(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111761609 A
(43)申请公布日 2020.10.13

(21)申请号 202010650441.1

(22)申请日 2020.07.08

(71)申请人 天津大学
地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 左思洋 平忠源

(74)专利代理机构 天津市三利专利商标代理有限公司 12107
代理人 徐金生

(51)Int.Cl.
B25J 17/02(2006.01)
B25J 18/00(2006.01)

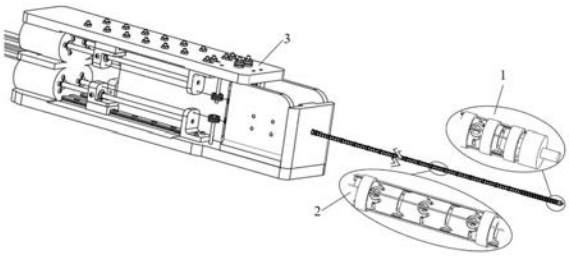
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

基于接触辅助结构的柔性连续体机器人

(57)摘要

本发明公开了基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，包括末端偏转部(1)、导管部(2)和驱动模块(3)；驱动模块(3)通过导管部(2)与末端偏转部(1)相连接；其中，末端偏转部(1)包括：柔性机械臂本体(11)、末端偏转部驱动组件(12)及成像组件(13)；末端偏转部驱动组件(12)装配于机械臂本体(11)外部；成像组件(13)安装于机械臂本体(11)内部。本发明作为一种面向消化道进行早癌诊疗的柔性连续体机器人，基于接触辅助结构进行设计，由超弹性镍钛合金管制成，通过驱动丝传递动力，能够克服现有柔性器械难以小型化，中间工作通道空间小，抗拉、抗扭性能差、末端偏转机构有回差、无骨架等缺点。



CN 111761609 A

1.基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,包括末端偏转部(1)、导管部(2)和驱动模块(3);

驱动模块(3)通过导管部(2)与末端偏转部(1)相连接;

其中,末端偏转部(1)包括:柔性机械臂本体(11)、末端偏转部驱动组件(12)及成像组件(13);

末端偏转部驱动组件(12)装配于机械臂本体(11)外部;

成像组件(13)安装于机械臂本体(11)内部。

2.如权利要求1所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,柔性机械臂本体(11)是一根镍钛管,柔性机械臂本体(11)上具有等间距分布的多个机械臂本体柔性关节(101),柔性机械臂本体(11)远离的驱动模块(3)的一端端部具有端部接口(102);

多个机械臂本体柔性关节(101),由激光切割镍钛管加工而成。

3.如权利要求2所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,端部接口(102)沿着柔性机械臂本体(11)端部的圆周方向,以(90)度间隔等间隔设置有四个槽口。

4.如权利要求2所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,末端偏转部驱动组件(12)包括多个导丝盘(103)及四根驱动丝(104);

导丝盘(103)的端面,开有四个小孔(1031)及一个大孔(1032);

其中,四个小孔(1031)沿着导丝盘(103)的端面周向,以(90)度等间距均匀分布,用于引导支撑四根驱动丝(104);

其中,一个大孔(1032)位于导丝盘(103)的正中间,与柔性机械臂本体(11)中的机械臂本体柔性关节(101)的外壁形成紧密配合。

5.如权利要求4所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,任意相邻的两个导丝盘(103),以单个机械臂本体柔性关节(101)为间距,安装在柔性机械臂本体(11)外壁;

四根驱动丝(104),分别穿过导丝盘(103)端面的四个小孔(1031),形成间隙配合。

6.如权利要求2所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,成像组件(13)包括柔性光纤像束(105)及夹套(106);

其中,柔性光纤像束(105)包括远端探头(1051)、像束本体(1052)以及近端镜头(1053);

远端探头(1051),与夹套(106)的内孔固定连接;

夹套(106)与柔性机械臂本体(11)中的端部接口(102)相连接,形成紧密配合。

7.如权利要求1所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人,其特征在于,导管部(2)包括导管部本体(21);

导管部本体(21)是一根镍钛管,导管部本体(21)上具有等间距分布的多个导管部柔性关节(201);

导管部本体(21)的外壁,等间距安装有多个导丝盘(103);

其中,任意相邻的两个导丝盘(103)之间,具有五个导管部柔性关节(201);

其中,导丝盘(103)的端面,开有四个小孔(1031)及一个大孔(1032);

其中,四个小孔(1031)沿着导丝盘(103)的端面周向,以(90)度等间距均匀分布,用于引导支撑四根驱动丝(104);

其中，一个大孔(1032)位于导丝盘(103)的正中间，与导管部本体(21)中的导管部柔性关节(201)的外壁形成紧密配合。

8.如权利要求1至7中任一项所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，其特征在于，驱动模块(3)包括驱动模块支撑结构体(31)，线性滑台组(32)和导丝轮组(33)；

其中，线性滑台组(32)和导丝轮组(33)安装在驱动模块支撑结构体(31)上；

所述线性滑台组(32)共四组，分别与一根驱动丝(104)的一端相连接，分别为四根驱动丝(104)提供线性位移。

9.如权利要求8所述的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，其特征在于，每组线性滑台组(32)包括：旋转电机(301)、丝杆(302)、螺母(303)、滑块(304)、导轨(305)和轴承(306)；

其中，旋转电机(301)、导轨(305)及轴承(306)固定于驱动模块支撑结构体(31)上；

螺母(303)与滑块(304)固定连接；

螺母(303)上开有穿丝孔，用于固定驱动丝(104)。

基于接触辅助结构的柔性连续体机器人

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性连续体机器人技术领域，特别是涉及基于接触辅助结构的柔性连续体机器人。

背景技术

[0002] 目前，消化道早癌难以诊断发现，肿瘤边缘难以界定，是消化道疾病诊疗中面临的重大临床问题，光学活检技术可以实现活体的高分辨率显微成像，但是，显微成像视野范围小、探针控制不精准，是限制显微内镜临床应用的瓶颈。

[0003] 丝驱动柔性连续体机器人具备尺寸紧凑，多自由度，长距离传动的特点。柔长的连续体机器人能够通过内窥镜手术平台介入人体消化道，通过驱动探针进行扫描，实现大面积显微成像。早癌诊断后进行粘膜下手术，能够实现消化道早癌的诊疗一体化操作。这类柔性手术机器人分为导管部和末端偏转部，其中，传统的导管部由柔性多腔管制成，具有承载驱动丝及传递力的作用。末端偏转部多为传统铰链式蛇骨连续体机构，通过丝的拉伸收缩，来完成末端的多自由度弯曲。对于3mm以下的多腔管由于壁厚的限制，制造内外径比大的多腔管十分困难。但是机器人中间的大腔道是通入成像探针或活检钳驱动丝等元件所必须的。另外，现有末端蛇骨连续体存在回差大、制造难、工作通道小、自身无骨架等诸多问题。

