(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108352240 B
(45)授权公告日 2020.05.19

(21)申请号 201680061082.8

(22)申请日 2016.10.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108352240 A

(43)申请公布日 2018.07.31

(30)优先权数据
1560004 2015.10.20 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.04.18

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2016/052707 2016.10.20

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2017/068285 FR 2017.04.27

(73)专利权人 移动磁体技术公司
地址 法国贝桑松

(72)发明人 纪尧姆·卢塞尔
哈维尔·里奥斯-克萨达
斯特凡·比韦尔西
米夏埃尔·德尔巴尔

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 康建峰 陈炜

(51)Int.Cl.
H01F 7/08(2006.01)
H01F 7/16(2006.01)
H02K 33/16(2006.01)
H02K 33/18(2006.01)
H01H 33/666(2006.01)

(56)对比文件
WO 2015114261 A1,2015.08.06,
FR 2308178 A1,1976.12.16,
CN 104700977 A,2015.06.10,
CN 203826152 U,2014.09.10,
WO 2015114261 A1,2015.08.06,

审查员 高静静

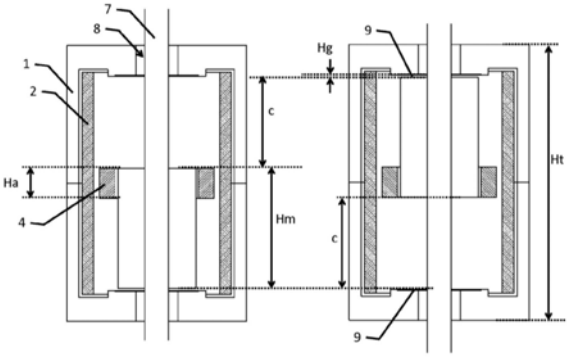
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

具有改善的磁稳定性和脱离力的线性致动器

(57)摘要

本发明涉及线性电磁致动器，其具有冲程c，至少一个稳定位置处于冲程末端中的一个末端，并且包括：由软磁材料制成的衔铁(6)，所述衔铁(6)能够沿轴向方向Y移动，并且在方向Y上具有长度Hm，所述衔铁(6)具有关于轴线Y对称的形状；以及由软磁材料制成并且支撑至少一个电线圈(2)的固定定子轭(1)。所述致动器还包括沿垂直于方向Y的横向轴线X磁化的至少一个固定永磁体(4)。磁体(4)横向地放置在可移动衔铁(6)与电线圈(2)之间。磁体(4)在方向Y上具有长度Ha。固定轭(1)与可移动衔铁(6)在它们之间限定至少一个轴向气隙。Ha+c具有Hm的数量级。长度Hm使得0.9×(Ha+c)<Hm<1.1×(Ha+c)，使得当可移动衔铁(6)处于其末端稳定位置时，可移动衔铁(6)的两个轴向末端中的一个轴向末端邻近永磁体(4)的两个轴向末端中的一个轴向末端。



CN 108352240 B

1.一种线性电磁致动器,其在轴向方向Y上具有冲程c,至少一个稳定位置处于冲程末端中的一个末端,并且包括:由软磁材料制成的衔铁(6),所述衔铁(6)能够沿轴向方向Y移动并且在轴向方向Y上具有长度Hm,所述衔铁(6)具有相对于沿轴向方向Y的轴线对称的形状;以及由软磁材料制成并且支承至少一个电线圈(2)的固定定子轭(1),所述电磁致动器还包括在垂直于轴向方向Y的横向轴线X上磁化的至少一个固定永磁体(4),固定永磁体(4)横向地放置在衔铁(6)与电线圈(2)之间,固定永磁体(4)在轴向方向Y上具有长度Ha,固定定子轭(1)与衔铁(6)在它们之间限定至少一个轴向气隙,其特征在于,Ha+c具有与Hm相同的数量级,长度Hm使得0.9×(Ha+c)<Hm<1.1×(Ha+c);以及所述电磁致动器具有两个极靴(5h,5b),所述两个极靴(5h,5b)固定至固定定子轭(1)、定位在固定永磁体(4)的任一侧且朝向固定永磁体(4)轴向地延伸相应的高度Hph、Hpb。

2.根据权利要求1所述的电磁致动器,其特征在于,Hpb等于c并且Hpb≥Hph。

3.根据权利要求1或2所述的电磁致动器,其特征在于,所述电磁致动器包括由软铁磁材料制成的垫片(11),所述垫片(11)横向地置于固定永磁体(4)与电线圈(2)之间。

4.根据权利要求3所述的电磁致动器,其特征在于,垫片(11)在轴向方向Y上具有等于固定永磁体(4)的长度Ha的长度。

5.根据权利要求3所述的电磁致动器,其特征在于,垫片(11)沿轴向方向Y的长度等于电线圈(2)的长度并且在固定定子轭(1)的附近。

6.根据权利要求1或2所述的电磁致动器,其特征在于,所述电磁致动器具有两个稳定位置。

7.根据权利要求1或2所述的电磁致动器,其特征在于,所述电磁致动器具有单个稳定位置。

具有改善的磁稳定性和脱离力的线性致动器

技术领域

[0001] 本发明涉及具有不消耗能量的一个或两个稳定位置的线性电磁致动器,这些稳定位置借助于至少一个永磁体来实现。更具体地,本发明提出了一种具有借助于电流离开这个或这些稳定位置的能力的致动器,将讲到脱离力(stripping force),并且这与现有技术相比在一定程度上有所改进。本发明还提出了一种具有使线性行程比现有技术的解决方案所允许的线性行程更大的能力以及节省用于给定稳定力的磁体质量(mass)的致动器。

[0002] 非限制性地且通过示例的方式,该致动器将找到用于任何类型的汽车流体循环阀的应用,例如用于进气阀或排气阀或者用于移动传输元件的致动器。总之,可以使用本发明所描述的致动器找到要求维持一个或更多个无电流的稳定位置以及能够通过电气指令离开该位置的任何功能的解决方案。

背景技术

[0003] 在现有专利技术中已知通过一个或更多个磁体来提供其稳定性的致动器。

[0004] 例如,专利US 4779582提出了用于移动汽车阀的致动器的拓扑,并且特别地在固定(定子)部件处使用主动参与维持致动器的两个极端位置的磁体。这些磁体被定位在两个单独的电线圈之间,以使得围绕第一线圈或第二线圈的磁通量能够成环。

