



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108534970 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 23

(21) 申请号 201810557300.8

(22) 申请日 2018.06.01

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108534970 A

(43) 申请公布日 2018.09.14

(73) 专利权人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72) 发明人 王禹林 叶祖坤 李作康 欧屹

刘璐 仇进生

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

专利代理师 唐代盛

(51) Int. Cl.

G01M 5/00 (2006.01)

G01M 13/00 (2019.01)

(56) 对比文件

CN 103017992 A, 2013.04.03

CN 105973550 A, 2016.09.28

CN 202974605 U, 2013.06.05

CN 208736640 U, 2019.04.12

杨蕾等. 滚珠丝杠副静刚度试验台工装设计. 《机械制造与自动化》. 2016, 全文.

审查员 杨牧

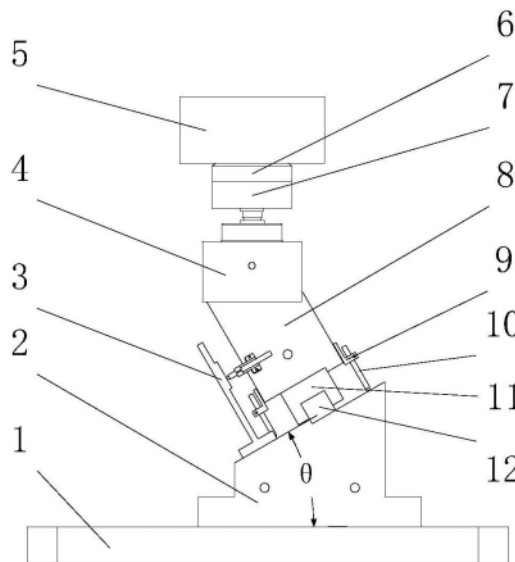
权利要求书3页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

高精度直线导轨副静刚度综合测量装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种可高效高精测量直线导轨副垂直、俯仰、倾斜、偏摆静刚度的测量装置及方法, 本发明装置固定座固定在水平的台面板上, 导轨副、基准板固定在固定座上, 用于测量导轨副变形量的位移传感器组安装在滑动块上; 压力传感器与压块连接; 加载装置带动压块下降, 分别通过圆柱体在滑动块上施加线载荷 F_1 与 F_2 ; 本发明测量方法将载荷 F_1 与 F_2 分解为四个方向的等效载荷, 位移传感器组测得的变形量亦换算为四个方向的等效变形量。本发明在保证高效测量滚动直线导轨副静刚度的同时, 大大提高了测量结果的准确性与可靠性, 对导轨副综合静刚度的测评具有重要意义。



1. 一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,其特征在于包括台面板(1)、固定在台面板(1)上端的固定座(2)、基准板(3)、加压装置、滑动块(8)、位移传感器夹具(9)、位移传感器组(10)、圆柱体(13);

所述固定座(2)上端面为斜面,用以固定导轨(12);且导轨(12)滑动方向与固定座(2)的纵剖面的斜边(21)垂直;所述基准板(3)垂直固定在固定座(2)上端斜面;所述滑动块(8)下端与滑块(11)固连;滑块(11)与导轨(12)构成直线导轨副;所述滑动块(8)上端面为斜面,且斜面与水平面齐平;所述位移传感器组(10)包括四个第一位移传感器组(101)、两个第二位移传感器组(102);所述四个第一位移传感器组(101)测试方向垂直于固定座(2)上端面,且与固定座(2)上端面接触,用于测量导轨副的垂直变形量、倾斜角变形量以及俯仰角变形量,四个第一位移传感器组(101)两两对称布置在导轨(12)的左右两侧;两个第二位移传感器组(102)垂直于基准板(3),且与基准板(3)接触,用于测量导轨副的偏摆角变形量;同一侧的两个第一位移传感器组(101)的测试点连线、两个第二位移传感器组(102)的测试点连线均平行于导轨(12)的滑动方向;所述滑动块(8)上设有相互垂直的第一V形槽(81)和第二V形槽(82);所述第一V形槽(81)长度方向平行于导轨(12)滑动方向,且第一V形槽(81)中心线与导轨(12)中心线的连线垂直于滑块(11)上端面;所述圆柱体(13)设置在第一V形槽(81)或第二V形槽(82)内;所述加压装置设置在滑动块(8)上端,对滑动块(8)进行加压,加压装置与圆柱体(13)实现线接触,并实时获得加压过程的压力;

所述加压装置包括压块(4)、压力传感器(7)、连接件(6)、加载装置(5);所述压力传感器(7)通过连接件(6)固定在加载装置(5)下端,所述压块(4)与压力传感器(7)下端相连;加载装置(5)通过压块(4)对滑动块(8)上的圆柱体(13)进行加压;

所述固定座(2)上端面与水平面的夹角为 30° — 45° 。

2. 根据权利要求1所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述加载装置(5)为电动缸、液压缸或伺服电动机带动的滚珠丝杆。

3. 根据权利要求1所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述固定座(2)上端斜面为台阶面,包括第一斜面(22)、第二斜面(23);所述第一斜面(22)平面平行于第二斜面(23)平面,第一斜面(22)位于第二斜面(23)上端,且第一斜面(22)相对第二斜面(23)下沉,两个斜面之间形成第一凸台;所述导轨(12)固定在第一斜面(22)上,且导轨(12)侧面与第一凸台接触,所述基准板(3)固定在第二斜面(23)上。

4. 根据权利要求1所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述滑动块(8)为台阶面,包括第一平面(83)、第二平面(84);所述第一平面(83)位于第二平面(84)上端,且第二平面(84)平行于第一斜面(22);所述第二平面(84)相对第一平面下沉,两个平面之间形成第二凸台;所述滑块(11)固定在第二平面(84)下端,且与第二凸台接触,第二凸台对滑块进行支撑和定位。

5. 根据权利要求1所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述加压装置和固定座(2)之间还设有导向机构。

6. 根据权利要求5所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述导向机构为设置在压块(4)下端的导向板,包括第一导向板(41)和第二导向板(42);所述第一导向板(41)和第二导向板(42)沿导轨(12)滑动方向设置在压块(4)下端两侧;当圆柱体(13)位于第一V形槽(81)上时,移动滑块(11)使滑动块(8)侧端与第一导向板(41)内侧贴

合,使得滑动块(8)中心位于压力中心;当圆柱体(13)位于第二V形槽(82)上时,移动滑块(11)使滑动块(8)侧端与第二导向板(42)内侧贴合,使得圆柱体(13)中心位于压力中心。

7.根据权利要求5所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,其特征在于,所述导向机构为导柱、导套,导柱导套设置在加压装置和固定座(2)之间。

