基模热稳腔的简单设计计算方法

张 光 寅

（南开大学物理系）

提要：利用基模热稳腔的一般解的简单图解关系，热扰透镜处的π圆与腔的一个R_1镜的σ_1圆相切，提出了这种腔的一个十分简单的设计计算方法。同时作为例子，介绍了四种类型基模热稳腔的设计与计算。

A simple design and calculation method of the TEM_{00}-thermo-insensitive resonator

Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract: Using the simple diagrammatic relationship of general solution of the TEM_{00}-thermo-insensitive resonator, the circle π in the place of thermo-perturbation lens is tangent to circle σ_1 of the mirror R_1 of the resonator. A very simple design and calculation method of such resonator has been proposed. And as an example, the design and calculation of four types of the TEM_{00}-thermo-insensitive resonators have been presented.

在 [1] 中我们曾获得了基模热稳腔的一般解。它可以表达为一些特征传播圆的简单图解关系：即若谐振腔的反射镜之一的R_1镜的σ_1圆与腔内热扰透镜f处的π圆相切；而由π圆所决定的热扰透镜处的基模光斑尺寸又满足自孔径选基模的要求，则这样的谐振腔即为基模热稳腔。从它的另一R_2镜一端可获得稳定的基模辐射输出。根据这个一般解的简单图解关系，我们容易制定出基模热稳腔的十分简单的设计计算方法。本文就以基模热稳腔的四种较好的构型为例具体介绍这种腔的设计计算方法。

一

图1示出Ⅰ型基模热稳腔的图解关系。Ⅰ型腔由一凹面镜R_1，一平面镜R_2和一热扰透镜（即激光棒）所组成。这里R_1镜的σ_1圆与热扰透镜f处的π圆相切于F_1。因而只要按自孔径选基模的要求预先选定了这个π圆的直径，则这种腔结构就完全符合基模热稳腔的一般解的要求。切点F_1决定了高斯光束在热扰透镜f左方的一个侧焦点。R_2镜的σ_2圆与f处的π圆的相交点F_2决定了高斯光束在热扰透镜f右方的另一侧焦点。通过侧焦点F_1，同时切光轴z于R_1镜处的π_1圆为反映R_1镜处基模光斑尺寸的一个传播圆。通过侧焦点F_2，同时切光轴z于R_2镜处的π_2圆为反映R_2镜处基模光斑尺寸的一个传播圆。通过侧焦点F_1，同时过热扰透镜f处的σ_{1f}圆为反映f左侧高斯光束

收稿日期：1980年8月19日。

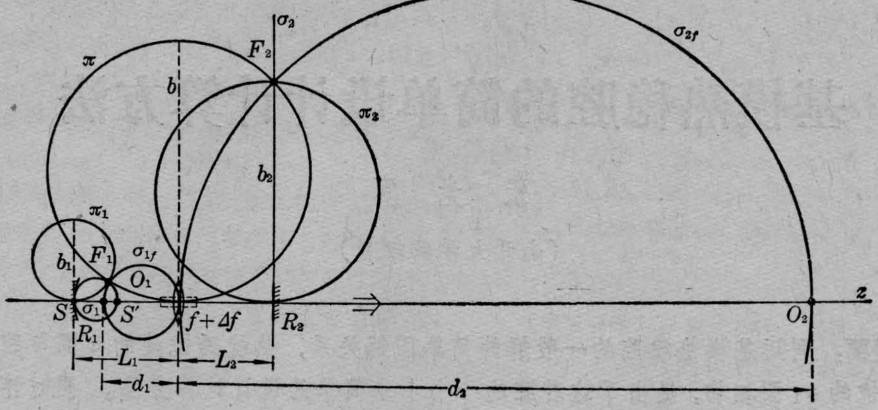

图1 I型基模热稳腔的图解关系

波面曲率半径的一个传播圆。通过侧焦点F_2，同时过热扰透镜f处的σ_{2f}圆为反映f右侧高斯光束波面曲率半径的一个传播圆。根据π圆与σ_1圆相切这一特殊关系，我们容易确定π圆、π_1圆和σ_{1f}圆与σ_1圆之间的简单正交关系。再结合考虑自孔径选基模的要求，我们不难确定I型腔的一组设计计算公式如下：

