



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109357631 A

(43)申请公布日 2019.02.19

(21)申请号 201811459122.1

(22)申请日 2018.11.30

(71)申请人 厦门大学

地址 361005 福建省厦门市思明南路422号

(72)发明人 姚斌 卢杰 蔡志钦 马晓帆

曹新城 李阳 郑清

(74)专利代理机构 厦门南强之路专利事务所

(普通合伙) 35200

代理人 马应森

(51)Int.Cl.

G01B 11/24(2006.01)

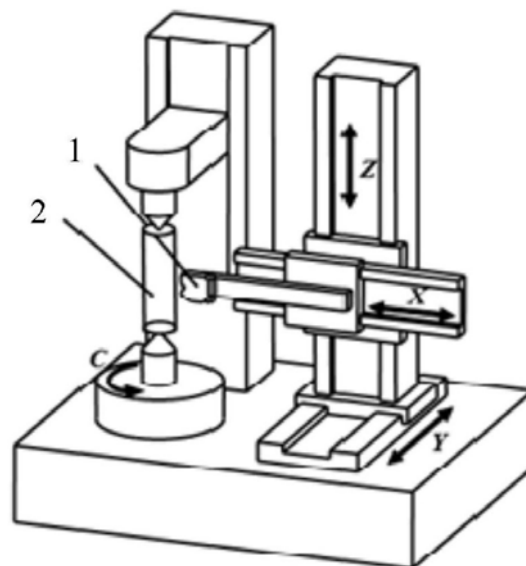
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于激光位移传感器的测量系统中心
标定方法

(57)摘要

一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,涉及光学精密检测领域。搭建四坐标激光测量系统平台,将激光位移传感器与现有四坐标测量系统相结合,成为四坐标激光测量系统,该四坐标激光测量系统包括直线轴X轴、Y轴、Z轴以及回转轴C轴,激光位移传感器安装在X轴末端;分析激光位移传感器误差校对的因素;求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系;激光位移传感器测量误差校对实验;标准棒圆心测量;四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析。



1. 一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 搭建四坐标激光测量系统平台,将激光位移传感器与现有四坐标测量系统相结合,成为四坐标激光测量系统,该四坐标激光测量系统包括直线轴X轴、Y轴、Z轴以及回转轴C轴,激光位移传感器安装在X轴末端;

2) 分析激光位移传感器误差校对的因素;

3) 求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系;

4) 激光位移传感器测量误差校对实验;

5) 标准棒圆心测量;

6) 四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析。

2. 如权利要求1所述一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于在步骤2)中,所述分析激光位移传感器误差校对的因素的具体方法为:根据激光三角法的测距原理,对激光位移传感器进行入射倾角、入射转角以及入射摆角三个测量位姿参数的误差因素进行分析。

3. 如权利要求1所述一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于在步骤3)中,所述求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系的具体方法为:通过几何模型和角度公式,将入射摆角转换成一定关系的入射转角和入射倾角,即通过建立入射倾角与转角误差模型,得到入射摆角误差模型。

4. 如权利要求1所述一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于在步骤4)中,所述激光位移传感器测量误差校对实验的具体方法为:搭建激光位移传感器测量误差校对的实验装置,分别对入射倾角为 $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$,入射转角为 $0^{\circ} \sim \pm 180^{\circ}$,测量深度在 $-10\text{mm} \sim 10\text{mm}$ 之间进行激光位移传感器误差校对,并建立入射倾角、入射转角、测量深度以及测量误差的激光位移传感器四维误差模型图。

5. 如权利要求1所述一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于在步骤5)中,所述标准棒圆心为四坐标测量系统中心,标准棒圆心测量的具体方法为:利用标准棒的圆心标定进行四坐标激光测量系统的中心标定,令点激光传感器测量平面和标准棒轴向方向垂直,点激光传感器在测量范围内横向扫描,以激光位移传感器测量值与Y轴光栅值作为测量值;根据该测量状态下激光位移传感器在各测量点位置的入射倾角、入射转角及入射摆角,通过激光位移传感器四维误差模型对激光位移传感器测量进行误差补偿。

6. 如权利要求1所述一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法,其特征在于在步骤6)中,所述四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析的具体方法为:利用最小二乘法分别对补偿前各点的坐标值和补偿后各点坐标值进行拟合求解标准棒圆心坐标和半径,并与标准棒的实际半径进行对比分析。

一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学精密检测领域,尤其是涉及一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法。

