

通用光路计算程序

王书泽 翁自强

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文是我所光路计算程序的一个说明。它介绍了程序的功能,列出了程序中所用的全部计算公式,并说明其来源和物理意义。

程序仅追迹了四个视场的三十四条光线,算出这四个视场的点列图和每个视场的五个离焦位置、四个特征频率和两种方位物分布的光学传递函数(OTF)值。

程序通过光路计算直接算出几何像差(视场和孔径),样点虽然不多(34个样点),但因它们是按切比雪夫求积公式的节点分布的,所以这些几何像差值的等权平均就能相当好地反映整个画面、整个光瞳内的像差情况。

本计算程序由于运用像差理论,其优点可少算光线,而获得较多的有用信息,且能较准确全面地评价光学系统质量,是一个通用性强、计算速度快的光学计算程序。

一、概 论

通用光路计算程序(简称程序),不但能作一般光学系统的光路计算和几何像差计算,也能计算系统的点列图和 OTF。本文仅着重介绍程序的光路计算和几何像差计算部分,通过将程序中所用的算式尽可能全面地列出来,并对算式的来源和意义略加说明。

在 $j = nu(l_p - l)u_p$ 中, $l = h/u$, l_p 由已知光阑位置确定。所以,采用 j 、 h 、 u 三个参数作为程序输入的光路参数,就可以唯一地确定光线。

下面分四部分来介绍这个程序:

二、近轴光线计算和赛得像差计算

$$i = (h/R) - u, \quad i' = ni/n', \\ u' = i + u + i', \quad h^* = h - du',$$

$$S_I = [h(ni)^2(i' - u)(n' - n)/nn'] + [(n - n')h^4/R^3b], \\ S_{II} = [h(ni)(ni_p)(i' - u)(n' - n)/nn'] + [(n - n')h^3/R^3h_p b], \\ S_{III} = [h(ni_p)^2(i' - u)(n' - n)/nn'] + [(n - n')h^2/R^3h_p^2 b], \\ S_{IV} = j^2(n' - n)/nn'R, \\ S_V = h_p ni(i'_p - u_p)(i_p - i'_p) + j(u_p^2 - u_p'^2) + [hh_p^2/R^3(n - n')b], \\ C_I = hni[(\delta n'/n') - (\delta n/n)], \quad C_{II} = hni_p[(\delta n'/n') - (\delta n/n)],$$

$$l'_H = (h_1 u_{P,1} - h_{P,1} u_1 + h_{P,k} u_1 - h_k u_{P,1}) / (u'_{P,k} u_1 - u'_k u_{P,1}),$$

$$l_H = (h_1 u'_{P,k} - h_{P,1} u'_k + h_{P,k} u'_k - h_k u'_{P,k}) / (u'_{P,k} u_1 - u'_k u_{P,1}),$$

$$f' = (h_1 - l_H u_1) / (n'_k u'_k - n_1 u_1).$$

若 $|u'_k| \leq 10^{-3}$, $C_4 = 1000/h_k$; $|u'_k| > 10^{-3}$, $C_4 = 1/u'_k$ 。这组公式可用于:

- (1) 同心系统的初级像差;
- (2) 共轴非球面系统的初级像差(因公式中加进了非球面系数 b 的初级修正项);
- (3) 平行光(接近平行光)出射时的光路像差(公式中已为用毫弧度数表示角像差作准备);
- (4) 初级光阑像差 S_{IP} 、 S_{IIP} 、 S_{IIIP} 、 S_{IVP} 和 S_V , 为修正实际光束口径和视场作准备;
- (5) 对运算过程的中间量不用截距 l 和 l_P , 而用 h/u 、 h_P/u_P 和 j 等恒为有限的量表示, 计算精度也不会下降。

三、实际光线追迹

1. 曲面方程的两种表示形式

$$s^2 = 2Rx + (b-1)x^2 + cx^3 + dx^4 + ex^5 + fx^6 + gx^7, \quad (1)$$

$$x = \frac{s^2/R}{1 + \sqrt{1 + [(b-1)s^2/R^2]}} + cs^4 + ds^6 + es^8 + fs^{10} + gs^{12}, \quad (2)$$

