

N.A 0.65×25平像场复消色差 显微镜光学设计

丁 甲 民

摘要: 本文论述了N.A 0.65×25大视场,复消色差、消倍率色差、平像场、又不用氟化钙晶体的显微镜光学系统设计。

一、方案选择及像差校正

显微镜是人们用以观察微小物体和认识微观世界的重要手段和工具,也是人们从事光学精密测量、分析微观组织、观察细微结构、进行科学实验和开展微型工艺等必不可少的科学仪器和技术设备。

高档生物显微镜不但要复消色差,而且要消倍率色差。又由于视场($\phi 28\text{mm}$)大,因此设计必须是平像场才能满足整个视场范围内像质一致性的要求。为了避免由于物体(标本)移动或放置不平而引起误差,所以要求物镜设计时要采用远心光路。

复消色差平像场显微镜光学设计难度较大。由于既要求系统复消色差,消倍率色差,平像场,又要求远心,所以设计难度更大了。近年来,显微镜光学的发展主要决定于两个基本条件,即新的光学介质的采用,光学系统的设计与加工工艺水平的提高。特别是光学玻璃和其它介质对成像质量的改善有着巨大的作用。

复消色差显微镜不仅要考虑校正二级光谱,色球差而且还要考虑色彗差的校正。复消色差显微镜系统消除二级光谱在很大程度上依赖于特种光学玻璃和晶体的采用。二级光谱的表达式为: $F_r - F_g = f \cdot \frac{P_{F\beta 1} - P_{F\beta 2}}{\nu_1 - \nu_2}$ 式中 P 是相对色散, ν 为阿贝数。从以上二级光谱表达式我们可以看出,在理论上只要选择 P 值相等,而 ν 值不等的两种玻璃组合就可以消除二级光谱,但在实际上, P 值相等的两种玻璃 ν 值差都很小,这就导致了每个单块透镜的光焦度大,而不易实现。由于晶体 CaF_2 偏离正常玻璃线最远, ν 值差足够大,所以可以用来消除二级光谱。氟化钙虽然对消二级光谱有利,但是制造成本高、工艺难度大、易潮解。又因为氟化钙折射率很低,使透镜半径变小,导致高级像差变大,只能用降低其偏角负担来解决,但这样会增加透镜数目,使结构复杂化。所以我们不用氟化钙晶体而采用了成本比氟化钙低、折射率比氟化钙高的氟冕玻璃代替晶体氟化钙。这有利于校正球差及色球差,又解决了消二级光谱问题。

对于显微镜来说,特别是高倍物镜前面的透镜大多是承担大量偏角,带有齐明面的单透镜,因此整个物镜往往残留一定量的倍率色差。为了消除或减少倍率色差,前片玻璃作者采用了折射率比较高阿贝数也比较大的材料,这样做的结果可使倍率色差大大减少。

由于像方视场直径大,因此像散和场曲也较大,为了校正像散,使前后两组透镜间距离分得远一些,这样做的结果像散是减少了,但是物镜的工作距离也减少了。为了校正场曲,如把物镜前片(靠近物体方面)做成厚透镜,这又会使物镜工作距离进一步减少。为了

解决物镜工作距离与校正像散和场曲之间的矛盾，将后组胶合透镜分开。通过上面像差分析及大量像差计算，整个物镜各面高级像差量已经不大，而且二级光谱已符合要求，最后通过使用微机自动平衡，在整个视场范围内（对于波长 $\lambda = 0.4358 \mu\text{m}$ 到 $\lambda = 0.6563 \mu\text{m}$ 光谱区域内）得到了满意结果。这是由于合理地选择了光学系统结构，运用了具有特殊部分相对色散的光学玻璃而得到的。

二、设计结果

轴上球差（波长）

d ($0.5876 \mu\text{m}$ 主波段) 最大 0.028λ ;

c ($0.6563 \mu\text{m}$) 最大 0.2λ ;

F ($0.4861 \mu\text{m}$) 最大 0.1λ ;

