

# 基于 ASTER 数据反演我国南方山地陆表温度

王凤敏, 田庆久, 虢建宏

(南京大学国际地球科学系统研究所, 南京 210093)

**摘要:** 以贵州省黎平县山地植被覆盖区为例, 基于 ASTER 遥感数据进行 15 m 分辨率的归一化植被指数制图和地表发射率制图, 在利用 MODTRAN 4 大气辐射传输模型进行大气订正的基础上, 基于普朗克辐射方程的推导反演陆表温度, 取得了较为理想的结果。

**关键词:** 热红外; 遥感; ASTER; 陆表温度; 发射率

**中图分类号:** TP 722.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2005)01-0030-04

## 0 引言

热红外遥感是研究地表热辐射特性的重要手段之一。与 AVHRR、MODIS 数据相比, ASTER 具有较高的空间分辨率, 而与 TM/ETM 数据相比, ASTER 数据有更多的热红外波段和更高的波谱分辨率<sup>[1,2]</sup>。此外, ASTER 数据的低价位使其拥有非常广泛的应用领域和市场。因此, 研究如何利用 ASTER 数据进行发射率制图和温度反演, 尤其是植被覆盖区复杂山地地表发射率制图和温度的反演, 不仅可用于计算全球与区域尺度上的土壤水分蒸腾与蒸发量和植被蒸腾与蒸发量, 而且对于评价植被受旱状况, 森林火情监测与火险预警, 作物估产以及推进全球水分平衡和碳循环研究具有重要意义<sup>[3]</sup>。

## 1 研究区域与数据资料

以贵州省黎平县为研究区, 该区位于云贵高原向江南丘陵过渡的黔、桂、湘三省交界处, 一般海拔为 600~800 m, 地貌类型复杂多样。全境处于亚热带季风湿润气候区, 四季分明, 年平均气温 15.6℃<sup>[4]</sup>。黎平地区森林资源丰富, 林业用地占全县面积的 83.78%, 下垫面大致分为植被覆盖区、非植被覆盖区及两者混合区。

研究所用数据为 2000 年 5 月 20 日上午过境的 ASTER 1A 数据, 该数据覆盖了整个黎平县大约 4/5 的面积, 插页彩片 6 是研究区行政位置和几何精校正后的 ASTER 3、2、1 假彩色合成图像, 从影像和头

文件信息可知, 该幅影像成像质量很好。

## 2 陆表温度反演

陆地表面温度反演技术流程如图 1 所示。

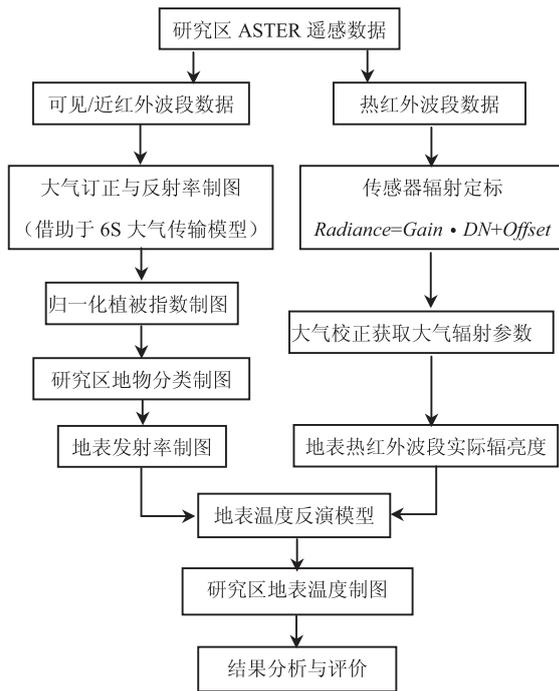


图 1 陆表温度反演技术流程

### 2.1 传感器辐射定标

利用 ASTER 影像数据头文件中的定标信息(表 1), 对研究区数据进行辐射定标, 获取了 ASTER 数据各波段的表现辐射亮度, 即

$$Radiance = Gain \cdot DN + Offset \quad (1)$$

式中, *Gain* 与 *Offset* 分别为传感器本身的增益与偏差。

表 1 ASTER 可见/近红外及热红外波段辐射定标系数

定标值	Band1	Band2	Band3	Band10	Band11	Band12	Band13	Band14
Gain	0.676	0.708	0.862	0.006 882	0.006 780	0.006 590	0.005 693	0.005 225
Offset	-0.676	-0.708	-0.862	-0.006 882	-0.006 780	-0.006 590	-0.005 693	-0.005 225