背景技术

[0002] 激光三角测距法作为一种比较成熟的非接触式测量位移方法,具有测量精度高、抗干扰能力强、结构简单和使用灵活等优点,被广泛应用于实际工业生产现场。随着该测量方法与现有高精度测量系统的融合,使激光三角测距传感器实现工件的高精度测量成为可能。由激光三角测距的原理可知,激光三角法测量的误差因素主要有:1)成像系统误差,主要受横向放大倍率和物镜畸变的影响;2)数据处理误差和系统安装误差;3)温度、湿度等环境因素误差;4)测量位姿引起的误差;主要包括被测表面颜色、粗糙度、入射倾角、入射转角、入射摆角等误差因素引起的位移值偏离误差。其中对于现有激光位移传感器而言,其数据的处理误差、系统安装误差、物镜畸变率、温度及湿度等环境因素均得到较高的控制。因此,影响激光三角测距精度的主要误差因素为测量位姿引入的误差。

[0003] 参考文献1~3中的激光位移传感器标定方法,这些研究在对激光束的标定过程中,并未考虑入射倾角、入射转角、入射摆角等对测量精度的影响,这影响了激光测量系统的中心标定精度和后续的检测精度。

[0004] 参考文献:

[0005] [1]Hang,G.X.,Na,Y.L.,Guo,J.B.,A new optical noncontact probe with four incidence light sand a receptor,Nanotechnology and Precision Engineering 4(1),54-57(2006)。

[0006] [2]Zhou,H.C.,Zeng,L.Z.,Chen,J.H.,Calibration of light beam's direction of point light source probe,Chinese Journal of Scientific Instrument25(3),388-391(2004)。

[0007] [3]Lu,K.Q.,Wang,W.,Chen,Z.C.,Calibration of laser beam-direction for point laser sensors,Optics and Precision Engineering18(4),880-886(2010)。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种基于激光位移传感器的测量系统中心标定方法。

[0009] 本发明包括以下步骤:

[0010] 1)搭建四坐标激光测量系统平台,将激光位移传感器与现有四坐标测量系统相结合,成为四坐标激光测量系统,该四坐标激光测量系统包括直线轴X轴、Y轴、Z轴以及回转轴C轴,激光位移传感器安装在X轴末端;

[0011] 2)分析激光位移传感器误差校对的因素;

[0012] 在步骤2)中,所述分析激光位移传感器误差校对的因素的具体方法可为:根据激光三角法的测距原理,对激光位移传感器进行入射倾角、入射转角以及入射摆角三个测量

位姿参数的误差因素进行分析。

[0013] 3) 求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系;

[0014] 在步骤3)中,所述求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系的具体方法可为:通过几何模型和角度公式,可将入射摆角转换成一定关系的入射转角和入射倾角,即可通过建立入射倾角与转角误差模型,得到入射摆角误差模型。

[0015] 4) 激光位移传感器测量误差校对实验;

[0016] 在步骤4)中,所述激光位移传感器测量误差校对实验的具体方法可为:搭建激光位移传感器测量误差校对的实验装置,分别对入射倾角为 $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$,入射转角为 $0^{\circ} \sim \pm 180^{\circ}$,测量深度在 $-10\text{mm} \sim 10\text{mm}$ 之间进行激光位移传感器误差校对,并建立入射倾角、入射转角、测量深度以及测量误差的激光位移传感器四维误差模型图。

[0017] 5) 标准棒圆心测量;

[0018] 在步骤5)中,所述标准棒圆心为四坐标测量系统中心,标准棒圆心测量的具体方法可为:利用标准棒的圆心标定进行四坐标激光测量系统的中心标定,令点激光传感器测量平面和标准棒轴向方向垂直,点激光传感器在测量范围内横向扫描,以激光位移传感器测量值与Y轴光栅值作为测量值;根据该测量状态下激光位移传感器在各测量点位置的入射倾角、入射转角及入射摆角,通过激光位移传感器四维误差模型对激光位移传感器测量进行误差补偿。

[0019] 6) 四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析。

[0020] 在步骤6)中,所述四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析的具体方法可为:利用最小二乘法分别对补偿前各点的坐标值和补偿后各点坐标值进行拟合求解标准棒圆心坐标和半径,并与标准棒的实际半径进行对比分析。

[0021] 相比于现有的激光测量系统中心标定方法,本发明具有以下突出的技术效果:

[0022] (1) 建立激光位移传感器测量物面的入射倾角、入射转角和入射偏角等被测物面几何特性的数学模型,并结合实验分析这些参数对测量精度的影响,建立基于激光测量系统的自由曲面四维误差补偿模型。

