

平象场复消色差大视场显微物镜光学设计*

匡裕光

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘 要 讨论了大视场显微物镜的主要设计思想, 二级光谱校正及匹茨瓦和校正, 最后用中心点亮度评价了一个设计实例.

关键词 平象场, 复消色差, 大视场显微物镜.

1 大视场显微物镜的定义

大视场显微物镜是80年代初国际上出现的一种新型显微物镜, 它是德国耶拿蔡司厂于1980年首先公布的^[1], 是消除了倍率色差的显微物镜**. 其有效视场可以从过去的像方视场直径20 mm, 扩大到28 mm. 有残留倍率色差的显微物镜, 像场边缘有一个红黄颜色的色圈. 设置在像场位置的刻度尺, 读数精度受倍率色差影响而降低. 残留的倍率色差对于在一次像面位置的显微照相, 彩色照相和图像的数据采集, 计算机处理都是不利的.

2 光学设计思想

以李斯特型为典型代表的中低倍显微物镜, 由二个双胶合组组成, 各组的 $C_1 = 0$, 故 $C_{11} \cong 0$, 基本上没有倍率色差. 以阿米西型为典型代表的高倍显微物镜, 前组是一个平凸透镜, 负担较大的正光焦度和偏角, 同时产生较大的正轴向色差和球差. 这些像差和色差, 主要由后面二组胶合组来补偿. 因此, C_1 是正负分离的. 由于主光线高度在前组高、后组低, 因此残留了较大的倍率色差无法校正. 为了校正倍率色差, 可在阿米西物镜像方增加一组产生正轴向色差的透镜组, 由于在该组主光线高度较高, 且与在前组的主光线高度反号, 故产生与前组反号的倍率色差, 起到校正倍率色差的作用.

为了校正像散和倍率色差, 第二、第三组必须分离一段距离. 先把第二、第三组看成一个组合, 产生某一定量的总偏角. 则当二组是正、正光焦度分离时, S_N 增大; 当二组是正、负光焦度分离时, S_N 减小. 为了不给前组增加更多的 S_N 校正量, 选择第三组是负光焦度, 且产生正轴向色差. 这对整组物镜的场曲、像散、倍率色差校正都是有利的. 由于第三组是负光

* 本文曾在1990年全国光学设计和光学CAD会议上宣读.

** 大视场显微镜日本称为CF(colour free)显微镜, 德国称为GF(Grossfeld)显微镜.

收稿日期:1991年12月10日; 收到修改稿日期:1992年5月11日

焦度、正轴向色差。因此，第二组必须负担更大的正偏角和负轴向色差，这给高级球差、高级 OSC，色球差的校正带来更大的难度，并使第二组结构复杂化。

第三组是负光焦度、正轴向色差，是一种色差反常胶合组，它的负透镜选用冕牌玻璃，正透镜选用重火石玻璃。第三组的二级光谱与前组和第二组的二级光谱反号，有抵消、补偿前组二级光谱的作用。因此，第三组不要选用二级光谱小的玻璃对，反之，可以有意选用二级光谱较大的玻璃对，使产生较大的反号二级光谱，以抵消、补偿前组和第二组的二级光谱残留量，实现整组物镜复消色差的目的。



$$\begin{aligned}
 &h \quad + \quad + \quad + \\
 &h_p \quad + \quad \sim 0 \quad - \\
 &C_1 \quad + \quad - \quad + \quad \Sigma C_1 = 0 \\
 &C_{11} \quad + \quad \sim 0 \quad - \quad \Sigma C_{11} = 0
 \end{aligned}$$

Fig. 1 The scheme of the ray trace and lens construction of the CF microscopic objective

3 像质评价

作者在 1986 年设计了一种 NA0.90, 63 倍平象场复消色差大视场显微物镜，像方视场直径 28 mm. 图 2 是轴上像差, x_t, x_s 及畸变曲线. 表 1 列出了 S. D. 值. 本例大视场显微物镜倍率色差曲线见图 3.

Table 1 The Strehl ratio S. D. of the example of the CF microscopic objective (NA 0.90×63, image dia. = 28 mm)

field S. D.	λ_d 587.6 nm		λ_c 656.3 nm		λ_f 486.1 nm	
	S. D. (s)	S. D. (t)	S. D. (s)	S. D. (t)	S. D. (s)	S. D. (t)
0	0.8752	0.8752	0.8888	0.8888	0.7493	0.7493
0.3	0.8883	0.8660	0.9089	0.9040	0.7130	0.6641
0.5	0.8667	0.7699	0.9032	0.8771	0.6487	0.5401
0.71	0.8212	0.6106	0.8884	0.7871	0.5803	0.4465
0.85	0.7729	0.5501	0.8685	0.6983	0.5531	0.3839
1.00	0.7065	0.4615	0.8307	0.6247	0.5278	0.3266

