



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102393213 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201110370922. 8

(22) 申请日 2011. 11. 21

(73) 专利权人 中国科学院西安光学精密机械研究所

地址 710119 陕西省西安市高新区新型工业园信息大道 17 号

(72) 发明人 田留德 张周峰 薛勋 赵建科 赛建刚 曹昆 周艳

(74) 专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 徐平

(51) Int. Cl.

G01C 25/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202329647 U, 2012. 07. 11, 全文.

赵建科等. 《TDICCD 立体相机内方位元素测试技术研究》. 《光学技术》. 2010, 第 36 卷 (第 3 期), 第 428-431 页.

向东等. 《三轴气浮平台质量特性对调平衡影响的研究》. 《液压与气动》. 2009, (第 10 期), 第 70-74 页.

审查员 索子繁

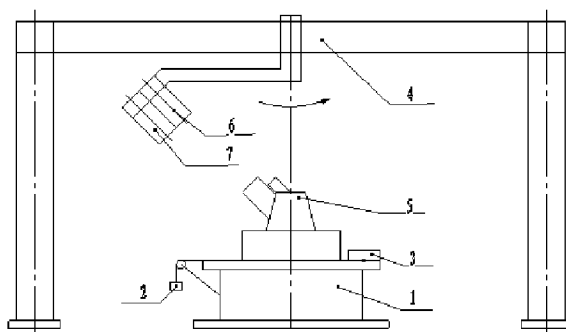
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

天基探测与跟踪成像系统测试装置及测试方法

(57) 摘要

本发明提供一种天基探测与跟踪成像系统测试装置及测试方法。其测试装置包括气浮台 (1)、高精度动靶标 (4)、搭载于高精度动靶标上用以提供无穷远拍摄目标的平行光管、以及安装于气浮台 (1) 上的角速度测量装置;天基探测与跟踪成像系统作为被测系统 (5) 同轴固定安装于气浮台 (1) 的转动台面上,且被测系统的三轴交点为高精度动靶标 (4) 旋转光锥顶点;转动平台沿其切线方向栓接牵引线并通过绕接定滑轮悬挂砝码 (2),利用砝码自重对转动平台施加切向力。本发明实现了对天基探测与跟踪成像系统多个重要性能指标的测试,从而进行进一步的调整和优化,保证产品的质量,确保天基探测与跟踪成像系统质量和在轨正常运行。



1. 天基探测与跟踪成像系统的测试装置,包括气浮台(1)、高精度动靶标(4)、搭载于高精度动靶标上用以提供无穷远拍摄目标的平行光管、以及安装于气浮台(1)上的角速度测量装置;天基探测与跟踪成像系统作为被测系统(5)同轴固定安装于气浮台(1)的转动台面上,且被测系统的三轴交点为高精度动靶标(4)旋转光锥顶点;转动平台沿其切线方向栓接牵引线并通过绕接定滑轮悬挂砝码(2),利用砝码自重对转动平台施加切向力。

2. 根据权利要求1所述的天基探测与跟踪成像系统的测试装置,其特征在于:所述平行光管由点目标平行光管(6)和面目标平行光管(7)组成,分别为被测系统的探测相机和成像相机提供无穷远目标。

3. 根据权利要求1所述的天基探测与跟踪成像系统的测试装置,其特征在于:所述角速度测量装置采用光纤陀螺仪(3),安装于气浮台(1)的转动台面上,光纤陀螺仪输入轴与气浮台回转轴同轴平行。

4. 一种应用如权利要求1所述测试装置对天基探测与跟踪成像系统进行测试的方法,包括三部分的测试:(1)输出力矩和角动量测试、(2)动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试、(3)动态成像质量测试;

其中,(1)输出力矩和角动量测试包括以下步骤:

(1.1) 将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

(1.2) 将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

(1.3) 将质量为 $m$ 的砝码经过定滑轮与转动平台连接,连接点与气浮台回转轴距离 $l$ ,利用砝码自重施加切向力 $T$ ,使转动平台转动;

(1.4) 固定在转动平台上的光纤陀螺仪测得的转动平台转动的初始角速度 $\omega$ ,并计算角加速度 $\alpha$ ;

(1.5) 计算转动平台和被测设备的总转动惯量 $J$ ;

(1.6) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标,光纤陀螺仪测得的转动平台转动的角速度 $\omega'$ ;

