(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 204440056 U
(45)授权公告日 2015.07.01

(21)申请号 201520095012.7

(22)申请日 2015.02.10

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 计展 薛松 祝万钱 王楠 陈家华 吴佳兴

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司 31002
代理人 邓琪

(51)Int.Cl.
G05B 19/04(2006.01)
G02B 27/62(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

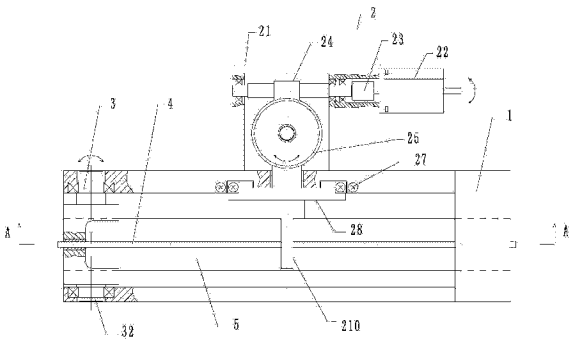
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)实用新型名称

一种压弯装置

(57)摘要

本实用新型提供一种压弯装置，包括：开放式结构的主体，其包括连接为整体的顶板、底板、前板和后板；驱动机构，其支撑座固定于顶板上，步进电机、联轴器和蜗杆依次连接且沿着与顶板平行的方向固定于支撑座上，蜗轮设置于蜗杆下方且与蜗杆组成蜗杆减速传动副，输出轴沿着与蜗杆垂直的方向固定于蜗轮的中心，输出轴的中部与上连接块连接，导轨设置于顶板下方，滑台平行于顶板设置且卡入导轨，滑台下方还设置有下连接块；摇臂对称地设置于前板和后板之间；拉杆，其沿水平方向固定于摇臂上，拉杆中部穿过下连接块固定；以及镜子，其平行于拉杆设置且镜子的两端分别固定于摇臂。本实用新型通过输出的直线位移能精确控制拉杆和镜子的弯曲变形程度。



CN 204440056 U

1. 一种压弯装置，其特征在于，所述压弯装置包括：

开放式结构的主体，所述主体包括顶板、底板、前板以及后板，其中，所述顶板和所述底板均在竖直方向上平行布置，两个所述前板和两个所述后板分别沿竖直方向设置于所述顶板和所述底板的四个对应的拐角之间，所述前板和所述后板与所述顶板和所述底板固定连接；

驱动机构，所述驱动机构包括支撑座、步进电机、联轴器、蜗杆、蜗轮、输出轴、导轨、滑台、上连接块以及下连接块，其中，所述支撑座固定于所述顶板上，所述步进电机、所述联轴器和所述蜗杆依次连接且沿着与所述顶板平行的方向固定于所述支撑座上，所述蜗轮设置于所述蜗杆下方且与所述蜗杆组成蜗杆减速传动副，所述输出轴沿着与所述蜗杆垂直的方向固定于所述蜗轮的中心，所述输出轴的中部与竖直方向设置的所述上连接块连接，所述导轨沿着与所述输出轴平行的方向设置于所述顶板下方，所述滑台平行于所述顶板设置且卡入所述导轨，所述滑台下方还设置有所述下连接块；

摇臂，两个所述摇臂分别通过竖向设置的转轴对称地设置于所述前板和所述后板之间，所述转轴同时固定于所述顶板和所述底板之间；

拉杆，所述拉杆沿水平方向设置且两端分别固定于所述摇臂上，所述拉杆中部穿过所述下连接块并与所述下连接块固定；以及

镜子，所述镜子平行于所述拉杆设置且所述镜子的两端分别固定于所述摇臂。

2. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述上连接块的侧面还设置有探头，所述探头的延伸方向与所述输出轴的延伸方向垂直，所述探头的两侧设置有限位开关，所述限位开关安装在所述主体的所述顶板上。

3. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述蜗杆为采用阶梯式结构的变截面杆，且依次形成第一阶杆颈、第二阶杆颈、第一过渡杆颈、蜗杆传动齿面、第二过渡杆颈以及第三阶杆颈，其中，所述第一过渡杆颈与所述第二过渡杆颈关于所述蜗杆传动齿面对称，所述第二阶杆颈和所述第三阶杆颈关于所述蜗杆传动齿面对称；所述蜗杆的所述第一阶杆颈穿过所述联轴器 并与所述步进电机的输出轴刚性固定，所述蜗杆的所述第二阶杆颈和所述第三阶杆颈分别穿过一组蜗杆滚动轴承固定于所述支撑座。

4. 根据权利要求 3 所述的压弯装置，其特征在于，所述蜗杆的所述蜗杆传动齿面与所述蜗轮上设置的蜗轮传动齿面匹配从而连续啮合传动。

5. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述输出轴为采用阶梯式结构的变截面杆，且依次形成第一阶轴颈、第二阶轴颈、螺旋传动齿面以及第三阶轴颈，其中，所述第一阶轴颈的外圆周上设置有轴向延伸的键槽，所述第二阶轴颈、所述第三阶轴颈分别穿过一组传动轴滚动轴承安装固定于所述支撑座，所述第一阶轴颈插入所述蜗轮的中心固定。

6. 根据权利要求 5 所述的压弯装置，其特征在于，所述输出轴与所述上连接块组成螺旋传动副，所述输出轴中间设置的螺旋传动齿面与所述上连接块内设置的内螺纹匹配。

7. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述摇臂包括摇臂架、转轴以及压块，所述摇臂架采用框架式结构，中心悬空，所述镜子的两端及所述压块固定于所述摇臂架的中空部分，所述摇臂架的顶面、底面分别设置竖向延伸的所述转轴，所述转轴与所述摇臂架之间刚性固定。

8. 根据权利要求 7 所述的压弯装置，其特征在于，所述后板上还设置有调节螺栓，所述

调节螺栓水平延伸且穿过所述后板顶触所述压块，所述压块顶紧所述镜子的两端。

9. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述摇臂与所述拉杆之间设置有摇臂滑动轴承，所述摇臂滑动轴承与所述拉杆间隙配合并支承所述拉杆滑动。

10. 根据权利要求 1 所述的压弯装置，其特征在于，所述下连接块与所述拉杆的连接处还安装有压力传感器，所述压力传感器采用套筒式结构，所述压力传感器的外套固定在所述下连接块的安装孔内，所述压力传感器的内套与所述拉杆接触，形成间隙配合。

一种压弯装置

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种压弯装置，更具体地涉及同步辐射光束线领域中使用的一种高精度微变型压弯装置。

背景技术

[0002] 准直聚焦镜是同步辐射光束线的主要组成部分，主要功能是实现光束的偏转、准直、聚焦。同步辐射光具有能量高、发散度小、光斑小等特点。为了保证聚焦后的光束质量和性能，准直聚焦镜必须具备非常高的面型精度和弯曲调节精度。按照成形方法，聚焦镜可分为磨制镜和压弯镜。相比于磨制镜，压弯镜镜面的曲率半径可以在一定范围内调节，且面型精度高、制造容易。因此，同步辐射光束线普遍采用压弯镜作为实现光束准直、聚焦的光学部件。

