

引用格式: 时洪涛, 宋冬梅, 单新建, 等. MODIS\_LST与AMSR-E\_BT的相关性及地表温度反演[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(4): 564-574. [ Shi H T, Song D M, Shan X J. *et al.* 2016. The correlation analysis between MODIS\_LST and AMSR-E\_BT and study of LST retrieval method. Journal of Geo-information Science, 18(4): 564-574. ] DOI: 10.3724/SP.J.1047.2016.00564

# MODIS\_LST与AMSR-E\_BT的相关性及地表温度反演

时洪涛<sup>1</sup>, 宋冬梅<sup>1,2\*</sup>, 单新建<sup>2,3</sup>, 崔建勇<sup>1</sup>, 臧琳<sup>1</sup>, 沈晨<sup>4</sup>, 屈春燕<sup>2,3</sup>, 任鹏<sup>5</sup>,  
邵红梅<sup>4</sup>, 盛辉<sup>1</sup>, 吴会胜<sup>1</sup>, 宋先月<sup>6</sup>

1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580; 2. 中国地震局地质研究所 地震动力学国家重点实验室, 北京 100029; 3. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 4. 中国石油大学(华东)理学院, 青岛 266580; 5. 中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 青岛 266580; 6. 上海市地震局, 上海 200062

## The Correlation Analysis Between MODIS\_LST and AMSR-E\_BT and Study of LST Retrieval Method

SHI Hongtao<sup>1</sup>, SONG Dongmei<sup>1,2\*</sup>, SHAN Xinjian<sup>2,3</sup>, CUI Jianyong<sup>1</sup>, ZANG Lin<sup>1</sup>, SHEN Chen<sup>4</sup>, QU Chunyan<sup>2,3</sup>, REN Peng<sup>5</sup>, SHAO Hongmei<sup>4</sup>, SHENG Hui<sup>1</sup>, WU Huisheng<sup>1</sup> and SONG Xiaoyue<sup>6</sup>

1. School of Geoscience, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China; 2. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China; 3. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China; 4. School of Science, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China; 5. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China; 6. Earthquake Administration of Shanghai Municipality, Shanghai 20062, China

**Abstract:** By taking MODIS daily land surface temperature (LST) data and AMSR-E brightness temperature (BT) data from 2007 to 2008 as the input, combining with the land cover type data, the statistics and analysis of the relativity between MODIS\_LST and AMSR-E\_BT in different land cover types, channels and polarization ways are produced. Based on the International Geosphere-Biosphere Program (IGBP) vegetation classification scheme, land cover data is re-classified into seven types, including water, forest land, grass land, farmland, urban land, desert land and other land cover types. The statistical result shows that the correlation is apparent between MODIS\_LST and AMSR-E\_BT in 18.7 GHz, 23.8 GHz and 36.5 GHz channel, and it reveals a higher correlation in the vertical channel compared to the horizontal channel. Moreover, this paper finds out that the microwave channel of AMSR-E\_BT, which has the highest relativity with MODIS-LST, is different with respect to different land cover types. In addition, by considering the impact of mixed pixel, this paper analyzes the correlation between MODIS\_LST and AMSR-E\_BT for 25 types of land cover type combinations. It is inferred that the correlation declines as the quantity of land cover types in the single mixed pixel increases. Finally, according to different land cover type combinations, the inversion model is established by adopting the multivariate linear regression method, and this model has been applied to inverse MODIS\_LST in a part of the study area. Inversion results reveal that the error is limited in  $\pm 3.15$  K in average, and the inversion accuracy is raised by 1.5 K successfully in comparison with the inversion model without considering land cover type combination. However, there are some problems with MODIS land surface temperature inversion by using AMSR-E brightness temperature, such as the space resolution variation between MODIS LST and

收稿日期 2015-03-05; 修回日期: 2015-05-27.

基金项目: 地震动力学国家重点实验室资助项目(LED2012B02); 上海地区地壳活动图像天地联合监测分析资助项目(14231202600)。

作者简介: 时洪涛(1990-), 男, 硕士生, 研究方向为地震热红外异常信息提取。E-mail: shihongtaosg@163.com

\*通讯作者: 宋冬梅(1973-), 女, 吉林长春人, 博士, 副教授, 研究方向为高光谱遥感分类, 地震热红外异常信息提取。  
E-mail: songdongmei1973@126.com

AMSR-E\_BT, changes of land cover type with changing seasons and the influence of relative humidity of land cover on the retrieval accuracy. Therefore, selecting land surface bright temperature with a high quality and space resolution, considering season variations and classification accuracy of land cover type factors are future research directions.

**Key words:** MODIS\_LST; AMSR-E\_BT; correlation analysis; retrieval

**\*Corresponding author:** SONG Dongmei, E-mail: songdongmei1973@126.com

**摘要:**本文以2007年和2008年MODIS每日地表温度(LST)数据及AMSR-E地表亮温(BT)数据为研究对象,结合土地覆盖类型数据,统计分析MODIS\_LST与AMSR-E\_BT在不同土地覆盖类型、频率和极化方式条件下的相关性。结果表明,频率在18.7、23.8和36.5 GHz的AMSR-E\_BT与MODIS\_LST的相关性较大,且在垂直极化通道上的相关性较在水平极化上大;不同土地覆盖类型,与MODIS\_LST相关性较大所对应的AMSR-E微波通道不同。同时,考虑混合像元问题对相关性的影响,对25种不同地物类型组合下MODIS\_LST与AMSR-E\_BT的相关性进行统计分析,发现混合像元中地物类型越多,则二者相关性越小。最后,采用多元线性回归分析法,根据不同土地覆盖类型建立反演回归模型,对部分研究区域MODIS-LST进行反演,误差平均在 $\pm 3.15$  K以内,与不考虑下垫面覆盖的模型比较,反演MODIS\_LST精度平均提高了1.5 K。

**关键词** MODIS地表温度;AMSR-E地表亮温;相关性分析;反演

## 1 引言

陆地表面温度(Land Surface Temperature, LST)是衡量地球表面水热平衡的重要参数,其在全球水文、生态、农业、环境、气候及灾害监测等领域具有重要的研究意义<sup>[1-2]</sup>。自20世纪70年代以来,众多国内外学者对用热红外反演地表温度的方法做了大量研究<sup>[3-4]</sup>。结合微波遥感优势,建立微波地表亮温与MODIS地表温度的关系模型,对缺失的MODIS地表温度数据进行补值,能够弥补热红外技术反演地表温度的不足。

