



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112504159 A

(43) 申请公布日 2021.03.16

(21) 申请号 202011160285.7

(22) 申请日 2020.10.27

(71) 申请人 成都飞机工业(集团)有限责任公司

地址 610092 四川省成都市青羊区黄田坝

(72) 发明人 缙建杰 蔡怀阳 韩利亚 陈代鑫

茹博 陈俊佑

(74) 专利代理机构 成都天嘉专利事务所(普通

合伙) 51211

代理人 苏丹

(51) Int. Cl.

G01B 11/24 (2006.01)

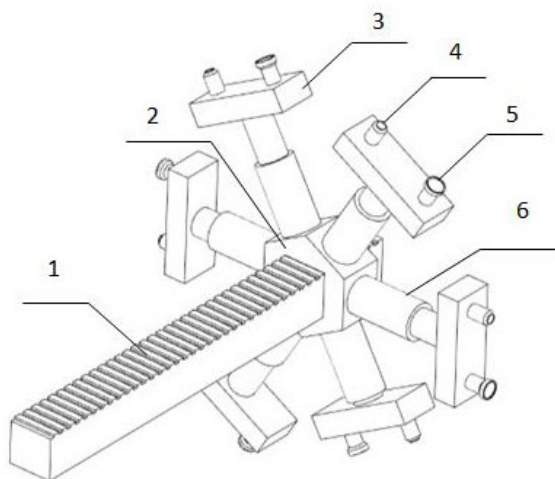
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置及方法

(57) 摘要

本申请属于航空制造零件检测技术领域,尤其涉及一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置及方法,包括直线电机、多边形底座、测头和液压伸缩杆,所述测头包括激光器和相机,测头与液压伸缩杆为机械连接,液压伸缩杆均匀分布在多边形底座上,多边形底座与直线电机为滑动连接,液压伸缩杆上设置有基于激光三角法原理实现对变截面筒体内腔壁的三维形貌测量的测头,液压伸缩杆可随测头与变截面筒体内腔壁的距离变化进行自动调节。本申请的测量装置基于激光三角法原理,通过液压伸缩杆自动调节测头与零件内腔壁的距离,可以获得清晰的三维形貌,测量过程均为自动化测量,测量效率高。



1. 一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置, 其特征在于: 包括直线电机、多边形底座、测头和液压伸缩杆, 所述测头包括激光器和相机, 测头与液压伸缩杆为机械连接, 液压伸缩杆均匀分布在多边形底座上, 多边形底座与直线电机为滑动连接, 液压伸缩杆上设置有基于激光三角法原理实现对变截面筒体内腔壁的三维形貌测量的测头, 液压伸缩杆可随测头与变截面筒体内腔壁的距离变化进行自动调节。

2. 根据权利要求1所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置, 其特征在于: 测头和液压伸缩杆通过外设计算机控制, 液压杆的伸缩量通过编码器、位移传感器获得, 通过测头读取测头与变截面筒状零件内腔的距离, 当测头与变截面筒状零件内腔的距离超过设定阈值时, 信号反馈至计算机, 通过计算机控制液压伸缩杆的伸缩。

3. 根据权利要求1所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置, 其特征在于: 所述直线电机用于控制液压伸缩杆和测头的轴向移动和轴向位移, 直线电机两端通过支撑架控制平直度。

4. 一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法, 其特征在于: 包括以下步骤:

步骤1: 搭建变截面筒体零件内腔三维形貌测量装置, 其包含多个沿直线电机径向均匀分布的测头, 所有测头视野的集合能够覆盖变截面筒体零件内壁的径向截面;

步骤2: 标定所有测头的内部和外部参数, 测头外部参数标定方法步骤如下:

选定一个测头为主测头, 使其位于初始位置, 使用标定板对其进行标定, 并通过轴向和径向移动标定出其运动轴线, 其中轴向轴线即为直线电机轴线, 径向轴线即为液压伸缩杆轴线, 以此轴线作为主轴坐标系的x轴, 由此可获得该测头初始坐标系与主轴坐标系的转换关系; 当测头进行测量时, 所获得的数据首先根据测量时的轴向和径向位移转换到其初始坐标系下, 再根据前述标定结果转换到主轴坐标系下;

步骤3: 固定变截面筒体零件和测量装置, 确保直线电机在变截面筒体内沿轴向移动时测头可在全部行程中进行测量;

步骤4: 测量装置从变截面筒体零件起始端面沿零件内腔轴向往零件终止端面移动, 测头向变截面筒体零件内壁投线激光, 测量区域遍历被测零件内壁全部表面;

步骤5: 测量装置在移动过程中, 液压伸缩杆会根据测头与变截面筒体零件内壁的距离变化进行自动调节, 确保测头与零件内壁的距离始终在合理的范围内; 测头依据其内部和外部参数和拍摄到的激光线图像, 对该激光线进行实时三维重建, 并根据全部测头的内外部参数, 将三维数据转换到同一的坐标系下;