[0003] 压弯装置是采用压弯镜的准直聚焦镜系统的重要组成部分，是实现压弯功能的具体机械结构形式。压弯装置主要用于夹持镜子，并施加压弯力矩，使镜子发生弯曲变形，形成曲率中心和半径。通过调节施加的压弯力矩的大小，将准直聚焦镜的曲率半径控制在合理范围内，以满足同步辐射光束线物理环境的需求。压弯后的准直聚焦镜弯曲变形量非常小，曲率半径范围为2000～4000米；其面型误差精度要求高，通常小于1微弧度；其压弯调节精度高，分辨率范围为10～50米，重复精度范围50～100米，稳定性误差范围±30米，因此必须使用专业的光学仪器设备测量。为了得到性能最佳的光束，需要对准直聚焦镜反复压弯、测量。这要求应用于同步辐射光束线的压弯装置必须在微变型条件下实现高分辨率、高重复性、高稳定性的压弯调节。

[0004] 目前，现有压弯装置的结构形式多种多样，主要有三点压弯、四点滚轴压弯、柔性铰链和摇臂式结构等。对于三点压弯、四点滚轴压弯，由于压弯装置与镜面采用点、线接触方式，容易发生磨损，长期使用会影响压弯精度和面型质量。柔性铰链技术广泛应用于精密机械，其加工工艺复杂、制造成 本高，只用于小型光学元件的压弯调节；而准直聚焦镜属于大中型光学元件，柔性铰链技术并不适用。对于采用摇臂式结构的压弯装置，没有设计出合理的压弯结构形式或者驱动机构，无法实现微变型、高精度压弯调节。

[0005] 王俊杰等人（一种用于同步辐射光束线上的压弯机构的设计与试验，机械设计与研究，第20卷第6期，2004年12月）介绍了一种用于同步辐射光束线上的压弯机构。此压弯机构利用杠杆反撬原理，采用双摇臂式结构，通过弹性棒的变形使压紧装置旋转，最终对镜子实现压弯。但该文献只是简单阐述了压弯机构的工作原理，没有设计出具体的机械结构形式，也没有完整地、详细地表述具体的工作方式，包括如何使弹性棒变形、夹持镜子、施加弯矩等。更为重要的是，它没有说明如何控制弹性棒变形的大小，进而精确调节聚焦镜的弯曲形态。综上可知，聚焦镜的压弯精度和面型质量难以保证。

实用新型内容

[0006] 本实用新型的目的是提供一种压弯装置，从而解决现有技术中无法对准直聚焦镜

实现微变形、高精度的压弯调节，而且压弯后的弯曲形态不能满足同步辐射光束线物理环境需求的问题。

[0007] 本实用新型提供的压弯装置，包括：开放式结构的主体，主体包括顶板、底板、前板以及后板，其中，顶板和底板均在竖直方向上平行布置，两个前板和两个后板分别沿竖直方向设置于顶板和底板的四个对应的拐角之间，前板和后板与顶板和底板固定连接；驱动机构，驱动机构包括支撑座、步进电机、联轴器、蜗杆、蜗轮、输出轴、导轨、滑台、上连接块以及下连接块，其中，支撑座固定于顶板上，步进电机、联轴器和蜗杆依次连接且沿着与顶板平行的方向固定于支撑座上，蜗轮设置于蜗杆下方且与蜗杆组成蜗杆减速传动副，输出轴沿着与蜗杆垂直的方向固定于蜗轮的中心，输出轴的中部与竖直方向设置的上连接块连接，导轨沿着与输出轴平行的方向设置于顶板下方，滑台平行于顶板设置且卡入导轨，滑台下方还设置有下连接块；摇臂，两个摇臂分别通过竖向设置的转轴对称地设置于前板和后板之间，转轴同时固定于顶板和底板之间；拉杆，拉杆沿水平方向设置且两端分别固定于摇臂上，拉杆中部穿过下连接块并与下连接块固定；以及镜子，镜子平行于拉杆 设置且镜子的两端分别固定于摇臂。

[0008] 上连接块的侧面还设置有探头，探头的延伸方向与输出轴的延伸方向垂直，探头的两侧设置有限位开关，限位开关安装在主体的顶板上。

[0009] 蜗杆为采用阶梯式结构的变截面杆，且依次形成第一阶杆颈、第二阶杆颈、第一过渡杆颈、蜗杆传动齿面、第二过渡杆颈以及第三阶杆颈，其中，第一过渡杆颈与第二过渡杆颈关于蜗杆传动齿面对称，第二阶杆颈和第三阶杆颈关于蜗杆传动齿面对称；蜗杆的第一阶杆颈穿过联轴器并与步进电机的输出轴刚性固定，蜗杆的第二阶杆颈和第三阶杆颈分别穿过一组蜗杆滚动轴承固定于支撑座。

[0010] 蜗杆的蜗杆传动齿面与蜗轮上设置的蜗轮传动齿面匹配从而连续啮合传动。

[0011] 输出轴为采用阶梯式结构的变截面杆，且依次形成第一阶轴颈、第二阶轴颈、螺旋传动齿面以及第三阶轴颈，其中，第一阶轴颈的外圆周上设置有轴向延伸的键槽，第二阶轴颈、第三阶轴颈分别穿过一组传动轴滚动轴承安装固定于支撑座，第一阶轴颈插入蜗轮的中心固定。

[0012] 输出轴与上连接块组成螺旋传动副，输出轴中间设置的螺旋传动齿面与上连接块内设置的内螺纹匹配。

[0013] 摇臂包括摇臂架、转轴以及压块，摇臂架采用框架式结构，中心悬空，镜子的两端及压块固定于摇臂架的中空部分，摇臂架的顶面、底面分别设置竖向延伸的转轴，转轴与摇臂架之间刚性固定。

[0014] 后板上还设置有调节螺栓，调节螺栓水平延伸且穿过后板顶触压块，压块顶紧镜子的两端。

[0015] 摇臂与拉杆之间设置有摇臂滑动轴承，摇臂滑动轴承与拉杆间隙配合并支承拉杆滑动。

[0016] 下连接块与拉杆的连接处还安装有压力传感器，压力传感器采用套筒式结构，压力传感器的外套固定在下连接块的安装孔内，压力传感器的内套与拉杆接触，形成间隙配合。

[0017] 本实用新型的驱动机构选用高传动精度、高强度和高效率的蜗杆传动及螺旋传

动，配合高精度的步进电机、导轨及滑台，使输出直线位移具有高精度和高稳定性，精确控制拉杆弯曲变形程度。将拉杆弯曲变形量控制在弹性范围内，建立驱动机构输出直线位移与镜子曲率半径的对应关系。只要精确调节直线位移量，就可以准确地改变镜子的弯曲形态（曲率半径）。拉杆弹性变形范围小，压弯力矩有限，压弯精度高，完全适用于同步辐射准直聚焦镜的微变型压弯实际工况。镜子压弯变形过程具有高分辨率、高重复精度、高稳定性。而且，压弯装置选用精密滑动轴承、滚动轴承，降低摩擦力（矩）对镜子弯曲形态和面型质量的影响。总之，本实用新型提供的拉杆摇臂式的压弯装置具有高稳定性、高压弯精度、面型误差小等优点。特别是，蜗杆传动具有自锁性，镜子压弯后的曲率半径不会变化；拉杆的弹性变形具有线性和可逆性规律，精确调节镜子弯曲形态（曲率半径），并使用专业光学仪器设备实时测量，直至满足物理环境使用要求。因此，这种压弯装置完全适用于同步辐射光束线准直聚焦镜的压弯调节。