## 2.2 几何精校正

首先,根据 2000 年 8 月研究区实地采集的 42 个 GPS 地面控制点,在 ASTER 图像上选取相应位置点,建立影像和控制点之间的坐标关系,即控制点的经纬度对应图像上的行列值,从而对研究区的可见/近红外整幅影像进行几何精校正,校正精度为 0.5 个像元;然后,基于几何精校正过的可见/近红外影像,采用 ENVI 4.0 所提供的“Image To Image”方法,对研究区热红外影像选取同名控制点,完成研究区热红外影像基于“Image To Image”方法的几何校正,研究中共选取分布均匀的 10 个同名点,校正精度为 0.5 个像元。

## 2.3 大气订正

陆地表面温度的反演精度主要决定于大气和比辐射率的影响程度,如果两者的影响没有被订正,反演地表温度的误差可能很大<sup>[5]</sup>。本研究利用大气辐射传输模型 MODTRAN 4 对各波段进行了大气订正<sup>[6]</sup>。由于研究区处于中纬度地区,且所获取影像时间为 5 月份,故设定研究区为中纬度夏季标准大气模式,由 MODTRAN 进行模拟,获取该地区各波段大气透过率、程辐射以及环境辐射等大气参数(表 2)。

为了获取研究区更为真实的归一化植被指数 (NDVI),本研究借助于“6S”大气辐射传输模型对 ASTER 可见/近红外波段数据进行模拟传输,获取可见/近红外波段的地表反射率(表 3)<sup>[7]</sup>。

表 3 研究区可见/近红外波段“6S”的校正结果

波段	系数 xa	系数 xb	系数 xc
1	0.002 30	0.061 03	0.120 96
2	0.002 53	0.034 63	0.087 44
3	0.003 58	0.018 47	0.057 48

$y = xa \cdot (\text{measured radiance}) - xb$ ;  $acr = y / (1 + xc \cdot y)$ ; measured radiance 为可见/近红外各波段各像元表观辐亮度值; acr 为要求的地表反射率。

## 2.4 NDVI 制图与地物分类

由于研究区绝大部分被植被覆盖,且植被覆盖密度有明显的差异,故可根据植被指数进行地物分类制图,如插页彩片 7 所示。对于陆地表面覆盖而言,云、水、雪在可见光波段比近红外波段有较高的反射率,因而,其 NDVI 值常为负值;岩石裸土在 2 波段有相似的反射作用,因而,其 NDVI 值常近于 0;而在植被覆盖的情况下,NDVI 为正值,且随植被覆盖度的增大而增大<sup>[8]</sup>。根据此性质,可将研究区地表覆盖分为 7 种类型(插页彩片 8)。

## 2.5 发射率制图

迄今为止,几乎所有的地表温度遥感反演模型都以地表发射率已知作为基本前提,地表发射率的获取方法主要有 2 种,即通过遥感数据反演和通过地面实测数据得到<sup>[9]</sup>。本研究下垫面比辐射率可根据上述的分类结果进行设定,具体设定状况如表 4 所示(取每类地物在热红外波段的平均比发射率)。

表 2 研究区热红外波段 MODTRAN 4 的校正结果

波段	程辐射/(W·m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> )	环境辐射/(W·m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> )	大气透过率
10	1.785 1E-6	1.627 9E-6	0.898 1
11	6.804 9E-7	3.065 1E-6	0.881 8
12	1.473 9E-6	4.010 3E-6	0.829 7
13	1.483 9E-6	4.013 4E-6	0.828 8
14	1.969 4E-6	4.190 7E-6	0.789 6

$R = (\text{Radiance} - \text{程辐射} - \text{环境辐射}) / \text{大气透过率}$ , Radiance 为由式(1)所得的热红外各波段表观辐亮度; R 为经过 MODTRAN 4 校正过的热红外各波段辐亮度。

表 4 研究区各类地物比辐射率的设定<sup>[2,7]</sup>

设定	水体	裸土	城区与村落	混合区	稀疏林地	较密林地	茂密林地
NDVI 范围	<0.00	0.00 ~ 0.10	0.10 ~ 0.35	0.35 ~ 0.70	0.70 ~ 0.80	0.80 ~ 0.90	0.90 ~ 1.00
比辐射率设定	0.99	0.92	0.94	0.95	0.97	0.98	0.985