G ($0.4358 \mu\text{m}$) 最大 0.5λ 。

轴上色差最大 0.5λ

轴外物点在整个视场范围内波像差 (d, C, F 波段内)

都小于 0.5λ ，只有 G 线稍大一点但也在 0.65λ 之内。



图1 设计结果，25倍平像场复消色差显微物镜设计结构图 25/0.65

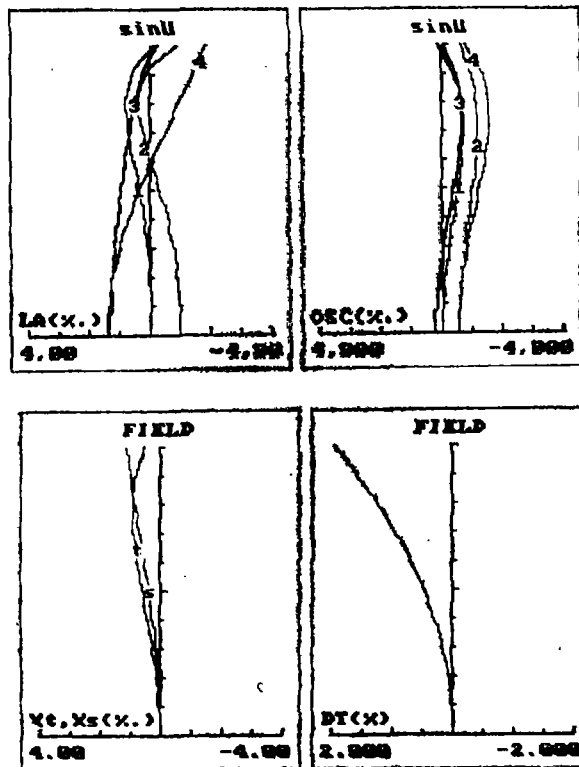


图2 像差曲线，

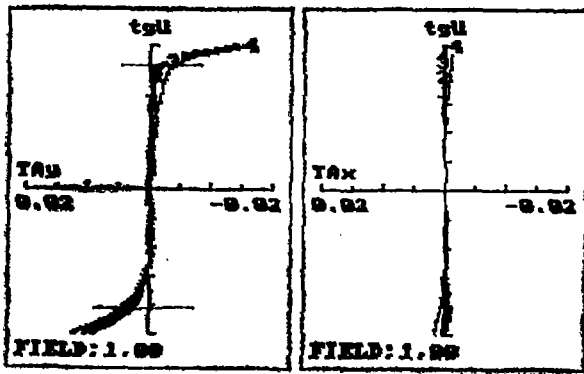
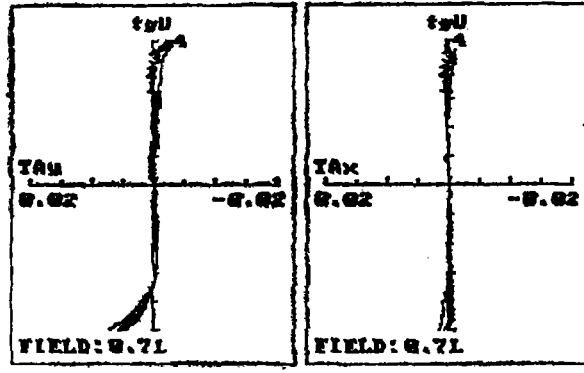
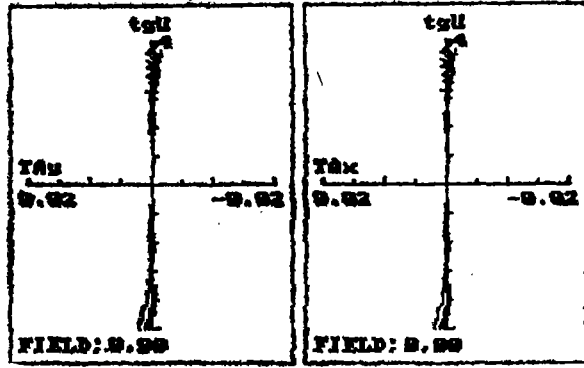
1. 代表: $0.5876 \mu\text{m}$ (d);

