

可见与近红外波段大视场平行光管物镜设计研究

崔莹莹¹, 文大化², 吕超¹, 车英¹

(1. 长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 近年随着新一代微光夜视仪的装备使用, 对可靠性提出了新的试验要求, 为满足微光瞄准镜可靠性试验的条件要求, 我们设计了大视场平行光管物镜。本文针对微光瞄准镜检测用大视场平行光管物镜系统进行设计, 使用 ZEMAX 软件, 对平行光管物镜进行优化设计, 像差分析, 得到满足要求的设计结果。

关键词: 微光瞄准镜; 平行光管; 可靠性试验; ZEMAX

中图分类号: TH703

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2011)02-0037-03

Research on Objective Design for Collimator with Wide Field of View in Visible and Near-Infrared Bands

CUI Yingying¹, WEN Dahua², LV Chao¹, CHE Ying¹

(1. School of OptoElectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033)

Abstract: In recent years, with the development that of new generation of low-light level night-vision device, test experiment needs high dependability. In order to meet the requirements of reliability of low-light scope light, this paper design a collimator lens which has a large field of view. In this paper, we designed a collimator lens for low-light scope sight, optimized the system and analysed the aberration with ZEMAX, finally got a adequate result.

Key words: low-light level sight; collimator; reliability test; ZEMAX

微光夜视系统是一种能充分利用夜间天光, 通过光增强技术, 使人眼能够观察低照度目标的系统, 成为微光夜视仪。微光夜视技术已经成为现在着重发展科学技术, 并且首先应用在军事领域中而且得到发展。目前, 微光夜视技术已经在夜间观察、桥梁架建、瞄准、水下作业等方面得到了非常广泛的应用。

夜视系统可靠性是衡量其性能优劣的主要指标, 因此, 微光夜视系统在定型前, 必须进行可靠性试验。为此, 要用平行光管检测法对微光瞄准镜进行检验, 即利用平行光管为被试微光瞄准镜(靠近平行光管物镜)提供均匀光照度环境, 模拟一个微光远距目标, 被试微光瞄准镜接收后, 对目标进行识别。

1 平行光管技术参数确定

平行光管物镜的主要设计技术参数分别为视场、通光孔径、焦距、调制传递函数(MTF)。

(1) 平行光管的物镜视场

平行光管的物镜视场依据被试瞄准镜所需最大视场确定, 按需求平行光管的物镜全视场定为 20° 。

(2) 平行光管物镜通光口径

目前视场最大的微光瞄准镜, 其视场 $2\omega=19\pm 1^\circ$ 口径 $D=36\text{mm}$, 所以本设计的平行光管物镜的口径选定为 $D=60\text{mm}$ 能够满足试验要求。

(3) 平行光管物镜焦距

在平行光管物镜的视场、有效通光口径均确定

收稿日期: 2011-07-22

作者简介: 崔莹莹(1984-), 女, 硕士, 吉林集安人, 主要研究方向: 精密测控技术与仪器 E-mail: 362055039@qq.com。

通讯作者: 车英(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事精密检测技术与仪器的研究。

情况下，平行光管物镜焦距 f' 长短的选定与传输通光量的多少、分辨率板刻线细度、分划板线视场、像差平衡、渐晕、光照度的不均匀性、调制传递函数(MTF)等多项因素有关。在综合考虑上述各项影响因素的利弊关系，并结合技术要求与物镜的设计难易程度、加工工艺水平等，最终确定平行光管物镜的焦距 f' 为500mm。

(4) 平行光管物镜的工作谱段：

平行光管物镜复消色差谱段的选择应与微光夜视仪像增强器的光谱响应范围和夜视仪物镜的消色差光谱相匹配，综合考虑平行光管物镜复消色差谱段选为0.486 ~ 0.863 μm 。

(5) 平行光管物镜的MTF值

10°视场时的微光系统，其平行光管物镜的焦距 $f'=1000\text{mm}$ ，视场 $\omega=20^\circ$ ，特征频率为18lp/mm，由于本微光系统检测的需要，平行光管物镜的焦距 $f'=500\text{mm}$ ，所以它的特征频率加倍为35lp/mm。

