

doi:10.3799/dqkx.2015.129

基于 MODTRAN 的 ASTER 通道星上光谱模拟

王楠^{1,2}, 杨金中², 陈圣波^{1*}, 周公器³, 于亚凤¹, 项甜甜⁴

1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130026

2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

3. 北京师范大学遥感科学国家重点实验室, 北京 100875

4. 长春建筑学院交通学院, 吉林长春 130604

摘要: 由于轨传感器位置影响, 传感器接收的能量不完全来自地物的反射, 地面与传感器间大气辐射能量的作用同样不可忽略. 通过中分辨率大气辐射传输模型 (moderate resolution atmosphere transmittance and radiance code, MODTRAN) 将辐射传输过程与传感器光谱响应函数进行耦合运算, 基于二长花岗岩、正长岩、石英正长岩及石英闪长岩的地面实测光谱数据及测量时大气和几何条件, 完成了 4 种岩性先进星载热发射和反射辐射仪 (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER) 通道星上光谱的模拟, 建立了实测光谱数据与星上光谱数据间的联系, 证明将地面与传感器间大气辐射影响耦合到传感器接收地面反射能量过程中的必要性, 从而为多光谱影像的形成和应用提供了支持.

关键词: 中分辨率大气辐射传输模型; 光谱模拟; 地面实测光谱; 星上光谱; 遥感.

中图分类号: P237

文章编号: 1000-2383(2015)08-1427-05

收稿日期: 2015-03-11

Simulation to Channel on-Board Spectra of ASTER Based on MODTRAN

Wang Nan^{1,2}, Yang Jinzhong², Chen Shengbo^{1*}, Zhou Gongqi³, Yu Yafeng¹, Xiang Tiantian⁴

1. College of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China

3. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4. Traffic School, Changchun Architecture and Civil Engineering College, Changchun 130604, China

Abstract: Due to the location of sensor, the altitude intercept of ground and sensor can't be ignored. In addition, the atmospheric radiation energy contribution also can't be get rid of since the energy which the sensor gets is not all from the terrain reflection. That is the reason why ground measured data is smooth and continuous curve, while the on-board data is discrete line. The coupling calculation of radiative process and spectral response function is realized based on MODTRAN (moderate resolution atmosphere transmittance and radiance code) in this paper, starting from the ground measured spectral data of Monnognanite, quartz syenite, syenite and quartz diorite and the atmospheric and geometric conditions then completes the ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) channel on-board spectrum simulation process, and which establishes the contact of ground spectrum and on-board one, and proves the necessity of the coupling process of atmospheric impact and process of receiving the ground reflection energy of the sensor, which offers support for the formation of multispectral image.

Key words: MODTRAN; spectral simulation; ground measured spectrum; on-board spectrum; remote sensing.

卫星遥感数据模拟理论与技术的研究对于航天遥感器的论证、设计和应用模型的开发及验证具有

重要意义, 多光谱乃至高光谱数据的模拟是其重点研究方向(李博等, 2010). 多光谱和高光谱图像中光

基金项目: 中国地质调查局项目 (No. 12120113100100); 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (Nos. 2012AA12A308, 2008AA121100); 国家自然科学基金项目 (No. 41402293).

作者简介: 王楠 (1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事多光谱及高光谱图像岩性提取及分类研究. E-mail: lazarus300792@aliyun.com

* **通讯作者:** 陈圣波, E-mail: chensb0408@126.com

引用格式: 王楠, 杨金中, 陈圣波, 等, 2015. 基于 MODTRAN 的 ASTER 通道星上光谱模拟. 地球科学——中国地质大学学报, 40(8): 1427-1431.

谱信息是其广泛应用的主要优势,其应用过程需要地面实测光谱与星上光谱相结合(吴传庆等,2005)。在多光谱数据的应用中,地物波谱数据的应用非常广泛,由于地面实测数据在测量时忽略了仪器高度的影响,但地面与卫星传感器的高度不容忽视,因此大气与地表系统间的多次散射和其他过程同样不可忽略。传感器接收到的地物反射能量并不完全来自于目标物(王倩等,2010),这造成星上光谱与地面实测光谱存在不小的差异。先进星载热发射和反射辐射仪(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER)多光谱数据波段较少,其光谱数据形态为离散值组成的折线;而野外实测光谱数据为相对连续的平滑曲线(张飞等,2012)。近些年来,由地面实测光谱向星上光谱模拟的方法主要是对地面实测光谱根据传感器响应函数进行拟合,即对实测光谱按照波长做加权平均(张婷等,2010),或者是利用最小二乘法等方法对实测光谱和星上光谱进行线性回归分析(张飞等,2012),找到最能描述两者之间关系的相关系数,进而实现模拟。光谱拟合的方法虽然将传感器响应函数考虑在内,但其研究条件仅限于传感器与地面间高度可以忽略不计的情况,在大多数情况下,传感器与地面间的大气环境对反射能量的分配至关重要,地表—大气—传感器间的辐射传输过程不容忽视(杨贵军等,2009)。因此,建立大气辐射影响下的光谱模拟过程是至关重要的。大气辐射传输模型的应用可以表现出地面反射及大气散射与反射的能量关系(毛克彪和覃志豪,2004;焦斌亮等,2007),进而计算地表光谱信息与大气进行耦合之后遥感所获得的能量,为传感器星上光谱的获取提供支持。

