

像质评价中特征频率法的波差方差容限

李 剑 白

一、前 言

早在五十年代 *H. H. Hopkins* 和王之江都导出波差方差近似计算 *O.T.F* 的公式^{[1][2]}, 用于象质评价。王之江据此还提出了低对比分辨本领的方差, 为传递函数与几何象差的关系讨论提供了一条简便的途径。

但是像质评价中低对比分辨本领方法使用起来困难较多, 尤其是计算 *O.T.F* 时, 只有大量计算不同频率的 *O.T.F* 值, 才能比较准确地找到 $MTF = 0.5 (0.3)$ 所对应的特殊频率, 这就限制了该法在光学设计中的应用。

目前, 我们大量使用的特征频率法, 即: 根据使用要求确定某一频率 S_M 为一种光学系统的有代表性的特征频率, 要求光学系统设计达到该频率的 *O.T.F* 值大于要求的 *M* 值。特征频率方法在计算、测量和评价中使用起来较方便, 是值得推广的。

过去, 由于没有找到特征频率的传递函数与象差 (几何象差或波象差) 的明显关系, 致使此法应用受到限制。本文在特征频率法中引进方差的概念, 使此法与象差建立了联系, 获得各种光学系统的方差容限, 现叙述如下。

二、一般公式

光学系统的 *OTF* 可以表示为光瞳函数自相关积分:

$$\begin{aligned} OTF(s, t) &= \frac{1}{A} \iint_{A_{s,t}} f\left(x + \frac{S}{2}, y + \frac{t}{2}\right) f^*\left(x - \frac{S}{2}, y - \frac{t}{2}\right) dx dy \\ &= \frac{1}{A} \iint_{A_{s,t}} e^{-i\pi[\omega(x+\frac{S}{2}, y+\frac{t}{2}) - \omega(x-\frac{S}{2}, y-\frac{t}{2})]} dx dy \end{aligned} \quad (1)$$

其中: x, y 为光瞳面上的正则坐标 (图 1);

A 为光瞳面积;

$A_{s,t}$ 是积分面积, 即中心在 $(\frac{S}{2}, \frac{t}{2})$ 和 $(-\frac{S}{2}, -\frac{t}{2})$, 半径为 1 的两个光瞳重叠部分面积 (图 1b)。

光瞳函数的定义是:

$$f(x, y) = \begin{cases} e^{-i\pi\omega(x, y)} & \text{光瞳在内} \\ 0 & \text{光瞳在外} \end{cases}$$

$\omega(x, y)$ 为系统的波象差。

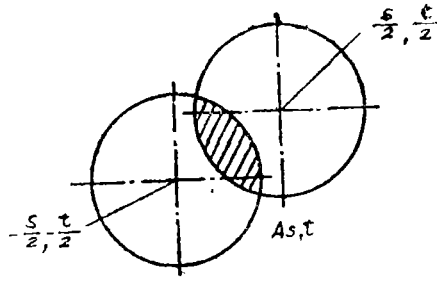


图 1

(a)光瞳规范化坐标 (b)积分面积 $A_{s,t}$

定义:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{s,t}(x, y) &= \omega\left(x + \frac{s}{2}, y + \frac{t}{2}\right) - \omega\left(x - \frac{s}{2}, y - \frac{t}{2}\right) \\ \bar{\omega}_{s,t} &= -\frac{1}{A_{s,t}} \iint_{A_{s,t}} \omega_{s,t}(x \cdot y) dx dy \\ \bar{\omega}_{s,t}^2 &= \frac{1}{A_{s,t}} \iint_{A_{s,t}} \omega_{s,t}^2(x \cdot y) dx dy \end{aligned} \right\} (2)$$

则有:

$$OTF(s, t) = \frac{e^{-ik\bar{\omega}_{s,t}}}{A} \iint_{A_{s,t}} e^{ik(\bar{\omega}_{s,t} - \omega_{s,t})} dx dy$$

当 $|\bar{\omega}_{s,t}(x \cdot y) - \omega_{s,t}| < \frac{1}{K}$ 时,

可将上述幂函数展开并略去高于二次的项, 得到:

$$OTF(s, t) = \frac{A_{s,t}}{A} e^{ik\bar{\omega}_{s,t}} \left[1 - \frac{K^2}{2} D(s \cdot t) \right] \quad (3)$$

