

文章编号: 1672-8785(2016)01-0031-05

基于野外地物光谱时间序列的 反射率测量方法

董 毅¹ 何明元¹ 吕佳彦¹ 安丰增²

(1. 解放军理工大学气象海洋学院, 江苏南京 211101 ;

2. 94561 部队, 山东新泰 271200)

摘 要: 星载光学传感器在轨同步定标需要地面同步光谱测量作为数据支撑, 准确的地物反射率是得到高精度定标结果的重要前提之一。传统的野外地面反射率测量采用单光谱仪法依次对目标及参考板进行测量。在辐射条件连续剧烈变化的情况下, 传统测量方法无法保证目标及参考板辐射条件的一致性。利用双光谱仪法进行野外地物反射率时间序列测量, 避免了传统方法测量中可能出现的辐射条件不一致问题。将测量结果与单光谱仪法比较, 二者相关系数达到 0.998, 而且双光谱仪法反射率曲线更符合实际光谱, 从而验证了该方法的可行性。

关键词: ASD 光谱仪; 目标反射率; 敦煌辐射校正场; 光谱时间序列

中图分类号: TH744.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.01.006

Reflectivity Measurement Method Based on Field Spectral-time Series

DONG Yi¹, HE Ming-yuan¹, LV Jia-yan¹, AN Feng-zeng²

(1. Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology,
Nanjing 211101, China ;

2. Unit 94561, Xingtai 271200, China)

Abstract: The in-orbit synchronous calibration of a spaceborne optical sensor needs to use the ground synchronous spectral measurement as the data support. The accurate surface reflectance is one of the important prerequisites for obtaining high-precision calibration results. The traditional field ground reflectance measurement methods use a single spectrometer to measure a target and a reference panel in turn. In the case of dramatic irradiation change, the traditional measurement methods can not keep the radiation condition of the target and reference panel to be consistent. By using a dual-spectrometer method to measure the reflectance-time series of the ground objects in the field, the problem of inconsistent radiation condition occurred possibly in the traditional methods is avoided. By comparing the measurement result of the dual-spectrometer method with that of the single-spectrometer method, the correlation coefficient is up to 0.998. Moreover, the reflectance curve obtained by the dual-spectrometer method is closer to the actual spectrum. Thus, the feasibility of the dual-spectrometer method is verified.

Key words: ASD spectrometer; target reflectance; Dunhuang radiation calibration; spectral-time series

收稿日期: 2015-12-21

作者简介: 董毅(1991-), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事卫星资料反演与辐射定标研究。

E-mail:dongy1991@163.com

0 引言

近年来,随着遥感技术的快速发展、遥感应用的深入研究以及我国资源、海洋、气象、环境等一系列卫星的发射,各行各业对遥感定量化的需求越来越迫切^[1]。卫星在发射及运行过程中,由于自身仪器元件老化及外部环境变化等因素,仪器的灵敏度会下降,传感器的特性会发生改变,这就直接影响了卫星遥感数据定量化的精度和可靠性^[2]。作为遥感定量化的基础,辐射定标可以用来实时监测传感器的特性,及时发现并纠正传感器辐射响应的变化。场地定标是目前绝大多数遥感卫星的可见光和近红外通道传感器所采用的定标方法,其原理是在卫星成像的同时同步测量地面的辐射特性及其大气参数,实现传感器的辐射定标。目前常用的方法是美国亚利桑那大学遥感组以 Slater 教授为代表的科学家提出并应用的反射率基法、辐照度基法和辐亮度基法^[3]。其中反射率基法是目前最常用、最有效的在轨辐射定标方法。准确的地表反射率结果是反射率基法在轨辐射定标的前提之一。利用便携式光谱仪测量反射率的方法主要有单光谱仪法和双光谱仪法^[4-7]。计璐艳等在 2013 年提出了室内条件下的反射率时间序列测量方法及处理流程^[8]。

