

文章编号:1001-9014(2006)04-0261-06

## 中巴地球资源卫星热红外通道的交叉辐射定标

张勇<sup>1,2,3</sup>, 顾行发<sup>2,3,4</sup>, 余涛<sup>2,3</sup>, 张玉香<sup>1</sup>, 祁瑞利<sup>5</sup>, 李小微<sup>2,3</sup>

- (1. 中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081;
2. 中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;
3. 国家航天局航天遥感论证中心, 北京 100101;
4. 法国农科院, 84914 Avignon, France;
5. 西安工业大学 光电工程学院, 陕西 西安 710032)

**摘要:**以TERRA MODIS传感器热红外31通道为参考标准,完成对CBERS-02 IRMSS传感器热红外通道的交叉辐射定标.在与MODIS相应通道的交叉辐射定标中选取了2004年8月~12月间的7次双星同步观测青海湖和太湖的昼夜数据,通过两传感器相应通道间的光谱匹配,利用MODIS数据推算IRMSS的入瞳辐亮度,再从IRMSS影像上提取对应的DN值.对交叉定标获取的数据,进行多点线性回归,获得定标系数:增益8.0567,单位:DN/(W/m<sup>2</sup>/sr<sup>1</sup>/μm<sup>1</sup>);截距47.892,单位:DN.并对定标数据进行了精度评价和检验,结果表明该方法所获取的定标系数精度与MODIS定标数据相当,可以满足定量化应用的需要.

**关键词:**热红外通道;光谱匹配;交叉定标;线性回归法

**中图分类号:**TP732.2 **文献标识码:**A

## RADIOMETRIC CROSS-CALIBRATION OF CBERS-02 IRMSS THERMAL CHANNEL

ZHANG Yong<sup>1,2,3</sup>, GU Xing-Fa<sup>2,3,4</sup>, YU Tao<sup>2,3</sup>, ZHANG Yu-Xiang<sup>1</sup>,  
QI Rui-Li<sup>5</sup>, LI Xiao-Wen<sup>2,3</sup>

- (1. National Satellite Meteorology Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;
2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;
3. Demonstration Center for Spaceborne Remote Sensing, National Space Administration, Beijing 100101, China;
4. Institut National de la Recherche Agronomique, Climat Sol Environnement, 84914 Avignon, France;
5. College of Optical-electronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** TERRA MODIS band 31 was selected as the criterion for doing the radiometric cross-calibration of CBERS-02 IRMSS thermal band. From August to December, 2004, seven times day and night synchronous images of two sensors passing through the Lake Qinghai and Lake Taihu were selected to obtain the cross-calibration data. TERRA MODIS band 31 data were used to conduct out the pupil radiance of CBERS-02 IRMSS band 9 based on the two sensors' spectrum matching, and then the DN values were picked-up from the IRMSS data in the same area. A new model to calculate the radiometric calibration coefficients was carried out in this study. The model is multi-points linear regression method with 7 times day and night synchronous images at different dates and locations. The radiometric cross-calibration coefficients are 8.0567 (gain, unit: DN/(W/m<sup>2</sup>/sr<sup>1</sup>/μm<sup>1</sup>)) and 47.892 (offset, unit: DN). Accuracy estimate of calibration coefficients was carried out. The results show that the calibration coefficients obtained from the linear regression method have a similar precision as TERRA MODIS band 31's. The calibration coefficients can satisfy the quantitative applications of CBERS-02 IRMSS thermal data.

**Key words:** thermal channel; spectrum matching; radiometric cross-calibration; linear regression method

### 引言

目前,国内外有很多传感器都在 8.0 μm ~

14.0 μm 这个重要的热红外大气窗区设置了通道,接收该谱段的光谱信息.然而,辐射定标是热红外通道遥感信息定量应用的基础性问题.当热红外通道

收稿日期:2005-09-05,修回日期:2006-03-14

Received date: 2005-09-05, revised date: 2006-03-14

基金项目:中国科学院百人计划(KZCX0415),国家教育部留学回国人员科学研究启动基金重点(HX040013),国防科学工业委员会(KJSX0401)和陕西省教育厅专项科研计划(05JK221)资助项目

作者简介:张勇(1977-),男,陕西镇巴人,博士,主要从事定量遥感、遥感传感器辐射定标和热红外遥感的理论和应用研究.

