

文章编号:1002-2082(2010)06-1050-04

Zemax 软件在取样光栅对设计中的应用

汪海宾¹, 杨玖娟², 吴建宏²

(1. 江苏科技大学 数理学院, 江苏 镇江 212003;

2. 苏州大学 信息光学工程研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要: 光束取样光栅 (BSG) 是一种重要的用于光束取样诊断的衍射光学元件。以2块取样光栅代替单块光栅作为初始光学结构,运用Zemax 光学设计软件采用分步优化的方法设计了具有消像差功能的光栅对结构,此方法比采用Matlab 语言编程计算的方法消像差更快捷、更灵活,同时可以验证程序计算结果的正确性。设计结果显示:再现的会聚光经2块光栅衍射后在像平面上点列图中的均方根半径仅为 $0.506 \mu\text{m}$, 单块取样光栅的均方根半径则为 $7.284 \mu\text{m}$, 说明2块光栅能够做到像差互相矫正,其像质明显好于单块取样光栅。另外,设计出的双光栅光学系统,可进行远场光斑质量检测,为激光束性能的在线诊断提供了行之有效的技术支持。

关键词: 取样光栅; 光学设计; 分步优化; 消像差

中图分类号: TN205

文献标志码: A

Zemax in beam sampling grating-pair's design

WANG Hai-bin¹, YANG Jiu-juan², WU Jian-hong²

(1. School of Mathematics and Physics; Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 2. Institute of Information

Optical Engineering, Soochow University, Soochow 215006, China)

Abstract: Beam sampling grating is an important diffraction optical element for beam sampling diagnosis. Using two gratings as initial optical structure instead of single grating, an aberration-free structure was designed by using Zemax optical design software, which is a faster and more flexible tool for designing aberration-free grating-pair than Matlab. The method can verify the calculation result of the program. Design results show that the RMS radius of the converging light diffracted by two gratings is only $0.506 \mu\text{m}$ in spot pattern image, compared to $7.284 \mu\text{m}$ for the single grating, which indicates that two gratings can reduce aberration and improve image quality. Besides, the optical system can be used to detect far field beam, which provides effective technical support for on-line diagnosis for laser beam characteristics.

Key words: beam sampling grating; optical design; step-by-step optimization; aberration-free

引言

取样光栅是一种相位型的变周期光栅,可以看成离轴的全息波带片^[1-2],这种光栅结构以-1级衍射光束作为取样光束,其衍射效率由光栅的深度和占宽比决定^[3]。取样光栅一般用全息记录方式制

作,记录波长与取样波长不一致会造成衍射光像差大,不宜诊断远场光斑质量。若是双光栅结构,由于多出2个记录点的4个位置坐标变量,可以大大提高消像差的效果。

光栅记录点位置通常可以通过计算机编程求

收稿日期:2010-05-10; 修回日期:2010-05-26

作者简介:汪海宾(1978—),男,江苏宿迁人,江苏科技大学数理学院讲师,主要从事衍射光学及器件制作方面的研究工作。
E-mail:haibinwang1978@sina.com

解光栅方程得到。而编程计算有时过于费时、繁琐, 本文采用 Zemax 光学设计软件及其宏编程语言设计此双取样光栅结构, 通过合理设计两光栅的相对位置和偏转角度, 优化光栅记录点坐标使得像差最小。设计结果表明, 此结构能够满足实际使用需求, 为光栅设计提供了一种新的方法。

1 光学结构设计

初始结构的选取对于采用 Zemax 光学设计软件进行设计是非常重要的步骤^[4]。依据 BSG 的使用条件, 如光束取样角度、聚焦距离等确定双光栅系统结构如图 1 所示。光学结构相关参数(取样角度、聚焦距离)的设定需考虑到后期像差的矫正性。我们的目的是在此光学结构基础上优化记录参数, 进行消像差。

