

神舟3号飞船中分辨率成像光谱仪场地替代定标新方法研究

胡秀清^{1,2}, 刘京晶², 邱康睦², 范天锡², 张玉香², 戎志国², 张立军²

1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

2. 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开发重点实验室, 国家卫星气象中心, 北京 100081

摘要 神舟3号飞船(SZ-3)搭载的中分辨率成像光谱仪(CMODIS)是我国下一代对地环境卫星遥感器的试验仪器,能获取地气系统30个可见光-近红外通道观测数据,这些高光谱数据应用,特别是定量遥感产品反演受到辐射定标的严重制约。文章在传统的在轨遥感器场地辐射校正基础上,提出了星地准同步观测场地辐射校正新方法,在缺少足够地面同步观测数据情况下,实现了CMODIS场地辐射校正,并达到了预期辐射校正精度要求。同时基于敦煌场地反射率光谱光滑的特点,利用EOS/MODIS大气订正后的通道反射比进行光谱内插,开展一种新的交叉定标方法试验。文章针对SZ-3/CMODIS数据,用此两种方法独立进行场地替代定标,试验结果能够相互验证,表明这两种定标方法切实可行,定标精度可靠,为我国下一代环境气象卫星传感器在轨辐射定标提供了新的定标方法和技术。

关键词 中分辨率成像光谱仪; 场地辐射校正; 星地准同步观测; 交叉定标

中图分类号: V472.2

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)05-1153-07

引言

神舟3号飞船搭载的中分辨率成像光谱仪(SZ-3/CMODIS)是我国新一代地球环境遥感卫星的试验仪器。2002年3月25日神舟3号飞船进入太空,中分辨率成像光谱仪在3

月底开始对地观测,9月底完成全部在轨试验观测任务。神舟3号飞船中分辨率成像光谱仪具体技术参数见表1,它运行在(343±5)km高空,星下点地面分辨率为500m,重复覆盖周期为2d,轨道测量覆盖宽度为650~700km,有34个波段,波长范围在0.4~12.5μm,在可见光近红外波段有30个探测通道,通道宽度全部为20nm,通道位置差不多均

Table 1 SZ-3 CMODIS technical requirement

参数	技术指标	备注
通道	可见光波段(0.403~0.803 μm)	20个通道
	近红外波段(0.823~1.023 μm)	10个通道
	短波红外波段(2.15~2.25 μm)	1个通道
	热红外波段(8.4~8.9 μm)(10.3~11.4 μm)(11.5~12.5 μm)	3个通道
IFOV	1.5 mr	
星下点分辨率	500 m (nadir)	每扫面线 1 024 像素
对地扫面角	±45°	
扫描速度	20 r · min ⁻¹	
扫描方式	双面镜	产生条带
光学孔径	110 mm	
探测器	Si 22 探元; HgCdTe 22 探元	产生条纹
制冷	斯特林制冷(85 K)	
定标精度	VIS-NIR-SWIR<10%; TIR<1 K	
量化等级	12 bits	全部 34 通道

收稿日期: 2007-12-21, 修订日期: 2008-03-26

基金项目: 国家“863”计划项目(2007AA12Z145)资助

作者简介: 胡秀清, 1973年生, 中国气象局国家卫星气象中心副研究员

e-mail: hxq@nsmc.cma.gov.cn

匀排列。SZ-3/CMODIS 光谱通道多, 通道位置密集, 而且通道带宽较窄, 辐射分辨率高, 不仅可以进行各类遥感产品算法开发, 而且可从多通道反演计算进行对比, 为未来业务遥感传感器的通道设置提供价值较高的参考依据。它是中国首个在轨运行图谱合一的高光谱分辨率的对地观测传感器, 主要应用于海洋、大气和陆地产品反演。

利用 SZ-3/CMODIS 发射前的定标系数进行反演计算得到的遥感产品出现严重饱和情况, 因此需要寻找一种替代定标方法。近年来国内外光学遥感器的辐射校正技术发展十分迅速^[1-14], 本世纪初随着敦煌和青海湖两个辐射校正场的建立, 我国的气象、海洋和资源卫星遥感器的在轨辐射定标工作已基本实现业务化。同时定标方法和手段也日趋丰富完善, 定标精度稳步提高。我们这里以神舟 3 号飞船中分辨率成像光谱仪为研究对象, 提出了一种新的基于辐射校正场的替代定标方法, 并采用了一种新的交叉定标方法, 与 EOS/MODIS 进行交叉定标, 取得了比较满意的定标结果。将这两种方法得到的结果进行的比较表明, 这两种方法都切实可行, 并精度可靠, 为我国下一代业务气象环境卫星的辐射定标提供方法试验和技术基础。