[0004] 对薄壁超弹性镍钛合金管进行精密激光切割，可制造出大内腔的柔性连续体机器人，超弹性镍钛合金材料弹性模量小，能承受比传统金属材料高一个量级的可恢复应变。基于此材料制成的机构自身具备骨架，柔性更好，无需额外的诸如弹簧的骨架元件且疲劳强度优异。以往学者基于此提出过矩形槽口拓扑结构的柔性机构，其缺点是抗拉、抗扭性能差，即强度及稳定性差；在受丝驱动时不能较好的绕形心偏转，这为常曲率运动学建模引入误差。

发明内容

[0005] 本发明的目的是针对现有技术存在的技术缺陷，提供基于接触辅助结构的柔性连续体机器人。

[0006] 为此，本发明提供了基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，其包括末端偏转部、导管部和驱动模块；

[0007] 驱动模块通过导管部与末端偏转部相连接；

[0008] 其中，末端偏转部包括：柔性机械臂本体、末端偏转部驱动组件及成像组件；

[0009] 末端偏转部驱动组件装配于机械臂本体外部；

[0010] 成像组件安装于机械臂本体内部。

[0011] 其中，柔性机械臂本体是一根镍钛管，柔性机械臂本体上具有等间距分布的多个机械臂本体柔性关节，柔性机械臂本体远离的驱动模块的一端端部具有端部接口；

[0012] 多个机械臂本体柔性关节，由激光切割镍钛管加工而成。

[0013] 其中，端部接口沿着柔性机械臂本体端部的圆周方向，以度间隔等间隔设置有四

个槽口。

[0014] 其中，末端偏转部驱动组件包括多个导丝盘及四根驱动丝；

[0015] 导丝盘的端面，开有四个小孔及一个大孔；

[0016] 其中，四个小孔沿着导丝盘的端面周向，以度等间距均匀分布，用于引导支撑四根驱动丝；

[0017] 其中，一个大孔位于导丝盘的正中间，与柔性机械臂本体中的机械臂本体柔性关节的外壁形成紧密配合。

[0018] 其中，任意相邻的两个导丝盘，以单个机械臂本体柔性关节为间距，安装在柔性机械臂本体外壁；

[0019] 四根驱动丝，分别穿过导丝盘端面的四个小孔，形成间隙配合。

[0020] 其中，成像组件包括柔性光纤像束及夹套；

[0021] 其中，柔性光纤像束包括远端探头、像束本体以及近端镜头；

[0022] 远端探头，与夹套的内孔固定连接；

[0023] 夹套与柔性机械臂本体中的端部接口相连接，形成紧密配合。

[0024] 其中，导管部包括导管部本体；

[0025] 导管部本体是一根镍钛管，导管部本体上具有等间距分布的多个导管部柔性关节；

[0026] 导管部本体的外壁，等间距安装有多个导丝盘；

[0027] 其中，任意相邻的两个导丝盘之间，具有五个导管部柔性关节；

[0028] 其中，导丝盘的端面，开有四个小孔及一个大孔；

[0029] 其中，四个小孔沿着导丝盘的端面周向，以度等间距均匀分布，用于引导支撑四根驱动丝；

[0030] 其中，一个大孔位于导丝盘的正中间，与导管部本体中的导管部柔性关节的外壁形成紧密配合。

[0031] 其中，驱动模块包括驱动模块支撑结构体，线性滑台组和导丝轮组；

[0032] 其中，线性滑台组和导丝轮组安装在驱动模块支撑结构体上；

[0033] 所述线性滑台组共四组，分别与一根驱动丝的一端相连接，分别为四根驱动丝提供线性位移。

[0034] 其中，每组线性滑台组包括：旋转电机、丝杆、螺母、滑块、导轨和轴承；

[0035] 其中，旋转电机、导轨及轴承固定于驱动模块支撑结构体上；

[0036] 螺母与滑块固定连接；

[0037] 螺母上开有穿丝孔，用于固定驱动丝。

[0038] 由以上本发明提供的技术方案可见，与现有技术相比较，本发明提供了基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，作为一种面向消化道进行早癌诊疗的柔性连续体机器人，包括能够实现柔性进入内镜手术操作平台的末端偏转部、导管部及驱动模块，该柔性机器人基于接触辅助结构进行设计，由超弹性镍钛合金管制成，通过驱动丝传递动力，其能够克服现有柔性器械难以小型化，中间工作通道空间小，抗拉、抗扭性能差、末端偏转机构有回差、无骨架等缺点，具有重大的生产实践意义。

[0039] 本发明是一种直径小，加工制造效率高，抗拉、抗扭等机械性能优异的柔性连续体

机器人，机器人能够与标准的或者个性化设计的消化道内窥镜诊疗平台配合使用。

附图说明

[0040] 图1为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人的整体结构示意图；

[0041] 图2a为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，末端偏转部的整体结构示意图；

[0042] 图2b为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，末端偏转部的立体结构分解示意图；

[0043] 图3a为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，柔性机械臂本体的结构示意图；

[0044] 图3b为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，机械臂本体柔性关节分布在柔性机械臂本体上时的立体结构示意图；

[0045] 图3c为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，带有矩形梁结构的单个机械臂本体柔性关节的结构示意图；

[0046] 图3d为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，带有矩形梁结构的单个机械臂本体柔性关节在偏转后的结构示意图；

[0047] 图3e为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，带有曲率梁结构的单个机械臂本体柔性关节的结构示意图

[0048] 图4a为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，导丝盘及驱动丝的分解结构示意图；

[0049] 图4b为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，成像组件的结构示意图；

[0050] 图5a为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，导管部整体结构的结构示意图；

[0051] 图5b为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，导管部整体结构具有的单个导管部柔性关节的结构示意图，即图5a所示A部分中的单个导管部柔性关节的放大示意图；

[0052] 图5c为图5b所示B部分的放大示意图；

[0053] 图6为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，驱动模块的整体结构示意图；

[0054] 图7为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，线性滑台组的结构示意图；

[0055] 图8为本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人中，导丝轮组的结构示意图；

[0056] 图中：1为末端偏转部；2为导管部；3为驱动模块；

[0057] 11为柔性机械臂本体；12为末端偏转部驱动组件；13为成像组件；

[0058] 101为机械臂柔性关节；102为端部接口；103为导丝盘；104为驱动丝；105为柔性光纤像束；106为夹套；1011为机械臂柔性铰链；

[0059] 1012为第一主接触辅助结构，1013为第二主接触辅助结构，1014为第三主接触辅

助结构，1015为第四主接触辅助结构；

[0060] 1016为次接触辅助结构；

[0061] 21为导管部本体；201为导管部柔性关节；2011为导管部柔性铰链；

[0062] 31为驱动模块支撑结构体；32为线性滑台组；33为导丝轮组；

[0063] 301为旋转电机；302为丝杆；303为螺母；304为滑块；305为导轨；306为轴承；307为张紧轮，308为导向轮。

具体实施方式

[0064] 为使本发明实现的技术手段更容易理解，下面结合附图和实施例对本申请作进一步的详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释相关申请，而非对该申请的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本申请相关的部分。

[0065] 需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0066] 需要说明的是，在本申请的描述中，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方向或位置关系的术语是基于附图所示的方向或位置关系，这仅仅是为了便于描述，而不是指示或暗示所述装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

