



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104990487 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201510339144.4

(22)申请日 2015.06.18

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104990487 A

(43)申请公布日 2015.10.21

(73)专利权人 厦门大学

地址 361005 福建省厦门市思明南路422号

(72)发明人 杨平 吴越 张燕婷 郭隐彪

(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 刘勇

(51)Int.Cl.

G01B 5/252(2006.01)

(56)对比文件

CN 104354073 A, 2015.02.18,

CN 102500760 A, 2012.06.20,

范晋伟等.非正交五轴数控机床旋转轴误差辨识方法的研究.《组合机床与自动化加工技术》.2015,(第1期),第71-74页.

刘飞.五轴数控机床回转轴的误差检测技术研究.《机械工程与自动化》.2009,(第4期),第133-135页.

姚雨良等.基于球杆仪的空间误差测量分析方法研究.《组合机床与自动化加工技术》.2011,(第8期),第72-75页.

Kuang-Chao Fan et. al.Design Analysis and Applications of a 3D laser ball bar for accuracy calibration of multiaxis machines.《Journal of manufacturing systems》.2004,第23卷(第3期),第194-203页.

姚俊等.主轴回转精度测量方法.《制造技术与机床》.2011,(第12期),第176-180页.

审查员 秦婷婷

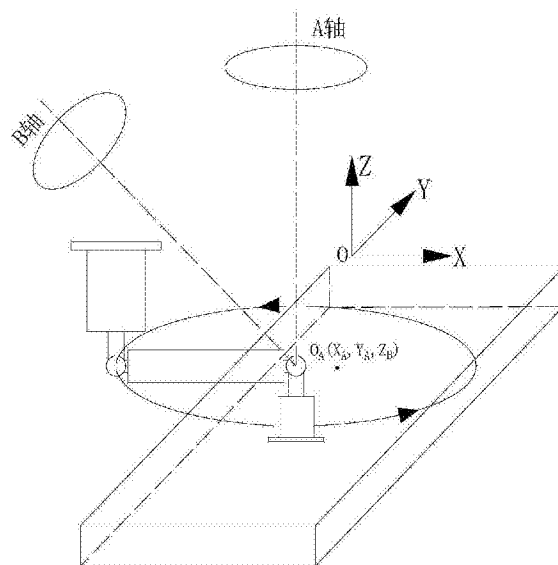
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法

(57)摘要

一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法,涉及一种理想基准坐标系的轴心偏差测量方法。测量元件球杆仪在工作平台上的安装;回转轴理想基准坐标系的建立;回转轴A的轴心测量;回转轴B的轴心测量;回转轴B的旋转平面坐标系坐标转换;同理可再测量多组数据,求出回转轴A和B的轴心偏差的平均值,使结果更具有科学性和参考价值。利用球杆仪在两种不同测量路径下,实现了对两个不同回转轴的轴心坐标测定,尤其是对非正交回转轴的研究有一定的帮助;同时利用空间坐标转换实现了对非正交回转轴轴心偏差的比对,使机床运动位置精度误差的问题得到改善。



1. 一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

1) 测量元件球杆仪在工作平台上的安装

首先, 将球杆仪的固定端安装在工作平台上, 通过指令调整机床使2个回转轴A和B的轴心位置与球杆仪的固定端位置重合; 然后, 将球杆仪的移动端安装在主轴座上; 最后, 将球杆仪的伸缩杆分别与球杆仪的移动端和固定端相连;

2) 回转轴理想基准坐标系的建立

假定回转轴A的旋转测量平面为理想基准坐标系, 令理想基准坐标系的原点坐标 $O(0, 0, 0)$, 即为回转轴A的理想旋转轴心坐标; 回转轴A与B在 ZOX 平面夹角为 45° , 回转轴A的旋转测量平面 XOY 为理想基准直角坐标系, 沿横轴方向定义为 X 轴, 纵轴方向定义为 Y 轴;

