

文章编号: 1672-8785(2016)09-0037-05

基于 VIIRS 传感器的场地 反射率测量精度的验证

董 毅 何明元 吕佳彦 文 韬

(解放军理工大学气象海洋学院, 江苏南京 211101)

摘 要: 反射率基法是目前最常用、最有效的可见光近红外通道在轨辐射定标方法。在该方法中, 准确的场地反射率测量是得到高精度定标结果的重要前提之一。利用双光谱仪法进行了野外地物反射率时间序列测量, 避免了用传统测量方法可能出现的辐射条件不一致问题。用中心区和高反区场地反射率测量值对 VIIRS 传感器的表观反射率进行了模拟, 并将 VIIRS 可见光近红外 9 个通道 ($I1$ 、 $I2$ 、 $M1 \sim M7$) 的卫星观测表观反射率值与 6S 辐射传输模型模拟值进行了对比。除 $M6$ 通道外 (水汽吸收), 相对偏差均在 3% 以内, 验证了场地反射率测量的准确性。

关键词: 双光谱仪法; 敦煌辐射校正场; ASD 光谱仪; VIIRS

中图分类号: P237 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.09.007

Verification of Measurement Accuracy of Field Reflectance Based on VIIRS Sensor

DONG Yi, HE Ming-yuan, LV Jia-yan, WEN Tao

*(Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of
Science and Technology, Nanjing 211101, China)*

Abstract: The reflectance-based calibration is the most common and effective in-orbit radiometric calibration method for visible and near infrared channels at present. In the method, accurate field reflectivity measurement is one of the important prerequisites for obtaining high precision calibration results. The time series measurement of field surface reflectance is performed by using a two-spectrometer method. The inconsistency of radiation conditions which may occur in traditional measurement methods is avoided. The reflectivity measurement values both in the central area and in the high reflectivity area are used to simulate the apparent reflectance of the VIIRS sensor. The apparent reflectance values observed by nine visible and near infrared channels ($I1$, $I2$, $M1$ to $M7$) of the VIIRS sensor are compared with the simulation values of a 6S radiation transmission model. The relative deviation of all channels except $M6$ (water vapor absorption) is less than 3%, which verifies the accuracy of the proposed surface reflectance measurement method.

Key words: dual-beam measurement; Dunhuang radiation calibration; ASD FR; VIIRS

收稿日期: 2016-05-24

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

E-mail: dongy1991@163.com

* 通讯作者: 何明元, 副教授, 主要研究卫星遥感和辐射定标。 E-mail: hmy008@sina.com

0 引言

近年来,国际上提出了多种辐射定标方法以提高定标精度。按定标的阶段可分为发射前定标、在轨星上定标及在轨替代定标^[1]。在轨替代定标中,反射率基法是目前最常用、最有效的可见光近红外通道在轨辐射定标方法,其精度取决于场地目标的特性、场地反射率测量的精确性、大气参数的准确度以及辐射传输模型的精度等。准确的场地反射率测量是得到高精度定标结果的重要前提之一。利用便携式光谱仪测量反射率主要有单光谱仪法和双光谱仪法^[2-5],计璐艳等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^[6]。

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中心区和高反区,并采用双光谱仪法分别对两个区域进行了野外地物反射率时间序列测量^[7]。测量过程中对参考板和目标物进行了长时间的连续同步测量,避免了传统测量方法中可能出现的辐射条件不一致问题。测量过程中,由于使用了多台 ASD FR 光谱仪和参考板,从而引入了光谱仪间和参考板间的辐射响应差异。虽然做了 ASD FR 光谱仪间和参考板间的相对定标试验,但过程中仍会产生一定的误差,因此需要进行试验精度验证。

NPP VIIRS(NPOESS Preparatory Project Visible infrared Imaging Radiometer, NPP VIIRS)传感器上有完备的星上定标设备,在可见光近红外通道的不确定度在 2% 左右。因此,可通过对 VIIRS 传感器表观反射率的模拟进行场地反射率测量试验验证。