[0067] 此外，还需要说明的是，在本申请的描述中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”等应做广义理解，例如，可以是固定安装，也可以是可拆卸安装，“紧密配合”可以是机械配合，也可以是粘接或焊接形成固结。

[0068] 对于本领域技术人员而言，可根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0069] 参见图1至图8，本发明提供了基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，该机器人的末端可配合柔性光纤像束、手术钳、电刀等工具进性诊疗操作。本实施例机器人末端搭载柔性光纤像束。

[0070] 在本发明中，本发明的柔性连续体机器人包括末端偏转部1、导管部2和驱动模块3；

[0071] 驱动模块3通过导管部2与末端偏转部1相连接。

[0072] 在本发明中，具体实现上，导管部2一端与末端偏转部1固定相连或者直接加工成一个整体，另一端与驱动模块3相连，从而将末端偏转部1与驱动模块3连接为一个整体。

[0073] 需要说明的是，对于本发明的机器人，其可以应用于经自然腔道诊疗操作，尤其是对消化道进行早癌诊疗。

[0074] 在本发明中，具体实现上，末端偏转部1包括：用以实现俯仰自由度R1和偏航自由度R2的柔性机械臂本体11、末端偏转部驱动组件12及成像组件13；

[0075] 末端偏转部驱动组件12装配于机械臂本体11外部；

[0076] 成像组件13安装于机械臂本体11内部。

[0077] 具体实现上，柔性机械臂本体11是一根镍钛管，柔性机械臂本体11上具有等间距分布的多个(即一系列)机械臂本体柔性关节101，柔性机械臂本体11远离的驱动模块3的一端端部具有端部接口102；

[0078] 具体实现上，多个(即一系列)机械臂本体柔性关节101，由激光切割镍钛管加工而成。

[0079] 需要说明的是，对于本发明，机械臂本体柔性关节101及端部接口102通过激光去除超弹性的柔性机械臂本体11(即镍钛管)的部分材料而成，由未去除的材料自然形成连接，组成无需装配的整体结构。

[0080] 具体实现上，参见图3a所示，端部接口102沿着柔性机械臂本体11端部的圆周方向，以90度间隔等间隔设置有四个槽口。

[0081] 具体实现上，参见图3b所示，机械臂本体柔性关节101由机械臂本体柔性铰链1011、一对第一主接触辅助结构1012、一对第二主接触辅助结构1013、一对第三主接触辅助结构1014、一对第四主接触辅助结构1015以及一对次接触辅助结构1016组成。

[0082] 需要说明的是，机械臂本体柔性关节101的拓扑结构呈对称设计，沿柔性机械臂本体11(即镍钛管)的中心轴于正交两个方向上等距交替阵列，为这两个方向提供俯仰自由度R1和偏航自由度R2。所述机械臂本体柔性铰链1011结构为矩形梁结构或曲率梁结构。

[0083] 具体实现上，选定梁结构及偏转角可确定受驱动偏转后梁峰值应变ε_{max}，峰值应变可通过有限元工程结构分析求解。机构设计准则如下：

[0084] $\varepsilon_{max} \leqslant \varepsilon_{allow}$；

[0085] ε_{allow}代表超弹性镍钛管材生产商推荐的许用应变。ε_{max}为求解出的柔性铰链1011弯曲到最大角度后的最大应变(其中，allow含义为允许；max含义为最大)。

[0086] 对于本发明，具体实现上，单个机械臂本体柔性关节101具备5对接触辅助结构。包括四对主接触辅助结构(即第一主接触辅助结构1012～第四主接触辅助结构1015)，以及一对次接触辅助结构1016。

[0087] 具体实现上，第一主接触辅助结构1012、第二主接触辅助结构1013、第三主接触辅助结构1014和第四主接触辅助结构1015之间的缝隙为20微米。需要说明的是，缝隙值可以依据当前激光加工极限值选取，该值越小，机构运动越精确。

[0088] 需要说明的是，四对主接触辅助结构，用于为柔性铰链提供三方面物理约束，包含偏转，扭转及拉伸约束。一对次接触辅助结构1016，用于为偏转后的机构提供偏转止动，形成阻止材料应变继续增大的物理约束。

[0089] 具体实现上，参见图3c、图3d，单个机械臂本体柔性关节101偏转后的最大俯仰或偏航角为α，则单个柔性关节偏转后的最大俯仰或偏航角α需满足如下条件：

[0090] $\alpha < \beta_a, \alpha < \beta_b$；

[0091] 其中，β_a及β_b代表两个接触间夹角。

[0092] 并且，偏航或俯仰方向上n个柔性关节构成的末端偏转部的最大转角的计算公式如下：

[0093] $\alpha_{sum} = n \cdot \alpha$；

[0094] 其中，α_{sum}为n个柔性关节构成的末端偏转部的总偏转角度。α为单个机械臂本体柔性关节101偏转后的最大俯仰或偏航角，Sum的含义为总和。

[0095] 参见图3e所示，图3e是本发明提供的带有曲率梁结构的单个柔性关节的另一种柔性铰链结构，此结构受驱动弯曲后有不同于直梁结构的刚度、疲劳寿命、应变大小及分布。

[0096] 在本发明中，具体实现上，参见图4a所示，末端偏转部驱动组件12包括多个(即一

系列)导丝盘103及四根驱动丝104；

[0097] 导丝盘103的端面，开有四个小孔1031及一个大孔1032；

[0098] 其中，四个小孔1031沿着导丝盘103的端面周向，以90度等间距均匀分布，用于引导支撑四根驱动丝104；

[0099] 其中，一个大孔1032位于导丝盘103的正中间，与柔性机械臂本体11中的机械臂本体柔性关节101的外壁形成紧密配合。

[0100] 具体实现上，任意相邻的两个导丝盘103，以单个机械臂本体柔性关节101为间距(即两个导丝盘103之间具有一个机械臂本体柔性关节101)，安装在柔性机械臂本体11外壁；

[0101] 四根驱动丝104，分别穿过导丝盘103端面的四个小孔1031，形成间隙配合。

[0102] 需要说明的是，对于本发明，驱动丝104的末端打结为丝受拉时形成阻碍提供驱动力。

[0103] 在本发明中，具体实现上，参见图4b所示，成像组件13包括柔性光纤像束105及夹套106；

[0104] 其中，柔性光纤像束105包括远端探头1051、像束本体1052以及近端镜头1053；

[0105] 远端探头1051，与夹套106的内孔固定连接；

[0106] 夹套106与柔性机械臂本体11中的端部接口102相连接，形成紧密配合。

[0107] 在本发明中，具体实现上，参见图5a、图5b、图5c所示，导管部2包括导管部本体21；

[0108] 导管部本体21是一根镍钛管(跟柔性机械臂本体11是同一根镍钛管，一体成型)，导管部本体21上具有等间距分布的多个(即一系列)导管部柔性关节201；

[0109] 导管部本体21的外壁，等间距安装有多个导丝盘103；

[0110] 其中，任意相邻的两个导丝盘103之间，具有五个导管部柔性关节201；也就是说，任意相邻的两个导丝盘103，以五个导管部柔性关节201为间距。

[0111] 其中，导丝盘103的端面，开有四个小孔1031及一个大孔1032；

[0112] 其中，四个小孔1031沿着导丝盘103的端面周向，以90度等间距均匀分布，用于引导支撑四根驱动丝104；

[0113] 其中，一个大孔1032位于导丝盘103的正中间，与导管部本体21中的导管部柔性关节201的外壁形成紧密配合。

[0114] 需要说明的是，导管部本体21包括导管部柔性关节201，所述导管部柔性关节201与所述柔性机械臂本体11中的机械臂本体柔性关节101的拓扑结构类似，同样包括柔性铰链及接触辅助结构。接触辅助结构完全相同，不同之处在于：导管部柔性铰链2011比机械臂本体柔性铰链1011更宽，刚度更大。

