

# 一种光学传递函数测量方法的原理和数学模型

陶成玉

随着光学科研生产的发展,从理论和实践上业已证明光学传递函数测量是较全面、客观地评价光学系统质量的有效手段。因此,光学传递函数测量正在逐步得到推广应用,出现了多种测量手段和设备。七十年代以来,国外比较有代表性的光学传递函数测量设备是英国的 *EROS* 系列产品,其中, *EROS IV* 型设备已成为英国 *SIRA* 协会(科学仪器研究协会)的标准设备。结合我所的实际情况,在参照 *EROS* 系列测量方法的基础上,我们进一步开展了光学传递函数测量设备的研制工作。本文对这种测量方法的原理和数学模型进行了较为详细的分析和推导,并且引入了目标狭缝函数这一概念,分析计算了目标狭缝宽度和扫描狭缝宽度对光学传递函数测量精度的影响。

## 一 测量方法的原理

非相干光学成像系统可被认定为低通线性滤波器。一个光强在空间呈正弦分布的目标,经过这样系统所成的象,其光强分布仍为同一空间频率的正弦分布,只是调制度降低和位相可能发生移动。调制度降低程度和位相移动大小是空间频率的函数,分别称之为光学系统的调制传递函数和位相传递函数,统称光学传递函数,分别用 *MTF*、*PTF*、*OTF* 表示。它们之间的关系为:

$$H(N) = T(N) \exp[-i\theta(N)]$$

式中,  $H(N)$  为 *OTF*,  $T(N)$  为 *MTF*,  $\theta(N)$  为 *PTF*。

许多光学系统由于受接收器分辨能力的限制,工作的空间频率属于低频范围,这时的 *PTF* 值一般都很小。因此,我们通常关心的多是 *MTF* 的测量。

还要指出,由于光学系统的横向放大率通常不等于 1,这就使得目标和象的实际空间频率不同。所以,一般空间频率都是指象面上的值。为此,我们所指的目标则是实际目标的“理想成象”。所谓理想成象,是指象的位置和大小完全由高斯光学决定,象的光强分布不考虑光学系统的光吸收和表面反射损失,其调制度视作与实际目标完全一样。

所要介绍的 *OTF* 测量方法的光路安排如图一所示。图中: 1 为光源; 2 为绕自身轴线旋转的光栅盘,刻有等宽且相间的黑线条和透光线条(为方便起见,就称之为黑和白线条),线条中径  $R$  的圆周线与光轴相交; 3 为绕光轴旋转的别汉棱镜(或  $K$  棱镜)系统,包括空间频率值指示机构; 4 为  $0.5\times\sim 2\times$  连续变倍物镜,称为中继光学系统; 5 为分光棱镜; 6 为星点板和光电接收元件,用于 *PTF* 测量; 7 为目标狭缝,光栅盘线条通过中继光学系统成象在目标狭缝上; 8 为准直光学系统; 9 为被测光学系统; 10 为  $10\times$  或  $20\times$  显微物镜; 11 为扫描狭缝,它与目标狭缝相互垂直,光栅盘线条和目标狭缝最终皆成象在扫描狭缝上; 12 为光电