附图说明

[0018] 图 1 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的结构示意图；

[0019] 图 2 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的后视图；

[0020] 图 3 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的俯视图；

[0021] 图 4 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的蜗杆的结构示意图；

[0022] 图 5 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的输出轴的结构示意图；

[0023] 图 6 是根据图 3 的压弯装置的 A-A 剖视图；

[0024] 图 7 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的侧视图；

[0025] 图 8 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的主体与摇臂装配的结构示意图；

[0026] 图 9 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的主体的端部的结构示意图；

[0027] 图 10 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的摇臂的结构示意图；

[0028] 图 11 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的驱动机构的结构示意 图；

[0029] 图 12 是根据本实用新型一个实施例的压弯装置的压弯变形示意图。

具体实施方式

[0030] 以下结合具体实施例，对本实用新型做进一步说明。应理解，以下实施例仅用于说明本实用新型而非用于限制本实用新型的范围。

[0031] 请参考图 1 至图 3，示出了本实用新型提供的对称式拉杆摇臂压弯装置，用于夹持并驱使镜子弯曲变形。该压弯装置包括主体 1、驱动机构 2、摇臂 3、拉杆 4 和镜子 5，其中，主体 1 上方设置驱动机构 2，主体 1 的两端对称的设置两个摇臂 3，两个摇臂 3 分别通过竖向设置的转轴与主体 1 铰接，两个摇臂 3 之间设置有水平方向延伸的拉杆 4，拉杆 4 的两端分别通过轴承固定于摇臂 3 上，镜子 5 平行于拉杆 4 设置且镜子 5 的两端分别固定于摇臂 3，驱动机构 2 穿过主体 1 与拉杆 4 连接并驱动拉杆 4。

[0032] 下面结合附图对本实用新型的各个部件进行详细说明。

[0033] 结合图 2、图 6 和图 9 可知，主体 1 包括顶板 11、底板 12、前板 13、后板 14，其中，顶板 11 和底板 12 均为矩形板且在竖直方向上平行布置，两个前板 13 和两个后板 14 分别沿竖直方向设置于顶板 11 和底板 12 四个对应的拐角之间，前板 13 和后板 14 与顶板 11 和

底板 12 固定连接从而支撑顶板 11 和底板 12。前板 13 与后板 14 面积较小从而使得主体 1 形成开放式结构，空间充分敞开，从顶板 11 和底板 12 之间的空隙中可以方便的安装拆卸镜子 5 等部件。

[0034] 再如图 1- 图 6 所示，驱动机构 2 包括支撑座 21、步进电机 22、联轴器 23、蜗杆 24、蜗轮 25、输出轴 26、导轨 27、滑台 28、上连接块 29 以及下连接块 210，其中，如图 2 所示，支撑座 21 通过螺栓固定于顶板 11 上，步进电机 22、联轴器 23 和蜗杆 24 依次连接且沿着与顶板 11 平行的方向固定于支撑座 21 上。如图 3 所示，步进电机 22 通过螺栓安装在支撑座 21 的一个端面上。步进电机 22 的输出轴通过联轴器 23 与蜗杆 24 刚性固定，从而可以驱动蜗杆 24 绕支撑座 21 的回转中心旋转。支撑座 21 两侧设有安装孔、台肩，蜗杆滚动轴承 8 穿过安装孔安装于支撑座 21 内。两安装孔的中心轴线就是蜗杆 24 旋转的回转中心。如图 2 所示，蜗轮 25 设置于蜗杆 24 下方且与蜗杆 24 组成蜗杆减速传动副，其结构形式及技术参数按照圆柱蜗杆传动相关标准设计，实现高精度、高强度、高效率的减速传动。如图 3 所示，输出轴 26 沿着与蜗杆 24 垂直的方向固定于蜗轮 25 的中心，输出轴 26 的中部与竖直方向设置的上连接块 29 连接。如图 2 所示，导轨 27 沿着与输出轴 26 平行的方向设置于顶板 11 下方（参见图 2)，滑台 28 平行于顶板 11 设置且卡入导轨 27 中，滑台 28 可沿着导轨 27 而作垂直于纸面方向的移动（如图 2 所示）。上连接块 29 沿竖直方向穿过顶板 11 与滑台 28 连接，从而驱动滑台 28 移动。滑台 28 下方还设置有下连接块 210，下连接块 210 可随滑台 28 一起运动。上连接块 29、下连接块 210、滑台 28 通过螺栓安装固定在一起，在输出轴 26 的驱动下，共同沿导轨 27 的延伸方向做直线运动。如图 8 所示，拉杆 4 穿过下连接块 210 固定，拉杆 4 可在下连接块 210 的带动下变形。

[0035] 图 3 示出了本实用新型的压弯装置的俯视图，结合图 2 还可知，上连接块 29 的侧面还设置有探头 213，探头 213 的延伸方向与输出轴 26 的延伸方向垂直并且可随着上连接块 29 的移动而来回运动。探头 213 两侧设置有限位开关 212，限位开关 212 安装在主体 1 的顶板 11 上。探头 213 与限位开关 212 用于限定上连接块 29 的直线运动范围。当上连接块 29 运动到正、负极限位置时，探头 213 与限位开关 212 接触，限位开关 212 立即输出中断请求信号，迫使步进电机 22 停止转动。由于拉杆 4 所受拉力与上连接块 29 的直线位移成正比，从而间接限定了拉杆 4 的弯曲变形范围。

[0036] 下面结合图 4 和图 5 说明本实用新型采用的蜗杆 24 和输出轴 26。

[0037] 如图 4 所示，蜗杆 24 采用阶梯式结构，蜗杆 24 为变截面杆，且依次形成第一阶杆颈 241、第二阶杆颈 242、第一过渡杆颈 243、蜗杆传动齿面 244、第二过渡杆颈 245 以及第三阶杆颈 246，其中，第一过渡杆颈 243 与第二过渡杆颈 245 关于蜗杆传动齿面 244 对称，第二阶杆颈 242 和第三阶杆颈 246 也关于蜗杆传动齿面 244 对称。结合图 2 可知，蜗杆 24 的第一阶杆颈 241 穿过联轴器 23 并与步进电机 22 的输出轴刚性固定。蜗杆 24 的第二阶杆颈 242 和第三阶杆颈 246 分别穿过一组蜗杆滚动轴承 8 固定。蜗杆滚动轴承 8 能承受转动载荷并支承蜗杆 24 高精度旋转。蜗轮 25 的外轮廓上设有蜗轮传动齿面，蜗轮传动齿面与蜗杆 24 的蜗杆传动齿面 244 匹配，两者连续啮合传动，从而使蜗杆 24 能驱动蜗轮 25 旋转，并将蜗杆 24 的高速、小转矩的旋转转化为蜗轮 25 的低速、大转矩的旋转，实现减速传动。蜗杆 24 与蜗轮 25 的中心轴互成空间 90° 交角。

