

# 光污染和光学天文台址保护

谭 徽 松      岑 学 奋

(中国科学院国家天文台云南天文台 昆明 650011)

## 摘 要

讨论了天光背景对光学天文台的影响,综述了造成光污染的主要途径,介绍了防止光污染的几个主要国际组织和国际上对天文台址的保护立法,提出了减少光污染的主要措施。为国内进行光学天文台址保护采取措施以至(国家的或者地方的)立法提供参考。

**关键词** 光污染 — 天空亮度 — 光学天文台 — 台址保护

**分类号** P112

## 1 引 言

由强迫光(如过强光、照到不该照的地方和方向的光)造成的不利影响叫光污染<sup>[1]</sup>。光污染对动植物、人类生活、交通、通讯等方面都有影响。日本在这些方面都作过系统详细的研究。作为一个天文工作者,最关心的是光污染对光学天文台址的影响和如何避免或减少这种影响。由于光污染的日益严重,已经使不少望远镜和天文台不能从事天文观测,有的望远镜另找栖生之地。在人口众多的中国,找到一个没有或很少光污染的光学天文台址已越来越困难,光污染对现有光学天文台址的影响也越来越严重。

## 2 天光背景的影响

天光由自然背景辐射和人为光两部分组成。

自然背景辐射是指空间和大气中的粒子引起的自然光的散射。夜间辉光、黄道光、星光、银河系和河外星系尘埃的光等。其中黄道光和星光的贡献最大,可达 70%~80%<sup>[2]</sup>。根据国际照明委员会(CIE)在 1997 年发布的标准,  $3.2 \times 10^{-6}$  烛光/ $\text{m}^2$  的光强相应于  $26.33\text{mag}/(")^2$ 。对自然的背景辐射,目视星等为  $21.6\text{mag}/(")^2$ , 相当于  $3.52 \times 10^{-4}$  烛光/ $\text{m}^2$  的光强。根据 1985 年 IAU 的建议,人为光的背景增加世界级的高质量天文台应少于 10%,即人为光使背景的增加不超过 0.1mag,国家级的不超过 0.2mag;望远镜的口径不超过 1m 的研究生和本科

生教学天文台不超过 1.0mag。天光背景增亮, 对天文观测的影响可从两方面讨论。

(i) 反差降低

根据 Crawford 的研究<sup>[3]</sup>, 如果自然的天光背景的亮度为  $L_b$ , 天体的亮度为  $L_o$ , 则反差为

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad (1)$$

在有天光污染后天光背景增加  $L_v = aL_b$ , 则反差为

$$C' = \frac{(L_o + L_v) - (L_b + L_v)}{L_b + L_v} = \frac{L_o - L_b}{(a+1)L_b} = \frac{1}{(a+1)}C \quad (2)$$

使反差降为原来的  $\frac{1}{a+1}$ , 若用星等表示

$$\Delta m = -2.5 \lg(a+1) \quad (3)$$

这就意味着, 在同样反差下, 极限星等低  $\Delta m$  星等。

(ii) 信噪比降低

对暗的观测对象, 信噪比  $S/N$  是与天光背景亮度的平方根成比例的<sup>[4]</sup>, 如上所述, 若天光背景由  $L_b$  变为  $L_b + L_v = (a+1)L_b$ , 则信噪比降低为原来的  $\frac{1}{\sqrt{a+1}}$ , 这只是对一个稳定的天光背景而言的结果。由于人为光的变化很随机, 特别是一些广告、宣传类光信号, 为了引起人们的注意, 时亮时灭、颜色变换、方向旋转, 这将增加背景的噪声, 使实际的信噪比低于理论值。表 1 列出了不同天光背景下光污染的比例。理论信噪比列于表 1 的最后一栏, 并以无污染背景的信噪比为 1。

表 1 不同天光的绝对照度值和与自然天光背景比较的相对比例

mag/(") <sup>2</sup>	光污染的比例 (%)	绝对照度 / 10 <sup>-4</sup> 烛光 · m <sup>-2</sup>	S/N
21.6	0	3.52	1
21.5	9.6	3.86	0.95
21.4	20.2	4.23	0.91
21.1	58.5	5.58	0.79
20.7	129	8.06	0.66
20.6	151	8.84	0.63
20.1	298	14.01	0.50
19.6	531	22.21	0.40
18.6	1485	55.79	0.25
17.6	3881	140.13	0.16
16.6	9900	352.00	0.10

