

文章编号: 1007-5461(2004)04-0415-04

瞬时光谱辐照度测量与计算

李 轩, 易维宁, 王先华, 吴浩宇, 乔延利

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 描述了光谱辐照度测量与计算的方法, 给出了 2002 年 12 月 11 日合肥辐射校正试验场和 2000 年 9 月 4 日敦煌辐射校正场光谱照度计数据的处理结果。通过这种方法可获得瞬时漫射照度、总照度值、大气光学厚度。

关键词: 光度学; 光谱照度计; 定标; 绝对照度

中图分类号: O432.2; P414.5 **文献标识码:** A

1 引 言

在遥感信息校正过程中, 需要应用天空漫射照度、太阳直射照度及透过率等光学参数。地面的大气光学参数的测量不但可以直接给出整层大气的光学特性, 而且也为大气计算模式的正确选择提供了依据。在地面目标的双向反射特性研究中, 可以通过确定天空漫射照度及太阳直射照度, 对辐射条件的影响做出精确的修正^[1]。常用的 Langley-plot 法, 需要一个较为稳定的大气过程, 通过太阳辐射计不断地跟踪太阳来测量并最终获得如大气光学厚度等参数。天气的变化对该方法的结果影响较大, 即使可以利用定标参数来获得瞬时大气透过参数, 但也难得到天空散射量值。另一种方法是利用光谱照度计来测量, 要求在一个测量周期内 (约 10 秒钟) 大气比较稳定, 每个测量过程分为两部分, 包括用挡板挡掉太阳直射的辐照度和在无遮挡情况下的总辐照度, 后者和前者之差即是太阳直射光谱辐照度。当用光谱照度计进行测量时, 相对于太阳辐射计来说, 光谱照度计的实验室绝对定标相对容易得多。光谱照度计绝对定标后可以瞬时获得总照度、天空漫射照度、太阳直射照度、大气光学厚度等大气光学参数。

本文中我们在对 ISI781VIR 光谱照度计进行实验室绝对定标后, 分别于 2000 年 9 月 4 日和 2002 年 12 月 11 日在敦煌、合肥辐射校正场进行试验, 计算出测量当天某一时间点的绝对漫射照度值、绝对太阳直射照度值、大气光学厚度和漫射 / 总照度比等参数。

2 光谱照度计及其定标

2.1 测量原理

ISI781VIR 光谱照度计是中国科学院安徽光机所研制的仪器, ISI781VIR 是一种从可见到短波红外波段的光谱照度计, 可见光波段从 0.4~1.05 μm , 光谱分辨率为 20 nm^[2]。

仪器由光学头部和控制箱两部分组成, 其中光学头部内包含相互独立的可见和红外测量单元。2 π 立体角半球空间的天空散射光经聚四氟乙烯材料的漫透射窗口, 入射到可见和红外测量单元的入射狭缝上; 采用固定光栅分光和硅光二级管线阵探测器测量可见波段光谱照度, 在线阵驱动电路和读出电路作用下光谱信号被串行扫描读出, 经前放和程控放大输出至控制箱进行 AD 模数转换; 采用旋转光栅和硫化铅 (PbS) 探测器测量红外光谱照度, 光谱扫描信号经前放、程控和锁相放大输出至控制箱; 仪器先测可见后测红外, 为自动增益设置时以可见波段光谱辐射强度为参考自动调节仪器增益。

由于仪器测得的采样数据不仅与光谱照度值成正比, 而且与仪器本身的光谱响应率有关, 经绝对辐射定标后, 由采样曲线数据可计算出相应的光谱照度值^[3]。

收稿日期: 2003-05-06; 修改日期: 2003-08-06

E-mail: xuanli@aiofm.ac.cn

2.2 定标原理

响应度是一个仪器系统, 包括光学、探测及放大记录等, 对输入量转换的综合表征值。定标即建立在给定入射能量时, 仪器所对应的输出关系^[4]。响应度定标是在标准灯定标系统上进行的, 使仪器的探测头与标准灯灯丝在一条直线上, 打开标准灯预热至稳定状态, 连续测量数次。

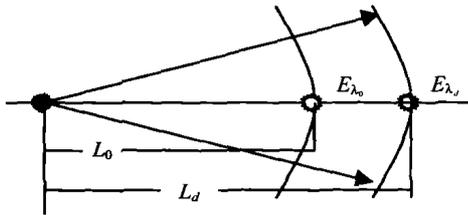


Fig.1 Schematic of calibration system

由图 1 知 E_{λ_d} 与 E_{λ_0} 有如下式的关系

$$E_{\lambda_d} = \left(\frac{l_0}{l_d}\right)^2 E_{\lambda_0}, \quad (1)$$

l_0 、 l_d 为测量时仪器探测头距标准灯的距离, E_{λ_0} 、 E_{λ_d} 分别是距离为 l_0 、 l_d 处的标准灯在波长 λ 处的照度值, E_{λ_0} 是由国家计量院所确定的在距离 l_0 处波长 λ 的标准照度值, 应用中 l_d 必须大于 l_0 。辐照度的响应度由下式计算:

$$R_E(\lambda) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DN_{\lambda_i}}{E_{\lambda_d}} \quad \text{单位: } DN/\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}, \quad (2)$$