目前,被广泛应用的微波传感器主要有3种:搭载在Nimbus-7卫星上的SMMR(Scanning Multi-channel Microwave Radiometer)传感器;搭载在美国国防气象卫星计划(DMSP)的系列极轨卫星上的SSM/I(Special Sensor Microwave Imager)传感器;地球观测系统(EOS)的Terra和Aqua卫星所搭载的AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS)传感器<sup>[5-7]</sup>。

对此,McFarland、Holliger等利用SSM/I辐射计地表亮温数据,建立了反演地表温度的经验模型<sup>[8-9]</sup>,李万彪做了改进<sup>[10]</sup>;Njoku等采用SSM/I和AMSR-E辐射计地表亮温数据,以反复交叉最小二乘法证明了被动微波遥感反演地表温度的可行性<sup>[11]</sup>。陈圣波、毛克彪、武胜利、杨鹏等研究了利用被动微波遥感反演地表温度的方法<sup>[12-15]</sup>。上述研究虽然取得了一定成果,但其仍存在如空间分辨率差异导致的混合像元及下垫面粗糙程度不均等因素,对地表温度反演精度的影响等问题<sup>[16-18]</sup>。

本研究选取美国航空航天局提供的MODIS每日地表温度和AMSR-E地表亮温数据,结合国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)全球植被分类方案下的MODIS土地覆盖类型数据,统计在不同土地覆盖类型、频率、极化方式下地表温度与地表亮温的相关性,采用回归分析方法,利用AMSR-E的地表亮温,并以MODIS地表温度产品作为参考,对地表温度进行了反演分析。

## 2 研究区数据源

研究区地理范围为 $59.0^{\circ}\text{E}\sim 139.0^{\circ}\text{E}$ ,  $11.0^{\circ}\text{N}\sim 69.0^{\circ}\text{N}$ ,如图1所示。研究所采用的数据是由美国

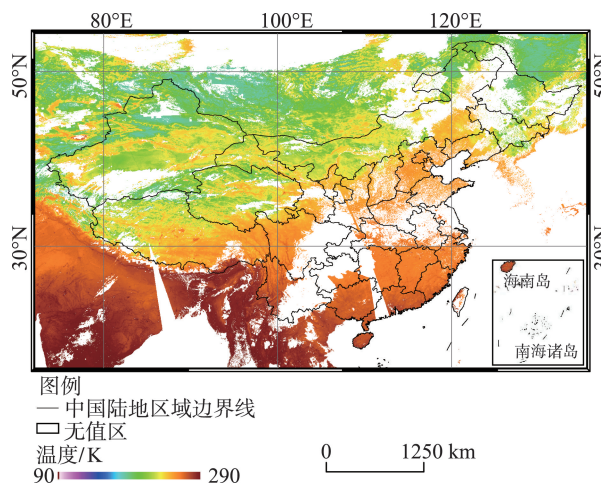


图1 2008年1月1日研究区域MODIS地表温度数据  
Fig. 1 The MODIS land surface temperature of study area on January 1, 2008

航空航天局 National Aeronautics and Space Administration (NASA)研发的地球观测系统数据及信息系统(EOSDIS)提供的2007年1月1日至2008年12月31日MODIS 11A1 每日地表温度和 AMSR-E L2A 每日地表亮温数据(图2),具体信息见表1。同时,考虑植被、水和建筑物等地物类型对 MO-

DIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 相关性的影响<sup>[19-20]</sup>,本研究选择了NASA 提供的MCD 12 Q2 地表覆盖类型数据产品,并在国际地圈生物圈计划全球植被分类方案的基础上对地表覆盖类型数据进行重分类,以便分析不同植被覆盖类型下地表温度和亮温的相互关系。

表1 AMSR-E微波亮温与MODIS数据信息

Tab. 1 Information of AMSR-E microwave brightness temperature and MODIS data

AMSR-E 微波亮温数据			MODIS 数据		
频率/GHZ	极化方式	空间分辨率/ km	数据类型	空间分辨率/km	数据集
6.9	VH	5.4	地表温度 (MOD 11A1)	1	LST_Night_1 Km
10.7	VH	5.4			
18.7	VH	5.4			
23.8	VH	5.4			
36.5	VH	5.4	土地覆盖类型 (MCD 12Q2)	0.5	Land_Cover_Type_1
89.0	VH	5.4			

注:V代表水平极化,H代表垂直极化

3 地表温度的反演与结果分析

3.1 地表温度反演的流程与数据分析

研究采用 MODIS 11A1 日地表温度、MCD 12Q2 土地覆盖类型和 AMSR-E 日地表亮温 3 种数据。首先,对下载的数据进行镶嵌、格式和坐标转换、重采样、重分类以及重投影处理;其次,根据不同土地覆盖类型选择样本点,并提取样本点的地表温度和地表亮温数据;然后,分别统计分析不同频率、极化方式,不同土地覆盖类型下地表温度和地表亮温的相关性,建立地表温度反演模型,对地表温度进行反演;最后,对反演结果进行精度评价。技术路线如图3所示。

(1)土地覆盖类型数据重分类

IGBP 全球植被分类方案下的 MODIS 土地覆盖类型数据,把全球地表分为水体、常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、混交林、草原、永久湿地、城市和建筑区、作物、裸地或低植被覆盖地等 19 种地物类型<sup>[21]</sup>。根据 MODIS 地表温度分析 AMSR-E 地表亮温的混合像元问题时,混合像元中的地物类型组合数较大,所选择的样本点数量较多。由于属性相近的地物 MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 相差不大,研究中在 IGBP 分类的基础上,对数据进行重分类,把地物类型属性较为相近的归为同一种地物,重分类为水体、草地、林地、农用地、城镇、荒漠和其他共 7 种地物类型。IGBP 全球植被分类方案和重

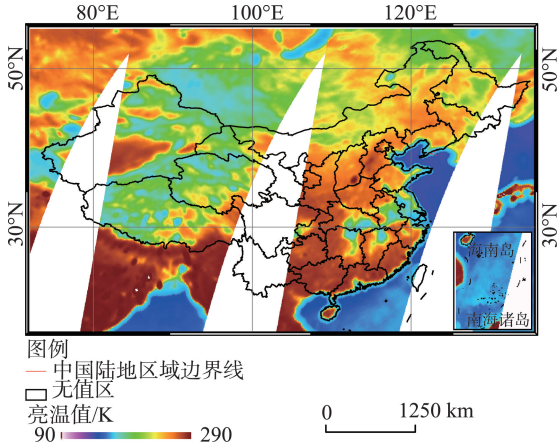


图2 2008年1月1日研究区域AMSR-E地表亮温数据  
Fig. 2 AMSR-E brightness temperature of study area on January 1, 2008