步骤6: 对比分析获取的三维形貌数据和变截面筒体零件的三维模型, 确认数据缺失的区域, 移动测量装置扫描该区域, 直至获取完整数据。

5. 根据权利要求4所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法, 其特征在于: 步骤2中, 设直线电机位移量为 l , 第 i 测头液压杆伸缩量为 d_i , 则测头 i 的坐标系与其初始位置($l=0, d_i=0$)的转换关系可记为 $T_0^c(i)$, 其值由 l 和 d_i 的具体值决定; 而当 $l=0, d_i=0$ 时, 测头 i 的初始坐标系与主轴坐标系的转换关系 $T_m^0(i)$ 仅由其安装关系决定; 在标定板不动的情况下, 改变 l 和 d_i , 获得一组 $\{l, d_i\}$ 和标定板位姿的对应关系, 从而求解测头 i 相对于主轴的安装关系; 对于测头 i 测得的点云 $\{P_i\}$, 通过以下公式将其转换到主轴坐标系下

$$\{P_{iM}\} = T_m^0(i)T_0^c(i)\{P_i\}$$

其中 $T_m^0(i)$ 为定值, $T_0^c(i)$ 为1和 d_i 的函数,而整体点云 $\{P_M\} = \sum_i \{P_{iM}\}$ 。

6. 根据权利要求5所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,其特征在于:对于主测头, $l=0, d_1=0$ 时,拍摄标定板,获得标定板在相机坐标系下的位姿 $T_0^b(1)$,改变 $\{l, d_1\}$ 为 $\{l', d_1'\}$,得到新的位姿 $T_c^b(1)$,则标定板坐标系下,两个位置相机位姿的改变为 $T_c^b(1)T_0^b(1)^{-1}$,由于运动过程为纯平移而无旋转,位姿改变可用向量 $\Delta t = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 表示,同时,在主轴坐标系下,相机位姿的改变量为 $\Delta t_0 = (d_1' \cos \theta, d_1' \sin \theta, l')$,其中 θ 为液压杆相对主轴坐标系x轴的夹角;

Δt 和 Δt_0 是同一个向量在不同坐标系下的表示,可以计算旋转关系 $R_m^b(1) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$,由于标定板相对主轴位置不变,因此可在多次移动间构造等式,以类手眼标定的方法求解未知量,即

$$\begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0' \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

构建关于 θ 的方程,求解得到 θ ,此时仅得到 $R_m^b(1)$,还无法得到 $T_m^0(1)$ 即测头相对于主轴的完整安装关系,缺少平移向量 $t_m^b(1)$;将其视为变量,在进行测量时,由于相邻测头的视野存在重合,将各测头的测量数据转换到主轴坐标系下时候,重合区域的数据应当完全吻合,通过最佳拟合可得到 $t_m^b(i)$ 的取值。

7. 根据权利要求4所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,其特征在于:步骤3中首先固定变截面筒体零件和测量装置,使主轴在零件端头处于中心位置,然后试运行测量,若某一测头在测量过程中遇到无法测量的区域,则将主轴整体向该测头伸缩杆轴线的反方向平移,以使其能够在该区域进行测量。通过若干次调整,测量装置将可在全部行程中进行测量。

8. 根据权利要求4所述的一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,其特征在于:步骤5中具体调节方法为:根据测头的成像参数设置较近和较远两个阈值,在测量过程中,若激光线实时三维重建的点云中,有超过20%的点距坐标系原点的距离超过较远阈值,则将伸缩杆伸长,以减少测头到零件内壁的距离,使距离较远的点数下降到10%以内,较近点的调节以此类推。

一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置及方法

技术领域

[0001] 本申请属于航空制造零件检测技术领域,尤其涉及一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置及方法。

背景技术

[0002] 随着航空工业的快速发展,轻量化和整体化的复杂变截面筒体零件在现代航空制造工业中得到越来越多的应用,而对复杂变截面筒体零件三维形貌的精确测量是将产品原型转化为数字模型的基础,只有获得变截面筒体零件的三维信息才能实现对复杂曲面的评价和改进。所以对复杂变截面筒体零件三维形貌的测量至关重要。

[0003] 变截面筒体零件尺寸较大,内腔结构复杂,测量时需兼顾测量效率和内腔可测性的特点。传统的变截面筒体零件内腔的三维形貌测量根据测量方式的不同分为接触式测量与非接触式测量两大类。接触式测量方法如卡板测量和工装测量,其数据计算量大,且人工成本高,周期长。非接触式测量方法如激光跟踪仪测量和线激光扫描仪测量,激光跟踪仪测量时受限于变截面筒体零件内腔长度方向尺寸限制,需要不停地调整测量角度和人工手持靶球不断的选定测量位置,测量周期长、难度大,且对于小截面筒体零件内腔,人员无法进入操作,另外,对于线激光扫描仪测量,需要在零件内腔壁粘贴大量的标识点,人工手持线激光扫描仪进入零件内腔逐个区域测量,也存在操作困难,测量周期长等问题。

[0004] 现有相关改进的专利如专利申请号为200610046838.X,名称为《光学非接触式三维形状测量仪》的发明专利,其公开了一种利用激光技术对变截面厚度的物体截面形状测量的光学非接触式三维形状测量仪。包括机架、设于机架前部中心处的可在X轴及Y轴方向调整的二维移动台及设于二维移动台后部的横梁,其所述的横梁的两侧臂上相对设有线激光光源部,所述的横梁上固连两个长物距光学成像部,其光学轴线与线激光光源部的光学轴线成对称角度并在同一平面。

