

新型大孔径变焦距物镜

尤英奇

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

提 要

本文论述了 35 mm 电影大孔径变焦距物镜的设计特点,提出了消象散中间固定组的结构。最后给出了具有中间固定组的新型变焦距物镜实例。它的焦距范围为 25~85 mm, 相对孔径为 1/1.4, 视场角为 57°~18°。

为了满足低照度下拍摄需要和获得景物的真实感,近年来国内一些研究单位和制造厂家都在研制大孔径(F 数在 2 以上)电影物镜。35 mm 电影的大孔径变焦距物镜在国内外尚未见到报道。本文提出一种能在现有摄影机上使用的新型大孔径变焦距物镜。

一、结构型式

35 mm 电影大孔径变焦距物镜在设计时除了要有良好的象质外,还要能够安装在现有摄影机的转塔上。后者是设计中很难解决的问题,它会使整个物镜结构发生一些特殊变化。

1. 补偿型式

电影变焦距物镜通常采用机械补偿型式,典型的光学系统如图 1 所示^[1]。对于 35 mm 电影大孔径变焦距物镜而言,选择补偿型式的主要依据是能够满足物镜与摄影机连接要求,其尺寸如图 2 所示。在 52 mm 内光学零件外径要小于 $\phi 33$ mm 物镜的后工作距离要大于 27 mm。

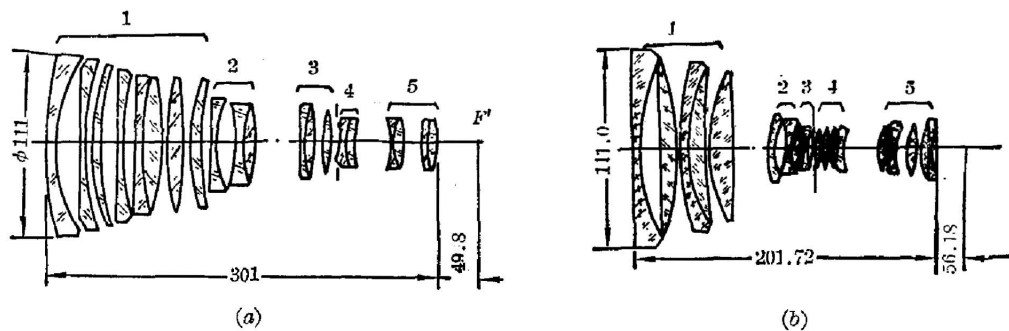


图 1

图 1(b) 所示的负组补偿因光线连续经过变倍组 2、补偿组 3 两次发散而导致后固定组 5 外径大,难以满足图 2 的要求。图 1(a) 所示的正组补偿是有利于解决连接尺寸问题。因此,大孔径变焦距物镜采用正组补偿是适宜的。

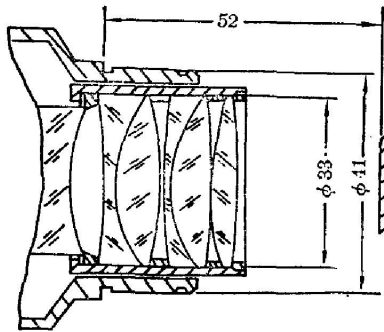


图 2

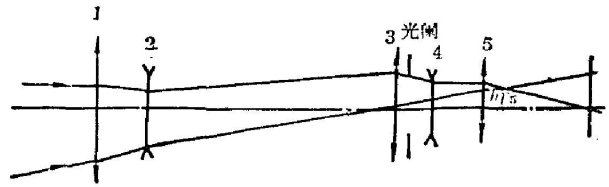


图 3

2. 中间固定组

图 1(a) 中变倍组 2 和补偿组 3 是中等相对孔径变焦距通常采用的结构。后固定组 4 和 5 之间距及其结构是由象差平衡所决定的。在正组补偿的变焦距中前固定组和变倍组的象散系数 S_{111} 大体上是相互抵消的。图 3 给出了短焦距时光路示意图。为了讨论问题方便假定光阑在补偿组上, 这样光阑前系统的 S_{111} 可视为定值, 即:

$$S_{111} = j^2 \varphi,$$

其中 j 为物象空间不变量, φ 为补偿组光焦度。为了校正 S_{111} , 后固定组 4 和 5 之间要有一个相当大的距离, 有时组元 4 还要采用厚透镜。这种结构轴外主光线在组元 5 上的入射高度 h_{p5} 是可观的。对于 35 mm 电影大孔径 (例如 $F/1.4$) 变焦距 h_{p5} 将导致组元 5 的外径大大地超过 $\phi 33$ mm。为了保证 0.7 视场有足够的照度, 在后工作距离不小于 27 mm 的情况下, 只有降低 h_{p5} 之值。降低 h_{p5} 有两个途径: 其一是使组元 4 和 5 尽量靠近, 其二是组元 4 采用薄透镜结构。但是, 这种做法失去了校正 S_{111} 的变量。为此我们必须寻求新的校正 S_{111} 的变量。

要产生一定量的负 S_{111} 就必须在远离光阑处寻求新的变量。在这种典型的变焦距中唯有变倍组和补偿组之间可以放置一组透镜作为校正 S_{111} 的变量。我们称这组透镜为中间固定组, 如图 4 所示。当中间固定组选择一个合理的结构和弯曲状态时 S_{111} 是可以得到良好的校正。另外, 中间固定组也能够减轻变倍组和补偿组对孔径象差的负担。

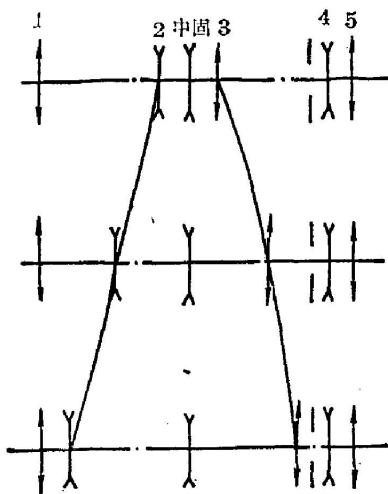


图 4

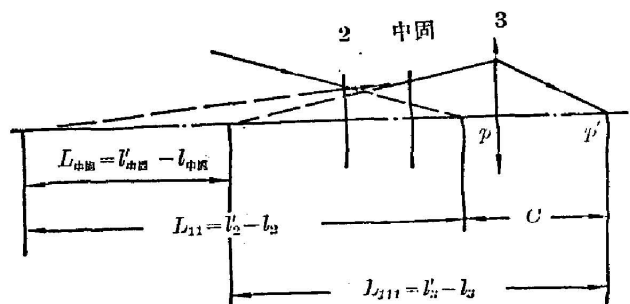


图 5

3. 变焦方程式

机械补偿的变焦距物镜其高斯光学既要满足焦距连续变化, 同时又要保证象面位置稳定。这两个要求是由活动组元 2 和 3 来保证的。活动组元移动之间的关系便建立了变焦方程式^[2]。图 5 给出了变倍部分光路示意图。焦距的改变是由变倍部分倍率变化所决定的, 其焦距为:

$$f' = f'_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_{\text{中}} \cdot \beta_3 \cdot \beta_4 \cdot \beta_5, \quad (1)$$

其中 f'_1 为前固定组的焦距, β_i 为各相应组元的主轴放大率。要保证象面稳定就要求 P 点到 P' 点之距离 O 为常量, 即为:

$$O = L_{11} + L_{\text{中}} + L_{111} = -f'_2 \left(\beta_2 + \frac{1}{\beta_2} \right) + 2f'_2 - f'_{\text{中}} \left(\beta_{\text{中}} + \frac{1}{\beta_{\text{中}}} \right) + 2f'_{\text{中}} - f'_3 \left(\beta_3 + \frac{1}{\beta_3} \right) + 2f'_{30}$$