2 设计过程

物镜复消色差谱段在0.486 ~ 0.863 μm 之间，复消色差要求既要消除高斯区域内的二级光谱，同时也要消除高斯区域外的色球差。为了校正二级光谱，采用了具有特殊色散的玻璃TF3与校正二级光谱使用较多的LAK2玻璃进行组合设计。

二级光谱公式：

$$\Delta L'_{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} = -\frac{1}{n(u)^2} \sum_{i=1}^2 C_i^\lambda = -f' \frac{P_{\lambda_1 \lambda_2}}{V_1 - V_2}$$

TF3玻璃和另一种玻璃LAK2配对时，所得二级光谱很小，兼顾系统的二级光谱和高级球差，须使每个单元透镜的光焦度绝对值尽量小，因此，要求正透镜的 v 值尽可能大，负透镜的 v 值尽可能小。为降低高级像散，应选择正透镜的折射率尽可能高些，负透镜的折射率尽可能小些，所以，选择这组玻璃是合理的。

其中 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的波长分别选为：863nm、656nm、520nm，在设计时，主优化波长选为0.656 μm ，所选玻璃的相对色散 p 、阿贝常数 v 值见表1。

对于像差的校正，可以从以下几个方面做到：对于焦距的分配，使它对称变化可以校正位置色差CI，而对于倍率色差Cn，它的校正需要焦距的失对称。因此，需要对焦距分配的均衡。而对于球差和像散，它们的校正，主要是依靠透镜半径弯曲的对称性，但这对彗差和畸变的校正不利，因为对透镜弯曲的失对称变化时对校正彗差和畸变。而对于匹

兹伐和的校正，可以通过调整正负透镜的距离实现。由此可见，系统中的每个透镜的半径变化，对像差的校正都是有贡献和局限的，在设计时，应考虑到各个像差的贡献，综合设计。

表1 玻璃参数值

Tab.1 Glass parameter values

玻璃	656nm	520nm	863nm	P 值	V 值
TF3	1.6082	1.6221	1.6007	0.6495	28.4012
LaK2	1.6883	1.7010	1.6813	0.6447	34.9394
ZF3	1.7346	1.7104	1.6985	0.6704	29.4921

对于像差和场曲的校正，通过增大前组玻璃和光阑附近玻璃的厚度实现。同时，在系统的前后组之间加入一个反常胶合面，在减小轴外球差的同时，引入正高级像散，这样就能抵偿系统本身的负高级像散，最终改善像散对系统的影响。同时，反常胶合面的加入也可以使成像高度降低，这对轴外球差的校正很有利。优化处理后得到的光学系统结构图如图1所示。

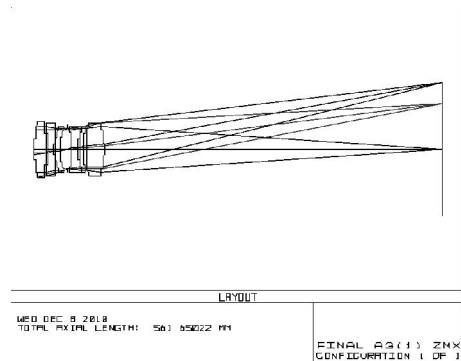


图1 优化后的二维结构光路图

Fig.1 2D layout of optimized optical system

3 平行光管物镜像质评价

通过优化设计后，平行光管物镜的MTF曲线图如图2所示，在截止频率为35lp/mm时，全视场的MTF值可以达到55%以上，中心视场的MTF值大于70%，已经接近衍射极限，分辨率满足设计指标要求。

平行光管物镜的场曲和畸变也都得到较好的校正，最大畸变小于0.02%，满足设计指标要求。如图3所示。

如图所4示，可以知道，该平常光管物镜光学系统的轴上球差已经得到了较好的校正，色差在0.707带附近，也得到较好的校正，同时，二级光谱可以控制在0.05mm以内，对像质影响可以说是比较小的，满足设计指标的要求。

