第9卷 第10期
1989年10月

光 学 学 报
ACTA OPTICA SINICA

Vol. 9, No. 10
October, 1989

多元件共焦型非稳腔的特征

吕百达 丘 悦 蔡邦维
(四川大学物理系)

提 要

本文首次使用牛顿成像方程对多元件共焦型非稳腔的基模给出了公式化描述，揭示出这类光腔的重要特征。对本文所用方法和其它方法的比较亦作了讨论。

关键词：多元件非稳腔；广义共焦条件；牛顿成像方程。

一、引 言

合理设计的多元件非稳腔具有选模能力强、输出光束质量高和动态稳定性好等优点，是高增益、高功率激光系统常可采用的一类腔型。虽然使用衍射积分方程理论能对非稳腔的模式特征给出较为细致的描述，但由于求解方法的复杂和数值计算的冗长在光腔的工程设计中较少使用。对多元件非稳腔基模特征的规范化正则表述，首推 $ABCD$ 矩阵法[1,2]。不过对于较复杂的光腔，因往返一周矩阵元计算量的增加而使得在具体应用这些公式时的数学处理较为繁琐。实际工作中感兴趣的问题是给出用光腔几何参数表示的设计公式，用以分析光腔的特性，并研究当光腔几何参数和泵浦条件改变时对输出光束特性的影响，迄今文献中对这类问题涉及甚少。本文以最有实用意义的共焦型多元件非稳腔为典型例，首次使用牛顿成像公式来完成这一工作，并揭示出这类光腔的主要物理特征。本文所用方法和得到的结果可应用于多元件共焦型非稳腔的工程设计和实验研究。将有关公式程序化后，亦便于用计算机作模拟设计。

二、含热透镜的望远镜共焦型非稳腔

对高功率激光系统使用的非稳腔，激光介质本身可等效为一个具有可变焦距的热透镜。应用中常在腔内插入望远镜系统以提高选模能力，并可用调整望远镜系统间距方法来补偿热透镜效应，因此选用这类腔型作为分析复杂多元件非稳腔的典型例，使用本文方法的优点也在分析这类腔型时表现出来，所得到的物理结论亦具有一般性。如图1所示多元件非稳腔，设二腔反射镜曲率半径分别为R_1、R_2(等效焦距 $f_i=R_i/2, i=1, 2$)，热透镜焦距为 f_3，与 M_1 相距 l_1，望远镜系统由相距 l_4，焦距分别为 f_4、f_5 的二薄透镜组成，f_4 与 f_3 相距 l_3，f_5 与 M_2 相距 l_2，光腔几何长度 $L=l_1+l_2+l_3+l_4$。与 l_1、l_2、l_3、l_4 对应的失调量分别用 Δ_1、Δ_2、Δ_3、Δ_4 表示，例如望远镜失调量 $\Delta_4=l_4-f_5-f_4$ 等等。

收稿日期：1988年11月28日；收到修改稿日期：1989年4月12日

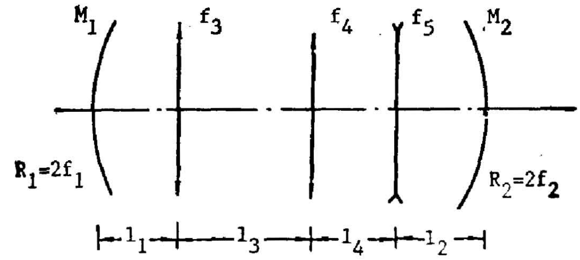
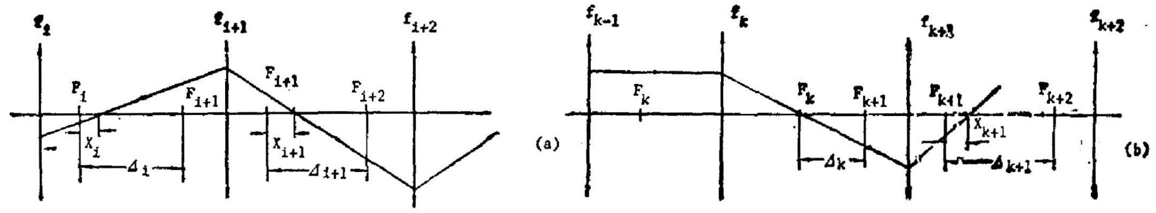


Fig. 1　Unstable telescope-resonator with a thermal lens



(a)　　(b)

