

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)

(续 2006 年 No. 4)

§ 5.1.4 望远镜转象系统设计

望远镜的转象系统其目的是转象,把物镜成的倒象转换成正象,然后通过目镜供人眼观察放大的正象。转象系统可以是棱镜系统转象,如保罗棱镜转象、别汉棱镜转象等,也可以是透镜式转象。棱镜式转象系统设计要注意以下几点:(1) 首先是将棱镜展开成平行玻璃板,计算光学系统外形尺寸时,确定光线的通光口径(在平板上);(2) 计算棱镜的外形尺寸;(3) 棱镜转象后全系统的正倒象成象关系。棱镜的设计在前面已作叙述,这里不作介绍。下面对透镜式转象系统设计作一简单叙述。

§ 5.1.4.1 透镜式转象系统设计

透镜式转象系统在军用光学仪器中获得了广泛的应用,它除了把物镜所成的倒象变成正象以外,还可以把象放大,而这种作用是棱镜式转象系统所无法起到的。对于某些瞄准镜,为了获得一定的长度,通常采用透镜式转象系统。

关于透镜式转象系统的设计,仍然可以采用双胶望远镜物镜的设计方法。例如要设计 $-1\times$ 的转象系统,可采用两组双胶物镜合成,对称排列,中间为平行光,故系统完全对称,有效孔径光阑在系统中央,光阑两边的间隔相等。如果要设计 $-2\times$ 的转

象系统,故后组透镜的焦距应为前组透镜的焦距的两倍,前后两组的中间仍然是平行光,两透镜组的设计可以用双胶望远镜物镜的设计方法分别进行,复杂的透镜组可以用照相物镜的设计方法进行。

§ 5.1.5 望远镜目镜设计

和望远镜物镜比较,目镜的特点是,焦距短($f'_{目} = 10 \sim 40$);相对孔径小($\frac{D'}{f'_{目}} = 1:4 \sim 1:10$);视场大($2\omega' = 30^\circ \sim 100^\circ$);光阑位在目镜的外部(出瞳距离 $p' \geq 10$);以人眼为接收器。这些特点决定着目镜的象差性质和校正方法,以及它们的容许限度。

由于焦距短和相对孔径小,目镜的轴上象差(球差和位置色差)的绝对值基本上在 0.2 以下,这样的数量级是不能被人眼感觉出来的。考虑到目镜的视场大和光阑外移,主光线通过目镜以后的总偏向角很大,如图 5-15 所示,主光线的总偏向角 $\sum \Delta\omega$ 等于目镜视场半角 ω' 和物镜视场半角 ω 绝对值之和,有:

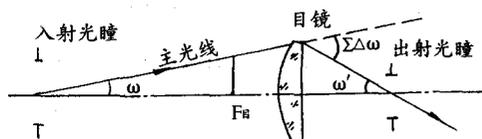


图 5-15

$$\sum \Delta\omega = \omega' + \omega$$

由象差理论可知,主光线的偏向角大,在每个折射面上的折射角 i_p' 也大,轴外象差——象散、场曲、放大率色差、彗差和畸变也随之而大,不但初级象差大,而且出现大量的高级象差。由于目镜的光阑必须位在目镜的外部,其中的轴外象差又不可能自动地加以消除,因此除了对畸变要求不高,一般不加以校正以外,如何控制其它轴外象差——象散、场曲、放大率色差和彗差则成为目镜设计的主要矛盾,特别是广角目镜,矛盾尤其突出。为了有效地校正这些象差,目镜的结构不得不随着视场的扩大而趋于复杂。另外,由于主光线的偏向角很大,光阑成象的相对孔径也很大,光阑球差需要加以考虑,以防止视场边缘部分被遮挡。

考虑到目镜的接收器是人眼,因而对目镜象差公差的要求与其它系统不同。例如,人眼能自动调焦,允许象散和场曲的剩余值较大;在大多情形(白天观察),眼睛瞳孔很小,从而成象光束口径很小,球差、彗差和轴外球差也不大;在有些观察和瞄准仪器中,视场的周围部分仅仅起参考作用,必须细致观察时,可以将目标调到视场的中央,因而目镜视场边缘的象质允许比视场中央低,关于目镜象差的公差已在象质评价一章中讨论。

望远镜目镜使用最普遍的结构型式有凯涅尔目镜、对称目镜和艾尔弗目镜。由于凯涅尔目镜设计已在第四章光组设计中作了详细介绍,这里准备介绍对称目镜和艾尔弗目镜设计。

§ 5.1.5.1 对称目镜设计

对称目镜由两组完全对称的双胶透镜组成(如图 5-16 所示),共有六个折射面和 5 个厚度或间隔,它们之间存在以下关系: $R_1 = -R_6, R_2 = -R_5, R_3 = -R_4, d_1 = d_5, d_2 = d_4, d_3$ 为距离很短的空气间隔。由于这种对称性,给制造带来了方便,实际上只需要把两组相同的双胶透镜配合在一起就行了。