[0023] (2) 将激光位移传感器与现有四坐标测量系统相结合,成为四坐标激光测量系统,通过控制各轴运动,扫描测量中心标准棒,提取各轴光栅信号值和激光值。

[0024] (3) 求解激光位移传感器在测量过程中的各点入射倾角、入射转角和入射偏角,并利用四维误差补偿模型对测量激光值进行补偿,通过最小二乘法拟合出标准棒的中心位置及半径。通过本发明的方法,可快速且精确的对四坐标激光测量系统进行中心标定。

附图说明

[0025] 图1为四坐标激光测量系统示意图(激光位移传感器1、标准棒2)

[0026] 图2为误差实验原理图(激光位移传感器1、分度盘3、量块4、正弦规5)。

[0027] 图3为入射倾角、入射转角及入射摆角关系图。

[0028] 图4为激光位移传感器误差校对的实验装置组成示意图(激光位移传感器1、分度盘3、标准量块4、正弦规5、六自由度调整架6、光路组件7、数控加工中心8、激光干涉仪9和计算机10)。

[0029] 图5为激光位移传感器四维误差模型图。

[0030] 图6为激光位移传感器测量标准棒示意图(激光位移传感器1、标准棒2)。

[0031] 图7为激光位移传感器测量因素的变化规律图。

具体实施方式

[0032] 以下实施例将结合附图对本发明作进一步的说明。

[0033] 本发明实施例包括以下步骤：

[0034] 1、搭建四坐标激光测量系统平台

[0035] 本发明的基于激光位移传感器的测量中心为四坐标测量仪,如图1所示,四坐标测量仪包括直线轴X轴、Y轴、Z轴以及回转轴C轴,激光位移传感器1安装在X轴末端,随着三个移动轴进行空间移动,标准棒2用顶尖固定在回转C轴上,进行360°旋转运动。各轴采用雷尼绍光栅进行信号反馈定位,采用基恩士LK—H050激光位移传感器作为激光测头。

[0036] 2、分析激光位移传感器误差校对的因素

[0037] 如图2所示,根据激光三角法的测距原理,需要对激光位移传感器1进行入射倾角、入射转角以及入射摆角三个测量位姿参数的误差校对实验。在O-XYZ坐标系上,AB为正弦规5长度,BC代表标准量块4的高度,则正弦规5的倾斜角度 α 可以通过调整标准量块4的高度来获得,即在 $\triangle ABC$ 中:

$$[0038] \quad BC = AB \cdot \sin \alpha$$

[0039] 由式可知,正弦规5不变,通过选取不同高度标准量块4进行组合,即可搭建出一定的入射倾角。P点为物面测量点,PN为物面法向,EP代表入射光束,PF为激光三角法接收光束,则 $\triangle EPF$ 代表激光位移传感器1测量平面,在XOZ平面上,定义入射光束EP与接收光束PF在物面法向PN异侧时(即倾斜方向对应于激光位移传感器1的光束接收面),正弦规5的角度为正,同侧(即倾斜方向相反于激光位移传感器1的光束接收面)则为负。在YOZ平面上,定义入射光束EP与Z轴的夹角 γ 为入射摆角,其中Y轴方向为正,反之为负。在XOY平面上,定义入射光束点E'与接收光束点F'组成的连线与X轴的夹角 β 为入射转角,当测量平面 $\triangle EPF$ 与倾斜面 $\triangle ABC$ 共面且倾斜方向对应于激光位移传感器1的光束接收面时,夹角 β 为0°,逆时针为正,顺时针为负,由分度盘3进行控制。

[0040] 3、求解入射倾角和入射转角两个角与入射摆角关系

[0041] 如图3所示,测量平面 $\triangle EPF$ 与截面 $\triangle ABC$ 共面,建立O-XYZ坐标系,Z轴与入射光PE重合,X轴与AC重合,入射光与P点法向夹角 α ,为则P点法向为:

$$[0042] \quad \mathbf{PN} = [1 \ 0 \ \tan \alpha]$$

[0043] 测量平面 $\triangle EPF$ 绕X旋转角度 γ ,得到测量平面 $\triangle E'PF'$,由物面法向PN和E'确定旋转后的入射倾角 α' ,且平面 $\triangle E'PF'$ 与截面 $\triangle A'B'C'$ 共面,建立坐标系O-X'Y'Z',Z'轴与E'P重合,X'轴与A'C'重合,则在O-X'Y'Z'坐标系下P点法向为:

$$[0044] \quad \mathbf{PN} = \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) & 0 \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos(\gamma) \\ -x \sin(\gamma) \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos(\gamma) \\ -x \sin(\gamma) \\ x \tan(\alpha) \end{bmatrix}$$

