



(21) 申请号 202510472871.1

(22) 申请日 2025.04.16

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 120016378 A

(43) 申请公布日 2025.05.16

(73) 专利权人 中国海洋大学

地址 266100 山东省青岛市崂山区松岭路
238号

(72) 发明人 吴征奇 陈旭光 高成伟 闫志琳

(74) 专利代理机构 北京佐行专利代理事务所

(特殊普通合伙) 11683

专利代理师 王成 曾宪春

(51) Int. Cl.

H02G 3/04 (2006.01)

H02G 9/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 119518579 A, 2025.02.25

CN 207039146 U, 2018.02.23

审查员 田媛媛

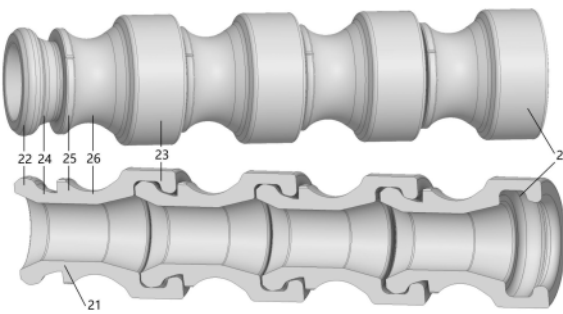
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

一种限弯器及海缆防护装置

(57) 摘要

本发明公开了一种限弯器及海缆防护装置,其限弯器的公头具有多段曲率不同的圆弧面,凹槽同样具有曲率不同的圆弧面,所述外锁止部靠近公头一侧的侧面相对于中心轴线具有第一夹角,所述母头远离公头一侧的侧面相对于中心轴线具有第二夹角,所述第一夹角和第二夹角大致相同,增加接触面积、改善受力分布,使限弯器在长期服役过程中具备更优异的抗疲劳性能和可靠性。此外,还提出了海缆防护装置的加强器和倒刺装置,采用内嵌加强装置结构,增强连接强度,可以显著提高海缆防护装置的连接强度和抗拉脱能力,并且倒刺装置可以与加强器采用楔形连接,确保系统在海底长期运行的稳定性,有效降低长期服役过程中因冲刷和疲劳加载导致的拉脱风险。



1. 一种限弯器,其包括两个呈中心轴线对称的限弯器子单元(21),两个所述限弯器子单元(21)之间为可拆卸连接,海缆(7)穿过两个所述限弯器子单元(21)的中心形成的空腔(6),每个所述限弯器子单元(21)包括依次设置的公头(22)、母头(23)、连接颈部(24)、外锁止部(25)和过渡颈部(26),所述母头(23)内侧设有凹槽(27),其特征在于:所述公头(22)具有多段曲率不同的圆弧面,所述凹槽(27)同样具有曲率不同的圆弧面,所述外锁止部(25)靠近所述公头(22)一侧的侧面相对于中心轴线具有第一夹角,所述母头(23)远离所述公头(22)一侧的侧面相对于中心轴线具有第二夹角,所述第一夹角和第二夹角大致相同,所述连接颈部(24)由多段曲率不同的圆弧构成,所述过渡颈部(26)具有大曲率的圆弧面。

2. 根据权利要求1所述的限弯器,其特征在于:所述限弯器子单元(21)上设置有螺栓孔(28),两个所述限弯器子单元(21)之间通过螺栓连接。

3. 一种海缆防护装置,其包括如权利要求1-2任一项所述的限弯器,以及与所述限弯器连接的加强器(1),所述加强器(1)包括连接端头(11)、连接筒体(12)和连接尾部(13),其特征在于:所述连接尾部(13)的形状和尺寸与所述限弯器的所述公头(22)相同。

4. 根据权利要求3所述的海缆防护装置,其特征在于:所述连接端头(11)内壁设置有内嵌加强装置(14),所述内嵌加强装置(14)包括加强杆(15)、U型件(16)和固定环(17),所述内嵌加强装置(14)通过所述加强杆(15)嵌入所述连接端头(11),所述U型件(16)与所述加强杆(15)连接,所述U型件(16)相对于中心轴线沿环形均匀布置,所述固定环(17)紧贴连接端头(11)内壁处设置,所述固定环(17)将环形布置的所述U型件(16)连接成整体。

5. 根据权利要求4所述的海缆防护装置,其特征在于:每个所述U型件(16)连接3根所述加强杆(15),和/或,所述内嵌加强装置由不锈钢制成,和/或,所述固定环(17)与U型件(16)均采用一体加工而成。

6. 根据权利要求4-5任一项所述的海缆防护装置,其特征在于:所述加强器(1)还包括倒刺装置(3),所述倒刺装置(3)、所述加强器(1)和所述限弯器(2)依次相连,所述倒刺装置(3)包括钢体(32)、位于所述钢体(32)上的凸起(31)以及设置在尾端的楔形块(33),所述楔形块(33)用于与所述U型件(16)进行楔形连接。

7. 根据权利要求6所述的海缆防护装置,其特征在于:所述楔形块(33)上设置有螺纹孔(4),所述螺纹孔(4)通过螺栓(5)与所述U型件(16)上设置的螺栓孔进行连接。

8. 根据权利要求6所述的海缆防护装置,其特征在于:所述倒刺装置(3)由不锈钢制成。

9. 根据权利要求3-5任一项所述的海缆防护装置,其特征在于:所述限弯器的材料为聚氨酯,和/或,所述加强器(1)的材料为聚氨酯。

一种限弯器及海缆防护装置

技术领域

[0001] 本发明涉及海上风电的海缆防护技术领域,尤其涉及一种限弯器及海缆防护装置。

背景技术

[0002] 近年来,全球对海洋资源的开发与利用持续加速,海上风电与光伏项目迅猛发展,推动海缆防护需求大幅增加。然而,海缆长期受波浪、潮流等动态载荷作用,冲刷问题已成为影响其可靠性的关键瓶颈。据统计,海上风电与光伏项目的保险理赔案例中,海缆故障赔付比例高达87.6%,其中,作为海缆防护装置的限弯器,在海况较差的海域年平均故障率高达50%。

[0003] 在冲刷作用下,入泥端海缆裸露,导致悬跨段长度增加,进而加剧海缆晃动的频率和幅度。限弯器在长期交变荷载作用下易发生疲劳损伤,最终导致断裂或脱落。目前国内使用的限弯器结构仍沿用国外几十年前的传统哈夫式设计,该结构在公母头局部接触时易形成应力集中,导致断裂失效。此外,该类限弯器成本较高,而现有国产化改进多集中于材料优化,以提升抗拉强度,但尚未突破核心结构设计问题。此外,海缆接入风机的配套防护装置创新性不足,整体防护方案尚未形成系统化、优化设计。

[0004] 中国专利文件CN211508560U公开了一种风电海缆的保护装置,包括中心定位保护机构、弯曲防护机构、弯曲限制机构,三者依次相连。首端的中心定位保护系统嵌入风机上的J形管内,弯曲防护机构和弯曲限制机构位于J形管外悬跨段海缆处,对海缆提供防护,以延长其使用寿命。但是,该方案仍存在以下问题:首先,限弯器结构沿用传统设计,长期服役时易产生应力集中,增加断裂风险,进而影响海缆寿命;其次,柔性防弯管前端采用刚性法兰作为连接件,但这种连接形式下,柔性材料与法兰的紧固性有限,而该连接处承受较大荷载,长期作用下存在拉脱风险,降低系统的可靠性。

