

“神光Ⅱ”驱动器空心平顶光束的设计*

钱列加

(中国科学院上海光机所 高功率激光实验室, 上海 201800)

提要 为改善“神光Ⅰ”驱动器光束的近场均匀性, 提出并设计了特殊的空心平顶光束, 以抑制衍射调制。光束的设计采用新颖的硬边波纹光阑截取和空间滤波器光滑化的方法, 文中给出了理论计算结果并研究了所设计光束的基本特征。

关键词 衍射调制, 空心平顶光束, 硬边波纹光阑, 空间滤波

1 引言

设计高填充因子和近场均匀光强轮廓分布的光束, 对高功率激光器的性能和造价有着重要的影响。用于传统的多路 MOPA 方式激光驱动器的理想光束为较高阶 (>6) 的超高斯光束。然而我国新一代的激光驱动器“神光Ⅰ”的总体设计采用新颖的组合式同轴双程主放大器, 在组合式空间滤波器中使用了中心开孔的 45° 反射镜作为双程放大耦合器, 为避免反射镜小孔引起的衍射调制及 Arago (或 Poisson) 亮斑^[1], “神光Ⅰ”驱动器的理想光束应该是边缘及中央空心光强缓变的空心平顶光束。边缘光强软变化的传统技术是采用靠镀变透射率膜、玻璃磨砂等制成的软边光阑^[2,3], 但因对应中央空心尺度的菲涅耳数较小, 上述技术将不再十分有效。对此, 作者将使用新近提出的硬边波纹光阑截取和空间滤波器光滑化方法^[4,5]来设计这一特殊的空心平顶光束。本文将在理论上分析其可行性, 并研究所设计光束的基本特征, 即光束的衍射调制和边缘旁斑。

2 设计及理论计算

对“神光Ⅰ”空心平顶光束的设计, 其具体方法为采用如图 1 所示的实心挡光的环状硬边波纹光阑截取出空心环状光束, 紧接着光阑用空间滤波器滤除光束高频扰动, 以实现光束的光滑化。按主放大器光束要求, 空心环状光束的内外径之比为 0.2。硬边波纹光阑针对实际应用的菲涅耳数 $F = 20$ 进行设计, 其透过率函数 $T(r_0, \theta_0)$ 为

$$T(r_0, \theta_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0.2 \leq r_0 \leq r_1(\theta_0) \\ 0 & \text{if } r_0 < 0.2, \text{ or } r_0 > r_1(\theta_0) \end{cases} \quad (1)$$

* 本研究得到院、“863”重大项目“神光Ⅰ”研制经费和国家自然科学基金的共同支持。

收稿日期: 1995年3月3日; 收到修改稿日期: 1995年6月19日

其中

$$r_1(\theta_0) = 1 + \alpha(\sin m_1 \theta_0) \sin m \theta_0$$

$$\alpha = \frac{2.44}{(\pi F)}, \quad m_1 = 5, m = 50$$

其详细设计可参阅文献[4]中的设计步骤,这里硬边波纹光阑的中央挡光部分采用实心圆形,而没有波纹状调制,这是基于考虑到其相应的菲涅耳数 $F' = 0.8$ 较小,接近远场,因而波纹调制对光束的影响不敏感。

实际的激光前置级光束应该是带有一定光强调制的高斯光束,但硬边波纹光阑截取和空间滤波器平滑化空间整形方式对入射光束有很大的宽容度^[6],因此这里假定入射光场为振幅 1、位相均匀的平面波。具体应用中,对入射光束的截取要求可参见文献[6],能量损失在前置级是可以允许的。理论分析将以衍射积分为基础,在柱坐标系 (r, θ) 中,菲涅耳积分可写成

$$u(r, \theta) = iF \int_0^{2\pi} d\theta_0 \int T(r_0, \theta_0) \exp\{-i\pi F[r^2 + r_0^2 - 2rr_0 \cos(\theta - \theta_0)]\} r_0 dr_0 \quad (2)$$

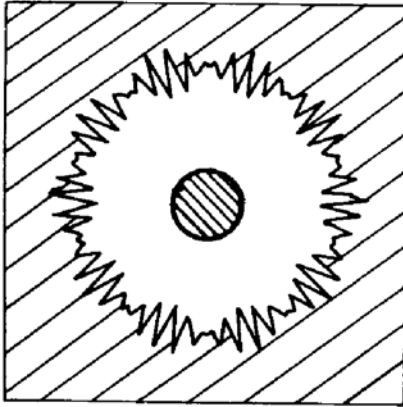


Fig. 1 The serrated aperture

方程(2)的数值计算采用标准的二维快速傅氏变换方法。数值计算的目的是设计空间滤波器滤波小孔的尺寸 a (以爱里斑进行归一化),使得所产生的空心平顶光束的衍射调制 FR 及边缘旁斑最小,满足光场的均匀性 FR 约为 10% (或以峰值平均光强比 P/A 值衡量为 1.1) 及内外旁斑幅度相对峰值光强的截断水平 t_1, t_2 约为 5% (其截断导致的衍射调制为 10%) 的光束设计要求。典型的光束衍射计算结果如图 2(a) ~ (f) 所示,图中横坐标为光束径向位置的相对值。分析表明:

(1) 本文提出的空心平顶光束的设计方法是可行的,能有效地平滑光束和抑制 Arago 亮斑。当滤波小孔 a 在 3.5 ~ 4.8 倍衍射极限间时,衍射调制 FR 约 10%,而边缘旁斑 t_1 和 t_2 则小于 2%。最佳的滤波小孔 $a = 3.8$, a 的选取有较大的宽容度。

(2) 衍射光束的内外边缘始终存在不可完全抑制的衍射旁斑,其物理原因是光束的内外截取对应着不同的空间频谱,不可能只使用滤波小孔可变这一自由度来完全滤除,而只能实现较好的兼顾。事实上对每一硬边截取,相应最佳空间滤波小孔约为 3 倍衍射极限^[5]。

(3) 光束衍射计算结果相对菲涅耳数较不敏感,当 F 数在 10 至 40 间,所产生的光束都基本满足设计要求。其变化规律是:随着菲涅耳数 F 的变小,衍射调制 FR 显著降低,但相应的边缘旁斑 t_1 和 t_2 则增大。这在物理意义上是可以理解的,当 F 数变小时,光束本身就有一定程度的平滑效果,但随之出现较大的衍射旁斑。

(4) 所设计的光束具有较大的填充因子, FF 在 0.7 左右(空心部分能量损失考虑在内)。

3 结 论

结合使用改善光束大尺度均匀性的硬边波纹光阑和改善光束小尺度均匀性的空间滤波器成功地设计了空心平顶光束,可以有效地抑制中央挡光衍射引起的 Arago 亮斑。所设计的光束