[0005] 在文献EP 0157632中或者在更新的文献WO 2014/023326中可以找到相同类型的致动器拓扑。

[0006] 这些设备的目的是解决在没有任何机械辅助例如弹簧的情况下,以及在由于使用永磁体而不消耗电能的情况下提供单稳定性或双稳定性的一般问题。

[0007] 然而,这些设备不能实现容易地离开稳定位置。这是因为弹簧被用于使得能够更容易地离开或脱离稳定位置。线圈中的电流在优先的空气流通方向上使得能够帮助脱离,但不能完全抵消由磁体产生的支撑力(holding force),或者不能允许足够的脱离力以克服任何摩擦或者施加至可移动部件的载荷。

[0008] 此外,在中心位置处使用这些磁体任一侧的两个独立线圈使得致动器效率低下,当可移动部件处于致动器行程的一端或另一端时,总绕组的一半不起磁性作用。

[0009] 在文献WO 2004/066476中还已知另一类型的单稳态或多稳态致动器,其使得能够借助于由致动器的可移动部件承载的磁体的作用来保持这些稳定位置。

[0010] 该致动器部分地改进了先前提到的致动器,使得整个电线圈参与生成力,而不管可移动部件在行程中的位置如何。此外,所研发的拓扑使得能够生成由文献中公开的数学公式指导的、可以通过作用于可移动部件上的磁体的嵌入而被最大化的脱离力。

[0011] 另一方面,该致动器具有(在移动方向上)要求可能很大的轴向空间需求的原始拓扑,当要求的行程很大时更是如此。这是因为致动器的轴向空间需求最小将等于行程的两倍加上在定子上安装电线圈和铁磁极所需要的空间,如可以从本文件中的图6中理解的。另外,由于可移动部件到达极端位置期间的冲击,移动磁体将经受高加速度,这可能会长期损害系统的使用寿命,可能会是不利的。

[0012] 最后,如在申请WO 9427303或WO 2015/114261中所描述的,还已知一种可以具有双稳态特性的致动器拓扑,其中,磁体被固定在磁结构中,需要仅一个电线圈用于在两个致动方向上起作用,并且其中,可移动部件仅由铁磁片构成。因为这些拓扑由于其特性不能受益于非常高的脱离力,所以给出概括指示以使得能够通过使用极靴(pole piece)来增加该力。

[0013] 虽然这种类型的结构(通过使用固定磁体和使用极靴)可以部分地解决上述问题,但是对于极靴的使用未给出精确的教导。另外,在这些文献中特别是文献EP 0713604中给出的尺寸规则使得该致动器如其前序中所指出的旨在用于小幅度的行程,约+/-1毫米。

[0014] 因此,存在现有技术未解决的如下需要:关于具有几毫米行程并且能够达到典型的15至20毫米的致动器的制造;最小化磁体质量;有利于足以克服稳定的支撑力、摩擦以及施加至致动器的移动部件的任何外部载荷的纯粹的磁脱离力;以及有利于在致动器的行程上的显著的致动力。

发明内容

[0015] 因此,本发明旨在通过提出一种致动器来克服现有技术的缺点,该致动器具有至少一个无电流的稳定位置并且能够在几毫米的行程上实现,同时受益于改善的脱离力并保持有限的轴向空间需求。

[0016] 本发明的另一目的是使得能够与现有技术的实施方式相比减小磁体质量以实现给定的稳定力。

[0017] 为此,本发明打破现有技术特别是文献EP 0713604的教导,首先提出了在可移动质量的高度与磁体的高度之间给出非常不同的相对尺寸。因此,本领域技术人员将不会偏离本文件所推荐的尺寸比。

[0018] 其次,通过一方面使这些极靴接近致动器的磁体并且另一方面使移动质量处于稳定位置来巧妙地实现极靴的使用。

[0019] 第三,正如对于本领域技术人员而言意外的,使用放置在致动器的磁体与线圈之间的固定磁垫片(shim),垫片的高度基本上等于线圈的高度,使得能够改善致动器的稳定力而不会损害由于电线圈而产生的脱离力。

[0020] 更具体地,本发明提出了一种线性电磁致动器,其具有冲程(stroke)c、至少一个稳定位置处于冲程末端中的一个末端,并且包括:由软磁材料制成的衔铁(armature),衔铁能够沿轴向方向Y移动并且在方向Y上具有长度Hm;以及由软磁材料制成并且支承至少一个电线圈的固定定子轭,所述致动器还包括在垂直于方向Y的横向轴线X上磁化的至少一个固定永磁体,磁体被横向地放置在可移动衔铁与电线圈之间,磁体在方向Y上具有长度Ha,固定轭与可移动衔铁在它们之间限定至少一个轴向气隙,其特征在于,Ha+c具有与Hm相同的数量级,长度Hm使得$0.9\times(Ha+c)<Hm<1.1\times(Ha+c)$。因此,当可移动衔铁处于其极端稳定位置时,可移动衔铁的两个轴向末端中的一个轴向末端在永磁体的两个轴向末端中的一个轴向末端的附近。

[0021] “冲程”在本专利中的含义是指沿可移动衔铁的轴线X在限定可移动衔铁的移动的两个轴向止动件(stop)之间移动的长度。对于双稳态致动器,这些止动件可以是机械式的,并且实现磁功能,或者对于单稳态致动器,这些止动件可以是止动件中的一个是非磁性的