1 基于准同步观测的辐射定标

基于场地观测的辐射定标方法的一个关键环节是星地观

测的时间匹配问题^[1, 2, 11, 12]。不仅地表反射率同步观测要在空间传感器过境前后 1 h 内完成, 而且在大气条件不够稳定的气象条件下, 要严格计算出卫星过境时刻的大气光学特性参数。大气中的气溶胶是变化比较频繁的因子, 而且与观测地点也有关系, 所以大气观测站要设置在离同步观测区尽可能接近的地点。然而有时实际情况确不能完全满足这些条件, 本文提出了部分星地同步观测内容的准同步观测的辐射定标方法。

为了实现 SZ-3/CMODIS 在轨替代定标, 配合在轨神舟 3 号飞船中分辨率成像光谱仪的对地观测, 我们于 2002 年 4~7 月间先后进行了 3 个时段的船-地同步观测。第一时段(2002 年 4 月 15 日至 4 月 24 日)进行了敦煌辐射校正场大气和地表的完整船-地同步观测(类似于气象卫星星地同步观测^[11, 12])。地表反射比观测时间为飞船过境前后 1 h 内, 并全天进行大气光学参数观测, 同时开展地面常规气象观测, 在飞船过境时增加一次无线电探空, 但是这一时段的 SZ-3/CMODIS 观测数据未回传下发。第二时段的船地观测试验于 2002 年 5 月 24 日至 6 月 12 日间进行, 只进行了大气参数同步观测, 未进行地表反射比观测, 即所谓的星地准同步观测。第三时段在 2002 年 7 月 23 日至 29 日, 进行了 SZ-3/CMODIS 的船地同步观测。表 2 列出了第二、三时段 CMODIS 7 次过境敦煌辐射校正场区时的观测几何参数。

Table 2 SZ-3 overpass orbits and observation geometries

轨道号	日期时间	太阳天顶角	卫星天顶角	相对方位角	备注
940	5 月 24 日 15:47	34.5°	3.131°	259.86°	准同步, 有碎积云
1078	6 月 2 日 11:10	35.2°	35.3°	52.1°	准同步
1109	6 月 4 日 10:41	43.66°	13.47°	296.89°	准同步
1234	6 月 12 日 09:46	52.05°	11.78°	77.91°	准同步, 卫星数据不全
1770	7 月 16 日 15:04	25.2°	7.35°	219.73°	同步, 卫星数据丢线
1877	7 月 23 日 11:06	38.38°			准同步
1893	7 月 24 日 11:41	34.9°	15.28°	129.17°	准同步, 有浮尘
1971	7 月 29 日 11:20	57.9°	25.06°	104.34°	准同步, 卫星数据不全

敦煌辐射校正场的场地表面反射特性具有良好的稳定性, 除降雨或积雪覆盖对反射光谱特性有一定影响外(降雨后场地反射比降低, 但降水主要出现在 7 月份), 地表光谱反射比基本维持不变。因此地表光谱反射比历史数据也可用于在轨遥感仪器的辐射校正。不过敦煌地区大气状况随时间变化较大, 大气光学参数和气象参数观测必须满足同步观测要求。按上述场地准同步观测方法考虑, 第二时段(2002 年 5 月 24 日至 6 月 12 日)安排了 SZ-3 飞船敦煌场地准同步观测资料的获取, 即在飞船过境敦煌场时只进行大气光学参数和气象参数观测, 不进行地表反射比观测。

1.1 地表反射比光谱观测

考虑到 SZ-3 飞船轨道倾角大约为 42°, 船载中分辨率成像光谱仪探测器 22 元并扫, 象元空间分辨率为 500 m。选取倾斜 42° 的同步观测区(测线与经线交角), 大约相当地面覆盖尺度为 10×10 km² 的正方形区域。在飞船过境的 ±1 h 内, 完成 11 点反射比同步测量, 每个采样点获取 5 个子采样

点的地表光谱反射比数据。

采用 ASD Fieldspec FR 野外光谱仪进行同步区地表光谱反射比观测, 在第一时段场地试验期间完成三次测量(4 月 17 日、4 月 19 日和 4 月 22 日)。第三时段也完成了 3 次 SZ-3 飞船过境轨道的同步区地表光谱反射比测量(7 月 16 日、7 月 18 日和 7 月 22 日)。同步区采样点地表光谱反射比测量和处理方法与气象卫星相同^[12]。图 1 中给出了第一时段 4 月 22 日和第三时段 7 月 16 日观测获取的同步观测区地表平均光谱反射比, 图中显示两次测量的场地光谱反射比非常接近。将 CMODIS 各通道光谱响应与地面测量的光谱反射比进行卷积, 得到对应于 CMODIS 30 个通道的表面反射比。

1.2 气象及大气光学特性观测

第一, 三时段的场地试验同时分别在场区附近, 敦煌市区辐射校正场试验基地楼顶(40°8'59"N, 94°39'51"E)和敦煌气象站(40°8'35"N, 94°41'4"E)设立了大气光学特性观测点。第二时段试验中只在敦煌气象站设有大气光学特性测量点。

