

# 声光偏转器的调制传递特性

陈代书

(中国科学院光电技术研究所)

**提要:** 利用调制传递函数(MTF)分析了声光偏转器的分辨率。建立了高斯光瞳函数与声光偏转器的调制传递函数间的关系。适当选择声光介质与高斯光束( $\frac{1}{e^2}$ 振幅附近)的截断比可以增加分辨点数。

## Modulation transfer characteristics of an acousto-optic deflector

Chen Daishu

(Institute of Optics and Electronics, Academia Sinica)

**Abstract:** The resolution of the acousto-optic deflector is analyzed by means of modulation transfer functions. The relation between the modulation transfer functions of acousto-optic deflector and Gaussian pupil is established. The resolution can be increased by properly selecting the truncation ratios of acousto-optic media and Gaussian beam (nearly  $1/e^2$  beam width).

由傅里叶光学<sup>[1,3,4]</sup>可知,声光偏转器作为一个基本线性不变性光学系统,其调制传递函数的空间截止频率仅依赖于偏转器通光孔的几何形状,但光瞳函数取决于出瞳平面的几何形状与其光束的振幅分布。

当入射激光束刚与已工作的声光介质发生相互作用时,其截面强度将引起空间重新分布,这种分布随着超声场变化(声场强度和声波频率)。截面强度分布变化着的光束,通过声光偏转器后的频谱分布及变化,体现在衍射光点的强度分布和动态偏转。

整个系统中,光束间并未引起相干,故可作为衍射受限非相干成象系统进行分析。对于衍射受限光学系统的非相干光学传递函数

是<sup>[1]</sup>:

$$H(f_x, f_y) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P\left(\xi - \frac{2d_i f_x}{2}, \eta - \frac{\lambda d_i f_y}{2}\right) \times P\left(\xi + \frac{\lambda d_i f_x}{2}, \eta + \frac{\lambda d_i f_y}{2}\right) d\xi d\eta}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |P(\xi, \eta)|^2 d\xi d\eta} \quad (1)$$

其中 $\xi, \eta$ 为出瞳平面(偏转器中心截面)的位置坐标; $f_x, f_y$ 为象平面中的空间频率; $\lambda$ 为入射光波长; $d_i$ 为出瞳平面到象平面的距离; $P(\xi, \eta)$ 为光瞳函数(出瞳平面上的振幅分布)。

收稿日期:1982年9月17日。

对于垂直入射的平面波，调制传递函数粗略地是光学传递函数的模数，即  $|H|$ 。对于衍射受限光学系统的光学传递函数恒为实值且非负。当偏转器在一个方向上偏转（一维情况）时，调制传递函数和光学传递函数可认为相等。

如图 1 所示，一维狭缝截断高斯光束的光瞳函数，为声光介质所决定的矩形函数和激光束的高斯分布函数所组成的加权函数<sup>[5]</sup>。则

$$P(\eta) = \text{rect}\left(\frac{\eta}{D}\right) e^{-\eta^2/\eta_0^2} \quad (2)$$

其中  $\eta_0 = \frac{1}{e^2}$  振幅所对应的光斑直径。一维矩形函数表示为：

$$\text{rect}\left(\frac{\eta}{D}\right) = \begin{cases} 1 & |\eta/D| \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \text{其它地方} \end{cases} \quad (3)$$

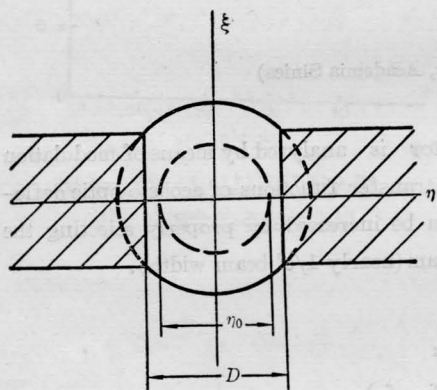


图 1 狭缝截断高斯光束

$$\left(\eta_0 = \frac{1}{e^2} \text{ 直径}\right)$$

光瞳函数为：

$$P(\eta) = e^{[-(\eta/\eta_0)^2]} \quad (4)$$

考虑到一维情况，(1)式所示的调制传递函数可改写为：

$$\text{MTF} = \frac{\int_{(\lambda d_i f_x - D)/2}^{(D - \lambda d_i f_x)/2} e^{[-\eta - (\lambda d_i f_x/2)]^2/\eta_0^2} \cdot e^{[-\eta + (\lambda d_i f_x/2)]^2/\eta_0^2} d\eta}{\int_{-D/2}^{D/2} \{e^{[-(\eta/\eta_0)^2]}\}^2 d\eta} \quad (5)$$

式(5)分母为高斯光瞳函数；分子为自相关函数，它是光瞳函数由  $-\lambda d_i f_x/2$  和  $\lambda d_i f_x/2$  的位移并积分得到。

要使自相关函数非零，必须使其中两者的位移光瞳函数是非零。所有由方程直接确定的空间频率

$$|f_x| \geq D/\lambda d_i \quad (6)$$

时的自相关函数是零，其中  $D$  是声光偏转器的孔径。在空间频率  $f_x$  轴的截止频率  $f_{c0}$  定义为调制传递函数为零时的空间频率

$$f_{c0} = D/\lambda d_i \quad (7)$$

利用(7)式，(5)式可改写为：

$$\text{MTF} = \frac{e^{\left\{-\left(\frac{D}{\eta_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_x}{f_{c0}}\right)^2 / 2\right\}} \int_0^{\frac{D}{2\eta_0} \left(1 - \frac{f_x}{f_{c0}}\right)} e^{-2x^2} dx}{\int_0^{\frac{1}{2}(D/\eta_0)} e^{-2x^2} dx} \quad (8)$$

