

InnoSlab 混合腔输出光束质量的理论研究*

王 宁^{1)†} 陆雨田²⁾ 李晓莉²⁾ 焦志勇¹⁾

1) 中国石油大学(华东)物理科学与技术学院, 东营 257061)

2) 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

(2007 年 9 月 6 日收到, 2007 年 11 月 20 日收到修改稿)

对 InnoSlab Laser 用混合腔的输出光束质量问题从热透镜效应和腔镜的不对准两个方面的影响进行理论分析, 并从远场光强分布、远场发散角、光腰半径、光束质量因子 M^2 值和桶中功率曲线等几个角度进行了讨论, 特别是离轴非稳腔方向上腔镜倾斜对光束质量的影响, 利用 M^2 值和 PIB 曲线两个参数共同评价非稳腔的光束质量, 对目前并无统一标准的非稳腔光束质量评价问题提供了有意义的参考。

关键词: InnoSlab, 混合腔, 光束质量, 桶中功率

PACC: 4255R, 4260D, 4260B

1. 引 言

高功率激光器件设计中的主要问题是如何获得尽可能大的模体积和好的横模鉴别能力, 以实现高功率单模运转, 从而既能从激活介质中高效率的提取能量, 又能保持高的光束质量. 对具有大体积激活介质的高功率连续波激光器, 国内外主要采用传统非稳腔技术, 但是, 由于此腔的单程损耗较大, 限制了对具有低增益介质的高功率激光器的应用, 而且系统调整要求很高, 可靠性及实用性较差. 为了适应不同类型的高功率激光器的特点及实际应用的要求, 开发研制模控能力强、输出特性更好、可靠性好的新型高功率激光腔是一项关键性的技术. 把高功率激光腔作为研究内容, 对其进行全面系统的分析是一项崭新的课题, 此项研究对我国强激光研究及其应用有十分重要的意义.

通常的谐振腔设计, 都是采用轴对称的结构^[1,2], 即从腔的横向来讲, 不仅腔的稳定性(稳定、非稳、临界)是一致的, 而且各个方向上的腔参数都是一样的. 这对于轴向对称的增益介质来说, 是正好可以匹配的. 但对于板条激光器来说, 由于增益介质在两个正交方向上的尺寸及抽运的极大差异, 使用传统的轴对称有源腔结构设计, 不利于充分利用其所有的增益体积, 更难以同时在两个方向上实现良

好的模式匹配. 而使用非轴对称的设计思想, 针对板条状工作物质的长与宽两个方向上的不同抽运、冷却情况, 分别进行考虑及优化设计, 选择不同的腔参数, 从而实现有效的激光振荡输出. 混合腔就是从这一思想出发来进行设计的. 近年来, 杜可明等人利用柱面镜混合腔, 在紧凑的空间内实现在大功率下保持高光束质量的激光振荡输出^[3,4], 电光调 Q 运转, 易于得到大功率、高光束质量、高重复率、窄脉冲激光^[5,6], 同时保持系统尺寸的紧凑, 这种新型板条激光器被称为 InnoSlab. 对这种新型激光器的研究很有意义, 国内如中科院上海光机所^[7]、清华大学^[8]等单位正致力于该领域的研究. 本文将围绕该种激光器所使用的柱面镜混合腔的输出光束质量问题展开讨论, 从热透镜效应和腔镜的不对准两个方面对混合腔的输出光束质量的影响进行分析讨论, 并利用 M^2 因子和桶中功率曲线两种方法对非稳腔方向的光束质量进行了评价, 对目前并无统一标准的非稳腔光束质量评价问题提供了有意义的参考.

2. 柱面镜混合腔

柱面镜混合腔由两个全反柱面镜组成, 它们的柱面轴都处于竖直方向. 在水平方向上, 两个柱面镜放置于共焦位置. 板条激光晶体水平放置, 即两个最大的表面平行于水平面, 最小的尺寸方向沿着竖直

* 中国石油大学引进人才科研基金(批准号: Y051807)资助的课题.