式中 $s^2 = y^2 + z^2$ 。当 $b < 0$ 时, 曲面为短轴沿 x 轴的椭球面; $b = 0$ 时, 曲面为球面; $0 < b < 1$ 时为长轴沿 x 轴的椭球面弦; $b = 1$ 时为抛物面; $b > 1$ 时为双曲面。对二次曲面, 特别是当 $b = 0$ 时, 曲面为球面, (1) 式就很简单。但是在 R 很大、 x 很小的情况下, 高次项不起作用时, 以及对一个 x 值对应于多个 s 值的曲面(如 Schmidt 板), (1) 式表示形式就不好处理, 就需要用 (2) 式表示形式。

2. 光线与二次曲面交点

设方向余值为 α 、 β 、 γ 的入射光线 q 与过曲面顶点 O 的切平面 YOZ 交于 $A(0, y_0, z_0)$ 点(如图 1 所示)。求光线 q 与二次曲面交点 P 的坐标 (x, y, z) 。

将光线方程 $x/\alpha = (y-y_0)/\beta = (z-z_0)/\gamma$ 代入二次曲面方程经整理得:

$$\left. \begin{aligned} W_1 x^2 - (2W_2)x + W_3 &= 0, \\ W_1 &= (n^2/\alpha^2) - b, \quad W_2 = [R - (\beta y_0 + \gamma z_0)/\alpha]^{-1}, \quad W_3 = y_0^2 + z_0^2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

解(3)式即可求得光线与二次曲面交点 P 的坐标:

$$x = \frac{W_2 W_3}{1 + \sqrt{1 - W_1 W_2^2 W_3}} \quad (4)$$

对于高次曲面, 可将上式解出的 x 作为初值, 用牛顿法迭代求解。

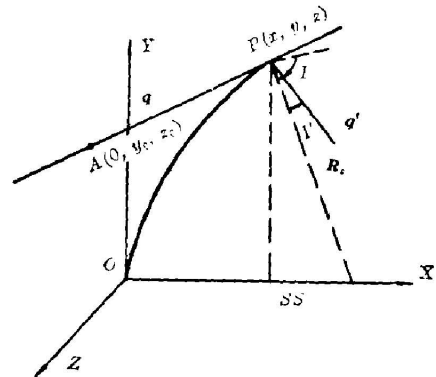


图 1

3. 折射光线 $q'(\alpha', \beta', \gamma')$

折射光线 q' 可以表示成入射光线 q 和曲面法线 R_s 的线性组合。

$$q' = q + \frac{(q' \cdot R_s - q \cdot R_s) R_s}{|R_s|}, \quad (5)$$

即

$$\left. \begin{aligned} q' &= q + (A' - A)(R_s / |R_s|), \\ A &= n \cos I = q \cdot R_s / |R_s| = (a s s' - \beta y - \gamma z) / |R_s|, \\ A' &= n' \cos I' = n' \sqrt{1 - (n^2 - A^2) / n'^2}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中 $R_s(ss', -y, -z)$, $|R_s|^2 = (ss')^2 + s^2$ 是曲面在入射点处的弧矢曲率半径。对 (1) 式和 (2) 式微分得

$$\dot{ss}' = R + (b-1)x + 1.5cx^2 + 2dx^3 + 2.5ex^4 + 3fx^5 + 3.5gx^6, \quad (7)$$

$$\dot{ss}' = 1 / [(W_4/R) + 4cs^2 + 6ds^4 + 8es^6 + 10fs^8 + 12gs^{10}], \quad (8)$$

于是得折射光线三个分量为

$$\alpha' = \alpha + [(A' - A)ss' / |R_s|], \quad \beta' = \beta - [(A' - A)y / |R_s|], \quad \gamma' = \gamma - [(A' - A)z / |R_s|]. \quad (9)$$

4. 用杨氏公式求细光束焦点

用高度 h_s 和 h_t , 以及角度 u_s 和 u_t 表示的杨氏公式

$$\left. \begin{aligned} n'u'_s &= nu_s + \frac{n' \cos I' - n \cos I}{R_s} h_s, \\ n' \cos I' u'_t &= n \cos I u_t + \frac{n' \cos I' - n \cos I}{R_t} h_t, \\ h_s^* &= h_s - Du'_s, \quad h_t^* \cos I^* = h_t \cos I' - Du'_t, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中带 * 号的量值表示下一面的量值, D 是邻接两个面间主光线的长度。

