



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113670238 B

(45) 授权公告日 2021.12.31

(21) 申请号 202110864479.3

(22) 申请日 2021.07.29

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113670238 A

(43) 申请公布日 2021.11.19

(73) 专利权人 深圳市中图仪器股份有限公司  
地址 518000 广东省深圳市南山区西丽街  
道学苑大道1001号南山智园B1栋2楼

(72) 发明人 章智伟 陈源 张和君 冯福荣  
廖学文 程龙军

(74) 专利代理机构 深圳舍穆专利代理事务所  
(特殊普通合伙) 44398  
代理人 黄贤炬

(51) Int. Cl.

G01B 21/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106705821 A, 2017.05.24

CN 102679904 A, 2012.09.19

CN 105352436 A, 2016.02.24

JP 2002005645 A, 2002.01.09

审查员 乐兵兵

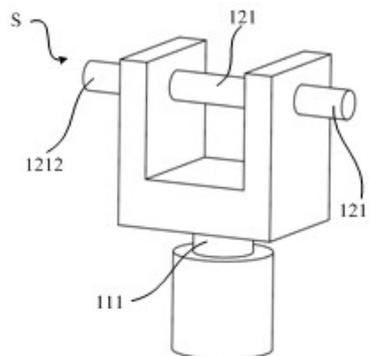
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

正交轴系统的正交性的测量方法

(57) 摘要

本发明描述了一种正交轴系统的正交性的测量方法,包括:将仪器置于承载面,沿着截取面截取第二旋转轴以获得第二旋转轴的第一虚拟截面,截取面经过承载面的特定点且与承载面和第二旋转轴在承载面的投影正交,对第一虚拟截面进行测量以获得第一虚拟截面的几何中心作为第一位置;旋转第一旋转装置以使第二旋转轴旋转预设角度,预设角度为 $180^\circ$ 的奇数倍,并使用截取面截取第二旋转轴以获得第二旋转轴的第二虚拟截面,对第二虚拟截面进行测量以获得第二虚拟截面的几何中心作为第二位置;并且基于第一位置和第二位置判断第一旋转轴与第二旋转轴的正交性是否符合要求。根据本发明,能够提供一种提高正交轴系统的正交性的测量精度的测量方法。



1. 一种正交轴系统的正交性的测量方法,是仪器的正交轴系统的正交性的测量方法,所述仪器包括具有第一旋转轴的第一旋转装置和设置于所述第一旋转装置并具有第二旋转轴的第二旋转装置,所述第二旋转装置能够绕着所述第一旋转装置旋转,所述正交轴系统由所述第一旋转轴和所述第二旋转轴构成,其特征在于,所述测量方法包括:将所述仪器置于承载面,所述承载面的平面度小于第一预设阈值;使所述第一旋转轴与所述承载面的垂直度小于第二预设阈值;沿着截取面截取所述第二旋转轴以获得所述第二旋转轴的第一虚拟截面,所述截取面经过所述承载面的特定点且与所述承载面以及所述第二旋转轴在所述承载面的投影正交,对所述第一虚拟截面进行测量以获得所述第一虚拟截面的几何中心作为第一位置;旋转所述第二旋转装置以使所述第二旋转轴旋转预设角度,所述预设角度为 $180^\circ$ 的奇数倍,并使用所述截取面截取所述第二旋转轴以获得所述第二旋转轴的第二虚拟截面,对所述第二虚拟截面进行测量以获得所述第二虚拟截面的几何中心作为第二位置;并且基于所述第一位置和第二位置判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性是否符合要求。

2. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,通过测量位于所述第一虚拟截面的边缘的多个第一测量点的空间坐标并基于所述多个第一测量点的空间坐标来获得所述第一位置;通过测量位于所述第二虚拟截面的边缘的多个第二测量点的空间坐标并基于所述多个第二测量点的空间坐标来获得所述第二位置。

3. 根据权利要求2所述的测量方法,其特征在于,所述多个第一测量点位于所述第一虚拟截面的外周,所述多个第二测量点位于所述第二虚拟截面的外周,所述第一测量点的个数不少于5个,所述第二测量点的个数不少于5个。

4. 根据权利要求1或2所述的测量方法,其特征在于,令所述第一位置和第二位置之间的距离为第一距离,基于所述第一距离判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性是否符合要求。

5. 根据权利要求4所述的测量方法,其特征在于,若所述第一距离小于预设值,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性符合要求,若所述第一距离不小于所述预设值,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性不符合要求,所述预设值与所述特定点相关。

6. 根据权利要求1或2所述的测量方法,其特征在于,获得所述第一旋转轴的轴线上的任意点的空间坐标作为第三位置,令所述第一位置和第二位置之间的距离为第一距离,所述第三位置到所述截取面的距离为第二距离,基于所述第一距离和所述第二距离获得错配角,若所述错配角小于预设角,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性符合要求,若所述错配角不小于预设角,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性不符合要求。

7. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,所述第一虚拟截面和所述第二虚拟截面均为椭圆形,或者所述第一虚拟截面和所述第二虚拟截面均为圆形。

8. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,在获得所述第一虚拟截面之前,测量所述第二旋转轴的径向圆跳动。

9. 根据权利要求8所述的测量方法,其特征在于,若所述径向圆跳动大于第三预设阈值时,则对所述第二旋转轴进行加工以使所述第二旋转轴的径向圆跳动不大于所述第三预设

阈值。

10. 根据权利要求1所述的测量方法,其特征在于,所述特定点位于所述投影内。

## 正交轴系统的正交性的测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及精密工业与工程测量领域,具体涉及一种正交轴系统的正交性的测量方法。

### 背景技术

[0002] 在精密工业以及测量领域,人们在对大型机器进行装配的时候,经常需要通过精密仪器对组装的目标物进行测试以提高装配精度,同时在对完成机器的组装后,也需要对机器进行校准,且在装配过程中,除了对目标物或者目标物上的某个目标点进行三维坐标测量时,还需要对目标物品或目标点的运动情况进行测量,也即,对它们的姿态进行测量,因此需要一种可以在三维坐标基础上,还能完成六个自由度测量的仪器。由此就出现了通过坐标测量仪器对目标物或者目标点进行姿态测量的测量方式。坐标测量仪器的测量精度主要取决于角度和距离的测量精度,为了提高坐标测量仪器的测量精度,需要保证坐标测量仪器中的正交轴系统(至少包括水平轴和俯仰轴)的正交性。由此,针对坐标测量仪器的正交轴系统的正交性的测量方法的测量精度显得非常重要。