$$b=\frac{\phi^2}{4\lambda};\tag{1}$$

$$L_1=s;\tag{2}$$

$$b=\frac{2ss'}{s-s'};\tag{3}$$

$$R_1=s-s';\tag{4}$$

$$d_1=\frac{2ss'}{s+s'};\tag{5}$$

$$b_1=(s-s')\frac{s}{s'};\tag{6}$$

$$bb_1=2s^2=2L_1^2;\tag{7}$$

$$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}=\frac{1}{f};\tag{8}$$

$$L_2=\frac{d_2b^2}{d_2^2+b^2};\tag{9}$$

$$b_2=\frac{d_2^2b}{d_2^2+b^2},\tag{10}$$

式中b、b_1、b_2、d_1、d_2分别为π、π_1、π_2、σ_{1f}和σ_{2f}圆的直径；ϕ为激光棒的有效孔径；λ为激光波长；f为热扰透镜的平均焦距；s和s'分别为σ_1圆与光轴的两个交点离热扰透镜f的距离；R_1为R_1镜的曲率半径；L_1和L_2分别为R_1镜和R_2镜离热扰透镜f的距离。

(1)式决定于自孔径选基模的要求；(3)、(5)、(6)式分别决定于π圆、σ_{1f}圆、π_1圆与σ_1圆之间的正交关系；(7)式导自(3)、(6)两式的关系；(8)式决定于透镜f两侧波面曲率中心O_1与O_2对于透镜f的物象关系；(9)、(10)两式决定于π圆与σ_{2f}圆的正交关系。

这些公式以十分简单的形式给出腔内主要模特性与这种腔结构参数之间的联系。利用这些公式，我们容易对I型腔进行数值计算。设激光棒的有效孔径为$\phi=5.05$毫米，取$\lambda=1.06$微米，由(1)式可得$b=6.0$米。继取$L_1=100$厘米，由(2)式可得$s=100$厘米；由(3)式可得$s'=75$厘米。进而由(4)式可得$R_1=25$厘米；由(5)式可得$d_1=85.7$厘米；由(6)式可得$b_1=0.33$米。再取$f=85.5$厘米，由(8)式可得$d_2=367$米，进而由(9)式可得$L_2=9.8$厘米；由(10)式可得$b_2\approx6.0$米。这样，我们就十分容易地计算得到I型腔结构的全部数据。

应当指出，这种腔结构的最后三步的计算还可以大大地简化。事实上，若取$f\approx d_1$，这时σ_{2f}圆的直径趋向无限大；$b_2\approx b$；L_2可取近于零的任意小值。因而，对于I型腔实