遥感中常用的大气辐射传输模型包括改进的太阳光谱波段卫星信号模拟程序(second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6s)、低分辨率大气辐射传输模型(low resolution atmospheric transmittance and radiance code, LOWTRAN)、中分辨率大气辐射传输模型(moderate resolution atmosphere transmittance and radiance code, MODTRAN)、快速大气信息程序(fast atmospheric signature code, FASCODE)和高分辨率大气辐射传输模型(high resolution atmospheric transmittance and radiance code, HITRAN)。6S模型只适用于波长小于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的波谱范围;而LOWTRAN虽然计算速度较快但光谱分辨率较低;FASCODE虽然在大气透过率的计算上精度更高,但其计算方法复杂,计算速度远低于LOWTRAN

和MODTRAN。由于本文计算的是地面反射率值经大气影响后到达传感器星上点的模拟过程数据,因此选用MODTRAN(Abreu and Anderson, 1996),即中分辨率大气辐射传输模型,其在LOWTRAN的基础上对计算程序进行了改进和发展。MODTRAN可以计算大气透过率、总的辐射亮度等参数,计算精度较高且计算速度较快(Acharya *et al.*, 1999),使得地表特性的参数输入成为可能,是目前应用最广泛的大气辐射传输计算程序。

本文利用MODTRAN模型,将传感器响应函数文件与其进行耦合运算,并将大气及几何条件作为参数输入模型,基于地面实测光谱数据实现了ASTER通道星上光谱的模拟。针对遥感成像条件不允许的情况,光谱模拟可以为影像的形成奠定基础,为后续研究提供保障。同时,光谱模拟对于研究大气辐射作用对不同岩性以及同种岩性光谱间差异性的影响也具有现实意义。

1 地面光谱辐射传输过程

MODTRAN模型可以模拟复杂的大气辐射传输过程,在有地物目标作用的前提下,MODTRAN模拟的地面光谱辐射传输过程包括:

(1)太阳直射辐射:是指太阳光到达地面经由地物直接反射回传感器的过程。

(2)太阳漫射辐射:是指太阳光经大气中颗粒物散射后到达地面,之后被地物反射回传感器的过程。

(3)大气热漫射辐射:是指大气中的热量经颗粒物散射后到达地面,之后被地物反射回传感器的过程。

由地面光谱辐射传输过程可知,大气类型、传感器天顶角及方位角、野外测量时的高程及能见度和野外实测反射率是重要的研究对象。这些参数的改变会直接导致传感器接收地物反射能量的改变,进而引起星上光谱数值的改变。其中,野外实测光谱数据根据其特点需要利用插值法与ASTER传感器响应函数进行耦合运算,插值为与星上光谱数据特点类似的离散点值,便于MODTRAN运算。

2 光谱模拟

2.1 数据准备

选择ASD Fieldspec pro地物光谱仪测量位于西昆仑成矿带西部, $37^{\circ}36' \sim 37^{\circ}49' \text{N}$, $74^{\circ}58' \sim$

表 1 MODTRAN 模型参数
Table 1 The parameters of MODTRAN

参数	要求	模拟取值
大气类型	自选	中纬度夏季大气
地面反射率	插值后反射率值	插值后反射率值
响应函数文件	将 ASTER 传感器响应函数(图 1)输出为 ASCII 值,根据 ASTER 传感器波段特点以每个波段中心波长为起始修改响应函数文件,并在模型中匹配正确路径	DATA/ASTER.txt
气象视距	测量记录	23.00 km
高程	测量记录	4.352 10 km
传感器天顶角	0°~90°	0°
太阳天顶角	0°~90°	27.05°
方位角	0°~360°	146.527°
波长范围	350~2 500 nm	350~2 500 nm