[0005] 但是上述专利由于其横梁上的线激光光源部和长物距光学成像部位置固定,仅能用于对物体外部截面形状的测量,无法实现对复杂变截面筒状零件内腔三维形貌的测量;并且上述测量仪进行测量时,还需通过二维移动平台的调整杆手动调整测量位置,效率相对较低。

发明内容

[0006] 本申请为了克服上述现有技术的缺陷,基于激光三角法原理提出了一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置及方法,可实现对该类零件内腔三维形貌的快速测量。

[0007] 为实现上述目的,本申请的技术方案如下:

[0008] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置,包括直线电机、多边形底座、测头和液压伸缩杆,所述测头包括激光器和相机,测头与液压伸缩杆为机械连接,液压伸缩杆均匀分布在多边形底座上,多边形底座与直线电机为滑动连接,液压伸缩杆上设置有基于激光三角法原理实现对变截面筒体内腔壁的三维形貌测量的测头,液压伸缩杆可随测头与变截

面筒体内腔壁的距离变化进行自动调节。

[0009] 进一步地,测头和液压伸缩杆通过外设计算机控制,液压杆的伸缩量通过编码器、位移传感器获得,通过测头读取测头与变截面筒状零件内腔的距离,当测头与变截面筒状零件内腔的距离超过设定阈值时,信号反馈至计算机,通过计算机控制液压伸缩杆的伸缩。

[0010] 进一步地,所述直线电机用于控制液压伸缩杆和测头的轴向移动和轴向位移,直线电机两端通过支撑架控制平直度。

[0011] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,包括以下步骤:

[0012] 步骤1:搭建变截面筒体零件内腔三维形貌测量装置,其包含多个沿直线电机径向均匀分布的测头,所有测头视野的集合能够覆盖变截面筒体零件内壁的径向截面。

[0013] 步骤2:标定所有测头的内部和外部参数。测头内部参数标定方法为现有方法,测头外部参数标定方法步骤如下:

[0014] 选定一个测头为主测头,使其位于初始位置,即径向上液压伸缩杆最短,轴向上处于直线电机一端时,使用标定板对其进行标定,并通过轴向和径向移动标定出其运动轴线,其中轴向轴线即为直线电机轴线,径向轴线即为液压伸缩杆轴线,以此轴线作为主轴坐标系的x轴,由此可获得该测头初始坐标系与主轴坐标系的转换关系;当测头进行测量时,所获得的数据首先根据测量时的轴向和径向位移转换到其初始坐标系下,再根据前述标定结果转换到主轴坐标系下。

[0015] 设直线电机位移量为 l ,第 i 测头液压杆伸缩量为 d_i ,则测头 i 的坐标系与其初始位置($l=0, d_i=0$)的转换关系可记为 $T_0^c(i)$,其值由 l 和 d_i 的具体值决定。而当 $l=0, d_i=0$ 时,测头 i 的初始坐标系与主轴坐标系的转换关系 $T_m^0(i)$ 仅由其安装关系决定。具体操作为,在标定板不动的情况下,改变 l 和 d_i ,获得一组 $\{l, d_i\}$ 和标定板位姿的对应关系,从而求解测头 i 相对于主轴的安装关系。

[0016] 例如,对于第1个测头(即主测头), $l=0, d_1=0$ 时,拍摄标定板,获得标定板在相机坐标系下的位姿 $T_0^b(1)$,改变 $\{l, d_1\}$ 为 $\{l', d_1'\}$,得到新的位姿 $T_c^b(1)$,则标定板坐标系下,两个位置相机位姿的改变为 $T_c^b(1)T_0^b(1)^{-1}$,由于运动过程为纯平移而无旋转,位姿改变可用向量 $\Delta t = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 表示,同时,在主轴坐标系下,相机位姿的改变量为 $\Delta t_0 = (d_1' \cos \theta, d_1' \sin \theta, l')$,其中 θ 为液压杆相对主轴坐标系x轴的夹角。

[0017] Δt 和 Δt_0 是同一个向量在不同坐标系下的表示,可以计算旋转关系

$R_m^b(1) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$,由于标定板相对主轴位置不变,因此可在多次移动间构造等式,以类似手眼标定的方法求解未知量,即

$$[0018] \quad \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0' \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

[0019] 构建关于 θ 的方程,求解得到 θ ,此时仅得到 $R_m^b(1)$,还无法得到 $T_m^0(1)$ 即测头相对于主轴的完整安装关系,缺少平移向量 $t_m^b(1)$ 。将其视为变量,在进行测量时,由于相邻测头的视野存在重合,将各测头的测量数据转换到主轴坐标系下时候,重合区域的数据应当完全吻合,通过最佳拟合可得到 $t_m^b(i)$ 的取值。

[0020] 由于测头之间存在一定夹角,对测头之间位置关系的标定需要特制标靶,难度较大。这种标定方法的优势在于,每次标定只需要对单一测头进行标定,而无需标定测头之间的位置关系。

[0021] 对于测头*i*测得的点云 $\{P_i\}$,通过以下公式将其转换到主轴坐标系下

$$[0022] \quad \{P_{im}\} = T_m^0(i)T_0^c(i)\{P_i\}$$

[0023] 其中 $T_m^0(i)$ 为定值, $T_0^c(i)$ 为1和 d_i 的函数,而整体点云 $\{P_M\} = \sum_i \{P_{im}\}$ 。

