



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116728362 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 12

(21) 申请号 202310637500.5

(22) 申请日 2023.05.31

(71) 申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路135号

(72) 发明人 薛超 王吉 杨彪 蔡炳蔚  
施迪文 周泽凡 谭文海 杨山清

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

专利代理师 高棋

(51) Int. Cl.

B25H 1/10 (2006.01)

G05D 3/12 (2006.01)

G01M 13/00 (2019.01)

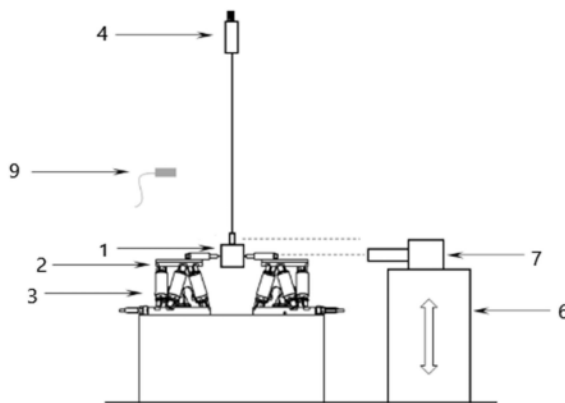
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统,涉及精密测量领域。所述系统包括:检验质量、双顶针系统、多自由度位移台、上位机、扭摆系统、六自由度测量臂、竖直位移台、自准直仪和拍摄系统。相较于现有技术,所述上位机通过拍摄系统对顶针进行非接触式测量、通过六自由度测量臂对顶针进行接触式测量,通过多自由度位移台的配合实现顶针对准,通过扭摆系统调装检验质量的扭转姿态,可在地面验证真实在轨时理想接触条件下的释放结果,并保证在多次重复实验中所述检验质量可以固定角度与两侧顶针接触,避免检验质量初始扭转姿态的偏差对释放结果的影响,确保实验结果的可重复性和准确性,减小顶针未对准释放引入的误差。



1. 一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,包括检验质量(1)、双顶针系统(2)、多自由度位移台(3)、上位机、扭摆系统(4)、六自由度测量臂(5)、竖直位移台(6)、自准直仪(7)和拍摄系统(8);

其中,所述双顶针系统(2),包括两个对称设置的顶针释放机构,用于释放所述检验质量(1);

所述多自由度位移台(3)与所述上位机连接,用于安装所述双顶针系统(2),还用于受所述上位机控制调整所述顶针释放机构(2)的姿态;

所述扭摆系统(4),用于悬挂所述检验质量(1)组成单摆,还用于调整所述检验质量(1)的扭转姿态;

所述六自由度测量臂(5)与所述上位机连接,用于对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量;

所述竖直位移台(6)受所述上位机控制进行竖直方向位移,所述自准直仪(7)安装在所述竖直位移台(6)的顶面,用于测量所述检验质量(1)及所述顶针释放机构中顶针的姿态角并发送至所述上位机;

所述拍摄系统(8),包括至少两个相互垂直设置的摄像机,用于获取关于所述双顶针系统(2)的顶针姿态图像并发送至所述上位机,供所述上位机对双顶针系统(2)的两个顶针释放机构进行顶针的可视化对准。

2. 根据权利要求1所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述顶针的可视化对准的过程包括:

所述上位机通过所述拍摄系统(8)获取所述顶针姿态图像;

根据所述顶针姿态图像,基于标定数据计算两个所述顶针的空间位置;其中,所述标定数据包括单位像素点对应的实际尺寸;

根据所述空间位置,计算所述顶针间的第一姿态偏差;其中,所述第一姿态偏差包括第一轴距偏差和/或第一夹角偏差;

根据所述第一姿态偏差,所述上位机向所述多自由度位移台(3)发送第一位移控制指令,进行两个所述顶针释放机构的多自由度调整,使得两个所述顶针水平且同轴,完成顶针的可视化对准;其中,所述多自由度调整包括平动自由度和/或转动自由度的调整。

3. 根据权利要求1所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述接触式测量的过程包括:

基于同一参考坐标系,对所述顶针的表面设置多个测量点,所述上位机基于测量点生成测量控制指令并发送至所述六自由度测量臂(5);