遥感仪器不具备在轨定标能力或在轨定标失败时,一般可借助外定标和交叉定标等多种替代定标方法来补充<sup>[1]</sup>.在轨场地辐射定标方面,虽然已经初步建成了敦煌陆地定标试验场和青海湖水面定标试验场,并分别针对我国的 FY-2B 气象卫星、HY-1 海洋卫星和 CBERS-1 资源卫星等卫星开展了场地外定标方法试验<sup>[1-3]</sup>,但由于进场次数和天气条件的限制,仅局限于部分遥感器的校正工作,而且所用的校正方法偏少、试验场气候条件也不理想,远不能满足实际应用的需要<sup>[4]</sup>.

近年来,国际上开展无场地定标技术研究,即无需建立地面校正场,进行多传感器,多时相卫星数据的交叉定标<sup>[5]</sup>.杨忠东等人(2003)建立了 CBERS-1 上搭载的红外多光谱扫描仪(IRMSS)与 FY-1C 通道 4 及 Landsat-7 上 ETM+ 波段 6 多星搭载热红外遥感仪器交叉定标的算法模型,利用这两个通道分别对 IRMSS 热红外通道进行交叉定标,得到二组定标结果<sup>[1]</sup>.本文提出了一种利用同一个传感器的多次不同时相的观测数据对 CBERS-02 IRMSS 相机交叉定标的技术,可以更好建立 IRMSS 与 MODIS 之间的交叉定标模型,获取稳定的定标数据.

## 1 原理

### 1.1 传感器介绍

IRMSS(红外多光谱扫描仪)是我国自行研制的长寿命实时传输型地球资源红外多光谱遥感器,是 CBERS-02 星的重要有效载荷之一.具有全色、短波红外和热红外共 4 个谱段,其热红外谱段范围为 10.4 ~ 12.5  $\mu\text{m}$ ,星下点空间分辨率为 156m,地面扫描宽度为 119.5km,其热红外通道可提供包括对探测目标热辐射特性、发射率、热惯量、大气传输的衰减和气候条件等多种参数,具有很大的应用潜力. MODIS(中分辨率成像光谱仪)是美国 Terra 和 Aqua 卫星上都装载有的重要遥感传感器.可以提供 0.4 ~ 14.5  $\mu\text{m}$  之间的 36 个离散波段的图像,其热红外波段的星下点空间分辨率 1 000m,视场宽度为 2330km. MODIS 每两天连续提供地球上任何地方昼夜的发光光谱图像数据,包括对地球陆地、海洋和大气观测的红外波谱数据.

中巴资源卫星 IRMSS 相机由于设计上的原因,在轨运行时不具备观测冷空间的能力,因此,只能通过单点法对其进行在轨场地绝对辐射定标.在 IRMSS 热红外产品生产时,已经将发射前实验室测量获得的定标方程零位计数值扣除<sup>[6]</sup>,但是,根据

发射前实验室定标数据来扣除 0 电平的影响,会给绝对辐射定标带来很大不确定性.因此,本文以 MODIS 作为参考标准传感器,利用交叉定标的方法获取 IRMSS 热红外通道的定标系数.

表 1 列举了 CBERS-02 IRMSS 和 TERRA MODIS 传感器热红外通道的基本参数,图 1 显示了 CBERS-02 IRMSS9 通道与 TERRA MODIS 31 通道的光谱响应曲线对比. IRMSS 热红外通道及 MODIS 对应通道的光谱响应有很大的差异,该差异主要体现在两通道的带宽,以及中心波长的差异.中巴资源卫星热红外通道的光谱范围为 10.4 ~ 12.5  $\mu\text{m}$ ,MODIS 在这个宽通道内设置了两个波段,目的是作为分裂窗反演地表温度.本文选择了 MODIS 分裂窗之一的 31 通道进行交叉定标,其光谱范围为:10.78 ~ 11.28  $\mu\text{m}$ . CBERS-02 IRMSS 热红外波段的中心波长为 11.245  $\mu\text{m}$ , MODIS 31 波段中心波长为 11.007  $\mu\text{m}$ .选择 MODIS 31 通道作为交叉定标的参考通道,主要是因为该通道与 IRMSS 热红外通道的中心波长最接近.

