

·光学设计·

离轴二反激光扩束系统的设计和数学建模

王佳轶

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000)

摘要:描述了一种离轴二反式激光扩束系统的数学建模方法。该方法可以在输入少数特定参数的情况下,解算出整个扩束系统主工作面的各项参数。在MATLAB、EXCEL等具有计算功能软件的辅助下,可以较方便地得到整个扩束系统工作面的初始结构。而且该方法还可以直接判断出初始结构是否符合系统装调需求。具有方法简便、计算快捷等特点。

关键词:反射式;激光扩束;数学建模

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-04-0010-03

Design and Mathematical Modeling of Off-axis Double-reflection Laser Beam Expander

WANG Jia-yi

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

Abstract: A mathematical modeling method of an off-axis double-reflection laser beam expander is described. At the condition of input a few special parameters, all the parameters on the main operation panel of the beam expander are calculated. With the calculation software such as MATLAB and EXCEL, the initial structure of all the operation panels of the beam expander is obtained easily. We can judge directly with the method whether the initial structure accords with the requirements of system assembling and debugging or not. It has the characteristics of convenience method and fast speed calculation.

Key words: reflection; laser beam expand; mathematical modeling

激光扩束系统根据光线传播的形式主要可分为透射式和反射式两种。透射式扩束系统,根据不同的目镜类型可分为伽利略扩束系统和开普勒扩束系统。它往往针对某一特定波段的光束。具有面型精度高、波相差小、安装简便、系统占用空间小等特点。反射式扩束系统,应用较广的有格里高利系统和卡塞格林系统。反射式扩束系统与透射式扩束系统相比具有大口径、无色差、传输效率高等优点。尤其是在大功率激光扩束系统中,透射式扩束系统由于光学材料的部分吸热,很容易造成系统各种相差随温度升高而急剧增大,影响系统的正常

使用,甚至造成镜片的吸热受损。离轴反射式扩束系统虽然加工困难,并且难以达到较高的面型精度,系统装调难度非常大。但是它在大功率、宽波段激光扩束领域里具有明显的优势,甚至可以在某些高能量密度的反射镜背面增加散热系统,从而提高系统性能。

1 离轴二反激光扩束系统设计

1.1 原理

大功率激光发射系统的激光发射功率较高,为

收稿日期:2014-03-17

作者简介:王佳轶(1980-),男,吉林省长春市人,学士,主要研究方向为测控技术与仪器专业。

为了避免在扩束系统内产生实际的激光汇聚,从而产生空气击穿现象,可采用类似于无焦卡塞格林系统的结构形式。在本设计中选取扩束系统为双抛物面反射的结构形式,满足整个系统消球差条件。根据入射光的不同高度,分别选取整个主抛物面反射镜和次抛物面反射镜的部分区域,从而在缩减系统占用空间的情况下,实现对入射激光的扩束。如图1所示。