[0003] 专利文献(CN106705821A)中公开了一种回转轴系正交性测量方法及装置,该装置将两个标准球分别安装在俯仰旋转轴两端,通过调整标准球的球心与俯仰旋转轴轴线同轴,再测量两个标准球在同一方向上的最低或最高位置进而确定轴系正交性。然而,利用上述回转轴系正交性测量方法及装置,虽然能够得到两轴系正交测量结果,但是调整两个标准球的球心与俯仰轴的轴线同轴的过程中必然会引入误差。此外,两个标准球最低或者最高位置的测量也会引入误差。这两种误差的引入会对轴系正交性测量结果的准确度产生较大的影响。

### 发明内容

[0004] 本发明是有鉴于上述现有技术的状况而提出的,其目的在于提供一种能够提高正交轴系统的正交性的测量精度的测量方法。

[0005] 本发明提供一种正交轴系统的正交性的测量方法,是仪器的正交轴系统的正交性的测量方法,所述仪器包括具有第一旋转轴的第一旋转装置和设置于所述第一旋转装置并具有第二旋转轴的第二旋转装置,所述第二旋转装置能够绕着所述第一旋转装置旋转,所述正交轴系统由所述第一旋转轴和所述第二旋转轴构成,所述测量方法包括:将所述仪器置于承载面,所述承载面的平面度小于第一预设阈值;使所述第一旋转轴与所述承载面的垂直度小于第二预设阈值;沿着截取面截取所述第二旋转轴以获得所述第二旋转轴的第一虚拟截面,所述截取面经过所述承载面的特定点且与所述承载面以及所述第二旋转轴在所述承载面的投影正交,对所述第一虚拟截面进行测量以获得所述第一虚拟截面的几何中心作为第一位置;旋转所述第二旋转装置以使所述第二旋转轴旋转预设角度,所述预设角度为 $180^\circ$ 的奇数倍,并使用所述截取面截取所述第二旋转轴以获得所述第二旋转轴的第二虚拟截面,对所述第二虚拟截面进行测量以获得所述第二虚拟截面的几何中心作为第二位

置;并且基于所述第一位置和所述第二位置判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性是否符合要求。在这种情况下,通过测量多个第一测量点和多个第二测量点的空间坐标,能够有效的减小第一虚拟截面的几何中心(即第一位置)的空间坐标和第二虚拟截面的几何中心(即第二位置)的空间坐标的求定误差,从而提高正交轴系统的正交性测量结果的准确性,进一步提高仪器的测量精准度。

[0006] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,通过测量位于所述第一虚拟截面的边缘的多个第一测量点的空间坐标并基于所述多个第一测量点的空间坐标来获得所述第一位置;通过测量位于所述第二虚拟截面的边缘的多个第二测量点的空间坐标并基于所述多个第二测量点的空间坐标来获得所述第二位置。在这种情况下,能够通过多个第一测量点计算出第一虚拟截面的几何中心(也即第一位置)的空间坐标,并且能够通过多个第二测量点计算出第二虚拟截面的几何中心(也即第二位置)的空间坐标。

[0007] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,所述多个第一测量点位于所述第一虚拟截面的外周,所述多个第二测量点位于所述第二虚拟截面的外周,所述第一测量点的个数不少于5个,所述第二测量点的个数不少于5个。由此,能够得到足够的第一测量点以获得第一虚拟截面的几何中心的空间坐标,能够得到足够的第二测量点以获得第二虚拟截面的几何中心的空间坐标,并且能够减小上述两个空间坐标的求定误差。

[0008] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,令所述第一位置和所述第二位置之间的距离为第一距离,基于所述第一距离判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性是否符合要求。由此,能够基于第一距离判断仪器的正交轴系统的正交性是否符合要求。

[0009] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,若所述第一距离小于预设值,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性符合要求,若所述第一距离不小于所述预设值,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性不符合要求,所述预设值与所述特定点相关。由此,能够基于第一距离和预设值判断仪器的正交轴系统的正交性是否符合要求。

[0010] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,获得所述第一旋转轴的轴线上的任意点的空间坐标作为第三位置,令所述第一位置和所述第二位置之间的距离为第一距离,所述第三位置到所述截取面的距离为第二距离,基于所述第一距离和所述第二距离获得错配角,若所述错配角小于预设角,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性符合要求,若所述错配角不小于预设角,则判断所述第一旋转轴与所述第二旋转轴的正交性不符合要求。由此,能够根据三角关系获得第一旋转轴和所第二旋转轴的错配角。

[0011] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,所述第一虚拟截面和所述第二虚拟截面均为椭圆形,或者所述第一虚拟截面和所述第二虚拟截面均为圆形。由此,能够得到第一虚拟截面和第二虚拟截面的截面图。

[0012] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,在获得所述第一虚拟截面之前,测量所述第二旋转轴的径向圆跳动。在这种情况下,能够使第二旋转轴的加工精度较高,能够减小后续获取第一虚拟截面的几何中心的空间坐标和第二虚拟截面的几何中心的空间坐标的求定误差。

[0013] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,若所述径向圆跳动大于第三预设阈值时,则对所述第二旋转轴进行加工以使所述第二旋转轴的径向圆跳动不大于所述第三预

