

光学系统设计技巧(续)

郑保康

(云南北方光学电子集团有限公司 昆明 650114)

(续 2005 年 No. 3)

§ 4.10.8 双高斯物镜设计

(三) 全系统的合成

在确定了半部系统的基本结构以后,

$$r_1 = 38.82$$

$$d_1 = 5$$

$$1$$

$$1.6709$$

(ZBaF₅)

$$r_2 = 250$$

$$d_2 = 0.1$$

$$1$$

$$r_3 = 20.34$$

$$d_3 = 9.72$$

$$1.6475$$

(ZF₁)

$$r_4 = 14$$

$$d_4 = 17.46$$

$$1$$

$$r_5 = -14$$

$$d_5 = 9.72$$

$$1.6475$$

(ZF₁)

$$r_6 = -20.34$$

$$d_6 = 0.1$$

$$1$$

$$r_7 = -250$$

$$d_7 = 5$$

$$1.6709$$

(ZBaF₅)

$$r_8 = -38.82$$

对于这样一个系统,如何从物象对称过度到物体位于无穷远呢?我们采用的方法是保持各个透镜的厚度间隔不变,改变各个折射面的半径,使轴向近轴光线通过每个折射面时的偏角和物象对称时相同,同时光栏的直径也相同,如图 4.85 所示,下面我们用具体数字来说明。

(1) 求物体在无穷远时光线的会聚角 u^*

按对称的关系即可构成一个完全对称的系统,以前面所举的半部系统作为例子,完全对称系统的全部结构参数如下:

由图 4.85 可以看出,对完全对称系统的后半部计算一条 $h = 10$ 的平行于光轴的近轴光线,按对称的关系即可得到完全对称系统的全部会聚角 u ,在每一个 u 值上加 u_0 得到新的会聚角 u^* 的值,即有:

$$u_k^* = u_k + u_0$$

因为 $u_1 = -u_0$,所以 $u_1^* = 0$,即物体位于无穷远。 $u_1^* \cdots \cdots u_0^*$ 即为物体位于无穷远

时,光线通过各面的会聚角。我们将各面的 u 和 u^* 列于下表中。因为 u^* 是 u 加 u_9 而得到的,所以物体在无穷远时光线通过各面的偏角是和物象对称时的偏角相同,即有:

$$u_{k+1} - u_k = u_{k+1}^* - u_k^*$$

将各个 u^* 乘 n 得 nu^* 也列于下表中,同时 $\Delta n_k u_k^* = n_{k+1} u_{k+1}^* - n_k u_k^*$ 也列于下表中, $\Delta n_k = n_{k+1} - n_k$ 列于下表最后一列中。

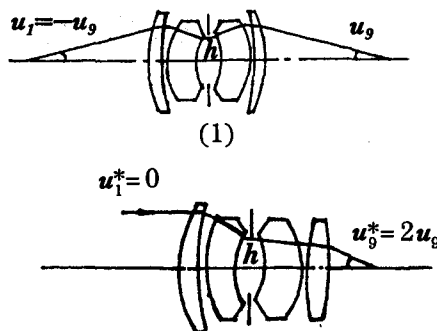


图 4.85 (2)

序号	u	$u^* = u + u_9$	nu^*	Δnu^*	Δn
1	-0.133339	0	0	0.314268	0.6709
2	0.054744	0.188083	0.314268	-0.123631	-0.6709
3	0.057297	0.190637	0.1906367	0.4915387	0.6475
4	0.280728	0.414067	0.6821754	-0.548836	-0.6475
5	0	0.133339	0.133339	-0.3761628	0.6475
6	-0.280728	-0.14739	-0.242824	0.3188654	-0.6475
7	-0.057297	0.076042	0.076042	0.0564602	0.6709
8	-0.054744	0.078595	0.132502	0.134176	-0.6709
9	0.133339	0.266678	0.266678	—	—

(2) 求出各面光线的入射高及各面的半径

光线在光栏上的高度和物象对称时相

同,为 $h = 10$,前面又求出了光线的会聚角 u^* ,由光栏出发向前后逐面推算即可以求出光线在各面的高度 h^*

$$h = 10(\text{光栏上的光线高度})$$

$$h_4^* = h + \frac{d_4}{2} u_5^* = 11.164$$

$$h_5^* = h - \frac{d_4}{2} u_5^* = 8.836$$

$$h_3^* = h_4^* + d_3 u_4^* = 15.189$$

$$h_6^* = h_5^* - d_5 u_6^* = 10.268$$

$$h_2^* = h_3^* + d_2 u_3^* = 15.208$$

$$h_7^* = h_6^* - d_6 u_7^* = 10.261$$

$$h_1^* = h_2^* + d_1 u_2^* = 16.148$$

$$h_8^* = h_7^* - d_7 u_8^* = 9.868$$

根据求得的 Δnu^* , Δn , h^* , 利用下式即可求得新的半径 r^* :

$$r^* = \frac{h^* \Delta n}{\Delta nu^*} \dots \dots \dots (4.76)$$

将前面得到的数值代入上式求出 $r_1^* \dots \dots r_8^*$ 并将厚度和折射率一并列于下:

$r_1^* = 34.47$		$n = 1$	
	$d_1 = 5$	$n = 1.6709$	(ZBaF ₃)
$r_2^* = 82.53$		$n = 1$	
	$d_2 = 0.1$	$n = 1.6475$	(ZF ₁)
$r_3^* = 20.01$		$n = 1$	
	$d_3 = 9.72$	$n = 1.6475$	(ZF ₁)
$r_4^* = 13.17$		$n = 1$	
	$d_4 = 17.46$	$n = 1.6475$	(ZF ₁)
$r_5^* = -15.21$		$n = 1$	
	$d_5 = 9.72$	$n = 1.6475$	(ZF ₁)
$r_6^* = -20.85$		$n = 1$	
	$d_6 = 0.1$	$n = 1.6709$	(ZBaF ₃)
$r_7^* = 121.93$		$n = 1$	
	$d_7 = 5$	$n = 1.6709$	(ZBaF ₃)
$r_8^* = -49.34$		$n = 1$	

求出新的半径以后,一般需要对全系统重新计算一条近轴光线,取入射高等于 h_1^* ,看各个 u^* 、 h^* 是否和前面计算符合,作为对前面计算的检验,同时求出焦距。上面的例子得到焦距 $f' = 60.5603\text{mm}$,然后即可按要求的相对孔径和视场计算象差。

(四) 加入胶合面

合成全系统之后,首先计算出全部象差,这时无论是对称性象差还是非对称性象差,都可能还有一定数量,因此要将象差作一初步的平衡,以便更准确地估计系统的高级象差大小,在此基础上就可以在两厚透镜中加胶合面。加入胶合面的目的首先是为了校正色差,在摄影物镜中需要考虑的色差有初级位置色差,初级倍率色差,色球差和二级光谱。在中短焦距物镜中二级光谱不突出,可以不加以考虑。加胶合面除了校正色差外,还可以给胶合面两边的

玻璃以一定的折射率差,来校正单色象差,特别是用来改善基本结构的高级象差特性。通常在加胶合面时应该考虑以下几方面的问题。

(1) 根据合成以后系统的高级象差特性,确定胶合面两边的折射率差。

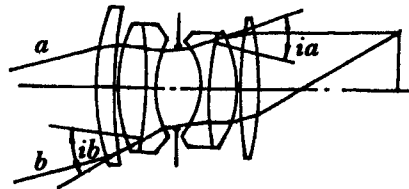


图 4.86

如果胶合面加入以前系统的高级象差已经符合要求,不需要用胶合面来改变高级象差特性时,则胶合面两边折射率差应尽量小,最好使折射率相等。此时加入胶合面,对已校正好的单色象差不会发生影响,因而使色差的校正大为简化。

如果要利用胶合面来改善单色象差,则必须使胶合面两边有一定的折射率差。下面用具体例子加以说明考虑的方法。

由图 4.86 可以看到,前胶合面对大视场的下光线作用较大,因为这些光线在前胶合面上的人射角 ib 很大,同样后胶合面对大视场上光线影响较大,因为 ia 比较

大。利用胶合面来改善高级象差,首先要看高级象差是上光束产生的,还是下光束产生的,或者是两者同时产生的,以此来确定需要利用其中哪一个胶合面,或同时利用这两个胶合面来改善系统的象差。例如在前面的例子中,经过初步的象差平衡之后,

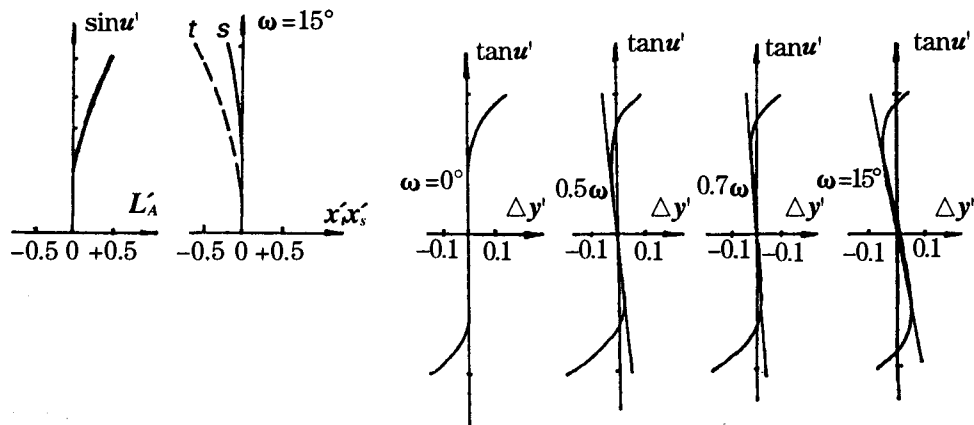


图 4.87

在加入胶合面前的象差曲线如图 4.87 所示,在图中可以看到轴上球差和象散都没有得到校正,而这些象差是能够校正好的,它们的高级象差情况从图 4.87 中的轴上球差曲线和象散曲线上可以看得清楚。轴外宽光束高级象差即高级彗差和轴外球差就必须从子午面内的垂轴象差曲线来判断。但是垂轴象差曲线是各种象差综合的结果,我们首先把球差和象散分离出来,为此作各视场子午光束的垂轴象差曲线在主光线这一点上的切线,如果把象差曲线相对于这些切线计算象差,就是各象点在假定子午场曲得到校正以后的象差,这些象差和轴上点垂轴象差的差即为系统的轴外宽光束象差。由图 4.87 可以看出,各视场的上光束是比较好的,有不小的轴外球差,

而且随着视场增大而均匀增加的。但下光束较差,随视场增加时开始象差增加,但到 0.5 视场以后又逐渐减小,因而形成一个沿视场分布的高级彗差和高级轴外球差,如果这种高级象差不校正,只是利用改变初级彗差和降低轴外球差进行象差平衡时,视场边缘平衡好了,中间视场就不好,或者中间视场平衡好了,边缘就不好。因此,我们希望将边缘视场的下光束往下拉,使随着视场的增加象差均匀变化,在此基础上改变初级彗差并减小轴外球差就可以使整个视场内象差同时达到平衡。为此必须使前胶合面有一定的折射率差,同时要求 $n < n'$, 形成一个对边缘视场的下光束起发散作用。把边缘视场的下光束往下拉。至于折射率差取多大,通常是要通过几次