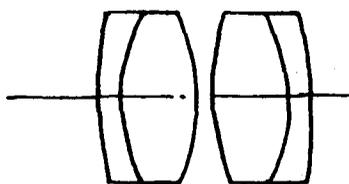


图 5-16

对称目镜中每一组双胶透镜应当是自消色差的,并且消象散的人射光瞳应位于透镜组的前方。这样我们就可以利用双胶望远镜物镜设计方法进行对称目镜的设计。

例如,设计焦距 $f' = 25$, 视场 $2\omega = 40^\circ$, 入射光瞳直径 = 4 毫米,入射瞳孔距离不小于 13 毫米的对称目镜。

下面我们根据上述已知条件,应用薄透镜系统的初级象差公式,求解双胶物镜的结构参数。

1. 求 h, h_p, j

根据已知条件,设入射瞳孔置于透镜前 15mm 处如图 5-17 所示。

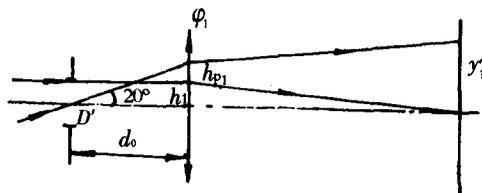


图 5-17

$$d_0 = 15, \frac{D'}{2} = 2,$$

$$\text{取双胶物镜的焦距 } f'_1 = 2f' = 2 \times 25 = 50,$$

$$\varphi'_1 = \frac{1}{50} = 0.02,$$

$$h_1 = \frac{D'}{2} = \frac{4}{2} = 2,$$

$$u'_1 = \frac{h_1}{f'_1} = \frac{2}{50} = 0.04,$$

$$u_{p_1} = \tan(-20^\circ) = -0.364,$$

$$h_{p_1} = -u_{p_1}d_0 = 0.364 \times 15 = 5.46,$$

$$j = n'_1 u'_1 y'_1 = n_1 \frac{h_1}{f'_1} (-u_{p_1} f'_1) = n_1 h_1 (-u_{p_1}) = 1 \times 2 \times 0.364 = 0.728。$$

此双胶透镜是用来配成对称目镜的,所以要求 $S_{II} = 0, S_{III} = 0$, 和要求双胶物镜自身消色差, $S_{Cl} = 0$, 亦即 $IC_1 = 0$ 。从而得:

$$S_{II} = h_1^3 h_p \varphi_1^3 |P_1 - j h_1^2 \varphi_1^2 |W_1 = 0$$

$$S_{III} = h_1^2 h_{p_1}^2 \varphi_1^3 |P_1 - 2j h_1 h_{p_1} \varphi_1^2 |W_1 + j^2 \varphi_1 = 0,$$

代入已知数可得:

$$\begin{cases} 2^3 \times 5.46 \times 0.02^3 |P_1 - 0.728 \times 2^2 \times \\ 0.02^2 |W_1 = 0 \\ 2^2 \times 5.46^2 \times 0.02^3 |P_1 - 2 \times 0.728 \times 2 \\ \times 5.46 \times 0.02^2 |W_1 + 0.728^2 \times 0.02 = 0 \end{cases}$$

$$|P_1 = 11.11, |W_1 = 3.33,$$

$$\text{因为有 } |P_1^\infty = |P_1 = 11.11, |W_1^\infty = |W_1 = 3.33,$$

$$\text{又因为 } |P_{01} = |P_1^\infty - 0.84(|W_1^\infty - 0.14)^2 = 11.11 - 0.84(3.33 - 0.14)^2 = 2.56$$

根据求得的 $|P_{01} = 2.56, IC_1 = 0$ 进行查表选玻璃对, 然后求出双胶透镜的三个半径, 配上厚度这里不一一计算。然后将两个双胶透镜对称配置即成为对称目镜。若焦距值与要求值有差值可以用缩放的办法

达到。

§ 5.1.5.2 艾尔弗目镜设计

艾尔弗目镜是应用很广的一种目镜(如图5-18), 它的视场 $2\omega = 65^\circ \sim 70^\circ$, 相对出射光瞳距离为 $\frac{p'}{f'} = 0.6 \sim 0.8$ 。它由三部分构成: 第 I 部分为平凸或双凸透镜, 其中有一个背向光栏弯曲的负胶合面; 第 II 部分是一块双凸透镜, 目镜的光焦度和对主光线的偏向角主要由这两部分承担, 故它们是这种目镜的基本元件; 第 III 部分是一块弯月镜, 其中也有一个弯向光栏弯曲的负胶合面, 这部分对目镜的光焦度和主光线的偏向角很小, 主要作校正元件。