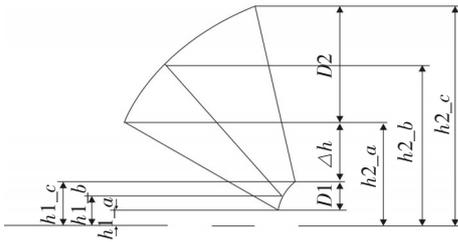


图1 离轴反射式扩束系统示意图

为了保证扩束后的光束质量,光学系统的像差要求较高,波像差要小于 $\lambda/4$ 。

1.2 公式推导及数学建模

为了计算方便,选取次镜坐标方程的顶点为原点,分别列出主镜、次镜和过 (x_a, y_a) 、 (x'_a, y'_a) 的斜线方程。如图2所示。

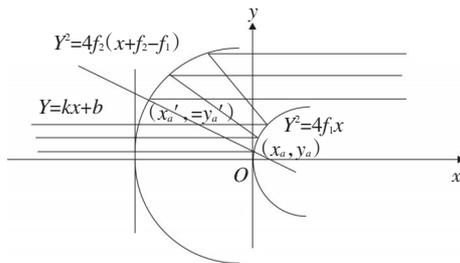


图2 扩束系统反射面与主光轴面相交线坐标系

次镜与子午面相交线的坐标方程为

$$y^2 = 4f_1x \quad (1)$$

主镜与子午面相交线的坐标方程为

$$y^2 = 4f_2(x + f_2 - f_1) \quad (2)$$

斜线方程为

$$y = kx + b \quad (3)$$

根据离轴扩束特点可知斜线与 x 轴交点为 $(f_1, 0)$,将该点与已知点 (x_a, y_a) 相结合可计算出直线的斜率为

$$k = \frac{y_a - 0}{x_a - f_1} = \frac{y_a}{x_a - f_1} = \frac{4f_1 y_a}{y_a^2 - 4f_1^2} \quad (4)$$

从而求得斜线方程中的斜率,截距为

$$b = -kf_1 = \frac{-y_a f_1}{x_a - f_1} = \frac{-4f_1^2 y_a}{y_a^2 - 4f_1^2} \quad (5)$$

所以,斜线方程为

$$y = \frac{y_a}{x_a - f_1}x + \frac{-y_a f_1}{x_a - f_1} = \frac{4f_1 y_a}{y_a^2 - 4f_1^2}x + \frac{-4f_1^2 y_a}{y_a^2 - 4f_1^2} \quad (6)$$

将斜线与主镜坐标方程进行联立,可得二元一次方程如下

$$y^2 - 4f_2 \frac{\frac{y_a^2}{4f_1} - f_1}{y_a} y - 4f_2^2 \quad (7)$$

由上式可知系数 $A=1, B=-4f_2 \frac{\frac{y_a^2}{4f_1} - f_1}{y_a}, C=-4f_2^2$,从而可解得

$$y = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (8)$$

由于模型一直是 y 轴的上半轴,故此去除 y 的负根或者最小根,所以可得下式

$$y = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} = \frac{4f_2 \frac{\frac{y_a^2}{4f_1} - f_1}{y_a} + \sqrt{\left(-4f_2 \frac{\frac{y_a^2}{4f_1} - f_1}{y_a}\right)^2 + 16f_2^2}}{2} \quad (9)$$

1.3 模型与Excel相结合

将以上方程分别用Matlab或者Excel等具有计算功能的软件编译出来,从而可以在仅知道离轴反射扩束系统放大倍率、次镜口径、次镜离轴量及 F 数的情况下快速得出整个扩束系统工作面各项参数。如图3所示。

此时,次镜的离轴量 $h_{1b}=25$, $F_1\#=1$,口径 $D_1=25$ mm,焦距 $f_1=75$ mm,半径 $R_1=150$ mm。主镜的离轴量 $h_{2b}=125$ mm, $F_2\#=1$,口径 $D_2=125$ mm,焦距 $f_2=375$ mm,半径 $R_2=750$ mm。主镜与次镜中间边缘间隔 $\Delta h=25$ mm,由经验可知,此间隔满足装调需求。将所有参数输入到光学设计软件Zemax中进行验证,设计结果如图4~图7所示。

参数	公式1	
1	Γ	5.000
2		
3	h1_b (小抛物镜中心高度)	25.000
4	D1 (小抛物镜1口径)	25.000
7	h1_c (小抛物镜1上缘高度)	37.500
8	h1_a (小抛物镜1下缘高度)	12.500
9	F1	1.000
10	f1 (小抛物镜焦距)	75.000
11	R1 (小抛物镜半径)	150.000
15	k_c	-0.533
16	k_b	-0.343
17	k_a	-0.168
18	b_c	40.000
19	b_b	25.714
20	b_a	12.587
21	f2 (大抛物镜焦距)	375.000
22	R2 (大抛物镜半径)	750.000
23	A_c	1.000
24	A_b	1.000
25	A_a	1.000
26	B_c	2812.500
27	B_b	4375.000
28	B_a	8937.500
29	C_c	-562500.000
30	C_b	-562500.000
31	C_a	-562500.000
32	h2_c	187.500
33	h2_b (小抛物镜中心高度)	125.000
34	h2_a	62.500
41	Δh (抛物镜中间边缘垂直间隔)	25.000
43	D2 (大抛物镜1口径)	125.000
44	F2	1.000