而另一个止动件是磁性的。

[0022] 为了显著地改善脱离力并且特别是针对几毫米的长冲程，致动器具有固定至轭、定位在磁体任一侧且朝向磁体轴向延伸相应高度Hph、Hpb的两个极靴。

[0023] 有利地，Hpb接近于c并且Hpb≥Hph。

[0024] 为了在受益于关于脱离力和磁稳定力二者改善的力的同时节约磁体体积，致动器包括由软铁磁材料制成的垫片，该垫片横向地置于永磁体与电线圈之间。

[0025] 该铁磁垫片在方向Y上具有可以接近于永磁体的长度Ha的长度，但将优选地具有接近电线圈高度的长度以靠近轭。

[0026] 通常，致动器可以具有一个或两个稳定位置。

附图说明

[0027] 本发明的其他特征和优点将通过参照附图阅读下面详细的示例实施方式得出，附图分别示出了：

[0028] -图1a和图1b分别是根据与第二实施方式类似的典型实施方式的双稳态致动器的完整透视图和截断图；

[0029] -图2a和图2b是沿着第一实施方式中根据本发明的双稳态致动器的轴向切割平面、分别处于每个冲程末端位置的两个视图；

[0030] -图3是沿着第二实施方式中根据本发明的双稳态致动器的轴向切割平面的视图；

[0031] -图4是沿着第三实施方式中根据本发明的双稳态致动器的轴向切割平面的视图；

[0032] -图5是示出在给定的线性冲程上由根据本发明的双稳态致动器生成的典型力的曲线图；

[0033] -图6a和图6b是分别依据根据本发明的单稳态致动器的透视图和轴向切割平面的两个视图；

[0034] -图7是沿着第四实施方式中根据本发明的双稳态致动器的轴向切割平面的视图；

[0035] -图8是沿着替代实施方式中根据本发明的双稳态致动器的轴向切割平面的视图；

[0036] -图9是示出极靴厚度的影响的曲线图；

[0037] -图10是示出极靴高度的影响的曲线图；

[0038] -图11是示出磁体高度、冲程以及可移动衔铁的高度之间的关系的重要性的曲线图；

[0039] -图12是示出如图6a和图6b中呈现的具有不对称性的致动器的力的典型变化的曲线图；

[0040] -图13是示出根据图4的第三实施方式的实现方式的优点的曲线图；

[0041] -图14是使用磁垫片作为极靴的替代实施方式。

具体实施方式

[0042] 图1a呈现了根据本发明的特定实施方式的致动器的透视图。在一般实施方式中，优选的形状具有关于轴线(A)的轴对称性，并且致动器具有管状形状。然而，本发明不限于这种轴对称形状的实施方式，因为如图6a和图6b所示，平行六面体形状的实施方式也是可以的。同样地，虽然在附图中，轭(1)看起来被制造成两部分，但是这仅是制造该外部轭(1)

的方式的非限制性示例实施方式。

[0043] 在优选实施方式中，图1b中的截断图具有致动器的所有组成元件，其中，为了更好地理解实施方式的细节，图1b中的截断图中省略了致动器的四分之一。因此，在将致动器的固定部件组配在一起的定子处找到存在如下部分：由软铁磁材料制成的轭(1)，这里，该轭具有圆柱形的外形；容纳在轭(1)中形成的空腔(3)中的电线圈(2)；以及轴向地定位在轭(1)的中心处的永磁体(4)。可以设想磁体并非定位于中心处而是轴向偏移，以有利于致动器在一个移动方向或另一移动方向上的功能的不对称性。在该优选实施方式中，轭(1)通过在磁体(4)附近的极靴(5b,5h)在由电线圈(2)限定的体积内轴向延伸。能够相对于定子沿轴向方向平移移动的部分包括由软铁磁材料制成的管状衔铁(6)，该管状衔铁(6)在由磁体(4)和极靴(5b,5h)限定的体积内移动。该衔铁(6)被固定至轴(7)，轴(7)在固定至轭(1)的轴承(8)中滑动并用于固定要由致动器移动的外部构件(不可见)。

[0044] 如将在图2a和图2b中发现的，极靴(5b,5h)的使用对于一般发明来说不是根本上必需的。这是因为，在这些视图中呈现的双稳态致动器的第一实施方式中，应特别地理解在构成致动器的各种元件处给出的尺寸使其具有使线性冲程大于现有技术的实施方式可以实现的线性冲程的可能性。因此，在Ha表示磁体(4)的轴向高度、Hm表示可移动衔铁(6)的轴向高度、c表示致动器的冲程时，可以理解Hm使得Hm＝Ha+c的事实。这种一般的尺寸规则，即使在未严格遵守相等的情况下也能够被理解，使得能够制造具有比Ha大得多的冲程c的致动器。因此，致动器的高度Ht几乎不大于2×c+Ha，即通过增加固定至轭(1)的由软铁磁材料形成的轴向止动件(9)的厚度。这样的尺寸的一个结果是当衔铁(6)处于其极端位置时，磁体(4)的末端在轴向上与衔铁(6)的末端对齐或者在衔铁(6)的末端的附近。这是图3中的第二实施方式中所采用的特征。

[0045] 应当注意的是，衔铁(6)可以与这些轴向止动件(9)接触或者与外部止动件(未示出)接触，或者与置于止动件(9)与衔铁(6)之间的非磁性元件(未示出)接触。有利地，允许轴向高度Hg的剩余气隙的存在——其优点可以在图5中进行评估——实际上也是本发明主题的一部分。这是因为剩余气隙将使得能够被定位在冲程上的脱离力和磁稳定力根据给定规格的需要被优化的点处。

[0046] 图11使得能够理解关系Hm＝Ha+c的重要性。这是因为所描绘的曲线图示出了因子x的变化，使得x＝Hm-(Ha+c)。在这个示例中，接近位置-5mm的最佳脱离力在x＝0时清楚可见，并且当x严格变负或变正时，观察到该最佳值显著下降。已经观察到，一般根据所考虑的情况，当Hm使得0.9×(Ha+c)<Hm<1.1×(Ha+c)时，观察到最佳脱离力。离开这个范围，脱离力被证明显著降低。

[0047] 图3呈现了与图1中所呈现的优选实施方式类似的第二实施方式，其中，图2a和图2b中的元件以及图1b中所描述的极靴(5b,5h)被找到。这里，这些极靴(5b,5h)相对于垂直于致动器轴线的致动器中间平面轴向对称地布置。这些极靴(5b,5h)具有厚度Epc，其在这里所描述的示例实施方式中是恒定的，该厚度Epc的值可以优化力曲线。极靴(5h,5b)在高度上分别沿轴向延伸Hph、Hpb，使得它们的末端(10h,10b)靠近磁体。在这种情况下，在该致动器的两个稳定位置的每个稳定位置，还存在末端(10a,10b)中的一个末端与衔铁(6)的末端中的一个末端之间的接近。如果希望使致动器具有对称的特性即当从冲程末端中的一个末端朝向另一末端执行致动或者从冲程末端中的另一末端向一个末端执行致动时具有相

