

中国科学院佘山观象台

天文年刊

第二十五卷

科学出版社

中国科学院南京天文仪器厂

天文年刊

第二十二卷

中国科学院南京天文仪器厂

中国科学院佘山观象台

天文年刊

第二十五卷

科学出版社

1962年

天 文 年 刊

第二十五卷

中国科学院佘山气象台编

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1962 年 6 月第一版 书号: 2543 字数: 283,000

1962 年 6 月第一次印刷 开本: 787×1092 1/16

(京) 0001—1,700

印张: 12 1/2

定价: 1.90 元

佘山觀象台天文年刊第25卷

目 次

佘山觀象台 400 毫米双筒折射望遠鏡光学性能的研究	閻林山 (1)
伏洛拉羣 42 顆小行星的普遍攝動的計算和軌道的改进	
..... 刘振銳, 何妙福, 童光裕, 胡坤林, 潘大鋈, 徐宗海 (14)	
伏洛拉羣 47 顆小行星 1959—1980 年的冲日普遍攝動和光行差的数值	
..... 刘振銳, 胡坤林, 童光裕 (167)	
小行星位置的照相觀測	理論天文組 (194)

ANNALES DE L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DE ZÔ-SÈ TOME XXV TABLE DES MATIÈRES

Studies on the Optical Properties of the Refracting Double Astrograph of 400 mm Aperture of the Zô-Sè Observatory	Yan Lin-shan (13)
Computations on the General Perturbations and Improvements on the Orbits of 42 Minor Planets of the Flora Group	Liu Chen-ré, Ho Miao-fu, Tung Gwang-yü, Fu Kwen-lin, Pan Da-ji, Hsiü Tsung-hai (16)
General Perturbations and Aberrations of 47 Minor Planets of the Flora Group for the Oppositions of 1959—1980	
..... Liu Chen-ré, Fu Kwen-lin, Tung Gwang-yü (169)	
Photographic Observations of the Positions of Minor Planets	
..... Section of Theoretical Astronomy of Zô-Sè Observatory (194)	

佘山觀象台400毫米双筒折射望遠鏡光学性能的研究

閻 林 山

摘要 研究物鏡的光学性能是为了更好地改进工作,以提高观测和测量的精度。对于照相物鏡,我們使用哈特曼(Hartmann)方法来确定球面象差和部分象散、选择赤道带的畸变星对来确定畸变系数、利用粗光柵配合不同顏色的滤光片来研究物鏡第二級光谱的色差曲线。对于目視物鏡,我們制造了阴影仪来研究目視物鏡的球面象差、象散和色差。

我們得到的結果:軸向球面象差 $\Delta f = 0.93$ 毫米 $= 1.36 \times 10^{-4}$;技术恒量 $T = 0.14$;部分象散 $\Delta f = 0.99$ 毫米 $= 1.44 \times 10^{-4}$;畸变系数 $\nu = +0''.27/\text{度}^3$;色差曲线与普尔科沃 33 厘米望遠鏡极相近似。目視物鏡仅得到初步結果,球面象差 $\Delta f = 3.69$ 毫米 $= 5.38 \times 10^{-4}$;象散差 $a < 3.48$ 毫米。

一、引 言

佘山觀象台大赤道仪物鏡是在十九世紀末叶磨制成功的,它和普尔科沃 33 厘米标准望遠鏡物鏡都是法国天文学家亨利兄弟磨制的。

佘山双筒望遠鏡口径都是 40 厘米,照相物鏡焦距为 6.9 米,目視物鏡焦距为 7.0 米;它是我国最早裝置的折射望遠鏡,过去利用它作过許多工作,如确定恆星自行、太阳視差以及双星的目視观测等等,著名的佘山赤道星表就是利用这架望遠鏡而編制的。現在利用它参加苏联編制微星星表的部分工作,以及自行底片的积累和星团自行的研究等。

为了更好的开展工作就必须了解我們所使用的仪器的性能。我們知道,任何一个折射望遠鏡不可能绝对理想,物鏡造象存在各种象差,其中最有害的有畸变、彗形象差、象散、球面象差、軸向色差以及橫向色差等。畸变破坏了物和象的几何相似性,也就改变了恆星的相对位置。这是测量学,尤其是精密的照相天体测量学应该考慮到的問題。我們决定了佘山望遠鏡的畸变系数 ν ,它的符号为正,这说明象場內单向放大率随着离开光軸的距离而增加。球面象差和軸向色差严重时,物鏡找不到正确的調焦位置,底片上星象的邊緣和背景沒有截然分明的界限。象的周围有微薄的光暈,这对底片直角坐标的測定是不利的。我們总是希望底片上星象成为尽可能小的点象,否則测量时瞄准的精确度就会受到影响。当我們了解了物鏡的第二級光谱曲线时,就可以选择适当的底片来限制星象周围的光暈,使其造出較清晰的星象来。象場周围傾斜光束的造象存在有彗形差和象散,对于象場中央部分,甚至在光軸上仍会有象散,我們称它为部分象散。这些都会严重地減低测量的精度。从理論上知道,彗形象差是由一系列非同心的圓面組成,这些圓的半径和物点到軸距离的一次方及孔径的二次方成比例。如果鏡面上不同带区的孔径按算术級数增加,圓半径按孔径的平方增加,而且相邻兩圓的圓心距离也按算术級数增加,这些圓的包綫是两条直綫,这两条直綫和象的对称軸成 30° ,能量集中在前端,而且离开頂点迅速減小。于是彗形象差造成的弥散圓成为亮点,且带有一个逐漸扩大的尾巴,其长寬之比約为

