



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103389183 A

(43) 申请公布日 2013. 11. 13

(21) 申请号 201310339807. 3

(22) 申请日 2013. 08. 06

(71) 申请人 北京卫星环境工程研究所
地址 100094 北京市海淀区友谊路 104 号

(72) 发明人 陈勉 杜晨 徐在峰 王洪鑫
赵科 杨洋溢

(51) Int. Cl.
G01M 1/10(2006. 01)
G01M 1/12(2006. 01)

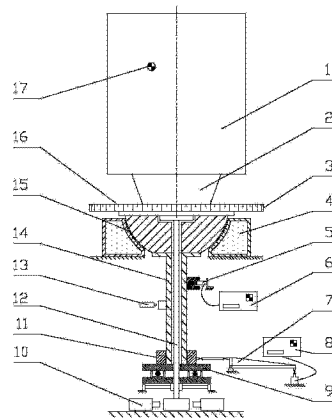
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台

(57) 摘要

本发明公开了一种基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台,该测试台由球面气浮轴承、扭摆驱动装置、扭杆弹簧、力矩平衡装置、钳位锁紧装置、圆柱气浮轴承等装置组成。通过力矩平衡的方法测量航天器的质心位置,通过气浮扭摆法测量航天器的转动惯量。该设备可以同时测量航天器的横向质心和纵轴转动惯量,而且测量精度比现有设备提高一倍。



1. 一种基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台,由机械系统和测量系统两部分组成,机械系统主要包括工作台、球面气浮轴承、扭杆弹簧、扭摆驱动装置、力臂加长杆、圆柱气浮轴承、扭摆锁紧装置、力矩平衡装置、气浮云台,所述工作台为圆形台面,与球面气浮轴承的气浮球上部通过阶梯状连接板连接起来并提供与测试工装连接的接口以承担测试载荷,扭杆弹簧上端与工作台下方的阶梯状连接板底部连接,而下端与扭摆锁紧装置连接,其中,质心测量时,扭杆弹簧与扭摆锁紧装置脱开,使球面气浮轴承处于自由状态;转动惯量测量时,扭杆弹簧与扭摆锁紧装置锁紧,使球面气浮轴承与地基连接,通过测量扭杆弹簧在无阻尼环境下的扭摆周期得出被测试件的转动惯量;

所述扭摆驱动装置由驱动气缸和电磁换向阀组成,在转动惯量测量开始前,驱动气缸伸出,驱动扭杆弹簧使其产生微小转角,通过电磁换向阀改变气体流向,驱动气缸迅速缩回以使扭杆弹簧在无阻尼环境下自由扭摆;

所述力臂加长杆为空心钢管,将扭杆弹簧套入其中,力臂加长杆上端与球面气浮轴承连接,下端受到圆柱气浮轴承的约束,在测量转动惯量时,通过圆柱气浮轴承的向心作用使工作台面保持水平;圆柱气浮轴承与力臂加长杆下端相连,起定心作用,同时与力矩平衡装置连接,用于进行质心测量;

所述力矩平衡装置依次由连杆、杠杆放大器、力平衡传感器连接组成,当航天器某一方向的质心偏心使台面绕球面气浮轴承的球心产生翻转趋势时,偏心造成的倾覆力矩传递到圆柱气浮轴承,使圆柱气浮轴承对连杆产生水平推力,经杠杆放大器转换成对力平衡传感器的垂直压力,力平衡传感器自身生成反作用力平衡垂直压力,从而使台面自动回复水平;

所述气浮云台用于承托圆柱气浮轴承,气浮云台共分两层,每层均装有直线气浮导轨,使其沿直线方向移动,且两层间移动方向相互正交;

所述测量系统包括质心测量分系统和转动惯量测量分系统,质心测量分系统由圆盘编码器、力平衡横传感器、测试仪和显示存储设备组成,测试时将扭摆锁紧装置解锁,根据圆盘编码器的输出控制驱动电机驱动工作台旋转至指定角度,测试仪采集力平衡传感器测量数据并进行数据处理,得出质心数据,转动惯量测量分系统由霍尔传感器、时间计数器、测试仪组成。测试时将扭杆弹簧与扭摆锁紧装置锁紧,控制扭摆驱动装置使测试台扭摆,每完成一个扭摆周期霍尔传感器输出一个信号,计数器测量霍尔传感器每次输出信号的时间间隔,经数据处理,得出转动惯量数据。