[0045] 倾角 α' 为:

$$[0046] \quad \alpha' = \arccos\left(\frac{|\mathbf{PN}| |\mathbf{PE}|}{\mathbf{PN} \cdot \mathbf{PE}}\right) = \arccos\left(\frac{\cos \gamma}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}\right)$$

[0047] 则测量平面 $\triangle E'PF'$ 与截面 $\triangle A'B'C'$ 共面的夹角 β' 即为旋转后的入射转角。

[0048] 其中 PNX_1 面法向量可写为：

$$[0049] \quad \mathbf{n} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\tan \alpha}{\sin \gamma} & 1 \end{bmatrix}$$

[0050] 则：

$$[0051] \quad \beta' = \arccos\left(\frac{|\mathbf{n}| |\mathbf{OY}_1|}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{OY}_1}\right) = \arccos\left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{\sin^2 \gamma + \tan^2 \alpha}}\right)$$

[0052] 由式可知,可将入射摆角转换成一定关系的入射转角和入射倾角,要想求解入射摆角误差模型,即可通过建立入射倾角与转角误差模型,得到入射摆角误差模型。

[0053] 4、激光位移传感器测量误差校对实验

[0054] 参见图4激光位移传感器测量误差校对的实验装置的结构组成示意图,所述激光位移传感器测量误差校对的实验装置设有激光位移传感器1、分度盘3、标准量块4、正弦规5、六自由度调整架6、光路组件7、数控加工中心8、激光干涉仪9和计算机10;所述激光干涉仪9和光路组件7由磁力表架固定在数控加工中心8的Z轴和工作台上,Z轴可通过数控系统控制进行移动;六自由度调整架6安装在数控加工中心8的Z轴上,分度盘3安装在工作台上,所述正弦规5放置在激光位移传感器1正下方的分度盘3上,可随分度盘3进行转角的旋转,入射倾角由正弦规5、标准量块4搭建,通过调整标准量块4的高度达到调整入射倾角大小的目的,通过调整旋转分度盘3和六自由度调整架6调整入射转角、入射摆角的大小。

[0055] 本发明分别对入射倾角为 $-45^\circ \sim 45^\circ$,入射转角为 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$,测量深度在 $-10\text{mm} \sim 10\text{mm}$ 之间进行激光位移传感器误差校对,并建立入射倾角、入射转角、测量深度以及测量误差的激光位移传感器四维误差模型图,如图5所示。

[0056] 5、标准棒圆心(四坐标测量系统中心)测量

[0057] 本发明以标准棒(直径为 50mm ,误差 $\pm 1\mu\text{m}$)的圆心标定为例,进行四坐标测量系统的中心标定,如图6所示为激光位移传感器测量标准棒示意图,激光位移传感器1测量平面和标准棒2轴向方向垂直,激光位移传感器1在测量范围内横向扫描,以激光位移传感器1测量值与Y轴光栅值作为测量值。求解当前测量状态下激光位移传感器1在各测量点位置的入射倾角、入射转角及入射摆角,如图7为激光位移传感器1测量因素的变化规律图,通过激光位移传感器1四维误差模型即可查找对激光位移传感器1测量各点进行误差补偿。

[0058] 通过上下顶尖将标准棒放置四坐标激光测量系统旋转轴上,保持标准棒轴线与C轴重合,激光位移传感器1安装于测量中心X轴上,激光位移传感器1测量平面和标准棒2轴向方向垂直,控制Y轴,使得激光位移传感器1进行横向运动,间隔 2mm 左右分别采集20组数据点。

[0059] 6、四坐标激光测量系统的中心坐标及误差补偿分析

[0060] 通过激光位移传感器四维误差模型对各点测量值进行误差补偿,激光测量值及补偿表如表1所示。

[0061] 表1

[0062]

激光值(补偿前)	激光值(补偿后)	Y轴光栅值
-4.273	-4.338	81.414

-1.878	-1.901	79.413
0.007	0.007	77.414
1.527	1.544	75.413
2.772	2.797	73.413
3.776	3.802	71.411
4.561	4.590	69.419
5.177	5.199	67.418
5.58	5.465	65.418
5.833	5.839	63.411
5.944	5.946	61.412
5.887	5.884	59.415
5.651	5.640	57.412
5.26	5.244	55.416
4.687	4.667	53.415
3.931	3.914	51.414
2.969	2.949	49.417
1.784	1.769	47.417
0.294	0.291	45.413
-1.536	-1.513	43.417

