

消除卡塞格林系统杂光的措施

史光辉

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 对卡塞格林系统的杂光进行了分析, 并提出了消杂光的措施。

关键词: 杂光; 卡塞格林系统

1 引言

杂光是指入射到光学系统内或在系统内产生的非成像光束。消杂光的目的是减弱或减少进入像面视场的杂光。杂光的危害是降低像的对比。卡塞格林系统主要有三种杂光: 1、不经主镜, 次镜由物空间直接射到或经过校正镜和场镜后射到像面的杂光。这是卡塞格林系统特有的。2、主要是视场内的成像光束, 不按成像光路, 经镜面来回反射到像面的杂光。3、主要是进入系统的, 视场外的光线经筒壁漫反射而射到像面的杂光。其中第二种杂光要靠镀增透膜和提高镜面光洁度来消除。本文讨论的是消除其它两种杂光的措施。

2 消除不经主镜和次镜射入系统的杂光

这是在设计卡塞格林系统一开始就要考虑的问题, 因为它影响到系统的中心遮拦比和轴外光束的遮拦, 因而影响成像质量指标, 也涉及到总体结构安排。消除不经主镜和次镜射入系统的杂光有三种措施。

1) 加内遮光筒和在次镜上加遮光罩。见图1, 确定内遮光筒前口径大小的 B 点为经主镜和次镜反射后的轴上孔径边缘光线 SB 和由中心遮拦口径决定的, 经主镜反射后的内孔径光线 P_1B 的交点。将 B 点和像边缘点 I 连线, 其延长线和经主镜反射后轴上孔径边缘光线 P_1S 交于 A , 则 AS 即为加在次镜上遮光罩的长度, 其与光轴夹角即边缘光线经主镜反射与光轴交角。这样做比垂直光轴方向加遮光罩可以减小遮拦比。内遮光筒前口径大小和位置在高斯光学设计

时就应求出来。见图 1, 遮光筒的后口径, 即遮光筒搭在主镜面上的口径应等于或小于由经过遮光筒前口径边缘的 B 点(和 B 点对称于光轴)的边缘视场的孔径内的光线与主镜面的交点 P_3 所确定的口径。这可以通过光线追迹逐次接近求出。

这一措施在一般教科书上有过介绍。^[1]

2) 除加内遮光筒和次镜遮光罩外, 再加外遮光罩。前一种措施随着视场增大, 遮拦比也随之增加, 见图 1。若视场增加, 为防止直射杂光(虚线)进入视场, 就需继续增加遮拦比, 为保证像质, 有时这是不允许的。这需另外采取措施。为此, 可让加在系统前边的, 用来防止来自视场外杂光的外遮光罩也参与防止直射杂光。具体作法是, 连接 AB 并延长, 求出该延长线与视场角为 U_p 的边缘视场的孔径边缘光线 DC 的交点 C (见图 2), 由此可求出外遮光筒的长度和口径, 外遮光筒越长, 遮拦比增加的越少。如果外遮光筒长度不加限制, 可做到不增加遮拦比。

3) 只用外遮光筒或用外遮光筒加次镜遮光罩。以上两种措施都需加内遮光筒, 其后果是离开视场中心的轴外视场像点就开始拦光。视场越大, 拦光越多, 致使边缘视场的传函, 特别是子午传函很低^[2]。同时边缘视场的通光也很少。有时这也是不允许的, 因此必需去掉内遮光筒。不加内遮光筒防止直射杂光的措施见图 3。连接像的边缘点 I 和次镜遮光罩边缘点 B , 其延长线和入射到系统的边缘视场孔径的边缘光线 CD 交于 C 点。由 C 点就可确定外遮光罩的长度和口径, B 点也可以是次镜的边缘点, 即可以不加次镜遮光罩, 这样虽然可以减小遮拦比, 但加长了外遮光罩。这种措施需加的外遮光罩很长, 很长。如一个 3 米焦距, $F/5, 3$ 视场的系统外遮光罩长达二十几米。但在特殊应用情况下, 是不得不采取的措施。