[0115] 需要说明的是，导管部2的柔性铰链结构，同样可以采用矩形梁结构或带有曲率的梁结构。

[0116] 在本发明中，具体实现上，参见图6所示，驱动模块3包括驱动模块支撑结构体31，线性滑台组32(即旋转电机线性位移滑台组)和导丝轮组33；

[0117] 其中，线性滑台组32和导丝轮组33安装在驱动模块支撑结构体31上；

[0118] 所述线性滑台组32共四组，分别与一根驱动丝104的一端相连接，分别为四根驱动丝104提供线性位移(即直线位移)。

[0119] 具体实现上，参见图7所示，每组线性滑台组32包括：旋转电机301、丝杆302、螺母303、滑块304、导轨305和轴承306；

[0120] 其中，旋转电机301、导轨305及轴承306固定于驱动模块支撑结构体31上；

[0121] 螺母303与滑块304固定连接；

[0122] 螺母303上开有穿丝孔，用于固定驱动丝104。

[0123] 具体实现上，参见图8所示，导丝轮组33包括四个张紧轮307和十二个导向轮308；

[0124] 四根驱动丝104，绕在导向轮及张紧轮上。

[0125] 需要说明的是，导丝轮组33包含一系列导丝轮，用于为驱动丝提供导向，减少摩擦。

[0126] 需要说明的是，对于本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人包括机器人本体及驱动模块。所述的机器人本体包括末端偏转部及导管部。末端偏转部及导管部由超弹性镍钛合金管通过精密激光切割制造而成，精密激光切割在于精准去除部分管体材料以形成柔性关节。

[0127] 在本发明中，柔性关节由柔性铰链及接触辅助结构组成，柔性关节拓扑结构呈对称设计，沿镍钛管中心轴于正交两个方向上等距交替阵列，受到丝驱动形成俯仰及偏航自由度。

[0128] 在本发明中，柔性铰链结构为矩形梁结构或曲率梁结构，梁结构决定机构刚度，形成可恢复直线状态的骨架体。

[0129] 在本发明中，选定梁结构及偏转角即确定受驱动偏转后梁峰值应变。所述单个柔性关节具备5对接触辅助结构。5对接触辅助结构包含4对主接触辅助结构及1对次接触辅助结构，所述主接触辅助结构之间的缝隙约20微米。

[0130] 在本发明中，主接触辅助结构为柔性铰链提供三方面物理约束，包含偏转，扭转及拉伸约束。所述次接触辅助结构为偏转后的机构提供偏转止动，形成阻止材料应变继续增大的物理约束。次接触辅助结构间夹角正视投影呈梯形，梯形间夹角为单柔性关节最大偏转角。

[0131] 在本发明中，所述导管部包含多个末端偏转部柔性关节。导管部柔性铰链刚度较上述末端偏转部柔性铰链刚度大。所述机器人本体外部以固定间距安装导丝盘，所述导丝盘的材质为不锈钢，断面加工四个小孔及一个大孔。

[0132] 在本发明中，四个小孔为驱动丝提供支撑及导向。中间大孔与镍钛管外壁形成小间隙配合，固结方式采取粘接或焊接。末端偏转部导丝盘布置间距为单关节距离，导管部上的任意两个导丝盘布置间距为五个关节距离。

[0133] 与现有技术相比较，本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，具有如下有益效果：

[0134] 1、末端偏转部采用激光一体化加工，成型效率高，成本低。

[0135] 2、末端偏转部除大幅改善机构的机械性能如抗拉、抗扭性能外；关节机构无回差；更好的绕关节形心偏转；自身具备骨架体无需额外弹性元件；这些特性为临床上的诊疗操作提供更好的稳定性与安全性。

[0136] 3、末端偏转部及导管部可以一体化成型，亦可进行接口设计，完成后期组装，装配更灵活。

[0137] 4、直径小，内腔大，装配简单，易于消毒。

[0138] 6、大幅改善机构柔长手术工具的抗拉、抗扭强度。

[0139] 综上所述，与现有技术相比较，本发明提供的基于接触辅助结构的柔性连续体机器人，作为一种面向消化道进行早癌诊疗的柔性连续体机器人，包括能够实现柔性进入内镜手术操作平台的末端偏转部、导管部及驱动模块，该柔性机器人基于接触辅助结构进行设计，由超弹性镍钛合金管制成，通过驱动丝传递动力，其能够克服现有柔性器械难以小型化，中间工作通道空间小，抗拉、抗扭性能差、末端偏转机构有回差、无骨架等缺点，具有重大的生产实践意义。

