

文章编号: 1672-8785(2012)10-0017-04

一种内调焦对心器用电视测微镜头的设计

王 茜 刘 洋 安晓强 邓 键

(西南技术物理研究所, 四川成都 610041)

摘 要: 利用 CODE V 光学软件设计了一种用于内调焦对心器的电视测微镜头。该镜头由四片透镜组成, 采用正负正焦距对称结构。其焦距为 17.20 mm, 数值孔径为 0.063, 视场为 16.82° 。该镜头工作在 486 ~ 656 nm 波段, 总长为 68 mm。系统的全视场畸变为 -1.13%, 调制传递函数 MTF 值在空间频率为 60 lp/mm 时大于 0.64。设计结果表明, 该系统的成像质量良好, 结构紧凑, 满足使用要求。

关键词: 光学设计; 大视场; CODE V; 紧凑结构

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.10.004

Design of Micrometric Lens for Centering Item with Inner Adjusting Focus

WANG Qian, LIU Yang, AN Xiao-qiang, DENG Jian

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: The CODE V optical design software is used to design a TV micrometric lens for a centering item with an inner adjusting focus. The lens is composed of four lenses. It has a symmetric structure with positive and negative focal lengths. Its focal length, numerical aperture and field of view are 17.20 mm, 0.063 and 16.82° respectively. The lens operates in the waveband from 486 nm to 656 nm. Its total optical length is 68 mm. It has the maximum distortion of -1.13% in the full field of view and the modulation transfer function greater than 0.64 at a space frequency of 60 lp/mm. The design result shows that the system has good imaging quality and a compact structure which meet the practical requirements.

Key words: optical design; large field of view; CODE V; compact system

0 引言

传统的测微观察目镜对人眼视觉具有较高的依赖性, 因而在量化检查方面的效率不高。随着数字图像技术的不断发展, CCD 探测器的分辨率越来越高, 体积越来越小, 成本越来越低。现在的 CCD 探测器已经逐步具备了取代人眼观察的使用基础。对于我们用户来说, 改良一些老式光学仪器的测微目镜, 也就成为了一种必然需求。例如, 我们可以用改装过的镜头把观测结

果成像在 CCD 靶面上。通过显示器呈现图像, 或者将呈现的视频信号转换成数字信号再将它们存储在计算机中。然后结合二维或三维测量软件对观测结果进行定量检测, 从而达到改善观测条件, 取代目测以及提供量化数据的目的。仪器改装后能进行实时动态的记录, 可极大地提高观测和检测工作的效率。

与传统的测微目镜相比, 用于内调焦对心器的电视测微镜头具有较长的工作距离、较高

收稿日期: 2012-08-19

作者简介: 王茜 (1982-), 女, 广西桂林人, 工程师, 硕士, 主要从事光学系统的设计、装调和检测工作。

E-mail: 16544841@qq.com

的分辨率、大视场、大景深和高清晰度,因此在观测和检测领域得到了越来越多的应用。

本文设计的光学镜头的视场为 16.82° , 视场直径为 8 mm, 数值孔径为 0.063。下面给出系统结构及像质报告。

1 成像原理

图 1 所示为内调焦对心器的成像原理。

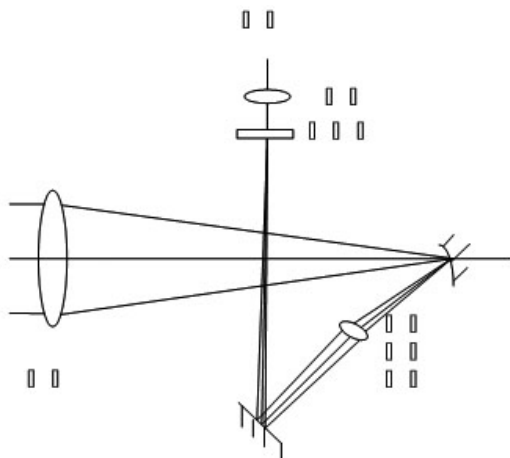


图 1 平行光管系统的成像原理

内调焦对心器由物镜、转像物镜和目镜组成。平行光进入物镜后成一次像。该次像经转像显微物镜放大后成二次像于目镜前面分划板的表面上。二次像与分划线一起经过目镜后成为一个能被眼睛观察到的虚像。该虚像不能被投影到 CCD 靶面上,因此需要设计一个电视测微镜头把二次像和分划线一起成像到 CCD 靶面上。图 2 所示为电视测微镜头的成像原理。