尝试的。但一般折射率差不要取得太大,在0.1左右为宜。因为我们既要使胶合面产生一定的高级象差,又希望尽量少产生初级象差,因为我们对系统已经初步作了象差平衡,过大的初级象差,为了校正它可能引起系统的高级象差特性较大的变化。至于后胶合面,由于我们不再希望改变上光束的高级象差特性,所以取折射率近似相等,为此取:

前胶合面: $n = 1.622, n' = 1.6475$

后胶合面: $n = 1.6475, n' = 1.6385$

前后胶合面均属对轴向光束起发散作用的胶合面,它产生负象散,可以使系统中二个凹面上少产生一些负的象散,带来好处是因而能将中间间隔拉开,使这二个面对光阑趋向同心,减少轴外球差。

(2) 根据胶合面要求的弯曲形势,确定玻璃的色散差

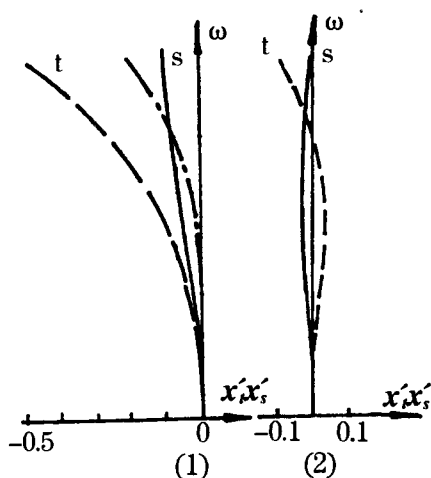


图 4.88

在玻璃色散差确定以后,根据校正初级位置色差和倍率色差的要求,二个胶合面的半径就被完全确定。因而要求胶合面有一定的弯曲形势,就必须合理的选择胶

合面两边玻璃的色散差。

胶合面,特别是前胶合面的弯曲形势与色球差有密切的关系。另外,在非等折射率胶合面的情况下,胶合面的弯曲形势,对高级象差的大小也密切相关,因此必须从这两个方面来考虑前后胶合面应采取什么样的弯曲形势,然后决定二胶合面应采取的色散差大小。

对于等折射率胶合面,则只要考虑色球差的要求,确定玻璃的色散差。

根据折射率差和色散差的要求,选定了玻璃材料之后,即可将二胶合面加入厚透镜内,然后分别将前后胶合面进行一次弯曲,根据它们分别对位置色差和倍率色差的改变量按曲率进行线性插值,即可确定二个胶合面的半径。

(五) 象差平衡

象差平衡就是在高级象差一定的情况下,用改变系统的初级象差的方法使初级象差和高级象差取得最好的平衡,使系统得到尽可能好的成象质量。

在合成系统之后,首先要经过初步的象差平衡才能加入胶合面,在加入胶合面之后又要破坏平衡,特别是需要利用胶合面来改善原来系统的高级象差特性时,平衡破坏得更严重,因此必须进行重新的平衡。这里我们介绍一下双高斯物镜象差平衡的情况。

在各种象差中首先进行平衡的通常是场曲,因为场曲只与系统的光焦度有关,和透镜的弯曲形状无关,因此将场曲平衡以后,只要保持总光焦度不变,用弯曲透镜,改变透镜厚度、间隔、交换光焦度、更换玻璃等等方法平衡其它象差时,都不会破坏

场曲的平衡。场曲和象散综合起来决定了子午和弧矢焦面的位置。图 4.88(1) 为没有平衡以前的象散曲线,由于系统存在高级象散,因此首先要确定整个视场内初级象散和高级象散的平衡状态。我们曾经说过象差的少量改变可以认为主要是初级量变化,高级量不变,因此我们可以将子午焦面按初级象散与视场平方成比例的关系进行位移,达到要求的象散校正状态,如图 4.88(1) 中点划线的位置。利用场曲的变化可以在象散不变的条件下使子午和弧矢焦面一起发生位移,达到子午和弧矢焦面理想的平衡位置,如图 4.88(2) 所示。因此,我们首先求出没有平衡前和平衡后的场曲大小,根据场曲和子午、弧矢焦点位置关系式:

$$x'_p = x'_i - \frac{1}{2}(x'_i - x'_s) \dots \dots (4.77)$$

将图 4.88(1), (2) 中的 x'_i 和 x'_s 分别代入上式,即可求出相应的场曲大小,二者之差即为场曲要求的改变量 $\Delta x'_p = x'_{p\text{平衡前}} - x'_{p\text{平衡后}}$,利用公式:

$$\Delta x'_p = \frac{y'^2}{2n} \Delta \varphi \dots \dots (4.78)$$

式中: y' ——象高; n ——透镜的折射率;

$\Delta \varphi$ ——光焦度的改变量。

将 $\Delta x'_p$ 、 y' 、 n 代入上式即可求出 $\Delta \varphi$, 将它加入系统中即可使整个系统场曲达到平衡。 $\Delta \varphi$ 如何加入呢? 因为 $\varphi = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$, 所以有:

$$\Delta \varphi = (n-1) \Delta \rho_1, \text{ 式中 } \rho_1 = \frac{1}{r_1},$$

$$\rho_{\text{新}} = \rho_1 + \Delta \rho_1,$$

即可用改变透镜的某一面半径来达到场曲

的平衡。

在场曲平衡之后,接着平衡其它的象差:球差、彗差、象散和畸变。无论是弯曲透镜或者改变透镜的厚度和间隔,都会对各种象差产生影响,在这些象差的平衡时,不象场曲那么简单,都是比较复杂。

