

光学系统设计技巧(续)

郑保康

(云南北方光电仪器有限公司 昆明 650114)

§ 4.11.4 几个问题的说明

1. 物镜的选型

变焦距摄影物镜,究竟采用什么型式为佳?看具体情况而定,一般来说,变倍率不大的,视场和孔径不大的,对象面稳定要求不太严的可以采用光学补偿。光学补偿在变倍过程中象面是有微量位移的,增加透镜的组元数能增多全补偿点,减少象面位移量。光学补偿一般适用于1~3倍左右的,它的最大优点是机械结构简单,不要凸轮。当倍率大的变焦距物镜,一般用机械补偿法为宜,机械补偿法的机械结构复杂,凸轮加工精度高。但是,从光学原理讲,象面是稳定的。它的结构尺寸也较小,这是最大的优点。目前也有光学补偿与机械补偿的结合,以光学补偿为主,由光学补偿产生的象面位移,用某一透镜组的小量移动加以补偿。它吸收了光学补偿的结构简单,只作线性移动透镜组的优点,又用某透镜组的小量非线性移动来达到象面的高度稳定。

光学补偿法:它的象面是有位移的,根据要求的象面稳定程度,我们确定结构的大小,全补偿点数。二组元有两个全补偿点,三组元有三个全补偿点,四组元有四个全补偿点。

机械补偿法:它的象面是稳定的。机械补偿法有几种型式,有物象交换原则,有非

物象交换原则,均可采用。一般讲,取非物象交换原则有利一些,使结构更紧凑,使凸轮曲线平滑一些,变倍大。一般讲,小倍率可以采用物象交换原则,大倍率采用非物象交换原则为宜。按补偿组透镜组的光焦度又可分为正组补偿和负组补偿。正组补偿使结构细长,而负组补偿使结构短粗,各有优劣。

2. 倍率的选段

变焦距物镜的型式不同,其倍率选段也有差别,对于物象交换原则它的倍率段是定的,由倍率而定,即 $m_{2短} = -\frac{1}{\sqrt{\Gamma}}$, $m_{2长} = -\sqrt{\Gamma}$,式中 Γ 为变焦倍率,非物象交换原则的就要具体进行选段了。

正组补偿:变倍组位在最前时焦距最短,长焦距位置变倍组移至最后面。一般讲,正组补偿的变倍组长焦倍率取 -1^{\times} 左右,根据系统变倍率的大小而定,中倍率的取 -1^{\times} 左右而接近 -1^{\times} ,小倍率的取绝对值小一点的数,如 -0.7^{\times} ,大倍率的取绝对值大一点的数,如 -2^{\times} 。

负组补偿:变倍组位在最前时焦距最短,长焦距位置变倍组移至最后面。负组补偿的倍率选段与正组补偿是不一样的。一般讲,负组补偿的变倍组短焦倍率取 -1^{\times} 左右,而且往接近物象交换原则的方向取

值为有利,即如取 -0.9^x ,长焦就要到 $-2^x, -4^x, -10^x, \infty^x, 100^x, 10^x, 5^x \dots \dots 1^x$ 或 $0.5^x \dots \dots$,看系统具体的变倍率大小而定。选段要适中,使结构尺寸小,而凸轮曲线平滑,不能有急转的点。其正组补偿和负组补偿的倍率选段如图 4.121 所示。

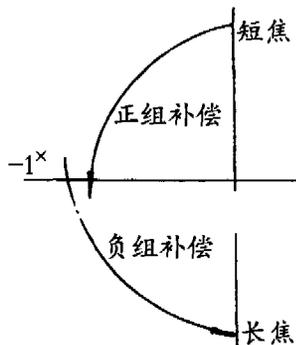


图 4.121

3. 补偿组焦距值的选取

变焦距物镜的补偿组,主要是用来补偿变倍组移动引起的象面位移(当然,非物象交换原则时,补偿组也参加变倍),所以补偿组焦距的大小直接影响补偿组的移动量,补偿组焦距长则移动量就大,但补偿组的相对孔径就小,补偿组的焦距短则移动量就小,但补偿组担负的相对孔径就变大,带来设计的困难。一般来讲,正组补偿的补偿组的焦距为变倍组焦距的 $(1 \sim 1.3)$ 倍左右,负组补偿的补偿组的焦距为变倍组焦距的 $1.5 \sim 3$ 倍左右。长焦距变焦距物镜中,由于相对孔径小,而同时导程大,因此补偿量也大,补偿组的焦距就应适当小一些,因而补偿组焦距可取为变倍组焦距的 1.2 倍,甚至 0.8 倍。

4. 凸轮计算

变焦距物镜一般型式是用变倍组的线性运动,补偿组的非线性运动来达到变倍

目的,而保证象面稳定的。一般我们用一个凸轮上加工两条曲线来实现,而且采用变倍组为螺旋线,从而确定补偿组的凸轮曲线关系,曲线形式如图 4.122 所示。



图 4.122

下面推导凸轮曲线的计算公式:

如图 4.123 所示进行推导。

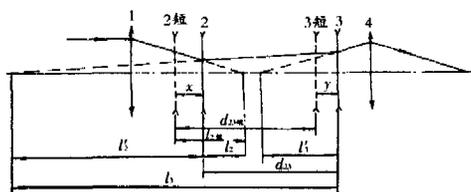


图 4.123

$$\because \frac{1}{l'_2} = \frac{1}{l_2} + \frac{1}{f'_2}, \frac{1}{l'_2} = \frac{1}{l_{2短} - x} + \frac{1}{f'_2} \dots \dots (1)$$

$$\frac{1}{l'_3} = \frac{1}{l_3} + \frac{1}{f'_3}, \because \text{补偿组 3 出来的象点}$$

位置不会变, $\therefore \frac{1}{l'_{3短} - y} = \frac{1}{f'_3} + \frac{1}{l_2 - d_{23}}$,

$\therefore d_{23} = d_{23短} - x + y$, 代入上式得:

$$\frac{1}{l'_{3短} - y} = \frac{1}{f'_3} + \frac{1}{l_2 - d_{23短} + x - y} \dots \dots (2)$$

从(1)式得: $l'_2 = \frac{(l_{2短} - x)f'_2}{f'_2 + l_{2短} - x}$, 代入(2)

式得:

$$\frac{1}{\frac{(l_{2短} - x)f'_2}{f'_2 + l_{2短} - x} + x - d_{23短} - y} + \frac{1}{f'_3} = \frac{1}{l'_{3短} - y}$$

$$\frac{1}{f_2 l_{2短} - f_2 x + f_2 x - f_2 (d_{23短} + y) + x(l_{2短} - x) - (d_{23短} + y)(l_{2短} - x)} = \frac{f_3 - l'_{3短} + y}{f_3 l'_{3短} - f_3 y},$$

$$f_2 + l_{2短} - x$$

$$(f_2 + l_{2短} - x)(f_3 l'_{3短} - f_3 y) = (f_2 l_{2短} - f_2 d_{23短} - f_2 y + x l_{2短} - x^2 - l_{2短} d_{23短} - l_{2短} y + x d_{23短} + xy)(f_3 - l'_{3短} + y),$$

$$\text{展开: } f_2 f_3 l'_{3短} + f_3 l'_{3短} l_{2短} - x f_3 l'_{3短} - f_2 f_3 y - f_3 l_{2短} y + f_3 x y = f_3 f_2 l_{2短} - f_3 f_2 d_{23短} - f_3 f_2 y + f_3 \times l_{2短} - f_3 x^2 - f_3 l_{2短} d_{23短} - f_3 l_{2短} y + f_3 \times d_{23短} + f_3 x y - f_2 l_{2短} l'_{3短} + f_2 d_{23短} l'_{3短} + f_2 y l'_{3短} - x l_{2短} l'_{3短} + x^2 l'_{3短} + l_{2短} d_{23短} l'_{3短} + l_{2短} y l'_{3短} - x d_{23短} l'_{3短} - x y l'_{3短} + y f_2 l_{2短} - y f_2 d_{23短} - y^2 f_2 + y x l_{2短} - y x^2 - y l_{2短} d_{23短} - y^2 l_{2短} + y x d_{23短} + x y^2,$$

$$(-y^2 f_2 - y^2 l_{2短} + x y^2) + (-x f_3 y - f_3 l_{2短} y + f_3 x y + f_2 l'_{3短} y + l_{2短} l'_{3短} y - x y l'_{3短} + y f_2 l_{2短} - y f_2 d_{23短} + x y l_{2短} - x^2 y - y l_{2短} d_{23短} + x y d_{23短} + f_2 l'_{3短} y - f_2 l_{2短} y - f_3 x y) + [(f_3 x l_{2短} - f_3 x^2 + f_3 x d_{23短} - x l_{2短} l'_{3短} + x^2 l'_{3短} - x d_{23短} l'_{3短} + x f_3 l'_{3短}) + (f_3 f_2 l_{2短} - f_3 f_2 d_{23短} - f_3 l_{2短} d_{23短} - f_2 l_{2短} l'_{3短} + f_2 d_{23短} l'_{3短} + l_{2短} d_{23短} l'_{3短} - f_2 f_3 l'_{3短} - f_3 l'_{3短} l_{2短})] = 0$$

上式中的六项用双划线划去是表示前边三项与后面三项消去,上式中的最后一个小括号内为零,由下式证明:

$$\therefore \frac{1}{l'_{2短}} - \frac{1}{l_{2短}} = \frac{1}{f_2}, l'_{2短} = \frac{f_2 l_{2短}}{f_2 + l_{2短}},$$

$$l_{3短} = l'_{2短} - d_{23短} = \frac{f_2 l_{2短}}{f_2 + l_{2短}} - d_{23短},$$

$$\text{又} \therefore \frac{1}{l'_{3短}} - \frac{1}{f_3} = \frac{1}{l_{3短}}, l_{3短} = \frac{l'_{3短} f_3}{f_3 - l'_{3短}} =$$

$$\frac{f_2 l_{2短}}{f_2 + l_{2短}} - d_{23短},$$

$$\therefore l'_{3短} f_3 (f_2 + l_{2短}) = (f_2 l_{2短} - d_{23短} f_2 - d_{23短} l_{2短})(f_3 - l'_{3短}),$$

$$\text{展开: } f_3 f_2 l_{2短} - f_3 f_2 d_{23短} - f_3 l_{2短} d_{23短} - f_2 l_{2短} l'_{3短} + d_{23短} f_2 l'_{3短} + d_{23短} l_{2短} l'_{3短} - l'_{3短} f_3 f_2 - f_3 l_{2短} l'_{3短} = 0,$$

