



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107367221 A

(43)申请公布日 2017. 11. 21

(21)申请号 201610311973.6

(22)申请日 2016.05.12

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西  
大直街92号

(72)发明人 赵勃 王雷 谭久彬 孙传智

(51)Int. Cl.

G01B 7/02(2006.01)

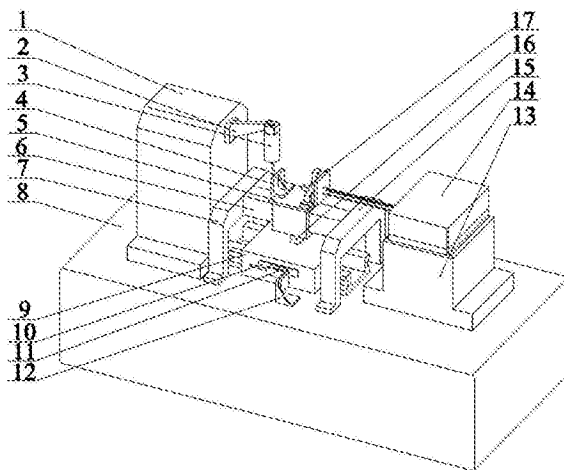
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置

## (57)摘要

超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置属于精密测量技术领域。其校准方法与装置以三光轴激光干涉仪作为运动基准,超声波电机作为驱动元件,驱动主动双V型槽导轨,主动双V型槽导轨与从动气浮导轨通过柔性铰链相连,驱动从动气浮导轨做直线运动,直线光栅尺作为反馈元件进行大行程、精定位。利用三光轴激光干涉仪补偿位移传递机构运动的俯仰与偏航误差;本发明可以有效解决位移传感器校准装置行程与精度之间的矛盾,实现大行程、高精度电感位移传感器的动静态校准。



1. 一种超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置,其特征在于:该校准装置主要包括被校准位移传感器、位移传递机构和位移基准仪器三部分,所述被校准位移传感器为电感位移传感器(3),电感位移传感器(3)采用传感器夹持臂(2)进行夹持固定,调整电感位移传感器(3)的位置,保证电感位移传感器(3)的测针(3a)运动轴线与三光轴激光干涉仪(14)的光束二(14b)所在光轴共线,传感器支座(1)安装在基台(8)上,传感器夹持臂(2)固定在传感器支座(1)的侧面;所述位移传递机构采用超声波电机驱动主从导轨的结构,位移传递机构由主动双V型槽导轨(9)、从动气浮导轨(6)、柔性铰链(16)、校准平台、超声波电机(18)、直线光栅尺(10)和直线光栅尺读数头(11)组成,主动双V型槽导轨(9)的主动导轨座(9b)安装在基台(8)上,所述主动双V型槽导轨(9)的主动滑块(9a)安装在主动导轨座(9b)上,保证主动双V型槽导轨(9)的运动方向与三光轴激光干涉仪(14)的光束二(14b)平行,所述超声波电机(18)的定子(18a)紧贴主动双V型槽导轨(9)的主动滑块(9a),保证超声波电机(18)的摩擦力作用在主动双V型槽导轨(9)上时,主动双V型槽导轨(9)能沿运动轴线运动,超声波电机支座(19)安装在基台(8)上,超声波电机(18)的定子(18b)安装在超声波电机支座(19)上,直线光栅尺(10)贴在主动双V型槽导轨(9)的主动滑块(9a)外侧面,保证直线光栅尺(10)与主动双V型槽导轨(9)的运动方向平行,读数头支撑板(12)安装在基台(8)上,直线光栅尺读数头(11)安装在读数头支撑板(12)上,并位于主动双V型槽导轨(9)的主动滑块(9a)的外侧,保证直线光栅尺读数头(11)与直线光栅尺(10)等高且平行,从动导轨左支座(7)与从动导轨右支座(15)安装在基台(8)上,所述从动气浮导轨(6)的一端安装在从动导轨左支座(7)上,另一端安装在从动导轨右支座(15)上,从动气浮导轨(6)的从动导轨座(6b)与从动导轨左支座(7)固连,从动气浮导轨(6)的从动导轨座(6b)与从动导轨右支座(15)固连,并位于主动双V型槽导轨(9)上方,与主动双V型槽导轨(9)通过柔性铰链(16)相连接,保证从动气浮导轨(6)的运动方向与三光轴激光干涉仪(14)的光束二(14b)平行,所述校准平台由转接板(5)、传感器校准板(4)和测量反射镜(17)组成,转接板(5)与从动气浮导轨(6)的从动滑块(6a)固连,测量反射镜(17)位于三光轴激光干涉仪(14)的测量光路上,并安装在转接板(5)上,传感器校准板(4)安装在转接板(5)的另一端,保证传感器校准板(4)上的对准刻线(4a)在三光轴激光干涉仪(14)的光束二(14b)所在的光轴上;控制位移传递机构进行回零运动,使其回到校准装置的初始零点;控制位移传递机构进行压表运动,使其运动到电感位移传感器(3)校准起始点;所述位移基准仪器采用三光轴激光干涉仪(14),三光轴激光干涉仪(14)可以提供三束激光光束进行位移测量,即光束一(14a)、光束二(14b)和光束三(14c),其中光束二(14b)测量位移传递机构运动方向上的位移,光束一(14a)测量位移传递机构运动过程中所产生的俯仰角,光束三(14c)测量位移传递机构运动过程中所产生的偏转角,干涉仪支座(13)固装在基台(8)上,三光轴激光干涉仪(14)固装在干涉仪支座(13)上;控制位移传递机构进行校准运动,在电感位移传感器(3)校准行程内,等间隔选取10个点,当位移传递机构运动到选取测量点时,同步采集三光轴激光干涉仪(14)光束一(14a)位移测量值 $s_1'$ 、光束二(14b)位移测量值 $s_2'$ 、光束三(14c)位移测量值 $s_3'$ 与电感位移传感器(3)位移测量值 $s$ ;利用三光轴激光干涉仪(14)所测得的光束一(14a)位移测量值 $s_1'$ 、光束三(14c)位移测量值 $s_3'$ 对光束二(14b)位移测量值 $s_2'$ 进行补偿,得到三光轴激光干涉仪(14)补偿后位移测量值 $s'$ ;将采集到的数据进行线性拟合得到函数 $y_i = k \times s_i + b$ ,其中, $i = 1, 2, \dots, 10$ , $y_i$ 为拟合后电感位移传感器(3)位移测量值, $k$ 为拟合系