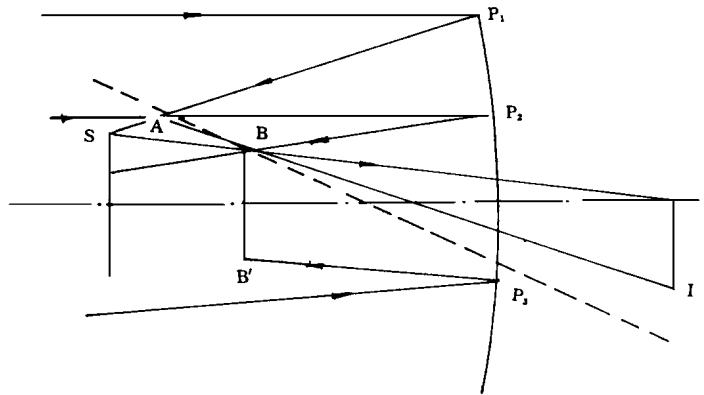


Fig 1 To prevent stray light from object space up to field of view image plane using internal shade and shade on the second mirror

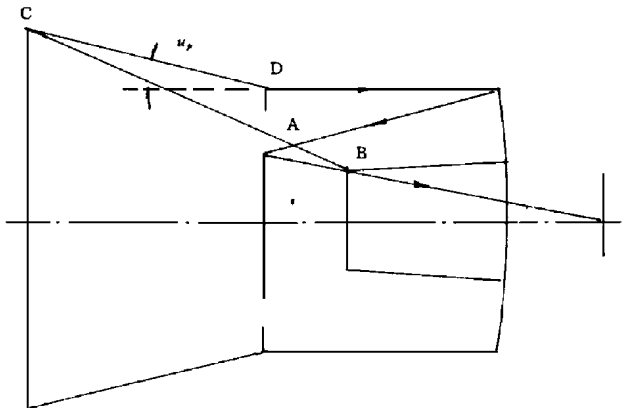


Fig 2 To prevent stray light from object space up to field of view in image plane using internal and outside shade and shade on the second mirror

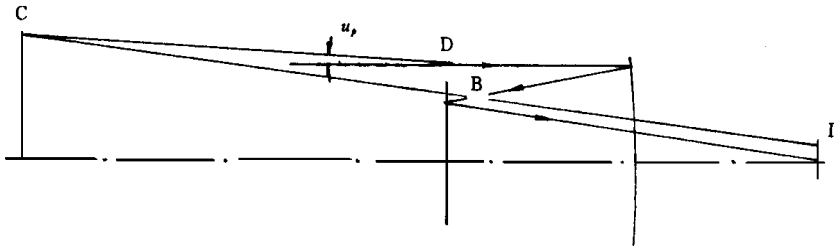


Fig 3 To prevent stray light from object space up to field of view in image plane using outside shade and shade on the second mirror

3 防止筒壁漫反射杂光措施

对于长焦距物镜, 因为视场很小, 进入系统内的, 不需要的视场外光线要比视场内的光线多得多。一个不加外遮光罩的长焦距物镜, 180° 内的光线都有可能直接进入系统, 而需要的视场内的光线也只有几度。因此, 如果不采取防杂光的措施, 由于这些多余的光线, 主要是经镜筒壁的漫反射后, 如果射到像面视场范围内, 对像质的影响是很大的。为防止这类杂光, 首先应加外遮光罩, 这样会使来自视场外的一部分光线不能直接进入系统, 而是在进入系统前经过遮光罩内壁的多次反射使之衰减。遮光罩越长, 直接进入系统的视场外光线越少。当然在镜筒壁和透镜边缘涂消光漆是必需采取的措施。此外还应在镜筒内壁和内遮光筒的内壁加挡光环。为充分发挥挡光环的作用, 应当通过设计和计算求出它们的间隔。