以云南天文台凤凰山为例, 1983 年 1 月, 天光背景的 V 星等为 20.44mag/(")<sup>2</sup>, 而 13 年后的 1996 年 1 月为 19.41mag/(")<sup>2</sup><sup>[5]</sup>, 若以 21.6mag/(")<sup>2</sup> 为准, 则光污染分别是自然光的 291% 和 752%, 增长了 2.58 倍, 平均每年增长 7.6%。

### 3 光污染的主要途径

随着黑夜的来临, 自然光逐渐昏暗, 人们必然要使用适当的室外照明, 尽管这些光不可避免地使天空亮度有一定的影响, 但显然是无可厚非的, 不应列入光污染的范畴。所谓的光污染主要指以下四个方面<sup>[6]</sup>。

(i) 眩光: 指在视觉范围中亮度过高, 以致引起眼睛不舒服甚至部分失去视觉。这在广告、灯光市招中并不少见。

(ii) 光侵害: 光应该照在需要和应该照到的地方或对象上, 但照到不该照的地方的情况已司空见惯。

(iii) 朝天光: 这在全世界都存在, 让光毫无用处地射向天空。这是天文观测的大敌。Sullivan<sup>[7]</sup>报告了由美国 Defence Meteorological Satellite Program 得到的人为夜天光亮度的照片, 日本的 S. Isobe 由这些照片分析得出, 仅朝天光这一项, 伦敦每年浪费 300 万美元, 纽约浪费 1400 万美元。

(iv) 过度照明: 光照强度超过需要。以引起人们注意。

这些无用而有害的光既多消耗了能源, 又浪费了经费。根据对美国 Tucson(60 万人口) 的庭院照明灯(通常 175W) 的统计<sup>[8]</sup>, 就需花费 140 万美元。加上其他无用的灯光, 美国全国总的浪费是 10 亿美元。全世界的灯光浪费(按人均均为美国的 1/3 估计) 每年将是 100 亿美元的量级! 所有这些都造成对天文台址的光污染。

城市是各种光污染最集中的地方, 可根据 Walker<sup>[9]</sup> 公式估算:

$$\lg P = -4.7 - 2.5 \lg R + \lg \Phi \quad (5)$$

式中  $P$  是在对着光源、地平高度  $45^\circ$  观测到的人造光与自然天光的比例,  $R$  是观测点到光源的距离 (km),  $\Phi$  是室外光的总光流量 (lm)。它与城市人口成比例。Walker<sup>[10]</sup> 认为, 每一个人的  $\Phi$  是 1000 lm, 而 Schreuder<sup>[11]</sup> 给出低至 50 lm/ 人的值。不同国家、不同地区显然差别很大。我们用  $x$  来代表每人所使用的光流量, 并假定其中的 10% 变为对光污染的贡献, 并用  $Q$  代表城市的人口 (万人), 则 (5) 式变为:

$$\begin{aligned} \lg P &= -4.7 - 2.5 \lg R + \lg(10000x \times 0.1Q) \\ &= -1.7 - 2.5 \lg R + \lg Q + \lg x \end{aligned} \quad (6)$$

在中国, 若设  $x = 1000$  lm/ 人, 则  $P$  值见下表:

表 2 距中国城市不同距离观测点处的  $P$  值

Q/ 万人	R/km				
	5	10	20	50	100
1	0.36	0.07	0.01	0.001	0.0002
10	3.57	0.63	0.11	0.01	0.002
100	35.7	6.31	1.12	0.113	0.02

## 4 研究光污染的国际组织和主要贡献

为研究并减少光污染, 国际上有不少组织积极地做出了贡献。主要的有三个:

(i) 国际照明委员会 CIE

CIE(Commission Internationale de L'Eclairage; International Commission on Illumination) 成立于 1921 年,它是讨论与照明有关的理论、技术和工艺的国际舞台,截至 1997 年 10 月止,有 41 个国家和地区参加,并有 12 位个人成员。它包括 7 个部,每个部有大约 20 个技术委员会(TC)。总部设在奥地利的维也纳。其中的 TC4-21 就是“光对天文观测的影响(Interference by light of Astronomical Observations)”。已发表了几十个有关的照明标准。做了不少与防止天文台光污染有关的工作,比如在 1994 年出版了《城市天空辉光——天文的焦虑》(Urban Sky Glow—a Worry for Astronomy, Proceedings of Symposium of CIE TC4-21,1994) 一书。

(ii) 国际暗天光协会 IDA(International Dark-Sky Association).

