

16-18

第17卷 第5期
1996年

应用光学

Vol. 17, No. 5
1996

光学补偿法的变焦距物镜的光学设计

王红

(中科院长春光机所, 长春, 130022)

TH74

0435.2

【摘要】 本介绍采用光学补偿方式实现变倍和像移补偿的变焦距物镜的设计过程, 并给出一个设计结果。

关键词 光学补偿 变焦距 光学设计

物镜

OPTICAL DESIGN OF ZOOM OBJECTIVE
WITH OPTICAL COMPENSATION METHOD

Wang Hong

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

Abstract: An optical design process of zoom objective of which variable magnification and image shift compensation are completed with an optical compensating method. The design result is also given.

Keywords: optical compensation, zoom, optical design

1 引言

变焦距物镜补偿像面位移有机械补偿与光学补偿两种方式。本设计采用光学补偿方式设计了一个焦距 42~220mm (变倍比 5.2 倍), 相对孔径 $D/f=1/5$, 视场角 $14.9^\circ\sim 2.9^\circ$ 的变焦距物镜。

2 设计过程

2.1 变倍部分

光学补偿法的变倍部分采用正组在前的四透镜系统。如图 1 所示, 由于光学补偿法的变焦距物镜目前尚无专利和相关的 optical design 可供参考, 因此本设计通过高斯光学计算、解像差方程求 P^∞ 、 W^∞ , 确定初始解, 像差

的校正与平衡等环节实现了变焦的目的。

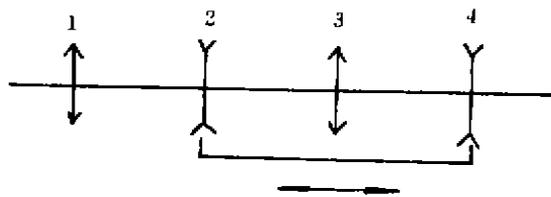


图 1 四透镜系统

高斯光学计算主要解决的是焦距分配问题, 它对整个变焦距物镜的设计十分重要, 起到了确定结构型式的作用。通过计算得到: 主

光线在前固定组 1 上的高度是长焦距时最大, 变倍组 2 的主光线高度则是短焦距时最大, 轴上光线是长焦距时透镜组上的高度最高。

计算各组 P^∞ 、 W^∞ 是为了在满足高斯光学条件下进一步求解其结构参数。变倍部分使各个焦距位置的像差达到相等, 其初级像差方程为

$$S_I = \sum_{i=1}^4 h_i^4 \varphi_i p_i,$$

$$S_{II} = \sum_{i=1}^4 (h_i^3 h_p \varphi_i^3 p_i + j h_i^2 \varphi_i^2 W_i)$$

$$S_{III} = \sum_{i=1}^4 (h_i^2 h_p^2 \varphi_i^3 p_i + 2 j h_i h_p \varphi_i^2 W_i + j^2 \varphi_i)$$

$$S_{IV} = \sum_{i=1}^4 [h_i^3 h_p \varphi_i^3 p_i + 3 j h_i^2 \varphi_i^2 W_i$$

$$+ j^2 \frac{h_p}{h_i} (3 + u_i) \varphi_i]$$

物在近距离的 P 和 W 与物在无限远时的 P^∞ 、 W^∞ 的关系为

$$P = P^\infty - u_i (4W^\infty - 1) + u_i^2 (3 + 2u)$$

$$W = W^\infty + u_i (2 + u)$$

式中, u_i 是近轴光线下各透镜与光轴夹角的

规范化值, $u_i = f_i / l_i$, $u = \frac{\Sigma \varphi_i}{n} / \Sigma \varphi_i \approx 0.6 \sim 0.65$ 。

对于单色像差而言, 每一透镜组有两个变数 P_i^∞ 、 W_i^∞ , 四组元变焦距物镜有 8 个自由度, 可列 8 个方程。令 S_I 、 S_{II} 在四个焦距位置、 S_{III} 在三个焦距位置相等, S_{IV} 没有必要也不可能让它在各个焦距位置相等。根据经验, 只控制其最短焦距位置的畸变即可。将整个焦距范围进行等分, 然后逐次取第一焦距位置和最长、最短焦距位置解联立方程, 求出 P_i^∞ 、 W_i^∞ , 再用该值对每一焦距位置计算各种像差的起伏量, 其中起伏量最小的解 P_i^∞ 、 W_i^∞ 即为最佳解。因为各组元相对孔径不大, 所以均采用双胶合透镜组。由 P_0 值确定玻璃组合, 然后再按胶合面半径尽量大, 并弯向光阑, 以控制高级像差的原则, 经过多次比较, 选择一组最佳初始解。合组双胶合