1) 前镜筒挡光环设计。前镜筒是指主镜至次镜中间的镜筒。设计原则是使射到筒壁的光线在筒壁上产生的一次漫反射光均落在主镜面的外边。见图 4, L_B 为前镜筒长, L_s 为外遮光罩长, h_1 为遮光罩前口径的半径, h_2 为镜筒内径半径, h_3 为由成像光束构成的通光管 (即主镜通光口径和镜筒前端通光口径边缘的连线) 半径。镜筒内径半径为给定值, h_2 越大, 需加的挡光环越少。这里取光管壁和筒壁均和光轴平行。设计步骤是先在光管壁端点 B 设第一道挡光环 BB 。然后求出经过 B 点的来自遮光筒端点 A 的光线 AB 和镜筒壁的交点 C , 由 C 点产生的一次漫反射光 CT (T 为主镜通光孔径的边缘点) 与光管壁交点为 D , 由 D 点设置第二道挡光环 DD , 接下来求出由 A 点发出的第二条光线 AD 与筒壁交点 E , 由 E 点产生的一次漫反射光 ET 和光管壁交于 F , 由 F 点设置第三道挡光环。这样依次继续下去, 直至由 A 点射入光线离开筒壁为止。令 $BC = DL_1, CD = DS_1, DE = DL_2, EF = DS_2, \dots$ 。由图 4 可得出挡光环的间隔 d_n 。

$$\tan \alpha_n = \frac{h_1 + h_3}{L_s + \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})} \quad (DL_0 = 0, DS_0 = 0)$$

$$DL_n = \frac{h_2 - h_3}{\tan \alpha_n}$$

$$\tan \beta_n = \frac{h_2 + h_3}{L_b - \sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})}$$

$$DS_n = \frac{h_2 - h_3}{\tan \beta_n}$$

$$d_n = DL_n + DS_n$$

表 1 为用这组公式编制的程序计算出的一个例子。表上边为给定参数, 下面为计算结果。计算结果表明, 在长 650 毫米镜筒内需加 14 个挡光环, 挡光环的间隔很相近, 用相同的间隔不会有太影响。

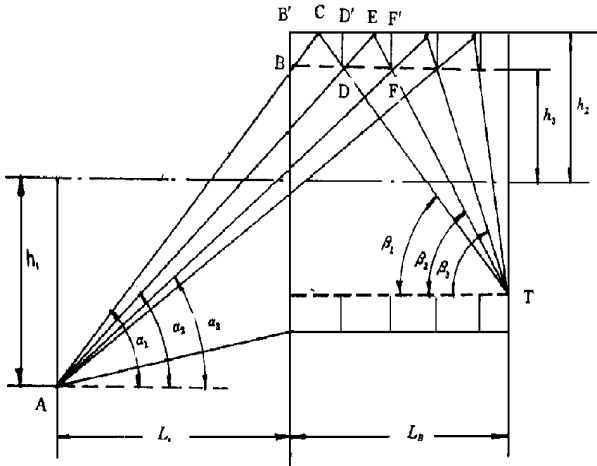


Fig 4 Construction schema for the layout of baffle in the front lens barrel

Table 1 Calculation result for the lanyout of baffle in the frant barrel

H1: 292	H2: 259
H3: 245.5	LB: 650
LS: 1351	
no	d
1	49.60844
2	50.30272
3	50.18627
4	50.07009
5	49.95418
6	49.83853
7	49.72316
8	49.60805
9	49.49321
10	49.37863
11	49.26432
12	49.15027
13	49.03649
14	48.92298

此外, 还有一部分视场外光线直射到主镜镜面上。若完全避免这些光线需加很长的外遮光筒, 实际上很难实现, 为阻止这种杂光要在内遮光筒和后镜筒加挡光环。

2) 内遮光筒挡光环设计。原则是使由次镜反射到内遮光筒的杂光经筒壁产生的一次漫反射光不得进入主镜的中心孔内。由图 5, L_1 为主镜和次镜距离, L_2 为内遮光筒长, h_1 为次镜的通光口径半径, h_2 为内遮光筒前口径半径, h_3 为遮光筒后口径半径, h_4 为主镜中心孔半径。遮光筒前口径边线和主镜中心孔边线连线构成通光光管。光管壁和筒壁在遮光筒前口径处相交。设计步骤是,