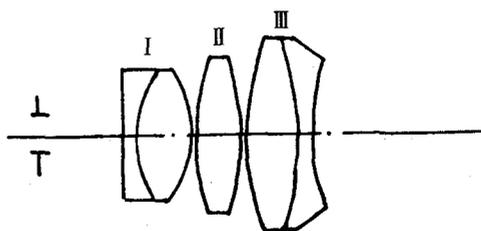


图 5-18

(一) 初始结构参数的确定

对目镜的光学特性提出的要求(按反向光路)是:

$$\text{焦距: } f' = 25$$

$$\text{视场: } 2\omega = 65^\circ \sim 70^\circ$$

$$\text{入射光瞳直径: } D' = 5$$

$$\text{入射光瞳距离: } p' = 16$$

目镜中三块正透镜采用最常用的玻璃 K9, 两块负透镜采用普通火石玻璃 F_2 。到最后校正象差时, 再按照实际需要适当地更换玻璃。

目镜的厚度主要按照减小场曲和得到一定的出射光瞳距离和工作距离来确定。

根据前面的讨论,中间双凸透镜厚度 d_4 应当尽可能地小。根据计算或作图,取 $d_4 = 9$;双凸透镜两边的空气间隔 d_3 和 d_5 尽量小,以使正透镜密接在一起,故取 $d_3 = d_5 = 0.2$;两边负透镜的厚度 d_1 和 d_7 也应当尽可能地小,故取 $d_1 = d_7 = 2$;余下两块正透镜的厚度 d_2 和 d_6 ,其值最小不能使透镜边缘变尖,最大不能影响得到一定的出射光瞳距离和工作距离,先取 $d_2 = 14, d_6 = 15$,综合校正时还可以作适当修改。

艾尔弗目镜的光焦度分配主要由主光线偏向角决定。目镜总偏向角 $\sum \Delta\omega = \omega + \omega'$,设物镜视场半角 $\omega' = 4^\circ$,要求目镜的视场半角 $\omega = 35^\circ$,则 $\sum \Delta\omega = 35^\circ + 4^\circ = 39^\circ$ 。第 III 部分主要用来校正象差,负担的偏向角应当尽可能地小,以便修改结构时,不致使总偏向角和总焦距发生很大的改变,故分配 $\Delta\omega_{III} = 3^\circ \sim 4^\circ$,余下的 35° ,为了减小高级象差,由第 I 和第 II 部分平均负担,即为 $\Delta\omega_I = \Delta\omega_{II} = \frac{35^\circ}{2} = 17.5^\circ$ 。

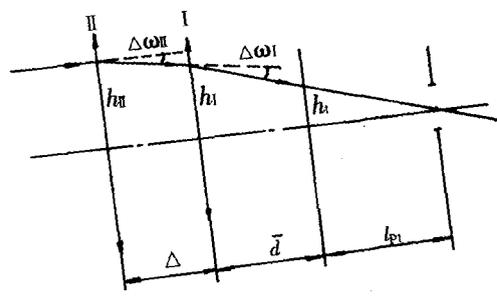


图 5-19

根据对主光线偏向角的分配,第 II 与第 III 部分间主光线正好平行于光轴,因而可以分别进行计算。

1. 确定第 II 部分的结构参数
将双凸透镜当作薄透镜,如图 5-19

所示,设对目镜焦距暂不要求,则主光线入射高 h_{II} 先可随意给定,假设 $h_{II} = 20$,应用理想光学系统的公式,写出:

$$\tan \Delta\omega_{II} = \frac{h_{II}}{f_{II}}, \text{式中 } \Delta\omega_{II} = 17.5^\circ,$$

$$h_{II} = 20,$$

$$\text{得到: } f_{II} = \frac{h_{II}}{\tan \Delta\omega_{II}} = \frac{20}{\tan 17.5^\circ} =$$

63.5,
再应用薄透镜焦距公式,并设 $r_5 = -r_4$,写出:

$$\frac{1}{f_{II}} = (n-1) \left(\frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_4} \right) = \frac{2(n-1)}{r_5},$$

$$r_5 = 2(n-1)f_{II}$$

因为透镜的玻璃材料为 K9, $n = 1.5163$,于是:

$$r_5 = 2(1.5163 - 1) \times 63.5 = 65.5,$$

$$r_4 = -r_5 = -65.5$$

2. 确定第 I 部分的结构参数

第 I 部分先不考虑胶合面,乃是一块厚平凸透镜,它可以看成一块薄平凸透镜加平板玻璃,其偏向角和光焦度仅由薄平凸透镜负担,焦距 f_1 为:

$$f_1 = \frac{h_1}{\tan \Delta\omega_1},$$

式中 h_1 为:
 $h_1 = h_{II} - \Delta \tan \Delta\omega_{II}$

$$\Delta = \frac{d_4}{2} + d_3 = \frac{9}{2} + 0.2 = 4.7, h_{II} = 20$$

$$\text{故有: } h_1 = 20 - 4.7 \tan 17.5^\circ = 18.52$$

$$f_1 = \frac{h_1}{\tan \Delta\omega_1} = \frac{18.52}{\tan 17.5^\circ} = 58.$$

再利用薄透镜焦距公式:

$$\frac{1}{f_1} = (n-1) \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_1} \right),$$