设阈值。由此,能够使第二旋转轴的圆柱度能够得到较好的保证。

[0014] 另外,在本发明所涉及的测量方法中,可选地,所述特定点位于所述投影内。由此,能够使截取面截取到第二旋转轴的第一端部和第二端部。

[0015] 根据本发明,能够提供一种提高正交轴系统的正交性的测量精度的测量方法。

### 附图说明

[0016] 现在将仅通过参考附图的例子进一步详细地解释本发明。

[0017] 图1是示出了本发明所涉及的坐标测量仪器的立体示意图。

[0018] 图2是示出了本发明所涉及的未安装第二旋转轴时的正交轴系统的立体示意图。

[0019] 图3是示出了本发明所涉及的正交轴系统的立体示意图。

[0020] 图4是示出了本发明所涉及的正交轴系统的正交性的测量方法的流程图。

[0021] 图5是示出了本发明所涉及的测量第一虚拟截面的几何中心的空间坐标的示意图。

[0022] 图6是示出了本发明所涉及的测量第二虚拟截面的几何中心的空间坐标的示意图。

[0023] 图7是示出了本发明所涉及的经由截取面截取的第一虚拟截面。

[0024] 图8是示出了本发明所涉及的经由截取面截取的第二虚拟截面。

[0025] 图9A是示出了本发明所涉及的测量第一位置的示意图。

[0026] 图9B是示出了本发明所涉及的测量第二位置的示意图。

### 具体实施方式

[0027] 以下,参考附图,详细地说明本发明的优选实施方式。在下面的说明中,对于相同的部件赋予相同的符号,省略重复的说明。另外,附图只是示意性的图,部件相互之间的尺寸的比例或者部件的形状等可以与实际的不同。

[0028] 需要说明的是,本发明中的术语“包括”和“具有”以及它们的任何变形,例如所包括或所具有的一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可以包括或具有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步骤或单元。

[0029] 另外,在本发明的下面描述中涉及的小标题等并不是为了限制本发明的内容或范围,其仅仅是作为阅读的提示作用。这样的小标题既不能理解为用于分割文章的内容,也不应将小标题下的内容仅仅限制在小标题的范围内。

[0030] 本实施方式涉及一种正交轴系统的正交性的测量方法,是仪器的正交轴系统的正交性的测量方法,以下有时也简称为测量方法。在本发明中,仪器可以是测量仪器例如坐标测量仪器,但本发明所涉及的测量方法也可以适用于其他包括正交轴系统的仪器。通过本实施方式涉及的测量方法,能够提高正交轴系统的正交性的测量结果的测量精度。

[0031] 图1是示出了本发明所涉及的坐标测量仪器1(下面简称为仪器1)的立体示意图。图2是示出了本发明所涉及的未安装第二旋转轴121时的正交轴系统S的立体示意图。图3是示出了本发明所涉及的正交轴系统S的立体示意图。图4是示出了本发明所涉及的正交轴系统S的正交性的测量方法的流程图。图5是示出了本发明所涉及的测量第一虚拟截面A的几

何中心的空间坐标的示意图。图6是示出了本发明所涉及的测量第二虚拟截面B的几何中心的空间坐标的示意图。

[0032] 在一些示例中,如图1和图2所示,仪器1可以包括第一旋转装置11和第二旋转装置12。在一些示例中,如图3所示,正交轴系统S可以包括第一旋转轴111和第二旋转轴121。

[0033] 在一些示例中,第一旋转轴111可以安装于第一旋转装置11,第二旋转轴121可以安装于第二旋转装置12。在一些示例中,第二旋转装置12可以设置于第一旋转装置11上,且能够绕着第一旋转装置11旋转。在一些示例中,第二旋转装置12可以具有两个支承部即第一支承部122和第二支承部123,在第一支承部122和第二支承部123上分别设置有两个通孔即第一通孔124和第二通孔125,第二旋转轴121可以通过上述两个通孔安装于第一支承部122和第二支承部123之间。在一些示例中,如图3所示,第二旋转轴121可以包括第一端部1211和第二端部1212。在一些示例中,第一端部1211和第二端部1212可以分别位于第二旋转轴121的两个末端的位置。

[0034] 在本发明中,正交轴系统S可以由第一旋转轴111和第二旋转轴121构成。在一些示例中,正交轴系统S的第一旋转轴111与第二旋转轴121基本正交。由于正交轴系统S对于仪器1特别是测量仪器的测量精度来说特别重要,例如正交轴系统S中,倘若第一旋转轴111和第二旋转轴121在装配过程中出现较大的误差,导致第一旋转轴111与第二旋转轴121之间的正交性不符合要求,则会导致仪器1的测量精度不达标。

[0035] 在一些示例中,可以使用如图5所示的测量装置2对正交轴系统S的正交性进行测量,该测量装置2可以包括承载平台21、安装于承载平台21的支架22、以及置于支架22的测量仪23。

[0036] 在一些示例中,如上所述,测量仪23可以设置在支架22上。在一些示例中,支架22可以具有调整测量仪23位置的移动机构(未图示)。在一些示例中,移动机构可以是滑行轨道或可移动的机械臂。在一些示例中,移动机构可以控制测量仪23在竖直面(例如虚拟截面)中移动。在一些示例中,移动机构可以控制测量仪23在竖直面做外周运动。

[0037] 以下,结合图5和图6,详细说明本实施方式所涉及的正交轴系统S的正交性的测量方法。参见图4,所涉及的测量方法可以包括如下步骤:放置仪器1(步骤S100)、获得第一虚拟截面A(步骤S200)、获得第一位置A0的空间坐标(步骤S300)、使第一端部1211和第二端部1212交换位置(步骤S400)、获得第二虚拟截面B(步骤S500)、获得第二位置B0的空间坐标(步骤S600)、并且判断正交性(步骤S700)。

[0038] 在本发明中,可以使用本实施方式所涉及的测量方法对仪器1的正交轴系统S的正交性进行测量。根据本实施方式所涉及的正交性测量方法,能够简化测量的操作步骤并且提高正交轴系统S的正交性测量结果(也可以称为测量结果)的精度。

[0039] 如上所述,测量方法可以包括步骤S100。在一些示例中,在步骤S100中,可以将包括正交轴系统S的仪器1置于承载面211。

[0040] 如图5所示,在一些示例中,承载面211可以属于承载平台21。在一些示例中,承载平台21材料可以使用大理石。一般而言,大理石组织结构精密质地均匀、表面光滑且粗糙度数值小,基准面(例如承载面211)的制造精度较高例如制造精度可以保持在1微米至10微米之间。由此,有利于提高测量结果的精度。

