

文章编号 1004-924X(2008)12-2517-07

五角棱镜扫描系统中调整误差及 制造角差的影响分析

马冬梅¹, 刘志祥^{1,2}, 马磊^{1,2}, 卞江^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:为了精确测量光学表面的表面斜率,从而实现光学表面面形的高精度测量,全面分析了五角棱镜扫描系统中的调整误差及五角棱镜的制造角差对测量光束的指向精度和被测面表面斜率测量精度的影响。根据旋转变换矩阵和光线矢量追迹理论,运用 MATLAB 编写了精确计算测量光束指向误差和测角仪测量值的程序,通过对各误差组合的计算结果进行二维二次多项式拟合,推导出在一定角度范围内,用于计算指向误差和测角仪测量值的二阶近似公式。分析结果表明,测角仪的俯仰角和五角棱镜的制造角差对沿扫描方向的指向误差和测角仪垂直方向的测量值的影响是常量,五角棱镜在扫描过程中的偏摆角和滚动角与其成二次函数关系;五角棱镜的偏摆角和滚动角、测角仪的偏摆角与垂直扫描方向的指向误差和测角仪水平方向的测量值均成线性关系。当导轨的滚动角为 $10''$ 、偏摆角为 $10''$,系统的各项调整误差为 $\pm 3''$ 时,沿扫描方向的最大测角误差为 $0.001\ 066\ 6''$ 。

关键词:光学测量;五角棱镜扫描系统;误差分析;光线矢量追迹;MATLAB

中图分类号:TH741;TB92 **文献标识码:**A

Influences of alignment error in pentaprism scanning system and fabrication angle error on measuring accuracy of optical surface

MA Dong-mei¹, LIU Zhi-xiang^{1,2}, MA Lei^{1,2}, BIAN Jiang^{1,2}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: The influences of the alignment error in pentaprism scanning system and the angle error of pentaprism fabrication on the line-of-sight accuracy of measuring beam and the slope measuring accuracy of optical surface were analyzed in order to realize the high precision measurement for a optical surface. According to rotation transform matrix and vectorial ray tracing theory, a program used to accurately compute the line-of-sight error and angle measurement error of autocollimator was written by MATLAB. Meanwhile, by a 2D second-order polynomial fitting to the computed results of each error combination, the second-order approximations for computing the line-of-sight error and angle measure-

收稿日期:2008-07-31;修订日期:2008-09-03.

基金项目:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所二期创新工程资助项目

ment value of autocollimator in a certain range were derived. The analysis result indicates that the influences of the pitch angle of autocollimator and the fabrication angle error of pentaprism on the line-of-sight error of in-scan direction and the vertical angle measurement of autocollimator are constants, and there are quadratic with the yaw angle and roll angle of pentaprism in the scanning. The line-of-sight error of cross-scan direction and horizontal angle measurement of autocollimator are linear with the yaw angle and roll angle of pentaprism in the scanning. When the rail error is $10''$ in roll, $10''$ in yaw, and the misalignments of the system are $\pm 3''$, the max angle measurement error in scan direction is $0.001\ 066\ 6''$.

Key words: optical measurement; pentaprism scanning system; error analysis; vectorial ray tracing; MATLAB

1 引言

五角棱镜具有使主截面内的入射光线折转 90° 的光学特性,且五角棱镜的方向角误差只会对偏折角造成二阶误差的误差衰减,因此,五角棱镜通常作为重要附件广泛应用于精密测量领域^[1-9]。利用五角棱镜配合高精度测角仪、精密导轨等设备构成五角棱镜扫描系统,测角仪发出的准直光束被五角棱镜偏折到被测光学表面,经被测表面反射后返回到测角仪,测角仪的测量值为被测表面在该位置的表面斜率,五角棱镜沿导轨扫描可以得到一系列位置的表面斜率,通过积分得到该扫描方向的表面轮廓,多次扫描后通过合成的方法可以得到整个大口径光学表面的轮廓面形^[3-6]。