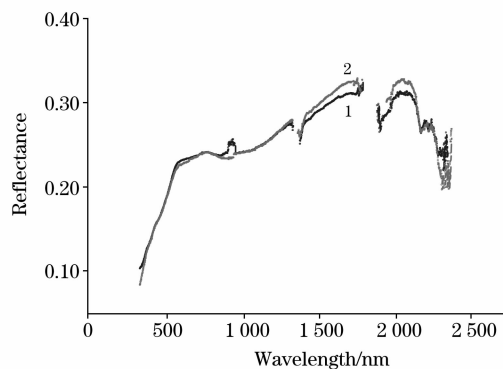


Fig. 1 Mean reflectance in Dunhuang site observed in April and July, 2002
1: 2002. 4. 22; 2: 2002. 7. 16

大气参数测量采用 CE317 手持式太阳光度计和 CE318 自动跟踪扫描太阳光度计。在场区附近大气光学测量点同时进行地面常规气象参数观测。在敦煌气象站进行无线电探空观测，同步观测日按气象观测规范进行在飞船过境时段进行加密无线电探空观测。对太阳光度计观测数据采用 Langley 法进行处理^[10-15]，得到不同波长上气溶胶光学厚度，并计算出 Angstrom 气溶胶波长指数 ν 和 K 。对于 936 nm 水汽吸收通道采用改进的 Langley 法进行处理^[16]，得到大气柱水汽总量。经过对 3 个测点大气数据比较发现，大气能见度高且天气稳定的日子里，敦煌气象观测站大气参数与场区附近数据几乎相同，因此在星地准同步观测时采用敦煌气象观测站获取的大气参数数据作为辐射校正的辐射传输计算的输入参数，经辐射传输计算最后得到成像光谱仪入瞳辐亮度和表观反射率值。

1.3 辐射传输计算及定标系数获取

辐射传输计算模型采用 6S 模式，输入 CMODIS 对敦煌场地进行观测时的太阳、卫星观测角度，以及地表大气光学参数，输出卫星传感器入瞳处的反射率和表观辐亮度。图 2 示出了 SZ-3/CMODIS 各通道观测敦煌辐射校正场的表观反射比和地面同步观测得到的相应通道的表面反射比(2002 年 6 月 4 日)。

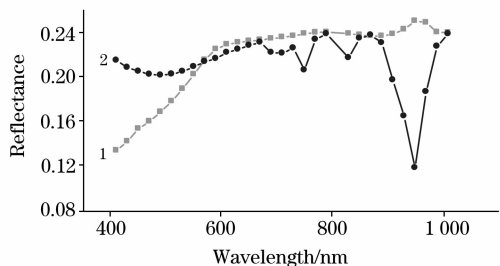


Fig. 2 CMODIS band apparent reflectance from radiative transfer calculation in Dunhuang
1: Earth's surface reflectance in Dunhuang;
2: Apparent reflectance in Dunhuang

定标系数计算需要获取 CMODIS 敦煌场各通道不同探元的观测计数值，同时获取 CMODIS 扫描星上定标器关灯时的计数值，作为低点零辐射响应值，最后与以上得到表观

反射率和表观辐亮度比较，推出 CMODIS 各通道每探元的定标系数。辐射亮度对应的定标公式：

$$L_{ij}^* = a_{ij} \times DN + b_{ij} \quad (1)$$

其中 L_{ij}^* 为辐亮度 [$W \cdot (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)^{-1}$]， DN 为观测计数值， a_{ij} 为定标斜率 [$W \cdot (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)^{-1} / DN$]， b_{ij} 为定标截距， i 和 j 分别为通道号和探元号。如果卫星观测的物理量用反射率表示，则定标公式为

$$\rho_{ij}^* \cos(\theta_s) = A_{ij} \times DN + B_{ij} \quad (2)$$

$$\rho_{ij}^* = \frac{\pi \cdot (r/r_0)^2 \cdot L_{ij}^*}{\cos(\theta_s) \cdot E_{0i}} \quad (3)$$

其中 θ_s 为太阳天顶角， A_{ij} 为定标斜率， B_{ij} 为定标截距， ρ_{ij}^* 为表观反射率。

SZ-3/CMODIS 全部通道采用 22 探元多元并扫方式，辐射定标要针对每通道每探元进行，另外 CMODIS 扫描镜 A、B 两面轮流扫描，由于 A 和 B 镜面存在差异，这样相当于 44 元在扫描，因此在可见近红外定标针对 30 个通道 44 个探测元进行。由于敦煌场区地表反射比非常均匀，我们假定地面反射比在飞船扫描的 44 元内是不变的，传感器的计数值存在差异是探元的响应不同造成。在每一个探元的扫描线上选取 20 个点的计数值平均代表该探元的计数值，中心点的太阳角、观测角、相对方位角输入到辐射传输模式，对应每一探元计算出表观反射率和表观辐亮度。根据敦煌和零点每探元各探元信号计数值与表观反射率或表观辐亮度比较，计算得到各探元的定标系数。