Fig. 2　(a), (b) Schematic illustration of Newton's imaging equation

如所周知，对图 2(a) 中的透镜系列牛顿公式可写为

$$(\Delta_i - X_i)X_{i+1} = f_{i+1}^2。\quad (i=1,\ 2,\ 3,\cdots) \tag{1}$$

式中，f_{i+1} 为第 $i+1$ 个透镜的焦距，x_{i+1} 为以 f_{i+1} 的后焦面 F_{i+1} 为参考与物距 $(\Delta_i - X_i)$（以 f_{i+1} 的前焦面 F_{i+1} 为参考）共轭的像距，等等（见图）。当透镜 f_{k-1}、f_k 间有平行光时，见图 2(b) 则有

$$\Delta_k X_{k+1} = f_{k+1}^2。 \tag{2}$$

将图 1 的腔展为等效薄透镜系列，使用 (1) 式进行递推，并在设计中所要求存在平行光（按[1]，称为满足广义共焦条件）区间使用 (2) 式就可推导出有关结果。例如，若要求在 M_1–f_3 间存在准直平行光，则广义共焦条件的腔参数表示式为

$$(\Delta_2\Delta_3\Delta_4 - f_4^2\Delta_2 - f_5^2\Delta_3)[\Delta_1(\Delta_2\Delta_3\Delta_4 - f_4^2\Delta_2 - f_5^2\Delta_3) - f_3^2(\Delta_2\Delta_4 - f_5^2)] - f_2^2(\Delta_3\Delta_4 - f_4^2)(\Delta_1\Delta_3\Delta_4 - f_4^2\Delta_1 - f_3^2\Delta_4) = 0。 \tag{3}$$

分别以镜 M_1、M_2 为参考，共轭物像点 P_1、P_2 的位置 r_1、r_2 为

(1) 当存在 $M_1 \to f_3$ 方向平行光时

$$r_1 \to \infty,\quad r_2 = -f_2 - \frac{f_2^2(\Delta_3\Delta_4 - f_4^2)}{(\Delta_3\Delta_4 - f_4^2)\Delta_2 - f_5^2\Delta_3}。 \tag{4}$$

(2) 当存在 $f_3 \to M_1$ 方向平行光时

$$r_1 = -f_1,\quad r_2 = \frac{f_5^2\Delta_3}{\Delta_3\Delta_4 - f_4^2} - f_2 - \Delta_2。 \tag{5}$$

实际应用中一个重要问题是当泵浦参数改变导致热焦距 f_3 变化时，应当如何较为方便地调整光腔的某一几何参数以仍能保持有准直平行光输出，为此我们讨论二类情况

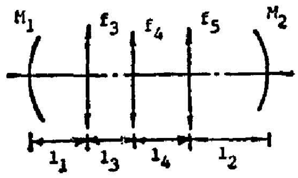
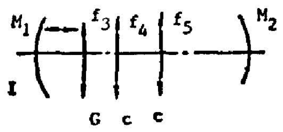
(1) 若只改变 l_1（l_2、l_3、l_4 保持不变），则 l_1 与 f_3 函数关系为

$$l_1 = f_1 + f_3 + f_3^2(PQ - f_2^2\Delta_4 R)/(Q^2 - f_2^2 R^2)。 \tag{6}$$

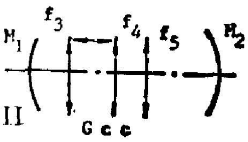
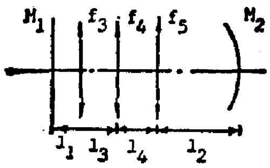
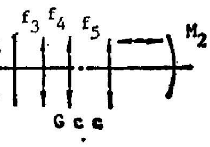
式中

$$P = \Delta_2\Delta_4 - f_5^2,\quad Q = \Delta_3 P - \Delta_2 f_4^2,\quad R = \Delta_3\Delta_4 - f_4^2。 \tag{7}$$

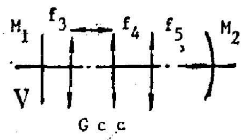
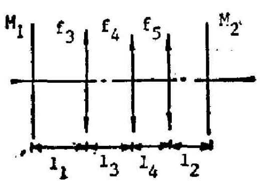
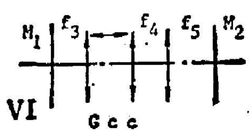
Tabe.1 Characteristic equations of multielement confocal unstable resonators