所述六自由度测量臂(5)根据所述测量控制指令,围绕两个所述顶针表面的测量点进行接触式测量,将生成的接触式测量结果发送至所述上位机;

所述上位机根据所述接触式测量结果,拟合所述顶针的空间位置及所述顶针间的相对位置,进而计算得到所述顶针间的第二姿态偏差;其中,所述第二姿态偏差包括第二轴距偏差和/或第二夹角偏差;

根据所述第二姿态偏差,所述上位机向所述多自由度位移台(3)发送第二位移控制指令,进行两个所述顶针释放机构的多自由度调整,使得两个所述顶针水平且同轴;其中,所述多自由度调整包括平动自由度和/或转动自由度的调整。

4. 根据权利要求3所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述接触式测量的过程还包括:所述六自由度测量臂(5)将生成的接触式测量结果发送至所述上位机后,所述上位机根据所述接触式测量结果,进行三维特征建模得到关于所述顶针的三维模型;其中,所述三维模型用于对所述顶针的姿态进行可视化观测。

5. 根据权利要求1所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述检验质量(1)的姿态调整过程包括:

通过所述竖直位移台(6)的竖直方向移动,使得所述自准直仪(7)上下移动,分别测量所述顶针与所述检验质量(1)的姿态角并发送至所述上位机;

所述上位机根据所述顶针与所述检验质量(1)间的姿态角差值,生成控制指令并发送至所述扭摆系统(4)执行以调整所述检验质量(1)的扭转姿态,使得所述顶针与所述检验质量(1)以指定角度接触。

6. 根据权利要求5所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述顶针的尾部安装有第一反射镜,所述自准直仪(7)通过与所述第一反射镜的配合测量所述顶针的姿态角。

7. 根据权利要求5所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述扭摆系统(4)包括导引、悬丝和第二反射镜;所述悬丝的一端与导引连接、另一端悬挂有所述检验质量(1);所述悬丝与所述检验质量(1)间还设置有所述第二反射镜;

其中,所述扭摆系统(4)基于所述导引的绕轴线旋转调整所述检验质量(1)的姿态;所述自准直仪(7)通过与所述第二反射镜的配合测量所述检验质量(1)的姿态角。

8. 根据权利要求1所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述顶针释放机构中的所述顶针表面镀金。

9. 根据权利要求1所述的一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,其特征在于,所述系统还包括温度传感器(9),用于获取环境温度并发送至上位机,以评估环境温度对所述顶针释放机构的对准调装的影响。

10. 一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法,应用权利要求1-9任一项所述的系统,其特征在于,包括:

上位机通过拍摄系统(8)获取关于双顶针系统(2)的顶针姿态图像,并根据所述顶针姿态图像,控制多自由度位移台(3)进行多自由度移动,以调整顶针释放机构的姿态;

所述上位机通过六自由度测量臂(5)对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量,并根据接触式测量结果,控制多自由度位移台(3)进行多自由度移动,以调整所述顶针释放机构的姿态;

在完成所述顶针释放机构的姿态调整后,所述上位机控制竖直位移台(6)进行竖直方向位移,并通过安装于所述竖直位移台(6)上的自准直仪(7)分别获取检验质量(1)及所述顶针的姿态角;

所述上位机根据所述姿态角,通过控制所述扭摆系统(4),调整所述检验质量(1)的扭转姿态。

## 一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及精密测量技术领域,更具体地,涉及一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统。

### 背景技术

[0002] 在空间引力波探测、重力测量等领域,惯性传感器是进行激光干涉测量的参考基准,用于保证检验质量在卫星发射阶段安全可靠地锁紧固定在电极外壳内,在卫星入轨后基于锁紧释放机构将检验质量以极低的动量释放。作为惯性传感器的重要组成部分,锁紧释放机构的地面测试十分必要,其测试结果的准确性将显著影响卫星真实在轨时状态下的惯性传感器性能。