四、初值问题

初值给得正确与否直接关系到对系统光路计算和像差分析是否正确。

1. 视场修正问题

为使像方视场大小尽可能与使用要求相符, 可用中心波长的初级畸变来修正视场分割常数

$$W = W_0 [1 + (S_v / 2jW_0^3)], \quad (11)$$

式中 W_0 是名义视场分割常数, W 是修正后的视场分割常数。

2. 入瞳初值

以主光线在光阑上的高度为标志作迭代, 按高斯光学倍率来变更其在第一面上的高度, 反复追迹主光线直至它在光阑上的高度为零, 这种对应的主光线在第一面上的高度, 就取作实际主光线的初值。为了加速收敛, 迭代开始时的初值可取为高斯光学初值 h_{p1} 加上初级光阑球差 S_{1P} 的修正量, 即

$$y_{p1} = Wh_{p1} - W^3(S_{1P}h_1/2j), \quad (12)$$

式中 h_1 是轴上光线初值, j 是拉氏不变量。

3. 瞳高的修正

为使计算的光束尽可能充满光阑,入瞳尺寸由高斯光学尺寸加初级像差修正值给定。按初级像差理论,入瞳的子午高度 y_1 和弧矢高度 z_1 的初值应分别修正为

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= y_{P1} + Ah_1 \{ 1 - (3S_{IIP}W^2/2j) - [(3S_{IIIP} + S_{IV})AW/2j] \}, \\ z_1 &= Ah_1 [1 - (S_{IIP}W^2/2j)], \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

其中 A 是孔径分割常数, S_{IIP} 、 S_{IIIP} 分别是系统位于光阑左方部分的初级光阑慧差和像散, S_{IV} 是这部分系统的初级场曲。 y 方向也考虑了 S_{IIP} 形成的修正,它已包含在实际主光线高度 y_{P1} 的计算中。

这种修正对于一般较大视场、较大孔径的系统,修正后的光束口径确实非常接近实际光阑孔。但对于特大视场孔径的系统,就还显得不够准确。

4. 入射光线方向余弦值

如图 2 所示,已知物点坐标 (l, η, ζ) , 入射光线 q 与 YOZ 平面交点坐标 $(0, y_0, z_0)$, 入射光线 q 的三个方向余弦值 (α, β, γ) 可表示为

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= n / \sqrt{1 + \left(\frac{y_0 u_y}{h_y} - \frac{j}{nh_y} \right)^2 + \left(\frac{z_0 u_z}{h_z} - \frac{j}{nh_z} \right)^2}, \\ \beta &= [(j/nh_y) - (y_0 u_y/h_y)] \alpha, \\ \gamma &= [(j/nh_z) - (z_0 u_z/h_z)] \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中 h_y, u_y 和 h_z, u_z 分别为入瞳子午和弧矢两截面内入射高度、孔径角的初值。

5. 物空间光程

设参考球面在系统右方(如图 2 所示),其到第一面顶点 O 的距离为 d_0 等于系统筒长的一半。物点处在此球面的中心,系统第一折射面顶点 O 选作坐标原点。已知物点 (l, η, ζ) 和由它发出的任一光线 $q(\alpha, \beta, \gamma)$, 光线同 YOZ 面交点 A 的坐标 $(0, y_0, z_0)$ 。求光线同参考波面交点坐标 (x_1, y_1, z_1) 。

将光线方程 $x_1/\alpha = (y_1 - y_0)/\beta = (z_1 - z_0)/\gamma$ 代入波面方程 $(x_1 - l)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2 = (|l| + d_0)^2 + \eta^2 + \zeta^2$, 经整理得关于 x_1 的二次方程

$$\frac{1}{l} x_1^2 - 2x_1 - \frac{\alpha^2}{n^2} \left[\frac{(y_0^2 + z_0^2 + d_0^2)}{l} + 2 \left(\frac{\beta y_0 + \gamma z_0}{\alpha} + \frac{l}{|l|} d_0 \right) \right] = 0, \quad (15)$$

左边末项 $(d_0 l / |l|)$ 表示 d_0 与 l 取相同的符号。为了方便讨论起见,将(15)式写成如下形式:

$$W_1 x_1^2 - 2x_1 - W_3 = 0, \quad (16)$$

可以证明在一般情况下,它的判别式 $(1 + W_1 W_3)$ 恒为正值,因此 x_1 必有两个实根。约定取靠近坐标原点的根作为方程解,即

$$x_1 = \frac{1 - \sqrt{1 + W_1 W_3}}{W_1} = \frac{-W_3}{1 + \sqrt{1 + W_1 W_3}}, \quad (17)$$