这就证明了上式中最后一个小括号内为零。

$$\text{设: } a = -(l_{2短} + f_2 - x)$$

$$b = -(l'_{3短} - l_{2短} - d_{23短} + x)x +$$

$$(l_{2短} + f_2)(l'_{3短} - d_{23短}) + f_2 l_{2短}$$

$$c = -[(d_{23短} + l_{2短} - x)(l'_{3短} - f_3) - l'_{3短} f_3]x$$

$$\text{得: } a y^2 + b y + c = 0,$$

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

补偿组相对于变倍组移动距离 x 的补偿量 y 取两根中绝对值较小者。

计算的公式有了,编制一个程序进行计算即可。程序可以计算出 x 从原始值 x_0 起,每增加一个位移量 m ,在导程 q 的范围内对应的 y 值。

输入数据为: $l_{2短}$ 、 $l'_{3短}$ 、 f_2 、 f_3 、 $d_{23短}$ 、 x_0 、 q 、 m_0 。

输出数据为: x 和相对应的 y 。

对原始数据要用如下的检验公式进行校对。

$$l'_{3短} f_3 = \left(\frac{f_2 l_{2短}}{f_2 + l_{2短}} - d_{23短} \right) (f_3 - l'_{3短})$$

上面的二次方程系数 c 也正是考虑了这个

关系才得出来的。

§ 4.11.5 光学补偿变焦距物镜的几组公式

(一) 二组元系统(正组动)

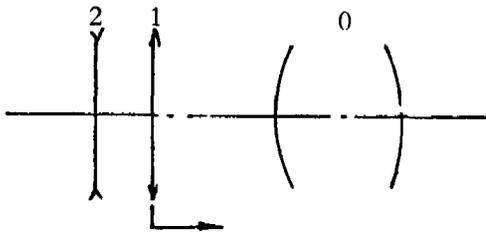


图 4.124

1) 变倍比: $R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$

2) $\tau = + \frac{R-1}{R+1}$

3) $\theta = \frac{(R^{\frac{1}{2}}-1)^3}{2R(R^{\frac{1}{2}}+1)} \left[\frac{1}{1-(R^{\frac{1}{2}}-1)S_{21}} \right]^2$

S_{21} 给定,

4) $y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Z_m}$, y 为最大偏移量, Z_m 为

最大导程, 给定。

5) $r = \frac{f(0)}{f(1)} = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = R$

6) $f_1 = + \frac{\sqrt{R}}{R-1} = + \frac{(1-\tau^2)^{\frac{1}{2}}}{2\tau}$

7) $f_2 = \frac{1}{1-(r)^{\frac{1}{2}}} + S_{21} = \frac{-1}{\sqrt{R}-1} + S_{21}$

8) $f_{\max} = -(R)^{\frac{1}{2}} \cdot f_2$ 或 $+\frac{R^{\frac{1}{2}}}{R^{\frac{1}{2}}-1} - R^{\frac{1}{2}} \cdot S_{21}$

9) $F(Z) = -Zmf_2/(z+b_1)$

$b_1 = d_{21} = S_{21} - f_1 + |f_2|$ 或 $b_1 = \frac{1}{r-1}$

10) $W = \frac{f_{\max} \cdot Z_m}{F_{\max}}$

11) S_{10} 选取(使 1,0 不碰, 是实际值, 比 Z_m 大一些)

12) $L_0 = L'(0) - S_{10}$, L_0 —后固定组物距, $L'(0)$ —变倍组象距。

13) $L'_0 = \frac{L_0}{W}$, L'_0 —后固定组象距即工作距离。

14) $F_0 = \frac{L_0}{w-1}$, F_0 —后固定组焦距。

15) 附带式:

$$f(z) = - \frac{(r)^{\frac{1}{2}} \cdot f_2}{1 + (r-1)z}$$

$$L'(z) = + \left(\frac{R^{\frac{1}{2}}}{R^{\frac{1}{2}}-1} - \frac{Rz}{1 + (R-1)z} \right)$$

$$L'(Z) = [L'_1(z)] Z_m$$

(二) 二组元系统(负组动)

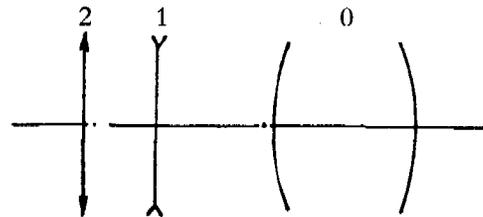


图 4.125

1) 变倍比:

$$R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

2) $\tau = - \frac{R-1}{R+1}$

3) $\theta = \frac{(R^{\frac{1}{2}}-1)^3}{2R^2(R^{\frac{1}{2}}+1)} \left[\frac{1}{1+(R^{\frac{1}{2}}-1)S_{21}/R^{\frac{1}{2}}} \right]^2$

