

基于 ZEMAX 的激光高斯光束匀化设计

李卫森, 吴登喜, 董光焰, 沈严

中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州 450015

摘要: 文章基于 ZEMAX 光学软件设计一套激光光束匀化光学系统, 用于将激光高斯光束转化为平顶光束。从理论分析入手, 在 ZEMAX 软件环境下, 编写 Macro 命令, 通过系统优化, 完成出射激光束光强分布均匀化, 满足系统设计要求。

关键词: 激光光学; 高斯光束; 光束匀化; 光束整形

中图分类号: TN243

文献标识码: A

Homogenization Design in Gaussian Laser Beam Transformation Based on ZEMAX

LI Wei - sen, WU Deng - xi, DONG Guang - yan, SHEN Yan

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology
Group Corporation, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Based on Zemax software, an optical system for homogenization of laser beam is designed, which is able to transform the Gaussian laser-type beams into flat-top ones. Under the Zemax developing environment, the Macro instructions are written starting with analysis of the beam shaping theory. By optimizing the system, homogenization of the output beam intensity distribution is achieved as required.

Key words: Laser Optics; Gaussian Beam; Beam Homogenization; Beam Shaping

1 引言

激光光束整形光学系统用于将入射激光束转换为满足既定要求的光强分布的光束, 如在激光雷达、激光通信、激光照明以及激光表面热处理中的光束传输控制等诸多领域, 但目前大多整形方案所需光学系统复杂且加工难度大, 效果欠佳。二元光学的兴起, 使光束整形变得相对简单, 但是受加工水平、使用环境条件的影响, 二元光学元件的像差和衍射效率仍不尽人意。本文基于光线追迹原理系统具有结构简单、装调便利、环境适应好等优点, 对整形用的非球面透镜进行优化分析, 实现激光出射光强均匀分布, 在工程应用中具有一定的实用价值。

2 激光光束整形的理论分析

已知激光器输出光束功率空间满足高斯分布,

$$A(x) = \int_0^x P e^{-\frac{2R^2}{\omega^2}} 2\pi R dR \quad (1)$$

P 为光束中心光强, ω 是激光功率下降到 $1/e^2$ 处的光束宽度, 如图 1 所示。

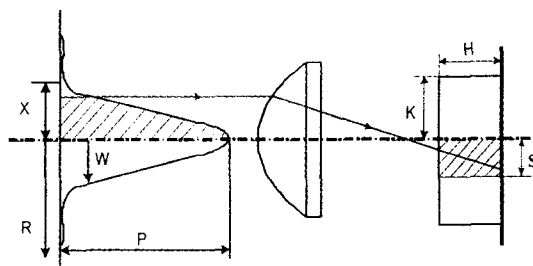


图1 激光光束整形光学系统示意图

对于式(1), 令 $U = -\frac{2R^2}{\omega^2}$, 故 $RdR = -\frac{\omega^2}{4}dU$,

代入式(1), 得,

$$A(x) = \frac{\pi P \omega^2}{2} [1 - e^{-2x^2/\omega^2}] \quad (2)$$

输出平顶光束光斑半径为 S , 则,

$$B(S) = \pi S^2 \cdot H \quad (3)$$

已知, $A(x) = B(S)$, 则,

$$S^2 = \frac{P \omega^2}{2H} [1 - e^{-2x^2/\omega^2}] \quad (4)$$

设平顶光束输出半径为 K , 当 $R \rightarrow \infty$, 由(2),

(3) 式可得,

$$K^2 = \frac{P\omega^2}{2H} \quad (5)$$

将(5) 式代入(4) 式得,

$$S(x) = K \sqrt{1 - e^{-2x^2/\omega^2}} \quad (6)$$

已知输入光束的 X 坐标,使用 ZEMAX 优化函数里的 REAY 操作数,通过(6) 式即可求得对应输出光束的目标值。归一化输入坐标和像面上对应目标值,编写相关的 Macro 程序,自动生成优化函数并进行镜头优化。

3 编写 Macro 程序及系统优化

3.1 输入参数

已知激光波长 $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$,束腰半径 $\omega = 5 \text{ mm}$,发散角 $\theta = 8 \text{ mrad}$,切趾因子 $\alpha = 9$,出射光束匀化直径 $K = 40 \text{ mm}$,光学系统入瞳 $EP = 30 \text{ mm}$,孔径采样值为 80。要实现激光输入光束的整形设计,根据上述计算公式,完成 Macro 程序的编写工作,程序流程如图 2 所示。