3:2。彗尾背向光轴的称为外向彗形差,彗尾对向光轴的称为内向彗形差。在我们的底片中看不出有彗形差的迹象,不过在底片边缘由于象散和场曲所造成的椭圆斑点还是相当的显著。椭圆长短轴之比约为 3:2,长轴都指向底片中心。横向色差是物镜对不同颜色的光线具有不同的横向放大率,于是在底片上就出现一段短光谱。在对于不同光谱型的恒星,由于底片对不同波长的灵敏度不同,这就会造成不同颜色恒星位置上的差异,它的影响不大,在象场半径为 1° 的圆周上,在 $G'(\lambda = 434 \text{ 毫微米})$ 和 $H(\lambda = 397 \text{ 毫微米})$ 谱线间,一般只差到 0.4 微米。

所有这些象差都会减低测量精度,在精密的照相定位中会造成一系列系统误差。了解余山大赤道仪物镜的光学性能,对于我们的工作会更加有益。

对于照相物镜,我们应用哈特曼方法来确定球面象差和部分象散,选择赤道带的星对决定畸变系数、利用粗光栅配合不同颜色的滤光片决定有效波长来研究第二级光谱的色差曲线。

对于目视物镜,我们制作了阴影仪来决定球面象差、象散和轴向色差。

二、照相物镜的光学性能

(一) 球面象差和象散

1. 物镜上不同半径的各个带区焦距不等,这些焦距之差构成球面象差。球面象差使得高斯平面的星象不是一个完善的点,而是有一定大小的圆面。对于不同带区,这个弥散圆的大小不同,其半径称为横向球面象差。不同带区弥散圆直径的加权平均值可以写成

$$\rho = \frac{\sum y_i \cdot \rho_i}{\sum y_i}, \quad (1)$$

其中 ρ_i 是第 i 带弥散圆的直径; y_i 是镜面上第 i 带的圆半径。如果近轴的光束聚焦于 A , 第 i 带聚焦于 B (见图 1), 这时在相似三角形 $\triangle MBN$ 和 $\triangle M'BN'$ 中, 不难得到

$$\rho_i = 2y_i \frac{\Delta F_i}{F_i}, \quad (2)$$

其中 $\Delta F_i = \overline{AB}$ 即第 i 带的轴向球面象差, $\overline{MN} = 2y_i$ 为主平面上的两点间距离, $\overline{M'N'} = \rho_i$, $\overline{OB} = F_i$ 为第 i 带的焦距。

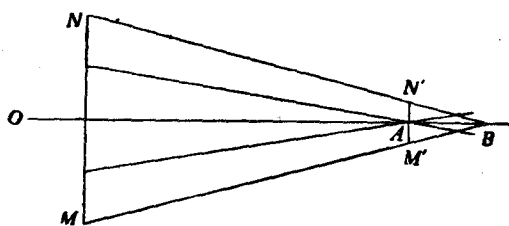


图 1

将(2)代入(1)中得到

$$\rho = \frac{2 \cdot \sum y_i^2 \cdot \Delta F_i / F_i}{\sum y_i}.$$

如将各带区的 F_i 用其平均值 F 代替, 便可以写成

$$\rho = \frac{2 \cdot \sum y_i^2 \cdot \Delta F_i}{F \cdot \sum y_i}. \quad (3)$$

国际公认以技术恒量 T 表示球面象差的大小, T 就是弥散圆直径与焦距之比再放大 10 万倍:

$$T = 100,000 \frac{\rho}{F} = \frac{200,000}{F^2} \frac{\sum y_i^2 \cdot \Delta F_i}{\sum y_i}. \quad (4)$$

由公式(4)就可以算出 T 来。一般说来, $T < 0.5$ 优异; $0.5 < T < 1.5$ 完善; $1.5 < T < 2.5$

滿意。

2. 象散

鏡面上不同位置角的象散光束,不聚焦于一点而聚焦成一直綫,称为焦綫。对于互相垂直的象散光束,其焦綫彼此垂直,而且都垂直于光軸。两焦綫間的距离称为象散差。象場中央部分得到的象散称为部分象散,由傾斜光束造成的象散,称为傾斜光束象散。在整个視場中,由于象散和場曲所造成的橢圓斑都是相似的,而且象点上的能量分布也是均匀的。通过傾斜光束象散的研究有可能了解象場的弯曲,可惜由于条件的限制我們沒有作此項工作,只是作了部分象散的研究工作。

根据象差函数的展开理論,由于象散,我們可以将第 y 带的两个互相垂直位置的焦距讀数写成

$$A_{y,\varphi} = A_{y,\varphi_0} + a \sin^2(\varphi - \varphi_0),$$

$$A_{y,\varphi+90^\circ} = A_{y,\varphi_0} + a \cos^2(\varphi - \varphi_0).$$

a 为象散差, φ_0 为象散軸的位置角。取和的平均值

$$\frac{1}{2}(A_{y,\varphi} + A_{y,\varphi+90^\circ}) = A_{y,\varphi_0} + \frac{a}{2} = A_y,$$

其中 A_y 便是 y 带焦距讀数的平均值。

$$\Delta A_{y,\varphi} = A_{y,\varphi} - A_y = -\frac{a}{2} \cos 2(\varphi - \varphi_0),$$

即

$$\frac{a}{2} \cos 2(\varphi - \varphi_0) + \Delta A_{y,\varphi} = 0,$$

可写作

$$x \cos 2\varphi + y \sin 2\varphi + \Delta A_{y,\varphi} = 0,$$

其中

$$x = \frac{a}{2} \cos 2\varphi_0, \quad y = \frac{a}{2} \sin 2\varphi_0.$$

$\Delta A_{y,\varphi}$ 和 φ 均为已知,可用最小二乘法解出 a 和 φ_0 ,它們都是 y 的函数,对于不同带区有不同的数值。

3. 使用的方法

在研究照相物鏡的球面象差和象散时,我們采用了一般使用的哈特曼方法。用坚硬的鉛板作哈特曼屏,它的大小和口径一样,也是 40 厘米,在屏上不同带区打一系列的洞(見表一),洞的大小为口径的 1/20,每个洞的直径为 2 厘米。