由于发射率制图与热辐射能量制图分别源自于 ASTER 影像的 15 m 空间分辨率可见/近红外波段和

90 m 空间分辨率的热红外波段,故存在尺度匹配问题。因此,要对 15 m 分辨率的发射率制图进行重采

样,获得 90 m 分辨率的发射率制图(图 2)。

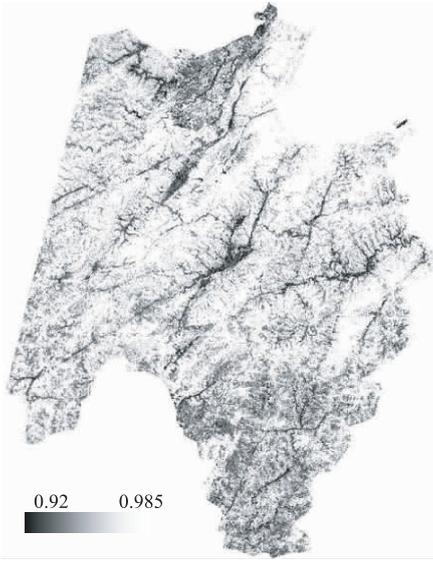


图 2 90 m 空间分辨率的发射率制图

### 2.6 陆地表面温度反演

普朗克(Planck)定律和能量守恒定律是热红外遥感的基础<sup>[10]</sup>。对于非黑体的辐射,普朗克辐射方程应乘以同温下该物体发射率  $\varepsilon(\lambda)$ ,即某一波长为  $\lambda$  物体的发射量与其同温下黑体发射量的比值。

$$R(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot B(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) B(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\pi [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad (2)$$

式中,  $R(\lambda, T)$  指非黑体光谱辐射亮度 ( $W \cdot m^{-2} sr^{-1}$ );  $B(\lambda, T)$  为黑体的光谱辐射亮度 ( $W \cdot m^{-2} sr^{-1}$ );  $c_1 = 3.741 8 \times 10^{-16} (W \cdot m^2)$ ;  $c_2 = 1.438 8 \times 10^{-2} (m \cdot K)$ ;  $\lambda$  为波长 (m);  $T$  为温度 (K)。

本文陆面温度的反演主要依据普朗克辐射方程的推导公式,即由式(2)推导出陆表温度  $T_s$ 。

$$T_s = c_2/\lambda \ln\left(\frac{\varepsilon c_1}{\pi \lambda^5 R} + 1\right) \quad (3)$$

式中,  $\varepsilon$  为陆地表面的发射率;  $R$  为地物的辐射亮度值 ( $W \cdot m^{-2} sr^{-1}$ , 取研究区 ASTER 影像各热红外波段的辐射亮度值)。

将研究区各热红外波段数据代入(3)式后,得出相应研究区陆地表面温度。理论上讲,热红外各波段计算所得温度应保持一致,但在本研究中,由于发射率在整个热红外波段的统一设定,大气订正误差等技术上的不完善,致使实际所得各温度仍有一定偏差。为减少由上述因素造成的各热红外波段反演温度间的误差,贵州黎平区最终陆表每一点的温度取各热红外波段反演温度平均值,其制图和各类地物的温度范围分别如插页彩片 9 和表 5 所示。

表 5 研究区各类地物大致温度范围

地物类型	比辐射率设定值	温度范围/K
水体	0.99	301.05 ~ 306.00
裸土	0.92	310.00 ~ 312.69
城区与村落	0.94	312.00 ~ 319.17
混合区	0.95	308.00 ~ 310.00
稀疏林地	0.97	307.00 ~ 308.00
较密林地	0.98	306.00 ~ 307.00
茂密林地	0.985	304.04 ~ 306.00

### 3 结论及讨论

(1) 基于 ASTER 可见/近红外和热红外波段影像分别获得发射率与辐亮度,并借助于普朗克辐射方程的推导,反演我国南方山地陆表温度是可行的;

(2) 根据植被指数对地物进行分类,并据此设定各地物的发射率,使结果可反映不同地物的温度差异;

(3) 由 ASTER 5 个不同热红外波段所反演的温度结果具有差异,对各反演结果取均值可减小由此带来的误差;

(4) 此方法切实可行,易于操作,温度制图对于地物的识别与分类、森林火险的预警及与全球变化相关的有人居住区的“温室效应”现象都有较好的参考价值;

(5) 误差源分析:参与地表热量平衡的真实地表温度是全波段的,本文由 ASTER 窄波段反演地表温度会使结果有一定误差,且有待于地面同步观测数据的验证;热红外辐射定标和大气校正技术方法尚待完善,比辐射率的难以精确获取,ASTER 热红外波段的地面分辨率相对较低,以及温度反演公式本身的局限等,都会直接影响地表温度反演的精度;另外,热辐射本身存在的方向性和“肤面效应”也是陆表温度反演需要克服的重要障碍<sup>[10]</sup>。故,本研究方法所求陆表温度的精度控制有待进一步研究与完善。

### 参考文献

[1] 闵祥军,朱启疆,等. 敦煌地区大气水汽和气溶胶对获取地表温度的影响[J]. 遥感学报,1998,4(2):255-258.