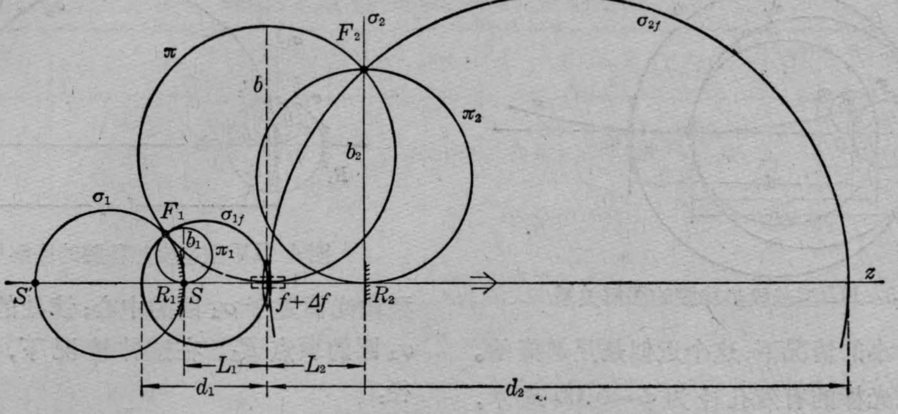

图 2　II 型基模热稳腔的图解关系

际上只需利用(1)～(6)式进行计算即可。

(7)式在我们上面的计算中没有用到。然而这一关系式有其特殊用处。在这种腔结构中一般地 b 值较大，b_1 值较小。这就意味着，R_1 镜将要经受较大的激光功率密度。利用这一关系式，可使我们在给定 L_1 与 ϕ 的条件下，容易预先估算 R_1 镜上的基模光斑尺寸及其可能经受的激光功率密度。这在设计这种腔结构时是必须予以考虑的。

二

图 2 中示出 II 型基模热稳腔的图解关系。II 型腔与 I 型腔的不同之处在于以一凸面镜 R_1 代替 I 型腔中的凹面镜 R_1，但仍保持 R_1 镜的 σ_1 圆与热扰透镜 f 处的 π 圆的相切关系。若我们仍以 s 表示 R_1 镜的位置，s' 表示其曲率中心的位置，则只需以如下两式：

$$b=\frac{2ss'}{s'-s}; \tag{11}$$

$$b_1=(s'-s)\frac{s}{s'} \tag{12}$$

分别代替(3)、(6)两式，就可以利用 I 型腔的其它全部计算公式对 II 型腔进行设计计算。

设激光棒的有效孔径为 $\phi=5.05$ 毫米，取 $\lambda=1.06$ 微米，由 (1) 式可得 $b=6.0$ 米。继取 $L_1=100$ 厘米，由(2)式可得 $s=100$ 厘米；由(11)式可得 $s'=150$ 厘米。进而由(4)式可得 $R_1=-50$ 厘米；由 (5) 式可得 $d_1=120$ 厘米；由(12)式可得 $b_1=0.33$ 米。再取 $f=119.6$ 厘米，由(8)式可得 $d_2=359$ 米，进而由(9)式可得 $L_2=10$ 厘米；由(10)式可得 $b_2\approx6.0$ 米。这样，就容易地算得 II 型腔结构的全部数据。

需要指出，从上面 I、II 两型的计算例子中可以看到，在取相同的 L_1 值和 b 值的情况下，b_1 值均等于 0.33 米，也就是说，R_1 镜上的基模光斑尺寸都是相同的。因而可知，I 型腔与 II 型腔从模特性上看没有实质上的差别。

三

图 3 中示出 III 型基模热稳腔的图解关系。III 型腔是由一凸面镜 R_1，一凹面镜 R_2 和一热扰透镜 f（即激光棒）所组成。图中的符号与前面所述的相同。这里 π 圆与 σ_1 圆仍是相切的；σ_{1f} 圆与 σ_{2f} 圆对于 f 仍互为物象关系。因而它的设计计算公式仍可由(1)、(2)、(4)、(5)、(7)、(8)、(11)、(12) 式及下式组成：

