

用于板条激光器均匀面照明的三角形聚光器

周 烽 张国轩 黄国松 王之江
(中国科学院上海光机所)

提要: 用一个二维光线追迹程序, 计算了三角形聚光器各几何参数对聚光效率及均匀性的影响, 给出了适用于固体板条激光介质均匀面照明的结构参数。计算结果与实验基本一致。

关键词: 固体板条激光器, 三角形聚光器

Uniform triangular reflectors for face-pumped slab lasers

Zhou Feng, Zhang Guoxuan, Huang Guosong, Wang Zhijiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: The pumping efficiency and uniformity of triangular reflectors are investigated as functions of various geometrical parameters by a two-dimensional ray tracing program, and an optimal structure which provides uniform face-pumping for solid-state slab laser medium is given. The calculations are basically in agreement with the experimental results.

Key words: Solid-state slab laser, triangular reflector

固体板条激光器的出现, 使固体激光器实现千瓦级平均功率输出成为可能^[1]。激光束在板条内沿“之”字形光路传播, 能消除板条沿厚度方向上热效应的影响, 使光束质量显著提高^[2]。但板条沿宽度方向的热效应影响无法消除, 因此设计时, 对横向泵浦均匀性提出了严格的要求。

传统的成像照明聚光器, 对板条激光介质的均匀面泵浦, 是不适合的。漫反射聚光器由于反射率低和闪光灯的自吸收也不适用。我们设计了光线追迹计算程序, 对不同几何形状的聚光器和各种聚光器的不同参数进行照明过程模拟, 以求获得高效率、高均匀性的新型聚光器, 以满足板条激光器件设计的需要。

本文给出了对三角形照明器的计算结果, 以及适合于固体板条激光器的三角形聚光器的结构参数。

一、计算的物理模型

为了简化计算程序, 特作如下假设^[3,4]:

1. 泵浦光源发光强度和光谱与时间无关; 2. 闪光灯为 Lambert 面光源, 即在灯管表面均匀发光, 与面元法线成某一角度方向上的发光强度按余弦变化; 3. 泵浦灯沿轴向均匀发光, 仅考虑闪光灯横截面上的二维匹配; 4. 闪光灯工作在高放电电流密度下, 灯管内等离子体对光的吸收系数为 1; 5. 聚光器表面反射率取 0.9。

在上述假设下, 虽然不能得到泵浦效率的绝对数值, 但作相对比较不会失去其客观性。

计算采用光线追迹的方法^[4]。沿闪光灯表面各点发出的光线, 与该点面元的夹角 θ 在 $-\pi/2$ 到 $\pi/2$ 内取值, 其光强 $I(\theta) \propto \cos \theta$ 。当每根光线的光强减少至 10^{-4} , 或者重新进入闪光灯, 则停止追迹。当光线进入板条时, 根据光线与板条的交点位置累计光强。若闪光灯发出的总光强为 1, 则可定义泵浦光强分布曲线下的面积为聚光效率 η 。曲线上最大值与最小值之差记为光强起伏 Δ , 照明均匀性大致可用 Δ 来比较。

二、计算和实验结果

在图 1 所示的三角形聚光器中, 设闪光灯直径为 d , 其中心定为 x 轴原点 O 。泵浦光强分布曲线是三角形顶角 α 、开口宽度 W 、开口长度 L 、闪光灯中心位置 x 及其直径 d 的函数。为了确定上述各参数, 我们计算了单个参数变化时对聚光效率和均匀性的影响。