[0005] 此外,发明人在前还提出了一种限弯器结构(CN119518579A),其,包括若干个首尾依次相连的单元限制器;每个单元限制器均由内设缆线通孔且呈中心轴线对称的两个限制单体拼接而成;每个限制单体包括母头部、公头部和颈部锁止部;母头部和公头部位于颈部锁止部的两端;母头部外表面呈半圆型凸面结构;公头部内表面设置有半圆型凹面结构,公头部的凹面结构将相邻母头部的凸面结构包裹在内且存在间隙,使母头部能够在公头部内旋转;每个限制单体的颈部锁止部均设置有损伤预警装置。但是,这一限弯器结构虽然可以对海缆弯曲程度进行有效限制,但是根据对该结构的进一步研究,其解决应力集中的能力仍旧有限,因此,如何优化限弯器的结构设置,是解决应力集中的问题,降低断裂风险的关键。

发明内容

[0006] 针对现有限弯器存在的局部应力集中、长期服役故障率高、可靠性差的问题,以及配套海缆防护装置在抗拉脱性能上的不足,本发明提出了一种限弯器及海缆防护装置。

[0007] 具体而言,本发明提供了如下技术方案:一种限弯器,其包括两个呈中心轴线对称的限弯器子单元,两个限弯器子单元之间为可拆卸连接,海缆穿过两个限弯器子单元的中心形成的空腔,每个限弯器子单元包括依次设置的公头、母头、连接颈部、外锁止部和过渡颈部,所述母头内侧设有凹槽,公头具有多段曲率不同的圆弧面,凹槽同样具有曲率不同的圆弧面,所述外锁止部靠近公头一侧的侧面相对于中心轴线具有第一夹角,所述母头远离公头一侧的侧面相对于中心轴线具有第二夹角,所述第一夹角和第二夹角大致相同。

[0008] 进一步的,所述连接颈部由多段曲率不同的圆弧构成,和/或,所述过渡颈部具有大曲率的圆弧面。

[0009] 进一步的,所述限弯器子单元上设置有螺栓孔,两个所述限弯器子单元之间通过螺栓连接。

[0010] 此外,本发明还提出了一种海缆防护装置,其包括所述的限弯器,以及与所述限弯器连接的加强器,所述加强器包括连接端头、连接筒体和连接尾部,所述连接尾部的形状和尺寸与限弯器的公头相同。

[0011] 进一步的,所述连接端头内壁设置有内嵌加强装置,所述内嵌加强装置包括加强杆、U型件和固定环,所述内嵌加强装置通过加强杆嵌入所述连接端头,所述U型件与所述加强杆连接,所述U型件相对于中心轴线沿环形均匀布置,所述固定环紧贴连接端头内壁处设置,所述固定环将环形布置的所述U型件连接成整体。

[0012] 进一步的,每个所述U型件连接3根所述加强杆,和/或,所述内嵌加强装置由不锈钢制成。

[0013] 进一步的,所述加强器还包括倒刺装置,所述倒刺装置、所述加强器和所述限弯器依次相连,所述倒刺装置包括钢体、位于所述钢体上的凸起以及设置在尾端的楔形块,所述凸起用于卡入风机侧壁的开口,所述楔形块用于与所述U型件进行楔形连接。

[0014] 进一步的,所述楔形块上设置有螺纹孔,所述螺纹孔通过螺栓与所述U型件上设置的螺栓孔进行连接。

[0015] 进一步的,所述内嵌加强装置由不锈钢制成,和/或,所述倒刺装置采用不锈钢制成。

[0016] 所述固定环为一体加工而成,和/或,所述U型件为一体加工而成。

[0017] 进一步的,所述限弯器的材料为聚氨酯,和/或,所述加强器的材料为聚氨酯。

[0018] 本发明的有益效果是:

[0019] (1) 本发明基于应力分布对限弯器进行结构的优化设计,通过优化限弯器的受力分布,具体提出了对于公头、母头、连接颈部、外锁止部和过渡颈部各部件的结构设计优化,增加接触面积、改善受力分布,使限弯器在长期服役过程中具备更优异的抗疲劳性能和可靠性,数值模拟和模型试验的结构显示,这样的结构优化,可以明显提高限弯器及整体系统的服役寿命。

[0020] (2) 同时本发明在限弯器结构优化的基础上,提出了一种加强器的结构设置,采用内嵌加强装置结构,增强连接强度,可以显著提高海缆防护装置的连接强度和抗拉脱能力,确保系统在海底长期运行的稳定性。

[0021] (3) 此外,本发明在海缆防护装置的基础上,进一步提出了一种倒刺装置,该倒刺装置可以与加强器采用楔形连接,并且辅以螺栓连接相结合,使得海缆防护装置在海底服

役时,特殊的楔形连接会在错位变形后会逐渐收紧,同时辅以螺栓锁定,有效降低长期服役过程中因冲刷和疲劳加载导致的拉脱风险。

附图说明

- [0022] 图1为本发明提出的限弯器连接的整体示意图;
- [0023] 图2为本发明提出的限弯器及限弯器子单元的结构图;
- [0024] 图3为本发明提出的限弯器子单元的正视图;
- [0025] 图4为本发明提出的限弯器子单元的俯视图;
- [0026] 图5为图3中A-A剖面图;
- [0027] 图6为传统限弯器(左边结构)和本发明限弯器(右边结构)的限弯原理设计对比图;
- [0028] 图7为传统限弯器的受力和变形数值模拟计算结果;
- [0029] 图8为本发明限弯器的受力和变形数值模拟计算结果;
- [0030] 图9为本发明限弯器的冲击试验模拟结果图;
- [0031] 图10为本发明限弯器的侧压试验模拟结果图;
- [0032] 图11所示为本发明提出的海缆防护装置的结构原理示意图;
- [0033] 图12为本发明提出的加强器的结构剖面图;
- [0034] 图13为本发明提出的加强器与倒刺结构的连接示意图;
- [0035] 图14为本发明提出的倒刺结构的示意图。
- [0036] 附图标记说明:1.加强器;11.连接端头;12.连接筒体;13.连接尾部;14.内嵌加强装置;15.加强杆;16.U型件;17.固定环;2.限弯器;21.限弯器子单元;22.公头;23.母头;24.连接颈部;25.外锁止部;26.过渡颈部;27.凹槽;28.螺栓孔;3.倒刺装置;31.凸起;32.钢体;33.楔形块;4.螺纹孔;5.螺栓;6.空腔;7.海缆;81.第1接触点;82.第2接触点;83.第3接触点;84.第4接触点;85.第5接触点;86.第6接触点;87.第7接触点;88.第8接触点;89.第9接触点。

具体实施方式

[0037] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0038] 请参阅图1-图5,本发明提供一种技术方案:一种限弯器2,其包括两个呈中心轴线对称的限弯器子单元21,两个限弯器子单元21之间为可拆卸连接,海缆7穿过两个限弯器子单元21的中心形成的空腔6,每个限弯器子单元21包括依次设置的公头22、母头23、连接颈部24、外锁止部25和过渡颈部26,所述母头23内侧设有凹槽27,公头22具有多段曲率不同的圆弧面,凹槽27同样具有曲率不同的圆弧面,所述外锁止部25靠近公头22一侧的侧面相对于中心轴线具有第一夹角,所述母头23远离公头22一侧的侧面相对于中心轴线具有第二夹角,第一夹角和第二夹角相同,使得所述外锁止部25靠近公头22一侧的侧面与所述母头23远离公头22一侧的侧面形成面接触。