基于 SZ-3/CMODIS 2002 年 6 月 4 日敦煌数据 (1109 轨)，利用上述的处理方法，计算出 SZ-3/CMODIS 各通道 44 探元的定标系数。定标结果显示通道 1 和通道 10 的第一边缘探元与其他探元响应有很大差异，定标的斜率差异较大，第 10 通道的 1 探元定标曲线和其它探元相交，卫星应用部门分析该探元可能坏掉。这些边缘探元响应差异明显地表现在卫星图像上的条纹效应。因而分析和去除图像条纹首先得从每个探元的响应和定标入手。与发射前定标系数进行比较，场地辐射定标系数的斜率普遍比发射前小 50% 左右，而定标截距的绝对值比发射前要大许多。

为验证我们的辐射定标系数，首先将每一个通道的 44 探元定标系数对各探元进行定标，定标后图像的条纹效应有

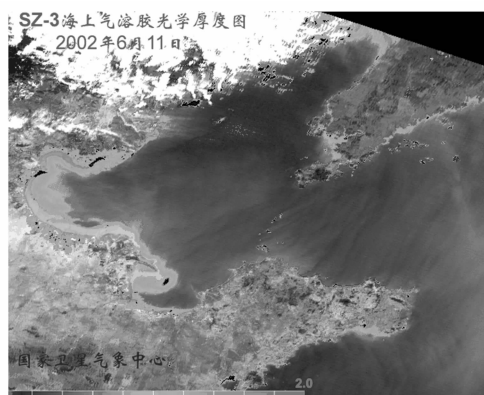


Fig. 3 Aerosol optical depth over Bohai retrieval from SZ-3/CMODIS June 11, 2002

很大改进,特别是 44 个探元内基本平滑一致。为了从绝对精度上检验辐射校正定标系数,我利用 2002 年 6 月 4 日 CMO-DIS 多个通道定标后数据进行渤海上空气溶胶光学厚度反演,得到的结果比较合理(见图 3),并且与 FY-1D 气溶胶反演结果基本一致。如果采用 SZ-3 发射前的定标系数,根本无法反演渤海上空的气溶胶,海上数据对于反演气溶胶完全处于饱和。气溶胶产品是一个对定标系数要求很高的遥感产品,由此可以推断我们的定标系数比较准确,可以投入定量产品反演使用。

2 交叉定标

EOS/MODIS 传感器具有较高的光谱分辨率,其观测时间和地面分辨率与 SZ-3 CMODIS 比较接近。而且 EOS/MODIS 自身具备比较稳定高精度的星上定标系统,其太阳反射波段的定标精度达到 1%~3%,为 SZ-3/CMODIS 的在轨交叉定标提供了比较理想的参考源。传统的交叉定标是对两个

遥感器中心波长和宽度相对接近的通道进行交叉定标,并进行通道之间的光谱响应匹配修正,这种交叉定标定标方法只能对 SZ-3/CMODIS 有限的几个通道进行定标^[8, 17, 18]。我们这里采用的交叉定标方法的特点是:利用 MODIS 有限光谱通道观测值光谱内插拟合出定标场的反射率光谱,从而实现 SZ-3/CMODIS 全部可见光通道替代定标。定标流程如图 4 所示。

首先利用 6S 模式在给定大气与气溶胶参数条件下(本例选用中纬度夏季标准大气,沙漠型气溶胶模型,2002 年 6 月 4 日实测气溶胶光学厚度和水汽含量),由 MODIS 观测大气顶表观辐亮度计算地面反射比;利用 Rojean BRDF 模型对敦煌场 1999 年 7 月实测双向反射数据进行拟和,得到敦煌辐射校正场 BRDF 模型;利用该 BRDF 模型将上述计算出 MODIS 观测几何条件下 MODIS 通道反射比修正到 SZ-3 观测几何条件下的 MODIS 通道反射比^[9];通过对十个 MODIS 通道反射比进行样条内插,得到 SZ-3 观测几何条件下光谱反射比(见图 5)。将上述大气与气溶胶参数、SZ-3 CMODIS