表 一

φ	屏 一	φ	屏 二
4 厘米	0°, 90°, 180°, 270°.	5.5 厘米	0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°.
6	45°, 135°, 225°, 315°.	8.5	22°.5, 67°.5, 112°.5, 157°.5, 202°.5, 247°.5, 292°.5, 337°.5.
8	0°, 90°, 180°, 270°.	11	0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°.
10	67°.5, 157°.5, 247°.5, 337°.5.	14.5	22°.5, 67°.5, 112°.5, 157°.5, 202°.5, 247°.5, 292°.5, 337°.5.
12	0°, 22°.5, 90°, 112°.5, 180°, 202°.5, 270°, 292°.5.	17	0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°.
14	45°, 135°, 225°, 315°.		
15.5	22°.5, 67°.5, 112°.5, 157°.5, 202°.5, 247°.5, 292°.5, 337°.5.		
17.5	0°, 90°, 180°, 270°.		

在焦点前后选择两个焦外位置,其間距离約为焦距的1/40,即为14厘米余。焦前、焦后底片到焦点距离之比約为4:3,将哈特曼屏安装在物鏡的前面,对亮星进行拍照,于是在底片上出現哈特曼屏花样(图2)。

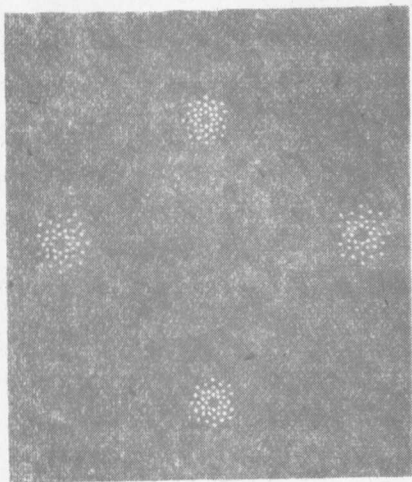


图 2

对于屏上的两点,我們从两个焦外位置得到相似三角形 $\triangle M_1FN_1$ 及 $\triangle M_2FN_2$, 就有

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{l_1}{l_2},$$

$$l_1 = \overline{M_1N_1}, \quad l_2 = \overline{M_2N_2}.$$

于是

$$\frac{d_1}{d_1 + d_2} = \frac{l_1}{l_1 + l_2},$$

而 $d_1 + d_2 = d$ 为两底片間的距离,所以

$$d_1 = \frac{l_1 d}{l_1 + l_2}. \quad (5)$$

l_1, l_2 由坐标量度仪測量得到, d 为已知,于是焦点 F 的位置便确定了。对于不同带区, F 点位置有

所改变,这就反映了軸向球面象差,进而可計算出技术恆量 T 。

比較同一带区互相垂直两位置焦綫間的距离,可以确定 a, φ_0 。为此我們使用屏二,每个带区有八个洞,用最小二乘法解四个具有两个未知数的方程。

为了消除底片对光軸的傾斜,在焦前焦后都拍两个象,对称于底片的光学

中心。避免在拍照过程中哈特曼屏的移动,务須将它压牢在物端。因防止屏的变形,采用坚硬的鋁板造屏,并且将鋁板涂黑,避免副象的产生。要安装使屏的几何中心在物鏡光軸上,这样,屏上的洞才对称地分布在光軸的周围,不过屏上洞的位置也要尽可能打得准确。

d, l_1 和 l_2 的測量存在着誤差。两底片間的距离可能存在1毫米的誤差,由坐标仪量得的 l_1 和 l_2 誤差最多不过5微米,由公式(5)計算 d_1 时有誤差

$$\Delta d_1 = \frac{\partial d_1}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial d_1}{\partial l_1} \Delta l_1 + \frac{\partial d_1}{\partial l_2} \Delta l_2.$$

这种誤差对于我們所要求的球面象差和象散沒有影响,同时与各带区的 d_1 与近軸光束的 d_1 比較,或与两互相垂直位置的 d_1 比較,几乎使 Δd_1 完全消掉。

为了避免色差的影响,在底片前加上蓝色滤光片 Wratten 48,光綫通过平行板玻璃进行的方向沒有改变,但平移了一段 AA' 的距离,于是焦距改变了 Δf (见图4)。

$$AA' = h \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{\operatorname{tg} r}{\operatorname{tg} i} \right) = h \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{\sin r}{\sin i} \frac{\cos i}{\cos r} \right),$$

其中 h 为滤光片厚度, i 为入射角, r 为折射角。由于 $\sin i = n \cdot \sin r$, 故

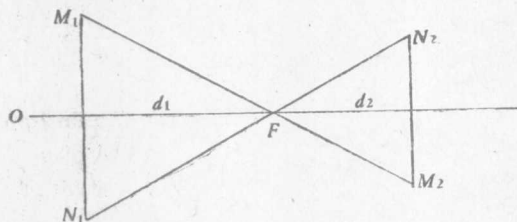


图 3

$$AA' = h \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{1}{n} \frac{\cos i}{\cos r} \right).$$

我們所拍的花样离开底片光学中心不超过 $20'$ 。若 $i \doteq r$, 則

$$AA' = h \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{1}{n} \right),$$

$$\Delta f = AA' \cdot \operatorname{ctg} i = h \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