† E-mail: qfwangning@yahoo.com.cn

方向,即与柱面轴平行.在水平面内两个柱面镜构成了一个共焦非稳腔(图 1(a)),在竖直平面内则构成了一个平-平腔(图 1(b)),通过合适的腔设计,在有抽运光入射时,在板条晶体上的热透镜的作用下可使竖直平面内的腔落入稳腔范围.系统中采用了部分端面抽运的抽运方式,抽运激光在晶体入射端面的小尺寸方向上只局限于晶体的中央部分,再加上两个大面的良好冷却,当激光晶体被抽运光照射时,在激光晶体的厚度方向(稳腔方向)上产生温度梯度进而引起热透镜效应,而非稳腔方向可以近似认为没有热透镜效应,整个晶体的热分布是准一维的.

InnoSlab 在设计柱面镜混合腔时,针对板条增益介质的特点以及所使用的冷却热沉,对抽运光束进行了特殊处理^[7],以达到与混合腔和增益介质良好的匹配效果.因此,通过特别设计的波导光束整形系统,将 LD Stack 发出的抽运光整形为一条横截面为长十几毫米宽不到半个毫米的条形抽运光束,并与板条晶体入射面的长宽方向一致,在板条大尺寸方向上为近似方波形式的光强分布,在板条厚度方向上为小尺寸范围内的高斯光强分布.

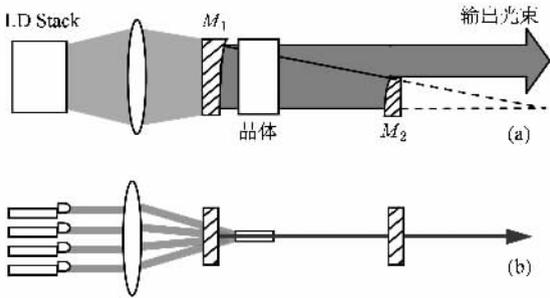


图 1 系统示意图 (a)水平方向 (b)竖直方向

混合腔在两个正交方向上的腔参数及类型完全不一样,它是由非稳腔与稳腔混合构成,混合腔充分利用了板条晶体的结构特点,利用非稳腔的有效抑制高阶模的能力,从大尺寸的增益介质方向上获得接近衍射极限的光束输出;在小尺寸方向上则利用小尺寸范围内的抽运体积与端泵稳腔的小基模体积的良好匹配,实现高效、高光束质量的激光振荡.共焦非稳腔的一个主要优势在于,输出的激光束会被自动准直.除了选择适合板条晶体的混合腔和使用良好的晶体冷却系统等因素以外,具有独特光强分布的抽运光对该激光器在大功率下依然保持高光束质量的输出也起到了关键性的作用^[7].

3. 理论模拟方法

混合腔稳腔方向为平-平腔,平-平腔腔场分布的理论模拟方法已为大家所熟悉,不再给出,下面重点介绍非稳腔方向的理论模拟方法.

对于在均匀介质中的自由传输最有效的方法是傅里叶方法(Fourier-transform (FT) method),是由 Sziklas 和 Siegman^[9]提出的,特别是快速傅里叶方法(fast fourier-transform (FFT) method),已经广泛用于共轴光学系统的光束传播模拟.采用 FFT 方法计算谐振腔本征模式的场分布,其实质是将空域的衍射积分方程对应到频域,利用傅里叶变换以及频域的衍射公式,在自再现的条件下求得稳定的模式场分布.与一般光腔衍射积分数值迭代算法(典型例子为 Fox-Li 迭代法)相比较,FFT 的主要优点是可为节约计算时间.

但对于发散或会聚的光束传输,一般的快速傅里叶计算方法会造成傅里叶空间的混淆,而不能再直接应用.因为此方法求输入和输出的波函数要有相同的取样点传输网格.为了解决这一问题,Sziklas 和 Siegman 在高斯光束理论的基础上发展了坐标变换传输理论^[9],利用光束的扩展传输方法对共轴非稳腔进行计算,获得了满意的结果.对于离轴非稳腔的计算,也是在该方法的基础上进行的.

