

变焦距系统像点漂移的研究

黄 玮

摘要: 本文系统的分析和论证了变焦距系统像点漂移产生的原因; 比较了不同结构形式和倍率选段的变焦距系统对像点漂移量的影响, 为跟踪测量变焦距系统设计初步选型提供了客观依据; 给出一种具有实际意义的校正变焦距系统像点漂移的有效方法; 提出了以像点漂移允差为依据制定变焦距系统光学元件中心偏差公差的方法和制定机械结构一些相关公差的参考依据。

一、引言

“像点漂移”是指在变焦距系统的变焦过程中, 由于运动组元的中心偏差引起的像点偏离理想成像位置的横向移动。像点漂移是影响电视跟踪、测量变焦距系统跟踪测量精度的重要因素, 严重时则可能导致丢失跟踪目标和测量误差。因此, 限制和校正像点漂移是电视跟踪、测量变焦距系统急待解决的一个问题。

二、像点漂移产生的原因

由几何光学的原理可知, 变焦距系统的像点漂移是由系统中组元的中心偏差引起的, 中心偏差表现为光轴倾斜和光轴平移两种形式。对单一组元而言, 其中心偏差可以看作该组元的光轴平移了 δ 的量, 然后又旋转了一个角度 θ 。

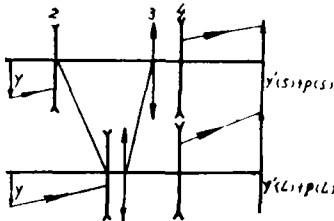
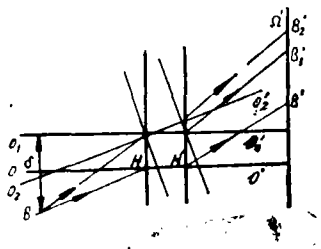


图1 中心偏差引起的像点漂移 图2 不同焦距位置的像点移动 2. 变焦组; 3. 补偿组; 4. 后固定组

如图1所示, 物点 B 经无偏差元件成像于 B' , 经光轴平移了 δ 的元件成像 B_1' , 经在平移 δ 后又旋转 θ 角的元件成像于 B_2' 。可见, $B'B_2'$ 即为总像点漂移量。由几何光学原理可以推导出由光轴平移引起的像点漂移量 $B'B_1'$ 为^[1]:

$$P_p = B'B_1' = (1 - m)\delta \quad (1)$$

其中 m 是该组元的垂轴放大率。由光轴倾斜引起的像点漂移量 B_1, B_2' 为:

$$|P_i| \approx d \sin \theta \quad (2)$$

P_i 的方向与倾斜光轴在理想像面上投影的方向相同, d 为该组元的主面间隔。在该组元像面上总的像点漂移量:

$$P = P_p + P_i \quad (3)$$

当系统由 n 个组元组成, 各组元垂轴放大率分为 $m_1 \cdots m_i \cdots m_n$, 其中第 i 个组元对系统像面上的像点漂移量的贡献为:

$$P_i = (1 - m_i) m_{i+1} \cdots m_n \delta_i + m_{i+1} \cdots m_n P_{i'} \quad (4)$$

系统总的像点漂移量为:

$$P_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n (1 - m_i) m_{i+1} \cdots m_n \delta_i + \sum_{i=1}^n m_{i+1} \cdots m_n P_{i'} \quad (5)$$

三、不同结构形式与倍率选段的变焦距系统像点漂移的比较

变焦距系统在长焦端像点漂移量最大, 所以对不同形式和不同选段的变焦距系统的比较应以长焦端为准。经详细的分析和计算机编程模拟变焦过程^{[2][3]}计算的结果表明, 对变倍比相同的变焦距系统, 在对应各组元中心偏差相同的情况下, 正组补偿变焦距像点漂移量过负一倍换根最大, 从负一倍向上取段次之, 过负一倍偏向上取段最小, 负组补偿变焦距的像点漂移量偏向下取段最大, 满足物像交换原则次之, 偏向上取段最小, 正组补偿变焦距的像点漂移量比采用负组补偿时大。

四、采用选定参考点的方法校正变焦距系统的像点漂移

变焦距系统由短焦位置 S 变到长焦位置 L 时, 前固定组像面上像高为 y 的点经变倍组、补偿组、后固定组在系统像面上成像像高由 $y'(S)$ 变到 $y'(L)$, 由中心偏差引起的像点漂移量由 $P(S)$ 变到 $P(L)$, 如图2所示, 像点的移动量:

$$q'(L) = y'(L) + P(L) - [y'(S) + P(S)] = y'(L) - y'(S) + P(L) - P(S) \quad (6)$$