2. 如权利要求 1 中所述的航天器质量特性综合测试台,其中,在测量质心时,气浮云台使力臂加长杆在平面内沿两坐标轴方向自由移动。

3. 如权利要求 1 中所述的航天器质量特性综合测试台,所述力矩平衡装置共四组,与圆柱气浮轴承连接,每象限一组,质心测量时,对航天器在测试台坐标平面内的偏心力矩产生平衡力矩,并将其输出至测量系统。

4. 如权利要求 1-3 任一项所述的航天器质量特性综合测试台,其中所述扭摆锁紧装置是用于锁紧扭杆弹簧的机构,只有在测量转动惯量时为锁紧状态,其他情况为放松状态。

基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台

技术领域

[0001] 本发明属于航天器总装测试技术领域,具体来说,涉及一种航天器质量特性测试的综合测试设备。

背景技术

[0002] 质量特性是物体与质量有关的一系列力学特性参数。质量特性包括质量、质心位置、相对于给定坐标系的惯性矩和惯性积,是描述产品力学特性的基本固有特性参数。在航天器的研制中,需要通过试验来确定这些参数,并根据设计要求对这些参数进行必要的调整。

[0003] 现有技术中, Richard Boynton 在文献《A New High Accuracy Instrument for Measuring Moment of Inertia and Center of Gravity》和《A New High Speed Mass Properties Instrument》等文中公开了一种航天器质量特性综合测试设备,该设备上部是工作台,工作台支撑于气浮球轴承上,球轴承包括转子和定子两部分,定子固定于设备基体上,转子下部与空心钢管连接,空心钢管另一端与圆柱气浮轴承连接,圆柱气浮轴承通过一个力矩回复传感器固定于设备底部的基体上。空心钢管中间穿过一根弹簧扭杆,扭杆上端与工作台相连接,下端与夹钳机构连接。

[0004] 但是,上述现有技术却存在以下技术问题:

[0005] 1. 单次只能测量一个方向质心。上述现有技术中,只采用一个力传感器用于质心测量,因此每次只能测量一个方向的质心数据。如果想测量另一方向的质心,需要将试件旋转 90° , 从而增加了操作风险,降低了工作效率。而在本发明中,采用了相互正交的两只力反馈传感器测量质心数据,实现了同时测量两方向质心的功能,从而降低了操作难度,提高了工作效率。

[0006] 2. 质心测量耗时过长。上述现有技术中,为消除质心测量的系统误差,在测量质心时,将试件绕垂直轴旋转 360° , 每转过 120° 进行一次测量,共测三次,然后通过特定算法计算出该方向质心位置。测量两方向质心则需要进行 6 次测量。而在本发明中,只须将试件分别在 0° 和 180° 位置进行一次测量即可得到两方向质心的位置数据,测量时间减少为原来的 $1/3$,大大提高了工作效率。

[0007] 3. 核心传感器对我国技术封锁。上述现有技术中,用于质心测量的力平衡传感器,西方发达国家均对我国禁运。而目前国内所能生产的同类传感器,其量程仅为上述技术中传感器量程的 $1/10$,无法满足测试设备的要求。而在本发明中,通过一个构思巧妙的杠杆放大器,将传感器的量程扩大了 10 倍,满足了测试设备的需求。

[0008] 目前,国内航天器质量特性的测试设备功能大都是单一的,用质心台测量重量和质心,用扭摆台测量转动惯量,用动平衡机测量惯性积。不仅投资大,占用厂房面积大,而且为完成航天器不同的参数的测试,必须把航天器在各台设备之间反复吊装、定位,耗费大量的时间。完成航天器不同方向的测量需要更换不同形式的工装,横向测量用横向支架安装定位,纵向测量用 L 型支架或纵向托架安装定位,需多次吊装和翻转。

[0009] 按照传统测试技术,对三轴稳定航天器进行一次完整的测试工作(不包括惯性积测量),至少要进行9次航天器吊装对接和4次航天器翻转。这一系列的操作不仅耗费大量的时间和精力,而且存在较大的安全隐患。

[0010] 国内虽然有质心转动惯量综合测试台解决了测试周期长、吊装翻转次数多的问题,但是由于现有的综合台质心测量原理与传统的质心台测量原理相同,质心测量精度并没有提高,因此,对那些对质心测量精度要求高的航天器来说,目前的质量特性测量设备还不能满足要求。