数,  $b$ 为拟合截距,  $s_i$ 为拟合前电感位移传感器(3)位移测量值, 则校准行程内最大非线性误差 $\max |y_i - s_i'|$ 与全量程的比值为线性度, 其中,  $i = 1, 2, \dots, 10$ ,  $s_i'$ 为校准行程内选取测量点处三光轴激光干涉仪(14)补偿后位移测量值。

## 超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于精密测量技术领域,主要涉及一种超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置。

### 背景技术

[0002] 目前,我国大型高速回转装备没有超精密测量手段,装配精度无法保证,装配效率低下,发动机振动噪声等,这些都是制约我国军事工业和国民经济发展的重大难题。大型高速回转装备主要指各类大型高端燃气涡轮发动机,主要包括航空发动机、舰船用燃气轮机和高性能电站燃机。目前,航空发动机行业已成为世界航空强国的军事工业和国民经济的支柱产业。航空发动机在追求高性能的前提下,还要追求产品的高质量、高可靠性和长工作寿命,将两个都十分困难而又相互矛盾的目标兼顾起来,且同时得到提高,是十分困难的;此外航空发动机工作于极端环境,关键零部件都是在高温、高压、高负载力下工作,因此航空发动机的设计和制造的难度进一步加大。

[0003] 发动机振动是影响飞机安全的一个重要因素,也是反应发动机性能的一项重要指标。发动机涡轮部件转速高、质量大,是发动机的一个主要振源。为了降低此影响,除了在发动机动平衡测试过程中加以消除,还必须严格控制其装配过程,因为发动机装配是动平衡的前一步骤,由装配体形位误差精度低导致振动在高速运转时会放大100至1000倍,装配时消除同心度/同轴度造成的偏摆可以很大程度上减小动平衡的压力。所以,作为提升航空发动机性能的关键技术,航空发动机装配过程中同心度/同轴度乃至圆柱度的精密测量越来越受到重视。

[0004] 传感器作为航空发动机动静子表面轮廓信息的提取装置在同心度/同轴度乃至圆柱度的精密测量就显得尤为重要,位移传感器的机械系统和电路系统所带来的误差是限制传感器精度的重要因素,为了抑制或补偿这些误差,需要对位移传感器进行校准处理,使其能够溯源到更高精度的基准上。要实现对高精度位移传感器的校准,需要设计出一台具有更高精度的位移传感器校准系统。各种位移传感器之间的行程也有较大差异,有的位移传感器行程可以达到几十毫米甚至几米,有的则只能达到几微米的行程。因此,需使校准系统具有大行程、高精度的特点才能满足纳米传感器的校准需求。然而行程和精度本身就是矛盾的,这也增加校准系统的设计难度,也是目前迫切需要大行程、高精度位移传感器校准系统的原因。