若 $h = 4$ 毫米, $n = 3/2$, 則 $\Delta f = 4/3$ 毫米。对于焦前焦后都使焦距增长了 Δf , 也就是使各个带区焦点至焦前底片的距离 d_i 都增加了 Δf , 而这并不影响球面象差和象散的确定。

4. 我們的結果

利用五对底片得到技术恆量 $T = 0.14$, 这与万籁同志在 1955 年得到的 $T = 0.13$ 极为相近。球面象差所造成的象散圓的角直径

$$\rho'' = 2.06 T, \text{ 物鏡衍射环的角直径 } \alpha'' = \frac{217.9}{D_{\text{毫米}}}$$

(对于 G' 綫)。现将 T, ρ'', α'' 以及各地湍流角 θ'' 列表于下:

表 二

天文台	余 山	普尔科沃	普尔科沃	普尔科沃	普尔科沃	乌克兰	波茨坦	維也納	叶凱士
$D_{\text{毫米}}$	40	33	38	76	65	40	33	68	102
T	0.14	0.11	0.33	0.18	0.47	0.39	1.30	0.48	0.16
ρ''	0.29	0.23	0.68	0.37	0.96	0.80	2.68	0.99	0.33
α''	0.70	0.85	0.73	0.38	0.43	0.70	0.85	0.41	0.27
θ''		0.70	0.70	0.70	0.70	0.76			
$\Delta F_{\text{最大}}$	$1.4 \times 10^{-4}f$	$0.7 \times 10^{-4}f$	$6.5 \times 10^{-4}f$	$4.6 \times 10^{-4}f$		$4.0 \times 10^{-4}f$			

我們要求球面象差所造成的象散圓的角直径, 小于該地的湍流角的角直径, 以及物鏡衍射环的角直径。一般湍流角的角直径都大于 $0.6''$ (相当于 36 厘米以下的物鏡口径的衍射环的角直径), 因此对于 36 厘米以上口径的物鏡,

$$\frac{217.9}{D} \geq 2.06 T \quad \text{即} \quad T \leq \frac{105.8}{D}.$$

这样看来, 物鏡口径愈大, 它的球面象差的要求愈加严格, 否則大口径物鏡的潛在能力就不会发挥。

各带区軸向球面象差

$r_{\text{毫米}}$	175	155	140	120	100	80	60	40
d_i	66.42	66.52	66.35	66.44	66.55	66.32	66.63	65.70
ΔF	0.72	0.82	0.65	0.74	0.85	0.62	0.93	0

最大剩余球面象差之值 $\Delta F_{\text{最大}} = 0.93 \text{ 毫米} = 1.36 \times 10^{-4}f$.

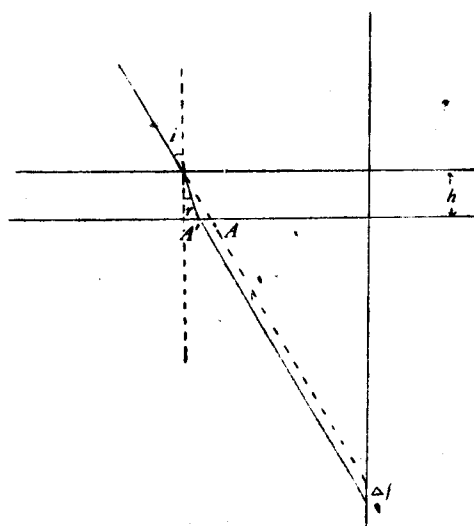
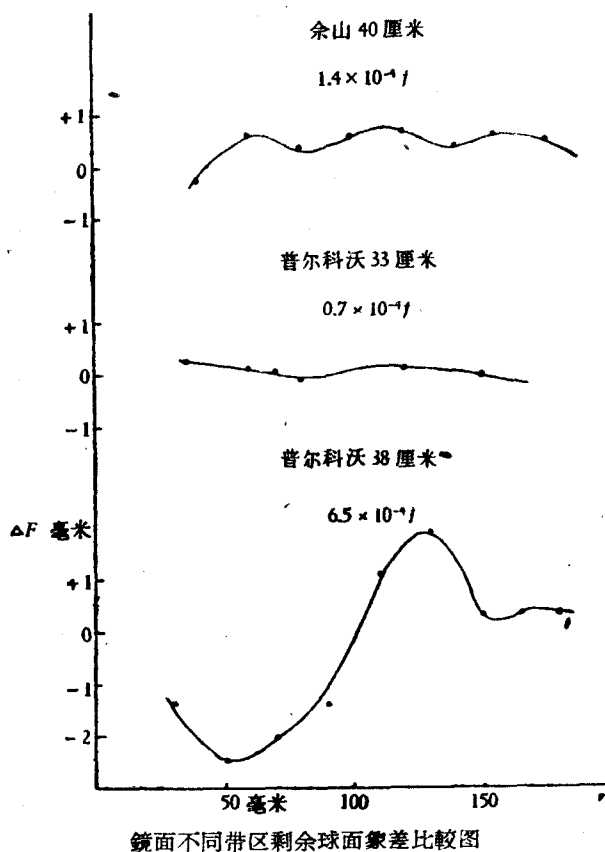


图 4

最大剩余球面象差发生在 $r = 0.3$ 处。

哈特曼屏上的洞若打得不理想,可能差到 1 毫米,这就相当于相差 0.5 毫米的相邻的两带区,它们的球面象差之差最大不会超过 0.023 毫米。下面是剩余球面象差比较图。