当不考虑相位推移, 即令 $e^{ik\bar{\omega}_{s,t}} = 1$ 并只取一维空间结果, 则有⁽²⁾:

$$MTF = \frac{A_{s,t}}{A} \left[1 - \frac{K^2}{2} D(S) \right] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{或 } D(S) &= \frac{2}{K^2} \left[1 - \frac{A}{A_{s,t}} MTF \right] \\ &= \frac{\lambda^2}{20} \left[1 - \frac{A}{A_{s,t}} MTF \right] \end{aligned} \quad (5)$$

其中: $K = \frac{2\pi}{\lambda}$, 方差 D 为:

$$\begin{aligned} D(s, t) &= \frac{1}{A_{s,t}} \iint_{A_{s,t}} (\bar{\omega}_{s,t} - \omega_{s,t})^2 dx dy \\ &= \bar{\omega}_{s,t}^2 - \bar{\omega}_{s,t}^2 \end{aligned}$$

对理想光学系统，光瞳为圆孔时， $MTF = \frac{A_{s,t}}{A}$ ，并有公式⁽³⁾

$$MTF_0 = \frac{A_{s,t}}{A} = \frac{1}{\pi} (2\beta - \sin 2\beta)$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{|S|}{2}$$

其值列于表 1

表 1

| S | MTF | S | MTF | S | MTF |
|------|--------|------|--------|------|--------|
| 0.00 | 1.0000 | 0.70 | 0.5636 | 1.40 | 0.1881 |
| 0.05 | 0.8682 | 0.75 | 0.5340 | 1.45 | 0.1658 |
| 0.10 | 0.9364 | 0.80 | 0.5046 | 1.50 | 0.1443 |
| 0.15 | 0.9046 | 0.85 | 0.4756 | 1.55 | 0.1237 |
| 0.20 | 0.8729 | 0.90 | 0.4470 | 1.60 | 0.1041 |
| 0.25 | 0.8413 | 0.95 | 0.4188 | 1.56 | 0.0855 |
| 0.30 | 0.8097 | 1.00 | 0.3910 | 1.70 | 0.0681 |
| 0.35 | 0.7783 | 1.05 | 0.3638 | 1.75 | 0.0520 |
| 0.40 | 0.7471 | 1.10 | 0.3368 | 1.80 | 0.0374 |
| 0.45 | 0.7160 | 1.15 | 0.3015 | 1.85 | 0.0244 |
| 0.50 | 0.6850 | 1.20 | 0.2848 | 1.90 | 0.0133 |
| 0.55 | 0.6543 | 1.25 | 0.2596 | 1.95 | 0.0047 |
| 0.60 | 0.6238 | 1.30 | 0.2351 | 2.00 | 0.0000 |
| 0.65 | 0.5936 | 1.35 | 0.2112 | | |

根据公式(5)和表 1 数据，就可导出各种光学系统在特征频率下的方差要求，为光学设计和自动平衡提供一个构造价值函数的办法。

三、应用举例

运用特征频率方法评价系统象质，可归纳为以下三项基本原则：① 根据使用的分辨率和清晰度要求，确定系统的特征频率 S_M 。② 根据光学像的对比层次要求，确立在该频率下的 MTF 要求—— $M_0(S_M)$ ，使系统设计的 $M(S_M) \geq M_0(S_M)$ 。③ 根据以上两点，进一步确定系统光学设计的波差（波差方差）要求，作为价值函数的目标值。

光学系统成象，在目标是非相干照明条件下，如果又满足线性等晕条件，成象的各个环环节可以如实地看作是空间物体的线性低通滤波器，它们的 MTF 服从以下的成象总公式：

$$M_{物} \times M_{系统} \geq M_{接收器} \quad (6)$$

其中：

$M_{系统} = M_{光学} \times M_{大气} \times M_{运动} \times M_{电学} \times \dots$ 是各个环节的 MTF 值。

