

六倍连续变倍双目立体显微物镜的光学设计

董玉华

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 概要叙述了6 \times 连续变倍双目立体显微镜光学系统的设计思想,包括光学系统参数的确定,显微物镜光学系统的结构形式的分析与选择,确定变倍部分的变倍与补偿方式及具体结构形式的考虑。

关键词: 光学设计; 变倍; 立体显微物镜

1 前言

我们都有这种体验,当使用单眼仪器观察物体时,由于另一只眼不参与视觉活动,工作的眼睛很快就会感到疲劳。如果工作者经常处于这种工作状态下就会造成体视能力下降。此外更重要的是单眼观察不可能获得体视感。在许多场合为了判断所观察的标本的深度以及不同的位置的物体细节,例如医生在手术中必须首先观察到病变的精确位置,才能进行手术操作,就必须使用双目立体显微镜。一般通过更换物镜来改变倍率。目前我国自行研制的高质量连续变倍的双目立体显微镜尚不多见。为满足社会需要,我们设计研制一种6 \times 连续变倍的双目立体显微镜。

2 使用要求及光学系统参数的确定

为了便于仪器的观察与操作,物镜必须有足够长的工作距离和两眼间瞳距可调,为了产生体视效应,一般双目立体显微镜物镜的视轴夹角为14 $^{\circ}$ —16 $^{\circ}$ 。因此在设计中要求两路物镜视轴夹角不得大于16 $^{\circ}$ 。为了获得高分辨率,物镜应具有较大数值孔径,但由于两视轴夹角不能超过16 $^{\circ}$,必然限制了数值孔径的扩大。在我们的设计中,根据具体使用要求确定物镜的工作距离为100mm。数值孔径为0.072,倍率为0.75 \times ~4.5 \times ,变倍比为6 \times ,中间象面为 Φ 24mm。

3 光学系统结构形式分析与选择

我们可以把连续变倍的显微物镜的光学系统看作由I、Z二组物镜构成的。如图1所示:物镜的前组(I组)为担负不同孔径角、视场角的无限筒长的显微物镜,其后组(Z组)为一

连续变倍物镜。这样整组倍率可以由下式表示:

$$M = \frac{f'_z}{f'_I}$$

式中: f'_I 为 I 组物镜的焦距, mm

f'_z 为 Z 组物镜的焦距, mm

f'_z 是连续变化的, 当然 M 也连续变化。

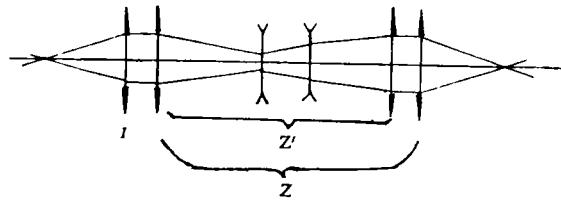


图 1 连续变倍显微物镜光学系统构成示意图

3.1 确定变倍部分(Z 组)变倍与补偿方式及具体结构形式的考虑

变倍部分的光学系统, 从基本结构形式看与普通电影变焦距物镜的结构形式相比并无太大差别, 但其所承担的相对孔径、视场角、外形尺寸等有较大区别, 特别是对成象质量要求较高, 它是小象差系统。根据上述特点及外形尺寸要求, 在确定变焦系统的初始结构形式时, 我们可以这样考虑, 如果在摄影物镜前放置一个伽利略望远系统, 那么, 摄影物镜的焦距将被望远镜的倍率所改变, 如果将伽利略望远镜倒转放置, 就可以使其倍率从 m 倍变为 $1/m$ 倍, 这样整个系统就可以获得象面一致的两种焦距, 如图 2a、b 所示:

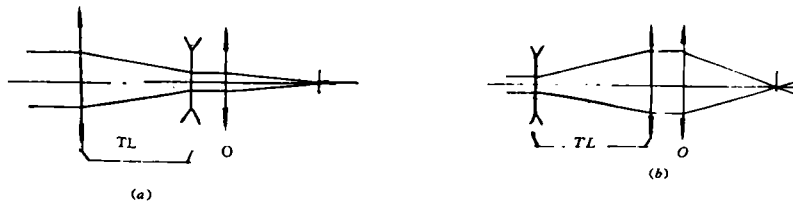


图 2 a. 伽利略望远镜 TL 与摄影物镜 O 构成的光学系统示意图;
b. 倒置的伽利略望远镜 TL 与摄影物镜 O 构成的光学系统示意图

为方便起见, 我们可能设计一个三组元的望远系统来代替上述二组元的望远系统, 如图 3 所示:

中间组元在倍率互为倒数的两个位置上结构对称, 移动量对称, 从而得到两个共焦面的不同焦距的系统。但当中间组元处于 $-1\times$ 位置时, 焦面误差也就是象面位移最大, 如图 4 所示:

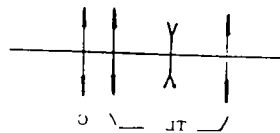


图 3 三组元望远系统 TL 与摄影物镜 O 构成的光学系统示意图

为了补偿象面位移, 我们可以将中间组元分裂成两个光焦度相等的负组元, 在变倍过程中, 又可把二组元作为一个整体移动, 以实现物象交换而获得长、短焦距 ($\sqrt{6}$ 和 $1/\sqrt{6}$ 倍)。同时可以改变两个组元的间隔, 以达到倍率变化且补偿象面位移的目的。如图 5 所示:

在本设计之初, 对于变倍部分, 我们就采用了这种结构形式。视中间二个组元的前一负组元为变倍组, 后一负组元为补偿组。并使其光焦度、结构形式与结构参数 (如半径、厚度及所用光学材料) 相同。同时, 还可以使望远系统前后两个固定组元的光焦度、结构形式、结构参数相同。这样, 就可以使整个变倍部分 (Z' 组) 的光学系统结构紧凑, 减少加工时间和费用。但事实上, 当变倍比和视场角较大时, 前固定组担负的相对孔径必然较大, 在具体计算中, 为了保证成

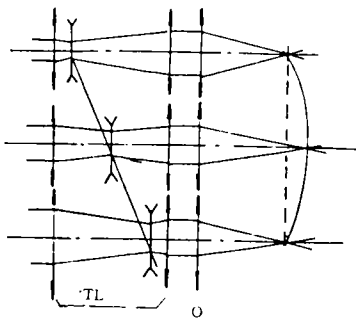


图4 三组元变焦系统象面位移图

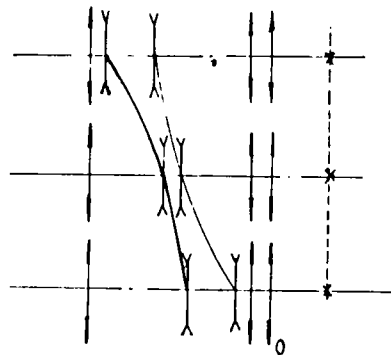


图5 四组元变焦系统象面位移图

像质量,不得不在一定程度上牺牲了某些对称性。此外,由于正组补偿的光学系统的外形尺寸细长,因此,根据整体布局要求,而采用上述的机械补偿法负组补偿的结构形式是适宜的。

3.2 变倍补偿曲线

倍率选段对变倍系统物镜的外形尺寸、凸轮形状、组元结构、二级光谱及象差平衡状况有很大影响。由上述结构分析可见,该系统的倍率选段已确定,它属于负组补偿曲线的更偏下选段。经过高斯光学计算,所获得的变倍、补偿曲线如图6所示:

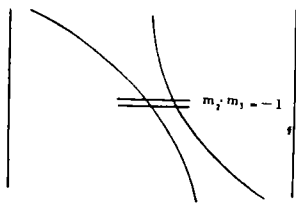


图6 变倍补偿曲线

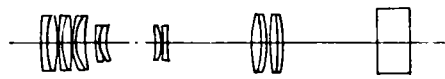


图7 连续变倍显微物镜光学系统结构示意图

3.3 象差校正与各组元结构形式的选择

在校正象差过程中,应把无限筒长的显微物镜合并到变倍部分的前固定组中,一起来考虑校正象差。也就是使I组和Z'组的象差在各个焦距位置的残余量尽可能的小且一致,以便由后固定组产生等值反号象差与之抵消,最终保证整个系统在各个焦距位置上的象质达到满意程度。前固定组在高倍位置时轴上光线,轴外光线都有较大高度,担负较大相对孔径和视场角,所以它对高倍位置的象差贡献最大,在中低倍位置时,前固定组的 h_p 也较高,因此恰当地选择前固定组的结构形式是十分重要的。这里采用了双双单的结构形式,实际上在进一步校正色差过程中,为了获得较高的成像质量,在单片中加入了等折射率胶合面。而变倍组在低倍位置时 h_p 也较高,所以它对低倍位置的象差影响较大,这里根据校正象差的需要采用了双分离的结构形式。补偿组在各个倍率位置的轴上光线高度较高,也选用了双分离的结构形式。由于采用负组补偿,后固定组担负的轴上相对孔径较大,故选用了两个双胶合透镜。依靠合理地选择各个组元的玻璃组合,利用透镜的弯曲和变倍组、补偿组双分离透镜间的空气间隔做为变量,使各个焦距位置的象差校正达到了满意的程度。物镜的光学系统结构,如图7所示:

4 结 论

所设计的 6 倍连续变倍双目立体显微镜已研制成功,成像质量及外形尺寸都十分理想,于 92 年中国长春电影节展销会及 94 年在大连举办的东北地区产品展销会上曾两次参展获得了好评。目前已小批量生产。

参 考 文 献

- [1]G. H 柯克,变焦物镜发展的技术评述. 电影光学,1975,(4):26-35
- [2]尤英奇,正组补偿变焦距的倍率选段. 电影光学,1981,(2):20-26
- [3]薛鸣球,变焦距的高新光学物镜. 电影光学,1978,(3):1-15

Optical Design of a 6^x Zooming Objective for a Biocular Stereoscopic Microscope

Dong Yuhua

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun130021*)

Abstract

This paper describes briefly the design idea of a 6^x zooming objective for a biocular stereoscopic microscope, which includes the determination of the performance parameters, the analysis and selection of configurations and the choice of varying and compensating type.

Key words: Optical design, Zoom lens, Stereoscopic microscope