由 x_1 再按下式计算物空间光程 OP

$$OP = (x_1 / \alpha) n^2. \quad (18)$$

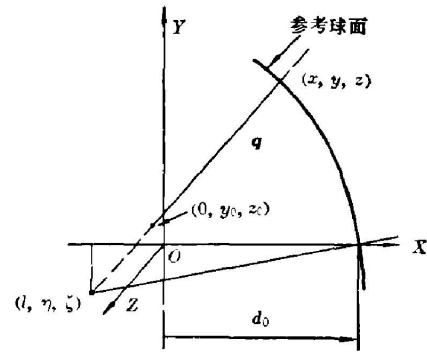


图 2

五、像方数据处理

1. 像空间光程计算

同物方一样,像方光程为

$$OP' = (x_1/\alpha')n'^2, \quad (19)$$

式中 x_1 是如下二次方程的根

$$\frac{1}{l'} x_1^2 - 2x_1 - \frac{\alpha'^2}{n'^2} \left[\frac{(y_0^2 + z_0^2 + d_0^2)}{l'} + 2 \left(\frac{\beta' y_0 + \gamma' z_0}{\alpha'} + \frac{l'}{|l'_1|} d_0 \right) \right] = 0. \quad (20)$$

对于有场镜的系统,只要将上式乘 l' 两边,即得

$$x_1^2 - [\alpha'^2(y_0^2 + z_0^2 + d_0^2)/n'^2] = 0. \quad (21)$$

2. 几何像差计算

算完实际光线即可计算几何像差。如算完轴上大光线后,即可计算

$$\left. \begin{aligned} LA'_1 &= [(\beta'/\alpha')h_k - y_k u'_k] C_4, \quad LA' = LA'_1 (\alpha'/\beta'), \\ OSC' &= -[(\beta' h_{p,k} + y_k \alpha' u_{p,k})/j A \alpha_1] - 1, \quad OPD' = \sum OP' \delta n', \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

式中 LA'_1 是球差垂轴量, $C_4 = 1/u'_k$ 已在近轴光线计算中算出, y_k 是实际光线在系统最后折射面上的高度, u'_k 、 $u'_{p,k}$ 分别是近轴光线和近轴主光线在像空间的孔径角。

算完主光线后,计算

$$\left. \begin{aligned} x'_s &= (h_k u'_k - u'_k h_{s,k} \alpha') C_4, \\ x'_t &= (h_k u'_k - u'_k h_{t,k} \alpha') C_4, \\ D'_t &= 1 - \{[y_k u'_k + (h_k \beta'/\alpha')] / W n' j\}, \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

式中 h_k 、 u'_k 分别为近轴光在系统最后折射面上的高度和孔径角, $h_{s,k}$ 、 $h_{t,k}$ 和 u'_s 、 u'_t 是由杨氏公式计算中得到的弧矢和子午细光束在系统最后折射面上的高度和像方孔径角。

算完实际宽光束后,计算

$$\left. \begin{aligned} TA'_y &= \{(y_{p,k} - y_k) u'_k + [(\beta'_{p'} / \alpha'_{p'}) - (\beta' / \alpha')] h_k\} C_4, \\ k'_t &= (TA'_{yE} + TA'_{yF}) / 2, \quad LA'_T = (TA'_{yE} - TA'_{yF}) / [(\beta' / \alpha')_F - (\beta' / \alpha')_E], \\ TA'_z &= [z_k u'_k + (\gamma' / \alpha') h_k] C_4, \quad LA'_s = TA'_z / (\gamma' / \alpha'), \\ k'_s &= [(y_{p,k} - y_k) u'_k + [(\beta'_{p'} / \alpha'_{p'}) - (\beta' / \alpha')] h_k] C_4. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

在本程序中,实际上只计算了四个视场共 34 根光线,即 0.884, 0.530, 0.324 和 0 带四个视场。每个视场算了 ± 0.884 , ± 0.530 , ± 0.324 和 0 孔径的七根子午光线,以及 0.884, 0.530 和 0.324 孔径的三根弧矢光线。所以直接计算几何像差的也就是这些视场和孔径的光线。

因为实际追迹的光线不多,我们希望能从这些少量计算中得到尽可能多的有用信息,因此根据取样理论,将样点按切比雪夫求积公式中的节点分布,使算出的像差数据在等权平均时能最正确反映整个像面,整个光瞳内的波差平均情况。这就是视场和孔径这样选带的理由。