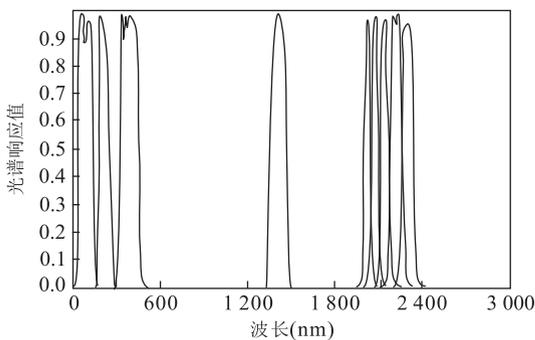


图 1 ASTER 响应函数

Fig.1 The response function of ASTER

75°15'E 区域内的 4 条光谱数据,包括二长花岗岩、正长岩、石英正长岩和花岗闪长岩 4 种(董永观等, 2002)。根据前期数据调研,选取的 4 种岩性在西昆仑成矿带内均有大面积出露和分布,在光谱上 4 种岩性均能表现出在特征波段的吸收特征,便于利用光谱特征进行后续的岩性提取和分析。同时,二长花岗岩等 4 种岩性在成分上有共通之处,例如均含有长石等成分,较其他岩性在光谱差异性上弱,具有光谱研究价值;另一方面,做好二长花岗岩、正长岩、石英正长岩及花岗闪长岩 4 种岩性的光谱模拟研究,有助于对该地区岩性信息的提取和分析等后续工作,可以对加深西昆仑成矿带内岩性分布的研究提供帮助。

该光谱仪的波谱范围为 300~2 500 nm,视场角为 25°,光谱分辨率在 350~1 000 nm 区间内为 3 nm,在 1 000~2 500 nm 区间内为 10 nm。测量时间集中在 11:00~15:00,测量期间天空晴朗无云。利用光谱后处理软件 ASD ViewSpecPr-HiRes 对数据进行分析,剔除无效数据,保证实测数据的准确性。

2.2 参数输入及运算

由于大气辐射传输过程较为复杂,本文只研究

地面反射光谱经大气作用后到达传感器星上数据的模拟过程,因此对 MODTRAN 程序进行一定的修改,使之更恰当地模拟该过程,模型所需参数如表 1 所示。修改主要为以下两个部分:(1)针对模拟过程定义了简化的参数输入界面,使参数输入在同一个面板上实现;(2)将 ASTER 传感器响应函数修改为 MODTRAN 要求的格式并加入其中。修改后的 MODTRAN 程序参数输入可在同一文件中实现(图 1)。

依据地面辐射传输过程运行模型得到最终传感器入瞳处总辐射量 L_{tot} (单位为 $W/sr^{-1}cm^{-1}$),依据式(1)计算模拟反射率值 ρ 。

$$\rho = \pi \times L_{tot} \times D^2 / ESUN \times \cos\theta, \quad (1)$$

式中, D 为日地平均距离(天文单位); $ESUN$ 为大气层顶平均太阳光谱辐照度,单位为 $W/sr^{-1}cm^{-1}$; θ 为度太阳天顶角,单位为度。

3 模拟结果

为验证光谱模拟过程,笔者选取 4 种岩性的代表性实测光谱数据进行模拟,模拟结果如图 2 所示。在 2 200 nm 特征波长附近,模拟光谱数据均呈现出相应的反射率特征。其中二长花岗岩和正长岩的模拟光谱在光谱变化上较其他两种岩性与实测光谱的契合度较好,能够较直观地表现出光谱的变化趋势;石英正长岩的模拟光谱在 2 000 nm 附近并未明显表现出吸收特征,与实测光谱差别较大;同时,石英闪长岩在 1 900 nm 附近的吸收特征在模拟光谱上也并未明显表现出吸收特征。