		$G_1=a-b/2f_1,\ G_2=d-b/2f_2$ $a=c(\Delta_2+f_2)+f_5\Delta_3/f_3f_4,\ b=a(\Delta_1+f_1)+f_3[(\Delta_2+f_2)\Delta_4-f_5^2]/f_4f_5$ $d=c(\Delta_1+f_1)+f_3\Delta_4/f_4f_5,\ c=(f_4^2-\Delta_3\Delta_4)/f_3f_4f_5$ $L=l_1+l_2+l_3+l_4=f_1+f_2+2(f_3+f_4+f_5)+\Delta_1+\Delta_2+\Delta_3+\Delta_4$
uc		$G_1G_2>1$ or $G_1G_2<0$
		$\Delta_1(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)^2-f_3^2(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)$ $-f_2^2(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)(\Delta_1\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_3^2\Delta_4)=0$
r_1	$s_1\to f_3$ $(aG_1^{-1}>1)$	∞
	$f_3\to s_1$ $(aG_1^{-1}<1)$	$-f_1$
r_2	$s_1\to f_3$ $(aG_1^{-1}>1)$	$-f_2-f_2^2(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)/(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)$
	$f_3\to s_1$ $(aG_1^{-1}<1)$	$f_5^2\Delta_3/(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)-f_2-\Delta_2$
If only l_1 varies		$l_1=f_1+f_3+f_3^2(PQ-f_2^2\Delta_4R)/(Q^2-f_2^2R^2)$ $P=\Delta_2\Delta_4-f_5^2,\ Q=\Delta_3P-\Delta_1f_4^2,\ R=\Delta_3\Delta_4-f_4^2$
If only l_4 varies		$l_4=f_4+f_5+(B\pm\sqrt{B^2-4AC})/2A$ $A=\Delta_3(\Delta_2^2-f_2^2)(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)$ $B=f_4^2(\Delta_2^2-f_2^2)(2\Delta_1\Delta_3-f_3^2)+2f_5^2\Delta_2\Delta_3(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)$ $C=\Delta_1(f_4^2\Delta_2+f_5^2\Delta_3)^2-f_3^2f_5^2(f_4^2\Delta_2+f_5^2\Delta_3)-f_2^2f_4^4\Delta_1$
		$\Delta_2(\Delta_1\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_1-f_3^2\Delta_4)^2-f_5^2(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)(\Delta_1\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_1-f_3^2\Delta_4)$ $-f_1^2(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)=0$
r_1	$s_2\to f_5$ $(dG_2^{-1}>1)$	$-f_1-f_1^2(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)/(\Delta_1\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_1-f_3^2\Delta_4)$
	$f_5\to s_2$ $(dG_2^{-1}<1)$	$f_3^2\Delta_4/(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)-f_1-\Delta_1$
r_2	$s_2\to f_5$ $(dG_2^{-1}>1)$	∞
	$f_5\to s_2$ $(dG_2^{-1}<1)$	$-f_2$
If only l_2 varies		$l_2=f_2+f_5+f_5^2(PQ-\Delta_3f_1^2R)/(Q^2-f_1^2R^2)$ $P=\Delta_1\Delta_3-f_3^2,\ Q=\Delta_4P-\Delta_1f_4^2,\ R=\Delta_3\Delta_4-f_4^2$

(continued)