[0038] 同样地，如图 5 所示，输出轴 26 也为采用阶梯式结构的变截面杆，且依次形成第一

阶轴颈 261、第二阶轴颈 262、轴环 263、螺旋传动齿面 264、以及第三阶轴颈 265，其中，第一阶轴颈 261 的外圆周上设置有轴向延伸的键槽 266。结合图 13 可知，输出轴 26 的第二阶轴颈 262、第三阶轴颈 265 分别穿过一组传动轴滚动轴承 8’安装固定。第三阶轴颈 265 安装于一个传动轴滚动轴承 8’内。第二阶轴颈 262 安装于另一个传动轴滚动轴承 8’内。第一阶轴颈 261 插入蜗轮 25 的中心固定。蜗轮 25 的轮毂与第一阶轴颈 261 均设有键槽，安装平键，径向与周向均刚性固定，在此不再详述。蜗轮 25 向输出轴 26 传递转矩，使其共同绕支撑座 21 的回转中心旋转。

[0039] 输出轴 26 与上连接块 29 组成螺旋传动副，其结构形式及技术参数按照螺旋传动相关标准设计，能够实现高精度、高强度、高效率的直线进给运动。具体地，输出轴 26 中间设有螺旋传动齿面 264，上连接块 29 内设有匹配的内螺纹，两者连续啮合传动，输出轴 26 驱动上连接块 29 运动，并将输出轴 26 的旋转转化为上连接块 29 的直线运动，输出轴 26 的转矩转化为直线力，能够实现螺旋进给传动。上连接块 29 的直线运动方向平行于输出轴 26 的轴线方向。

[0040] 图 6 示出了根据图 1 的 A-A 轴的剖视图，结合图 7- 图 8 可知，两个摇臂 3 对称的布置于主体 1 两侧。摇臂 3 包括摇臂架 31、摇臂滑动轴承 33、压块 34 和调节螺栓 35。摇臂架 31 采用框架式结构，中心悬空，镜子 5 及压块 34 固定于摇臂架的中空部分。调节螺栓 35 穿过后板 14 上的通孔 143（参见图 9）以及调节螺栓通孔 313（参见图 10）顶紧压块 34 与镜子 5，从而使镜子 5 与摇臂 3 刚性固定。镜子 5 与摇臂 3 可一起相对于主体 1 的回转中心旋转。摇臂架 31 设有拉杆安装孔 314（参见图 10），用于安装摇臂滑动轴承 33。摇臂滑动轴承 33 的外圈与摇臂架 31 的安装孔配合，径向定位。摇臂滑动轴承 33 的两侧安装弹性挡圈，从而与摇臂架 31 轴向定位。摇臂滑动轴承 33 的内圈与拉杆 4 间隙配合，使其可沿拉杆 4 轴向相对滑动。摇臂滑动轴承 33 的作用是传递动力，并支承拉杆 4 滑动。具体地，下连接块 210 迫使拉杆 4 做直线运动，运动方向垂直于拉杆 4 的轴线。两侧摇臂滑动轴承 33 在径向对拉杆 4 施加刚性约束，阻碍拉杆 4 运动，拉杆 4 受力发生弯曲变形，并在与摇臂滑动轴承 33 接触处形成推力。推力方向垂直于摇臂滑动轴承 33 的轴线，且其延伸线与摇臂 3 的回转中心存在偏距，形成压弯力矩，施加在镜子 5 两端。在压弯力矩驱使下，摇臂 3 夹持镜子 5 旋转，镜子 5 弯曲变形。拉杆 4 弯曲变形量越大，施加在镜子 5 两端的压弯力矩越大，两者成近似线性关系。

[0041] 另外，参见图 6 还可知，下连接块 210 与拉杆 4 的连接处还安装有压力传感器 6。压力传感器 6 采用套筒式结构，外套固定在连接块 210 安装孔内。内套与拉杆 4 接触，形成间隙配合，可沿拉杆 4 轴线相对滑动。压力传感器 6 的作用是向拉杆 4 传递压力，并实时监控压力的变化。同样地，当压力达到最大设定值时，压力传感器 6 输出中断请求信号。驱动机构 2 输出直线运动，下连接块 210 通过压力传感器 6 压紧拉杆 4，并形成拉力，迫使拉杆 4 与下连接块 210 一起运动，运动方向垂直于拉杆 4 的轴线（平行于输出轴 26 的轴线）。在两端摇臂滑动轴承 33 的约束下，拉杆 4 发生弯曲变形。驱动机构 2 输出直线位移量越大，拉杆 4 受到的拉力越大，弯曲变形越大。直线位移量与拉杆 4 的弯曲变形量建立线性关系。压力传感器 6 实时监控拉杆 4 受力变化，防止受力过大，拉杆 4 弯曲变形超出弹性范围。

[0042] 如图 9- 图 10 所示，顶板 11 与底板 12 两端的中部均设置有竖向的摇臂架安装孔 113/123。摇臂架 31 的顶面、底面分别设置竖向延伸的转轴 32，转轴 32 与摇臂架 31 之间

刚性固定并分别插入摇臂架安装孔 113/123 内。如图 10 所示，转轴 32 采用阶梯式结构，设有转轴定位轴颈 321 与转轴轴肩 322，转轴 32 插入转轴滚动轴承 8”（参见图 8）内并随之一起固定于摇臂架安装孔 113/123 内。摇臂架安装孔 113/123 的中心轴线就是摇臂 3 旋转的回转中心。转轴滚动轴承 8”安装在主体 1 的摇臂架安装孔 113/123 与转轴 32 的轴颈之间，其作用是支承摇臂 3 高精度旋转，传递压弯力矩。后板 14 和摇臂架 31 上设置有相应的调节螺栓通孔 313/143，调节螺栓 35 插入该调节螺栓通孔 313/143 内固定，如图 9 所示。图 11 结合图 8 可知，顶板 11、底板 12 的四角均设有定位槽 111/121；前板 13、后板 14 的安装面均设有定位台阶 131/141。各板之间通过螺栓安装固定，利于安装、拆卸。顶板 11 上还设有顶板通槽 115（如图 3 和图 11 所示），预留充分空间，上连接块 29 穿过通槽 115 并随滑台 28 在通槽内直线运动，运动方向平行于输出轴 26 的轴线方向。主体 1 的作用是将压弯装置的所有部件连接在一起，并承受压弯过程产生的载荷。