用计算机进行计算，可得到由图 2 表示的 MTF- $D/\eta_0$  曲线以及由图 3 表示的 MTF- $f_x/f_{c0}$  曲线。其空间频率  $f_x$  轴上的截止频率  $f_{c0}$  涉及到声光偏转器的可分辨点数  $N$ ，即在零调制传递时的扫描周期数。

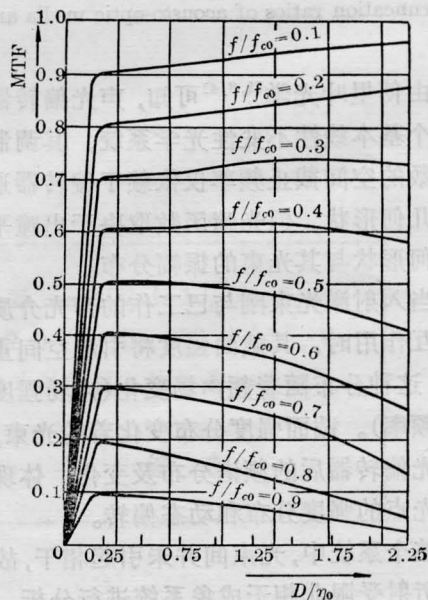


图 2 MTF- $D/\eta_0$  关系曲线

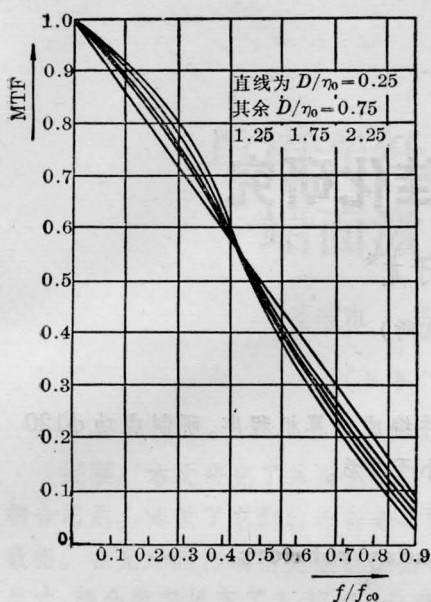


图3 MTF- $f/f_{c0}$ 关系曲线

声光偏转器的偏转角  $\alpha$  为<sup>[9]</sup>:

$$\alpha = \frac{\lambda}{v} f_a \quad (9)$$

当超声频率由低端频率  $f_{aL}$  变化到高端频率  $f_{aH}$  时, 偏转角的变化(亦称为动态扫描角)  $\Delta\alpha$  为:

$$\Delta\alpha = \lambda(f_{aH} - f_{aL})/v = \lambda\Delta f_a/v \quad (10)$$

(9)、(10)式中的  $f_a$  为超声频率;  $v$  是声光介质中的声速;  $\Delta f_a$  为偏转器的输出带宽(3分贝带宽)。由图4所示衍射光点的横向位移可表示为:

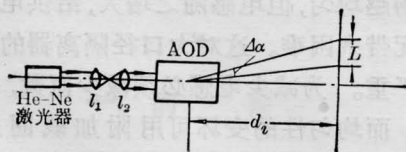


图4 实验装置

$$L \approx d_i \Delta\alpha = d_i \Delta f_a \lambda / v \quad (11)$$

则零调制传递时的横向扫描周期数(分辨点数)  $N$  表示为:

$$N = L f_{c0} = \left(\frac{d_i}{v}\right) \lambda (f_{aH} - f_{aL}) D / \lambda d_i = D/v \cdot \Delta f_a \quad (12)$$

于是:

$$f_{c0} = \frac{D \Delta f_a}{L v} = \frac{D(f_{aH} - f_{aL})}{L v} \quad (13)$$

当空间频率

$$f_x < \frac{D(f_{aH} - f_{aL})}{L v} = \frac{D \Delta f_a}{L v} \quad (14)$$

时光点能完全分辨; 而  $f_x = f_{c0} = \frac{D \Delta f_a}{L v}$  时, 也能分辨, 但这是极限情况。引进渡越时间  $\tau = \frac{D}{v}$ , 则(12)式可改写为:

$$N = \tau \Delta f_a \quad (15)$$

当瞳平面到象平面的距离  $d_i$  一定后,  $f_{c0}$  随着偏转器的孔宽  $D$  的增大而增大。一旦  $D$ 、 $d_i$  都确定, 那么  $f_{c0}$  就唯一确定。相对空间归一化频率  $f_x/f_{c0}$  越大, 说明声光偏转器3分贝带宽  $\Delta f_a$  的高端频率  $f_{aH}$  接近于  $f_{c0}$ 。同时, 扫描电路若能区分很小频率间隔, 适当选择入射光束的截断比  $D/\eta_0$ , 可以提高分辨点数  $N$ 。由图2、3的曲线可知, 当声光偏转器的孔宽度(互作用介质的宽度)与光束  $\frac{1}{e^2}$  的截面宽度相同时, 分辨点数增加。

本文得到计算机组胡正保同志的协助, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] J. W. Goodman; "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, New York (1968).
- [2] 徐介平; 《北京工业大学学报》, 1978, No. 2.
- [3] Jackd Gascoill; "Linear Systems, Fourier, Transforms and Optics", New York, Wiley (1978).
- [4] 陈时胜, 林礼煌译; 《现代光学导论》, 上海科学技术出版社 (1980).
- [5] L. D. Dickson; *Appl. Opt.*, 1970, 9, 1854.