敦煌辐射校正场是我国主要的卫星在轨定标场地,具有大气条件稳定、目标均一、地形平坦和朗伯性较好等优势。场地的反射率位于卫星遥感器动态范围的中间部分,适用于可见光和近红外传感器的在轨绝对辐射定标,可以满足大多数卫星遥感器的在轨辐射校正^[9]。该场地已得到国际上的认可,已成功地对 CBERS 系列卫星、HJ 系列卫星、FY 系列卫星、北京 1 号卫星和 HY-1 卫星等多颗中国卫星进行了绝对辐射定标^[10]。

本文利用 4 台 ASD 光谱仪和 2 块漫反射参考板,将敦煌辐射校正场划分为北部高反区和中心区。采用双光谱仪法分别对这两个区域进行了野外地物反射率时间序列测量,并在北部高

反区采用单光谱仪法进行了对比试验,对比结果验证了双光谱仪法的可行性。

1 测量场地和测量仪器

1.1 敦煌辐射校正场

敦煌辐射校正场位于甘肃省敦煌市的西南面,距敦煌市约 17 km,场地东西长约 60 km,南北宽约 40 km。场地较平坦,中心区地表主要由细沙、沙砾和少量沙石组成,高反区的地表主要为粉末状盐碱土。场区属于中纬度干旱大陆气候,全年温度变化较大,降水量较少,地表基本无植被覆盖,从而减少了植被、降水等外界因素的影响,较适合作为辐射校正场^[11]。本次试验分别测量北部高反区和中心区的可见光和近红外地表反射率光谱曲线。

1.2 ASD 光谱仪

试验采用美国 ASD (Analytical Spectral Devices) 公司生产的 ASD FieldSpec Pro FR (简称 ASD FR) 全光谱便携式光谱分析仪进行地面反射率光谱测量,光谱仪附带笔记本电脑、探头和光纤。该仪器由三个传感器组成: VNIR (350~1020 nm)、SWIR1 (1020~1800 nm) 和 SWIR2 (1800~2500 nm),测量范围覆盖可见光到短波红外波长 (350~2500 nm),测量视场角为 25° (可通过安装外置镜头实现其他视场角的测量)。

ASD FR 连续光谱仪有两种测量模式:原始数据测量模式和反射率 / 参考板测量模式。在原始测量模式下,测量、显示和存储的光谱主要包含原始数字信号。在反射率 / 参考板测量模式下,测量、显示和存储的光谱被自动归一化到最新测量的参考板信号上,其值即为相对反射率因子^[12]。本次试验选择的是原始数据测量模式。

2 测量方法

传统的野外地面反射率光谱测量采用单光谱仪法,依次交替对目标及参考板进行测量。在辐射条件连续剧烈变化的情况下,该测量方法无法保证目标及参考板的辐射条件一致。本次试验使用双光谱仪法,分别对参考板和目标物

进行长时间的连续同步测量, 避免了传统方法测量中可能出现的辐射条件不一致问题。在高反区与传统测量方法进行对比试验, 验证该方法的可行性。由于该方法使用了多台光谱仪和参考板, 引入了仪器间、参考板间的辐射响应差异, 因此需另外组织实验进行仪器之间、参考板之间的相对辐射校正。

2.1 ASD 光谱仪相对定标

在目标反射率测量试验中, 需要对多台光谱仪采集的数据进行协同计算。为了消除 ASD 光谱仪间因辐射响应不一致而造成的测量误差, 需对试验所用的 ASD 光谱仪进行相对辐射定标。在对光谱仪进行相对定标时, 将 ASD16479、ASD18053、ASD16563 和 ASD16582 四台光谱仪的探头并排放置, 用三脚架固定, 调整角度使之与向下观测的参考板垂直, 连续测量数据, 从正午持续到傍晚太阳落山, 获得各波段不同辐射条件下的数据。

试验以参考板 MFB99-48-09 作为标准参考板, 以标准光谱仪 ASD16563 作为参考, 对各台光谱仪进行相对定标。相对定标系数通过计算各个波长平均辐射值的比值得到。