[0041] 在一些示例中,承载面211的平面度可以小于第一预设阈值。在一些示例中,第一

预设阈值可以为1微米至8微米。例如,第一预设阈值可以为1微米、2微米、3微米、4微米、5微米、6微米、7微米或8微米等。

[0042] 在一些示例中,第一旋转轴111与承载面211之间可以保持一定的垂直度。由此,能够提高测量方法的准确性。在一些示例中,第一旋转轴111与承载面211之间的垂直度越小,测量结果的误差越小。

[0043] 在一些示例中,可以通过加工及装配调整第一旋转轴111与承载面211的垂直度以减小测量结果的误差。例如,可以通过加工及装配使第一旋转轴111与承载面211的垂直度小于第二预设阈值。一般而言,第一旋转轴111与承载面211的垂直度可以对测量结果造成影响。在这种情况下,通过控制第一旋转轴111与承载面211的垂直度能够减小该误差对测量结果造成的影响。

[0044] 在一些示例中,第二预设阈值可以为1微米至8微米。例如,第二预设阈值可以为1微米、2微米、3微米、4微米、5微米、6微米、7微米或8微米等。

[0045] 在一些示例中,可以将测量仪23放置于承载面211的上方。在一些示例中,可以通过支架22将测量仪23固定于承载平台21的上方。在一些示例中,支架22可以安装在承载平台21上。但本发明的示例不限于此,支架22可以安装在任意能够使测量仪23固定于承载平台21的上方的位置。在一些示例中,测量仪23可以用于获得测量点(例如第一测量点a1~a10,或第二测量点b1~b10)的空间坐标。

[0046] 在一些示例中,用于获得空间坐标的测量仪23可以是三坐标测量仪。三坐标测量仪可以是一种具有可于三个方向移动的探测器。

[0047] 在一些示例中,测量仪23可以在三个相互垂直的导轨上移动(未图示)。在一些示例中,测量仪23可以以接触或者非接触等方式传递讯号。在一些示例中,测量仪23可以利用数据处理器或计算机等工具基于三个轴的位移测量结果获得测量目标例如测量点的空间坐标。

[0048] 在一些示例中,三坐标测量仪可以采用接触式测量方式。在另外一些示例中,三坐标测量仪也可以采用非接触式测量方式。在这种情况下,由于三坐标测量仪的测量具有较高的准确度和便捷性,能够提高测量效率。

[0049] 图7是示出了本发明所涉及的经由截取面截取的第一虚拟截面A。图8是示出了本发明所涉及的经由截取面截取的第二虚拟截面B。图9A是示出了本发明所涉及的测量第一位置A0的示意图。图9B是示出了本发明所涉及的测量第二位置B0的示意图。

[0050] 如上所述,测量方法可以包括步骤S200。在一些示例中,在步骤S200中,可以获得第一虚拟截面A。其中,第一虚拟截面A可以属于第二旋转轴121。在一些示例中,可以沿着截取面截取第二旋转轴121以获得第一虚拟截面A。

[0051] 在一些示例中,截取面可以经过承载面211的特定点且与承载面211以及第二旋转轴121在承载面211的投影正交。

[0052] 在一些示例中,截取面可以是经过第一端部1211的最高点的平面。在这种情况下,能够便于测量仪23测量第一虚拟截面A的外周上多个第一测量点的空间坐标。

[0053] 在一些示例中,如图5和图6所示,第一旋转轴111的轴线可以为第一轴线1111,第二旋转轴121的轴线可以为第二轴线1213。在一些示例中,水平方向可以是X轴所指向的方向,竖直方向可以是Z轴所指向的方向,其中竖直方向可以是平行于第一轴线1111的方向,Y

轴可以与X轴和Z轴正交的方向。在一些示例中,截取面可以是平行于Z轴和Y轴所在的平面且经过承载面211的特定点的一个平面。在一些示例中,特定点可以位于第二旋转轴121在承载面211的投影内。在这种情况下,能够使截取面截取第二旋转轴121的第一端部1211以获取第一虚拟截面A。

[0054] 在一些示例中,第一虚拟截面A可以为椭圆形或圆形。在一些示例中,第二虚拟截面B(稍后描述)的形状可以与第一虚拟截面A的形状一致。也即,第一虚拟截面A和第二虚拟截面B可以均为椭圆形,或者第一虚拟截面A和第二虚拟截面B可以均为圆形。由此,能够得到第一虚拟截面A和第二虚拟截面B。

[0055] 在一些示例中,若第一旋转轴111与第二旋转轴121不是完全正交,则截取面截取的第一虚拟截面A是一个椭圆形。在一些示例中,若第一旋转轴111与第二旋转轴121完全正交,则截取面截取的第一虚拟截面A是一个圆形。

[0056] 在一些示例中,在获得第一虚拟截面A之前,可以测量第二旋转轴121的径向圆跳动。在这种情况下,能够减小后续获取第一虚拟截面A的几何中心的空间坐标和第二虚拟截面B的几何中心的空间坐标的求定误差。一般而言,径向圆跳动越小,第二旋转轴121的加工精度越高。在一些示例中,可以通过测量第一端部1211和第二端部1212的径向圆跳动以测量第二旋转轴121的径向圆跳动。

[0057] 在一些示例中,可以利用千分表测量第二旋转轴121的径向圆跳动。在一些示例中,第二旋转轴121的径向圆跳动可以包括第一径向圆跳动和第二径向圆跳动。具体而言,可以令千分表的测头与第一端部1211接触,然后第二旋转轴121以第二轴线1213为旋转中心旋转以使千分表的测头在第一端部1211的外周面上滑动以测量第一端部1211的第一径向圆跳动;令千分表的测头与第二端部1212接触,令第二旋转轴121以第二轴线1213为旋转中心旋转以使千分表的测头在第二端部1212的外周面上滑动以测量第二端部1212的第二径向圆跳动;若第一径向圆跳动或第二径向圆跳动大于第三预设阈值时,则对第二旋转轴121进行加工以使第一径向圆跳动且第二径向圆跳动不大于第三预设阈值。