(1.7) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出力矩;

(1.8) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出角动量;

(2) 动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试包括以下步骤:

(2.1) 将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

(2.2) 将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

(2.3) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标;

(2.4) 提取相机脱靶量即可计算动态跟踪精度和动态跟踪稳定度;

(3) 动态成像质量测试包括以下步骤:

(3.1) 将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

(3.2) 将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

(3.3) 在动靶标的平行光管焦面上安装目标板,按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标并进行成像;

(3.4) 对图像进行判读并确定被测设备的动态成像质量。

## 天基探测与跟踪成像系统测试装置及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于空间目标探测和跟踪成像技术,具体涉及对空间目标探测和跟踪成像这一类设备的性能参数的测量方法和测试装置。

### 背景技术

[0002] 天基(星载)探测与跟踪成像系统的功能是对重要空间目标进行精确探测和跟踪成像,确定可能对航天系统构成威胁的空间目标(包含:卫星及空间碎片)的任务、尺寸、形状和轨道参数等重要目标特性;对目标特性数据进行归类 and 分发。发展天基探测与跟踪成像系统有利于提高我国对空间目标监视、跟踪和识别能力、增强对空间战场态势的实时感知能力和空间攻防对抗能力。此外,发展天基探测与跟踪成像系统还有利于我国航天发射场的发展和更新,即有利于靶场从地基靶场到天基靶场的升级。与地基监视和测量相比,天基探测与跟踪成像系统具有如下优点:(1) 不受地理位置限制,覆盖范围大,容易实现对目标的连续监视、跟踪与精确的特征测量;(2) 不受气象条件的限制,探测效果好;(3) 作战时生存能力强,可实现全射向、多轨道发射和全球机动发射;(4) 可大大缩短航天发射周转时间。

[0003] 所谓天基指的是设备工作的平台是在轨工作的卫星平台。而天基探测与跟踪成像系统就是以卫星为工作平台在轨工作的探测与跟踪成像系统。探测与跟踪成像系统一般有二维跟踪转台、光学探测相机和光学成像相机组成。二维跟踪转台是该系统的跟踪机构,其主要功能是搭载探测相机和成像相机,实现空间二维转动。根据外引导信息及探测相机给出的实时脱靶量信息能够对重点目标进行连续跟踪,在跟踪过程中成像相机及其它相关测量设备可以完成对目标的成像与目标特性测量。

[0004] 天基探测与跟踪成像系统是搭载在卫星平台上的具有较大活动部件的复杂系统。首先,工作环境的特殊性:卫星处在空间微重力环境下,卫星基本不受外力作用(忽略大气阻力),系统对外是一个独立的系统,系统动量守恒。卫星上任何一个部件的运动及运动状态的变化都会给卫星平台带来扰动,即对卫星平台有力矩输出,如果该力矩较大或持续时间较长将影响卫星的姿态的控制,特别在该影响较大一致于超过了卫星姿态控制系统的调节与控制能力,就会影响卫星的正常工作,这种现象是十分可怕的。

[0005] 因此,为了确保天基探测与跟踪成像系统质量和在轨正常运行,需要在试验室内对其进行系统性能测试。从而进行精细的调整和优化,保证产品的质量。

### 发明内容

[0006] 本发明提供一种天基探测与跟踪成像系统测试装置及测试方法,以确保天基探测与跟踪成像系统质量和在轨正常运行。

[0007] 本发明基于以下理论分析形成技术方案:

[0008] 首先,需要对天基探测与跟踪成像系统工作时对卫星平台的力学输出进行精确测量与控制。系统与卫星平台的力学作用特性可以用输出力矩和输出角动量来描述。输出力

矩是系统对卫星平台力学输出的瞬时效应,输出角动量是系统对卫星平台力学输出的累积效应。输出力矩和输出角动量两者可以通过微分与积分关系相互转换。

[0009] 其次,天基探测与跟踪成像系统搭载在卫星平台上,而卫星平台在轨运行过程中不仅要受到重力梯度力矩、太阳辐射力矩、气动力矩、地磁力矩等空间环境力矩,还受到星上活动部件的输出力矩。空间环境力矩比较小且变化平缓,在卫星姿态控制系统的调节范围之内,虽然会对卫星姿态带来扰动,但不会对卫星正常工作造成威胁,而星上转动部件的输出力矩是巨变的,卫星姿态控制系统瞬时难以弥补,因此会对卫星姿态造成较大影响。总之,天基探测与跟踪成像系统的工作平台是运动的,这会给系统的工作增加难度,具体的说会影响系统的跟踪精度、跟踪平稳度及成像质量。