在利用五角棱镜进行扫描测量过程中,扫描系统中所有元件(测角仪、五角棱镜、被测表面)的调整误差、五角棱镜本身的制造角差、导轨制造误差,都会使经五角棱镜偏折后的测量光线不再垂直于入射光线,从而影响测量精度。只有经过误差分析和优化调整后,才能使五角棱镜的误差不敏感特性完全发挥作用,从而使五角棱镜沿导轨扫描测量光学表面时,由导轨误差导致的沿扫描方向的测角误差减到最小。本文根据旋转变换矩阵和光线矢量追迹理论,全面分析了五角棱镜扫描系统中的调整误差和五角棱镜制造角差对测量光束的指向误差和测角仪测量值的影响。

2 测量光束指向误差和测角仪测量值的精确计算

2.1 系统中各表面的实际法线矢量

在五角棱镜扫描系统中存在各种调整误差,为了便于在同一空间坐标系下进行分析,需要采用矢量分析方法。以沿导轨的扫描方向为 X 轴,建立如图 1 所示的右手坐标系,角度逆时针旋转为正。如果系统不存在任何调整误差和制造角差,从测角仪发出的光束沿正 X 轴传播,经五角棱镜折转 90° 后成为测量光束,沿负 Y 轴到达被测面,经被测面反射后的测量光束沿原光路返回测角仪。在正向光路中,按光线传播顺序,五角棱镜的 I 面为入射面,II、III 分别为反射面,IV 为出射面。

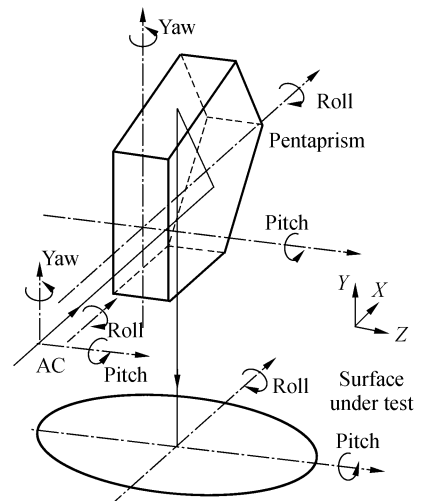


图 1 五角棱镜扫描系统示意图

Fig. 1 Scheme of pentaprism scanning system

当五角棱镜扫描系统不存在调整误差,五角棱镜只存在 45° 角差 δ_1 、 90° 角差 δ_2 时,通过空间坐标关系可以得到测角仪的出射光线矢量和系统中各表面的法线矢量为:

测角仪的出射光线矢量为: $\mathbf{A}_1 = [1 \ 0 \ 0]^T$,

正向光路中五角棱镜的 4 个表面法线矢量^[1-2] (包含制造角差的影响) 按列用矩阵形式表示为:

$$\mathbf{N}_1 = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\pi/8) & -\sin(\pi/8+\delta_1) & \sin(\delta_2) \\ 0 & -\sin(\pi/8) & \cos(\pi/8+\delta_1) & -\cos(\delta_2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

被测面的法线矢量为: $\mathbf{N}_2 = [0 \ -1 \ 0]^T$,

逆向光路中五角棱镜各表面的法线矢量矩阵为:

$$\mathbf{N}_3 = \begin{bmatrix} -\sin(\delta_2) & -\sin(\pi/8+\delta_1) & \cos(\pi/8) & -1 \\ \cos(\delta_2) & \cos(\pi/8+\delta_1) & -\sin(\pi/8) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

当五角棱镜扫描系统存在调整误差时,实际出射光线矢量和各表面实际法线矢量会发生改变。将各元件的调整误差分解为绕 X 轴旋转的滚动、绕 Y 轴旋转的偏摆和绕 Z 轴旋转的俯仰,假设其旋转角分别为 α 、 β 、 γ (下文以下角标 ac、pp、st 分别表示测角仪、五角棱镜、被测面的旋转角),则其相应的旋转变换矩阵为:

$$\mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}_y = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}_z = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

测角仪的实际出射光线矢量表示为:

$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{R}_x \mathbf{R}_y \mathbf{R}_z \mathbf{A}_1, \quad (1)$$

各表面的实际法线矢量表示为:

$$\mathbf{N}_i = \mathbf{R}_x \mathbf{R}_y \mathbf{R}_z \mathbf{N}_i \quad (i=1,2,3), \quad (2)$$

五角棱镜扫描系统中,测量光线经过的全部表面的实际法线矢量可以用一个矩阵表示为:

$$\mathbf{N} = [\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2, \mathbf{N}_3]. \quad (3)$$

2.2 矢量光线追迹

反射定律的矢量表达式^[1]为:

$$\mathbf{A}' = \mathbf{A} - 2(\mathbf{A} \cdot \mathbf{N})\mathbf{N}, \quad (4)$$

折射定律的矢量表达式^[1]为:

$$\mathbf{A}'' - \mathbf{A} = \rho \mathbf{N}, \quad (5)$$

其中:

$$\rho = \sqrt{(n')^2 - n^2 + (\mathbf{N} \cdot \mathbf{A})^2} - (\mathbf{N} \cdot \mathbf{A}), \quad (6)$$

根据各表面的实际法线矢量和折、反射定律的矢量表达式,用 MATLAB 编写通用的五角棱镜扫描系统的光线矢量追迹函数: [normVector, rayVector] = RayTrace (prismFab, prismRot, surfTestRot, acRot, pIndex), 输入参数为五角棱镜的制造角差、五角棱镜的调整误差、被测面的调整误差、测角仪的调整误差、玻璃折射率,返回结果为各表面的实际法线矢量和经折射或反射后的光线矢量。

光线追迹后,可以通过光线矢量计算出系统测量光束的指向误差和测角仪测量值。测量光束指向误差为测量光束的实际光线矢量 \mathbf{A}_5 相对于理想状态下的偏差,可以分解为沿扫描方向(X 轴)的误差 φ_x 和垂直扫描方向(Z 轴)的误差 φ_z , 在这里分别取沿正 X 轴和正 Z 轴的偏角为正,则:

$$\varphi_x = \arctan[|A_5(1)|/|A_5(2)|], \quad (7)$$

$$\varphi_z = \arctan[|A_5(3)|/|A_5(2)|], \quad (8)$$

其中, $A_5(1)$ 为光线矢量 \mathbf{A}_5 的 X 轴分量,依此类推。

测角仪测量值为测角仪的出射光线与返回光线的夹角,在测角仪坐标系中,也分解为垂直方向、水平方向两个测量值。当测角仪不存在滚动角时,其垂直方向(X 轴)和水平方向(Z 轴)的测量值为返回光线 \mathbf{A}_{10} 与出射光线 \mathbf{A}_1 分别在 XOY 平面和 XOZ 平面内的夹角的 1/2,用公式分别表示为:

$$\Psi_{XOY} = \frac{\arctan[A_{10}(3)/A_{10}(1)] - \arctan[A_1(3)/A_1(1)]}{2}, \quad (9)$$

$$\Psi_{XOZ} = \frac{\arctan[A_{10}(2)/A_{10}(1)] - \arctan[A_1(2)/A_1(1)]}{2}, \quad (10)$$

当测角仪还存在滚动角 α_{ac} 时,需要将上述计算值在测角仪的实际坐标系统上进行分解合成,经推导后可知:

垂直方向测量值为:

$$V = \Psi_{XOZ} \sin(\alpha_{ac}) + \Psi_{XOY} \cos(\alpha_{ac}), \quad (11)$$

水平方向测量值为:

$$H = \Psi_{XOZ} \cos(\alpha_{ac}) - \Psi_{XOY} \sin(\alpha_{ac}), \quad (12)$$

根据上述光线矢量追迹函数和各角度的计算方法,用 MATLAB 编写五角棱镜扫描系统调整误差及制造角差分析程序(如图 2),可以精确计算不同参数对测量光束指向误差和测角仪测量值的影响。