[0005] 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所提出一种标定平板电容位移传感器的装置(平板电容位移传感器标定装置。公开号:CN104048588A)。该装置采用单轴激光干涉仪作为位移基准,传感器被侧面安装在导向机构前端,导向机构采用过约束的对称平行四边形机构,平板电容位移传感器安装在传感器支撑座中间,支撑座安装在微位移调整机构两侧,在驱动器的左端安装有驱动器推杆,该驱动器推杆顶推微位移调整机构的导向机构做单自由度直线运动,进而实现对平板电容位移传感器的标定。该装置存在的问题在于:只限于对平板电容位移传感器进行标定,且标定行程较小。

[0006] 常州市计量测试技术研究所提出了一种用于直线位移传感器校准的装置(直线位移传感器自动化校准装置。公开号:CN103630099A)。该装置主要包括一基座,双直线导轨、光栅尺、伺服电机、垂直升降装置固定在基座上;滚轴丝杆通过联轴器与伺服电机连接;水平调整装置、通用夹具、锁紧螺母彼此卡扣并与垂直升降装置连接;滑动式激光反射镜支撑架、滑动式激光干涉镜支撑架、滑动式双频激光干涉仪支撑架固定在直线导轨上,其中固定拉杆、激光反射镜、光栅尺读数传感器固定在滑动式反射镜支撑架上,激光干涉镜固定在滑动式干涉镜支撑架,双频激光干涉仪固定在滑动式双频激光干涉仪支撑架上,可以实现对拉杆式、拉绳式等多种类型直线位移传感器的自动化检定与校准。该装置存在的问题在于:没有兼顾行程和精度指标,精度较低,无法实现高精度位移传感器校准。

[0007] 德国联邦物理技术院(PTB)与Physik-Instrumente公司合作,研制出一种用于接触式探针位移传感器动态性能校准的新型运动装置,该探针位移传感器可以用到形貌测量、表面轮廓测量及坐标测量中。该装置具有尺寸小,集成度高的特点,系统采用压电陶瓷管来产生运动,并由一个微型光纤干涉仪实时测量,将测量结果反馈到DSP处理器实现闭环控制,因此,该校准平台可以溯源到国家长度标准(Rong Liang, Otto Jusko, Frank Ludicke, Michael Neugebauer. A novel piezo vibration platform for probe dynamic performance calibration[J]. Measurement Science And Technology, Meas. Sci. Technol. 12(2001)1509-1514)。该装置校准行程小,无法实现对大行程、高精度的位移传感器进行校准。

## 发明内容

[0008] 针对上述现有技术存在的不足,提出一种超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置,以解决现有位移传感器校准装置行程与精度之间的矛盾,实现大行程、高精度电感位移传感器的动静态校准。

[0009] 本发明的目的是这样实现的:

[0010] 一种超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置,该方法与装置可以校准电感位移传感器的线性度;其特征主要包括被校准位移传感器、位移传递机构和位移基准仪器三部分,所述被校准位移传感器为电感位移传感器,电感位移传感器采用传感器夹持臂进行夹持固定,调整电感位移传感器的位置,保证电感位移传感器的测针运动轴线与三光轴激光干涉仪的光束二所在光轴共线,传感器支座安装在基台上,传感器夹持臂固定在传感器支座的侧面;所述位移传递机构采用超声波电机驱动主从式导轨的结构,位移传递机构由主动双V型槽导轨、从动气浮导轨、柔性铰链、校准平台、超声波电机、直线光栅尺和直线光栅尺读数头组成,主动双V型槽导轨的主动导轨座安装在基台上,所述主动双V型槽导轨的主动滑块安装在主动导轨座上,保证主动双V型槽导轨的运动轴线与三光轴激光干涉仪的光束二平行,所述超声波电机的定子紧贴主动双V型槽导轨的主动滑块,保证超声波电机的摩擦力作用在主动双V型槽导轨上时,主动双V型槽导轨能沿运动轴线运动,超声波电机支座安装在基台上,超声波电机的定子安装在超声波电机支座上,直线光栅尺贴在主动双V型槽导轨的主动滑块外侧面,保证直线光栅尺与主动双V型槽导轨的运动轴线平行,读数头支撑板安装在基台上,直线光栅尺读数头安装在读数头支撑板上,并位于主动双V型槽导轨的主动滑块的外侧,保证直线光栅尺读数头与直线光栅尺等高且平行,从动导轨