### 1.2 MODIS 热红外通道的绝对辐射定标

EOS 为了提供全球尺度的表面温度,指定海洋表面的温度反演误差在 0.3 K 以内,陆地表面的温

表 1 CBERS-02 IRMSS 和 TERRA MODIS 传感器基本参数对照表

Table 1 Basic factors of CBERS-02 IRMSS and TERRA MODIS

卫星	传感器	通道	光谱范围 ( $\mu\text{m}$ )	中心波长 ( $\mu\text{m}$ )	空间分辨率 (m)
CBERS-02	IRMSS	9	10.4 ~ 12.5	11.2450	156
TERRA	MODIS	31	10.78 ~ 11.28	11.0186	1000

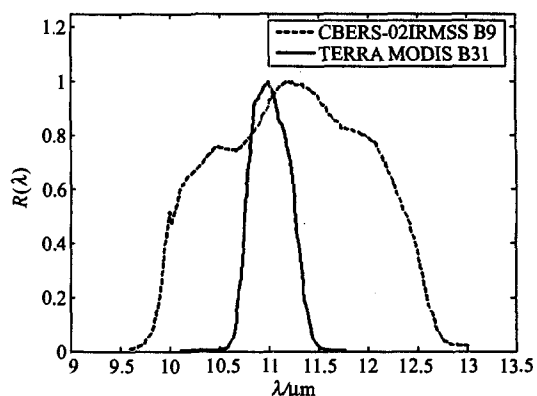


图 1 IRMSS 9 通道与 MODIS 31 通道的光谱响应曲线对比

Fig. 1 Spectrum response curves of CBERS-02 IRMSS band 9 and TERRA MODIS band 31

度反演误差在 1K 以内,因此,要求 MODIS 的传感器定标精度和参数反演方法必须有较大的改进和提高. 为了获得较高的红外绝对辐射定标精度,MODIS 的每一条扫描线在对地扫描之前和之后都要获取深冷空间和星上定标黑体的辐射信号,由此获得高精度的定标结果<sup>[7]</sup>. 2000 年 5 月 26 日~6 月 17 日万正明等人在玻利维亚的 Titicaca 湖对 MODIS 传感器热红外通道的定标系数进行了误差估计和真实性检验. 通过他们的研究工作,对 MODIS TIR 数据 2.5.4 Level-1B 产品与 MODTRAN4.0 模拟的通道辐亮度进行了对比,结果表明 31、32 通道在白天过境时有很好的—致性,精度达到 0.4% 以内. 通过对比分析,可以认为在 MODIS 的 20~23,29 和 31~33 波段的定标精度达到规定的定标精度<sup>[8]</sup>. 因此,采用 MODIS 传感器作为定标的参考标准传感器完全可以满足对 IRMSS 绝对辐射定标的精度要求.

### 1.3 IRMSS 9 通道与 MODIS 31 通道的交叉定标流程

IRMSS 9 通道与 MODIS 31 通道的交叉定标流程如图 2 所示.

## 2 交叉定标

### 2.1 光谱响应修正

IRMSS 9 通道和 MODIS 31 通道的光谱响应函数曲线存在很大差别(见图 1),从而导致相同光谱的辐亮度输入,不同的传感器会有不同的通道辐亮度输出. 因此,在进行交叉定标之前,必须对 IRMSS 传感器和 MODIS 传感器的相应热红外通道进行光谱修正,尽量减少两者间的光谱差异. 使用 BOMEM M-154 热红外光谱仪测量青海湖水面获取的热红外光谱作为基准,将 IRMSS 和 MODIS 对应通道的光谱响应函数分别与该光谱曲线进行通道归一化,得

到各自的归一化辐亮度. 将这两个传感器通道的归一化辐亮度的比值作为它们之间的光谱匹配因子,使用这一因子对 MODIS 31 通道所获得的表观辐亮度进行修正,推导出 IRMSS 9 通道的表观辐亮度.