因 $r_1 = \infty, n = 1.5163$,故:

$$r_3 = (n - 1)f_1' = (1.5163 - 1) \times 58.7 \approx 30$$

胶合面的半径 r_2 主要用来消除 I 和 II 两部分的象散,开始时 r_2 可任意取,但取得太小时,高级正象散增加,取得太大时,象散校正不足,故一般取在 r_3 与 r_4 的绝对值之间,如 $r_2 = -50$ 。

加入胶合面以后,负透镜的玻璃材料由 K9 换成 F2。为了保持主光线的偏向角(焦距 f_1') 不变,须修改 r_1 ,即:

$$\frac{1}{f_1'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = (n^* - 1) \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1^*} \right)$$

式中 $n = 1.5163, n^* = 1.6128, r_1 = \infty, r_2 = -50$ 代入得: $r_1^* = -317$ 。

这样, I、II 部分的初步结构参数确定了。下面计算出射光瞳位置,如图 5-19 所示,将玻璃板厚度 $d_1 + d_2 = 16$,换算成

$$\text{相当空气层 } d = \frac{d_1 + d_2}{n}$$

$$d = \frac{16}{1.56} = 10.25 \text{ (这里 } n \text{ 取平均值), 有:}$$

$$h_1 = h_1 - d \tan 35^\circ = 18.52 - 10.25 \tan 35^\circ = 11.34,$$

$$lp_1 = \frac{h_1}{\tan 35^\circ} = \frac{11.34}{\tan 35^\circ} = 16.2,$$

于是得到第 I 和第 II 部分的初始结构参数如下: $D' = 5, \omega_1 = -35^\circ, lp_1 = -16.2, l = \infty$

R	d	n	材料
317	2	1	1
50	14	1.5163	F2
-30	0.2	1	K9
65.5	9	1	1
-65.5	9	1.5163	K9
		1	1

3. 确定第 III 部分的结构参数

首先确定弯月镜的外形尺寸(暂不加胶合面)。玻璃为 K9, $n = 1.5163$ 。剩下两个半径 r_6 和 r_8 , 还有一个厚度 $(d_6 + d_7)$, 如图 5-20 所示。设 r_8 用来使主光线产生 $3^\circ \sim 4^\circ$ 的偏向角, 则 r_6 和 $(d_6 + d_7)$ 可用于消象差。通过光路计算找到: 当 $(d_6 + d_7)$ 分别为 15, 20 和 25 时, 当给定 r_6 和 $(d_6 + d_7)$ 以后, 从图 5-21 的曲线中即可找到保证主光线产生 3° 偏向角的半径 r_8 。

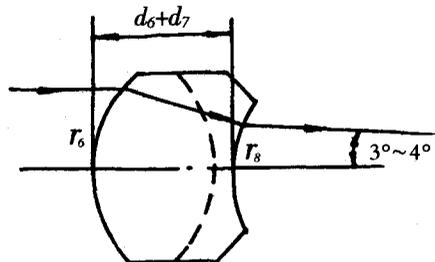


图 5-20

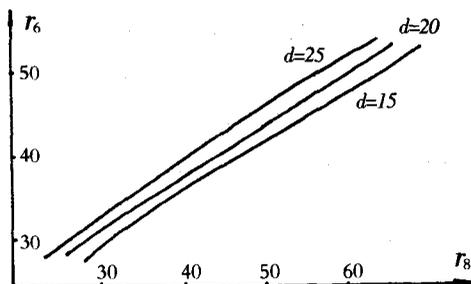


图 5-21

开始时 r_6 可以大致给一个数, 一般给在 r_3 和 r_4 的绝对值之间, 如 $r_6 = 45$, 而 $d_6 + d_7 = 15 + 2 = 17$ 。这样, 从图 5-21 中找到 $r_8 = 52$ 。

暂设胶合面的半径 $r_7 = -r_6 = -45$, 为了消色差, r_7 与 r_8 两个面构成的负透镜换成火石玻璃 F2。为了使主光线的偏向角不变, 可保持薄透镜的光焦度, 因而修改 r_8

写出薄透镜光焦度公式:

$$\varphi = (n-1)\left(\frac{1}{r_7} - \frac{1}{r_8}\right) = (n^* - 1)\left(\frac{1}{r_7} - \frac{1}{r_8^*}\right),$$

式中 $r_7 = -45, r_8 = 52, n = 1.5163, n^* = 1.6128$, 代入上式之后得到 $r_8^* = 79$ 。

这样, 第 III 部分的初始结构完全确定了:

$$\begin{aligned} r_6 &= 45 & n_6 &= 1 \\ d_6 &= 15 & n_7 &= 1.5163(K9) \\ r_7 &= -45 & d_7 &= 2 & n_8 &= 1.6128(F2) \\ r_8 &= 79 & n_9 &= 1 \end{aligned}$$