[0039] 应该注意的是,此处的相同的含义,应当是大致相同的含义,这是由于生产时难以避免会存在一定的生产误差,尤其是对于不同的材料,其加工难度和精度具有极大的不确定性,因此大致相同的含义为能够让两者形成面接触的范围内即可,不能要求完全相同,诸如根据材料选择不同其偏差可以在 $\pm 0.1^\circ$ 、 $\pm 0.5^\circ$ 、 $\pm 1^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ 或其他角度,这是需要依据加工角度时的生产要求所规定的,也即两者的角度误差不会特别大,导致不能实现两者的面接触的贴合形式,但可能存在一定的误差或偏差。

[0040] 母头内侧设有凹槽,公头插入凹槽后,在受力锁合时形成局部接触。一方面,本发明公头采用具有多段曲率不同的圆弧面,通过凹凸过渡衔接,并匹配母头内侧相应形状的接触面,可以确保两者受力更为均匀,并且增加公头与母头凹槽之间的接触点的数量,减少应力集中。另一方面,本发明的限弯器在未受力锁合前,外锁止部与相邻限弯器无接触;在锁合后,外锁止部会与前一个限弯器的母头端部接触,由于两者端面的夹角大致相同,因此可以保证两者之间形成面式贴合,避免传统限弯器的点接触受力方式,大幅提高受力面积,并且还可以通过增加结构的厚度进一步分散局部应力,从而提升限弯器的整体抗疲劳性能和可靠性。

[0041] 进一步地,所述连接颈部由多段曲率不同的圆弧构成。

[0042] 通过多段曲率圆弧连接的设计,可以使限弯器在锁合后,连接颈部能够与母头充分接触,提高受力均匀性并增强结构稳定性。

[0043] 进一步地,过渡颈部具有大曲率的圆弧面。

[0044] 传统的限弯器,其过渡颈部一般采用直线结构,因此也会导致局部的应力集中,因此通过对过渡颈部设计为大曲率的圆弧面,可以将外锁止部与母头处的集中应力均匀分布至整个限弯器,从而降低局部应力峰值,提高整体承载能力。

[0045] 进一步的,多个所述限弯器2可以通过公头22和母头23依次首尾相连。

[0046] 根据海缆的限弯需要,可以将多个限弯器依次首尾相连,实现对不同工况需求的满足。

[0047] 进一步的,所述限弯器2的材料为聚氨酯。

[0048] 进一步的,两个限弯器子单元之间优选为通过螺栓实现可拆卸的连接,所述限弯器子单元上设置有螺栓孔28,螺栓孔的数量和位置根据具体的安装需要进行布置。

[0049] 由图6可知,传统限弯器的设计在锁合时仅有2-3处接触(第1接触点81、第2接触点82、第3接触点83),而本发明通过优化公头、母头、连接颈部、过渡颈部以及外锁止部的结构,可以使接触点至少增加至6处(第4接触点84、第5接触点85、第6接触点86、第7接触点87、第8接触点88、第9接触点89),因此整体接触面积会显著增大,可以有效降低局部应力集中的问题。

[0050] 根据对本发明限弯器结构的力学响应和变形行为进行的数值模拟分析(见图7和图8)可知:在相同加载条件下,传统限弯器存在显著的应力集中现象,最大应力和变形主要集中于公头与母头接触处的连接颈部区域,最大等效(米塞斯)应力为28MPa,对数应变最大值为0.025,属于典型小变形模式。

[0051] 相比之下,本发明的限弯器结构在整体受力上更加均匀,最大应力和变形出现在结构的过渡颈部区域,最大米塞斯应力仅为13MPa,较传统结构降低约54%;最大对数应变变为0.008,同样处于小变形范围内。该结构有效减弱了锁合部位的局部应力集中现象,显著提

升了限弯器的受力性能和疲劳寿命,进而增强了对海缆的防护能力及其服役寿命。

[0052] 为进一步验证本发明限弯器的耐久性,开展了冲击载荷和侧压载荷工况下的模拟试验:

[0053] 冲击试验模拟(图9):80kg砝码从80cm高度自由下落冲击限弯器表面,模拟结果显示,限弯器与砝码接触面的最大接触压力为134kN,限弯器与底板接触面的最大接触压力为187kN。最大等效应力出现在与砝码、底板接触的圆角过渡区域,值为47MPa,未达到材料屈服强度,表明结构未发生明显塑性变形,满足冲击工况下的使用要求。

[0054] 侧压试验模拟(图10):通过加载板向限弯器上方逐步施加垂直压缩载荷,当压缩载荷达到最大78kN时,最大等效应力为45MPa,仍低于材料屈服极限。此时限弯器最大变形值为6mm,相对于其整体厚度而言可忽略不计,结构稳定性良好。

[0055] 综上所述,本发明所提出的限弯器结构在应力分布、抗冲击性和耐压性能方面均表现出优越性能,适用于复杂海洋环境下的长期服役需求。

[0056] 此外,本发明还提出了一种海缆防护装置,其包括限弯器2,以及与所述限弯器2连接的加强器1,所述加强器1包括连接端头11、连接筒体12和连接尾部13,所述连接尾部13的形状和尺寸与限弯器2的公头22相同。

[0057] 由于连接尾部的形状和尺寸与限弯器的公头相同,因此连接尾部可直接与限弯器母头进行装配连接,同样能够确保力的传递均匀,避免局部应力集中。

[0058] 进一步的,所述加强器1整体呈圆锥形,并采用聚氨酯材料。

[0059] 进一步的,所述连接端头11内壁设置有内嵌加强装置14,所述内嵌加强装置14包括加强杆15、U型件16和固定环17,所述内嵌加强装置14通过加强杆15嵌入所述连接端头11,所述U型件16与所述加强杆15连接,所述U型件16相对于中心轴线沿环形均匀布置,所述固定环17紧贴连接端头11内壁处设置,所述固定环17将环形布置的所述U型件16连接成整体。

[0060] 通过内嵌加强装置的设置,可以进一步提供更高的结构强度和抗冲击性能。

[0061] 进一步的,每个所述U型件16连接3根所述加强杆15,由此可以提供更高的结构强度和抗冲击性能。

[0062] 进一步的,所述内嵌加强装置14由316L不锈钢制成,所述固定环17与U型件16可以采用一体加工而成。

[0063] 不锈钢的材料可以确保耐腐蚀性和长期服役性能,通过一体化加工的方式,可以提高结构整体性,避免刚柔材料结合处因长期冲刷和疲劳载荷导致的分离断裂。

[0064] 进一步的,所述加强器1还包括倒刺装置3,所述倒刺装置3、所述加强器1和所述限弯器2依次相连,所述倒刺装置包括钢体32、位于所述钢体32上的凸起31以及设置在尾端的楔形块33,所述凸起31用于卡入风机侧壁的开口,所述楔形块33用于与所述U型件16进行楔形连接。

[0065] 进一步的,所述倒刺装置3采用采用316L不锈钢制成,确保耐腐蚀性和长期服役性能。

[0066] 通过凸起的设置,可以实现倒刺装置与风机的稳固固定,防止倒刺装置在长期冲刷和动态载荷作用下发生滑脱。所述楔形块的设计,可以使其连接端的截面积最大,并可以沿长度方向逐渐减小,能够使得倒刺装置与加强器实现可靠连接,同时在动态载荷作用下

逐渐收紧,提高抗拉脱能力。

[0067] 进一步的,所述楔形块33上设置有螺纹孔4,所述螺纹孔4通过螺栓5与所述U型件16上设置的螺栓孔进行连接。

[0068] 此时,倒刺装置与加强器的连接方式采用楔形连接与螺栓连接相结合的方式,实现双重固定,进一步提高抗拉脱能力。

[0069] 具体的,在安装前,U型件的内部与楔形块的表面均需涂抹专用润滑油,以确保装配精度并减少摩擦损伤。安装后,楔形块与U型件的左端基本贴合,右端最大间隙不超过5mm,确保连接紧密。在海底服役时,当采用不锈钢制成的楔形块和U型件采用楔形连接时,两者的钢结构在错位变形后会逐渐收紧,同时辅以螺栓锁定,有效降低长期服役过程中因冲刷和疲劳加载导致的拉脱风险。