为了评价模拟结果的优劣,笔者选取该研究区内的 ASTER 反射率遥感影像(图 3),从中抽取二长花岗岩的图像光谱,并与模拟值进行比较(图 4)。

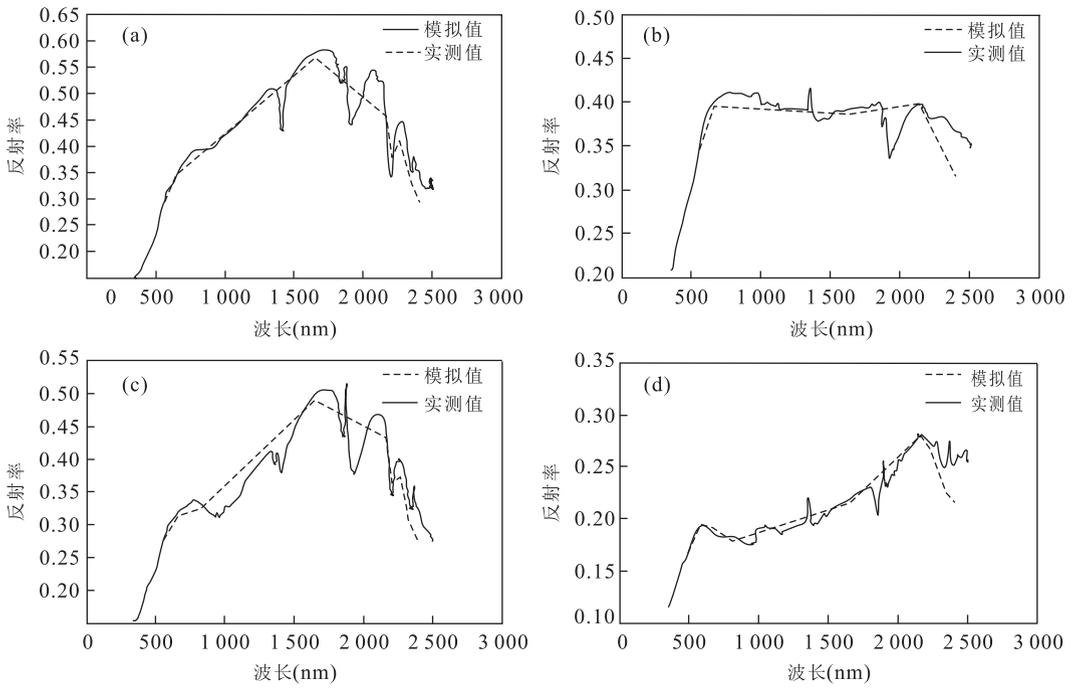


图 2 光谱模拟结果

Fig.2 The spectral simulation results

a.二长花岗岩模拟光谱;b.石英正长岩模拟光谱;c.正长岩模拟光谱;d.石英闪长岩模拟光谱

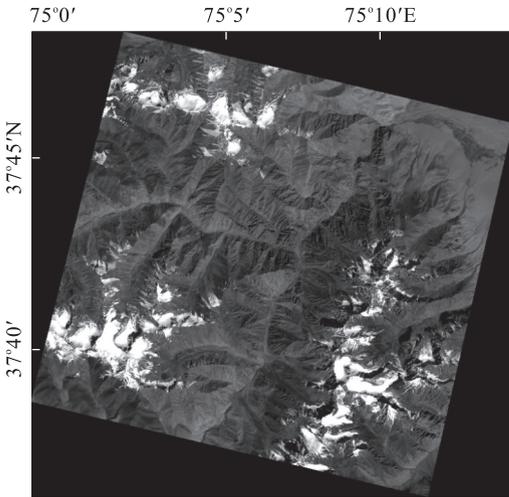


图 3 ASTER 反射率遥感影像

Fig.3 ASTER remote sensing image of reflectivity

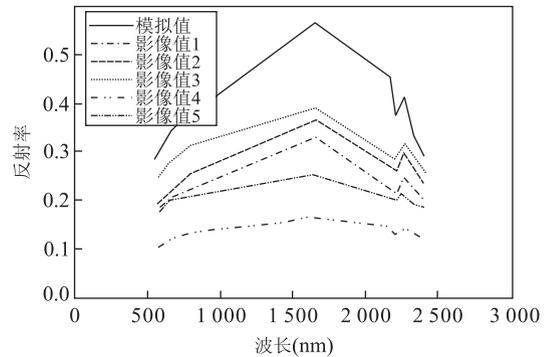


图 4 二长花岗岩模拟值与影像值对比

Fig.4 Contrast of monzogranite for simulation values and image ones

模拟结果总体上可以反映出地面实测光谱的变化规律,在某些实测数据波峰和波谷附近也能反映出相似的规律,但与标准 ASTER 通道星上光谱反射率值对比之后,笔者发现二长花岗岩的模拟光谱值与标准 ASTER 通道星上反射率值相比出现值偏高的情况,虽然在 2 000~2 500 nm 之间的波峰和波谷与影像值较为吻合,但从整体上看与标准值还有一定的偏差(图 4).在对实测数据进行插值处理时选

取的目标数据范围以及实测光谱数据的准确度均可能影响该模拟结果;同时,影像光谱标准值的获取也会受到诸多因素影响,例如成像条件好坏,提高模型输入参数的准确度以及野外实测数据的准确度会在模拟过程上帮助解决此问题.