发明内容

[0011] 本发明所解决的技术问题是现有航天器质量特性综合测试台测量精度低下的问题,本发明人经过巧妙的构思,采用天平的测量原理重新对航天器质心转动惯量综合测试台进行设计和改进,显著地提高了质心测量精度。

[0012] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案如下:

[0013] 一种基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台,由机械系统和测量系统两部分组成,机械系统主要包括工作台、球面气浮轴承、扭杆弹簧、扭摆驱动装置、力臂加长杆、圆柱气浮轴承、扭摆锁紧装置、力矩平衡装置、气浮云台,工作台为圆形台面,与气浮球上部通过阶梯状连接板连接起来并提供与测试工装连接的接口以承担测试载荷,扭杆弹簧上端与工作台下方的阶梯状连接板底部连接,而下端与扭摆锁紧装置连接,其中,质心测量时,扭杆弹簧与扭摆锁紧装置脱开,使气浮球轴承处于自由状态;转动惯量测量时,扭杆弹簧与扭摆锁紧装置锁紧,使气浮球轴承与地基连接,通过测量扭杆弹簧在无阻尼环境下的扭摆周期得出被测试件的转动惯量;

[0014] 所述扭摆驱动装置由驱动气缸和电磁换向阀组成,在转动惯量测量开始前,气缸伸出,驱动扭杆弹簧使其产生微小转角,通过电磁换向阀改变气体流向,气缸迅速缩回以使扭杆在无阻尼环境下自由扭摆;

[0015] 所述力臂加长杆为空心钢管,将扭杆弹簧套入其中,力臂加长杆上端与气浮球轴承连接,下端受到圆柱气浮轴承的约束,在测量转动惯量时,通过圆柱气浮轴承的向心作用使工作台面保持水平;圆柱气浮轴承与力臂加长杆下端相连,起定心作用,同时与力矩平衡装置连接,用于进行质心测量;

[0016] 所述力矩平衡装置依次由连杆、杠杆放大器、力平衡传感器连接组成,当航天器某一方向的质心偏心使台面绕球面气浮轴承球心产生翻转趋势时,偏心造成的倾覆力矩传递到圆柱气浮轴承,使圆柱气浮轴承对连杆产生水平推力,经杠杆放大器转换成对力平衡传感器的垂直压力,力平衡传感器自身生成反作用力平衡此垂直压力,从而使台面自动回复水平;

[0017] 所述气浮云台用于承托圆柱气浮轴承,气浮云台共分两层,每层均装有直线气浮导轨,可使其沿直线方向移动,且两层间移动方向相互正交;

[0018] 所述测量系统包括质心测量分系统和转动惯量测量分系统,质心测量分系统由圆盘编码器、驱动电机、力平衡横传感器、测试仪和显示存储设备组成,测试时将扭摆锁紧装置解锁,根据圆盘编码器的输出控制电机驱动工作台旋转至指定角度,测试仪采集力平衡传感器测量数据并进行数据处理,得出质心数据,转动惯量测量分系统由霍尔传感器、时间

计数器、测试仪和计算机等组成。测试时将扭杆弹簧与扭摆锁紧装置锁紧,控制扭摆驱动装置使测试台扭摆,每完成一个扭摆周期霍尔传感器输出一个信号,计数器测量霍尔传感器每次输出信号的时间间隔(既扭摆周期),经数据处理,得出转动惯量数据。

[0019] 其中,在测量质心时,气浮云台使力臂加长杆在平面内沿两坐标轴方向自由移动。

[0020] 进一步地,所述力矩平衡装置共四组,与圆柱气浮轴承连接,每象限一组,质心测量时,对航天器在测试台坐标平面内的偏心力矩产生平衡力矩,并将其输出至测量系统。

[0021] 进一步地,所述扭摆锁紧装置是用于锁紧扭杆弹簧的机构,只有在测量转动惯量时为锁紧状态,其他情况为放松状态。

[0022] 本发明的有益效果:与现有航天器质量特性综合测试台相比,提高了最大允许偏心力矩的测量能力横航天器质心测量精度。力平衡传感器量程为 32kg,考虑到需对力臂加长杆施加预紧力,故其有效量程为 30kg。采用放大系数为 10 倍的杠杆放大器,同时球轴承半径设计为 1.5m,连杆长度设计为 1.5m,则连杆到球心的设计距离为 3 米,从而力矩平衡装置最大可平衡 900kgm 的静不平衡力矩,远远高于现有设备的最大允许偏心力矩测量能力。同时力平衡传感器测量精度为 1/15000,则其最大测力误差 2g,从而最大力矩测量误差为 0.06kgm,明显高于现有设备 0.2kgm 的测量精度。