2. 代表: $0.6563 \mu\text{m}$ (c);

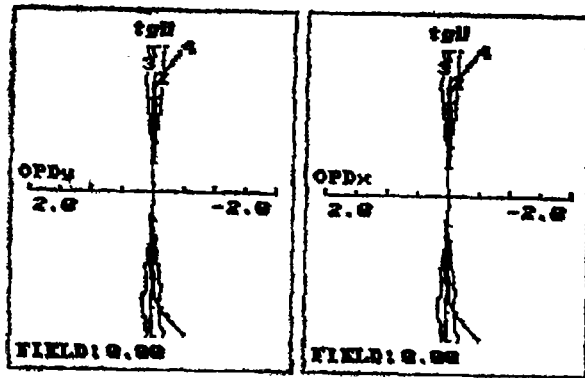
3. 代表: $0.4861 \mu\text{m}$ (F);

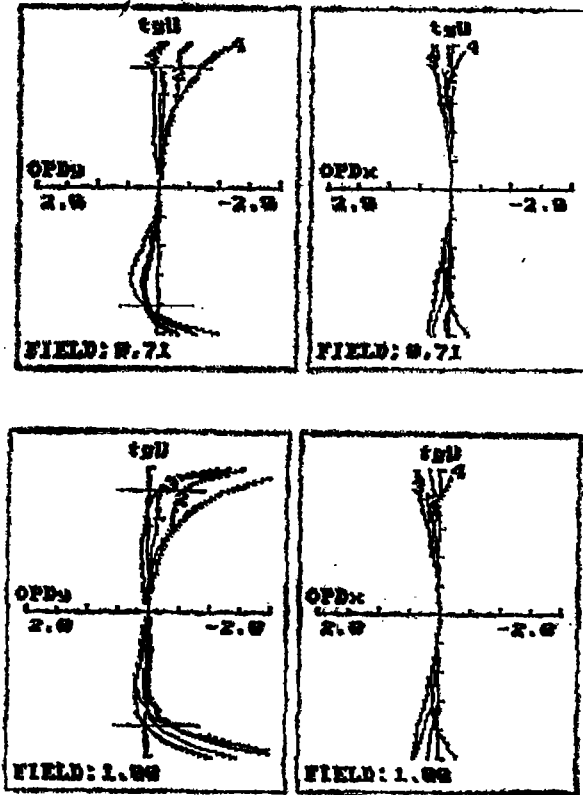
4. 代表: $0.4358 \mu\text{m}$ (G);

注: 座标单位为 μm 。



注：横座标单位为mm





注：横坐标单位为波长。

从上面像差曲线上来看，轴上、轴外、子午与弧矢像差校正得还比较好，而且能够互相匹配。特别是衡量显微镜最后结果是用波像差。从曲线上来看校正得也是相当好的。

下面是民主德国蔡司厂生产的平场复消色差显微物镜。作者设计的与民主德国蔡司厂生产的同类镜头都是九片。



图3 民主德国蔡司厂生产平场复消色差物镜25×/0.65

此项工作曾得到匡裕光同志指导，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] B·A帕诺夫，Л·Н·安特列耶夫著，包学诚译，《显微镜的光学设计与计算》，机械工业出版社，1982。

[2] 王之江，《光学设计理论基础》，科学出版社，1965。

[3] 《光学仪器设计手册》编辑组，光学仪器设计手册上册，国防工业出版社，1971。

**Design of Achromatic Microscope Objective with
N. A. 0.65 × 25 and Flat Field**

Ding Jiamin

Abstract

This paper describes the optical design of a microscope objective with magnification $25\times$ and large field. The objective whose N. A. reaches 0.65 is characteristic of flat field, telecentricity and apochromatism. In the design no special material such as CaF_2 is used.