

高分一号卫星多光谱遥感图像邻近效应校正研究

汤 兴 易维宁 杜丽丽 崔文煜

中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室, 安徽 合肥 230000

摘要 在遥感观测中,目标辐射信息中包含了背景辐射经过大气散射后进入传感器视场的部分,从而使地物边缘模糊,对比度降低,即邻近效应。要从遥感图像中准确获取目标信息,邻近效应校正是必不可少的环节。根据大气辐射传输模型,利用MODIS气溶胶产品并引入新的邻近效应校正系数对高分一号卫星多光谱遥感影像进行邻近效应校正。结果表明,经过校正的遥感影像对比度增强,清晰度增加,地物信息更丰富。

关键词 遥感; 大气光学; 邻近效应; MODIS气溶胶产品; 校正系数

中图分类号 TP751 文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201636.0228003

Adjacency Effect Correction Study of GF-1 Satellite Multi-Spectral Remote Sensing Images

Tang Xing Yi Weining Du Lili Cui Wenyu

Key Laboratory of Optical Calibration and Characterization, Chinese Academy of Sciences, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230000, China

Abstract In remote sensing observation, the target radiation information contains background radiation scattered by the atmosphere entering the field of view of the sensor section, which is adjacency effect making the feature edge blurred, contrast lower. In order to obtain accurate target information from remote sensing image, adjacency effect correction is necessary. Using MODIS aerosol products and importing a new adjacency effect correction coefficient to correct adjacency effect of GF-1 satellite multi-spectral remote sensing images, which are based on the atmospheric radiation transfer model. The results show that after correction, the contrast and the definition of remote sensing image are increased obviously, meanwhile feature information is more abundant.

Key words remote sensing; atmospheric optics; adjacency effect; MODIS aerosol products; correction coefficient

OCIS codes 280.1100; 010.0280; 010.1285; 010.5620

1 引 言

根据辐射传输模型理论,卫星传感器接收到的辐亮度由三部分组成^[1]:程辐射、地物目标反射辐射和交叉辐射。周围背景反射辐射经大气散射进入传感器视场,即交叉辐射,邻近效应即交叉辐射项,从某种程度上会使遥感图像中地物边缘模糊,图像钝化和失真^[2]。如何有效地进行邻近效应去除是遥感定量化,精确反演地表反射率的要求。Kaufman^[3]的研究结果表明:传感器空间分辨率越高,邻近效应的影响越强,故对于高分辨率卫星成像,邻近效应不可忽略;胡宝新等^[4]指出邻近像元的影响可以看作目标表面辐射场和大气点扩展函数(PSF)的卷积,并给出了大角度斜视条件下的大气点扩展函数的解析近似表达式,由此产生一种MTF图像恢复的方法对邻近效应进行去除;Sanders等^[5]研究表明:像元尺度越小,交叉辐射所占比例越高。

目前对于邻近效应校正方法的研究主要分为两类:1) 基于辐射传输模型的方法;2) 基于PSF的图像恢复

收稿日期: 2015-07-06; 收到修改稿日期: 2015-09-22

基金项目: 中国科学院科技创新重点项目(KGFZD-125-13-006)

作者简介: 汤 兴(1993—),男,硕士研究生,主要从事遥感图像处理方面的研究。E-mail: hlmtxxx@163.com

导师简介: 易维宁(1956—),女,研究员,博士生导师,主要从事遥感图像辐射校正、遥感信息分析处理技术等方面的研究。

E-mail: yiwn@aiofm.ac.cn

的方法。基于 PSF 的方法存在过分依赖图像具体信息、随机误差较大、计算量大等缺陷,而且当气溶胶光学厚度较大、能见度较低、多次散射严重时,大气交叉辐射影响并非地表反射与大气点扩展函数的简单卷积。对于高分辨率遥感图像,利用 PSF 进行图像恢复本身还存在疑问^[6]。

本文根据大气辐射传输模型,利用 MODIS 气溶胶产品并引入新的校正系数对高分一号卫星多光谱遥感影像进行邻近效应校正。结果表明,校正后像元间的空间自相关性减少,图像质量明显提高。