同类型的力响应的能力，则极靴(5b，5h)的轴向末端(10h，10b)与磁体(4)的轴向末端之间存在的距离Hch和Hcb可以相等。如果希望使致动器具有不对称的特性(一个移动方向与另一移动方向的力响应不同)，或者如果希望制造单稳态致动器，例如如在图6a和图6b中描述的那样，则可以在Hcb与Hch之间给出不同的值。最后，可以将这两个极靴中的仅一个极靴一体化，以及可以在轭(1)是轴对称时制造不在360°上延伸而在较小角度上延伸的极靴。后一种修改可以特别地根据需要调整所产生的力。

[0048] 如果脱离力需求高，特别是在致动器的冲程增加的情况下，将特别地寻求极靴(5b，5h)的使用。这是因为通过衔铁(6)与两个极靴(5b，5h)之间的磁协同效应，产生了高的脱离力，并且整个冲程上产生的机械功显著增加。

[0049] 对于使用这些极靴(5b，5h)的所有实施方式而言，重要的是保持值Hch和Hcb相对于冲程c而言相对较低。这里，我们在图3的示例中衔铁(6)处于其下部稳定位置的情况下来解释这些极靴(5b，5h)的功能。在电流的作用下，由线圈(2)产生的磁通将穿过下极靴(5b)并穿过衔铁(6)，使得在冲程上的整个移动期间(高度Hph、Hpb接近于冲程c)，将保留磁通的该通路。与衔铁(6)的径向厚度相比相对精细的厚度Epc将确保磁通确实穿过衔铁而不是太快地返回至轭(1)。因此，下极靴(5b)将有利地必须使得Hpb基本上等于c，即Hcb具有与c或Hm相比较小的值。上极靴(5h)将通过衔铁(6)与上极靴(5h)之间的局部可变磁阻的效应来实现有助于脱离稳定位置的引力作用。为了调节该脱离力，可以例如遵循如图9所呈现的Hch对力曲线的影响。还给出了厚度Epc，使得脱离力以及冲程上的力根据给定的规格来成形。为此，图10的教导将能够被用作一般指导。

[0050] 一般地，因此有必要：

[0051] 面向处于其磁稳定位置的衔铁(6)的极靴(5b)使得Hcb与c或Hm相比较小，即Hpb接近于c，

[0052] 与衔铁(6)相对的极靴(5b)使得Hcb≤Hch，Hch的增加使得能够使力具有成形的趋势，以有利于例如使用剩余气隙Hg来调整磁稳定力、脱离力以及冲程上的力，

[0053] 极靴的厚度相对于衔铁(6)的径向厚度较小并且不必是恒定的。

[0054] 为了改善无电流的磁稳定力，将由软铁磁材料制成的磁垫片(11)定位成径向定位在磁体(4)与线圈(2)之间可能是有利的。如图7所示，该垫片(11)可以具有与磁体(4)的轴向高度相似的轴向高度，或者如图4所示，优选地具有与线圈的高度相似的高度，以有利于磁体(4)与轭(1)之间的磁通的通路。为了不促使线圈(2)的过量磁导以及因此磁体(4)与线圈(2)之间的有用磁通的短路部分，通过有利于其磁饱和来优化垫片(11)的厚度是有利的。

[0055] 该垫片(11)使得能够在保持相同的机械特性(有电流和无电流的情况下产生的力)的同时减小磁体(4)的厚度。最后，可以通过考虑具有给定横向厚度的磁体(4)或者通过考虑共同具有等效的横向厚度的磁体(4)和垫片(11)来获得具有相同总体积和相同体积的电线圈(2)的致动器。因此可以可选地实现对磁体体积的节省。图13示出了这种有利且意外的特性，针对磁体后无垫片或有垫片(分别为情况“0”和“1”)的两种不同的致动器，可以看到有电流和无电流(分别为0At和100At)的情况下力曲线的变化。对于情况“0”，磁体(4)具有2.5mm的厚度，而在情况“1”中，磁体(4)具有2mm的厚度并且垫片具有0.5mm的厚度，即总厚度与情况“0”的厚度相似。无论是有电流还是无电流，对于情况“1”，脱离力和磁稳定力相对于情况“0”得到改善(效果增强)，而磁体质量已经减小。将有必要根据所讨论的尺寸和存

在的磁动势以及磁路的横截面来调整垫片(11)和磁体(4)的相对厚度以受益于最佳效果。

[0056] 如图4和图7所示，该垫片(11)可以与极靴(5h,5b)结合使用，或者如图14所示不使用极靴。

[0057] 图6a和图6b中呈现了单稳态致动器的平行六面体实施方式。这里值得注意的特征是致动器的不对称性，这是由于对极靴(5b,5h)的特殊加工而在两个致动方向上不具有相同的力响应。根据图3中所呈现的教导，在下部，距离Hcb被最小化以有利于磁体(4)与下极靴(5b)之间的接近。如图10中所解释的，距离Hch大于距离Hcb以获得具有在脱离力之后增加的电流的力。该致动器在其上部还具有也用作轴承(8)的非磁性止动件，使得衔铁(6)抵靠在该元件上，并且当衔铁(6)处于高位置时不存在稳定力。这里，该止动件(8)的支承件由非磁性板(12)来表示。可以通过线圈(2)中的电流或重力或任何外部载荷的作用来实现返回至低位置。图12示出了这样的致动器在所施加的电流的方向上的典型特性，其中可以看出+100At处的力曲线与-100At处的力曲线不对称，并且没有施加电流的曲线相对于冲程的中心不具有对称性。

[0058] 总体而言，通过增加磁体的高度(Ha)可以改善脱离力和冲程上的力。例如，图8呈现了这样的实施方式，其中，与图3中的实施方式相比，有电流情况下的力将得到改善，但是如果希望保持相似的高度Ht，则冲程c将减小。然而，磁体质量的这种增加对于致动器的正确功能不是必需的，并且允许高度Ha基本上小于行程c并且小于衔铁(6)的高度Hm的可行功能形成本发明目的的一部分。

