



(21)申请号 201710861769.6

审查员 胡婷

(22)申请日 2017.09.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107490343 A

(43)申请公布日 2017.12.19

(73)专利权人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 石照耀 宋辉旭 陈洪芳 孙衍强

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51)Int.Cl.

G01B 11/02(2006.01)

G01B 11/26(2006.01)

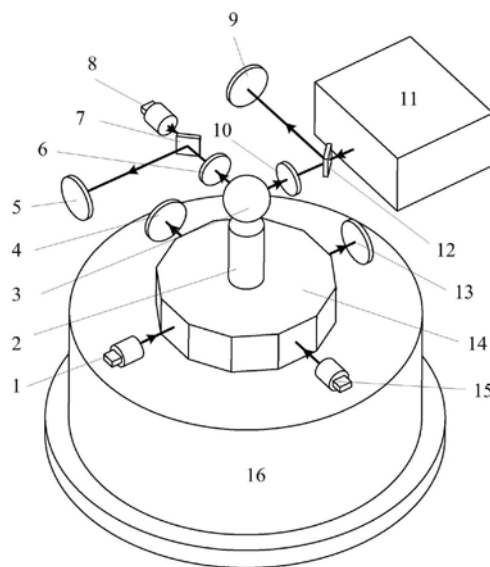
权利要求书3页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种用于转台六项几何误差测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于转台六项几何误差高效测量方法,该方法利用一个十二面棱镜,两个激光二极管和两个位置传感器测量转台的三个角度量误差(EAC,EBC,ECC);利用一个标准球,一个激光干涉仪,一个激光二极管和两个位置传感器测量转台的三个位移量误差(EXC,EYC,EZC)。在测量的过程中,测量装置同轴地固定在转台上,并且在转台的一次全周回转运动中,该测量方法能够将转台的六项几何误差一次性全部测量出来。本发明提供的转台六项几何误差高效测量方法能够有效地提高转台几何误差的测量效率。



1. 一种用于转台六项几何误差测量方法,其特征在于:该测量方法分为两个测量步骤,第一是三个角度量误差的测量,第二是三个位移量误差的测量;三个角度量误差包括角定位误差ECC(ϵ_z) (angular position error),绕X轴倾斜误差EAC(ϵ_x) (tilt motion around X axis)和绕Y轴倾斜误差EBC(ϵ_y) (tilt motion around X axis);位移量误差包括X轴方向径向跳动误差EXC(δ_x) (radial motion in X direction),Y方向径向跳动误差EYC(δ_y) (radial motion inY direction)和轴向跳动误差Ezc(δ_z) (axial motion);

该测量方法中各部分光学元件的位置关系如下:

将十二面棱镜放在转台的端面上,十二面棱镜的轴线与转台的回转轴线同轴;标准球支杆用于支撑标准球,且同轴地固定在十二面棱镜上;第一激光二极管发出的激光束垂直透射过十二面棱镜一个面的中心,且照射在第一位置传感器的中心;第一激光二极管的中心轴线与第二激光二极管的中心轴线垂直,第二激光二极管发出的激光束垂直透射过十二面棱镜另一个面的中心,且照射在第二位置传感器的中心;第三激光二极管发出的激光束平行于第二激光二极管发出的激光束,且透射过第一分光镜与第一透镜的中心后,聚焦在标准球的中心;同时经由标准球反射回的激光束在被第一分光镜反射后,照射到第三位置传感器的中心;激光干涉仪发出的激光束平行于第一激光二极管发出的激光束,且透射过第二分光镜与第二透镜的中心后,聚焦在标准球的中心;同时经由标准球反射回的激光束在被第二分光镜反射后,照射到第四位置传感器的中心。

2. 根据权利要求1所述的一种用于转台六项几何误差测量方法,其特征在于:转台在回转的过程中,六项几何误差会使十二面棱镜的坐标系位置在空间发生变化;以十二面棱镜的中心为坐标原点,指向第一激光二极管的方向为X轴,指向第二激光二极管方向为Y轴,垂直十二面棱镜端面向上方向为Z轴;当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ϵ_x),EBC(ϵ_y),ECC(ϵ_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和Ezc(δ_z)的存在,导致坐标系XYZ的位置发生偏移,即X'Y'Z'位置;

在六项几何误差中,当角度量误差EAC(ϵ_x),EBC(ϵ_y)和ECC(ϵ_z)均为零时,即只存在位移量误差EXC(δ_x),EYC(δ_y)和Ezc(δ_z)时,第一位置传感器和第二位置传感器的信号不发生变化;因此,通过十二面棱镜,两个激光二极管和两个位置传感器能够将三个角度量误差完全分离出来;

当转台回转 θ 角后,ECC(ϵ_z)的存在使十二面棱镜由初始位置变为偏移位置;垂直于激光束的AB和CD边也变为A'B'和C'D'边的位置;由于AB和CD边一直保持平行,根据折射原理,透射过A'B'边的激光束平行于原激光束;入射进C'D'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过A'B'边的激光束照射到第二位置传感器上;通过对第二位置传感器上的电信号进行换算,计算出由ECC(ϵ_z)引起的激光束光斑偏移量为 l_{2x} ;AB边和CD边距离为 L_1 ,第一入射角等于ECC(ϵ_z),折射角为 α_1 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差ECC(ϵ_z)与各已知量之间的关系,如公式(1);

$$ECC(\epsilon_z) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{2x}}{L_1} \quad (1)$$

