中充入的是25号变压器油,这一措施保证了高压电缆与处于接地电位的真空腔体14间的良好高压绝缘。附图1所示的实施例中,束流引出加速电极2为一筒状结构,筒状的引出加速电极内的筒底处且与离子源的离子输出位置相对应位置开设有一个供离子进入并作用于靶材上的准直孔,与束流引出加速电极2电连接的第一法兰20和位于管状陶瓷高压绝缘构件5一端的凸缘23、第二法兰21和位于管状陶瓷高压绝缘构件5另一端的凸缘23分别通过活套法兰12相互连接。在本实施例中,靶系统4设置于筒状的束流引出加速电极2的筒体内。所述的靶系统2包括靶托16、用于安装靶片的靶片安装法兰17、靶片18及第三“O”型密封圈19构成,参见附图2。在靶片18的下面与靶托16间设有与冷却管道13连通的冷却槽,而冷却管道13则与螺旋状冷却液管道6导通。在圆筒形真空腔体14的外壁上设置有中子输出窗口3,筒状束流引出加速电极的筒壁上与窗口3相应位置也设置有中子输出窗口,参见附图2。

[0027] 本实用新型的实施例的管状陶瓷高压绝缘构件5和高压电缆7组成的结构将-120kV高压馈入到束流引出加速电极2,在离子源阳极1和引出加速电极2之间形成电场,该电场从离子源等离子体中引出大于1mA。该实施例中使用了双等离子源,其放电产生的等离子体通过机械压缩和磁压缩,可产生高密度等离子体,能容易引出大于1mA的D离子束流。的D离子束并加速到120keV,离子束轰击在氘钛(TiD)靶4上,发生D-D聚变反应,放出快中子。

该实施例的不锈钢真空腔体壳15及离子源1的金属外壳均接地,而高压电场局限在中子发生器真空腔体14的内部。螺旋状冷却液管道6用具有良好高压绝缘性能的尼龙管绕制成螺旋状,固定在高压电缆外,冷却液由不锈钢接头8送入,并经尼龙冷却管道(6)和不锈钢管道(13)到达靶系统,实现靶片冷却。冷却液采用电阻率大于 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ 的高纯水,其漏电流不大于 1mA 。高压电缆插入腔9后,经抽真空并充以25号变压器油,以保证该区域有良好的高压绝缘性能。

[0028] 在本实施例中,中子输出窗3为不锈钢制成的薄法兰,直径为 30mm ,窗厚度 1mm ;束流引出加速电极2由不锈钢加工而成,外径 106mm ,内径 100mm ,长 245mm ,引出加速电极孔径 22mm ,管状陶瓷高压绝缘构件5由95%陶瓷制成,其长度为 250mm ,外径 110mm ,内径 80mm ,所用的靶片(18)由钨金属制成,直径为 $\Phi 50\text{mm}$,厚度为 1mm ,中心区域镀直径 $\Phi 50\text{mm}$ 厚度约 $10\mu\text{m}$ 的钛膜,用于吸附氘气,其外形尺寸为长度 1000mm ,直径 $\Phi 300\text{mm}$ 。本实施例采用一台风冷抽速为 300L 的分子泵抽气来保证真空腔(14)中的真空度达到 $1\times 10^{-4}\text{Pa}$ 的高真空,分子泵配有一台抽速为 3L 的机械泵作为前级泵。

[0029] 经实际运行与测试表明,本实施例可产生 2.5MeV 能量的快中子,D-D中子产额大于 $1\times 10^8\text{ s}^{-1}$ 量级;其真空腔14内的电场等位面分布如附图2中所示,腔内的最大电场不大于 45kV/cm ,远小于高真空击穿电场 100kV/cm 的限值,可保证稳定运行,能确保在实验室及工业应用现场的高压安全性。

