

# 半干旱地区太阳光度计定标方法的研究

仝纪龙 赵艳茹 赵志远 张文煜

(兰州大学大气科学学院甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要** 选用兰州大学半干旱气候与环境观测站 2006 年 9 月 1 日至 2007 年 8 月 31 日的光度计观测资料, 以及同期的地面常规观测资料、卫星资料和探空资料, 结合冗长绝对法对太阳光度计进行 Langley 定标。结果表明: 选用某一天认为符合条件的观测日定标, 其结果误差可能会较大; 对各波段的多日定标值直接取平均, 计算结果与真值的差别仍会较大; 采用期望平均法和拟合平均法检验筛选后, 日定标值的离散程度会显著减小, 标准差减小了 70%~90%; 拟合平均法剔除偏离较大的散点后定标值的平均值更接近于真值。

**关键词** 探测器; 定标; 期望平均法; 拟合平均法

**中图分类号** P415.3+4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.1201001

## Research on Calibration Method of Sunphotometer in Semi-Arid Areas

Tong Jilong Zhao Yanru Zhao Zhiyuan Zhang Wenyu

(Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract** Langley plot method and long-winded absolute method are used to calibrate sunphotometer. It is based on the observational data of sunphotometer obtained from the Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University (SACOL) during the period from 1 September, 2006 to 31 August, 2007, homochronous surface conventional observation data, satellite data and radiosonde data. The results show that the error of scaling value may be large when selecting one eligible observation day. If the scaling value of several days in each band is averaged, the calibrate error between calculated and truth value will be still large. If the method of expected mean method and fitted mean method are screened, the scatter degree of daily scaling value will strikingly decrease and the standard deviation can be reduced by 70%~90%; After spots which deviate relatively distantly are deleted by using fitted mean method, the average scaling value is close to the truth value.

**Key words** detectors; calibration; expected mean method; fitted mean method

**OCIS codes** 010.1290; 010.0280; 040.5160; 120.1680

## 1 引 言

大气气溶胶是由大气介质和混合于其中的固体或液体颗粒物组成的体系, 能够直接和间接影响地气系统的能量收支平衡, 对于气候变化的作用也不容忽视<sup>[1]</sup>。气溶胶是城市污染的主要成分, 也是气候评估中最大的不确定因子<sup>[2-4]</sup>。太阳光度计是目前探测大气气溶胶的一个常用且有效的监测仪器, 利用它不仅能够研究气溶胶的光学特性、大气柱可降水量、卫星遥感反演的气溶胶产品校验, 为进一步

评估气候中气溶胶的强迫效应提供必要的基础信息<sup>[5]</sup>, 而且可以获取实时、长期的观测数据。太阳光度计作为测量大气光学特性的基本仪器之一, 其精度在气溶胶遥感测量中起着关键作用。实验结果表明, 光度计进行一段时间的工作后, 仪器的定标值会产生程度不同的飘移, 影响定标系数稳定性的原因在于仪器的光学滤光片镀膜存在衰减变化, 并且其镀膜的光学特性也会受到所处环境温度的影响。故受仪器参数不稳定的影响, 其仪器标定常数将是一

收稿日期: 2014-06-17; 收到修改稿日期: 2014-08-07

基金项目: 国家杰出青年科学基金(41225018)、国家 973 计划(2012CB956200)

作者简介: 仝纪龙(1977—), 男, 博士, 副教授, 主要从事大气探测与大气环境方面的研究。E-mail: 22399@lzu.edu.cn

个变量,这对于观测数据订正将会造成一定程度的困难。对仪器进行定期定标是利用光度计进行科学观测与研究的一项重要准备工作,仪器定标值的准确与否直接影响着观测数据的准确性<sup>[6-13]</sup>。目前光度计的定标方法主要是 Langley 定标法。Langley 法属于外场定标,对于日照、海拔、大气、气象条件有严格要求<sup>[14]</sup>。

