

文章编号:1672-7010(2008)01-0070-05

照相镜头设计中非球面的应用

张前平,邓冈锋,曾阳素

(湖南师范大学 物理与信息科学学院,湖南 长沙 410081)

摘 要: 利用非球面在改善成像质量方面的优势,在镜头设计过程中引入了偶次非球面,根据理论计算和ZEMAX软件的优化,设计出一个成像质量优良的高斯镜头,通过该实例对球面设计和非球面设计进行了比较,论证了非球面在照相镜头设计中的优越性。

关 键 词: 像差;非球面;ZEMAX;高斯镜头

中图分类号: TB811

文献标识码: A

Application of Asphere in the Design of the camera lens

ZHANG Qian-ping, DENG Gang-feng, ZENG Yang-su

(College of Physics and Information Science, Hunan Normal University, Changsha, 410081)

Abstract: To improve the imaging quality of camera lens, a Gauss camera lens with high imaging quality is designed with even aspheric surfaces by calculation and optimization of optical design software ZEMAX. It is proved that aspherical surface is superior to spherical surface in camera lens design.

Key words: aberration; aspheric surface; ZEMAX; Gauss lens

引言

利用非球面折射表面代替球面折射表面是当前照相镜头发展的主要方向之一。照相镜头中使用非球面透镜可以提高镜头的成像质量和光学性能,使镜头结构简化,以及降低镜头的生产成本^[1]。近年来,随着电子技术和非球面加工检测技术的不断进步,非球面透镜已经在照相镜头设计中已经得到了极其广泛的应用。本文主要介绍了非球面的像差理论,对非球面的设计进行了分析,通过实例对非球面在消像差提高成像质量方面的优越性做了讨论和比较。

1 非球面

1.1 非球面介绍

非球面镜头的历史悠久,它在光学设计中的应用最早可追溯到17世纪,但真正使非球面在照相镜头中起主导作用的还是1992年美能达公司推出的APEX90照相机中所使用的38~90mm非球面镜头,

它由2组4片透镜构成,其中包含了2片两面都是非球面的透镜,作为变焦镜头,真正实现了“理论最少构成片数”,达到了小型化和低成本的要求^[2]。

球面透镜从中心到边缘只有一个恒定的曲率,在设计过程中只有一个设计自由度;而非球面透镜从中心到边缘曲率连续发生变化,理论上说有无限个设计自由度,因此在消像差方面与球面透镜相比有着巨大的优势。由于照相透镜的视场和相对孔径都比较大,为了保证成像质量,在设计时一般需要校正控制全部七种初级像差,如果仅用球面透镜来校正,常常需要采用多个透镜组合的复杂结构,并且对于特殊的高级镜头,仅仅用球面透镜有时不能使像差校正到用户的满意程度。而应用非球面透镜则可以解决这个问题。球面透镜的非球面化可以很好的校正镜头的像差,已经成为光学像差校正的有力手段。

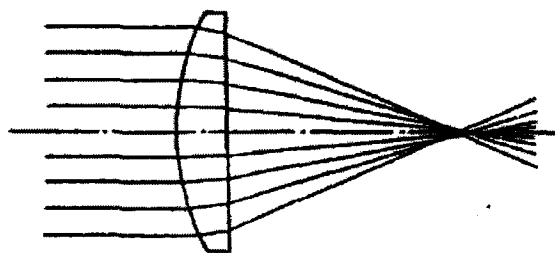


图1 球面透镜产生的像差

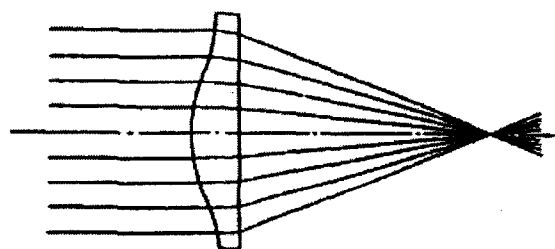


图2 非球面透镜的理想成像

1.2 非球面设计分析

照相镜头中常用的非球面一般为轴对称旋转非球面,ZEMAX 设计软件中常用的是偶次非球面,其表达式为^[3]:

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

式中 c 为顶点曲率, r 为光线与曲面交点到光轴的距离, k 为二次曲线常数 ($k=0$ 时即为球面), $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ 为非球面高次项系数, 当 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ 都为 0 时方程即为二次曲面。