EAC(ϵ_x)的存在使十二面棱镜由初始位置变为偏移位置;垂直于激光束的EF和GH边也变为E'F'和G'H'边的位置;由于EF和GH边一直保持平行,根据折射原理可知,透射过E'F'边的激光束平行于原激光束;入射进G'H'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过E'

F'边的激光束照射到第二位置传感器上;通过对第二位置传感器上的电信号进行换算,计算出由EAC(ϵ_x)引起的激光束光斑偏移量为 l_{2z} ;其中,EF和GH边距离为 L_1 ,第二入射角等于EAC(ϵ_x),折射角为 α_2 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差EAC(ϵ_x)与各已知量之间的关系,如公式(2);

$$EAC(\epsilon_x) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{2z}}{L_1} \quad (2)$$

入射进I'J'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过I'J'边的激光束照射到第一位置传感器上;通过对第一位置传感器上的电信号进行换算,计算出由EBC(ϵ_y)引起的激光束光斑偏移量为 l_{1z} ;IJ和KL边距离为 L_1 ,第三入射角等于EBC(ϵ_y),折射角为 α_3 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差EBC(ϵ_y)与各已知量之间的关系,如公式(3);

$$EBC(\epsilon_y) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{1z}}{L_1} \quad (3)$$

转台在回转的过程中,六项几何误差会使标准球的坐标系位置在空间发生变化;以标准球的中心为坐标原点,激光干涉仪激光束出射方向为X轴,第三激光二极管激光束出射方向为Y轴,沿标准球支杆轴线向上方向为Z轴;当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ϵ_x),EBC(ϵ_y),ECC(ϵ_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EZC(δ_z)的存在,导致坐标系XYZ的初始位置变为偏移位置X'Y'Z';

标准球球心的初始安装位置并不在转台回转轴线上,此时需要激光干涉仪分别在转台 $0^\circ, 180^\circ, 90^\circ, 270^\circ$ 位置进行四次测量;当激光干涉仪读数变化最小时,判定标准球球心位于转台回转轴线上;

当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ϵ_x),EBC(ϵ_y),ECC(ϵ_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EZC(δ_z)的存在,导致标准球在XOZ平面上的投影位置移动;从XOZ平面分析可知,标准球的球心坐标经过EXC(δ_x),EZC(δ_z)和EBC(ϵ_y)的影响后变为 $(\Delta_{3x}, \Delta_{3z})$;经过标准球的反射和透镜的透射后,照射在第三位置传感器上的激光束光斑坐标为 (l_{3x}, l_{3z}) ;L₂表示标准球球心距标准球支杆下端面的距离;EXC(δ_x),EZC(δ_z)和EBC(ϵ_y)与 Δ_{3x} 和 Δ_{3z} 的关系如公式(4)、(5);

$$\Delta_{3x} = EXC(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[EBC(\epsilon_y)] \quad (4)$$

$$\Delta_{3z} = EZC(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[EBC(\epsilon_y)] - 1) \quad (5)$$

标准球沿垂直激光束光轴方向移动,使标准球球心与初始位置的偏移量为 δ_1 ;透射过双凸透镜的激光束L_{in}由已经产生位置偏移的标准球反射,反射光束与入射光束保持一定的夹角 θ_{out2} ;由标准球反射的激光光束以位姿 $[d_{in3}, \theta_{in3}]$ 照射到透镜上,并以位姿 $[d_{out3}, \theta_{out3}]$ 透射过该透镜;其中,L_{death}表示死程距离,R₁表示透镜入射面的曲率半径,R₂表示透射面的曲率半径,t表示透镜的厚度,n₂表示透镜的折射率,f表示双凸透镜的焦距,R表示标准球的半径,l表示激光束光斑在位置传感器上的偏移量;各几何量之间的关系如公式(6)-(9)所示;

$$\theta_{in3} = \theta_{out2} = 2 \arcsin \frac{\delta_1}{R} \quad (6)$$

$$d_{in3} = (R - f) \cdot \tan \theta_{out2} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} d_{out3} \\ \theta_{out3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1-n_2}{R_1} & n_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1-n_2}{n_2 R_2} & \frac{1}{n_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{in3} \\ \theta_{in3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$l = d_{out3} + L_{death} \cdot \tan \theta_{out3} \quad (9)$$

因此,根据公式(4)–(9)能够找到第三位置传感器中激光束光斑坐标与EXC(δ_x)和EZC(δ_z)的唯一对应关系,即如公式(10)、公式(11);

$$l_{3x} \propto \text{EXC}(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[\text{EBC}(\varepsilon_y)] \quad (10)$$

$$l_{3z} \propto \text{EZC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EBC}(\varepsilon_y)] - 1) \quad (11)$$

当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ε_x),EBC(ε_y),ECC(ε_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EZC(δ_z)的存在,导致标准球在YOZ平面上的投影位置移动;从YOZ平面分析可知,标准球的球心坐标经过EYC(δ_y),EZC(δ_z)和EAC(ε_x)的影响后变为(Δ_{3y} , Δ_{3z});经过标准球的反射和透镜的透射后,照射在第四位置传感器上的激光束光斑坐标为(l_{4y} , l_{4z});其中, L_2 表示标准球球心距标准球支杆下端面的距离;EYC(δ_y),EZC(δ_z)和EAC(ε_x)与 Δ_{4y} 和 Δ_{4z} 的关系如公式(12)、(13);

$$\Delta_{4y} = \text{EXC}(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[\text{EBC}(\varepsilon_y)] \quad (12)$$

$$\Delta_{4z} = \text{EZC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EBC}(\varepsilon_y)] - 1) \quad (13)$$