倍增管。图1中，1~7组成了目标信号发生器；10~12组成了光电接收系统，即象分析器。此外，电学系统的方框图也一并在图1中表示。

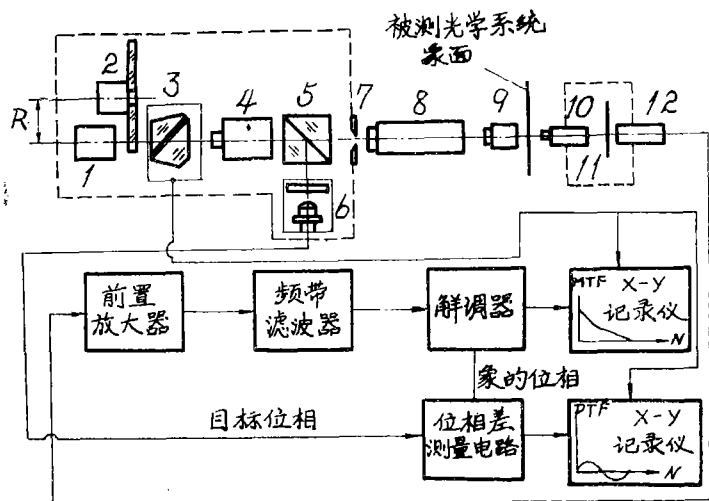


图 1

由于光栅盘旋转过程就是扫描过程，所以光栅盘本身的光强分布是沿着圆周展开的。光栅盘白线条沿着圆周展开的图形如图2中的实线梯形所示，虚线表示矩形光栅。



图 2

选择光栅盘的空间频率  $N_g = 10$  线对/毫米，也就是在中径  $R$  的圆周上，每毫米包含10根黑线条和10根白线条；中径  $R = 47.75$  毫米，其整个圆周则包括 3000 根黑线条和3000根白线条；每根黑线条或白线条的夹角  $\varphi = 2\pi/6000$  (弧度)。显然，中径  $R$  与光栅盘空间周期（相邻两根黑线条或白线条的间距） $1/N_g$  相比，是足够大的；从本文后面的分析计算中可知，中径  $R$  与线条使用宽度  $h$  相比，也是足够大的。通过计算来证明：满足这两个条件的光栅盘可视为矩形光栅。

图2中，实线梯形波形的表示式为：

$$y_1 = \frac{h}{2} + \frac{2h}{\alpha\pi} \left[ \sin\alpha \sin 2\pi N_g x + \frac{1}{3^2} \sin 3\alpha \sin 2\pi (3N_g) x + \frac{1}{5^2} \sin 5\alpha \sin 2\pi (5N_g) x + \dots \right] \quad (1)$$

式中， $h$  为线条使用宽度， $\alpha$  值的计算公式为：

$$\alpha = 2\pi N_g \cdot \frac{h}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

已知  $\varphi = 2\pi/6000$ ，又令  $h = 50/N_g$ ，代入(2)式得： $\alpha = 0.026\pi$ 。

图 2 的虚线矩形波形表示式为：

$$y_c = \frac{h}{2} + \frac{2h}{\pi} \left[ \sin 2\pi N_g x + \frac{1}{3} \sin 2\pi(3N_g)x + \frac{1}{5} \sin 2\pi(5N_g)x + \dots \right] \quad (3)$$

将  $\alpha$  值分别代入  $\sin \alpha/\alpha$  和  $\sin 3\alpha/3\alpha$  算式，再将算得的数值与 1 进行比较，其差值分别为 0.001 和 0.01。这就说明，图 2 中的梯形波形和矩形波形极为接近；实际上，我们采用的只是基频部分，在所要求的 *OTF* 测量精度范围内，表示式 (1) 和 (3) 在此情况下是等效的。

矩形或梯形等任何图样的波形都可以看作是若干正弦波形之和，如公式(1)(3)所示。如果把公式(1)、(3)中的高次谐波项滤掉，这样就与使用正弦波形的光栅等效。单纯用光学方法是难以实现这一点的。如果我们把扫描过程的时间和空间关联起来，采用电学方法来滤掉高次谐波项则是容易实现的。这种测量 *OTF* 的方法称作光电付利叶分析法。

对于 *OTF* 测量来讲，主要是测量对应不同空间频率值的 *MTF* 和 *PTF*，即函数值  $T(N)$  与  $\theta(N)$ 。这就要求能够以一定的精确度给出一系列的空间频率值，方法的原理如下：

参看图 1 可知，当别汉棱镜（或 *K* 棱镜）绕光轴旋转时，光栅盘线条在狭缝上的象也要随之绕光轴旋转，其转角为棱镜转角的二倍。如果光栅线条相对于目标狭缝旋转了  $\theta$  角，从图 3 可以得出关系式：