[0010] 下面给出系统关键指标的定义。

[0011] (1) 输出力矩:天基探测与跟踪成像系统在工作过程中对卫星平台的作用力矩。具体包括:启动输出力矩和平稳跟踪输出力矩。

[0012] (2) 输出角动量:天基探测与跟踪成像系统在工作过程中对卫星平台的输出角动量。它是输出力矩随时间的积分效应。

[0013] (3) 动态跟踪精度:系统在工作过程中会对卫星平台有力矩输出,从而使卫星平台的姿态处于动态变化之中,相当于系统坐落在一个运动的基座上工作,在这种环境下系统的跟踪精度。

[0014] (4) 动态跟踪稳定度:跟踪稳定度是跟踪精度的变化率,动态跟踪平稳度就是系统工作过程中动态跟踪精度的变化率。它会影响成像的清晰度。

[0015] (5) 动态成像质量:由于目标相对与系统是运动的,目标在相机像面上的像会存在像移,该像移会影响成像的清晰度,即影响相机的成像质量。动态成像质量即为系统在动态跟踪过程中的成像质量。

[0016] 本发明的技术方案如下:

[0017] 天基探测与跟踪成像系统的测试装置,包括气浮台(1)、高精度动靶标(4)、搭载于高精度动靶标上用以提供无穷远拍摄目标的平行光管、以及安装于气浮台(1)上的角速度测量装置;天基探测与跟踪成像系统作为被测系统(5)同轴固定安装于气浮台(1)的转动台面上,且被测系统的三轴交点为高精度动靶标(4)旋转光锥顶点;转动平台沿其切线方向栓接牵引线并通过绕接定滑轮悬挂砝码(2),利用砝码自重对转动平台施加切向力。

[0018] 上述平行光管可由点目标平行光管(6)和面目标平行光管(7)组成,分别为被测系统的探测相机和成像相机提供无穷远目标。

[0019] 上述角速度测量装置优选采用光纤陀螺仪(3),安装于气浮台(1)的转动台面上,光纤陀螺仪输入轴与气浮台回转轴同轴平行。

[0020] 一种应用上述测试装置对天基探测与跟踪成像系统进行测试的方法,包括三部分的测试:(1)输出力矩和角动量测试、(2)动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试、(3)动态成像质量测试;

[0021] 其中,(1)输出力矩和角动量测试包括以下步骤:

[0022] (1.1)将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

[0023] (1.2)将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

[0024] (1.3) 将质量为  $m$  的砝码经过定滑轮与转动平台连接,连接点与气浮台回转轴距离  $L$ ,利用砝码自重施加切向力  $T$ ,使转动平台转动;

[0025] (1.4) 固定在转动平台上的光纤陀螺仪测得的转动平台转动的初始角速度  $\omega$ ,并计算角加速度  $\alpha$ ;

[0026] (1.5) 计算转动平台和被测设备的总转动惯量  $J$ ;

[0027] (1.6) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标,光纤陀螺仪测得的转动平台转动的角速度  $\omega'$ ;

[0028] (1.7) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出力矩;

[0029] (1.8) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出角动量;

[0030] (2) 动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试包括以下步骤:

[0031] (2.1) 将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

[0032] (2.2) 将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

[0033] (2.3) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标;

[0034] (2.4) 提取相机脱靶量即可计算动态跟踪精度和动态跟踪稳定度;

[0035] (3) 动态成像质量测试包括以下步骤:

[0036] (3.1) 将被测系统安装固定于气浮台的转动平台上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

[0037] (3.2) 将气浮台的转动平台浮起,调平,使转动平台与水平面平行;

[0038] (3.3) 在动靶标的平行光管焦面上安装目标板,按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标并进行成像;

[0039] (3.4) 对图像进行判读并确定被测设备的动态成像质量。

[0040] 本发明实现了对天基探测与跟踪成像系统输出力矩、输出角动量、动态跟踪精度、动态跟踪稳定度、动态成像质量等性能指标的测试,从而进行进一步的调整和优化,保证产品的质量,确保天基探测与跟踪成像系统质量和在轨正常运行。