S_{21} 给定,

4) $y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Z_m}$, y —最大偏移量,

5) $r = \frac{f(0)}{f(1)} = \frac{f_{\min}}{f_{\max}} = \frac{1}{R}$,

$$6) f_1 = -\frac{\sqrt{R}}{R-1},$$

$$7) f_2 = +\frac{\sqrt{R}}{\sqrt{R}-1} + S_{21},$$

$$8) f_{\max} = -\frac{R}{\sqrt{R}-1} - \sqrt{RS_{21}},$$

或 $= + (R)^{\frac{1}{2}} \cdot f_2,$

$$9) F(Z) = -Zmf_1f_2/(z+b_1), b_1 = d_{21} = S_{21} + |f_1| - f_2, \text{ 或 } b_1 = \frac{1}{r-1},$$

$$10) W = \frac{f_{\max} Zm}{F_{\max}}$$

11) S_{10} 选取(使 1, 0 不碰, 是实际值, 比 Zm 大一些)

$$12) L_0 = L'(0) - S_{10}$$

L_0 ——后固定组物距,

$L'(0)$ ——变倍组象距,

$$13) L'_0 = \frac{L_0}{W}, L'_0 \text{——后固定组象距,}$$

$$14) F_0 = \frac{L_0}{W-1}, F_0 \text{——后固定组焦距,}$$

15) 附带式:

$$f(z) = +\frac{(r)^{\frac{1}{2}} \cdot f_2}{1 + (r-1)z},$$

$$l'_1(z) = -\left(\frac{R^{\frac{1}{2}}}{R^{\frac{1}{2}}-1} - \frac{R(1-z)}{1+(R-1)(1-z)}\right)$$

$$L'(z) = [l'_1(z)] \cdot Zm$$

(三) 三组元系统(正组连动)

1) 变倍比:

$$R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

$$2) \tau = +\frac{R-1}{R+1}$$

$$3) \theta = 0.0218\tau^4 [(1 - 1.463\tau^2 + 0.722\tau^4) - 0.171\tau(1 - 1.51\tau^2 + 0.67\tau^4)]$$

$$4) y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Zm}$$

y ——最大偏移量, Zm ——最大导程

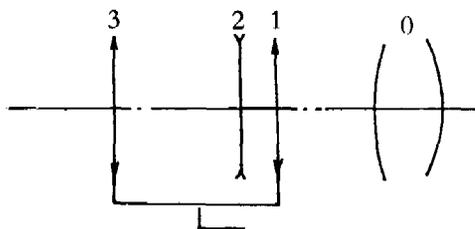


图 4.126

$$5) l'_1(0) = \frac{1.703}{\tau} [(1 - 0.294\tau^2 - 0.171\tau^4) + 0.440\tau(1 - 0.05\tau^2 - 0.01\tau^4)]$$

$l'_1(0)$ 应该为正值。

$$6) \epsilon = 0.1508\tau(1 + 0.17\tau^2 + 0.15\tau^4),$$

ϵ ——补偿点偏移量。

$$7) \text{取 } z_1 = 0, z_2 = 0.5 - \epsilon, z_3 = 1,$$

$$8) r_1 = z_1 + z_2 + z_3, r_2 = z_1z_2 + z_1z_3 + z_2z_3, r_3 = z_1z_2z_3,$$

$$9) m = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\tau} + 2\epsilon \right)$$

$$10) \lambda = + \left[l - \frac{1}{2} - |(m - \epsilon)| \right], \text{ (把}$$

5) 式算得的 l 代入一般讲适合的 l 比 5) 式算出的 l 值要大些)

$$11) f_1 = (\lambda^2 - m^2)/2\lambda$$

$$12) x' = l - f_1$$

$$13) \beta_2 = (r-1)b_2 = x' - \left(\frac{1}{2} - \epsilon\right)$$

$$14) b_1 = \beta_2 - 1$$

$$15) b_2 = \beta_2/(r-1)$$

$$16) a_1 = b_2x'/f_1^2$$

$$17) d_{23} = -a_1$$

$$18) d_{21} = d_{32} + b_1$$

$$19) f_2 = -\sqrt{d_{32}d_{21} + b_2}$$

20) $S_{21} = f_1 + d_{21} - |f_2|$, 此数在0.2左右为宜, 太大或太小要重新取 l 值。

21) S_{32} 选取, (3, 2 不碰, 给定数要比1大些)

$$22) f_3 = |f_2| - d_{32} + S_{32}$$

$$23) f_{\max} = - \left(\frac{2\tau}{1 - |\tau|} \right) \frac{f_1 f_2 f_3}{(r - 1) b_2}$$

$$= - \left(\frac{2\tau}{1 - |\tau|} \right) \frac{f_1 f_2 f_3}{\beta_2}$$

$$24) L'(Z) = (l - Z)Zm, L'(0) = lZm,$$

$$25) F(Z) = [-f_1 f_2 f_3 / (z^2 + b_1 z + b_2)] Zm,$$

$$26) W = \frac{f_{\max} \cdot Zm}{F_{\max}}$$

27) S_{10} 给定, (使1, 0不碰, 实际值, 比 Zm 大一些)

$$28) L_0 = L'(0) - S_{10},$$

L_0 ——为固定组物距,

$L'(0)$ ——为变倍组象距,

$$29) L'_0 = \frac{L_0}{W}, L'_0$$
——为固定组象距,

$$30) F_0 = \frac{L_0}{W - 1}, F_0$$
——为固定组焦距。

(四) 三组元系统(负组连动)