3) 回转轴A的轴心测量

保证球杆仪的固定端与理想基准坐标系原点重合; 调整主轴座于合适的位置, 将球杆仪的移动端安装在主轴座上, 使球杆仪的伸缩杆的回转路径与坐标系中的 XOY 平面平行; 设定指令使回转轴A旋转, 在球杆仪采样频率为 f 下, 采集到数据 $M: \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$, 对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴A的实际轴心坐标 $O_A(X_A, Y_A, Z_A)$;

4) 回转轴B的轴心测量

球杆仪的固定端位置保持不变; 调整主轴座于合适的位置, 将球杆仪的移动端安装在主轴座上, 使球杆仪的伸缩杆的回转路径要与坐标系中的 $X_B O Y_B$ 平面平行; 设定指令使回转轴B旋转, 在球杆仪采样频率为 f 下, 采集到数据 $N: \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, 对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴B的实际轴心坐标 $O_B(X_B, Y_B, Z_B)$;

5) 回转轴B的旋转平面坐标系坐标转换

回转轴B的实际轴心坐标 O_B 是坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 上的坐标, 将坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 绕 Z 轴正向旋转 45° , 使其与理想基准坐标系 XYZ 重合, 坐标原点 O 未发生改变, 不存在平移运动的齐次坐标变换矩阵, 只存在旋转运动的齐次坐标变换矩阵 T , 变换矩阵 T 的公式如下:

$$T = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \gamma \text{ 为绕 } Z \text{ 轴旋转角度};$$

坐标系 $O-X_B Y_B Z_B$ 绕 Z 轴转动得到新的坐标系 $O-XYZ$, 则点 O_B 坐标从坐标系 $O_B-X_B Y_B Z_B$ 到坐标系 $O-XYZ$ 的坐标变换公式如下:

$$(X'_B, Y'_B, Z'_B, 1) = (X_B, Y_B, Z_B, 1) \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中, (X'_B, Y'_B, Z'_B) 为点 O_B 坐标变换为点 O'_B 后的坐标值, 则回转轴A和B的轴心偏差 $\Delta O = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B, Z_A - Z'_B)$; 实际上 Z 方向的坐标值对结果不产生影响, 即回转轴A和B的轴心偏差为 $\Delta O' = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B)$ 。

2. 如权利要求1所述一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法, 其特

征在于,按权利要求1所述步骤再测量多组数据,求出回转轴A和B的轴心偏差的平均值。

一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种理想基准坐标系的轴心偏差测量方法,尤其是涉及一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法。

背景技术

[0002] 伴随着科学技术的不断进步,对用于生产加工的机床性能要求越来越高,同时对加工生产的产品精度、品质随之提高,非正交旋转轴的应用越来越广泛。非正交回转轴的数控机床多用于加工高精度的复杂曲面,非正交回转轴在加工过程中需要保证轴心的偏移尽量小。如果旋转轴轴心偏移过大,将导致加工生产的产品性能不符合实际要求,甚至报废,造成不必要的损失。

[0003] 在数控机床操作过程中,是通过机床数控系统给定的指令进行加工操作,由于非正交回转轴轴心偏差,会导致机床运动位置存在精度误差的问题。

[0004] 由于回转轴回转精度测试对机床性能、加工质量等方面都具有重要的现实意义,国内外学者针对回转轴误差的测量方法做了大量的研究工作,其中日本的M.Tsutsumi和A.Saito等采用球杆仪测量转台回转式五轴机床,提出用球杆仪模拟五轴联动加工圆锥台的检验,并研究了球杆仪代替加工精度检测的实现方案。日本的S.Ibaraki等依据美国宇航标准NAS979,重新研究了五轴机床联动加工圆锥台的精度检验方法,对每个转台的6个运动误差项进行建模和仿真,使用蒙特卡洛仿真的方式,分析了运动误差项对圆锥台精度的影响程度。通过不同测量路径来实现对正交回转轴的误差分析,从中分离出正交回转轴轴心的偏差值。同时,现有测量方法存在不足之处。对不同路径下的回转轴进行测量时,首先,要多次安装定位球杆仪的位置;其次,需要调整主轴座处在合适的测量位置;最后,球杆仪的固定端回转中心与理想坐标原点的重合很难得到保证。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供可解决由于加工过程回转轴的轴心偏差,导致机床运动位置存在精度误差等问题的一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法。