分别利用式(1)和式(2),计算获得 IRMSS 和 MODIS 对应通道的归一化通道辐亮度.

$$R_{IRMSS9} = \frac{\int L_M(\lambda) f_{IRMSS9}(\lambda) d\lambda}{\int f_{IRMSS9}(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

$$R_{MODIS31} = \frac{\int L_M(\lambda) f_{MODIS31}(\lambda) d\lambda}{\int f_{MODIS31}(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

其中, $R_{IRMSS9}$ 和 $R_{MODIS31}$ 分别是 IRMSS 和 MODIS 对应通道的归一化通道辐亮度; $L_M(\lambda)$ 为 BOMEM M-154 热红外光谱仪测得的青海湖水体光谱; $f_{IRMSS9}(\lambda)$ 和 $f_{MODIS31}(\lambda)$ 分别为 IRMSS 和 MODIS 对应通道的光谱响应函数. IRMSS 与 MODIS 两种传感器的光谱匹配因子可以通过式(3)计算得到

$$k = \frac{R_{IRMSS9}}{R_{MODIS31}}, \quad (3)$$

两传感器的光谱匹配因子为:1.0318.

### 2.2 定标靶区选择

IRMSS 和 MODIS 相应通道的热红外数据空间分辨率差异很大(见表 1),因此,在定标靶区选择时必须考虑大面积均一的目标,保证两传感器影像数据严格匹配. 另一方面,由于两传感器过境同一目标区域的时间存在差异,因此也必须考虑探测目标表面温度的稳定性. 2004 年 8 月 17 日在青海湖利用走航式水温仪实测水面温度,根据测量数据显示,卫星过境的前后 0.5h 内,测量船航行区域内湖面温度变化不超过 0.1K,青海湖水面温度的时空变化非常小;太湖的水温测量显示,卫星过境前后 0.5h 内,水面的时空变化所造成的温差也在 0.1K 以内,处于允许的误差范围内<sup>[1]</sup>. 综合以上各个方面,选择大面积水体作为定标靶区,既可以保证表面均一且在不同空间分辨率影像数据上均易于识别,又可以保证在一定的时间段内稳定的表面温度分布. 因此,本文选择青海湖和太湖作为交叉定标的定标靶区,从不同时相的 MODIS 31 通道和 IRMSS 9 波段影像上分别提取无云区域像元值取平均,作为定标靶区辐亮度值和对应 IRMSS 的 DN 输出值,其像元值统计参数如表 2 所示,辐亮度的单位为: $W/m^2/sr/\mu m^1$ . 图 3 列出了 IRMSS 9 通道和 MODIS 31 通道过境青海湖和太湖的部分热红外影像数据.

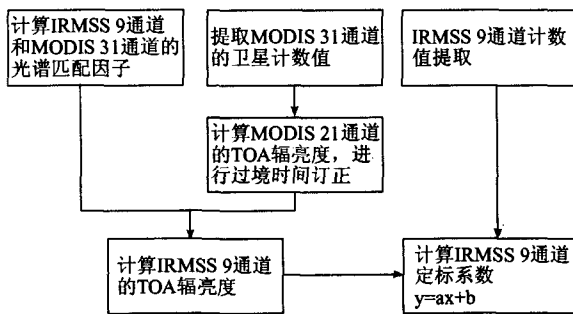


图 2 IRMSS 9 通道与 MODIS 31 通道定标流程图

Fig. 2 Flowchart of radiometric cross-calibration between IRMSS band 9 and MODIS band 31

表 2 MODIS 31 通道辐亮度和 IRMSS 9 波段卫星计数值提取区域统计参数表

Table 2 Statistics of the channel radiance of TERRA MODIS band 31 and the image DN of CBERS-02 IRMSS band 9

	2004.8.17 青海湖		2004.9.15 青海湖		2004.10.8 青海湖		2004.11.3 青海湖		2004.11.29 青海湖		2004.11.20 太湖		2004.12.7 夜间太湖	
	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9	MODIS31	IRMSS9
最小值	7.3020	110	7.6128	108	7.2424	105	6.8073	103	6.1940	98	7.424669	108	7.1307	104
最大值	7.4658	115	7.7010	113	7.3877	110	6.8711	107	6.4192	103	7.596034	114	7.2205	109
平均值	7.4090	111.7830	7.6672	110.2920	7.3411	107.6860	6.8463	105.0340	6.3515	100.5500	7.510796	111.200	7.1879	107.0000
标准差	0.0479	0.6824	0.0162	0.6198	0.0216	0.5938	0.0162	0.5969	0.0490	0.6829	0.036342	0.758847	0.0117	0.6396
过境时间	12:37:30	12:08:28	12:07:30	12:04:46	12:12:30	12:08:29	12:47:30	12:08:39	11:47:30	12:08:37	10:17:30	10:41:23	22:02:30	22:02:55