2.2 参考板相对定标

参考板作为测量反射率的必备仪器, 其辐射性能要稳定, 但由于参考板的定标时间和使用强度不同, 参考板的实际反射率会发生一定程度的漂移。为了避免漂移带来的误差, 需要对各参考板进行相对标定。在进行参考板相对标定时, 在稳定的辐射条件下, 使用一台光谱仪 (ASD16563) 依次对各个参考板进行照射, 按照指定顺序进行重复多次测量。以 MFB99-48-09 参考板标准值为基准, 对 MFB50-53-09 参考板进行相对定标。相对定标系数通过计算各个波长平均辐射值的比值得到, 并用于校正。

2.3 目标场的地表反射率测量

测量反射率光谱曲线时, 对北部高反场、中心区两个目标同步进行连续的光谱测量, 测量时间从 14:00 到 18:00, 以确保能获得连续时刻目标反射的辐亮度数据以及辐亮度变化的总体趋势。仪器的使用情况见表 1。

表 1 仪器的使用情况

	光谱仪	参考板
高反区	ASD16479、ASD18053	MFB50-53-09
中心区	ASD16563、ASD16582	MFB99-48-09

场地目标的反射率数据采用双光谱仪法测量, 即一台光谱仪固定连续地测量参考板, 另一台光谱仪走动连续垂直向下地测量目标。采用移动测量法最大限度地获取定标场地内部目标反射特性的变化数据, 以便消除地面小范围测量可能引起的测量误差。其中在高反区 ASD18053 同时也进行了单光谱仪测量, 作为对比试验, 测量了目标物和参考板。测量示意图如图 1。

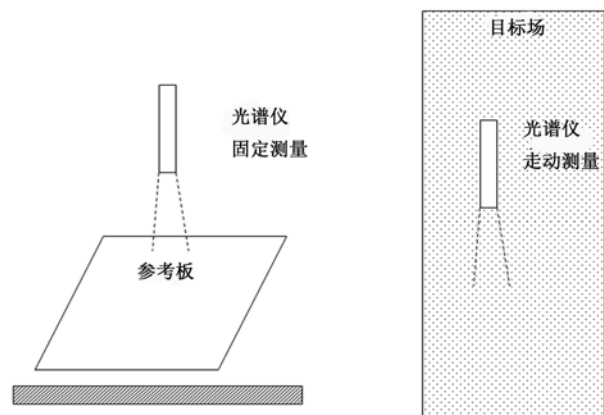


图 1 目标场的地表反射率测量方法示意图

目标的地面反射率采用以下公式计算:

$$\rho_{T,i}(\lambda) = \frac{R_{T,i}(\lambda) \cdot k_{a1}(\lambda)}{R_{S,i}(\lambda) \cdot k_{a2}(\lambda)} \cdot \rho_{S,i}(\lambda) \quad (1)$$

$$\overline{\rho_T(\lambda)} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{T,i}(\lambda)}{n} \quad (2)$$

式中, $\rho_{T,i}(\lambda)$ 为某一时刻目标地面的光谱反射率, $R_{T,i}(\lambda)$ 为某一时刻目标的反射辐射测量值, $R_{S,i}(\lambda)$ 为某一时刻参考板的反射辐射测量值, $\rho_{S,i}(\lambda)$ 为某一时刻校正后的参考板反射率标准值, $k_{a1}(\lambda)$ 、 $k_{a2}(\lambda)$ 分别为相应的光谱仪校正系数, $\overline{\rho_T(\lambda)}$ 为目标的地面光谱反射率。

通过仪器间相对定标试验, 主要完成多台 ASD 光谱仪之间的相对辐射定标和多块参考板反射率的重新标定验证, 获取仪器间的标定系

数;然后通过地面反射率测量,获取目标场地的辐射测量值。利用这些数据进行协同处理,最终得到目标场的地面光谱反射率。

3 数据处理与分析

3.1 ASD 光谱仪的相对定标结果

光谱仪 16563 由于使用时间短,试验前在试验室进行过校正,选其作为标准光谱仪进行定标试验。光谱仪的相对定标试验从 12:00 持续到 19:30,考虑到太阳天顶角对试验结果的影响,此次系数计算时采用 12:00 到 14:00 的数据进行处理比对。原始数据经过预处理后,进行多台光谱仪间的时间匹配,插值到统一的时间节点上,并去掉奇异值。处理结果表明,光谱仪 16563、18053、16479 和 16582 测量辐射值的整体趋势一致,呈一定的比例关系,不同光谱仪的测量值存在一定的差异。

