

变焦镜头最佳像面稳定的凸轮曲线修正

刘 崇 进

摘要: 系统地分析了变焦镜头最佳像面位移产生的原因, 提出了由修正凸轮曲线产生的高斯像面位移来抵消最佳像面位移的原理, 论证了获得最佳凸轮曲线修正函数的计算方法, 从而使凸轮曲线修正后最佳像面稳定不动, 为进一步改进变焦镜头的成像质量提供了依据。

一、引 言

最佳像面的稳定与否, 直接影响着摄影变焦镜头在变焦过程中是否在各焦点都能得到理想而又清晰的画面, 特别是对高变倍比的变焦镜头, 要想得到高质量的摄影效果, 这一指标就更为重要。在四组无变焦镜头中, 本文提出由修正凸轮曲线产生的高斯像面位移来抵消最佳像面的位移, 采用改进的分段三次 Hermite 插值法求出凸轮曲线修正函数, 通过实例计算, 结果是令人满意的。

二、变焦镜头最佳像面位移产生的原因

变焦镜头在光学设计时是根据保持高斯像面不变的条件确定变倍组和补偿组移动量之间的函数关系的。事实上, 变焦镜头的最佳像面即实际像面在变焦过程中是连续改变的, 它的变化规律是设计者充分利用变焦镜头的各种因素进行像差校正后, 与变焦镜头的误差和剩余像差有关。

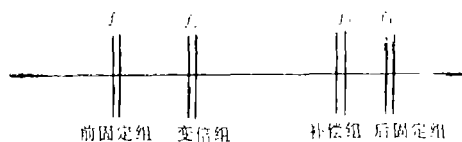


图 1

1. 变焦镜头的误差引起的像面位移

如图 1 所示的四组元变焦镜头中, 其误差主要是前固定组, 变倍组和补偿组的间隔误差以及变倍组和补偿组的焦距误差^{[1][2][3]}。这两种误差引起的高斯像面位移是不能忽视的。

当前固定组、变倍组和补偿组相对于理论位置分别有误差 Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 时在系统最后的像空间引起的高斯像面位移为

$$\Delta l'_4(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3) = -\Delta_1 m_2^2 m_3^2 m_4^2 + \Delta_2(1 - m_2^2) m_3^2 m_4^2 + \Delta_3(1 - m_3^2) m_4^2 \quad (1)$$

式中 m_2 、 m_3 、 m_4 分别是变倍组, 补偿组和后固定组的倍率。

当变焦组和补偿组存在焦距误差分别为 $\Delta f'_2$ 和 $\Delta f'_3$ 时，在系统最后的像空间引起的像面位移为

$$\Delta l'_{4'}(\Delta f'_2, \Delta f'_3) = \Delta f'_2(1 - m_2)^2 m_3^2 m_4^2 + \Delta f'_3(1 - m_3)^2 m_4^2 \quad (2)$$

2. 变焦镜头的剩余像差引起的像面位移^[4]

变焦镜头尽管充分利用了各种因素校正像差，但不可避免地存在剩余像差，剩余像差必然要引起实际像面位移。实际像面位移的大小可表示成

$$\Delta l'_{4'} = \Delta l_4 c \eta_1 \cdots \eta_n \quad (3)$$

式中 $\eta_1 \cdots \eta_n$ 表示不同的剩余像差。

就同一个变焦镜头来说，由剩余像差引起像面位移的变化规律是非常复杂的。不同变焦镜头的设计结果又有不同的剩余像差，因此，不同变焦镜头的实际像面位移的变化规律也各不相同，显而易见，希望用一个统一的数学解析式来表示（3）式几乎是不可能的。

变焦镜头的最佳像面位移，可以看成是变焦镜头的误差引起的像面位移以及剩余像差引起的像面位移的总和，即（1）、（2）、（3）式之和

$$\begin{aligned} \Delta l'_{4'} = & -\Delta_1 m_2^2 m_3^2 m_4^2 + \Delta_2(1 - m_2^2) m_3^2 m_4^2 + \Delta_3(1 - m_3^2) m_4^2 \\ & + \Delta f'_2(1 - m_2)^2 m_3^2 m_4^2 + \Delta f'_3(1 - m_3)^2 m_4^2 + \Delta l'_{4'}(\eta_1 \cdots \eta_n) \end{aligned} \quad (4)$$

在（4）式中 $\Delta_1, \Delta f'_2, \Delta f'_3$ 是不变的常数，而 Δ_2 和 Δ_3 是随焦距变化的间隔误差。（4）式表示了最佳像面偏离理论高斯像面的距离。虽然（4）式很复杂，但我们可以通过计算和测量的方法，得到最佳像面的一些离散值如表1所示

表1

$f'_{总i}$	f'_0	f'_1	f'_2	...	f'_n
x_i	x_0	x_1	x_2	...	x_n
$\Delta l'_{4i}$	$\Delta l'_{40}$	$\Delta l'_{41}$	$\Delta l'_{42}$...	$\Delta l'_{4n}$

