

非稳腔的热稳定性分析*

孙年春 邓崇俊 李一平 程 洁 杨绍岚 王正兴

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文以非稳腔的放大率为特征量, 讨论了非稳腔的热稳问题, 求出了非稳腔热稳条件的解析解。

The analysis on thermal stabilities of unstable resonator

Sun Nianchun, Deng Chongjun, Li Yiping, Cheng Jie, Yang Shaolan

Wang Zhengxing

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: By using amplification of resonator as characteristic parameter, the thermal stability of unstable resonator is demonstrated in this paper. Based on the discussion, the thermal stability condition of the unstable resonator is also derived.

一、引 言

自J. Steffen提出热不灵敏腔^[1]的概念以来, 关于腔的热稳定性讨论集中于稳定域。热稳条件是根据

$$dV/df = 0 \quad (1)$$

求出的。其中 V 为模体积, f 为热焦距, 对非稳腔而言, 其模为球面波。球面波的发散度大, 这意味着光束在腔内经有限次往返传播后终将从横向逸出^[2]。因而模体积 V 已不能作为特征参数来求解非稳腔的热稳条件。

在非稳腔的设计中, 放大率 M 是一个重要参数。非稳腔的许多特征都与 M 有密切关系。因此, 我们认为, 如果放大率 M 不随热焦距 f 变化, 则该非稳腔是热稳的。

为讨论方便, 此外引入三个辅助参数^[3]

$$u_1 = l_1(1 - l_1/R_1) \quad (2)$$

$$u_2 = l_2(1 - l_2/R_2) \quad (3)$$

$$x = 1/f - 1/l_1 - 1/l_2 \quad (4)$$

从而等效腔的 g 参数可写成

$$g_1 = -l_2(1 + xu_1)/l_1 \quad (5)$$

$$g_2 = -l_1(1 + xu_2)/l_2 \quad (6)$$

* 本文曾在“'92激光新技术研讨会”(成都)宣读。

$$g_1 g_2 = (1 + x u_1)(1 + x u_2) \quad (7)$$

二、含热透镜非稳腔的热稳条件

为导出热稳条件, 将工作物质的类透镜作用等效为焦距为 f 的透镜^[4]。根据前面的分析, 非稳腔的热稳条件可以表示为

$$dM/df = 0 \quad (8)$$

式中

$$M = 2g_1 g_2 - 1 \pm 2\sqrt{g_1 g_2 (g_1 g_2 - 1)} \quad (9)$$

将 (9) 式代入 (8) 式有

$$[2 \pm (2g_1 g_2 - 1)/\sqrt{g_1 g_2 (g_1 g_2 - 1)}] \cdot d(g_1 g_2)/df = 0 \quad (10)$$

$$\text{因为} \quad 2 \pm (2g_1 g_2 - 1)/\sqrt{g_1 g_2 (g_1 g_2 - 1)} \neq 0 \quad (11)$$

所以 (10) 式成立的条件为

$$d(g_1 g_2)/df = 0 \quad (12)$$

将 (7) 式代入 (12) 式有

$$(u_1 + u_2 + 2x u_1 u_2)/f = 0 \quad (13)$$

(13) 式成立的条件为

$$u_1 + u_2 + 2x u_1 u_2 = 0 \quad (14)$$

$$f = \infty \quad (15)$$

(15) 式对应无热聚焦状态。显然不是我们所讨论的情况。因此, 非稳腔的热稳条件为

$$x_0 = -(u_1 + u_2)/2u_1 u_2 \quad (16)$$

将腔参数代入 (16) 式可得

$$1/f_0 = 1/l_1 + 1/l_2 - 1/2l_1(1 - l_1/R_1) - 1/2l_2(1 - l_2/R_2) \quad (17)$$

令 $u_1/u_2 = k$, 在热稳条件下, 腔的 g 参数为

$$g_1 = -l_2(1 - k)/2l_1 \quad (18)$$

$$g_2 = l_1(1 - k)/2kl_2 \quad (19)$$

$$g_1 g_2 = -(1 - k)^2/4k \quad (20)$$

把 (20) 式代入 (9) 式可得

$$M = -(1 + k^2)/2k \pm |(1 - k)(1 + k)/2k| \quad (21)$$

当 $g_1 g_2 > 1$ (即 $k < 0$) 时

$$M = \begin{cases} -1/k & -1 < k < 0 \\ -k & k < -1 \end{cases} \quad (22)$$

当 $g_1 g_2 < 0$ (即 $k > 0$) 时

$$M = \begin{cases} -1/k & 0 < k < 1 \\ -k & k > 1 \end{cases} \quad (23)$$

从 (18) 式 ~ (23) 式可看出, 在热稳条件下, 放大率 M 以及腔 g 因子与热焦距无关。从而实现了热稳。

此外, 从热稳条件 (16) 式以及 $u_1 = k u_2$ 可求得

$$u_1 = -(1+k)/2x_0 \quad (24)$$

$$u_2 = -(1+k)/2kx_0 \quad (25)$$

把(24)式, (25)式分别代入(2)式, (3)式有

$$R_1 = 2x_0 l_1^2 / (1+k+2x_0 l_1) \quad (26)$$

$$R_2 = 2kx_0 l_2^2 / (1+k+2kx_0 l_2) \quad (27)$$

三、热焦距变化对放大率的影响

在上面的分析中, 我们得出了如下结论, 在热稳条件下, M 以及 g 与 f 无关。实际上, 这里面隐含一个假设, 即工作热焦距 f 与设计热焦距 f_0 (即实验所测得的热焦距) 相等。现在我们来分析 f 与 f_0 不等的情况。