If only l_4 varies		$l_4=f_4+f_5+(B\pm\sqrt{B^2-4AC})/2A$ $A=\Delta_2[(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)^2-\Delta_3^2f_1^2]$ $B=2\Delta_2f_4^2[\Delta_1(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)-\Delta_3f_1^2]+f_5^2A/\Delta_2$ $C=f_4^2[\Delta_2f_4^2(\Delta_1^2-f_1^2)+\Delta_1f_5^2(\Delta_1\Delta_3-f_3^2)-\Delta_3f_5^3f_1^2]$
 III		$(\Delta_1^2\Delta_3-\Delta_1f_3^2-\Delta_3f_1^2)[(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)^2-f_2^2\Delta_4^2]-f_4^2(\Delta_1^2$ $-f_1^2)[(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)\Delta_2-f_2^2\Delta_4]=0$
r_1	$f_3\to f_4$	$-(f_1+\Delta_1)$
	$f_4\to f_3$	$-f_1(1+f_1/\Delta_1)$
r_2	$f_3\to f_4$	$-f_2-f_2^2\Delta_4/(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)$
	$f_4\to f_3$	$f_5^2/\Delta_4-f_2-\Delta_2$
If only l_1 varies		$l_1=f_1+f_3+(B\pm\sqrt{B^2-4AC})/2A$ $A=(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)[(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)\Delta_3-f_4^2\Delta_2]-f_2^2\Delta_4(\Delta_3\Delta_4+f_4^2)$ $B=-f_3^2[f_2^2\Delta_4^2-(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)^2]$ $C=-f_1^2A$
If only l_4 varies		$l_4=f_4+f_5+(Q\pm\sqrt{Q^2-4PR})/2P$ $P=(\Delta_1^2\Delta_3-f_3^2\Delta_1-f_1^2\Delta_3)(\Delta_2^2-f_2^2)$ $Q=(\Delta_1^2-f_1^2)[2f_5^2\Delta_2\Delta_3+(\Delta_2^2-f_2^2)f_4^2]-2f_3^2f_5^2\Delta_1\Delta_2$ $R=f_5^2[(\Delta_1^2-f_1^2)(f_5^2\Delta_3+f_4^2\Delta_2)-f_3^2f_5^2\Delta_1]$
		$G_1=a,\ G_2=d-b/2f_2$ $a=c(\Delta_2+f_2)+f_5\Delta_3/f_3f_4,\ b=a(l_1-f_3)+f_3[(\Delta_2+f_2)\Delta_4-f_5^2]/f_4f_5$ $d=c(l_1-f_3)+f_3\Delta_4/f_4f_5,\ c=(f_4^2-\Delta_3\Delta_4)/f_3f_4f_5$ $L=l_1+l_2+l_3+l_4=l_1+f_2+f_3+2(f_4+f_5)+\Delta_2+\Delta_3+\Delta_4$
uc		$G_1G_2>1$ or $G_1G_2<0$
 IV		$(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)[2(l_1-f_3)(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)-f_3^2\Delta_4]$ $-f_3^2(\Delta_2\Delta_4-f_4^2)(\Delta_3\Delta_4-f_4^2)=0$
r_1	$s_2\to f_5$ $(dG_2^{-1}>1)$	$-l_1+f_3+f_3^2(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)/(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)$
	$f_5\to s_2$ $(dG_2^{-1}<1)$	$l_1-f_3-f_3^2(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)/(\Delta_2\Delta_3\Delta_4-f_4^2\Delta_2-f_5^2\Delta_3)$

(continued)

r_2	$s_2\to f_5$ $(dG_2^{-1}>1)$	∞
	$f_5\to s_2$ $(dG_2^{-1}<1)$	$-f_2$
If only l_2 varies		$l_2=f_2+f_5+f_5^2(\Delta_3+f_3^2f_4^2/2s)/R$ $R=\Delta_3\Delta_4-f_4^2,\ s=(l_1-f_3)R-f_3^2\Delta_4$
If only l_4 varies		$l_4=f_4+f_5+(B\pm\sqrt{B^2-4AC})/2A$ $A=2\Delta_2\Delta_3[(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2]$ $B=2\Delta_2\Delta_3f_4^2(l_1-f_3)+2(f_4^2\Delta_2+f_5^2\Delta_3)[(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2]$ $C=f_4^2[2(l_1-f_3)(f_4^2\Delta_2+f_5^2\Delta_3)-f_3^2f_5^2]$
		$[2(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2][(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)^2-f_2^2\Delta_4^2]$ $-2f_4^2(l_1-f_3)[(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)\Delta_2-f_2^2\Delta_4]=0$
r_1	$f_3\to f_4$	f_3-l_1
	$f_4\to f_3$	l_1-f_3
r_2	$f_3\to f_4$	$-f_2-f_2^2\Delta_4/(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)$
	$f_4\to f_3$	$f_5^2/\Delta_4-f_2-\Delta_2$
If only l_1 varies		$l_1=f_3+f_3^2P/2(\Delta_3P-f_4^2Q)$ $P=(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)^2-f_2^2\Delta_4^2,\ Q=(\Delta_2\Delta_4-f_5^2)\Delta_2-f_2^2\Delta_4$
If only l_4 varies		$l_4=f_4+f_5+(B\pm\sqrt{B^2-4AC})/2A$ $A=(\Delta_2^2-f_2^2)[2(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2]$ $B=2\Delta_2f_5^2[(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2]+2f_4^2(l_1-f_3)(\Delta_2^2-f_2^2)$ $C=f_5^2[f_5^2(2\Delta_3l_1-2\Delta_3f_3-f_3^2)-2\Delta_2f_4^2(l_1-f_3)]$
		$G_1=a,\ G_2=d$ $a=c(l_2-f_5)+f_5\Delta_3/f_3f_4,\ b=a(l_1-f_3)+f_3[(l_2-f_5)\Delta_4-f_5^2]/f_4f_5$ $d=c(l_1-f_3)+f_3\Delta_4/f_4f_5,\ c=(f_4^2-\Delta_3\Delta_4)/f_3f_4f_5$ $L=l_1+l_2+l_3+l_4=l_1+l_2+f_3+2f_4+f_5+\Delta_3+\Delta_4$
uc		$G_1G_2>1$ or $G_1G_2<0$
		$\Delta_4[(l_2-f_5)\Delta_4-f_5^2][2(l_1-f_3)\Delta_3-f_3^2]$ $-f_4^2(l_1-f_3)[2(l_2-f_5)\Delta_4-f_5^2]=0$