因此,根据公式(6)–(9)和公式(12)、(13)能够找到第四位置传感器中激光束光斑坐标与EYC(δ_y)和EZC(δ_z)的唯一对应关系,即如公式(14)、公式(15);

$$l_{4y} \propto \text{EYC}(\delta_y) + L_2 \cdot \sin[\text{EAC}(\varepsilon_x)] \quad (14)$$

$$l_{4z} \propto \text{EZC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EAC}(\varepsilon_x)] - 1) \quad (15)$$

综上所述,转台的六项几何误差EAC(ε_x),EBC(ε_y),ECC(ε_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EZC(δ_z)被完全分离出来。

一种用于转台六项几何误差测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种转台运动精度测量领域,尤其涉及一种用于转台六项几何误差高效测量方法。

背景技术

[0002] 转台广泛应用于工业制造,精密测量等领域。转台的制造精度、装配精度以及控制精度会直接影响转台的运动精度。传统方法使用自准直仪,激光干涉仪,千分表,电感测微仪等组合系统实现转台精度的检定。然而对于转台六项几何误差的测量,传动方法避免不了测量效率低的劣势。

[0003] 一种用于转台六项几何误差高效测量方法仅需要转台经过一次全周的回转运动就能够得到转台的六项几何误差,提高了测量效率。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于以高效率的形式测量转台的六项几何误差,提供了一种转台仅需要经过一次全周的回转运动就能够得到六项几何误差的测量方法。

[0005] 一种用于转台六项几何误差高效测量方法,该测量方法分为两个测量步骤,第一是三个角度量误差的测量,第二是三个位移量误差的测量。三个角度量误差包括角定位误差ECC(ϵ_z) (angular position error),绕X轴倾斜误差EAC(ϵ_x) (tilt motion around X axis)和绕Y轴倾斜误差EBC(ϵ_y) (tilt motion around X axis);位移量误差包括X轴方向径向跳动误差EXC(δ_x) (radial motion in X direction),Y方向径向跳动误差EYC(δ_y) (radial motion in Y direction)和轴向跳动误差EYC(δ_z) (axial motion)。

[0006] 如图1所示,该测量方法中各部分光学元件的位置关系如下:

[0007] 将十二面棱镜放在转台的端面上,十二面棱镜的轴线与转台的回转轴线同轴;标准球支杆用于支撑标准球,且同轴地固定在十二面棱镜上;第一激光二极管发出的激光束垂直透射过十二面棱镜一个面的中心,且照射在第一位置传感器的中心;第一激光二极管的中心轴线与第二激光二极管的中心轴线垂直,第二激光二极管发出的激光束垂直透射过十二面棱镜另一个面的中心,且照射在第二位置传感器的中心;第三激光二极管发出的激光束平行于第二激光二极管发出的激光束,且透射过第一分光镜与第一透镜的中心后,聚焦在标准球的中心。同时经由标准球反射回的激光束在被第一分光镜反射后,照射到第三位置传感器的中心;激光干涉仪发出的激光束平行于第一激光二极管发出的激光束,且透射过第二分光镜与第二透镜的中心后,聚焦在标准球的中心。同时经由标准球反射回的激光束在被第二分光镜反射后,照射到第四位置传感器的中心。

[0008] 如图2所示,转台在回转的过程中,六项几何误差会使十二面棱镜的坐标系位置在空间发生变化。以十二面棱镜的中心为坐标原点,指向第一激光二极管的方向为X轴,指向第二激光二极管方向为Y轴,垂直十二面棱镜端面向上方向为Z轴。当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ϵ_x),EBC(ϵ_y),ECC(ϵ_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EYC(δ_z)的存在,导致坐标系

XYZ的位置发生偏移,即X'Y'Z'位置。

[0009] 如图3所示,在六项几何误差中,当角度量误差EAC(ε_x),EBC(ε_y)和ECC(ε_z)均为零时,即只存在位移量误差EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EYC(δ_z)时,第一位置传感器和第二位置传感器的信号不发生变化。因此,通过十二面棱镜,两个激光二极管和两个位置传感器能够将三个角度量误差完全分离出来。

[0010] 如图4所示,当转台回转 θ 角后,ECC(ε_z)的存在使十二面棱镜由初始位置变为偏移位置。垂直于激光束的AB和CD边也变为A'B'和C'D'边的位置。由于AB和CD边一直保持平行,根据折射原理,透射过A'B'边的激光束平行于原激光束。如图5所示,入射进C'D'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过A'B'边的激光束照射到第二位置传感器上。通过对第二位置传感器上的电信号进行换算,计算出由ECC(ε_z)引起的激光束光斑偏移量为 l_{2x} 。AB边和CD边距离为 L_1 ,第一入射角等于ECC(ε_z),折射角为 α_1 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差ECC(ε_z)与各已知量之间的关系,如公式(1)。

$$[0011] \quad ECC(\varepsilon_z) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{2x}}{L_1} \quad (1)$$

[0012] 如图6所示,EAC(ε_x)的存在使十二面棱镜由初始位置变为偏移位置。垂直于激光束的EF和GH边也变为E'F'和G'H'边的位置。由于EF和GH边一直保持平行,根据折射原理可知,透射过E'F'边的激光束平行于原激光束。如图7所示,入射进G'H'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过E'F'边的激光束照射到第二位置传感器上。通过对第二位置传感器上的电信号进行换算,计算出由EAC(ε_x)引起的激光束光斑偏移量为 l_{2z} 。其中,EF和GH边距离为 L_1 ,第二入射角等于EAC(ε_x),折射角为 α_2 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差EAC(ε_x)与各已知量之间的关系,如公式(2)。

$$[0013] \quad EAC(\varepsilon_x) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{2z}}{L_1} \quad (2)$$