2 邻近效应校正算法

2.1 基于辐射传输模型校正一般算法

首先对遥感影像进行辐射校正,将数值(DN)转化为入瞳处的辐亮度

$$L = N_{DN} \times k + b, \quad (1)$$

式中 k 为定标斜率, b 为定标截距。

从入瞳处的辐亮度中扣除大气程辐射并且去除大气衰减影响,反演出含邻近效应的地面综合反射率 ρ_1 , 假设地表为平坦的朗伯体

$$L = L_{path} + \frac{T(\theta_v)\rho_1 E_g(0)}{\pi(1 - \rho_1 S)}, \quad (2)$$

$$\rho_1 = \frac{L - L_{path}}{\frac{T(\theta_v)E_g}{\pi} + (L - L_{path})S}, \quad (3)$$

式中 L_{path} 为程辐射, $T(\theta_v)$ 为大气在观测方向上的总透射率, $E_g(0)$ 为该位置太阳辐照度, S 为大气半球反照率。

计算背景反射率

$$\rho_M = \sum_k \sum_i \rho'(x, y) P(x, y, \theta_v), \quad (4)$$

式中 $P(x, y, \theta_v)$ 可以当作一个权重函数,描述与目标像元距离为 r 的对目标像元的贡献率。

计算邻近效应校正系数,得到去除邻近效应的地面真实反射率

$$\rho_i = \rho_1 + q(\rho_1 - \rho_M). \quad (5)$$

邻近效应是由大气散射引起的,散射越强,邻近效应的影响越大。国内校正方法一般采用漫射与直射透射率之比作为邻近效应校正系数 q ^[7]。

考虑大气半球反照率的影响。半球反照率是在 6S 软件中设定大面积背景反射率(常数,通常设为 0.15)计算出的,这里根据不同的 ρ_M 进行调整

$$\rho_i = \rho_1 [1 - (\rho_M - 0.15)S]. \quad (6)$$

2.2 算法改进

上述邻近效应去除算法中需要的很多参数如地表所接收到的太阳辐照度 $E_g(0)$ 、大气程辐射 L_{path} 、大气半球反照率 S 、大气上行方向的总透射率 $T(\theta_v)$ 。这些参数可以用 6S 源代码提供函数计算^[8]。

气溶胶含量是对邻近效应校正影响最大的参数,而在一幅图像上不同地点的气溶胶光学厚度(AOT)是不一样的,显然在幅宽较大的图像上用一气溶胶光学厚度参数是不合理的。采用 MODIS 气溶胶产品可以得到成像时间分辨率为 1 km 的当地气溶胶光学厚度分布,依据 MODIS 气溶胶数据对影像逐像元进行拟合计算得到全区域气溶胶光学厚度数据集,然后输入到 6S 辐射传输模型计算气溶胶。

基于辐射传输模型的邻近效应校正算法的关键是计算背景反射率和邻近效应系数,并从这两方面对算法进行改进。

计算背景反射率时引入权重函数

$$\rho_M = \sum_{i=1}^{n_R} \rho_i w_i, \quad (7)$$

$$w_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_R} W_i} W_i, \quad (8)$$

且

$$W_i = \int_{r_i-1}^{r_i} A(r)\exp(-r)dr \approx \int_{r_i-1}^{r_i} (2r)^2 \exp(-r)dr \quad (9)$$

式中 n_R 为邻近像元的影响范围, 选取 $n_R=10$, 即考虑距离目标 10 个像元的范围的邻近效应的影响。 $A(R)$ 为距离目标像元 r 到 $r+dr$ 的环形区域面积, 在此近似为一个正方形区域, $A(R)=(2r)^2$ 。

计算邻近效应校正系数时, 由于漫射与直射透射率之比无法从 6S 输出文件中直接得到, 并且漫射与直射透射率之比也不能反映交叉辐射与直接来自目标像元的辐射关系。而 6S 输出文件中的 background radiance 和 pixel radiance 却能直观反映交叉辐射与目标辐射之比。 Kaufman^[3] 的研究结果表明: 传感器空间分辨率越高, 邻近效应的影响越强。所以添加一个修正因子, 选取三种修正因子: $\exp(-m/2)$ 、 $1/2m$ 和 $\sin(\pi/2m)$, (m 为相机分辨率)。随着相机分辨率增加, m 值减小, 三种修正因子的值也随之增加, 较好地体现了分辨率和校正系数的关系, 当 $m>0$ 时, 修正因子的值域也较合理, 可以补偿由于分辨率提高对邻近效应校正系数造成的误差。故选取上述三种修正因子得到三种邻近效应校正系数

$$q_1 = \frac{L_{back}}{L_{pixel}} + \exp\left(-\frac{m}{2}\right), q_2 = \frac{L_{back}}{L_{pixel}} + \frac{1}{2m}, q_3 = \frac{L_{back}}{L_{pixel}} + \sin\frac{\pi}{2m} \quad (10)$$