是 1988 年成立的免税、非赢利组织。总部设在美国 Tucson。其宗旨是有效地停止对暗天光环境的破坏,提高人们对光污染问题的认识并寻求解决办法,教育人们进行良好的夜间照明。到 1997 年 10 月,已拥有来自 70 多个国家的 2000 多名会员。

(iii) 国际天文学会(International Astronomical Union) 第 21、50 委员会。

IAU 的第 21 委员会是“夜天光委员会”(The light of the Night Sky),第 50 委员会是“现有和潜在的天文台址保护委员会”(Protection of Existing and Potential Observatory Sites),这两个委员会是专为保护天文观测环境(包括光学/红外、射电、空间)而设立的。第 50 委员会 1999 年成立了以 Cerro Tololo 泛美天文台台长 M. Smith 为首的控制光污染(Controlling Light Pollution)工作组。

以上这些国际组织单独、相互合作或与其他组织联合,为天文台址的保护,为防止和减少光污染做了大量的工作。比如 IAU 与 CIE 在 1984 年就制定了“减少天文台附近城市辉光指南(Guidelines for Minimizing Urban Sky Glow near Astronomical Observatories)”。

1997 年在日本京都的 IAU 大会期间,IAU 与 CIE 共同举办了“保护天文窗口(Preserving of the Astronomical Windows)”讨论,并出版了会议录。

1999 年 7 月,IAU 与联合国共同举办了以“保护天文天空”为题的 IAU Symposium No.196。

IAU 第 50 次委员会的控制光污染工作组 2000 年在 Manchester 的 IAU 会上,举行了讨论会,还将于 2002 年 3 月在智利的 La Serena、2003 年 7 月在澳大利亚的悉尼举行工作会议。

## 5 国际上的台址保护

现有和潜在的天文台址的保护已逐渐引起世界上有识之士的重视,一些地方政府甚至国家,制定了各种规定、标准,使已很稀少的几个优良天文台址得到了保护。

1998 年 3 月,日本以国家环卫厅名义发布了“有关光污染的指南——为了良好的光照环境”<sup>[1]</sup>,全文有六章共 93 页(英文本)。政府把治理光污染与治理空气污染、水污染看得同等重要。该指南对光污染的定义、危害并对良好的光照环境进行了阐述,为防止光污染,对照明器具的设计者、厂商、安装人员和居民提出了明确的要求,对执法部门如何执行、检查提出了标准和措施。

为保护卡拉利群岛的天文台址,西班牙政府制定了保护法律<sup>[12]</sup>,其要点是防止向上的

光, 午夜后减低光强, 提倡使用窄光谱复盖的低压钠灯, 城区应使用没有紫外和红外辐射的高压钠灯。在天文台所在地 La Palma, 替换有光污染的灯, 从而减少了 85% 的光污染, 仅此一项, 节约能源 40% ~ 60%。由于措施得力, 使 Los Muchachos 天文台在近 10 年内 (1987~1996) 天光亮度没有增加。

智利是南半球重要的天文观测基地, Cerro Pachon 和 Cerro Tololo 都是理想的台址, 美国的大学天文研究协会 (AURA) 和 Cerro Tololo 泛美天文台 (CTIO) 与附近的城市和智利国会签订合同, 来保护这些天文台址的今天和未来<sup>[13]</sup>。泛美天文台有 9 人参与有关的工作, 欧南台和 Las Campanas 也有一些雇员做台址保护的工作<sup>[14]</sup>。并有两位专职人员在“北智利天空质量保护办公室”工作。自 1993 年以来, 经过 5 年的努力工作, 智利总统签署了新的国家指南, 并由智利的环境保护机构具体实施, 经费由国际光学天文台和智利支持。由泛美天文台支持的 Manalluca 科普天文台, 也得到 Vicu'na 镇的全力支持<sup>[14]</sup>, 换了数百个街道照明设备, 使朝天光只有原来的 1/25, 向下照射的光只有原来的 1/2。

荷兰、英国、法国、美国的塔克森地区, 都采取了防止光污染对天文台影响的措施。

## 6 减少光污染的主要措施

Schreuder 在《减少天空辉光指南——CIE 技术报告》<sup>[15]</sup>中提出了减少光污染的主要措施, Crawford<sup>[16]</sup>在“光污染: 我们大家面临的问题”中也提出了一些办法, 其要点是:

(i) 避免不必要和过强的光照。

CIE 发布了几十个文件, 内容涉及道路、街道、各种体育场馆 (足球、网球、游泳、冰上运动等)、广告等的照明标准。已有一些国家把其中的一些文件作为标准执行。使照明强度适合需要。