兰州大学半干旱气候与环境观测站是半干旱地区的代表性观测站,本文对光度计在该区域采用 Langley 法定标结果及不同观测日获取的定标值稳定度、精度进行了研究,并在此基础上提出了改进后的定标方法。

## 2 定标方法与数据来源

根据 Lambert-Beer 定律,整层大气不同波段的光学厚度由(1)式计算得出:

$$\tau(\lambda) = -\frac{1}{m(\theta)} \ln \frac{V(\lambda)}{\alpha V_0(\lambda)}, \quad (1)$$

对(1)式整理后可以得到

$$\ln[V(\lambda)/\alpha] = \ln[V_0(\lambda)] - m(\theta) \cdot \tau(\lambda), \quad (2)$$

式中  $V(\lambda)$  为太阳光度计测值,  $V_0(\lambda)$  为光度计定标常数,  $\tau(\lambda)$  为整层大气光学厚度,  $\alpha$  为日地距离因子,假设大气状况稳定,即  $\tau(\lambda)$  不变的情况下,  $m(\theta)$  和  $\ln[V(\lambda)/\alpha]$  呈线性关系,根据测得的  $V(\lambda)$  和大气质量数  $m(\theta)$ ,利用最小二乘法拟合直线在  $y$  轴截距,即为  $\ln[V_0(\lambda)]$ ,可以得到定标值  $V_0(\lambda)$ ,这即为 Langley 定标法。结合冗长绝对法,实际定标时可以利用观测期间的资料,从中挑选较为理想的干洁天气,进行首次拟合。将首次的定标结果代入晴好资料求解各波段  $\lambda$  的光学厚度,这样就可以每次依据波段  $\lambda$  处气溶胶的光学厚度小于某一范围来选取更为理想的实测资料,即逐次排除离散数据点,多次反复拟合,逐步逼近真实定标值,最后直到定标值相对误差小于 2% 时为止,即为所求的定标值<sup>[8-9,13]</sup>。

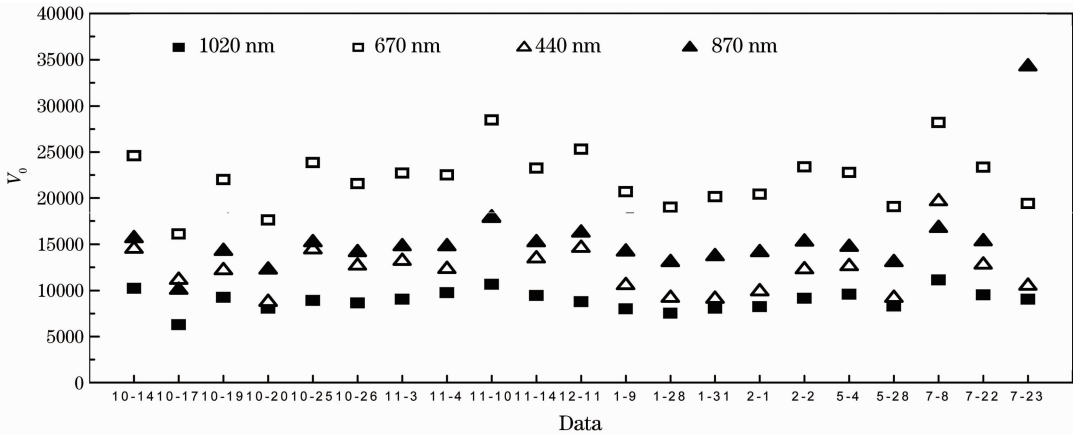


图 1 各波段定标值分布特征图

Fig. 1 Distributional characteristics of scaling values in each band

期望平均法通过计算样本定标值的峰度和偏斜度,进行满足置信度为 0.95 的正态分布检验,以确定样本总体是否符合正态分布;为尽可能地逼近真值,先用最大似然估计法求出  $\mu$  和  $\sigma^2$  的置信度为 0.95 的置信区间,将在区间外的定标值剔除并对区间内的定标值取平均,则该平均值可认为是所求的精确定标值。标准差为  $\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$ ,方差为  $D(x) =$