8.基于要求1-7任意一项所述的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、测试导轨副垂直静刚度与倾斜静刚度:

步骤1.1、将圆柱体放于第一V形槽上,移动滑块使滑动块侧端与第一导向板内侧贴合,使得滑动块中心位于压力中心;

步骤1.2、对圆柱体先加载然后卸载,实时采集力传感器与位移传感器组上的数据,直到卸载为零;

步骤1.3、以导轨副几何中心为坐标原点,建立参考坐标系;X轴垂直于基准板的基准面,Y轴沿导轨纵向,Z轴垂直于滑块上表面,将力传感器采集到的加载力 F_1 在XZ平面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{1Z} 与平行于X轴的轴向力 F_{1X} ,由于滑动块上第一V型槽纵向中心线与导轨副纵向中心线之间的距离为T,因而形成倾斜力矩 M_B ,而轴向力 F_{1Z} 为作用于滑动块上的垂直加载力,如公式(1)所示;将四个第一位移传感器组测量得到的导轨副变形量按式(2)、式(3)分解为垂直与倾斜方向上的变形量;

$$F_1 = \begin{bmatrix} F_{1Z} \\ M_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1Z} \\ F_{1X} \cdot T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \cdot \cos \theta \\ F_1 \cdot T \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{垂直变形量: } \Delta S_0 = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4}{4} \quad (2)$$

$$\text{倾斜变形角: } \Delta \theta_B = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_3 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_1}{2D} \quad (3)$$

其中,四个第一位移传感器组布置按a、b、c、d矩形顺序依次排列,其中a、b位置高于c、d; ΔS_1 、 ΔS_2 、 ΔS_3 、 ΔS_4 分别为位于a、b、c、d四个位置的第一位移传感器测得的变形量, ΔS_5 、 ΔS_6 分别为两个第二位移传感器测得的变形量;D为a、d位置或b、c位置的第一位移传感器组之间的中心距; θ 为固定座上表面与水平面间的夹角;

步骤2、测试导轨副俯仰与偏摆静刚度:

步骤2.1、将圆柱体放于第二V形槽上,移动滑块使滑动块侧端与第二导向板内侧贴合,保证圆柱体中心位于压力中心;

步骤2.2、对圆柱体先加载再卸载,过程中实时采集力传感器与第一位移传感器组及第二位移传感器上的数据,直到卸载为零;

步骤2.3、将力传感器采集到的加载力 F_2 在第二V形槽的纵向对称面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{2Z} 与平行于X轴的轴向力 F_{2X} ,由于滑动块上表面几何中心点到第二V型槽纵向中心线的垂直距离为H,因而形成俯仰力矩 M_A 与偏摆力矩 M_C ,如公式(4)所示;将第一位移传感器组及第二位移传感器测量得到的导轨副变形量按式(5)、式(6)分解为俯仰与偏摆方向上的变形量;

$$F_2 = \begin{bmatrix} M_A \\ M_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{2Z} \cdot H \\ F_{2X} \cdot H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 \cdot H \cdot \cos \theta \\ F_2 \cdot H \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{俯仰变形角: } \Delta\theta_A = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_1 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_3}{2K} \quad (5)$$

$$\text{偏摆变形角: } \Delta\theta_C = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_6 - \Delta S_5}{L} \quad (6)$$

其中,L为两个第二位移传感器之间的中心距;K为a、b位置或c、d位置的第一位移传感器组之间的中心距;

步骤3、以载荷为横坐标,变形量为纵坐标,分别将上述分解后的等效载荷以及对应方向的变形量数据绘制在坐标图中,分别得到导轨副的垂直、倾斜、俯仰、偏摆静刚度曲线,各曲线斜率的倒数即为导轨副的各个静刚度值。

高精度直线导轨副静刚度综合测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于滚动直线导轨副测试领域,特别是一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置及方法。

背景技术

[0002] 随着现代化制造技术的蓬勃发展,制造行业对扮演重要角色的数控机床提出了更高的要求,尤其体现在定位精度,导向精度,加工精度三方面。滚动直线导轨副由于具有摩擦阻力小、运动特性好、寿命长、承载能力好、经济性好等优点,被广泛应用于数控机床中。但是长期以来,国外产品牢牢占据着国内中高档滚动直线导轨副的市场,而造成这一局面的根本原因是国内滚动功能部件行业缺少关键基础技术研究和缺乏先进的检测仪器和产品性能试验设备。

[0003] 中国发明专利公开号CN105973550A,名称为直线导轨副五种静刚度综合测量装置及其方法,该专利介绍了一种仅通过一套试验工装同时测量出导轨副五种静刚度的装置与方法,该方法加载方式属于点加载,加载力分布不均匀,且没有考虑各个方向变形量之间的干涉与耦合关系,实验结果与理论结果相差较大,实验效果有待进一步提高。中国发明专利公开号CN103017992A,名称为直线导轨副静刚度测量装置及方法,该试验装置需要多套夹具组件,测量直线导轨副静刚度时,需要频繁更换夹具,改变装夹方式,实验繁琐效率低。中国发明专利公开号CN104075886A,名称为模块化直线导轨副结合部静刚度测试方法与装置,该方法需要不断转换加载装置的方向,导致加载实验台的结构设计较复杂,实验时间较长,效率低。

[0004] 总而言之,关于滚动直线导轨副静刚度的测量,目前一些学者设计的装置及方法均存在一定的不足,还没有一套可靠性高、效率高且操作简单的测量装置及方法,严重阻碍了滚动直线导轨副静刚度的测评效率及其高刚性设计的发展。

发明内容

[0005] 本发明所解决的技术问题在于提供一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置及方法,以解决目前直线导轨副静刚度测评效率低,测量结果不准确的问题。

[0006] 实现本发明目的的技术解决方案为:

[0007] 一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,包括台面板、固定在台面板上端的固定座、基准板、压块、加压装置、圆柱体、滑动块以及固定在其上的位移传感器组;

[0008] 所述固定座上端面为斜面,用以固定导轨;且导轨滑动方向与固定座的纵剖面的斜边垂直;所述基准板垂直固定在固定座上端斜面;所述滑动块下端与滑块固连;滑块与导轨构成直线导轨副;所述滑动块上端面为斜面,且斜面与水平面齐平;所述位移传感器组包括四个第一位移传感器组、两个第二位移传感器组;所述四个第一位移传感器组测试方向垂直于固定座上端面,且与固定座上端面接触,用于测量导轨副的垂直变形量、倾斜角变形量以及俯仰角变形量;四个第一位移传感器组轨两两对称布置在导轨的左右两侧;两个第