[0058] 在一些示例中,第三预设阈值可以为1微米至8微米。例如,第三预设阈值可以为1微米、2微米、3微米、4微米、5微米、6微米、7微米或8微米等。在这种情况下,第二旋转轴121的加工精度较高,能够减小后续获取第一虚拟截面A的几何中心的空间坐标和第二虚拟截面B的几何中心的空间坐标的求定误差。

[0059] 如上所述,测量方法可以包括步骤S300。在一些示例中,在步骤S300中,可以获得第一位置A0的空间坐标。

[0060] 在一些示例中,在步骤S300中,可以对第一虚拟截面A进行测量以获得第一位置A0。在一些示例中,第一位置A0可以是第一虚拟截面A的几何中心(也即将第一虚拟截面A的几何中心作为第一位置A0)。

[0061] 在一些示例中,可以通过测量多个第一测量点的空间坐标并基于多个第一测量点的空间坐标来获得第一位置A0。在这种情况下,能够通过多个第一测量点计算出第一虚拟截面A的几何中心(也即第一位置A0)的空间坐标。

[0062] 在一些示例中,多个第一测量点可以位于第一虚拟截面A的外周。在一些示例中,可以令测量仪23的测头在截取面上围绕第一虚拟截面A的外周旋转以获取多个第一测量点的空间坐标。在一些示例中,测量仪23的测头可以在截取面上围绕第一虚拟截面A的外周旋

转至少一周。在这种情况下,能够在第一虚拟截面A的外周上均匀地测量出多个第一测量点的空间坐标。

[0063] 在一些示例中,测量仪23的测头在截取面围绕第一虚拟截面A的运动速度可以为5mm/s至10mm/s。例如,测量仪23的运动速度可以为5mm/s、6mm/s、7mm/s、8mm/s、9mm/s或10mm/s等。在这种情况下,能够使上述测头在截取面上平稳运行以获得准确的第一测量点的空间坐标。

[0064] 在一些示例中,可以通过旋转第一旋转轴111以使正交轴系统S的第二旋转轴121达到与测量仪23的测头大致平行的方向。在这种情况下,能够便于测量仪23快速检测到测量目标(例如第一端部1211或第二端部1212)并对该测量目标进行测量。

[0065] 在一些示例中,测量仪23在整个测量过程中在水平方向(X轴方向)上可以固定不动。在这种情况下,能够使测量仪23的测头始终保持在第一虚拟截面A上旋转。

[0066] 在一些示例中,第一测量点的个数可以不少于5个(也即,可以通过至少5个点的空间坐标确定一个椭圆形的几何中心坐标)。例如,第一测量点的个数可以为5个、6个、7个、8个、9个、10个、20个或50个等。优选地,第一测量点的个数可以为8至10个。在这种情况下,能够得到足够的第一测量点以获得第一虚拟截面A的几何中心(也即第一位置A0)的空间坐标,并能够减小该空间坐标的求定误差。

[0067] 在一些示例中,多个第一测量点可以均匀地分布在第一虚拟截面A的外周。作为示例,第一测量点的个数可以为10个,如图9A所示,第一虚拟截面A可以为椭圆,10个第一测量点可以包括第一测量点a1、第一测量点a2、第一测量点a3、第一测量点a4、第一测量点a5、第一测量点a6、第一测量点a7、第一测量点a8、第一测量点a9和第一测量点a10。

[0068] 在一些示例中,可以对多个第一测量点的空间坐标进行预处理,例如,可以移除多个第一测量点中的异常点的空间坐标。在这种情况下,能够减少因测量失误对第一虚拟截面A的几何中心(也即第一位置A0)的空间坐标的求定误差。

[0069] 如上所述,测量方法可以包括步骤S400。在一些示例中,在步骤S400中,可以使第一端部1211与第二端部1212交换位置。

[0070] 在一些示例中,在步骤S400中,可以通过旋转第二旋转装置12以使第二旋转轴121旋转预设角度。在一些示例中,可以通过旋转第一旋转轴111以使第二旋转装置12旋转。在另外一些示例中,可以通过旋转第一旋转装置11以使第二旋转装置12旋转。

[0071] 在一些示例中,预设角度可以为 $180^\circ$ 的奇数倍。在这种情况下,能够使第二旋转轴121的第一端部1211与第二端部1212交换位置。也即,可以通过旋转第二旋转装置12以使第二旋转轴121的第一端部1211与第二端部1212交换位置。

[0072] 在一些示例中,测量仪23在整个测量过程中在水平方向(X轴方向)上是可以固定不动的。在这种情况下,在第二旋转轴121旋转后,能够使测量仪23的测头始终保持在第二虚拟截面B上旋转,且能够使第一旋转轴111的第一轴线1111到第一虚拟截面A的水平距离和到第二虚拟截面B的水平距离相同。需要说明的是,虽然第一虚拟截面A和第二虚拟截面B是两个不同的截面,但是均位于截取面内。

[0073] 如上所述,在一些示例中,预设角度可以为 $180^\circ$ 的奇数倍。在一些示例中,优选地,预设角度可以为 $180^\circ$ 。在这种情况下,能够将第一旋转轴111旋转 $180^\circ$ 以使第二旋转轴121的第一端部1211与第二端部1212交换位置。由此,能够测量第二端部1212上的第二虚拟截

面B的外周上多个第二测量点的空间坐标。

[0074] 在另外一些示例中,可以将第一旋转轴111旋转 $540^\circ$ 、 $900^\circ$ 、……。也即,可以将第一旋转轴111旋转 $180^\circ$ 的奇数倍。换言之,可以将第一旋转轴111旋转 $(2k+1) \times 180^\circ$ ,k可以为自然整数。在这种情况下,能够使第二旋转轴121的第一端部1211与第二端部1212交换位置。

[0075] 在一些示例中,仪器1可以具有驱动机构(未图示)。在一些示例中,可以通过驱动机构驱动第一旋转轴111以使第一旋转轴111旋转。在一些示例中,第一旋转轴111可以以第一轴线1111为旋转中心自由旋转。

