

# 折叠腔失调灵敏度随腔参数的变化

卢亚雄

(电子科技大学, 成都)

**摘要:** 本文讨论了所有元件都失调的折叠腔的失调灵敏度, 并用数值计算研究了失调灵敏度随谐振腔参数的变化。

## Variation of misalignment sensitivity of a three-mirror cavity

Lu Yaxiong

(University of Electronic Science and Technology of China)

**Abstract:** Misalignment sensitivity  $D$  of a three-mirror cavity with misaligned elements is formulated. The variation of  $D$  with the parameters of the cavity is numerically discussed.

失调灵敏度是反映谐振腔失调特性的重要参数。文献〔1〕已经讨论了除腔镜外腔内元件变换矩阵为  $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$  的两镜腔的失调特性。其结果可以推广到折叠腔。但是, 在实际中使用的折叠腔, 除两面端镜失调外, 折叠镜也可能存在失调。本文讨论端镜和折叠镜都失调的一般情况。

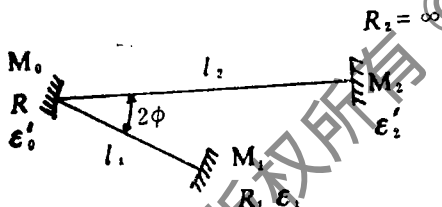


图1 折叠腔

所研究的折叠腔如图1所示。限模光阑置于  $M_1$  和  $M_2$  处。假设  $M_l$  ( $l=0, 1, 2$ ) 镜的失调角记为  $\epsilon_l'$ , 并以  $r_{ij}, \theta_{ij}$  ( $i=1, 2; j=0, 1, 2$ ) 表示以  $M_i$  为参考平面计算的由  $M_j$  失调  $\epsilon_j'$  而产生的线位移和角位移, 则有:

$$\begin{pmatrix} r_{ij} \\ \theta_{ij} \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_i & B_i & \phi_i & \chi_i \\ C_i & D_i & \psi_i & \omega_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{ij} \\ \theta_{ij} \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中  $4 \times 4$  的失调矩阵, 是根据文献〔2〕给出的单个元件的失调矩阵计算的以  $M_i$  为参考面的往返一周失调矩阵。例如, 对于  $i=1$ , 则:

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & \phi_1 & \chi_1 \\ C_1 & D_1 & \psi_1 & \omega_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -2/R_1 & 1 & 0 & -2\epsilon_1' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & l_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -2/R & 1 & 0 & -2\varepsilon_0' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & l_2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -2\varepsilon_2' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 \begin{pmatrix} 1 & l_2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -2/R & 1 & 0 & -2\varepsilon_0' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & l_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

要注意的是, 折叠镜 $M_0$ 的失调角 $\varepsilon_0'$ 应该是实际入射光线与理想折叠光轴之夹角。若令

$$l_1 + l_2 - 2l_1 l_2 / R = Y \quad (3)$$

可以得到:

$$\begin{cases} \frac{1}{2}(A_1 + D_1) = 1 - Y(2/R_1 + 4/R - 4l_1/R_1 R) \\ B_1 = 2Y(1 - 2l_1/R) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} 1 - D_1 = 4Y(1/R_1 + 1/R - 2l_1/R_1 R) \\ \chi_1 = -4Y\varepsilon_0' - 2Y\varepsilon_2' \\ \omega_1 = -4(1 - 2l_1/R_1)(1 - 2l_2/R)\varepsilon_0' + 8l_2\varepsilon_0'/R_1 - 2\varepsilon_1' \\ \quad - 2(1 - 2l_1/R_1)(1 - 2l_2/R)\varepsilon_2' + 4l_2\varepsilon_2'/R_1 \\ \psi_1 = \phi_1 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

类似地可以求出以 $M_2$ 为参考面计算的结果:

$$\begin{cases} \frac{1}{2}(A_2 + D_2) = \frac{1}{2}(A_1 + D_1) \\ B_2 = 2Y(1 - 2l_2/R) - 2Y^2/R_1 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} 1 - D_2 = 2Y(1/R_1 + 2/R - 2l_1/R_1 R) \\ \chi_2 = -4Y(1 - l_1/l_2)\varepsilon_0' - 2Y\varepsilon_1' \\ \omega_2 = -4(1 - 2l_1/R)(1 - l_1/R_1)\varepsilon_0' - 2(1 - 2l_1/R)\varepsilon_1' - 2\varepsilon_2' \\ \psi_2 = \phi_2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

由(1)式可得出:

$$r_{ij} = \frac{B_i \omega_i (\varepsilon'_{i-1} \neq 0, \varepsilon'_{i+1} = 0) + (1 - D_i) \chi_i (\varepsilon'_{i-1} \neq 0, \varepsilon'_{i+1} = 0)}{2 \left[ 1 - \frac{1}{2} (A_i + D_i) \right]} \quad (8)$$

而 $M_i$ 镜上光束光斑半径 $W_i$ 为

$$W_i^2 = \frac{\lambda}{\pi} |B_i| \left[ 1 - \left( \frac{A_i + D_i}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

则折叠腔失调灵敏度 $D^2$ 可以定义为:

$$D^2 = \sum_{i=1, 2}^{j=0, 1, 2} \left( \frac{r_{ij}}{W_i \varepsilon_i'} \right)^2 = \sum_{i=0, 1, 2}^{j=0, 1, 2} \frac{K}{4} X_{ij} \quad (10)$$