(1) 畸变

几种象差中首先进行校正的通常是畸变,因为能够改变畸变的参数比较少,而且畸变一般要求不太严格。对于照相物镜畸变在 5% 以内是不会有明显感觉的。当全系统合成后,如果畸变不大,可以不进行校正。

对于双高斯型物镜校正畸变的参数主要有以下两个:

- ① 弯曲前后两个正透镜。
- ② 在远离光阑的对应面上交换光焦度。

(2) 球差

校正球差的主要参数有:

① 同时增加或减小两个厚透镜的厚度,可以只改变球差不影响其它象差。

② 更换不同折射率的玻璃,同时保持透镜每一面的光焦度不变,即按以下公式同时改变透镜的半径:

$$r^* = \frac{n^* - 1}{n - 1} r \dots \dots (4.79)$$

这样更换玻璃除了影响球差而外,还会少量的影响彗差。通常在利用改变结构参数来平衡球差和彗差遇到困难时再采用。

(3) 彗差

校正彗差的主要参数有:

① 两个厚透镜的厚度一个增加,一个减小能使其它象差近似不变,而只改变彗差。

② 在靠近光阑的两个凹面上交换光焦度,它同时对沿视场分布的高级彗差有

较大影响,应予以注意。

(4) 象散

校正象散的主要参数有:

① 两个半部之间的间隔,它同时对视场高级球差有很大的作用,应予以注意。

② 弯曲两个正透镜。

§ 4.10.9 远摄物镜设计

(一) 概述

为了缩短长焦距物镜的尺寸,我们往

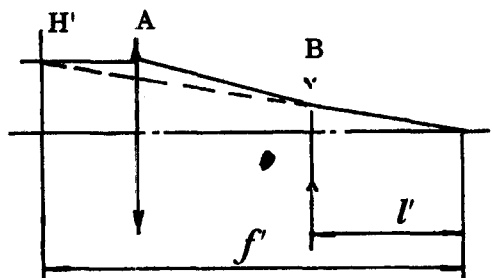


图 4.89

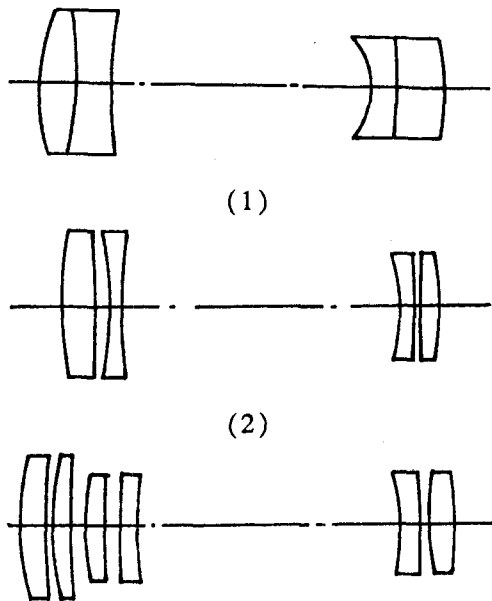


图 4.90

往采用远摄型物镜,它由会聚组元 A 和发

散组元 B 组成,如图 4.89 所示。平行光入射后首先被 A 组元会聚,再经 B 组元发散后才会聚于象面上,于是整个系统的主面向前移,得到的结果是焦距大于筒长的远摄型结构。这类结构透镜片数较多,有足够的变量,光阑也可以比较自由地移动,用以校正象差,所以在较大视场时宜于采用。

双分离物镜把透镜间的间隔拉开,就会起到远摄的作用。为了校正象差,满足不同视场、孔径的要求,远摄型结构是多种多样的,一般讲,前组比后组复杂,因为前组

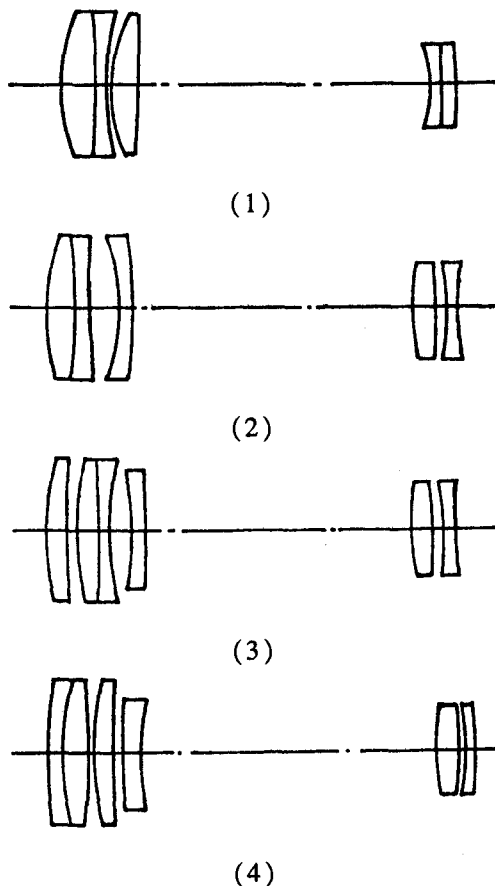
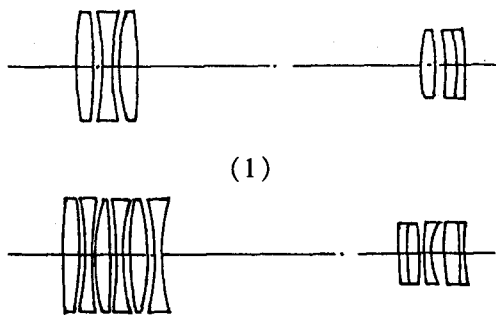