[0006] 本发明包括如下步骤:

[0007] 1) 测量元件球杆仪在工作平台上的安装

[0008] 首先,将球杆仪的固定端安装在工作平台上,通过指令调整机床使2个回转轴A和B的轴心位置与球杆仪的固定端位置重合;然后,将球杆仪的移动端安装在主轴座上;最后,将球杆仪的伸缩杆分别与球杆仪的移动端和固定端相连;

[0009] 2) 回转轴理想基准坐标系的建立

[0010] 假定回转轴A的旋转测量平面为理想基准坐标系,令理想基准坐标系的原点坐标 $O(0,0,0)$,即为回转轴A的理想旋转轴心坐标;回转轴A与B在ZOX平面夹角为 45° ,回转轴A的旋转测量平面XOY为理想基准直角坐标系,沿横轴方向定义为X轴,纵轴方向定义为Y轴;

[0011] 3) 回转轴A的轴心测量

[0012] 保证球杆仪的固定端与理想基准坐标系原点重合；调整主轴座于合适的位置，将球杆仪的移动端安装在主轴座上，使球杆仪的伸缩杆的回转路径与坐标系中的XOY平面平行；设定指令使回转轴A旋转，在球杆仪采样频率为f下，采集到数据M: $\{S_1, S_2, \dots, S_M\}$ ，对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴A的实际轴心坐标 $O_A(X_A, Y_A, Z_A)$ ；

[0013] 4) 回转轴B的轴心测量

[0014] 球杆仪的固定端位置保持不变；调整主轴座于合适的位置，将球杆仪的移动端安装在主轴座上，使球杆仪的伸缩杆的回转路径要与坐标系中的 $X_B O Y_B$ 平面平行。设定指令使回转轴B旋转，在球杆仪采样频率为f下，采集到数据N: $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ ，对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴B的实际轴心坐标 $O_B(X_B, Y_B, Z_B)$ ；

[0015] 5) 回转轴B的旋转平面坐标系坐标转换

[0016] 回转轴B的实际轴心坐标 O_B 是坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 上的坐标，将坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 绕Z轴正向旋转 45° ，使其与理想基准坐标系XYZ重合，坐标原点O未发生改变，不存在平移运动的齐次坐标变换矩阵，只存在旋转运动的齐次坐标变换矩阵T，变换矩阵T的公式如下：

$$[0017] \quad T = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \gamma \text{ 为绕Z轴旋转角度};$$

[0018] 坐标系 $O-X_B Y_B Z_B$ 绕Z轴转动得到新的坐标系 $O-XYZ$ ，则点 O_B 坐标从坐标系 $O_B-X_B Y_B Z_B$ 到坐标系 $O-XYZ$ 的坐标变换公式如下：

$$[0019] \quad (X'_B, Y'_B, Z'_B, 1) = (X_B, Y_B, Z_B, 1) \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0020] 式中， (X'_B, Y'_B, Z'_B) 为点 O_B 坐标变换为点 O'_B 后的坐标值，则回转轴A和B的轴心偏差 $\Delta O = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B, Z_A - Z'_B)$ ；实际上Z方向的坐标值对结果不产生影响，即回转轴A和B的轴心偏差为 $\Delta O' = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B)$ ；

[0021] 6) 同理可再测量多组数据，求出回转轴A和B的轴心偏差的平均值，使结果更具有科学性和参考价值。

[0022] 通过上述步骤可完成基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差的测量。与现有技术比较，本发明的有益效果如下：

[0023] 本发明实现非正交回转轴轴心的标定，对于加工产品质量和效率的提升都有很大帮助，符合数控机床自动控制系统的应用需求。在实际工况中，机床中各个运动轴存在的几何误差，将导致机床在加工过程中出现定位误差，进而产生加工误差。因此全面准确辨识回转轴的轴心偏差是实现机床精加工的必要条件，本发明利用球杆仪在两种不同测量路径下，实现了对两个不同回转轴的轴心坐标测定，尤其是对非正交回转轴的研究有一定的帮助；同时利用空间坐标转换实现了对非正交回转轴轴心偏差的比对，使机床运动位置精度误差的问题得到改善。