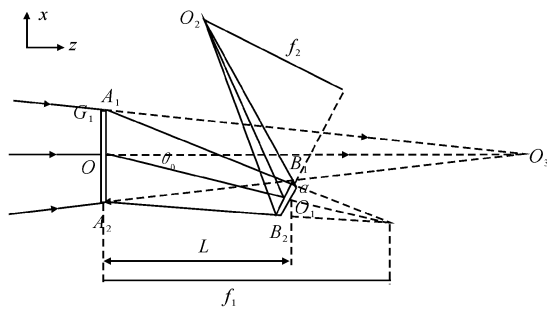


图 1 光程函数原理图

Fig. 1 Principle of optical path function

图中 f_1 、 f_2 分别为 2 光栅的取样距离。

1.1 设计原理与步骤

取样光栅作为离轴相位型菲涅耳波带片^[5], 其聚焦距离、衍射角度等是以光栅方程

$$d \cdot (\sin\theta_I - \sin\theta_C) = \pm \lambda \quad (1a)$$

或者

$$\sin\theta_I = \sin\theta_C \pm \lambda \cdot \frac{\sin\theta_O - \sin\theta_R}{\lambda_0} \quad (1b)$$

为依据, 由 2 个记录点的坐标变量 (x_o, y_o, z_o) 和 (x_R, y_R, z_R) 确定形成具有特定形貌的光栅槽型, 在一定再现条件下实现光束采样。同时这 2 个记录点坐标变量的选取是与使用条件相关的。

上式中 λ 、 λ_0 分别为再现和记录光波长, θ_I 、 θ_C 、 θ_O 、 θ_R 分别为衍射光、再现光、物光和参考光与光栅表面法线夹角, 坐标变量 (x_o, y_o, z_o) 和 (x_R, y_R, z_R) 是光栅衍射像质好坏的关键因素, 可用 Zemax 软件优化。

我们知道 Zemax 中变量初始参数的设定对优化过程会有影响, 如果参数设置不合理会使优化结

果变得十分不理想, 故对系统像质进行优化的过程中提出以下优化方案: 首先按 BSG 使用要求对第 1 块光栅进行优化; 再以第 1 块光栅的衍射光作为光栅 2 的再现光对第 2 块光栅进行单独优化; 最后建立双光栅系统结构, 以第一、二步骤优化后的光栅结构参数为初始数据对整个系统进行组合优化。

1.2 单光栅的优化设计

按照上文所述取样光栅设计原理提出优化步骤如下:

第一步: 设定表面类型。全息光栅表面特征与两支结构光束的相对位置有关, 我们选取 I 型全息表面(Hologram 1)设计上述取样光栅, 光学偏移光路由 2 个结构点坐标以及结构波长决定。

第二步: 选取优化变量, 创建 ZPL 程序。使用 Zemax 软件设计此类光栅需要用到程序设计语言 ZPL, 它是为了方便使用宏语言而特意设计的编程语言。ZPL 提供了用户自行扩展的功能。这意味着如果要做一种特别的计算或显示, 而这些功能在 Zemax 中是没有的, 那就可以自行编写 ZPL 程序来做这些工作。ZPL 程序能被储存在磁盘里并能从 Zemax 内部被调用。因此, 首先要创建 ZPL 程序, 再运行之^[6]。

在这里可变量有两支结构光束点坐标, 即物光和参考光坐标 (y_1, z_1) 、 (y_2, z_2) , ZPL 程序语言从镜头数据编辑界面中提取这 4 个优化变量, 分别求出这 2 点和光栅中心点(坐标原点)的连线与光栅法线(z 轴)夹角的正弦值 $\sin\theta_o$ 和 $\sin\theta_R$, 运用光栅方程计算衍射角的正弦值 $\sin\theta_I$ 作为优化值, 之后返回优化值供 ZPLM 优化函数调用, 进而优化坐标变量。

第三步: 利用 Zemax 优化程序进行优化。Zemax 软件提供实时观察光学系统结构和各种像差的功能, 在优化过程中, 可根据当前优化结果情况来中断优化, 及时调整优化函数种类、权重及变量初始值, 使优化值接近目标值。

1.3 组合优化

按照上述优化步骤, 完成 2 块单光栅优化后, 即可获得 4 个结构点位置坐标, 并以此作为双光栅系统结构中构建光栅的初始数据。根据已设计出的光学结构参数建立双光栅光学结构。光栅的两个位置相对光栅 1 有偏心和倾斜, 因此可在光栅 2 平面前添加断点坐标面型, 设定偏转角度。同时在优化函数编辑界面中对光栅 2 中心点位置坐标进行优化控制。最后输入初始结构数据进行优化, 求得最