[0140] 本发明是一种直径小，加工制造效率高，抗拉、抗扭等机械性能优异的柔性连续体机器人，机器人能够与标准的或者个性化设计的消化道内窥镜诊疗平台配合使用。

[0141] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

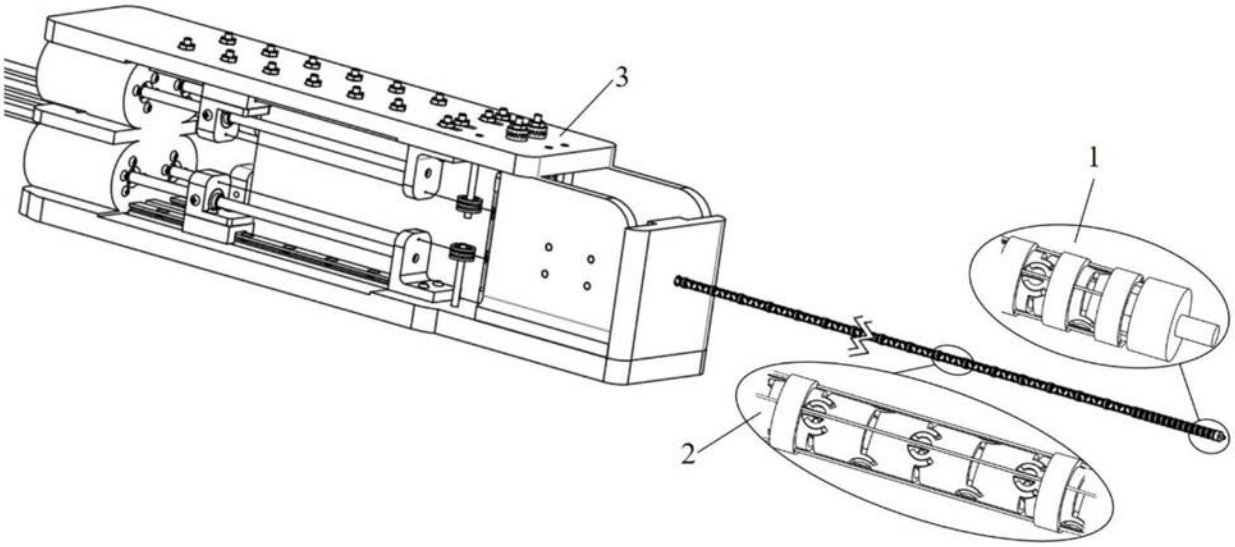


图1

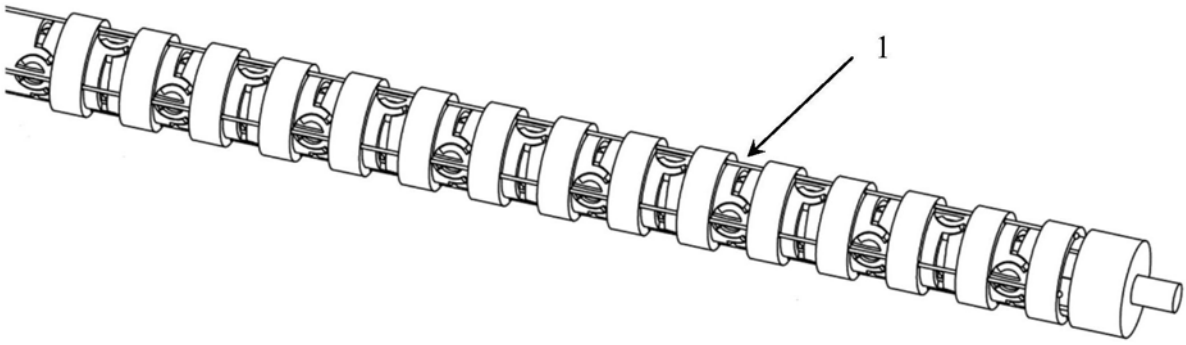


