

# 长焦距大变倍比变焦距物镜的小型化

冯秀恒

**摘要** 介绍了长焦距大变倍比变焦距物镜的小型化问题。探讨了变倍系统中变倍组和补偿的焦距缩短,调焦组与变倍组之间的距离变长的优越性,以及用最简单的结构型达到良好的像差校正状况的可能性,从而实现成像质量优良,结构简单的变焦距物镜的小型化,文章给出了两个小型化的长焦距大变倍比变焦距物镜的实例。

变焦距物镜小型化,通常是指在保持像质优良的前提下,力求做到总体长度短,通光口径小而且结构比较简单,从而达到体积小重量轻的目的。笔者曾采用流行的变倍补偿方式,探讨变焦距物镜小型化的可能性<sup>[1]</sup>,以及正组补偿与负组补偿小型化的比较<sup>[2]</sup>。我们发现缩短变倍组和补偿组的焦距是小型化最有力的手段,而且在通常的变倍比的情况下,负组补偿比正组补偿更有利于小型化。但是,变倍组和补偿组焦距的缩短是有限度的,过份缩短变倍组和补偿组的焦距,会导致每个单元透镜的相对孔径增大,引起高级像差骤然增加。

在变焦距物镜的设计中,决定总体长度的因素是变倍比(亦即长端焦距)和相对孔径的大小,而决定前片通光口径的因素除上述两个因素外,还有视场角的大小,在视场角比较大的情况下,往往是轴外光束的高低决定变焦距物镜前片通光口径。

电视摄像机往往需要对远距离目标进行拍摄,这就要求我们设计长焦距大变倍比的变焦距物镜、在通常情况下,这类物镜的视场角都比较小,视场角的大小就不成为决定前片通光口径的因素,而只剩下变倍比和相对孔径两个因素。

不同的变倍补偿方式,以及不同的组元焦距,在高斯光学计算中,呈现出不同的总体长度。我们试图寻找一种新办法,在高斯光学计算中,在不增大单元透镜的相对孔径的前提下,进一步缩短变倍组和补偿组的焦距,实践表明,在保证调焦组焦距不变,即调焦组相对孔径不变的情况下,增大调焦组与变倍组之间的距离,则可以做到缩短变倍组和补偿组的焦距而保持单元透镜的相对孔径不变,也就是说,在变焦距物镜各个组元相对孔径不变的情况下,增大调焦组与变倍组之间的距离,可以缩短其总体长度。

我们计算了两种变倍补偿方式的高斯光学。

## 1. 正组补偿换根解方式

变焦距物镜的技术指标如下:

变倍比:  $20\times$ ; 焦距:  $f' = (25\sim 500)\text{mm}$ ; 相对孔径  $1:4\sim 1:6.3$ ; 视场角  $2\omega = 24.8^\circ\sim 1.26^\circ$ 。

我们计算了两种调焦组与变倍组之间距离的高斯光学,令各个组元在长焦距位置时相对孔径不变,均为

调焦组A:  $1:2.1$ ; 变倍组B:  $1:1.2$ ; 补偿组C:  $1:1.54$ ;

(1) 当选取短焦距位置 $d_{AB} = 15.1375\text{mm}$ 时, 各组元的焦距应为:

$$f_A' = 166.5125\text{mm}; f_B' = -30.275\text{mm}; f_C' = 49.95375\text{mm}.$$

(2) 当选取短焦距位置 $d_{AB} = 54\text{mm}$ 时, 各组元的焦距应为:

$$f_A' = 166.5\text{mm}; f_B' = -22.5\text{mm}; f_C' = 37.125\text{mm}.$$

上述两组不同的调焦组与变倍组之间的距离, 呈现出不同的变倍系统长度, 后组焦距和总体长度, 如表 1 所示。

表 1

	$d_{AB}$	变倍系统长度	后组焦距	总体长度
a	15.1375mm	184.68mm	110.19mm	294.87mm
b	54mm	180mm	81.9mm	261.9mm

从表 1 我们可以看出, 在各组元相对孔径不变的情况下, 当 $d_{AB}$ 增加 38.8625mm 时, 变倍系统长度反而减少了 4.68mm, 又由于变倍组和补偿组焦距缩短, 导致后组焦距变短, 减少了 28.29mm, 这是很可贵的, 最终使得总体长度减少 32.97mm。

根据上述原理设计的变焦距物镜的具体指标如下:

变倍比  $20\times$ ; 焦距  $f' = (24.9 \sim 498.6)\text{mm}$ ; 相对孔径  $1:4 \sim 1:6.3$ ; 视场角  $2\omega = 24.8^\circ \sim 1.26^\circ$ ; 总体长度 334.72mm; 前片口径  $\phi 80\text{mm}$ ; 后片口径  $\phi 17\text{mm}$ ; 导程 73.019mm; 补偿量 33.995mm。

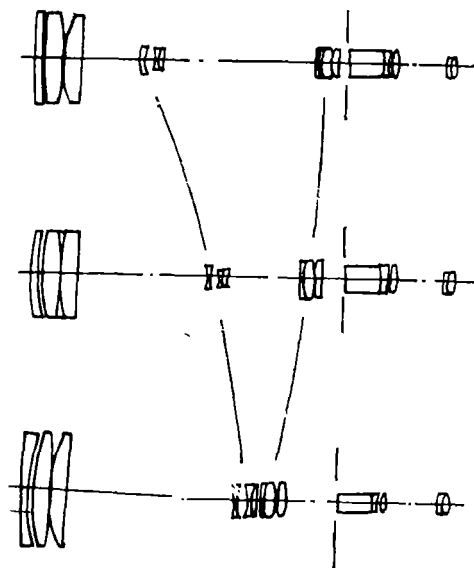


图 1

结构型式如图 1 所示, 像差曲线如图 2 所示。

这个设计结果, 由于短焦距位置时的视场角  $2\omega = 24.3^\circ$ , 所以制约了调焦组与变倍组之间的距离不能太大。否则短焦距位置时的轴外光束高度将超过长焦距位置时的入瞳高度, 造成前片通光口径太大, 增加体积和重量, 反而有碍于小型化指标的全面实现。

### 1. 负组补偿物像交换方式

变焦距物镜的技术指标如下:

变倍比:  $10\times$ ; 焦距  $f' = (80 \sim 800)\text{mm}$ ; 相对孔径  $1:6.67$ ; 视场角  $2\omega = 7.87^\circ \sim 0.79^\circ$ ; 同样令各个组元在长焦距位置时相对孔径不变, 均为