左支座与从动导轨右支座安装在基台上,所述从动气浮导轨的一端安装在从动导轨左支座上,另一端安装在从动导轨右支座上,从动气浮导轨的从动导轨座与从动导轨左支座固连,从动气浮导轨的从动导轨座与从动导轨右支座固连,并位于主动双V型槽导轨上方,与主动双V型槽导轨通过柔性铰链相连接,保证从动气浮导轨的运动轴线与三光轴激光干涉仪的光束二平行,所述校准平台由转接板、传感器校准板和测量反射镜组成,转接板与从动气浮导轨的从动滑块固连,测量反射镜位于三光轴激光干涉仪的测量光路上,并安装在转接板上,传感器校准板安装在转接板上的另一端,保证传感器校准板上的对准刻线在三光轴激光干涉仪的光束二所在的光轴上;控制位移传递机构进行回零运动,使其回到校准装置的初始零点;控制位移传递机构进行压表运动,使其运动到电感位移传感器校准起始点;所述位移基准仪器采用三光轴激光干涉仪,三光轴激光干涉仪可以提供三束激光光束进行位移测量,即光束一、光束二和光束三,其中光束二测量位移传递机构运动方向上的位移,光束一测量位移传递机构运动过程中所产生的俯仰角,光束三测量位移传递机构运动过程中所产生的偏转角,干涉仪支座固装在基台上,三光轴激光干涉仪固装在干涉仪支座上;控制位移传递机构进行校准运动,在电感位移传感器校准行程内,等间隔选取10个点,当位移传递机构运动到选取测量点时,同步采集三光轴激光干涉仪光束一位移测量值 $s_1'$ 、光束二位移测量值 $s_2'$ 、光束三位移测量值 $s_3'$ 与电感位移传感器位移测量值 $s$ ;利用三光轴激光干涉仪所测得的光束一位移测量值 $s_1'$ 、光束三位移测量值 $s_3'$ 对光束二位移测量值 $s_2'$ 进行补偿,得到三光轴激光干涉仪补偿后位移测量值 $s'$ ;将采集到的数据进行线性拟合得到函数 $y_i = k \times s_i + b$ ,其中, $i = 1, 2, \dots, 10$ , $y_i$ 为拟合后电感位移传感器位移测量值, $k$ 为拟合系数, $b$ 为拟合截距, $s_i$ 为拟合前电感位移传感器位移测量值,则校准行程内最大非线性误差 $\max |y_i - s_i'|$ 与全量程的比值为线性度,其中, $i = 1, 2, \dots, 10$ , $s_i'$ 为校准行程内选取测量点处三光轴激光干涉仪补偿后位移测量值。

[0011] 与现有技术相比,本发明的特点是:

[0012] 本发明采用超声波电机驱动主从式导轨的结构,并用三光轴激光干涉仪提供位移基准,在提高校准装置校准行程的同时,还能保证校准装置具有较高的精度。三光轴激光干涉仪能够实时监测校准装置在运动过程中的姿态,并进行位移补偿处理,从而消除了校准装置在运动过程中偏转和俯仰带来的误差,保证了校准装置校准精度。

#### 附图说明:

[0013] 图1是电感位移传感器校准装置结构示意图

[0014] 图2是主从导轨结构示意图

[0015] 图3是电感位移传感器结构示意图

[0016] 图4是传感器校准板结构示意图

[0017] 图5是三光轴激光干涉仪结构示意图

[0018] 图6是三光轴激光干涉仪位移补偿原理示意图

[0019] 图中件号:1—传感器支座,2—传感器夹持臂,3—电感位移传感器,3a—测针,4—传感器校准板,4a—对准刻线,5—转接板,6—从动气浮导轨,6a—从动滑块,6b—从动导轨座,7—从动导轨左支座,8—基台,9—主动双V型槽导轨,9a—主动滑块,9b—主动导轨座,10—直线光栅尺,11—直线光栅尺读数头,12—读数头支撑板,13—干涉仪支座,14—三光

轴激光干涉仪,14a—光束一,14b—光束二,14c—光束三,15—从动导轨右支座,16—柔性铰链,17—测量反射镜,18—超声波电机,18a—动子,18b—定子,19—超声波电机支座。