式中,

$$K = \frac{\pi}{\lambda} \left( 1 + \frac{A+D}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left/ \left( 1 - \frac{A+D}{2} \right)^{\frac{3}{2}} \right. \quad (11)$$

$$X_{ij} = \frac{[B_i \omega_i (\varepsilon'_{l-i} = 0, \varepsilon'_{l-i} = 0) + (1 - D_i) \chi_i (\varepsilon'_{l-i} \neq 0, \varepsilon'_{l-i} = 0)]^2}{|B_i|} \quad (12)$$

将上述有关结果代入上式, 得到:

$$\begin{cases} X_{10} = 64Y^2 / |B_1| \\ X_{11} = 4 |B_1| \\ X_{12} = 16Y^2 / |B_1| \\ X_{20} = 64Y^2 (1 - l_1/R_1)^2 / |B_2| \\ X_{21} = 16Y^2 / |B_2| \\ X_{22} = 4 |B_2| \end{cases} \quad (13)$$

由于折叠腔的稳定性条件可以表示为<sup>[3]</sup>,

$$0 < \delta < R^2 / (4l_2 - 2R) \quad (14)$$

式中稳定参数 $\delta$ 为

$$\delta = l_1 - R_1 - R/2 \quad (15)$$

最终可将端镜和折叠镜都失调时的失调灵敏度 $D^2$ 表示为:

$$\begin{aligned} \frac{D^2 \lambda}{\pi} = & \frac{(1 + 2\delta Y/R_1 R)^{1/2}}{|Y|^{1/2} (2\delta/R_1 R)^{3/2}} \left[ \frac{2(R_1 + \delta)}{R} + \frac{5R}{2(R_1 + \delta)} + \frac{R^2/2 - (2l_2 - R)\delta}{R_1 R} \right. \\ & \left. + \frac{R_1 R}{R^2/2 - (2l_2 - R)\delta} + \frac{R(R + 2\delta)^2/R_1}{R^2/2 - (2l_2 - R)\delta} \right] \quad (16) \end{aligned}$$

对于端镜失调而折叠镜不失调的情况, 可在(10)式中令 $X_{10}$ 和 $X_{20}$ 为零而得到, 有

$$\begin{aligned} \frac{D^2 \lambda}{\pi} = & \frac{(1 + 2\delta Y/R_1 R)^{1/2}}{|Y|^{1/2} (2\delta/R_1 R)^{3/2}} \left[ \frac{2(R_1 + \delta)}{R} + \frac{R}{2(R_1 + \delta)} \right. \\ & \left. + \frac{R^2/2 - (2l_2 - R)\delta}{R_1 R} + \frac{R_1 R}{R^2/2 - (2l_2 - R)\delta} \right] \quad (17) \end{aligned}$$

为了分别研究稳定参数 $\delta$ 以及臂长 $l_2$ 对失调灵敏度的影响, 在给定一个参数情况下画出了 $D^2 \lambda / \pi$ 变化的曲线。图2中,  $D_m(\delta)$ 表示臂长 $l_2 = 200\text{mm}$ ,  $R_1 = 50\text{mm}$ ,  $R = 80\text{mm}$ 时 $D^2 \lambda / \pi$ 随稳定参数 $\delta$ (也就是随臂长 $l_1$ )变化曲线。 $m = 2, 3$ , 分别表示端镜失调和全部腔镜都失调的情况。而 $D_m(l_2)$ 表示在始终保持谐振腔处在稳定区中心的情况下, 即

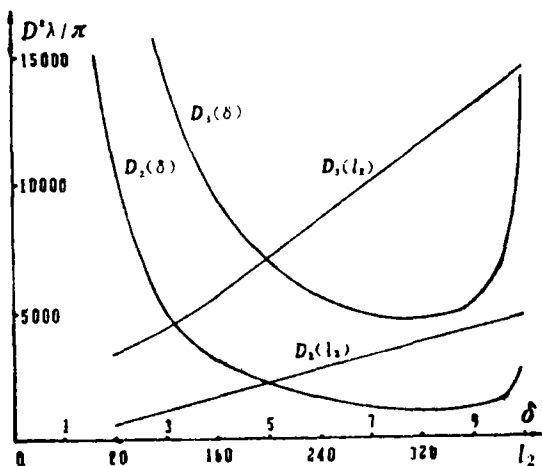


图2 失调灵敏度的变化

算表明, 对于折叠腔, 要么适当选择稳定参数  $\delta$ , 要么尽可能选择较小的准直臂长度  $l_2$ , 可得到较小的失调灵敏度。

## 参 考 文 献

- [1] 吕百达, Weber H. 多元件光学谐振腔的失调灵敏度. 中国激光, 1985, 12(9), 513
- [2] 王绍民. 失调激光系统的矩阵和图论处理方法. 杭州大学学报(自然科学版), 1979, (3): 42
- [3] 卢亚雄, 吕百达. 矩阵光学. 大连: 大连理工大学出版社, 1989, 244

作者简介: 卢亚雄, 男, 1946年出生。教授, 1982年获法国波尔多大学博士学位。著有《矩阵光学》、《量子电子学》等。现从事光电子技术教学和科研。

收稿日期: 1990年3月16日。 收到修改稿日期: 1991年1月22日。

• 产品简讯 •

## 全 息 光 学 元 件

美国犹他州Ralcon公司研制的成套HOE\*RK8全息光学元件配套于箱套中供衍射光学的教学和实验使用。一套件包括有: 离轴波带片, 补充能量的平面反射器, 高增益漫反射片, 平面全息析象器, 两平面光栅, HOE四十平面光学互连器和二分量闪光光学阵列。全部元件都是高效全息相位照相元件, 附有图纸和资料。

译自 L F World, 1991, 27(2), 183 中光译 松明校