## 附图说明

[0041] 图 1 为本发明测试装置的结构示意简图。

[0042] 图 2 为本发明测试装置的实物参考图。

[0043] 附图标号说明:

[0044] 1- 气浮台;2- 高精度砝码;3- 光纤陀螺仪;4- 高精度动靶标;5- 天基探测与跟踪成像系统(被测系统);6- 点目标平行光管;7- 面目标平行光管。

## 具体实施方式

[0045] 本发明主要说明了对空间目标探测和跟踪成像这一类设备的性能参数测量方法和测试装置。因为该设备工作在卫星平台上,因此为了精确测定或评估设备的在轨工作性能就必须在实验室条件下模拟该设备的工作环境,并对其进行性能测量和评价,以验证其是否满足设计和任务要求。

[0046] 考虑到空间环境及卫星平台姿态变化对天基探测与跟踪成像系统性能的影响,为给出系统性能尽可能精确和可靠的测试结果,本发明设计了模拟系统在轨工作的环境及测试系统。整个测试系统主要有以下几部分组成:气浮平台、高精度砝码、光纤陀螺仪、高精度动靶标等组成。具体如图 1 所示。

[0047] 高精度动靶标可以实现高精度、高稳定度的转动,运动状态可以通过程序控制,其上搭载有点目标平行光管和面目标平行光管,分别为被测系统的探测相机和成像相机提供无穷远目标。被测系统安装在气浮平台上,调整被测系统位置使其与气浮台同轴,这样可以减小气浮台的摩擦力矩对测试结果的影响,还应使被测系统的三轴交点调整为高精度动靶标旋转光锥顶点,这样可得到最大范围的跟踪测量范围。高精度砝码(只在测量输出力矩、输出角动量时使用,测量动态跟踪精度、动态跟踪稳定度、动态成像质量时不需要高精度砝码)通过一个定滑轮悬挂在气浮台边缘,对气浮台施加一个恒定力矩。光纤陀螺仪安装在气浮台转动台面上,使光纤陀螺仪输入轴与气浮台旋转轴平行,测量气浮台旋转的角速度。

[0048] (1) 气浮台:气浮台具有摩擦力矩小的特点(可以达到 $< 10^{-4} \text{N} \cdot \text{m}$ ),忽略气浮台摩擦力矩的影响,转动平台和被测设备组成的系统在气浮台转动自由度上角动量守恒。气浮台的功能是在实验室条件下模拟系统在轨工作所在的姿态动态变化的卫星平台。

[0049] (2) 高精度砝码:其主要功能是提供精确的输入力矩。它和光纤陀螺仪一起可以实现被测设备及气浮台面总转动惯量的测量。该转动惯量是输出力矩和输出角动量测量所必需的物理量。

[0050] (3) 光纤陀螺仪:它是一个精密的角速度传感器,用于测量系统工作时由于对气浮台力矩输出所引起的气浮台的转动角速度。

[0051] (4) 高精度动靶标:动靶标上安装有两个或多个平行光管,通过在平行光管的焦面上安装目标板模拟无穷远目标,不同的目标板可模拟不同的目标形状及表面特性。动靶标可以实现二个自由度高精度平稳转动,且可以通过程序对其运动状态精确控制,可模拟不同运动速度、加速度和运动轨迹的目标。因此,动靶标的主要作用是模拟不同运动形式空间无穷远目标。在室内得到与外场类似的检测环境,以实现实验室内对系统跟踪精度、跟踪稳定度及动态成像质量的检测。

[0052] 本发明的测试原理:

[0053] (一) 输出力矩和角动量测试

[0054] 气浮台充气状态下,摩擦力矩很小。忽略气浮台摩擦力时,气浮台转动台面所受外力矩为零,气浮台旋转台面及台面负载(主要有:被测设备、其它测量设备等)组成的系统角动量守恒。因此,气浮平台作为一个动量守恒系统,可以模拟空间卫星平台。设气浮台转轴为  $z$  轴,则有:

$$[0055] \quad \sum_K J_{z,K} \omega_{z,K} + J_D \omega_D = H_0 \quad (1)$$

[0056] 式中  $J_{z,K}$ 、 $\omega_{z,K}$  分别为被测转动部件的第  $K$  个转动单元绕  $z$  轴的转动惯量及转速沿  $z$  轴的分量,  $J_D$ 、 $\omega_D$  分别为系统定子(包括:气浮台转动台面和相对台面静止的台面负载)绕  $z$  轴的总转动惯量及角速度,  $H_0$  为系统的初始角动量沿  $z$  轴的分量。若系统初始角动量为零,则式 (1) 简化为