分类方案如表2所示。

在此基础上进行样本点的选取。根据不同位置,分别选取一个AMSR-E像元(对应36个MODIS像元)中,含有1-6种地物类型组合的6大类样本点。依据重分类的6种土地覆盖类型,理论上AMSR-E\_BT共有63( $C_6^1 + C_6^2 + C_6^3 + C_6^4 + C_6^5 + C_6^6$ )种组合类型的混合像元,但受地理位置、地物类型分布及选点要求等条件的限制,最终满足要求的共有25种不同地物类型组合的样本点,其对应的土地覆盖类型组合如表3所示。

(2)数据重采样及2种数据的像元匹配

由于地表温度与地表亮温数据的空间分辨率不同,为建立MODIS\_LST和AMSR-E\_BT数据一

一对应关系,研究先对6个频率共12个通道的AMSR-E\_BT数据进行重采样,使每一个AMSR-E像元对应36个(9行×4列)MODIS像元。对于重采样后的AMSR-E\_BT数据,一个像元对应36个MODIS像元,因此,将36个MODIS像元的平均值 $R_{li}$ (式(1))作为与AMSR-E\_BT对应的地表温度值,参与二者相关系数的计算。

$$R_{li} = \frac{\sum_{m=1}^9 (\sum_{n=1}^4 R_{MODIS_{m,n}})}{36}, i = 1, 2, \dots, 365(366) \quad (1)$$

式中: $m$ 、 $n$ 分别代表36个MODIS地表温度像元所在的行、列数; $i$ 代表一年中的天数,其中闰年天数为366,非闰年天数为365。

### (3) 样本点的选取

本文根据25种不同地表覆盖类型组合,在不同地理位置对每种地物类型组合选择10~15个样本点(图4),分别提取出不同频率、极化方式、地理位置下的MODIS\_LST和AMSR-E\_BT数据,并对二者的相关性进行分析。样本点主要分布在中国境内,其中,荒漠类型样本点主要分布在中国西北地区,农用地、水体和林地主要分布于中国中东部地区。

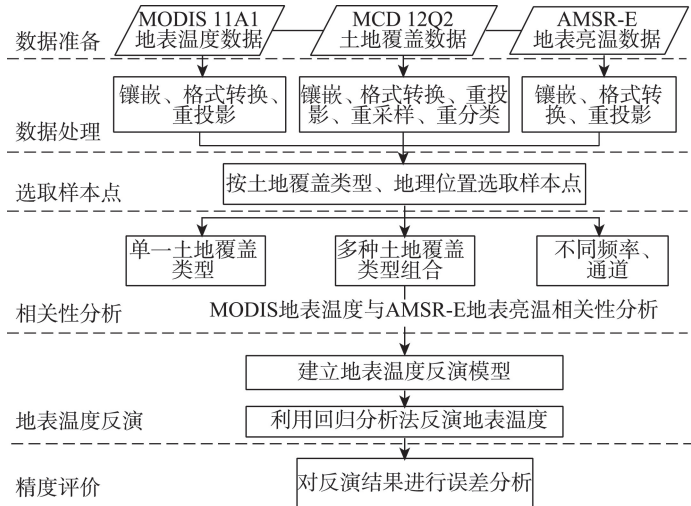


图3 技术路线流程图

Fig. 3 Flow chart of technical process

### 3.2 MODIS\_LST与AMSR-E\_BT数据的相关性

本文统计2007年和2008年地表温度和MODIS\_LST长时间序列,不同频率、极化方式及混合像元地物组合类型下二者对应的相关系数。

设 $R_1$ 代表地表温度时间序列(一维向量); $R_2$ 代表地表亮温时间序列,维数与 $R_1$ 相同。

表2 IGBP全球植被分类与重分类方案

Tab. 2 Scheme of IGBP classification and reclassification

分类DN值	IGBP	重分类后	分类DN值	IGBP	重分类后
0	水体	水体	8	多树的草原	草地
1	常绿针叶林	林地	9	稀树草原	
2	常绿阔叶林		10	草原	
3	落叶针叶林		11	永久湿地	
4	落叶阔叶林		12	作物	农用地
5	混交林		14	作物和自然植被的镶嵌体	
6	郁闭灌丛		16	裸地或低植被覆盖地	荒漠
7	开放灌丛		15	雪、冰	其他
13	城市和建成区	城镇	254,255	未分类区填充值	未分类区

表3 混合像元的不同地物类型组合

Tab. 3 Different combinations of land types in a mixed pixel

单一地物类型	两种地物类型	3种地物类型	4种地物类型	5种地物类型	6种地物类型
◇	◇○	◇☆△			
☆	◇△	◇□○	◇☆○□	◇☆△◇□	
△	◇☆	☆□○			◇☆△
○	◇□	◇△○			○◇□
◇	☆□	◇△○			
□	◇◇	◇△□	◇☆◇□	◇☆△○□	
	○□	△○◇			

注:◇草地、☆林地、△荒漠、○城镇、◇水体、□农用地

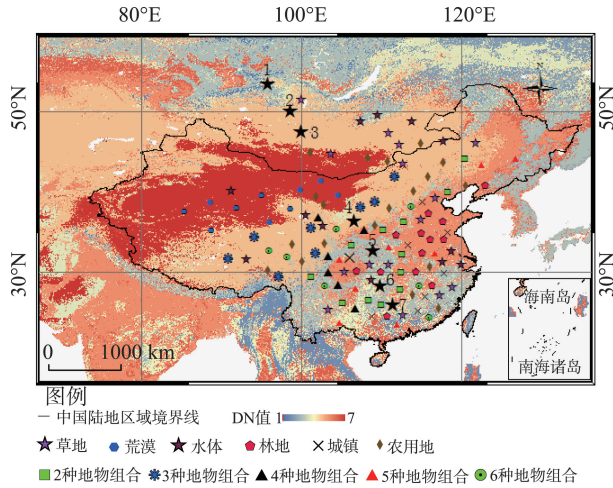


图4 研究区域范围、土地覆盖类型及选点位置

Fig. 4 The sample point locations and land cover types of the study area

$$\rho(R_1, R_2) = \frac{\text{Cov}(R_1, R_2)}{\sqrt{D(R_1)} \sqrt{D(R_2)}} \quad (2)$$

$$R_{R_1 R_2} = \frac{\sum_{i=1}^N (R_{1i} - r_1)(R_{2i} - r_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{1i} - r_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{2i} - r_2)^2}}, \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, 355(356)$$

