

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0193-03

反远距变焦系统中光焦度的分配

李湘宁, 王成良, 贺莉清

(上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093)

摘要 变焦距镜头设计中各组元的光焦度的分配优劣在很大程度上决定了设计的成败。分析了反远距的双组元全动型变焦系统的间隔变化量、孔径、视场、口径对光焦度分配的影响,提出了有利于增大孔径、视场、压缩体积、减少像差,同时又满足变焦要求的光焦度分配的思路。并用实例作了运算。

关键词 几何光学; 变焦; 反远距; 孔径; 视场; 体积

中图分类号 TB851

文献标识码 A

Power Allocation for Inverted Telephoto Vari-Focal Lens

LI Xiang-ning, WANG Cheng-liang, HE Li-qing

(College of Optics and Electronics, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract Power allocation for a zoom lens is most important for a successful lens design. In this paper, six relations are derived to show that power allocation within the two groups of inverted telephoto vari-focal system will greatly depend on the system performances such as numerical aperture, field of view (FOV), back focal length (BFL), as well as the size of the lens volume. In addition, aberration correction also calls for a reasonable power allocation practical example is given to show the results.

Key words geometric optics; vari-focal lens; inverted telephoto; aperture; field of view; volume

1 引言

随着成像系统中变焦镜头的广泛应用,对变焦镜头的要求也愈加多样化。小型化、大视场、高相对孔径、各种变焦比等适应不同需求的变焦距镜头应运而生。多组元全动型较之有固定组元的变焦透镜更容易实现小型化,二组元全动型是其中最简单的一种结构。双组元的反远距型则同时可以获得较大的后工作距。在这类结构中作合理的光焦度分配,不仅仅为满足变焦和稳像的要求,而且还应有利于提高系统的整体性能。运动组元光焦度的分配是设计过程中高斯光学分析的重点,有文献以组元的倍率为关键参数对组元光焦度分配作了充分分析^[1],也有文献提出多组元全动型变焦距系统各组元光焦度分配的计算方法^[2]。它们都是从变焦和稳像出发,寻求使变焦曲线光滑的光焦度分配。本文在此基础上,分析了间隔变化量、孔径、视场、口径对光焦度分配的影响,提出了有利于增大孔径、视场,压缩体积以及校正像差的光焦度分配的思路。

2 光焦度分配的约束条件

双组元全动型变焦系统依靠两组元之间间隔的变化来改变焦距,同时通过后组相对像面距离的变化来保证像面稳定。总的光焦度与各组元光焦度之间有

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2 = 1 \quad (1)$$

此式已对 φ 归一化。对于变焦范围内的任一光焦度, d 如何变化依赖于 φ_1, φ_2 ,然而, φ_1, φ_2 的确定还对视场、孔径、像差校正的难易等因素有影响,因而应受到约束。

2.1 运动范围的约束

图1是反远距型变焦镜头的高斯光路。变焦过程中,光焦度从1变到 $k_\varphi = 1/\Gamma$, Γ 为变焦比,间隔从 d 变到 $d + \Delta d$,即

$$k_\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - (d + \Delta d)\varphi_1\varphi_2 \quad (2)$$

设 $k_\varphi < 1$,因 $\Delta d < 0$,若限定的最大相对运动范围为 k_d ($k_d = \Delta d/d$),则由(1),(2)式有:

$$\varphi_1 + \varphi_2 > (k_d + k_\varphi - 1)/k_d \quad (3)$$

作者简介: 李湘宁(1956-),女,硕士,上海理工大学光学与电子信息工程学院副教授,主要从事光学设计。

E-mail: lxning@usst.edu.cn

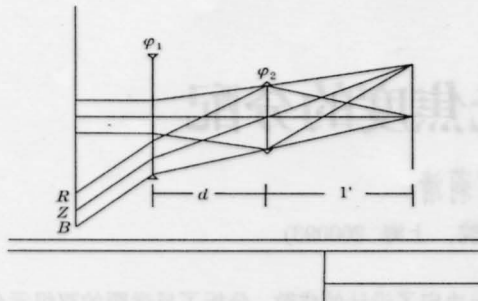


图1 反远距二组元全动型变焦透镜

Fig.1 Inverted telephoto zooming lens with all moving elements

为使变焦过程中的像质稳定, \$k_d\$ 往往较小。当 \$k_\varphi\$ 由变焦比决定后, \$\varphi_1, \varphi_2\$ 受 \$k_d\$ 约束。(3)式为运动范围方程。

