(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 103940471 B
(45)授权公告日 2016.07.13

(21)申请号 201410165816.X

(22)申请日 2014.04.23

(73)专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区北京市100084-82信箱

(72)发明人 李铁民 姜峣 杜云松 李福华 吴军 关立文

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246
代理人 张文宝

(51)Int.Cl.
G01D 21/02(2006.01)

(56)对比文件
CN 102230789 A,2011.11.02,
CN 101769805 A,2010.07.07,
CN 102840980 A,2012.12.26,
CN 102620934 A,2012.08.01,
KR 100967430 B1,2010.07.01,
JP 2004085856 A,2004.03.18,
CN 102890000 A,2013.01.23,
CN 200975945 Y,2007.11.14,
CN 102928220 A,2013.02.13,
黄新.滚动直线导轨副性能分析及工程技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技I辑》.2006,(第5期),B022-95.

审查员 王晟哲

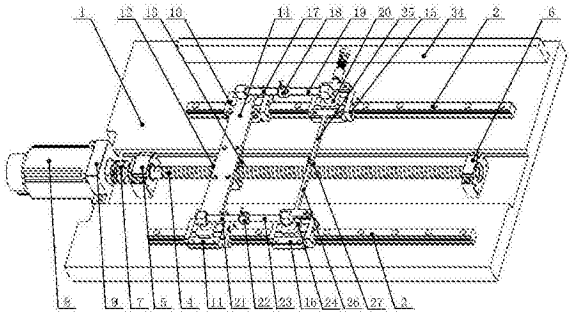
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置

(57)摘要

一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置属于测量技术领域，主要包括直线进给系统、导轨滑块摩擦力测量装置、导轨直线度误差测量装置、导轨安装平行度误差测量装置。导轨滑块摩擦力测量装置通过伺服电机驱动滑块的运动，实现不同运行速度及不同受载作用下的滑块动态摩擦力的测量，利用拉压力传感器获取摩擦力值；导轨安装平行度误差测量装置将导轨间的平行度误差转换为连接杆的内应力，通过拉压力传感器测量后再进行处理获得平行度误差值；导轨直线度误差测量装置利用标准直线量块作为测量的参照，将导轨的直线度误差转换为弹簧压缩量的变化，并利用最小二乘法进行处理，测量方便，测量精度高。



CN 103940471 B

1.一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置，其特征在于，包括直线进给系统、摩擦力测量装置、平行度误差测量装置和直线度误差测量装置；

所述直线进给系统为：底板(1)上固定设置两条相互平行的第一直线导轨(2)和第二直线导轨(3)；在所述的第一直线导轨(2)和第二直线导轨(3)之间平行安装滚珠丝杠(4)；滚珠丝杠(4)的两端通过固定在底板(1)上的固定支撑座(5)和浮动支撑座(6)支撑，滚珠丝杠(4)的一端通过联轴器(7)与伺服电机(8)的输出端连接；所述伺服电机(8)固定在底板(1)上；在所述的第一直线导轨(2)上连接有第一滑块(10)，在所述的第二直线导轨(3)上连接有第二滑块(11)；在所述的滚珠丝杠(4)上连接有丝杠螺母(12)，在丝杠螺母(12)上固定连接丝杠螺母座(13)；连接板(14)固定连接在所述第一滑块(10)、第二滑块(11)和丝杠螺母座(13)的上表面；

所述的摩擦力测量装置分为结构相同的两部分，其中，第一直线导轨(2)上的部分的结构为：所述第一直线导轨(2)上连接有第三滑块(15)，第三滑块(15)上安装第一连接座(20)；所述连接板(14)位于第一滑块(10)上方的位置与第一推力杆(17)的一端连接，第二推力杆(19)的一端与第一连接座(20)固定连接；第一拉压力传感器(18)的两端分别与所述第一推力杆(17)的终端、第二推力杆(19)的终端固定连接；第二直线导轨(3)上的部分的结构与第一直线导轨(2)上的部分的结构相同；

所述的平行度误差测量装置的结构为：第一连杆(25)的一端固定连接于所述的第三滑块(15)上，第二连杆(26)的一端固定连接于第四滑块(16)上；第三拉压力传感器(27)的一端固定连接于所述的第一连杆(25)的终端，另一端固定连接于所述的第二连杆(26)的终端；