$$N = N_g \sin \theta / \beta \quad (4)$$

式中， $N$  为沿目标狭缝方向的空间频率， $\beta$  为光栅盘至被测光学系统象面这段光路的横向放大率。

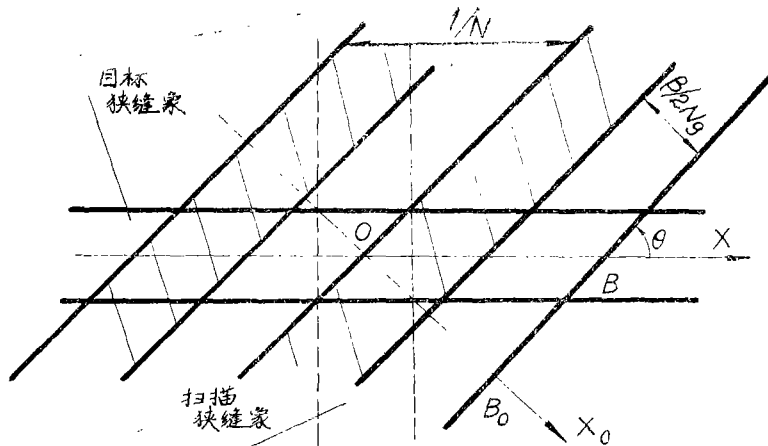


图 3

从公式(4)可知，只要测量出一系列的  $\sin \theta$  值，同时就给出了空间频率值  $N$ ； $\theta$  角是可以连续变化的， $N$  值也就随之连续变化，这样就能够测量出某一空间频率范围内连续的传递函数值 *MTF* 和 *PTF*。又由于目标狭缝有足够的长度，从而可以大大减少末端效应 (*end effect*)，提高 *OTF* 的测量精度。

如上所述，在光栅盘旋转（扫描）过程中，要把时间和空间关联起来，其方法的原理如下：

在图3中,  $Ox_0$ 就是光栅盘中径圆周的切线,也就是通过 $O$ 点的中径 $R$ 的圆周展开线。 $O$ 点又是目标狭缝的对称中心。显然,在单位时间1秒内,沿 $x_0$ 轴通过 $O$ 点的空间周期数,即时间频率 $f_1$ 为:

$$f_1 = 2\pi R\beta\omega N_g / \beta = 2\pi R\omega N_g \text{ (周/秒)} \quad (5)$$

式中,  $\omega$ 为光栅盘绕自身轴线旋转的角速度,单位为:转/秒。在同样的时间间隔内,当光栅线条沿 $x_0$ 轴由 $O$ 点转到 $B_0$ 点时,同一条线沿 $x$ 方向则由 $O$ 点到达 $B$ 点。由于 $OB = OB_0 / \sin \theta$ 。所以,在单位时间1秒内,沿 $x$ 轴通过 $O$ 点的空间周期数,即时间频率 $f_2$ 为:

$$f_2 = (2\pi R\beta\omega / \sin \theta) \cdot N$$

将(4)式代入上式,得:

$$f_2 = 2\pi R\omega N_g \text{ (周/秒)} \quad (6)$$

(5)和(6)两式是相等的,即 $f = f_1 = f_2$ 。这就是说,当空间频率 $N$ 变化时,由目标信号发生器给出的光强扫描信号的时间频率 $f$ 却保持恒定。参照图3和公式(4),令 $OB = x$ ,  $OB_0 = x_0$ ,又令扫描时间为 $t$ ,则:

$$x_0 = x \sin \theta = (ft/N) \sin \theta = ft\beta/N_g$$

由此,得:

$$N_g x_0 / \beta = Nx = ft \quad (7)$$

用 $N_g x_0 / \beta$ 代替(1)、(3)两式中的 $N_g x$ 项,再将(7)式代入之,(1)、(3)两式便成了以时间频率 $f$ 和扫描时间 $t$ 来表示的公式,即:

$$y_1 = \frac{h}{2} + \frac{2h}{\alpha\pi} \left[ \sin \alpha \sin 2\pi ft + \frac{1}{3^2} \sin 3\alpha \sin 2\pi(3f)t + \frac{1}{5^2} \sin 5\alpha \sin 2\pi(5f)t + \dots \right]$$

$$y_2 = \frac{h}{2} + \frac{2h}{\pi} \left[ \sin 2\pi ft + \frac{1}{3} \sin 2\pi(3f)t + \frac{1}{5} \sin 2\pi(5f)t + \dots \right]$$