1 场地定标试验

本次试验在敦煌辐射校正场进行卫星同步在轨辐射定标,试验仪器采用 4 台 ASD 光谱仪和 2 块漫反射参考板,仪器使用情况见表 1^[8]。

表 1 仪器使用情况

	光谱仪	参考板
中心区	ASD16563、ASD16582	MFB99-48-09
高反区	ASD16479、ASD18053	MFB99-49-09

本次试验采用双光谱仪法,顾名思义,同时使用两台光谱仪进行场地反射率测量,一台测量场地反射辐亮度 $L_{\text{场地}}$,另一台测量参考板反射辐亮度 $L_{\text{参考板}}$,以保证测量时二者测量辐射条件一致。测量示意图如图 1 所示。

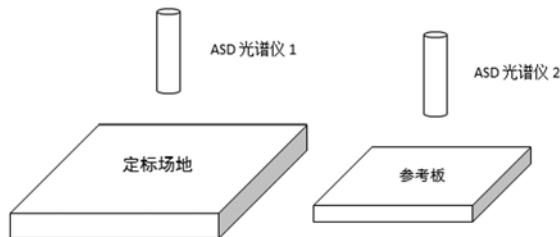


图 1 双光谱仪法测量示意图

具体操作方法如下:

(1) 由于测量过程中使用两台光谱仪,采集的数据需要进行协同计算。为了消除因光谱仪间辐射响应不一致造成的测量误差,需在测量前对试验所用的 ASD 光谱仪进行相对辐射定标,获得两台光谱仪间的相对定标系数 $C_{\text{光谱仪}}$,则

$$L_{\text{场地}} = C_{\text{光谱仪}} \cdot L_{\text{参考板}} \quad (1)$$

(2) 用两台光谱仪同时测量场地和参考板的反射辐亮度 $L_{\text{场地}}$ 和 $L_{\text{参考板}}$;

(3) 计算场地反射率。

对于朗伯体,场地和参考板入射辐照度 E 与出射辐亮度 L 的关系为

$$R_{\text{场地}} = \frac{\pi \cdot L_{\text{场地}}}{E} \quad (2)$$

由以上两式计算可得:

$$R_{\text{场地}} = \frac{L_{\text{场地}}}{C_{\text{光谱仪}} L_{\text{参考板}}} \cdot R_{\text{参考板}} \quad (3)$$

由上述方法可以看出,双光谱仪法同时测量场地和参考板反射辐亮度,能很好地满足光照条件保持一致的要求,但由于涉及到两台光谱仪的相对定标,双光谱仪法测量反射率的精度还取决于相对定标系数 $C_{\text{光谱仪}}$ 的精度。

2 NPP VIIRS 介绍

Suomi NPP 是已取消的美国国家极轨运行环境卫星系统计划的预备项目, 全名为 Suomi 国家极轨合作伙伴 (Suomi National Polar-Orbiting Partnership, Suomi NPP), 由 NASA 为 NOAA 设计制造。NPP 卫星于 2011 年 10 月 28 日发射, 其上搭载可见光 / 红外辐射成像仪 (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS) 传感器。

本文对 VIIRS 传感器表观反射率的模拟选择了 9 个可见光近红外通道, 分别计算各通道模拟值与卫星观测值的相对偏差, VIIRS 可见光近红外通道波段的具体介绍见表 2。

表 2 VIIRS 可见光近红外通道的介绍

波段	波长 (nm)	近地点 分辨率 (m)	主要用途
I1	640	370	对地成像
I2	865	370	植被指数
M1	412	750	海洋水色、气溶胶
M2	445	750	海洋水色、气溶胶
M3	488	750	海洋水色、气溶胶
M4	555	750	海洋水色、气溶胶
M5	672	750	海洋水色、气溶胶
M6	746	750	大气
M7	865	750	海洋水色、气溶胶