透镜玻璃均为 K9、ZF₁。

求出初始解后, 用 CAOD 软件中的像差分析程序进行像差分布计算。由解像差方程到进行像差分布计算这一过程, 一般要反复多次, 直至求出的高级像差小到满足要求为止。薄透镜加厚后, 初级像差发生了变化, 又因为高级像差的存在, 因而需要进行各焦距位置的像差平衡。由于变焦部分各组元的相对孔径和视场较小, 加厚时初级量变化较小, 而且高级像差也不大, 所以只修改了一次就得到了较好的结果。对于象本设计这样一个经过初始解优化选择出来的系统, 在进行像差平衡时, 用手工方法比用像差自动平衡程序更为有效。

2.2 后固定组

变倍部分实现了变焦和像移补偿, 同时使各焦距位置的像差大小尽量相等。后固定组则使整个光学系统的焦距具有特定的变化范围, 并保证像差与变倍部分匹配。根据设计要求, 后固定组采用负、正组分离的结构型式, 如图 2 所示。

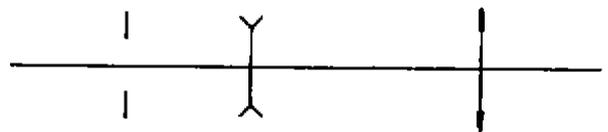


图 2 采用负、正组分离型式的后固定组示意图

满足了系统的焦距和后工作距离及 S_{IV} 的要求。后固定组光焦度 φ 及负、正组主面之间间隔的确定, 使得该结构型式前后组的变数 P_i^∞ 、 W_i^∞ 及 P_i^∞ 、 W_i^∞ 可以满足整个系统消去 S_I 、 S_{II} 、 S_{III} 、 S_{IV} 的要求。因为视场小, 在求解时可以将 S_{IV} 作为变数, 这就相当于首先计算出负组的像散 $j^2 \varphi$, 然后求出产生 $S_{III} = -j^2 \varphi$ 的众多弯曲, 从中选出高级像差的最小解, 而正组产生的 S_I 、 S_{II} 由负组消除。后固定组相对孔径较小, 采用双胶合透镜, 玻璃

组合为 ZF₁、ZK₉。正组由于相对孔径大,采用双单型式时高级像差量最小,玻璃为 ZF₆、ZK₉。

变倍部分与后固定组连接之后,得到整个光学系统的结构参数。计算像差分布可知,由于后固定组的加厚引起球差、彗差、像散等像差的变化,使其高级量变化很小。对后固定组进行优化设计,使得最后的像差达到使用要求。此时,目标值的设定要考虑各焦距之间的平衡。

3 设计结果

图 3 为整个变焦距物镜的光学系统图(导程 $L=177.9\text{mm}$)。

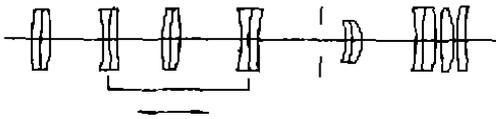


图 3 光学系统图

表 1 为特征频率为 50 对线/mm 的四个焦距位置的传递函数值。

表 1 四个位置的传递函数值

焦 距	视 场		
	0	0.71	1.0
45.62	0.831	0.763	0.592
81.48	0.829	0.784	0.630
153.36	0.828	0.621	0.431
204.60	0.819	0.721	0.614

表中四个焦距值是变焦距物镜像面位移完全补偿的位置。其最大像面位移量为 $\pm 0.025\text{mm}$, 小于半倍焦深, 满足使用要求。三种波长 $0.5893\mu\text{m}$ 、 $0.6563\mu\text{m}$ 、 $0.5461\mu\text{m}$ 取相同的权重, 是在一个公共像面上计算的 MTF 值。若都按焦距最佳像面位置来计算, MTF 值还要高。

4 结束语

综上所述, 对于焦距不很大、相对孔径较小的变焦距物镜, 只要其最大像面位移量满足使用要求, 那么采用光学补偿法是完全可行的。无论是初始结构的选择、还是最终结果的确定, 始终以像差理论为指导, 严谨分析、计算每一环节, 最后得到的变倍部分全部采用了简单的双胶合透镜, 成像质量完善、机械结构简单, 整个系统具有良好的工艺性和可靠性。

参考文献

- 1 电影镜头设计组. 电影摄影物镜光学设计. 北京: 中国工业出版社, 1971
- 2 史光辉, 李媛媛. 求解变焦距物镜像差方程程序. 仪器仪表学报, 1993; (1): 76-80
- 3 王之江. 光学设计理论基础. 第二版, 北京: 科学出版社, 1985; 216~217
- 4 史光辉. 求满足 C_1 、 P^∞ 、 W^∞ 透镜组的初始解程序. 仪器仪表学报, 1988; (4): 362-367
- 5 史光辉, 丁甲民. 长焦距大视场反射系统的光学设计. 仪器仪表学报, 1991; (7): 651-653