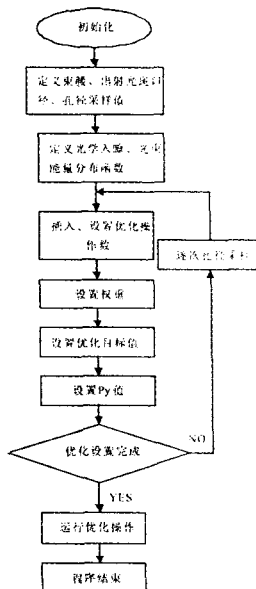


图 2 系统优化流程图

3.2 流程图及源代码

```
CLOSEWINDOW
DELETEMFO ALL
W = 5
K = 20
sample = 80
SYSP 11, W * 6
```

```
SYSP 12, 1
apod_factor = 1/POWR((1/3),2)
SYSP 13, apod_factor
FOR I, 1, sample + 1, 1
INSERTMFO I
SETOPERAND I, 11, "REAY"
SETOPERAND I, 9, 1
norm_pupil_coord = I/sample
X = norm_pupil_coord * W * 3
# Un - normalized pupil coordinate
S = K * SQRT(1 - EXPE(-2 * POWR(X,
2)/POWR(W,2)))
# same as the final equation in the article
SETOPERAND I, 8, -S
# set target. Positive input #coordinate has negative
# output coordinate (positive lens) thus the negative sign
SETOPERAND I, 7, norm_pupil_coord
# Set Py column of the operand
SETOPERAND I, 2, NSUR()
# specify the image surface for the REAY value calculation
NEXT
OPTIMIZE
UPDATE ALL # Update all windows
END
```

3.3 光学系统仿真优化结果

根据上述设置,进行优化设置,得非球面透镜光学系统列。如表 1 所示。

表 1 非球面透镜光学参数

Surface Type	Radius	Thickness	Class	Conic
Even Asphere	4.12709	13	K9	-1.31978
Standard	32.89			
续表				
Surface Type	2Order	4Order	6Order	8Order
Even Asphere	-0.055	1.664985E-4	-3.047412E-7	3.273907E-10
Standard				

根据非球面方程:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10} \quad (7)$$

求得非球面透镜的非球面型方程为:

$$z(r) = \frac{0.2423r^2}{1 + \sqrt{1 + 0.018774r^2}} - 0.055r^2 + 1.$$

$$664985 \times 10^{-4} r^4 - 3.047412 \times 10^{-7} r^6 + 3.273907 \times 10^{-8} r^8 \quad (8)$$

非球面面型为旋转对称偶次非球面,含 2~8 阶非球面系数。由上述设计结果可见,光学镜片外形布局如图 3 所示。在镜头出射 100 mm 处,得到一个半径 20 mm 的能量分布均匀光,根据仿真数据,光强均匀度分布小于 3%。