4 结论

本文基于地面实测光谱数据和大气辐射传输模型 MODTRAN,实现了 ASTER 通道星上光谱的模

拟过程,找到了适合模拟 ASTER 通道星上光谱数据的模型和方法,证明了大气辐射传输过程在星上光谱模拟中的重要性。

在目前广泛应用的大气辐射传输模型中,MODTRAN 模型能够较为准确地模拟大气辐射的传输过程。笔者建立的 ASTER 通道星上光谱模拟过程,充分考虑了大气辐射的影响和星上光谱获取过程中的主要因素,弥补了星上光谱模拟中大气辐射影响的空缺。将传感器光谱响应函数耦合到大气辐射传输解析模型中,对于星上光谱的准确获取是非常必要的。

References

- Abreu, L. W., Anderson, G. P., 1996. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model. *Contract*, 19628(91—C); 132.
- Acharya, P. K., Berk, A., Anderson, G. P., et al., 1999. MODTRAN4: Multiple Scattering and Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) Upgrades to MODTRAN. *Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research III*, 12: 354—362. doi:10.1117/12.366389
- Dong, Y. G., Xiao, H. L., Guo, K. Y., et al., 2002. Characteristics of Metallogenic Zoning in West Kunlun Mountains. *Mineral Deposits*, 21(S1): 113—116 (in Chinese).
- Jiao, B. L., Gao, Z. Q., Li, S. J., et al., 2007. Atmospheric Radiative Transfer Model and Its Software. CACIS, Shanghai, 386—390 (in Chinese).
- Li, B., Yan, L., Zhang, L. F., 2010. Evaluation of Sensor Spectral Parameters for the Simulation Accuracy of the Vegetation Spectrum. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 30(7): 1843—1847 (in Chinese with English abstract).
- Mao, K. B., Qin, Z. H., 2004. The Transmission Model of Atmospheric Radiation and the Computation of Transmittance of MODTRAN. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 27(4): 1—3 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., Chen, X., Chen, J. P., et al., 2010. Adjacency Effect Correction Study of ASTER Image Based on the Synchronized Measured Spectral Data. *Remote Sensing Technology and Application*, 25(4): 567—573 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C. Q., Tong, Q. X., Zheng, L. F., 2005. Pretreatment of Flipped and Image Spectra Data. *Remote Sensing Technology and Application*, 20(5): 506—511 (in Chinese with English abstract).
- Yang, G. J., Liu, Q. H., Liu, Q., et al., 2009. Mid-Infrared Atmosphere Radiation Transfer Analytic Model and Remote Sensing Images Simulation. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 29(3): 629—634 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, F., Tshpolat, T., Ding, J. L., et al., 2012. Simulation and Subsection between Fields Measured Endmember Spectrum and Multi-Spectrum Image of TM. *Opto-Electronic Engineering*, 39(6): 62—70 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, T., Ding, J. L., Wang, F., 2010. Simulation of Image Multi-Spectrum Using Field Measured Endmember Spectrum. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 30(11): 2889—2893 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 董永观,肖惠良,郭坤一,等,2002.西昆仑地区成矿带特征.矿床地质,21(S1):113—116.
- 焦斌亮,高志强,李素静,等,2007.大气辐射传输模型及其软件.2007年全国第18届计算机技术与应用(CACIS)学术会议论文集,386—390.
- 李博,晏磊,张立福,2010.传感器光谱指标对植被光谱模拟精度的影响.光谱学与光谱分析,30(7):1843—1847.
- 毛克彪,覃志豪,2004.大气辐射传输模型及MODTRAN中透过率计算.测绘与空间地理信息,27(4):1—3.
- 王倩,陈雪,陈建平,等,2010.基于同步实测光谱数据的ASTER影像邻近效应校正研究.遥感技术与应用,25(4):567—573.
- 吴传庆,童庆禧,郑兰芬,2005.地面、图像光谱的预处理.遥感技术与应用,20(5):506—511.
- 杨贵军,柳钦火,刘强,等,2009.中红外大气辐射传输解析模型及遥感成像模拟.光谱学与光谱分析,29(3):629—634.
- 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等,2012.实测端元光谱和多光谱图像之间的模拟与细分.光电工程,39(6):62—70.
- 张婷,丁建丽,王飞,2010.基于实测端元光谱的多光谱图像光谱模拟研究.光谱学与光谱分析,30(11):2889—2893.