二位移传感器垂直于基准板,且与基准板接触,用于测量导轨副的偏摆角变形量;同一侧的两个第一位移传感器组的测试点连线、两个第二位移传感器组的测试点连线均平行于导轨的滑动方向;所述滑动块上设有相互垂直的第一V形槽和第二V形槽;所述第一V形槽长度方向平行于导轨滑动方向,且第一V形槽中心线与导轨中心线的连线垂直于滑块上端面;所述圆柱体设置在第一V形槽或第二V形槽内;所述加压装置设置在滑动块上端,对滑动块进行加压,加压装置与圆柱体实现线接触,并实时获得加压过程的压力。

[0009] 一种高精度直线导轨副静刚度综合测量方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1、测试导轨副垂直静刚度与倾斜静刚度:

[0011] 步骤1.1、将圆柱体放于第一V形槽上,移动滑块使滑动块侧端与第一导向板内侧贴合,使得滑块中心位于压力中心;

[0012] 步骤1.2、对圆柱体先加载然后卸载,实时采集力传感器与位移传感器组上的数据,直到卸载为零;

[0013] 步骤1.3、以导轨副几何中心为坐标原点,建立参考坐标系。X轴垂直于基准板的基准面,Y轴沿导轨纵向,Z轴垂直于滑块上表面,将力传感器采集到的加载力 F_1 在XZ平面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{1z} 与平行于X轴的轴向力 F_{1x} ,由于滑动块上第一V型槽纵向中心线与导轨副纵向中心线之间的距离为T,因而形成倾斜力矩 M_B ,而轴向力 F_{1z} 为作用于滑动块上的垂直加载力,如公式(1)所示;将四个第一位移传感器组测量得到的导轨副变形量按式(2)、式(3)分解为垂直与倾斜方向上的变形量;

$$[0014] \quad F_1 = \begin{bmatrix} F_{1z} \\ M_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1z} \\ F_{1x} \cdot T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \cdot \cos \theta \\ F_1 \cdot T \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[0015] \quad \text{垂直变形量: } \Delta S_0 = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4}{4} \quad (2)$$

$$[0016] \quad \text{倾斜变形角: } \Delta \theta_B = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_3 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_1}{2D} \quad (3)$$

[0017] 其中,四个第一位移传感器组布置按a、b、c、d矩形顺序依次排列,其中a、b位于高于c、d; ΔS_1 、 ΔS_2 、 ΔS_3 、 ΔS_4 分别为位于a、b、c、d四个位置的第一位移传感器测得的变形量, ΔS_5 、 ΔS_6 分别为两个第二位移传感器测得的变形量;D为a、d位置或b、c位置的第一位移传感器组之间的中心距; θ 为固定座上表面与水平面间的夹角;

[0018] 步骤2、测试导轨副俯仰与偏摆静刚度:

[0019] 步骤2.1、将圆柱体放于第二V形槽上,移动滑块使滑动块侧端与第二导向板内侧贴合,保证圆柱体中心位于压力中心;

[0020] 步骤2.2、对圆柱体先加载再卸载,过程中实时采集力传感器与第一位移传感器组及第二位移传感器上的数据,直到卸载为零;

[0021] 步骤2.3、将力传感器采集到的加载力 F_2 在第二V形槽的纵向对称面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{2z} 与平行于X轴的轴向力 F_{2x} ,由于滑动块上表面几何中心点到第二V型槽纵向中心线的垂直距离为H,因而形成俯仰力矩 M_A 与偏摆力矩 M_C ,如公式(4)所示;将第一位移传感器组及第二位移传感器测量得到的导轨副变形量按式(5)、式(6)分解为俯仰与偏摆方向上的变形量;

$$[0022] \quad F_2 = \begin{bmatrix} M_A \\ M_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{2Z} \cdot H \\ F_{2X} \cdot H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 \cdot H \cdot \cos \theta \\ F_2 \cdot H \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[0023] \quad \text{俯仰变形角: } \Delta\theta_A = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_1 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_3}{2K} \quad (5)$$

$$[0024] \quad \text{偏摆变形角: } \Delta\theta_C = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_6 - \Delta S_5}{L} \quad (6)$$

[0025] 其中,L为两个第二位移传感器之间的中心距;K为a、b位置或c、d位置的第一位移传感器组之间的中心距;

[0026] 步骤4、以载荷为横坐标,变形量为纵坐标,分别将上述分解后的等效载荷以及对应方向的变形量数据绘制在坐标图中,分别得到导轨副的垂直、倾斜、俯仰、偏摆静刚度曲线,各曲线斜率的倒数即为导轨副的各个静刚度值。

[0027] 本发明与现有技术相比,其显著优点:

[0028] (1) 本发明的测试装置,在滑动块上端设有第一V型槽和第二V形槽,将各载荷等效分解到各变形互不干涉的方向上,实现了从结构设计及方法上彻底将垂直、倾斜、俯仰、偏摆静刚度的测量独立开,避免了一套工装测量导轨副多个静刚度时,各方向变形量之间的耦合与干涉问题,提高了滚动直线导轨副静刚度测量的可靠性。

[0029] (2) 通过在固定座、滑动块以及压盘上增加定位基准,可防止实验过程中导轨副侧滑,保证位移传感器组测点中心与滑块中心重合以及压盘施力中心与受力圆柱中心重合,解决了定位因素对实验结果影响的问题。

[0030] (3) 通过对称布置垂直于固定座上端面四个第一位移传感器,垂直于基准板对称布置两个第二传感器,对变形量的测量起到匀化误差的作用,提高了变形量的测量结果。

[0031] (4) 采用线加载方式,使载荷分布均匀,避免了点加载出现的载荷偏载现象,降低了因为加载力分布不均对实验结果造成的影响。

[0032] (5) 在提高滚定直线导轨副垂直、倾斜、俯仰、偏摆静刚度测量精度与准确性的同时,保证了实验效率,垂直、倾斜、俯仰、偏摆四种静刚度可通过本测试装置和测试方法一次性测量得到。

[0033] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

附图说明

[0034] 图1为本发明测试装置的主视示意图。

[0035] 图2为本发明测试装置的轴测图。

[0036] 图3为滑动块与固定座的连接示意图。

[0037] 图4(a-c)分别为滑动块的主视、左视、俯视示意图。

[0038] 图5为滑动块上V形槽结构示意图。

[0039] 图6为V形槽横截面形状示意图。

[0040] 图7为圆柱体于第一V型槽上时第一导向板的定位示意图。

[0041] 图8为圆柱体于第二V型槽上时第二导向板的定位示意图。

[0042] 图9为本发明测试方法的流程示意图。

[0043] 图10为载荷作用于第一V型槽上圆柱体的受力示意图。

- [0044] 图11为载荷作用于第一V型槽上圆柱体的载荷等效分解示意图。
- [0045] 图12为载荷作用于第二V型槽上圆柱体的受力示意图。
- [0046] 图13为载荷作用于第一V型槽上圆柱体的载荷等效分解示意图。