[0076] 在一些示例中,驱动机构可以通过电机及编码器伺服控制,伺服控制的定位精度高,响应时间短。在这种情况下,第一旋转轴111能够实现精准快速定位,且第一旋转轴111的定位精度较高例如定位精度可达1角秒至5角秒。由此,能够有效地降低第一旋转轴111在旋转过程中因定位不精确带来的误差。

[0077] 如上所述,测量方法可以包括步骤S500。在一些示例中,在步骤S500中,可以获得第二虚拟截面B。其中,第二虚拟截面B可以属于第二旋转轴121。在一些示例中,如图8所示,可以沿着截取面截取第二旋转轴121以获得第二虚拟截面B。

[0078] 在一些示例中,截取面可以经过承载面211的特定点且与承载面211以及第二旋转轴121在承载面211的投影正交。

[0079] 在一些示例中,截取面可以是经过第二端部1212的最高点的平面。在这种情况下,能够便于测量仪23测量第二虚拟截面B的外周上多个第二测量点的空间坐标。

[0080] 在一些示例中,截取面可以是平行于Z轴和Y轴所在的平面且经过承载面211的特定点的一个平面。在一些示例中,特定点可以位于上述投影内。在这种情况下,能够使截取面截取第二旋转轴121的第二端部1212以获取第二虚拟截面B。

[0081] 在一些示例中,第二虚拟截面B可以为椭圆形或圆形。在一些示例中,若第一旋转轴111与第二旋转轴121不是完全正交,则截取面截取的第二虚拟截面B是一个椭圆形。在一些示例中,若第一旋转轴111与第二旋转轴121完全正交,则截取面截取的第二虚拟截面B是一个圆形。

[0082] 在一些示例中,在步骤S600中,可以对第二虚拟截面B进行测量以获得第二位置B0。在一些示例中,第二位置B0可以是第二虚拟截面B的几何中心(也即可以将第二虚拟截面B的几何中心作为第二位置B0)。

[0083] 在一些示例中,可以通过测量多个第二测量点的空间坐标并基于多个第二测量点的空间坐标来获得第二位置B0。在这种情况下,能够通过多个第二测量点计算出第二虚拟截面B的几何中心(也即第二位置B0)的空间坐标。

[0084] 在一些示例中,多个第二测量点可以位于第二虚拟截面B的外周。在一些示例中,可以令测量仪23的测头在截取面上围绕第二虚拟截面B的外周旋转以获取多个第二测量点的空间坐标。在一些示例中,测量仪23的测头可以在截取面上围绕第二虚拟截面B的外周旋转至少一周。在这种情况下,能够在第二虚拟截面B的外周上均匀地测量出多个第二测量点的空间坐标。

[0085] 在一些示例中,测量仪23的测头在截取面围绕第二虚拟截面B的运动速度可以为5mm/s至10mm/s。例如,测量仪23的运动速度可以为5mm/s、6mm/s、7mm/s、8mm/s、9mm/s或

10mm/s等。在这种情况下,能够使上述测头在截取面上平稳运行以获得准确的第二测量点的空间坐标。

[0086] 在一些示例中,测量仪23在整个测量过程中在水平方向上可以是固定不动。在这种情况下,能够使测量仪23的测头始终保持在第二虚拟截面B上旋转。

[0087] 在一些示例中,第二测量点的个数可以不少于5个(也即,可以通过至少5个点的空间坐标确定一个椭圆形的几何中心坐标)。例如,第二测量点的个数可以为5个、6个、7个、8个、9个、10个、20个或50个等。优选地,第二测量点的个数可以为8至10个。在这种情况下,能够得到足够的第二测量点以获得第二虚拟截面B的几何中心(也即第二位置B0)的空间坐标,并能够减小该空间坐标的求定误差。

[0088] 在一些示例中,多个第二测量点可以均匀地分布在第二虚拟截面B的外周。作为示例,第二测量点的个数可以为10个,如图9B所示,第二虚拟截面B可以为椭圆,10个第二测量点可以包括第二测量点b1、第二测量点b2、第二测量点b3、第二测量点b4、第二测量点b5、第二测量点b6、第二测量点b7、第二测量点b8、第二测量点b9和第二测量点b10。

[0089] 在一些示例中,可以对多个第二测量点的空间坐标进行预处理,例如,可以移除多个第二测量点中的异常点的空间坐标。在这种情况下,能够减少因测量失误对第二虚拟截面B的几何中心(也即第二位置B0)的空间坐标的求定误差。

[0090] 如上所述,测量方法可以包括步骤S700。在一些示例中,在步骤S700中,可以判断正交性。

[0091] 在一些示例中,在步骤S700中,可以基于第一位置A0和第二位置B0判断第一旋转轴111与第二旋转轴121的正交性是否符合要求。

[0092] 如图6所示,在一些示例中,可以令第一位置A0和第二位置B0之间的距离作为第一距离L1,基于第一距离L1可以判断第一旋转轴111和第二旋转轴121的正交性是否符合要求。在这种情况下,能够基于第一距离L1判断仪器1的正交轴系统S的正交性是否符合要求。

[0093] 在一些示例中,若第一距离L1小于预设值,则可以判断第一旋转轴111和第二旋转轴121的正交性符合要求。在一些示例中,若第一距离L1不小于预设值,则可以判断第一旋转轴111和第二旋转轴121的正交性不符合要求。在一些示例中,上述预设值可以与上述特定点(也即步骤S200中的特定点)有关。在一些示例中,特定点离第一轴线1111在水平方向(X轴方向)上的距离越近,则预设值越小,特定点离第一轴线1111在水平方向(X轴方向)上的距离越远,则预设值越大。在这种情况下,能够基于第一距离L1和预设值判断仪器1的正交轴系统S的正交性是否符合要求。

[0094] 在一些示例中,预设值还可以与正交轴系统S的轴系尺寸相关。具体而言,当第一旋转轴111或第二旋转轴121的尺寸越大时,预设值越大。

[0095] 在一些示例中,如图6所示,可以将第一轴线1111上任意点的空间坐标作为第三位置C0,令第三位置C0到截取面的距离作为第二距离L2,基于第一距离L1和第二距离L2获得错配角。在一些示例中,如图6所示,错配角可以为第二旋转轴121的第二轴线1213(虚线所示的第二旋转轴121的轴线)与第二旋转轴121在旋转180°后的第二轴线1213(实线所示的第二旋转轴121的轴线)的夹角。在这种情况下,能够根据三角关系获得第一旋转轴111和第二旋转轴121的错配角。

