

52-55

## 夜间天空亮度及其测量

郝允祥 张保洲

(北京师范大学天文系 北京 100875)

p 141.2

**摘 要** 本文介绍了夜间天空亮度及其测量方法,同时介绍了作者研制的一种便携式亮度计。该亮度计的主要性能为:精确度:±5.4%,相当于±0.06mag;分辨率:10<sup>-6</sup>cd/m<sup>2</sup>,相当于27.4mag/□";重量:3.5kg。

**主题词** 天空亮度, 测量

夜间

## 1 夜间天空背景亮度的一般评述

夜间天空背景的亮度一般由两部分构成,一是自然的夜天光,一是灯火对天空的照明。

自然的夜天光指无月夜晚的自然夜天光,包括气晖,黄道带外的黄道光,暗于6mag的星光和弥漫银河光。自然夜天光在天顶方向的平均亮度为 $2.1 \times 10^{-8}$ 熙提(sb)<sup>[1]</sup>,即 $2.1 \times 10^{-4}$ cd/m<sup>2</sup>。随天区、天顶距、海拔高度、地理纬度以及大气透明度的不同,自然夜天光的亮度有所差异,例如,银道上的亮度约为银极天区亮度的2.3倍,即亮0.9个星等。

在天文工作上常用每平方角秒的星等量(记作mag/□")表示天空背景亮度,它和绝对亮度 $B$ (单位cd/m<sup>2</sup>)之间的关系为:

$$A(\text{mag}/\square") = 12.41 - 2.5 \lg B(\text{cd}/\text{m}^2) \quad (1)$$

可以看出,自然夜天光在天顶处的平均亮度( $2.1 \times 10^{-4}$ cd/m<sup>2</sup>)相当于21.60mag/□"。

灯火对天空的照明使天空亮度增加,这在不同场所差异很大。文[2]给出了从北京市中心到郊区的不同距离处夜间天空亮度的实测结果。平日,天安门广场上空的夜间亮度约16.6mag/□",节日夜晚则可亮至15.8mag/□",而在距其30km的近郊亮度可变暗3.3mag。根据Hiroki Kosai等人<sup>[3]</sup>的调查结果,日本几个大城市的市区夜间天空亮度都亮于17mag/□"。地面照明的发展给一些老天文台址造成了严重的光污染,日本国立天文台在Dodaira山的观测站,1958年、1978年和1989年的夜间天空亮度分别为20.5mag/□"、19.5mag/□"和17.6mag/□",1958—1978年的20年间亮度增加一个星等,而在1978—1989年的10年间却增加两个星等,这是东京地区照明发展的直接结果。Garstang估计,夏威夷岛上旅馆等地面设施的照明不加节制的使用时,到下个世纪到来之日,Manna Kea的夜间天空亮度将可能比之1990年要高出0.5个星等。

## 2 夜间天空亮度的测量方法

天文台现有的光电光度计原则上都可实地测量夜间天空亮度。选用光度计在望远镜焦平面上的一个合适的光栏, 它对应的测量视场记为  $S(\square'')$ , 测量一个已知星等的星, 观测星的星等为  $m$ , 测星时(实际是星加背景)光电流(不含暗流)读数为  $I_{\text{星+天}}$ , 测天空背景时光电流(不含暗流)读数为  $I_{\text{天}}$ , 则观测视场内天空背景积分星等为:

$$m_{\text{天}} = m - 2.5 \lg \frac{I_{\text{天}}}{I_{\text{星+天}} - I_{\text{天}}} - 2.5 \lg \tau^M \quad (2)$$

式中  $\tau$  为大气透射率, 由当日的消光观测资料求得,  $M$  为观测时星体所在地理位置对应的大气质量, 这样, 天空亮度

$$A = m_{\text{天}} / S \text{ (单位: mag/}\square'') \quad (3)$$

这里所说的合适的视场光栏, 一般指较大的光栏, 因为光栏太小时, 计算出的视场  $S$  误差较大, 直接影响测量结果的准确度。

为便于流动到各地进行夜间天空亮度的调查, Kiroki Kosai 等人介绍了两种在日本广泛使用的夜间天空亮度调查的方法。第一种方法是用 50mm 双筒望远镜, 其放大倍率 7 倍, 观察特定天区能看到的恒星数。看到的恒星数与天空背景的亮度是相关的, 只要把这个关系事先确定下来就可以直接由观看到的恒星数推求天空亮度了。这依赖于观测者的主观因素, 精度不会很高。第二种方法是拍摄  $\alpha$  Lygr(夏季)和  $\alpha$  Tau(冬季)天区的星的扫迹象。底片品类, 冲洗条件和密度测量条件都严格控制一致, 通过测量星迹密度和背景密度来确定天空亮度。这种方法也存在定标问题, 并且要求的严格控制条件对一般观测者是难以独立实现的。