图3 Excel计算模型

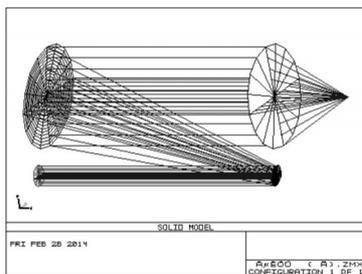


图4 Zemax 3D示意图

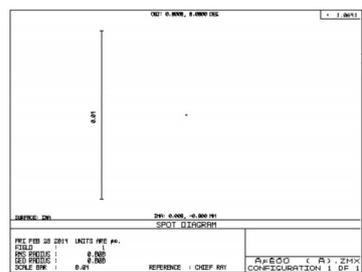


图5 点列图

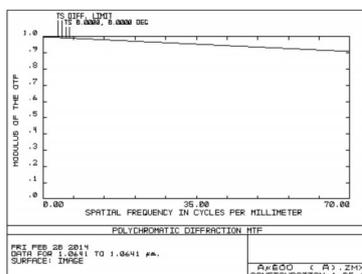


图6 FFT MTF图

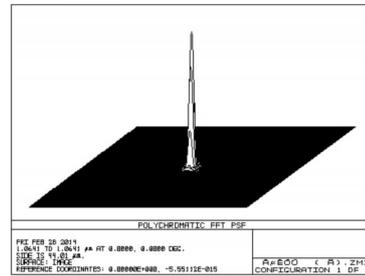


图7 衍射能量图

2 反射镜基底材料的选择

目前,激光反射镜主要应用的材料有硅、铜和钼等材料,表1列出了这几种典型材料的热性能参数。

表1 常用几种激光反射镜材料综合热性能

材料	线膨胀系数 $\alpha/10^{-6}$	热传导率 $\lambda/(W \cdot \alpha n^{-1} \cdot k^{-1})$	综合热性能比值 $S(\alpha/\lambda)$
K9玻璃	66	0.002 9	2 275.9
石英	0.49	0.002 4	204.17
单晶硅	2.4	0.201	11.940
钼	5	0.341	14.663
铜	20	0.919	21.763

从表1中可以看出,若选择K9和石英玻璃材料制作反射镜,其表面热形变将比用硅、钼和铜等材料制作反射镜要大1~2个数量级。所以在抗大功率激光损伤应用中,扩束系统的反射镜往往在单晶硅和铜基底之间作出选择或相互备份。

3 结论

离轴反射式扩束系统的设计,除了要满足理论方程外,还要符合系统装调的需求。故此,主镜和次镜两个靠近中心边缘的间距 Δh 是个非常重要的参数。该值一旦出现负值或者间距太小,将表示所设计的结果是个失败的设计。文章中提到的方法,除了可以得出离轴反射式扩束系统的初始结构,还可以实时显示出系统的正确性和可实现性,从而保证了设计任务快速有效地完成。

参考文献

[1] 梅逐生.光电子技术[M].北京:国防工业出版社,87-91.