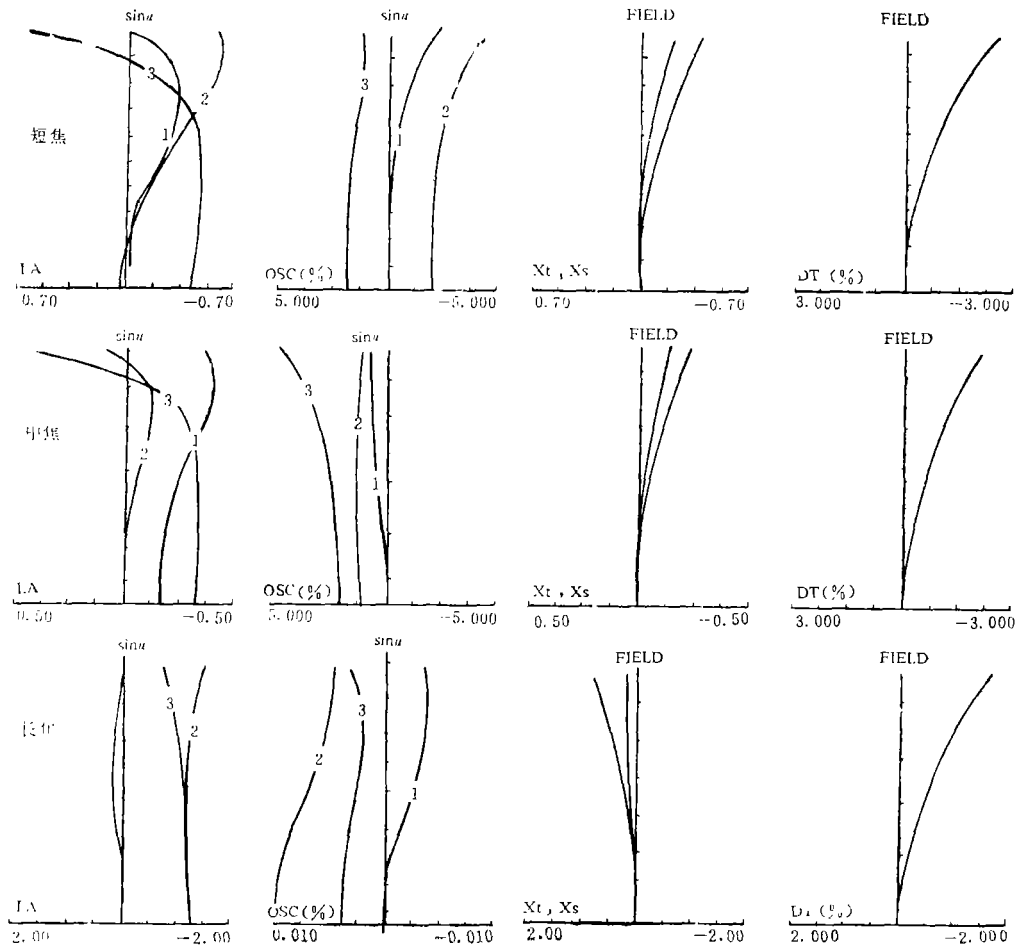


图 2

调焦组A: 1 : 4.67; 变倍组B: 1 : 3.55; 补偿组C: 1 : 5.07。

我们选取的各个组元的相对孔径看来都比较小，这是因为准备采用双胶合透镜或双分离透镜作为其结构型式，而这种结构型式的相对孔径不能太大。我们同样计算了两种调焦距与变倍组之间距离的高斯光学

(1) 当选取短焦距位置 $d_{AB} = 93.825\text{mm}$ 时，各组元的焦距应为：

$$f_A' = 560\text{mm}; f_B' = -112\text{mm}; f_C' = -168\text{mm}。$$

(2) 当选取短焦距位置 $d_{AB} = 227.018\text{mm}$ 时，各组元的焦距应为：

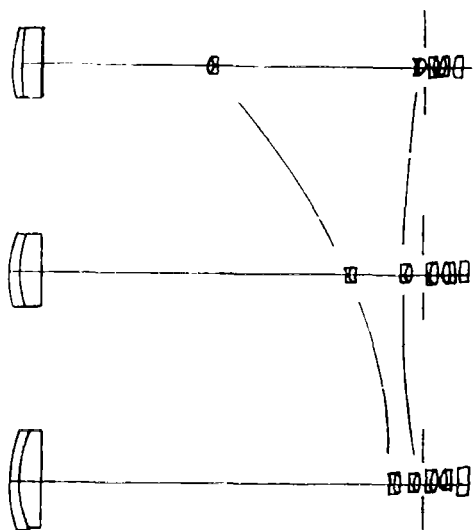
$$f_A' = 560\text{mm}; f_B' = -80\text{mm}; f_C' = -112\text{mm}。$$

上述两组不同的调焦组与变倍组之间的距离，同样呈现出不同的变倍系统长度，后组焦距和总体长度，如表 2 所示。

表 2

	$d_{AB}$	变倍系统长度	后组焦距	总体长度
a	93.825mm	483.983mm	306.704mm	790.687mm
b	227.018mm	505.702mm	219.074mm	724.776mm

从表 2 我们发现，在各组元相对孔径不变的情况下，当 $d_{AB}$ 增加 133.193mm 时，变倍系



统长度也增加了21.719mm, 看来好象是不利的, 但由于变倍组和补偿组焦距缩短, 后组焦距缩短了很多, 减少 87.63mm, 这也是很宝贵的, 最终使得总体长度减少 65.911mm, 而且结构型式非常简单。

根据上述原理设计的变焦距物镜的具体指标如下:

变倍比  $10\times$ ; 焦距  $f' = (79.96\sim 799.55)$  mm; 相对孔径  $1:6.67$ ; 视场角  $2\omega = 7.87^\circ\sim 0.79^\circ$ ; 总体长度 719.74mm; 前片口径  $\phi 120$  mm; 后片口径  $\phi 29$  mm; 行程 227.687mm; 补偿量 11.762mm。

