

文章编号: 1005-5630(2006)01-0039-05

用 Zemax 设计非球面补偿系统^{*}

王 宝

(上海大学, 上海 200072)

摘要: 非球抛物面反射镜在许多光学系统中被采用, 但加工检验较难。介绍在 Zemax 中用 RAID 优化控制设计零位补偿系统。设计既方便, 加工又容易, 是一种较好的方法。

关键词: Zemax; RAID; 零位补偿

中图分类号: O435

文献标识码: A

Design compensation system of parabolic mirror in Zemax

WANG Bao

(Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract Parabolic mirror is used widely in optical systems, but difficultly being made and tested. This article introduces a better way to design with RAID optimization compensation in Zemax software, which turns to be practical and convenient with good result.

Key words: Zemax; RAID; zero compensation

1 引言

随着高精度非球面光学元件在光学系统中的广泛应用, 非球面的加工和检验技术也受到了越来越多的重视, 特别是在天文望远镜中非球抛物面使用的最多。因此研究抛物面的加工和检验就更加必要。

通常是在抛物面的焦点上放一点光源经抛物面反射成平行光又经平面反射镜按原路自准回去, 这样平面反射镜口径至少大于或等于抛物镜的口镜。由于目前大口径平面反射镜的加工难度仍很大, 因此就出现了用两个小透镜(甚至为两个平凸小透镜)的补偿系统。实际上是用一个小透镜或两个小透镜产生与抛物面镜等值反符号像差来完成这一工作的。

2 由抛物反射镜产生的初级球面像差:

$$W_{040} = 1/32y^4\psi Q \quad (1)$$

式(1)中, W_{040} : 初级球面波像差; y : 光线在透镜上的高度; ψ : 光焦度; Q : 结构球面像差系数。

$$Q = Y + k$$

在抛物反射镜球心时:

$$Y = 0, Q = K,$$

$$W_{040} = 1/32y^4\psi K \quad (2)$$

例:

* 收稿日期: 2005-03-17

作者简介: 王 宝(1936-), 男, 山西大同人, 教授, 主要从事光学系统设计方面的研究。

设计 $f = 1250\text{mm}$, 口径 = 300mm 抛物面反射镜的补偿系统。

由公式(2)得:

$K = -1$ 抛物面反射镜

$y = 150\text{mm}$, $f = 1250\text{mm}$

$$\begin{aligned} W_{040} &= -1/512 \times (f/D)^4 \times f \\ &= -0.0081\text{mm} \\ &= -12.8\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

由(3)式说明像差分别与抛物反射镜相对孔径的四次方和抛物反射镜焦距一次方成正比。相对孔径越大, 焦距越长, 像差也大。

3 求由抛物面反射镜和两单透镜组成的初始光学系统

3.1 求系统的初始结构(详见图 1)

补偿系统由透镜 1 和透镜 2 两个组成。透镜 2 放在抛物反射镜的球心, 叫零位透镜, 假设距离透镜 1 为 $L_1 = 600\text{mm}$ 处有一物点 A, 经透镜 1 成像处放透镜 2, 而透镜 2 又把透镜 1 成像在抛物镜上。

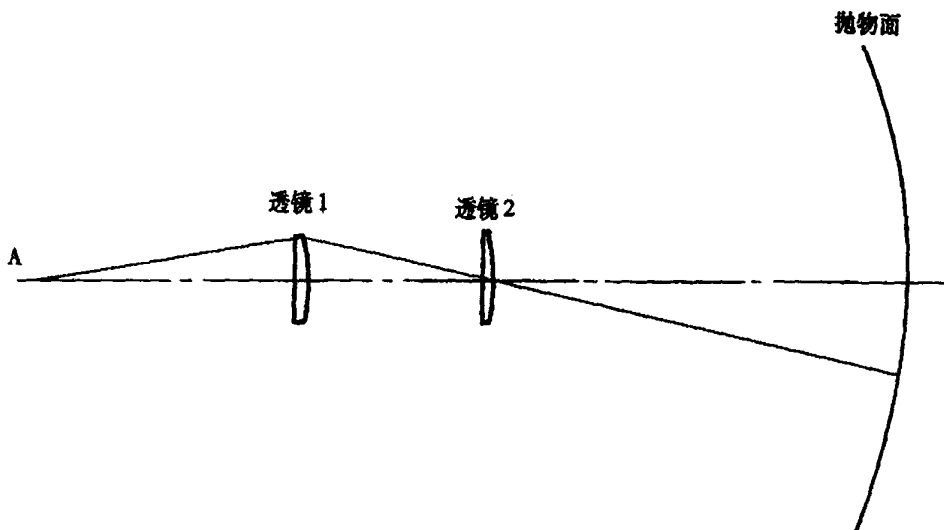


图 1 初始结构光系统流筒图

抛物面反射镜的半径:

$$R = 1250\text{mm} \times 2$$

$$\tan @ = 150/2500 = 0.06$$

$$@ = 3.4336^\circ$$

设零位透镜(放在抛物镜的球心)和透镜 1 的距离为 L_2 :

$$L_2 = 360\text{mm}, L_2 \approx 2500\text{mm}。$$

因此:

$$f_2 = 1/L_2 - 1/L_2 = 1/360 + 1/2500, f_2 = 314.69\text{mm}。$$

设透镜 2(零位透镜)为平凸透镜, 材料 K9:

$$r_4 = (n-1) \times f_2 = -162.09\text{mm}, \text{厚度 } d = 5\text{mm}。$$

由于 $L_1 \approx L_2$, 而透镜 1 的半口径为 y_1 ,

$$y_1 = L_1 \times \tan @ = 360 \times \tan @ = 360 \times 0.06 = 21.6\text{mm}$$

又设 $L_1 = 600\text{mm}$

因此: $1/f_1 = 1/L_1 - 1/L_1, f_1 = 225\text{mm}$

设透镜 1 为平凸透镜且用材料 K9, He-Ne 光的折射率为 1.51509。则:

$r_2 = (n - 1) \times f_1 = 0.51509 \times 225 = -115.895 \text{ mm}$, 厚度 $d = 10 \text{ mm}$ 。

3.2 求透镜产生的球差

由(1)式, 其中:

$Q = (aX^2 - bXY + cY^2 + d)$ (4)

其中:

$$a = (2 + n) / [n(n - 1)(n - 1)]$$
$$c = (3n + 2) / n$$
$$X = (C_1 + C_2) / (C_1 - C_2)$$
$$m = l' / l$$

$$b = 4(n + 1) / [n(n - 1)]$$
$$d = n \cdot n / [(n - 1) \times (n - 1)]$$
$$Y = (1 + m) / (1 - m)$$

X : 形状因子;
 C_1 : 第一面的曲率;
 m : 近轴放大率。
 Y : 与放大率有关因子;
 C_2 : 第二面的曲率;

在此情况下, $X = -1$ 。

把以上值代入(4)式得:

$Q = 8.744 + 12.8912Y + 4.32Y^2 + 8.6519$
 $m = -0.6 \quad Y = 0.25 \quad Q = 20.889$

把以上值代入(1)式得:

$W_{040} = 1/32 \times 21.6/225 \times 21.6/225 \times 21.6/225 \times 21.6 \times 20.889 = 0.01247 \text{ mm} = 19.71 \lambda$

通过以上计算可以看出透镜 1 与抛物反射镜的像差符号相反。它是产生像差的主要元件。透镜 2 处在抛物反射镜的球心几乎不产生像差, 因透镜有一定的厚度, 故在实际计算时它偏离了抛物镜的球心, 它与透镜 1 共同组成一个补偿系统来校正抛物镜的像差。

4 计算抛物面反射镜和两单透镜组成的初始光学系统

由光源发出的光经透镜 1、透镜 2 及抛物反射镜反射后按原路回来, 由于像差的存在不回到原来的位置, 不同口径的光线回到不同的位置成不完善的像(详见图 2)。

把上面求出的半径, 厚度, 间隔, 距离, 玻璃的折射率输入 Zemax^[1](见表 1)。利用程序中的

(1) Pick Up 控制: 顺光路和逆光路同一半径等值同号;

控制: 顺光路和逆光路同一间隔, 厚度等值异号;