根据泰勒定理有

$$\Delta M(f) = M'(f_0)\Delta f + M''(f_0)\Delta f^2/2 + \dots \quad (28)$$

式中,

$$M'(f) = [2 \pm (2g_1g_2 - 1)/\sqrt{g_1g_2(g_1g_2 - 1)}] [(1+k)^2/2kx_0f^2 - (1+k)^2x/2kx_0^2f^2] \quad (29)$$

$$M''(f) = [2 \pm (2g_1g_2 - 1)/\sqrt{g_1g_2(g_1g_2 - 1)}] [(1+k)^2/2kx_0^2f^4 - (1+k)^2/kx_0f^3 + (1+k)^2x/kx_0^2f^3] \pm [(1+k)^2/2kx_0f^2 - (1+k)^2x^2/2kx_0^2f^2]^2/2 [\sqrt{g_1g_2(g_1g_2 - 1)}]^3 \quad (30)$$

$$M'(f_0) = 0$$

$$M''(f_0) = [2 \pm (2g_1g_2 - 1)/\sqrt{g_1g_2(g_1g_2 - 1)}] (1+k)^2/2kx_0^2f_0^4 \quad (31)$$

由此, 从(28)式可知, 在一级近似 (只取 $M'(f_0)$ 项) 时, 放大率 M 不随热焦距 f 变化。即

$$\Delta M(f) = 0 \quad (32)$$

在二级近似 (取 $M'(f_0)$ 和 $M''(f_0)$ 两项) 时,

$$\Delta M(f) = [2 \pm (2g_1g_2 - 1)/\sqrt{g_1g_2(g_1g_2 - 1)}] \cdot (1+k)^2 \Delta f^2 / 4kx_0^2f_0^4 \quad (33)$$

即 M 随 f 的变化反比于 f_0^4 。为了有个量上的了解, 我们作如下估算, 设热焦距的数量级为 10^3 mm, 热焦距 f 的偏差 Δf 为10%, x_0 的数量级为 10^{-2} mm $\sim 10^{-3}$ mm $^{-1}$, 在二级近似下, M 随 f 的变化仅为万分之一 \sim 百分之一。由此可知, 在相当程度上起到了热稳作用。

四、 k 的双重取值问题

根据前面的分析可知, k 可由 M 求出。然而, 一个 M 对应两个 k 值, 哪个 k 值优先? 现在我们从热稳的角度来讨论 k 的双重值问题。

当 $k = -1/M$ (即 $-1 < k < 0$) 时, 从(33)式有

$$\Delta M(f) = 2M(1-M)\Delta f^2 / (M+1)x_0^2f_0^4 \quad (34)$$

当 $k = -M$ (即 $k < -1$) 时, 从(33)式有

$$\Delta M(f) = 2M(1-M)\Delta f^2 / (M+1)x_0^2f_0^4 \quad (35)$$

显然(34)式与(35)式相等(同理可验证 $k > 0$ 的情况),即 k 取 $-M$ 或 $-M^{-1}$,对非稳腔的热稳定性的影响相同。故在只考虑热稳的前提下, k 的双重取值不存在优先问题。至于 k 值对几何稳定性以及几何结构的影响,需具体问题具体分析。

感谢四川大学吕百达,北京理工大学魏光辉,西南技术物理所屈乾华、喻其寿等老师对本文的指导。

参 考 文 献

- [1] Steffen J, Lortscher J P. IEEE J Q E, 1972; QE-8 (2): 239
- [2] 吕百达. 激光光学. 成都: 四川大学出版社, 1986: 38~52,
- [3] Magni V. Appl Opt, 1986; 25: 107
- [4] 魏光辉, 朱宝亮. 激光光束学. 北京: 北京工业学院出版社, 1988: 361~363

* * *

作者简介: 孙年春, 男, 1962年2月出生。工程师。现从事重频风冷激光器以及光学虚元件等方面的工作。

邓崇俊, 男, 1933年出生。研究员。现从事激光应用研究。

李一平, 男, 1940年出生。高工。现从事激光技术工作。

程洁, 女, 1964年出生。助工。现从事激光及光学设计工作。

王正兴, 男, 1949年出生。工程师。现从事激光结构设计工作。

杨绍岚, 男, 1940年出生。高工。现从事激光应用研究。

收稿日期: 1992年4月2日。 收到修改稿日期: 1992年7月4日。

· 简 讯 ·

美国激光劳务市场好转

据一位帮助汇集LFWorld杂志年度电子光学工作和工资调查的H·Rudzinsky(麻省列克星敦Louis Rudzinsky联合公司的高级顾问)说,由于防御部门关闭、调整、以及经济衰退,去年的激光工业看来是雇员减少超过了雇员增加。他预计:随着大部分工业衰退的结束,今年劳务市场将有3%~5%的增长。

据Rudzinsky说,对寻找工作处于最困难时期的人是那些在深奥学科工作的人,例如在自由电子激光器和化学激光器方面从事工作,有5年至7年工作经验的物理学家。他还说:

“从事定量分析、模型制造和模拟实验的这些人,年薪需要6万美元到8万美元,现在不需要了。雇主现正寻找既有经验又有广泛的各学科间的熟练技巧的人——能跨越包括光学、机械学、电子学、装配以及激光的几个学科的多系统人。这些人是从从事生产发展的,而不是从事研究的。”

据Rudzinsky讲,对于激光科学家和工程师目前能找到的工作机会是传感、检测、测试设备,特别是医学应用。