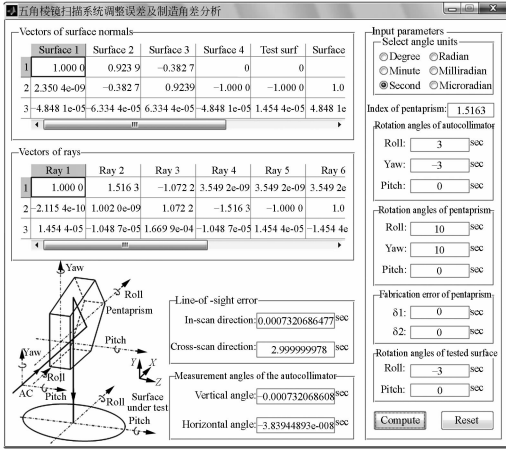


图 2 五角棱镜扫描系统调整误差及制造角差分析程序
Fig. 2 Analysis program for pentaprism scanning system due to alignment error and fabrication angle error

3 二阶公式推导及结果分析

上节所述的程序虽然可以精确计算系统中各种误差对指向误差和测角仪测量值的影响,但是各误差的影响程度和各误差同时作用时的相关性都不明确,不便于后续分析。因此,有必要推导出测量光束指向误差和测角仪测量值与各误差之间的数学表达式。在下面分析中假设五角棱镜的材料为 K9 玻璃,其折射率 $n=1.5163$ 。

3.1 二阶近似公式的推导

由于三角函数的非线性特性,推导出测量光束指向误差和测角仪测量值的精确表达式是很困难的。但是,由于系统的调整误差和五角棱镜的制造角差一般都不是很大($\pm 100''$ 以内),因此,在一定角度范围内,使用二阶近似公式可以获得较高的精度。在推导二阶近似公式时,可以同时连续改变系统调整误差或制造角差中的两个变量,通过光线矢量追迹精确计算相应的角度值,再对各计算结果进行二维二次多项式拟合,多项式的拟合系数即为这两个角度变量对相应角度值的影响系数。

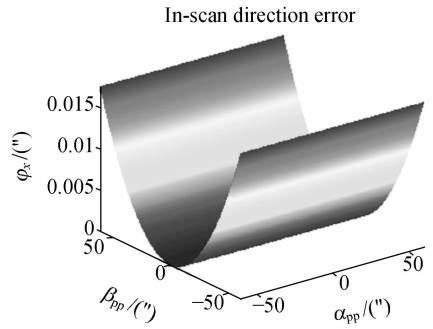


图 3 沿扫描方向的指向误差
Fig. 3 Line-of-sight error in in-scan direction

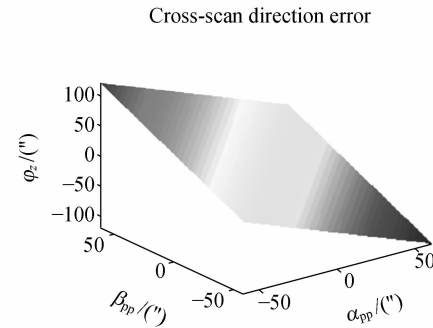


图 4 垂直扫描方向的指向误差
Fig. 4 Line-of-sight error in cross-scan direction

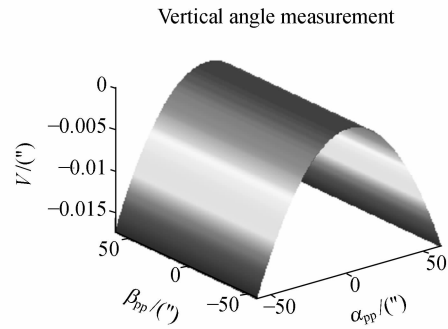


图 5 测角仪的垂直方向测量值 V
Fig. 5 Vertical angle measurement in autocollimator

以同时改变五角棱镜的滚动角 α_{pp} 和偏摆角 β_{pp} 为例,假设 α_{pp} 和 β_{pp} 的变化范围均为 $-60 \sim 60''$,通过光线矢量追迹精确计算出沿扫描方向的指向误差 φ_x (如图 3)、垂直扫描方向的指向误差(如图 4)、测角仪的垂直方向测量值 V (如图 5)、测角仪的水平方向测量值 H (如图 6)。

