

基模热稳腔的若干新特性*

张 光 寅

(南开大学物理系)

固体激光器中激光棒的热透镜效应是十分复杂的,它不仅具有随时间变化的热扰特征,而且还有复杂的热畸变的特征^[1].前者影响激光功率和模式特性的稳定性;后者影响激光束的光学特性,波面的完整性与发散角等.

为了克服腔内热扰动对于激光输出特性的稳定性的影响,曾有不少工作^[2-7]讨论了基模热稳腔的问题.文献[7]中我们求得了基模热稳腔的一般解.在这一短文中将进一步指出,基模热稳腔不仅具有对腔内热扰动的自动补偿作用,而且还具有对热畸变和热双聚焦现象的自动补偿作用.基模热稳腔的这一新特性,对于获得良好光学特性的激光束来说,是有实际意义的.

本节将阐明基模热稳腔对腔内热畸变的补偿作用.为了便于说明问题,先扼要地重述基模热稳腔对腔内热扰动的补偿作用.图 1 中示出基模热稳腔的一个例子.如图所示,谐振腔的反射镜之一 R_2 镜的 σ_2 圆是和激光棒处的 π 圆相切的,这是基模热稳腔的基本特征^[7].这里激光棒的光学作用可用一透镜来代替.它的等效热透镜的焦距 f 是随时间无规地扰动的,因而宜用 $f_0 \pm \Delta f$ 来表示.在这种情形下, R_2 镜的 σ_2 圆通过热透镜的变换作用,变为相应的 σ_2' 圆.这个 σ_2' 圆也是随时间变动的,然而总保持和 π 圆(等同于 t 变换圆)相切的关系^[7].图中以 σ_2' 圆的两虚线圆所包括的阴影区表示它的变动范围.随着热透镜的焦距值在 f_0 附近变动, σ_2' 圆和 π 圆的相切点也将在 F_0 点附近沿 π 圆的圆周摆动.从 R_1 镜一端输出的激光特性决定于 σ_2' 圆与 R_1 镜的 σ_1 圆的相交特点.而由基模热稳腔的要求可知, R_1 镜的 σ_1 圆应通过这个 F_0 点.由图 1 中不难看出,只要热透镜的扰动 Δf 不是太大,那么 σ_1 圆和随时间变动的 σ_2' 圆的相交点则几乎完全稳定在 F_0 处.这就决定了从 R_1 镜一端输出的基模激光束的束参数 b 也几乎是固定不变的.也就是说,输出激光的模式和功率特性应是稳定的.而且,如由 π 圆决定的激光棒处的基模光斑尺寸和激

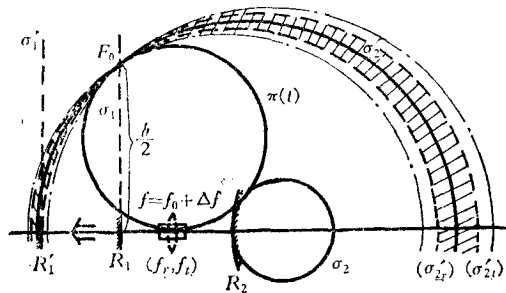


图 1 基模热稳腔对腔内热畸变补偿作用的分析

* 1978 年 10 月 31 日收到.

光棒的有效截面是相匹配的,则腔内激光振荡应限于基模振荡.由上所述可知,基模热稳腔是一种以基模形式振荡的,对腔内热扰动不敏感的谐振腔.它能自动地补偿热扰动对光模的影响作用.

上述分析方法可推广用于分析基模热稳腔对腔内热畸变的补偿作用.我们知道,一个理想的透镜对轴模的位相变换作用可用如下的因式表示^[8]:

$$\exp\left\{-i\frac{2\pi}{\lambda}\frac{x^2+y^2}{f}\right\}, \quad (1)$$

或用一个常焦距值 f 来表征.它的作用结果是,将一个轴模的球面波面匀称地转变为另一曲率半径的球面波面.

然而,对于激光棒的等效热透镜来说,它显然具有明显的空间畸变的特征,而且往往是比较复杂的.其中最主要的畸变成分应是象散性的(特别是在双灯泵浦的情况下).这时,热透镜对轴模的位相变换作用可用如下的因式表示:

$$\exp\left\{-i\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{x^2}{f_0+\Delta f}+\frac{y^2}{f_0-\Delta f}\right)\right\}. \quad (2)$$

这表明,热透镜在 xz 与 yz (z 为光束传播方向) 平面内分别具有不同的热焦距值.

除此以外,热透镜的球差性的畸变特征也是可能的.在这种情况下,它对轴模的位相变换作用应以如下的因式表示:

$$\exp\left\{-i\frac{2\pi}{\lambda}\frac{x^2+y^2}{f_0+\Delta f}\right\}, \quad (3)$$

此外 Δf 是一个离轴距离 r 的函数.