式中:  $N$  表示时间序列所对应的天数, 2007 年和 2008 年的  $N$  值分别为 365 和 366; 式(2)为两向量的协方差; 式(3)为两向量的相关系数, 即 MODIS\_LST 与 AMSR-E\_BT 的相关系数;  $r_1$  和  $r_2$  分别为地表温度和地表亮温在同一时间序列上的平均值。

### 3.3 不同下垫面下多元线性回归法反演地表温度

对于 AMER-E 微波地表亮温数据, 不同频率下的微波信号与大气和地表的相互作用不同, 探测值包含的信息量和内容也不同。除去大气的吸收波段, 微波频率越低, 大气对信号的吸收和散射作用越弱, 受大气的影 响越小; 反之越大。因此, 为综合考虑不同频率和极化方式下 AMSR-E\_BT 与 MODIS\_LST 的相互关系, 研究不同下垫面土地覆盖类型, 采用多元线性回归分析法, 建立 AMSR-E\_BT 与 MODIS\_LST 的线性回归模型(图 5), 根据最小二乘原理求解多个自变量与因变量回归模型中的偏回归系数。在以像元的基础上, 根据不同土地覆盖类型, 选取 6 个频率(6.9、10.7、18.7、23.8、36.5 和 89.0 GHz)上水平极化和垂直极化共 12 个通道的 AMSR-E\_BT 数据为自变量, MODIS 地表温度为因变

量, 利用多元线性回归方法求解各通道的偏回归系数, 建立该土地覆盖类型下地表温度的反演模型。主要算法如式(4)所示。

$$\begin{cases} LST_{MODIS_{L_i}} = A \cdot BT_{AMSR_{L_i}}^T + B_0, (i = 1, 2, \dots, 25) \\ A = [a_1, a_2, \dots, a_{12}] \\ BT_{AMSR_{L_i}} = [AMSR_{6.9H}, AMSR_{6.9V}, \dots, AMSR_{89.0H}, AMSR_{89.0V}] \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $L_i$  代表某一地物类型或不同地物类型组合(如  $L_1$  代表草地覆盖类型,  $L_8$  代表草地和水体类型组合);  $LST_{MODIS_{L_i}}$  为  $L_i$  土地覆盖类型下的 MODIS 地表温度;  $A = [a_1, a_2, \dots, a_{12}]$ , 为  $L_i$  土地覆盖类型下回归模型中每一通道 AMSR-E\_BT 所对应的偏回归系数组成的 12 维向量,  $a_1, a_2, \dots, a_{12}$  分别为 12 通道地表亮温对应的偏回归系数;  $BT_{AMSR_{L_i}}$  为  $L_i$  土地覆盖类型下, 每一通道 AMSR-E\_BT 所组成的 12 维列向量,  $B_0$  为常数,  $AMSR_{6.9H}$ ,  $AMSR_{6.9V}$ ,  $\dots$ ,  $AMSR_{89.0H}$ ,  $AMSR_{89.0V}$  分别代表每个频率在垂直极化(V)和水平极化(H)上的地表亮温; 向量  $A$  的元素值及常数  $B_0$  均由回归分析计算所得。

### 3.4 地表温度反演结果分析

本文通过统计分析特定实验区范围内地表温度反演结果与实际 MODIS 地表温度差值绝对值的最大值、最小值和平均值来评价反演精度, 即最大误差、最小误差和误差均值, 并对单一地物覆盖类型和 2 种地物类型组合下地表温度反演结果进行对比和分析。

#### 3.4.1 不同土地覆盖类型的 MODIS\_LST 与 AMSR-E\_BT 的相关性

##### (1) 单一地物类型(纯像元)

据图 6 分析可知, 6 种不同地物类型的 MODIS\_LST 与 6 个频率下的 AMSR-E\_BT 存在显著的

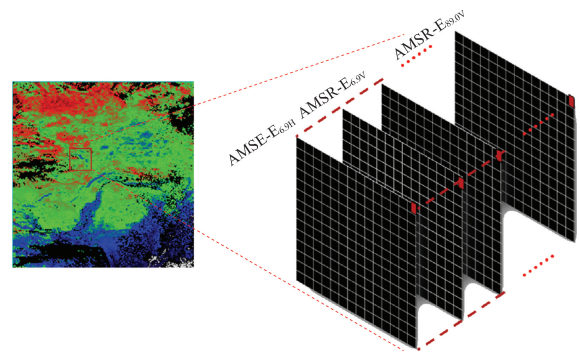


图5 多元线性回归法示意图

Fig. 5 Sketch map of multiple linear regression

线性关系,相关系数均在0.80以上。在相同频率通道、不同土地覆盖类型条件下,MODIS\_LST和AMSR-E\_BT呈线性回归的斜率和截距不同,且线性回归的斜率随频率的升高而变大。从散点聚集程度、

线性分布程度和相关性系数可看出,在10.7、18.7、23.8和36.5 GHz频率下,MODIS\_LST和AMSR-E\_BT线性相关性要大于6.9 GHz和89.0 GHz下二者的相关性。由图6可知,MODIS\_LST和AMSR-