$M_{物}$ 是目标物的调制特性。

$M_{象}$ 是接收器的调制特性。

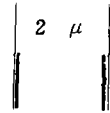
用公式(6)就可确定各种系统的 MTF 要求。

例如：

(一) 显微系统

首先, 根据使用的分辨率要求, 确定评价显微物镜系统的特征频率。如: 使用者提出要分辨 2μ 的细节, 其极限频率应为:

$$M_o \geq \frac{1}{2\mu} = 500 \text{ 对线/mm}$$



但在高频部分光学系统 OTF 不敏感, 在小象差时变化甚小, 在大象差时有伪分辨, 故不宜选为特征频率。拟用 OTF 曲线变化灵敏区, 即极限频率之半处为特征频率。上侧即用

$$N_M = 250 \text{ 对线/mm}$$

其次, 要确定特征频率下的 MTF 值。显微物镜是小象差系统, 其 OTF 曲线有图 2 的特点, 曲线①是理想 OTF 曲线, 曲线②为小象差情况 (约 $\frac{\lambda}{4}$)。①与②在高频部分基本重合, 在 $\frac{S_o}{2}$ 处分开最大。

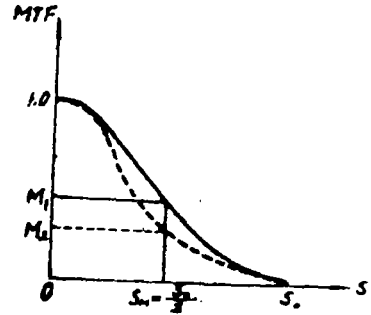


图 2

当波差大于 $\frac{1}{4}\lambda$ 时, MTF 曲线高频部分就会出现起伏, 甚至出现伪分辨, 即 $MTF \leq 0$, 这就不可能达到分辨细节的要求。

所以我们选择 $\frac{\lambda}{4}$ 波差对应的曲线下降量为特征频率下的 MTF 值。对各种球差和离焦一般有:

$$M_1 - M_2 = 0.1$$

$$\text{或 } \frac{M_1 - M_2}{M_1} = \frac{1}{4}$$

$$M_2 = 0.3$$

因此, 归结为:

$$M_{\text{光学}} \geq 0.3$$

或在特征频率下, M 值不低于理想光学系统的 M 值的 $\frac{3}{4}$ 。

第三, 求显微物镜在特征频率评价方法中的波差方差要求。

仍用上述例子:

选显微物镜: $NA = n \sin u = .22$; $\lambda = .55 \times 10^{-6} \text{ mm}$, 则极限归化频率:

$$S_o = 2 = \frac{\lambda}{n \sin u} \times N_o$$

$$N_o = \frac{2n \sin u}{\lambda} = 800 \text{ 1/mm}$$

已知要求的特征频率为: $N_M = 250 \text{ 1/mm}$, 对应的归化频率 $S_M = 0.625$, 由表 1 查得:

$$\frac{A_{\dots}}{A} = 0.6089$$

取 $MTF_{\text{光学}} \geq 0.3$, 代入 (5) 式, 则有:

$$D(S_M) \leq \frac{\lambda^2}{20} \left[1 - \frac{1}{0.6089} \times 0.3 \right] = \frac{\lambda^2}{39.4}$$

当取: $NA = 0.165$, 则 $S_o = 2$ 时, 对应的 $N_o = 600 \text{ 1/mm}$, 而 $N_M = 250 \text{ 1/mm}$, 相应的 $S_M = 0.833$, 由表 1 中查得, 这时

$$\frac{A_{s..t}}{A} = 0.4853$$

若取 $MTF_{\text{光学}} = 0.3$ 则:

$$D(S_M) \leq \frac{\lambda^2}{20} \left[1 - \frac{1}{0.4853} \times 0.3 \right]$$

$$= \frac{\lambda^2}{52.3}$$

可见, 数值孔径选得大时, 方差 D 要求低。数值孔径选得小时, 方差要求相应提高。

(二) 微缩系统

与显微镜要求不同, 微缩系统要求在乳剂上成单线的清晰象, 线象边缘轮廓要清晰、梯度大。这种镜头成像质量轴上轴外都要求 $\frac{\lambda}{4} \sim \frac{\lambda}{8}$, 接近理想系统。