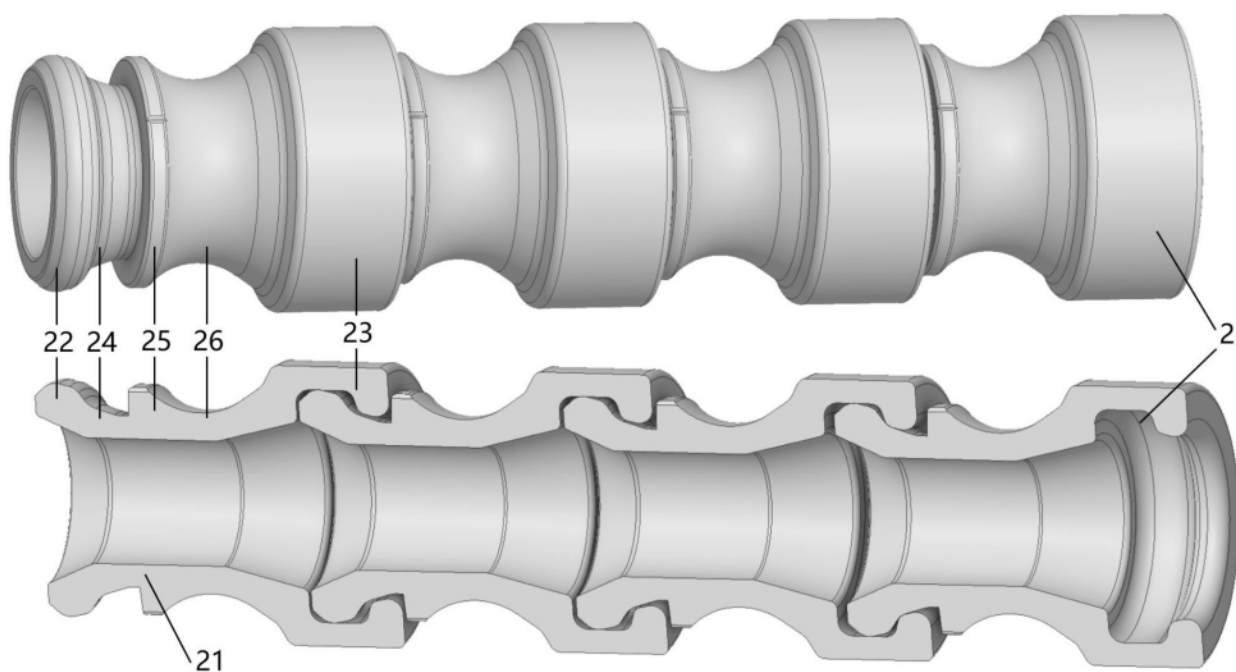


图 1

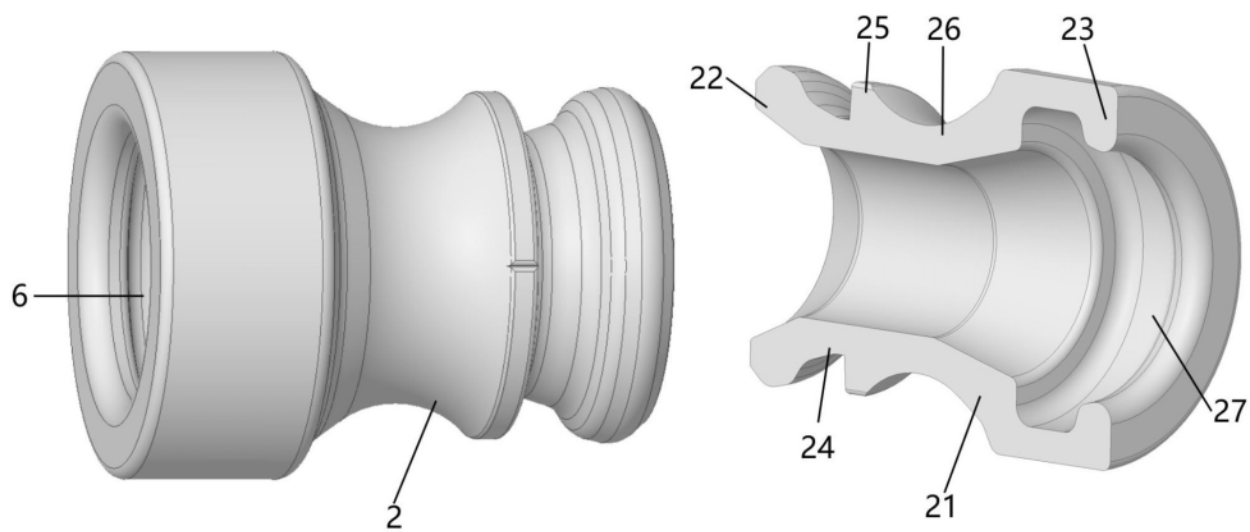


图 2

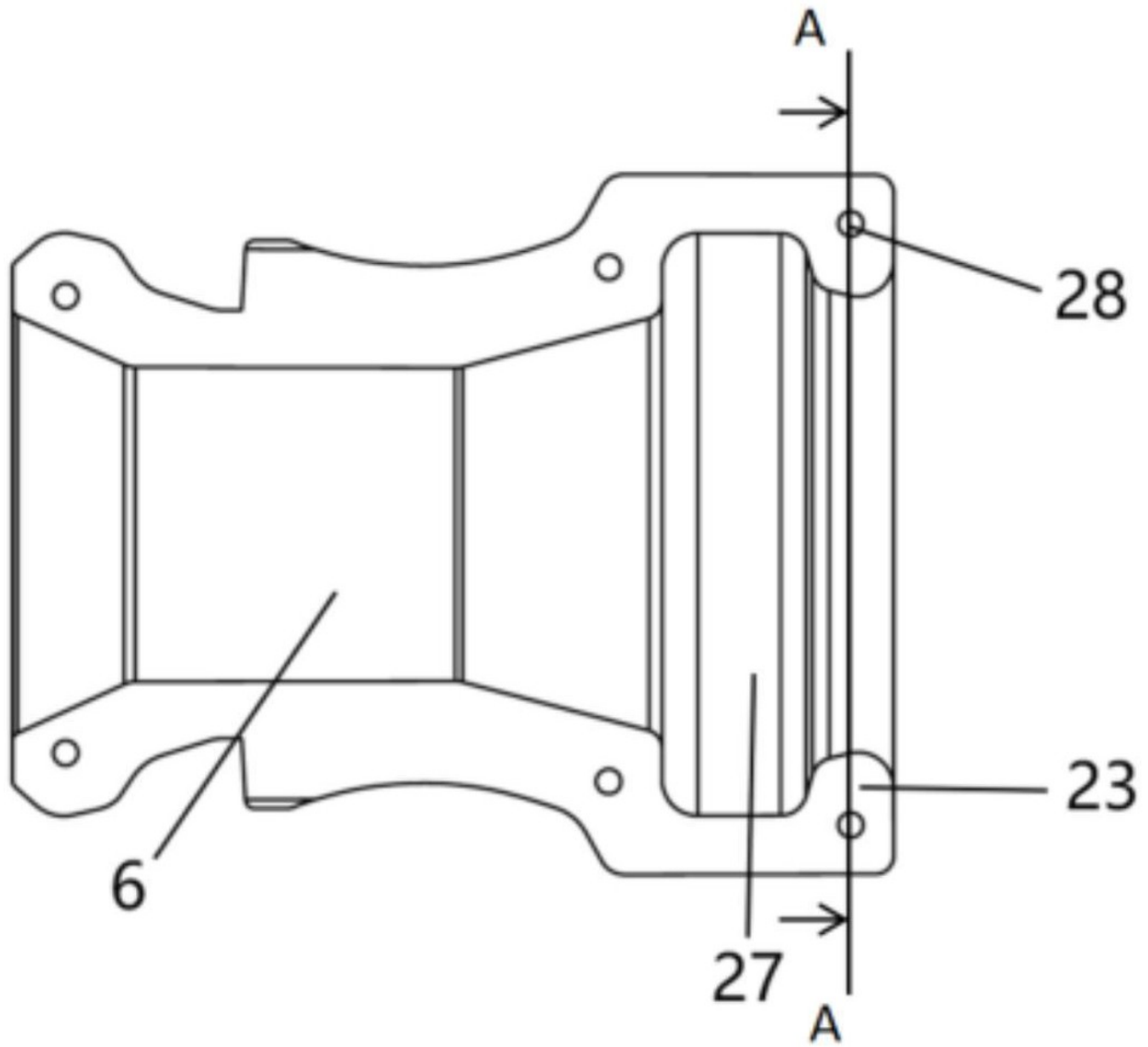