$$E\{[x - E(x)]^2\}, \text{数学期望为 } E(x) = \sum_{k=1}^{\infty} x_k p_k, \text{峰度}$$

$$\text{为 } \nu = E\left\{\left[\frac{x - E(x)}{\sqrt{D(x)}}\right]^4\right\}, \text{偏斜度为 } \nu =$$

$$E\left\{\left[\frac{x - E(x)}{\sqrt{D(x)}}\right]^3\right\}.$$

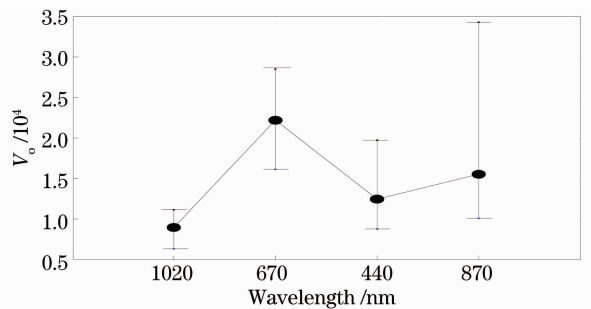


图 2 各波段定标值的变化区间分布

Fig. 2 Changing interval distributions of scaling values in each band

拟合平均法:对样本定标值用最小二乘法进行拟合,  $x$  轴为样本序号、 $y$  轴为样本定标值,则在理

想情况下拟合直线的斜率应当为零,而该直线在  $y$  轴上的截距应当为真实定标值;但是实际上的样本值各不相同,所以直线的斜率一般不为零,而是近似于零,这样在样本区间范围内,直线对应的计算解也