(2) RAYD 控制: 实际入射光线与指定表面的法线的夹角。

在 MFE 控制中用入瞳口径 PY 为 0.25, 0.5, 0.75, 1 的孔径角进行计算和优化。它们的权重为 1。在优化中可以根据情况来修正权重, 也可根据情况增加入射光线条数。

表 1 Zemax 软件数据输入表

序号	半径	厚度	玻璃	直径	二次修正函数
物面 0	∞	600			
1	∞	10	BK7	43.23	
2	-115.895	360		43.61	
3	∞	5	BK7	2.07	
4	-162.09	5		2.49	
5	∞	2500		3.08	
光阑面 6	-2500	-2500	反射面	298.06	-1
7	∞	-5		2.03	
8	-162.09	-5	BK7	2.63	
9	∞	-360		3.00	
10	-115.895	-10	BK7	43.49	
11	∞	-545.5076		43.04	
像面 12	∞			3.63	

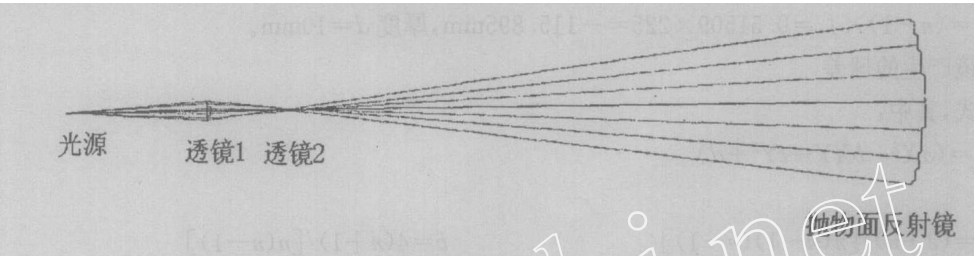


图 2 光学系统图

从图 3 中看出它的传递函数(MTF)很低; 图 4 中看出它的波像差(OPD)很大, 达 40 个波长, 系统像差未得到补偿。

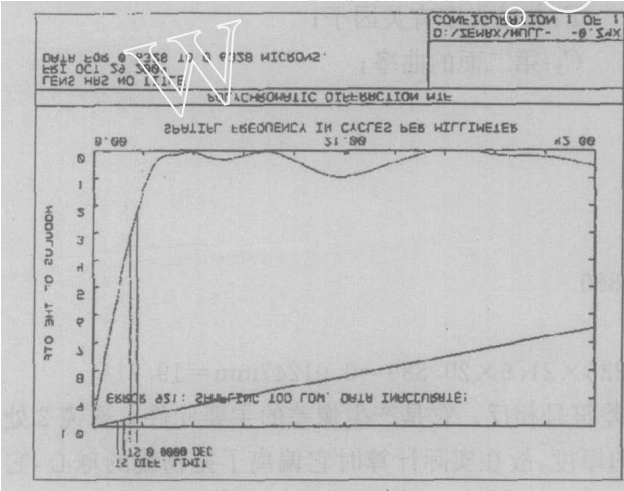


图 3 初始系统的MTF图

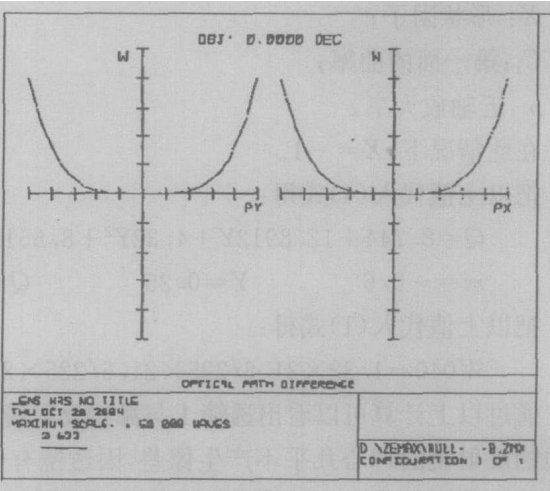


图 4 初始系统的OPD图

5 经 Zemax 优化, 求补偿透镜参数

表 2 为设计的结果: Zemax 软件数据输出表。

表 2 Zemax 软件数据输出表

序号	半径	厚度	玻璃	直径	二次修正系数
物面 0	∞	334 4888			
1	∞	10	BK7	24 769	
2	- 80 2427	168 4849		25 209	
3	∞	5	BK7	9 934	
4	- 162 09	84 20237		9 642	
5	∞	2500		0 553	
光阑面 6	- 2500	- 2500	反射面	302 44	- 1
7	∞	- 84 20237		0 553	
8	- 162 09	- 5	BK7	9 642	
9	∞	- 168 4849		9 935	
10	- 80 2427	- 10	BK7	25 209	
11	∞	- 334 4914		24 77	
像面 12	∞			0 000758	