注:MODIS 31 通道提取的是 TOA 辐亮度,单位:W/m<sup>2</sup>/sr<sup>1</sup>/μm<sup>1</sup>;IRMSS 9 通道提取的是 DN 值;过境时间均为北京时间。

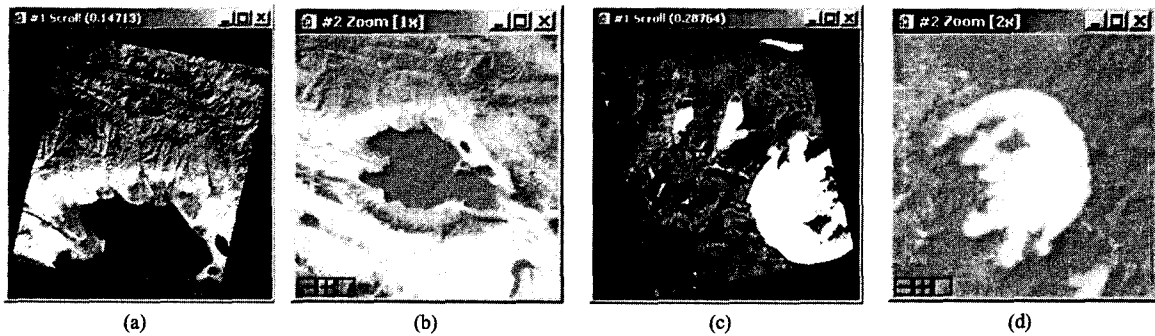


图 3 IRMSS 和 MODIS 热红外通道影像数据 (a) 2004 年 10 月 8 日青海湖 IRMSS 9 通道影像 (b) 2004 年 10 月 8 日青海湖 MODIS 31 通道影像 (c) 2004 年 12 月 7 日太湖 IRMSS 9 通道夜间影像 (d) 2004 年 12 月 7 日太湖 MODIS 31 通道夜间影像

Fig. 3 Thermal infrared images of CBERS-02 IRMSS and TERRA MODIS at Lake Qinghai and Lake Taihu (a) IRMSS 9 data at Lake Qinghai on Oct. 8, 2004 (b) MODIS 31 data at Lake Qinghai on Oct. 8, 2004 (c) night data of IRMSS 9 at Lake Taihu on Dec. 7, 2004 (d) night data of MODIS 31 at Lake Taihu on Dec. 7, 2004

### 3.3 交叉定标数据获取

根据式(4),利用两通道的光谱匹配因子对从 MODIS 提取的平均辐亮度值进行修正,获得 IRMSS 相应通道的表观辐亮度。

$$L_{\text{MODIS31}} = k \cdot L_{\text{MODIS31}} \quad (4)$$

式中,  $L_{\text{IRMSS9}}$  为 MODIS 31 通道影像上提取的像元值的平均,  $k$  为 IRMSS 9 通道与 MODIS31 通道的光谱匹配因子。

再从 IRMSS 9 通道数据的对应区域提取像元平均值作为 DN 输出值。因此,IRMSS 9 通道的人瞳处等效辐亮度及其对应的 DN 值如表 3 所列。

### 3 结果与分析

根据前人的研究,CBERS-02 星上定标结果显示,

表 3 CBERS-02 IRMSS 9 入瞳处等效辐亮度 (W/m<sup>2</sup>/sr<sup>1</sup>/μm<sup>1</sup>) 和 DN 值

Table 3 List of at pupil radiance and image DN of CBERS-02 IRMSS band 9 from cross-calibration

日期、地点	2004.8.17 青海湖	2004.9.15 青海湖	2004.10.8 青海湖	2004.11.3 青海湖	2004.11.29 青海湖	2004.11.20 太湖	2004.12.7 夜间太湖
等效辐亮度	7.6447	7.9110	7.5745	7.0640	6.5535	7.7496	7.4164
DN 值	111.7829	110.2921	107.6856	105.0343	100.5500	111.2003	107.0003