$$R_2=|d_2|+L_2。 \tag{13}$$

(13)式是一个近似公式，在 $L_2\ll L_1$ 和 σ_1 圆远

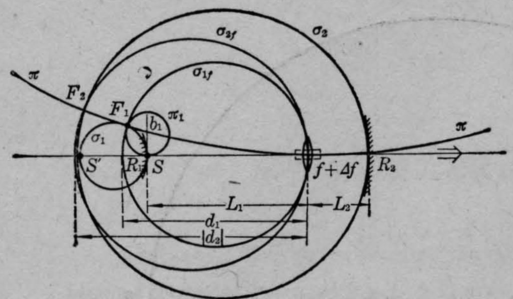

图 3　III 型基模热稳腔的图解关系

较 π 圆为小的情况下，这个近似是足够好的。

设激光棒的有效孔径为 $\phi=5.05$ 毫米，取 $\lambda=1.06$ 微米，由(1)式可得 $b=6.0$ 米。取 $L_1=100$ 厘米，由(2)式可得 $s=100$ 厘米；由(11)式可得 $s'=150$ 厘米。进而由(4)式可得 $R_1=-50$ 厘米；由(5)式可得 $d_1=120$ 厘米；由(12)式可得 $b_1=0.33$ 米。若热扰透镜的平均焦距值为 $f=5$ 米，则由(8)式可得 $d_2=-158$ 厘米。又若取 $L_2=12$ 厘米，则由(13)式可得 $R_2=170$ 厘米。这样，就获得了 III 型腔结构的全部数据。

[2]中曾采用了类似于 III 型腔结构的热稳腔。我们的计算方法显然要比他们的简单得多，而且还同时考虑了自孔径选基模的要求。

四

最后，介绍 IV 型基模热稳腔。如图 4 所示，这里热扰透镜 f 处的 π 圆内切于 R_1 镜的 σ_1 圆。而在前三种腔型中，π 圆则是外切于 σ_1 圆。π 圆外切于 σ_1 圆，有利于在热透镜处(即激活介质处)获得较大的基模光斑尺寸。但在一些微型固体激光器中激活介质的孔径只有 0.1 毫米量级。在这种情形下，宜采用 IV 型腔的形式，以较小的 π 圆内切于 σ_1 圆的方案，有利于获得更为紧凑的基模热稳腔结构。

图 4 中 R_1 为较小曲率半径的反射镜；微

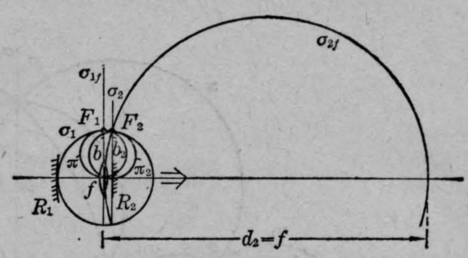

图 4　IV 型基模热稳腔的图解关系

型激光棒置于 σ_1 圆的中心；该处的 π 圆内切 σ_1 圆的顶点 F_1。在这种情况下，π 圆的直径：

$$b=\frac{R_1}{2}。\tag{14}$$

这时通过 F_1 的 σ_{1f} 圆的直径为无限大。因而利用(8)式可知，σ_{2f} 圆的直径为 $d_2=f$。进而利用(9)、(10)两式，在 $f\gg b$ 的条件下，可得

$$L_2=\frac{b^2}{f}\left(1-\frac{b^2}{f^2}\right)\approx 0;\tag{15}$$

$$b_2=b\left(1-\frac{b^2}{f^2}\right)\approx b=\frac{R_1}{2},\tag{16}$$

这里 L_2 为 R_2 镜离热扰透镜的距离；b_2 为 R_2 镜处 π_2 圆的直径。$f\gg b$ 的条件在微型激光器中总是满足的。$L_2\approx 0$ 表明，只要使 R_2 镜紧靠微型激光棒即可。这样，只需利用(14)、(16)式和自孔径选基模的关系式(1)，就可简便地对这种 IV 型腔进行设计计算。

这种腔的模特性主要决定于 R_1 一个结构参数。若取 $R_1=2$ 厘米，则由(14)式可得 $b=1$ 厘米；由(16)式可得 $b_2\approx 1$ 厘米。再由(1)式可知，选择棒径 $\phi=0.2$ 毫米，就恰好满足自孔径选基模的要求。

总之，利用基模热稳腔的一般解的图解关系，我们可以制定出基模热稳腔的十分简单的设计计算方法。

参　考　文　献

[1]　张光寅;《激光》, 1977, **4**, No. 5, 41.
[2]　J. Steffen et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, 239.