图2a

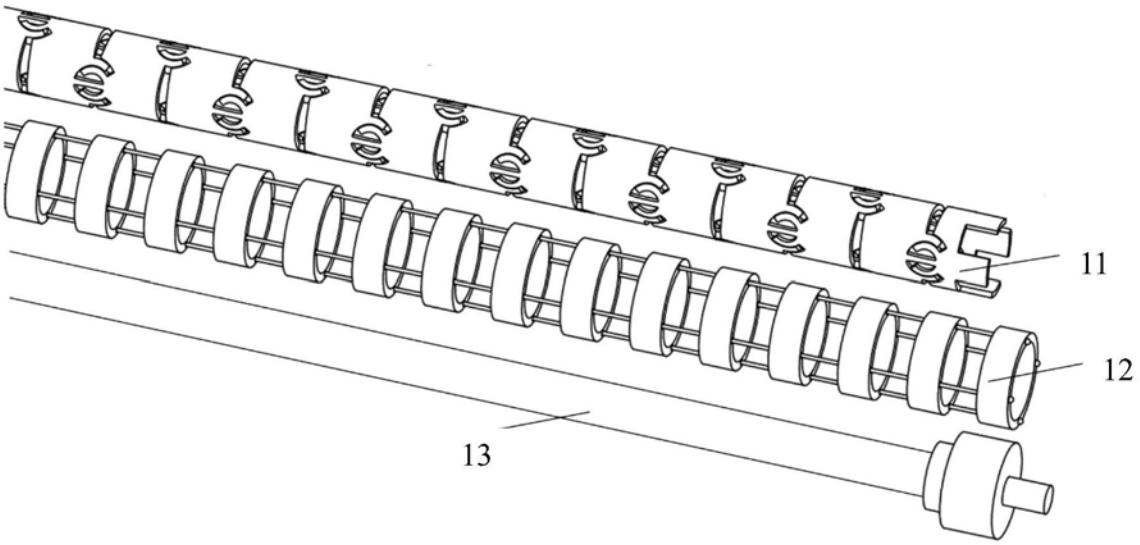


图2b

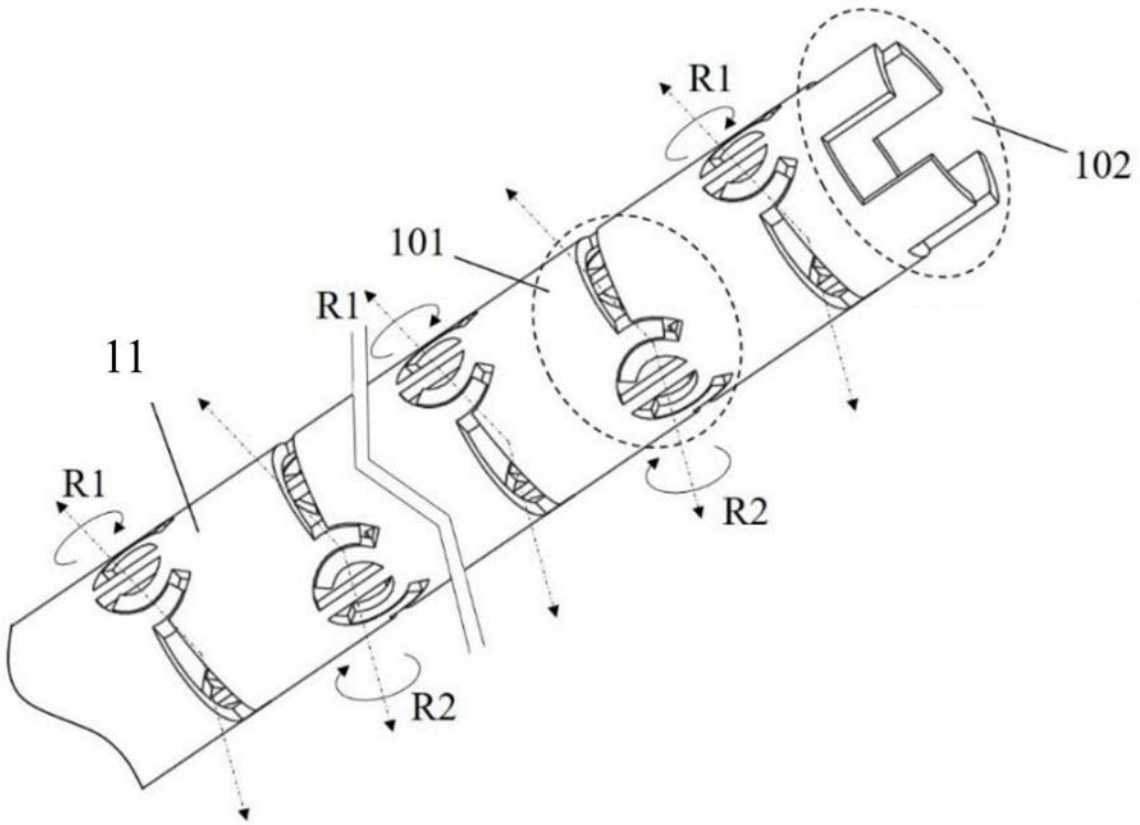


图3a

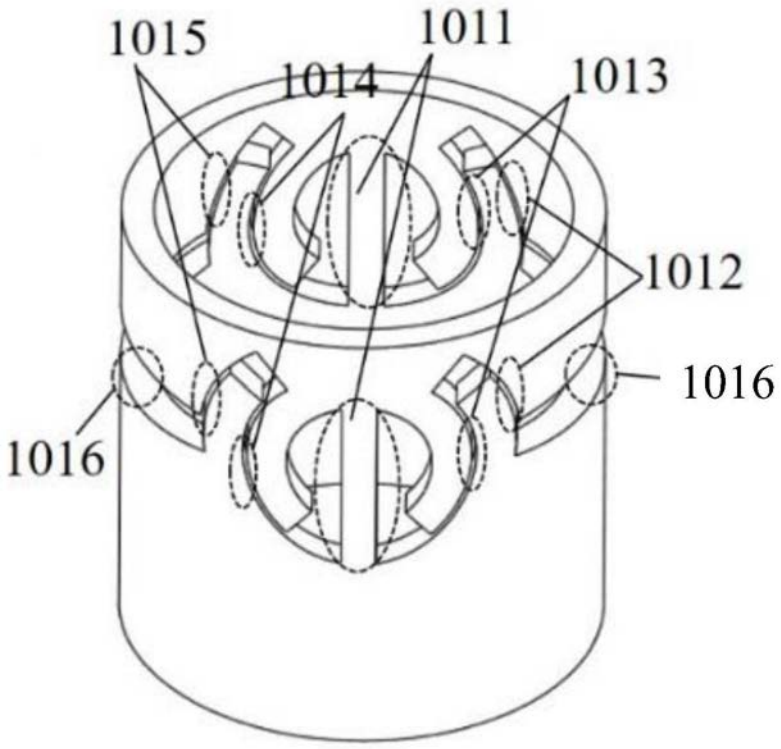


图3b

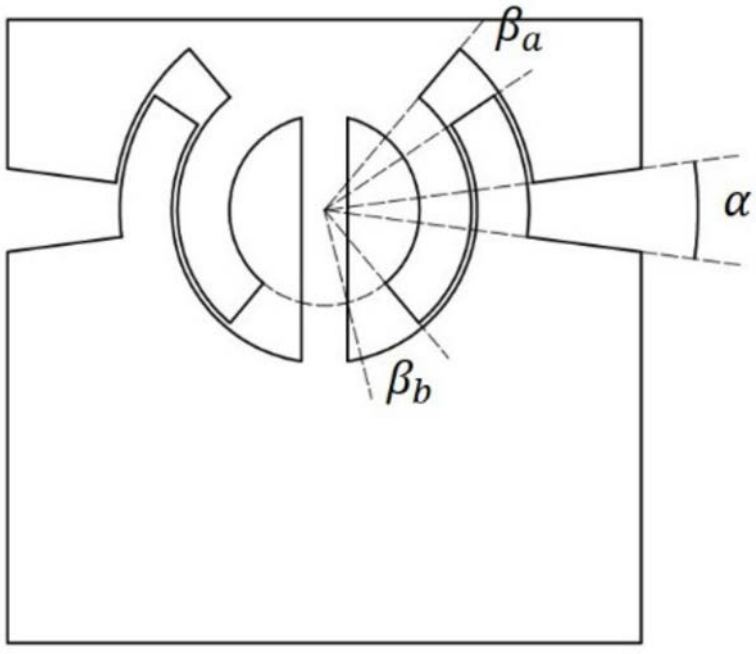


图3c

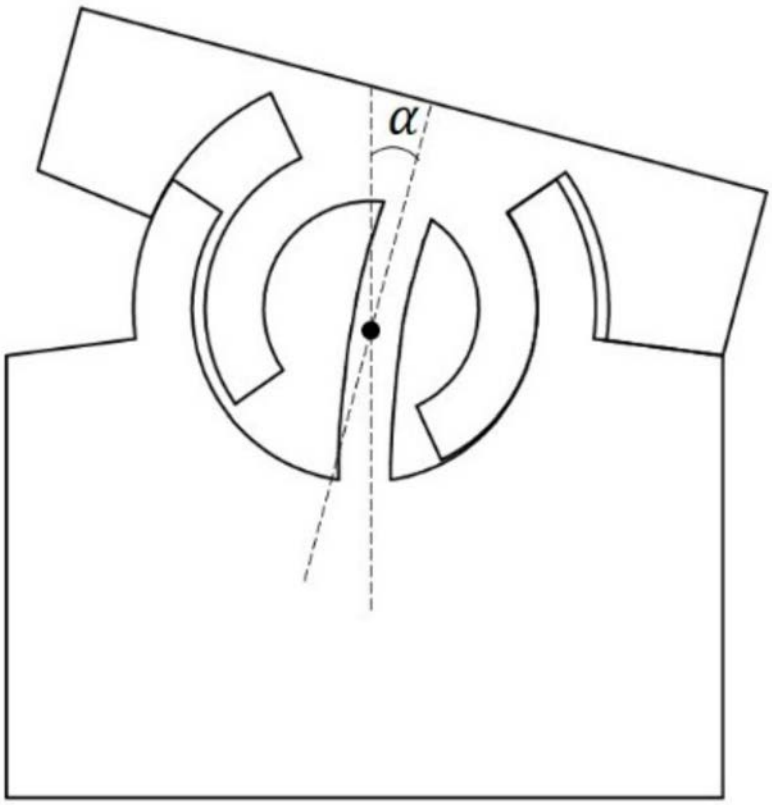