(continued)

r_1	$f_3 \to f_4$	$f_3 - l_1$
	$f_4 \to f_3$	$l_1 - f_3$
r_2	$f_3 \to f_4$	$l_2 - f_5 - f_5^2/\Delta_4$
	$f_4 \quad f_3$	$f_5 - l_2 + f_5^2/\Delta_4$
If only l_1 varies	$l_1 = f_3 + f_3^2 P/(2\Delta_3 P - Q)$ $P = \Delta_4[(l_2 - f_5)\Delta_4 - f_5^2]$, $Q = f_4^2[2(l_2 - f_5)\Delta_4 - f_5^2]$	
If only l_4 varies	$l_4 = f_4 + f_5 + (B \pm \sqrt{B^2 - 4AC})/2A$ $A = (l_2 - f_5)[2(l_1 - f_3)\Delta_3 - f_3^2]$ $B = f_5^2[2(l_1 - f_3)\Delta_3 - f_3^2] + 2f_4^2(l_1 - f_3)(l_2 - f_5)$ $C = f_4^2 f_5^2 (l_1 - f_3)$	

1. uc-unstable condition
   Gcc-generalized confocal condition
2. Eqs. of M and Γ are (13), (14), respectively, and not compiled here.

(2) 若只改变 l_4，则 l_4 与 f_3 的函数关系为

$$l_4 = f_4 + f_5 + (B \pm \sqrt{B^2 - 4AC})/2A。 \tag{8}$$

式中

$$A = \Delta_3(\Delta_2^2 - f_2^2)(\Delta_1\Delta_3 - f_3^2),$$
$$B = f_4^2(\Delta_2^2 - f_2^2)(2\Delta_1\Delta_3 - f_3^2) + 2f_5^2\Delta_2\Delta_3(\Delta_1\Delta_3 - f_3^2),$$
$$C = \Delta_1(f_4^2\Delta_2 + f_5^2\Delta_3)^2 - f_3^2 f_5^2 (f_4^2\Delta_2 + f_5^2\Delta_3) - f_2^2 f_4^4 \Delta_1。 \tag{9}$$

式中开方号前正负号取舍由具体物理条件，例如透镜间几何距离应为正值，光腔几何长度应合乎实用要求，对应于正支或负支的选取等来决定。

对多元件光腔(稳定或非稳腔)的整体特征的描述，采用 G 参数是十分有效的。为此，可仿照多元件稳定腔的方法，引入光腔 G 参数[3]

$$G_1 = a - \frac{b}{R_1}, \quad G_2 = d - \frac{b}{R_2}。 \tag{10}$$

式中

$$a = c(\Delta_2 + f_2) + \frac{f_5\Delta_3}{f_3 f_4}, \quad b = a(\Delta_1 + f_1) + \frac{f_3[(\Delta_2 + f_2)\Delta_4 - f_5^2]}{f_4 f_5},$$
$$c = \frac{f_4^2 - \Delta_3\Delta_4}{f_3 f_4 f_5}, \quad d = c(\Delta_1 + f_1) + \frac{f_3\Delta_4}{f_4 f_5}。 \tag{11}$$

为腔内单程变换矩阵 $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ 诸元。光腔的非稳条件可表示为

$$G_1G_2 > 1 (\text{正支}) \quad \text{或} \quad G_1G_2 < 0 (\text{负支}) \tag{12}$$

往返一周放大率 M 和能量损耗率 Γ 分别为

$$M = 2G_1G_2 - 1 \pm 2\sqrt{G_1G_2(G_1G_2 - 1)}, \tag{13}$$

$$\Gamma = 1 - \frac{1}{M^2}。 \tag{14}$$

(3)、(4)(或(5))、(12)、(13)、(14)式为描述望远镜共焦型非稳腔基模特征的基本方程。其中，共焦条件、共轭点位置的方程对一定几何结构的非稳腔依准直平行光所在区间不同而异。对正支非稳腔，(13)，(14)开方号前取 +，对负支非稳腔取 −。现将对各典型情况所作计算推导结果总结于表 1，以便比较分析和使用。