[0003] 一方面,针对锁紧释放机构的地面测试,现有技术中,已见Trento大学在地面搭建了在地面模拟评估装置,通过单侧顶针释放单摆悬挂平板检验质量,验证平动方向释放速度。此外,华中科技大学也对惯性传感器在轨释放的地面模拟评估装置进行了研究,通过使用电容极板来验证顶针释放及静电捕获过程。

[0004] 但上述现有技术均为单顶针释放策略,无法模拟真实在轨状态下检验质量的释放。真实在轨状态下,锁紧释放机构为对称的两个子系统,采用双顶针释放,其位于立方体检验质量的两侧;此外,由于释放时两侧顶针姿态、释放动作不可能完全对称,两侧顶针对检验质量施加力与力矩,影响释放结果,因此现有技术也无法对真实在轨时双顶针不对称释放的影响进行评估研究。

[0005] 另一方面,现有的地面测试装置中,由于悬丝应力释放或环境温度、气流等因素的影响,使得多次释放测试中,悬挂于扭摆系统的检验质量的初始扭转姿态无法保持一致性,对检验质量的接触状态、释放结果造成影响,影响测试结果的准确性和可重复性。

### 发明内容

[0006] 本发明为克服上述现有技术所述的真实在轨锁紧释放机构的地面测试结果准确性差的缺陷,提供一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明的技术方案如下:

[0008] 第一方面,一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,包括:检验质量、双顶针系统、多自由度位移台、上位机、扭摆系统、六自由度测量臂、竖直位移台、自准直仪和拍摄系统;

[0009] 其中,所述双顶针系统,包括两个对称设置的顶针释放机构,用于释放所述检验质量;

[0010] 所述多自由度位移台与所述上位机连接,用于安装所述双顶针系统,还用于受所述上位机控制调整所述顶针释放机构的姿态;

[0011] 所述扭摆系统,用于悬挂所述检验质量组成单摆,还用于调整所述检验质量的扭转姿态;

[0012] 所述六自由度测量臂与所述上位机连接,用于对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量;

[0013] 所述竖直位移台受所述上位机控制进行竖直方向位移,所述自准直仪安装在所述竖直位移台的顶面,用于测量所述检验质量及所述顶针释放机构中顶针的姿态角并发送至所述上位机;

[0014] 所述拍摄系统,包括至少两个相互垂直设置的摄像机,用于获取关于所述双顶针系统的顶针姿态图像并发送至所述上位机,供所述上位机对双顶针系统的两个顶针释放机构进行顶针的可视化对准。

[0015] 第二方面,一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法,包括:

[0016] 上位机通过拍摄系统获取关于双顶针系统的顶针姿态图像,并根据所述顶针姿态图像,控制多自由度位移台进行多自由度移动,以调整顶针释放机构的姿态;

[0017] 所述上位机通过六自由度测量臂对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量,并根据接触式测量结果,控制多自由度位移台进行多自由度移动,以调整所述顶针释放机构的姿态;

[0018] 在完成所述顶针释放机构的姿态调整后,所述上位机控制竖直位移台进行竖直方向位移,并通过安装于所述竖直位移台上的自准直仪分别获取检验质量及所述顶针的姿态角;

[0019] 所述上位机根据所述姿态角,通过控制所述扭摆系统,调整所述检验质量的扭转姿态。

[0020] 与现有技术相比,本发明技术方案的有益效果是:

[0021] 本发明公开了一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法及系统,所述系统包括检验质量、双顶针系统、多自由度位移台、上位机、扭摆系统、六自由度测量臂、竖直位移台、自准直仪和拍摄系统,所述上位机通过拍摄系统对顶针进行非接触式测量、通过六自由度测量臂对顶针进行接触式测量,通过多自由度位移台的配合实现顶针的对准,通过扭摆系统调装检验质量的扭转姿态,可在地面验证真实在轨时理想接触条件下的释放结果,并保证在多次重复实验中所述检验质量可以固定角度与两侧顶针接触,避免检验质量初始扭转姿态的偏差对释放结果的影响,确保实验结果的可重复性和准确性,减小顶针未对准释放引入的误差。相较于现有技术,本发明所述系统具有结构简单、定位精度高、多种测量方式相互验证的优点。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明实施例1的高精度对准系统的系统结构示意图;

