

文章编号 1004-924X(2007)04-0486-06

一种新型复合摄像物镜的设计

杨皓明¹, 王灵杰², 冯秀恒²

- (1. 南开大学 现代光学研究所 光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300071;
2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 讨论了一种新的双高斯型与 Topogon 型复合的光学系统。新型结构是在传统结构的基础上, 于光阑附近增加一个光焦度不大的负薄透镜, 降低了系统的高级负球差, 减小量为 -0.0794 , 而增加的 -0.1107 的高级负像散与初始设计的高级正像散抵消, 并产生了一 0.0682 的高级负场曲抵消原有的正场曲, 使像散和场曲的校正得到明显改善, 成像质量显著提高, 特别是 1 视场 MTF 从 0.112 提高到 0.493。

关键词: 摄像物镜; 折射; 光学设计

中图分类号: TB851.1 **文献标识码:** A

Design of a new complex imaging object lens

YANG Hao-ming¹, WANG Ling-jie², FENG Xiu-heng²

- (1. *Key Laboratory of Opto-electronic Information Science and Technology of the Ministry of Education, Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China;*
2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: Two designing results of a complex imaging object lens and its advanced design method are described. A thin lens with less power is added near the stop location in the advanced design, which can reduce 5th negative spherical aberration and give 5th negative astigmatic (-0.1107) to match the 5th positive astigmatic given by the former design. It also gives -0.0628 negative field curve. The astigmatic and field curve are obviously improved to get a better image, Especially, the value of MTF in 1 field is 0.493 in advanced design.

Key words: image object lens; refraction; optical design

1 引言

摄像物镜在其长期的设计实践中, 出现了很多典型的光学系统结构形式^[1-3], 如 Petzval 型、三

片型、双高斯型、Orthometar 型、Topogon 型、Russar 型, 以及远摄型、反远摄型等等。其中有些结构形式及其复杂化可以增大相对孔径, 有些结构形式及其复杂化可以扩大视场角, 也可以用上述典型结构的复合型及其复杂化, 兼顾增大相

对孔径和扩大视场角^[4]。

但是,无论是典型结构及其复杂化,还是上述典型结构复合型及其复杂化,在成像质量方面均存在局限性。为了提高相对孔径,各种高级球差成为像差校正的主要障碍,而为了扩大视场角,像散和场曲(有时还有彗差和轴外球差)则成为像差校正的主要障碍。因此本文提出了一种新型的光学设计方案。该方案不仅可以降低各种高级球差,而且可以校正像散和场曲,同时兼顾增大相对孔径和扩大视场角。

2 主要技术指标

主要技术指标如表1所示:

表1 主要性能指标

Tab.1 Main performance

项目名称	指 标
焦 距	81 mm
相对孔径	1:2
视 场 角	全视场角 25~28°
光谱波段	500~730 nm
主 波 长	589.29 nm
MTF	40 lp/mm > 0.40
弥 散 圆	0.707 视场内, 80% 能量集中度 < 0.028 mm
畸 变	< 0.03%

3 初始设计^[5,6]

从主要技术指标的要求可以看出,光学系统的相对孔径比较大,视场角虽然不是很大,但中心视场与边缘视场的像质和能量集中度趋近一致,才能满足技术指标要求,所以应当按照较大视场角的要求对待。为此,选择双高斯型与 Topogon 型的复合结构,前半部为双高斯型,是出于增大相对孔径的考虑,可是又不能对双高斯型复杂化,以免因光焦度前移缩短后工作距离而放不下分光棱镜;后半部为 Topogon 型,是出于扩大视场角的考虑,而对 Topogon 型复杂化,在后面增加一片近于不晕的透镜,则是为了在比较大的相对孔径下,不产生很大的高级像差。

初始设计结果的结构型式如图1所示。

该初始设计中,光阑前后两个半径很小,负光焦度较大,产生较大的高级负球差。又因为光学系统中具有与光阑不同心的半径,所以随着视场

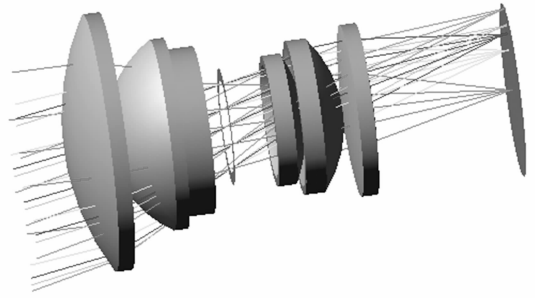


图1 初始设计结构型式

Fig.1 Layout of original design

角的增大而产生较大的高级正像散,这是初始设计的主要缺陷。

初始设计结果的各种像差初级量,高级量和实际值如表2所示。

表2 像差比较

Tab.2 Comparing of aberrations

项目名称	初级量	高级量	实际值
球 差(LA)	0.284 6	-0.268 8	0.015 8
像 散(AST)	-0.111 4	0.165 3	0.053 9
弧矢场曲(XS)	0.185 2	-0.028 6	0.156 6
畸 变(DT)	0.001 17	-0.001 55	-0.000 38