球面透镜光学系统的初级单色像差表达式为^[4]:

$$\begin{aligned} S_I &= \sum h p \\ S_{II} &= \sum h_p P - J \sum W \\ S_{III} &= \sum \frac{h_p^2}{h} P - 2J \sum \frac{h_p}{h} W + J^2 \sum \Phi \\ S_{IV} &= J^2 \sum \frac{\Phi}{h} \\ S_V &= \sum \frac{h_p^3}{h^2} P - 3J \sum \frac{h_p^2}{h^2} W + J^2 \sum \frac{h_p}{h} \Phi \left(3 + \frac{1}{n}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

非球面可以看作是由球面与一个中心厚度无限薄的校正板的叠合, 此校正板引起的各初级像差相应增量为^[5]:

$$\begin{aligned} \Delta S_I &= h^4 K & \Delta S_{II} &= \Delta S_I \frac{h_p}{h} \\ \Delta S_{III} &= \Delta S_I \left(\frac{h_p}{h}\right)^2 & \Delta S_{IV} &= 0 \\ \Delta S_V &= \Delta S_I \left(\frac{h_p}{h}\right)^3 \end{aligned} \quad (3)$$

则非球面的各单色像差系数为:

$$\begin{aligned} S_I' &= S_I + \Delta S_I \\ S_{II}' &= S_{II} + \Delta S_I h_p / h \\ S_{III}' &= S_{III} + \Delta S_I (h_p / h)^2 \\ S_{IV}' &= S_{IV} \\ S_V' &= S_V + \Delta S_I (h_p / h)^3 \end{aligned} \quad (4)$$

以上各式中: h 为第一近轴光线在非球面上的人射高度; h_p 为近轴主光线在非球面上的人射高度; P 、 W 为基本像差参量; Φ 为光焦度; K 为与非球面系数相关的参量。

利用非球面对光学系统进行校正时, 首先应根据非球面的像差校正作用确定非球面的位置, 一般来说, 在光阑附近使用非球面主要是校正与孔径有关的像差, 在远离光阑的位置使用非球面主要是校正与视场有关的像差^[6]。确定了非球面的位置以后, 根据具体的设计要求给定一个系统所要求达到的像差目标值, 把此像差目标值和球面系统的像差值代入公式(4)求出 K , 根据 K 值即可求出标准二次曲面的离心率。

2 设计实例

双高斯结构是摄影镜头中常见的结构, 本实例是从 OSLO 软件样本库中提取一个高斯镜头作为初始结构, 通过计算和 ZEMAX 光学设计软件的优化, 进行镜头设计。最终的设计结果如图 3 所示, 其焦距 $f=50\text{mm}$, 视场为 40° , $F/\#$ 为 2。采用了 2 个非球面, 即第 10 面和第 11 面, 都为 10 次方非球面。非球面参数如表 1 所示。

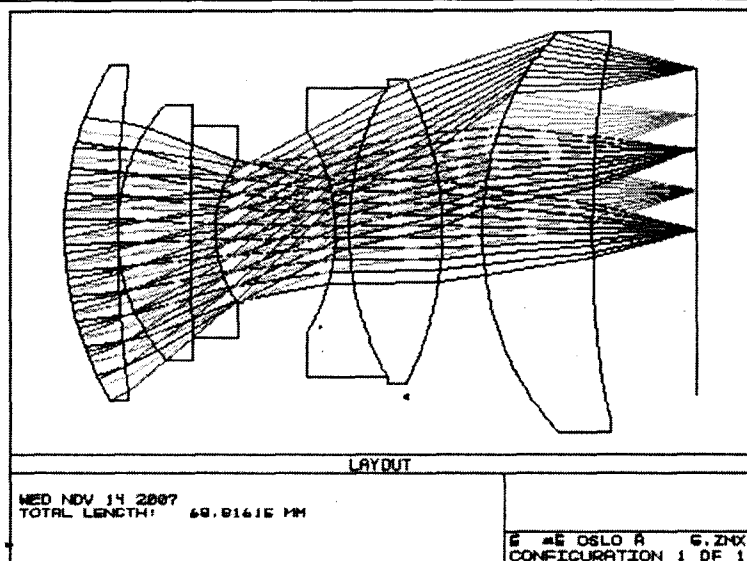


图 3 优化后结构示意图

表 1 非球面参数

Surface	Conic	6th Order Term	8th Order Term	10th Order Term
10	-0.744632	1.513783E-008	-2.365948E-011	2.737141E-014
11	34.273288	5.780680E-009	-7.698267E-012	8.682841E-015