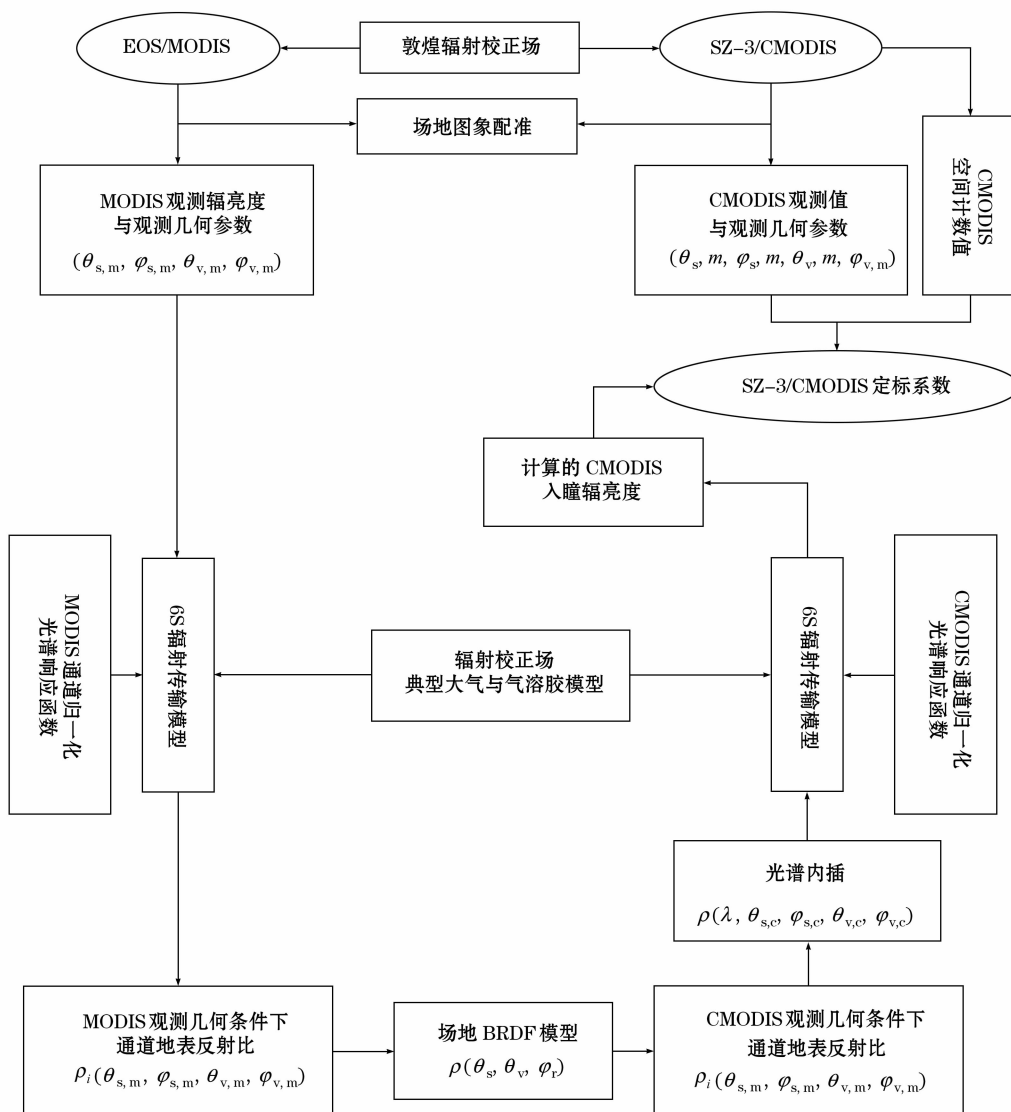


Fig. 4 Flowchart of cross calibration

的光谱响应函数和 SZ-3 观测几何条件下光谱反射比输入 6S 再次计算, 得到 CMODIS 入瞳表观辐亮度。结合 SZ-3/CMODIS 观测计数值及其冷空间计数值, 最终得到 SZ-3/CMODIS 可见光、近红外通道的定标系数。

本次定标首先分别提取了 SZ-3 CMODIS 2002 年 6 月 2 日(1078 轨)和 6 月 4 日(1109 轨)以及 EOS MODIS 在相应日期的敦煌地区图像, 并分别进行了投影变换(UTM)和几何配准。然后从图像中选取敦煌场区数据子集, 作为交叉定标的源数据。

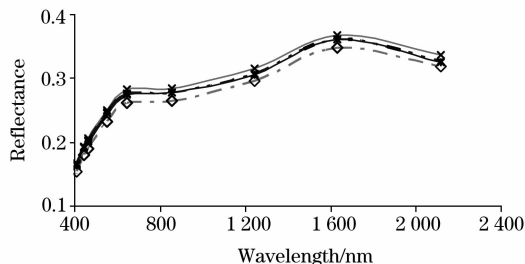


Fig. 5 Earth's surface reflectance on the geometry of SZ-3 observation modified from MODIS

- 1: Reflectance from MODIS 2002-06-02(1078);
- 2: Reflectance from MODIS 2002-06-04(1109);
- 3: BRDF Modified Reflectance 1078;
- 4: BRDF Modified Reflectance 1109