DN 为仪器示值。绝对辐照度值由下式计算^[1]:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{vec}} + E_{\text{diff}} = \frac{DN_{\text{tot}}(\lambda) - DN_{\text{dif}}(\lambda)}{R_E(\lambda) \cos \theta} + \frac{DN_{\text{dif}}(\lambda)}{R_E(\lambda)}, \quad (3)$$

E_{tot} 是仪器测量值对应的绝对照度值, E_{vec} 是绝对直射照度值, E_{diff} 是绝对漫射照度值, $DN_{\text{tot}}(\lambda)$ 和 $DN_{\text{dif}}(\lambda)$ 是仪器对总照度和天空漫射照度的测量值, θ 为太阳天顶角。大气光学厚度的表达式如下^[5]:

$$\ln(V_{\text{tot}} - V_{\text{diff}}) + \ln(\sec \theta_s) = \ln V_0(\lambda) - m\tau(\lambda), \quad (4)$$

V_{tot} 是与总辐照度对应的电压值, V_{diff} 是与天空漫射对应的电压值, θ_s 是太阳天顶角, m 是大气质量。

光谱照度计在经过绝对辐射定标以后, 通过测量不同时刻即不同大气质量的地面直射电压响应值, 就可以利用上式求出瞬时的大气光学厚度。

3 试验数据处理

3.1 实验室定标

仪器的整个定标过程在安光所遥感部辐射定标实验室进行, 实验室顶棚涂无光黑色涂料, 四壁挂有黑色幔帘, 洁净度控制在 10 万级, 保证杂散光作用小于 0.5%; 实验进行当中, 实验室温度在 20~23 摄氏度范围, 湿度 60% 以下。

3.1.1 定标设置

标准照度灯 F09, 为国家计量院标定的一级传递标准, 供电电源稳定度优于 0.02%。

3.1.2 定标过程

在定标时 ISI781VIR 光谱照度计的照度头与标准灯相距 650 mm, 并且照度头与灯丝在一条直线上。为了避免杂散光的影响, 我们在照度头和标准灯之间加上光栏。固定仪器参数; 连续测量数次; 改变仪器参数重复测量。

3.1.3 定标结果

根据 (1) 式, 我们对实验室定标数据进行处理, 得到 ISI781VIR 光谱照度计的辐照度响应度曲线如图 2 所示。

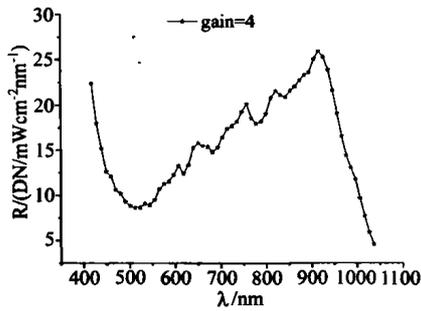


Fig.2 Response curve of ISI781VIR

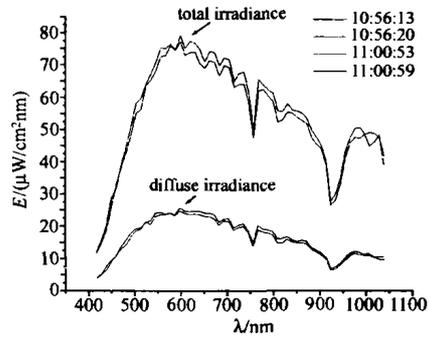


Fig.3 Total irradiance and diffuse irradiance

3.2 测量结果

我们利用实验室定标的响应度对 2002 年 12 月 11 日合肥辐射校正场测量的数据进行处理。得到 11 点前后整个波段的合肥场的瞬时绝对漫射照度值和瞬时绝对总照度值, 结果如图 3 所示。

利用试验数据我们可以得到一个波段 (如 630.10 nm) 在每个测量时刻的绝对漫射照度值、绝对直射照度值和漫射 / 总照度比, 如表 1 所示。12 月 11 日的前几天合肥地区有大雾天气, 在测量当天是晴天, 但天气变化比较快, 特别是在 11 点前后。由表中的直射照度可以看出在 10:30 点以后太阳的绝对直射照度逐渐减少, 并且漫射 / 总照度比逐渐增加, 说明在 10:30 点以后天空的散射增强, 大气透过率降低。

Table 1 Measured irradiance at 630.10 nm (Unit: $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \text{ nm}$)

Time	9:55	10:20	10:30	10:40	10:50	11:05	11:26	11:32
E_{diff}	17.62	19.72	20.92	23.77	24.52	27.29	31.49	31.49
E_{vec}	46.41	46.09	50.51	43.49	44.92	34.19	20.22	15.47

我们利用 6S 可以计算地面辐照度、卫星高度的辐亮度和反射率、球面反照率、总气溶胶光学厚度、大气反射率等参数。6S 从总体上主要包括三个模块: 参数输入模块、运算模块、结果输出。在本文中我们把几何条件、大气模式参数、气溶胶模式数据、光谱条件等参数输入 6S 来计算 12 月 11 日 10:00~11:00 的地面总照度。表 2 给出了在波段 672 nm 处测量值计算的绝对总辐照度与利用 6S 计算出的总照度值, 从表中可看出两者相差不是很大。