2.3 修正因子准确性验证

用上述三种邻近效应校正系数分别对同一区域的 2 m 分辨率全色影像和 8 m 分辨率多光谱影像进行校正, 通过比较反演后的铺设靶标反射率与地面实测靶标反射率来验证修正因子的准确性。

表 1 修正因子准确性验证

Table 1 Accuracy verification of correction factor

Wave band	Ground measurement	L_{back} / L_{pixel}	q_1	Relatively error/%	q_2	Relatively error/%	q_3	Relatively error/%
Band1	0.3756	0.3248	0.3411	10.11	0.3351	12.09	0.3557	5.3
Band2	0.4105	0.3624	0.3981	3.11	0.3874	5.96	0.4358	6.16
Band3	0.4156	0.3974	0.4414	6.21	0.4287	3.15	0.4688	12.8
Band4	0.4037	0.3647	0.3877	4.13	0.3746	7.77	0.3856	4.48
Panchromatic	0.4073	0.3675	0.3921	3.87	0.3775	7.32	0.4278	5.03

由表 1 可知, 利用原校正系数反演的靶标反射率普遍偏低, 利用校正系数 q_1 反演的地表反射率的相对误差在波段 2、波段 4、全色波段都优于 q_2 、 q_3 , 而在波段 1 劣于 q_2 , 波段 3 劣于 q_3 。出现这种差异性可能是由于不同波段邻近效应影响的差异, 并且反演后的靶标反射率取自若干像元的均值, 具有一定随机性, 以及地面实测的反射率不是成像当天测量, 因此也会产生一些误差。故选取 q_1 为改进后算法的邻近效应校正系数。

3 高分一号卫星多光谱遥感影像的邻近效应校正

高分一号卫星搭载了 2 m 分辨率全色和 8 m 分辨率多光谱相机共两台, 16 m 分辨率多光谱相机共四台。

3.1 数据准备

选取 2014 年 12 月 23 日丽江地区 8 m 分辨率的多光谱遥感影像, 6S 模型输入参数如表 2 所示。各波段在高分一号卫星 PMS2 相机中的光谱响应如图 1 所示。在 MODIS 官网上下载成像当天、覆盖同一区域的 1 km