(下转第29页)

- er phosphor package of white-light-emitting diodes with high efficiency [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2010, 121(24):2224-2226.
- [3] Hitzel F, Hangleiter A. The reason for the high emission efficiency of GaInN/GaN based LEDs[J]. *Phys Lett B*, 2008, 22:3261-3266.
- [4] Lee T H, Dickson R M. Single-Molecule LEDs from Nanoscale Electroluminescent Junctions[J]. *J Phy Chem B*, 2003, 107:7387-7390.
- [5] Jin X, Zhang B, Dai T, et al. Optimization of top polymer gratings to improve GaN LEDs light transmission[J]. *Chin Opt Lett*, 2008, 10:788-790.
- [6] Nogueira E, Vazquez M, Mateos J. Accelerated life test of high luminosity AlGaInP LEDs[J]. *Technical Physics Letters*. 2012, 52(9):1853-1858.
- [7] 牛萍娟,李艳玲,刘宏伟,等.热超声倒装焊在制作大功率 GaN 基 LED 中的应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2007, 9:43-46.
- [8] Sim J K, Ashok K, Ra Y H. Characteristics enhancement of white LED lamp using low temperature co-fired ceramic chip on board package current [J]. *App. Phys*, 2012, 12 (2):494-498.
- [9] 邝海,刘军林,程海英,等.转移基板材质对 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片性能的影响[J]. *光学学报*, 2008, 28 (1): 143-145
- [10] Liang T, Guo X, Guan B L, et al. A flip-chip AlGaInP LED with GaN/Sapphire transparent substrate fabricated by direct wafer bonding [J]. *Chin Phy. Lett*, 2007, 24 (4): 1110-1113.
- [11] Fan Y Y, He B, Zhou J, et al. Efficient heat transfer in high-power fiber lasers [J]. *Opt. Lett*, 2012, 10 (11): 111401-11401.
- [12] Shen C, Feng H, Xu Z, et al. GaInN light-emitting diodes with omni-directional reflector using nanoporous SnO₂ film [J]. *Chin Opt. Lett*, 2008, 6(2):152-153.
- [13] Wierer J J, Steigerwald D A, Krames M R. High-power Al-GaN flip-chip light-emitting diodes [J]. *Phys. Lett*, 2001, 78(22):3379-3381.
- [14] 张建平,邹建华,文尚胜.聚合物电致发光二极管面光源的热分析[J]. *光学学报*, 2011, 2:294-300.

(上接第4页)

- ical optical surface [M]. Beijing: Science Press, 1994: 157-160.
- [9] John W Figoski. Development of a three-mirror, wide-field sensor, from paper design to hardware [J]. *SPIE*, 1989, 1113:126-133.
- [10] Joseph M Hqward, Bryan D Stone. Imaging with three spherical mirrors [J]. *Applied Optics*, 2000, 39 (19) : 3216-3231.

(上接第9页)

- 光镜设计与分析[J]. *灯与照明*, 2010, 3: 18-21.
- [9] 李郑阳,冯仕猛.基于 Tracepro 软件的 LCD TV 直下式背光源均匀性仿真[J]. *液晶与显示*, 2009, 04: 86-90.
- [10] 安宇鹏,王一丁,李黎,等.采用 Tracepro 进行中红外气体检测系统的光路结构设计[J]. *激光与红外*, 2009, 11: 72-76.

(上接第12页)

- [2] 王志坚.光学工程基础[J]. *长春理工大学*, 98-101, 136-139
- [3] 王之江.实用光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 150-151.
- [4] 郁道银.工程光学[M]. 北京:机械工业出版社, 142-147.
- [5] 王志坚.光学工程原理[M]. 北京:国防工业出版社, 197-198.
- [6] 白瑜.一种改进型的红外三反射镜探测成像系统[J]. *光电技术应用*, 2013, 28(6): 31-34.
- [7] 袁莉.大口径平像场激光扩束器光学系统的研制[J]. *激光与红外*, 2007(3): 672-675.
- [8] 辛维娟.多波长激光扩束器的光学设计[J]. *光学仪器*, 2007(3): 31-34.
- [9] 胡明勇.1.064 μm 测风激光雷达扩束系统的设计[J]. *量子电子学报*, 2006(3): 467-470.
- [10] 樊丽娜.激光扩束望远镜的光学设计[J]. *红外*, 2007 (4): 20-22.