Table 2 Total Irradiance at 672 nm (Unit: $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \text{ nm}$)

Time	measured E_{tot}	E_{tot} of Calculated by 6S	Error
10:00	56.65	53.68	5.5%
10:55	73.86	76.92	-3.9%
11:00	70.69	65.54	7.8%

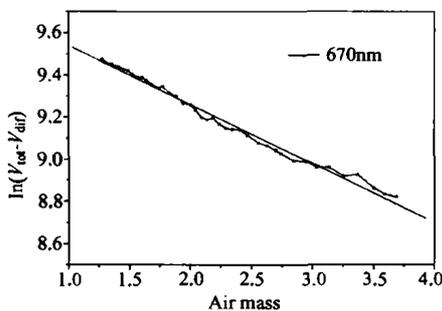


Fig.4 Fitted optical depth at 670 nm

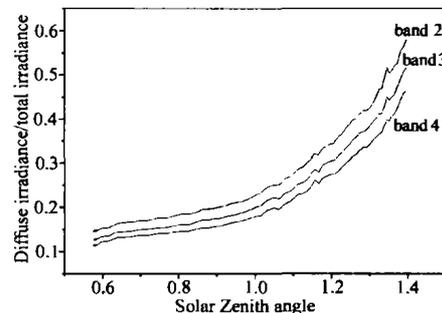


Fig.5 Diffuse/Total irradiance ratio

我们利用 2000 年 9 月 4 日光谱照度计在敦煌辐射校正场测得的数据和公式 (4), 得到了 670 nm 波段的拟合大气光学厚度, 如图 4 所示。由图可见, 测量当天天气较稳定。图中的点表示测量数据, 斜率即使

大气光学厚度。图 5 是利用光谱照度计在这天测的三个波段的漫射照度 / 总照度比随太阳天顶角的变化曲线。漫射照度 / 总照度比随太阳天顶角的增加呈上升趋势。天空漫射 / 总照度比反映了大气中的散射情况, 比值越大表明大气散射越强^[6]。

3.3 误差分析

1) 利用 6S 来计算辐照度, 由于在参数的输入过程中有许多参数是假设的, 因而 6S 本身的误差就有 2%。2) 在测量过程中的误差, 由于我们的这个测量过程要在晴朗、稳定的天气条件下进行的, 因而天气的稍微变化都会引起误差。3) 实验室定标误差和使用测量仪器本身的误差。4) 在晴朗、稳定的天气条件下, 利用太阳照度计测量大气参数的总误差小于 6%。

4 结 语

本文描述了瞬时大气光学参数的测量, 从方法上讲是可行的, 结果反映了我们测量当天合肥和敦煌的大气变化情况, 让我们了解某一时间的大气参数。并可以对利用大气透过率、光学厚度等参数和传输模式计算对比辐射传输模式方法的验证。

参考文献:

- [1] Zhang L M, et al. The integrating sphere method for measuring optical atmosphere parameter [C] // *Symposium of Science Research at the China Radiometric Calibration Test Site for Remote Sensing Satellite Sensor*. Edited by H. Li. Beijing: Ocean Publishing Company, 2001, 213-217.
- [2] Zhang D Y, Qiao Y L, Yi W N. The radiance-based method research of experimentation on radiometric calibration site [J]. *Optoelectronic Technology and Information* (光电子技术与信息), 2002, (3): 9-13 (in Chinese).
- [3] Zhang Y J, Hong J, Huang L, et al. VIR981 Spectral radiometer [C] // *Symposium of Science Research at the China Radiometric Calibration Test Site for Remote Sensing Satellite Sensor*. Edited by H. Li. Beijing: Ocean Publishing Company, 2001, 100-110.
- [4] The criterion of radiometric calibration laboratory [S]. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences. 1990.
- [5] Wang X H, et al. A method for reverse of optical depth based on reference panel [C] // *Symposium of Science Research at the China Radiometric Calibration Test Site for Remote Sensing Satellite Sensor*, 2001, 202-204.
- [6] Biggar S F. *In-flight Methods for Satellite Sensor Absolute Radiometric Calibration* [D]. Dissertation of Doctor of the University of Arizona, Tucson, Arizona USA: 1990.

Measurement and calculation of instantaneous spectral irradiance

LI Xuan, YI Wei-ning, WANG Xian-hua, WU Hao-yu, QIAO Yan-li

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The method of measuring and calculating instantaneous spectral irradiance was discussed. After absolute calibration of instrument, we used calibration coefficient to obtain instantaneous optical atmosphere parameter at Hefei on December 11, 2002 and Dunhuang on September 4, 2000. We calculated absolute diffuse irradiance, total irradiance and optical depth by this method.

Key words: photometry; spectral radiometer; calibration; absolute irradiance

作者简介: 李 轩 (1977 -), 女, 中国科学院安徽光学精密机械研究所硕士, 现从事遥感应用基础研究。