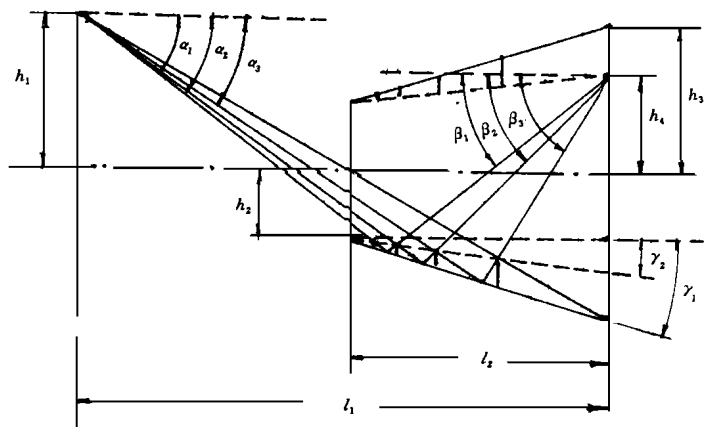


Fig 5 Construction shcema for the layout of baffle in the internal shade

先求出射到遮光筒后径端点 B 的来自次镜通光口径边缘点 A 的光线 AB 与光管壁的交点 C , 由 C 点设置第一道挡光环 CC 。然后求出射到主镜中心孔边缘点 T 的漫反射光线 CT 与筒壁交点 D , 再求出射到筒壁的光线 AD 与光管的交点 E , 由 E 点设置第二道挡光环 EE 。这样继续下去, 一直到来自 A 点的光线经筒壁产生的一次漫反射光离开筒壁为止, 设 $BC, CD, DE \dots$ 依次为 $DL_1, DS_1, DL_2, DS_2 \dots$ 。由图 5 可得出计算内遮光筒挡光环间隔 dd , 和高度 dH 的公式组:

$$\begin{aligned} \tan \mathcal{Y}_1 &= \frac{h_3 - h_2}{L_2} \\ \tan \mathcal{Y}_2 &= \frac{h_4 - h_2}{L_2} \\ \tan \alpha_n &= \frac{h_1 + h_3 - \tan \mathcal{Y}_1 \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})}{L_1 - \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})} \quad (DL_0 = 0, DS_0 = 0) \\ DL_n &= \frac{(L_2 - \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})) (\tan \mathcal{Y}_1 - \tan \mathcal{Y}_2)}{\tan \alpha_n - \tan \mathcal{Y}_2} \\ \tan \beta_n &= \frac{h_2 + h_4 + (L_2 - \sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})) \cdot \tan \mathcal{Y}_2}{\sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})} \\ DS_n &= \frac{h_2 + h_4 + (L_1 - \sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})) \cdot \tan \mathcal{Y}_1 - \tan \beta_n \cdot \sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})}{\tan \beta_n + \tan \mathcal{Y}_1} \end{aligned}$$

$$dd_n = DL_n + DS_n$$

$$dH_n = DL_n (\tan \alpha_n - \tan \mathcal{Y}_1)$$

Table 2 Calculation result for the layout of baffle in the internal shade

	h1: 97.7 l1: 650	h2: 65.07 l2: 345	h3: 84	h4: 67.7
no			dd	dh
1			65.78555	13.46781
2			62.92822	10.64549
3			46.05420	8.505828
4			34.96749	6.837387
5			27.12443	5.516150
6			21.32582	4.460318
7			16.91698	3.611857
8			13.50207	2.927619
9			10.82332	2.374548
10			8.703283	1.926819