3 数据处理

基于 VIIRS 传感器验证试验精度, 通过 VIIRS 传感器表观反射率模拟验证场地反射率测量试验精度, 需要对场地反射率进行处理。首先, 对场地反射率进行双向反射分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) 校正。然后, 与 VIIRS 光谱响应函数卷积, 计算得到与 VIIRS 传感器各通道对应的等效反射率。将等效反射率与场地大气参数等一起输入 6S 辐射传输模型, 得到根据 6S 辐射传输模型计算的间隔为 1 nm 的入瞳处表观反射率的模拟值。再通过光谱响应函数卷积计算 VIIRS 各通道的等效表观反射率。卫星观测数据方面, 根据 GPS 定位数据对卫星数据和场地进行精准匹配, 选出

距敦煌辐射校正场中心区和高反区距离最近的像元 (误差不超过 0.5 km)。以该像元为中心, 求出表观反射率的平均值, 得到中心区和高反区卫星观测的表观反射率, 将其与 6S 辐射传输模型计算模拟值作比较, 计算相对偏差。

3.1 VIIRS 传感器同步数据处理

本文下载了 2013 年 6 月 22 日 NPP 卫星 VIIRS 传感器对应敦煌辐射校正场的一级数据 (Sensor Data Records, SDRs), 包括 I 通道和 M 通道两个数据包, 从中提取可见光近红外通道的 9 个波段数据进行处理, 数据时间为北京时间 6 月 22 日 14:59–15:05, 与场地反射率同步测量时间一致, 可进行模拟验证。

具体计算方法是, 从 SDR 数据中读取 9 个波段通道的计数值及相应的定标系数; 从地理定位数据中读取经纬度以及太阳和卫星天顶角、方位角, 并根据经纬度定位对卫星数据和场地进行精准匹配, 选出距离敦煌辐射校正场中心区和高反区最近的像元 (误差不超过 0.5 km)。以该像元为中心, 选取 3×3 的格点作为目标区域, 将其转化为表观反射率, 再求出 9 个点的表观反射率平均值, 得到卫星在中心区和高反区观测的表观反射率。

3.2 场地反射率数据的处理

3.2.1 场地 BRDF 校正

由于敦煌辐射校正场非朗伯特特性的影响, 需用敦煌辐射校正场地表 BRDF 模型进行修正, 光谱二向性反射率分布函数 (Spectral Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) $f(\theta_i, \varphi_i, \theta_v, \varphi_v)$ 可以完整地描述一个表面的方向性反射率特性。本文中的地表 BRDF 模型采用 ROSS-Li 的 BRDF 模型。在国家卫星气象中心的帮助下, 基于 VIIRS 传感器对中心区和高反区分别作了场地反射率 BRDF 校正, 其中 BRDF 模型是根据中心场区建立的。校正前后的结果如图 2 和图 3 所示, 校正效果较明显。

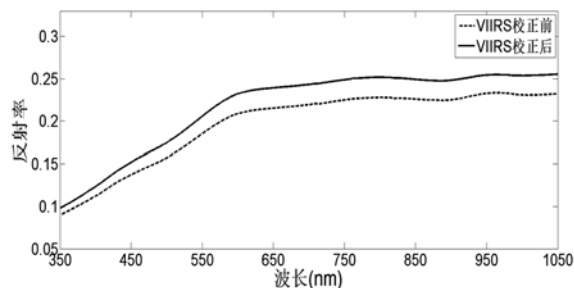


图2 中心区场地反射率的BRDF校正结果

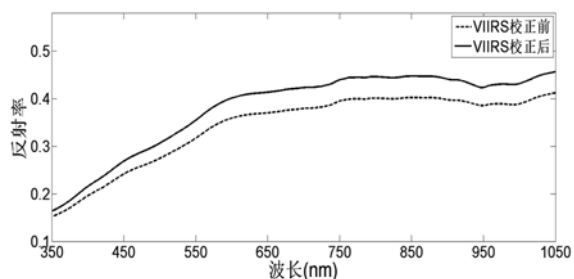


图3 高反区场地反射率的BRDF校正结果

3.2.2 场地等效反射率的计算

6S 辐射传输模型要求输入场地反射率的各通道等效反射率。根据式 (4) 将间隔为 1 nm 的场地反射率测量结果通过对应传感器的光谱响应函数计算, 卷积得到 VIIRS 对应通道的等效反射率, 可得到 i 通道的场地等效反射率 R_i :

$$R_i = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_i(\lambda) \cdot R_i(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_i(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