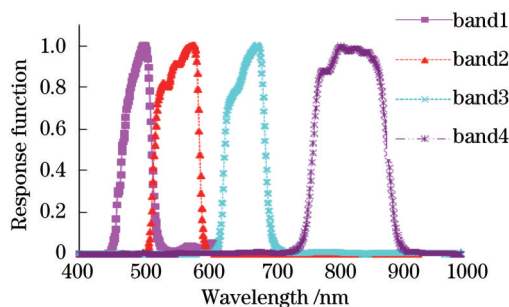


图 1 高分一号卫星 PMS2 相机光谱响应

Fig.1 GF-1 PMS2 camera spectrum response function

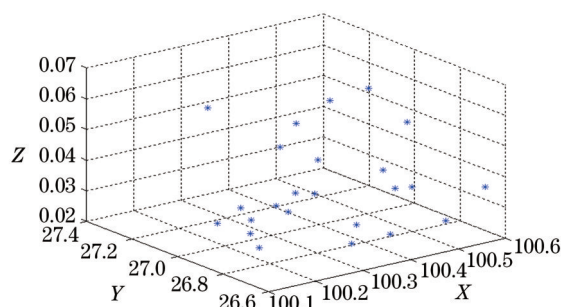


图 2 MODIS 气溶胶数据散点图

Fig.2 Scatter plot of MODIS AOT data

分辨率气溶胶数据,其中有效数据如图2所示。

表2 6S模型输入参数

Table 2 6s model input parameters

Geometry parameter	solar zenith /($^{\circ}$)	51.4369	
	solar azimuth /($^{\circ}$)	166.728	
	satellite zenith /($^{\circ}$)	7.3324	
	satellite azimuth /($^{\circ}$)	285.243	
	observation date	2014.12.23	
Atmospheric parameter	atmosphere model	midlatitude winter	
	aerosol model	mainland	
	altitude/km	2.146	
Sensor parameter	observer height/km	644.5	
	band range /nm	band1: 450~520	
		band2: 520~590	
		band3: 630~690	
		band4: 770~890	
calibration coefficient	gain	offset	
	band1	0.2419	0
	band2	0.2047	0
	band3	0.2009	0
	band4	0.2058	0

对MODIS气溶胶数据进行插值拟合,拟合结果如图3所示,将拟合后的气溶胶数据集输入到6S传输模型中计算大气参数。

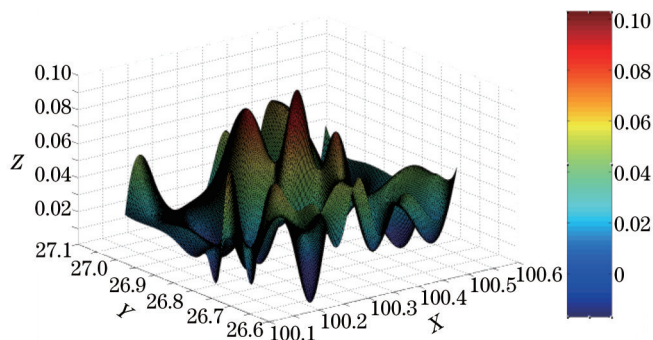


图3 MODIS气溶胶数据曲面拟合结果

Fig.3 Surface fitting results of MODIS AOT data

3.2 校正效果

按照改进后的邻近效应校正算法对高分一号卫星8 m分辨率多光谱图像先去除程辐射影响再进行邻近效应校正,结果如图4所示。



图4 2014年12月23日GF-1丽江地区多光谱合成彩色图(城镇)。(a)校正前图像;(b)校正后图像

Fig.4 GF-1 multi-spectral color synthesis of Lijiang area in December 23, 2014(urban). (a) Before correction; (b) after correction

图4、图5选取的是城镇地区和山林地区的多光谱合成彩色图, R 为波段3(630~690 nm)、 G 为波段

2(520~590 nm)、B为波段1(450~520 nm),比较校正前、后遥感影像,整体效果得到提升,像元值反差变大,图像细节得到增强。如图4所示,原始图像由于受大气影响城镇上方产生雾状效果,地物轮廓不明显,校正后的图像中大气影响产生的下垫面上朦胧效果得到去除,公路、房屋、田地的边缘变得清晰,地物辨识度提高。如图5所示,校正后的图像中长江两岸以及河流上堤坝等地物轮廓分明,山脉纹理信息丰富清晰。

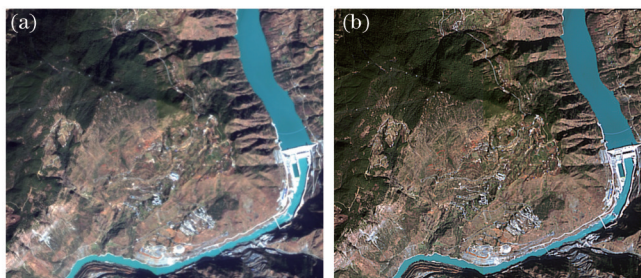


图5 2014年12月23号GF-1丽江地区多光谱合成彩色图(山区)。(a)校正前图像;(b)校正后图像

Fig.5 GF-1 multi-spectral color synthesis of Lijiang area in December 23, 2014(mountain). (a) Before correction; (b) after correction

4 校正结果评价

4.1 信息熵

熵是对图像信息量的度量,纹理越丰富的图像信息量就越多,熵值也就越大。其表达式为

$$E_{ENT} = \sum_{i=0}^{\max} -P(i) \times \log[P(i)], \quad (11)$$

式中 $P(i)$ 为像素直方分布百分比,即灰度值为 i 的像素个数的百分比。当两幅相同内容的图像作比较时,质量高的图像所反映的内容更丰富,信息量更多,计算得到的熵值也越大,反之就越小。图6为信息熵结果。