### 具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述:

[0021] 一种超声波电机驱动主从结构电感传感器校准方法与装置,所述方法与装置是:整个装置主要分为被校准位移传感器、位移传递机构和位移基准仪器三部分。整个装置放置在隔振平台上,并置于恒温环境下。所述被校准位移传感器采用电感位移传感器3,电感位移传感器3采用传感器夹持臂2进行夹持固定,调整电感位移传感器3的位置,保证电感位移传感器3的测针3a运动轴线与三光轴激光干涉仪14的光束二14b所在光轴共线,传感器支座1安装在基台8上,传感器夹持臂2固定在传感器支座1的侧面。所述位移传递机构采用超声波电机驱动主从式导轨的结构,位移传递机构由主动双V型槽导轨9、从动气浮导轨6、柔性铰链16、校准平台、超声波电机18、直线光栅尺10和直线光栅尺读数头11组成。主动双V型槽导轨9的主动导轨座9b安装在基台8上,所述主动双V型槽导轨9的主动滑块9a安装在主动导轨座9b上,保证主动双V型槽导轨9的运动轴线与三光轴激光干涉仪14的光束二14b平行。所述超声波电机18的动子18a紧贴主动双V型槽导轨9的主动滑块9a,保证超声波电机18的摩擦力作用在主动双V型槽导轨9上时,主动双V型槽导轨9能沿运动轴线运动,超声波电机支座19安装在基台8上,超声波电机18的定子18b安装在超声波电机支座19上,直线光栅尺10贴在主动双V型槽导轨9的主动滑块9a外侧面,保证直线光栅尺10与主动双V型槽导轨9的运动轴线平行,读数头支撑板12安装在基台8上,直线光栅尺读数头11安装在读数头支撑板12上,并位于主动双V型槽导轨9的主动滑块9a的外侧,保证直线光栅尺读数头11与直线光栅尺10等高且平行。从动导轨左支座7与从动导轨右支座15安装在基台8上,所述从动气浮导轨6的一端安装在从动导轨左支座7上,另一端安装在从动导轨右支座15上,从动气浮导轨6的从动导轨座6b与从动导轨左支座7固连,从动气浮导轨6的从动导轨座6b与从动导轨右支座15固连,并位于主动双V型槽导轨9上方,与主动双V型槽导轨9通过柔性铰链16相连接,保证从动气浮导轨6的运动轴线与三光轴激光干涉仪14的光束二14b平行。所述校准平台由转接板5、传感器校准板4和测量反射镜17组成,转接板5与从动气浮导轨6的从动滑块6a固连,测量反射镜17位于三光轴激光干涉仪14的测量光路上,并安装在转接板5上,传感器校准板4安装在转接板5上的另一端,保证传感器校准板4上的对准刻线4a在三光轴激光干涉仪14的光束二14b所在的光轴上。控制位移传递机构进行回零运动,位移传递机构寻找主动双V型槽导轨9的零位,作为初始零点。控制位移传递机构进行压表运动,主从导轨从初始零点出发,在压表之前高速且匀速运动,当压表成功后,主从导轨低速匀速运动,运动到电感位移传感器3校准行程起始点。所述位移基准仪器采用三光轴激光干涉仪14,三光轴激光干涉仪14可以提供三束激光光束进行位移测量,即光束一14a、光束二14b和光束三14c,其中光束二14b测量位移传递机构运动方向上的位移,提供整个装置的位移基准,光束一14a测量位移传递机构运动过程中所产生的俯仰角,光束三14c测量位移传递机构运动过程中所产生的偏转角,干涉仪支座13固装在基台8上,三光轴激光干涉仪14固装在干涉仪支座13上,保证三光轴激光干涉仪14的光束二14b与位移传递机构运动轴线平行。控制位移传递机构进行校准运动,在电感位移传感器3校准行程内,等间隔选取十个点,当位移传递机构

运动到选取测量点时,同步采集三光轴激光干涉仪14的位移测量值 $s_1'$ 、 $s_2'$ 、 $s_3'$ 与电感位移传感器3的位移值 $s$ ,其中 $s_1'$ 、 $s_2'$ 、 $s_3'$ 分别为光束一14a、光束二14b、光束三14c的位移测量值。根据光束二14b所测位移 $s_2'$ 与光束三14c所测位移 $s_3'$ 可知,若位移传递机构在运动过程中绕中心点0发生偏转,由已知光束二14b与光束三14c之间的距离 $D$ ,我们可以算出其偏转角

$\theta = \arctan \frac{s_3' - s_2'}{D}$ 。进而可以算出偏转所引起的光束二14b上的位移偏差 $e$ ,进行补偿得到

$s'$ 。将采集到的数据进行线性拟合得到函数 $y_i = k \times s_i + b$ ,其中, $i = 1, 2, \dots, 10$ , $y_i$ 为拟合后电感位移传感器3位移测量值, $k$ 为拟合系数, $b$ 为拟合截距, $s_i$ 为拟合前电感位移传感器3位移测量值,则校准行程内最大非线性误差 $\max |y_i - s_i'|$ 与全量程的比值为线性度,其中, $i = 1, 2, \dots, 10$ , $s_i'$ 为校准行程内选取测量点处三光轴激光干涉仪14补偿后位移测量值。