式中, λ 为波长; $S_i(\lambda)$ 为传感器第 i 波段归一化的光谱响应函数, VIIRS 可见光近红外光谱响应函数如图 4 所示; $R_i(\lambda)$ 为第 i 波段波长 λ 处的场地反射率。

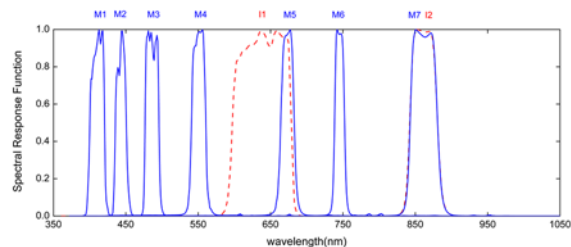


图4 VIIRS 可见光近红外通道光谱响应函数

4 相对偏差计算及结果分析

将计算得到的 VIIRS 各通道场地等效反射率、测量得到的大气气溶胶光学厚度、水汽含量、臭氧以及卫星观测几何等参数输入 6S 辐射传输模型 (表 3), 求得传感器各通道入瞳处的表观反射率模拟值, 其中大气气溶胶的光学厚度、水汽含量和臭氧含量均在中心区测量, 假定中心区与高反区的差异不大。

表3 输入 6S 模型的具体参数

参数名称	中心区输入参数	高反区输入参数
太阳天顶角 (°)	23.1008	23.4597
太阳方位角 (°)	-130.3316	-130.7894
卫星天顶角 (°)	34.1495	35.2318
卫星方位角 (°)	-97.5254	-97.0962
气溶胶模式	沙漠型	沙漠型
水汽 (g/cm ²)	1.28945	1.28945
臭氧 (atm-cm)	0.2731	0.2731
气溶胶光学厚度	0.1824	0.1824

对于 VIIRS 传感器的可见光近红外通道, 6S 辐射传输模型计算出的入瞳处表观反射率是间隔为 1 nm 的反射率光谱, 还需通过式 (5) 将其转化为 VIIRS 传感器对应通道的等效表观反射率, 再进行对比计算。

将上述计算得到的中心区和高反区 6S 输入各通道的等效反射率值、卫星观测表观反射率值和 6S 模型模拟表观反射率模拟值进行比较, 计算相对偏差, 验证试验精度。相对偏差计算采用的公式为

$$Dif = (R_{\text{卫星观测值}} - R_{\text{6S 计算值}}) / R_{\text{卫星观测值}} \quad (5)$$

图 5 和图 6 给出了中心区 VIIRS 传感器可见光近红外通道的测量计算结果。对于用中心区场地反射率测量值模拟 VIIRS 传感器各通道入瞳表观反射率, 除 M6 通道外 (水汽吸收), 其余通道场地模拟的表观反射率值与卫星观测值均较接近 (图 5), 卫星观测表观反射率值和 6S 模型模拟表观反射率模拟值的相对偏差均小于 2% (图 6)。场地反射率模拟的 VIIRS 传感器入瞳处表观反射率的计算精度在 2% 以内, 初步验证中心区场地反射率光谱测量结果的准确度较好。