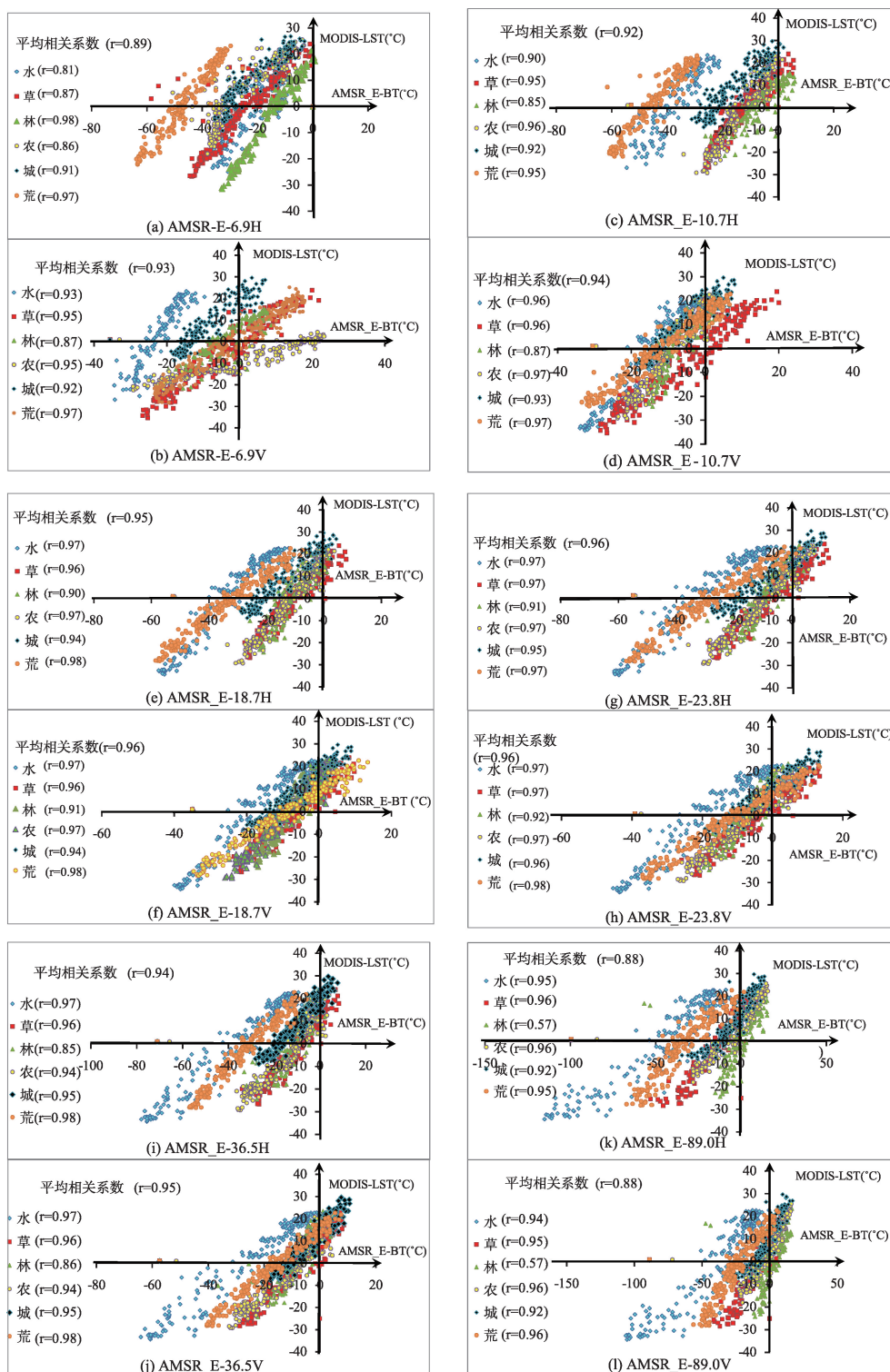


图6 2008年不同通道下MODIS\_LST和AMSR-E\_BT散点图

Fig. 6 Scatter diagrams of the MODIS\_LST and AMSR-E\_BT with different channels in 2008

E\_BT间的相关性大小与下垫面土地覆盖类型、微波的频率以及极化方式均有密切关系。

从土地覆盖类型方面分析,不同土地覆盖类型下 AMSR-E\_BT 和 MODIS\_LST 的相关系数整体上具有大小顺序,即:荒漠>农用地>草地>水体>城镇>林地。由图 7 可知,MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 在垂直极化的相关性,总体上要大于水平极化上的相关性。从各频率角度对比二者的相关系数大小可看出,在 6.9 GHz 和 89.0 GHz 通道上,二者的相关性明显小于其他频率通道(林地类型除外)。

#### (2)多种地物类型(混合像元)

从 2 种地物类型组合的情况分析(图 8),在 10.7~89.0 GHz 频率范围内的微波通道上,地表亮温和地表温度的相关系数值均在 0.8 以上,最大达到 0.96,且在垂直极化上 MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 的相关性大于水平极化上的相关性,与单一地物类型下的分析结果一致。由图 8 可知,在草地和城镇 2 种地物类型组合下,10.7~36.5 GHz 的相关性系数均较高;草地和荒漠、草地和林地、草地和农用地的

地物类型组合情形,各个频率通道上 MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 的相关性都比较大。对于水体和草地组合类型而言,6.9 GHz 和 89.0 GHz 频率下,地表温度和 AMSR-E\_BT 的相关性较高。因此,在利用 AMSR-E\_BT 反演 MODIS\_LST 时,应考虑根据不同地物类型组合,用不同频率通道的 AMSR-E\_BT 进行反演。

由多种地物类型组合条件下,MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 间的相关系数分析(图 9)可知,随着混合像元中地物类型数量的增加,MODIS\_LST 和 AMSR-E\_BT 的相关性在各频率呈减小趋势。因此,对于多类型组合下的混合像元情况,在进行地表温度反演时应考虑选择相关系数较大,所对应的频率或极化方式下的地表亮温。例如,对于水体-草地-农用地组合类型,反演地表温度时应选择频率为 18.7、23.8 和 36.5 GHz 时 2 个极化方式通道下的 AMSR-E 地表亮温;对于水体-草地-林地-农用地而言,应选择 6.9 GHz 垂直极化、10.7 GHz 水平极化、18.7 GHz 水平极化,以及 36.5 GHz 垂直和水平

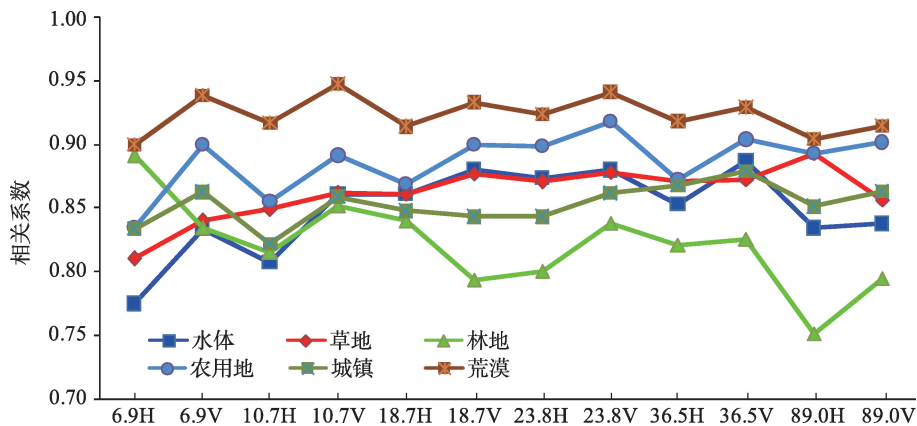


图 7 单一地物类型地表温度和地表亮温相关系数

Fig. 7 Correlation coefficients between LST and BT of a mixed pixel including a single land cover type