经整理得:

$$\left(\beta_2 + \frac{1}{\beta_2} \right) f'_2 + \left(\beta_{\text{中}} + \frac{1}{\beta_{\text{中}}} \right) f'_{\text{中}} + \left(\beta_3 + \frac{1}{\beta_3} \right) f'_3 = 2(f'_2 + f'_{\text{中}} + f'_3) - O. \quad (2)$$

这就是变焦方程式。其中 f_i 为各组之焦距。在(2)式中当选定 f'_2 、 $f'_{\text{中}}$ 、 f'_3 和初始位置的 β_2 、 $\beta_{\text{中}}$ 、 β_3 后, 给定新位置的 β_2^* 便可求得 $\beta_{\text{中}}^*$ 和 β_3^* 。当 $f'_{\text{中}}$ 较大时 $\beta_{\text{中}}$ 在变焦过程中变化不大, 因而对倍率变化的速率影响很小。

二、设计实例

1. 设计参数

焦距范围 $f' = 25 \sim 85 \text{ mm}$;

相对孔径 $D/f' = 1/1.4$;

视场角 $2\omega = 57^\circ \sim 18^\circ$;

后工作距离 $l' = 27.5 \text{ mm}$ 。

2. 光学系统结构

光学系统是由五个组元 22 个镜片所组成(如图 6 所示), 其中 1 为前固定组, 2 为变倍组, 3 为中间固定组, 4 为补偿组, 5 为后固定组。在距象面 52 mm 内其光学零件外径均小于 $\phi 33 \text{ mm}$ 。

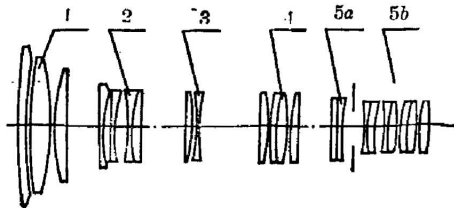


图 6

在大孔径变焦距物镜中后固定组的正负组元都有较大的光焦度。为压缩组元 5 的外径和降低高级负球差, 将负组一部分光焦度置于光阑之前(图 6 中 5a)。它的不足之处是组元 1 的口径有所加大。