首先, 也是确定特征频率, 如使用要求照出最细的刻线宽度为 a , 则取:

$$S_M = \frac{1}{2a}$$

其次, 要确定 S_M 的 MTF 值。根据理想系统的 MTF 和线扩散函数计算可知, 当选择 $S_o = S_M$ 时, 线扩散函数弥散宽度为 (7~8) 倍理想宽度 a , 当 $S_o = 2S_M$ 时, 实际线扩散函数为 (3~4) a , 当 $S_o = 3S_M$ 时, 实际宽为 (1.5~2) a (4), 图 (3)。

据此, 必须选择 $S_o = 3S_M$, 这时 $M(S_M) = 0.5 \sim 0.7$, 才有可能达到单线成像清晰。

第三, 求出设计的象差要求。用方差公式 (5), 当 $S_M = \frac{1}{3} S_o = 0.667$ 时, 查得

$$\frac{A_{s..t}}{A} = 0.5836。$$

设计一个理想系统, 最高可达 $MTF = \frac{A_{s..t}}{A} = 0.5836$ 。这时, $D(S_M = 0.667) \rightarrow 0$; 若允许 MTF 有 0.05 的下降量, 则:

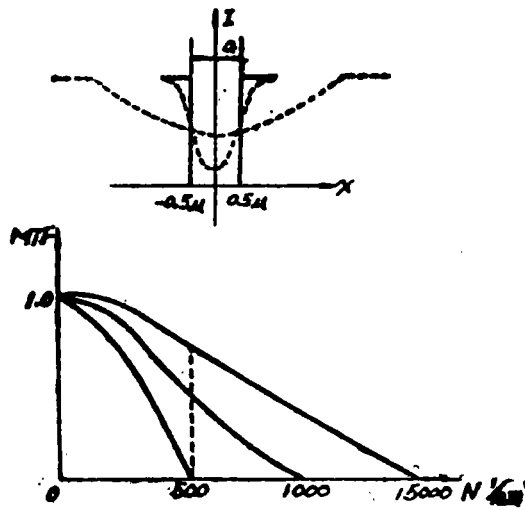


图 3

$$D(S_M = 0.667) = \frac{\lambda^2}{20} \left[1 - \frac{1}{0.5836} \times 0.5336 \right]$$

$$= \frac{\lambda^2}{236}$$

若允许MTF有0.10的下降量，则：

$$D(S_M = 0.667) = \frac{\lambda^2}{20} \left[1 - \frac{1}{0.5836} \times 0.4836 \right]$$

$$= \frac{\lambda^2}{20} \times 0.172 = \frac{\lambda^2}{116}$$

所以，微缩镜头方差必须小于 $\frac{\lambda^2}{100}$ 。质量稍高者应为 $\frac{\lambda^2}{200}$ 。

(三) 电视摄影物镜

电视摄影镜头的特征频率决定于两个因素，垂直方向的有效扫描行数，水平方向的有效像素^[5]。

我国采用的电视标准是625行/幅，其中50行是消隐的，实际有效成象行数为575行。此外，还要考虑有效分解系数。如图4所示。目标线数与扫描行数相同时，目标错动 $\frac{1}{4}$ 周期，就使原来可分辨的目标变模糊了。所以取有效分解系数为0.7左右。综合两个因素，得到实际有效行数。

$$Z_1' = K_1 (1 - \beta) Z_1$$

式中： K_1 是垂直分解系数；

$(1 - \beta)$ 中的 β 为消隐系数；

Z_1 为理论行数。

通常，取 $K_1 (1 - \beta) = 0.5 \sim 0.7$

$$Z_1' = 321 \sim 438 \text{ 行}$$

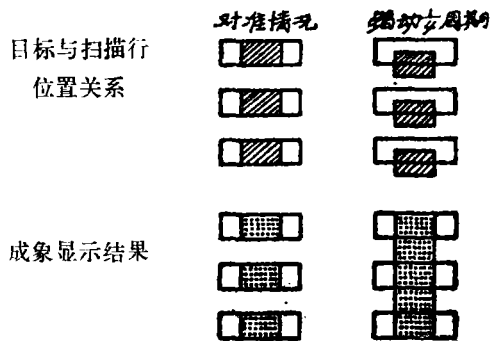


图 4

$1 \frac{1}{4}$ 英寸摄像管高为12.8mm，相当于： $N_{\text{垂直}} = 11.7 \sim 17$ 对/mm，

在使用中，英国选用 $N_M = 15 \frac{1}{1}$ /mm，日本选用 $N_M = 12 \frac{1}{1}$ /mm，我国选 $12 \frac{1}{1}$ /mm ($1 \frac{1}{4}$ 英寸管子)， $15 \frac{1}{1}$ /mm (1英寸管子)。