附图说明

- [0024] 图1为本发明实施例中回转轴A的轴心偏差测量方法的原理示意图之一。
- [0025] 图2为本发明实施例中回转轴A的轴心偏差测量方法的原理示意图之二。
- [0026] 图3为本发明实施例中回转轴B的轴心基准坐标转换的原理示意图。
- [0027] 图4为本发明实施例中基准坐标转换后的回转轴B轴心和回转轴A轴心在直角坐标系上的坐标示意图。

具体实施方式

[0028] 参见图1~4,本实施例所述一种基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差测量方法,包括以下步骤:

[0029] 1) 测量元件球杆仪在工作平台上的安装

[0030] 首先,将球杆仪的固定端安装在工作平台上,通过指令调整机床使2个回转轴A和B的轴心位置与球杆仪的固定端位置重合;然后,将球杆仪的移动端安装在主轴座上;最后,将球杆仪的伸缩杆分别与球杆仪的移动端和固定端相连;

[0031] 2) 回转轴理想基准坐标系的建立

[0032] 假定回转轴A的旋转测量平面为理想基准坐标系,令理想基准坐标系的原点坐标 $O(0,0,0)$,即为回转轴A的理想旋转轴心坐标;回转轴A与B在ZOX平面夹角为 45° ,回转轴A的旋转测量平面XOY为理想基准直角坐标系,沿横轴方向定义为X轴,纵轴方向定义为Y轴;

[0033] 3) 回转轴A的轴心测量

[0034] 保证球杆仪的固定端与理想基准坐标系原点重合;调整主轴座于合适的位置,将球杆仪的移动端安装在主轴座上,使球杆仪的伸缩杆的回转路径与坐标系中的XOY平面平行;设定指令使回转轴A旋转,在球杆仪采样频率为 f 下,采集到数据 $M: \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$,对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴A的实际轴心坐标 $O_A(X_A, Y_A, Z_A)$;

[0035] 4) 回转轴B的轴心测量

[0036] 球杆仪的固定端位置保持不变;调整主轴座于合适的位置,将球杆仪的移动端安装在主轴座上,使球杆仪的伸缩杆的回转路径要与坐标系中的 $X_B O Y_B$ 平面平行。设定指令使回转轴B旋转,在球杆仪采样频率为 f 下,采集到数据 $N: \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$,对采集的数据进行最小二乘法圆拟合出回转轴B的实际轴心坐标 $O_B(X_B, Y_B, Z_B)$;

[0037] 5) 回转轴B的旋转平面坐标系坐标转换

[0038] 回转轴B的实际轴心坐标 O_B 是坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 上的坐标,将坐标系 $X_B Y_B Z_B$ 绕Z轴正向旋转 45° ,使其与理想基准坐标系XYZ重合,坐标原点 O 未发生改变,不存在平移运动的齐次坐标变换矩阵,只存在旋转运动的齐次坐标变换矩阵 T ,变换矩阵 T 的公式如下:

$$[0039] \quad T = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \gamma \text{ 为绕Z轴旋转角度};$$

[0040] 坐标系 $O-X_B Y_B Z_B$ 绕Z轴转动得到新的坐标系 $O-XYZ$,则点 O_B 坐标从坐标系 $O_B-X_B Y_B Z_B$ 到坐标系 $O-XYZ$ 的坐标变换公式如下:

$$[0041] \quad (X'_B, Y'_B, Z'_B, 1) = (X_B, Y_B, Z_B, 1) \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0042] 式中, (X'_B, Y'_B, Z'_B) 为点 O_B 坐标变换为点 O'_B 后的坐标值, 则回转轴 A 和 B 的轴心偏差 $\Delta O = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B, Z_A - Z'_B)$; 实际上 Z 方向的坐标值对结果不产生影响, 即回转轴 A 和 B 的轴心偏差为 $\Delta O' = (X_A - X'_B, Y_A - Y'_B)$;