附图说明

[0023] 图 1 是本发明的基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台的结构示意图;

[0024] 图中 1 航天器;2 工装;3 刻度;4 气室;5 霍尔传感器(用于测量扭杆弹簧的扭摆周期,即测试台的扭摆周期);6 转动惯量测试仪;7 力矩平衡装置;8 质心测试仪;9 气浮云台;10 扭摆锁紧装置;11 圆柱气浮轴承;12 扭杆弹簧;13 驱动气缸(驱动气缸用于为扭杆弹簧产生初始位移);14 力臂加长杆;15 球面气浮轴承;16 工作台;17 航天器质心。

[0025] 图 2 为本发明的基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台中使用的力矩平衡装置示意图。

[0026] 其中,21 为连杆,22 为杠杆放大器;23 为力平衡传感器。

具体实施方式

[0027] 以下参照附图对本发明的基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台的结构进行详细说明,但该描述仅仅示例性的,并不旨在对本发明的保护范围进行任何限制。

[0028] 如图 1 所示,本发明的基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台的装置结构显示出来,其中,该测试台的结构包括机械系统和测量系统两部分,机械系统主要包括圆周上带有刻度 3 的工作台 16、球面气浮轴承 15、扭杆弹簧 12、扭摆驱动装置即包括驱动气缸 13、力臂加长杆 14、圆柱气浮轴承 11、扭摆锁紧装置 10、力矩平衡装置 7、气浮云台 9,工作台 16 为圆形台面,与气浮球上部通过阶梯状连接板连接起来并提供与测试工装连接的接口以承担测试载荷,扭杆弹簧 12 上端与工作台 16 下方的阶梯状连接板底部连接,而下端与扭摆锁紧装置 10 连接,其中,质心测量时,扭杆弹簧 12 与扭摆锁紧装置 10 脱开,使球面气浮轴承 15 处于自由状态;转动惯量测量时,扭杆弹簧 12 与扭摆锁紧装置 10 锁紧,使球面气浮轴承 15 与地基连接,通过测量扭杆弹簧 12 在无阻尼环境下的扭摆周期得出被测试件的转动惯量;所述扭摆驱动装置由驱动气缸 13 和电磁换向阀组成,在转动惯量测量开始前,气缸

伸出,驱动扭杆弹簧使其产生微小转角,通过电磁换向阀改变气体流向,气缸迅速缩回以使扭杆在无阻尼环境下自由扭摆;所述力臂加长杆 14 为空心钢管,将扭杆弹簧 12 套入其中,力臂加长杆上端与球面气浮轴承 15 连接,下端受到圆柱气浮轴承 11 的约束,在测量转动惯量时,通过圆柱气浮轴承 11 的向心作用使工作台面保持水平;圆柱气浮轴承与力臂加长杆下端相连,起定心作用,同时与力矩平衡装置 7 连接,用于进行质心测量;

[0029] 本发明的测试台中使用的力矩平衡装置 7 依次由连杆 21、杠杆放大器 22、力平衡传感器 23 连接组成,具体参见图 2。当航天器某一方向的质心偏心使台面绕球面气浮轴承球心产生翻转趋势时,偏心造成的倾覆力矩传递到圆柱气浮轴承 11,使圆柱气浮轴承 11 对连杆 21 产生水平推力,经杠杆放大器 22 转换成对力平衡传感器 23 的垂直压力,力平衡传感器 23 自身生成反作用力平衡此垂直压力,从而使台面自动回复水平,力矩平衡装置共四组,与圆柱气浮轴承连接,每象限一组,质心测量时,对航天器在测试台坐标平面内的偏心力矩产生平衡力矩,并将其输出至测量系统。

[0030] 本发明的测试台中,气浮云台 9 用于承托圆柱气浮轴承 11,气浮云台 9 共分两层,每层均装有直线气浮导轨,可使其沿直线方向移动,且两层间移动方向相互正交,在测量质心时,气浮云台使力臂加长杆在平面内沿两坐标轴方向自由移动。