IRMSS 相机在 2004 年 8 月~11 月间仪器运行状态稳定,可以忽略该时间段内由于仪器光学元件和电子元件的老化以及空间环境的变化而引入的误差<sup>[9]</sup>。由于水体的比热特性,在很短的时间段内水体的温度非常稳定。从表 2 中所列的卫星过境时间可以看出:在多次不同时相的情况下,两传感器过境青海湖的时间前后最多相差 39min,根据 2004 年 8 月 17 日在轨场地定标实验当天走航式水温仪观测数据显示,两卫星过境时刻青海湖水面温度相差 0.077K;两次太湖数据,两传感器过境时间最多相差 24min,根据太湖的水温测量显示,两卫星过境时刻太湖水面温差在 0.1K 以内,可以忽略由于过境时间造成的水温变化对定标结果的影响。

因此,将从 MODIS31 通道推导出的 IRMSS 入瞳处的辐亮度和 CBERS 热红外图像上提取的 DN 值进行线性回归,结果如图 4 所示。不同时相和区域的 CBERS-02 IRMSS 和 TERRA MODIS 相应热红外通道的交叉定标数据之间表现出良好的线性关系,其线性相关度达到了 0.8957。通过此方法对 IRMSS 相机热红外通道进行多点法绝对辐射定标,有效的克服了由于单点法给定标结果带来的不确定

性.由此获得的 CBERS -02 IRMSS 热红外通道绝对辐射定标系数为:增益 8.056 7,单位:DN/(W/m<sup>2</sup>/sr<sup>1</sup>/μm<sup>1</sup>);截距 47.892,单位:DN.

选取 2004 年 11 月 23 日 MODIS 和 IRMSS 两传

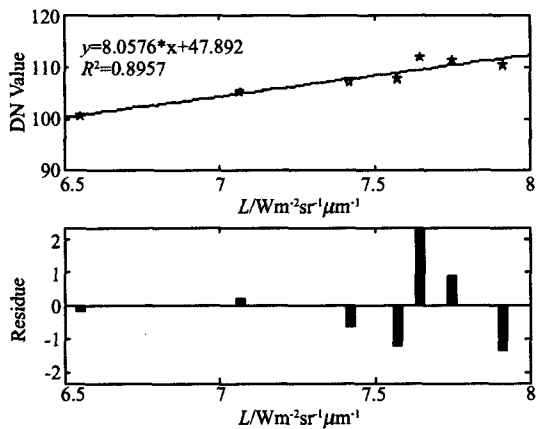


图 4 不同时相和区域获取的交叉定标数据线性回归  
Fig.4 Linear regression result of the cross-calibration data at different dates and locations

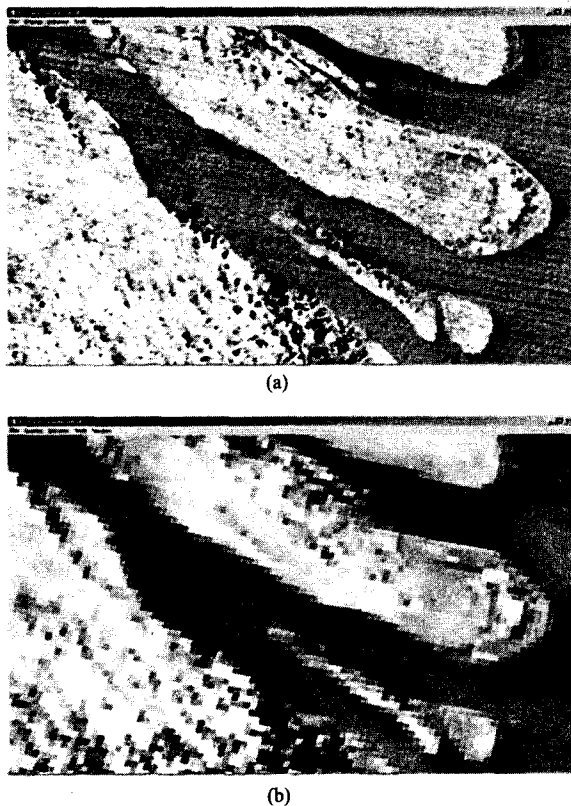


图 5 IRMSS 和 MODIS 过境上海地区的同步影像 (a) 2004 年 11 月 23 日 IRMSS 9 通道热红外影像(过境时间:10:37:28) (b) 2004 年 11 月 23 日 MODIS 31 通道热红外影像(过境时间:10:47:30)  
Fig.5 Synchronous images of CBERS-02 IRMSS and TERRA MODIS passing through Shanghai (a) IRMSS 9 data on Nov. 23, 2004 (passing time:10:37:28) (b) MODIS 31 data on Nov. 23, 2004 (passing time:10:47:30)

感器过境上海崇明岛地区的图像,如图 5 所示,对线性回归获得的交叉定标系数进行验证.