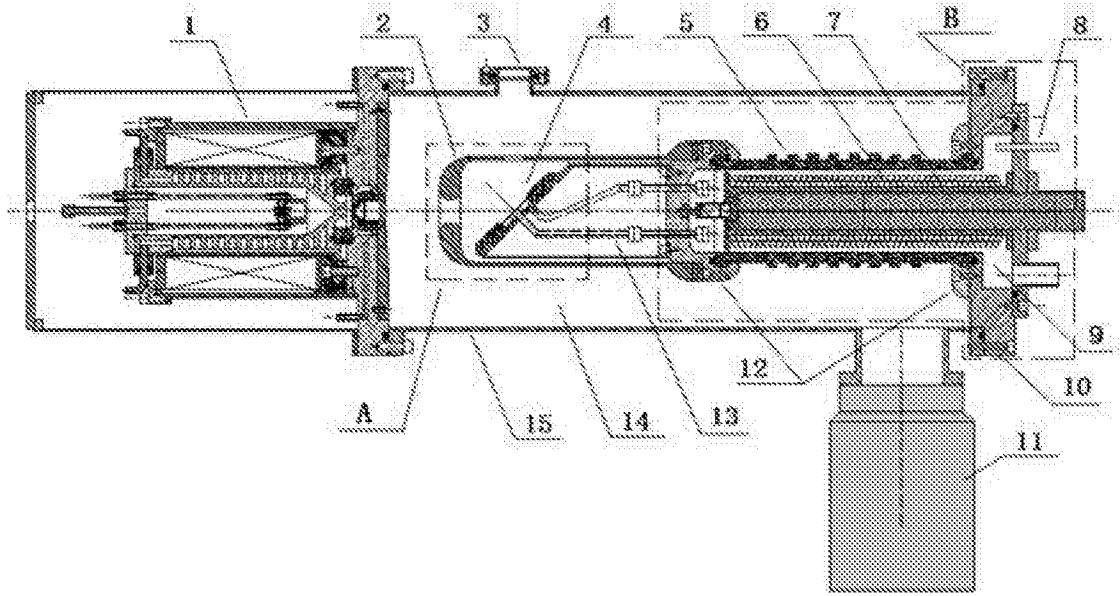


图 1

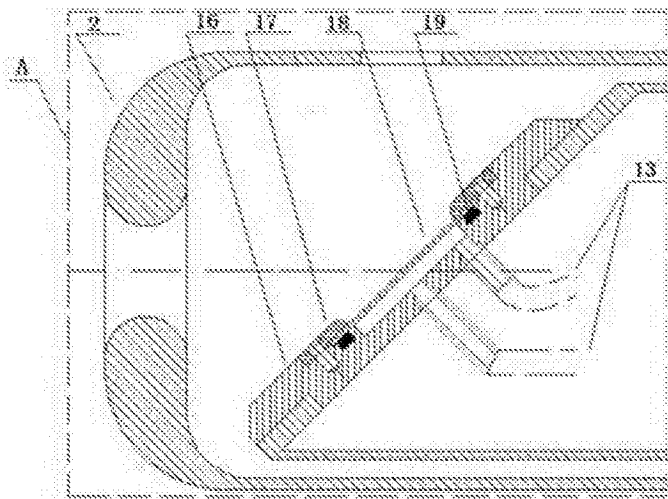


图 2

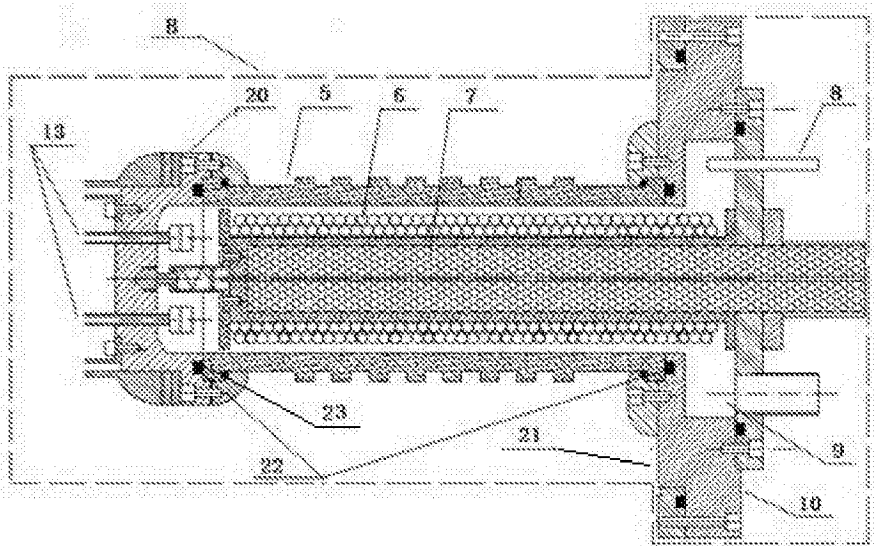


图 3

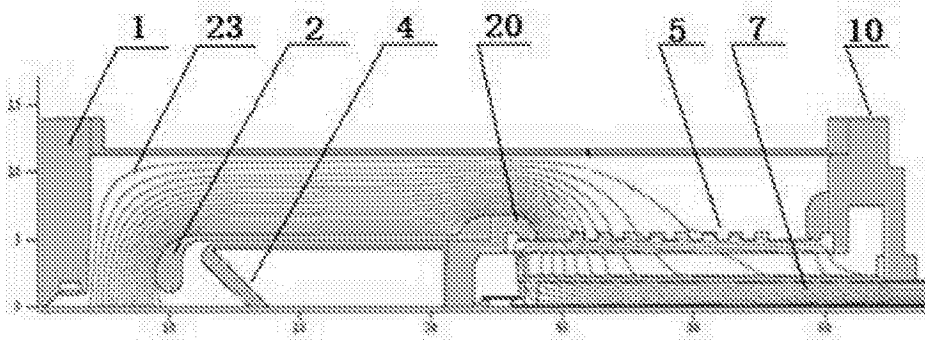


图 4