

用场星作彗星底片定标的方法

胡中为 陈 力

(南京大学天文系)

鲍梦贤

(中国科学院云南天文台, 昆明)

对彗星底片用一般照相测光定标方法, 存在许多复杂问题, 有较多误差^[1,2]。哈雷彗星国际联测 (IHW) 推荐使用场星亮度分布作定标的方法^[3-5]。这些方法已成功地用于恒星或星系底片, 其场星的像是弥漫小圆斑, 并且是跟被测恒星或星系同样感光条件下拍摄的。然而, 由于彗星对场星有视运动, 在望远镜跟踪彗星所摄底片上, 场星的像是条形的; 实际上, 场星的像是与彗星像在不同感光条件下拍摄的。因此, 文献 [3-5] 的方法不能直接用于彗星底片。本文提出用场星作彗星底片定标的一种方法, 初步实测结果表明此方法是可行的。

今年 3 月 29 日, 在拍摄 Crommelin 彗星底片后, 又拍摄了 NGC 2422。观测是用云南天文台的 $D = 100$ 厘米 ($F/13$) 望远镜、WK 38 滤光片和柯达 103 a-O 底片作的; 有效波段为 $4000-5000 \text{ \AA}$, 相当于 B 星等系统。用跟踪恒星和 Crommelin 彗星的速度, 用同样感光时间 (2 分钟) 分别两次拍摄 NGC 2422 在同一底片上, 得到恒星的圆斑像和条形像。选 NGC 2422 中的五颗星作底片定标, 其星等列于表 1。在 3CS 测微密度计上用 25 微米方光栏扫描这些星像, 得到各星照相密度分布。底片定标分两步。第一步, 由标准星等及其照相密度建立底片特性曲线, 进而得出恒星亮度分布规律; 第二步, 由选星的累积相对亮度与其标准星等, 求出从相对亮度化为绝对亮度 (标准化) 的转换系数。本文定标方法的原理及实测结果如下。

表 1

星号 i	1	2	3	4	5
B 星等	10.58	10.95	11.48	8.81	12.47
B-V	0.07	0.22	0.54	-0.01	0.67
U-B	0.04	0.17	0.05	-0.16	0.25

一、特性曲线和恒星亮度分布

由于望远镜和照相乳胶等的联合效应, 恒星像不是严格的点, 而是弥漫的小圆斑。对于确定的望远镜、滤光片和乳胶类型, 实测表明各星像的亮度分布规律是相同的, 这是用场星作底片定标的基本依据。实际上, 这样的星像相当于面光源像。因此, 可以把场星像用于任何延伸天体 (如, 星系) 底片的定标。

在一般恒星底片上, 星像是弥漫圆斑, 各星的亮度分布可表述为

$$I_i(r)/I_i(0) = f(r), \quad (1)$$

其中 r 是离星像中心的距离, 下标 i 表示特定恒星; 或者, 写成星等形式

$$m_i(r) - m_i(0) = -2.5 \log f(r). \quad (2)$$

本文 1984 年 7 月 4 日收到。

恒星的累积亮度为

$$M_i = -2.5 \log \left[2\pi \int I_i(r) r dr \right] = m_i(0) - 2.5 \log S, \quad (3)$$

$$S = 2\pi \int f(r) r dr, \quad (4)$$

S 是跟特定恒星 i 无关的常数。从 (2) 和 (3) 式可得

$$m_i(r) = M_i + \{2.5 \log S - 2.5 \log f(r)\}, \quad (5)$$

相对亮度 $I'_i(r)$ 与绝对亮度 $I_i(r)$ 的关系为 $CI'_i(r) = I_i(r)$, C 为常数; 写为星等形式

$$\begin{aligned} m'_i(r) &= -2.5 \log I'_i(r) = -2.5 \log I_i(r) + 2.5 \log C \\ &= m_i(r) + 2.5 \log C = M_i + \{2.5 \log S - 2.5 \log f(r) \\ &\quad + 2.5 \log C\} = M_i + M_c. \end{aligned} \quad (5a)$$