[0059] 图5、图9以及图10通过示例呈现了作为本发明主题的致动器所具有的优点和一般教导。

[0060] 在图5中，当遵循图3中的尺寸标准并使用极靴(5b,5h)时，我们在双稳态致动器的情况下来呈现作为线圈(2)中流通的安培-匝数的函数的致动器的冲程上的力的变化。这里，对于+/-5mm的冲程c即10mm的情况，我们假设Hch＝hcb＝0.5mm和Ha+c＝Hm，其中Ha＝10mm。在该曲线图上，FS表示两侧对称的磁稳定力，FA表示使得能够以不可忽略的力离开稳定位置的脱离力，FC表示如果致动器要克服整个冲程上的载荷(摩擦力、反作用力、气体的力等)可能需要的冲程上的力。极靴的厚度约为1至1.5mm，即与衔铁(6)的宽度相比较小。应当注意的是，电流的方向当然很重要，因为根据注入的水平，正电流导致使得能够脱离的整体上的正向力，当衔铁处于位置-5毫米时，负电流将在这个相同的位置上增强稳定力。另一方面，当在位置+5毫米时，负电流将使得可以离开稳定位置。

[0061] 图9就此给出了关于厚度Epc的尺寸的信息。如上所述，厚度必须根据所确定的规格保持最佳。在与图5中的示例的情况类似的这个示例中可以看出，值Epc的过度增加的确会导致脱离力的最大化，但是也会导致在冲程的第二部分上的力非常大的减小，该力甚至变成负值，使得在高的外部载荷的情况下致动不能得到保证。因此，有必要优化Epc的值，同时保持Epc的值相对于冲程而言较低，特别是相对于存在的磁性材料的横截面。使用非恒定的Epc厚度将使得能够通过根据位置作用于磁饱和来实现有利的折中。

[0062] 图10的部分给出了为了在Hcb＝0.5mm且Hm＝Ha+c+0.5的情况下根据规格获得最佳性能而给出的Hch的值的指示，使得在Hch＝Hcb时衔铁(6)的末端与极靴(5h)的末端轴向对齐。该研究情况对应于与图5至图9中所呈现的情况类似的情况，但是在这里我们看到，Hch相对于Hcb的增加使得能够移动脱离力曲线和冲程上的力曲线。如果希望使脱离力优

先,则将必须使Hch＝Hcb左右的值优先。如果希望受益于在冲程开始处增加的力,则需要优先使高度Hch高于Hcb,即在引力极靴的末端与衔铁(6)的末端之间产生轴向偏移。应当注意的是,Hch和Hcb的变化对稳定力的影响可以忽略不计,因此这些参数可以彼此独立地进行优化。