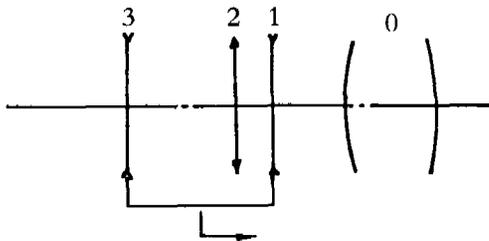


图 4. 127

$$1) \text{变倍比: } R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

$$2) \tau = - \frac{R - 1}{R + 1}$$

$$3) \theta = 0.0218\tau^4 [(1 - 1.463\tau^2 + 0.722\tau^4) - 0.171\tau(1 - 1.51\tau^2 + 0.67\tau^4)]$$

$$4) y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Zm}$$

$$5) l'_1(1) = \frac{1.703}{\tau} [(1 - 0.294\tau^2 - 0.171\tau^4) + 0.44\tau(1 - 0.05\tau^2 - 0.01\tau^4)] - 1$$

(计算出来为负值 l)

$$6) \epsilon = 0.1508\tau(1 + 0.17\tau^2 + 0.15\tau^4)$$

$$7) \text{取 } z_1 = 0, z_2 = 0.5 - \epsilon, z_3 = 1$$

$$8) r_1 = z_1 + z_2 + z_3, r_2 = z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3, r_3 = z_1 z_2 z_3$$

$$9) m = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\tau} + 2\epsilon \right)$$

$$10) \lambda = - \left[-l - \frac{1}{2} - |(m - \epsilon)| \right],$$

(这里我们把5)式计算得到的负值 l 代入式中, 一般讲合适的 l 其绝对值比计算的小一些。)

$$11) f_1 = (\lambda^2 - m^2) / 2\lambda$$

$$12) x' = l - f_1 + 1,$$

$$13) \beta_2 = x' - \left(\frac{1}{2} - \epsilon \right)$$

$$14) b_1 = \beta_2 - 1$$

$$15) b_2 = \frac{1 + b_1}{r - 1} = \frac{\beta_2}{r - 1}, (r = \frac{1}{R})$$

$$16) a_1 = b_2 x' / f_1^2$$

$$17) d_{32} = -a_1$$

$$18) d_{21} = d_{32} + b_1$$

$$19) f_2 = + \sqrt{d_{32} d_{21} + b_2}$$

20) $S_{21} = f_2 + d_{21} - |f_1|$, 此数在0.2左右, 不行时重新取 l 值, 从10)式起重算。

21) S_{32} 给定(3, 2组元不碰, 要大于1)

$$22) f_3 = S_{32} - d_{32} - f_2$$

$$23) f_{\max} = - \left(\frac{2\tau}{1 - |\tau|} \right) \frac{f_1 f_2 f_3}{(r-1)b_2}$$

$$= - \left(\frac{2\tau}{1 - |\tau|} \right) \frac{f_1 f_2 f_3}{\beta_2},$$

$$24) L'(Z) = (l-Z)Zm, L'(0) = l_{zm},$$

$$25) F(Z) = [-f_1 f_2 f_3 / (z^2 + b_1 z + b_2)] Zm$$

$$26) W = \frac{f_{\max} Zm}{F_{\max}}$$

27) S_{10} 给定(使 1, 0 组元不碰, 是实际值, 要比 Zm 大些)

$$28) L_0 = L'(0) - S_{10}$$

$$29) L'_0 = \frac{L_0}{W}$$

$$30) F_0 = \frac{L_0}{W - 1}$$

这里的 $F(Z) = f'(Z) \times Zm = F(Z)$ 实际 $\times W$

(五) 四组元系统(正组连动)

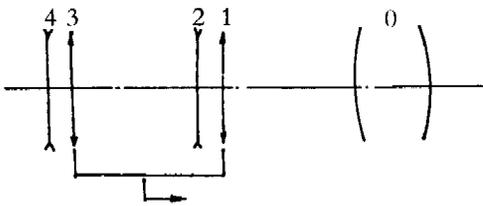


图 4. 128

$$1) \text{ 变倍比: } R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

$$2) \tau = + \frac{R-1}{R+1}$$

$$3) \theta = 0.001284 |\tau|^5 \times [(1 - 1.224\tau^2 + 0.778\tau^4) + 0.147\tau(1 - 1.1\tau^2 + 0.88\tau^4)]$$

$$4) y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Zm}$$

$$5) l_{01} = \frac{2.608}{\tau} [(1 - 0.29\tau^2 -$$

$$0.233\tau^4) + 0.277\tau]$$

(导程为 1 时透镜 1 的像距, l_{01} 应为正值。)

$$6) \epsilon = 0.1\tau(1 + 0.154\tau^2 + 0.274\tau^4),$$

$$7) \text{ 取 } z_1 = 0, z_2 = 0.293 - \epsilon, z_3 = 0.707 - \epsilon, z_4 = 1$$

$$8) r_1 = 1 + z_2 + z_3, r_2 = z_2 + z_3 + z_2 z_3, r_3 = z_2 z_3, r_4 = 0$$

$$9) r = \frac{f(0)}{f(1)} \text{ (即变倍组在最前和最后的焦距比)}$$

$$r = R \text{ (负组在前为 } r = R, \text{ 正组在前为 } r = \frac{1}{R})$$

$$10) \text{ 取 } S_{21} \text{ (如 } S_{21} = 0.3)$$

$$11) e_{10} = \frac{1}{2} [(r_1 + 2S_{21})(r_2 + \frac{r_1 - 1}{r - 1}) - r_3]$$