[0024] 步骤3:固定变截面筒体零件和测量装置,确保直线电机在变截面筒体内沿轴向移动时测头可在全部行程中进行测量。具体方法为:首先大致固定变截面筒体零件和测量装置,使主轴在零件端头处于中心位置,然后试运行测量,若某一测头在测量过程中遇到无法测量的区域(即液压杆伸缩量为0时测头仍然由于距离筒壁太近而无法测量),则将主轴整体向该测头伸缩杆轴线的反方向平移,以使其能够在该区域进行测量。通过若干次调整,测量装置将可在全部行程中进行测量。

[0025] 步骤4:测量装置从变截面筒体零件起始端面沿零件内腔轴向往零件终止端面移动,测头向变截面筒体零件内壁投线激光,测量区域遍历被测零件内壁全部表面。

[0026] 步骤5:测量装置在移动过程中,液压伸缩杆会根据测头与变截面筒体零件内壁的距离变化进行自动调节,确保测头与零件内壁的距离始终在合理的范围内。具体调节方法为:根据测头的成像参数设置较近和较远两个阈值,在测量过程中,若激光线实时三维重建的点云中,有超过20%的点距坐标系原点的距离超过较远阈值,则将伸缩杆伸长,以减少测头到零件内壁的距离,使距离较远的点数下降到10%以内,较近点的调节以此类推。这种方法的好处在于,伸缩杆的伸长和缩短不是持续进行的,而是分段进行的,在伸缩杆长度不发生变化的区间内,点云的坐标转换仅与1有关,计算简单。

[0027] 测头依据其内部和外部参数和拍摄到的激光线图像,对该激光线进行实时三维重建,并根据全部测头的内外部参数,将三维数据转换到同一的坐标系下。

[0028] 步骤6:对比分析获取的三维形貌数据和变截面筒体零件的三维模型,确认数据缺失的区域,移动测量装置扫描该区域,直至获取完整数据。

[0029] 本申请的有益效果是:

[0030] 1、本申请的测量装置基于激光三角法原理,通过液压伸缩杆自动调节测头与零件内腔壁的距离,可以获得清晰的三维形貌,测量过程均为自动化测量,测量效率高。

[0031] 2、测量数据的坐标系由固定的主轴坐标系决定,通过标定板将不同测头的数据坐标系均标定在主轴坐标系中,不同测头的的数据位于相同的固定坐标系,降低了数据处理的难度。

附图说明

[0032] 图1为变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置。

[0033] 图2为变截面筒体零件内腔三维形貌测量过程示意图。

[0034] 图3为液压伸缩杆收缩过程示意图。

[0035] 图4为测头外部参数标定过程示意图。

[0036] 包括:1-直线电机,2-多边形底座,3-测头,4-激光器,5-相机,6-液压伸缩杆,7-测

量区域,8-零件内壁,9-相机坐标系I,10-机坐标系0,11-标定板,12-直线电机主轴坐标系

具体实施方式

[0037] 实施例1

[0038] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置,包括直线电机、多边形底座、测头和液压伸缩杆,所述测头包括激光器和相机,测头与液压伸缩杆为机械连接,液压伸缩杆均匀分布在多边形底座上,多边形底座与直线电机为滑动连接,液压伸缩杆上设置有基于激光三角法原理实现对变截面筒体内腔壁的三维形貌测量的测头,液压伸缩杆可随测头与变截面筒体内腔壁的距离变化进行自动调节。

[0039] 测头和液压伸缩杆通过外设计算机控制,液压杆的伸缩量通过编码器、位移传感器获得,通过测头读取测头与变截面筒状零件内腔的距离,当测头与变截面筒状零件内腔的距离超过设定阈值时,信号反馈至计算机,通过计算机控制液压伸缩杆的伸缩。直线电机用于控制液压伸缩杆和测头的轴向移动和轴向位移,直线电机两端通过支撑架控制平直度。

[0040] 测量装置基于激光三角法原理,通过液压伸缩杆自动调节测头与零件内腔壁的距离,可以获得清晰的三维形貌,测量过程均为自动化测量,测量效率高。

[0041] 实施例2

[0042] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,包括以下步骤:

[0043] 步骤1:搭建变截面筒体零件内腔三维形貌测量装置,其包含多个沿直线电机径向均匀分布的测头,所有测头视野的集合能够覆盖变截面筒体零件内壁的径向截面。

[0044] 步骤2:标定所有测头的内部和外部参数。测头内部参数标定方法为现有方法,测头外部参数标定方法步骤如下:

[0045] 选定一个测头为主测头,使其位于初始位置,即径向上液压伸缩杆最短,轴向上处于直线电机一端时,使用标定板对其进行标定,并通过轴向和径向移动标定出其运动轴线,其中轴向轴线即为直线电机轴线,径向轴线即为液压伸缩杆轴线,以此轴线作为主轴坐标系的x轴,由此可获得该测头初始坐标系与主轴坐标系的转换关系;当测头进行测量时,所获得的数据首先根据测量时的轴向和径向位移转换到其初始坐标系下,再根据前述标定结果转换到主轴坐标系下。