三、结果分析和小结

1．本文以共焦型多元件非稳腔为典型例，使用牛顿公式对共轭点位置、广义共焦条件等给出了用腔几何参数表示的公式，有关结果已得到实验工作的证实[4]，由于(1)式的递推关系在几何光学意义下是普适的，对球面波输出或广义共焦条件不满足的情况均可用这一方法分析。这一方法亦便于推广用以研究更为复杂的多元件非稳腔。但应注意，所得结果只有在满足非稳条件(12)式情况下才有意义。

2．按 $ABCD$ 矩阵法[1]，广义共焦条件可用往返一周矩阵元写为

$$C=0(\text{或 } AD=1) \tag{15}$$

例如，若需在 f_3-f_4 段耦合输出平行光(图 1)，应计算出以 f_3 为参考光腔的往返一周矩阵

$$\begin{aligned} M=\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}=&\begin{pmatrix} 1 & l_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R_1} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & l_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_3} & 1 \end{pmatrix} \\ &\begin{pmatrix} 1 & l_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_4} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & l_4 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_5} & 1 \end{pmatrix} \\ &\begin{pmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -\frac{2}{R_2} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_5} & 1 \end{pmatrix} \\ &\begin{pmatrix} 1 & l_4 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_4} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & l_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_3} & 1 \end{pmatrix}。 \end{aligned} \tag{16}$$

后代入(15)式，才能得到所需结果。显然，(16)式的计算是较为复杂的。对多元件非稳腔，当然也可以用高斯成像公式分析，但计算表明，多次成像的数学处理亦颇为冗繁。相比之下，使用牛顿公式递推，计算过程和所得结果都要简单得多。在光腔的实际设计中，最终是须从用腔几何参数表示的公式出发的，因此，本文所用方法和有关结果不失为光腔工程设计可选用的一种方法。就对多元件非稳腔的理论描述而言，针对具体问题，灵活使用上述各种等效方法进行分析，亦有相辅相成、相互检验之效。

3．当由简单两镜非稳腔过渡到多元件非稳腔时，无论是公式化表述或光腔特性上都存在一些不容忽视的差异。例如，使用表 1 公式具体进行数值计算或用光线追迹法作图(限于篇幅，计算例略去)都表明，在正支共焦型多元件非稳腔内，仍可能存在光线的实汇聚点，这对两镜简单正支共焦非稳腔显然是不可能的。在设计时，除了应避免这类情况外，还应当考虑到，当泵浦参数变化引起热焦距改变时，也不能引起光线在腔内的汇聚，以避免腔内光学元件的损坏。在实验中出现的满足正支共焦或近共焦的多元件非稳腔中激光介质的光损伤，其中一个可能原因就是在介质附近实光线汇聚点的存在。

4．在设计望远镜共焦型多元件非稳腔时，应从共焦条件的腔几何参数表示式出发，在非稳条件限制下选择光腔几何参数，并使放大率和能量损耗率满足设计要求。激光介质的热焦距和它的变化范围则应根据泵浦参数的变化范围由实验来确定。对复杂多元件腔，可

供选择的参数较多，我们已将计算、作图公式编为标准的计算机程序，这给设计工作带来不少方便。

本工作得到四川省科委资助，谨此致谢。

参 考 文 献

[1] A. E. Siegman; *IEEE J. Q. E.*, 1976, **12**, No. 1 (Jan), 35～39.
[2] 王之江，方洪烈；《光学学报》，1981, **1**, No. 1 (Jan), 31～35。
[3] 成都电讯工程学院，北京工学院；《激光器件》，(湖南科技出版社，1981), 31～35。
[4] Lü Baida *et al.*; *SSL'89*(国际固体激光器和半导体激光器专题会议报告), 1989, Beijing。

Characteristics of multielement confocal unstable resonators

Lü Baida, Qiu Yue and Cai Bangwei
(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

(Received 28 Novembr 1988; revised 12 April 1989)

Abstract

An analytical formulation for the fundamental mode of multielement confocal unstable resonators is presented firstly by using Newton's imaging equation. Some important characteristics of the resonators have been predicted. A comparison of this method with others is discussed.

Key words: multielement unstable resonator; generalized confocal condition; Newton's imaging equation.