

046 大视场折/衍混合系统光学设计

贺莉清 吴海生

(上海理工大学仪器仪表学院,上海 200093)

提要:本文讨论了二元光学器件作为象质补偿器应用于大视场时的情况,并采用 Zemax 软件设计了适用于紫外波段的折/衍混合系统。光学系统的焦距 $f = 13\text{mm}$, $F/\# = 2.5$, $\lambda_c = 0.285\mu\text{m}$, $2\omega = 60^\circ$ 。通过比较两种材料和两种平衡象差的方案,得到了满意的设计结果。

关键词:二元光学,象差,相位

Optical design of hybrid reflective/ diffractive system in large field

He Liqing Wu Haisheng

(Instrumentation College, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract: It was discussed that binary optical element was as aberrations corrector in large field in this article. Using Zemax optical design program we designed a Hybrid Reflective/ Diffractive System used in UV light. The system with the following parameters: $f = 13\text{mm}$, $F/\# = 2.5$, $\lambda_c = 0.285\mu\text{m}$, $2\omega = 60^\circ$. We obtained the satisfying results by comparing two material and two designs.

Key words: binary optics, aberrations, phases

1 引言

二元光学器件因其具有许多卓越的、传统光学难以具备的功能,从而有力地促进了光学系统实现微型化、阵列化和集成化,开辟了光学领域的新视野^[1]。在传统光学表面上蚀刻成多阶的浮雕结构,形成纯相位面可补偿原系统的象差。一个纯相位型衍射光学元件,当台阶数为 8 时其衍射效率近 95%。二元光学元件又具有不同于折射元件的色散特性,在折射光学系统中可同时纠正球差和色差。光学系统中应用二元光学元件,还可简化结构,减轻重量,改善光学系统的质量,所以为光学设计者所青睐。随着制造技术的进步和设计软件的完善,二元光学的应用在国内也已成为事实^[2,3]。本文结合实际工作的需要尝试应用了二元光学器件,光学系统的主系统为同心对置的二个折射球面,光阑位于球心处,系统的相对孔径为 1:2.5,视场 $2\omega = 60^\circ$ 。由整个光学系统的处理方法决定了主系统可不考虑场曲和畸变,因此主系统待纠正的象差为球差和色差。系统应用于紫外波段,中心波长 $\lambda_c = 0.285\mu\text{m}$,因此可选用的材料有限,设计中曾分别取石英和蓝宝石作为主系统的材料,结果表明用石英作主系统材料,即使应用了二元光学器件,也难以满意地校正象差。

2 系统设计

2.1 主系统的象差

主系统的材料为蓝宝石,球透镜的半径为 12mm。

设计波段从 $0.127\mu\text{m} \sim 0.130\mu\text{m}$,入瞳直径 $\Phi_A = 5.3\text{mm}$,视场 $2\omega = 60^\circ$ 。 $\omega = 0$ 时,波差曲线如图 1 所示。

2.1.2 二元光学相位函数

旋转对称的二元光学衍射面的相位函数表示形式为^[1]:

$$\phi(r) = \frac{2\pi}{\lambda} (A_\lambda r^2 + G_\lambda r^4 + \dots) \quad (1)$$

式中, A_λ 为二次相位系数,决定该面的旁轴光焦距,对于某一确定的二元光学器件, A_λ 与使用波长 λ 成正比,故此项一般用于校正系统色差, G_λ 等为非球面相位系数,多用于校正系统的各级球差。

我们使用的 Zemax 软件^[4],其相位变化表达如下:

$$\phi = A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6 + \dots + A_i r^{2i} \quad (i \text{ 为正整数}) \quad (2)$$

其中 r 为归一化的孔径值, A_i 为第 $2i$ 次项的系数。公式(1)和(2)的形式虽然不同,但表达的意义是相同的。 A_1 项也是用于校正系统的色差, A_2, A_3, A_4 等项用于校正系统的高级象差。根据系统实际需要,本设计只需取前两项系数就足够了。