[0023] 图2为本发明实施例1的高精度对准系统的另一系统结构示意图;

[0024] 图3为本发明实施例1的高精度对准系统的另一系统结构示意图。

## 具体实施方式

[0025] 本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的术语在适当情况下可以互换,这仅仅是描述本申请的实施例中对相同属性的对象在描述时所采用的区分

方式。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,以便包含一系列单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于那些单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它单元。

[0026] 附图仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制;

[0027] 为了更好地说明本实施例,附图某些部件会有省略、放大或缩小,并不代表实际产品的尺寸;

[0028] 对于本领域技术人员来说,附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

[0029] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案做进一步的说明。

[0030] 实施例1

[0031] 本实施例提出了一种双顶针及扭摆系统的高精度对准系统,参阅图1-图3,包括检验质量1、双顶针系统2、多自由度位移台3、上位机、扭摆系统4、六自由度测量臂5、竖直位移台6、自准直仪7和拍摄系统8;

[0032] 其中,所述双顶针系统2,包括两个对称设置的顶针释放机构,用于释放所述检验质量1;

[0033] 所述多自由度位移台3与所述上位机连接,用于安装所述双顶针系统2,还用于受所述上位机控制调整所述顶针释放机构的姿态;

[0034] 所述扭摆系统4,用于悬挂所述检验质量1组成单摆,还用于调整所述检验质量1的扭转姿态;

[0035] 所述六自由度测量臂5与所述上位机连接,用于对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量;

[0036] 所述竖直位移台6受所述上位机控制进行竖直方向位移,所述自准直仪7安装在所述竖直位移台6的顶面,用于测量所述检验质量1及所述顶针释放机构中顶针的姿态角并发送至所述上位机;

[0037] 所述拍摄系统8,包括至少两个相互垂直设置的摄像机,用于获取关于所述双顶针系统2的顶针姿态图像并发送至所述上位机,供所述上位机对双顶针系统的两个顶针释放机构进行顶针的可视化对准。

[0038] 在一具体实施过程中,上位机通过拍摄系统8获取顶针姿态图像,根据顶针姿态图像中两侧顶针间的对准情况确认是否需要控制多自由度位移台3在多个自由度上进行位移,使得两侧顶针在成像维度上实现非接触式对准;随后,上位机控制六自由度测量臂5对两侧顶针进行接触式测量,并根据测量结果控制多自由度位移台3在多个自由度上进行位移,使得两侧顶针实现接触式对准,可视为两种测量方式的相互辅助与验证;在完成两侧顶针的对准后,上位机通过自准直仪7分别获取检验质1量和两侧顶针的姿态角,并根据姿态角控制扭摆系统4,使得所述检验质量1的端面与两侧顶针以指定的初始姿态接触,如垂直接触或其他固定角度接触。通过该实施例的所述系统,可在地面验证研究真实在轨时双顶针释放策略以及双顶针不对称释放的影响,减小顶针未对准释放引入的误差,并保证了在多次重复实验中,检验质量1端面与其两侧的顶针均可以同样的初始姿态接触,保证实验结果的可重复性。

[0039] 本领域技术人员应当理解,通过顶针姿态图像可以得到两顶针在水平与垂直平面

实际的空间位置。作为非限制性示例,基于顶针姿态图像的顶针对准情况的判断可通过两侧顶针的成像覆盖的像素点区域、像素点个数,和/或对应像素点间的距离以及像素点实际尺寸的标定数据来实现。

[0040] 作为优选实施例,所述顶针的可视化对准的过程包括:

[0041] 所述上位机通过所述拍摄系统8获取所述顶针姿态图像;

[0042] 根据所述顶针姿态图像,基于标定数据计算两个所述顶针的空间位置;其中,所述标定数据包括单位像素点对应的实际尺寸;

[0043] 根据所述空间位置,计算所述顶针间的第一姿态偏差;其中,所述第一姿态偏差包括第一轴距偏差和/或第一夹角偏差;

[0044] 根据所述第一姿态偏差,所述上位机向所述多自由度位移台3发送第一位移控制指令,进行两个所述顶针释放机构的多自由度调整,使得两个所述顶针水平且同轴,完成顶针的可视化对准;其中,所述多自由度调整包括平动自由度和/或转动自由度的调整。