[0046] 设直线电机位移量为 l ,第 i 测头液压杆伸缩量为 d_i ,则测头 i 的坐标系与其初始位置($l=0, d_i=0$)的转换关系可记为 $T_0^c(i)$,其值由 l 和 d_i 的具体值决定。而当 $l=0, d_i=0$ 时,测头 i 的初始坐标系与主轴坐标系的转换关系 $T_m^0(i)$ 仅由其安装关系决定。具体操作为,在标定板不动的情况下,改变 l 和 d_i ,获得一组 $\{l, d_i\}$ 和标定板位姿的对应关系,从而求解测头 i 相对于主轴的安装关系。

[0047] 例如,对于第1个测头(即主测头), $l=0, d_1=0$ 时,拍摄标定板,获得标定板在相机坐标系下的位姿 $T_0^b(1)$,改变 $\{l, d_1\}$ 为 $\{l', d_1'\}$,得到新的位姿 $T_c^b(1)$,则标定板坐标系下,两个位置相机位姿的改变为 $T_c^b(1)T_0^b(1)^{-1}$,由于运动过程为纯平移而无旋转,位姿改变可用向量 $\Delta t = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 表示,同时,在主轴坐标系下,相机位姿的改变量为 $\Delta t_0 = (d_1' \cos \theta, d_1' \sin \theta, l')$,其中 θ 为液压杆相对主轴坐标系x轴的夹角。

[0048] Δt 和 Δt_0 是同一个向量在不同坐标系下的表示, 可以计算旋转关系 $R_m^b(1) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$, 由于标定板相对主轴位置不变, 因此可在多次移动间构造等式, 以类手眼标定的方法求解未知量, 即

$$[0049] \quad \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0' \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

[0050] 构建关于 θ 的方程, 求解得到 θ , 此时仅得到 $R_m^b(1)$, 还无法得到 $T_m^0(1)$ 即测头相对于主轴的完整安装关系, 缺少平移向量 $t_m^b(1)$ 。将其视为变量, 在进行测量时, 由于相邻测头的视野存在重合, 将各测头的测量数据转换到主轴坐标系下时候, 重合区域的数据应当完全吻合, 通过最佳拟合可得到 $t_m^b(i)$ 的取值。

[0051] 由于测头之间存在一定夹角, 对测头之间位置关系的标定需要特制标靶, 难度较大。这种标定方法的优势在于, 每次标定只需要对单一测头进行标定, 而无需标定测头之间的位置关系。

[0052] 对于测头 i 测得的点云 $\{P_i\}$, 通过以下公式将其转换到主轴坐标系下

$$[0053] \quad \{P_{im}\} = T_m^0(i) T_0^c(i) \{P_i\}$$

[0054] 其中 $T_m^0(i)$ 为定值, $T_0^c(i)$ 为 1 和 d_i 的函数, 而整体点云 $\{P_M\} = \sum_i \{P_{im}\}$ 。

[0055] 步骤3: 固定变截面筒体零件和测量装置, 确保直线电机在变截面筒体内沿轴向移动时测头可在全部行程中进行测量。具体方法为: 首先大致固定变截面筒体零件和测量装置, 使主轴在零件端头处于中心位置, 然后试运行测量, 若某一测头在测量过程中遇到无法测量的区域 (即液压杆伸缩量为 0 时测头仍然由于距离筒壁太近而无法测量), 则将主轴整体向该测头伸缩杆轴线的反方向平移, 以使其能够在该区域进行测量。通过若干次调整, 测量装置将可在全部行程中进行测量。

[0056] 步骤4: 测量装置从变截面筒体零件起始端面沿零件内腔轴向往零件终止端面移动, 测头向变截面筒体零件内壁投线激光, 测量区域遍历被测零件内壁全部表面。

[0057] 步骤5: 测量装置在移动过程中, 液压伸缩杆会根据测头与变截面筒体零件内壁的距离变化进行自动调节, 确保测头与零件内壁的距离始终在合理的范围内。具体调节方法为: 根据测头的成像参数设置较近和较远两个阈值, 在测量过程中, 若激光线实时三维重建的点云中, 有超过 20% 的点距坐标系原点的距离超过较远阈值, 则将伸缩杆伸长, 以减少测头到零件内壁的距离, 使距离较远的点数下降到 10% 以内, 较近点的调节以此类推。这种方法的好处在于, 伸缩杆的伸长和缩短不是持续进行的, 而是分段进行的, 在伸缩杆长度不发生变化的区间内, 点云的坐标转换仅与 1 有关, 计算简单。

[0058] 测头依据其内部和外部参数和拍摄到的激光线图像, 对该激光线进行实时三维重建, 并根据全部测头的内外部参数, 将三维数据转换到同一的坐标系下。

[0059] 步骤6: 对比分析获取的三维形貌数据和变截面筒体零件的三维模型, 确认数据缺失的区域, 移动测量装置扫描该区域, 直至获取完整数据。

[0060] 测量装置基于激光三角法原理, 通过液压伸缩杆自动调节测头与零件内腔壁的距离, 可以获得清晰的三维形貌, 测量过程均为自动化测量, 测量效率高。测量数据的坐标系