显然,用电学方法,即电学滤波器是很容易将除 $\sin 2\pi ft$ 以外的高次谐波项滤掉的。

将 $R = 47.75$ 毫米,  $\omega = 2/3$  (转/秒),  $N_g = 10$ 线对/毫米,代入公式(5)或(6),得 $f = 2000$ 周/秒。在测量过程中,我们是用 $T(N)$ 来作为基频 $f = 2000$ 周/秒(载波)的调制信号,通过解调器得出随空间频率 $N$ 变化的信号 $T(N)$ ,即 $MTF$ 。同时,我们将 $T(0)$ 规范化为1;把 $N = 0$ 时的 $PTF$ 值规范化为0,即 $\theta(0) = 0$ 。测量出目标信号与象信号之间超前或滞后的时间差,就可以得到随空间频率 $N$ 变化的信号 $\theta(N)$ ,即 $PTF$ 。

## 二 数学模型

当空间频率 $N = N_g / \beta$ 时,其光强分布的波形是沿着光栅盘中径 $R$ 的圆周展开的,可视作矩形波形。这时光栅线条与目标狭缝垂直,两者夹角 $\theta = 90^\circ$ ,如图4所示。通常 $\beta \ll 1$ ,这样就能在较高的空间频率范围内进行 $OTF$ 的测量。当空间频率变化时, $\theta \neq 90^\circ$ ,光强分布的波形就产生了变化。参照图5,对此作如下的分析。

如果有一个其宽度可视作无限窄,也就是可视作 $\delta$ 函数的扫描狭缝与目标狭缝垂直,并对光强分布进行扫描。从图5(a)可以看出,透过扫描狭缝的光通量显然与其截取的透光线

缝高度成正比。当截取的透光线缝高度等于目标狭缝象的宽度时，透过扫描狭缝的光通量为最大值。此时，光强分布的波形如图 5 (b) 所示，为梯形波形。

下面，我们来计算目标狭缝所允许开启的最大宽度值。

参看图 1，设中继光学系统的横向放大率为  $\beta_0$ ，光栅盘至被测光学系统象面的横向放大率仍用  $\beta$  表示。再参看图 5 (a) 和公式 (4) 可推导出：

$$\begin{aligned} d &= \frac{1}{2N} - b = \frac{\beta}{2N_s \sin \theta} - \frac{\beta h \cdot \text{ctg} \theta}{\beta_0} \\ &= \frac{\beta}{2N_s \sin \theta} - \frac{\beta h \cdot \cos \theta}{\beta_0 \cdot \sin \theta} \end{aligned}$$

要求  $d \geq 0$ ，于是：

$$h \leq \frac{\beta_0}{2N_s \cos \theta}$$

当  $\cos \theta = 1$  时，上式右项的数值为最小。此时，上式即可写成：

$$h \leq \frac{\beta_0}{2N_s} \quad (8)$$

(8) 式表明：在保持目标调制度不变（等于 1）的情况下，目标狭缝所允许开启的最大宽度值为  $h = \beta_0 / 2N_s$ 。在这种情况下，当空间频率  $N$  由 0 至  $N_s / \beta$  之间连续变化时，光强分布的波形于三角形——梯形——矩形之间变化。

参照公式 (1) 和图 5，即可得出图 5 (b) 所示光强分布波形的表示式：

$$\begin{aligned} I(x) &= \frac{Kh}{2} + \frac{2Kh}{\alpha_1 \pi} \left[ \sin \alpha_1 \sin 2\pi N x + \frac{1}{3^2} \sin 3\alpha_1 \sin 2\pi (3N) x \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{5^2} \sin 5\alpha_1 \sin 2\pi (5N) x + \dots \right] \end{aligned} \quad (9)$$

式中， $K$  为比例常数，用以表明透过扫描狭缝的光通量与其截取的透光线缝高度成正比。

引入公式 (7)：  $Nx = ft$ ，并滤掉高次谐波项；又令  $Kh/2 = A$ ，  $2Kh/\pi = B$ ，在公式 (9) 的基础上，给出象的光强分布表示式：

$$I'(t) = A + B \cdot S(N) \cdot S'(N) \cdot T(N) \sin[2\pi ft - \theta(N)] \quad (10)$$