[0045] 作为优选实施例,所述接触式测量的过程包括:

[0046] 基于同一参考坐标系,对所述顶针的表面设置多个测量点,所述上位机基于测量点生成测量控制指令并发送至所述六自由度测量臂5;

[0047] 所述六自由度测量臂5根据所述测量控制指令,围绕两个所述顶针表面的测量点进行接触式测量,将生成的接触式测量结果发送至所述上位机;

[0048] 所述上位机根据所述接触式测量结果,拟合所述顶针的空间位置及所述顶针间的相对位置,进而计算得到所述顶针间的第二姿态偏差;其中,所述第二姿态偏差包括第二轴距偏差和/或第二夹角偏差;

[0049] 根据所述第二姿态偏差,所述上位机向所述多自由度位移台3发送第二位移控制指令,进行两个所述顶针释放机构的多自由度调整,使得两个所述顶针水平且同轴;其中,所述多自由度调整包括平动自由度和/或转动自由度的调整。

[0050] 本领域技术人员应当理解,所述转动自由度包括俯仰、偏航和/或翻滚,所述平动自由度包括上下平移、前后平移和/或左右平移。

[0051] 在一可选实施例中,所述接触式测量的过程还包括:所述六自由度测量臂5将生成的接触式测量结果发送至所述上位机后,所述上位机根据所述接触式测量结果,进行三维特征建模得到关于所述顶针的三维模型;其中,所述三维模型用于对所述顶针的姿态进行可视化观测。

[0052] 在一些示例中,所述上位机利用CAD,根据所述接触式测量结果进行3D建模。

[0053] 作为优选实施例,所述检验质量1的姿态调整过程包括:

[0054] 通过所述竖直位移台6的竖直方向移动,使得所述自准直仪7上下移动,分别测量所述顶针与所述检验质量1的姿态角并发送至所述上位机;

[0055] 所述上位机根据所述顶针与所述检验质量1间的姿态角差值,生成控制指令并发送至所述扭摆系统4执行以调整所述检验质量1的扭转姿态,使得所述顶针与所述检验质量1以指定角度接触。

[0056] 在一可选实施例中,所述顶针的尾部安装有第一反射镜,所述自准直仪7通过与所述第一反射镜的配合测量所述顶针的姿态角。

[0057] 本领域技术人员应当理解,所述自准直仪7通过发射光束并接收第一反射镜反射

回来的反射光束,来测量所述顶针的姿态角。

[0058] 在一可选实施例中,所述扭摆系统4包括导引、悬丝和第二反射镜;所述悬丝的一端与导引连接、另一端悬挂有所述检验质量1;所述悬丝与所述检验质量1间还设置有所述第二反射镜;

[0059] 其中,所述扭摆系统4基于所述导引的绕轴线旋转调整所述检验质量1的姿态;所述自准直仪7通过与所述第二反射镜的配合测量所述检验质量1的姿态角。

[0060] 作为优选实施例,所述顶针释放机构中的所述顶针表面镀金。

[0061] 作为优选实施例,所述系统还包括温度传感器9,用于获取环境温度并发送至上位机,以评估环境温度对所述顶针释放机构的对准调装的影响。

[0062] 该优选实施例中,通过温度传感器9长时间监测环境温度,基于周期性测试获得不同时段的环境温度,可评估环境温度波动对顶针释放机构的同一对准调装结果的影响,从而通过控制环境温度减少利用所述系统开展实验研究过程中可能引入的误差,进一步提高实验结果的准确性。

[0063] 实施例2

[0064] 本实施例提出一种双顶针及扭摆系统的高精度对准方法,应用实施例1提出的系统,包括:

[0065] 上位机通过拍摄系统8获取关于双顶针系统2的顶针姿态图像,并根据所述顶针姿态图像,控制多自由度位移台3进行多自由度移动,以调整顶针释放机构的姿态;

[0066] 所述上位机通过六自由度测量臂5对所述顶针释放机构中顶针的位置进行接触式测量,并根据接触式测量结果,控制多自由度位移台3进行多自由度移动,以调整所述顶针释放机构的姿态;