[0043] 拉杆 4 采用圆形截面结构，拉杆 4 的弯曲变形发生在弹性范围内。（拉杆直径为 10-20mm，拉杆长度为 500-600mm，弯曲引起的拉伸量为 0-1mm。）拉杆 4 中部与压力传感器 6 接触，驱动机构 2 通过压力传感器 6 向拉杆 4 传递压力，使其沿垂直于轴线方向做直线运动，并发生弯曲变形。拉杆 4 两端与摇臂 3 上的摇臂滑动轴承 33 配合，通过摇臂滑动轴承 33 向摇臂 3 传递弯矩，并施加在镜子 5 两端。摇臂 3 受力旋转，拉杆 4 与摇臂滑动轴承 33 在轴向上发生相对滑动，增加了拉杆 4 在弯曲变形区域内有效长度，减小单位长度上拉伸力和拉伸量，提高压弯稳定性。拉杆 4 末端设有挡片，防止相对滑动过大，与摇臂滑动轴承 33 脱离。

[0044] 本实用新型在压弯过程中，上述驱动机构 2 将步进电机 22 输入的高速旋转，经过蜗杆副减速传动，使输出轴 26 低速旋转，再经过螺旋传动副，输出滑台 28 的直线进给运动。在滑台 28 的拉动下，拉杆 4 沿垂直于拉杆 4 轴线方向做直线运动（平行于输出轴 26 的轴线）。两侧摇臂滑动轴承 33 的刚性约束阻碍拉杆 4 运动，拉杆 4 受力发生弯曲变形，并在摇臂滑动轴承 33 接触处形成推力。推力方向垂直于摇臂滑动轴承 33 的轴线，且其延伸线与摇臂 3 的回转中心存在偏距，形成压弯力矩，施加在镜子 5 两端。在压弯力矩驱使下，摇臂 3 夹持镜子 5 旋转，镜子 5 弯曲变形，如图 12 所示。

[0045] 进一步地，驱动机构选用的蜗杆传动及螺旋传动具有高传动精度、高强度和高效率，结构形式及技术参数均按照国家机械行业相关标准设计。选用的步进电机、导轨及滑台均为标准产品，运动精度高、行程误差小。以上保证了输出直线运动精度和稳定性。其中，步进电机驱动步长小、蜗杆传动减速比大、螺旋传动螺距小，保证输出直线运动的高分辨率；蜗杆传动、螺旋传动、导轨与滑台的配合精度高，保证输出直线运动的高重复精度；蜗杆传动、螺旋传动强度高，传动平稳，保证输出直线运动的稳定性。特别地，蜗杆传动具有自锁性，电机停止驱动后，驱动机构不会受外力影响而运动，直线位移量恒定。

[0046] 拉杆是压弯装置传递力和运动的载体。相比于拉杆、镜子，其它结构的刚性很大，不会产生变形，能够将拉杆弯曲变形量控制在弹性范围内（拉杆的拉伸量为 0-1mm），建立驱动机构输出直线位移与镜子曲率半径的对应关系。

[0047] 具体地，拉杆弹性变形具有线性和可逆性规律，驱动机构输出直线位移量与拉杆弯曲变形量成正比关系。直线位移量越大，拉杆弯曲变形量越大，压弯力矩越大，镜子弯曲变形越大，曲率半径越小。因此，驱动机构输出直线位移量与镜子曲率半径成近似线性关

系。直线位移的运动精度决定了镜子压弯精度。只要精确调节直线位移量，就可以准确地改变镜子的弯曲形态。直线位移的分辨率、重复精度、稳定性越高，镜子曲率半径的分辨率、重复精度、稳定性越高，面型误差越小。实际压弯过程中，使用专业光学仪器设备实时测量，直至曲率半径、面型误差满足性能要求。

[0048] 本实用新型的上连接块的直线运动范围 ±5mm，直线位移的分辨率为 2μm，重复精度 10μm，对拉杆产生的拉力为 0-500N；拉杆弹性变形引起的拉伸量为 0-1mm；压弯力矩 0-20Nm；镜子曲率半径范围 1000-4000m，镜子曲率半径的分辨率为 10-50m，重复精度 50-100m，稳定性 ±30m，面型误差 小于 1μrad。

[0049] 由此可以看出，拉杆弹性变形范围小，压弯力矩有限，压弯精度高，完全适用于同步辐射准直聚焦镜的微变型压弯实际工况。限位开关与压力传感器对拉杆弹性变形起保护、监控作用，防止拉杆 4 受力过大，弯曲变形超出弹性范围，造成压弯装置失效，甚至损坏镜子 5。

[0050] 另一方面，拉杆弹性变形后，自身具有抵抗、恢复变形的能力，推动驱动机构反向运转，输出的直线位移量减小，镜子压弯力矩得以释放，曲率半径发生变动。而本实用新型设计的驱动机构包含蜗杆传动，具有自锁性，输出的直线位移不会受到影响，镜子弯曲形态保持良好，保证了压弯精度和稳定性。

[0051] 卸载过程中，驱动机构反向运转，直线位移量减小，摇臂反向转动并释放压弯力矩，镜子及拉杆的弯曲程度逐渐恢复。由于弹性变形具有线性和可逆性规律，镜子及拉杆弯曲的加载与卸载变化趋势很好的吻合，整个压弯过程具有高重复精度。当镜子 5 恢复到常态后，驱动机构继续反向运转，直线位移量反向增大，镜子 5 发生反向弯曲变形，对同步辐射光束起到发散作用。因此，本实用新型设计的压弯装置可以实现对镜子 5 的双向微变型压弯，压弯精度高、稳定性好，更好的满足同步辐射光束线使用性能要求。

[0052] 为了满足同步辐射聚焦镜高精度、高稳定性的压弯要求，本实用新型所提供的压弯装置合理利用蜗杆传动、螺旋传动的优点。蜗杆传动、螺旋传动的结构形式及技术参数均按照相关标准设计，超出本实用新型范畴，不做详细阐述。

[0053] 以上所述的，仅为本实用新型的较佳实施例，并非用以限定本实用新型的范围，本实用新型的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本实用新型申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰，皆落入本实用新型专利的权利要求保护范围。本实用新型未详尽描述的均为常规技术内容。