图3d

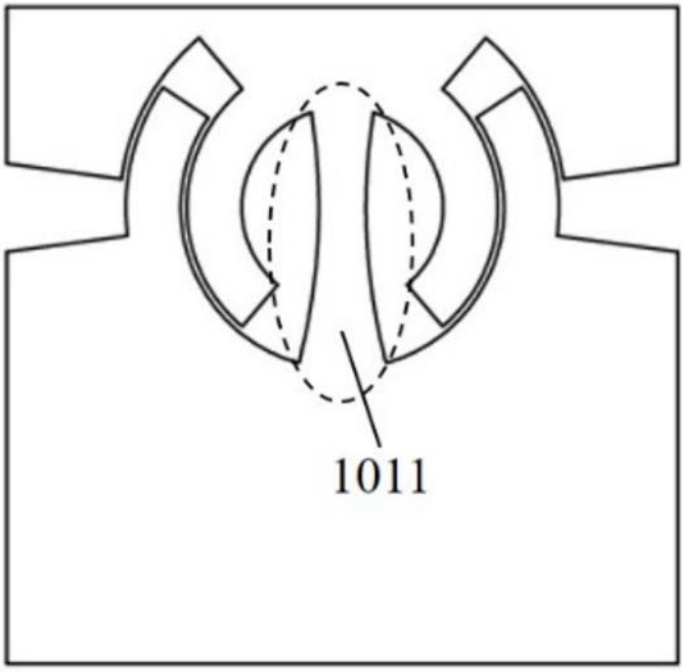


图3e

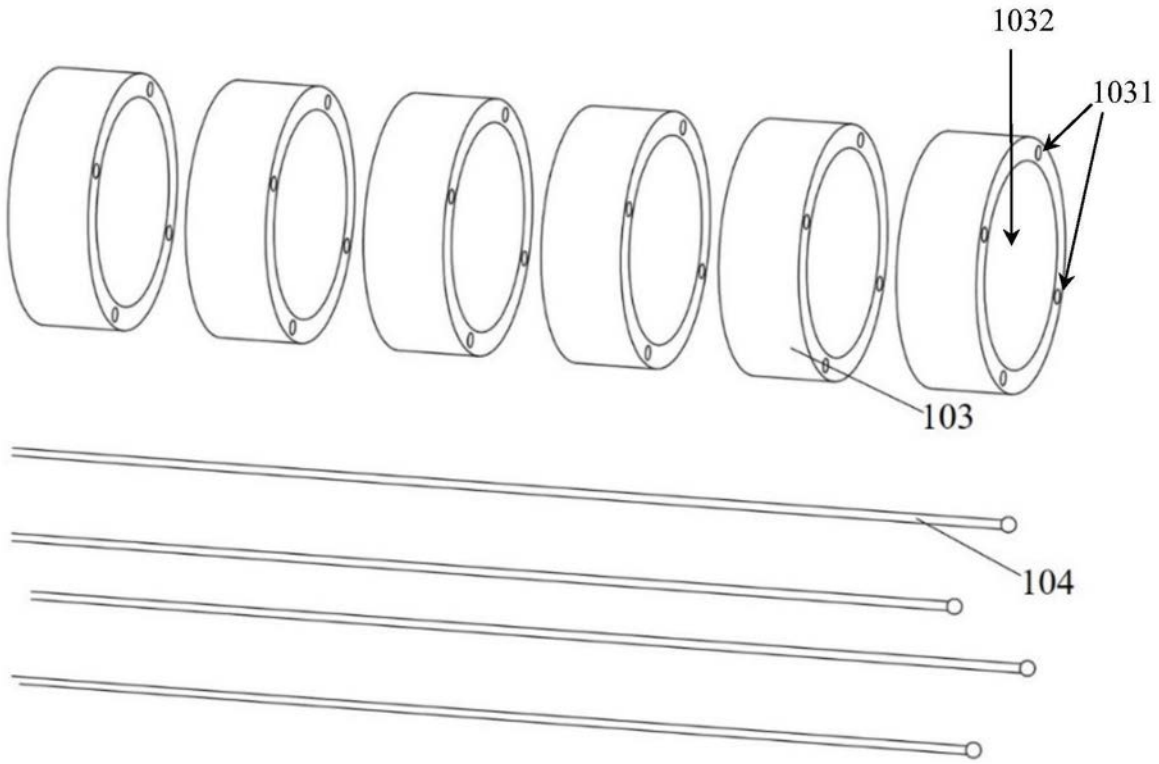


图4a

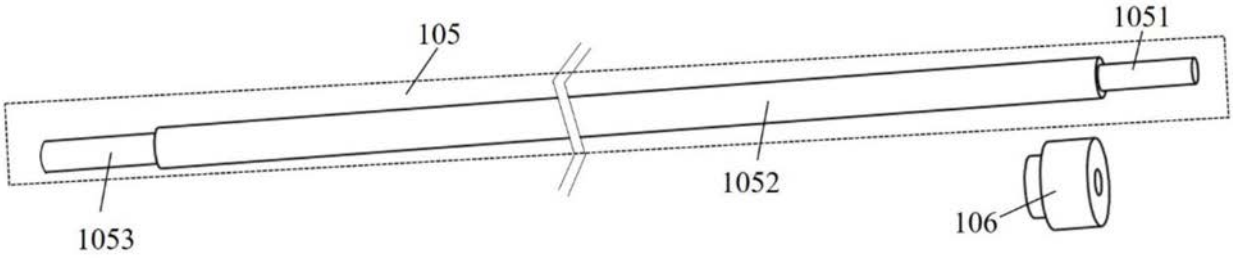


图4b

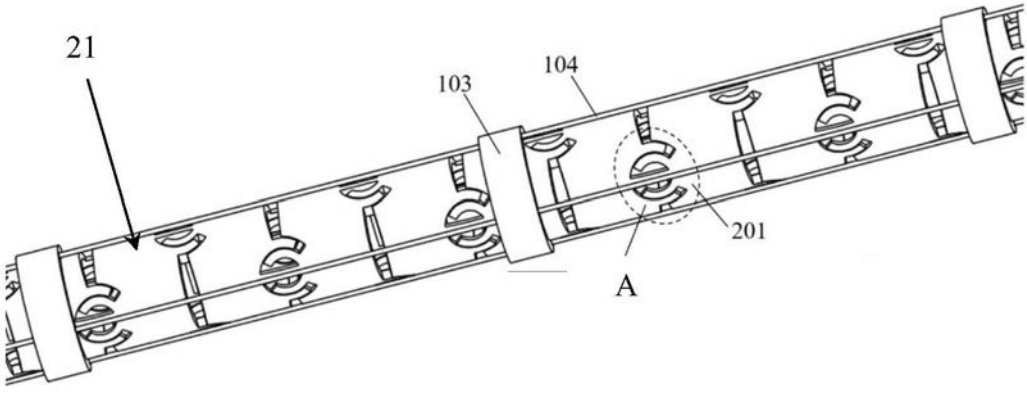


图5a