若初始波函数为 Ψ_0 ,尺寸为 a 的区域被 $N \times N$ 个点取样划分,传播距离 L ,放大率为 M .考虑共轴共焦非稳腔的情形,利用坐标变换传输理论,把传输距离 L 的发散或会聚光束变换为沿 z 方向传输距离 ML 的平行光束.可将自再现光波场表示为易于通过快速傅里叶变换迭代求解的形式,即

$$u_1(y_2) = F^{-1} \left\{ F \left\{ z_0 \exp \left(-i \frac{ky_1^2}{2z_0} \right) \Psi_0 \cdot P_1 \cdot e^{i\pi\lambda M L^2 y_2^2} \right\} \right\}, \quad (1)$$

$$u_2(y_2) = F^{-1} \left\{ F \left\{ \frac{1}{z_0 + L} \exp \left(i \frac{ky_2^2}{2(z_0 + L)} \right) u_1 \cdot P_2 \cdot e^{i\pi\lambda M L^2 y_2^2} \right\} \right\}, \quad (2)$$

为简便起见,暂不考虑介质的增益.

(1)(2)式中 $u_1(y_2)$, $u_2(y_2)$ 分别为光波在谐振腔内传播到腔镜 M_1 和腔镜 M_2 表面时的光场; P_1 , P_2 分别为腔镜 M_1 和腔镜 M_2 处的光阑函数; F 和 F^{-1} 分别表示傅里叶变换和傅里叶逆变换; $\Psi_0 =$

$A \exp\left(-i \frac{ky_1^2}{2f_2}\right)$, 即为经腔镜 M_2 反射后的发散波函数 $iz_0 = \frac{1}{M-1}$. 如此往返循环迭代, 就可求出腔镜 M_2 处的光场分布. 近场输出光场分布可用腔镜 M_2 处的光场经过腔镜 M_2 的光阑函数变换而求得, 远场分布则可以利用夫朗和费衍射的傅里叶变换关系求得.

在非稳腔方向上, 该离轴非稳腔可以看作是共轴共焦非稳腔的一半. 因此, 可在上述计算共轴非稳腔的快速傅里叶方法基础上稍加改进^[10], 通过重新设定腔镜的光阑函数并适当调整取值范围和取样点数, 可以计算出离轴非稳腔的光场分布.

4. 稳腔方向的光束质量

当设计一个产生最佳尺寸的谐振腔时, 最重要的考虑因素是谐振腔对这些机械和光扰动的灵敏度^[11]. 人们通常感兴趣的是谐振腔对两种常见扰动的灵敏度: 第一, 激光介质引起的热透镜效应; 第二, 谐振腔镜的不对准.

柱面镜混合腔的稳腔方向为平-平腔, 由于板条晶体在两个大面上的良好冷却, 使得晶体的热分布

是准一维的, 因此只在平-平腔方向存在热透镜效应, 而平-平腔的热稳就是靠热透镜来维持的, 由于在该方向上抽运光束为尺寸极小(0.4 mm)的高斯光束, 光强较为集中, 在高功率运转时将会产生较强的热透镜效应, 因此重点分析热透镜效应对稳腔方向光束质量的影响. 对于平-平腔的腔镜不对准问题大家较为熟悉, 将不再进行讨论.

空腔情况下和热透镜效应较强时(以 $f = 120$ mm 为例)的远场光强角分布曲线如下图 2 所示, 可以看出, 空腔情况下的稳腔方向远场强度分布是标准的高斯型分布, 热透镜效应较强时, 远场强度分布仍然是高斯型分布, 但此时远场发散角稍有增大, 旁瓣也有所增强. 计算结果可由图 2 的数据得到, 在空腔情况下, 输出激光的远场发散角 $\theta = 0.8448$ mrad, 光腰半径 $W = 0.4804$ mm, 光束质量因子 $M^2 = 1.2$; 当热透镜焦距 $f = 120$ mm 时, 远场发散角 $\theta = 0.9268$ mrad, 光腰半径 $W = 0.4806$ mm, 此时 $M^2 = 1.3$. 可以看出, 考虑热透镜效应后光束质量因子 M^2 值虽然增大了, 但光束质量仍然很好. 而此时的热透镜效应已经非常强了, 这说明稳腔方向在高功率运转情况下也能保持高光束质量的激光输出, InnoSlab Laser 用柱面镜混合腔稳腔方向的热稳定性是很好的.