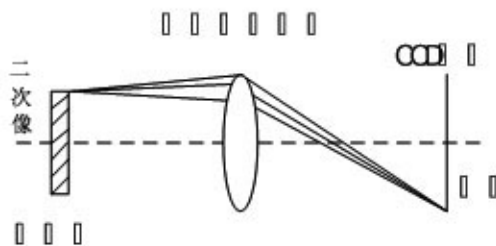


图 2 电视测微镜头的成像原理

2 设计方法

2.1 初始结构的选择

设计电视测微镜头的实质是针对 CCD 靶面尺寸,按照传统摄影目镜的设计思路对其进行改装,即使观察目镜变成“离焦”。图 3 所示为初始结构。其中,焦距为 19 mm,孔径为 $F/3$,视场为 19.74° ,成像靶面为 $1/3''$ CCD。考虑到物像位置的对称关系,镜头由正负正光焦度的对称结构透镜组构成,光阑将置于第二块镜片的后面。根据像差理论,对称结构可以使垂轴像差、倍率色差以及畸变得自动校正。其中,像散可以通过选择合适的光阑位置来校正。

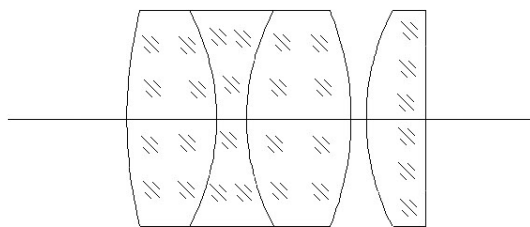


图 3 初始结构

2.2 分划板上的刻线设计

为方便读数,在分划板上刻有网格。下面介绍网格刻线尺寸的设计。

分划板刻线宽度 t : $0.00014f'_{ob} \geq t \geq 0.00028f'_{oc}$ 。其中,物镜后焦距 $f'_{ob} = 1031.325$,目镜后焦距 $f'_{oc} = 15.86$,得到 $0.1444 \geq t \geq 0.00449$ 。分划板的最小方格为 0.2 mm,在探测器上成像后所占的像素为 16 个。分划板的线宽为 0.02 mm,在探测器上成像后所占的像素为 1.6 个。

2.3 设计思路

在使用 CODE V 软件进行优化设计时,应结合前面部分的光学系统指标,并考虑使用环境和加工工艺问题。

(1) 由于这个系统原为目视光学仪器,并且考虑到前面光学系统的增透波段,选取光谱波段 486 nm (C 线) ~ 656 nm (F 线) 消色差。

(2) 电视测微镜头是有限距离成像,其像距与物距之比约为 1.4。由于受系统尺寸尤其是轴向距离的限制,电视测微镜头的总长度应尽量短些。因此,在设计时应考虑采用合适的结构和外形。

(3) 选用的 CCD 探测器的光谱响应范围为 400 ~ 1000 nm, 响应波峰为 500 nm, 在选取的 486 ~ 656 nm 光谱波段内有 80% 以上的响应率。接收靶面为 1/2", 靶面尺寸为 6.5 mm × 4.85 mm, 对角线为 8 mm。

(4) 保证较宽松的公差特性, 安装固定采用镜片和镜筒直接配合的方式, 镜片的设计要求满足现有的加工水平。与探测器连接的部分采用国际通用的 C 安装方式。安装基准面到探测器靶面的距离为 17.526 mm。

2.4 设计结果

在初始结构的基础上, 利用 CODE V 光学设计软件包进行多次优化。在设计的过程中重点考虑数值孔径的大小。它会直接影响分辨率和像的光亮度, 而且镜头的结构和校正像差的

复杂程度基本上都取决于它。前面的转像显微物镜的数值孔径为 0.03, 因此电视测微镜头的数值孔径必须大于这个数值。

主要校正轴上点的像差, 如球差、轴向色差和正弦差。另外, 由于数值孔径的增大, 除了校正这三种像差的边缘像差之外, 还要同时校正它们的孔径高级像差, 如孔径高级球差、色球差和高级正弦差。

为了便于后期加工制造和降低成本, 最好选用常用材料进行设计。经理论计算与分析以及用软件进行反复修改仿真后, 选用 ZF2、ZF6 和 ZK7 三种常用的可见光学材料进行组合设计。最后的设计结果如下: 数值孔径 NA=0.063, 焦距为 17.20 mm, 视场为 16.82°, 视场直径为 8 mm, 总长为 68 mm。图 4 为光学系统的结构图。