(二) 象差的综合校正

1. 基本组件 (I、II 部分) 的象差校正
通过光路计算, 得到各种象差如下:

ω_1	lp_1	x_t	x_s	$x_t - x_s$	Δy_P	Δy_{F-C}	$K_{T,1}$	$K_{T,0.7}$
-35°	-16.2	-3.770	-3.950	0.180	-3.930	-0.230	-0.120	-0.056
-24.5°	-16.2	-1.530	-1.830	0.310	-1.230	-0.160	-0.075	-0.037

对于这部分, 主要考虑以下三种象差:

象散: 由前面象差的一般分析可知, r_1, r_3, r_4 和 r_5 都产生负象散, 唯有胶合面 r_2 产生正象散, 故校正象散主要靠修改胶合面, 因为它的象散与主光线在该面上折射角 i_p 的大小有关。可以修改半径 r_2 , 也可以更换玻璃来修改胶合面两边介质的折射率之差 Δn 。实际计算表明, 胶合面对象散非常灵敏。例如, 当 r_2 由 40 改变为 35 时, 象散由 -1.4 变到 4.9。同时改变光阑位置亦可以控制象散。为了得到较大的出射光瞳距离, 应当尽可能地将它的值增大。

彗差: 如前所述, 它主要靠弯曲靠近出射光瞳的双胶透镜组 I 来消除。例如, 当 $r_1 = \infty, r_3 = -26.8$ 改为 $r_1 = 500, r_3 = -30$ (r_2 不

变) 时, 彗差由 $k'_{T,1} = 0.147, k'_{T,0.7} = -0.123$ 变到 $k'_{T,1} = 0.049, k'_{T,0.7} = -0.040$, 减少了三倍左右。

放大率色差: 靠选择合适的玻璃, 剩余色差还可以弯曲第三部分的负透镜加以校正。

经过修改以后的基本元件的结构参数和象差如下:

R	d	n
500		1
	2	1.6128(F2)
40	14	1.5163(K9)
-30		
	0.2	1
65.5		
	9	1.5163(K9)
-65.5		
		1

ω_1	lp_1	x_t	x_s	$x_t - x_s$	Δy_P	Δy_{F-C}	$K_{T,1}$	$K_{T,0.7}$
-35°	-18	-2.080	-3.870	1.790	-3.820	-0.200	-0.061	-0.031
-24.5°	-18	-1.290	-1.850	0.560	-1.220	-0.150	-0.071	-0.035

2. 象差的综合校正

(III) 合在一起的象差:

下面是基本组元 (I、II) 和校正元件

ω_1	lp_1	x_t	x_s	$x_t - x_s$	Δy_P	Δy_{F-C}	$K_{T,1}$	$K_{T,0.7}$
-35°	-18	0.950	-2.240	3.190	-2.650	-0.130	-0.063	-0.032
-24.5°	-18	0.230	-1.030	1.260	-0.890	-0.110	-0.062	-0.030

$$f' = 27.29, l'_f = 11.03,$$

可以看到,象散、放大率色差和彗差都较大,需要进一步校正。

象散主要靠控制 x'_i 的大小,因为 x'_i 的变化小,而 x'_s 的变化大。修改胶合面的半径 r_2 或 r_7 ,很容易控制 x'_i 到所要求值。

由于第 I、II 部分承担主光线的偏向角已经相当大(35°),而把余下的小量偏向角转给第 III 部分来分担,这就使第 III 部分弯月镜不可能弯成匹兹万和为零或具有负匹兹万和的形状,目镜便存在较大的场曲。前面讲过,为了和物镜的负象散匹配,以便减小目镜场曲对轴外成像质量的影响,不得不保留一定数量的正象散,使 $x'_i > 0$ 。由于高级子午场曲很大,视场边缘的 x'_i 变化很陡,故 x'_i 校正到 5 左右是较合理的,使用时只需将目镜的视场稍取小些(例如 $2\omega = 60^\circ \sim 66^\circ$) 即可符合要求。

放大率色差主要靠修改胶合面的半径 r_7 和胶合面后方负透镜的色散来校正。实践表明,放大率色差和象散两者是矛盾的。例如,当把后一块负透镜的玻璃由 F2($n = 1.6128, \nu = 36.9$) 换成 zF3($n = 1.7172, \nu = 29.5$) 时, $\Delta y_{F-C} = 0.04$ (较好),但由于胶合面两边的折射率差 Δn 增大很多,使 $x'_i = 13.8$ (太大)。而当修改 r_7 或 r_2 使 x'_i 减至 5 时(可以),而 Δy_{F-C} 却又增至 -0.1 (较大)。