当取 r 为定值 $r = r_p$ 时, 上式花括号内的值是确定的, 可作为参量常数 M_c 。因此, 在只差一常数条件下, 可用 M_i 代替 $m'_i(r_p)$ 或 $\log I'_i(r)$ 。于是, 可能建立照相密度 $D_i(r_p)$ 与亮度 $\log I'_i(r_p)$ (或 M_i) 的关系, 这就是底片特性曲线。这里 $D_i(r_p)$ 是恒星与附近天空背景的密度差。把各 r_p 的曲线平移到一起, 可作出更完满的特性曲线 (图 1a)。

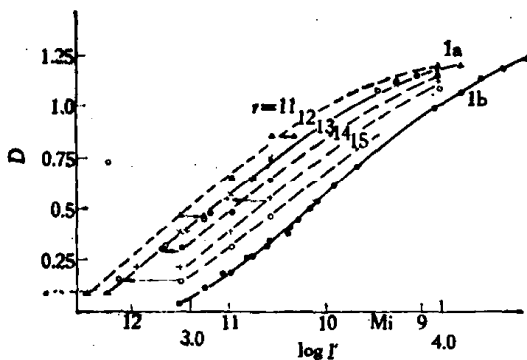


图 1 特性曲线

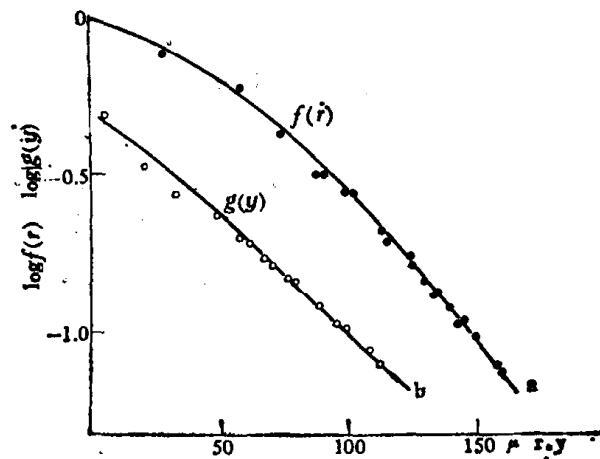


图 2 $f(r)$ 和 $g(y)$

当望远镜跟踪彗星照相时, 底片上恒星像是条形。我们的实测表明, 至少在各星像中部垂直于长轴方向的亮度分布规律是相同的, 形式上可写为

$$I_i(y)/I_i(0) = g(y), \quad (6)$$

可用类似上述方法作出底片特性曲线 (图 1b)。我们的实测表明, 除了零点不同外, 在照相测光误差 ($\sim 5\%$) 内对圆斑像和条形像的两个特性曲线是一致的。以下都用特性曲线 1a。

现在求亮度分布规律 $f(r)$ 和 $g(y)$ 的经验形式。对于圆斑像, 由所测密度和特性曲线, 可得出场星的相对亮度分布 $I'_i(r)$ 。对于 $I'_i(r)$, (1) 式仍成立。图 2a 绘出场星亮度对数分布 $\log f(r) \sim r$ 的平滑曲线。 $f(r)$ 的形式可写为^[4]

$$f(r) = (1 + r^2/R^2)^{-\beta}, \quad (7)$$

其中 R 和 β 是待定常数。由图 2a 的 $\log f(r)$, 可用迭代法求出 R 和 β 。由 (7) 式得

$$\log f(r)/\log f(R) = \log(1 + r^2/R^2)/\log 2, \quad (8)$$

取 $r = r_p$ 和初值 $R = R_1$, 从图 2a 读取 $\log f(r_p)$ 和 $\log f(R_1)$, 用 (8) 式可算出 $R = R_2$ 。然

后,由 $\log f(r_p)$ 和 $\log f(R_2)$, 可算出 $R = R_3$; 迭代继续到 $R_{n+1} - R_n < 0.005$, 最后取 $R = R_{n+1}$. 用求出的 R 值, 由 (7) 式对一系列 r_p 值求出 β_p , 取其平均作为 β 值. 对 NGC 2422 底片, 结果得 $R = 120.00 \pm 0.03$ 微米, $\beta = 2.48 \pm 0.02$, R 和 β 值的误差不会使 $f(r)$ 误差超过 4%. 进而, 算得 $S = 2\pi \int f(r) r dr = \pi R^2 / (\beta - 1) = 3.0567 \times 10^4$ 平方微米.