$$[0057] \quad \sum_K J_{z,K} \omega_{z,K} + J_D \omega_D = 0 \quad (2)$$

[0058] 试验关心的是转动部件工作时对其安装面输出角动量的大小,不是其自身角动量的大小。因此,对公式(2)整理可得:被测转动部件输出角动量  $H_{out}$  为

$$[0059] \quad H_{out} = \sum_K J_{z,K} (\omega_{z,K} - \omega_D) \quad (3)$$

$$[0060] \quad = (J_D + \sum_K J_{z,K}) \omega_D$$

[0061] 不难看出,  $\omega_{z,K} - \omega_D$  是第 K 个转动单元相对安装面(即气浮台台面)的转动角速度,  $\sum_K J_{z,K} (\omega_{z,K} - \omega_D)$  是被测转动部件对其安装面输出的总角动量,  $J_D + \sum_K J_{z,K}$  是系统的总转动惯量,  $(J_D + \sum_K J_{z,K}) \omega_D$  是转动部件力学输出对系统的扰动,对其进行微分,即可得到转动部件输出力矩的大小及变化情况。利用气浮平台可以实现对  $J_D + \sum_K J_{z,K}$  及  $\omega_D$  的直接测量,从而得到转动部件输出角动量的大小。

[0062] 输出力矩是输出角动量的对时间的微分,因此,对测量得到的输出角动量微分即可。

[0063] (二) 动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试

[0064] 将气浮台浮起,模拟设备在轨工作的卫星平台。根据空间目标的特性及目标与卫星的相对位置关系、相对运动转台,制作相应的目标板,并结合被测系统的性能指标设定动靶标的工作参数,使其运动速度、加速度和运动轨迹与空间目标的相应参数一致。按设定好的参数驱动动靶标运动,模拟空中飞行的无穷远运动目标,被测设备跟踪动靶标,提取相机脱靶量即可计算动态跟踪精度和动态跟踪稳定度。

[0065] (三) 动态成像质量测试

[0066] 将气浮台浮起,模拟设备在轨工作的卫星平台。根据空间目标的特性及目标与卫星的相对位置关系、相对运动转台,制作相应的目标板,并结合被测系统的性能指标设定动靶标的工作参数,使其运动速度、加速度和运动轨迹与空间目标的相应参数一致。按设定好的参数驱动动靶标运动,将动靶标平行光管焦面处放置鉴别率板或条纹板,模拟空中飞行的无穷远运动目标,被测设备跟踪动靶标,并对动靶标提供的模拟运动目标进行成像,对图像进行判读并确定被测设备的动态成像质量。

[0067] 本发明对被测系统各指标的具体测试步骤如下:

[0068] (一) 输出力矩和角动量测试

[0069] (1.1) 将被测系统牢固固定在气浮台转动台面上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;

[0070] (1.2) 将气浮平台浮起,并调整调平环节,使气浮台台面与水平面平行;

[0071] (1.3) 将质量为 m 的砝码经过滑轮与气浮平台转动部分连接,连接点与平台转轴距离 l,利用砝码自重施加切向力 T,使气浮平台转动;

[0072] (1.4) 固定在气浮台台面上的速率陀螺测得的气浮台转动的角速度 ( $\omega$ ),并计算角加速度 ( $\alpha$ );

[0073] (1.5) 计算气浮台转动台面及被测设备的总转动惯量 (J);



- [0074] (1.6) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标,速率陀螺测得的气浮平台运动的角速度( $\omega'$ );
- [0075] (1.7) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出力矩;
- [0076] (1.8) 计算天基探测与跟踪成像系统工作时的输出角动量。
- [0077] (二) 动态跟踪精度和动态跟踪平稳度测试
- [0078] (2.1) 将被测系统牢固固定在气浮台转动台面上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;
- [0079] (2.2) 将气浮平台浮起,并调整调平环节,使气浮台台面与水平面平行;
- [0080] (2.3) 按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标;
- [0081] (2.4) 提取相机脱靶量即可计算动态跟踪精度和动态跟踪稳定度。
- [0082] (三) 动态成像质量测试
- [0083] (3.1) 将被测系统牢固固定在气浮台转动台面上,并调整使其与气浮台回转轴同轴;
- [0084] (3.2) 将气浮平台浮起,并调整调平环节,使气浮台台面与水平面平行;
- [0085] (3.3) 在动靶标的平行光管焦面上安装合适目标板,按设定的工作参数驱动动靶标转动,天基探测与跟踪成像系统跟踪动靶标并进行成像;
- [0086] (3.4) 对图像进行判读并确定被测设备的动态成像质量。