由固定的主轴坐标系决定,通过标定板将不同测头的数据坐标系均标定在主轴坐标系中,不同测头的的数据位于相同的固定坐标系,降低了数据处理的难度。

[0061] 实施例3

[0062] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌测量装置,包括直线电机、多边形底座、测头和液压伸缩杆,所述测头包括激光器和相机,测头与液压伸缩杆为机械连接,液压伸缩杆均匀分布在多边形底座上,多边形底座与直线电机为滑动连接,液压伸缩杆上设置有基于激光三角法原理实现对变截面筒体内腔壁的三维形貌测量的测头,液压伸缩杆可随测头与变截面筒体内腔壁的距离变化进行自动调节。

[0063] 进一步地,测头和液压伸缩杆通过外设计算机控制,液压杆的伸缩量通过编码器、位移传感器获得,通过测头读取测头与变截面筒状零件内腔的距离,当测头与变截面筒状零件内腔的距离超过设定阈值时,信号反馈至计算机,通过计算机控制液压伸缩杆的伸缩。

[0064] 进一步地,所述直线电机用于控制液压伸缩杆和测头的轴向移动和轴向位移,直线电机两端通过支撑架控制平直度。

[0065] 一种变截面筒状零件内腔三维形貌的测量方法,包括以下步骤:

[0066] 步骤1:搭建变截面筒体零件内腔三维形貌测量装置,其包含多个沿直线电机径向均匀分布的测头,所有测头视野的集合能够覆盖变截面筒体零件内壁的径向截面。

[0067] 步骤2:标定所有测头的内部和外部参数。测头内部参数标定方法为现有方法,测头外部参数标定方法步骤如下:

[0068] 选定一个测头为主测头,使其位于初始位置,即径向上液压伸缩杆最短,轴向上处于直线电机一端时,使用标定板对其进行标定,并通过轴向和径向移动标定出其运动轴线,其中轴向轴线即为直线电机轴线,径向轴线即为液压伸缩杆轴线,以此轴线作为主轴坐标系的x轴,由此可获得该测头初始坐标系与主轴坐标系的转换关系;当测头进行测量时,所获得的数据首先根据测量时的轴向和径向位移转换到其初始坐标系下,再根据前述标定结果转换到主轴坐标系下。

[0069] 设直线电机位移量为 l ,第 i 测头液压杆伸缩量为 d_i ,则测头 i 的坐标系与其初始位置($l=0, d_i=0$)的转换关系可记为 $T_0^c(i)$,其值由 l 和 d_i 的具体值决定。而当 $l=0, d_i=0$ 时,测头 i 的初始坐标系与主轴坐标系的转换关系 $T_m^0(i)$ 仅由其安装关系决定。具体操作为,在标定板不动的情况下,改变 l 和 d_i ,获得一组 $\{l, d_i\}$ 和标定板位姿的对应关系,从而求解测头 i 相对于主轴的安装关系。

[0070] 例如,对于第1个测头(即主测头), $l=0, d_1=0$ 时,拍摄标定板,获得标定板在相机坐标系下的位姿 $T_0^b(1)$,改变 $\{l, d_1\}$ 为 $\{l', d_1'\}$,得到新的位姿 $T_c^b(1)$,则标定板坐标系下,两个位置相机位姿的改变为 $T_c^b(1)T_0^b(1)^{-1}$,由于运动过程为纯平移而无旋转,位姿改变可用向量 $\Delta t = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 表示,同时,在主轴坐标系下,相机位姿的改变量为 $\Delta t_0 = (d_1' \cos \theta, d_1' \sin \theta, l')$,其中 θ 为液压杆相对主轴坐标系x轴的夹角。

[0071] Δt 和 Δt_0 是同一个向量在不同坐标系下的表示,可以计算旋转关系

$R_m^b(1) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$,由于标定板相对主轴位置不变,因此可在多次移动间构造等式,以类似手眼标定的方法求解未知量,即

$$[0072] \quad \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_0' \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

[0073] 构建关于 θ 的方程,求解得到 θ ,此时仅得到 $R_m^b(1)$,还无法得到 $T_m^0(1)$ 即测头相对于主轴的完整安装关系,缺少平移向量 $t_m^b(1)$ 。将其视为变量,在进行测量时,由于相邻测头的视野存在重合,将各测头的测量数据转换到主轴坐标系下时候,重合区域的数据应当完全吻合,通过最佳拟合可得到 $t_m^b(i)$ 的取值。

[0074] 由于测头之间存在一定夹角,对测头之间位置关系的标定需要特制标靶,难度较大。这种标定方法的优势在于,每次标定只需要对单一测头进行标定,而无需标定测头之间的位置关系。

[0075] 对于测头 i 测得的点云 $\{P_i\}$,通过以下公式将其转换到主轴坐标系下

$$[0076] \quad \{P_{im}\} = T_m^0(i)T_0^c(i)\{P_i\}$$

[0077] 其中 $T_m^0(i)$ 为定值, $T_0^c(i)$ 为 l 和 d_i 的函数,而整体点云 $\{P_M\} = \sum_i \{P_{im}\}$ 。