所述的直线度误差测量装置的结构为：连接套(28)一端固定连接于所述的第三滑块(15)上，另一侧与直线轴承(29)连接；滑动杆(30)插入直线轴承(29)中；弹簧(31)套装在滑动杆(30)上，其一端与连接套(28)末端接触，另一端与滑动杆(30)末端接触；滑动杆(30)和万向球(32)通过压力传感器(33)相连接；所述万向球(32)固定在底板(1)上，且与标准直线量块(34)接触。

2.根据权利要求1所述的一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置，其特征在于，所述连接套(28)与直线轴承(29)过盈配合连接。

3.根据权利要求1所述的一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置，其特征在于，所述标准直线量块(34)与所述第一直线导轨(2)、第二直线导轨(3)平行。

直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置

技术领域

[0001] 本发明属于测量技术领域，具体涉及一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置。

背景技术

[0002] 直线导轨目前已被广泛应用于数控机床直线进给系统中，起着支撑运动平台和导向的作用，是直线进给系统的相对位置基准和运动基准，其性能对机床的加工精度和使用寿命有很大的影响。随着加工制造向着高效、高精、高速的方向发展，这就需要直线导轨具有导向精度高，运行灵敏度高，摩擦力小，精度保持性好等优点。由于直线导轨对直线进给系统的影响较大，因为在加工制造中和使用过程中保证其具有优异的性能，这就首先需要实现直线导轨相关性能的参数的高精、高效的可靠测量，这也能够为进一步研究进给系统的性能提供依据。在直线导轨的性能中，制造直线度、安装平行度和摩擦力是最为关键的几个参数，其中，直线导轨的摩擦力特性是进给系统低速运行平稳性的直接影响因素，直线导轨的直线度和平行度将直接影响直线进给系统的导向精度。

[0003] 直线导轨滑块运行过程中的摩擦力能够间接反映导轨的加工制造和装配状况，在一定的程度上有助于进行直线导轨的工艺性分析。由于直线导轨摩擦阻力会随着载荷、预紧力、润滑剂粘度的不同而变形，影响机理较为复杂，因此从理论进行准确建模分析较为困难，而且由于缺少相关的参数，计算结果准确性不够。在实际应用过程中，一般都会采用专门的测量装置直接对摩擦力进行测量。目前已有的直线导轨滑块摩擦力测量装置主要用于静态摩擦力的测量，或者手动控制速度下的动态摩擦力测量，难以实现不同速度、稳态速度、不同载荷作用下的滑块的摩擦力测量。

[0004] 直线导轨加工制造误差属于几何误差测量，测量的方法较多。常用的导轨直线度测量方法有直尺法、自准直仪法、激光干涉仪等。直尺法和自准直仪法的测量操作方便，成本较低，但是测量成本较低，而且不能对整个直线导轨的直线度进行实时记录，不便于后续的校正，一般只适用于对精度较低的直线导轨进行测量。激光干涉仪的测量精度较高，而且能对测量数据进行记录保存，便于后续的使用，但其操作复杂，测量效率低，光路容易受到空气扰动、振动等一系列因素的影响，而且价格昂贵。

[0005] 常用的导轨平行度测量方法主要是使用百分表或千分表，具体的操作方法是首先将千分表吸附于一根直线导轨上，将千分表测头指向另一导轨测量，然后移动推动导轨滑块，千分表示数的变化即为两根导轨的平行度。该测量法操作简单，但测量结果受到导轨表明平面度的影响，测量结果也无法进行实时记录保存，另外，千分表的测头移动速度对测量结果也有一定的影响，测量灵敏度不高。

[0006] 因此，目前在直线导轨的摩擦力及制造安装误差的测量上，还缺少操作方便、测量精度高、灵敏度高、测量数据能够实时记录的综合性测量装置。

发明内容

[0007] 为解决上述问题，本发明提出了一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置。

[0008] 本发明采用的技术方案为：该装置包括直线进给系统、摩擦力测量装置、平行度误差测量装置和直线度误差测量装置。

[0009] 所述直线进给系统为：底板上固定设置两条相互平行的第一直线导轨和第二直线导轨；在所述的第一直线导轨和第二直线导轨之间平行安装滚珠丝杠；滚珠丝杠的两端通过固定在底板上的固定支撑座和浮动支撑座支撑，滚珠丝杠的一端通过联轴器与伺服电机的输出端连接；所述伺服电机固定在底板上；在所述的第一直线导轨上连接有第一滑块，在所述的第二直线导轨上连接有第二滑块；在所述的滚珠丝杠上连接有丝杠螺母，在丝杠螺母上固定连接丝杠螺母座；连接板固定连接在所述第一滑块、第二滑块和丝杠螺母座的上表面；

