

变焦距镜头的像面移动比率及其应用

刘 瑞 祥

引 言

如何使像面位移最小,这是设计与制造变焦距镜头中的一个重要问题。尽管设计者可以给出符合使用要求的设计结果,但是由于各个光学组元、尤其是机械凸轮的加工误差的影响,最后的调整往往是不可避免的,以便在允许的限度内,使得这些加工误差的影响变得最小。为了描述调整变焦距镜头各个光学组元对像面位移的影响,笔者提出了像面移动比率的概念,并作过一些理论分析^[1]。本文首先简要地说明这个概念,然后着重讨论它的一些实际应用。

像面移动比率

对于如图1所示的机械补偿变焦距镜头,像面移动比率定义为:

$$\alpha_j = \lim_{\Delta d_j \rightarrow 0} \frac{\Delta l'}{\Delta d_j} = \frac{\partial l'}{\partial d_j} \quad (1)$$

其中 Δd_j 表示第 j 个组元的沿轴调整量, $\Delta l'$ 表示由 Δd_j 引起的像面位移量。上式各量的符号俱规定为:以光线传播方向为正,逆向为负。

如果变焦距镜头由四组元组成(图1),则可以求得下列三个具体公式:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= m_2^2 m_3^2 m_4^2 \\ \alpha_2 &= (1 - m_2^2) m_3^2 m_4^2 \\ \alpha_3 &= (1 - m_3^2) m_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

m_2, m_3, m_4 分别是 B, C, D 各组元的轴向放大率。

大率。

不难证明,对于更多组元的变焦距镜头来说,只要略加改动,即可求得相应的公式。

典型的像面移动比率曲线

我们分别以 $\alpha_{j,n}$ 、 α_j 代表负组与正组机械补偿变焦距镜头的像面移动比率。计算表明 $\alpha_{j,n}$ 与 α_j 显著不同,典型的曲线如图2所示。由图2及理论分析可知:只有 $\alpha_{1,n}$ 与 α_1 的变化形式

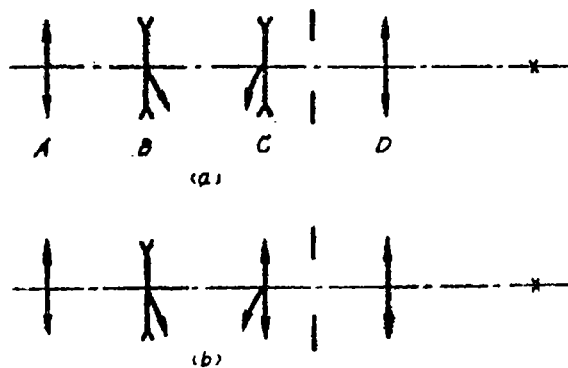


图1 机械补偿变焦距镜头示意图
(a) 负组补偿 (b) 正组补偿

相同，其余的明显不同。主要差别是：第一，随着焦距 f' 的增大， α_{2n} 的符号由正变为负。而 α_{2p} 总是大于或等于零。不难发现，图 2 (b) 中的 α_{1p} 相当于 (a) 中 α_{2n} 在小于 f'_{-1} 部分的变化规律。这里 f'_{-1} 是对应于 $m_2 = -1$ 的焦距。第二，在 f'_{m_0} 处， α_{3p} 为零，随着焦距 f 的减小，它逐渐增大。而 α_{3n} 在 f'_{m_0} 和 f'_{m_1} 位置变化都大，只是在 f'_{-1} 所对应的位置变化小些。这些差别是由变焦镜头的选段特性造成的。最近，在正组补偿变焦镜头的设计中，有人采用新的选段方法，因而它的像面移动比率曲线具有新的特点。