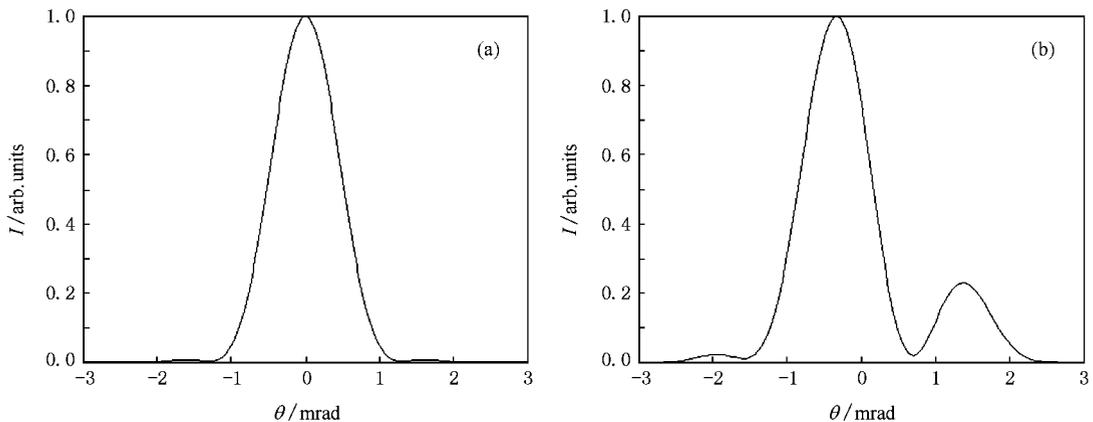


图 2 稳腔方向的远场强度角分布曲线 (a)空腔情况 (b)热透镜 $f = 120$ mm 时的远场强度

5. 非稳腔方向的光束质量

由于板条介质的热分布是准一维的, 可以近似认为只在稳腔方向存在热透镜效应, 因此热透镜效应对非稳腔方向的光束质量影响不大. 在腔参数一定的情况下, 腔镜的倾斜就称为对非稳腔方向光束质量影响的主要因素. 利用 Matlab 软件编程可以对

其进行理论模拟. 根据文献 [3] 中给出的参数, 取前腔镜为 $R = 500$ mm 的柱面镜, 后腔镜为 $R = -350$ mm 的柱面镜, 计算了离轴非稳腔的远场光强角分布, 并对腔镜 M_1 倾斜不同角度 θ 时的远场光强分布也进行了模拟. 图 3 为逆时针倾斜的情况, 曲线 a, b, c 分别为腔镜 M_1 逆时针倾斜 $0, 10, 30$ μrad 时的远场强度角分布曲线; 图 4 为顺时针倾斜的情况, 曲线 a, b, c 分别为腔镜 M_1 顺时针倾斜 10