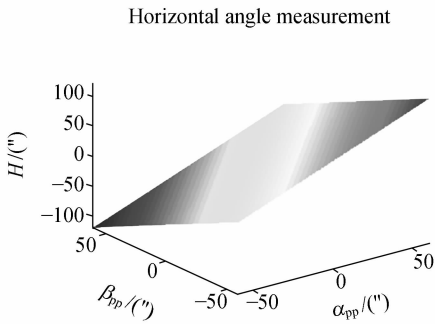


图 6 测角仪的水平方向测量值 H

Fig. 6 Horizontal angle measurement of autocollimator

表 1 五角棱镜滚动角(变量 x)和偏摆角(变量 y)的多项式拟合系数

Tab. 1 Polynomial fitting coefficients for roll angles(x) and yaw angles(y) of pentaprism

Angles	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
φ_x	0.000 000	1.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
φ_z	0.000 000	0.000 000	0.000 000	-1.000 000	1.000 000	0.000 000
V	-1.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
H	0.000 000	0.000 000	0.000 000	1.000 000	-1.000 000	0.000 000

种组合方式。将这 45 种组合方式按上述方法分别进行拟合,综合所有组合的拟合结果,可以得到

$$\varphi_x \approx \beta_{pp}^2 - \beta_{ac}(\alpha_{pp} + \beta_{pp} - \alpha_{ac}) + \gamma_{ac} + 2n\delta_1 - (n-1)\delta_2, \tag{15}$$

$$\varphi_z \approx -\gamma_{ac}(\alpha_{pp} + \beta_{pp} - \alpha_{ac}) - \beta_{pp}[2n\delta_1 - (n-1)\delta_2] + \beta_{pp} - \alpha_{pp} - \beta_{ac}, \tag{16}$$

$$V \approx -\alpha_{pp}^2 + \alpha_{ac}(\alpha_{pp} - \beta_{pp} - \alpha_{st}) + \alpha_{st}(\alpha_{pp} + \beta_{pp}) - \gamma_{ac} + \gamma_{st} - 2n\delta_1 + (n-1)\delta_2, \tag{17}$$

$$H \approx \gamma_{st}(\alpha_{pp} + \beta_{pp} - \alpha_{ac}) + (\alpha_{ac} - \alpha_{pp})[2n\delta_1 - (n-1)\delta_2] + \alpha_{pp} - \beta_{pp} - \alpha_{st} + \beta_{ac}. \tag{18}$$

以上近似式的角度单位为弧度。当角度单位为秒时,二次项前需乘以角度单位转换系数 $k, k = \pi/(180 \times 3\,600) = 4.848\,137 \times 10^{-6}$ 。

由于系统中的元件绕 3 个旋转轴的旋转角不具有累加性,因此,各元件的旋转角按不同顺序旋转得到的结果会稍有不同,本文采用的旋转顺序为:滚动—偏摆—俯仰。

当系统中所有元件的调整误差和五角棱镜制造角差均在 $\pm 60''$ 的范围内时,这 4 个近似式(式 15~18)相对于精确计算结果的准确度分别优于 $0.000\,216''$ 、 $0.000\,098''$ 、 $0.000\,818''$ 、 $0.000\,61''$ 。

3.2 结果分析

式(15)表示经五角棱镜偏折后的测量光束沿扫描方向的指向误差,其在扫描过程中的变化量

为了确定各计算结果与五角棱镜的滚动角和偏摆角之间的数学关系,将所有角度单位转化为弧度后,分别将其最小二乘拟合到二维二次多项式: $z = k_1x^2 + k_2y^2 + k_3xy + k_4x + k_5y + k_6$, 拟合结果如表 1,根据该表可以得到以下关系:

$$\varphi_x = \beta_{pp}^2, \varphi_z = \beta_{pp} - \alpha_{pp}, \tag{13}$$

$$V = -\alpha_{pp}^2, H = \alpha_{pp} - \beta_{pp}. \tag{14}$$

由于整个五角棱镜扫描系统中的调整误差和五角棱镜制造角差共计 10 个变量,因此,共有 C_{10}^2

完整的指向误差和测角仪测量值的二阶近似公式:

会直接影响测量精度。测角仪的俯仰角 γ_{ac} 和五角棱镜本身的制造角差 δ_1 、 δ_2 对其影响是常量,可以通过调整被侧面俯仰或数据处理来消除。五角棱镜沿导轨扫描时,导轨误差引起的五角棱镜的晃动量 $\Delta\alpha_{pp}$ 、 $\Delta\beta_{pp}$ 只对其造成二阶影响,且沿扫描方向的指向误差对棱镜偏摆角的敏感度为:

$$\frac{\partial \varphi_x}{\partial \beta_{pp}} = 2\beta_{pp} - \beta_{ac}, \text{对棱镜滚动角的敏感度为: } \frac{\partial \varphi_x}{\partial \beta_{pp}} = -\beta_{ac}.$$

式(16)表示经五角棱镜偏折后的测量光束在垂直扫描方向的指向误差。扫描过程中,五角棱镜的晃动量 α_{pp} 、 β_{pp} 对其成线性影响。

式(17)表示携带有被侧面的表面斜率信息的返回光线与测角仪的出射光线在垂直方向的角度

偏差。被测面俯仰角 γ_{st} 反映的是被测面在沿扫描方向的局部表面斜率,该测量系统的主要目的就是通过对高精度测角仪在扫描过程中精确测量其变化量,从而通过相关处理计算出被测面的轮廓面形,公式中其它项均为误差项。一阶项中的 γ_{ac} 、 δ_1 、 δ_2 在系统调整完毕后就为常量,从二阶项可以看出:在扫描过程中,导轨误差引起的五角棱镜的晃动量 $\Delta\alpha_{pp}$ 、 $\Delta\beta_{pp}$ 会对测量结果造成二阶误差,使导轨误差在测量结果中的影响得到了衰减,该系统正是利用五角棱镜沿扫描方向的误差不敏感特性来达到高精度测量扫描方向表面斜率的目的。测量值对棱镜偏摆角的敏感度为: $\frac{\partial V}{\partial \beta_{pp}} = \alpha_{st} - \alpha_{ac}$,对棱镜滚动角的敏感度为: $\frac{\partial V}{\partial \alpha_{pp}} = -2\alpha_{pp} + \alpha_{ac} + \alpha_{st}$ 。

式(18)表示携带有被测面的表面斜率信息的返回光线与测角仪的出射光线在水平方向的角度偏差。被测面滚动角 α_{st} 反映的是被测面在垂直扫描方向的局部表面斜率,但是由于扫描过程中,导轨误差引起的五角棱镜的晃动量 $\Delta\alpha_{pp}$ 、 $\Delta\beta_{pp}$ 对其成线性影响,因此,不能达到高精度测量垂直扫描方向表面斜率的目的。

因此,在使用五角棱镜扫描系统测量前,需要优化调整测角仪、五角棱镜、被测面相对于扫描轴

的偏差,使该系统沿导轨扫描时,将导轨误差对测角结果的影响减到最小,从而准确测量出被测面的局部表面斜率,并计算出被测面的轮廓面形。

根据以上分析可知,当导轨的精度为:滚动角 $10''$ 、偏摆角 $10''$,系统的各项调整误差为 $\pm 3''$ 时,沿扫描方向最大测角误差为 $0.001\ 066\ 6''$,可以满足高精度测量被测面表面斜率的要求。