[0014] 如图8所示,入射进I'J'边的激光束在十二面棱镜内部发生了折射,透射过I'J'边的激光束照射到第一位置传感器上。通过对第一位置传感器上的电信号进行换算,计算出由EBC(ε_y)引起的激光束光斑偏移量为 l_{1z} 。IJ和KL边距离为 L_1 ,第三入射角等于EBC(ε_y),折射角为 α_3 ,十二面棱镜的折射率为 n_1 ,计算出角定位误差EBC(ε_y)与各已知量之间的关系,如公式(3)。

$$[0015] \quad EBC(\varepsilon_y) = \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \frac{l_{1z}}{L_1} \quad (3)$$

[0016] 如图9所示,转台在回转的过程中,六项几何误差会使标准球的坐标系位置在空间发生变化。以标准球的中心为坐标原点,激光干涉仪激光束出射方向为X轴,第三激光二极管激光束出射方向为Y轴,沿标准球支杆轴线向上方向为Z轴。当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ε_x),EBC(ε_y),ECC(ε_z),EXC(δ_x),EYC(δ_y)和EYC(δ_z)的存在,导致坐标系XYZ的初始位置变为偏移位置X'Y'Z'。

[0017] 如图10所示,标准球球心的初始安装位置并不在转台回转轴线上,此时需要激光干涉仪分别在转台 0° , 180° , 90° , 270° 位置进行四次测量。当激光干涉仪读数变化最小时,判定标准球球心位于转台回转轴线上。

[0018] 如图11所示,当转台回转 θ 角后,由于六项几何误差EAC(ε_x),EBC(ε_y),ECC(ε_z),

EXC (δ_x) , EYC (δ_y) 和 EZC (δ_z) 的存在, 导致标准球在 XOZ 平面上的投影位置移动到虚线位置。从 XOZ 平面分析可知, 标准球的球心坐标经过 EXC (δ_x) , EZC (δ_z) 和 EBC (ϵ_y) 的影响后变为 (Δ_{3x} , Δ_{3z})。经过标准球的反射和透镜的透射后, 照射在第三位置传感器上的激光束光斑坐标为 (l_{3x} , l_{3z})。L₂ 表示标准球球心距标准球支杆下端面的距离。EXC (δ_x) , EZC (δ_z) 和 EBC (ϵ_y) 与 Δ_{3x} 和 Δ_{3z} 的关系如公式 (4)、(5)。

$$[0019] \quad \Delta_{3x} = \text{EXC}(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[\text{EBC}(\epsilon_y)] \quad (4)$$

$$[0020] \quad \Delta_{3z} = \text{EYC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EBC}(\epsilon_y)] - 1) \quad (5)$$

[0021] 如图12所示, 标准球沿垂直激光束光轴方向移动, 使标准球球心与初始位置的偏移量为 δ_1 。透射过双凸透镜的激光束 L_{in} 由已经产生位置偏移的标准球反射, 反射光束与入射光束保持一定的夹角 $\theta_{\text{out}2}$ 。由标准球反射的激光光束以位姿 [$d_{\text{in}3}$, $\theta_{\text{in}3}$] 照射到透镜上, 并以位姿 [$d_{\text{out}3}$, $\theta_{\text{out}3}$] 透射过该透镜。其中, L_{death} 表示死程距离, R₁ 表示透镜入射面的曲率半径, R₂ 表示透射面的曲率半径, t 表示透镜的厚度, n₂ 表示透镜的折射率, f 表示双凸透镜的焦距, R 表示标准球的半径, l 表示激光束光斑在位置传感器上的偏移量。各几何量之间的关系如公式 (6) - (9) 所示。

$$[0022] \quad \theta_{\text{in}3} = \theta_{\text{out}2} = 2 \arcsin \frac{\delta_1}{R} \quad (6)$$

$$[0023] \quad d_{\text{in}3} = (R - f) \cdot \tan \theta_{\text{out}2} \quad (7)$$

$$[0024] \quad \begin{bmatrix} d_{\text{out}3} \\ \theta_{\text{out}3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1-n_2}{R_1} & n_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1-n_2}{n_2 R_2} & \frac{1}{n_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{\text{in}3} \\ \theta_{\text{in}3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[0025] \quad l = d_{\text{out}3} + L_{\text{death}} \cdot \tan \theta_{\text{out}3} \quad (9)$$

[0026] 因此, 根据公式 (4) - (9) 能够找到位置传感器3中激光束光斑坐标与 EXC (δ_x) 和 EZC (δ_z) 的唯一对应关系, 即如公式 (10)、公式 (11)。

$$[0027] \quad l_{3x} \propto \text{EXC}(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[\text{EBC}(\epsilon_y)] \quad (10)$$

$$[0028] \quad l_{3z} \propto \text{EYC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EBC}(\epsilon_y)] - 1) \quad (11)$$