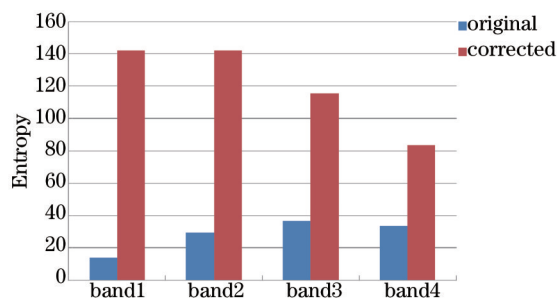


图6 校正前、后遥感影像信息熵结果

Fig.6 Information entropy results of remote sensing image before and after correction

4.2 对比度

对比度表示轮廓、边缘、纹理等图像内容的灰度反差,其表达式为

$$C_{CON} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [C(i,j) - C(i-1,j)]^2 + [C(i,j) - C(i-1,j-1)]^2 + [C(i,j) - C(i,j+1)]^2 + [C(i,j) - C(i+1,j)]^2}{4}, \quad (12)$$

式中 $C(i,j)$ 指像素的灰度值。当两幅相同内容的图像作比较时,纹理少、整体模糊、边缘弱化的图像对比度一般较小,而整体明晰的图像对比度一般较大。图7为对比度结果。

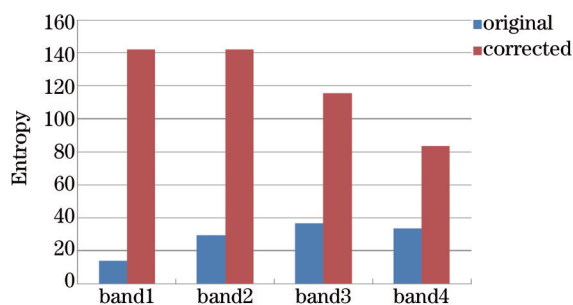


图7 校正前、后遥感影像对比度结果

Fig.7 Contrast results of remote sensing image before and after correction

4.3 清晰度

清晰度是评价数字图像表达内容清晰程度的重要指标。采用基于 Robert 模板的清晰度算法对图像质量给出评价,模板为

$$R = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

式中 R 为指像素的灰度值,Robert 清晰度计算为

$$S_R = \begin{bmatrix} C(i,j) & C(i,j+1) \\ C(i+1,j) & C(i+1,j+1) \end{bmatrix} R. \quad (14)$$