三、最佳像面稳定的凸轮曲线修正原理

在光学设计之初，根据一定的变焦倍率和保证高斯像面不变的条件，建立了补偿组移动量 y 与变焦组移动量 x 的函数关系

$$y = f(x) \quad (5)$$

为使最佳像面稳定不动，必须对凸轮曲线进行修正即在（5）式中增加一个修正函数 $q(x)$ ，

（5）式就变为

$$y = f(x) + q(x) \quad (6)$$

下面我们阐述建立 $q(x)$ 的原理。

如图2所示， $B_{高}$ 是理论高斯像面， $B_{佳}$ 是最佳像面，当变焦组位移 x ，补偿组位移 $y = f(x)$ 时，物 A 的实际像面 A' 在最佳像面 $B_{佳}$ 外， $B_{高}$ 到 $B_{佳}$ 的距离就是最佳像面离高斯像面的位移 $\Delta l'_{4'}$ ，简称为最佳像面位移，不同焦距处， $\Delta l'_{4'}$ 是不同的，为使最佳像面稳定在指定的参考像面 B 上，必须修正凸轮曲线，即另外移动补偿组 Δy 。令指定的参考像面与理论高斯

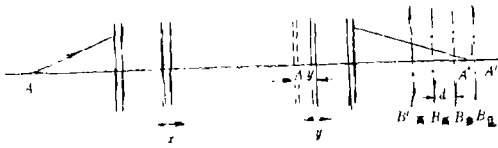


图 2

$$\Delta l'_{4高} = -\Delta l'_{4实} \tag{8}$$

则最佳像面正好移动到参考像面上。在不同焦距处都进行这样的修正，最佳像面就稳定在参考像面上。根据高斯光学和计算方法，找到 Δy 和 x 的函数关系

$$\Delta y = q(x) \tag{9}$$

实际的凸轮曲线修正成(6)式。这就是最佳像面稳定的凸轮曲线修正原理。

由(7)、(8)式和高斯光学，可以推导出 Δy 与 $\Delta l'_{4}$ 的关系为

$$\Delta y = -\frac{(l_3 + f'_3)^2 (f'_4 + l_4)^2}{[(f'_3 + l_3)^2 - f'^2_3] f'^2_4} (\Delta l'_{4} - d) \tag{10}$$

式中 l_3 、 l_4 分别是补偿组和后固定组的成像距离。(10)式说明，当存在最佳像面位移 $\Delta l'_{4}$ 时，补偿组相应地移动 Δy ，最佳像面就移到了参考像面上。

这个原理实际上就是移动补偿组使实际的高斯像面移动，产生的位移与相对于参考像面的位移大小相等，方向相反，互相抵消，从而使最佳像面稳定在参考像面上。

四、凸轮曲线修正函数的确定

我们知道，为使最佳像面稳定不动，修正量 Δy 与变倍组位移量 x 客观上存在一个精确的函数关系

$$\Delta y = \Delta y(x) \tag{11}$$

尽管寻找这个函数是非常困难的，甚至是不可能的，但我们可以根据计算方法求得代替(11)式的近似函数即(9)式。

根据表1的数据，求找(9)式的方法较多，这里我们采用简单的实用方法来求找(9)式。

适当地选取参考像面与高斯像面的距离 d ，根据表1的数据，通过(10)式的计算得到相应的一系列值 Δy ， Δy_1 ， \dots ， Δy_n 如表2所示。根据表2的数据，采用某种计算方法直接求得 $q(x)$ 的解析式。

表2

x_i	x_0	x_1	x_2	\dots	x_n
Δy_i	Δy_0	Δy_1	Δy_2	\dots	Δy_n

用最小二乘法或阻尼最小二乘法，把表2的数据拟合成的近似函数即(9)式，凸轮曲

五、结 束 语

论证的修正方法开发成新的版本MOIS软件。由于这方面的研究论文和资料很少,还有一些问题如怎样更精确地确定变焦镜头的最佳像面位移等尚未圆满解决,因此,继续开展这方面的研究,更好地改进其修正方法是必要的。

参 考 文 献

- [1] 林大键; 光学工程, 1979年, 第 3 期, 第9页
- [2] 金炯; 电影机械, 1989年, 第 3 期, 第2页
- [3] 安连生、袁旭沧; 工程光学, 1981年, 第1期, 第3页
- [4] 史光辉; 光学机械, 1978年, 第3期, 第1页
- [5] 徐萃薇编; 《计算方法引论》, 高等教育出版社, 1985年 1 月第 1 版

The Method of Revising Convex Wheel Curve for Makjng Optimum Image Steady in Zoom Lenses

Liu Chongjin

Abstract

This paper analysed the reason of the optimum image displacement in zoom lenses, suggested the principle that Gaussian Image displacement produced by revising convex wheel curve compensates for the optimum image displacement, discussed the computing method of the optimum convex wheel curve revisng function. In this way, the optimum image is steady after convex wheel curve is revised. This provided the basis for improving the image quality of zoom lenses.