佳的记录数据组合,从而使像质为最优。

2 设计实例

光栅 1 的使用条件为:口径 300 mm × 300 mm、主光束会聚点离光栅 1 中心点距离 4 000 mm、取样角度 15°,取样距离 2 000 mm,记录波长 413.1 nm、工作波长 351 nm。

建立光学结构,输入初始结构数据,优化得到光栅 1 的 2 个点光源坐标为: $R_o(0, 11.916 675, 436.136)$, $R_r(0, -51.55, 190.967)$ 。如图 2 所示点列图,爱里斑直径为 6 μm ,弥散斑均方根半径为 5.073 μm 。

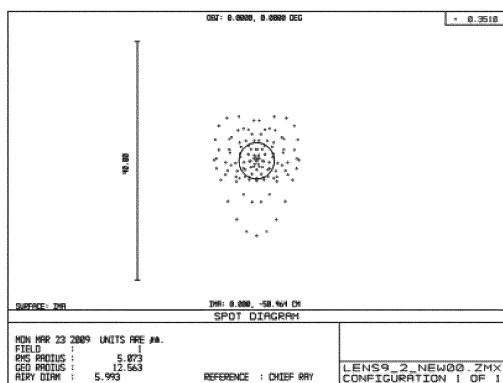


图 2 光栅 1 优化点列图

Fig. 2 Grating one optimized spot diagram

用同样的方法对光栅 2 进行优化,与光栅 1 的不同点是,在以光栅 2 中心点为坐标原点的坐标系中,取样距离 $f_2 = 961.54 \text{ mm}$,取样角度 $\varphi_0 = 44.011 7^\circ$,并以 $\theta_0 = 11^\circ$ 的会聚光进行再现。

点光源坐标优化数据结果为: $R'_o(0, 30.228, -105.765)$, $R'_r(0, 148.912, -84.780)$ 。再现透射型光路如图 3 所示。在实际应用中光栅 2 将以镀介质膜反射型元件使用。理论设计的透射型光栅与实际使用的反射型光栅在光程补偿和成像质量方面没有差别,但使用反射型元件便于实验检测光路的搭建。

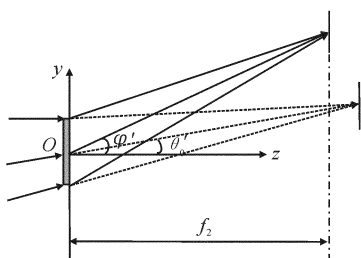


图 3 光栅二再现光路图

Fig. 3 Representation beam path of grating two

优化点列图如图 4 所示,爱里斑直径为 10.99 μm ,弥散斑均方根半径 7.284 μm ,像差比光栅 1 小。

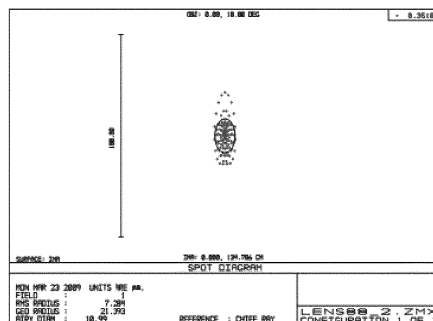


图 4 光栅 2 点列图

Fig. 4 Spot diagram of grating two

最后,在双光栅系统结构中以 R_o, R_r, R'_o, R'_r 作为初始数据对双光栅记录参数再次进行优化,最终的结构图如图 5 示,结构数据见表 1 所示。从表 1 可以看出优化数据是在初始数据 R_o, R_r, R'_o, R'_r 附近取值。在目前现有的实验条件下拍摄此取样光栅是可以完成的。

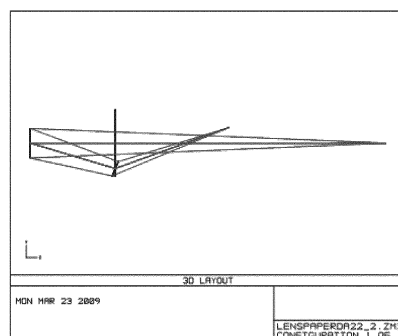


图 5 系统结构图

Fig. 5 Structure of the system

表 1 取样光栅对结构数据

Table 1 Structural data of beam sampling grating-pair

	结构点 1 坐标/cm	结构点 2 坐标/cm	口径/mm	倾斜角度/(°)
光栅 1	(10.06, 433.740)	(-57.80, 197.066)	$\Phi_1=300$	0
光栅 2	(15.678, -111.24)	(98.498, -91.482)	$\Phi_2=120$	26