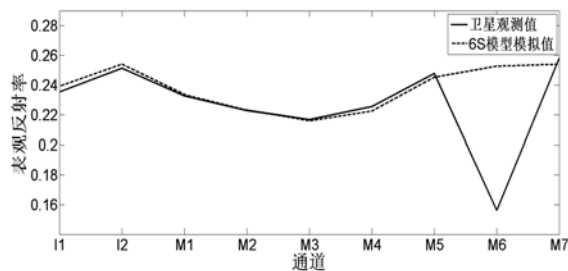


图 5 中心区卫星观测值与 6S 模型模拟值的对比

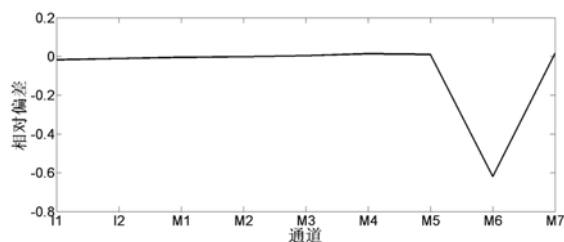


图 6 中心区卫星观测值与 6S 模型模拟值的相对偏差

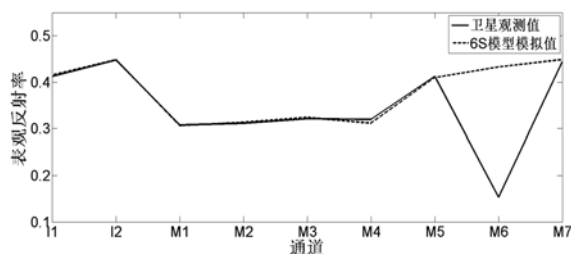


图 7 高反区卫星观测值与 6S 模型模拟值的对比

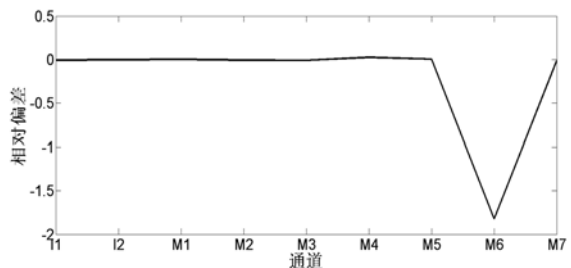


图 8 高反区卫星观测值与 6S 模型模拟值的相对偏差

图 7 和图 8 给出了高反区 VIIRS 传感器可见光近红外通道的测量计算结果。对于用高反区场地反射率测量值模拟 VIIRS 传感器入瞳表观反射率, 除 M6 通道外(水汽吸收), 其余通道场地反射率模拟的表观反射率值与卫星观测表观反射率值均较接近(图 7), 卫星观测表观反射率值和 6S 模型模拟的表观反射率值的相对偏差结果较理想, 其中 M4 通道达到了 2.54%, 其他通道

均在 2% 以内(图 8)。场地反射率模拟的 VIIRS 传感器入瞳处表观反射率的计算精度在 3% 以内, 与中心区的比较效果稍差, 分析原因可能是 BRDF 模型不完善。总体来说, 高反区场地反射率模拟的 VIIRS 传感器入瞳表观反射率值与中心区的效果较一致, 证明高反区场地反射率测量的准确度较好。

5 结束语

对“双光谱仪法”场地反射率测量结果进行了验证。通过中心区和高反区场地反射率测量值对 VIIRS 传感器表观反射率的模拟, 将 VIIRS 可见光近红外通道的卫星观测表观反射率值与 6S 辐射传输模型模拟值进行了对比, 相对偏差均在 3% 以内, 说明中心区和高反区的场地反射率测量的精度较高。对 VIIRS 传感器入瞳处表观反射率的模拟偏差较小, 验证了场地反射率测量的准确性。

参考文献

- [1] Dingirard M, Slater P N. Calibration of Space-Multispectral Imaging Sensors : A Review[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, **68**(3):194-205.
- [2] M. Duggin. The Field Measurement of Reflectance Factors(for Radiometers)[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, **46**: 643-647.
- [3] Duggin M, Philipson W. Field Measurement of Reflectance: Some Major Considerations[J]. *Applied Optics*, 1982, **21**(15): 2833-2840.
- [4] Duggin M. Simultaneous Measurement of Irradiance and Reflected Radiance in Field Determination of Spectra Reflectance[J]. *Applied Optics(United States)*, 1981, **20**(22):3816.
- [5] Milton E, Schaepman M, Anderson K. Progress in Field Spectroscopy[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, **113**: S92-S109.
- [6] 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.
- [7] 董毅, 何明元, 吕佳彦, 等. 基于野外地物光谱时间序列的反射率测量方法 [J]. *红外*, 2016, **37**(1):31-35.
- [8] Staylor W F. Degradation Rates of the AVHRR Visible Channel for the NOAA 6, 7, and 9 Spacecraft[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1990, **7**(3):411-423.