[0067] 在完成所述顶针释放机构的姿态调整后,所述上位机控制竖直位移台6进行竖直方向位移,并通过安装于所述竖直位移台6上的自准直仪7分别获取检验质量1及所述顶针的姿态角;

[0068] 所述上位机根据所述姿态角,通过控制所述扭摆系统4,调整所述检验质量1的扭转姿态。

[0069] 在一些示例中,所述拍摄系统8为可拆卸式拍摄系统,所述六自由度测量臂5为可拆卸式六自由度测量臂,在进行检验质量的姿态调整前,对所述拍摄系统8和所述六自由度测量臂5进行拆卸。

[0070] 可以理解,本实施例的方法对应于上述实施例1的系统,上述实施例1中的可选项同样适用于本实施例,故在此不再重复描述。

[0071] 实施例3

[0072] 本实施例提出一种计算机可读存储介质,所述存储介质上存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集,所述至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由处理器加载并执行,以实现如实施例2所述的方法。

[0073] 示范性地,所述存储介质包括但不限于U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0074] 示范性地,所述指令、程序、代码集或指令集可采用Java、Python、C++、R、或Golang

等编程语言实现。

[0075] 示范性地,所述处理器包括但不限于智能手机、个人计算机、服务器、网络设备等,用于执行实施例2所述方法的全部或部分步骤。

[0076] 本实施例还提供一种包括高精度对准指令的计算机程序产品,当其在上位机上运行时,使得上位机执行如前述实施例2描述的方法中的步骤。

[0077] 相同或相似的标号对应相同或相似的部件;

[0078] 附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制;

[0079] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。本说明书的各个部分均采用递进的方式进行描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点介绍的都是与其他实施例不同之处。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动,各功能模块或单元可以集成在一起形成一个独立的部分,也可以是各个模块单独存在,也可以两个或更多个模块集成形成一个独立的部分。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