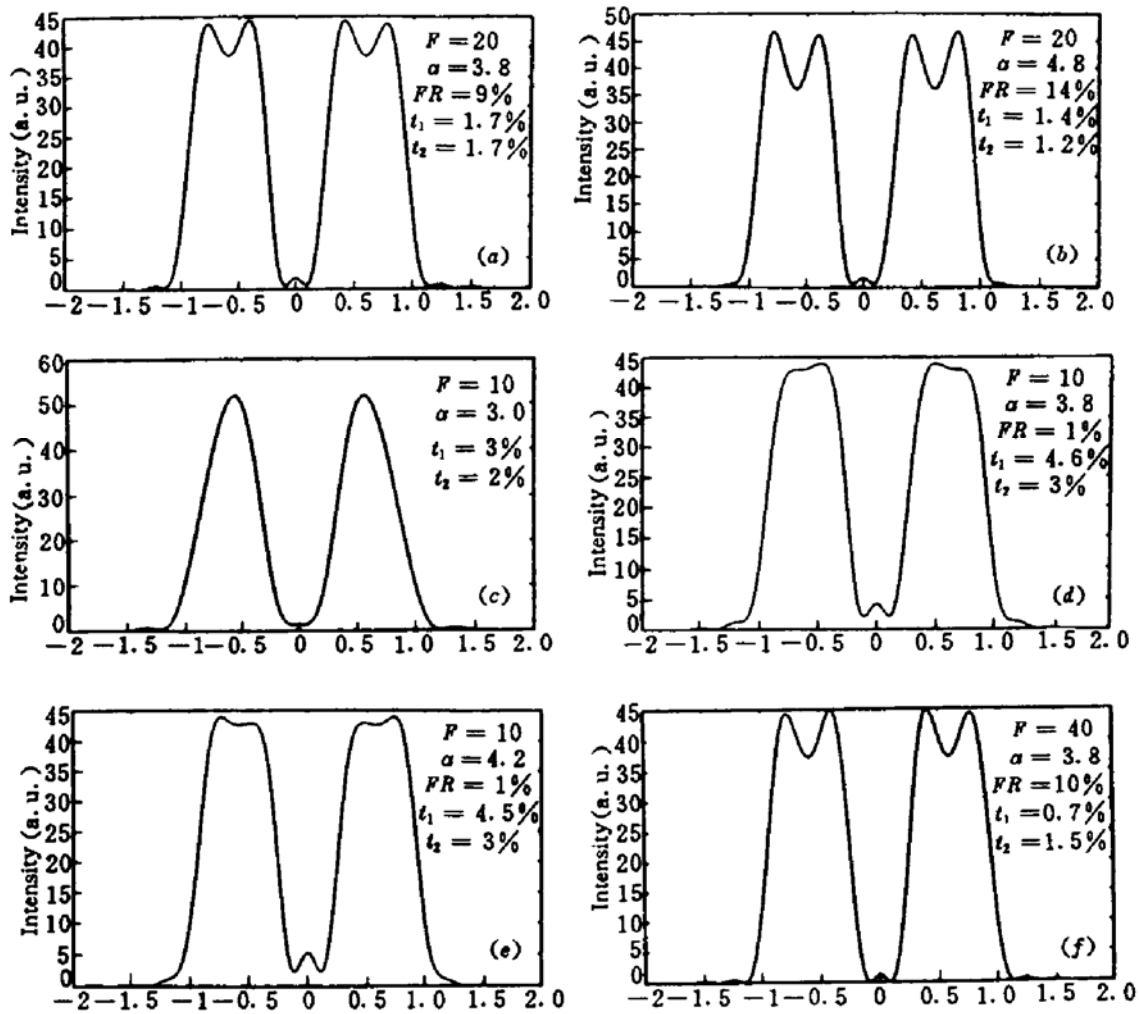


Fig. 2 Typical calculated beam profiles with a combination of a hard edge serrated aperture and a spatial filter, where the corresponding Fresnel number F is 10, 20 and 40, and the pinhole radii of the spatial filter are 3.0, 3.8, 4.2 and 4.8

具有高填充因子和实际应用可以接受的边缘旁斑及衍射调制,能用于我国新一代的高功率激光驱动器“神光Ⅰ”装置。同时本文的研究,进一步表明波纹光阑在高功率激光器中具有广泛的应用前景。

致谢 作者衷心感谢与张筑虹博士和詹庭宇工程师的有益讨论。

参 考 文 献

- 1 A. E. Siegman. Lasers. California; Oxford Univer. Press, 1986. 727~741
- 2 J. A. Glaze. High energy glass laser. *Opt. Eng.*, 1975, 15(2):136~142
- 3 R. A. Hars. Theory of laser beam apodization with a graded random phase window. *Appl. Opt.*, 1988, 27(13): 2708~2718
- 4 钱列加, 文国军, 范滇元等. 波纹圆孔光阑的衍射及其设计. *光学学报*, 1995, 15(1):117~121
- 5 文国军, 钱列加, 范滇元等. 利用波纹光阑和空间滤波器改善光束近场分布. *中国激光*, 1995, A21(6): 435
- 6 钱列加. 高功率激光束的空间整形. *光学学报*, 1995. 待发表

Design of Flat-top Beam with a Central Dip for "SG II" Laser Driver

Qian Liejia

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In order to improve the near field uniformity of the "SG II" laser beam, we have proposed and designed a special beam, called flat-top centered dip beam. The beam is generated by a combination of a hard edge serrated aperture and a spatial filter. In the paper the calculated results and the investigated characteristics of the designed beam are also given.

Key words diffraction ripples, flat-top centered dip beam, hard edge serrated aperture, spatial filtering

'96 北京国际光电技术报告会首轮征文通知

Photonics China '96

Symposium on Lasers, Optoelectronics & Microphotonics

主 办: 中国光学光电子行业协会(COEMA)、中国光学学会(COS)、国际光学工程学会(SPIE)。

时 间: 1996年11月5~8日

地 点: 北京

会议主席: 母国光(中国光学学会理事长、南开大学校长)

Emery Moove (SPIE 前任主席)

会议主要专题: (16项)

激光器及其应用 全息显示及元件·半导体激光器·激光在医学诊断与处理中之应用·固体、气体、准分子及其他先进激光器·激光在工业、材料加工及航天中之应用。

光电子与微光子学 光学信息记录、存贮、恢复与多媒体通讯技术·集成光电子学·显示技术与器件·光电、SHG材料元件与应用·光纤元件与光通讯·探测器、焦平面阵列与应用·光纤传感器·光学折射和非线性光学材料·光电子成象与信号处理。

制造技术 光学、光电子学、机械检测技术与应用·亚洲光电子市场。

会议工作语文文字为英语,全部会议录将由 SPIE 出版发行。

本会议程序委员会中方主席金国藩,秘书处设在北京理工大学工程光学系,联系人为林永昌(中国光学学会副秘书长),有关投寄提要、报告,均请与程序委员会秘书处联系[通讯处:北京 327 信箱工程光学系,邮编:100081,电话:(010)8416688-3073, 2567, 传真(010)8412867]。

与会议同时同地(北京国际展览中心)将举办第三届国际光电技术展览会(ILOPE '96. The 3rd International Laser & Optoelectronic and Photonics Exhibition.)

联系地址: 北京 8511 信箱中国光学光电子行业协会秘书处, 邮编 100015, 电话(010)4362211-391, 490; 传真:(010)4363226

美国 SPIE P. O. Box 10, Bellingham, WA98227-0010 U. S. A., Fax 360/647-1445