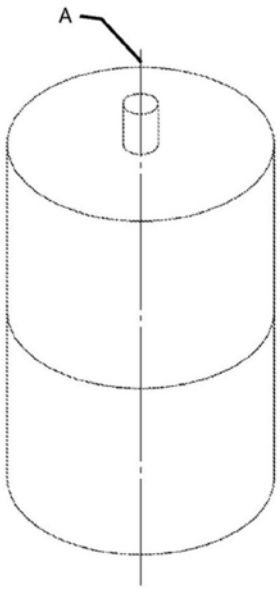


图1a

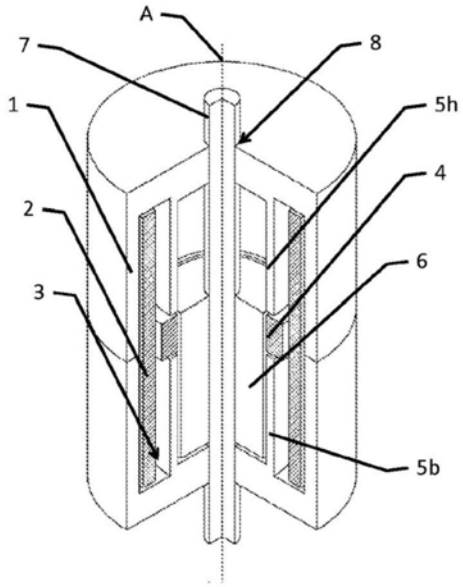


图1b

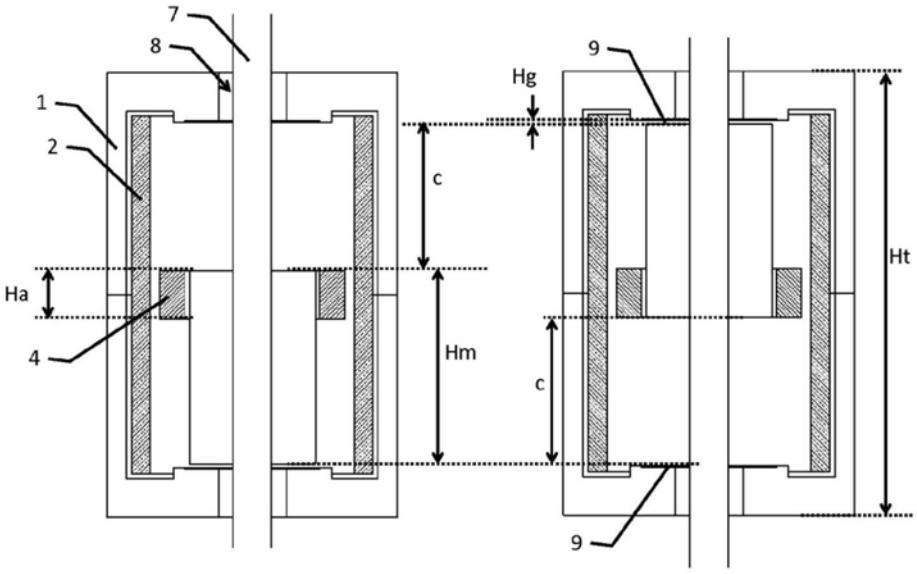


图2a 图2b

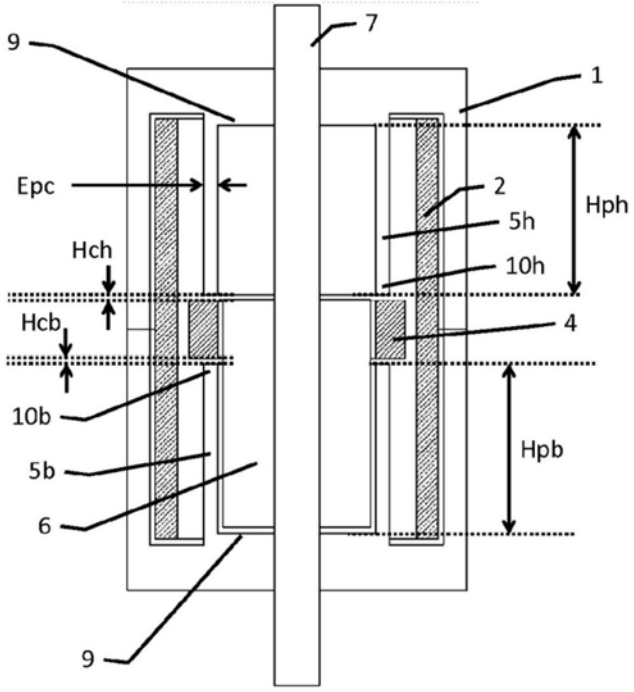


图3

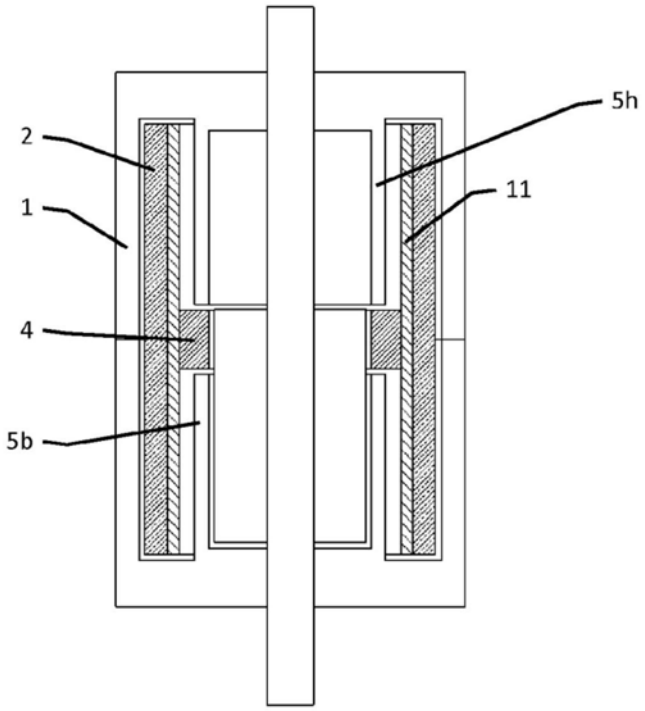

2
1
4
5b
5h
11

图4

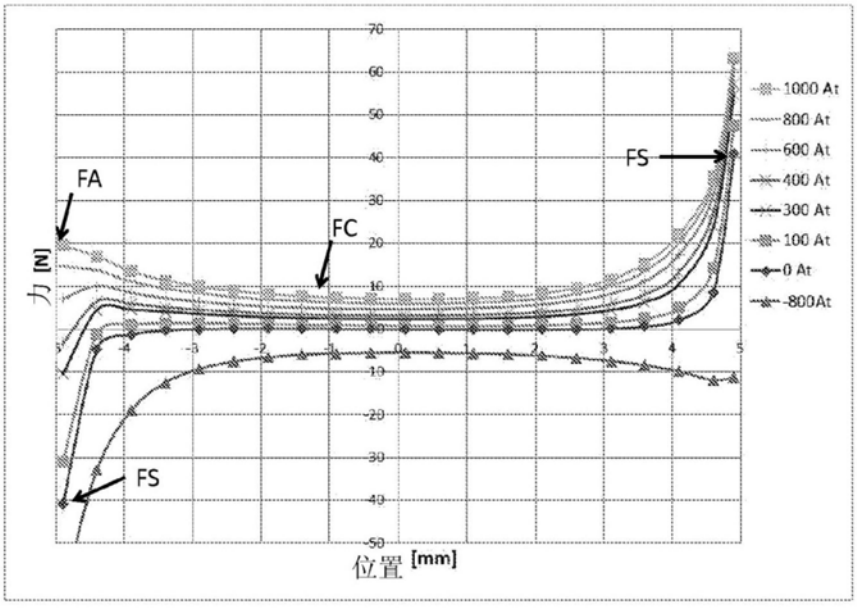

FA
FC
FS
FS
力 [N]
位置 [mm]
1000 At
800 At
600 At
400 At
300 At
100 At
0 At
-800At

图5