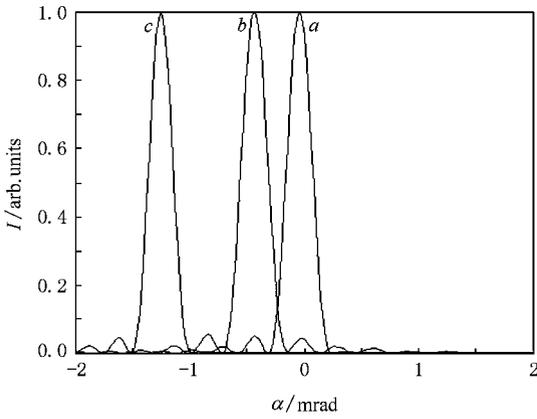


图 3 腔镜 M_1 逆时针倾斜角度 θ 时远场强度角分布曲线

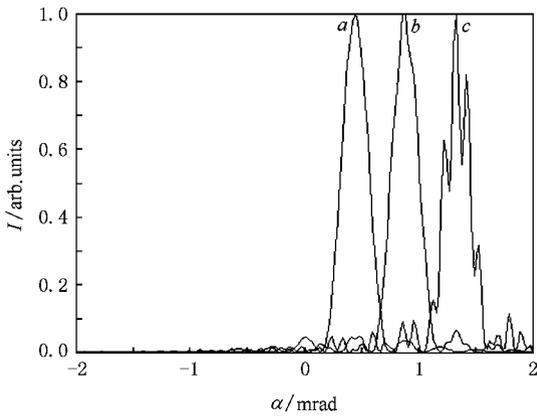


图 4 腔镜 M_1 顺时针倾斜角度 θ 时远场强度角分布曲线

μrad $20 \mu\text{rad}$ $30 \mu\text{rad}$ 时的远场强度角分布曲线。

从图 3 中可以看出,当腔镜 M_1 无倾斜时,远场强度分布曲线是典型的高斯型分布,但存在旁瓣,这是由于腔镜 M_2 边缘的硬边衍射作用造成的。对于腔镜 M_1 逆时针倾斜的情况,随着倾斜角度不断增

大,使得光束发生偏转,导致远场光束漂移,但远场强度的空间分布形状基本不变。腔镜 M_1 的倾斜角度越大,远场光强分布曲线的中心偏离原点就越多,如曲线 c 为倾斜角度为 $30 \mu\text{rad}$ 时的远场强度角分布曲线。因此,在腔镜 M_1 的倾斜角度不大的情况下,腔镜倾斜改变了输出光束的方向,对激光输出模式的影响很小。如果继续增大倾斜角度,远场光强分布曲线的变化就不仅仅是漂移了。如图 5 (a) (b) 分别为倾斜 $50 \mu\text{rad}$ 和 $100 \mu\text{rad}$ 时的远场强度角分布曲线,可以看出,旁瓣效应显著增强,有出现多模分布的趋势,且旁瓣数目也在增多,光束质量变差,但主体基本上仍保持高斯分布。

对于腔镜 M_1 顺时针倾斜的情况,从图 4 中可以看出,当顺时针倾斜角度很小时(如曲线 a, b)远场光强分布曲线形状变化很小,这和逆时针旋转时的情形类似,光强分布曲线出现漂移。在倾斜角度为 $20 \mu\text{rad}$ 时曲线形状虽基本上是高斯型分布(曲线 b),但已出现局部的轻微变形,有出现多模分布的趋势。随着角度的增大,远场分布的模式开始明显变差,当倾斜 $30 \mu\text{rad}$ 时已经是多模分布了(曲线 c)。

通过以上分析可以发现,腔镜 M_1 的倾斜对远场光强分布的影响在顺时针和逆时针方向上是不对称的,离轴非稳腔的腔镜倾斜失调容限在两个方向上是不同的。腔镜 M_1 逆时针倾斜的失调容限大于顺时针倾斜的失调容限,这与共轴非稳腔是有显著区别的。当然,这种失调容限是从输出模式的方面来看的。

由于腔镜倾斜在顺时针和逆时针两个方向上对输出光场分布的影响是不对称的,因而对光束质量因子 M^2 值的影响也是不对称的。根据计算结果,将腔镜 M_1 倾斜顺时针和逆时针倾斜不同角度时的远

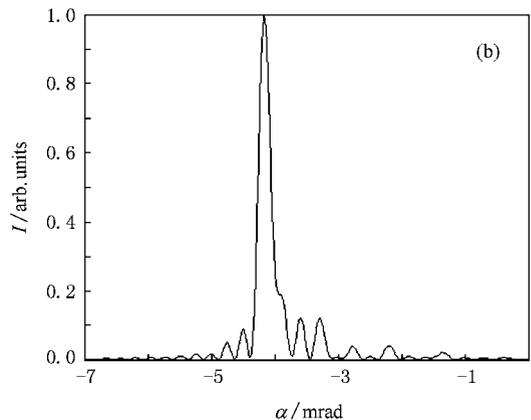
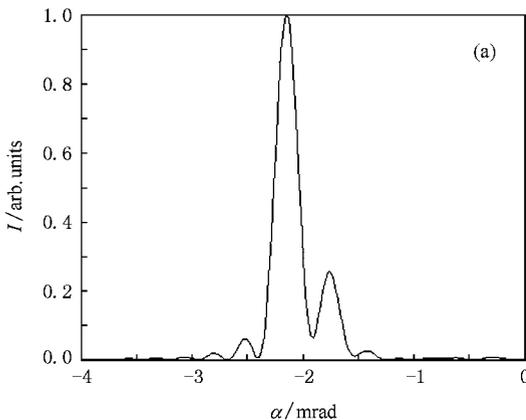


图 5 腔镜 M_1 逆时针倾斜大角度时的远场强度角分布曲线

场发散角、束腰半径和 M^2 值分布在表 1 和表 2 中列出.

