

新型 CCD 显微镜光学系统设计

郝沛明

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘 要 提出一种新型的长工作距离短筒筒透射式的 CCD 显微物镜, 并作了详细地分析, 给出该系统的光学设计结果和数据。

关键词 短筒长, 长工作距离.

1 引 言

为了实现对于光导纤维的焊接、羊毛、细金属丝、化学纤维等的实时测量, 提出研制目视分辨率优于 $4 \mu\text{m}$ 、数值孔径 $NA \geq 0.3$ 、放大率 $r \geq 15$ 、工作距离大于 12 mm 、筒筒长(从物镜的第一个面顶点到象面的距离)小于 60 mm 、为了与 CCD 对接, 后截距大于 19 mm 的 CCD 显微物镜。同时要求正象, 便于操作。实际上要求设计出中等倍率、长工作距离、短筒筒长的 CCD 显微物镜, 这样的物镜狄桑(Dyson)和库克(Cooke)首先作了论述, 但都是反射式长工作距离短筒筒长显微物镜, 都存在中心遮拦, 杂光比较大的缺点, 影响成象质量, 故无实用价值, 于是出现了新型结构的长工作距离短筒筒长的透射式 CCD 显微物镜。

2 设计思想

长工作距离短筒筒长的透射式 CCD 显微物镜的光学设计思想和分析如图 1 所示:

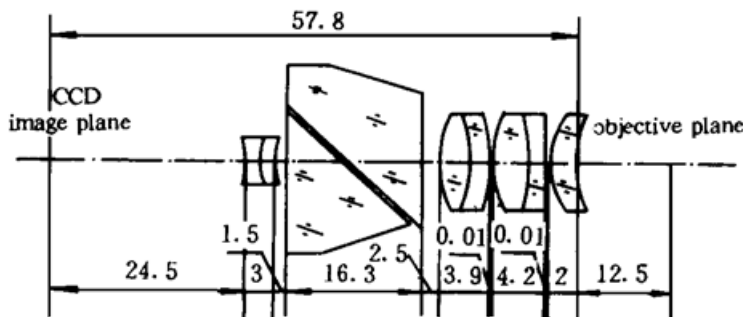


Fig. 1 Schematics diagram of optical system

1) 前正组采用单透镜和两个双胶合透镜的结构形式, 每个透镜的光焦度平均分配, 这样可以使高级像差降低, 增大数值孔径 NA , 缩短后截距, 起到压缩筒筒长的目的。

2) 采用带有屋脊的别汉(Pecham)棱镜, 光线在别汉棱镜中反射 6 次, 以能获得正像, 又可实现缩短轴向距离的目的; 别汉棱镜生成负像差, 这对光学

系统的像差矫正是有利的。

3) 后负组采用一个双胶合负透镜, 使其起到矫正光学系统倍率色差的作用; 并增加放大

率、增大后截距, 实现与 CCD 靶面对接的目的。

4) 对整个光学系统而言, 正组和负组的光焦度经合理的分配, 即可以实现缩短镜筒长度的目的; 又可实现矫正匹兹瓦和 (S_{IV}) 像面弯曲, 达到平像的目的。

3 光学系统设计

对于 CCD 接收器件而言, 光谱响应波段为 $0.4 \mu\text{m} \sim 1.1 \mu\text{m}$, 峰值在 $0.7 \mu\text{m}$ 左右, 要求使用的波段为 C-D-F 波段, 这说明 CCD 可作为接收器件使用。合理地选择放大率的分配, 前正透镜组的放大率为 2.5 倍左右, 后单一负胶合透镜放大率为 6 倍左右, 这样系统的放大率可达到 15 倍左右。按着使用的技术要求, 最后设计结果的结构尺寸表示在图 1, 从图 1 可以看出: 工作距离 $L = 12.58$, 后截距 $L' = 24.6$, 镜筒长度 $S = 57.98$, 数值孔径 $N.A = 0.3001$,