表3所列为各视场传递函数值。其中S代表弧矢方向,T代表子午方向。Nyquist 截止频率为40 pl/mm。

表3 MTF值

Tab.3 MTFs

视 场	0	0.5	0.707	0.85	1
MTF 值	0.621	S0.517 T0.526	S0.419 T0.418	S0.369 T0.247	S0.369 T0.112

从表3可知,随着视场角的增大,MTF下降很快,全视场子午光线的MTF更低,仅为0.112。0.707视场80%能量集中度为0.04 mm,全视场80%能量集中度为0.05 mm,超出了<0.028 mm的容限,可见该设计不能满足指标要求。

图2为各视场像差曲线;图3为各视场波像差曲线;图4为各波长球差,像散和畸变曲线;图5为各视场MTF曲线;图6为各视场MTF离焦曲线;图7为各视场能量集中度曲线。

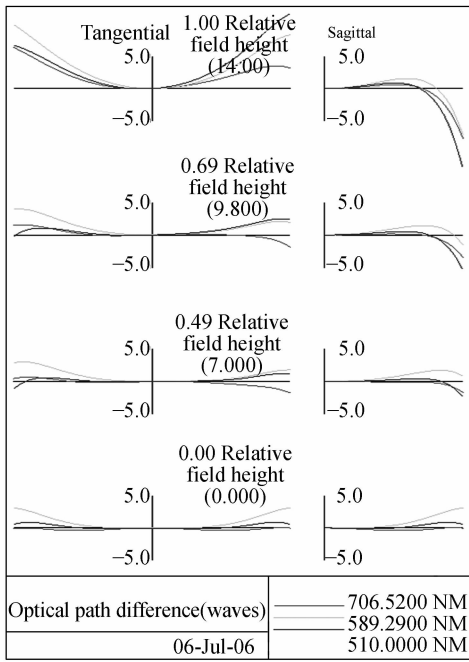


图 2 各视场像差曲线

Fig. 2 Curves of ray aberration

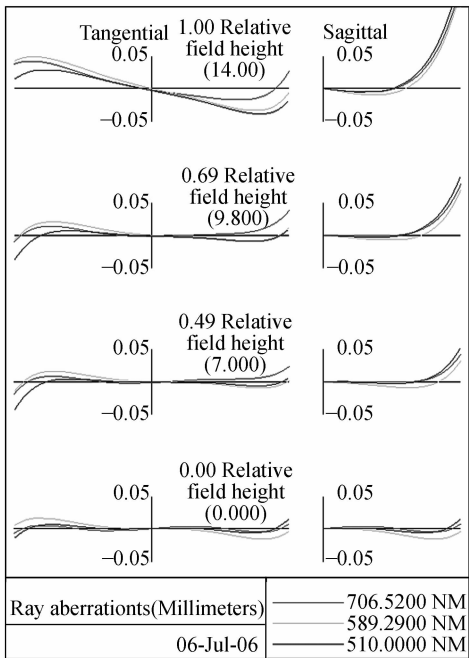


图 3 各视场波像差曲线

Fig. 3 Curves of optical path difference

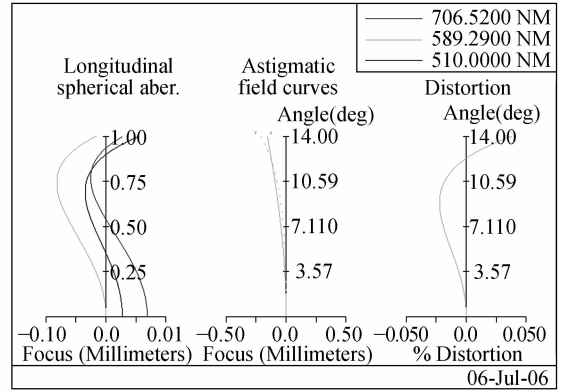


图 4 各波长球差,像散及畸变曲线

Fig. 4 Filed curves with spherical aberration

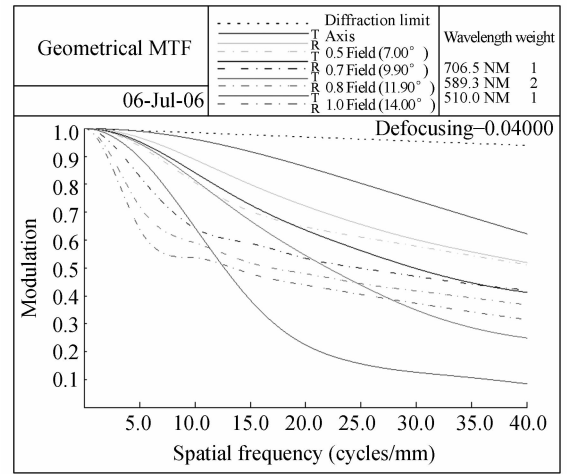


图 5 各视场 MTF 曲线