图 4.91

承担较大的光焦度。比较简单的远摄型结构,其前组、后组均采用双胶合透镜组,如

图4.90(1)所示。前后组均用分离的结构, 可有较大的孔径, 并将负透镜弯向光栏, 这样有利于球差及色球差的校正, 后组采用分离结构, 在增大视场时可以校正畸变, 如图4.90(2)。在更大孔径的结构中, 甚至把前组分裂为三片到四片, 并使正负透镜弯向光栏, 如图4.90(3)。长焦距摄影物镜中最常用的远摄型前组是由一块或二块单透镜与一个双胶合透镜组成, 如图4.91所示。前组中单片用正透镜如图4.91(1), 可以承担较大的光焦度, 减轻胶合组的负担, 降低高级球差。如果用单片负透镜, 如图4.91(2), 对孔径的提高是不利的, 因为增大了胶合组的光焦度负担, 但减轻了胶合组色差的负担, 并且经单片负透镜把光线发散, 再经后组发散, 可以把主面更往前推移, 缩短了系统的长度。如图4.91中的



(1)

(2)

图 4.92

(3)、(4), 头部较复杂, 它们较好地降低了高级球差, 改进了色差。为了精确地校正色差, 大孔径的远摄型, 需要比较复杂的结构, 如图4.92(1)、(2), 正透镜均采用氟化钙晶体, 负透镜采用特种火石玻璃, 甚至有时在后组中加入无光焦度胶合平板, 利用它的胶合面改进倍率色差。远摄型结构一般可使总长缩短为0.75 ~ 0.85 倍焦距值。

(二) 理想光学关系

远摄型理想光学关系如图4.93所示。

假定轴上光线 $h_1 = 1, u_1' = 1, f' = 1$, 轴外光线 $u_{p1} = -1$, 主光线通过后组主点时, 前组主光线的角放大率倒数 $A = \frac{u_{p1}'}{u_{p1}}$ 。

前组轴外主光线偏角可得:

$$u_{p1}' - u_{p1} = h_{p1} \varphi_1 = d u_{p1}' \varphi_1 \dots \dots \dots (4.80)$$

$$u_{p1}' = u_{p1}' - d u_{p1}' \varphi_1, A = 1 - d \varphi_1 \dots \dots \dots (4.81)$$

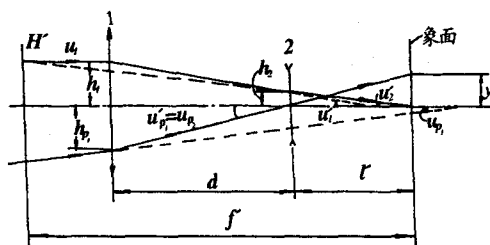


图 4.93

前组轴上光线偏角可得:

$$\begin{aligned} u_1' - u_1 &= h \varphi_1, \\ h_2 &= l_2' = h_1 - d_1 u_1' = 1 - d \varphi_1 \\ &\dots \dots \dots (4.82) \end{aligned}$$

后组轴上光线偏角可得:

$$\begin{aligned} u_2' - u_2 &= h_2 \varphi_2 \\ f_2' &= \frac{h_2}{u_2' - u_2} = \frac{h_2}{1 - \varphi_1} = \frac{1 - d \varphi_1}{1 - \varphi_1} \\ &= \frac{A}{1 - \varphi_1} = \frac{A}{1 - \frac{1}{f_1'}} = \frac{A f_1'}{f_1' - 1} \dots \dots \dots (4.83) \end{aligned}$$

从图中可得:

$$\frac{l'}{f'} = \frac{h_2}{h_1}, \therefore l' = f' h_2 = f' (1 - d \varphi_1)$$

$$L = d + l' = f' + d l' \varphi_2 \dots \dots \dots (4.84)$$

从上面的关系式中可以看出: 远摄型结构长度 L 小于其焦距值, 当后工作距离 l' 不变时, 缩短前后组之间的间隔, 则前组光焦度 φ_1 上升, 反之, d 一定时, 缩短 l' 也使光

焦度 φ_1 上升, 并且前组负担的偏角永远大于整个系统的偏角, 所以结构尺寸愈紧凑, 则前组负担的偏角越大, 光组的结构也就越复杂。

后组光焦度当间隔 d 加大时, φ_2 减小, 当 d 加大到一定值时, 则 φ_2 随 d 加大, 反而逐渐增大, 这个特性可由下式导出:

$$\begin{aligned} \because L &= f' + dl'\varphi_2, \\ \therefore \varphi_2 &= \frac{L-f'}{dl'} = \frac{L-f'}{d(L-d)} = \frac{f'-L}{d(d-L)} \end{aligned}$$

$$\text{即 } \frac{1}{f_2} = \frac{f'-L}{d(d-L)}, f_2' = \frac{d(d-L)}{f'-L},$$

$$\frac{\partial f_2'}{\partial d} = \frac{2d-L}{f'-L},$$

此极值的必要条件为 $\frac{\partial f_2'}{\partial d} = 0$, 得 $d = \frac{f'}{2}$,

$$\frac{\partial f_2'}{\partial d^2} = \frac{2}{f'-L}, \because \text{远摄型的 } f' > L,$$

$$\therefore \frac{\partial f_2'}{\partial d^2} > 0, \text{ 所以焦距 } f_2' \text{ 随 } d \text{ 变化时,}$$