[0029] 如图13所示, 当转台回转 θ 角后, 由于六项几何误差 EAC (ϵ_x) , EBC (ϵ_y) , ECC (ϵ_z) , EXC (δ_x) , EYC (δ_y) 和 EZC (δ_z) 的存在, 导致标准球在 YOZ 平面上的投影位置移动到虚线位置。从 YOZ 平面分析可知, 标准球的球心坐标经过 EYC (δ_y) , EZC (δ_z) 和 EAC (ϵ_x) 的影响后变为 (Δ_{4y} , Δ_{4z})。经过标准球的反射和透镜的透射后, 照射在第四位置传感器上的激光束光斑坐标为 (l_{4y} , l_{4z})。其中, L₂ 表示标准球球心距标准球支杆下端面的距离。EYC (δ_y) , EZC (δ_z) 和 EAC (ϵ_x) 与 Δ_{4y} 和 Δ_{4z} 的关系如公式 (12)、(13)。

$$[0030] \quad \Delta_{4y} = \text{EXC}(\delta_x) + L_2 \cdot \sin[\text{EBC}(\epsilon_y)] \quad (12)$$

$$[0031] \quad \Delta_{4z} = \text{EYC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EBC}(\epsilon_y)] - 1) \quad (13)$$

[0032] 因此, 根据公式 (6) - (9) 和公式 (12)、(13) 能够找到第四位置传感器中激光束光斑坐标与 EYC (δ_y) 和 EZC (δ_z) 的唯一对应关系, 即如公式 (14)、公式 (15)。

$$[0033] \quad l_{4y} \propto \text{EYC}(\delta_y) + L_2 \cdot \sin[\text{EAC}(\epsilon_x)] \quad (14)$$

$$[0034] \quad l_{4z} \propto \text{EYC}(\delta_z) + L_2 \cdot (\cos[\text{EAC}(\epsilon_x)] - 1) \quad (15)$$

[0035] 综上所述, 转台的六项几何误差 EAC (ϵ_x) , EBC (ϵ_y) , ECC (ϵ_z) , EXC (δ_x) , EYC (δ_y) 和 EZC (δ_z) 被完全分离出来。

附图说明

- [0036] 图1为一种用于转台六项几何误差高效测量方法示意图。
- [0037] 图2为转台六项几何误差下十二面棱镜坐标系变化示意图。
- [0038] 图3为十二面棱镜分离角度量几何误差示意图。
- [0039] 图4为十二面棱镜测量角定位误差ECC (ϵ_z) 示意图。
- [0040] 图5为图4的等效示意图。
- [0041] 图6为十二面棱镜测量绕X轴倾斜误差EAC (ϵ_x) 示意图。
- [0042] 图7为图6的等效示意图。
- [0043] 图8为十二面棱镜测量绕Y轴倾斜误差EBC (ϵ_y) 的等效示意图。
- [0044] 图9为转台六项几何误差下标准球坐标系变化示意图。
- [0045] 图10为调整标准球球心过转台回转轴线示意图。
- [0046] 图11为XOZ平面下标准球坐标系变化示意图。
- [0047] 图12为标准球球心位置变化量与位置传感器激光束光斑偏移量关系示意图。
- [0048] 图13为YOZ平面下标准球坐标系变化示意图。
- [0049] 图中标记:1-第一激光二极管,2-标准球支杆,3-标准球,4-第二位置传感器,5-第三位置传感器,6-第一透镜,7-第一分光镜,8-第三激光二极管,9-第四位置传感器,10-第二透镜,11-激光干涉仪,12-第二分光镜,13-第一位置传感器,14-十二面棱镜,15-第二激光二极管,16-转台,17-标准球球心,18-转台回转中心,19-球面镜,20,厚双凸透镜,21-第五位置传感器。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图及具体实施方式对本发明作进一步的详细描述。但不应将此理解为本发明上述主题的范围仅限于以下的实施方式,凡基于本发明内容所实现的技术均属于本发明的范围。

[0051] 如图2、图3所示,根据分析可知十二面棱镜只能够测量转台六项几何误差中的三项角度量误差,即EAC (ϵ_x),EBC (ϵ_y) 和ECC (ϵ_z)。由于激光二极管和位置传感器所对应的两个面是相互平行的,因此三项位移量误差EXC (δ_x),EYC (δ_y) 和EYC (δ_z) 不会影响角度量误差的测量。前提是位置传感器的空间位置可调,要保证在初始位置时,激光二极管发出的激光束能够照射在位置传感器的中心。从而降低了对十二面棱镜和激光二极管空间位置的约束,即不要求十二面棱镜的轴线与转台回转轴线严格重合,也不要求激光二极管发出的激光束与转台回转轴线相交于一点。如图9所示,根据分析可知第三位置传感器和第四位置传感器所测得的信号是六项几何误差综合的结果。通过十二面棱镜已经测得了三项角度量误差,因此通过误差分离即可得到三项位移量误差。前提是激光束与透镜的光轴重合,且过标准球的球心。位置传感器的空间位置可调,要保证在初始位置时,激光二极管发出的激光束能够照射在位置传感器的中心。如图10所示,根据分析可知当转台回转轴线不经过标准球球心时,第三位置传感器和第四位置传感器所测得的信号中含有较大比重的偏心误差。因此要保证转台回转轴线不经过标准球球心。

[0052] 先将十二面棱镜放置于转台端面上,其轴线大致位于转台回转轴线附近;在十二面棱镜对应相互垂直的两个面外安装第一激光二极管和第二激光二极管。第一激光二极管

和第二激光二极管与对应平面近似垂直,且与对应平面距离近似相等即可;调节第一位置传感器和第二位置传感器的空间位置,使激光束光斑照射在位置传感器的中心。同时要求位置传感器光敏面与激光束垂直。