Fig. 5 MTF curves

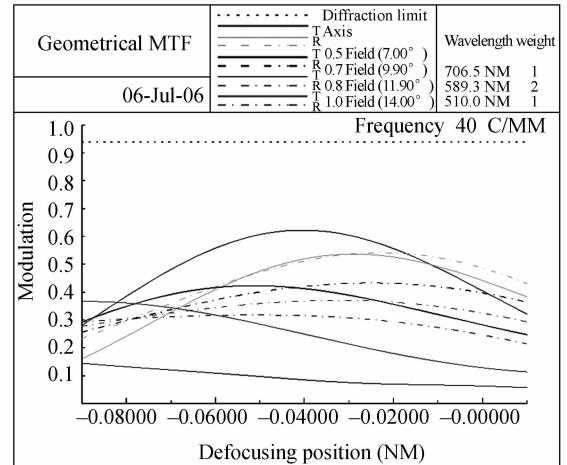


图 6 各视场离焦 MTF 曲线

Fig. 6 MTF vs focus

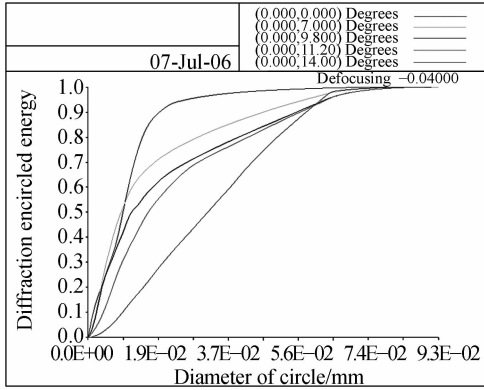


图 7 各视场能量集中度曲线
Fig. 7 Encircled Energy

4 新型设计

为克服初始设计存在的缺陷,于光阑附近增加一片背向光阑的负薄透镜,这个负薄透镜的光焦度虽然不大,却能够分担光阑前后两个半径的负光焦度,有效地降低光学系统的高级负球差。又由于负薄透镜背向光阑,产生较大的高级负像散,能与原有的高级正像散抵消。另外初始设计的高级场曲很小,使得大视场的场曲欠校正,而负薄透镜在产生高级负像散的同时,也产生了较大的高级负场曲。这样,光学系统在大视场时像散和场曲都得到很好的校正。

新型设计的结构型式如图 8 所示。

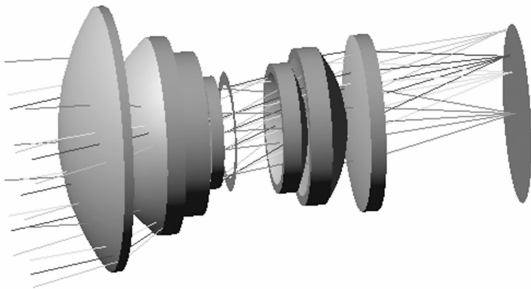


图 8 新型设计结构型式
Fig. 8 Layout of the advanced system

新型设计的各种像差初级量、高级量和实际值如表 4 所示。

表 4 像差比较

Tab. 4 Comparing of aberrations

项目名称	初级量	高级量	实际值
球差(LA)	0.210 2	-0.189 4	0.020 8
像散(Ast)	-0.089 8	0.045 4	-0.044 4
弧矢场曲(Xs)	0.196 3	-0.094 8	0.101 5
畸变(DT)	0.001 17	-0.001 48	-0.000 31