[0096] 在一些示例中,可以通过测量仪23测量得到第三位置C0的空间坐标。在一些示例

中,测量仪23可以在平行于承载面211的平面上并于第一旋转轴111的外周上取定多个点的空间坐标。在这种情况下,能够基于上述多个点的空间坐标计算第三位置C0的空间坐标。

[0097] 在一些示例中,可以将第一位置A0与第三位置C0在X轴方向上的距离作为第三位置C0到截取面的距离,也即第二距离L2。在这种情况下,能够基于第一位置A0的空间坐标与第三位置C0的空间坐标计算出第二距离L2。在一些示例中,可以将第二位置B0与第三位置C0在X轴方向上的距离作为第三位置C0到截取面的距离,也即第二距离L2。在这种情况下,能够基于第一位置A0的空间坐标与第三位置C0的空间坐标计算出第二距离L2。

[0098] 在一些示例中,第一旋转轴111和第二旋转轴121的错配角可以由如下公式得到,错配角可以表示为:

$$[0099] \quad \delta = 2 \times \arctan \frac{L1}{2L2},$$

[0100] 其中, $\delta$ 为第一旋转轴111和第二旋转轴121的错配角,L1为第一距离,L2为第二距离。由此,可以通过公式直接计算出第一旋转轴111和第二旋转轴121的错配角,并且能够通过第一旋转轴111和第二旋转轴121的错配角作为仪器1的正交轴系统S的正交性是否符合要求的判断依据。

[0101] 在一些示例中,若上述错配角小于预设角,则可以判断第一旋转轴111与第二旋转轴121的正交性符合要求,若错配角不小于预设角,则可以判断第一旋转轴111与第二旋转轴121的正交性不符合要求。在这种情况下,能够通过计算出的错配角以判断仪器1的正交轴系统S的正交性是否符合要求。在一些示例中,预设角可以为0角秒至15角秒。

[0102] 根据本实施方式的测量方法,通过测量多个第一测量点(a1~a10)和多个第二测量点(b1~b10)的空间坐标,能够有效的减小第一虚拟截面A的几何中心(即第一位置A0)的空间坐标和第二虚拟截面B的几何中心(即第二位置B0)的空间坐标的求定误差,从而提高正交轴系统S的正交性的测量结果的准确性,进一步提高仪器1的测量精度。

[0103] 虽然以上结合附图和示例对本发明进行了具体说明,但是可以理解,上述说明不得以任何形式限制本发明。本领域技术人员在不偏离本发明的实质精神和范围的情况下可以根据需要对本发明进行变形和变化,这些变形和变化均落入本发明的范围内。