图 3

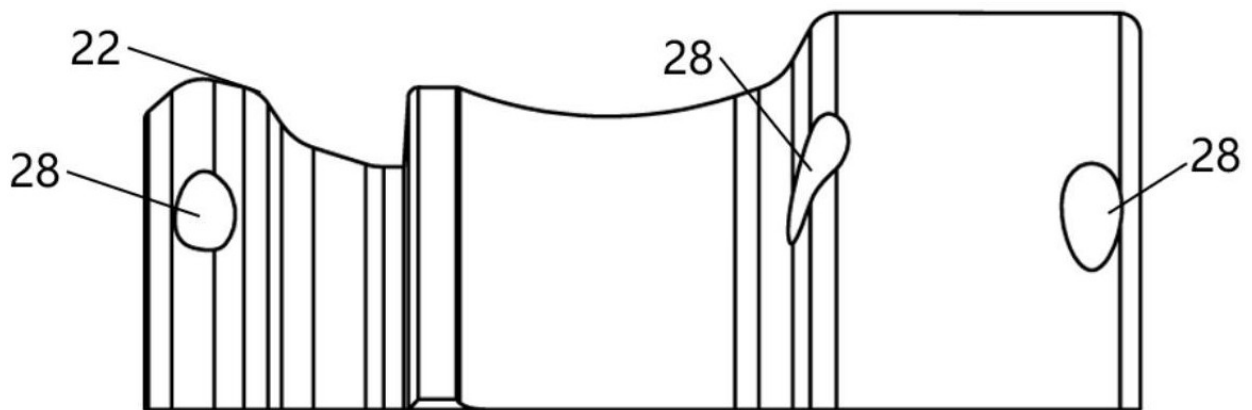


图 4

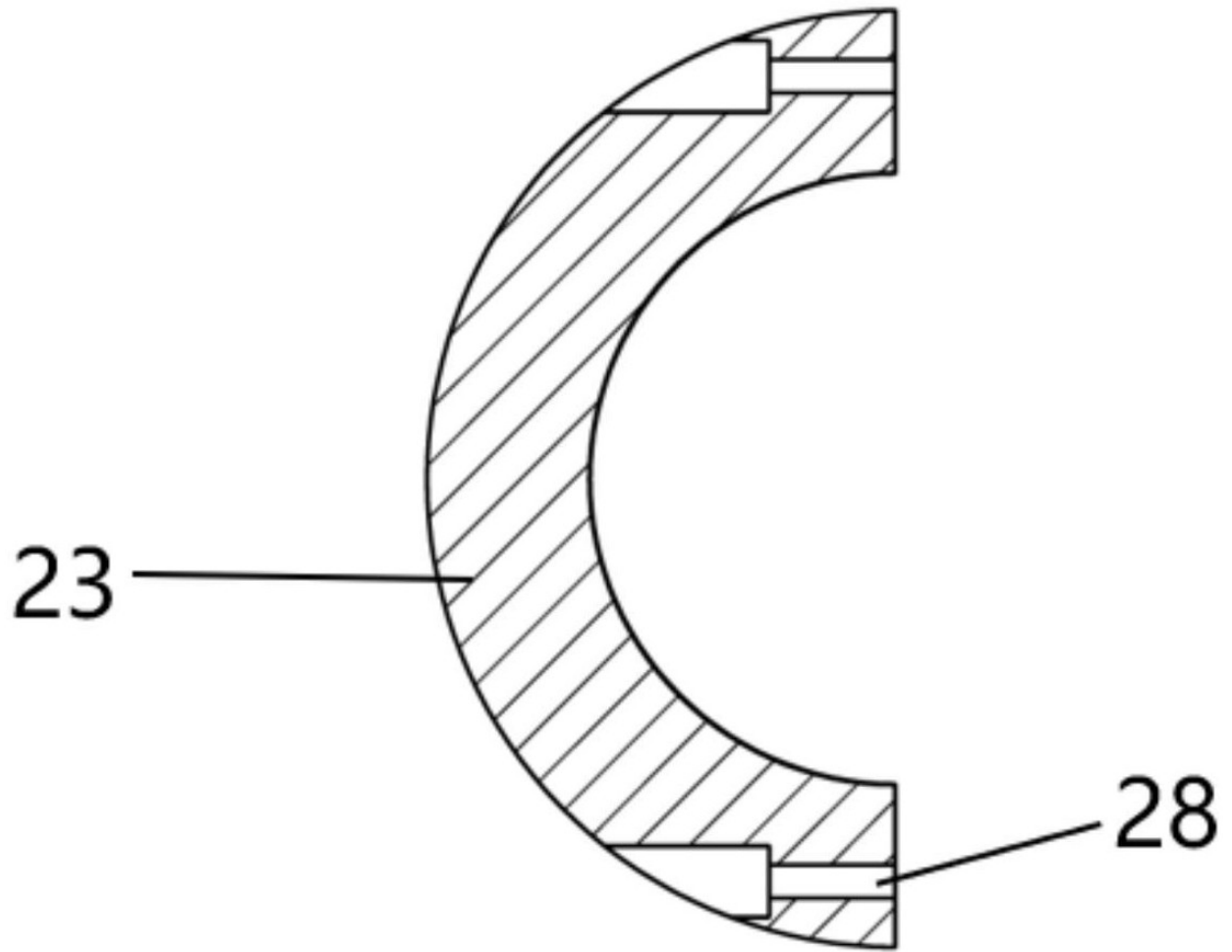


图 5

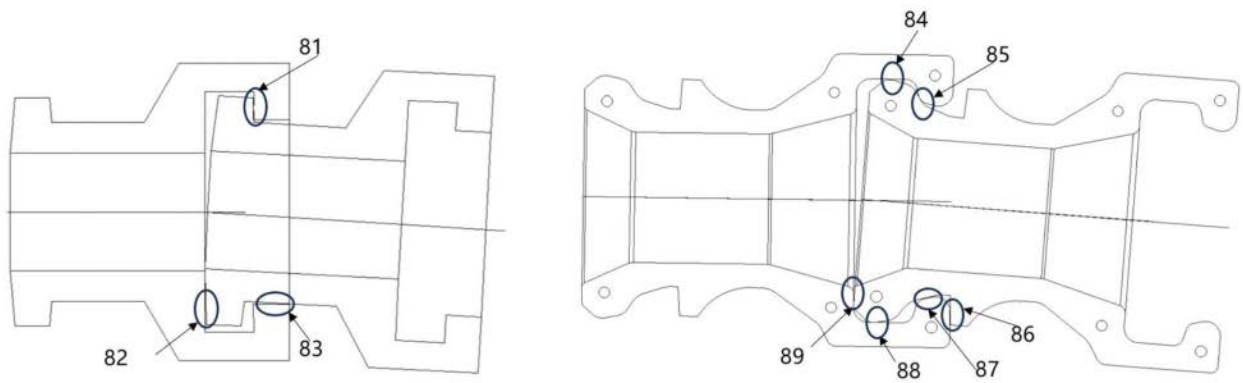