为了进一步校正放大率色差,有时在会聚透镜 II 中再加入一个胶合面,便成为三双胶目镜(如图 5-22),它的放大率色

差减至 0.05 以下。

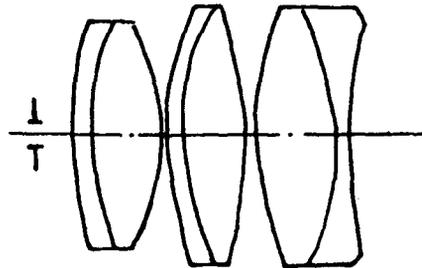


图 5-22

彗差一般较小($K'_{T,1} = \pm 0.04$),若超出要求,可以由弯曲透镜组 I 校正。

工作距离主要与弯月镜的厚度有关,当其厚度不大时,工作距离是足够的,允许目镜调节 -10 视度。

在目镜的焦面上(或附近)加入负场镜,使系统的出射光瞳后移,可以增加相对出射瞳孔距离。下面是一组设计结果。

$D' = 5, \omega_1 = -35^\circ, lp_1 = -16.2, l = \infty$

R	d	n
450		1
	1.8	1.6128 (F2)
35.93		
	12.58	1.5163 (K9)
-26.95		
	0.18	1
58.84		
	8.08	1.5163 (K9)
-58.84		
	0.18	1
35.93		
	13.47	1.5163 (K9)
-28.75		
	1.8	1.6475 (zF1)
53.9		
		1

$\delta L'_1$	$\delta L'_{0.7}$	$\delta L'_{F-C_6}$	Δy_P	Δy_{F-C}	$x'_{i,1}$	$x'_{i,0.7}$	$x'_{s,1}$	$x'_{s,0.7}$	$(x'_i - x'_s)_1$	$(x'_i - x'_s)_{0.7}$
-0.203	-0.099	0.146	-1.800	-0.047	6.9	1.190	7.990	-0.650	7.990	1.840

$f' = 25, l'_f = 9.82, y'_D = 15.7$

ξ 5.1.6 望远镜的象质评价

望远镜的象质评价,已在《第三章光学系统的质量评价》的ξ3.4.1用光学传递函数作为质量评价标准一节中和ξ3.4.2用几何象差作为质量评价标准一节中,均已详细讲述了望远镜的评价标准,这里不作再叙了。

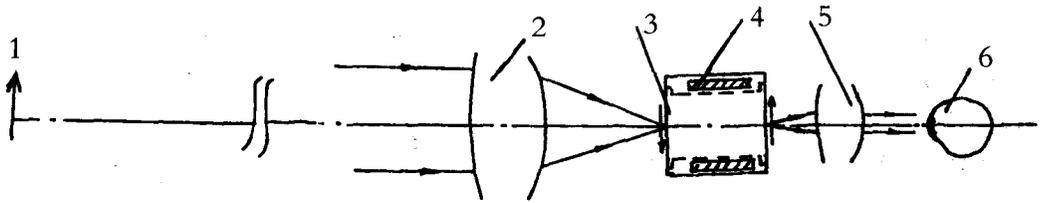
ξ 5.2 微光观察镜设计

微光观察镜是一种利用光增强技术的光电成像系统,利用它可以大大改善人眼在微光下的视觉性能。由于微光观察镜系统可以在极低照度下完全“被动”式工作,因而在军事上已得到迅速发展和广泛应用。本节将讨论系统的组成和基本工作原理、系统对人眼视觉性能的改善及系统的

总体性能。

ξ 5.2.1 系统的组成及工作原理

微光观察镜如图5-23所示,它由微光物镜2,微光象增强器3,高压电源4和目镜5组成。其工作原理是:由夜天空的自然微光照射目标1,经目标反射的光进入微光物镜2,物镜把目标成象在位于其象平面的象增强器3的光阴极面上,象增强器对于目标成象进行光电转换、电子成像和亮度增强,并在荧光屏上显示目标的增强图象。而象增强器要完成图象增强的任务,必须由几千~几万伏的工作电压的高压电源4提供工作电压。然后,人眼6通过目镜5观察放大的了的目标增强图象。



1 - 目标; 2 - 物镜; 3 - 象增强器; 4 - 高压电流; 5 - 目镜; 6 - 人眼

图5-23

微光观察镜与主动红外观察镜相比最主要的优点是不用人工照明,而是靠夜天自然光照明景物,以被动方式工作,自身隐蔽性好。从目前发展看,工艺成熟,造价较低,结构简单。体积小,重量轻,耗电少,象质也较好。但由于工作时只靠夜天光照而受自然照度和大气透明度影响大,并且景物之间反差小,图象平淡而层次不够分明。特别是有浓云和地面烟雾情况下,景物照度和对比度明显下降,会严重影响观察效果。

ξ 5.2.2 微光光学系统

微光观察镜的光学系统是整个系统的重要组成部分,并且对整个系统性能有着极其重要的影响。微光光学系统包括微光物镜和微光目镜两部分。它的设计,原则上与可见光光学系统相同,但由于使用在微光条件下,并与象增强器组合使用,因此对一些光学参数要求在设计上要加以考虑。