电视水平扫描的有效像素受电视发视通频带限制。扫描一行有多少像素？

为了使运动有连续感，电视每秒为30幅（电影是24幅/秒），每幅625行，每行扫描时间是：

$$t = \frac{1}{30 \times 625} = 53.3 \text{ 微秒。}$$

其中，回扫时间为20%，所以实际有效扫描时间每行是40微秒。我国黑白电视通频带为6.5兆周，彩电为8~10兆周，其中有1.5~3兆为彩色部分占用，实际折合黑白电视也是6.5兆左右。这样扫描一条线所能分辨的最多的周期数或像素为：

$$Z_2 = 40 \times 6.5 = 260 \text{ 个周期}$$

画幅宽度为 $17 \text{ mm} \left(1 \frac{1}{4} \text{ 吋} \right)$ 。

$$\therefore N_{\text{水平}} = \frac{260}{17} = 15.3 \text{ 对/mm}$$

由以上两个角度看，选择 $1 \frac{1}{4}$ 英寸管子 $N_M = 12 \text{ 1/mm}$ ，1英寸管子的 $N_M = 15 \text{ 1/mm}$ 是较为合适的。

电视光学系统的 M 值要求如何确定？

由于电视是人眼观察，整个成像系统必须满足

$$M_{\text{物}} \times M_{\text{光学}} \times M_{\text{电学}} \geq M_{\text{人眼}}$$

$M_{\text{电学}}$ 包括从摄像管到荧光屏显示全过程，在 $N = 15 \text{ 1/mm}$ 时，通常只有 $0.2 \sim 0.4$ ；但经过孔阑校正， $M_{\text{电}}$ 可达 $0.8 \sim 1.0$ 。现取为 0.8 。

目标灰片分十级，即要求10个层次，这样

$$M_{\text{物}} = \frac{1.0 - 0.9}{1.0 + 0.9} = 0.053$$

电视是用人眼观察，在景物细节对人眼张角大于 $3'$ 的条件下，人眼能发现的亮度起伏一般是 0.05 ，所以，

$$M_{\text{人眼}} = \frac{1.0 - 0.95}{1.0 + 0.95} = 0.026$$

$$\therefore M_{\text{光}} \geq \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{电}} \times M_{\text{物}}} = \frac{0.026}{0.053 \times 0.8} = 0.63$$

最后，电视光学系统质量指标归结为：

$N_M = 12 \text{ 1/mm}$ （或 15 1/mm ）， $M(N) \geq 0.60$ ，轴上可高些，轴外可低些，画幅四角取 M 值为 0.2 即可。

象差要求可沿用上学法。以相对孔径 $F2$ 为例。

当 $N = 15 \text{ 1/mm}$ 时，对应归化频率为：

$$S_M = \frac{0.55 \times 10^{-3}}{0.25} \times 15 = 0.033$$

对应的 $\frac{A_{s,t}}{A} = 0.979$ ，代入 (5) 式

$$D(N=15) = \frac{\lambda^2}{20} \left(1 - \frac{1}{0.979} \times 0.6 \right) = \frac{\lambda^2}{51.6}$$

同理，视场边缘 $D = \frac{\lambda^2}{25}$

(四) 电影摄影物镜

电影摄影有 8 个质量指标, 其中清晰度是指对细节的分辨能力, 即通常讲的目标细节成象的虚实程度, 它是决定特征频率的主要因素。摄影层次是决定调制度值的主要因素^[6]。

从电影摄制清晰度要求, 选择特征频率: $N_M = 50 \text{ 1/mm}$ 。制片厂检查验收镜头都是用此频率下的鉴别率板拍摄情况作判断, 我们也沿用, 这与底片的特性也符合。