图 8 为清晰度结果。

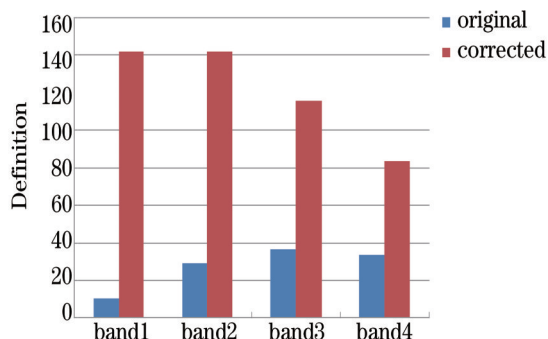


图 8 校正前、后遥感影像清晰度结果

Fig.8 Definition results of remote sensing image before and after correction

4.4 MTF 评价

调制传递函数(MTF)主要用来评价系统成像的性能,也用来评价图像的质量。

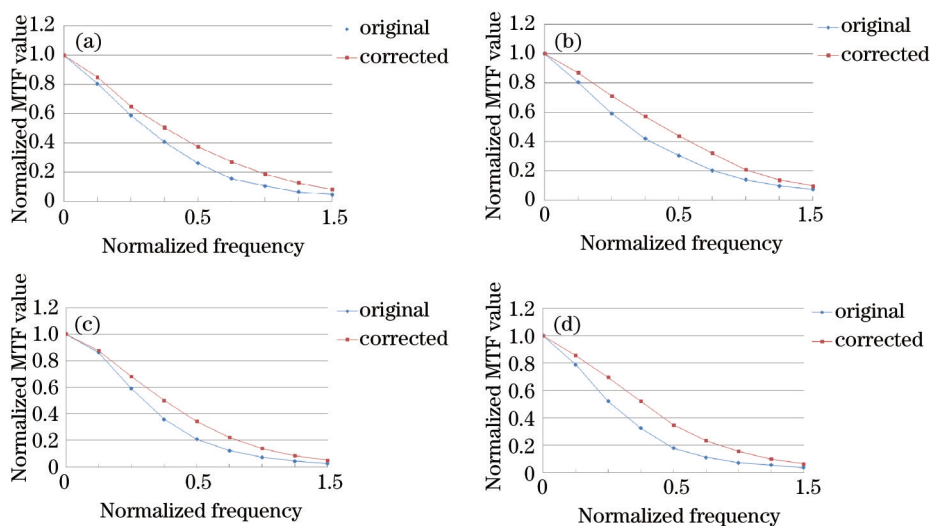


图 9 校正前、后四个波段影像 MTF。(a) 波段 1; (b) 波段 2; (c) 波段 3; (d) 波段 4

Fig.9 MTF image of four bands before and after correction. (a) Band1; (b) band2; (c) band3; (d) band4

由图 9 可知,经邻近效应校正后,MTF 得到提高,说明有效去除了大气影响,图像质量提高,校正效果明显。

5 结 论

由于交叉辐射的影响,使得遥感影像地物边缘模糊,辨识度不高,对比度降低,图像钝化、失真,所以邻近效应校正是遥感量化的必然要求,尤其随着传感器空间分辨率的提高以及在进行多角度遥感和大倾角成像时,对邻近效应的校正显得尤为重要。以大气辐射传输模型为基础,引入一种新的校正系数,并且将 MODIS 气溶胶产品拟合的全区域气溶胶数据输入到 6S,对高分一号卫星多光谱图像进行邻近效应校正,然

后从三个方面对校正后的图像进行评价,结果表明,经过校正的遥感影像对比度增强,清晰度增加,地物信息更丰富。

利用6S辐射传输模型进行大气参数计算时,输入的大气模式、气溶胶模式都是对卫星过顶时大气状况的假设,必然会使邻近效应结果产生误差,精度降低,所以在今后的研究中,可以对大气中水汽臭氧含量和气溶胶粒子进行精确测量,从而提高邻近效应校正和反射率反演精度。

参 考 文 献

- 1 Xu Xiru. Physics for Remote Sensing[M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 328.
徐希孺. 遥感物理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006: 328.
- 2 Kaufman Y J, Karnieli A, Tanré D. Detection of dust over deserts using satellite data in the solar wavelengths[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2000, 38(1): 525-531.
- 3 Kaufman Y J. Effect of earth's atmosphere on the contrast for zenith observations[J]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84(6): 3165-3172.
- 4 Hu Baoxin, Li Xiaowen, Zhu Chongguang. Deriving the anisotropic atmospheric point spread function of off-nadir remote sensing[J]. Journal of Image and Graphics, 1996,1(1): 19-29.
胡宝新, 李小文, 朱重光. 大倾角光学遥感中大气点扩散函数的近似模型[J]. 中国图象图形学报, 1996, 1(1): 19-29.
- 5 Sanders L C, John R S, Rolando S. A VNIR/SWIR atmospheric correction algorithm for hyperspectral imagery with adjacency effect[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 78(1): 252-263.
- 6 Liang S, Fang H, Chen M. Atmospheric correction of landsat ETM+ land surface imagery-part I: Methods[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(11): 2490-2498.
- 7 Wang Qian, Chen Xue, Ma Jianwen, *et al.*. A comparative study of two remote sensing image adjacency effect correction algorithms based on SHDOM empirical equation and synchronized measured spectral data[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(11): 3324-3348.
王倩, 陈雪, 马建文, 等. 基于SHDOM经验方程和基于同步实测光谱数据的遥感影像邻近效应校正算法对比研究[J]. 光学学报, 2010, 30(11): 3342-3348.
- 8 Vermote E, Tanre D, Deuze J L, *et al.*. 6S user guide Version 2[J]. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 1997: 5-8.

栏目编辑: 苏 岑