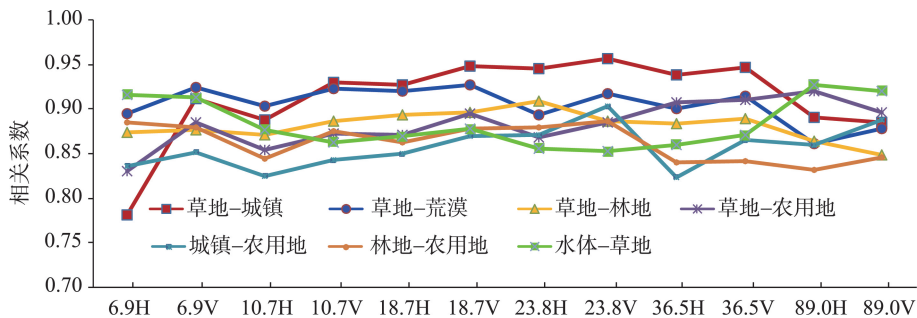


图 8 2种地物类型组合下地表温度和地表亮温的相关系数

Fig. 8 Correlation coefficients between LST and BT of a mixed pixel including two land cover types

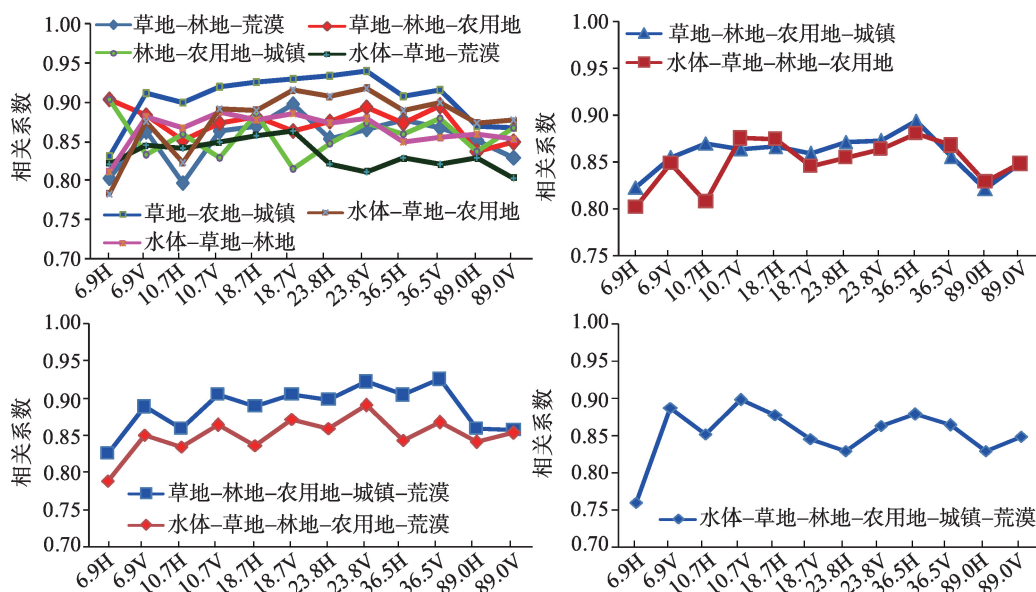


图9 3种和3种以上地物类型组合下地表温度和地表亮温的相关系数

Fig. 9 Correlation coefficients between LST and BT of a mixed pixel including three land cover types

极化的AMSR-E\_BT进行反演。

### 3.4.2 逐像元多元线性回归分析的地表温度反演

由上述分析可知,不同土地覆盖类型下地表亮温和地表温度的相关性不同。本文采用逐像元多元线性回归分析法对结果验证,根据不同土地覆盖类型建立不同的回归模型对MODIS地表温度进行反演,并与不考虑土地覆盖类型的线性回归模型的反演结果进行对比。

此外,本研究统计了研究区域内混合像元中包含不同地物类型数目所占的比率,其中包含单一地物类型(即下垫面土地覆盖类型只有一种)像元占总数的65.0%,包含2种地物类型的像元占总数的22.60%,包含3种和3种以上地物类型的像元占总数的12.4%,包含1种地物和2种地物的像元数占总数的87.60%。因此,在精度评价时,本文选择像元中包含1种和2种地物类型情况下所反演地表温度结果进行对比分析,如图10(a)、(b)所示。左图中区域数据用于回归分析,计算AMSR-E\_BT各频率、通道对应的偏回归系数;右图为地表温度反演实验区,选择实验区中无缺值的区域对反演结果进行精度评价。

(1)单一地物类型下地表温度反演(像元个数:1212行,1245列)

在研究区域内(1212行像元 $\times$ 1245列像元),以草地和荒漠为例,对比分析2种模型下地表温度的反演结果。从误差方面分析,考虑下垫面土地覆盖

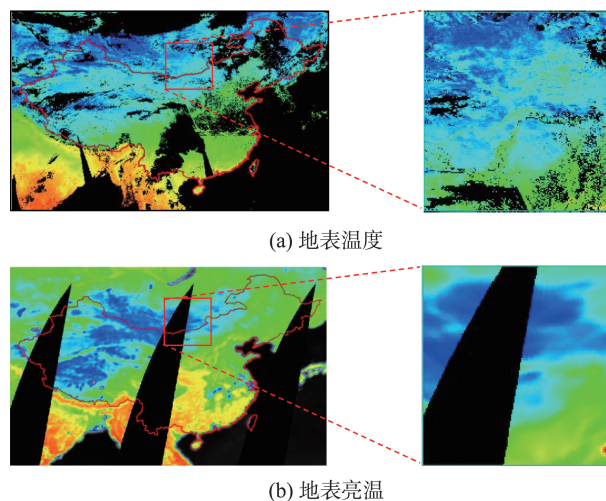


图10 补值区2008年1月1日MODIS地表温度与AMSR-E\_6.9 GHz\_H地表亮温

Fig. 10 MODIS\_LST and AMSR-E\_BT of data filling research area on January 1, 2008