图 6 显示了两条轨道提取的卫星观测计数值和上述描述计算得到的表观辐亮度, 由图可见, 由于观测几何的差异, 两个轨道的的卫星观测值有相当大差异。图 7 显示了每个通道的定标斜率和相对差异, 可见, 除了处于 940 nm 附近的 25~28 四个水汽吸收波段外, 使用同一地区相邻日期的两轨数据得到的定标结果间的相对偏差均小于 4%, 而且大多数通道的偏差小于 2%。由图 7 可见, 两轨卫星观测数据在水汽吸收带处相交, 表明两天的大气水汽含量可能有比较明显的变化; 而计算得到的两轨辐亮度采用了相同的大气柱水汽含量, 这可能是造成两轨定标结果偏差的原因之一, 6S 大气辐射传输码在大气吸收带的计算误差是这一偏差的另一方面原因。定标结果表明, 在对观测表面的 BRDF 进行比较准确

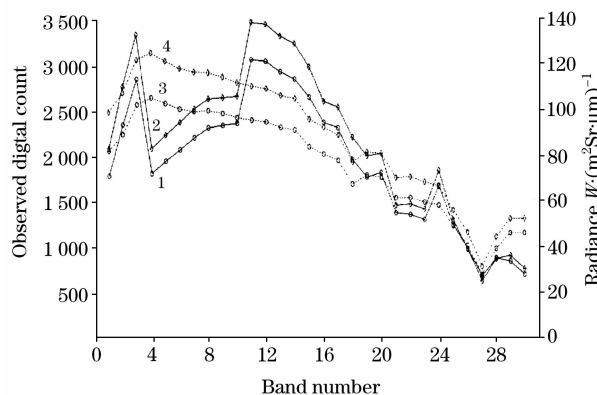


Fig. 6 DN and apparent reflectance of CMODIS

- 1: Observed digital count 1078; 2: Observed digital count 1109;
- 3: Calculated radiance 1078; 4: Calculated radiance 1109

的修正后, 在准确的大气参数配合下, 交叉辐射定标方法可以得到精度较高的结果。

表 3 列出 SZ-3/CMODIS 发射前定标、场地定标和交叉定标的定标系数(定标斜率), 第 2 列基准探元是指文献[19]中进行多探元归一化时采用的基准探元。从定标结果比较可

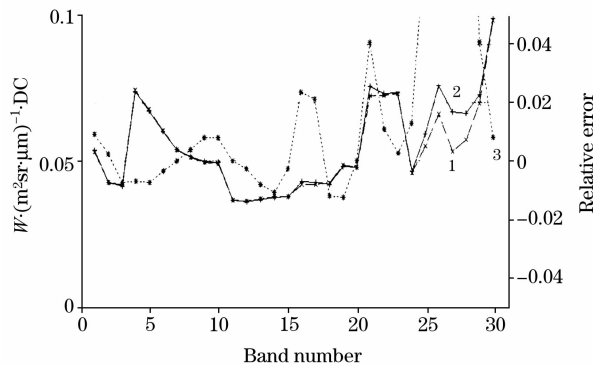


Fig. 7 Calibration gain of CMODIS

- 1: Gain 1078; 2: Gain 1109; 3: Relative error

Table 3 Calibration results (slope) comparison of two methods (unit: $W \cdot (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)^{-1} / DN$)

通道	基准探元	发射前定标	场地定标 (1109 轨)	1078 轨交叉定标	1109 轨交叉定标
1	3	0.073 76	0.054 2	0.053 7	0.053 2
2	2	0.052 77	0.041 2	0.042 8	0.042 7
3	3	0.049 01	0.040 7	0.041 6	0.041 9
4	3	0.088 19	0.070 4	0.073 9	0.074 4
5	3	0.079 02	0.063 3	0.067 2	0.067 7
6	3	0.070 33	0.056 8	0.060 2	0.060 4
7	3	0.063 01	0.051 1	0.054 0	0.054 0
8	3	0.061 05	0.048 9	0.051 4	0.051 2
9	3	0.059 5	0.048	0.049 8	0.049 4
10	12	0.054 94	0.045 6	0.049 5	0.049 1
11	12	0.040 9	0.034 6	0.036 5	0.036 5
12	12	0.039 83	0.034	0.036 2	0.036 3
13	2	0.038 3	0.034 8	0.036 8	0.037 1
14	2	0.038 7	0.035 3	0.037 5	0.037 9
15	3	0.039 62	0.035	0.037 8	0.037 9
16	12	0.039 82	0.037 3	0.042 9	0.041 9
17	2	0.039 89	0.038 7	0.042 8	0.041 9
18	2	0.042 51	0.039 2	0.041 9	0.042 4
19	3	0.045 54	0.046 1	0.048 0	0.048 6
20	3	0.045 04	0.044 8	0.047 7	0.047 7
21	3	0.064 05	0.067 8	0.075 5	0.072 5
22	3	0.059 07	0.068 7	0.073 1	0.072 3
23	2	0.063 18	0.069 6	0.073 3	0.073 1
24	3	0.037 8	0.042 7	0.046 4	0.045 8
25	2	0.045 52	0.050 3	0.059 3	0.055 2
26	3	0.057 29	0.057 3	0.075 7	0.066 0
27	1	0.053 41	0.047	0.066 9	0.053 1
28	1	0.040 4	0.057 3	0.066 3	0.057 4
29	1	0.047 85	0.067 5	0.072 6	0.069 7
30	1	0.069 18	0.094 7	0.099 0	0.098 2