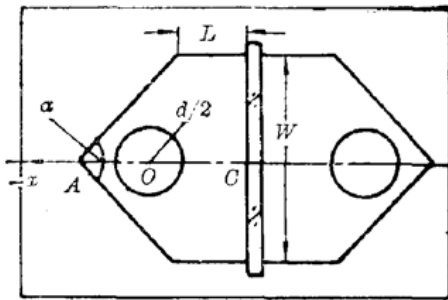


图 1 三角形聚光器

1. 三角形顶角 α

三角形聚光器的初始数据为: $OA = d$, $OC = 1.5d$, $L = d$, $W = \pi d$ 。当 α 变化时, 聚光效率 (η) 和光强起伏 (Δ) 的计算结果如图 2(a) 所示。计算结果表明, 当 $\alpha = 100^\circ$ 和 180° 时, 光强起伏最小; 当 $\alpha = 100^\circ$ 时, 聚光效率最高。当顶角 α 太小时, 闪光灯背向板条部分的光线难于进入板条, 故泵浦光强在板条宽度中心附近强, 两端

弱; 当角度太大时, 这部分光线需经多次反射才能进入板条, 故聚光效率略有下降。因此, 三角形顶角 α 取 100° 左右较为合适。

2. 三角形开口宽度 W

当 $\alpha = 100^\circ$, $OA = d$, $L = d$, 聚光效率 η 和光强起伏 Δ 随开口宽度 W 的变化如图 2(b) 所示。随开口的增大, 光线重新进入闪光灯的可能性减少, 故泵浦效率上升, 但开口太大难以实现板条全宽度内的均匀泵浦。实际上, 为保证板条器件高增益, 必须要求高泵浦功率密度, 聚光器开口太大将使泵浦功率密度下降, 因此, 应尽量减少开口宽度。取宽度 $W = \pi d$ 较合适。

3. 三角形开口长度 L

取 $\alpha = 100^\circ$, $W = 3d$, 仅改变开口长度 L 所得的计算结果见图 2(c)。开口长度的增加, 使光线经历更多次数的反射才能进入板条, 使聚光效率有所下降; 但开口很短时, 闪光灯靠近板条, 闪光灯直射光占绝大部分, 在板条宽度中心光泵强, 两边缘弱, 均匀性欠佳。只有取合适的长度, 即 $L = 1.25d$ 左右, 才能将泵浦光比较均匀地分布在板条宽度上。