[0010] 所述的摩擦力测量装置分为结构相同的两部分，其中，第一直线导轨上的部分的结构为：所述第一直线导轨上连接有第三滑块，第三滑块上安装第一连接座；所述连接板的位于第一滑块上方的位置与第一推力杆的一端连接，第二推力杆的一端与第一连接座固定连接；第一拉压力传感器的两端分别与所述第一推力杆的终端、第二推力杆的终端固定连接；第二直线导轨上的部分的结构与第一直线导轨上的部分的结构相同；

[0011] 所述的平行度误差测量装置的结构为：第一连杆的一端固定连接于所述的第三滑块上，第二连杆的一端固定连接于所述的第四滑块上；第三拉压力传感器的一端固定连接于所述的第一连杆的终端，另一端固定连接于所述的第二连杆的终端；

[0012] 所述的直线度误差测量装置的结构为：连接套一端固定连接于所述的第三滑块上，另一侧与直线轴承连接；滑动杆插入于所述直线轴承中；弹簧套装在所述的滑动杆上，其一端与所述的连接套末端接触，另一端与所述滑动杆末端接触；所述的滑动杆和万向球通过第四压力传感器相连接；所述万向球固定在底板上，且与标准直线量块接触。

[0013] 所述连接套与直线轴承过盈配合连接。

[0014] 所述标准直线量块与所述第一直线导轨、第二直线导轨平行。

[0015] 本发明的有益效果为：

[0016] (1)本发明所述的直线导轨摩擦力测量装置的滑块运动是通过伺服电机进行控制的，可以实现不同速度范围下的滑块动态摩擦力测量，而且可以保证滑块的运动速度稳定，测量结果可靠；

[0017] (2)本发明所述的直线导轨摩擦力测量及直线度和平行度误差测量装置，都是通过拉压力传感器或压力传感器进行测量信号的采集，可以实现测量数据的实时记录和保存，以便后续的处理和使用；

[0018] (3)本发明所述的直线导轨平行度误差测量装置，将导轨的平行度误差通过连杆的变形转换为力信号，由于微小的变形可以产生较大的杆件内力，因此可以实现平行度误差的高精度、高灵敏性测测量；

[0019] (4)本发明所述的直线导轨直线度误差测量装置，采用了万向球与标准直线量块进行接触，可以消除该测量装置安装的垂直度误差对测量结果的影响，而且通过直线轴承进行导向，保证滑动杆运动摩擦力小，提高了测量的灵敏度；

[0020] (5)本发明所述的综合测量装置仅需通过一次运行便可实现所需的导轨摩擦力，

直线导轨直线度误差或直线导轨平行度的测量，操作方便，测量效率高。

附图说明

[0021] 图1是本发明所述综合测量装置的整体结构示意图；

[0022] 图2是本发明所述直线导轨直线度误差测量装置的主体结构分解示意图。

[0023] 图中标号：

[0024] 1-底板；2-第一直线导轨；3-第二直线导轨；4-滚珠丝杠；5-固定支撑座；6-浮动支撑座；7-联轴器；8-伺服电机；9-电机座；10-第一滑块；11-第二滑块；12-丝杠螺母；13-丝杠螺母座；14-连接板；15-第三滑块；16-第四滑块；17-第一推力杆；18-第一拉压力传感器；19-第二推力杆；20-第一连接座；21-第三推力杆；22-第二拉压力传感器；23-第四推力杆；24-第二连接座；25-第一连杆；26-第二连杆；27-第三拉压力传感器；28-连接套；29-直线轴承；30-滑动杆；31-弹簧；32-万向球；33-压力传感器；34-标准直线量块。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体的实施例对本发明所提出的一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置做详细的说明。