由两对底片得到的象散结果

r 厘米	170	145	110	85	55
a 毫米	0.36	0.99	0.61	0.63	0.90
φ	134°	100°	131°	162°	154°

象散差最大值 $a = 0.99$ 毫米 $= 1.44 \times 10^{-4} f$ 。

不同带区象散角差最大值 $\Delta\varphi_{\text{最大}} = 62^\circ$ 。φ 是象散圆短轴对正北方向的位置角,它的起点是正北方向。如果各个带区的象散差 a 一样,若 $\Delta\varphi$ 相差 90° ,则弥散圆就互相弥补而成圆面了。

与各天文台比较

天文台	余山	乌克兰	普尔科沃 15"	普尔科沃 30"
a	0.99 毫米 $= 1.44 \times 10^{-4} f$	1.60 毫米 $= 2.7 \times 10^{-4} f$	0.88 毫米 $= 1.3 \times 10^{-4} f$	$1.3 \times 10^{-4} f$
Δφ	62°	50°		

(二) 畸变

底片上的綫长度可以表示成

$$l = f \operatorname{tg} \sigma + v_1 \operatorname{tg}^3 \sigma + v_2 \operatorname{tg}^5 \sigma + \dots,$$

右端第一项 $f \operatorname{tg} \sigma$ 是无畸变的理想系統, 相应于天球上角距为 σ 底片上的綫长度, 高次項为畸变, 即

$$\Delta = v_1 \operatorname{tg}^3 \sigma + v_2 \operatorname{tg}^5 \sigma + \dots.$$

物鏡单向放大率随角距 σ 而变化, 这就会改变了恆星的相对位置, 因而对精密的照相定位工作就需要考虑它的影响。

我們只取到三次項, v_1 称为畸变系数, 为了决定 v_1 , 我們这样选择星对:

- (1) 它們之間的角距略小于底片尺碼的一半;
- (2) 星对尽可能地分布在同一赤經圈和赤緯圈上。在赤經圈上的称为赤經星对, 在赤緯圈上的称为赤緯星对;
- (3) 星对分布在赤道带上;
- (4) 每一对星的星等和光譜型要接近。

每张底片露光三次, 拍照的办法是这样的:

第一次露光: a_1 星在底片光学中心, b_1 星便在底片边缘;

第二次露光: 使星对移动其間距离的二分之一, 便有 $a_2 b_2$ 位置(见图 5);

第三次露光: 又移动它們之間距离的一半, 这时 a_3 星便在底片边缘, b_3 星便在底片光学中心附近(见图 5), 观测时应记录气温和气压。

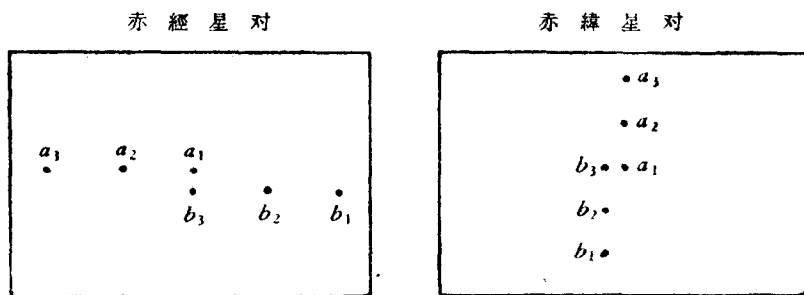


图 5

令 $a_1 b_1 = \rho_1$, $a_2 b_2 = \rho_2$, $a_3 b_3 = \rho_3$, 根据上面公式有

$$\rho_1 = f \operatorname{tg} \sigma + v \operatorname{tg}^3 \sigma,$$

$$\rho_2 = 2f \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} + 2v \operatorname{tg}^3 \left(\frac{\sigma}{2} \right),$$

$$\rho_3 = f \operatorname{tg} \sigma + v \operatorname{tg}^3 \sigma.$$

ρ_1 和 ρ_3 的平均值 $\rho_{1,3}$ 可以写成:

$$\rho_{1,3} = f \operatorname{tg} \sigma + v \operatorname{tg}^3 \sigma,$$

$$\rho_{1,3} - \frac{\rho_2}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2}} = v \left(\operatorname{tg}^3 \sigma - \frac{2 \operatorname{tg}^3 \frac{\sigma}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2}} \right),$$

于是,

$$\rho_{1,3} = \frac{\rho_2}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2}}$$

$$\nu = \frac{2 \operatorname{tg}^3 \frac{\sigma}{2}}{\operatorname{tg}^3 \sigma - \frac{2}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2}}}$$

对于赤道带上的星对, $35' < \sigma < 50'$. 在不影响精确度情况下, 公式简化成

$$\nu = \frac{\rho_{1,3} - \rho_2}{0.75\sigma}$$

ρ_1, ρ_2, ρ_3 可由坐标量度仪上量出, σ 可由以下公式计算:

$$\cos \sigma = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1).$$

但 σ 只要求精确到 0.01 就足够了, 这就无需应用上述公式, 可直接由星表得到. 在量度恒星直角坐标时, 为了避免两轴不垂直的影响, 总使一星的三个象在同一坐标轴上. 一个星瞄准四次, 两次 0° 和两次 180° , 而且 0° 与 180° 两次读数之差不超过 3 微米. 取 x 和 y 的四次平均值再加上读数改正, 得到最后坐标 x 和 y .