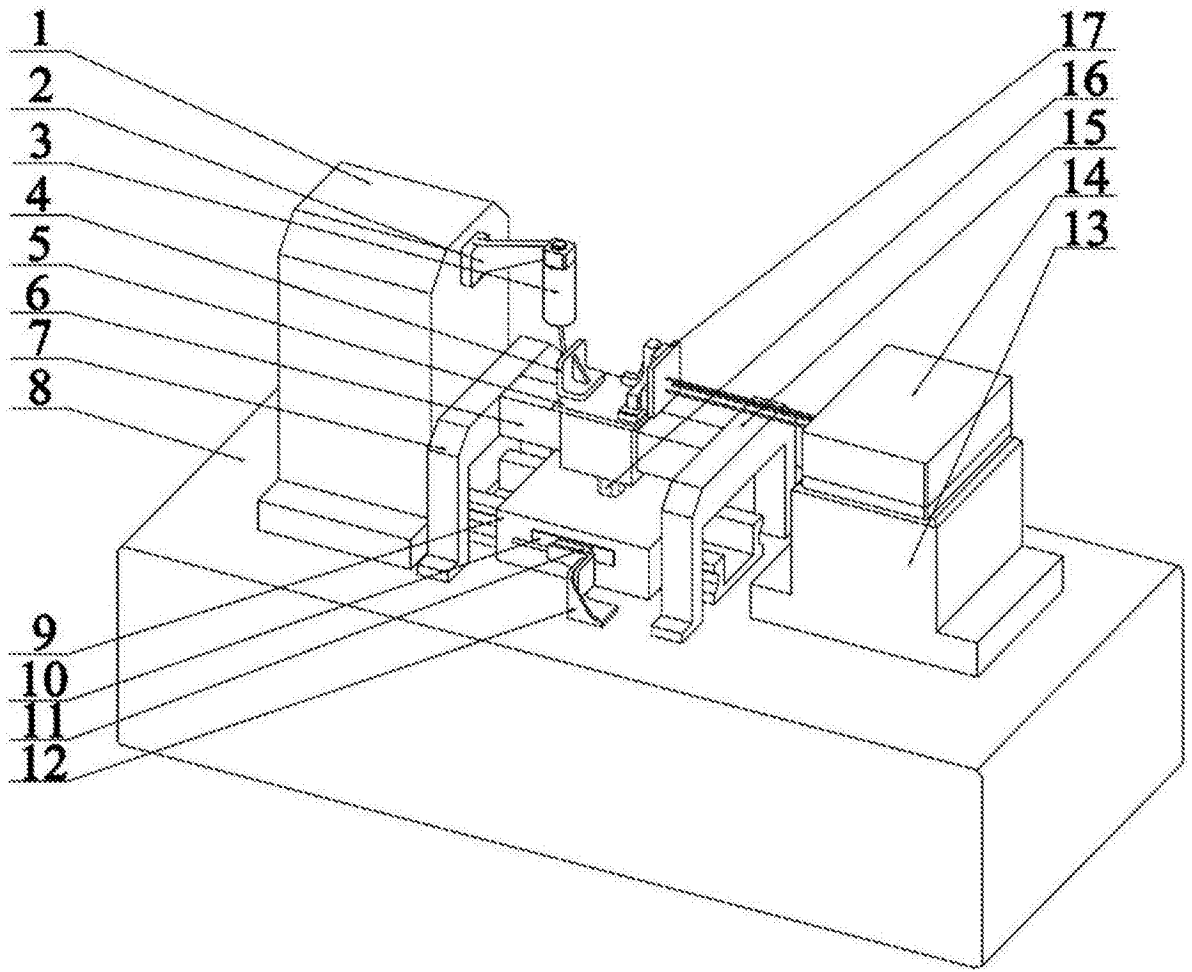


图1

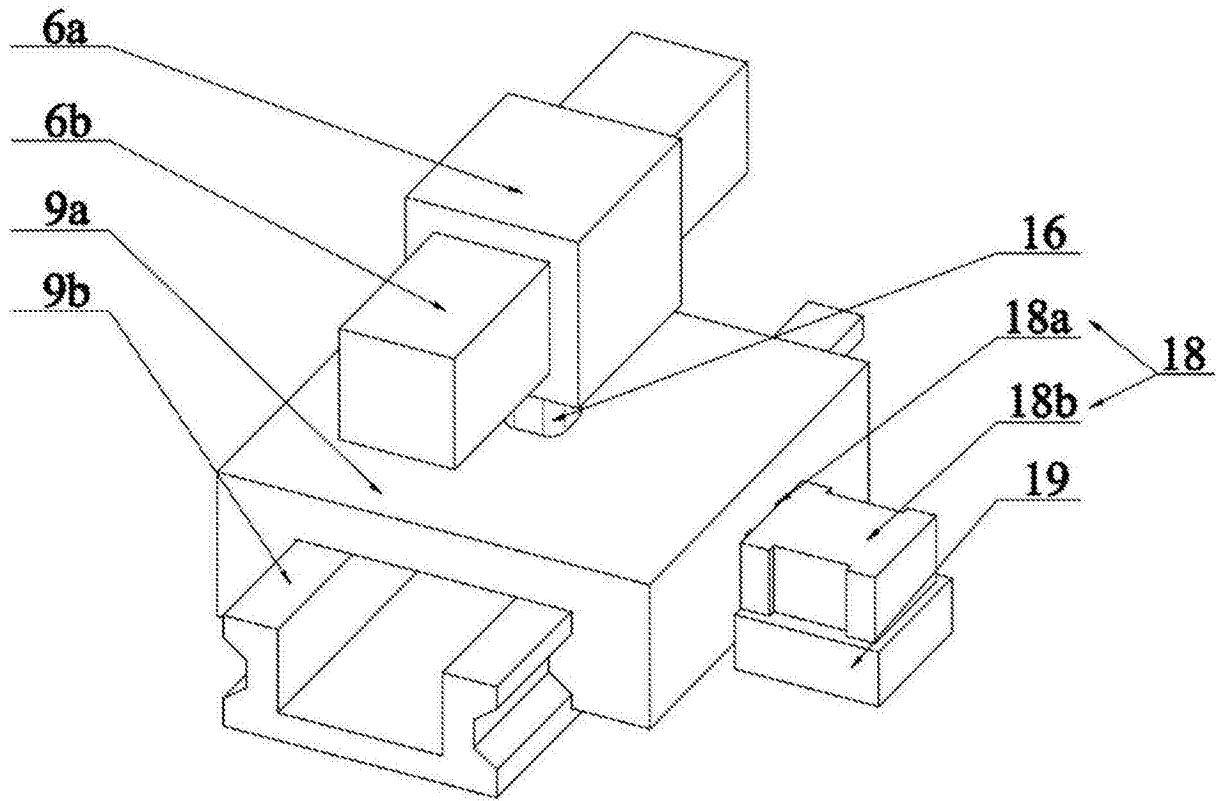