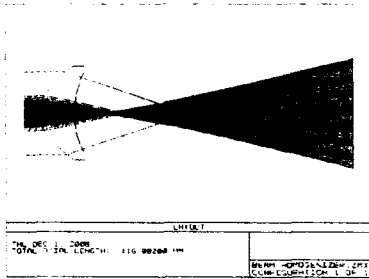


图 3 非球面透镜光束整形示意图
已知输入激光光强分布曲线如图 4、图 5 所示。

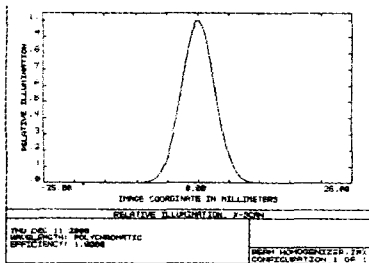


图 4 激光输入光束外形轮廓曲线

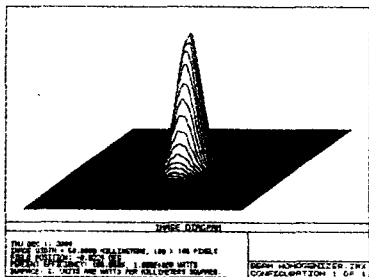


图 5 输入激光三维曲线轮廓
经过光学透镜匀化后,输出光束的形状外形轮廓曲线如图 6、图 7 所示。

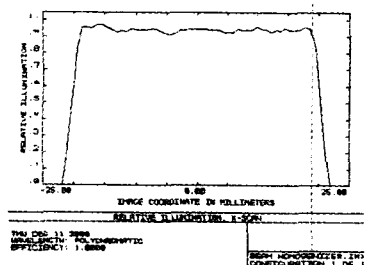


图 6 输出平顶光束二维轮廓曲线

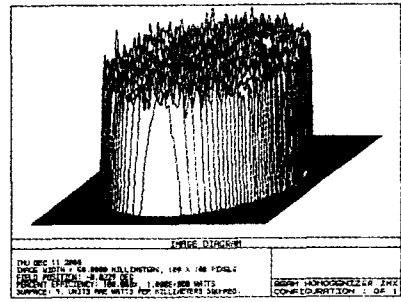


图 7 输出平顶光束三维轮廓曲线

将上述设计结果导入光线追迹软件 TracePro, 激光出射高斯光束光强分布曲线如图 8 所示。探测靶面光强分布如图 9 所示。

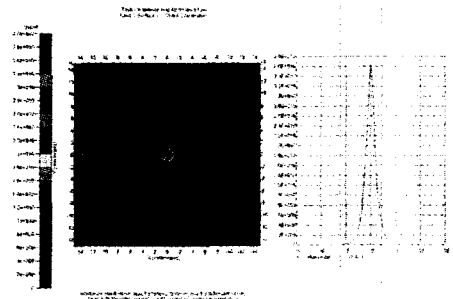


图 8 初始激光光强分布曲线图

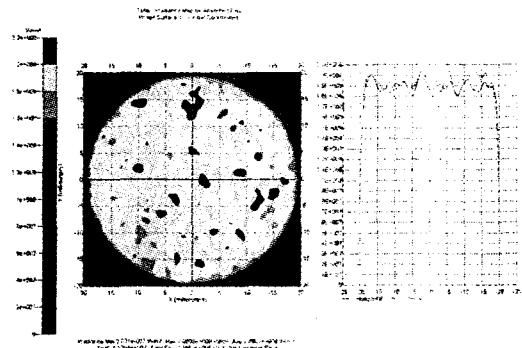


图 9 探测靶面光强分布曲线

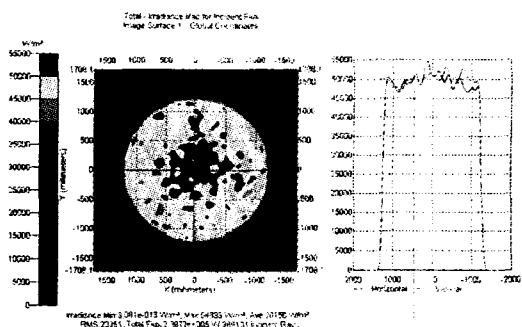


图 10 1 km 处探测靶面光强分布曲线

根据系统实际使用情况,如远距离主动照明,激光雷达成像等系统中,(下转第 20 页)

新方案从根本上解决了波导开关电路与其控制电路在工作原理上的不相匹配问题,实现了 TTL 电平控制和波导开关电动工作的脉冲型原理相统一。不仅控制继电器不必长期加电一直工作,而且不会出现开关机时的误动作,也不存在无法送出正确位置指示信号的可能性。因此,监控计算机无须记忆每次关机时的设备状态,更不需要在下次开机时给予预先的判断、控制和保持。

6 结束语

实际工程当中所选用的波导开关转换驱动器所使用的磁性材料是铝镍钴磁钢,它的规定使用条件为:环境温度 $-40 \sim +55\text{ }^{\circ}\text{C}$;相对湿度 $92\% \sim 98\%$;气压 54 kPa ;振动频率 $30\text{ Hz} \sim 150\text{ Hz}$,振动加速度 25 m/s^2 ,振动时间 2 h ;冲击 $80 \sim 100$

次/分钟,加速度 70 m/s^2 ,共 4000 次;工作电压 $+24\text{ V}$,稳态电流 2.4 A ;转换角度 90° ;起动转矩 $80\text{ mN}\cdot\text{m}$;正常工作制为工作 $1/60\text{ h}$,休息 $1/12\text{ h}$;转换寿命 3000 次^[2]。整个波导开关的电路同图 1,推荐控制电路如图 2。从波导转换驱动器的正常工作制和转换寿命可知,采用完美的脉冲型控制方式,使波导开关既能满足规定的工作制要求,又不会产生无为的误动作而降低其寿命。通过实验测试和工程实践证明,改进后的波导开关电路及控制新方案使用效果非常好,控制简单,指示可靠,无须状态记忆,没有误动作出现。

参考文献

[1]波导开关使用说明书. 中电科技集团 39 所
[2]微特电机. 国营成都电机厂

(上接第 3 页)已知激光远场光斑大小,依据上述原理方案,设计合理的光束匀化镜头,满足系统需求。如保持激光器输入参数不变,光束传输 1 km 后,激光光斑大小约 2.5 m ,将设计结果带入到 TracePro 仿真软件,得匀化光束光强均匀性约 5% (除去边缘光线),如图 10 所示。

表 2 非球面透镜光学参数

Surface Type	Radius	Thickness	Glass	Conic	20Order
Even Asphere	4.15	13	H-K9L	-1.05587	-0.107
Standard	33.27	1E6			
Surface Type	40Order	60Order	80Order	100Order	
Even Asphere	9.7152E-5	-1.333674E-7	1.731247E-10	-1.234116	E-13
Standard					

4 结束语

本文通过设计非球面透镜实现激光高斯光束

匀化,探讨了一种新的激光光束匀化实现途径,完成了一定距离内光强分布从高斯到平顶的转化,系统简单,易于搭建,具有一定的工程实用价值,对指导今后激光光学匀化设计具有一定的指导价值。

参考文献

[1]蒲继雄. 利用球差透镜获得平顶激光光束[J]. 光子学报,1998,27(3):234-238.
[2]李殿军,等. 非球面伽利略扩束系统实现激光空间整形[J]. 激光技术,2008,32(4):427-429.
[3]李晓彤,岑兆丰. 几何光学 像差 光学设计[M]. 杭州:浙江大学出版社,2003.
[4]宋伟,吴建国. Visual Basic 6.0 高级编程[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
[5]ZEMAX 中文使用手册[M]. 2007 年 1 月 22 日.