设前固定组后各组元的总垂轴放大率长焦端为 ML 、短焦端为 $M(S)$, (6)式可改写:

$$q'(L) = y(M(L) - M(S)) + P(L) - P(S) \quad (7)$$

其中 $y[M(L) - M(S)]$ 是由于倍率变化引起的像点移动量, $[P(L) - P(S)]$ 是由于中心偏差引起的像点移动量。要使像点在长焦端时相对于短焦端没有移动, 需 $q'(L) = 0$, y 应满足:

$$y = [P(L) - P(S)] / [M(L) - M(S)] \quad (8)$$

这表明对于像高为 y 的点, 在长焦位置相对于短焦位置由倍率变化引起的像点移动量与中心偏差引起的像点漂移量大小相等、方向相反, 其共同作用的结果使该点的像点在长、短焦端准确地位于相同的位置。因此, 像高为 y 的点即可选为参考点。选定参考点后, 对任意变焦位置 x , 该点的像点相对于短焦位置 S 的残余像移量为:

$$q'(x) = y(M(x) - M(S)) + P(x) - P(S) \quad (9)$$

一般来说, $q'(x)$ 并不一定等于 0, 但由于选定了参考点, 各变焦位置由倍率变化引起的像移量与由中心偏差引起的像点漂移量得以相互补偿, 其残余像移量要比像点漂移量小得多。经计算机编程模拟变焦过程计算的结果也证明了该结论的正确性。

对整个系统而言, 当参考物点选定后, 即可选定一个参考光轴作为视轴, 使视轴上的点在整个变焦过程中基本保持稳定。当前固定组焦距为 f_1' 时, 视轴与理想光轴的夹角:

$$\alpha = y/f_1' \tag{10}$$

以上论证的实际意义在于, 对变焦距系统, 总可以找到一个视轴, 只要在装校过程中找到该轴上的点在像面上的像点位置, 并标定该位置作为电视零位。在跟踪时把目标像与该点对准, 就可以实现在连续变焦过程中准确地跟踪目标, 从而达到了校正像点漂移的目的。

五、跟踪测量变焦距系统光学元件 中心偏差与机械公差的考虑

对于光学元件来说, 光轴平移和倾斜可以综合考虑为光学元件各面球心偏离理想光轴的量, 称为偏心差。以往对光学元件偏心差公差是按限定中心彗差的方法得出的。跟踪测量变焦距系统的目标像是取像点的能量密度中心, 这就使得中心彗差对跟踪精度的影响比像点漂移的影响要小得多, 所以这种公差给定方法对跟踪的测量变焦距系统并不是非常合适的。这也就是当系统按中心彗差允差给定偏心差公差后, 系统成像质量良好, 但像点漂移量仍很大的原因。所以, 应当按像点漂移的要求, 给定各光学表面偏心差公差。如果变焦距系统由 K 个面组成, 像点漂移量允差限定为 P , 那么按等概率分布第 i 个面中心偏差分配式如下:

$$\delta_i = P / [\sqrt{K} (1 - m_i) m_{i+1} \cdots m_n] \tag{11}$$

对此可编制程序进行计算。

由给定中心彗差允差计算各光学表面偏差仅需计算两条近轴光线 (L 和 L_2)^[1], 对此可以编制程序计算。计算结果表明, 当中心彗差允差和像点漂移允差相同时, 按像点漂移允差给出的各面偏心差公差比按中心彗差允差给出的要严格得多。

即使光学元件无偏心差, 各组元的机械偏差仍可导致像点漂移。当考虑运动过程中光轴平移与光轴倾斜的不同影响, 可以把 P 乘以一个因子 v ($v < 1$) 分配给光轴平移带来的像点漂移量, 分配给光轴倾斜带来的像点漂移量为 $(1 - v)P$ 。由 n 组构成的系统, 光轴平移量公差等概率分配公式:

$$\delta_i = v \cdot P / [\sqrt{n} (1 - m_i) m_{i+1} \cdots m_n] \tag{12}$$

各组元允许倾斜的角度 θ 等概率分配公式:

$$\theta_i = (1 - v)P / (\sqrt{n} d_i m_{i+1} \cdots m_n)$$

其中 d_i 是组元的主面间隔。

各组元机械公差的分配也可编制程序进行计算, 为机械设计者提供参考。

六、结 束 语

跟踪测量变焦距系统在设计初步选型时要考虑补偿形式和倍率选段的选择, 在设计阶段

制定元件中心偏差公差时应以系统的像点漂移允差为依据,在形成产品后应实测像点漂移量的值并在装调过程中通过选择参考点的方法校正像点漂移。

为从事本研究工作所编制的应用软件采用Quick Basic语言,包括变焦距系统高斯解主程序、变焦距系统凸轮曲线计算作图子程序、变焦距系统像点漂移量计算作图子程序和变焦距系统中心偏差公差分配程序。

跟踪测量变焦距系统的像点漂移始终是影响此类系统的跟踪测量精度的重要因素。本研究工作系统地分析了像点漂移产生的原因,并提出了具有实际应用价值的校正像点漂移的方法,在国内尚属首次。

● 考 文 献

- [1] 王之江,《光学设计理论基础》,科学出版社,1985年
- [2] 张以谟,《应用光学》,机械工业出版社,1988年
- [3] 常 群,《光学设计文集》,科学出版社,北京,1982年
- [4] Hannfried Zagge, Optical Engineering, 25(1) 1986(Jan)

A Study of the Transverse Image Displacement in Zoom System

Huang Wei

Abstract

In this paper, it's analysed and expounded the reason of the transverse image displacement in zoom system systematically, contrasted the effect on transverse image displacement of different construction type and multiplying power of different cam-curve selection in zoom, system, provided the objective basis to track and survey the preliminary type selection in zoom system design, put forward a effective method to rectify the transverse image displacement in zoom system applying in practical engineering, and produced a way to make the center error tolerance of component according to the transverse image displacement tolerance.