[2] 程博,刘少峰,等. TERRA 卫星 ASTER 数据的特点与应用[J]. 华东地质学院学报,2003,1(26):1517.

[3] 朱黎江,秦其明,等. ASTER 遥感数据解读与应用[J]. 国土资源遥感,2003,2:59-63.

[4] <http://www.guz.cei.gov.cn/zfsc/liping1.htm> [EB].

[5] Sobrino J A, Raissouni N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2):353-366.

[6] Berk A, Anderson G P. MODTRAN4 User's Manual [F]. Air Force Research Laboratory Space Vehicles Directorate,1999.

- [7] 惠凤鸣,田庆久,等. 植被指数与叶面积指数关系研究与定量分析[J]. 遥感信息,2003,2:10-13.
- [8] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [9] 柳钦火. 地表温度的遥感反演方法及应用[D]. 北京:北京大学遥感所,1997.
- [10] 徐冠华. 论热红外遥感中的基础研究[J]. 中国科学(E辑),2000,30(8):1-5.
- [11] 廖顺宝,马琳,岳燕珍,等. NOAA-AVHRR 资料反演地温与地面实测值的对比分析[J]. 国土资源遥感,2004,1:19-22.

## RETRIEVEING LAND SURFACE TEMPERATURE OF MOUNTAIN AREAS IN SOUTHERN CHINA BASED ON ASTER DATA

WANG Feng-min, TIAN Qing-jiu, GUO Jian-hong  
(International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** This research was performed in Liping County, Guizhou Province, a typical mountain area covered by vegetation in southern China. Having classified land surface objects based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) map compiled from ASTER data, the authors assumed different emissivities for different objects and made scale conversion to 90 meter resolution, thus compiling the emissivity map of the study area. Then the radiance of the study area was obtained through the thermal infrared bands of ASTER which was atmospherically corrected by MODTRAN 4. At last, the authors retrieved the land surface temperature based on the Plank radiate deduction equation and acquired good results.

**Key words:** Thermal infrared; Remote sensing; ASTER; Land surface temperature; Emissivity

第一作者简介: 王凤敏(1979-),女,南京大学城资系硕士,从事地表参数遥感反演及高光谱遥感研究。

(责任编辑:刁淑娟)

(上接第 19 页)

- [2] 叶荣华,范文义,龙晶,等. 高光谱遥感技术在荒漠化监测中应用的研究[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [3] 马蔼乃. 遥感信息模型[M]. 北京:北京大学出版社,1997.
- [4] 张良培,李德仁,童庆禧,等. 鄱阳湖地区土壤、植被光谱混合模型的研究[J]. 测绘学报,1997.
- [5] 张良培,等. 利用高光谱对生物量进行估计[J]. 遥感学报,1997.
- [6] Broge N H, Leblanc E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density[J]. Remote Sensing of Environment,2001,76(2):156-172.
- [7] McVicar T R, Bierwirth P N. Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery[J]. International Journal of Remote Sensing,2001,22(11):2109-2128.
- [8] Peters A J, Hayes M, Svoboda M D, et al. Drought monitoring with NDVI-based Standard Vegetation Index[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,2002,68(1):71-75.
- [9] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices[J]. International Journal of Remote Sensing,1998,19(18):3519-3535.

## THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUE TO SANDY DESERTIFICATION ASSESSMENT

LONG Jing  
(Academy of Forest Inventory and Planning, SFA, Beijing 100714, China)

**Abstract:** The sandy desertification assessment is an important basic work on which the desert control project is based. The present assessment method mainly depends on ground survey combined with optical interpretation of TM images. This needs considerable funds and a long period, and hence cannot meet the demands of desert control work. Remote sensing data were used in this paper to retrieve the factors of sandy desertification assessment based on the linear regression model. The ground survey criteria were employed in the remote sensing model. These measures are useful in applying remote sensing data to rapid and effective assessment of sandy desertification.

**Key words:** Sandy desertification assessment; Remote sensing; Vegetation cover percentage; Biomass retrieval; Vegetation index; Regression model

作者简介: 龙晶(1955-),女,硕士,教授级高工,主要从事林业遥感工作。

(责任编辑:刁淑娟)