用亮度计可以直接测量天空的绝对亮度, 测量的单位为  $\text{cd/m}^2$ , 它与  $\text{mag}/\square''$  的关系已表示在上述的(1)式。由于这种亮度计在现今技术条件下其定标的准确度和长期的稳定性都有较好地保证, 仪器又可做得相当轻便, 比较适合于定点或流动到野外现场作实际测量。以下单独对这种仪器作进一步的介绍和讨论。

## 3 用于夜间天空亮度测量的一种便携式亮度计

虽然亮度计在一般测量中应用很多, 但是适用于天文工作需要的测量夜间天空亮度的亮度计灵敏度要求甚高, 它应要求仪器的分辨率达到  $10^{-6} \text{cd/m}^2$ , 而现今市售的亮度计灵敏度最高者也只有  $10^{-4} \text{cd/m}^2$ 。为了城市光污染的调查工作, 作者参与研制过一台高灵敏度的便携式亮度计并已应用于实测工作<sup>[2]</sup>。最近, 作者对仪器作了进一步改造, 改造的要点是将物镜换成  $D=30\text{mm}$ 、 $f=45\text{mm}$ , 焦面上放置光敏面为  $10 \times 10 \text{mm}^2$  带有精确匹配  $V(\lambda)$  滤光片的硅光电二极管经过了严格挑选, 电子线路的性能也作了改善。这样, 仪器观测视场为  $12.5^\circ \times 12.5^\circ$ , 分辨率达  $10^{-6} \text{cd/m}^2$  (相当于  $27.4 \text{mag}/\square''$ ), 仪器定标的准确度  $\pm 3.5\%$  (相当于  $0.04 \text{mag}$ ), 仪器总重量约  $3.5 \text{kg}$ , 内含可充电电池作电源,

更适于野外现场测量。

仪器的测量视场( $12.5^\circ \times 12.5^\circ$ )显得大了一些,但是要保证仪器的分辨率达到  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>,只有改用光电倍增管而不用硅光电二极管作探测器才有可能缩小视场。但是用光电倍增管时,仪器在长期稳定性的保证上以及应用的简便性上存在缺点。为此,需要讨论  $12.5^\circ \times 12.5^\circ$  的观测视场在实际应用上存在多大的问题。

这样大小的视场中不包含亮于 2mag 的星的概率,就全天平均而言在 75% 以上。这样,观测时控制视场内不含亮于 2mag 星的要求是容易做到的。在这样的控制条件下,考查一下视场中含有的  $2 < m < 6$  的星光对天空亮度测量值的贡献有多少,即可看出这样大的视场对实测工作的影响大小。之所以不讨论暗于 6mag 星光的贡献,是因为在自然夜天光的约定中已包含了它们。从恒星计数结果推算,  $12.5^\circ \times 12.5^\circ$  视场中含有的  $2 < m < 6$  的星光总量约相当于  $6 \times 10^7$  个 21.6mag 星的光度贡献,即相当于大约 0.03 个 21.60mag 星每平方角秒;这只有天顶处自然夜天光平均亮度的约 3%,这样的影响是可以接受的,在实际的夜间天空亮度(往往由于有些许灯火照明影响而大于自然夜天光的平均亮度)的测量中影响更小。

最后,估计这台仪器在实际测量工作中的综合误差。定标误差  $\pm 3.5\%$ , 温度系数每摄氏度  $\pm 0.1\%$ , 以工作在  $0^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$  的环境温度下,温度带来的误差为  $\pm 2\%$ , 仪器的年稳定性以  $\pm 2\%$  计,观测视场中  $2 < m < 6$  的星产生的测量误差以 3% 计,这样,各误差因素  $V_i$  按

$$V = \pm \sqrt{\sum V_i^2} \quad (4)$$

计算,综合误差  $V$  为  $\pm 5.4\%$ , 相当于  $\pm 0.06\text{mag}$ 。

### 参 考 文 献

- 1 C. W. Allen(杨建译). 物理量和天体物理量, 上海人民出版社, 1976, 61
- 2 谭满清, 郝允祥. 照明工程学报, 1994, Vol. 5, No. 1-2, 51
- 3 Hiroki Kosai, Syuzo Isobe, Hironori Nakayama, A Global Network  
Observation of Night Sky Brightness in Japan—Method and Some Results

## Night Sky Brightness and It's Measurement

Hao Yunxiang   Zhang Baozhou

(Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875)

### Abstract

The knowledge about the night sky brightness and the methods of measuring night sky brightness are introduced in this paper. A convenient luminometer developed by authors is also introduced. The main specifications of the luminometer are as follow:

accuracy:  $\pm 5.4\%$  (corresponding to  $\pm 0.06\text{mag}$ );

resolution:  $10^{-6}\text{cd/m}^2$  (corresponding to  $27.4\text{mag}/\square''$ );

weight: 3.5kg.

**Key Words**   Night sky brightness   Measurement