具体实施方式

[0047] 为了说明本发明的技术方案及技术目的,下面结合附图及具体实施例对本发明做进一步的介绍。

[0048] 结合图1-图8,本发明的一种高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,包括台面板1、固定在台面板上端的固定座2、基准板3、加压装置、位移传感器夹具9、滑动块8及固定在滑动块8上位移传感器组10、圆柱体13;

[0049] 所述固定座2上端面为斜面,用以固定导轨12;且导轨12滑动方向与固定座2的纵剖面的斜边21垂直;所述基准板3垂直固定在固定座2上端斜面;所述滑动块8下端与滑块11固连;滑块11与导轨12构成直线导轨副;所述滑动块8上端面为斜面,且斜面与水平面齐平;所述位移传感器组10包括四个第一位移传感器组101、两个第二位移传感器组102;所述四个第一位移传感器组101测试方向垂直于固定座2上端面,且与固定座2上端面接触,用于测量导轨副的垂直变形量、倾斜角变形量以及俯仰角变形量;四个第一位移传感器组101两两对称布置在导轨12的上下两侧;两个第二位移传感器102垂直于基准板3,且与基准板3接触,用于测量导轨副的偏摆角变形量;同一侧的两个第一位移传感器组101的测试点连线、两个第二位移传感器组102的测试点连线均平行于导轨12的滑动方向;所述滑动块8上设有相互垂直的第一V形槽81和第二V形槽82;所述第一V形槽81长度方向平行于导轨12滑动方向,且第一V形槽81中心线与导轨12中心线的连线垂直于滑块13上端面;所述圆柱体13设置在第一V形槽81或第二V形槽82内;所述加压装置设置在滑动块8上端,对滑动块8进行加压,加压装置与圆柱体13实现线接触,并实时获得加压过程的压力。

[0050] 作为一种实施方式,所述加压装置包括压块4、压力传感器7、连接件6、加载装置5;所述压力传感器7通过连接件6固定在加载装置5下端,所述压块4与压力传感器7下端相连;加载装置5通过压块4对滑动块8上的圆柱体13进行加压。

[0051] 进一步的,所述加载装置5为电动缸、液压缸或伺服电动机带动的滚珠丝杆。

[0052] 在另外一些实施方式中,所述加压装置为数控机床。

[0053] 优选的,所述固定座2上端面与水平面的夹角为 30° — 45° ,保证载荷分解后,各分载荷大小均匀。

[0054] 进一步的,所述固定座2上端斜面为台阶面,包括第一斜面22、第二斜面23;所述第一斜面22平面平行于第二斜面23平面,第一斜面22位于第二斜面23上端,且第一斜面22相对第二斜面23下沉,两个斜面之间形成第一凸台;所述导轨12固定在第一斜面22上,且导轨12侧面与第一凸台接触,所述基准板3固定在第二斜面23上。第一凸台对导轨12起支撑和定位作用,避免加载力较大时导轨副产生侧滑。

[0055] 进一步的,所述滑动块8为台阶面,包括第一平面83、第二平面84;所述第一平面83位于第二平面84上端,且第二平面84平行于第一斜面22;所述第二平面84相对第一平面83下沉,两个平面之间形成第二凸台;所述滑块11固定在第二平面84下端,且与第二凸台接触,第二凸台对滑块起支撑和定位作用,避免加载力较大时滑动块8产生侧滑。

[0056] 进一步的,所述加压装置和固定座2之间还设有导向机构;使得加压过程中,加压方向与圆柱体13中心正对,保证测试结果的重复性。

[0057] 在一些实施方式中,所述导向机构为导柱、导套,导柱导套设置在加压装置和固定座2之间。

[0058] 在另外一些实施方式中,所述导向机构为设置在压块4下端的导向板,包括第一导向板41和第二导向板42;所述第一导向板41和第二导向板42沿导轨12滑动方向设置在压块4下端两侧;当圆柱体13位于第一V形槽81上时,移动滑块11使滑动块8侧端与第一导向板41内侧贴合,使得滑块11中心位于压力中心,保证滑块11施压不会偏载,导致测试结果不准确;当圆柱体13位于第二V形槽82上时,移动滑块11使滑动块8侧端与第二导向板42内侧贴合,使圆柱体13中心位于压力中心,防止压块4相对圆柱体13倾斜,导致测试结果不准确。

[0059] 本发明的高精度直线导轨副静刚度综合测量装置,测试时,先将圆柱体13放入滑动块8上的第一V型槽81里,通过圆柱体13,对滑动块8施加一个线载荷 F_1 ,将 F_1 分解为垂直、倾斜两种等效载荷,将位移传感器组101测量得到的导轨副的变形量换算为垂直、倾斜两个方向的变形分量,得到两方向的加载力—变形曲线,即垂直静刚度曲线与倾斜静刚度曲线;然后将圆柱体13放入滑动块8上的第二V型槽82里,通过圆柱体13,对滑动块8施加一个线载荷 F_2 ,将 F_2 分解为俯仰、偏摆两种等效载荷,将位移传感器组102测量得到的导轨副的变形量换算为俯仰、偏摆两个方向的变形分量,得到两方向的加载力—变形曲线,即俯仰静刚度曲线与偏摆静刚度曲线。

[0060] 结合图9,基于本发明的测量装置,本发明还提出了一种高精度直线导轨副静刚度综合测量方法,包括以下步骤:

[0061] 步骤1、将压力传感器7与位移传感器组10进行标定,并进行回零初始化处理,根据被测直线导轨副额定动载荷确定最大加载载荷,进行预加载,消除各部件的安装间隙带来的误差;以提高测试精度。

[0062] 优选的,预加载的载荷采用最大加载载荷的1-5%。

[0063] 步骤2、测试导轨副垂直静刚度与倾斜静刚度:

[0064] 步骤2.1、将圆柱体13放于第一V形槽81上,移动滑块11使滑动块8侧端与第一导向板41内侧贴合,使得滑块11中心位于压力中心;

[0065] 步骤2.2、对圆柱体13加载,加载到导轨副额定动载荷的20-60%后,开始卸载,过程中实时采集力传感器7与位移传感器组101上的数据,直到卸载为零。