其曲线有极小值, 当间隔 $d = \frac{f'}{2}$ 时 f_2' 最小, 因为后组是负组, 即为 f_2' 的焦距绝对值最大, 即后组具有最小光焦度。

(三) 远摄型物镜设计

远摄型物镜在光学系统中应用十分广泛, 例如应用于测量经纬仪和长焦距摄影物镜。在长焦距摄影物镜中, 由于视场较大, 简单的双胶及其分离结构无法校正象散, 采用远摄型结构, 它有足够校正象差的变量, 结构尺寸又能适当缩短, 一般为了减少前组光焦度负担, 取 $L = 0.8$ 倍焦距值, 物镜本身的长度约为 0.5 倍焦距值。

这里要说明的一个问题: 远摄型结构对二级光谱将产生不利的影晌。当前组光

焦度增大时前组本身的二级光谱将减小 $(\frac{f_1'}{f'})$ 倍, 这种由于前组焦距缩短造成的二级光谱减小, 虽然是有利的。但是, 另一方面, 前组的二级光谱通过后组将放大 α 倍, 二级光谱是纵向象差, 其纵向放大率 α 等于横向放大率 β 的平方。

$$\beta = \frac{u_1'}{u_2'} = \frac{f'}{f_1'}, \alpha = (\frac{f'}{f_1'})^2,$$

所以, 前后组分离, 虽然使前组本身的二级光谱下降 $(\frac{f_1'}{f'})$ 倍, 但又被后组放大 $(\frac{f'}{f_1'})^2$, 总起来仍然增大了 $(\frac{f_1'}{f'})$ 倍。

一般前组焦距为总焦距的 $(0.65 \sim 0.85)$ 倍, 因而远摄型结构二级光谱比双胶合或分离结构增大约 $(1.2 \sim 1.5)$ 倍。

具体的设计分以下几步:

(1) 根据任务要求, 确定外形尺寸和结构参数: 指的是确定前后组焦距值、间隔、后截距, 计算 h, h_p 。

(2) 根据象差要求, 利用初级象差理论求解 IP, IW 。

(3) 进行 IP, IW 分配, 并求出双胶透镜的 IP_0 值及色差系数 IC 。

(4) 计算内部结构参数: 根据 IP_0, IC 选取玻璃对, 求出透镜的曲率半径 R 。

(5) 配厚度, 合成全系统:

根据求得的半径, 每块透镜配上一定的厚度, 负透镜保证中心厚度, 一般为 D (透镜的外径) 的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 左右, 正透镜保证边缘有一定宽度, 用作图法确定, 也可以用算法确定。透镜配上厚度之后, 然后将高斯光学系统变为实际的光学系统。

(6) 象差校正与象差平衡:

我们得到的光学系统是根据初级象差理论求解的,实际的系统还存在高级象差,所以下面的大量的工作就是如何校正高级象差,如何使初级象差与高级象差得到很好的平衡,获得一个满意的设计结果。

§ 4.11 变焦距物镜设计

§ 4.11.1 变焦距物镜概况

变焦距物镜在使用过程中,它的焦距是在一定的范围内连续改变,它可以代替变焦范围内的任一个焦距的定焦距物镜。变焦距在摄影物镜上的应用,就称为变焦距摄影物镜,它在拍摄点不变的情况下,获得可缓可急连续改变画面景别的效果,从而产生强烈的真实感和艺术感,增加了电影的艺术性。

变焦距物镜早在 1940 年左右就有实际应用,但由于质量比较差,没有普遍应用。1960 年后,电子计算机在光学设计中的较多应用,光学材料性能的提高,光学冷加工、镀膜技术的发展,使光学设计工作有了大的发展。近来,电视摄像中几乎全部用变焦距物镜代替定焦物镜,16mm 电影摄影物镜也日趋代替,35mm 电影的新闻拍摄采用变焦距物镜也很普遍。目前,变焦距物镜被广泛用于电视、电影摄影、望远摄影(如人造卫星摄影)和显微摄影等科技领域,以及宇宙空间探索事业、导弹实验、追迹观察、火箭记录等方面。光学设计工作有相当一部分工作是设计变焦距物镜。

变焦距物镜的焦距连续改变是如何实现呢?一个变焦距物镜的焦距是由这个物镜的各个透镜的焦距和透镜之间的间隔来决定的,透镜的焦距一般不能变,目前都是用透镜组之间的间隔改变来达到整个物镜

焦距的改变。随着透镜组间隔改变而整个物镜的焦距改变,象面也伴随着有位移。补偿象面位移的方法不同,有很多种,一般可分为两大类,即机械补偿和光学补偿。

变焦距物镜的形式是多种多样的,但是它们的基本形式不外乎几种,根据具体情况把它们分一下类。在分类之前,谈一下:什么叫“物象交换原则”。所谓物象交换原则,就是说象面位置不变,而对其某透镜组来说,它移动后,原物距变成为新的象距,原象距成为新物距,如图 4.94 所示。