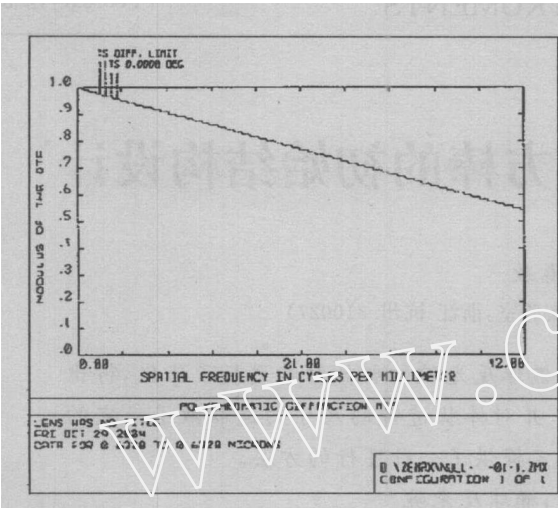


图 5 径 Zemax 优化后的 MTF 图

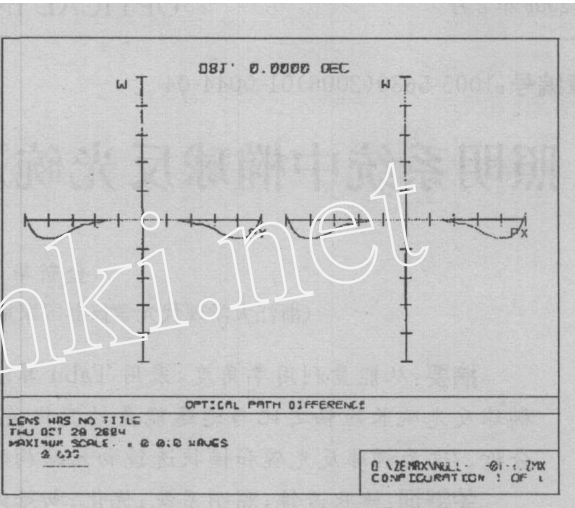


图 6 径 Zemax 优化后的 OPD 图

从图 5 中看出它的传递函数很高, 已达到衍射极限; 图 6 中看出它的波像差很小, 在 0.01 波长以内, 系统像差已得到补偿。表 2 为设计的结果。从表 2 中看出加工一个 302mm 的抛物反射镜, 只用两个平凸透镜, 大的 25mm, 小的 10mm, 大大降低了加工难度。

6 参考文献

[1] ZEMAX Development Corporation. ZEMAX Optical Design Program User's Guide[Z]. San Diego: ZEMAX Development Corporation, 2004.

消 息

英利用半导体芯片实现光子纠缠态
向实现量子计算迈进一步

英国科学家不久前利用一个半导体芯片实现了光子纠缠态, 向实现量子计算又迈进了一步。该研究报告发表在 1 月上旬的英国《自然》杂志上。

所谓纠缠态是指无论距离远近, 两粒子的状态表现完全一样的一种奇妙现象, 爱因斯坦将其称为“鬼魅行为”。科学家认为, 实现粒子的纠缠态对制造量子计算机和量子编码极为重要。此前, 科学家曾利用激光实现了光子纠缠。

此次, 设在英国剑桥的东芝欧洲研究中心和剑桥大学的科学家制造出一种硅芯片, 该芯片上有一个纳米尺寸的量子点。而这个量子点便是一个半导体晶体, 像原子一样具有持续的能量状态, 并且能在光作用下产生光子。

研究人员发现, 这个量子的形状直接决定是否会产生纠缠态的光子对, 而量子点的形状则可以通过量子点的设计或利用外部磁场来控制。

(摘自《科技日报》)