[0066] 步骤2.3、以导轨副几何中心为坐标原点,建立参考坐标系。X轴垂直于基准板的基准面,Y轴沿导轨纵向,Z轴垂直于滑块上表面,将力传感器采集到的加载力 F_2 在XZ平面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{1z} 与平行于X轴的轴向力 F_{1x} ,由于滑动块上第一V型槽纵向中心线与导轨副纵向中心线之间的距离为T,因而形成倾斜力矩 M_B ,而轴向力 F_{1z} 为作用于滑动块上的垂直加载力,如公式(1)所示;将四个第一位移传感器组101测量得到的导轨副变形量按式(2)、式(3)分解为垂直与倾斜方向上的变形量;如图10-11;

$$[0067] \quad F_1 = \begin{bmatrix} F_{1z} \\ M_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1z} \\ F_{1x} \cdot T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \cdot \cos \theta \\ F_1 \cdot T \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[0068] \quad \text{垂直变形量: } \Delta S_0 = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4}{4} \quad (2)$$

$$[0069] \quad \text{倾斜变形角: } \Delta\theta_b = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_3 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_1}{2D} \quad (3)$$

[0070] 其中,四个第一位移传感器组101布置按a、b、c、d矩形顺序依次排列,如图4(a-c),其中a、b位于高于c、d; ΔS_1 、 ΔS_2 、 ΔS_3 、 ΔS_4 分别为位于a、b、c、d四个位置的第一位移传感器组101测得的变形量, ΔS_5 、 ΔS_6 分别为两个第二位移传感器102测得的变形量;D为a、d位置或b、c位置的第一位移传感器组之间的中心距; θ 为固定座上表面与水平面间的夹角。

[0071] 步骤3、测试导轨副俯仰与偏摆静刚度:

[0072] 步骤3.1、将圆柱体13放于第二V形槽82上,移动滑块11使滑动块8侧端与第二导向板42内侧贴合,保证圆柱体13中心位于压力中心;

[0073] 步骤3.2、对圆柱体加载,加载到导轨副额定动载荷的20-60%后,开始卸载,过程中实时采集力传感器7与第一位移传感器组101及第二位移传感器102上的数据,直到卸载为零。

[0074] 步骤3.3、将力传感器采集到的加载力 F_2 在第二V形槽的纵向对称面内分解为平行于Z轴的轴向力 F_{2Z} 与平行于X轴的轴向力 F_{2X} ,由于滑动块上表面几何中心点到第二V型槽纵向中心线的垂直距离为H,因而形成俯仰力矩 M_A 与偏摆力矩 M_C ,如公式(4)所示;将第一位移传感器组101及第二位移传感器102测量得到的导轨副变形量按式(5)、式(6)分解为俯仰与偏摆方向上的变形量;如图12-13;

$$[0075] \quad F_2 = \begin{bmatrix} M_A \\ M_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{2Z} \cdot H \\ F_{2X} \cdot H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 \cdot H \cdot \cos \theta \\ F_2 \cdot H \cdot \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[0076] \quad \text{俯仰变形角: } \Delta\theta_A = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_1 + \Delta S_4 - \Delta S_2 - \Delta S_3}{2K} \quad (5)$$

$$[0077] \quad \text{偏摆变形角: } \Delta\theta_C = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta S_6 - \Delta S_5}{L} \quad (6)$$

[0078] 其中,L为两个第二位移传感器10之间的中心距;K为a、b位置或c、d位置的第一位移传感器组之间的中心距。

[0079] 步骤4、以载荷为横坐标,变形量为纵坐标,分别将上述分解后的等效载荷以及对应方向的变形量数据绘制在坐标图中,分别得到导轨副的垂直、倾斜、俯仰、偏摆静刚度曲线,各曲线斜率的倒数即为导轨副的各个静刚度值。