[0053] 将标准球和标准球支杆安装在十二面棱镜上,器轴线大致位于转台回转轴线附近;按照十二面棱镜的X轴和Y轴安装第二透镜和第一透镜,调节第一透镜和第二透镜的空间位置,使其光轴过标准球球心,且透镜焦点大致位于标准球球心;调节激光干涉仪和第三激光二极管的空间位置,使激光束与透镜光轴重合;调节第三位置传感器和第四位置传感器的空间位置,使激光束光斑照射在位置传感器的中心。同时要求位置传感器光敏面与激光束垂直。

[0054] 调节标准球在XOY平面上的位置,使标准球的球心被转台回转轴线穿过。即需要激光干涉仪分别在转台 0° , 180° , 90° , 270° 位置进行四次测量。当激光干涉仪读数变化最小时,可判定标准球球心位于转台回转轴线上。

[0055] 通过使用一种用于转台六项几何误差高效测量方法,能够实现较高效率地测量转台的各项几何误差。

[0056] 对所公开实施案例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明,对本实施案例的多种修改对本领域的专业技术人员来说是显而易见的。本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施案例中体现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的实施案例,而是要求符合本文所公开的原理和新颖性特点相一致的最宽的范围。

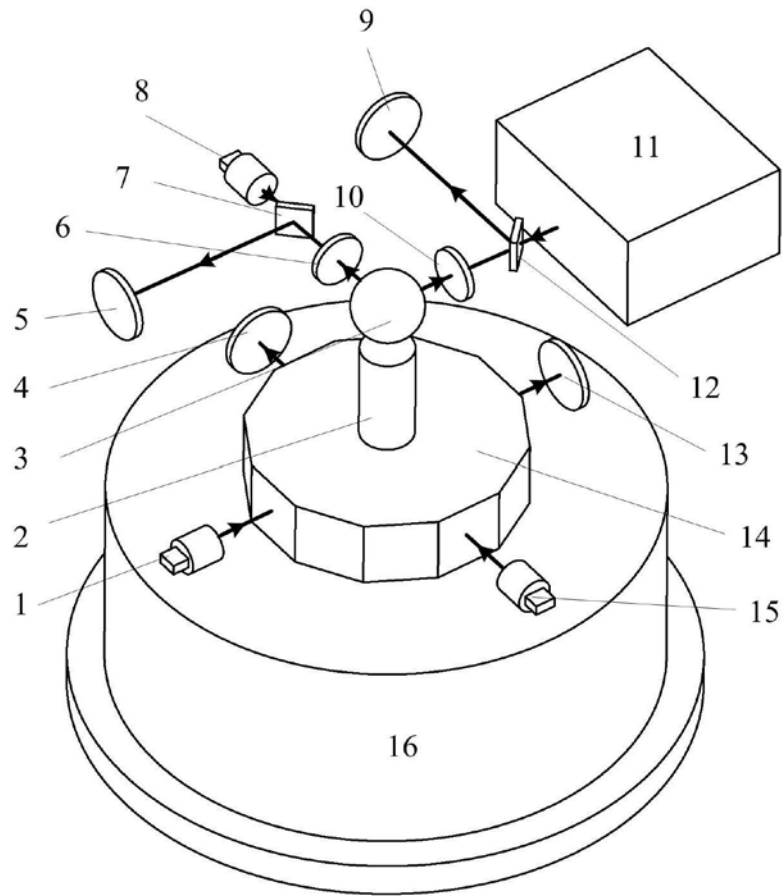


图1

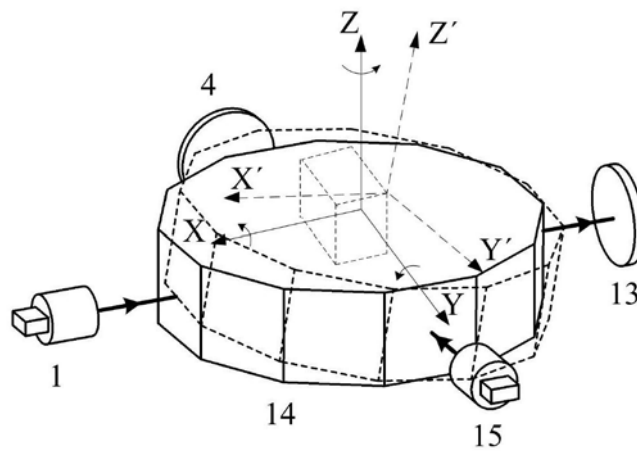


图2

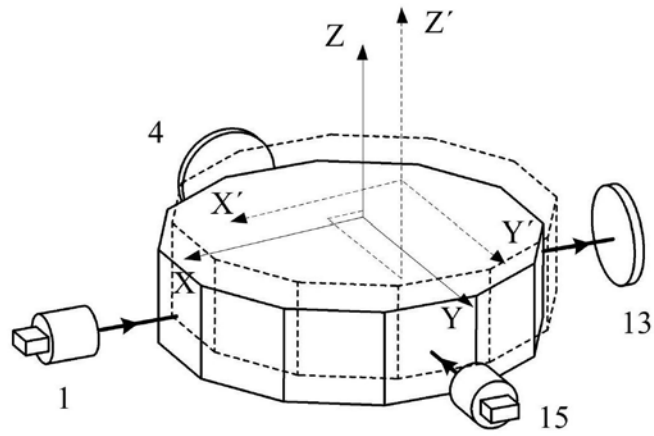


图3

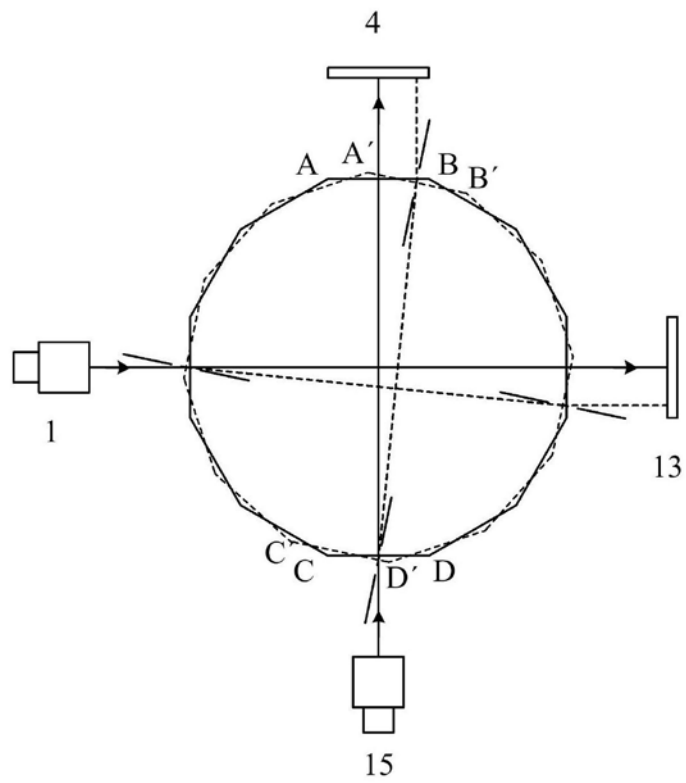


图4