[0026] 如图1所示，该装置包括直线进给系统、摩擦力测量装置、平行度误差测量装置和直线度误差测量装置。

[0027] 本发明所述的直线进给系统的结构是：底板1上固定有两条相互平行的第一直线导轨2和第二直线导轨3；在第一直线导轨2和第二直线导轨3中间平行安装有滚珠丝杠4；滚珠丝杠4通过固定在底板1上的固定支撑座5和浮动支撑座6进行支撑，并在固定支撑座5的伸出端通过联轴器7与伺服电机8连接；伺服电机8通过电机座9固定在底板1上；在第一直线导轨2上连接有第一滑块10，在第二直线导轨3上连接有第二滑块11；在滚珠丝杠4上连接有丝杠螺母12；丝杠螺母12上固定连接有丝杠螺母座13；连接板14固定连接在第一滑块10、第二滑块11和丝杠螺母座13的上部。

[0028] 本发明所述的摩擦力测量装置的结构是：第一直线导轨2上连接有第三滑块15，第二直线导轨3上连接有第四滑块16；连接板14在位于所述第一滑块10的一侧的上端固定连接有第一推力杆17；第一推力杆17的终端固定连接有第一拉压力传感器18，第一拉压力传感器18的另一端固定连接有第二推力杆19；第二推力杆19通过固定于其一端的第一连接座20固定连接于第三滑块15上；连接板14在位于第二滑块11的一侧的上端固定连接有第三推力杆21；第三推力杆21的终端固定连接有第二拉压力传感器22，第二拉压力传感器22的另一端固定连接有第四推力杆23；第四推力杆23通过固定于其一端的第二连接座24固定连接于第四滑块16上。

[0029] 本发明所述的平行度误差测量装置的结构是：第一连杆25的一端固定连接于第三滑块15上，第二连杆26的一端固定连接于第四滑块16上；第三拉压力传感器27的一端固定连接于第一连杆25的终端，另一端固定连接于第二连杆26的终端。

[0030] 本发明所述的直线度误差测量装置结构是：连接套28一端固定连接于第三滑块15上，另一侧内部通过过盈配合连接有直线轴承29；滑动杆30插入于直线轴承29中；弹簧31套装在滑动杆30上，其一端与连接套28末端接触，另一端与滑动杆30末端接触；滑动杆30和万

向球32通过压力传感器33相连接；万向球32固定在底板1上，且与标准直线量块34接触，标准直线量块34与第一直线导轨2和第二直线导轨3平行。

[0031] 本发明所述的一种直线导轨摩擦力及制造安装误差综合测量装置的工作过程详述如下：

[0032] 如图1所示，本发明的直线导轨摩擦力测量装置用于测量第三滑块15和第四滑块16分别在第一直线导轨2和第二直线导轨3上运动时的摩擦力；其摩擦力大小分别是通过第一拉压力传感器18和第二拉压力传感器22进行测量的；具体的工作过程为：为了避免导轨直线度和平行度误差测量装置对导轨摩擦力测量的影响，首先将这两个装置拆下；根据第三滑块15和第四滑块16所需的运行速度，可以转换为伺服电机8的控制指令，伺服电机8根据该控制指令驱动电机轴旋转，通过联轴器7带动滚珠丝杠4旋转，滚珠丝杠4的旋转将驱动连接其上的丝杠螺母12的轴向运动，通过固定连接在丝杠螺母12上的丝杠螺母座13带动连接板14沿着滚珠丝杠4的轴向运动，固定连接于连接板14两端的第一推力杆17和第三推力杆21将随之运动，第一推力杆17通过串联固接的第一拉压力传感器18、第二推力杆19和第一连接座20带动第三滑块15沿着第一直线导轨2移动，第三推力杆21通过串联固接的第二拉压力传感器22、第四推力杆23和第二连接座24带动第四滑块16沿着第二直线导轨3移动。在第三滑块15和第四滑块16的移动过程中，其所受摩擦力将以反作用力的形式分别传递给第一拉压力传感器18和第二拉压力传感器22，通过实时采集拉压力传感器的测量数据，即可获得滑块在直线导轨上运动的摩擦力。在测量过程中，可以根据测量的需要调节伺服电机8的速度，可以实现不通过速度下的滑块运动摩擦力的测量；另外，还可以对第三滑块15和第四滑块16施加一定的外部载荷，可以实现不同载荷作用下的滑块运动摩擦力的测量。