为了消除蒙气较差的影响, 应用下列公式计算:

$$\Delta x = \beta \sin 1'' K_3 x,$$

$$\Delta y = \beta \sin 1'' K_4 y.$$

$\beta \sin 1''$ 可查表得出; x, y 为测量坐标; 而

$$K_3 = 1 + k_1^2, \quad K_4 = 1 + k_2^2,$$

$$k_1 = \xi_0 = \operatorname{tg}(S - A) \cos d \sec(d - D),$$

$$k_2 = \eta_0 = \operatorname{tg}(d - D),$$

$$\operatorname{tg} d = \operatorname{tg} \varphi \sec \iota.$$

$k_1, k_2(\xi_0, \eta_0)$ 就是天顶对底片光学中心的理想坐标; φ 为观测地的地理纬度; A, D 为光学中心的赤道坐标.

我们知道, 不同光谱型的恒星, 由于大气色散的作用, 它们移向天顶有不同的距离, 这就要求选择星对时注意光谱型, 甚至星等.

根据八张底片畸变系数计算结果,

$$\nu = +0.27/\text{度}^3 = 0.51 \times 10^{-8} \text{毫米}^{-2},$$

$$\rho, c = \pm 0.054/\text{度}^3 = \pm 0.104 \times 10^{-8} \text{毫米}^{-2}.$$

相应于底片上 $r_{\text{毫米}}$ 或 r^0 的测量坐标的改正

$$\Delta = \nu r^3,$$

r 为星到底片光学中心的距离. 于是可构成下列改正表:

$r_{\text{毫米}}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\Delta(\text{微米})$	0	0.1	0.3	0.6	1.1	1.8	2.6	3.7	5.1	6.8	8.8
$\Delta(\text{每秒})$	0	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.20	0.27

我们底片的尺碼为 24 厘米 $\times$ 30 厘米 (即 $2^\circ \times 2.5^\circ$), 由上表可知, 在光学中心周围 $r = 70 \text{ 毫米} = 35'$ 的范围内, 可以忽略畸变的影响. 对于精密的照相定位, 精确度要求

0."1, 所以当 $r > 35'$ 时就要考虑它。

和其它天文台比较

天文台	底片大小	分解能力	畸变系数	底片边缘
余山	$2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	30"/毫米	$+0.51 \times 10^{-8} \text{ 毫米}^{-2} = +0."27 \text{ 度}^{-2}$	+0."27
普尔科沃	$5^{\circ} \times 5^{\circ}$	100"/毫米	$-0.86 \times 10^{-8} \text{ 毫米}^{-2} = -0."05 \text{ 度}^{-2}$	-0."78
乌克兰	$2^{\circ} \times 2^{\circ}$	35"/毫米	$-0.76 \times 10^{-8} \text{ 毫米}^{-2} = -0."30 \text{ 度}^{-2}$	-0."30

(三) 色差

轴向色差: 物镜对不同波长的光线具有不同的折射率, 于是光线通过透镜时曲折的不同, 聚焦的平面也就不同。一般物镜都要消色差, 照相物镜消色差常使 $F(\lambda = 4861 \text{ \AA})$ 和 $C(\lambda = 647 \text{ \AA})$ 的焦距一致。即使如此, 对其它波长的光线, 星象仍不能全部重合在一起, 这就造成了第二级光谱。第二级光谱使象的边缘模糊不清, 甚至会造成颜色的光晕。

为了研究物镜的第二级光谱, 仍然可以应用哈特曼的方法。在屏上打两个矩形洞, 使它较长的一边沿南北方向, 连同物镜棱镜戴在物镜的前面, 然后在两个焦外位置拍照。在每张底片上出现了这两个洞的象, 不过它已经被棱镜分解为光谱。由于不同颜色的光线的焦点位置不同, 所以在底片上洞的象呈现弯曲弧状。若是拍早型星, 可以很清楚的看到巴耳末系的谱线。在两张底片上测量同一谱线间的距离, 根据前面的公式就可以计算出相应于这波长的焦点位置。这样我们就可以绘第二级光谱的曲线图。

哈特曼方法的缺点就是它没有用到物镜的全面, 而仅仅用了这两块矩形洞, 因此它没有全面的、确切的反映物镜色差。

另外一个方法首先制造一个简单的光学系统(图6)。将透镜A放在这样的位置, 它的前焦点正与物镜的焦点 O_1 重合, 于是光线通过A便平行地到达透镜B, 再聚焦于其焦点 O_2 上。由于物镜的轴向色差, 不同波长光线的焦点位置不同, 于是在 O_1 焦平面上有直径 d_1 , 在 O_2 焦平面上直径便是 d_2 , 而 $d_2 = d_1 f_2 / f_1$ 。如果我们在A、B间加入一个棱镜系,

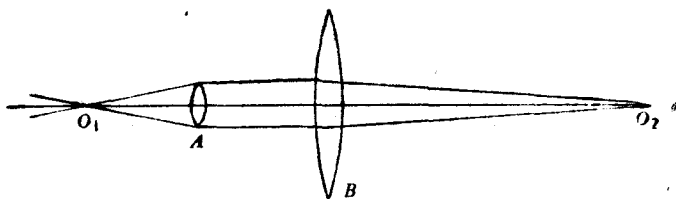


图 6

在 O_2 上便得到一扇形的恒星光谱, 最窄的光谱段是说明对于这样波长的光线, 它恰恰聚焦在A的焦点上。若是移动光学系统, 就可以得到不同波长的焦点位置。若在A、B间再加入已知波长的滤光片, 这就可以确定对于它的焦点位置。此法可用目视或照相方法进行。这种方法的主要缺点, 是把加入的光学系统当作没有球面象差和色差的, 而事实上单透镜的色差还是相当大。