[0043] 6) 同理可再测量多组数据, 求出回转轴 A 和 B 的轴心偏差的平均值, 使结果更具有科学性和参考价值。

[0044] 通过上述步骤可完成基于联动误差分析的非正交回转轴轴心偏差的测量。

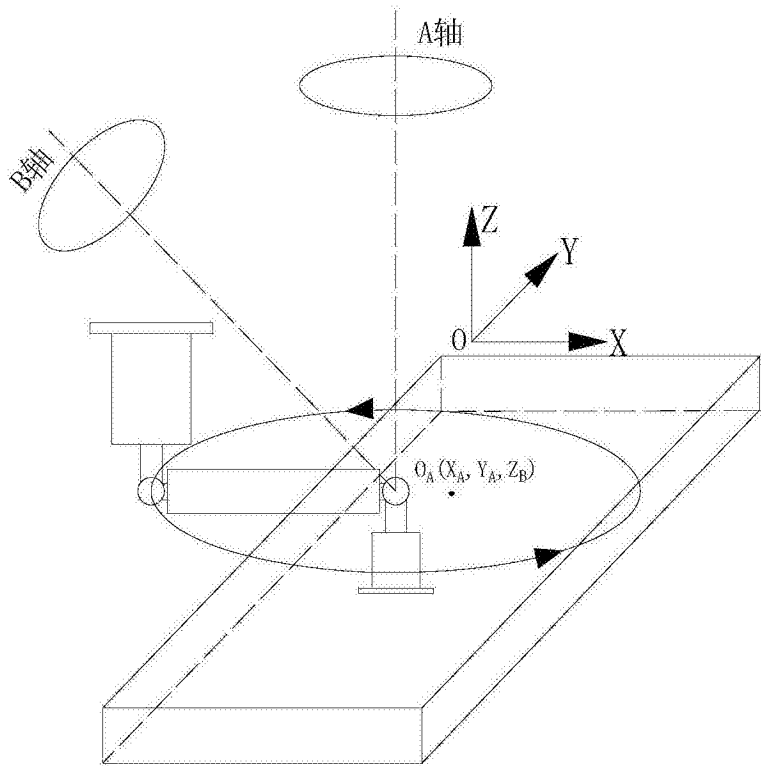