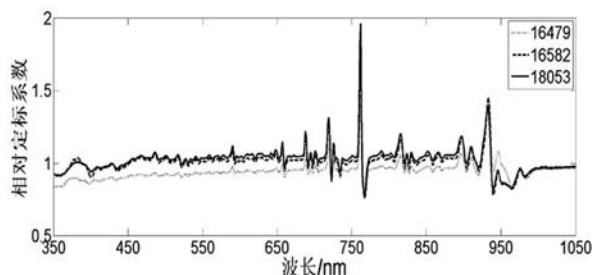


图 2 光谱仪间相对定标系数

通过与光谱仪 16563 的比值可以得出光谱仪间的相对定标系数。从图 2 中可以看出,光谱仪间的相对定标系数整体在 1 附近,个别波长出现了较大的波动。相比较而言,ASD 光谱仪 16479 的结果偏离较大,可见相对定标的必要性。

3.2 参考板相对定标结果

参考板 MFB99-48-09 的使用时间较短,设备较准确,因而试验时以 MFB99-48-09 参考板作为标准参考板,然后将其分别与其他参考板所测结果进行比对。

测量时,采用一台光谱仪按一定的顺序进行两块参考板的反复测量,重复 100 次左右。通过 2 h 的测量,经数据预处理后得到多个时刻的光谱曲线。分析整理后,通过对比散点图,发现

散点呈一般线性。对数据平均后,通过计算两者的比值得到参考板间的相对定标系数。相对定标系数随波长增加而逐渐减小,连续且平滑。

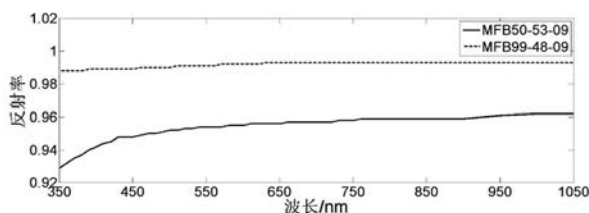


图 3 校正后的参考板标准值

通过得到的相对定标系数进行校正。图 3 是校正后的两块参考板的标准值,参考板 MFB50-53-09 在 350 400 nm 波长范围做了明显的校正,参考板的标准值经过校正后整体变化不大,均在 0.9 以上,标准参考板均在 0.99 附近,数值较理想。

3.3 目标场的反射率光谱测量结果

测量得到的原始数据经过数据格式化、时间同步和绝对辐射定标等数据预处理,得到目标物和参考板的辐射值。通过实验前后分别多次同时记录各仪器笔记本的时间,完成时间校准。由于试验过程中对参考板进行了多次时间标记的遮光处理,遮光部分的数据不能直接使用,需要通过插值得到非遮光部分的连续数据。最后,将多个光谱仪测得的辐射值插值到间隔 1 s 的相同时间序列上。由于传感器在某些波段的信噪比值较低,在这些波段的反射率光谱和时间曲线上的噪声比较大,需要对反射率时间曲线进行滤波处理。经 S-G 平滑滤波器滤波处理后,通过公式 (2) 即可得到目标物的反射率光谱曲线。地面目标测量数据经处理后,350~1050 nm 可见光和近红外波段的反射率光谱曲线如图 4 所示。