$$e_{11} = [(r_1 + 2S_{21})(r_1 + \frac{1}{r - 1}) + \frac{r_1 - 1}{r - 1}]$$

$$e_{12} = [2r_1 + 3S_{21} + \frac{2}{r - 1}]$$

$$e_{00} = [\frac{r}{r - 1}(r_1 + 2S_{21})r_3]$$

$$e_{01} = [(r_1 + 2S_{21})(r_2 + \frac{r_1 - 1}{r - 1}) + \frac{r + 1}{r - 1}r_3]$$

$$e_{02} = [(r_1 + 2S_{21})(r_1 + \frac{1}{r - 1}) + r_2 + \frac{2}{r - 1}(r_1 - 1)]$$

$$e_{03} = [2r_1 + 2S_{21} + \frac{2}{r - 1}]$$

$$12) K_1 = - \frac{e_{10} - e_{11}l + e_{12}l^2 - l^3}{(l + S_{21})^2}$$

以 l_{01} 作起始计算, 即 $l = l_{01}$,

$$13) K_0 = \frac{e_{00} - e_{01}l + e_{02}l^2 - e_{03}l^3 + l^4}{(l + S_{21})^2}$$

$$14) f_1^2 + 2K_1f_1 - K_0 = 0,$$

$$f_1 = \frac{-2K_1 \pm \sqrt{(2K_1)^2 + 4K_0}}{2} \text{ 负组在}$$

前的系统根号前的正负号要取正号。

$$15) x' = l - f_1$$

$$16) b_1 = x' - r_1$$

$$17) b_2 = x'b_1 - f_1^2 + r_2$$

$$18) \beta_3 = 1 + b_1 + b_2$$

$$19) b_3 = \beta_3 / (r - 1)$$

$$20) a_1 = \frac{x'b_2 - b_3 - r_3}{f_1^2}$$

$$21) a_2 = x'b_3 / f_1^2$$

$$22) d_{21} = b_1 - a_1$$

$$23) \text{取 } S_{21} \text{ (如给定 } S_{21} = 0.3)$$

$$24) f_2 = S_{21} - f_1 - d_{21}$$

$$25) d_{43} = (b_3 - d_{21}a_2) / f_2^2$$

$$26) d_{32} = d_{43} - a_1$$

$$27) f_3 = + \sqrt{a_2 + d_{43}d_{32}}$$

28) $S_{32} = f_2 + d_{32} + f_3$, 此数为 1.3 左右, 若 S_{32} 离 1.3 左右相差很大时, 重新取值, 直计算到 1.3 左右为止。

$$29) \text{取 } S_{34} \text{ (如取 } S_{34} = 0.2)$$

$$30) f_4 = S_{34} - f_3 - d_{34}$$

$$31) f_{\max} = f_1f_2f_3f_4/b_3$$

或 31) 式不计算, 设 f_0 (辅助系统) 值, 然后得:

$f_{\max} = f_0f_1f_2f_3f_4/b_3$ 。将要求的全系统焦距与计算规范化焦距之比得 M 值, 然后将规范化的值乘以 M 值得实际值。即得实际的 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 与 S_{34} 、 S_{23} 、 S_{21} 、 S_{10} 。

$$32) L'(Z) = (l - Z)Zm, L'(0) = lZm$$

$$33) F(Z) = \frac{Zmf_1f_2f_3f_4}{Z^3 + b_1Z^2 + b_2Z + b_3}$$

$$34) W = \frac{f_{\max} \cdot Zm}{F_{\max}}$$

35) S_{10} 选定 (使 1, 0 组元不碰, 实际值)

$$36) L_0 = L'(0) - S_{10}$$

$$37) L'_0 = \frac{L_0}{W}$$

$$38) F_0 = \frac{L_0}{W - 1}$$

(六) 四组元系统 (负组连动)

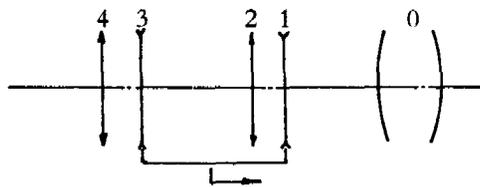


图 4. 129

$$1) \text{变倍比: } R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

$$2) \tau = -\frac{R - 1}{R + 1}$$

$$3) \theta = 0.001284 |\tau|^5 [(1 - 1.244\tau^2 + 0.778\tau^4) + 0.147\tau(1 - 1.1\tau^2 + 0.88\tau^4)]$$

$$4) y = \theta \frac{F_{\max}^2}{Zm}$$

$$5) l_{01} = \frac{2.608}{\tau} [(1 - 0.29\tau^2 - 0.233\tau^4) + 0.277\tau]$$

(l_{01} 应为负值。)

$$6) \epsilon = 0.1\tau(1 + 0.154\tau^2 + 0.274\tau^4),$$

$$7) \text{取 } z_1 = 0, z_2 = 0.293 - \epsilon, z_3 = 0.707 - \epsilon, z_4 = 1$$

$$8) r_1 = 1 + z_2 + z_3, r_2 = z_2 + z_3 + z_2z_3, r_3 = z_2z_3, r_4 = 0$$

9) $r = \frac{f(0)}{f(1)}, r = \frac{1}{R}$ (变倍组在最前和最后的焦距比)