图 6

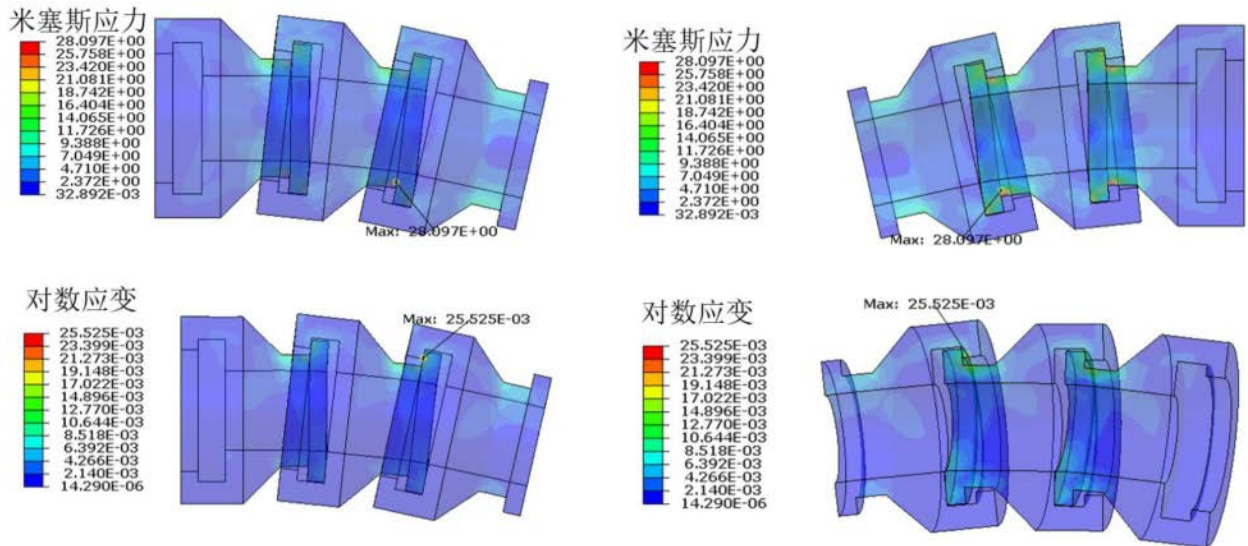


图 7

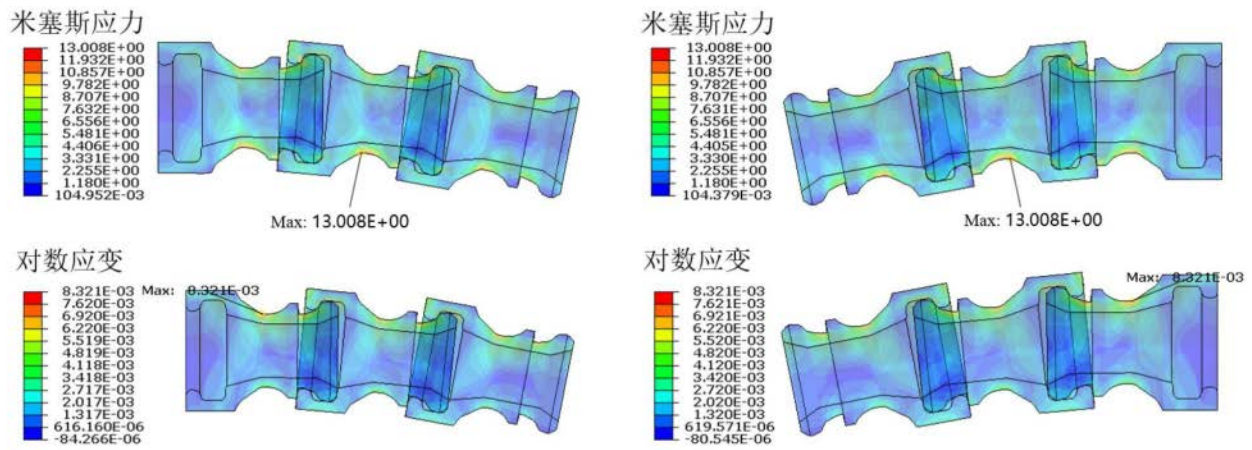


图 8

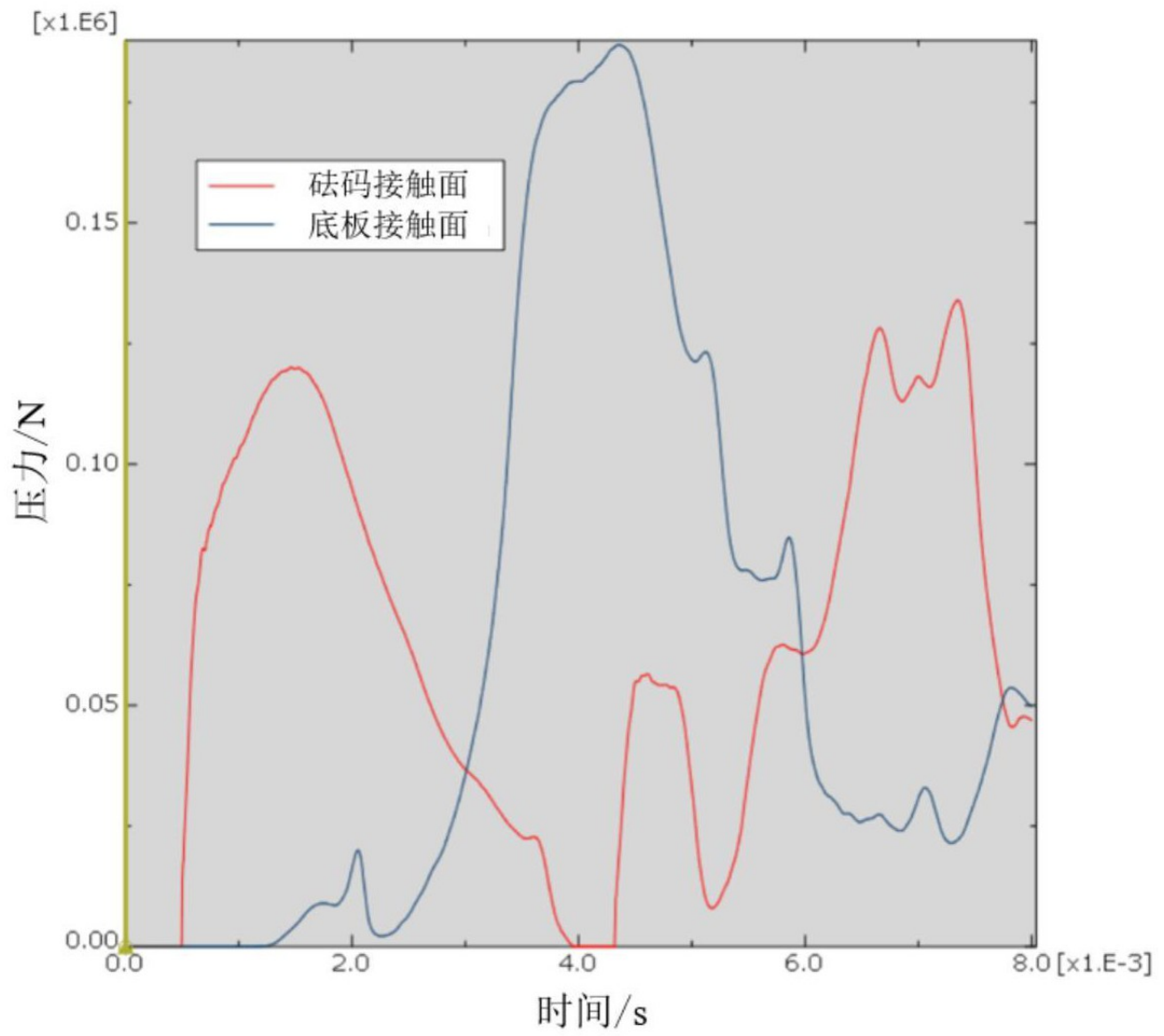