存在一个范围,为更精确地求得定标值,可将解范围外的样本定标值剔除,而将解范围内的样本定标值取平均,则该平均值可认为是所求的精确定标值。

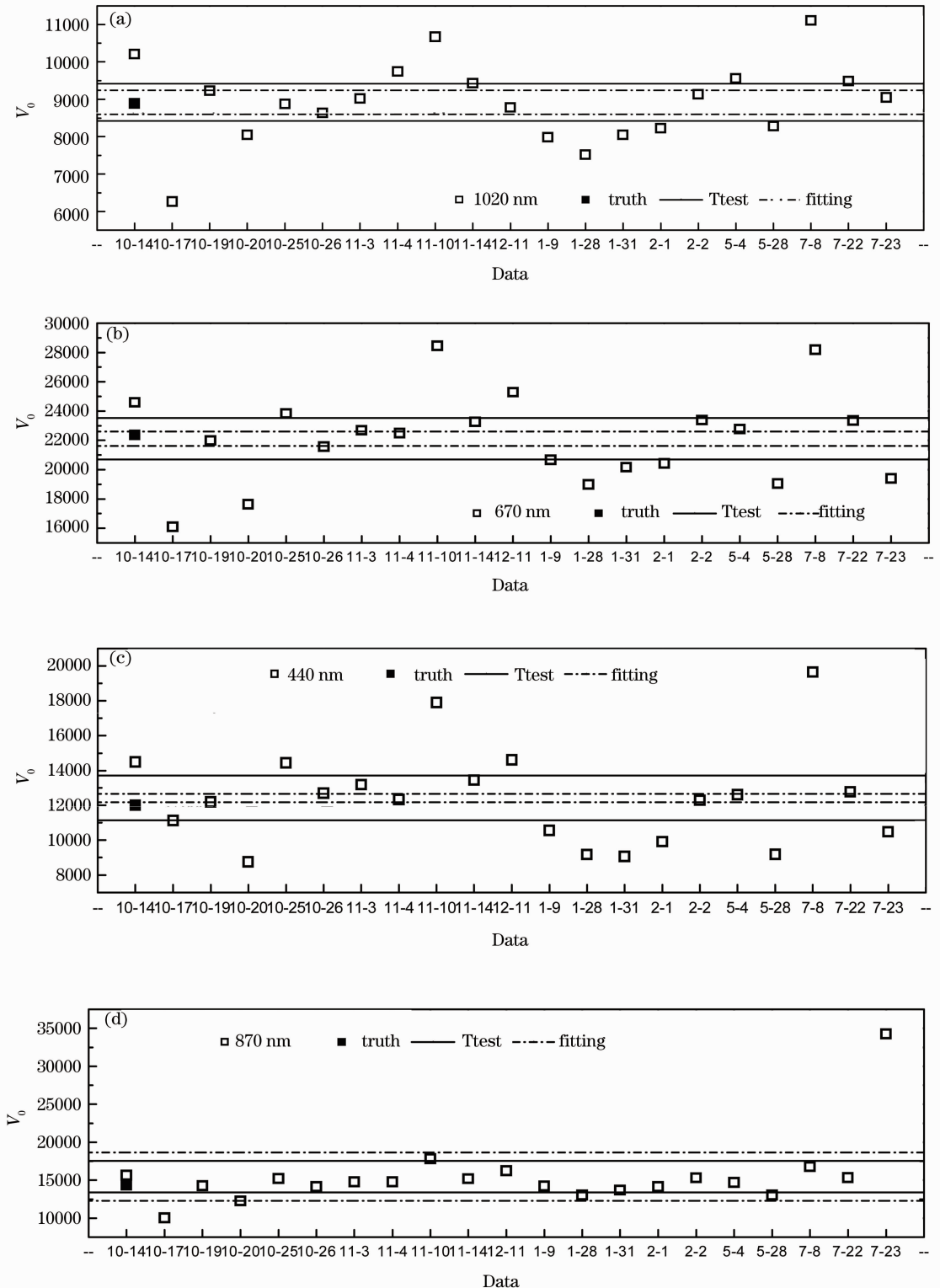


图3 晴好天气各波段的定标值及其定标值检验筛选  
Fig. 3 Scaling values in each band on a fine day and their tests

兰州大学半干旱气候与环境观测站是半干旱地区的代表性观测站,地基观测仪器 CIMEL 太阳光度计已加入 AERONET,通过 NASA 统一定标(定标值可以看作该台仪器的真值)。选用测站 2006 年 9 月 1 日至 2007 年 8 月 31 日的光度计观测资料,以及同期的地面常规观测资料、卫星资料和探空资料,对其进行了计算和统计分析,得到能够基本满足天气条件稳定、天空无云、大气清洁的天数 21 天,占全年天数的 5.75%。

### 3 定标结果及分析

对光度计采用选定的 21 天的观测资料,结合冗长绝对法进行 Langley 定标,图 1 是计算得到的各个波段 21 天的定标值散点图,图 2 为各波段定标值的变化区间分布。

从图 1 中可以看出,不同日期所得的定标值存在着差异。其中 1020 nm 波段的日定标值最集中,偏离幅度最小,说明该波段定标值最不容易受天气

状况的影响;亦可看出 870 nm 波段日定标值离散程度最大,偏离幅度也最大,说明该波段定标值受天气状况的影响最大。日定标值离散程度随波段增大的顺序为:1020、440、670、870 nm。

从以上分析看到,选用某一天认为符合条件的观测日,采用冗长绝对法进行 Langley 定标,其误差可能会较大。对各波段的多日定标值取平均,发现计算结果与真值的差别仍然较大。这也说明使用 Langley 法对光度计进行定标时,选取不同日期的数据进行计算,所得到的定标值是变化的,显然这一结果对观测数据的订正将构成不利影响。

为了获得待标定仪器的最佳定标值,采用期望平均法和拟合平均法两种方法进行定标值的检验筛选,结果见图 3。图 3 中实线所在的范围是期望平均法得到的最佳定标范围,虚线所在的范围是拟合平均法得到的最佳定标范围。图 4 是数据检验筛选前后各波段定标值的平均值及其标准差。