与初始设计相比,高级负球差减小了 0.079 4,高级正像散减小了 0.119 9,高级负场曲增加了 0.066 2,畸变的高级量基本不变。

MTF 值如表 5 所示。其中 S 代表弧矢方向, T 代表子午方向。Nyquist 截止频率 40 pl/mm。

表 5 MTF 值

Tab. 5 MTFs

视 场	0	0.5	0.707	0.85	1
MTF 值	0.648	S0.625 T0.642	S0.532 T0.534	S0.473 T0.468	S0.477 T0.493

可以看出,新设计的 MTF 要比初始设计高,尤其是 0.85 视场至全视场的 MTF 提高得更多,全视场子午光线的 MTF 从 0.112 提高到 0.493。

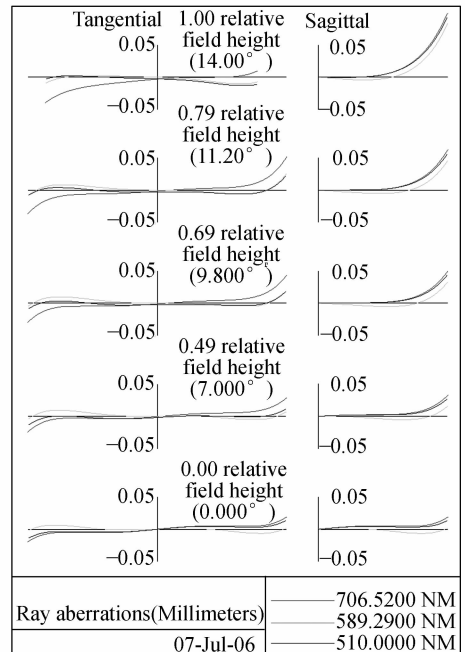


图 9 各视场像差曲线
Fig. 9 Curves of ray aberrations

0.707视场的 80%能量集中度为 0.023 5 mm,不超过 0.028 mm 的容限,全视场的 80%能量集中度为 0.04 mm。

图 9 为各视场像差曲线;图 10 为各视场波像差曲线;图 11 为各波长球差,像散和畸变曲线;图 12 为各视场 MTF 曲线;图 13 为各视场 MTF 离焦曲线;图 14 为各视场能量集中度曲线。