优化结果各视场的畸变小于 2.5%。图 4、图 5 分别为优化前后的球差,从图可知,球差从优化前的 $\pm 0.5\text{mm}$ 的范围降低为 $\pm 0.1\text{mm}$ 的范围,球差得到非常有效的改善;图 6、图 7 为优化前后的场曲图,场曲由优化前的 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围降低为 $\pm 0.2\text{mm}$ 的范围,也得到了有效的改善;Ray Fan 图可以从整体上描述系统像差的情况,图 8 和图 9 分别为优化前后的 Ray Fan 图,从图看出,经过采用非球面优化

以后,系统的像差得到了极大的改善.系统像差的改善最终也在该镜头成像质量上得到了体现,图 10 和图 11 分别为优化前后的系统 MTF 图,经过优化,镜头各视场的 MTF 值都提高到 0.4 以上,在 50 线对/毫米的空间频率处,轴上 MTF 值为 0.659,0.7 视场子午和弧矢 MTF 值分别为 0.461 和 0.456,视场边缘子午和弧矢 MTF 值分别为 0.426 和 0.409,以上指标表明该镜头成像质量优良,可以用在摄影系统中。

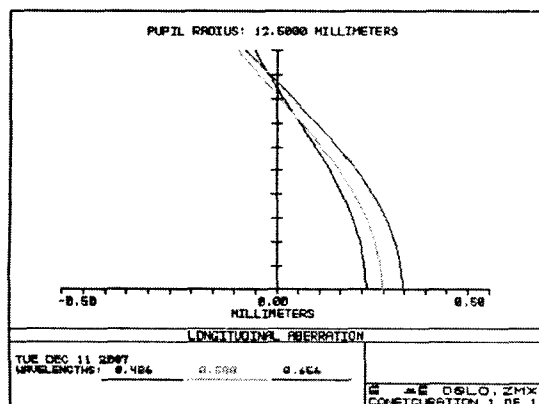


图 4 初始球差

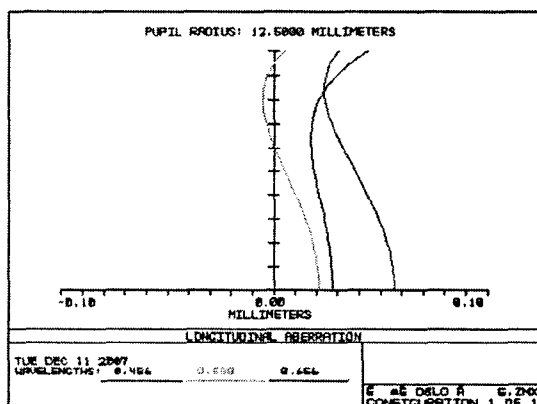


图 5 优化后球差

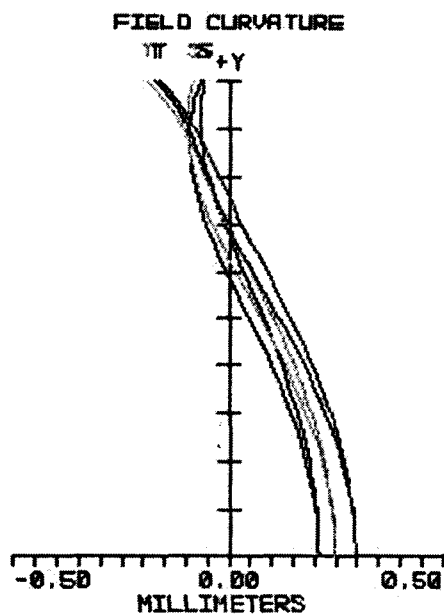


图 6 初始场曲

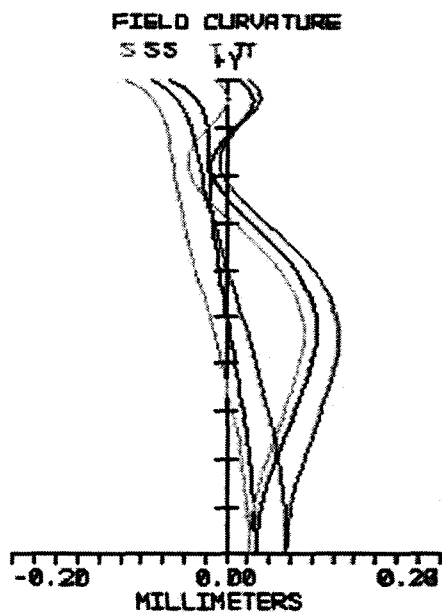


图 7 优化后场曲

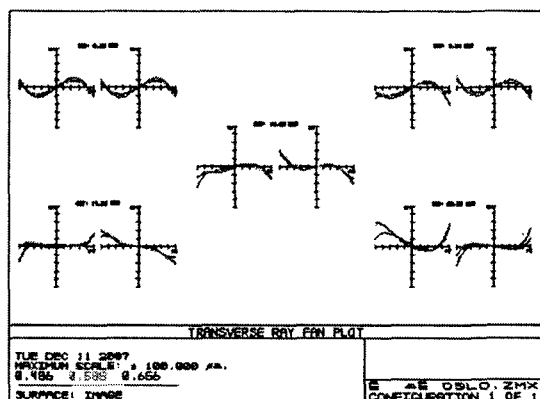