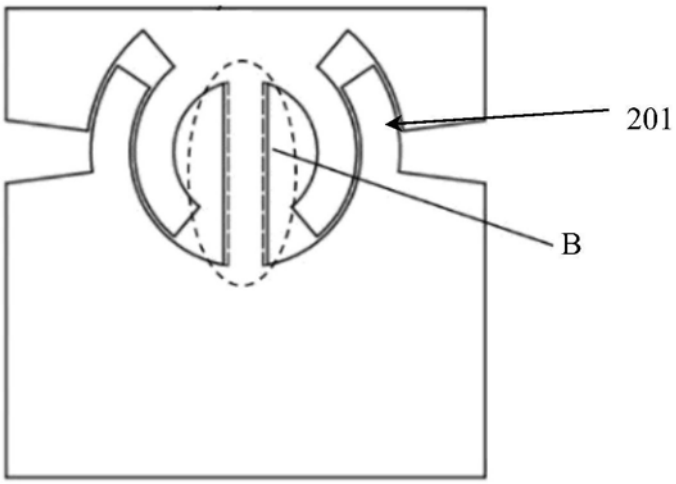


图5b

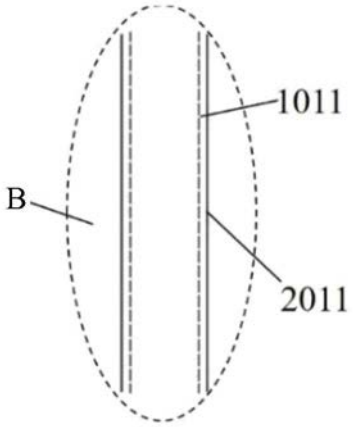


图5c

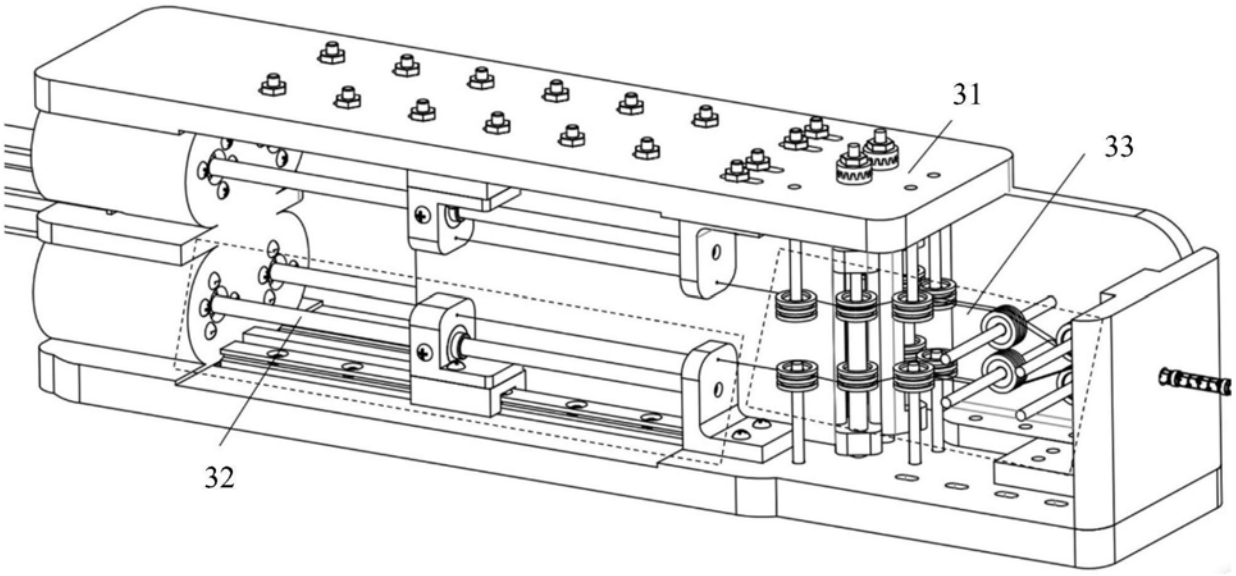


图6

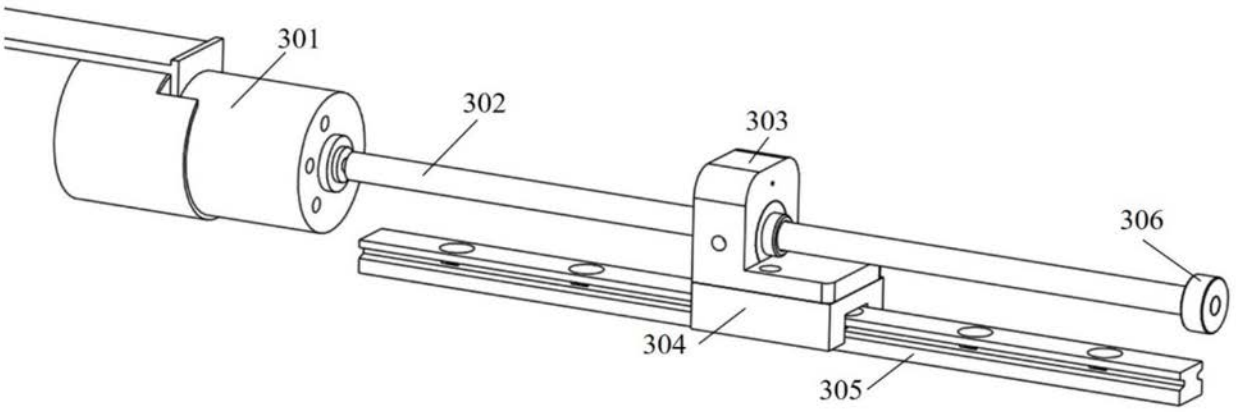


图7

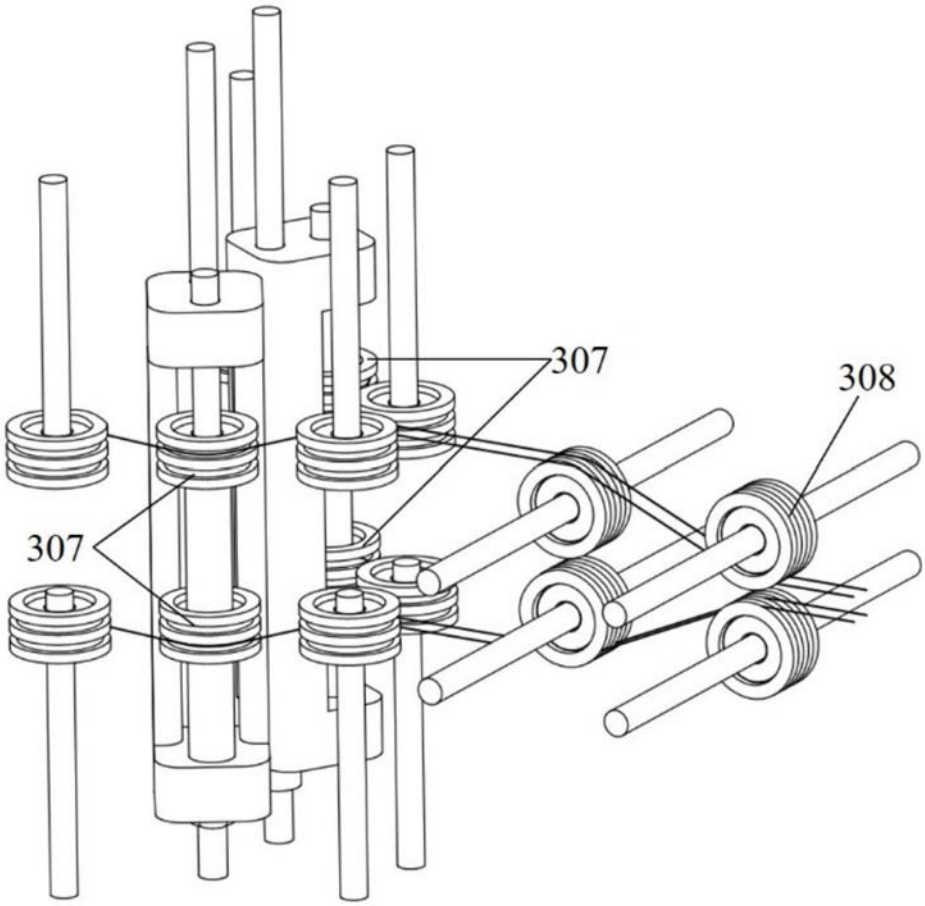


图8