4 结 论

本文通过光线矢量追迹,实现了五角棱镜扫描系统中指向误差和测角仪测量值的精确计算,并推导出系统中各项误差对指向误差和测角仪测量值的二阶近似公式。通过二阶近似公式可以看出:在五角棱镜扫描测量过程中,测角仪的俯仰角和五角棱镜的制造角差对沿扫描方向指向误差和测角仪垂直方向测量值的影响是常量,五角棱镜的偏摆角和滚动角与其成二次函数关系;五角棱镜的偏摆角和滚动角、测角仪的偏摆角与垂直扫描方向指向误差和测角仪水平方向测量值成线性关系。该系统只有经优化调整后,才能最大限度地降低扫描测量过程中由导轨误差引起的五角棱镜的晃动对测量精度的影响。

参考文献:

- [1] 匡萃方,冯其波,刘斌,等. 五角棱镜制造角差及抖动对其转向角的影响[J]. 光学技术, 2004,30(5):616-618. KUANG C F, FENG Q B, LIU B, *et al.*. Influences on the deflection angle of the pentagonal prism due to dithering and fabrication angles error[J]. *Optical Technique*, 2004,30(5):616-618. (in Chinese)
- [2] 郝群,赵洋,曹芒,等. 五角棱镜在建立大尺寸平面基准中的应用[J]. 光学学报, 1998,18(8):1134-1137. HAO Q, ZHAO Y, CAO M, *et al.*. Application of penta prism in establishing the datum plane for measuring flatness in large Scale dimension[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998,18(8):1134-1137. (in Chinese)
- [3] 马冬梅,韩昌元. 基于五棱镜扫描技术测试大口径平面镜的系统设计[J]. 电子测量技术, 2007,30(11):90-95. MA D M, HAN CH Y. System design of large flat mirror measurement based on pentagon prism scanning technique[J]. *Electronic measurement technology*, 2007,30(11):90-95. (in Chinese)
- [4] 马冬梅,孙军月,张波,等. 高精度大口径平面镜面形角差法测试探究[J]. 光学精密工程, 2005,13(增): 121-126. MA D M, SUN J Y, ZHANG B, *et al.*. High precision large flat mirror measurement by angle difference testing [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005,13(Supp.): 121-126. (in Chinese)
- [5] MALLIK P C, ZHAO C Y, BURGE J H. Measurement of a 2-meter flat using a pentaprism scanning system[J]. *Optical Engineering*, 2007,46(2):023602-1-023602-9.
- [6] MALLIK P C, ZHAO C Y, BURGE J H. Measurement of a 2-meter flat using a pentaprism scanning system[J]. *SPIE*, 2005,5869:58691A-1-58691A-11.

- [7] GECKELER R D. ESAD shearing deflectometry: potentials for synchrotron beamline metrology[J]. *SPIE*, 2006, 6317:6317H-1-6317H-13.
- [8] GECKELER R D. Error minimization in high-accuracy scanning deflectometry[J]. *SPIE*, 2006, 6293:6293O-1-6293O-12.
- [9] GECKELER R D. Optimal use of pentaprism in highly accurate deflectometric scanning[J]. *Measurement Science and Technology*, 2007, 18:115-125.

作者简介:马冬梅(1963—),女,吉林人,研究员,主要研究方向为光学检测、光电成像系统的质量评价等。E-mail:dongmei-ma2002@yahoo.com.cn

刘志祥(1982—),男,湖北大冶人,硕士研究生,主要研究方向为光学检测、光电成像系统的像质评价等。E-mail:liuzx82@126.com

●下期预告

机载 GPS 测量定位技术研究

张 葆¹,姚俊峰^{1,2},高利民^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

为了得到侦察目标的大地坐标以及引导载机捕捉已知目标,提出了机载 GPS 测量定位方法。应用 GPS 技术,获取载机及已知目标的位置坐标,利用齐次坐标转换方法解决了定位引导过程的坐标转换,得到目标定位引导数据。通过实验对机载 GPS 测量定位方法进行检验。处理数据结果显示:定位精度达到 30 m,引导精度 2°。用蒙特卡洛法对实验误差进行分析并得到精度误差范围,实验结果在期望误差的范围内。实验表明机载 GPS 测量定位技术具有一定的实用和推广价值。