图 9

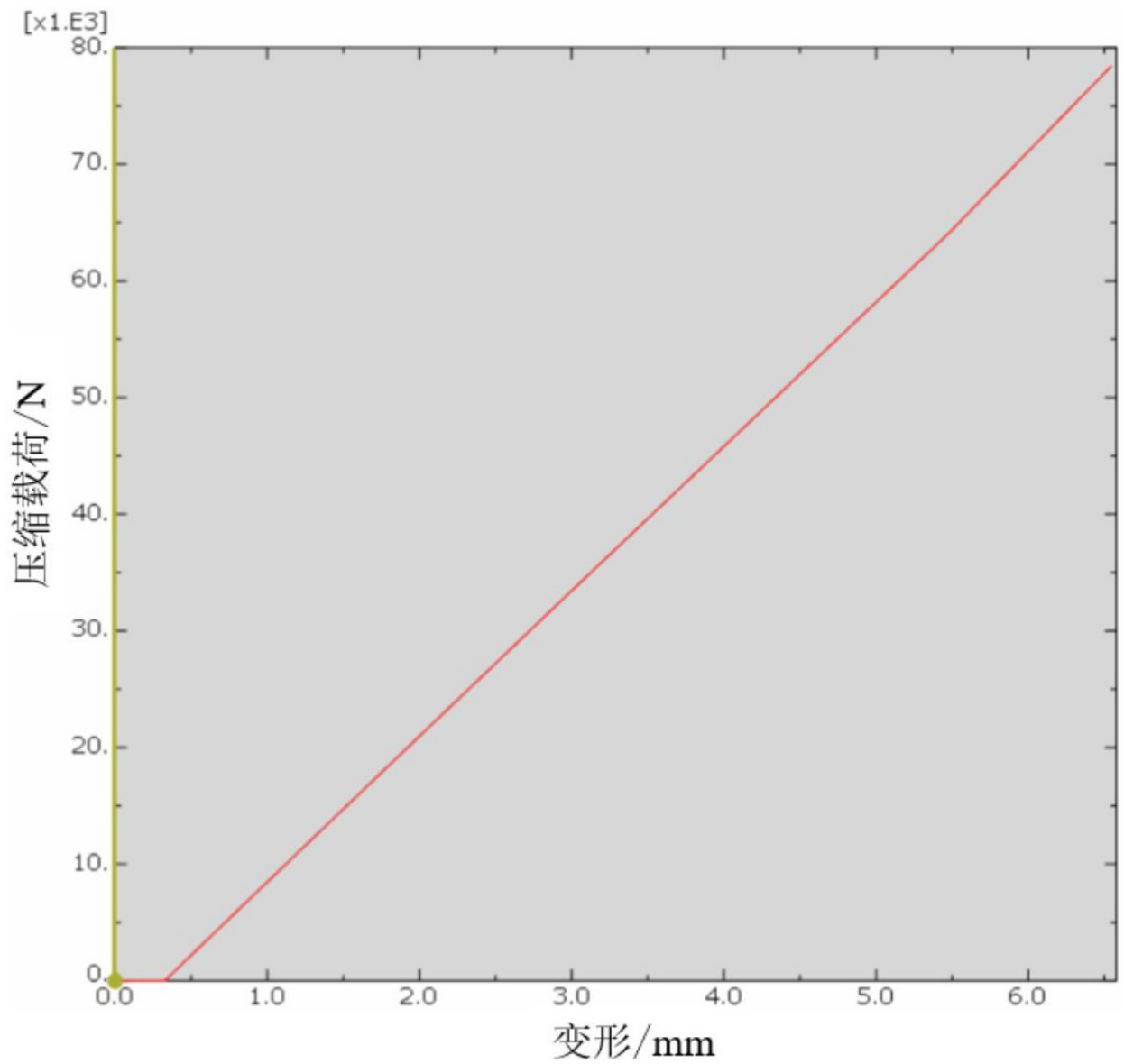


图 10

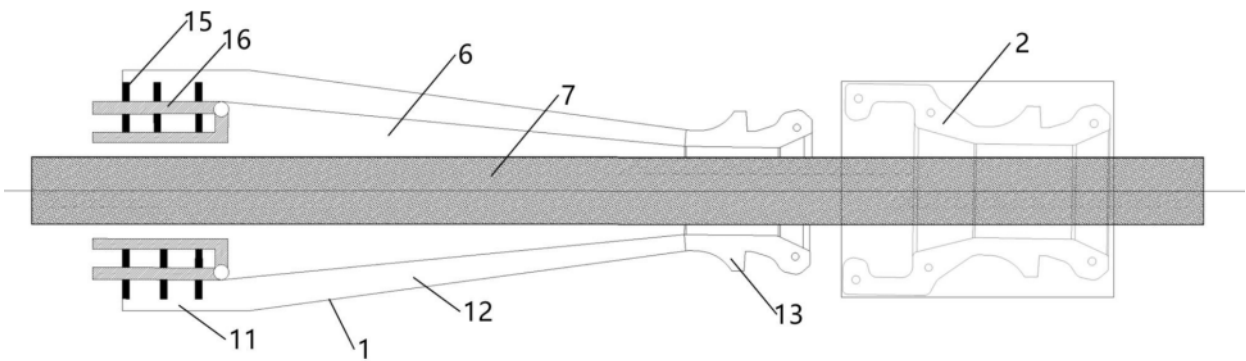


图 11