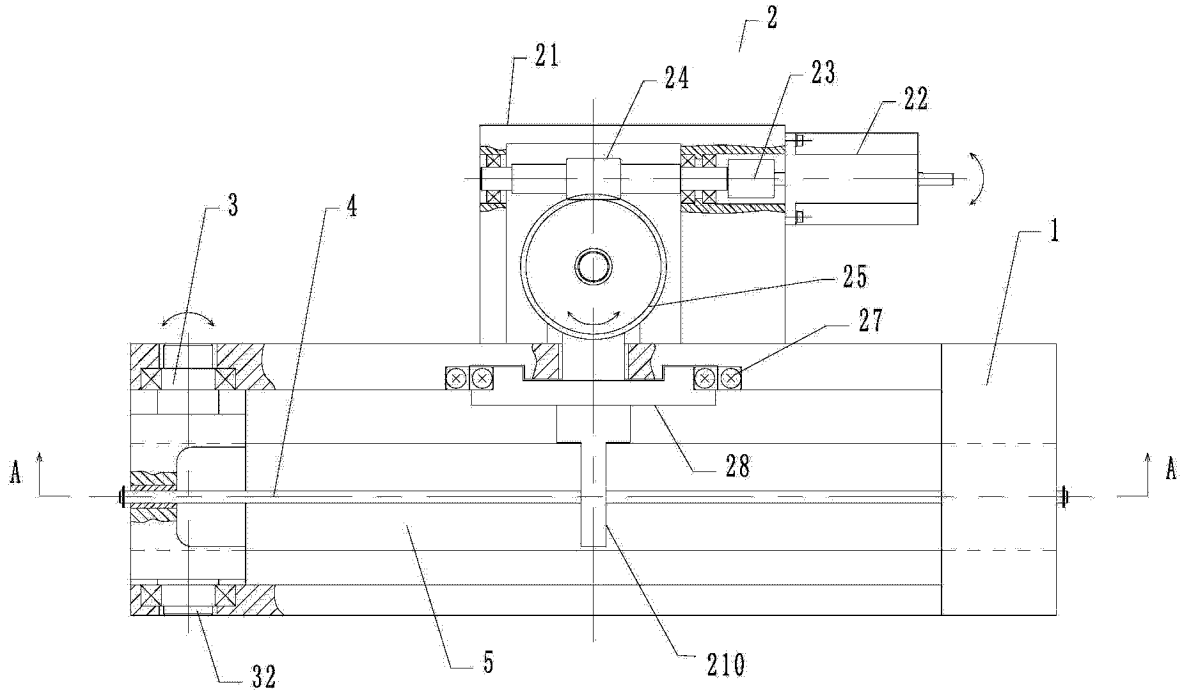

2
21
24
23
22
3
4
1
25
27
28
A
A
32
5
210

图 1

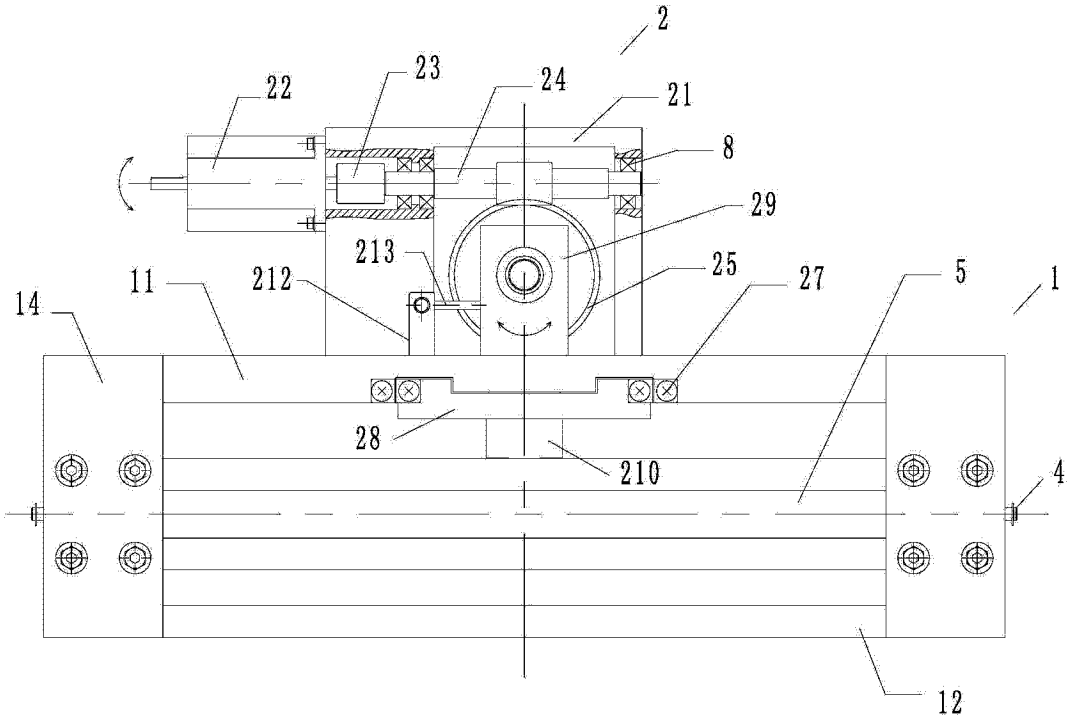

2
22
23
24
21
8
29
213
25
27
5
1
14
11
212
28
210
4
12

图 2

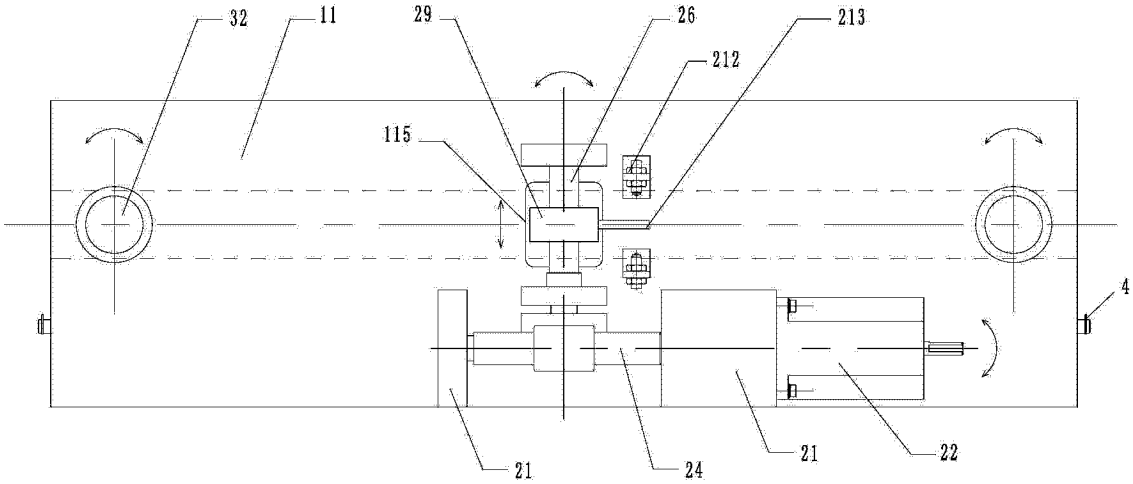

32
11
29
26
213
212
115
4
21
24
21
22

图 3