以发现, SZ-3/CMODIS 发射前定标和我们任何一种定标得到结果相差较大, 场地定标和交叉定标结果比较接近(水汽吸收通道除外), 交叉定标的不同两轨得到结果有非常好的自恰性, 相互之间的差异在 4% 以内。这表明本文采用的准同步观测场地定标和交叉定标是在轨遥感器可行的替代定标方法, 这两种定标方法不仅适合现有气象卫星遥感器的在轨定标, 也适合未来中分辨率成像光谱仪等新型的遥感器。不过对于水汽吸收等非窗区通道, 6S 模式可能存在较大误差, 得到的定标结果精度较差。

3 结论与展望

在传统场地辐射校正和交叉定标等场地替代定标方法基础上, 本文提出了一些改进思路和处理方法, 基于敦煌辐射校正场地表面反射比稳定性和反射率光谱光滑的特点, 通过星地准同步观测试验和光谱内插法实现了两种新的场地定标方法试验, 这两种方法既减少了地面星地同步观测内容, 又达到了预期辐射校正精度要求。采用这两种场地辐射定标方法处理了 2002 年 6 月 4 日的准同步观测数据, 获得了精度较高的辐射校正系数, 并用该定标系数进行了海洋上空气溶胶产品反演试验, 并取得了比较理想的结果。

利用敦煌辐射校正场对 SZ-3/CMODIS 在轨替代定标, 并

经过初步验证, 显示准同步观测场地辐射校正是一种较为有效的定标方法, 并为后期定量遥感产品反演提供可靠定标系数。敦煌场是一个面积大地表均匀且长时间稳定性好, 场区面积足够跨越环境/气象卫星遥感器的多个象元, 利用该场地这些有利特征作为一个地面均匀目标源, 对于消除传感器多探元条纹效应具有明显效果。文中采用的交叉定标方法是通过光谱通道内插的方法实现对 SZ-3/CMODIS 全部通道进行定标, 从定标结果看不同时间(1078, 1109 轨)定标相对误差在 4% 以内(水汽通道除外), 有非常好的自恰性。交叉定标时发现, 地表的 BRDF 订正是至关重要的, 在敦煌校正场它的贡献率达到 10% 以上。该交叉定标方法必须是针对敦煌这样地表反射率光谱比较平滑地面目标才可行, 否则光谱内插会出现较大问题。比较场地绝对辐射定标和交叉定标系数, 相对误差在 5%~10% 之间, 这说明这两种方法得到非常好的一致性。定标处理时也发现 940 nm 水汽吸收带附近通道无论场地辐射校正还是交叉定标, 存在较大的不确定性, 我们分析原因包括两点: 一是 6S 水汽吸收计算存在较大误差, 二是水汽量测量的不精确造成。

本文提出新的场地替代定标方法对其他资源、环境、气象和海洋卫星光学遥感器在轨辐射定标和辐射性能跟踪监测具有很好的借鉴价值, 同时也为提高新一代高光谱多探元遥感器辐射定标精度和提供长期定标服务打下基础。