上式就是所介绍的  $OTF$  测量方法的数学模型。式中： $S(N)$  为目标狭缝函数， $S(N) = \sin \alpha_1 / \alpha_1$ ； $S'(N)$  为扫描狭缝函数；当目标为“单纯正弦波形”，即  $I(x) = A + B \sin 2\pi N x$ ，并且扫描狭缝宽度  $\rightarrow 0$  时，其  $MTF$  值就为  $T(N)$ ； $\theta(N)$  为  $PTF$ 。

令扫描狭缝在被测镜头象面上的宽度为  $h'$ ，则  $S'(N)$  的表达式为：

$$S'(N) = \frac{\sin \pi N h'}{\pi N h'} \quad (11)$$

$S(N)$  的表达式推导如下：

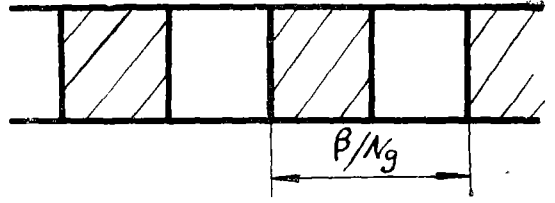


图 4

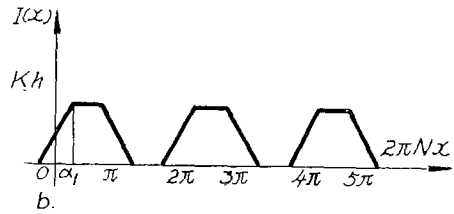
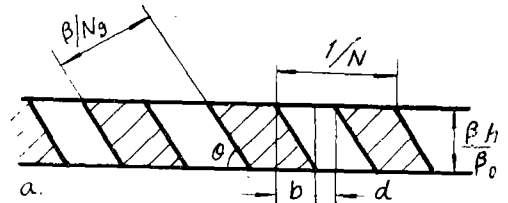


图 5

由图 5 得:

$$\alpha_1 = 2\pi N \cdot \frac{b}{2} = 2\pi N \cdot \frac{h\beta}{2\beta_0} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{\pi N h \beta}{\beta_0} \cdot \frac{\sqrt{1 - \sin^2\theta}}{\sin\theta} \quad (12)$$

由公式(4)可知:  $\sin\theta = N\beta/N_0$  (13)

将(13)式代入(12)式, 得:

$$\alpha_1 = \pi h \sqrt{N_0^2 - (N\beta)^2} / \beta_0$$

于是, 便推导出:

$$S(N) = \frac{\sin \pi h \sqrt{N_0^2 - (N\beta)^2} / \beta_0}{\pi h \sqrt{N_0^2 - (N\beta)^2} / \beta_0} \quad (14)$$

### 三 狭缝宽度的选择:

如果目标的光强分布为“单纯正弦波形”, 即:

$$I(x) = A + B \sin 2\pi N x \quad (15)$$

象的光强分布则为:

$$I'(x) = A + B \cdot S'(N) \cdot T(N) \sin[2\pi N x - \theta(N)] \quad (16)$$

根据OTF的测量原理, MTF值为象和目标光强分布的交流分量之比。当扫描狭缝的宽度  $h' \rightarrow 0$  时, 由公式(11)可知:  $S'(N) = 1$ 。由公式(15)和(16)可得出此时的 MTF值  $T(N)$  为:

$$T_0(N) = \frac{B \cdot T(N)}{B} = T(N)$$

因此, 当物和象的光强分布为单纯的“正弦波形”, 并消除扫描狭缝宽度的影响时, 得到的 MTF值便为  $T(N)$ , 这正是我们所需要的。当  $N = 0$  时,  $T(0) = 1$ 。