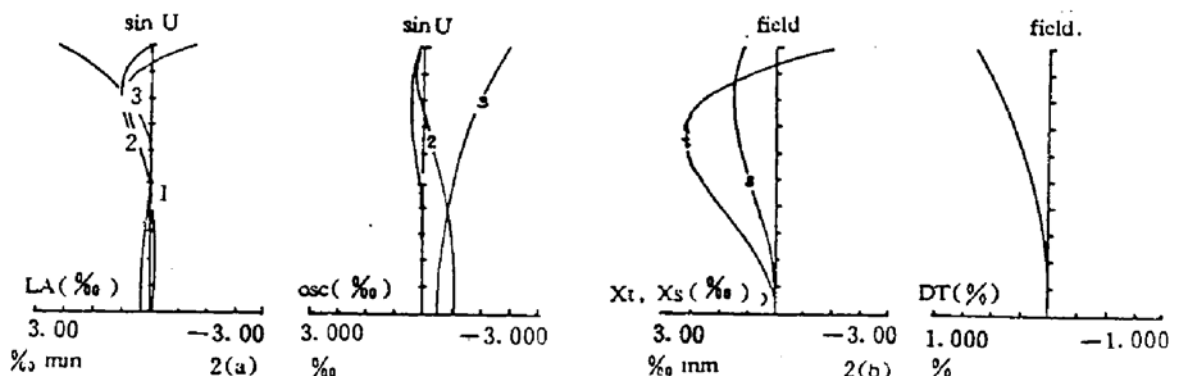


Fig. 2 Curves of the spherical aberration, OSC, X_t, X_s and distortion of the CF microscopic objective, NA 0.90×63, image diameter $\phi = 28$ mm. defocus = -0.0004 mm. The number 1, 2, 3 correspond to wavelength $\lambda_d, \lambda_c, \lambda_f$. (a) spherical aberration and OSC (b) X_t, X_s and distortion

大视场显微物镜的倍率色差残留量, 在目视时, 经目镜放大后, 对人眼张角应小于人眼的分辨极限, 即约为 1 角分. 对于光电接收器件或胶片, 在接收像面, 倍率色差应小于一个像元的大小或小于胶片的分辨极限. 本例在像面上 C. F. 光的倍率色差最大值为 0.00252 mm, 经 10 倍目镜放大后, 对人眼张角为 0.33 角分.

球差和轴外宽光束像差通常是看波像差 OPD 的大小. 但是大数值孔径显微物镜的二极光谱和轴外宽光束 OPD 常超出 $\frac{1}{4}$ 波长. 苏联同行专家根据苏联的实践经验, 提出了复消色差显微物镜轴上点各色光 OPD 值和轴外宽光束 OPD 值的宏观的折衷指标, 可供参考.^[2]

近年来, 苏联、德国都用中心点亮度 $S. D.$ 评价衍射极限光学系统的像质, 如用于光刻镜头和显微物镜的像质评价, 并认为 $S. D. \geq 0.8$ 对评价质量优良的镜头的像质是完全可靠的.^[2] 表 1 列出了本例各视场各色光的 $S. D.$, 全视场相当于像方视场直径 28 mm, 计算时, 没有考虑轴外宽光束的合理拦光.

参 考 文 献

- [1] Rissenberg Horst, Jena Review P. P, 1980, 25(4): 158~163
 [2] B. A. 帕诺夫, Л. H. 安特列耶夫著, 显微镜的光学设计和计算. 包学诚等译, 机械工业出版社(1982)

Lens Design of the Flat Field, Apochromatic CF Microscopic Objective

Kuang Yuguang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academia of Sciences, Changchun 130022)

(Received 10 December 1991; revised 11 May 1992)

Abstract This paper discussed the scientific meaning and the main design idea of the flat field, apochromatic CF microscopic objective which is a new model of microscopic objective since 1980' s. The paper discussed the main idea, correction of the secondary spectrum and the petzval sum, and the evaluation of image quality. Finally the author evaluated the design example in terms of the Strehl ratio $S. D.$

Key words flat field, apochromatic, CF microscopic objective, lens design.

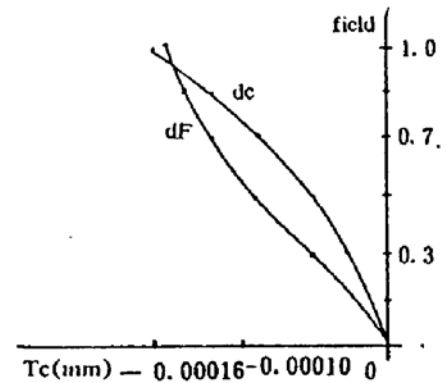


Fig. 3 Transverse chromatic aberration curve of the example CF microscopic objective