调制度 $M (S_M)$ 的确定是按人眼的观察接收。所以要求:

$$M_{\text{目标}} \times M_{\text{光学}} \times M_{\text{底片}} \geq M_{\text{人眼}} = 0.026$$

在 $N = 50 \text{ 1/mm}$, 底片的 $M_{\text{底}} = 0.2 \sim 0.4$, 包括显影, 定影处理在内。

目标是用 21 级灰片, 最大密度 $D = 3$, 每级密度差 0.15。如第一级是 $D = 3$, 第二级则是 $D = 2.85$ 。目标的调制度按透过率计算, 则有:

$$M_{\text{物}} = \frac{10^3 - 10^{2.85}}{10^3 + 10^{2.85}} = \frac{1000 - 708}{1000 + 708} = 0.17$$

$$M_{\text{光学}} \geq \frac{M_{\text{人眼}}}{M_{\text{物}} \times M_{\text{底片}}} = \frac{0.026}{0.17 \times (0.2 \sim 0.4)} = 0.76 \sim 0.38$$

通常取为:

在 $N = 250 \text{ 1/mm}$ 时, $M_{\text{光学}} \geq 0.50$

同样, 轴上可略高于此数, 轴外可低于此数, 画幅四角可更低。

以相对孔径 $F2$ 为例。相应的归化频率为:

$$S_M = \frac{0.55 \times 10^{-8}}{0.25} \times 50 = 0.11$$

查表 1 得: $\frac{A_{\dots}}{A} = 0.93$

方差要求为

$$D = \frac{\lambda^2}{20} \left(1 - \frac{1}{0.93} \times 0.5 \right) = \frac{\lambda^2}{43.3}$$

画幅四角 $D = \frac{\lambda^2}{28}$

(五) 制版镜头

制版照相中沿用一种 100~200 对/英寸的检验卡, 用来检查成象质量。相当于 4~8 1/mm。分色照相中的网点尺寸通常也是 $\phi 0.06 \sim \phi 0.12$, 与检验卡对应。因此, 我们选择制版过程的特征频率是 $N_M = 8 \text{ 1/mm}$, 用以评价制版镜头。

制版要求线条轮廓清晰, 分色网点尺寸不变, 这与微缩镜头要求相同。即 $S_0 \geq 3S_M$ 。在拍摄光圈下 (一般是 $F16$ 以上) 光学系统应是理想的无象差系统, 即 $M(S_M) \geq 0.5 \sim 0.6$ 。

如果允许 MTF 曲线在 $N = 8 \text{ 1/mm}$ 时, 此理想 MTF 曲线低 0.05 (与显微镜头类似)。假定用 $F16$ 光圈, 则:

$$S_M = \frac{\lambda}{n \sin u} N = \frac{0.55 \times 10^{-8}}{0.0312} \times 8 = 0.135$$

查得: $\frac{A_{\dots}}{A} = 0.9141$

$$D (N = 8) = \frac{\lambda^2}{20} \left(1 - \frac{1}{0.9141} \times 0.8641 \right)$$

$$= \frac{\lambda^2}{364}$$

如果允许MTF下降0.10, 则:

$$D(N=8) = \frac{\lambda^2}{20} \left(1 - \frac{1}{0.9141} \times 0.8141 \right)$$

$$= \frac{\lambda^2}{182}$$

制版镜头对光时, 要开大全孔径, 一般是F9~F11, 这时极限分辨率:

$$N_0 = \frac{2 \sin u}{\lambda} = \frac{1}{0.55 \times 10^{-3}} = 202 \text{ 1/mm}$$

特征归化值:

$$S_M = \frac{0.55 \times 10^{-3}}{\frac{1}{18}} \times 8 = 0.0793, M(S) = 0.95$$