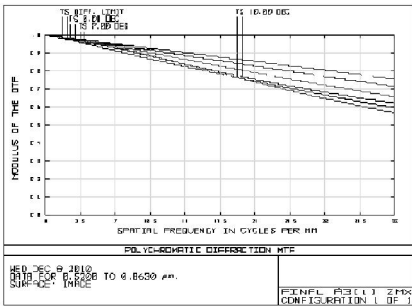


图 2 调制传递函数

Fig.2 Modulation transfer function

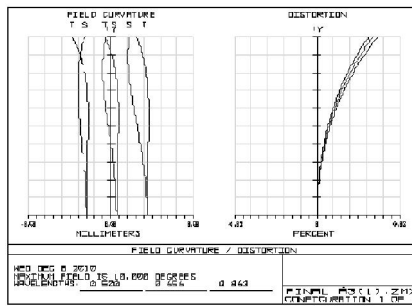


图 3 场区和畸变

Fig.3 Field curvature and distortion

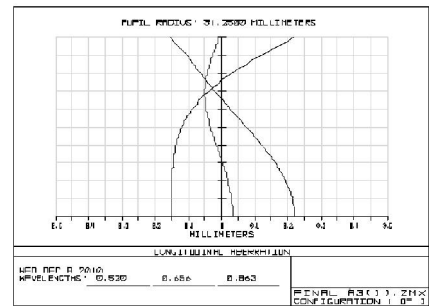


图 4 球差/色差

Fig.4 Spherical aberration/color aberration

4 结论

本文针对可见与近红外波段大视场平行光管物镜进行了设计,通过 ZEMAX 软件,完成了平行光管物镜优化设计,进行了像差分析,给出了较为完善的设计结果,满足微光瞄准镜可靠性试验设备的检测要求。本设计能为大视场微光瞄准镜提供更加合理的光应力,使可靠性试验考核更为客观、科

学。

参考文献

- [1] 袁旭沧. 光学设计[M].北京: 科学出版社, 1984 :1-800
- [2] 崔庆丰. 混合复消色差透镜组的设计原理[J]. 光学学报, 1994 ,15(4) :499-503.
- [3] 匡裕光. 平象场复消色差大视场显微镜物镜光学设计[J]. 光学学报, 1994 ,15(4) :558-560.
- [4] 吉小辉, 孙后环. 大视场平行光管的研究与设计[J]. 光学仪器, 2007 ,29(3) :35-40.

(上接第 36 页)

图 14 列出了短焦、中焦和长焦三个位置的光路图,放大倍率从上至下分别为 75、37.5、25。由图中可以看出,组合后的光线和镜片与独立设计时的物镜和目镜基本一致,验证了设计的合理性和正确性。

4 结论

本设计中的 Maksutov-Cassegrain 望远系统,物镜实现了复消色差,单色像差也得到了很好的校正,MTF 接近了衍射极限;目镜实现了 3 倍的连续变焦,变焦过程中成像质量良好,凸轮曲线平滑;组合后的系统也比较理想,出瞳距达到了 15mm 左右。设计结果满足指标要求,并可以为制造者减少成本,为用户提供良好的成像质量,提供了性价比良好的小型民用产品。

参考文献

- [1] 张以谟. 应用光学[M].北京: 电子工业出版社, 2008 : 302 417-419.
- [2] 王之江. 实用光学技术手册[M].北京: 机械工业出版社, 2006 :457.
- [3] 陶纯堪. 变焦距光学系统设计[M].北京: 国防工业出版社, 1988 :50-51.
- [4] 唐勇, 李玉瑶. ZEMAX 在光学设计外形尺寸计算中的应用[J]. 长春理工大学学报 :自然科学版, 2009 ,32(2) : 193-196.
- [5] 李永刚, 张葆, 丁金伟. 红外连续变焦镜头的结构设计[J]. 长春理工大学学报 :自然科学版, 2009 ,32(1) :60-63.
- [6] 杨荣仙. 变倍目镜光学设计[J]. 光学技术, 1992(6) :19-25 ,30.
- [7] 李永刚, 张葆, 丁金伟. 红外连续变焦镜头的结构设计[J]. 长春理工大学学报 :自然科学版, 2009 ,32(1) :60-63.
- [8] Warren J. Smith. Practical optical system layout[M]. New York: McGraw-Hill companies, Inc., 2004 :27-35.