图2

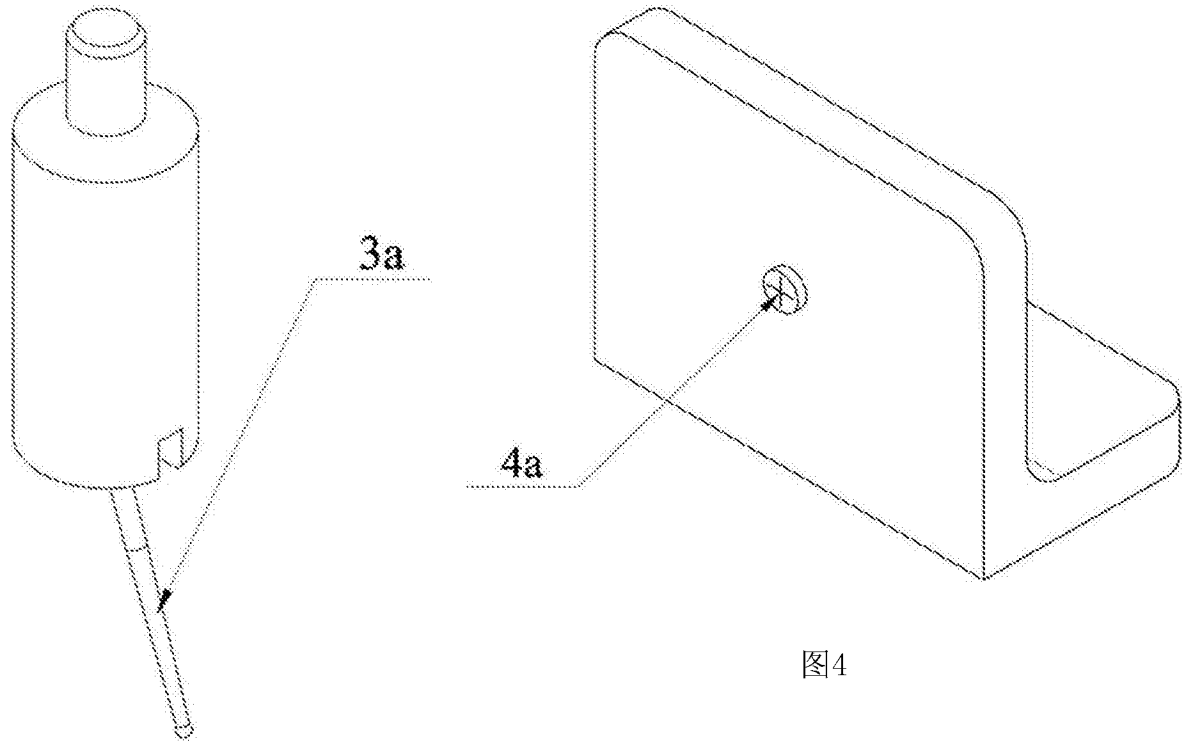


图3

图4