图1

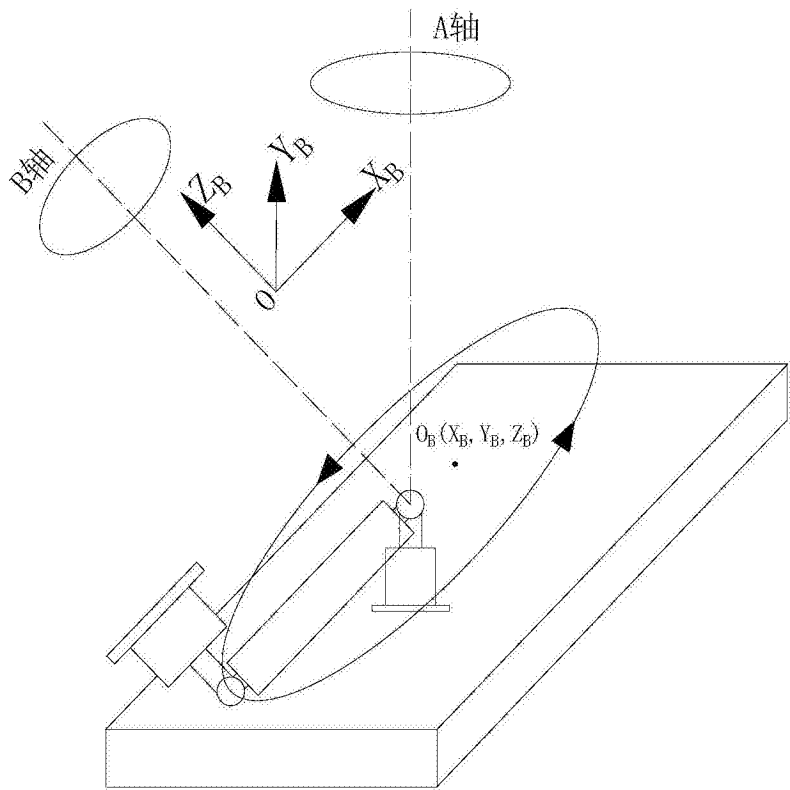


图2

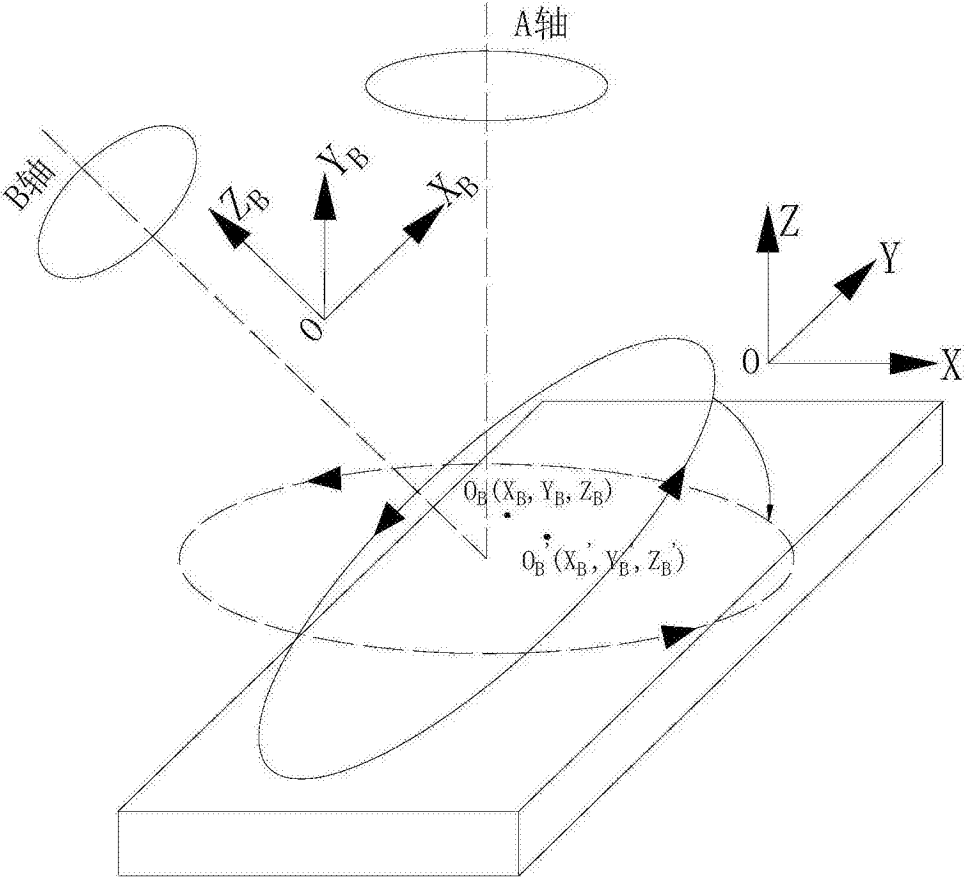


图3

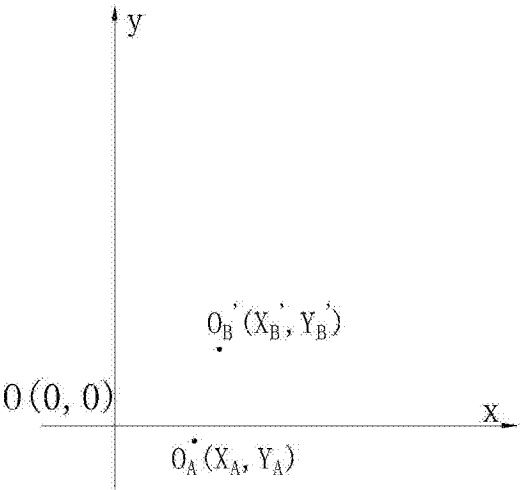


图4