

高倍平场复消色显微物镜的设计

张冀恩

摘要: 本文系统地描述了显微物镜的设计方法及过程, 并给出了一种有实际应用价值的高倍平场复消物镜的结构。最后, 对设计结果给出了比较客观的和科学的评价。

一、引言

自从1827年阿米西制作了第一台折射式高倍显微物镜以来, 由于生产和科学研究的需要, 各国的显微镜设计者们在不断改善此类显微镜的成像质量方面做了大量的工作。迄今为止已经设计制造出了许多种形式和性能指标的所谓平像场复消像差显微镜物镜, 此类物镜的结构十分复杂, 在设计和生产上都有一定的困难。目前这种类型的显微物镜的设计和制作工作在国内外仍处于研制阶段。

二、初始结构的设计

本文所要设计的物镜倍率为 $40\times$, 数值孔径为0.85。对于这类物镜的设计其成功与否在很大程度上取决于是否能找到一种合理的初始结构形式。

对于高倍率大数值孔径的物镜, 其二级光谱及场曲是很难校正的。因此必须对此采取专门的措施。我们知道对于一般的光学系统来说正光焦度组件往往产生负的场曲 ($S_N > 0$)。在显微镜中由于需承担的偏角很大不宜使用过多的负光焦度组件, 因此场曲的校正必需用特殊的方法。引入弯月形厚透镜是一较好的途径。由厚透镜的光焦度和匹兹万和式:

$$\Phi = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2}{n} \cdot \frac{d}{r_1 \cdot r_2}$$

$$S_N = J^2 \frac{n-1}{n} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

可知, 只要在 r_1 和 r_2 同号的情况下, 适当地选取 r_1 、 r_2 的数值即可在 $\Phi > 0$ 的情况下产生负的 S_N 值。根据这一特点在物镜中采用了弯月形的前片。

系统的二级光谱的控制主要是合理地选择玻璃材料, 对于两个玻璃组对的结构, 当系统对 F_D 光消色差的情况下, 其二级光谱量 $\Delta L'_{FDD}$ 满足:

$$\Delta L'_{FDD} \propto \frac{P_{FD1} - P_{FD2}}{\nu_{D1} - \nu_{D2}}$$

因此, 只要选择 P_{FD} 尽可能接近, 而 ν_D 尽可能相差大些的材料来组合必然对二级光谱有利。

注: 本文作者的导师为史光辉

在考虑上述因素以后, 根据初级像差理论从外形尺寸开始, 综合地求解系统初始结构。

三、像差平衡及像质评价

应用 CAOD 软件包, 在适当人工干预下进行计算机像差自动平衡。

根据衍射成像的理论, 光学系统的成像过程为:

$$o(y) \xrightarrow{F} O(\nu) \xrightarrow{F^{-1}} i(y)$$

物 物频谱 像频谱 像

而物的频谱与像的频谱之间的关系可由系统的传递函数来描述, 即:

$$I(\nu) = O(\nu) \cdot OTF(\nu)$$

其中, $OTF(\nu) = MTF(\nu) \cdot e^{iPTF(\nu)}$, 称为系统的光学传递函数。而 $MTF(\nu)$ 和 $PTF(\nu)$ 分别为调制传递函数和位相传递函数。

因此根据 $OTF(\nu)$ 的大小及分布情况应就可以说明系统质量的优劣。对于大多数光学系统进行像质评价时只需考虑 MTF 的分布即可。

另一方面, 根据系统的传递函数分布还可以定量地计算系统的中心点亮度值 ($S.D.$)。

$$S.D. = \frac{\int MTF(\nu) d\nu}{\int MTF_0(\nu) d\nu}$$

其中: $MTF_0(\nu)$ 为无像差的衍射受限系统的传递函数。

从而可以对系统的成像质量给出定量的评价。

本文对所设计的显微镜的最后评价结果如下:

(1) 分辨率

在 0.71 视场以内: 分辨率 ≥ 2500 对线/mm

在 0.71 视场以外: 分辨率 ≥ 1750 对线/mm

(2) 中心点亮度值

在 0.5 视场以内: $S.D. > 0.8$

在 0.5~0.71 之间: $S.D.$ 平均为 0.65 左右

在 0.71~1.0 之间: $S.D.$ 平均在 0.39~0.65 之间

评价结果表明在 0.71 视场以内像质较为完善, 在 0.71 视场以外有一定的缺陷。

四、结束语

本文所设计的 40 倍、 $N.A. = 0.85$ 的平场复消色物镜, 从各方面综合考虑来看基本满足了对各种像差的要求, 达到了设计的主要指标。在国内未见同类的结果发表, 有一定的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 王之江著, 光学设计理论基础, 科学出版社, 1985 年
- [2] [苏] B.A. 帕诺夫, Л.Н. 安特列耶夫著, 显微镜的光学设计与计算, 机械工业出版社, 1982 年
- [3] 张以谟主编, 应用光学, 机械工业出版社, 1988 年

[4] Hein C. Claussen, *Applied Optics*, 3, 1964, p993—1003

[5] Lambert J. Danner, *Five-component microscope objective*, U.S. Patent, 4417787, 1983

A Design of the High-power Plano-field Microscope Objectives

Zhang Jien

Abstract

This paper describes a method of designing microscope objectives and gives a practical structure of a plano-field apochromatic microscope objective, followed by an evaluation of the design.