[0078] 步骤3:固定变截面筒体零件和测量装置,确保直线电机在变截面筒体内沿轴向移动时测头可在全部行程中进行测量。具体方法为:首先大致固定变截面筒体零件和测量装置,使主轴在零件端头处于中心位置,然后试运行测量,若某一测头在测量过程中遇到无法测量的区域(即液压杆伸缩量为0时测头仍然由于距离筒壁太近而无法测量),则将主轴整体向该测头伸缩杆轴线的反方向平移,以使其能够在该区域进行测量。通过若干次调整,测量装置将可在全部行程中进行测量。

[0079] 步骤4:测量装置从变截面筒体零件起始端面沿零件内腔轴向往零件终止端面移动,测头向变截面筒体零件内壁投线激光,测量区域遍历被测零件内壁全部表面。

[0080] 步骤5:测量装置在移动过程中,液压伸缩杆会根据测头与变截面筒体零件内壁的距离变化进行自动调节,确保测头与零件内壁的距离始终在合理的范围内。具体调节方法为:根据测头的成像参数设置较近和较远两个阈值,在测量过程中,若激光线实时三维重建的点云中,有超过20%的点距坐标系原点的距离超过较远阈值,则将伸缩杆伸长,以减少测头到零件内壁的距离,使距离较远的点数下降到10%以内,较近点的调节以此类推。这种方法的好处在于,伸缩杆的伸长和缩短不是持续进行的,而是分段进行的,在伸缩杆长度不发生变化的区间内,点云的坐标转换仅与 l 有关,计算简单。

[0081] 测头依据其内部和外部参数和拍摄到的激光线图像,对该激光线进行实时三维重建,并根据全部测头的内外部参数,将三维数据转换到同一的坐标系下。

[0082] 步骤6:对比分析获取的三维形貌数据和变截面筒体零件的三维模型,确认数据缺失的区域,移动测量装置扫描该区域,直至获取完整数据。

[0083] 测量装置基于激光三角法原理,通过液压伸缩杆自动调节测头与零件内腔壁的距离,可以获得清晰的三维形貌,测量过程均为自动化测量,测量效率高。测量数据的坐标系由固定的主轴坐标系决定,通过标定板将不同测头的的数据坐标系均标定在主轴坐标系中,不同测头的的数据位于相同的固定坐标系,降低了数据处理的难度。

