

用线阵 CCD 精确测量判读镜具观察孔直径

蒋定定, 李开端, 赵育良

(海军航空工程学院 青岛分院, 山东 青岛 266041)

摘要:判读镜具观察孔的直径直接影响航空照片中各种目标的观察效果。基于圆孔夫琅和费衍射测量微孔直径的原理和线阵 CCD 信号串行输出的特点,给出了照片判读镜具中观察孔直径测量的硬件和软件实施方案。最后对实验进行了分析,表明该方法具有科学性与实用性。

关键词:夫琅和费衍射; 线阵 CCD; 判读镜具; 直径; 测量

中图分类号: TN29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0213-03

Precise measurement of diameter of observing hole in interpretation lens by linear array CCD

JIAN G Ding-ding, LI Kai-duan, ZHAO Yu-liang

(Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266041, China)

Abstract: Observing the diameter of hole in interpretation lens directly affects observing effect of all kinds of target in aviation image. Hardware and software scheme of automatic measurement are given based on circular aperture Fraunhofer diffraction and highspot of series outbound signal of linear array CCD. At last, experimental analysis proves that this method is scientific and practical.

Key words: Fraunhofer diffraction; Linear array CCD; Interpretation lens; Diameter; Measurement

0 引言

判读镜具是航空照片进行观察和判读的基本用具,判读人员可以通过观察孔判读航空照片中的各种目标,观察孔的直径直接影响照片的观察效果。因此,实现对判读镜具的精确测量有着很重要的现实意义。传统的测量方法是采用微孔激光检测仪,利用其中一个激光器产生物体微小孔径的衍射图样,另一激光器与分光器、双反射镜组成迈克尔逊干涉仪,测量十字导轨上的光电探测器在相互垂直的两个方向上的移动距离,并根据两个移动距离值,计算出微孔径

的大小。该测量方法存在两个误差:光电探测器面光强接收引起的测量原理误差和测量装置结构调整误差。虽然原理误差可以通过动态仿真进行修正,但该修正结果的精度依赖于光电探测器扫描步长,制约了探测精度的提高和测试步骤的简化。如果用线阵 CCD 替代光电探测器和激光干涉仪,将会很好地解决这些问题。

1 测量原理

采用线阵 CCD 替代光电探测器后,也需要激光器通过微孔产生衍射图样,提供检测信息。当激光束

通过微孔后,形成圆孔夫琅和费衍射,如图 1 所示,其衍射图形是以爱里斑为中心的同心圆。

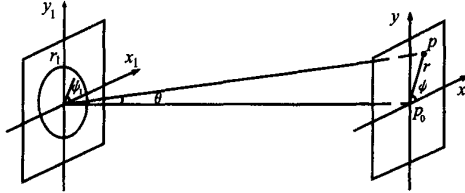


图 1 半径为 a 的微孔衍射原理图

Fig. 1 Diffraction principle of a eyelet whose radius is a

根据夫琅和费衍射公式,衍射图样上任意点 P 的复振幅为:

$$\tilde{E}(p) = c \int_0^a \int_0^{2\pi} \exp[-ikr_1 \tan \theta \cos(\psi_1 - \psi)] r_1 dr_1 d\psi_1 \quad (1)$$

再根据零阶贝塞尔函数的积分表达式:

$$J_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(iz \cos \psi) d\psi \quad (2)$$

P 点的复振幅可写为:

$$\begin{aligned} \tilde{E}(p) &= c \int_0^a 2\pi J_0(-kr_1 \tan \theta) r_1 dr_1 = \\ &= \frac{2\pi c}{(k \tan \theta)^2} \int_0^{k \tan \theta} J_0(kr_1 \tan \theta) (kr_1 \tan \theta) d(kr_1 \tan \theta), \end{aligned} \quad (3)$$

再利用贝塞尔函数的递推公式:

$$\frac{d}{dz} [zJ_1(z)] = zJ_0(z) \quad (4)$$

P 点的复振幅公式可简化为:

$$\begin{aligned} \tilde{E}(p) &= \frac{2\pi c}{(k \tan \theta)^2} [(kr_1 \tan \theta) J_1(kr_1 \tan \theta)] \Big|_{r_1=0}^{r_1=a} = \\ &= \pi a^2 c \frac{2J_1(k \tan \theta)}{k \tan \theta} \end{aligned} \quad (5)$$

令式中 $z = k \tan \theta$,即可将 P 点的复振幅公式进一步简化为:

$$\tilde{E}(p) = \pi a^2 c \frac{2J_1(z)}{z} \quad (6)$$

式中 z 是圆孔边缘与中心点之间的位相差,该差值决定了衍射环光强。当衍射图样为极值时,其位相差应该满足: $z = k \tan \theta = 2m\pi$ 。这样就得到圆孔半径的计算公式:

$$a = \frac{2m\pi}{k \tan \theta} = \frac{ml\lambda}{r_K} \quad (7)$$

式中 r_K 是衍射图样中第 K 级衍射环的半径; λ 是

激光波长; l 是衍射圆孔至衍射图样的距离; m 是贝塞尔函数的零点值,当衍射环级数确定时,该值为常数。为避免衍射距离对测量结果的影响,上述公式还可用增量形式表示:

$$a = \frac{m\lambda \Delta l}{\Delta r_K} \quad (8)$$

因此,只要确定衍射距离的改变量和同级衍射环半径的改变量即可求出微孔的半径。

2 测量方法

串行输出的线阵 CCD,其输出信号值与 CCD 探测元的位置是对应的,通过对输出信号的比较,可以较容易地确定衍射图样极值点的准确位置。测量原理如图 2 所示。

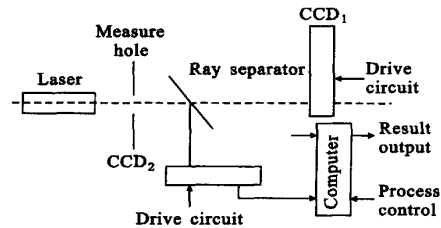


图 2 测量原理图

Fig. 2 Measurement principle

在该检测装置中,线阵 CCD₁ 与分光器固定在可沿激光光轴方向移动的导轨上。激光器输出信号经观察孔形成衍射图样,经分光器,分别成像在两线阵 CCD 面上。其中 CCD₁ 得到某级衍射环的半径, CCD₂ 得到任意级衍射环的位置。然后,轴向移动导轨,经 CCD₁ 测得移动后同级衍射环新的半径,并计算出移动前后同级衍射环的半径差值;经 CCD₂ 测得同级衍射环移动的距离,即导轨的移动距离。然后利用求微孔半径公式,计算机自动输出计算结果。图 3 为用 C 语言编写的流程图。

利用线阵 CCD 自动测量观察孔直径时, CCD₁ 得到的是观察孔衍射环位置的差值,为保证多次测量结果不受线阵 CCD₁ 与激光器距离的影响,该测量装置中设有 CCD₁ 位置零位,以保证 CCD₁ 每次都从同一位置移动; CCD₂ 得到的是导轨移动距离,为保证该值的精确,测量时应保证 CCD₂ 与激光光轴平行。CCD 探测元对测量精度的影响,取决于光敏元的间隙和对衍射环捕捉方式。而现代 CCD 光敏元都采用

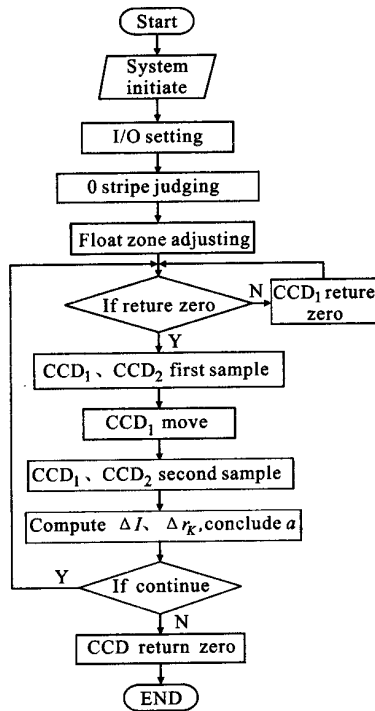


图 3 流程图
Fig. 3 Process

紧密排列形式,衍射环位置的捕捉是依靠探测元逐点比较光强,按比值确定位置,从而避免探测元对测量精度的影响。这样,对测量精度的影响只受 CCD₁ 面与激光光轴的垂直度和 CCD₂ 面与激光光轴的平行度的影响。

3 测径系统的总体结构

该判读镜具测径系统总体结构如图 4 所示。

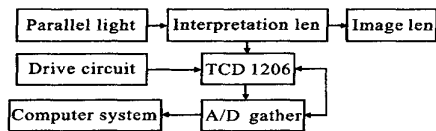


图 4 测径系统总体结构
Fig. 4 Total construction of measurement system

提供高稳定度光源的电源:高稳定稳压稳流电源的电流稳定性优于万分之一;

光源:为了和 CCD 的光谱曲线配合,使 CCD 的光谱响应最大,采用功率为 3 W 的白炽灯;

摄像物镜:选取的摄像物镜的焦距为 85 mm;

孔径光阑:由实验可知,直径为 2 mm 的孔径光

阑为最佳孔径光阑。

为了使测量范围在 10 mm 以内,需选择测径系统的放大倍率为 3。由光学成像公式计算得到的放大倍率只是粗略值,测径系统具体的放大倍率还需要在实验中标定。

选用 TCD1206UD 型线阵 CCD,其主要技术指标为:

像敏单元数 2160;像元总长 30.24 mm;像元中心距 14 μm;驱动频率 1 MHz;行周期 2.5 ms;灵敏度 45 V/(lx·s);采集卡是 12 位的 A/D 数据采集卡;计算机系统带有 ISA 插槽的 Pentium4 微机。

4 实验分析

本实验是在显微镜下对判读镜标定时进行的,显微镜本身的精度为 1 μm。为了减小标定中的随机误差,测量间隔为 1 次/s,共测 5 次,然后由程序分别计算,取其平均值。测试系统经过精心调试,测量数据经过边缘点细分以及误差修正,达到了很好的效果。经过与判读镜相比较,整个测径系统的测量误差在微米级以内。对判读镜观察孔直径的测量结果如表 1 所示。测量中,误差的主要来源有光束不平行的准直误差,CCD 的非均匀性误差,透镜像差及环境噪声误差等。

表 1 测量结果 (mm)

Project	1	2	3	4	5	6
Standard value	1.999	2.003	2.996	4.998	7.900	9.495
Practical value	1.998	2.002	2.996	4.999	7.899	9.495
False	- 0.001	- 0.001	0	0.001	- 0.001	0

参考文献:

[1] 吕海宝,徐涛.激光光电检测[M].长沙:国防科技大学出版社,2000.
 [2] 王永中,据新军,胡心.智能光电系统[M].北京:科学出版社,1999.
 [3] 梅遂生.光电子技术[M].北京:国防工业出版,1999.
 [4] 廖延彪.物理光学[M].北京:电子工业出版社,1986.
 [5] 范少卿.物理光学[M].北京:北京工业学院,1984.
 [6] 刘滨.C++ Builder 4 高级编程实例精解[M].北京:国防工业出版社,2000.
 [7] Chris Pappas.Visual C++ 5[M].北京:中国轻工业出版社,1998.