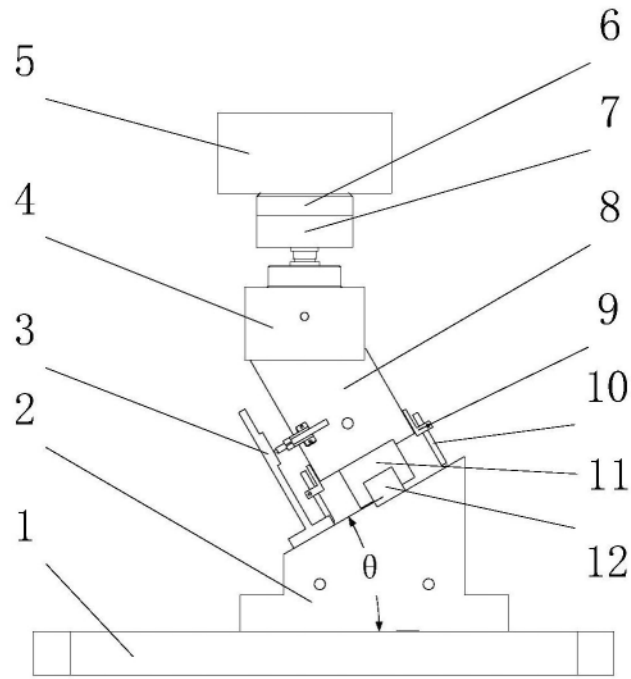


图1

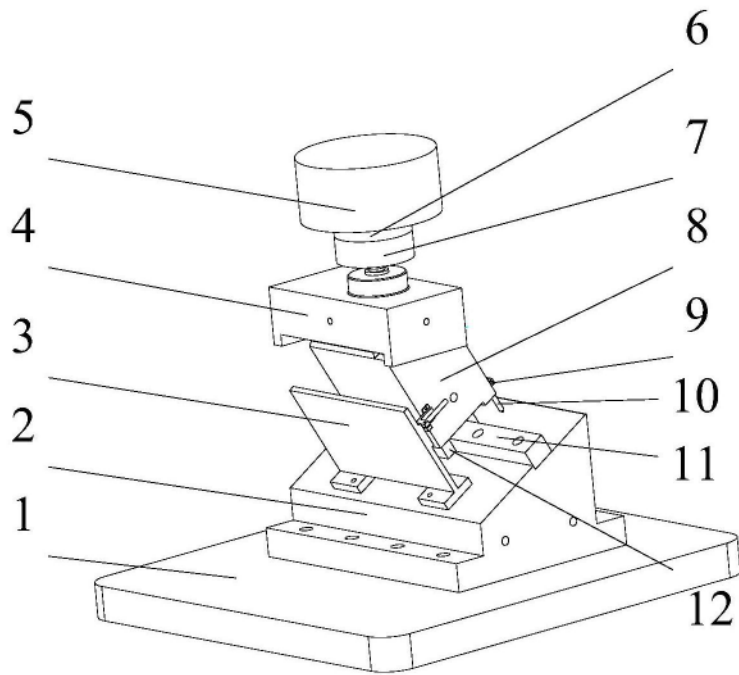


图2

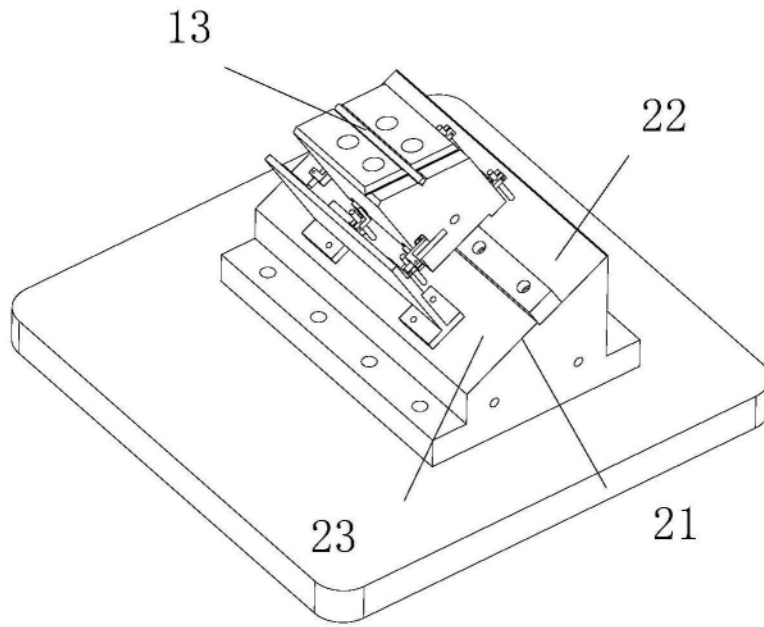


图3

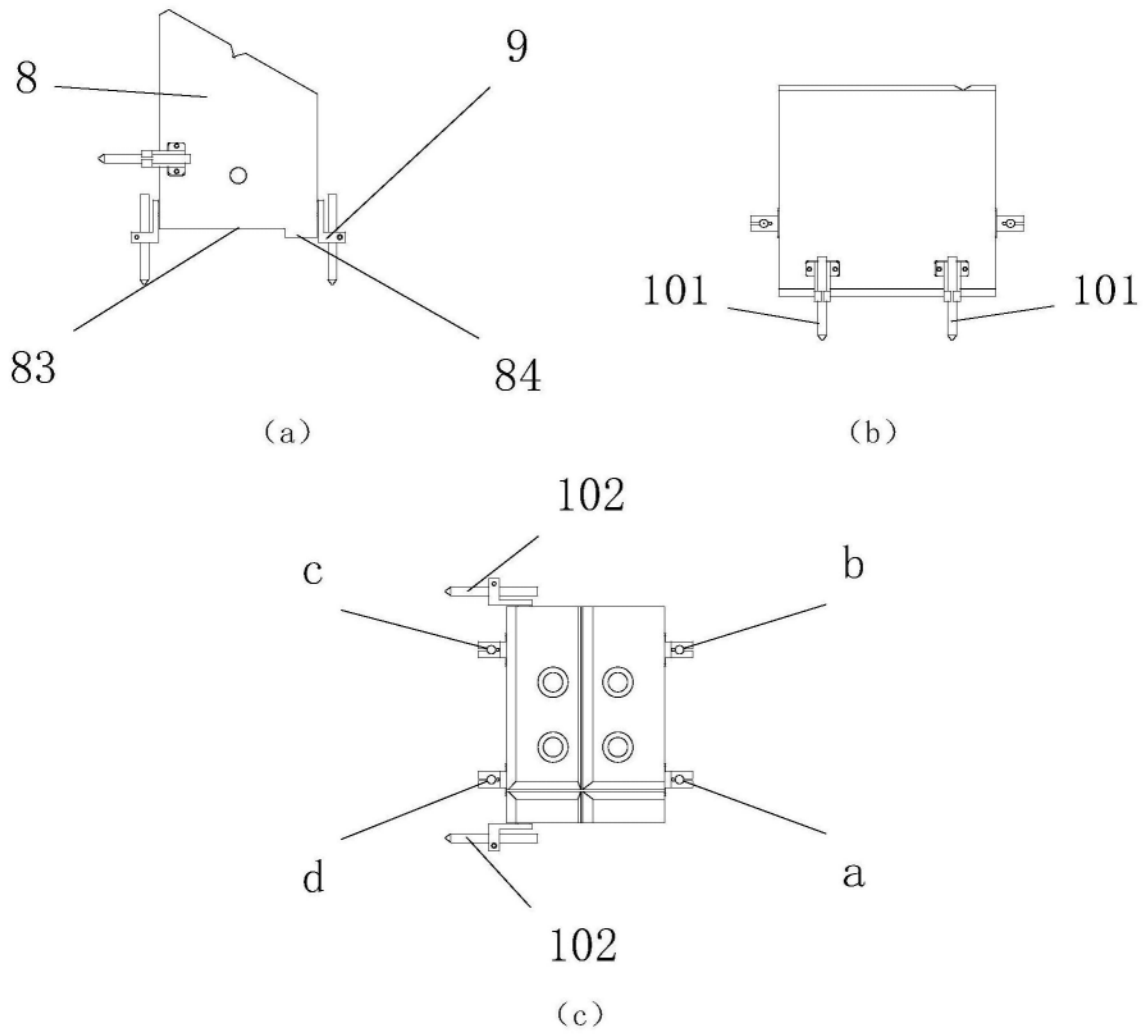


图4