(一) 对微光物镜要求

(1) 有大的通光口径,以获得大的象面照度。由应用光学可知,物镜象面中心照

度为:

$$E = \pi L \tau_o \sin u'$$

对远距离目标:

$$E = \frac{\pi}{4} L \tau_o \left(\frac{D}{f_o}\right)^2$$

式中: L —为目标亮度; τ_o —为物镜透射率; f_o —为物镜焦距; D —为物镜有效直径。

(2) 有最小渐晕以使光阴极上产生均匀照度。

(3) 宽光谱范围校正色差, 由于象增强器光阴极的光谱响应波段是 400 ~ 900nm, 因此微光物镜要在该光谱范围消色差。

(4) 低频下有好的调制传递特性, 这是由于微光象增强器是低通滤波器, 物镜要与它相匹配。

(5) 必须最大限度地消除杂散光。光阴极很敏感, 杂散光的进入会严重影响象质。一般要求物镜的杂散光不大于 2.5%。

(二) 微光物镜的类型

微光物镜有两大类, 折射系统和折反系统。两种系统比较各有特点, 折射系统较易校正象差, 并能获得较大的视场, 在 T 数相同的情况下, 口径较小而长度较长。因此折射系统多用于要求视场较大, 相对口径大而口径小的微光观察镜中。折反系统长度短, 重量轻, 大口径性能比折射系统好, 但由于中央暗区而使视场受到限制。折反系统多用于要求焦距长和大口径的夜视系统中。折射系统多用于短焦距和短焦距大视场夜视系统。一般情况, 焦距 100mm 和 100mm 以上采用折反系统, 焦距 75mm 和 75mm 以下采用折射系统。

微光物镜的相对口径都比较大, 折射物镜的相对口径应等于或大于 1:1.4; 折反物镜的相对口径应大于或等于 1:1.1 (由于折反系统中央挡光)。从经验得出微光物镜的相对口径应尽量大, 为了统一起见, 应该用 T 数来衡量, 微光物镜的 T 数应小于 1.7。

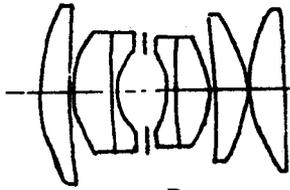
折射系统的微光物镜常用的有两种, 一种是双高斯型, 一种是匹兹伐型。双高斯型或双高斯变型如图 5-24 所示, 匹兹伐型如图 5-25 所示。当然, 根据具体情况, 也可以是其它型式的物镜。折反系统的物镜一般用于长焦距微光物镜, 它可以大大缩短物镜的长度, 从而减轻物镜的重量, 已被广泛地应用, 其具体类型如图 5-26 所示。

(三) 对微光目镜要求

(1) 合适的焦距。目镜焦距通常在 10 ~ 50mm 范围, 目镜放大率 Me 由焦距决定, $Me = 250/f_e'$, 式中 f_e' 为目镜焦距。微光产品的放大率 $\gamma = (f_o'/f_e')\beta$, 式中 f_o' 为物镜焦距, β 为微光象增强器线放大率。当 f_o' 和 β 确定后, 总放大率 γ 取决于 f_e' 。

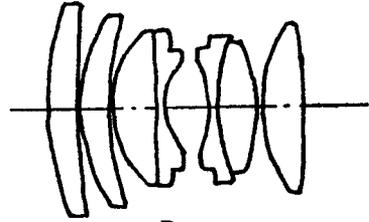
(2) 足够的视场。目镜视场由荧光屏有效工作直径 D_s 和目镜焦距 f_e' 决定, $\tan \omega' = D_s/2f_e'$, 通常 $2\omega'$ 在 $30^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

(3) 合适的出瞳距离和出瞳直径。一般夜视产品出瞳直径取人眼夜间瞳孔直径 7mm, 出瞳距离 (目镜后表面到人眼瞳孔的距离) 用 p' 表示。则 p'/f_e' 表示目镜出瞳距离特性。该值只与目镜型式有关, 一般为 $1/3 \sim 3/4$, 也可以达到或超过 1。



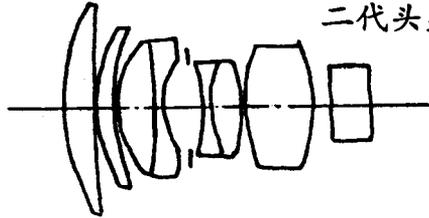
$$f' = 19.5 \quad \frac{D}{f'} = 1:1 \quad 2\omega = 45^\circ$$