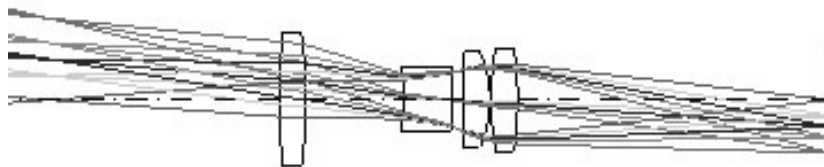


图 4 光学系统的结构图

图 5 为光学系统的点列图, 表示各个视场在像面上的光能量分布。其中, 最大的几何尺寸只有 4.5 μm, 远小于 CCD 探测器的 8.4 μm 像元尺寸。

图 6 所示为系统的调制传递函数。该系统具有较高的 MTF 值, 全视场在 60 lp/mm 处, MTF 大于 0.64。

如图 7 所示, 在 130 lp/mm 处, 0.7 以内视场大于 0.4, 全视场 MTF 大于 0.36, 理论分辨率可达 200 万像素, 可以与高分辨率的 CMOS、CCD 以及监视器相匹配。

在设计过程中, 我们考虑了场曲的校正, 使得在整个视场范围内都能得到同样清晰的像。图 8 所示为场曲和畸变曲线。从图 8 中可以看出, 像差得到了较好的校正, 畸变不到 -1.13%。

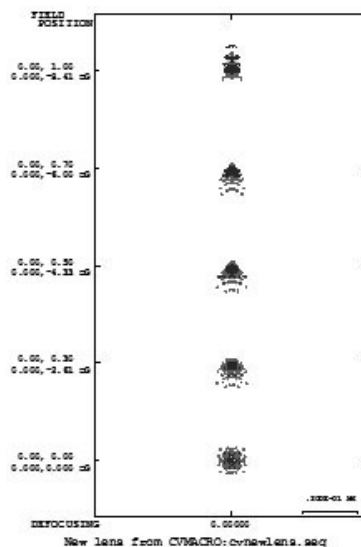


图 5 点列图

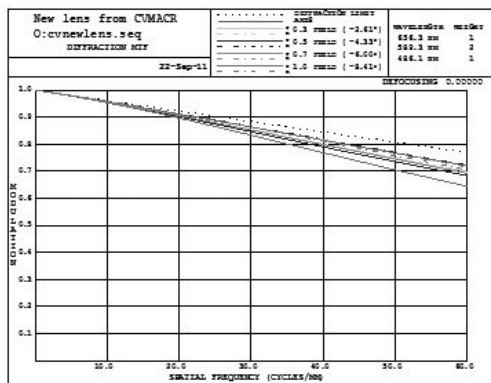


图 6 调制传递函数

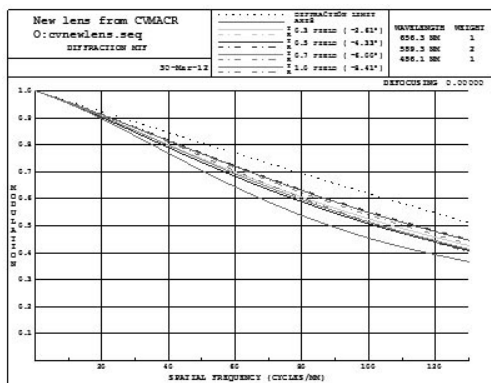


图 7 调制传递函数

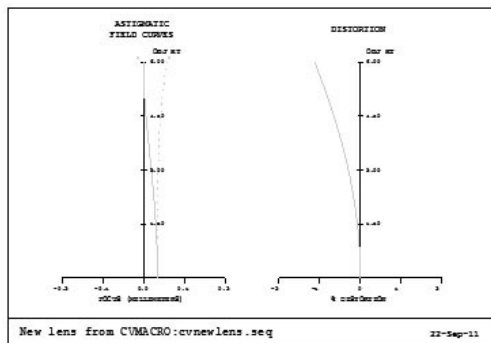


图 8 场曲和畸变曲线

3 结论

通过采用合理的结构选型和优化设计,并考虑加工工艺和结构成本的要求,利用 CODE V 计算机辅助设计软件得到了一种内调焦对心器的电视测微镜头。该镜头结构简单紧凑,加工成本低,成像质量好,其数值孔径为 0.063,焦距为 17.20 mm,视场为 16.82°,视场直径为 8 mm。该系统的全视场传函值在 60 lp/mm 处,MTF 大于 0.64。当其 MTF 曲线为 130 lp/mm 时,0.7 以内视场 MTF 大于 0.4,全视场 MTF 大于 0.36,可匹配 200 万像素传感器。目前,该镜头的设计、加工和装配工作已经完毕,其成像质量很好,达到了预期目标。

参考文献

- [1] 王敏. 大视场高分辨率显微工业电视镜头设计 [J]. 光学与光电技术, 2008, 6(1): 85-87.
- [2] 安连生. 应用光学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [3] 谷婷婷, 向阳. 广角大孔径 CCD 摄像镜头光学设计 [J]. 长春理工大学学报, 2009, 30(6): 210-212.
- [4] 王永仲. 鱼眼镜头光学 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 李晓彤, 岑兆丰. 几何光学·像差·光学设计 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2003.
- [6] 萧泽新. 工程光学设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.