我们采用这样的方法来确定轴向色差。物镜端戴上粗光栅, 于是底片上所拍到的亮星便出现一系列对称于中央象点的衍射象。测量一级衍射象到中央象点间的距离, 由下面

公式决定有效波长:

$$\lambda_{\text{有效}} = \frac{a+b}{f} \cdot r;$$

其中 $a+b$ 为光栅恒量, a 为两丝间隔的宽度, b 为丝的直径, f 为物镜焦距, r 为一級衍射象到中央象点間距离, 均为已知。

若在底片前加入不同颜色的滤光片, 就得到相应于它的有效波长。在不同的焦距位置对亮星拍照, 就得到一系列星象。不在焦点拍得的象为一团模糊圓面, 而且各級衍射象都在一起; 但在焦面上的衍射象是截然分立而清晰的点。选择几个最清晰的象点, 它相应的焦距讀数作为焦点位置, 对不同滤光片得到不同的焦距讀数, 从而給出第二級光譜的曲綫图来。

$\lambda_{\text{有效}}$, 毫微米	495	512	582	646
焦 距 讀 数	6.7毫米	8.1	15.8	25.6

由于受到条件的限制, 对于所得到的初步結果我們并不满意, 因为我們沒有看到在藍端軸向色差变化的情况。

由亨利兄弟制造的普尔科沃 33 厘米标准望远镜的色差状况

譜 綫	$H_{\alpha}(C)$	$H_{\beta}(F)$	$H_{\gamma}(G')$	H_{δ}	$H_{\epsilon}(H)$	H_{ζ}	H_{η}
波 长	656毫微米	486	434	410	397	389	384
焦距讀数	+20.27毫米	+3.98	0	-0.48	+0.08	+1.02	+1.23

这照相物鏡是对 G' 和 H 消色差的。第二級光譜曲綫頂点和 G' 綫相应焦距之差 $\Delta F = 0.5$ 毫米, H_{α} 到 H_{δ} 焦距讀数相差 20.75 毫米, H_{β} 到 H_{α} , $\Delta F = 16.29$ 毫米。余山的照相物鏡也是亨利兄弟所磨制的, 我們測得这个物鏡对于: $\lambda 495-646$ 毫微米, 其 $\Delta F = 18.9$ 毫米。对于这样大的焦距变化, 我們如果使用全色底片, 星象是不会頂理想的。对于这一类型的色差曲綫, 使用 Kodak OaO 就会比 Agfa 全色片更好。

图 7 是底片分光敏度曲綫和第二級光譜曲綫。可以看出, 对于余山及普尔科沃望远镜, 如果使用 Agfa 全色底片, 在 $\lambda 4500-6800 \text{ \AA}$ 內, 物鏡焦距变化可达到 20 多毫米, 而物鏡消色差在 415 毫微米处; 可是底片在 650 毫微米及 430 毫微米处都很敏感。毫无疑问,

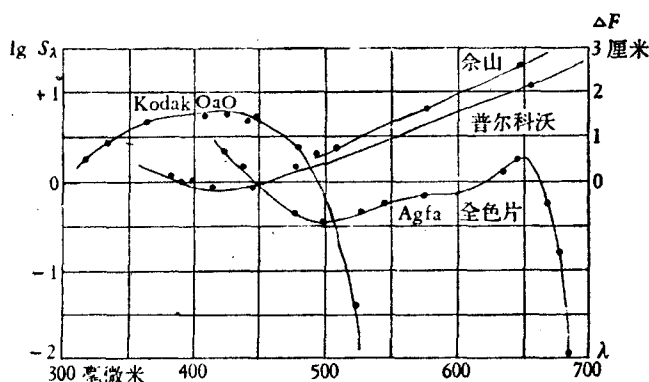


图 7 底片分光敏度和第二級光譜曲綫图

問, 这就会使星象造成相当大的一团。Kodak OaO 牌底片对于 $\lambda 300-500$ 毫微米敏感, 在 500 毫微米以后, 灵敏度显著下降, 这正是物鏡焦距变化最剧烈的地方。它最敏感是在 $\lambda: 380-450$ 毫微米处, 正与消色差帶重合。因此, 对于余山及普尔科沃望远镜, 最好采用这类底片。

橫向色差 (或称放大率色

差)与轴向色差不同,即便是对于轴向色差完全改正了的物镜,横向色差仍会存在。物镜把光轴外的发光点分裂为光谱,焦平面上各谱线与物镜第二主点的联系方向必须平行于星到第一主点连线方向。于是我们便可以认为,对于不同波长的谱线,它们具有不同的第二主点。对于照相物镜消色差的 G' 线 ($\lambda = 434$ 毫微米) 和 H 线 ($\lambda = 397$ 毫微米), 相应的两个第二主平面 $\Pi_H \Pi_{G'}$ 间(图 8) 相距 0.02 毫米。焦平面 $\overline{G'H} = 0.02 \tan \alpha$, 在象场边缘 ($\alpha = 1^\circ$) 处, $\overline{G'H} \approx 0.4$ 微米。对于整个照相波段, 横向色差就有 1 微米之多, 即在我们望远镜的焦面上有 $0''.03$ 的偏差。

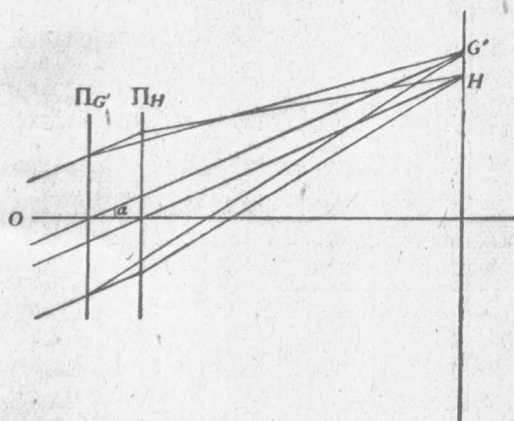


图 8

由于横向色差, 不同光谱型恒星位置会产生微小的变异, 在这里不作详细的研究。我们将横向色差以及凡是对不同光谱型而产生恒星相对位置变化的因素, 全都归在大气色散中一并考虑。