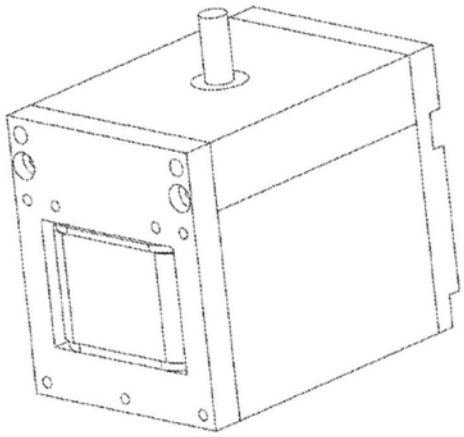


图6a

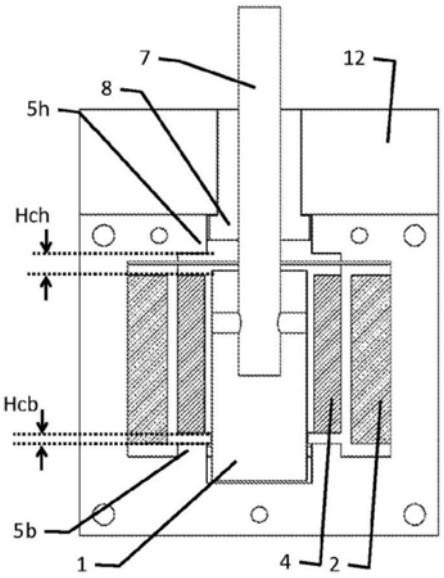


图6b

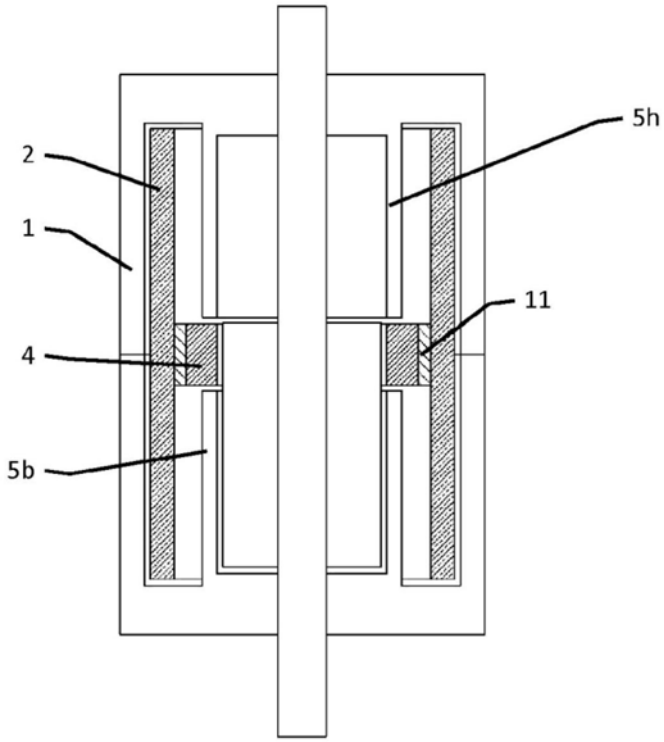


图7

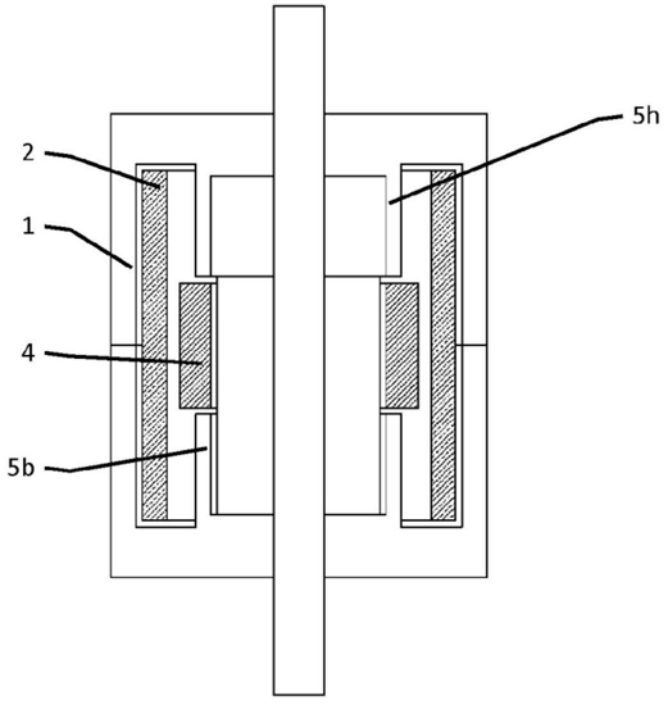


图8

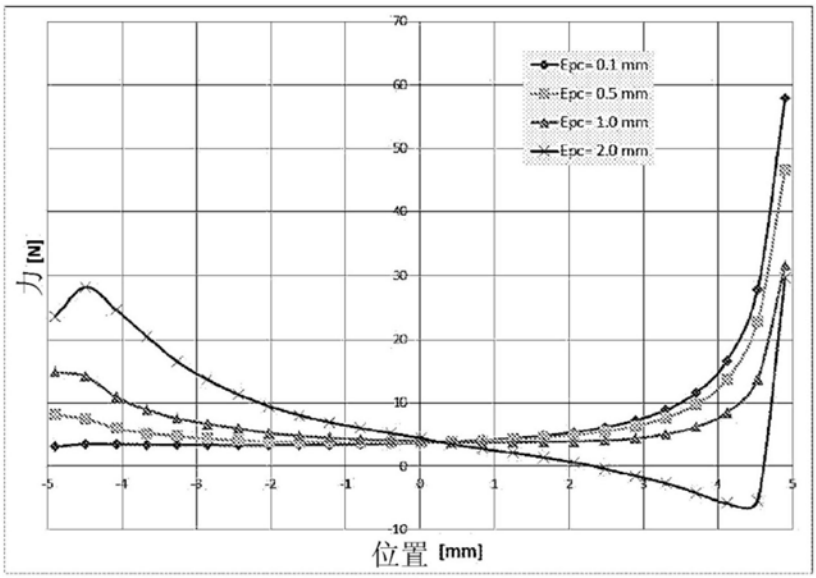

Epc=0.1 mm
Epc=0.5 mm
Epc=1.0 mm
Epc=2.0 mm
力 [N]
位置 [mm]

图9

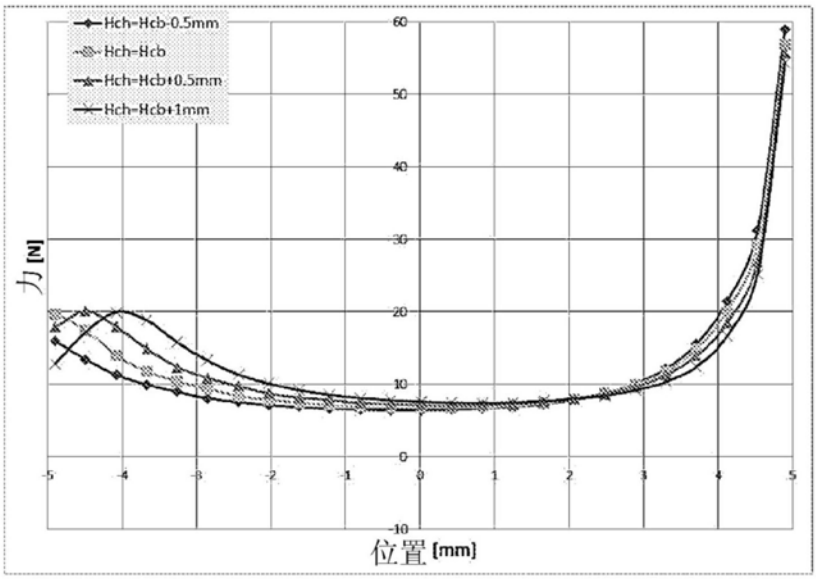

Hch-Hcb-0.5mm
Hch-Hcb
Hch-Hcb+0.5mm
Hch-Hcb+1mm
力 [N]
位置 [mm]