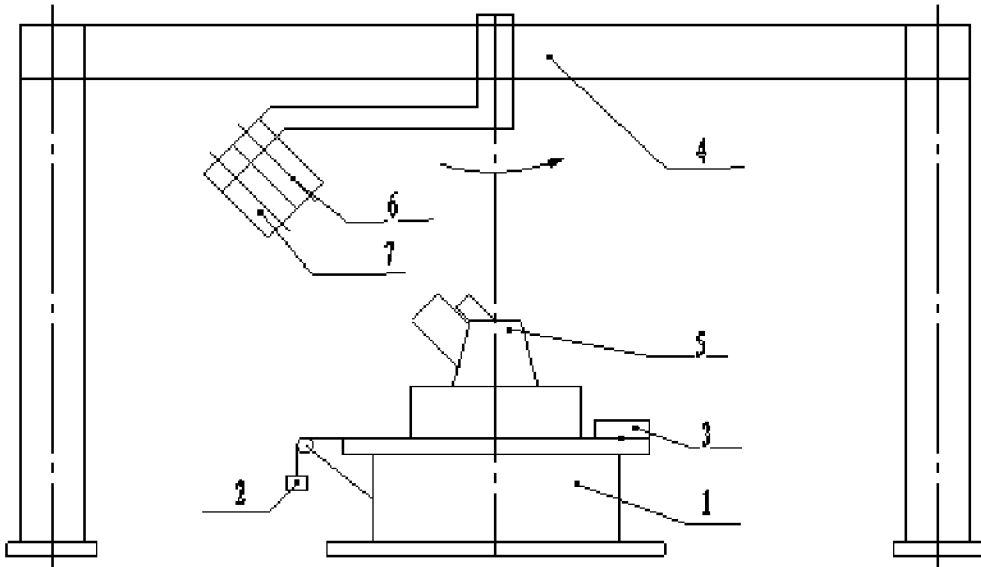


图 1

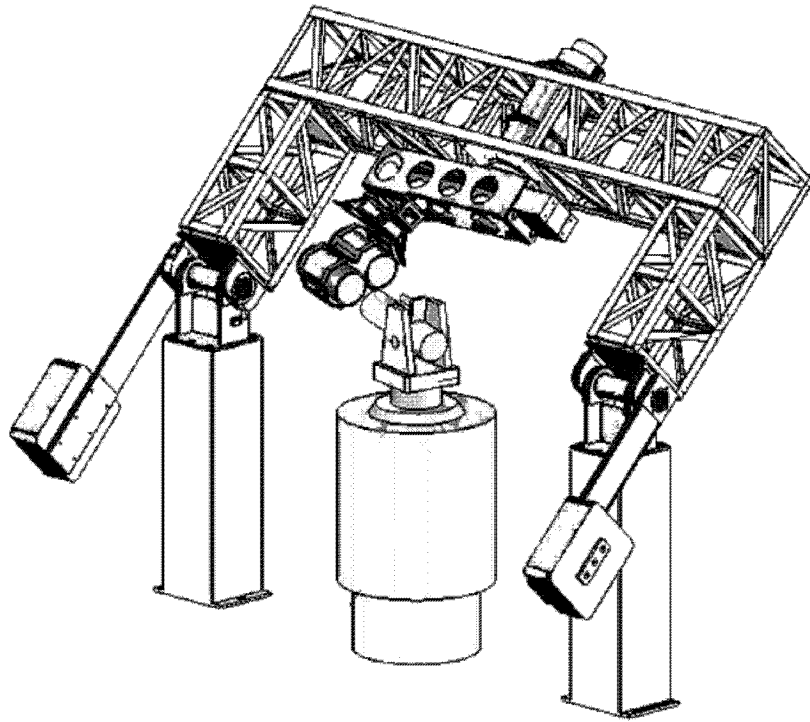


图 2