4. 闪光灯中心位置 x

上面的计算表明 $\alpha = 100^\circ$, $W = 3d$, $L = 1.25d$ 的三角形聚光器有较高的聚光效率和均匀

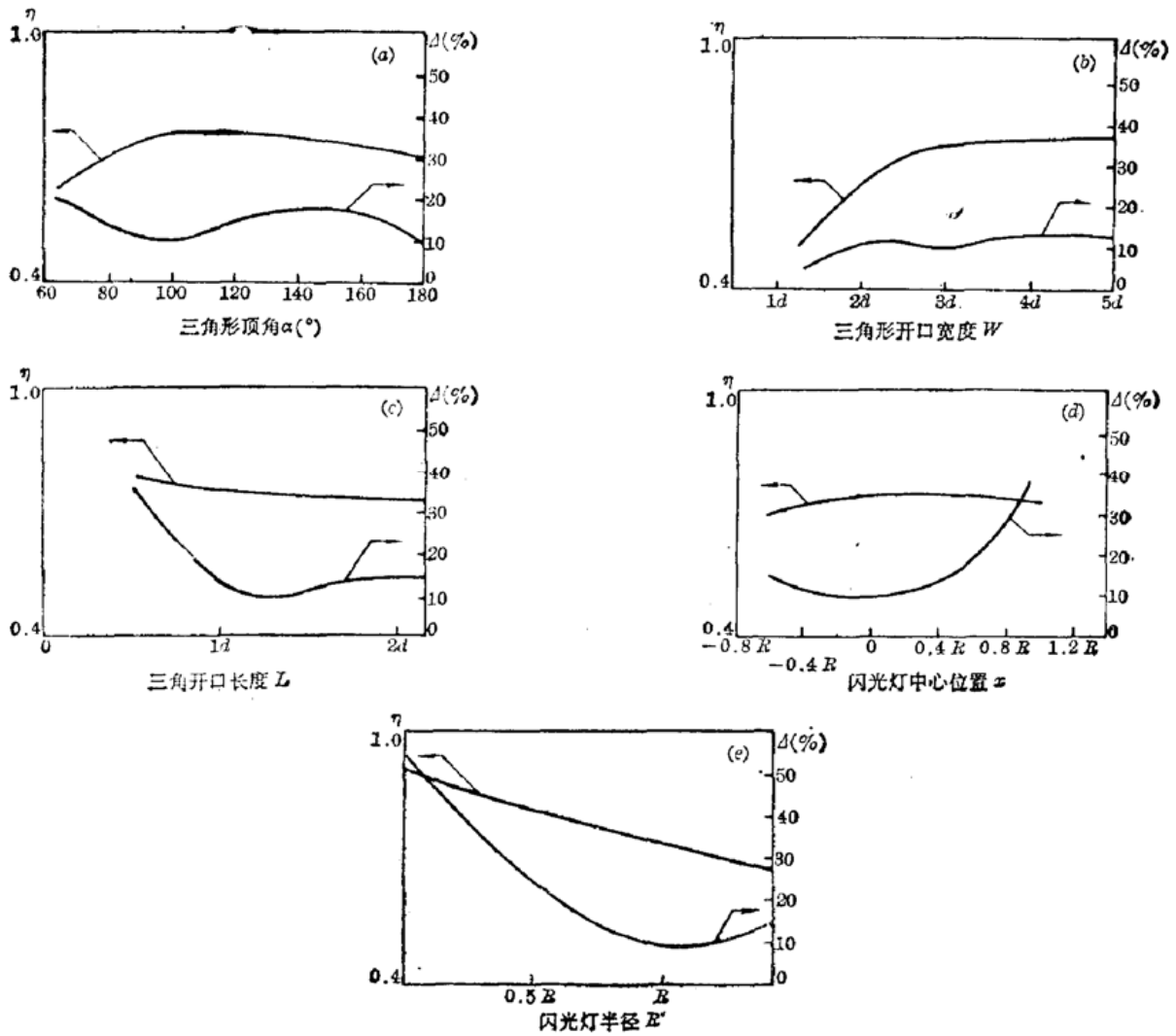


图 2 三角形顶角 α (a)、三角形开口宽度 W (b)、三角形开口长度 L (c)、闪光灯中心位置 x (d)、闪光灯半径 R' (e)对聚光效率和均匀性的影响

性。对该结构，闪光灯中心位置偏移所造成的影响如图 2(d)。可以看出，闪光灯中心在原点附近的微小偏移，对照明效率和均匀性影响不大。这表明三角形聚光器对机械加工精度及闪光灯位置的调节精度要求不高。

5. 闪光灯半径 R'

对上述参数的聚光器，闪光灯半径 R' 的变化所导致的影响见图 2(e)。当 $R'=0$ 时，虽然由于无闪光灯自吸收而使聚光效率达极大，但均匀性很差，可见这种聚光器对线光源并不匹配。随半径 R' 的增大，闪光灯自吸收截面增大，聚光效率下降。这表明对不同开口大小的聚光器，应选择不同直径的闪光灯，才能保证照明均匀性。通常可取闪光灯直径为开口大小的 $1/\pi$ 倍，此时均匀性和聚光效率都比较好。