三、目视物镜的光学性能

单独考察目视物镜的性能是不够全面的, 因为目视物镜的好坏并不等于整个目视部分的好坏, 这与照相物镜是不同的。目视物镜的某些缺点, 往往会通过目镜而得到补偿。因此没必要作精密的研究, 这里只作了粗略的考察。

为了要了解目视物镜的象差, 我们首先制作了阴影仪(见图 9 中 2), 把它安装在测微盘上。测微盘带动阴影仪可以旋转任何一个方位。用阴影仪来量度物镜端的标记, 这些标记把物镜分成五个带(见图 9 中 3):

带	1	2	3	4	5
直径, 厘米	34.2	30.4	24.2	16.2	8.0

阴影仪上的螺旋推动刀片, 使刀片在离物镜焦平面不太远的一个平行平面中运动, 用刀片切物镜的标记, 记录阴影仪读数, 可以读到 0.001 毫米。物镜端的标记在刀口平面上给出

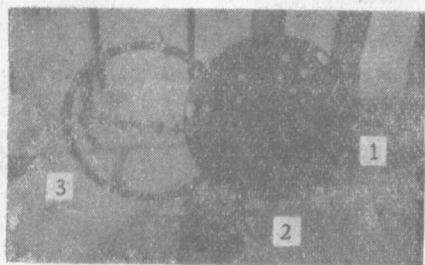


图 9

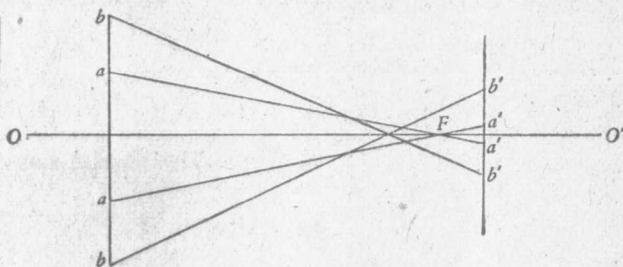


图 10

它们的象(见图 10), 便有这样的关系式:

$$\frac{aa'}{a'a''} = \frac{f_a}{r_a} \quad \text{即} \quad r_a = \frac{l}{l'} f_a, \quad aa' = l, \quad aa'' = l',$$

其中 r_s 为刀口平面到 a 带焦点的距离, f_s 为 a 带的焦距。今取各带 f_i 的平均值 f 来代替, 于是公式可写作 $r_i = \frac{l_i}{f}$, 右端均为已知, 于是可求 r_i 。不同带区由于球面象差存在, 各个 r_i 数值都不相同。

同一带区互相垂直的标记, 其焦距之差 $\Delta F = a \cos 2(\varphi - \varphi_0)$; 从而决定了各带区的象散。

为了研究色差, 在刀口和人的眼睛之间加入有效波长已知的滤光片, 于是可以得到 r 随 λ 变化的状况。

今将初步结果写在下面:

观测日期	观测对象	温度	滤光片	带区 1	带区 2	带区 3	带区 4	带区 5
1959.10.8	$\beta A r_i$	+22°C	—	$r=35.00$ 毫米	$r=33.60$ 毫米	$r=32.55$ 毫米	$r=32.55$ 毫米	$r=31.50$ 毫米
1960.2.5	$\beta O r_i$	—	—	43.39	40.76	40.21	39.92	38.06
1960.2.6	$\beta O r_i$	+10°C	黄	45.03	43.06	42.81	42.78	42.00
1960.2.23	$\alpha C M_a$	—	黄	46.67	46.28	45.99	45.37	43.75
平均				42.52	40.92	40.39	40.01	38.83

最大轴向球面象差 $\Delta F_{\text{最大}} = 3.69$ 毫米 $= 5.27 \times 10^{-4} f$,

乌克兰天文总台目视物镜 $\Delta F_{\text{最大}} = 10$ 毫米 $= 18.0 \times 10^{-4} f$ 。

以上所得有关象散的结果并不令人满意, 因为观测次数既少, 而且观测条件也差。

φ	$a \cos 2(\varphi - \varphi_0)$				
	171毫米	152	121	81	40
0°	3.48	1.61	2.60	0.43	2.63
45°	0.61	3.45	1.74	-0.43	-0.88

象散差最大值可能达到 $a = 3.48$ 毫米, 似乎太大了。

色差结果如下表:

滤光片	有效波长	r_i
绿	581.7毫微米	45.01
黄	646.3	45.61
红	723.1	46.52

我们没有更多的滤光片, 因此不能得出完善的色差曲线。一般目视物镜是 C 线 ($\lambda = 656$ 毫微米) 和 F 线 ($\lambda = 484$ 毫微米) 消色差。乌克兰天文总台目视物镜第二级光谱色差曲线顶点为 550 毫微米, 而 F 和

C 线焦距差 3.3 毫米。

万籁先生对这项工作给予很大帮助, 谨在这里致以诚恳的谢意。

参 考 文 献

- [1] Э. А. Гуртовенко, Изв. ГАО АН УССР, том I, вып. 2, 1958.
- [2] Е. Перелелкин, Изв. ГАО Пулково, № 97, том X, 4, 1926.
- [3] М. Д. Берг, Изв. ГАО Пулково, № 104, том XI, 5, 1929.
- [4] Н. Г. Пономарев, Изв. ГАО Пулково, № 105, том XI, 6, 1929.
- [5] Курс астрофизики и звездной астрономии, pp. 63—65, 79—82, 89—91.