表 2 为利用这组公式编制的程序计算的一个例子。其特点是, 由遮光筒的后口径端至前口径端, 挡光环越来越密, 数目很多, 表中只给出 10 个。

3) 后镜筒挡光环计算。后镜筒是指主镜的中心至像面之间的镜筒。这一设计和计算方法也适用于一般的光学系统。该方法在文献[3]中有介绍。见图 6, L 为

镜筒长, h_1 为主镜中心孔半径, h_2 为镜筒口径半径, h_3 为像高。设计原则是自主镜中心孔边缘点 A 出射的杂光经筒壁产生的一次漫反射光不得落到像面的成像范围内。先求出射到像边缘点 T 的, 由镜筒壁端点 Q 产生的漫反射光 TQ 与光管壁交点 E , 由 E 点设置第一道挡光环 EE' , 然后求出经过 E 点的光线 AE 与筒壁交点 D , 由 D 点产生的漫反射光 DT 与光管壁交于 C 点, 由 C 点设置第二道挡光环 CC' , 依此类推, 直至由 A 点发出的杂光射出筒壁外为止。由图 6 得出计算公式组为:

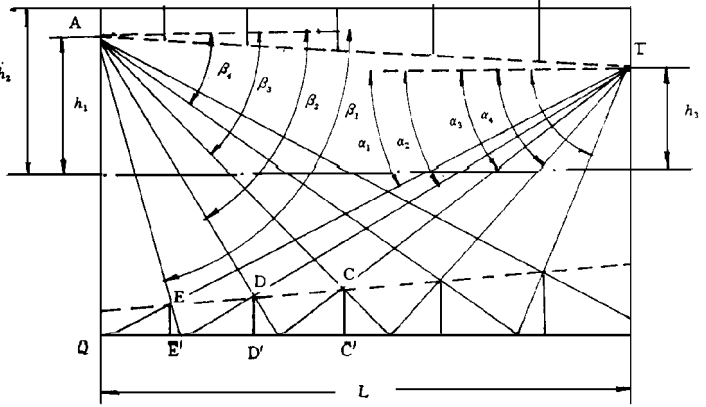


Fig 6 Construction schema for the layout of baffle in the rear lens barrel

$$\tan \gamma = \frac{h_1 - h_3}{L}$$

$$\tan \alpha_n = \frac{h_2 + h_3}{L - \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})} \quad (DL_0 = 0, DS_0 = 0)$$

$$DL_n = \frac{h_2 - h_3 + (L - \sum_{i=1}^n (DL_{i-1} + DS_{i-1})) \tan \gamma}{\tan \alpha_n - \tan \gamma}$$

$$\tan \beta_n = \frac{h_1 + h_3 + (L - \sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})) \cdot \tan \gamma}{\sum_{i=1}^n (DL_i + DS_{i-1})}$$

$$DS_n = \frac{DL_n \cdot \tan \alpha_n}{\tan \beta_n}$$

$$dd_n = DL_n + DS_{n-1}$$

$$dH_n = DL_n \cdot \tan \alpha_n$$

Table 3 Calculation result for the layout of baffle in the rear lens barrel

H1: 71	H2: 200	H3: 80.5
L: 282.8		
no	dd	dh
1	125.7972	124.7741
2	146.6277	119.8485

表 3 为由这组公式编制的程序计算的一个例子。计算结果只用了两个挡光环。这是由于镜筒的口径比光管直径大得多的缘故。

参 考 文 献

- [1]袁旭昌 光学设计. 北京: 科学出版社, 1983: 638
- [2]史光辉 含三个非球面的卡塞格林系统 光学学报, 17(11) (待发表)
- [3]Smith Warren Modern Optical Engineering. New York:McGRAW - HILL Book COMPANY, 1996: 128 ~ 131

Methods Preventing Stray Light Emergenced in Cassegrain Systems

Shi Guanghui

*(Changchun Instetude of Optical and FineM echanics,
Chinise A cademy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

Stray lgiht emergened in Cassegrain system s is analysed and several methods prevent-
ing stray light are presented

Keywords: Stray light, Cassegrain system s

史光辉 男, 1935 年生, 1961 年毕业于哈尔滨工业大学光学仪器专业。一直在长春光机所从事光学设计工作, 职务研究员。