2.2 运动速率的约束

在整个变焦过程中,为使系统的结构变化不至于过大,光焦度随间隔变化要有一定的灵敏度。由(1)式可见光焦度随间隔作线性变化,变化的速率为 \$k_{\varphi d} = \partial\varphi/\partial d = -\varphi_1\varphi_2\$, 它的大小代表了变焦的灵敏度。若设定最小变化速率为 \$k_{\varphi d0}\$, 应有 \$k_{\varphi d} > k_{\varphi d0}\$, 故 \$\varphi_1, \varphi_2\$ 受光焦度的最小变化速率约束

$$\varphi_1\varphi_2 < -k_{\varphi d0} \quad (4)$$

(4)式为运动速率方程。

2.3 基于像差校正的光焦度取值约束

一般认为,光焦度较小有利于单色像差的校正。由(1)式可作 \$\varphi_1, \varphi_2\$ 关于 \$d\$ 的等值线图(见图2),得到

$$\varphi_2 = \frac{1-\varphi_1}{1-d\varphi_1} = \frac{1+|\varphi_1|}{1+d|\varphi_1|}$$

图中以 \$d=1\$ 为分界线, \$d < 1\$ 时, \$|\varphi_1|, \varphi_2\$ 同向变化,可同时取较小的值,但 \$\varphi_2 > 1\$; \$d > 1\$ 时, \$|\varphi_1|, \varphi_2\$ 反向变化,不可同时取较小的值,但 \$\varphi_2 < 1\$。若 \$d > 1\$ 取,则

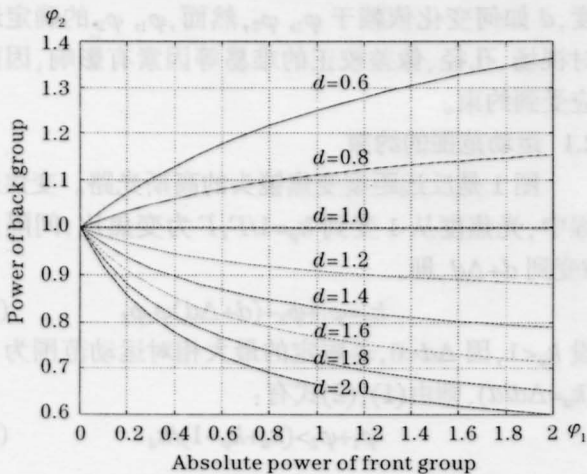


图2 \$\varphi-d\$ 曲线图

Fig.2 Isolines of space \$d\$ respecting to \$\varphi\$

减少了两组元的光焦度,从而有利于校正两组元的像差。于是取

$$|\varphi_1| < 1, \quad \varphi_2 < 1 \quad (5)$$

即图2左下角区域。(5)式为光焦度取值的区域方程。

2.4 口径的约束

反远距物镜系统前组为负光组后组为正光组,使得轴上光线在后组上有较大的入射高度,所以有必要对后组口径进行限制。假设系统最大口径为 \$D_{max}\$, 入瞳大小为 \$D\$ (由系统的 \$D/f'\$ 值决定), 于是后组口径 \$D_2 = D(1-d\varphi_1) < D_{max}\$, 即

$$d\varphi_1 > (D_{max} - D)/D \quad (6)$$

(6)式为孔径方程。

2.5 后工作距的约束

反远距系统的优点是可以提供长的后工作距, 一般有 \$l_b \approx 0.6 - 0.8l'_{01}\$, 即 \$l' = 1.25 - 1.67l_b\$, 对后工作距的要求转化为

$$1.25l_b < l' < 1.67l_b \quad (7)$$

(7)式为后工作距方程。

2.6 视场的约束

如图1,反远距物镜系统光阑一般设在后组上,使得大视场的下光线 \$b\$ 在前组上有较大的入射高度,需要对前组口径限止。另一方面,上光线 \$a\$ 在前组中有可能穿过光轴而产生较大的入射角,引起较大慧差。为防止上光线穿过光轴,并且要使前组在复杂化的过程中上光线也不穿过光轴,需要保留一定的入射高度余量,设为 \$h_{min}\$。最大口径 \$D_{max}\$ 和 \$2h_{min}\$ 把边缘视场的光线限制在前组的一个环带内,于是