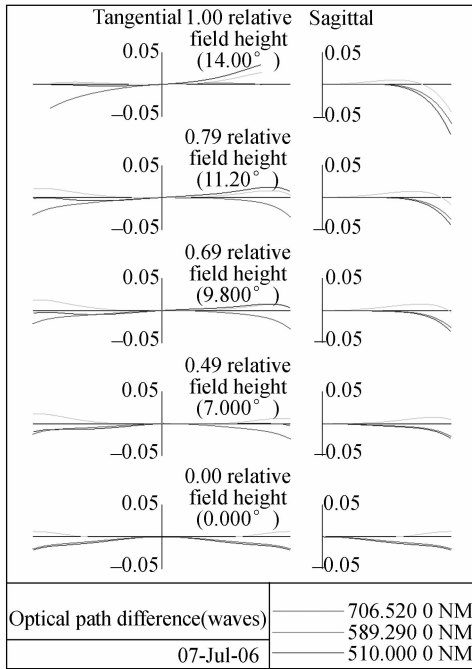


图 10 各视场波像差曲线

Fig. 10 Curves of optical path difference

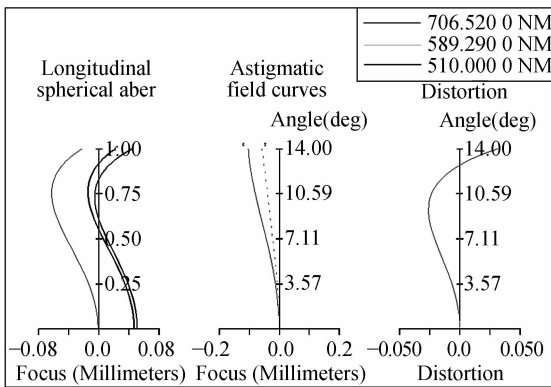


图 11 各波长球差,像散及畸变曲线

Fig. 11 Filed curves with spherical aberration

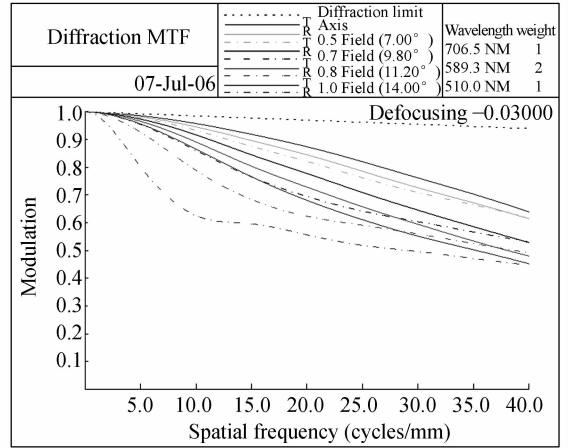


图 12 各视场 MTF 曲线

Fig. 12 MTF curve

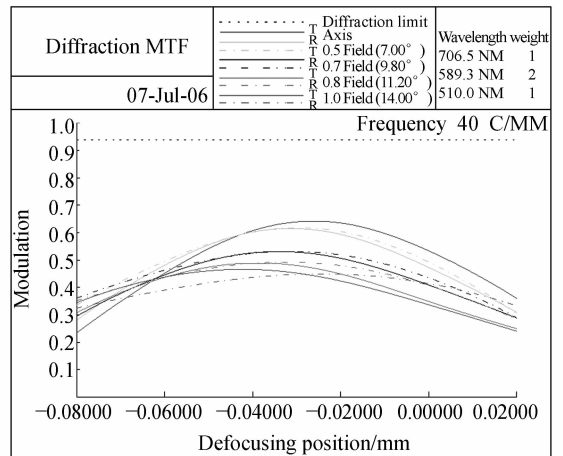


图 13 各视场离焦 MTF 曲线

Fig. 13 MTF vs focus

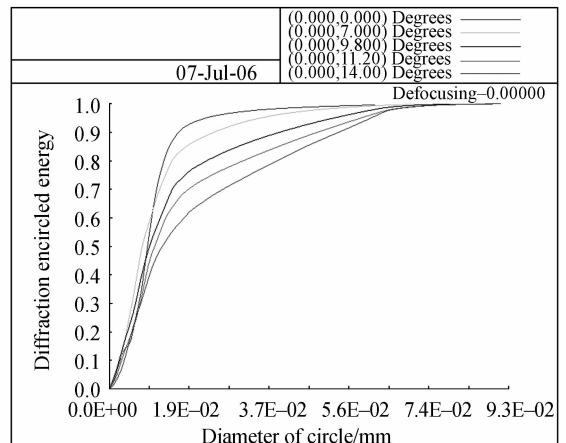


图 14 各视场能量集中度曲线

Fig. 14 Encircled Energy

5 结 论

本文所述新的设计方法在光学系统像差校正方面是一种非常简捷的办法。只在光阑附近增

加一片光焦度不大的负薄透镜,却能同时降低高级负球差和高级正像散,并增加了高级负场曲抵消传统设计中的高级正场曲,显著改善了像散和场曲,使整个视场的光学传递函数明显提高,同时能够满足能量集中度 0.028 mm 的容限。

参考文献:

- [1] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
WANG ZH J. *Optical Technique Handbook*[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1987. (in Chinese)
- [2] 李士贤. 光学设计手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996.
LI SH X. *Optical Design Handbook*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996. (in Chinese)
- [3] TAKESHI N, MASATO K, SHIN M. Geometric theory for the design of multielement optical systems[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001,9(5):458-466.
- [4] 胡玉禧,周绍祥,王克逸. 超大孔径摄像镜头设计[J]. 光学技术,2002,28(3):226-227.
HU Y X, ZHOU SH X, WANG K Y. Camera lens with ultra-large aperture [J]. *Opt. Tech.*, 2002,28(3):266-277. (in Chinese)
- [5] 王肇圻,张轶楠. 折/衍混合 Petzval 光电摄像物镜设计[J]. 光学精密工程,2005,13(1):131-134.
WANG ZH Q, ZHANG Y N. Design of hybrid refractive-diffractive Petzval objective in visible band[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005,13(1):131-134. (in Chinese)
- [6] SMITH W J. *Modern Lens Design*[M]. Genesee Optics Software. Inc. New York: McGraw-Hill, 1992.

作者简介:杨皓明(1980—),女,吉林长春人,2003年毕业于大连理工大学,同年获工学学士学位,现为南开大学博士研究生,主要从事光学设计及特殊光电成像镜头的研究。E-mail: yanghaoming@mail.nankai.edu.cn