3. 波像差及其系数的计算

波像差多项式从低于 8 次方的项中取 15 项,即令

$$\begin{aligned}
W_P(y, z) = & \left[a_{01}y + \frac{1}{2} a_{20}y^2 + \frac{1}{2} a_{10}z^2 + \frac{1}{4} a_{11}(y^2+z^2)^2 + \frac{1}{6} a_{12}(y^2+z^2)^3 \right. \\
& + \frac{1}{8} a_{13}(y^2+z^2)^4 + a_{21}y(y^2+z^2) + a_{22}y(y^2+z^2)^2 + a_{23}y(y^2+z^2)^3 \\
& + \frac{1}{2} a_{14}y^2(y^2+z^2) + \frac{1}{2} a_{15}y^2(y^2+z^2)^2 + \frac{1}{2} a_{16}y^2(y^2+z^2)^3 \\
& \left. + a_{24}y^3 + a_{25}y^3(y^2+z^2) + a_{26}y^3(y^2+z^2) \right] n' u_k', \quad (25)
\end{aligned}$$

其中 a_{01} 是垂直离焦, a_{20} 是子午场曲, a_{10} 是弧矢场曲, a_{11} 、 a_{12} 、 a_{13} 是初级、二级和三级球差系数, a_{21} 、 a_{22} 、 a_{23} 是初级、二级和三级慧差系数, a_{14} 、 a_{15} 、 a_{16} 是子午光束同弧矢光束的球差差别, a_{24} 、 a_{25} 、 a_{26} 是子午光束同弧矢光束的慧差差别。

波差取这 15 项, 对非特大视场、非特大孔径的系统而言就足够了, 即这类系统产生这 15 项以外的更高级次像差的量不大。对于特大视场、特大孔径系统, 要确定这 15 项以外的系数, 则需要计算既不在子午面内也不在弧矢面内的空间光线才行(我们的程序里没有计算这种光线)。

对于某一视场而言, 我们根据已计算的子午面内和弧矢面内的十根光线的像差, 刚好能够唯一确定这 15 个波差系数。

4. 计算点列图

波差系数确定之后, 就可以按下式计算点列图, 即从(25)式可得

$$\begin{aligned}
TA_y(y, z) = & \left[\frac{\partial W_P(y, z)}{\partial y} \right] / n' u_k' \\
= & a_{01} + a_{20}y + a_{11}y(y^2+z^2) + a_{12}y(y^2+z^2)^2 + a_{13}y(y^2+z^2)^3 \\
& + a_{21}(3y^2+z^2) + a_{22}(5y^2+z^2)(y^2+z^2) + a_{23}(7y^2+z^2)(y^2+z^2)^2 \\
& + a_{14}y(2y^2+z^2) + a_{15}y(3y^2+z^2)(y^2+z^2) + a_{16}y(4y^2+z^2)(y^2+z^2)^2 \\
& + a_{24} \cdot 3y^2 + a_{25}(5y^2+3z^2)y^2 + a_{26}(7y^2+3z^2)y^2(y^2+z^2), \quad (26)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
TA_z(y, z) = & \left[\frac{\partial W_P(y, z)}{\partial z} \right] / n' u_k' \\
= & a_{10}z + a_{11}z(y^2+z^2) + a_{12}z(y^2+z^2)^2 + a_{13}z(y^2+z^2)^3 + a_{21} \cdot 2yz \\
& + a_{22} \cdot 4yz(y^2+z^2) + a_{23} \cdot 6yz(y^2+z^2)^2 + a_{14}y^2z + a_{15} \cdot 2y^2z(y^2+z^2) \\
& + a_{16} \cdot 3y^2z(y^2+z^2)^2 + a_{25} \cdot 2y^3z + a_{26} \cdot 4y^3z(y^2+z^2). \quad (27)
\end{aligned}$$

只要将一批样点的光瞳坐标值 (y, z) 代入有关公式, 即可得出一批对应光线同像面交点坐标, 即得到点列图。

5. 确定光斑重心 a_{01} 和离焦量 a_{02} 修正值

取构造函数

$$\left. \begin{aligned}
F(a_{01}, a_{02}) = & \int_S (TA_y^{*2} + TA_z^{*2}) dy dz, \\
TA_y^* = & TA_y + a_{01} + a_{02}y, \quad TA_z^* = TA_z + a_{02}z,
\end{aligned} \right\} \quad (28)$$