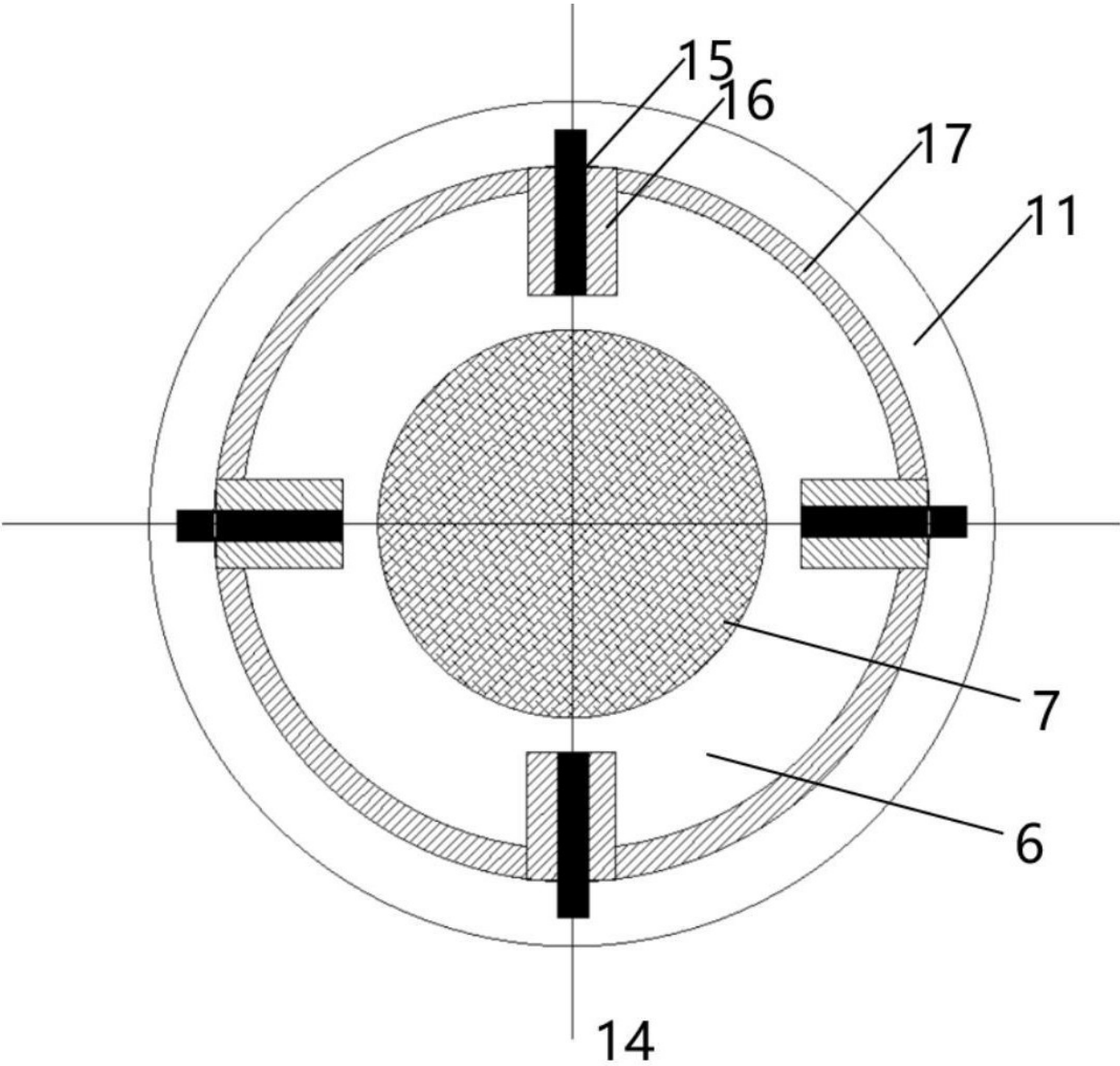


图 12

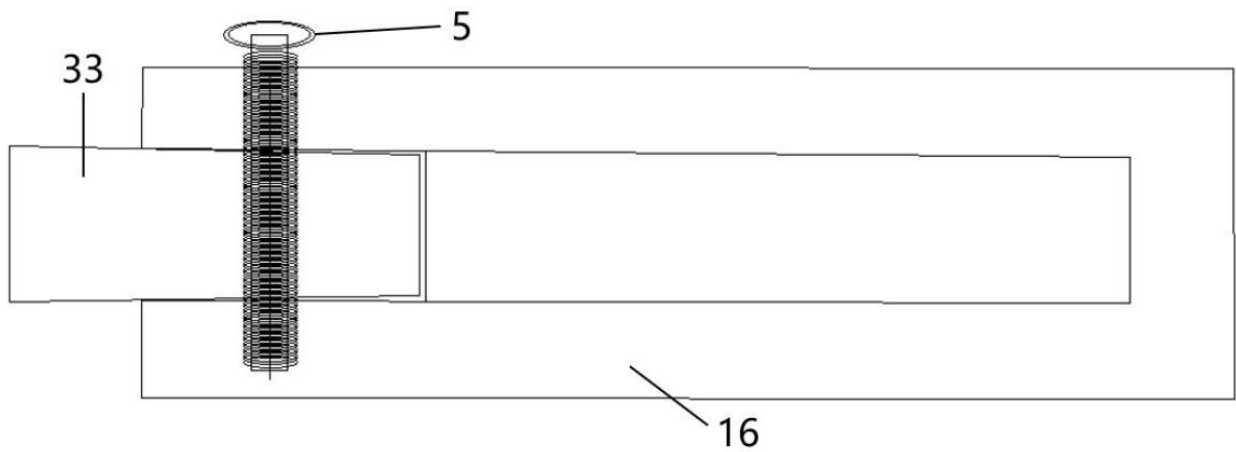


图 13

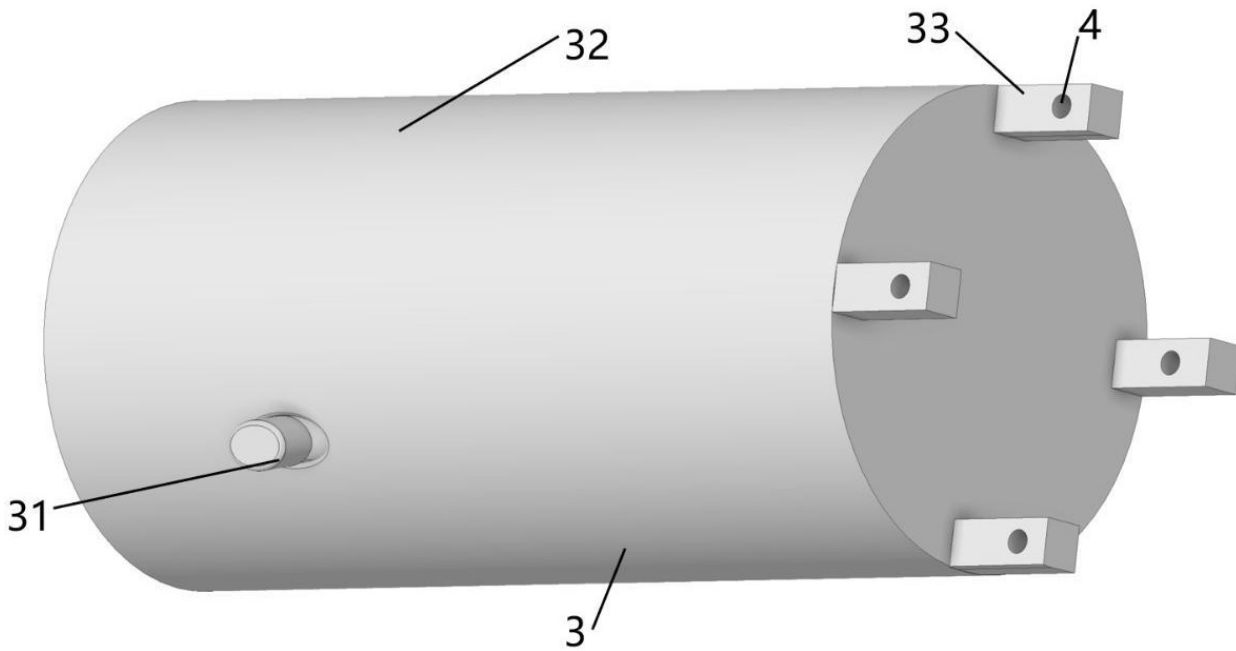


图 14