图10

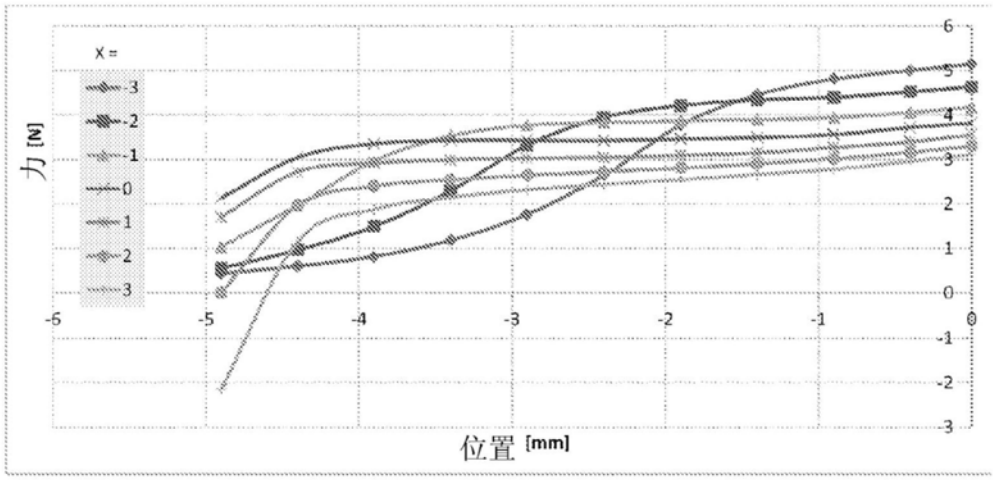

X =
3
2
1
0
1
2
3
力 [N]
位置 [mm]
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3

图11

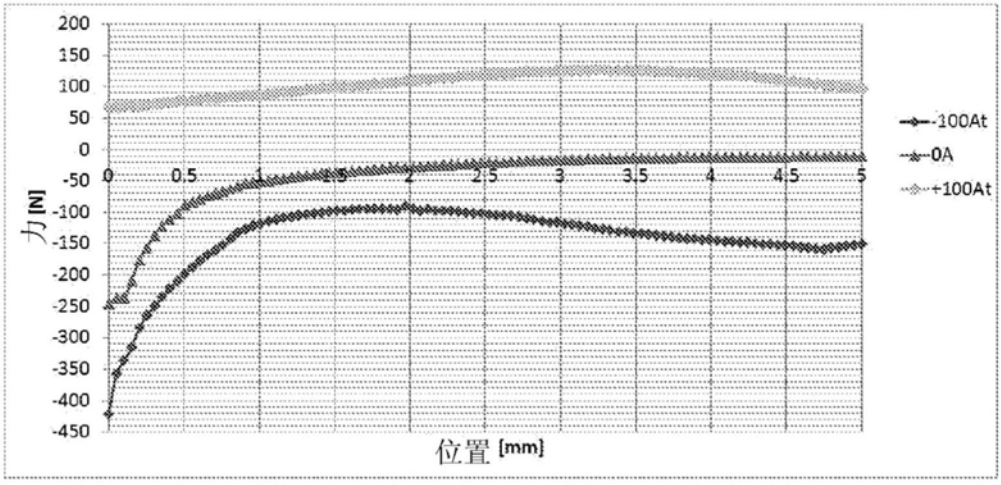

200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
-450
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
力 [N]
位置 [mm]
-100At
0A
+100At

图12

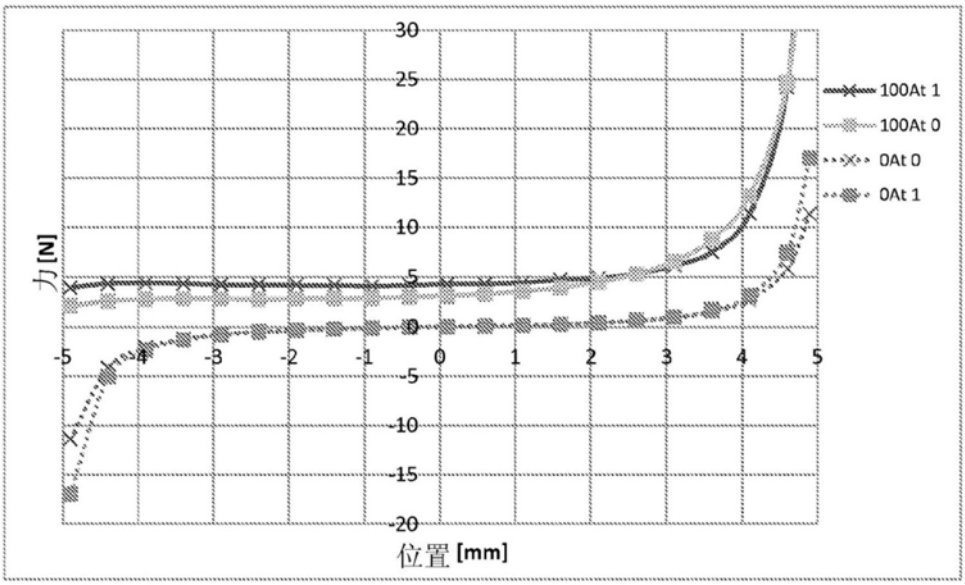

30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
力[N]
位置[mm]
100At 1
100At 0
0At 0
0At 1

图13

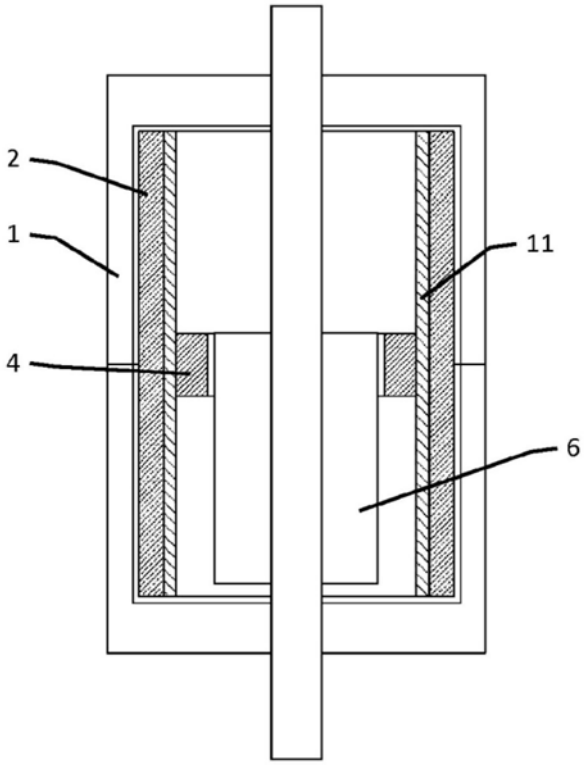

2
1
4
11
6

图14