[0063] 激光位移传感器测量值即为X轴的坐标值,Y轴光栅值即为Y轴坐标值,利用最小二乘法分别对补偿前各点的坐标值和补偿后各点坐标值进行拟合求解标准棒圆心坐标和半径,补偿前圆心坐标和半径分别为(176.416,-108.850)、25.014mm,补偿后为(176.418,108.832)、25.0021mm.对比标准棒的实际半径25mm(误差 $\pm 1\mu\text{m}$),可知补偿前误差为 $14\mu\text{m}$,补偿后误差在 $2.1\mu\text{m}$ 。补偿前存在较大的误差,这说明激光测量系统受外界因素的影响较大。利用激光位移传感器四维误差模型补偿后,拟合得到的标准棒半径更加接近真实值,则标定中心精度亦更加精确;因此本发明可以快速且精确的对四坐标测量系统进行中心标定。

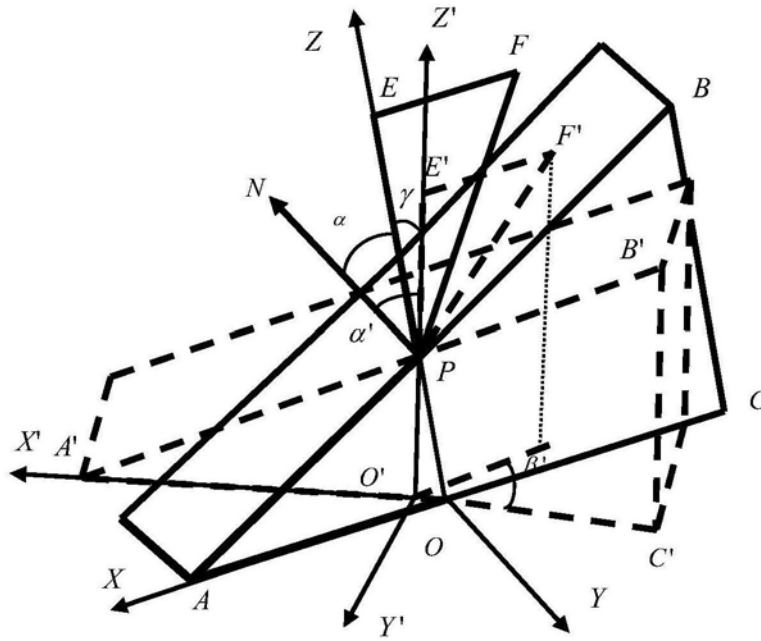


图3

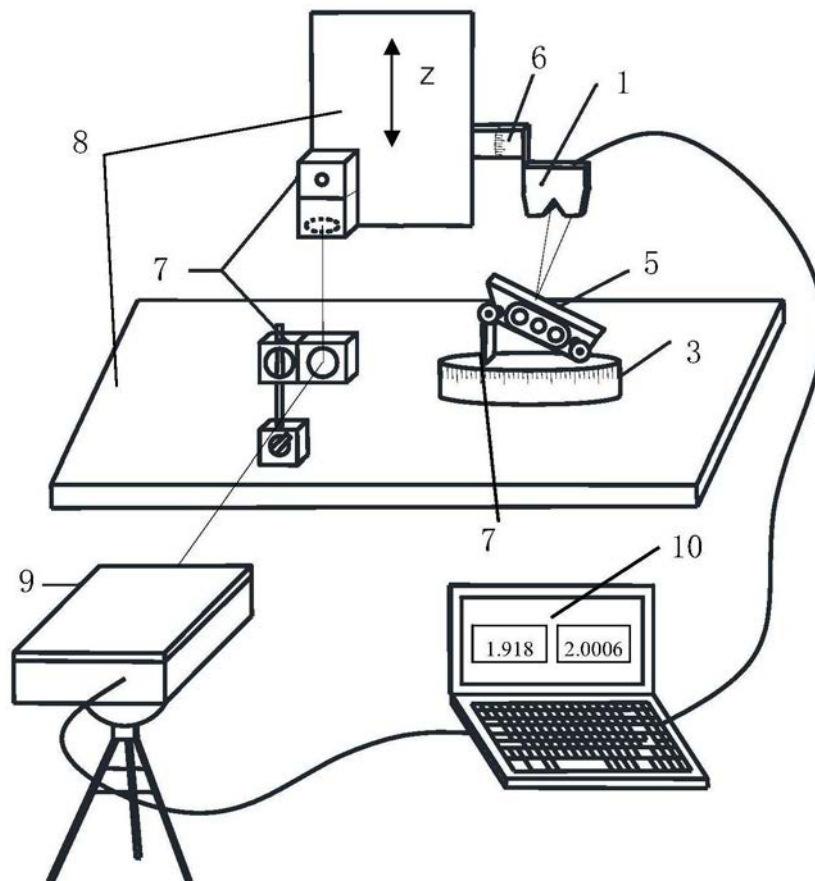


图4

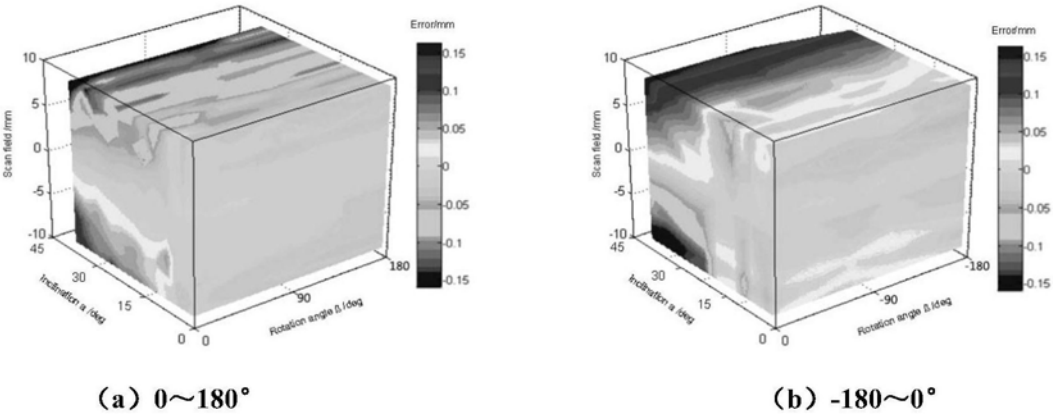


图5

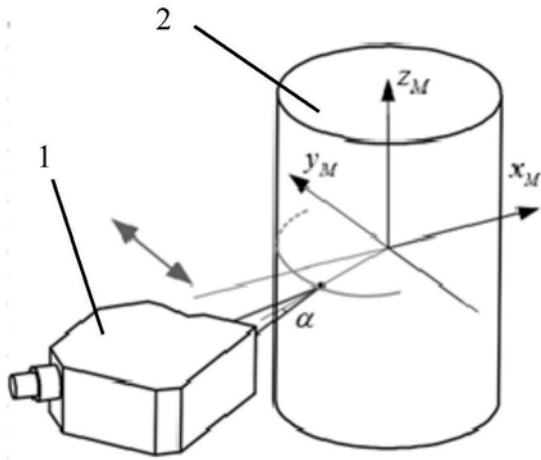


图6

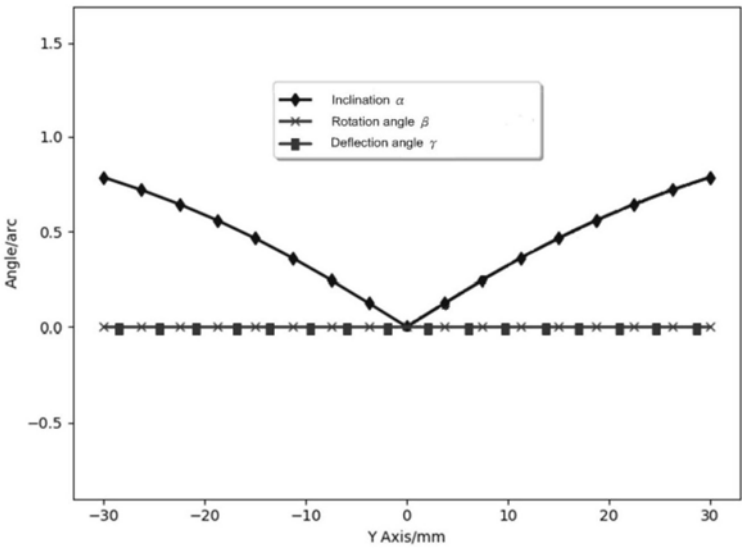


图7