[0033] 如图1所示，本发明的直线导轨平行度误差测量装置用于测量第一直线导轨2和第二直线导轨3的平行度误差的测量，具体的工作过程为：第三滑块15沿着第一直线导轨2的移动会带动固定连接于其上的第一连杆25的运动，第四滑块16沿着第二直线导轨3的移动会带动固定连接于其上的第二连杆26的运动；由于第一直线导轨2和第二直线导轨3存在着平行度误差，因此第三滑块15和第四滑块16在运动过程中，相互之间会产生垂直于运动方向的误差，该误差会导致第一连杆25和第二连杆26的内应力，从而可以通过与它们固定连接的第三拉压力传感器27进行测量。为了能够通过第三拉压力传感器27所测得的拉压力值获取第一直线导轨2和第二直线导轨3的平行度误差，可以通过理论计算或实验标定的方法，获取第三拉压力传感器27的拉压力值与第一连杆25和第二连杆26两端相对变形量之间的关系，该相对变形量即为第一直线导轨2和第二直线导轨3之间垂直于运动方向的误差；待获得直线导轨所有测量点垂直于运动方向的误差值后，过被测点作平行于理想直线的平行簇，并求出被采样点到理想直线的距离，最上和最下两条平行直线即形成所有被测点误差的最小包容区域，这两条平行直线间的纵向距离就是两条导轨的平行度误差。

[0034] 如图1和2所示，本发明的直线导轨直线度误差测量装置用于测量第一直线导轨2直线度误差的测量，具体的工作过程为：第三滑块15的移动会带动固定连接于其上的连接套28运动，从而带动直线轴承29、滑动杆30、弹簧31、压力传感器33和万向球32同步移动，万向球32与标准直线量块34以点接触在其上运动；由于第一直线导轨2存在直线度误差，该误差会通过连接套28导致弹簧31压缩量的变化，从而引起压力值的变化，通过压力传感器33可以实时进行测量；为了保证弹簧31始终保证压缩状态，在初始测量时，首先保证弹簧31具

有一定的压缩量，由于第一直线导轨2的直线度误差是微米量级，因此弹簧31的压缩量在整个测量过程中都比较小，此时弹簧31的力与变形可以视为线性关系，从而可以将压力传感器33测得的压力值转换为弹簧的压缩量值的变化，该变化值即反映了第一直线导轨2和标准直线量块34在测量点之间的相对位置误差；为了消除标准直线量块34与第一直线导轨2之间的平行度误差对直线度误差测量的影响，需要利用最小二乘法对结果进行处理，以获得直线导轨的直线度误差值，具体的计算过程如下：

[0035] 第一直线导轨2上的测量点x_i相对于理想直线的误差值可以表示为：

[0036] $X_i=A_1x_i+Z_i$ (1)

[0037] 其中，A_1为第一直线导轨2中心线的斜率，Z_i为测量点处直线度误差；

[0038] 标准直线量块34的表面可以认为是平整的，因此其上的测量点x_i相对于理想直线的误差值可以表示为：

[0039] $Y_i=A_2x_i$ (2)

[0040] 其中，A_2为标准直线量块34的安装平行度；

[0041] 因此在测量点x_i处，第一直线导轨2与标准直线量块34间的误差值为：

[0042] $L_i=(A_1-A_2)x_i+Z_i=(C_i-C_0)/k$ (3)

[0043] 其中，C_i为压力传感器33的测量值，C_0为压力传感器33的初始值，k为弹簧31的刚度；

[0044] 由式(3)可以得到测量点x_i处的第一直线导轨2的直线度误差为：

[0045] $Z_i=(C_i-C_0)/k-(A_1-A_2)x_i$ (4)

[0046] 待测得第一直线导轨2上所有点的值后，利用最小二乘法的思想可以将该问题表述为：

[0047] $$\min\sum_{i=1}^{n}\left\|(A_1-A_2)x_i-\left((C_i-C_0)/k-Z_i\right)\right\| \quad (5)$$