回过头来, 我们再研究公式(10), 令  $T'(N) = S(N) \cdot S'(N) \cdot T(N)$ 。当  $N$  变化时, 如果  $S(N) \cdot S'(N)$  保持为“常数”, 我们把测得的象分布交流分量  $B \cdot S(N) \cdot S'(N) \cdot T(N)$  与  $N = 0$  时的象分布交流分量  $B \cdot S(0) \cdot S'(0) \cdot T(0)$  相比, 其比值为  $T'(N)/T'(0)$ 。由于  $T(0) = 1$ , 且  $S(N) \cdot S'(N)$  为“常数”, 显然, 此时测得的交流分量比值  $T'(N)/T'(0)$  就为  $T(N)$  值。还要说明, 这里所指的“常数”, 就是随着  $N$  的变化,  $S(N) \cdot S'(N)$  值相对于  $S(0) \cdot S'(0)$  值的变动范围小于某个数值。根据OTF的测量精度要求, 我们提出:

$$\begin{aligned} & |1 - S(N) \cdot S'(N) / S(0) \cdot S'(0)| \\ & = |1 - S(N) \cdot S'(N) / S(0)| < 0.005 \end{aligned} \quad (17)$$

因此,  $T(N)$  的理论偏差值  $\Delta T(N)$  为:

$$\begin{aligned} \Delta T(N) &= |T(N) - T'(N)/T'(0)| \\ &= |T(N) - S(N) \cdot S'(N) \cdot T(N) / S(0) \cdot S'(0) \cdot T(0)| \\ &= |T(N) [1 - S(N) \cdot S'(N) / S(0)]| \end{aligned}$$

于是得:

$$\left| \frac{\Delta T(N)}{T(N)} \right| = \left| 1 - S(N) \cdot S'(N) / S(0) \right| \quad (18)$$

根据公式(11)和(14)可知,  $S(N)$  和  $S'(N)$  的数值与狭缝的宽度有关。因此必须选择

适宜的狭缝宽度，符合公式(17)的要求。为计算方便起见，我们令  $h = a \cdot \beta_0 / N_g$ ,  $h' / \beta = a' / N_g$ , 这样一来， $a$  和  $a'$  就成了表征目标狭缝宽度和扫描狭缝宽度的系数，亦表征狭缝宽度与光栅盘空间周期的比值。再将公式(4)分别代入公式(11)和(14)便得：

$$S(N) = \frac{\sin(\pi a \cdot \cos\theta)}{\pi a \cdot \cos\theta} \quad (19)$$

$$S'(N) = \frac{\sin(\pi a' \cdot \sin\theta)}{\pi a' \cdot \sin\theta} \quad (20)$$

于是，公式(18)变成：

$$\left| \frac{\Delta T(N)}{T(N)} \right| = \left| 1 - \frac{\sin(\pi a \cdot \cos\theta) \cdot \sin(\pi a' \cdot \sin\theta)}{\pi a \cdot \cos\theta \cdot \pi a' \cdot \sin\theta} \right| \frac{\sin \pi a}{\pi a} \quad (21)$$

我们取  $\sin \theta = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ ；亦即取  $N\beta = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0N_g$ ，求出对应的  $S(N)$ 、 $S'(N)$  和  $|\Delta T(N)/T(N)|$  值。

令目标狭缝宽度  $h' = \beta_0 / 2N_g, 3\beta_0 / 8N_g, \beta_0 / 4N_g$ ，亦即  $a = 1/2, 3/8, 1/4$ ，则  $S(N)$  值如下表所示：

表 1

$\sin \theta$		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$S(N)$	$a = 1/2$	0.6366	0.6398	0.6494	0.6650	0.6887	0.7189	0.7568	0.8031	0.8584	0.9238	1.0000
	$a = 3/8$	0.7842	0.7862	0.7895	0.8024	0.8167	0.8356	0.8594	0.8861	0.9188	0.9566	1.0000
	$a = 1/4$	0.9003	0.9012	0.9040	0.9090	0.9159	0.9248	0.9355	0.9484	0.9634	0.9806	1.0000

再令扫描狭缝在被测镜头象面上的宽度  $h' = \beta / 2N_g, 3\beta / 8N_g, \beta / 4N_g$ ，亦即  $a' = 1/2, 3/8, 1/4$ ，则  $S'(N)$  值如下表所示：