在上面所述的两种情况中,热透镜的空间畸变的函数形式仍以 z 轴为对称轴.在这种情况下,热透镜的等效热焦距可统一地用如下的简单式子表示:

$$f = f_0 + \Delta f. \quad (4)$$

这里的 Δf 为 (x, y) 的轴对称(相对于 z 轴)函数.一般地 $\Delta f \ll f_0$, 因而 Δf 可以看成是 f_0 的空间微扰项.如此,我们只需将这一微扰项比作热透镜的等效热焦距的时间微扰项,那么上述对热扰动的补偿作用的分析完全可以借用于分析空间畸变的热透镜的情况.因此,也可以同样的理由论证,在基模热稳腔中,只要热透镜的空间畸变引起的 Δf 不是太大,尽管热透镜存在畸变,但从腔镜 R_1 一端输出的激光束在包含 z 轴的不同空间截面上的束参数 b 几乎是相同的;同时由于束腰位置均在 R_1 镜处,因而可望从 R_1 镜一端输出的激光束的波面接近理想的球面.这意味着,腔内激光棒的热畸变对光模波面的可能的象差影响,在基模热稳腔的 R_1 镜一端将被自动地补偿到最小程度.

应当指出,上述分析的结论只适用于畸变函数具有轴对称的情况.对于畸变函数中出现 x, y 的奇次项的情况,基模热稳腔是否还能起某种程度的补偿作用,有待进一步讨论.

在非基模热稳腔中,腔内激光棒的热畸变的存在必然要不同程度地影响光模的波面特性,甚至会出现十分严重的情况.正如图 1 所示,若将 R_1 镜移置于 R'_1 处,这时谐振腔已非热稳腔.在这种情况下,由于 R'_1 镜所对应的 σ'_1 圆与“畸变”的 σ'_2 圆不再交于一个固定点,而是一系列点.这就表明,从 R'_1 镜一端输出的激光束在包含腔轴的不同空间截面

上具有极不相同的束参数 b 。因而可知,输出激光束的波面将具有严重的畸变特征。

一般地说,热透镜同时具有热扰动和热畸变的特征。在这种情况下, σ'_2 圆的变动范围要比单独存在热畸变的情况为大。图 1 中两虚线所包括的区域为单独存在热畸变情况下的 σ'_2 圆的变动范围。加上热扰动的同时影响, σ'_2 圆的变动范围扩大为两点线圆所包括的区域。但从图 1 可以看出,由于两者均为微扰,因而在 F_0 点附近仍然是 σ'_2 圆的最小变动区。因此, R_1 镜的 σ_1 圆和 σ'_2 圆的相交点也仍然是基本稳定的。由此可知,基模热稳腔对热扰动和热畸变的补偿作用是同时实现的。因此,利用基模热稳腔,不但可以获得模式和功率稳定的激光振荡,而且还可以改善输出激光束的光学质量。

二

激光棒中,由于热应力的存在,会引起一种复杂的热双聚焦现象^[9-11]。这时,激光棒对于光模的径向偏振成分和切向偏振成分分别具有不同的热焦距 f_r 和 f_t 。热双聚焦现象是一种特殊的热畸变效应,它难以用一般的光学元件加以补偿。然而,由于它同样是一种轴对称的热畸变,因而我们仍可以采用基模热稳腔来补偿它对光模的影响作用。仍用图 1 来说明。这里, R_2 镜的 σ_2 圆经热透镜 f_r 或 f_t 变换后,分别变换为“象”圆, σ'_{2r} 圆或 σ'_{2t} 圆。如若 f_r 和 f_t 的差异不是太大,使得变换后的 σ'_{2r} 圆和 σ'_{2t} 圆仍能相交,则我们就可选择这样的 R_1 镜,使其 σ_1 圆恰好通过两圆的交点 F_0 , 就可以构成一个对热双聚焦现象的补偿腔。这时,从基模热稳腔 R_1 镜一端输出的激光束的径向偏振成分和切向偏振成分具有同一束参数 b , 也即实现了对热双聚焦现象的自动补偿作用。

参 考 文 献

- [1] A. Stein, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-10** (1974), 427.
- [2] J. Steffen, J. P. Dörtscher and G. Herziger, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-8** (1972), 239.
- [3] R. B. Chesler and D. Maydan, *J. Appl. Phys.*, **43** (1972), 2254.
- [4] J. D. Barry, *Optics & Laser Technology*, **9** (1977), 207.
- [5] 上海交通大学激光研究室器件组, *激光*, (1) (1975), 6.
- [6] 中国科学院福建物质结构研究所二室一组, *激光*, (3) (1975), 33.
- [7] 张光寅, *激光*, (5) (1977), 41.
- [8] J. W. 顾德门, *傅里叶光学导论*, 科学出版社 (1976), p. 93.
- [9] W. Koechner, D. K. Rice, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-6** (1970), 557.
- [10] W. Koechner, *Appl. Opt.*, **9** (1970), 2548.
- [11] *重复率和连续激光器*, 上海人民出版社 (1977), p. 53.

SOME NEW ASPECTS ON TEM₀₀-THERMO- INSENSITIVE CAVITY

ZHANG GUANG-YIN

(Department of Physics, Nankai University)