3. 光学系统的象质

(1) 象差曲线

图 7 给出了长、中、短三个焦距的象差曲线。从图中可以看出各焦距轴上和轴外象差、子午和弧矢象差都是较为匹配的。如再进一步精细修改象差将会进一步提高成象质量。

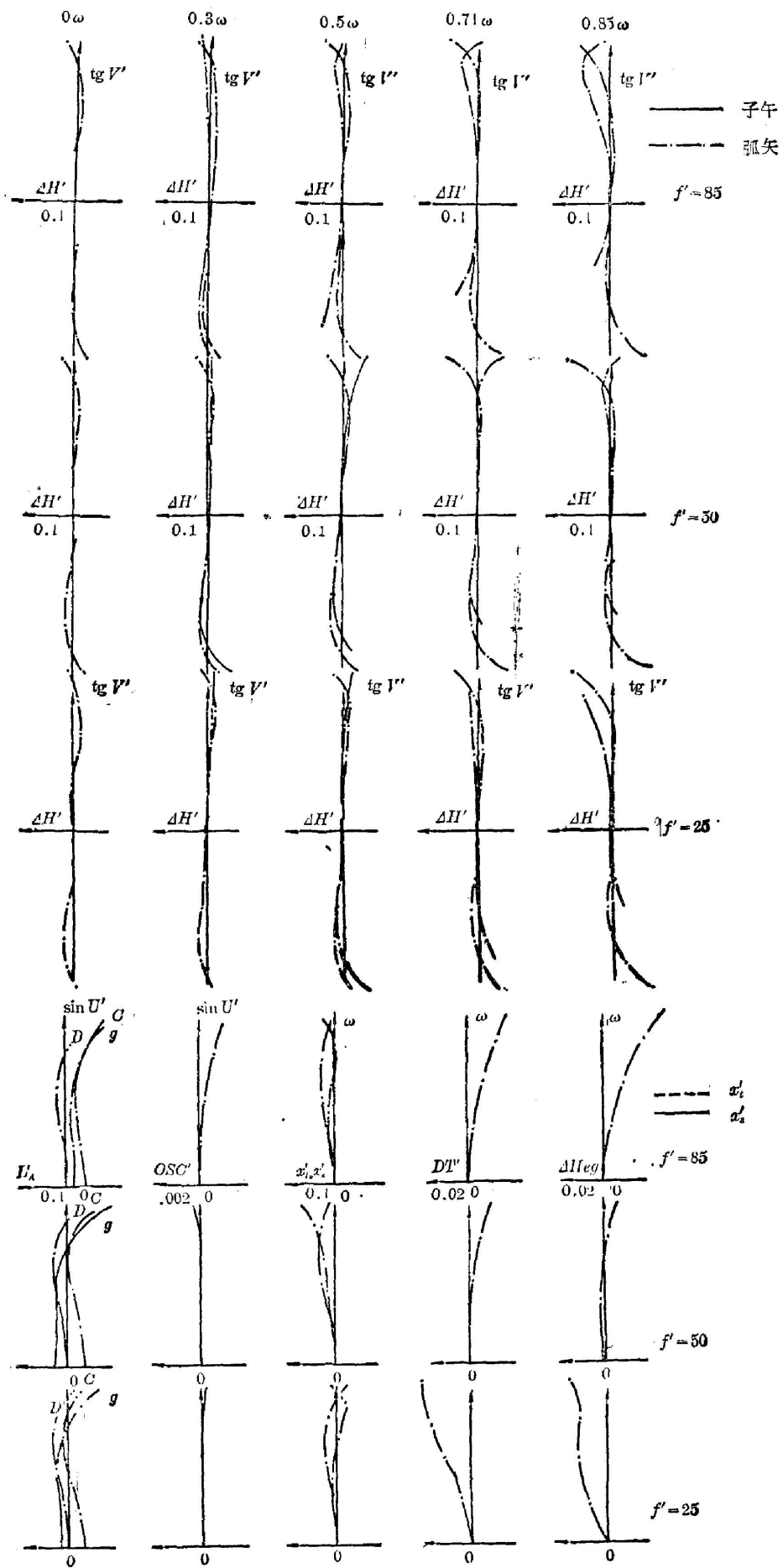


图 7

(2) MTF 曲线

图 8 给出了波长为 5893 \AA 时所计算的 MTF 值, 它是兼顾色光贡献来确定的。由于没按照各色光应占有的权重来选定离焦象面, 因此这个值仅能作为参考。