对于条形像, 亮度分布规律可表述为

$$g(y) = \exp(-0.00458y^4 - 0.136y), \quad (9)$$

它与实测 (图 2b) 的偏差小于 4%.

二、标准化的转换系数

为了把相对亮度化为绝对亮度 (标准化), 算出各标准星的累积相对亮度, 并跟其绝对亮度 (已知星等) 比较. 对于圆斑像, 从实测相对亮度、 S 值和 (3) 式, 可算出其累积相对亮度

$$M'_i = m'_i(0) - 2.5 \log S, \quad (10)$$

已知其绝对亮度 $M_i = B_i$ (表 1). 因此, 用 (3) 和 (10) 式可求出转换系数 $C = I_i(r)/I'_i(r)$, 或

$$\log C = -0.4(M_i - M'_i). \quad (11)$$

对于条形像, 各面元的相对亮度 $I'_i(x, y)$ 可由其密度 $D_i(x, y)$ 和特性曲线求出; 其累积相对亮度为

$$M'_i = -2.5 \log \iint I'_i(x, y) dx dy, \quad (12)$$

于是, 可求出标准化的转换系数 $L = I_i(x, y)/I'_i(x, y)$, 或

$$\log L = -0.4(M_i - M'_i), \quad (13)$$

计算结果列于表 2. 可见在误差 0.04 内, 转换系数与个别恒星 i 无关, 只与跟踪速度有关; 或者说, 对于同样感光时间和确定的跟踪速度差, 转换系数差 ($\log C - \log L$) 是一个常数.

表 2

i	2	3	平均	$\log C - \log L$
$\log C$	-10.87	-10.93	-10.90	0.72
$\log L$	-11.58	-11.66	-11.62	

三、用场星作彗星底片定标的方法

一般说, 彗星底片上总有几颗场星的条形像, 只要知道场星的星等, 就可用第一节方法由条形像亮度分布作出特性曲线. 用此特性曲线和各星像元的密度, 可得出其相对亮度. 对这些星用上节方法可求出标准化转换系数 L_i , 它与跟踪 (角) 速度 ω 和感光时间 t 有关, 可记为 $L_i(\omega, t)$; 另方面, 用本文方法, 求出圆斑像与条形像所得转换系数差, $\log K(\omega, t) - \log C(t) - \log L(\omega, t)$. 当然, 后者的底片应当用同样望远镜、滤光片和乳胶类型拍摄. 于是, 可求出 $\log C_i(t) = \log K(\omega, t) + \log L_i(\omega, t)$, 这等效于彗星对场星没有视运动、相应于彗星与场星同样感光条件下的标准化转换系数. 进而, 从彗星各面元的相对亮度和转换系数 C_i , 可求出其绝对亮度.

虽然本文方法与文献[3—5]不同,但原则上具有同样优点。例如,不需拍摄光度标和额外标准光源,可避免与之有关的许多误差。而且,此方法也可用于以前无光度标的许多彗星底片测光。若使用PDS测微密度计和计算机程序,此方法的数据处理会更简便,得到更好结果。

参 考 文 献

- [1] Stock, J., Williams, A. D., Photographic photometry, *Astronomical Techniques* (Ed. Hiltner, W. A.), Univ. Chicago Press, Chicago, 1962, 374—420.
- [2] Коноплева В. П. и др., *Поверхностная фотометрия Комет*, Наукова Думка, Киев, 1977.
- [3] Kormendy, J., Calibration of direct photograph using brightness profiles of field stars, *A. J.*, 78(1973), 255—262.
- [4] Agnelli, G. et al., A new computerized method for plate calibration: An application to photometry of galaxies, *A. Ap.*, 77(1979), 45—52.
- [5] 邹振隆、陈建生、B. A. 彼得森, 照相底片测光定标的密度矩和法, *天文学报*, 22(1981), 1: 55—60.
- [6] Malin, D. F., Peterson, B. A., Photometric calibration of astronomical photographic plates, II. The anglo-Australian telescope prime focus spot sensitometer, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 94 (1982), 595—599.