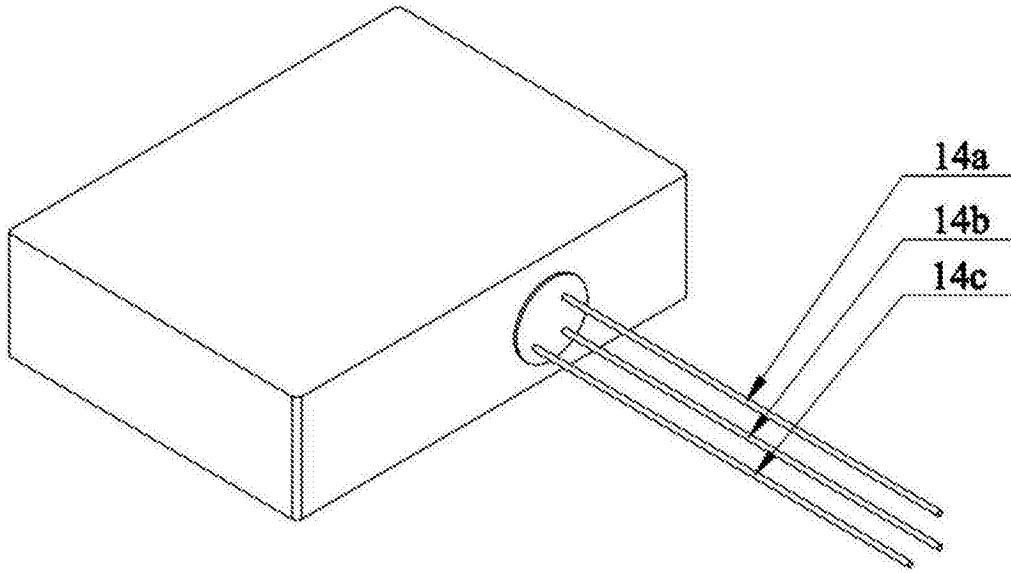


图5

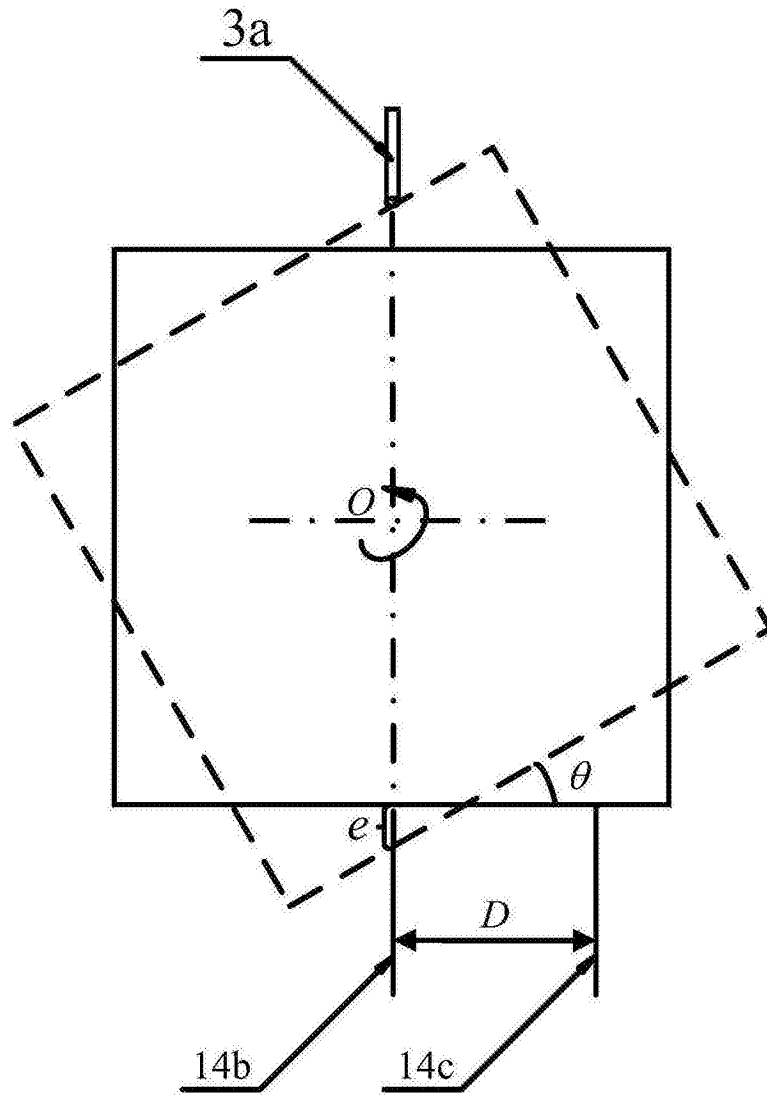


图6