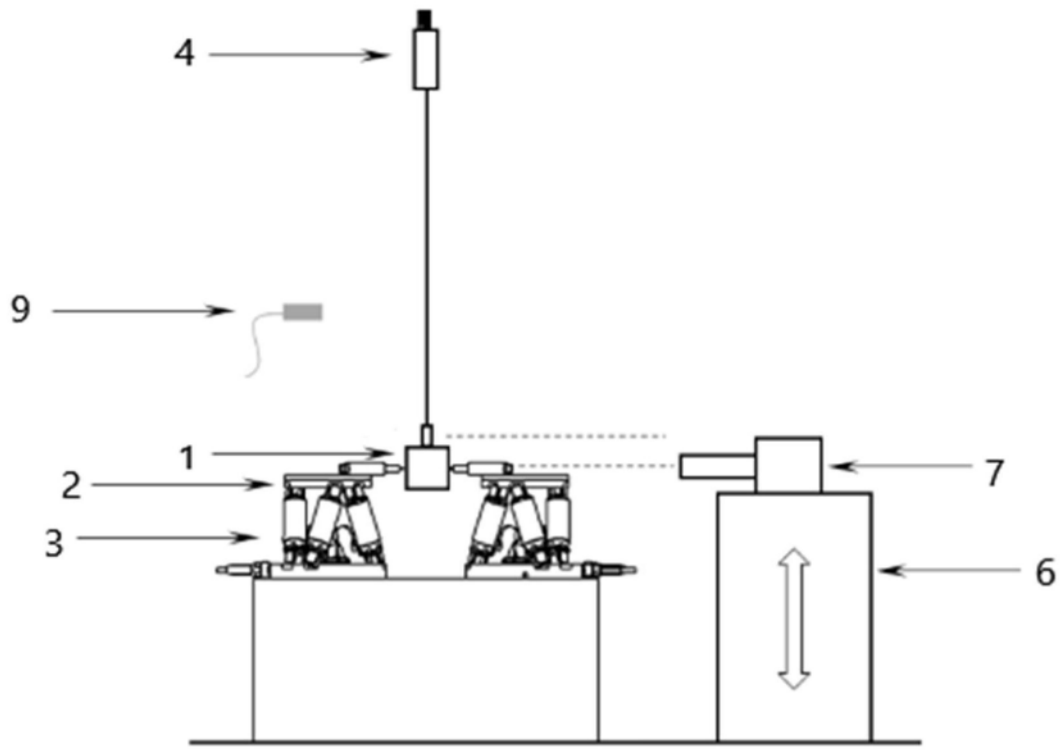


图1

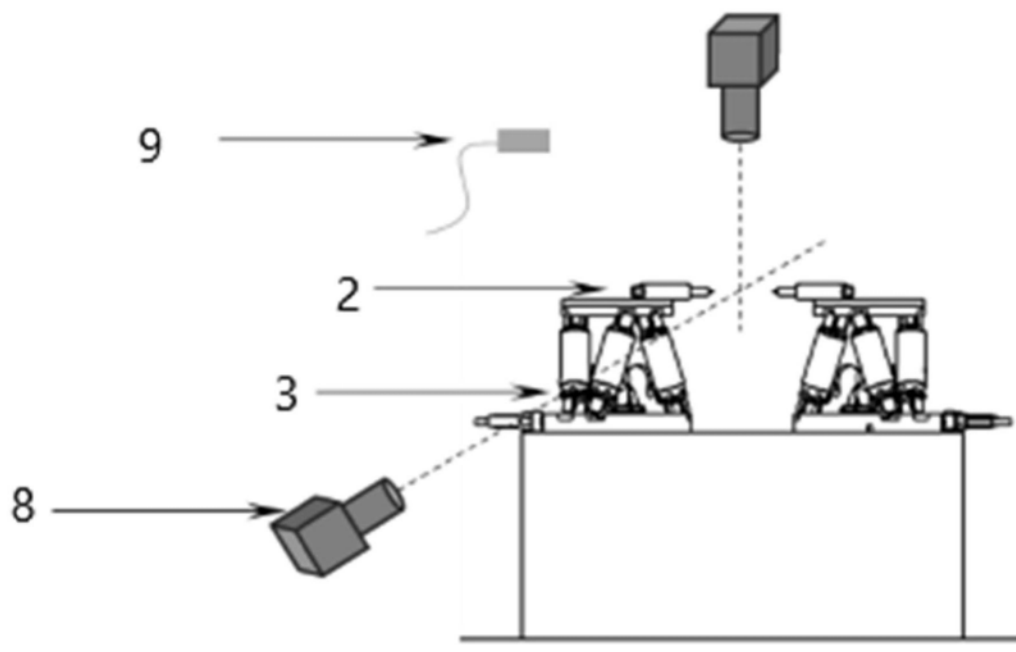


图2

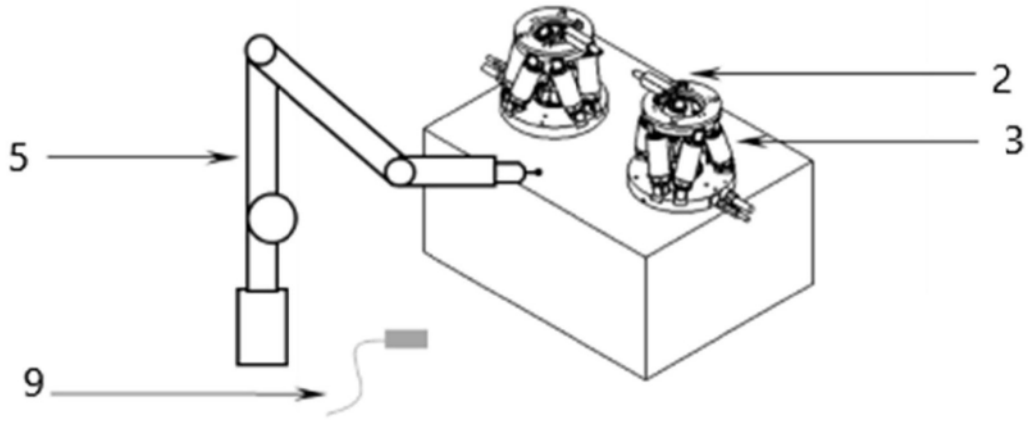


图3