放大倍率 $\Gamma = 15.9$, 从上面这组数据说明符合使用要求。球差 LA 和正弦差 OSC 曲线表示

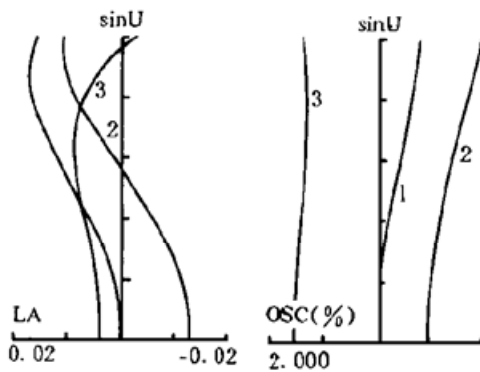


Fig. 2 Spherical and OSC aberration

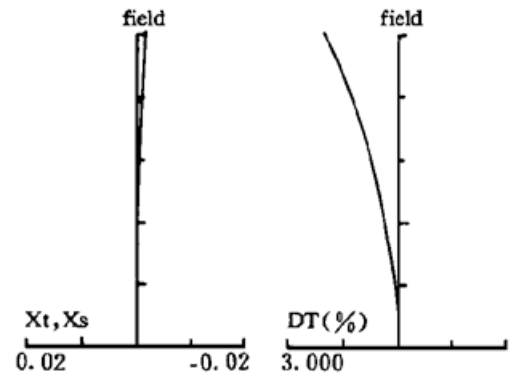


Fig. 3 Field curvature and distortion

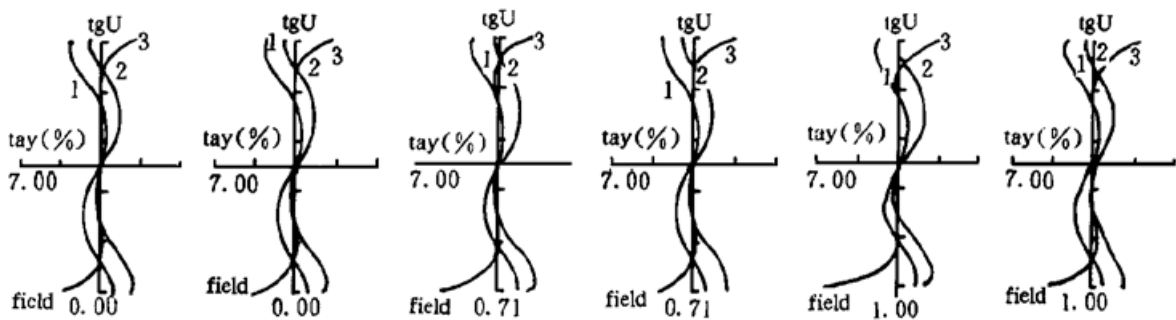


Fig. 4 Lateral aberration

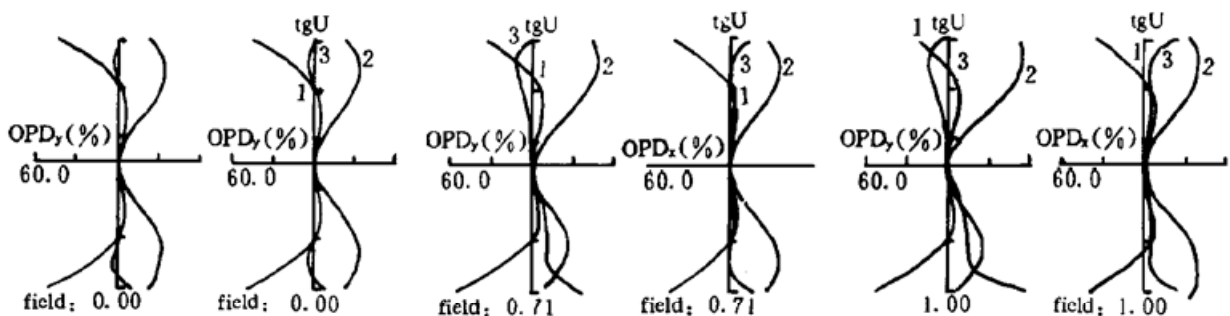


Fig. 5 Optical path difference

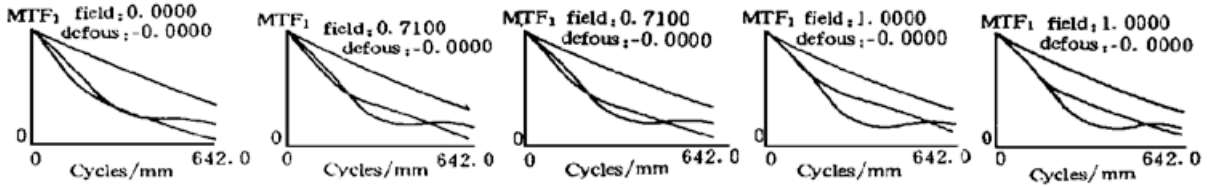


Fig. 6 Modulation transfer function

在图2, 场曲(X_t, X_s) 和畸变 $DT(\%)$ 曲线表示在图3, 横向像差 TA_y-tgu 和 TA_x-tgu 曲线表示在

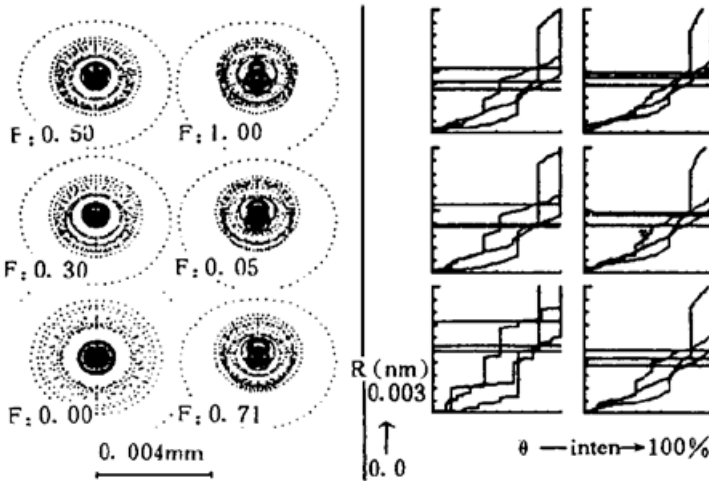


Fig. 7 Spot diagram

图 4, 波差以光程差 OPD 表示, 单位为波长 λ , OPD_y-tgu 和 OPD_x-tgu 曲线表示在图 5, MTF 曲线表示在图 6, 在图 4 至图 6 中, 1 表示 D 光, 2 表示 C 光, 3 表示 F 光, 离焦量为 -0.008 。点列图表示在图 7, 离焦量 $DFOCU = -0.008$, 图 7 右部分是弥散圆的能量集中度曲线, 横坐标 $INTEN$ 以光能集中的百分数表示, 以 100% 计算, 纵坐标 R (mm) 是弥散圆的半径, 其中横线表示光能集中 80% 的弥散半径, 图 7 左部分是弥散图的形状. 尺寸由下面的标尺确定, 这说明弥散圆为 0.004 mm。

作者对中国科学院安徽光学精密机械研究所丁厚月工程师和上海嘉光-斯米克公司总经理马仁勇研究员在设计过程中给予大力支持, 表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] D. Birchon, *Optical Microscope Technique*, London, George Newnes Limited, 1961, 1~ 50
- [2] Warren J. Smith, *Modern Optical Engineering*, New York, McGraw • Hill Book Company, 1966 :
- [3] 光学仪器设计手册(上册), 北京, 国防工业出版社, 1971 : 86~ 92
- [4] 张以谟, 应用光学, 北京, 机械工业出版社, 1982 : 112~ 130

Design of Optical System for New CCD Microscopic Objective

Hao Peiming

Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

(Received 30 March 1996; revised 12 August 1996)

Abstract New CCD refracting objective of a short tube length with a long working distance on microscope is suggested and analyzed in detail. Data and results of optical design on this objective are given.

Key words short tube length, long working distance.