10) 取 S_{21}

$$11) e_{10} = \frac{1}{2} \left[(r_1 - 2S_{21}) \left(r_2 + \frac{r_1 - 1}{r - 1} \right) - r_3 \right]$$

$$e_{11} = \left[(r_1 + 2S_{21}) \left(r_1 + \frac{1}{r - 1} \right) + \frac{r_1 - 1}{r - 1} \right]$$

$$e_{12} = \left[2r_1 + 3S_{21} + \frac{2}{r - 1} \right]$$

$$e_{00} = \left[\frac{r}{r - 1} (r_1 + 2S_{21}) r_3 \right]$$

$$e_{01} = \left[(r_1 + 2S_{21}) \left(r_2 + \frac{r_1 - 1}{r - 1} \right) + \frac{r + 1}{r - 1} r_3 \right]$$

$$e_{02} = \left[(r_1 + 2S_{21}) \left(r_1 + \frac{1}{r - 1} \right) + r_2 + \frac{2}{r - 1} (r_1 - 1) \right]$$

$$e_{03} = \left[2r_1 + 2S_{21} + \frac{2}{r - 1} \right]$$

$$12) K_1 = \frac{e_{10} - e_{11}l + e_{12}l^2 - l^3}{(l + S_{21})^2}$$

$$13) K_0 = \frac{e_{00} - e_{01}l + e_{02}l^2 - e_{03}l^3 + l^4}{(l + S_{21})^2}$$

$$14) f_1^2 + 2K_1 f_1 - K_0 = 0,$$

$$f_1 = \frac{-2K_1 \pm \sqrt{(2K_1)^2 + 4K_0}}{2}, \text{ 正组}$$

在前根号前的正负号取负号。

$$15) x' = l - f_1$$

$$16) b_1 = x' - r_1$$

$$17) b_2 = x' b_1 - f_1^2 + r_2$$

$$18) \beta_3 = 1 + b_1 + b_2$$

$$19) b_3 = \frac{\beta_3}{r - 1}$$

$$20) a_1 = \frac{x' b_2 - b_3 - r_3}{f_1^2}$$

$$21) a_2 = x' b_3 / f_1^2$$

$$22) d_{21} = b_1 - a_1$$

23) S_{21} 给定

$$24) f_2 = S_{21} - f_1 - d_{21}$$

$$25) d_{43} = \frac{b_3 - d_{21} a_2}{f_2^2}$$

$$26) d_{32} = d_{43} - a_1$$

27) $f_3 = \pm \sqrt{a_2 + d_{34} d_{32}}$ (正组在前根号前的正负号取负号。)

28) $S_{32} = f_2 + d_{32} + f_3$, 此数应在 1.3 左右。

29) S_{34} 给定

$$30) f_4 = S_{34} - f_3 - d_{43}$$

$$31) f_{\max} = R \frac{f_1 f_2 f_3 f_4}{b_3}$$

$$32) L'(Z) = (l - Z) Z m, L'(0) = l_{Zm}$$

$$33) F(Z) = \frac{Zm \cdot f_1 f_2 f_3 f_4}{Z^3 + b_1 Z^2 + b_2 Z + b_3}$$

$$34) W = \frac{f_{\max} \cdot Zm}{F_{\max}}$$

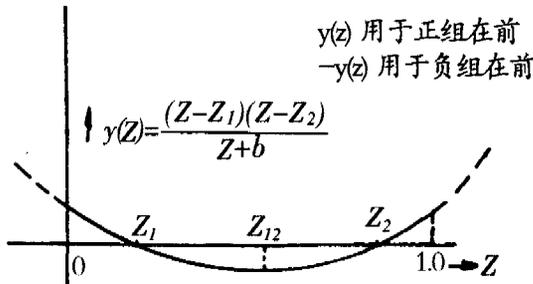
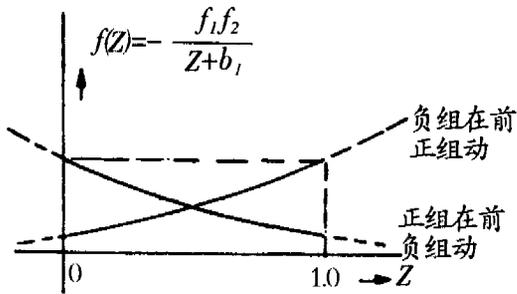
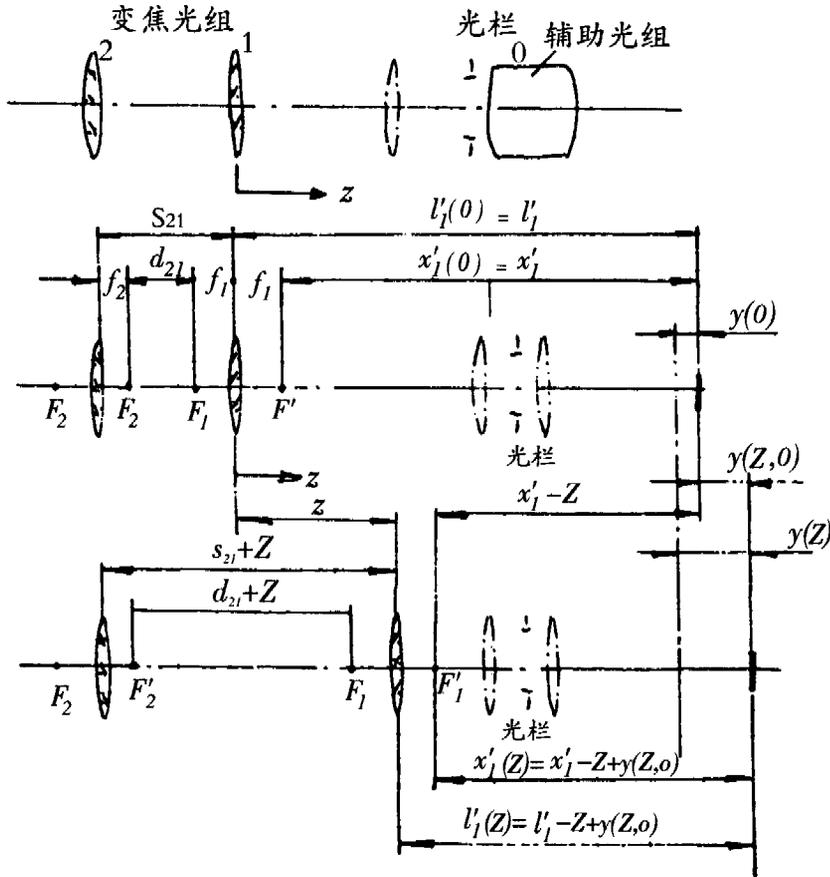
35) S_{10} 给定(实际值)