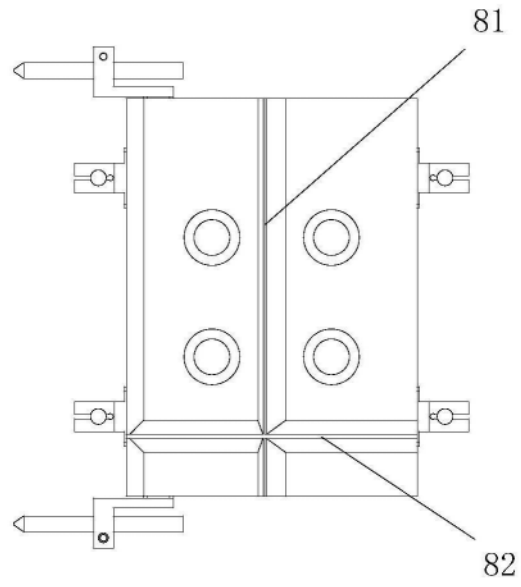


图5

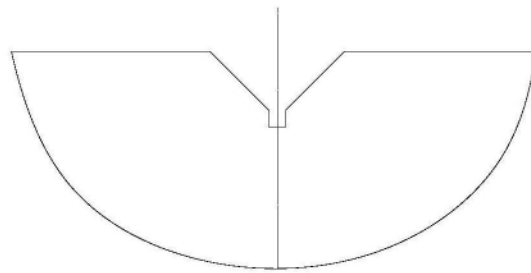


图6

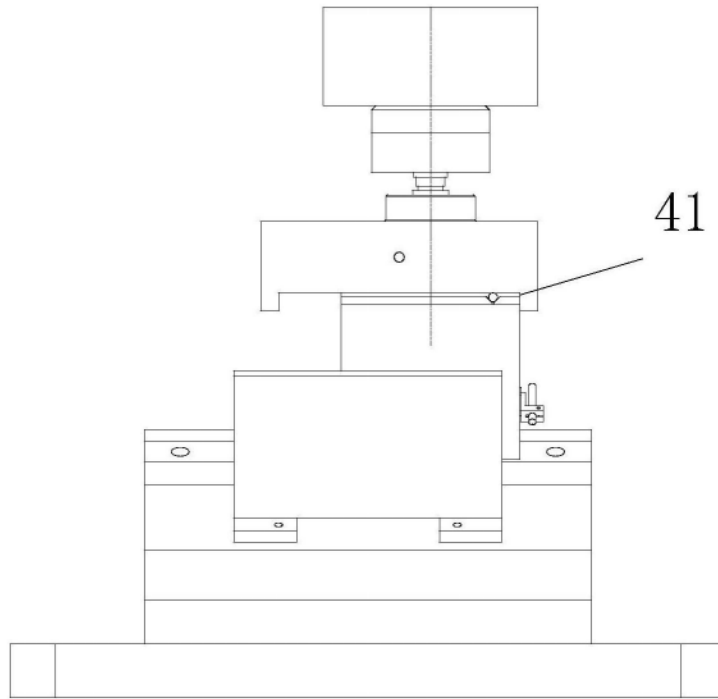


图7

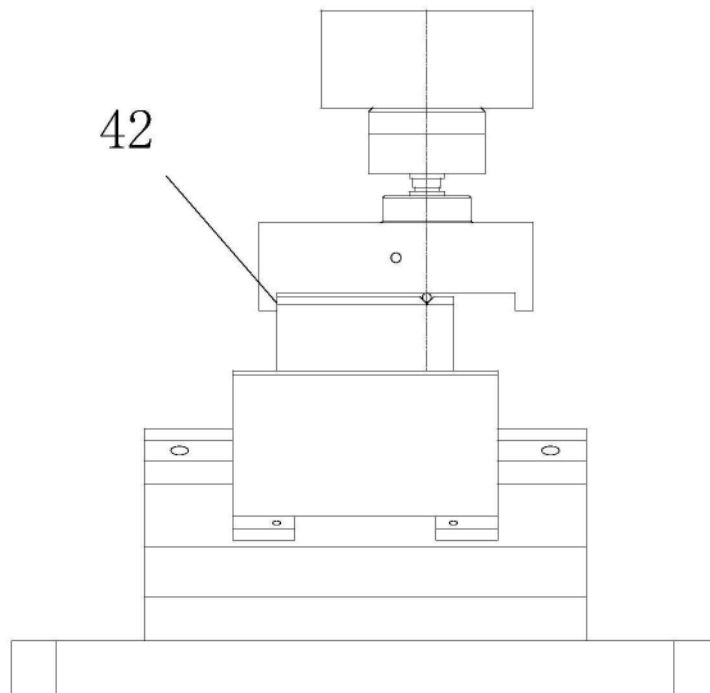


图8

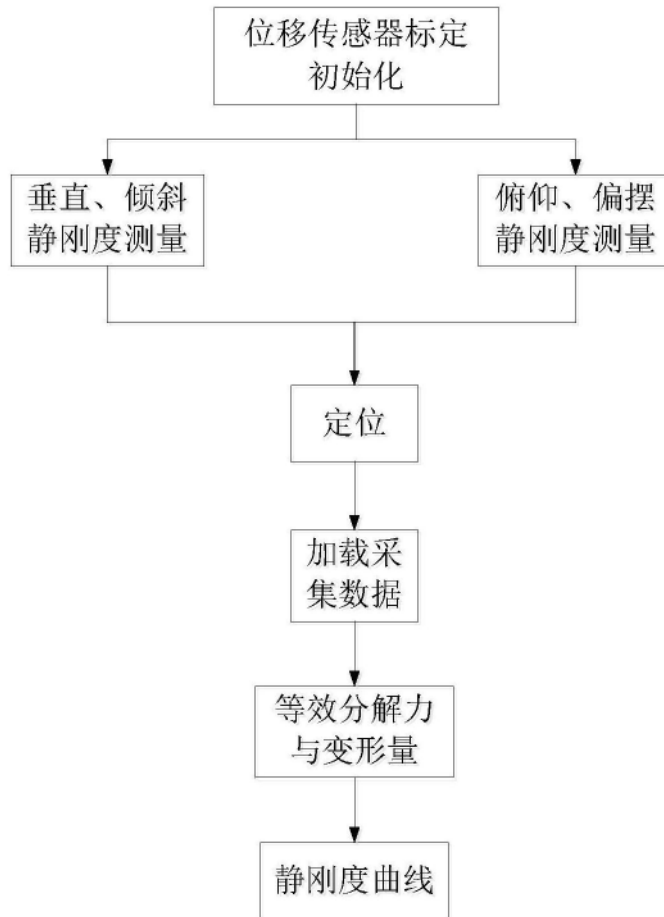