表 1 腔镜 M_1 逆时针倾斜不同角度时的 M^2 值

倾角/ μrad	远场发散角/mrad	束腰半径/mm	M^2
0	0.21	1.8225	1.1295
1	0.21	1.8382	1.1392
5	0.21	1.8418	1.1414
10	0.21	1.8590	1.1521
20	0.21	1.8895	1.1710
30	0.21	1.8917	1.1724
100	0.26	2.1575	1.6281

表 2 腔镜 M_1 顺时针倾斜不同角度时的 M^2 值

倾角/ μrad	远场发散角/mrad	束腰半径/mm	M^2
0	0.21	1.82	1.13
1	0.21	1.82	1.13
5	0.21	1.81	1.12
10	0.21	1.80	1.12
20	0.21	1.75	1.09

通过表 1 所列数据可以看出,随着腔镜 M_1 逆时针倾斜角度不断增大,光束质量因子 M^2 值增大,光束质量出现恶化的趋势,但 M^2 的值仍然较小,光束质量很好,如在倾斜 $100 \mu\text{rad}$ 时,光束质量因子 M^2 为 1.6. 这说明腔镜在此范围内倾斜的情况下,输出光束仍然为光束质量很高的单模输出.但这种高光束质量的输出并不是随着倾斜角度的再增大而无限保持下去,这种趋势已经从计算结果中可以看出,最后的结果必然导致多模输出.

表 2 的数据表明,随着顺时针倾角的增大,由于远场发散角变化不明显,而束腰半径在减小,因此在某个角度范围内 M^2 反而减小.但从图 4 可以看出,当倾角 $20 \mu\text{rad}$ 时,高斯型的光强分布曲线顶部附近开始出现轻微变形,有多模输出的趋势;当倾角 $30 \mu\text{rad}$ 时,远场光强分布已经是多模了,光束质量很差.

实际上,单纯用 M^2 因子评价非稳腔的光束质量是有失公平^[12]的,而桶中功率(power in the bucket, PIB)可以作为非稳腔光束质量评价的一个标准.由于非稳腔大多用于高能激光器中,而高能激光器一般在应用中更重要的是能量的集中度问题,从这个意义上讲,PIB 曲线更能表征非稳腔的光束质量.因此,通过计算 PIB 曲线来讨论离轴非稳腔的

光束质量问题更为实际,下面再从 PIB 曲线来研究光束质量的变化.

同样,可以利用 Matlab 编程来完成 PIB 曲线的理论模拟,可以得到腔镜倾斜不同角度时的 PIB 曲线.图 6 为逆时针倾斜的情况,从上到下分别为倾斜 $0 \mu\text{rad}$, $10 \mu\text{rad}$, $20 \mu\text{rad}$, $30 \mu\text{rad}$, $100 \mu\text{rad}$ 的 PIB 曲线;图 7 为顺时针倾斜的情况,从上到下分别为倾斜 $0 \mu\text{rad}$, $10 \mu\text{rad}$, $20 \mu\text{rad}$, $30 \mu\text{rad}$ 的 PIB 曲线.