[0048] 利用最小二乘法可以求得：

[0049] $$(A_1-A_2)=\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{(C_i-C_0)}{k}\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\sum_{i=1}^{n}x_i\frac{(C_i-C_0)}{k}\sum_{i=1}^{n}x_i}{n\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2\right)-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2} \quad (6)$$

[0050] 从而进一步可以获得Z_i的值，即获取了第一直线导轨2的直线度误差。

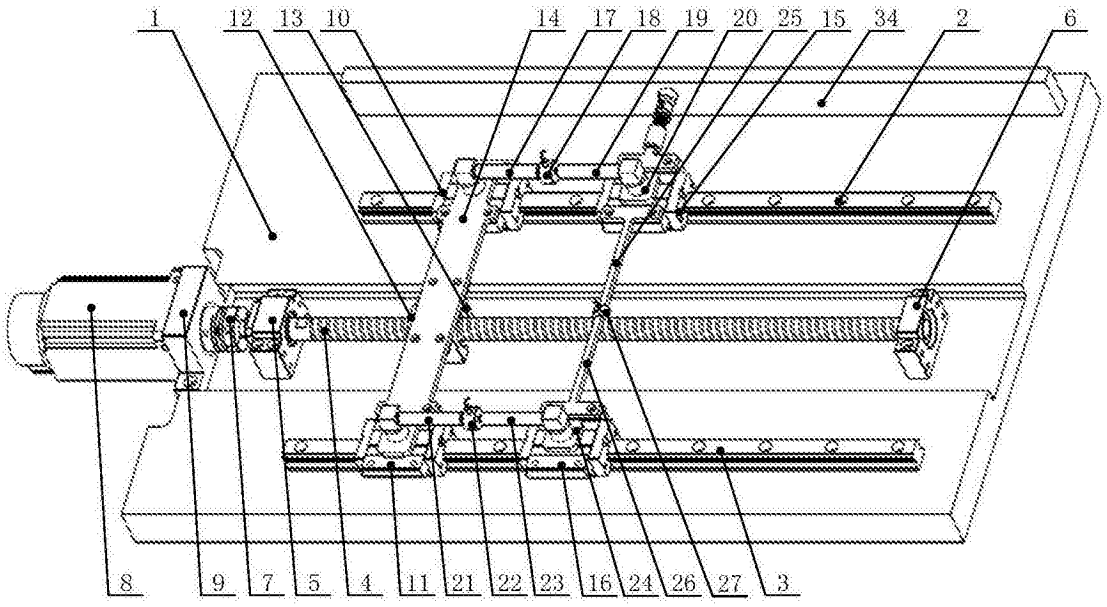

1
12
13
10
14
17
18
19
20
25
15
34
2
6
8
9
7
5
4
11
21
22
23
16
24
26
27
3

图1

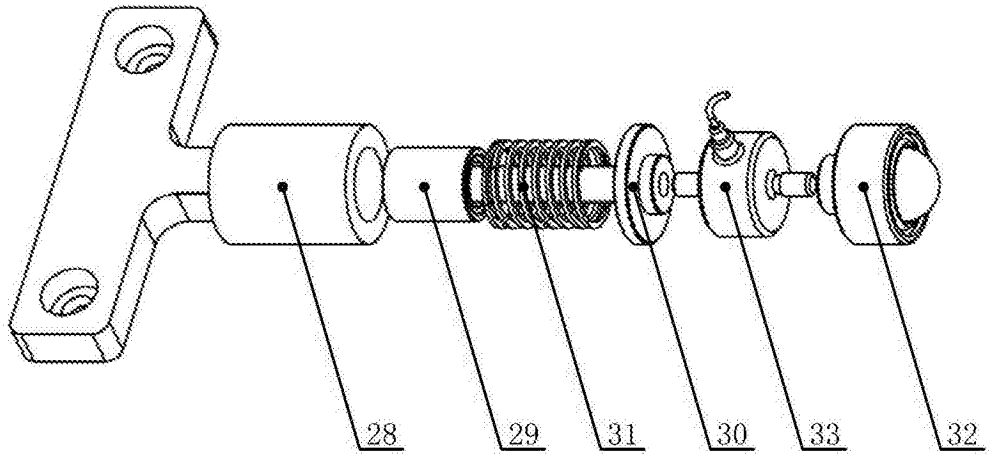

28
29
31
30
33
32

图2