S 是整个通光孔面积。求使 $F(a_{01}, a_{02})$ 有极值的 a_{01} 和 a_{02} 的值。由 $(\partial F / \partial a_{01}) = 0$, $(\partial F / \partial a_{02}) = 0$ 得

$$a_{01} = \frac{a_4 a_3 - a_2 a_5}{a_5^2 - a_3}, \quad a_{02} = \frac{a_4 a_5 - a_2}{a_3 - a_5^2}, \quad (29)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} \alpha_2 &= \int_S (yTA_y + zTA_z) dy dz / \alpha_1, & \alpha_1 &= \int_S dy dz, \\ \alpha_3 &= \int_S (y^2 + z^2) dy dz / \alpha_1, & \alpha_4 &= \int_S TA_y dy dz / \alpha_1, \\ \alpha_5 &= \int_S y dy dz / \alpha_1. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

这里算出的四个视场的 α_{02} 的平均值就取作计算 OTF 时的中间焦面位置。四个视场中最前和最后焦面位置间间距除以 4 就是五个焦面位置间的间距。四个视场的

$$F_0 = \int_S (TA_y^2 + TA_z^2) dy dz \quad (31)$$

的均方根值的倒数就是程序内自定的最高空间频率。这个均方根值的 4, 3, 2, 1 倍的倒数就是程序计算 OTF 时用的四个特征频率。

6. 计算光学传递函数 OTF

将上面求得的离焦量修正值 α_{01} , α_{02} 加到(25)式的相应项 α_{01} 和 α_{02} , α_{10} 中, 并按修正后的(25)式计算波差差分, 然后按下式分别计算子午方向和弧矢方向的 OTF。

为此, 先算出子午方位频率分布物体的余弦积分 F_c 和正弦积分 F_s 。

$$\left. \begin{aligned} F_c(t_1, 0) &= \int_0^{r_{b1}} \int_{-r_{a1}+(t_1/2)}^{r_{a1}-(t_1/2)} \cos 2\pi \left[W_P\left(y + \frac{t_1}{2}, z\right) - W_P\left(y - \frac{t_1}{2}, z\right) \right] dy dz, \\ F_s(t_1, 0) &= \int_0^{r_{b1}} \int_{-r_{a1}+(t_1/2)}^{r_{a1}-(t_1/2)} \sin 2\pi \left[W_P\left(y + \frac{t_1}{2}, z\right) - W_P\left(y - \frac{t_1}{2}, z\right) \right] dy dz, \\ r_{a1} &= r_a \sqrt{1 - (z/r_b)^2}, & r_{b1} &= r_b \sqrt{1 - (t_1/2r_a)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

然后按下式算出调制传递函数 MTF 和相位传递函数 PTF

$$\left. \begin{aligned} \text{MTF}(t_1, 0) &= 2\sqrt{F_c^2(t_1, 0) + F_s^2(t_1, 0)} / \pi, \\ \text{PTF}(t_1, 0) &= \text{tg}^{-1}[F_s(t_1, 0) / F_c(t_1, 0)]. \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

同样算出弧矢方位频率分布物体的余弦积分

$$\left. \begin{aligned} F_c(0, t_2) &= \int_0^{r'_a} \int_{-r''_a}^{r''_a} \cos 2\pi \left[W_P\left(y, z + \frac{t_2}{2}\right) - W_P\left(y, z - \frac{t_2}{2}\right) \right] dy dz, \\ r'_a &= r_a \sqrt{1 - [z + (t_2/2)]^2}, & r''_a &= r_a \sqrt{1 - [z - (t_2/2)]^2}, \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

即得其传递函数值为

$$\text{MTF}(0, t_2) = 2\sqrt{F_c^2(0, t_2)} / \pi, \quad \text{PTF}(0, t_2) = 0. \quad (35)$$

上列各式中 r_a , r_b 是出瞳椭圆长、短半轴, t_1 , t_2 是归一化空间频率。

六、结 束 语

本程序是我所王之江教授编制的。1976 年 8 月初步调试完毕并提供使用。目前它是我所日常工作中最常用的程序。几年来的实践证明, 这个程序对于中等视场($2W \approx 50^\circ$)和中等孔径($D/f' \approx 1/2$)的各类光学系统, 计算正确、精度高、通用性强、速度快。

General optical calculation program

WANG SHUZE AND WENG ZIQLANG

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 20 December 1982, revised 9 March 1983)

Abstract

This paper describes a general ray tracing program. Both the program and the formula used in the program are given, the program traces only thirty-four light rays in four fields of view, it can calculate the spot diagrams of these four fields and the optical transfer functions of five focusing positions, four special frequencies and two azimuth space frequency distributions of the four fields of view. The program can evaluate the performance of an optical system accurately, it has traced fewer light rays and obtain more useful informations.