以 MODIS 31 通道 TOA 辐亮度通过光谱修正后反演得到的 TOA 亮度温度为假定真值,用它来评价通过多点回归获得的绝对辐射定标系数标定后反演的 IRMSS 的 TOA 亮度温度的精度.

首先,对两景图像进行几何精校正,精确配准;其中改变 MODIS 31 通道图像的空间分辨率,使其与 IRMSS 图像分辨率保持一致.图 5(a)和图 5(b)两图即为配准后的上海崇明岛地区的热红外图像,具有相同的空间分辨率.

其次,对图 5(b)的 MODIS 31 通道图像的辐亮度进行光谱修正,并且反演获得该地区的 TOA 亮度温度;并且对图 5(a)的 IRMSS 热红外图像利用回归法获得的定标系数进行绝对辐射定标,获取 TOA 辐亮度,然后反演该区域的 TOA 亮度温度.

最后,对获取的两景 TOA 亮度温度图像作差,用定标后 IRMSS 热红外图像反演获取的 TOA 亮温图像减去经光谱修正后 MODIS 31 通道图像反演获取的 TOA 亮温图像,结果如图 6 所示.

从图 6 可以看出,整体上两者差别很小,但是部分区域的差值达到 ±10K 以上,究其原因主要是因为两者的空间分辨率差异导致的.从图 5(a)和图 5(b)两图的比较可以看出,IRMSS 具有 78m 的高空间分辨率,其图像上的云区表现为星星点点的黑斑,如图 5(a)所示;而这些黑色的小斑块在 MODIS 1km 空间分辨率的图像上就连成了一个大的区域,如图 5(b)所示.因此,当两图像作差时,IRMSS 上可以识别的云斑间的地面与 MODIS 上整片的云区之间的 TOA 亮温存在很大的差别,如图 6 所示.另一部分差别较大的区域为陆地与水面的分界线,低分辨

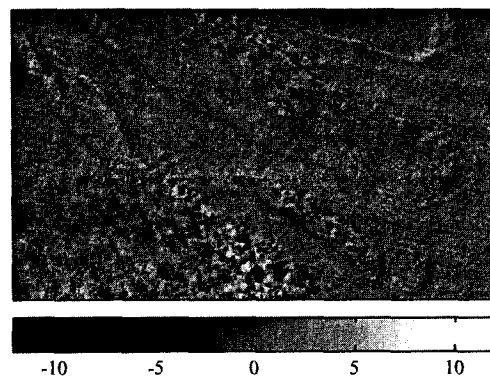


图 6 两景 TOA 亮度温度差值图像(单位:K)  
Fig.6 Difference image of two TOA brightness temperatures (unit: K)

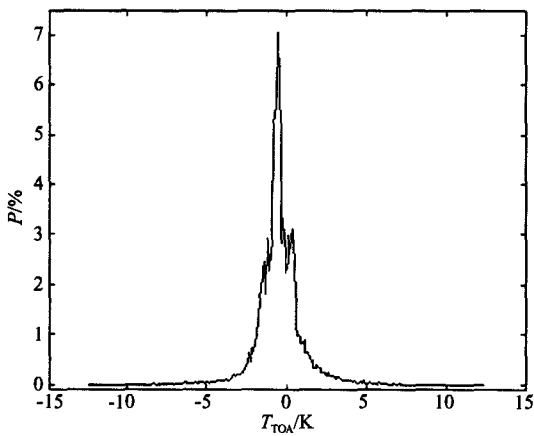


图7 TOA 亮温差值图像的统计直方图

Fig. 7 Statistic histogram of the difference image of two TOA brightness temperatures