参 考 文 献

- [1] Slater P N, Biggar S F, Holm R G, et al. Remote Sensing of Environment, 1987, 22(1): 11-37.
- [2] Biggar S F, Gellman D I, Slater P N. Remote Sensing of Environment, 1990, 36: 91.
- [3] Vermote E, Santer R, Deschamps P Y, et al. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(18): 3049.
- [4] Kaufman Y J, Holben B N. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(1): 21.
- [5] Rao C R N, Chen J. Journal of Remote Sensing, 1995, 16(11): 1931.
- [6] Hu Xiuqing, Zhang Yuxiang, Liu Zhiquan, et al. SPIE Proceeding, 2000, 4151: 77.
- [7] RONG Zhi-guo, ZHANG Yu-xiang, QIU Kang-mu(戎志国, 张玉香, 邱康睦). Quarterly Journal of Applied Meteorology(应用气象学报), 2004, 15(3): 266.
- [8] Teillet P M, Barker J L, Markham B L, et al. Remote Sensing of Environment, 2001, 78: 39.
- [9] Liu J-J, LI Z, QIAO Y-L, et al. Int. J. Remote Sensing, 2004, 25(23): 5267.
- [10] HU Xiu-qing, ZHANG Yu-xiang, QIU Kang-mu, et al(胡秀清, 张玉香, 邱康睦, 等). Proceedings of China Remote Sensing Sensors Radiometric Calibration(中国遥感卫星辐射校正场科研论文选编). Beijing: Ocean Press(北京: 海洋出版社), 2001. 156, 655.
- [11] HU Xiu-qing, ZHANG Yu-xiang, QIU Kang-mu, et al(胡秀清, 张玉香, 邱康睦, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2003, 7(6): 458.
- [12] ZHANG Yu-xiang, ZHANG Guang-shun, et al(张玉香, 张广顺, 等). Acta Meteorological Sinica(气象学报), 2002, 60(6): 740.
- [13] GU Xing-fa, TIAN Guo-liang, LI Xiao-wen, et al(顾行发, 田国良, 李小文, 等). Science in China E(中国科学 E 辑), 2005, 35: 1.
- [14] ZHANG Yong, GU Xing-fa, YU Tao, et al(张 勇, 顾行发, 余 涛, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2006, 25(4): 261.
- [15] HU Xiu-qing, ZHANG Yu-xiang, ZHANG Guang-shun, et al(胡秀清, 张玉香, 张广顺, 等). Journal of Applied Meteorology(应用气象学报), 2001, 12(3): 257.
- [16] HU Xiu-qing, ZHANG Yu-xiang, et al(胡秀清, 张玉香, 等). Meteorological Science and Technology(气象科技), 2001, 29(3): 12.
- [17] LI Xiao-ying, GU Xing-fa, MIN Xiang-jun, et al(李小英, 顾行发, 闵祥军, 等). Science in China E(中国科学 E 辑), 2005, 35: 41.
- [18] PAN De-lu, HE Xian-qiang, ZHU Qian-kun(潘德炉, 何贤强, 朱乾坤). Chinese Science Bulletin(科学通报), 2004, 49(21): 2239.
- [19] ZHU Xiao-xiang, FAN Tian-xi, HUANG Qian(朱小祥, 范天锡, 黄 筌). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2004, 23(6): 451.

New Method Study of Sites Vicarious Calibration for SZ-3/CMODIS

HU Xiu-qing^{1,2}, LIU Jing-jing², QIU Kang-mu², FAN Tian-xi², ZHANG Yu-xiang², RONG Zhi-guo², ZHANG Li-jun²

1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration (LRCVES/CMA), National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China

Abstract Chinese MODIS onboard ShenZhou-3 spacecraft (SZ-3/CMODIS) is the experiment instrument of next generation environmental and meteorological satellites. CMODIS can obtain the data of 30 bands in visible and near infrared region from the earth-atmosphere system. But the quantitative application of these data is limited by radiometric calibration. The present paper addresses a new concept of semi-synchronous measurements with satellite observation based on the traditional sites vicarious calibration. It can meet the expected calibration requirement under the condition of no enough ground measurements. In addition to this, the reflectance of Dunhuang Calibration site is very smooth on the Vis-NIR spectral region. A new cross-calibration was also conducted experimentally using the spectral interpolation of atmospheric correction reflectance from EOS/MODIS. The results of these two methods were compared and verified with each other and showed that they are effective and reliable. These new radiometric calibration methods provide good technique experiences for the next generation in-flight optical sensors.

Keywords CMODIS; Sites radiometric calibration; Semi-synchronous measurements with satellite observation; Cross calibration

(Received Dec. 21, 2007; accepted Mar. 26, 2008)

学术活动简讯

February 2009

1-4 Advanced Solid-State Photonics 2009 OSA Optics & Photonics Congress (ASSP),
Grand Hyatt Denver, Denver, CO;

Contact: Optical Society of America, 2010 Massachusetts Ave., NW, Washington, DC 20036-1023; Tel. (202) 416-1907, or
(800) 723-4632, Fax: (202) 416-6140;

E-mail: custserv@osa.org

Web site: <http://www.osa.org/assp>

2-7 Young Optical Scientists Conference (YOSC),

Moscow, Russia;

Contact: Vahan Senekerimyan,

E-mail: vahan@caltech.edu

Web site: <http://www.yosconf.org/>

15-20 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry,

Graz, Austria;

Contact: Ms. Astrid Tuidar, Conference Secretary, Karl-Franzens University Graz,

Institute of Chemistry/Analytical Chemistry, Universitätsplatz 1, A-8010 Graz,

Austria; Tel. 43 316 380 5300, Fax: 43 316 380 9845;

E-mail: astrid.tuidar@uni-graz.at

Web site: <http://www.winterplasmagraz.at/>