[0031] 所述测量系统包括质心测量分系统和转动惯量测量分系统,质心测量分系统由圆盘编码器(图中未标示)、驱动电机(图中未标示)、力平衡传感器 23、质心测试仪 8 和显示存储设备(图中未标示)组成,测试时将扭摆锁紧装置 10 解锁,根据圆盘编码器的输出控制电机驱动工作台 16 旋转至指定角度,质心测试仪 8 采集力平衡传感器 23 测量数据,并经数据处理,得出质心数据,转动惯量测量分系统由霍尔传感器 5、时间计数器(图中未标示)、转动惯量测试仪 6 和显示存储设备(图中未标示)组成。测试时将扭杆弹簧 12 与扭摆锁紧装置 10 锁紧,控制驱动气缸 13 使测试台扭摆,每完成一个扭摆周期霍尔传感器 5 输出一个信号,计数器测量霍尔传感器 5 每次输出信号的时间间隔(既扭摆周期),经数据处理,得出转动惯量数据。

[0032] 进一步地,所述扭摆锁紧装置 10 是用于锁紧扭杆弹簧 12 的机构,只有在测量转动惯量时为锁紧状态,其他情况为放松状态。

[0033] 球面气浮轴承 15 是质量特性测试综合测试台的关键部件。主要功能包括:形成无摩擦支点,利用力矩平衡原理测取质心位置数据;形成无阻尼环境,利用扭摆法测取转动惯量数据。

[0034] 利用本发明的基于球面气浮轴承的航天器质量特性综合测试台可进行质心和转动惯量的测量,具体测量方法如下:

[0035] 将航天器 1 通过工装 2 安装到测试台的工作台上方,测试台的气浮球底部连接有有力臂加长杆,力臂加长杆末端的圆柱气浮轴承上安装有力矩平衡装置,球面气浮轴承通高压气形成以球轴承球心为支点的力矩天平,航天器某一方向的质心偏心相对于测试台坐标系存在偏心力矩 M,由于 M 的存在造成圆柱气浮轴承对连杆产生水平推力,经杠杆放大器转换成对力平衡传感器的垂直压力,力平衡传感器生出反作用力平衡此垂直压力,并将力的大小输出,利用公式(1)计算得到航天器的质心位置。

[0036]
$$CoG=K \cdot F \cdot L/G \quad \text{----- (1)}$$

[0037] 式中:CoG——航天器某一方向质心;

[0038] K——杠杆放大器放大系数；

[0039] L——连杆受力点到球心距离；

[0040] G——航天器重量。

[0041] 测量转动惯量时，扭杆弹簧下端的扭摆锁紧装置将扭杆自动锁紧，扭杆顶端与工作台相连，驱动气缸使工作台面在测试台坐标系下相对于中心轴偏转某微小角度后释放，台面带动航天器在无摩擦环境下做自由扭摆，其转动惯量与扭摆周期的平方成正比。由此试件的转动惯量可由以下步骤测得。

[0042] 测量转台空摆周期 T_0 ， I_0 为转台和夹具的转动惯量，则有：

$$[0043] \quad I_0 = \lambda T_0^2 \quad \text{----- (2)}$$

[0044] 测量转台与标准转子共同摆动周期 T_s ，标准转子的转动惯量为 I_s ，则：

$$[0045] \quad I_s + I_0 = \lambda T_s^2 \quad \text{----- (3)}$$

[0046] 联合(2)、(3)求解得：

$$[0047] \quad \begin{cases} \lambda = \frac{I_s}{T_s^2 - T_0^2} \\ I_0 = \frac{I_s T_0^2}{T_s^2 - T_0^2} \end{cases}$$

[0048] 测量转台与卫星的共同摆动周期 T_d ，被测体的转动惯量为 I_d ，则：

$$[0049] \quad I_d = \lambda T_d^2 - I_0 \quad \text{----- (4)}$$

[0050] 尽管上文对本发明的具体实施方式给予了详细描述和说明，但是应该指明的是，我们可以依据本发明的构想对上述实施方式进行各种等效改变和修改，其所产生的功能作用仍未超出说明书及附图所涵盖的精神时，均应在本发明的保护范围之内。