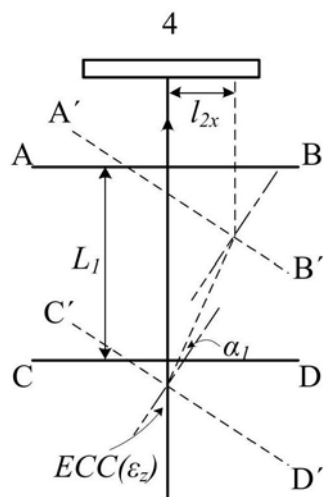


图5

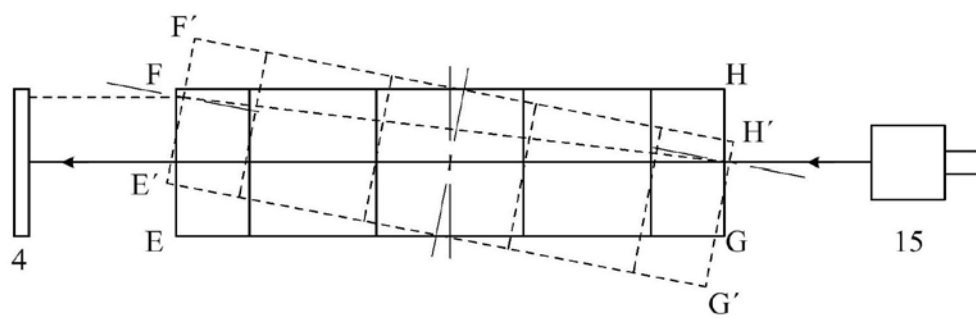


图6

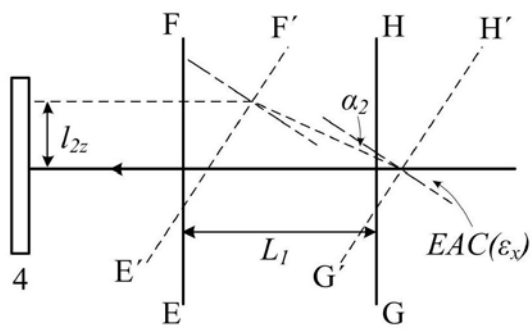


图7

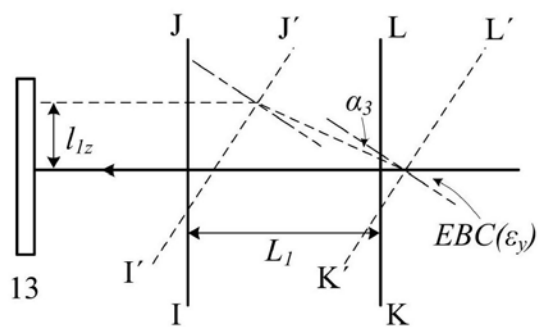


图8

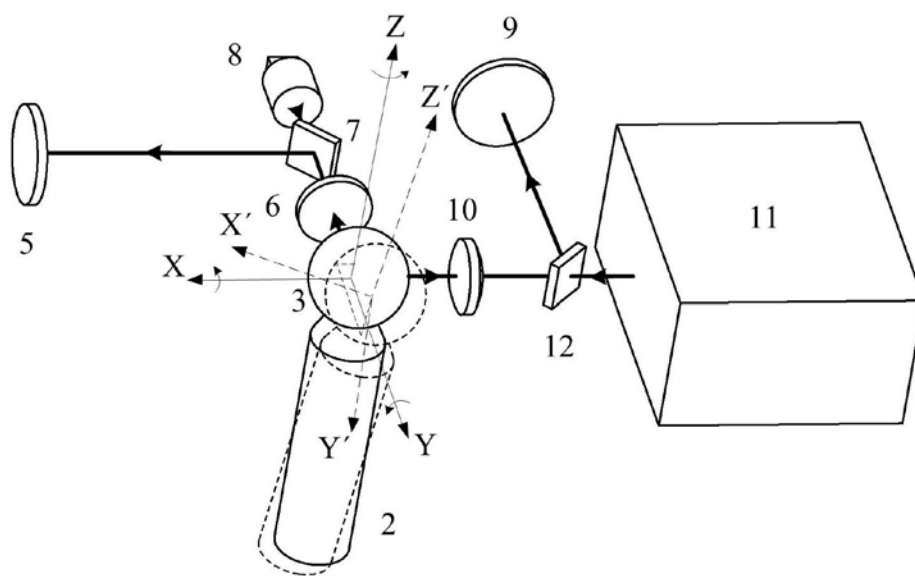


图9

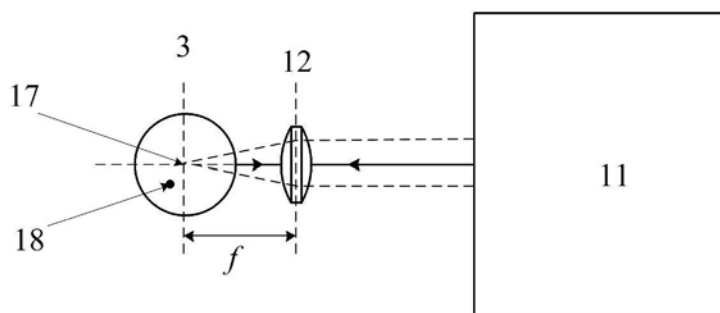


图10

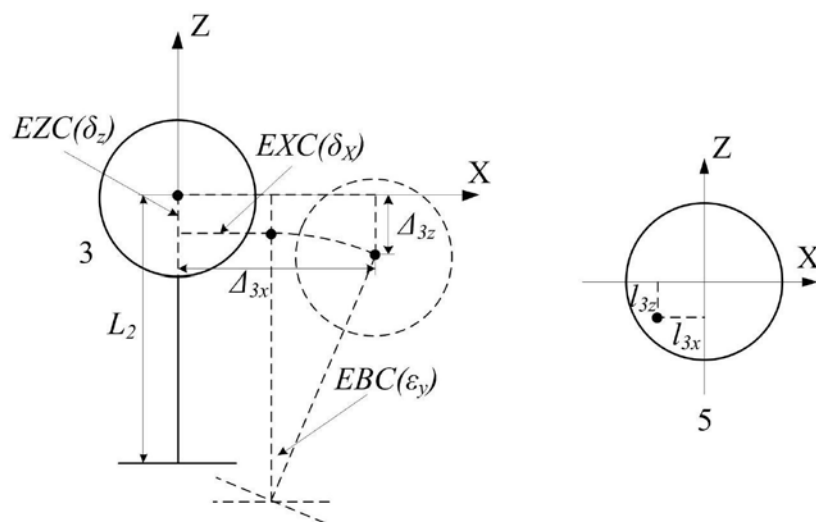


图11

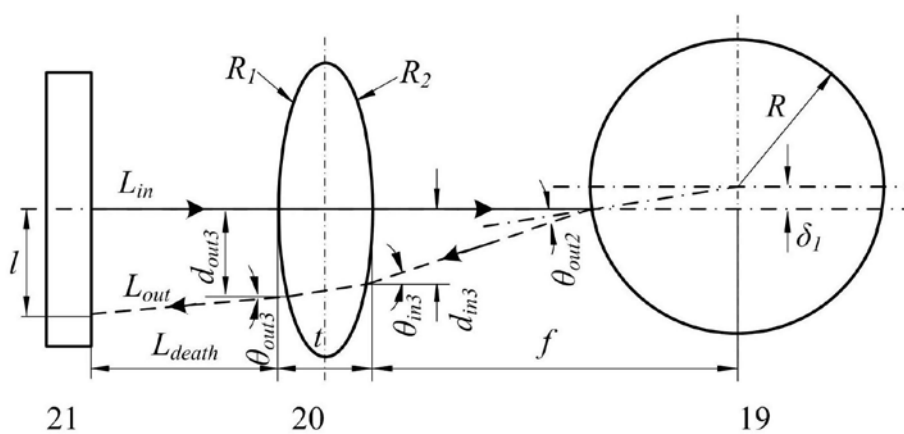


图12

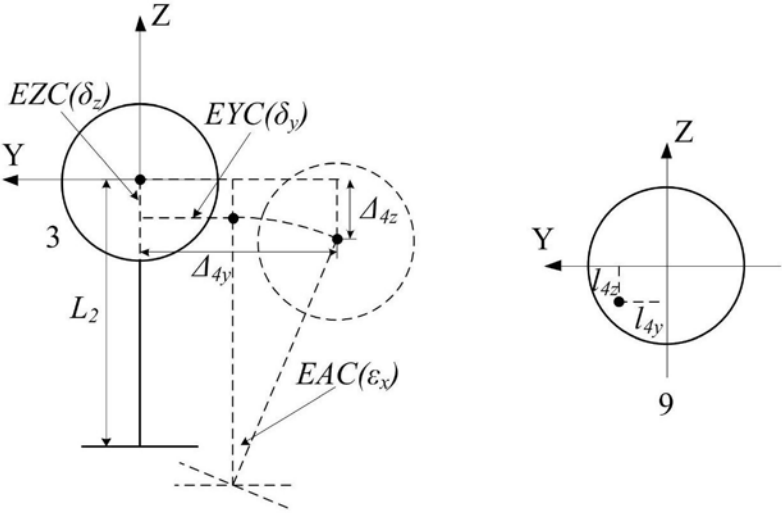


图13