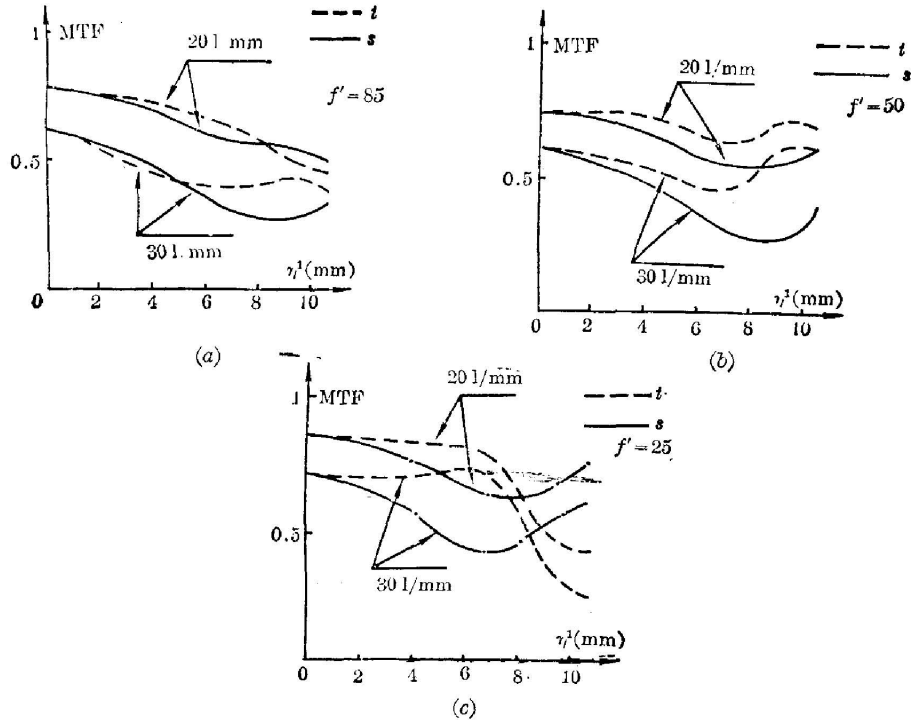


图 8

三、讨 论

1. 倍率选段

不同倍率选段的正组补偿变焦距其外形尺寸、凸轮形状、组元结构、二级光谱和象差校正等均有所不同。倍率选段与其变倍比和相对孔径有关。中等孔径的变焦距可用后固定组中正负或正正透镜分离来产生所需要的匹兹瓦尔系数 S_{IV} 。这样, 倍率选段就可以在很大的范围内进行。新型大孔径变焦距后固定组不能分离, 因此它的倍率选段要把 S_{IV} 的残留量作为一个主要标准。

2. 系统结构

设计实例若用通常的正组补偿结构一种可行的光学系统如图 9 所示。前固定组 1 和补偿组 3 的结构是常用的一种型式。在 $F/1.4$ 的变焦距中变倍组 2 ($F/0.8$) 采用单、单、双的结构是适宜的。为了平衡 S_{III} 和孔径象差后固定组 4 和 5 分离且复杂到这种程度。这样组元 5 的外径已无法与摄影机连接。新型大孔径变焦距采用了中间固定组和组元 4 部分光焦度前移的措施从而解决了与摄影机连接的问题。新型大孔径变焦距虽然增加一个组

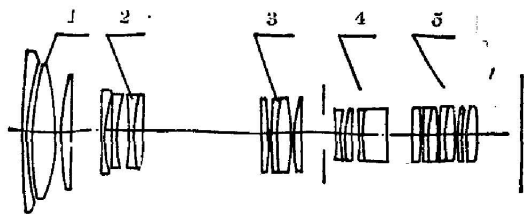


图 9

元但总透镜数并未增加多少。如果充分利用中间固定组的变量,则变倍组和补偿组尚可简化。

3. 实用价值

现有大孔径定焦距镜头结构也很复杂且体积较大,致使几个镜头不能共同装在摄影机转塔上使用。新型大孔径变焦距镜头可替代定焦距系列中大部分镜头。这不仅能获得特殊的艺术效果而且操作十分方便。具有特殊功能的变焦距其结构都进行了相应的复杂(如图1),新型大孔径变焦距也不例外。正因增加了中间固定组才使得大孔径变焦距在普通35mm电影摄影机上使用。

从经济观点来看,中间固定组的制造成本比其重新制造新型摄影机所用的经费要少得多。

综上所述,说明具有中间固定组的新型大孔径变焦距物镜是有实用价值的,其结构对于35mm电影而言是有发展前途的。

参 考 文 献

- [1] Ф. С. Новик; *Техни кино и телевидения*, 1976, № 3, 70.
- [2] 陶纯堪; *《科学通报》*, 1977, No. 4~5, 207.

A new-type zoom lens with large aperture

YOU YINGQI

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 14 June 1984; revised 30 October 1984)

Abstract

The design features of a large-aperture zoom lens for 35 mm motion picture camera are presented. A structure of a fixed part between two moving parts in order to correct astigmatism is discussed. A new-type zoom lens is given as an example. It has a range of focal length of 25~85 mm, a relative aperture of 1/1.4 and maximum angular field $57^{\circ}\sim 18^{\circ}$.