一代头盔微光物镜



$$f' = 25.9 \quad \frac{D}{f'} = 1:1 \quad 2\omega = 38^\circ$$

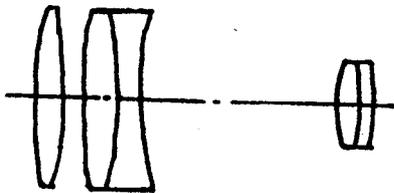
二代头盔微光物镜



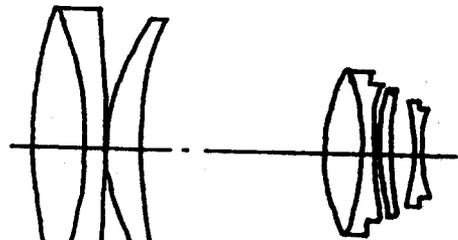
$$f' = 25.2 \quad \frac{D}{f'} = 1:1.2 \quad 2\omega = 40^\circ$$

三代头盔微光物镜

图 5 - 24

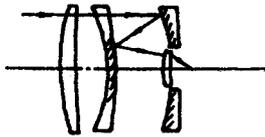


匹兹伐物镜的基本结构



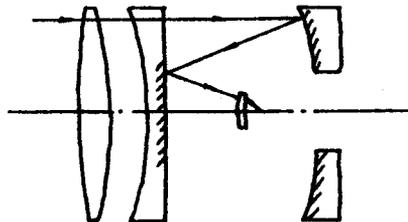
一种改进的匹兹伐物镜

图 5 - 25



$$f' = 100 \quad \frac{D}{f'} = 1:1.15 \quad y' = 9$$

手持微光观察镜物镜



$$f' = 200 \quad \frac{D}{f'} = 1:1 \quad 2\omega = 7^\circ \quad (y' = 12.5)$$

远距离微光观察镜物镜

图 5 - 26

(4) 适当的工作距离(目镜前表面至前焦点间的距离)。以保证工作时视度调整。

此外,因为目镜视场大,轴外象差是影响象质的重要因素;又由于口径大,球差和彗差也要校正。校正象差的波长有荧光屏的光谱特性和人眼在低光度下的光谱光视效率决定。

(四) 微光目镜的类型

微光目镜的作用是放大象增强器荧光屏上目标象。微光目镜要有与荧光屏的光谱范围相匹配的色差校正。由于微光目镜的大口径和大视场,一般其结构系统较为复杂,如图5-27所示,这是常用的几种目镜型式。

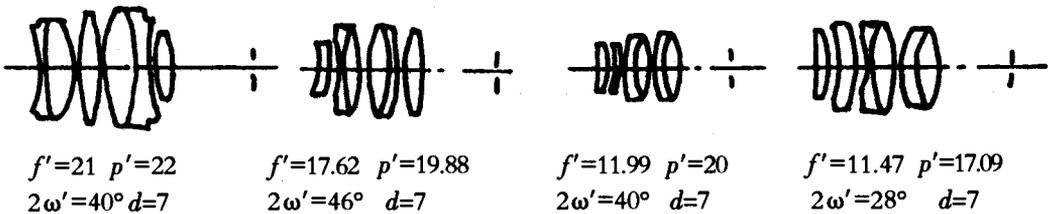
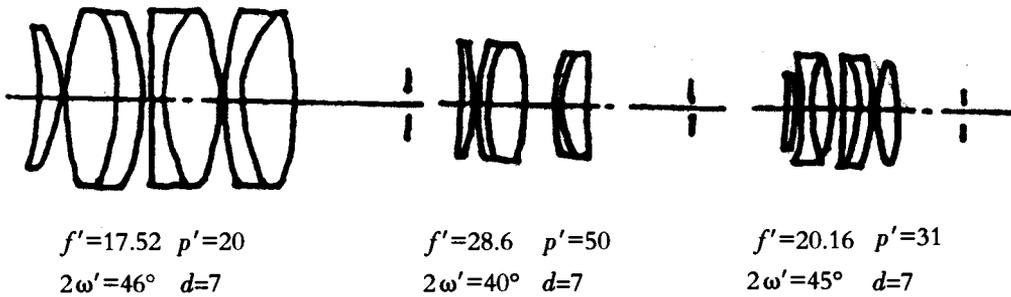
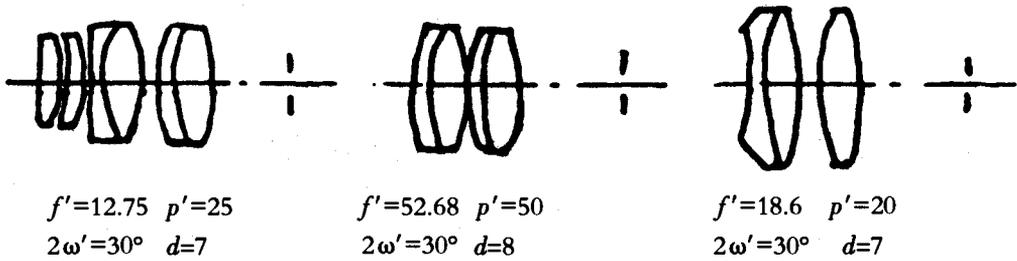


图5-27 微光目镜

(未完待续)