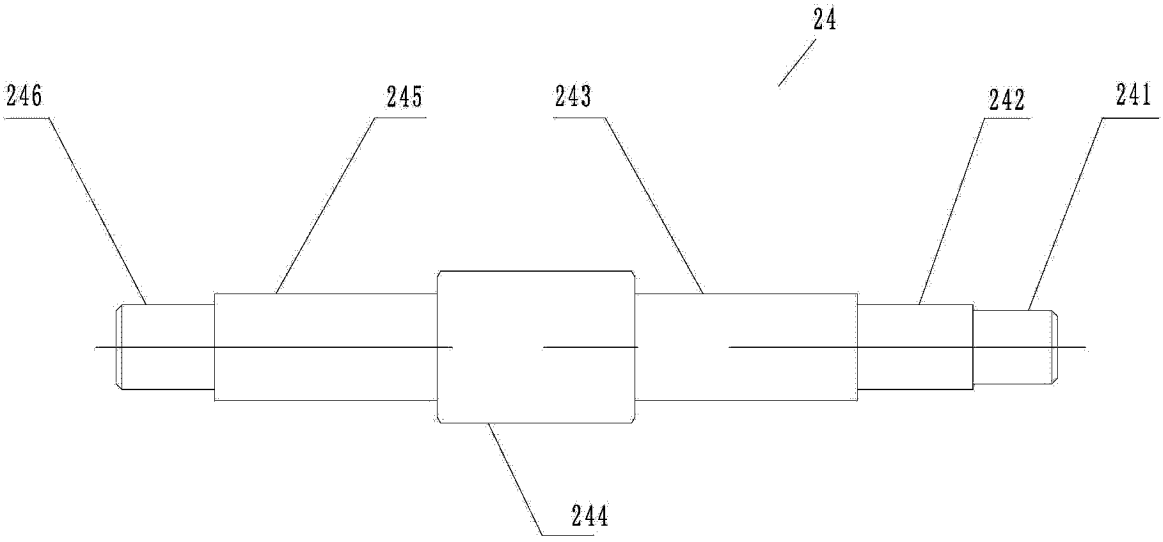

24
246
245
243
242
241
244

图 4

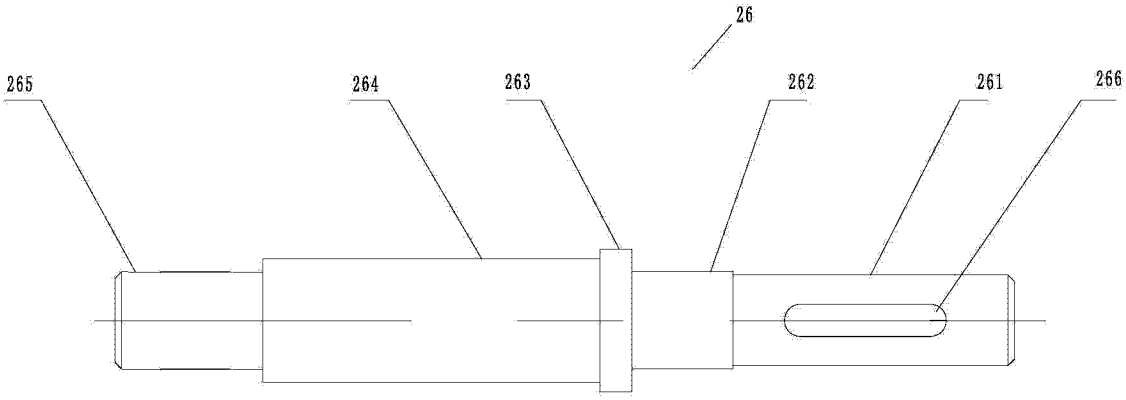

26
265
264
263
262
261
266

图 5

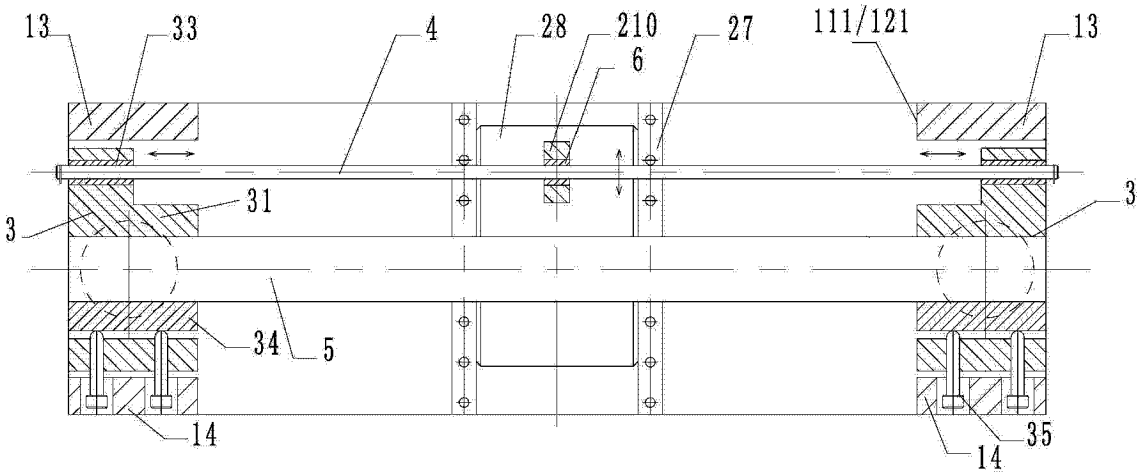


图 6

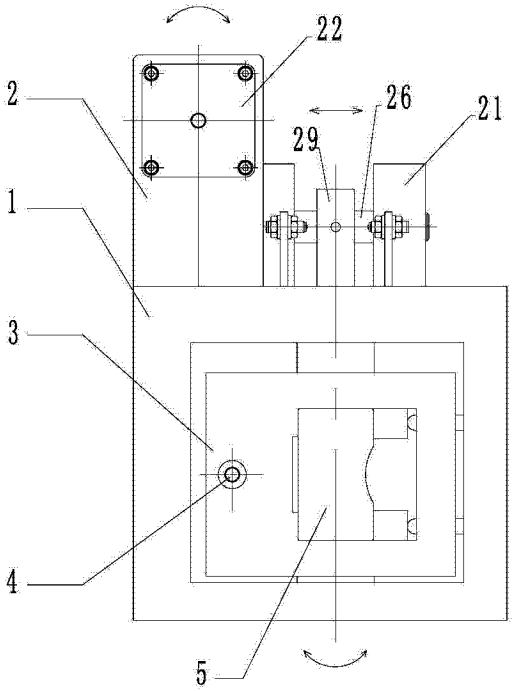


图 7

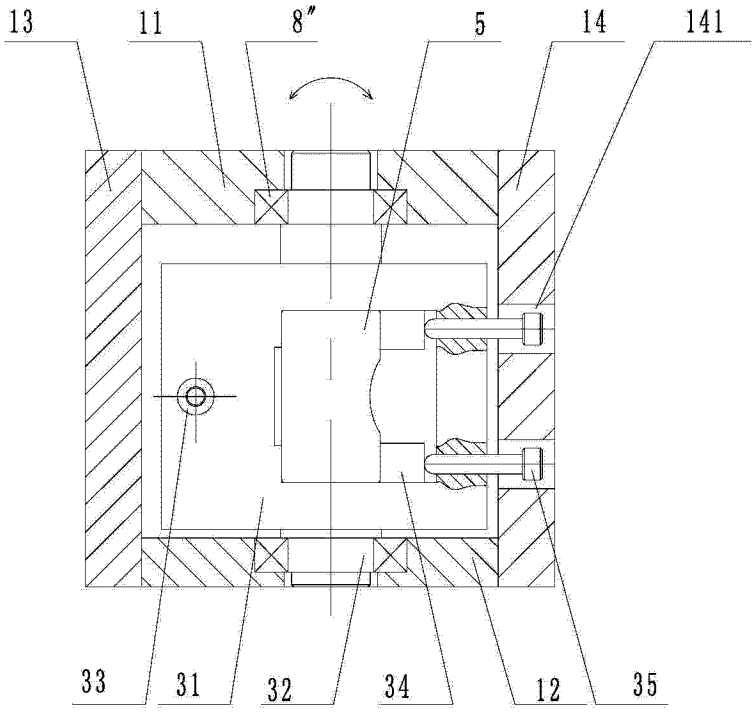