结构型如图 3 所示。像差曲线如图 4 所示。

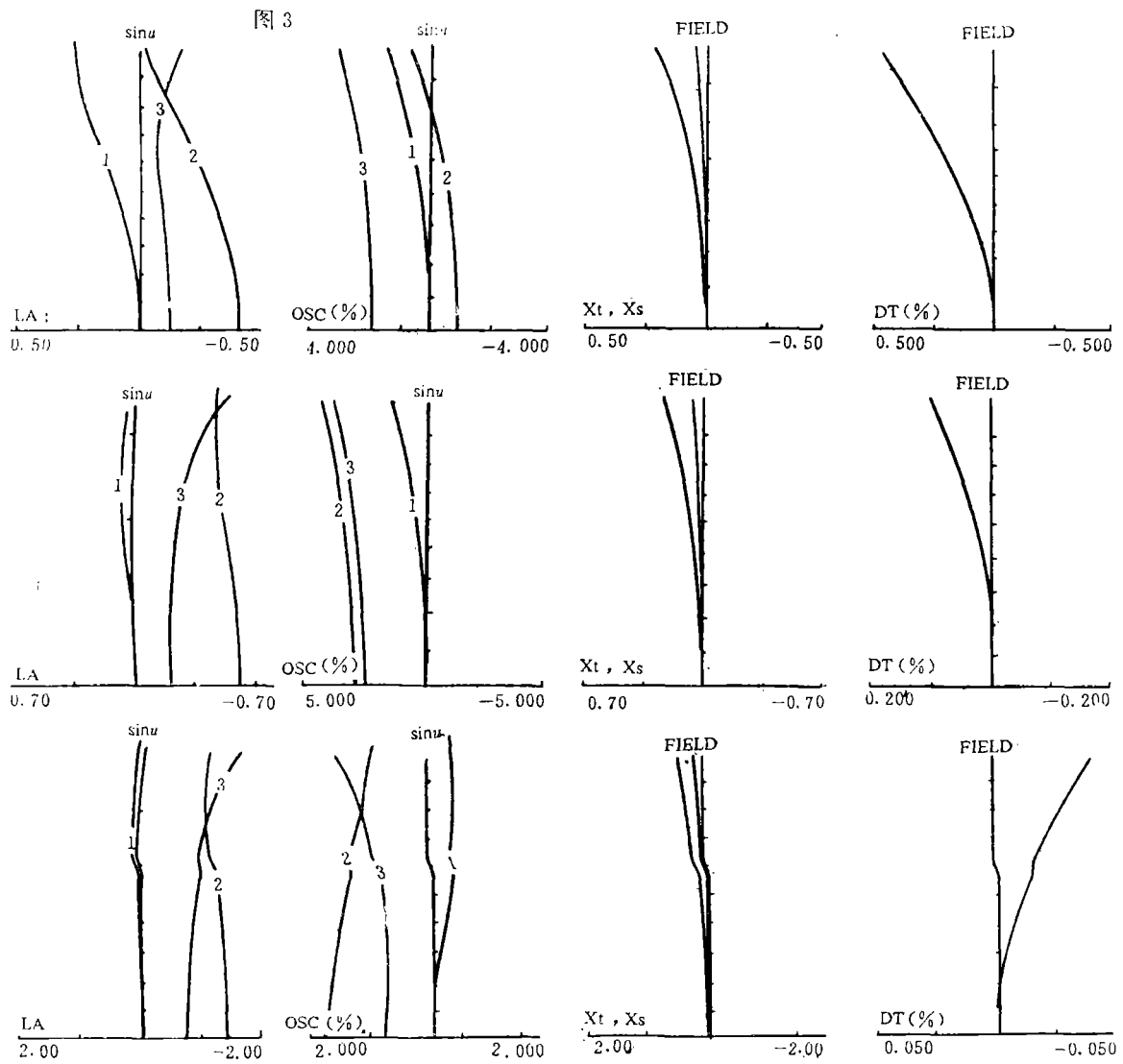


图 4

综上所述,当变焦距物镜的视场角比较小时,上面两种变倍补偿方式,都可以采取增大调焦组与变倍组之间距离的办法,来缩短变焦距物镜的总体长度。至于调焦组与变倍组之间的距离增大到什么程度,要依变焦距物镜视场角的大小而定。长焦距的变焦距物镜也可以理解为远摄物镜。在远摄物镜中,使正焦距的前组与负焦距的后组之间的距离加大,可以减小远摄比,以便缩短筒长,在变焦距物镜的相对孔径比较小时,各组元可以采用简单的双胶合透镜或双分离透镜作为其结构型,这有利于减轻变焦距物镜的重量。

### 参 考 文 献

- [1] 冯秀恒; 光学机械, 1981.3.
- [2] 冯秀恒; 光学机械, 1984.6

## The Miniaturization of Zoom Lens with Long Focal Length and Big Zooming Ratio

Feng Xiuheng

### Abstract

This paper describes the miniaturization of zoom lens with long focal length and big zooming ratio, discusses the advantages of reducing focal length in zoom and compensation units and increasing the distance between the focus adjustment unit and zoom unit. It also discusses the possibility of aberration correction using simple structure, for realizing the miniaturization of the zoom lens with high-quality image and simple structure, followed by two examples given in the paper.