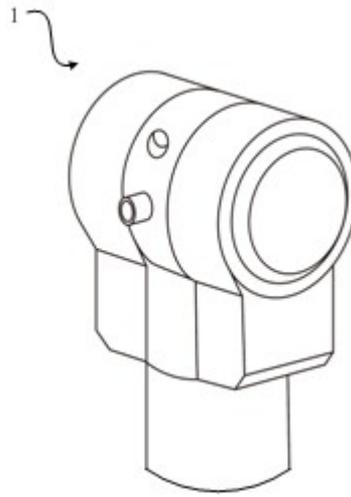


图1

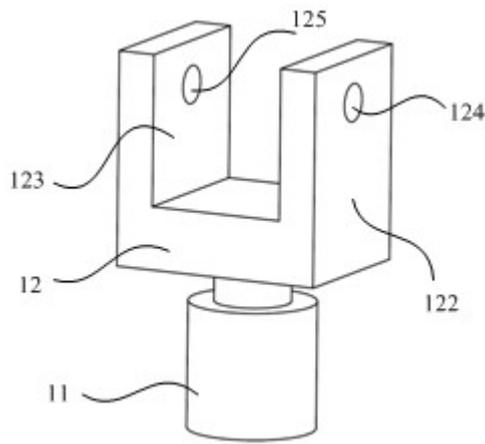


图2

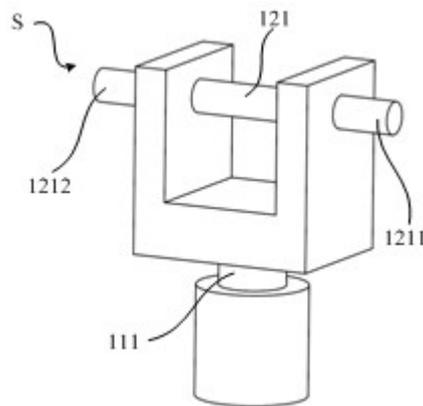


图3

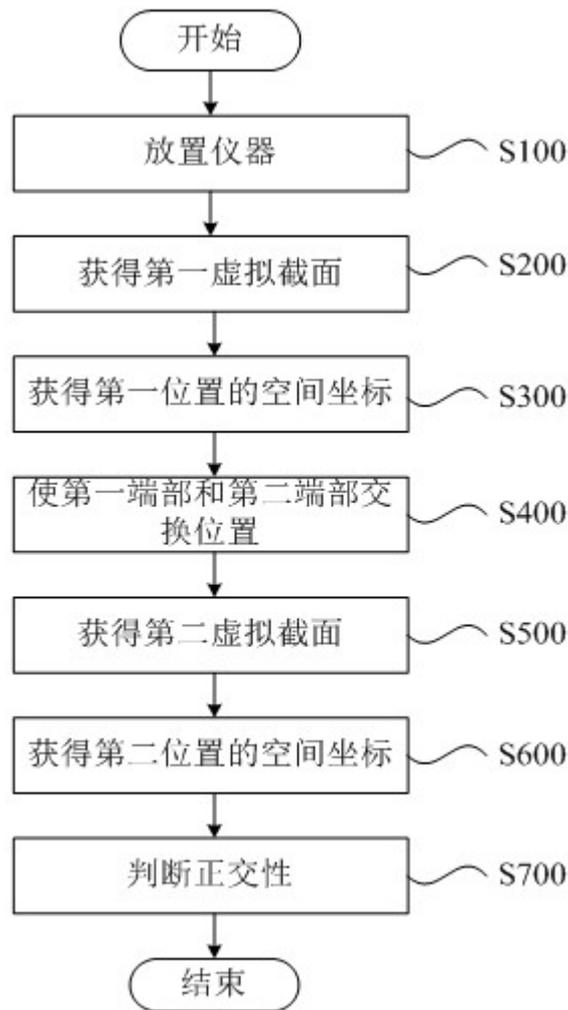


图4

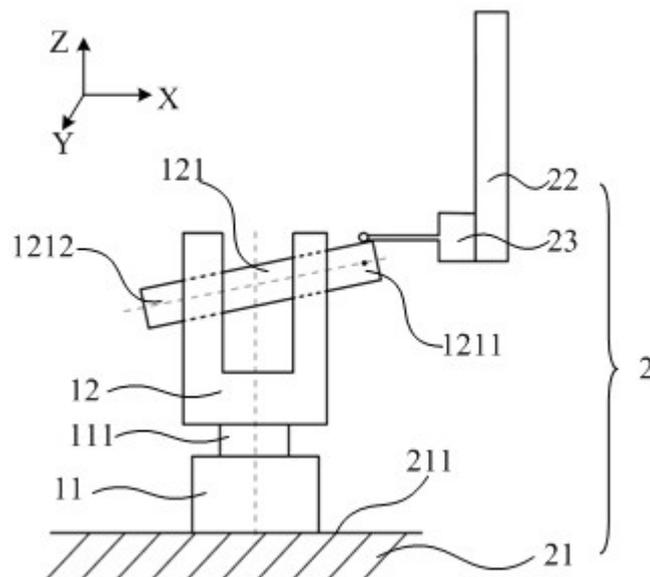


图5

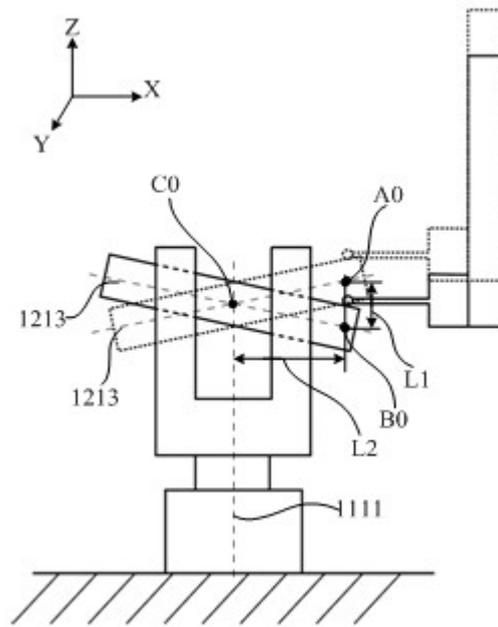


图6

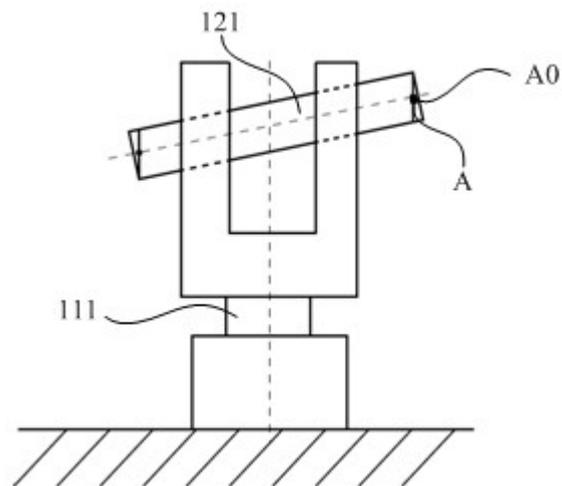


图7

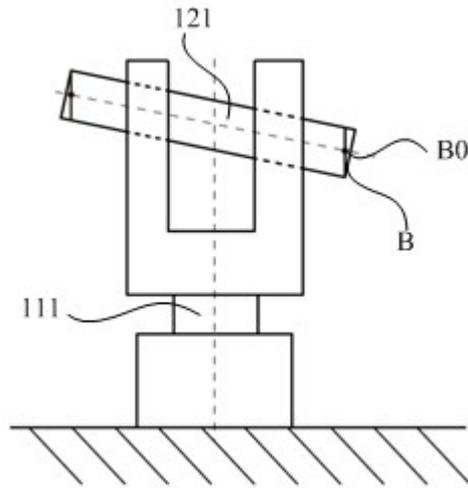


图8

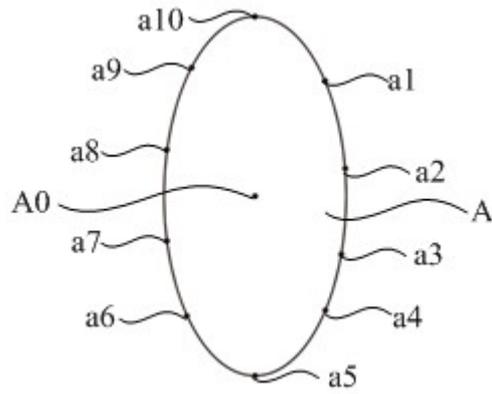


图9A

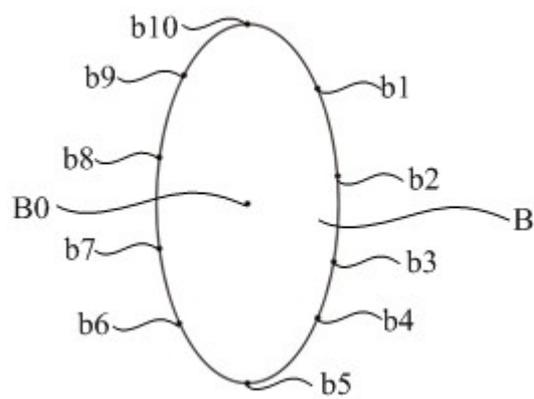


图9B