2.1.3 两种设计方案的波象差

由于系统视场较大,我们做了二种设计方案。

(1)对中心视场校正球差和色差。中心视场象质得到很好的校正,边缘视场象质很差,但色差还是很好,系统的剩余象差如图 2 所示。

(2)对整个视场校正象差。象质如图 3 所示,整个系统象质一致性较好,但系统色差改善不大。

214 两种设计方案的点扩散函数

当我们进一步比较两种设计方案在小视场处的点扩散函数时,发现二者点扩散函数散布近似,能量集中

度仍然好,图 4 和图 5 为两种校正方案在 $\omega = 0$ 时的点扩散函数图。

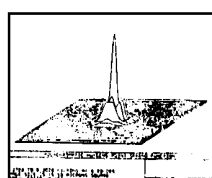
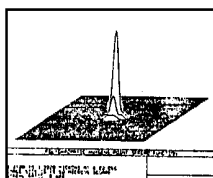
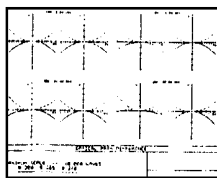
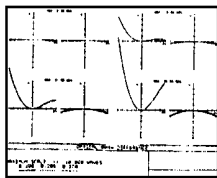
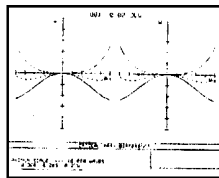


图 1 主系统未加二元光学时的波象差

图 2 方案 1 的剩余波差

图 3 方案 2 的剩余波差

图 4 方案 1 的 Huygens 点扩散函数

图 5 方案 2 的 Huygens 点扩散函数

在分析比较两种方案后,我们采用了全视场平衡方案。

3 设计结果

311 二元光学参数

选择设计方案还基于制作难易考虑。

校正方案 1,二元光学器件的相位系数 $A_1 = -589.85$, $A_2 = 30.54$,在直径为 3106mm 的范围内需分割 89 环,当二元量化后台阶数为 8 时,最细环的台阶宽 $b = 1.14\mu\text{m}$ 。

校正方案 2,二元光学器件的相位系数 $A_1 = -105.97$, $A_2 = 25.94$,在相同的直径范围内仅需分割 13 环,最细环的台阶宽 $b = 10.32\mu\text{m}$ 。

两种方案相比较,方案 2 则易于制作。

312 二元光学器件的二元量化

由于采用 Zemax 软件进行设计,为简化运算,归一化孔径值 r 取实际光阑的半孔径值。

31211 半径和环数计算

由公式(2)得

$$-2\pi n = A_1 r^2 + A_2 r^4 \quad (n = 0, 1, 2, \dots, n_{\max}) \quad (3)$$

可得各环半径:

$$r_n = 1.53 \times \sqrt{\frac{A_1 - \sqrt{A_1^2 - 8\pi \times n \times A_2}}{2 \times A_2}} \quad (4)$$

最大环数为:

$$n_{\max} = \text{int} \left[\frac{|A_1 + A_2|}{2 \times \pi} \right] \quad (5)$$

31212 台阶深度计算

当台阶数 $L = 8$ 时,每一台阶的深度为:

$$h = \frac{n_2 \lambda_c}{|n_1 - n_2| \times L} \quad (6)$$

其中 n_1, n_2 分别为二元光学面两侧空间的折射率。

4 结论

设计实践表明:

(1)用纯相位型的二元光学器件校正主系统的象差时,若系统视场较大,宜采用全视场平衡方案,使大视场的象质得到照顾,但相对孔径不宜大,因为采用全视场平衡方案,系统的色差未能很好校正。加入这样的二元光学器件对系统总焦距影响很小。

(2)对于相对孔径较大的系统,则视场不能太大,这时应采用中心视场校正方案,其结果系统的色差得到很好的校正,中心视场的点扩散函数几乎达到理想状态。加入这样的二元光学器件将明显影响系统总焦距。

(3)校正方案的选择要注意到制作的难度,过多、过细的环带在引入制造误差后其实际效果将不会理想。采用中心视场校正方案,相位函数中二次方项系数与四次方项系数相差很大,导致环带密度增加,对制造不利。

参考文献

- [1] 金国藩,严瑛白,邬敏贤,等 1 二元光学 1 北京:国防工业出版社,1998,1~16,182
- [2] 赵丽萍,邬敏贤,金国藩,严瑛白 1 折衍混合单透镜的色球差校正研究 1 光学学报,1998,31(5):621~626
- [3] 周崇喜,林大键,等 1 二元光学反/衍混合 Schmidt 望远系统光学设计 1 光学学报,1998,31(5):627~630
- [4] Focus Software, ZEMAX Optical Design Program User's Guide, Version 6.0, 11-22~11-23