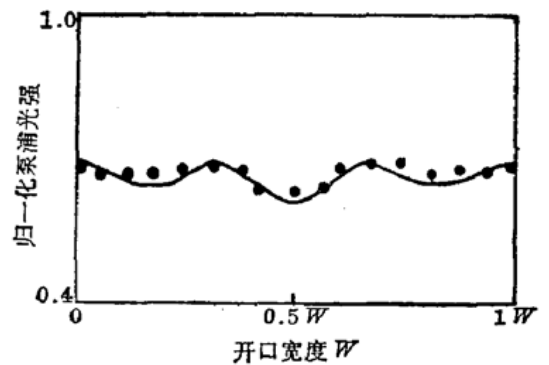


图 3 泵浦光强分布，实线为计算值，圆点为实验值，氙灯中心距离板条 10 mm

为检验计算结果，我们实际测量了三角形聚光器在开口宽度方向上的泵浦光强分布。所用的氙灯内径为 $\phi 10$ mm，有效长度为 100 mm，聚光器参数为 $\alpha=100^\circ$ ， $W=31$ mm， $L=10$

mm。该方向上各点泵浦光强的大小用一个带针孔光阑的硅光二极管测出。图3给出了氙灯中心距离板条10mm、5mm二种情况的泵浦光强分布。实验值与理论计算值基本一致。在开口中心附近测得泵浦光强比理论计算值高,这可能是闪光灯自吸收系数小于1以及部分被吸收的光再度发射所致。

三、讨 论

对现有适用于面照明的各种聚光器的计算结果表明,三角形聚光器具有聚光效率和均匀性都比较好,对闪光灯的位置精度要求不高的优点,而且结构简单,加工方便。但三角形聚光器由于顶角和闪光灯自吸收引起的光能损失,限制了聚光效率的提高。计算中发现,聚光效率和均匀性之间有一定矛盾,因此要实现高效率均匀照明,采用单一曲面的照明器是困难的,一般要用多曲面组合,关于这方面的计算结果,将另文讨论。

在上述计算中,忽略了不在闪光灯横截面上的光线和不同频率、偏振态的光线在灯表面、冷却水套表面和板条表面的反射和折射效应等,同时在计算中各参数的单一变化也带来一些局限性,但要五个参数同时考虑,将增加二个数量级的计算量。虽然这些因素对聚光效率和均匀性计算影响不大,但要进一步提高计算精度,必须予以考虑。

参 考 文 献

- 1 Santanu Basu *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-22**, 2052(1986)
- 2 J. M. Eggeston *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20**, 289 (1984)
- 3 陈炎兴 *et al.*, 《激光》, **7**, 21 (1980)
- 4 M. R. Siegrist, *Appl. Opt.*, **15**, 2167 (1976)

(上接第103页)

可见, (12)式右边两项分别比(10)式多了 $\cos^2(\tau\sqrt{n!/(n-m)!})$ 和 $\sin^2(\tau\sqrt{(n+m)!/n!})$, 因此(12)式右边两项仍是非奇异的,亦即热光场 J-O 模型中场的 P 表示存在。总之,热光场与初始处于基态的二能级原子相互作用后,无论 \bar{n} 、 m 如何变化,辐射场均不可能出现非经典特征。类似易推得,热光场与初始处于激发态的原子相互作用后也不可能导致场出现非经典效应。

参 考 文 献

- 1 P. L. Knight, P. M. Radmore, *Phys. Lett. A*, **90**(7), 342 (1982)
- 2 郭光灿, 彭石安, 罗耕贤, 待发表
- 3 郭光灿 *et al.*, 量子电子学, **4**(1), 1(1987)
- 4 M. S. Zubairy, J. J. Yeh, *Phys. Rev. A*, **21**(5), 1624(1980)
- 5 刘正东, 物理学报, **36**(12), 1645(1987)
- 6 A. S. Shumovssky *et al.*, *Phys. Lett. A*, **124**(6, 7), 351(1987); P. Meystre, M. S. Zubairy, *Phys. Lett. A*, **89**(8), 390(1982)
- 7 C. K. Hong, L. Mandel, *Phys. Rev. Lett.*, **54**(4), 323(1985)
- 8 姚德明, 郭光灿, 物理学报, **37**(3), 463(1988)
- 9 Jan Perina, *Coherence of Light* (D. Reidel Publishing Company, Holland, 1985), p. 180