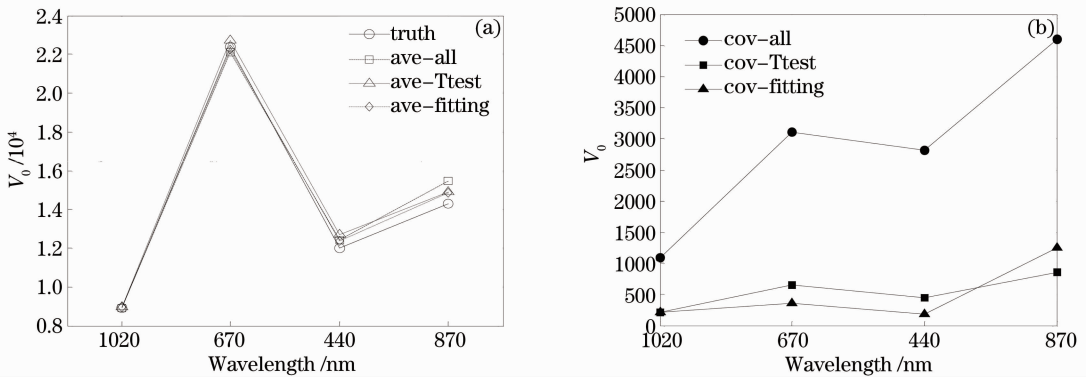


图 4 数据检验筛选前后各波段定标值的平均值和标准差

Fig. 4 Average value in each band and the standard deviation of scaling values between pre- and post-screening

图 4 中能够明显看到,经过再次筛选后得到的定标值的平均值更接近真值。拟合平均法剔除偏离较大的散点后的效果比期望平均法剔除偏离较大的散点后的效果好。其中 670 nm、440 nm 波段的定标值经拟合平均法筛选的效果比期望平均法筛选的效果要好,但是 870 nm 波段处则是期望平均法筛选后的效果较好。1020 nm 波段标准差从 1088.8 降到 205.7,离散程度明显降低;670 nm 波段处由 3111.5 降到期望平均法筛选后的 657.7 及拟合平均法筛选后的 358.1;440 nm 波段处由 2811.9 减小到期望平均法筛选后的 440.6 及拟合平均法筛选后的 179.6;870 nm 处则由 4603.0 减小到期望平均法筛选后的 852.6 及拟合平均法筛选后的 1244.9。

各个波段在进行数据检验筛选后标准差都减小了 70%~90%,且定标值更接近于真值,说明数据的再次检验筛选对这三个波段定标值的确定有很大影响。

### 4 结 论

通过以上的分析可以看到,太阳光度计受仪器参数不稳定的影响,其仪器标定常数是一个变量,选用某一天认为符合条件的观测日结合冗长绝对法进行 Langley 定标,其结果可能误差会较大;对各波段的多日定标值直接取平均,计算结果与真值的差别仍会较大;但是,如果选用多个认为符合条件的观测日的数据结合冗长绝对法进行 Langley 定标,再考

考虑采用期望平均法和拟合平均法检验筛选, 日定标值的离散程度会显著减小, 标准差会减小 70%~90%; 拟合平均法剔除偏离较大的散点后定标值的平均值更接近于真值。