图 8 初始 Ray Fan 图

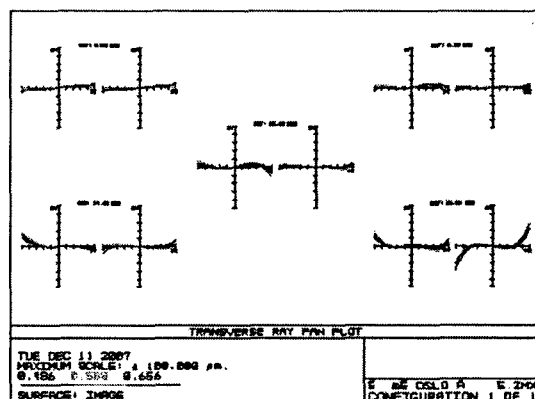


图 9 优化后 Ray Fan 图

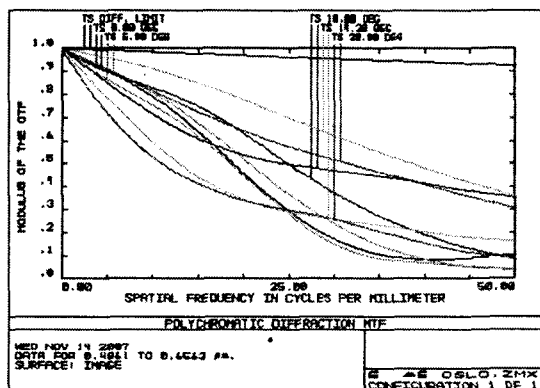


图 10 初始 MTF 图

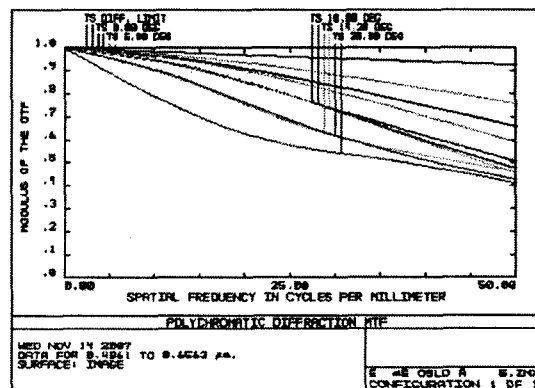


图 11 优化后 MTF 图

3 结束语

利用非球面在消除像差方面的优势, 在照相镜头的设计过程中引入非球面, 可以有效的提高镜头的成像质量. 本文利用非球面对一初始高斯镜头进

行优化, 通过理论计算和 ZEMAX 软件的优化, 给出了一个非球面照相镜头的设计实例, 各项数据表明了非球面在照相镜头设计中的优越性. 有理由相信, 随着非球面加工检测技术的进一步提高, 非球面在

照相镜头的设计中将会得到更广泛的应用.

参考文献:

- [1] 吴启海. 非球面摄影镜头的主要特性及使用现状[J]. 照相机, 2000, (2): 11-14.
- [2] 包学诚, 吴启海. 现代照相镜头[M]. 北京: 中国摄影出版社, 2002.
- [3] 潘君骅. 光学非球面的设计、加工与检验[M]. 苏州: 苏

州大学出版社, 2004.

- [4] 萧泽新. 工程光学设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 张以谟. 应用光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [6] 杨相利, 钟伯亮, 丁洪兴. 非球面塑料透镜在小型变焦照相机摄影光学系统中的应用[J]. 照相机, 2000, (1): 4-6.