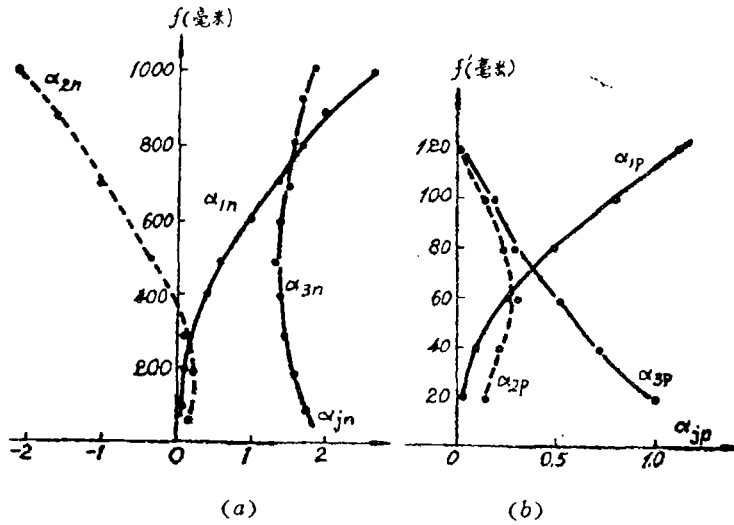


图 2 典型的像面移动比率曲线

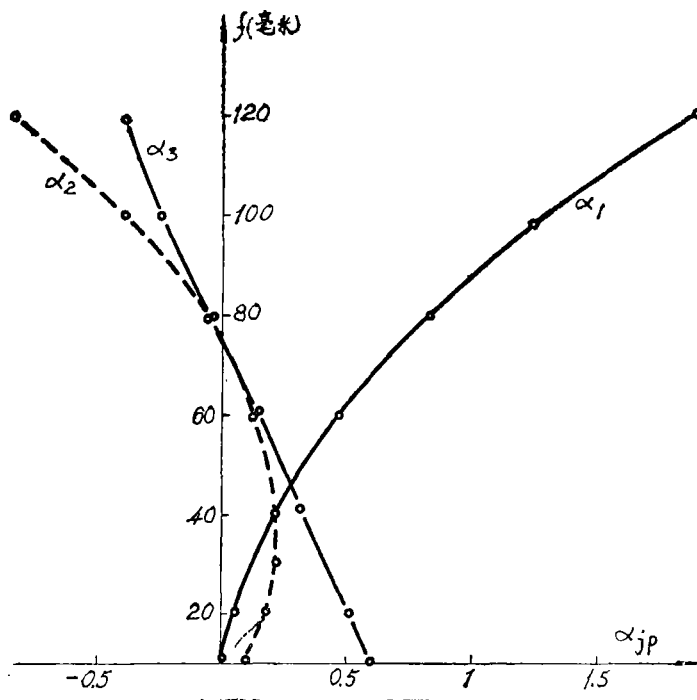


图 3 10×12 16毫米电影摄影变焦镜头的像面移动比率曲线

像面移动比率的测量

如上所述,对于设计数据已知的变焦距镜头,可以按照公式(2)算出它的像面移动比率。但是由于各种加工误差与装配误差,实际的像面移动比率不可能与理论计算的完全一致。因此进行测量和比较是必要的。尤其对于数据未知的镜头,如能从实验上求得它们的像面移动比率,就更有实用价值。

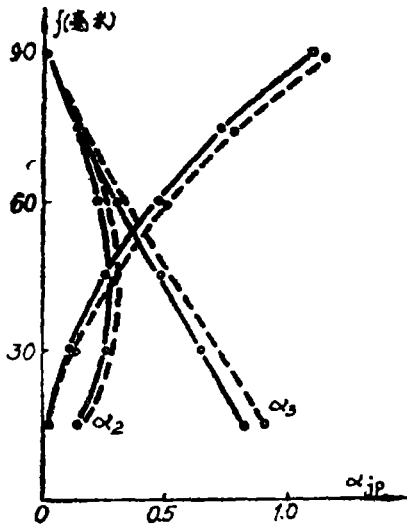


图4

— 实测值 计算值

为了便于分析比较,我们采用数据已知的 6×20 工业电视变焦距镜头做了实测。测量装置和方法与测量像面位移时基本相同^[2]。测量结果(图4)表明,实测值与计算值基本吻合。除了测量误差,不难证明偏差主要是由于各组元的光焦度误差引起的。为了保证测量精度,实验中必须注意以下几点:

- 1) Δd 不能太大或太小,通常以 $0.5 \sim 1$ 毫米为宜;
- 2) 为了克服凸轮加工误差的影响,在改变 Δd 前后,要按照同一个焦距变化方向测量像面位置;
- 3) 最好采用实测的焦距 f' ,至少 f'_{max} 要用实测值,不用名义值。

这样,就可以避免较大的测量误差。

像面移动比率的应用

1. 在像面位移调整中的应用

由上述分析可以知道,正组补偿方式的变焦距镜头像面位移的调整,必然与负组补偿变焦距镜头有所不同。在实际调整中,可以根据选段型式(或粗略地说,补偿型式)灵活运用已述各条规律。如果预先算出或测得变焦距镜头的像面移动比率曲线,那就更为方便了。采用这种方法有两个优点,第一,可以迅速判断哪个组元需要调整;第二,根据像面移动比率曲线和实测的像面位移大小,可以采用缩放法算出需要调整的 Δd_j 量。在有些情况下,可以避免多次反复计算;第三,调整后各焦距的残余像面位移可以估算出来。这样,就可以根据使用要求,重点保证使某一焦距范围内的像面位移最小。我们曾把这种方法应用于6倍工业电视变焦距镜头和 10×80 工业电视变焦距镜头的像面位移调整。

2. 用于给定凸轮加工误差

给定合理的凸轮加工误差,是为了使得残留的像面位移不致严重影响成像质量,同时又不给加工带来很大的困难。显然,图2中的 α_2 、 α_3 也相当于单位长度的凸轮加工误差对像面位移的影响。类似地,凸轮槽的公差允限,与变焦距镜头的选段型式有关。一般说来,负组补偿变焦距镜头的凸轮,补偿槽各处的公差允限应基本上同样严格;而变倍槽,对长焦端的要求应当很严,短焦端可以松。正组补偿变焦距镜头的凸轮,补偿槽的公差要求应比变倍槽严格,而且随焦距加大而愈加严格。至于公差允限的大小,依其移动比率曲线很易推断。

另外，加工精度通常受很多因素限制，当所能达到的最高精度确定之后，它的影响很容易换算成对于像面位移的影响。

关于公差正负号的选定。公差可正可负，究竟如何规定有利？由图 2 可以知道，负组补偿凸轮的变倍槽与补偿槽，同测的公差符号应该相同，即都是正公差或负公差；而对于正组补偿来说，应取异号。这样，它们的影响可以互相抵消一部分。简言之，利用像面移动比率曲线，可以更好地处理凸轮设计及加工中的一些问题。

利用测得的像面移动比率曲线还可以判断镜头的选段型式，求解高斯倍率等。不再赘述。

结 语

综上所述，变焦距镜头的像面移动比率，对于设计者和制造者都是有用的概念。如果把它如同像差曲线那样来使用，无疑会得到一种非常明晰的概念，给实际工作带来许多方便。

吴东海同志参加了实验工作，在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞祥；电影光学 1981；1，45.
- [2] 沈部；电影光学，1974，3，54.