$$36) L_0 = L'(0) - S_{10}$$

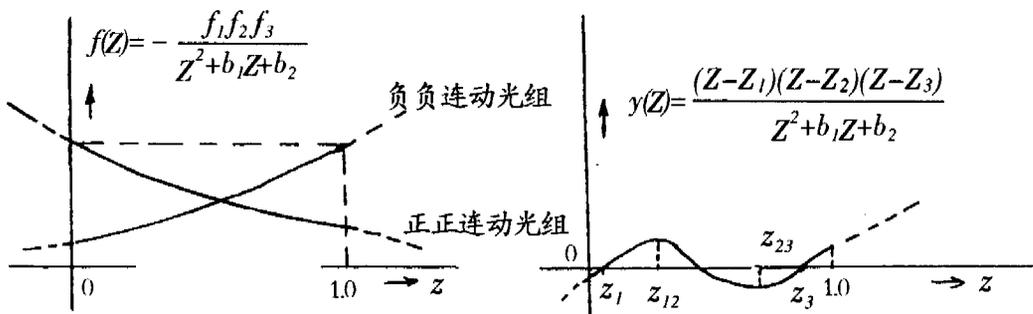
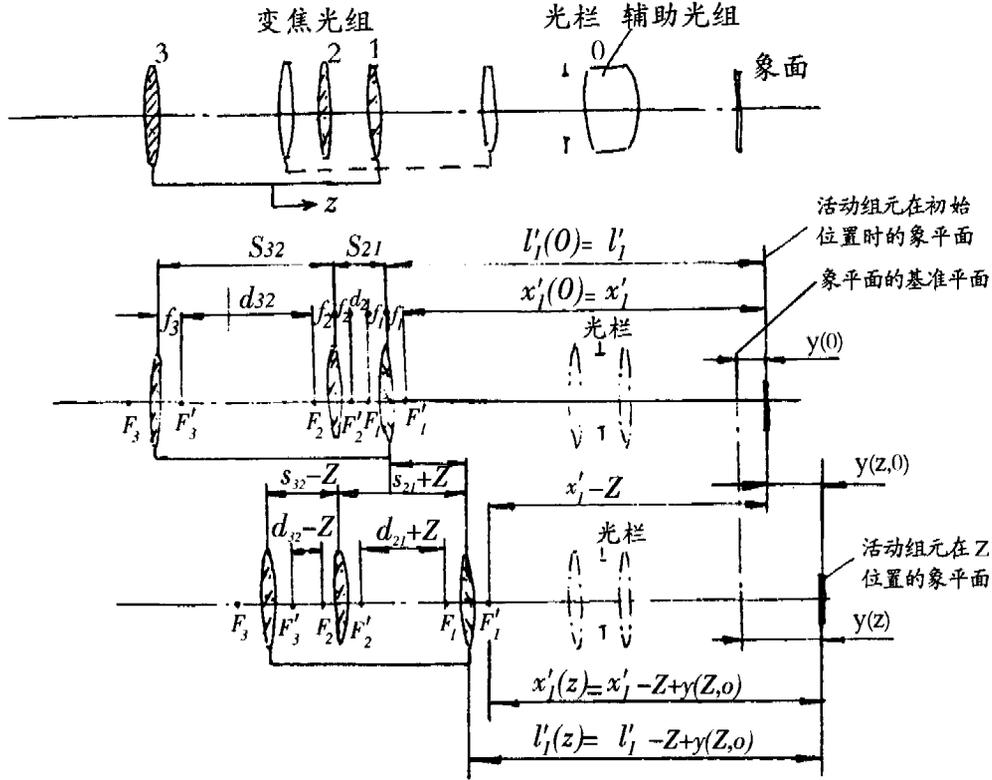
$$37) L'_0 = \frac{L_0}{W}$$

$$38) F_0 = \frac{L_0}{W - 1}$$

二组元光学补偿变焦系统图示



三组元光学补偿变焦系统图示



四组元光学补偿变焦系统图示