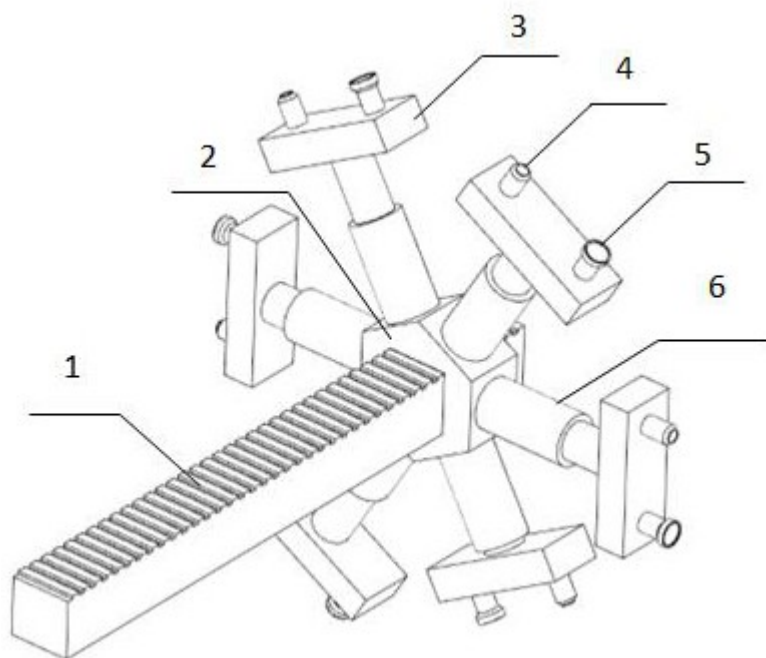


图1

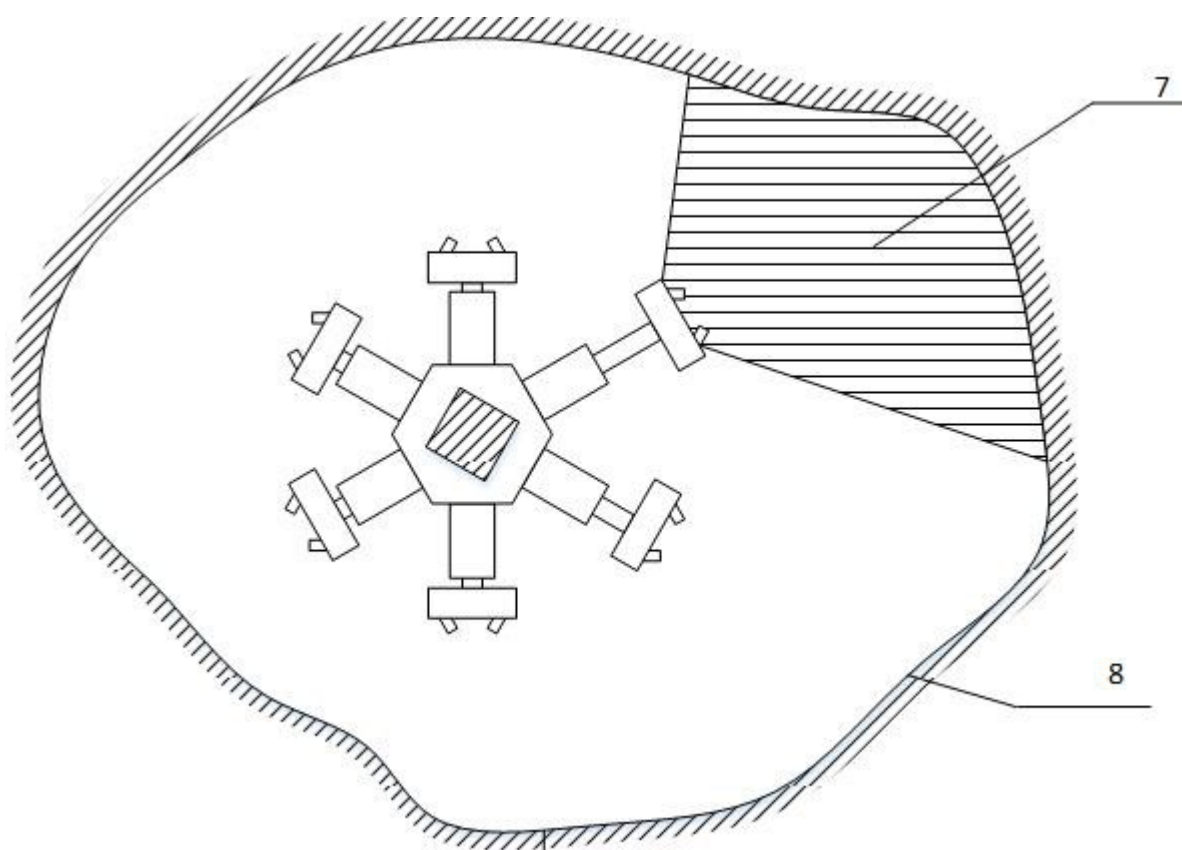


图2

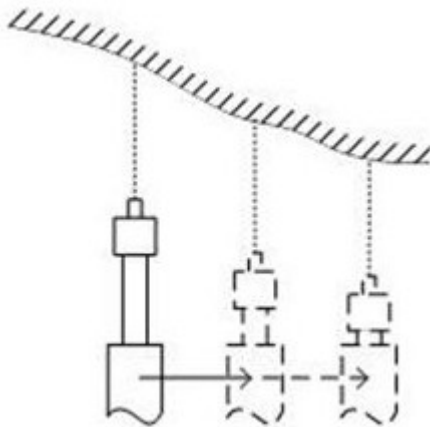


图3

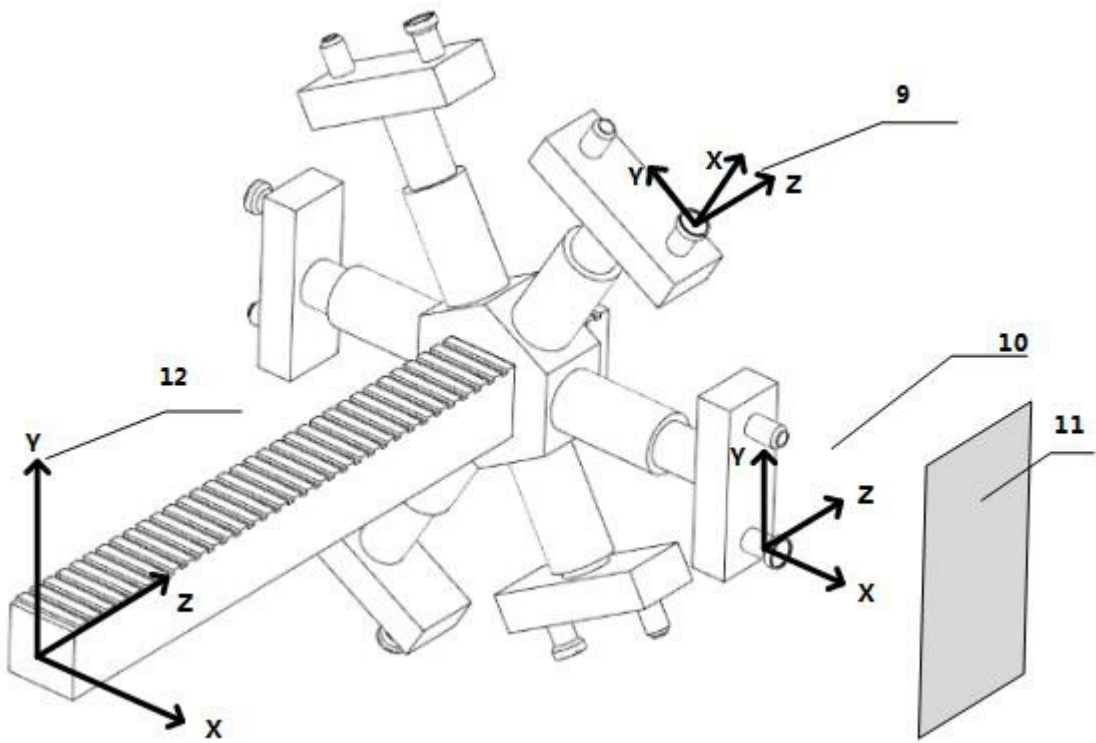


图4