类型所建立的回归模型对地表温度反演的误差比未考虑下垫面土地覆盖类型时小,且前者的最大误差的绝对值和最小误差的绝对值均小于后者。如图11-13所示。图12、13中红色线圈部分为草地和荒漠地的补值区。因此,利用AMSR-E\_BT数据反演MODIS地表温度时,考虑下垫面土地覆盖类型能有效提高反演精度。

(2)2种地物类型组合下地表温度反演(像元个数:1212行,1245列)

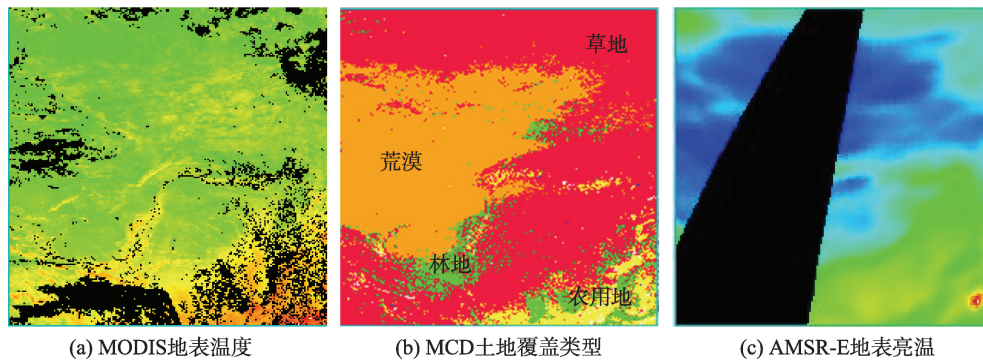


图 11 补值区的地表温度、土地覆盖类型、地表亮温数据

Fig. 11 MODIS\_LST, AMSR-E\_BT and land cover type data of data filling research area

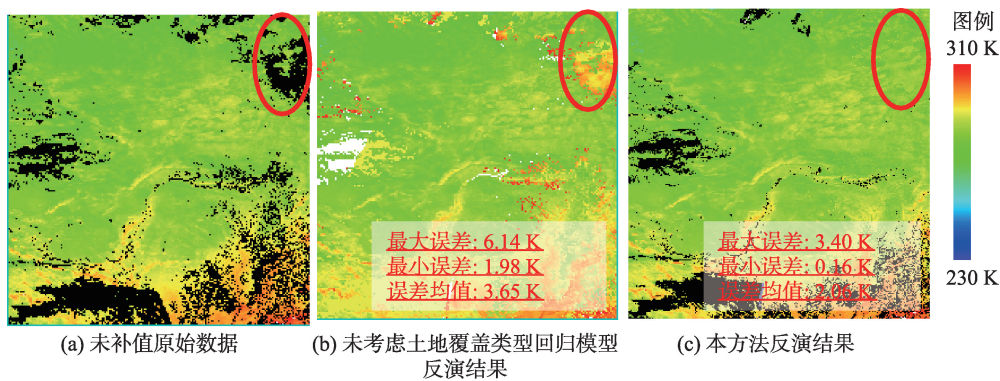


图 12 草地区域的 2 种反演方法地表温度反演结果对比

Fig. 12 Comparison of the results of MODIS\_LST between two types of retrieval methods in the grass land

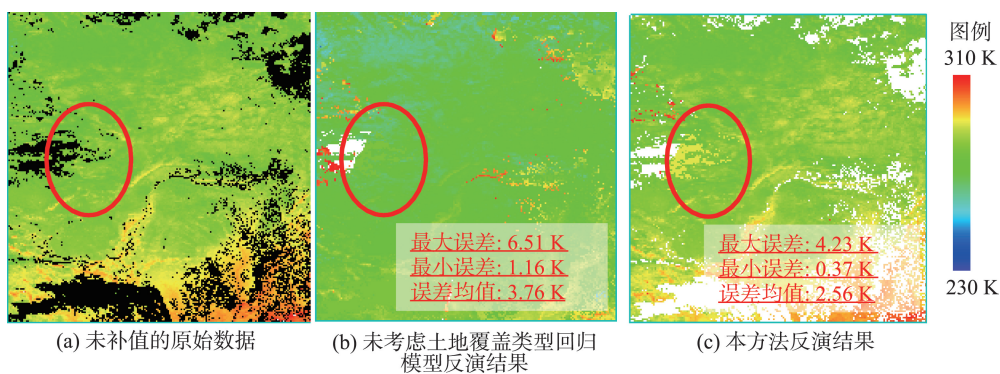


图 13 荒漠区域地表温度反演结果

Fig. 13 Retrieval results of MODIS\_LST in the desert area

本文对 2 种地物类型组合的地表温度反演结果进行统计,发现考虑不同土地覆盖类型的回归模型其反演误差要小于未考虑土地覆盖类型的回归模型,其中,最大误差的绝对值和最小误差的绝对值分别小 2.56 K 和 2.0 K,误差均值小 1.50 K。图 14 中红圈标注部分为 2 种地物类型组合类型的补值区。

## 4 结语

本文结合 MODIS 土地覆盖类型数据,统计了 MODIS 地表温度和 AMSR-E 地表亮温之间在不同土地覆盖类型、不同频率和极化方式的相关性。研究表明,MODIS 地表温度和 AMSR-E 地表亮温,总体上在 18.7、23.8 和 36.5 GHz 频率的相关性较

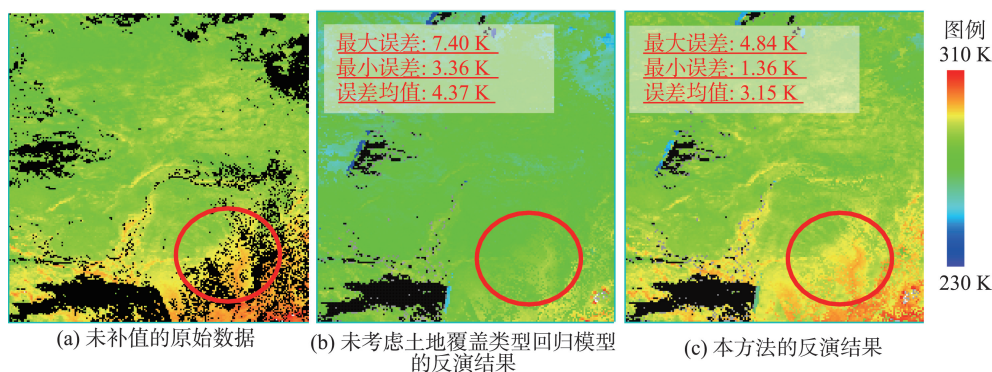


图 14 农用地和林地混合区域地表温度反演值结果

Fig. 14 Retrieval result of MODIS LST in combination of farmland and forestland cover type