(ii) 使用好的照明设备。

即使用能够避免或减少光污染的照明设备。比如, 不发出朝天的光、亮度适当、只照到需要照亮的区域或对象、防止不需要照亮的地方和对象被动受光。同时, 要采用高效率且波段范围较窄的光源 (比如低压钠灯), 其光辐射可以用滤光片滤掉, 不影响在其波段范围以外的天文观测。

(iii) 使用照明控制。

这个控制包括空间控制和时间控制。空间控制就是在制作或安装照明设备时, 把光集中在需要照明的方向, 把射向其他方向的光遮挡掉或者反射到需要的方向。时间控制就是需要时照明, 不需要时关掉, 人走灯灭, 我国不少居民楼的声控开关就是一种好方法。街道灯, 路灯, 也不一定要整夜亮着, 可以用各种方式控制。

此外要进行广泛的宣传教育, 要使人们 (特别是儿童) 懂得光污染和空气污染、水污染一样, 是有害于人类的。

在照明光源方面, 也应加强研究, 提高科技含量。比如, 人的眼睛基本上只对四个波长的光敏感<sup>[6]</sup>, 红色、绿色、蓝色锥体分别对 535nm、505nm、445nm 的光敏感, 而棒体对 505nm 敏感。如果有一种光源由这些波长的光组成人眼看到的准白光, 其照明效果与从 380nm 到 780nm 连续的自然白光相同。不但能节省能量, 而且天文学家只要几片滤光片就可以把它

们滤掉,从而将光污染对天文观测的影响排除。

### 参 考 文 献

- 1 Environment Agency of Japan. Guidelines for Light Pollution-aiming for Good Lighting Environments, 1998
- 2 Schreuder D A. Joint Discussion 5 "Preserving of the Astronomical Windows" 23rd General Assembly IAU, Kyoto, Japan, 1997, 未发表
- 3 Crawford, D L. A CIE Technical Report: Guidelines for Minimizing Sky Glow. Vienna Austria: CIE Central Bureau, 1997: 1
- 4 Beckers J M. In: Millis R L, Franz O G, Ables H D *et al* eds. Identification, Optimization, and Protection of Optical Telescope Site, Arizona, U. S. A.: Lowell Observertory, 1987: 138
- 5 陈培生, 张周生, 周吉光. 云南天文台台刊, 1996, (增刊): 103
- 6 <http://www.darksky.org/ida/key/waste.html>, 2001 年 5 月, 未发表
- 7 Sullivan W T. ([http://www.Jb.man.ac.UK/iaucon50/s196 rep.html](http://www.Jb.man.ac.UK/iaucon50/s196_rep.html)) 2001 年 5 月, 未发表
- 8 <http://www.darksky.org/ida/key/econ.html>, 2001 年 5 月, 未发表
- 9 Walker M F. Publ. Astron. Soc. Pac., 1973, 85: 508.
- 10 Walker M F. In: Crawford, D L ed. Light Pollution, Radio Interference and Space Debris, Astron. Soc. Pac. Conf. Ser., 1991, 17: 52
- 11 Schreuder D A. CIE-Journal, 1987, 6 (2): 35
- 12 Francisco J Diaz-Castro. New Astronomy Reviews, 1989, 42: 509
- 13 <http://www.ctio.noao.edu/light-pollotion/english/index.html>, 2001 年 5 月, 未发表
- 14 Schwarz H E, NAOO Newscetters, 2001, 65: 25
- 15 Schreuder D A. CIE Publication, 2001, 126: 1
- 16 Crawford D L. In: Drawford D L ed. Light Pollution, radio interference and space debris Astron. Soc. Pac. Conf. Ser., 1991. 17: 7

## Light Pollution and Protection of Optical Telescope Sites

Tan Huisong    Cen Xuefen

(Yunnan Observatory, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011)

### Abstract

There is now great investment in astronomy as a science in China and other countries. We are currently looking forward to the fruits of the astronomical instruments. Unfortunately the light pollution influences optical/infrared observations on the contrast and the signal-to-noise ratio. Astronomy has been retreated to mountains, deserts and into space. The only way is human being aiming for good lighting environments and protecting the telescope sites. The Commission Internationale de'Eclairage, the International Dark-sky Association, the IAU Commission 21(The Light of the Night Sky) and 50(Protection of Existing and Potential Observatory Sites) have done many efforts in this field to control light pollution. Some countries (Japan, Chile) or local (Tucson, USA; Canarias, Spain) governments have issued guidelines for light pollution to keep dark sky for observatories. These guidelines could be used as references in China. If we do not solve the question of light pollution, the merely a few acceptable observatories in China have to be retreated.

**Key words** light pollution—sky brightness—optical oservatories—Protection of Optical telescope sites