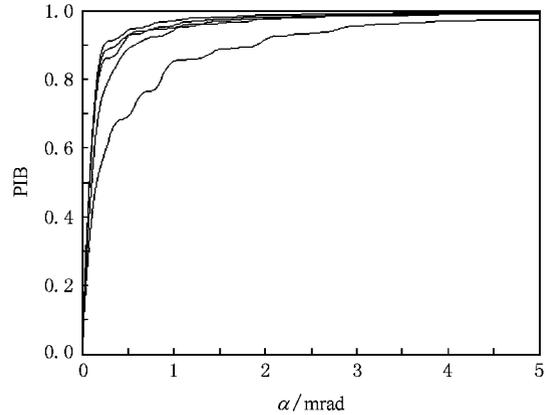


图 6 腔镜逆时针倾斜时远场分布的 PIB 曲线

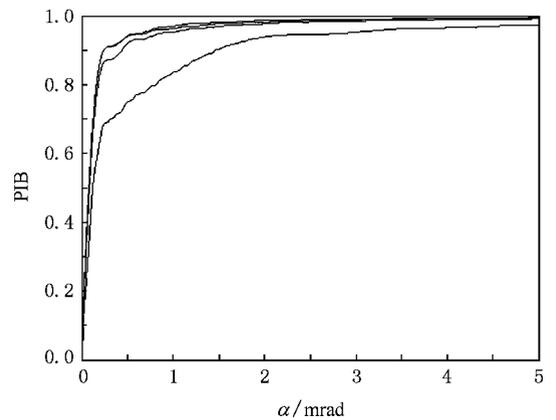


图 7 腔镜顺时针倾斜时远场分布的 PIB 曲线

从图 6 中可以看出,随着腔镜倾斜角度的增大,相同角度范围内能量集中度越来越差,发散角越来越大.从这个意义来讲,光束质量也越来越差.这与前面从 M^2 值的变化分析的光束质量变化情况是一致的.从图 7 中可以看出,随着倾角的增大,相同角度范围内的能量集中度也是降低的,发散角也增大了,因此,从这个意义上讲,光束质量也变差了.但从前面计算的 M^2 值来看, M^2 值在某个角度范围内变小了,从这个意义来讲光束质量变好了.因此对于顺

时针倾斜的情况, M^2 值和 PIB 曲线所反映的光束质量变化情况是不同的. 而在逆时针倾斜方向上, 从 PIB 曲线和 M^2 值的变化来看光束质量变化情况却是一致的. 从 PIB 曲线和 M^2 值的比较分析可以看出, 单纯用 M^2 值来评价离轴非稳腔的光束质量是有一定局限性的, 非稳腔的光束质量评价不能单纯以 M^2 值的大小来确定, 而应该根据实际应用情况从有关方面再加以考虑.

6. 结 论

对 InnoSlab Laser 用柱面镜混合腔的输出光束质量问题从几个角度进行了理论分析. 根据两个方向上腔型的不同, 分别对稳腔方向和非稳腔方向进行了讨论. 在稳腔方向上, 主要分析了热透镜效应对远场光强分布、光束质量因子 M^2 值等方面的影响. 分析表明, 在热透镜效应非常强的情况下, 即在高功率运转情况下, 稳腔方向也能保持高光束质量的激光输出, 说明 InnoSlab Laser 用柱面镜混合腔在稳腔方向具备很好的热稳定性. 这主要是由于 InnoSlab 的混合腔在稳腔方向上利用了小尺寸范围内的抽运体积与端泵稳腔的小基模体积的良好匹配所决定的. 在非稳腔方向上, 从远场光强分布、远场发散角、光腰半径、光束质量因子 M^2 值和 PIB 曲线等角度分析了腔镜倾斜对远场光强分布及光束质量的影响. 结果表明, 离轴非稳腔的腔镜倾斜对激光远场光

强分布以及光束质量的影响在顺时针和逆时针两个方向是不同的, 逆时针方向的腔镜调整容限明显大于顺时针方向; M^2 值的变化在两个方向上也呈现了不同的变化趋势; PIB 曲线从能量集中度的角度也反映了两个方向上光束质量的变化情况, 而从 PIB 曲线所反映的能量集中度方面来看的光束质量变化, 并不是完全与光束质量因子 M^2 值所反映的变化情况一致, 这也说明了单纯用 M^2 值来评价离轴非稳腔的光束质量是有一定局限性的.

本文利用了 M^2 值和 PIB 曲线两个参数共同评价非稳腔的光束质量, 而 PIB 这一参数是从能量集中度这一方面来考虑的, 用 PIB 曲线评价非稳腔远场光束质量是一个有效而适用的方法. 在实际应用中, 可以根据实际需要增加其他的参数来评价非稳腔的光束质量. 对非稳腔输出激光空间域光束质量的全面评价, 应当根据实际应用目的, 增选其他光束参数(包括近场光束参数), 与 PIB 曲线等一起评价光束质量, 而对非稳腔与光束质量和光束传输有关的一些理论问题尚值得继续深入研究.