大,且在垂直极化上的相关性比在水平极化上大。不同地物组合类型的混合像元,其地表温度和地表亮温的相关性不同,较大相关性系数所对应的微波通道也不同。

在地表温度反演研究中,采用逐像元多元线性回归分析方法,根据不同土地覆盖类型,建立不同的回归模型,能有效地提高反演精度,进而对MODIS 每日地表温度数据进补值。然而,采用多元线性回归法反演地表温度仍存在问题,如地表温度与地表亮温数据间的空间分辨率差异,二者差异越大,反演精度越低;土地覆盖类型数据的分类精度,地物覆盖类型随时间和季节的变化,土壤湿度和下垫面粗糙程度等因素对反演结果产生的影响等。因此,选择质量较高、空间分辨率较大的地表亮温数据,综合考虑季节变化、土地覆盖类型分类精度等多种因素,提高地表温度反演精度是下一步应研究的工作之一。

#### 参考文献(References):

- [1] 郭广猛,杨青生.利用MODIS数据反演地表温度的研究[J].遥感技术与应用,2004,19(1):34-36. [Guo G M, Yang Q S. Retrieving land surface temperature from MODIS data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2004,19(1):34-36.]
- [2] 朱怀松,刘晓猛,裴欢,等.热红外遥感反演地表温度研究现状[J].干旱气象,2007,20(2):17-21. [Zhu H S, Liu X M, Pei H. Summary on retrieval of land surface temperature using thermal infrared remote sensing[J]. Journal of Arid Meteorology, 2007,20(2):17-21.]
- [3] 潘广东,王超,田国良.SSM/I微波辐射计数据陆面温度反演[J].遥感学报,2001,5(4):254-258. [Pan G D, Wang C, Tian G L. Land surface temperature retrieval with SSM/I Data[J]. Journal of Remote Sensing, 2001,5(4):254-258.]
- [4] 毛克彪,施建成,李召良,等.用被动微波AMSR数据反演地表温度及发射率的方法研究[J].国土资源遥感,2005(3):14-17. [Mao K B, Shi J C, Li Z L, et al. The land surface temperature and emissivity retrieved from the AMSR passive microwaved data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2005,3:14-17.]
- [5] Gloersen P, Barath F T. A scanning multichannel microwave radiometer for Nimbus-G and SeaSat-A[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1977,2(2):172-178.
- [6] Hollinger J P, Perice J L, Poe G A. SSM/I instrument evaluation[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990,28(5):781-790.
- [7] Kawanishi T, Sezai T, Ito Y, et al. The advanced microwave scanning radiometer for the earth observing system (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003,41(2):184-194.
- [8] Mcfarland M J, Miller R L, Neale C M U. Land surface temperature derived from the SSM/I passive microwave brightness temperatures[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990,28(5):839-845.
- [9] Holliger J. DMSP special sensor microwave / imager calibration/validation[R]. Final Report, Vol II. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1991,5.
- [10] 李万彪,朱元竞,洪刚,等.SSM / I遥感中国东部地面温度[J].自然科学进展,1998,8(3):305-313. [Li W B, Zhu Y J, Hong G, et al. SSM/I remote sensing land surface temperature of eastern China[J]. Progress in Natural Science, 1998,8(3):305-313.]
- [11] Njoku E G, Li Li. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18GHz[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999,37(1):79-93.
- [12] 毛克彪,施建成,李召良,等.一个针对被动微波AMSR-E数据反演地表温度的物理统计算法[J].中国科学:D辑,

- 2006,36(12):1170-1176. [ Mao K B, Shi J C, Li Z L. A statistical physics algorithm for retrieving land surface temperature from AMSR-E passive microwave data[J]. Science in China(Series D), 2006,36(12):1170-1176. ]
- [13] 武胜利,杨虎.AMSR-E亮温数据与MODIS地表分类产品结合反演全球地表温度[J].遥感技术与应用,2007,22(2):234-237. [ Wu S L, Yang H. Global land surface temperature retrieval with AMSR-E brightness temperature and MODIS land cover type products[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007,22(2):234-237. ]
- [14] 陈圣波,张学红.利用MODIS热红外数据反演地表温度前处理的几个问题[J].吉林大学学报(地球科学版), 2004,34(3):476-480. [ Chen S B, Zhang X H. Several problems before inversion of surface temperatures by MODIS thermal infrared data[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2004,34(3):476-480. ]
- [15] 杨鹏,杨世植,夏鹏.基于MODIS数据的地表温度反演[J].大气与环境光学学报,2011,6(4):287-293. [ Yang P, Yang S Z, Xia P. Land surface retrieved from MODIS data[J]. Journal of Atmospheric and Environment Optics, 2011,6(4):287-293. ]
- [16] Chen S S, Chen X Z, Chen W Q, *et al.* A simple retrieval method of land surface temperature from AMSR-E passive microwave data- A case study over Southern China during the strong snow disaster of 2008[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011,13:140-151.
- [17] 岳德君.时间序列数据流中相关性分析技术研究[D].沈阳:东北大学,2008. [ Yue D J. Study on correlation analysis in time series data streams[D]. ShenYang:Northeastern University,2008. ]
- [18] 荣媛,杨永民.地表辐射温度取代地表温度的可行性分析——以“风云2号”C星与MODIS数据为例[J].国土资源遥感,2011(4):14-19. [ Rong Y, Yang Y M. The feasibility of replacing surface temperature with surface radiation temperature: a case study of“FY-2C”and MODIS data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2011,4:14-19. ]
- [19] Kohn J, Royer A. AMSR-E data inversion for soil temperature estimation under snow cover[J]. Remote Sensing of Environment, 2010,114:2951-2961.
- [20] 郑文武,曾永年.地表温度的多源遥感数据反演算法对比分析[J].地球信息科学学报,2011,13(6):841-847. [ Zheng W W, Zeng Y N. Comparative analysis of two land surface temperature retrieval algorithms based on multi-source remote sensing data[J]. Journal of Geo-information Science, 2011,136(613):841-847. ]
- [21] 毕晓丽,葛剑平.基于IGBP土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J].山地学报,2004,1(1):48-53. [ Hua X L, Ge J P. Evaluating ecosystem service valuation in China based on the IGBP Land cover datasets[J]. Journal of Mountain Science, 2004,1(1):48-53. ]