图9

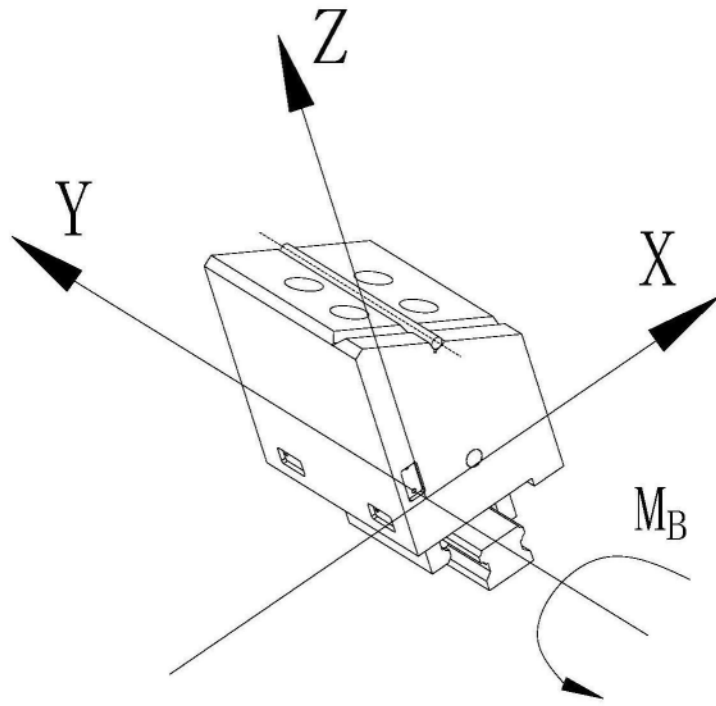


图10

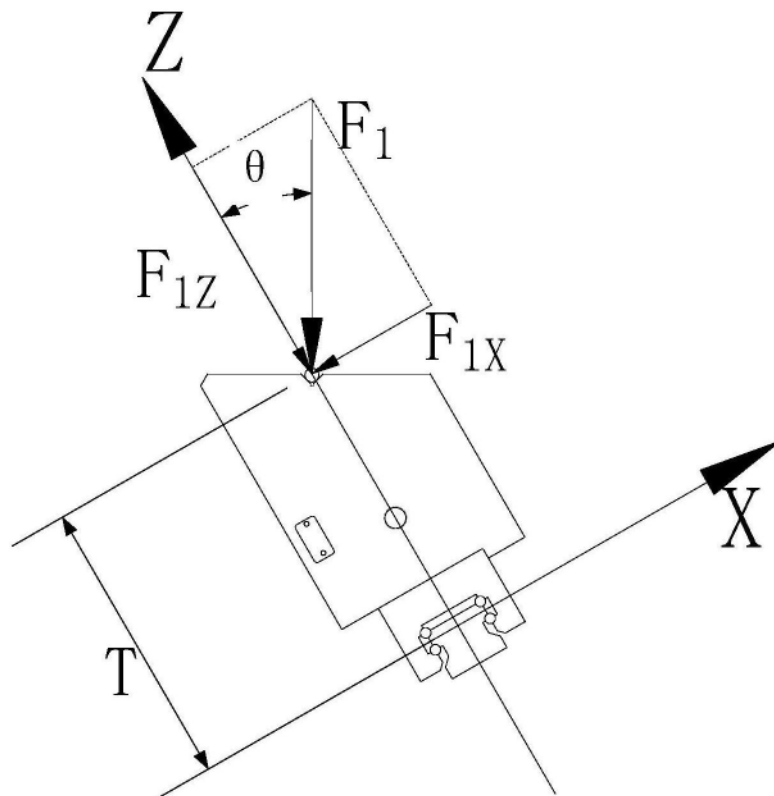


图11

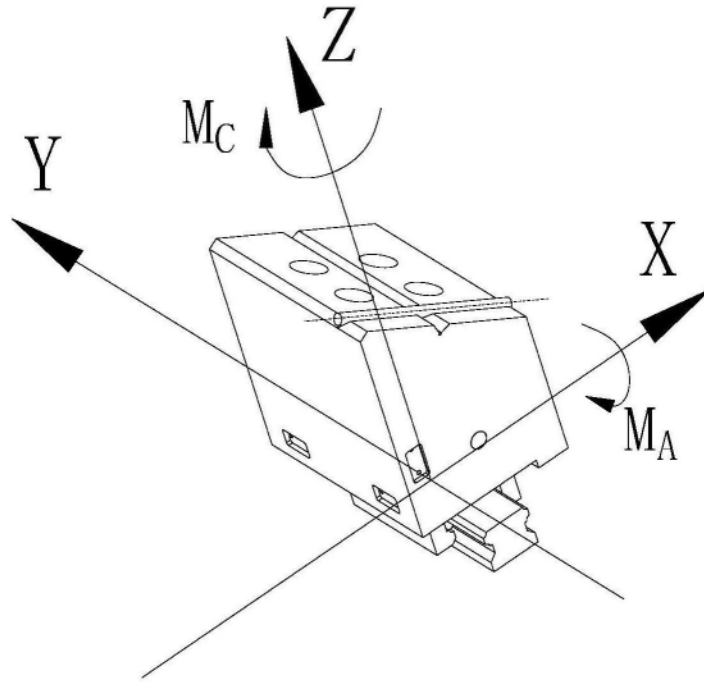


图12

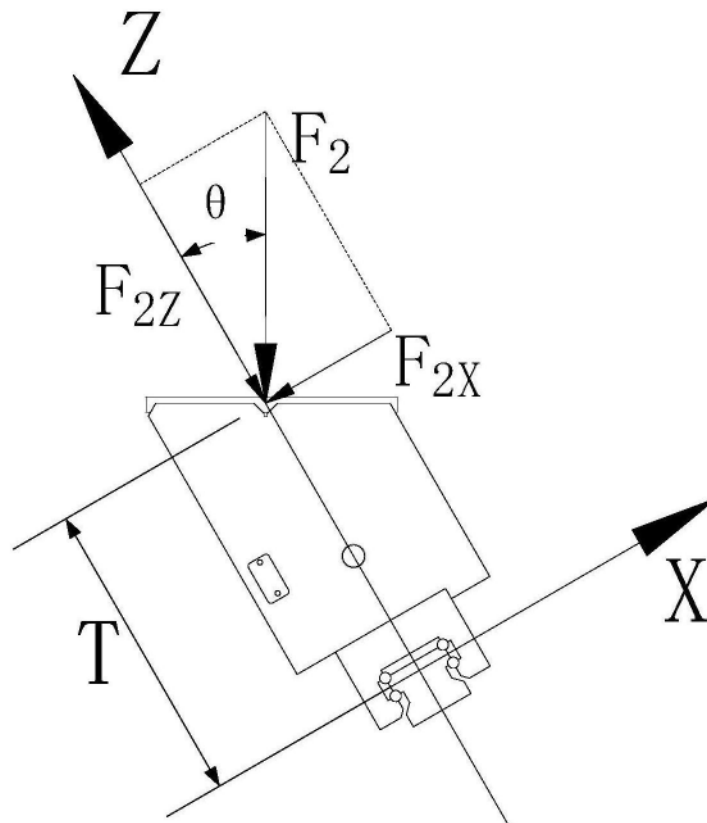


图13