率的 MODIS 影像上在这些分界线区域存在明显的边缘效应,因此,也会造成与 IRMSS 图像的 TOA 亮温存在很大的偏差。

如图 7 所示的 TOA 亮温差值图像的统计直方图,可以看出两图像的亮温差分布非常集中,整景差值图像的平均值为:  $-0.3966\text{K}$ 。两传感器过境上海崇明岛的时间相差 10min,在上午这段时间正是地表随着太阳辐照而逐渐增温的过程。MODIS 传感器过境时间比 IRMSS 晚,所以,当 MODIS 过境时地表温度相对于 IRMSS 过境时刻已经升高,正好印证了整景差值图像的平均值为负值。因此,可以认为利用线性回归的方法所获取的 CBERS-02 IRMSS 传感器热红外通道的绝对辐射定标系数与 MODIS 传感器的定标结果有很好的 consistency,具有相当的定标精度。

#### 4 结语

本文在对 MODIS 传感器热红外通道绝对辐射定标精度分析、定标靶区选择和利用标准水体热红外光谱实现两传感器光谱匹配的基础上,通过 MODIS 热红外通道的绝对定标结果推导出 CBERS 热红外通道的绝对辐射定标系数。利用一次独立的双星过境上海崇明岛地区的影像对所获取的定标系数进行了精度分析,认为所获取的 IRMSS 的定标系数与 MODIS 的定标数据精度相当,可以达到对 CBERS 热红外数据进行量化应用的要求。

上述研究工作是 CBERS-02 IRMSS 传感器热红

外数据定量化应用的基础。中巴资源卫星热红外数据只有  $10.4 \sim 12.5\mu\text{m}$  的单通道,因此,可以利用该数据采用单通道法反演地表温度等地表参数,以及大气参数反演,进行植被遥感定量化应用等,从而服务于我国的国民经济建设。

#### REFERENCES

- [1] YANG Zhong-Dong, GU Yan-Song, QIU Hong, *et al.* Research on the algorithm of cross calibration about IRMSS on board on CBERS-1 [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (杨忠东,谷岩松,邱红,等.中巴地球资源一号卫星红外多光谱扫描仪交叉定标方法研究.红外与毫米波学报), 2003, 22(4): 281—285.
- [2] RONG Zhi-Guo, ZHANG Yu-Xiang, WANG Yu-Hua, *et al.* Calibration method for water vapor channel of scanning-radiometer carried by FY-2B satellite [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (戎志国,张玉香,王玉花,等.风云二号 B 星扫描辐射计水汽通道定标方法.红外与毫米波学报), 2005, 24(5): 357—360.
- [3] TONG Jin-Jun, QIU Kang-Mu, LI Xiao-Wen. New method of in-flight absolute calibration for thermal infrared channels of satellite sensors [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (童进军,丘康睦,李小文.一种卫星遥感仪器热红外通道在轨绝对辐射定标新方法.红外与毫米波学报), 2005, 24(4): 277—280.
- [4] QIU Kang-Mu. Constructions, scientific fruits and applied foreground of Chinese satellite radiometric calibration sites. 《Corpus Chinese Remote Sensing Satellites Radiometric Calibration Sites Contribution》[C]. Beijing: Ocean Press (邱康睦.中国卫星辐射校正场建设和科研成果及其应用前景.《中国遥感卫星辐射校正场科研成果论文选编》.北京:海洋出版社), 2001, 2—11.
- [5] Christopher J Merchant, James J Simpson, Andrew R Harris. A cross-calibration of GMS-5 thermal channels against ATSR-2 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84: 268—282.
- [6] ZHENG Bao-Xi. Development of CBERS sensors radiometric calibration instruments [J]. *Spacecraft Engineering* (郑保熹.中巴地球资源卫星传感器辐射定标设备的研制.航天器工程), 2002, 11(2,3): 50—59.
- [7] WAN Zheng-Ming, MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LSTATBD) [EB/OL], <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd-mod11.pdf>, 2004: 5—19.
- [8] WAN Zheng-Ming, ZHANG Yu-Lin, LI Zhao-Liang, *et al.* Preliminary estimate of calibration of the moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared data using Lake Titicaca [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80: 497—515.
- [9] ZHANG Yong, GU Xing-Fa, YU Tao, *et al.* Absolute radiometric calibration of CBERS-02 IRMSS thermal band [J]. *Science In China Series E* (张勇,顾行发,余涛,等. CBERS-02 IRMSS 传感器热红外通道综合辐射定标.中国科学 E 辑 信息科学), 2005, 35(增 I): 70—88.