**致谢** 感谢兰州大学半干旱气候与环境观测站提供数据支持。

### 参 考 文 献

- 1 Luo Yunfeng, Zhou Xiujie, Li Weiliang. Advances in the study of atmospheric aerosol radiative forcing and climate change [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(6): 572-581.  
罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(6): 572-581.
- 2 Yang Honglong, Lu Chao, Liu Aiming, *et al.*. Analysis of aerosol optical properties and sources at shenzhen [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(12): 1201003.  
杨红龙, 卢超, 刘爱明, 等. 深圳地区气溶胶的光学特征及来源分析[J]. *光学学报*, 2013, 33(12): 1201003.
- 3 Zhang Zhaoyang, Su Lin, Chen Liangfu. Retrieval and analysis of aerosol lidar ratio at several typical regions in China [J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(5): 0513002.  
张朝阳, 苏林, 陈良富. 中国典型地区宽溶胶激光雷达反演与分析[J]. *中国激光*, 2013, 40(5): 0513002.
- 4 Bo Guangyu, Liu Dong, Wang Bangxin, *et al.*. Two-wavelength polarization airborne lidar for observation of aerosol and cloud [J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(10): 1014002.  
伯广宇, 刘东, 刘邦新, 等. 控测云和气溶胶的机载双波长偏振激光雷达[J]. *中国激光*, 2012, 39(10): 1014002.
- 5 Holben B N, Eck T F, Slutsker I, *et al.*. AERONET: a federated instrument network and data archive for aerosol characterization [J]. *Remote Sensor Environ*, 1998, 66(1): 1-16.
- 6 Zhang Junhua, Liu Li, Mao Jietai. Remote sensing of aerosol optical properties with multi-spectral sun photometer in the Damxung region, Tibetan plateau [J]. *Chinese J Atmospheric Sciences*, 2000, 24(4): 549-558.  
张军华, 刘莉, 毛节泰. 地基多波段遥感西藏当雄地区气溶胶光学特性[J]. *大气科学*, 2000, 24(4): 549-558.
- 7 Zhang Junhua, Wang Meihua, Mao Jietai. Error analysis and

- correction for multi-wavelength sun-photometer aerosol remote sensing [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2000, 24(6): 855-859.
- 张军华, 王美华, 毛节泰. 多波段光度计遥感气溶胶误差分析及订正[J]. *大气科学*, 2000, 24(6): 855-859.
- 8 Zhang Wenyu, Xin Jinyuan, Yuan Jiuyi, *et al.*. Multi-band remote sensing study on aerosol optical depth in Tengger desert [J]. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(6): 613-617.  
张文煜, 辛金元, 袁九毅, 等. 腾格里沙漠气溶胶光学厚度多波段遥感研究[J]. *高原气象*, 2003, 22(6): 613-617.
  - 9 Gao Runxiang, Zhang Wenyu. Ground surface observation of aerosol optical thickness over the west of Bohai sea region [J]. *Bimonthly of Xinjiang Meteorology*, 2004, 27(6): 19-25.  
高润祥, 张文煜. 渤海西岸气溶胶光学厚度测量研究[J]. *新疆气象*, 2004, 27(6): 19-25.
  - 10 Liu Yujie, Niu Shengjie, Zheng Youfei. Optical depth characteristics of Yinchuan atmospheric aerosols based on the CE-318 sun tracking spectrophotometer data [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2004, 27(5): 615-622.  
刘玉杰, 牛生杰, 郑有飞. 用 CE-318 太阳光度计资料研究银川地区气溶胶光学厚度特性[J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27(5): 615-622.
  - 11 Ma Jinji, Yang Shizhi, Zhang Yuping. Measurements and study of aerosol optical characterization over Xiamen sea region [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2005, 22(3): 473-476.  
麻金继, 杨世植, 张玉平. 厦门海域气溶胶光学特性的观测研究[J]. *量子电子学报*, 2005, 22(3): 473-476.
  - 12 Xiu Peng, Liu Yuguang. Calibration of sunphotometer and the optical measurement in Bohai sea of China [J]. *High Technology Letters*, 2005, 15(7): 85-89.  
修鹏, 刘玉光. 太阳光谱仪的定标技术与渤海海域的光学测量[J]. *高技术通讯*, 2005, 15(7): 85-89.
  - 13 Xin Jinyuan, Wang Yuesi, Li Zhanqing, *et al.*. Introduction and calibration of the Chinese sun hazemeter network [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(9): 1697-1702.  
辛金元, 王跃思, 李占清, 等. 中国地区太阳分光辐射观测网的建立与仪器标定[J]. *环境科学*, 2006, 27(9): 1697-1702.
  - 14 Zhai Wenchao, Li Jianjun, Zheng Xiaobing, *et al.*. Research on method of calibrating sun channels of sun radiometers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(4): 0412004.  
翟文超, 李健军, 郑小兵, 等. 太阳辐射计直射通道实验室定标方法研究[J]. *光学学报*, 2012, 32(4): 0412004.

栏目编辑: 何卓铭