3 结果评价

再现的会聚光经 2 块光栅衍射后在像平面上的点列图如图 6 所示。从图中可以得知均方根半径为 0.506 μm ,此像质较上述单块取样光栅像质(均方根半径 7.284 μm)要好得多,说明 2 块光栅能够做到像差互相矫正。另外作为对比,如果均以 100 cm 作为初始结构数据进行优化,优化结果如

图7所示。RMS值为 $36.7\ \mu\text{m}$,其像质要远远劣于分步优化的结果,而且优化时间也较分步优化的时间长。

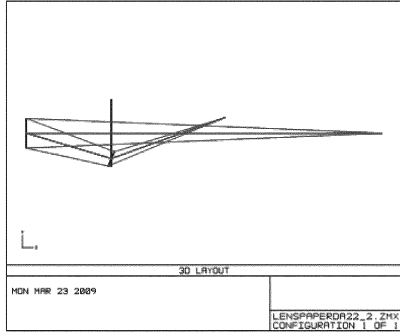


图6 系统结构点列图

Fig. 6 Spot diagram of system structure

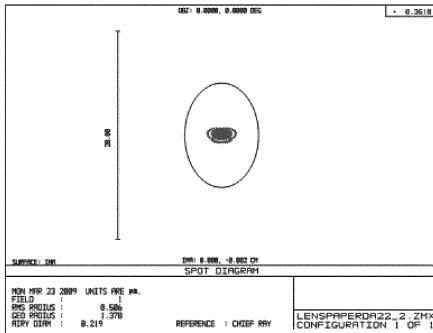


图7 均一初始值优化结果

Fig. 7 Optimization results of initial value

4 结论

以上从光栅对结构出发,利用Zemax软件,采用分步优化的方式消除光栅系统像差,免去求解像差方程组的困难,在很大程度上减少了人工运算,提高了工作效率。这样的取样光栅对结构可完成波前畸变检测的工作,为大型激光束性能评价提供了有利的帮助。

参考文献:

- [1] 高福华,曾阳素,谢世伟,等. 电子束直写制作低效取样光栅[J]. 中国激光, 2003,30(2):134-136.
GAO Fu-hua, ZENG Yang-su, XIE Shi-wei, et al. Using e-beam direct writing method to fabricate low-efficiency beam sampling grating [J]. Chinese Journal of Lasers, 2003,30(2):134-136. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 陈德伟. 采样光栅设计与衍射行为分析[J]. 激光杂志, 2006,27(3):28-29.
CHEN De-wei. Design and diffractive analysis of beam sampling grating [J]. Laser Journal, 2006,27(3):28-29. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 刘全,吴建宏,李朝明. 取样光栅的设计及衍射行为研究[J]. 激光技术, 2005,29(4):398-400.
LIU Quan, WU Jian-hong, LI Chao-ming. Design of beam sampling grating and study on its diffraction action [J]. Laser Technology, 2005,29(4):398-400. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 李朝明,吴建宏,赵艳皎,等. 高分辨率平场全息凹面光栅的研制[J]. 光电子激光, 2006,17:828-831.
LI Chao-ming, WU Jian-hong, ZHAO Yan-jia, et al. Development of flat field holographic concave gratings with high-resolution [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2006, 17: 828-831. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 王成程,马迟,郑万国,等. 70 mm×70 mm 光束取样光栅性能测试研究[J]. 光学与光电技术, 2004,2(5):27-29.
WANG Cheng-cheng MA Chi, ZHENG Wan-guo, et al. Experimental research on 70 mm×70 mm beam sampling gratings [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2004,2(5):27-29. (in Chinese with an English abstract)
- [6] Foxus Software Company. Zemax optical design program user's guide version 10. 0. 2000 [M]. USA: Foxus Software Company, 2006.