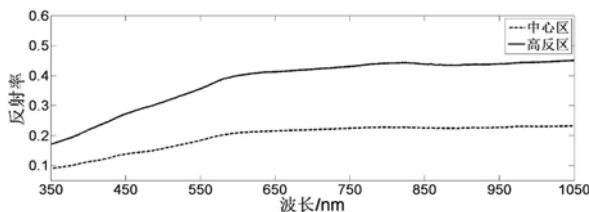


图 4 高反区、中心区的反射率光谱曲线

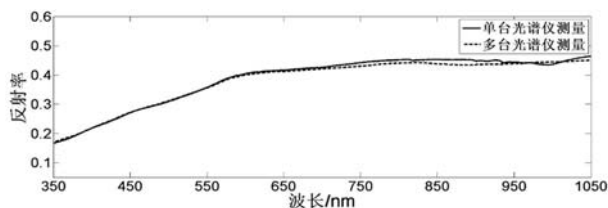


图 5 高反区两种方法测量结果对比

从图 4 中可以看出,目标场的反射率在 600 nm 以下变化非常平缓,高反区的反射率从 0.17 变化到 0.45,中心区的反射率从 0.09 变化到 0.23。高反区的光谱值普遍大于中心区,但光谱曲线的变化趋势与中心区相似。

在高反区的测量过程中做了对比试验。利用 ASD 光谱仪 18053 分别对目标场和参考板进行了测量,并对这两种结果进行了处理和对比,如图 5 所示。在 600 nm 以下,两者之间的差距不大,在 600~1050 nm 波段,两种结果出现了差异,单光谱仪法的测量结果偏大,这是由于所测目标物与参考板时间不一致,所用参考板数据时间较早,辐射值较大,导致二者存在一定的差异。但整体相差不大,二者的相关系数为 0.998。双光谱仪法的测量结果更符合实际光谱曲线,从而验证了该方法的可行性。

4 结语

采用双光谱仪法进行了野外地物反射率时间序列测量,分别测量了敦煌辐射校正场高反区和中心区的反射率光谱。在高反区,采用单光谱仪法做了对比试验。经过 ASD 光谱仪相对定标、参考板相对定标和反射率光谱测量,计算得到了高反区和中心区的可见光和近红外反射率光谱曲线,并根据对比试验验证了双光谱仪法野外时间序列反射率测量方法的可行性。采用双光谱仪法时间序列反射率测量避免了传统方

法中可能出现的辐射条件不一致的问题,但同时也引入了由于仪器、参考板间的辐射响应差异而造成的误差。仪器和参考板间的相对辐射定标需要在未来的工作中加以改进。

参考文献

- [1] 高海亮,顾行发,余涛,等. 星载光学传感器可见近红外通道辐射定标研究进展 [J]. 遥感信息, 2010(4):117-128.
- [2] 方志勇,范一大. 环境与灾害监测预报小卫星星座在减灾领域应用展望 [C]. 遥感科技论坛暨中国遥感应用协会 2005 年年会, 2005,23-26.
- [3] Slater P N, Biggar S F, Holm R G, et al. Reflectance- and Radiance-based Methods for the in-flight Absolute Calibration of Multispectral Sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 1987, **22**(1): 11-37.
- [4] Duggin M. The Field Measurement of Reflectance Factors(for Radiometers)[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1980,**46**: 643-647.
- [5] Duggin M, Philipson W. Field Measurement of Reflectance: Some Major Considerations[J]. Applied Optics, 1982, **21**(15): 2833-2840.
- [6] Duggin M. Simultaneous Measurement of Irradiance and Reflected Radiance in Field Determination of Spectra Reflectance[J]. Applied. Optics, 1981, **20**(22):3861.
- [7] Milton E, Schaepman M, Anderson K. Progress in Field Spectroscopy[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, **113**: S92-S109.
- [8] 计璐艳. 土壤容水特性光谱 - 时间特征及遥感应用模式研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [9] 王志民. 中国资源卫星绝对辐射校正场 [J]. 国土资源遥感, 1999,**41**(03):40-46.
- [10] 顾行发,田国良,余涛,等. 航天光学遥感器辐射定标原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [11] 谢玉娟. 基于沙漠场景的 HJ-1CCD 相机在轨辐射定标研究 [D]. 河南: 河南理工大学, 2005.
- [12] 傅俏燕. 资源卫星在轨绝对辐射定标方法研究 - 以 2004 年 CBERS-02 星敦煌场地实验为例 [D]. 北京: 北京师范大学, 2005.