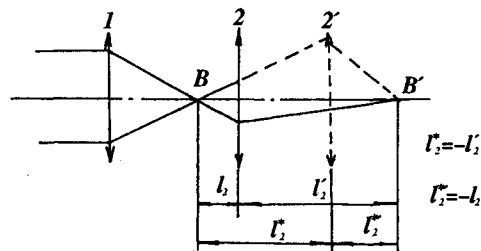


图 4.94

我们从图 4.95 中进行分析一下,如何实现变倍(焦距改变的倍数):透镜组 1 它将无穷远物点成象于 B 点,经过透镜组 2 成象于 B' 点,平行光束的高度为 h ,经过第 1 透镜组后的光束孔径角为 u_1' ,经过第 2 透镜组以后的光束孔径角为 u_2' ,那么 $f_{1.2}' = h/u_1'$, $f_{1.2}' = h/u_2' = \frac{h}{u_1'} \cdot \frac{u_1'}{u_2'} = \frac{h}{u_1'} \cdot \frac{l_1'}{l_2}$, 设 $m_2 = \frac{l_1'}{l_2}$, 则 $f_{1.2}' = f_1' - m_2$ 。当透镜组 2 移到新位置 $2'$ 时, B 点远离第 2 透镜组, $l_2^* = -l_2'$, 此时 $l_2^* = -l_2$, 但是 B 点仍然成象于 B' 点, 在新位置时, 第 2 透镜组的倍率 $m_2^* = \frac{l_1'}{l_2^*} = \frac{-l_2}{-l_2} = \frac{l_2}{l_2} = \frac{1}{m_2}$, 在新位置时 $f_{1.2}^* = f_1' \cdot m_2^* = f_1'/m_2$ 。这样移动后, 总焦距改变

了： $\frac{f_1 \cdot m_2}{f_1/m_2} = m_2^2$ 倍，而象面保持不动。但是，当第2透镜组移动到其它位置时，焦距虽然改变，而象面同时也发生位移，还需要用另外的透镜组与第2透镜组不等速运动来补偿象面位移。

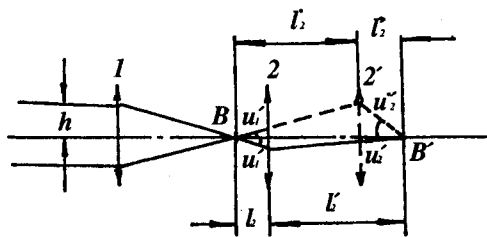


图 4.95

我们可以把变焦距物镜分为几类：

1. 机械补偿法

如上文所述，除第2透镜组作移动外，还需要另外的透镜组作不等速运动来补偿象面位移，它们的移动情况如图4.96所示。机械补偿法可以是负组作为补偿组，也可以是正组作为补偿组；变倍组的移动可以是处在物象交换原则，也可以是处在非

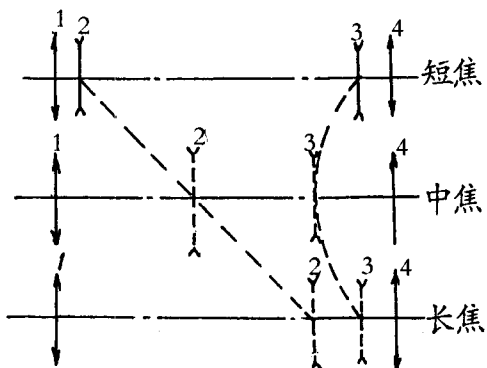
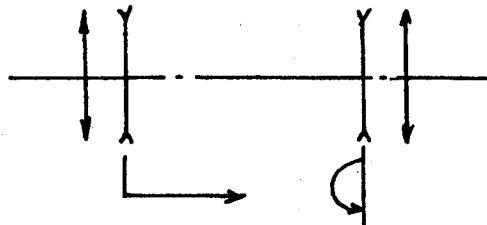


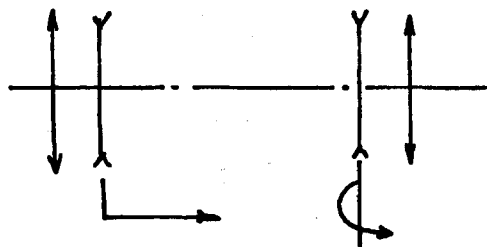
图 4.96

物象交换原则。因此，最典型的有以下四种情况，如图4.97所示。

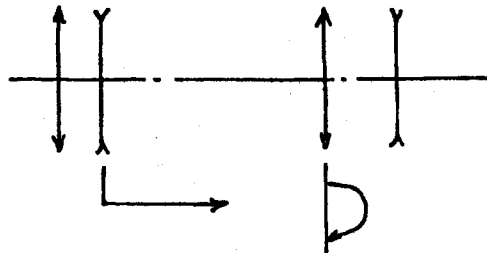
a. 负组补偿物象交换原则



b. 负组补偿非物象交换原则



c. 正组补偿物象交换原则



d. 正组补偿非物象交换原则

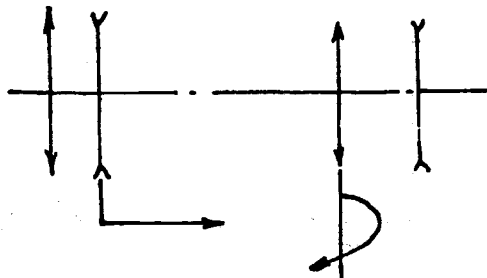


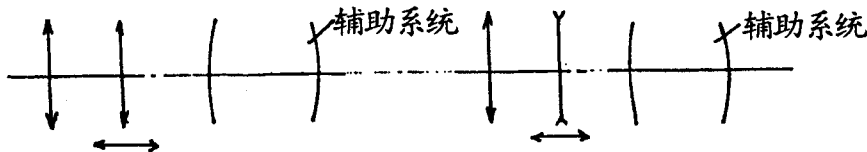
图 4.97

2. 光学补偿法

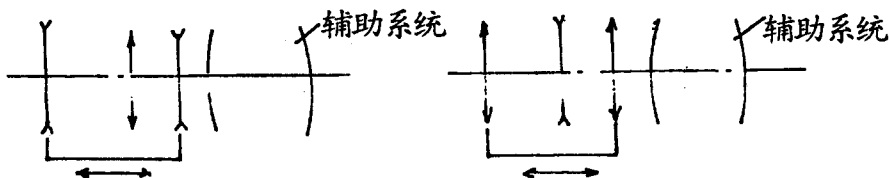
利用一组透镜或两组透镜作线性移动来达到变倍目的，而象面又能保持不大的

(允许的)变动,这样的系统称为光学补偿的变焦距系统。光学补偿法按其透镜组元的多少分类,可以分为:二组元系统、三组元系统、四组元系统等,如图 4.98 所示。

二组元系统:



三组元系统:



四组元系统:

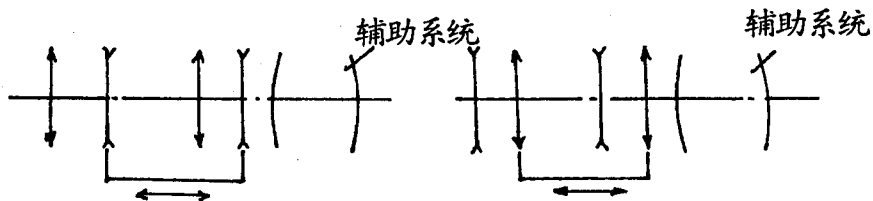


图 4.98

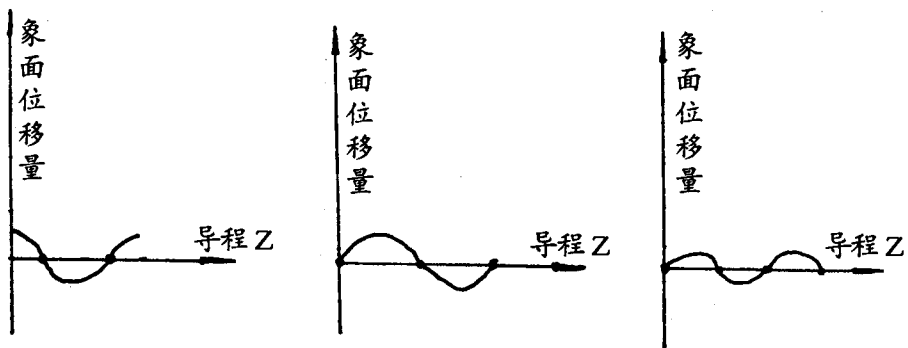


图 4.99

它们可以是正组在前,负组连动,也可以是负组在前,正组连动。因为光学补偿法是透镜组线性移动,所以在变倍时,象面位置是不可能保持不动,而有一定的象面

位移,只有几个补偿点(即几个焦距位置)的象面位置是不动的。只不过我们设计时可以控制象面最大位移量小于某值。二组元系统有两个全补偿点,三组元系统有三个全补偿点,四组元系统有四个全补偿点,如图 4.99 所示。

3. 光学补偿加机械补偿法

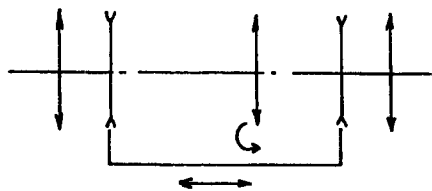


图 4.100

利用光学补偿的方法,象面还有位移,

为了使象面补偿得更好一些,可以加上一点微小的移动某一透镜组,如图 4.100 所示。

总起来说,机械补偿与光学补偿都各有优缺点,有着不同的适用范围。机械补偿法在变焦过程中象面能达到全补偿,但机械结构复杂,凸轮加工困难,适用于变倍范围大。机械补偿法又分正组补偿和负组补偿,一般说,正组补偿外形为细长,前固定组焦距较长。负组补偿外形为短粗,前固定组焦距较短。光学补偿法,则在变焦的全过程中象面不能达到稳定,有位移,因此适用于小孔径、小视场变焦倍率不大者,一般为 2 ~ 3 倍,而且光学补偿法初级象差,求解不容易解好。

(未完待续)

消 息

光纤 - 激光器的进展

光纤激光器的进展促使美国国防高级研究计划署(DARPA)两年前就启动了高能光纤激光器项目。早期研究表明,光纤激光器可即插即用,全因其很高的面积体积比有助于高效除去废热。DARPA 目前正全力解决光束质量这个关键问题。

把近场的几根光纤激光器的输出合成,商用光纤激光器可产生几千瓦的功率。对于工业应用已足够了,但军用必须将激光功率传输很远的距离,需要把多个光纤激光器相干组合。每一激光器必须在单偏振中产生单一径向和横向模,以便取得大的相干长度。

大面积单一掺镱光纤已达到 1kW 能级水平,不只是在单偏振条件下。2004 年初,在美国新墨西哥州圣菲召开的高级固体激光器会议上,就有用一根 43 μm 纤芯的光纤产生超过 1kW 功率的报道。

要使总功率远大于千瓦级,需要把多个光纤激光器的输出相干合成单一高能光束。HRL(前休斯研究实验室)正致力于为 DARPA 研究该项技术。

Pogue 的项目也正在致力于光束合成。诺格公司已用 HEL - JTO 项目的 4 个光纤激光器的线性阵列产生了合成光束,该公司目前正试图组合七根光纤组成的圆形阵列的光束。这是很重要的一步,因为其逻辑构造模块能达到高功率水平。

摘自《应用光学》