对于腔镜倾斜对混合腔输出分布的影响, 对远场光强角分布曲线进行了归一化的处理, 因此仅从输出模式变化和光束偏转方面进行了讨论. 而在应用过程中, 远场强度损耗也是考虑的重要因素. 除去输出功率下降之前就出现多模运转的某些特殊情形外(如文献 [13]), 仅仅考虑输出功率的降低, 就能够把腔镜失调容许的偏差限制在更小的数值范围内.

[1] Wu D E, Zhou R, Zhang X H, Ding X, Yao J Q, Yan C F, Zhang G Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1196 (in Chinese) [武丁二、周睿、张晓华、丁欣、姚建铨、颜彩繁、张光寅 2006 物理学报 **55** 1196]

[2] Zhang X L, Wang Y Z, Shi H F 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1787 (in Chinese) [张新陆、王月珠、史洪峰 2006 物理学报 **55** 1787]

[3] Shi P, Li D J, Zhang H L, Wang Y D, Du K M 2004 *Opt. Comm.* **229** 349

[4] Shi P, Li D J, Zhang H L, Du K M 2004 *Opt. Sin.* **24** 491 (in Chinese) [石鹏、李代军、张恒利、杜可明 2004 光学学报 **24** 491]

[5] Du K M, Li D J, Zhang H L, Shi P, Wei X Y, Robert Diart 2003 *Opt. Lett.* **28** 87

[6] Zhang H L, Shi P, Li D J, Du K M 2003 *Appl. Opt.* **42** 1681

[7] Wang N, Lu Y T 2006 *Chinese Journal of Lasers* **33** 1319 (in Chinese) [王宁、陆雨田 2006 中国激光 **33** 1319]

[8] Wei X Y, Wu N L, Li S Q 2006 *Chinese Journal of Quantum Electronics* **23** 37 (in Chinese) [魏晓羽、吴念乐、李师群 2006 量子电子学报 **23** 37]

[9] Edward A, Sziklas, Siegman A E 1975 *Appl. Opt.* **14** 1874

[10] Wang N, Lu Y T 2005 *Chinese Journal of Lasers* **32** 1593 (in Chinese) [王宁、陆雨田 2005 中国激光 **32** 1593]

[11] Koechner, translated by Sun Wen *Solid-state Laser Engineering* (Beijing: Science Press) 2002 185 [克希耐尔著, 孙文译 2002 固体激光工程(北京: 科学出版社) 185]

[12] Luo S R, Lü B D, Huang L 1999 *Laser Technology* **23** 281 (in Chinese) [罗时荣、吕百达、黄鹭 1999 激光技术 **23** 281]

[13] Hiraoka H, Hardwick R 1962 *J. Chem. Phys.* **36** 1715

Theoretical research on InnoSlab output beam quality with hybrid resonator^{*}

Wang Ning^{1)†} Lu Yu-Tian²⁾ Li Xiao-Li²⁾ Jiao Zhi-Yong¹⁾

¹⁾ College of Physics, China University of Petroleum(huadong), Dongying 257061, China)

²⁾ Shanghai Institute of Optic and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

(Received 6 September 2007 ; revised manuscript received 20 November 2007)

Abstract

Output beam quality of InnoSlab laser with hybrid resonator is analyzed in this paper for the thermal lens effect and mirror misalignment. Many aspects, such as far-field light intensity distribution, far-field divergence angle, beam waist radius, beam quality factor M^2 and PIB curve, etc, are discussed. Especially, in the off-axis unstable resonator direction, the influence of beam quality is discussed with respect to mirror misalignment by M^2 and PIB curve. This gives valuable reference to unstable resonator beam quality evaluation, for which a unified standard has not been set up as yet.

Keywords : InnoSlab, hybrid resonator, beam quality, power in the bucket

PACC : 4255R, 4260D, 4260B

^{*} Project supported by the Talents Recruitment Research Foundation of China University of Petroleum(Grant No. Y051807).

[†] E-mail : qfwangning@yahoo.com.cn