$$\tan U'_{2z} = -y'/l', \quad h_{1z} = d \tan U'_{2z}$$

\$y'\$ 为像方线视场, \$l'\$ 由后焦距决定,这样 \$U'_{2z}\$ 由像面尺寸和后工作距所决定。最大视场的上下光线高度为

$$h_{1a} = h_{1z} - D/2 > h_{min}, \quad h_{1b} = h_{1z} + D/2 < D_{max}/2$$

由于上下光线的限制,代入相关的计算式得

$$\frac{D+2h_{min}}{2 \tan U'_{2z}} < d < \frac{D-D_{max}}{2 \tan U'_{2z}} \quad (8)$$

(7)式为视场方程。

综上所述,反远距变焦系统中光焦度的分配除了满足变焦曲线光顺和像面稳定外,还要考虑上述间隔变化量、孔径、视场、口径对光焦度分配的影响,寻求满足运动范围方程、运动速率方程、光焦度区域方程、孔径方程、视场方程、后工作距的光焦度分配。因此,最佳分配方案应该是满足以上6个约束的最优解。

3 计算实例

应用美国 Focus Software Inc.公司的 ZEMAX 光学设计软件, 利用其自建评价函数优化项的功能, 通过操作符的逻辑组合建立起一组满足上述方程的评价函数优化项, 并利用该软件的自动优化设计功能, 进行上述约束条件下的反远距投影变焦系统的光焦度优化分配。

本例的基本要求为: 最大净口径小于 47 mm, 总长小于 100 mm, 全视场 50°, 相对口径 $D/f' = 1/2.6$, 后工作距大于 35 mm, 变焦比 1:1.3。

设定初始数据的位系统焦距为 1, 初始间隔为 2, 按变焦要求取中焦 1.15, 长焦 1.3。通过 ZEMAX 程序的优化后, 除了速率方程不满足外, 其他的要求都得到了满足, 分配得到的组元光焦度归一化值为: 前组焦距 $f_1 = -1.9568$, 后组焦距 $f_2 = 1.3480$, 数据如表 1。变焦曲线如图 3, 变焦曲线光滑。将系统焦距缩放到短焦 25mm, 中焦 28.75mm, 长焦 32.5mm, 得前组焦距 -48.9208mm, 后组焦距 33.7004mm, 短焦时的间隔为 50.725mm, 总长为 101.65mm, 基本满足预定要求。

表 1 各变焦位置的间隔及总长

Table 1 Interval and total length between the zoom lenses

F	1	1.15	1.3
D_1	2.0290	1.6850	1.4203
D_2	2.0369	2.1402	2.2436
TOTR	4.0659	3.8252	3.6639

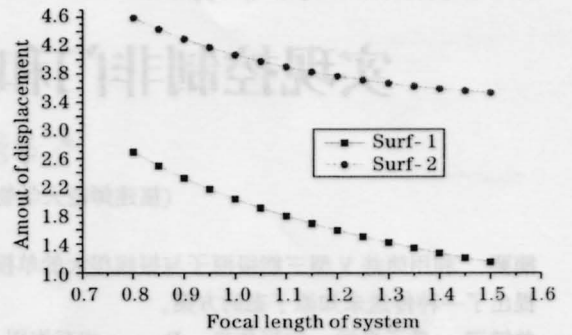


图 3 变焦镜头运动组元的运动曲线

Fig.3 Moving curve of each element of the zooming lens

4 小结

在约束条件下采用优化的方法进行光焦度分配可以克服盲目性及局限性, 兼顾了受光焦度影响的诸多因素。这一思路有助于设计人员制定初始数据。虽然高斯光学计算的成功还不能保证最终实际系统的设计成功, 但不可否定良好的初始数据更容易获得成功。利用 ZEMAX 光学设计软件实现这一优化方案更具有事半功倍的效果。

参考文献

- 王琦, 吴强, 黄惠杰等. 多组元全动型变焦距物镜高斯光学[J]. 光学学报[J], 1999, 19(6): 830~834
- Tao Chuncan. Design of zoom system by the varifocal differential equation[J]. *Appl. Opt.*, 1992, 31(13): 2265~2273
- 电影镜头设计组. 电影摄影物镜光学设计[M]. 北京: 中国工业出版社, 1971.27