表 2

$\sin \theta$		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$S'(N)$	$a' = 1/2$	1.0000	0.9958	0.9836	0.9634	0.9355	0.9003	0.8584	0.8103	0.7568	0.6886	0.6366
	$a' = 3/8$	1.0000	0.9977	0.9907	0.9793	0.9634	0.9432	0.9188	0.8904	0.8584	0.8229	0.7482
	$a' = 1/4$	1.0000	0.9990	0.9958	0.9907	0.9836	0.9745	0.9634	0.9504	0.9355	0.9188	0.9003

当  $a = a' = 1/2, a = a' = 3/8, a = a' = 1/4$  时，通过公式(18)或(21)进行计算，将得到的  $|\Delta T(N)/T(N)|$  值列表如下：

表 3

$\sin \theta$		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\left  \frac{\Delta T(N)}{T(N)} \right $	$a = a' = 1/2$	0.0000	0.0033	0.0064	0.0064	0.0120	0.0166	0.0204	0.0223	0.0204	0.0136	0.0000
	$a = a' = 3/8$	0.0000	0.0010	0.0020	0.0020	0.0033	0.0049	0.0056	0.0061	0.0057	0.0036	0.0000
	$a = a' = 1/4$	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0006	0.0009	0.0010	0.0011	0.0009	0.0007	0.0000

通过分析计算, 还可得知: 当  $a \neq a'$  时, 会产生很大的误差。例如: 当  $a = 3/8, a' = 1/4, \sin\theta = 0.7$  时,  $|\Delta T(N)/T(N)| = 0.073$ ; 当  $a = 1/4, a' = 3/8, \sin\theta = 0.7$  时,  $|\Delta T(N)/T(N)| = 0.062$ 。因此, 关于狭缝宽度的选择问题, 我们可以得出如下结论:

1. 当  $a = a' = 1/2$  时, 即目标狭缝宽度  $h = \beta_o/2N_o$ , 扫描狭缝宽度  $H = h'\beta_1 = \beta\beta_1/2N_o$  时,  $|\Delta T(N)/T(N)|$  的最大值为 0.0223, 参看图 1,  $\beta_1$  为显微物镜 10 的倍率; 当  $a = a' = 3/8$ , 即  $h = 3\beta_o/8N_o, H = 3\beta\beta_1/8N_o$  时,  $|\Delta T(N)/T(N)|$  的最大值为 0.0061; 当  $a = a' = 1/4$ , 即  $h = \beta_o/4N_o, H = \beta\beta_1/4N_o$  时,  $|\Delta T(N)/T(N)|$  的最大值为 0.0011。为此, 在测量时, 我们取  $a = a' = 1/4$ , 此时产生的  $MTF$  值的误差可忽略不计。

2. 当  $a \neq a'$  时, 会产生很大的  $MTF$  值的误差。这就要求在测量时必须仔细调节狭缝的宽度, 使目标狭缝和扫描狭缝在同一成象面上的宽度相等。令  $\Delta a = a - a'$ , 通过公式 (21) 可计算出对应的误差值  $|\Delta T(N)/T(N)|$ 。

综上所述, 本文所介绍的  $OTF$  测量方法: 用圆形光栅代替了矩形光栅, 用光栅盘自转代替了扫描过程; 空间频率值可以连续变化, 能在较高的空间频率范围内测量出连续变化的  $MTF$  和  $PTF$  值; 又由于目标狭缝有足够的长度, 从而大大减小了末端效应; 所有的空间频率值只对应一个时间频率  $f$ , 这就只需要采用一个电学滤波器; 同时, 这种测量方法便于实现快速、自动测量, 精度较高。但是, 这种测量方法需要在测量光路中按置目标狭缝, 所允许开启的目标狭缝宽度取决于光栅盘的空间周期, 为光栅盘线条在目标狭缝处所成之象的空间周期的四分之一; 目标狭缝和扫描狭缝互相垂直, 两者在同一成象面上的宽度相等; 因此, 采用相应的技术手段来提高光电信号的强度, 就成了这种测量方法的关键所在。

#### 参 考 资 料

- [1] 蒋筑英: 光学机械, 1977 年第一期
- [2] 麦伟麟: 光学传递函数及其数理基础, 6~9 页, (1979)
- [3] H. Tiziani, Photogrammetria, 34, (1978), No. 2, p45