13
11
8″
5
14
141
33
31
32
34
12
35

图 8

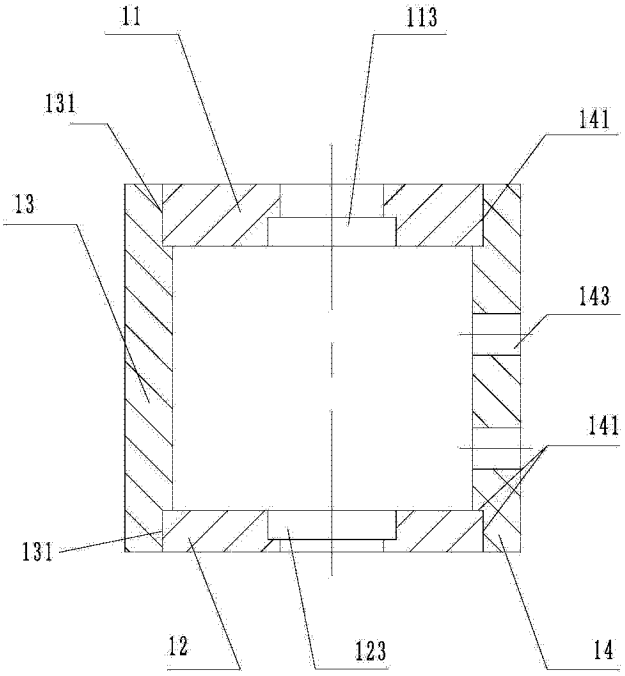

11
113
131
141
13
143
141
131
12
123
14

图 9

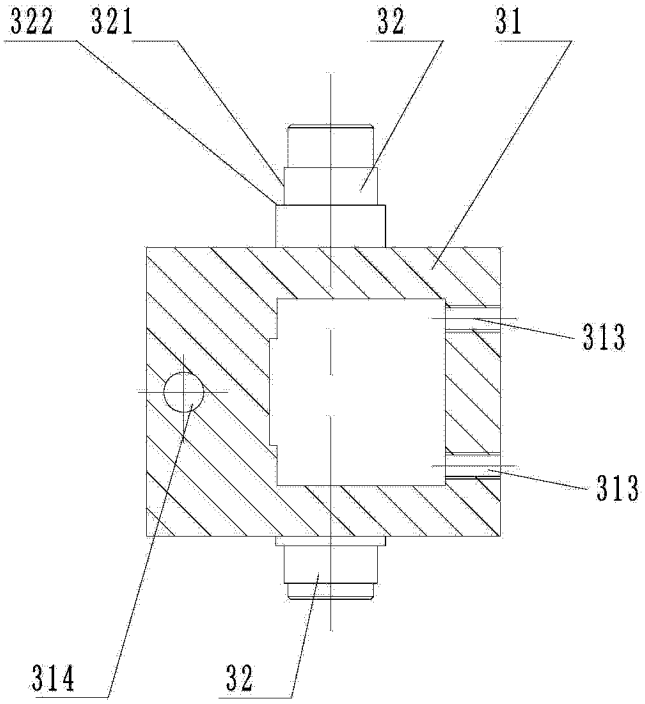


图 10

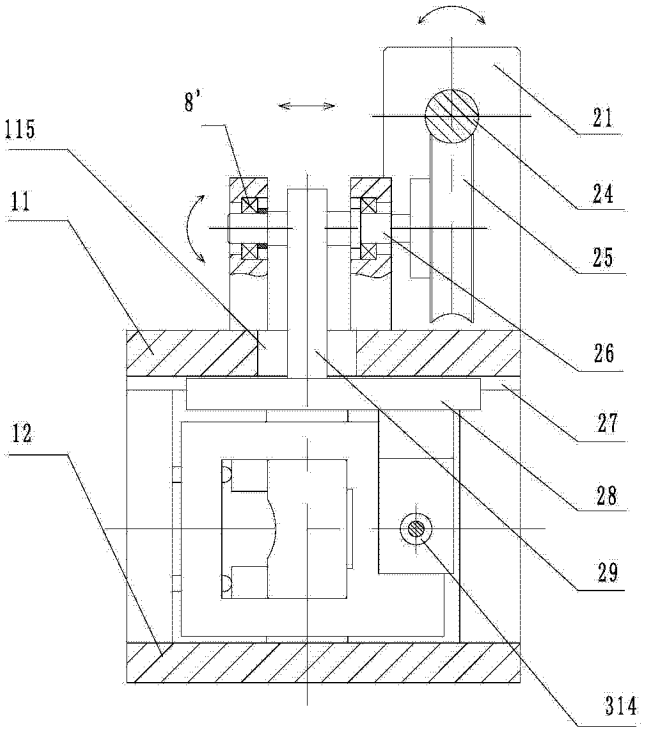


图 11

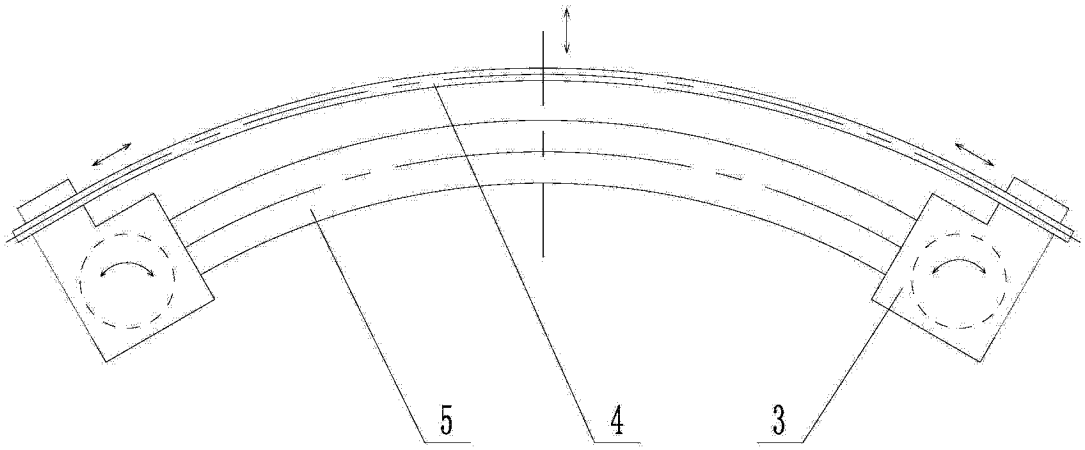


图 12