若实际的MTF值允许比理想值下降 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 即在 $N=8$ 时, $MTF=0.5 \sim 0.6$, 刻线基本清晰。这时方差要求:

$$D(N=8) = \frac{\lambda^2}{40} \sim \frac{\lambda^2}{60}$$

这就是制版镜头大口径时的质量要求。

(六) 望远物镜

属于小象差系统, 考虑方法与显微镜类同。特征频率选择由要求的鉴别角决定:

$$N_M = \frac{1}{2(f \times \epsilon)}$$

f : 物镜焦距; ϵ : 鉴别角, 单位弧度。

光学系统MTF要求也以 $M_{\text{光}} \geq 0.3$ 为标准。

望远镜尺寸应选择足够大, 以保证 $S_0 \geq 2S_M$ 。

根据选择的物镜口径确定极限分辨率 S_0 , 再确定要求的特征频率下波差方差容限。

如:

$$S_M = 0.75 \quad D(S_M) \leq \frac{\lambda^2}{44.6}$$

$$S_M = 0.9 \quad D(S_M) \leq \frac{\lambda^2}{60}$$

$$S_M = 0.5 \quad D(S_M) \leq \frac{\lambda^2}{35.6}$$

综合小象差系统, 可列出表2值做容限值。

表2 小象差时方差容限

| | | | | | | |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| S_M | 0.5 | 0.625 | 0.75 | 0.833 | 0.9 | 1.0 |
| $D(S_M)$ | $\frac{\lambda^2}{35.6}$ | $\frac{\lambda^2}{39.4}$ | $\frac{\lambda^2}{44.6}$ | $\frac{\lambda^2}{52.3}$ | $\frac{\lambda^2}{60}$ | $\frac{\lambda^2}{85.7}$ |

四、讨 论

① 特征频率法评价成像质量, 由于只需一个频率下的 MTF 值作指标, 计算、测量都十分简便。对于不同视场, 孔径, 色光可以根据不同参数在使用时的重要性, 加权平均, 组成总的的质量指标。数据也显著减少, 这是单一评价指标的突出优点。

本文在特征频率方法中引进方差 D , 使这种评价方法与象差建立了直接的联系。由评价指标直接可推算出方差要求, 以供光学设计使用, 为评价指标直接用于系统平衡开辟了途径。

② 以上讨论是以光栏圆孔为依据的。应该指出, 当光栏是方孔时, 波差方差可以用勒让得多项式展开, 由此可求出象差最佳平衡方案, 以及象差公差。这方面前人已做了不少工作^[2], 讨论的方法也完全适用于特征频率方法。但方孔光栏在光学系统中不具有典型代表性, 故本文就不赘述了。

③ 关于各系统特征频率的选取, 是一个比较复杂的问题, 本文引用的一些系统(如电视物镜)特征频率选用得较为合理, 有些系统(如小象差的显微、望远物镜)当在归化频率 $S \geq 0.2$ 较大范围内选用, 其结果都是可用的^[1]也有些系统(如电影摄影等)特征频率选取必须做大量的理论分析和实验工作, 目前条件尚不具备, 因此选用的理由不甚充分, 有待今后工作进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] H.H.Hopkins; Proc.Phys.Soc. B70, 1957, 449
- [2] 王之江; 《物理学报》(1963) Vol.19
- [3] 久保田広等; 《光学技术ハンドブック》1968.150
- [4] J.Schilling; Jena Review 1973 No.1 24
- [5] 龍岡静夫; NHK《技术研究昭和43年10月(1968) No. 5 321
- [6] 薛鸣球; 《电影光学》1973 No., 4 29
- [7] H.H.Hopkins; Proceedings of SPIE Vol.46(1974)2~18

一种治癌激光器研制成功

长春光机所研制的“802型医用连续波可调谐染料激光器”最近通过了验收鉴定。鉴定委员会一致认为: 该激光器设计合理、工艺精湛, 具有瓦级的功率输出和较高的转换效率, 其性能在国内处于领先水平, 并优于美国光谱物理公司同类产品(375型)的主要性能指标。

该激光器主要用于治疗体表及内腔癌症。同时, 调谐激光波长, 还可用于其他激光医学研究中(例如治疗鲜红斑痣)。该激光器在激光光谱学、激光化学等许多重要学科和应用技术领域中也有着广泛的应用。

长春光机所仅用了四个月的时间就完成了该激光器的研制, 并已提供白求恩医科大学临床试用。该所还将组织一定批量的生产, 以满足国内需要。