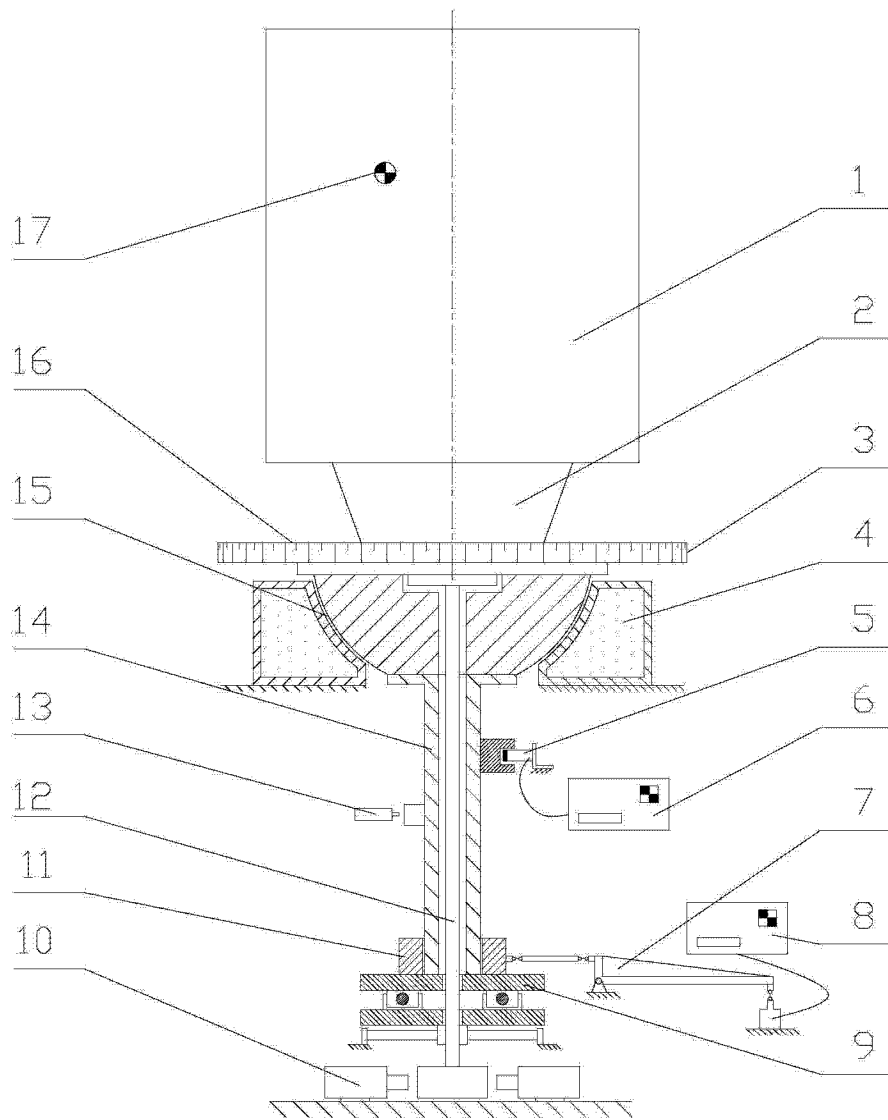


图 1

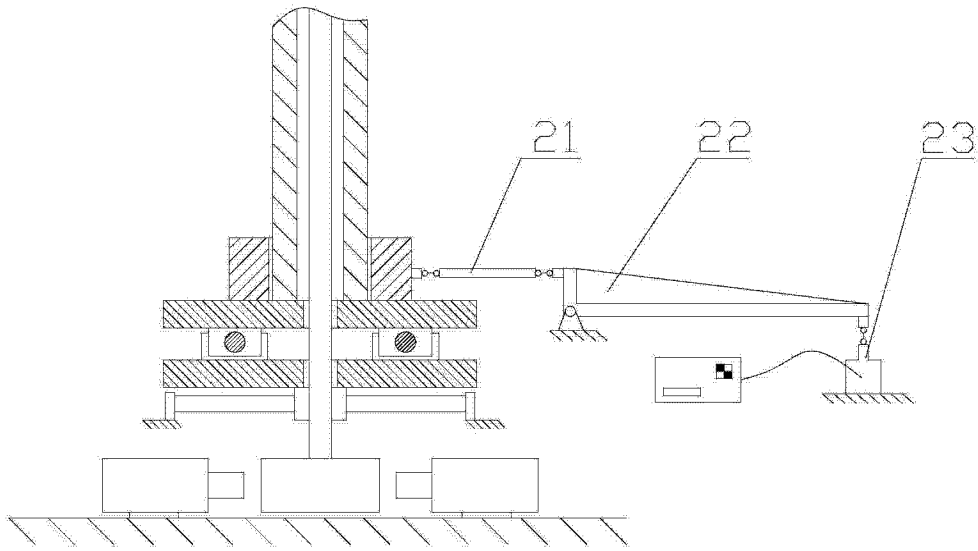


图 2