

卫星热红外和微波遥感资料在地震预报中的应用研究^①

钟美娇^{1,2}, 张元生², 郭晓², 张璇²

(1.中国地震局地质研究所,北京 100029; 2.中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:选取四次典型震例,分别以微波遥感及热红外遥感为研究手段对各发震区的温度进行窗口时间序列扫描,探讨震前陆地表面温度异常特征。研究发现:由热红外遥感及微波遥感反演所得的陆表温度年变形态极为相似,前者特征更为明显;震前并非完全是一个增温过程,有负异常现象存在;大地震的温度异常空间分布特征与断层的展布存在密切关系,温度异常区并非大面积存在,且未呈现明显迁移特征,这一新发现具有明确的物理意义。

关键词:热红外遥感;微波遥感;先进微波探测器(AMSU);地面温度异常;地震预报。

中图分类号: P315.728

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)04-1059-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2014.04.1059

Application of Satellite Thermal Infrared and Microwave Remote Sensing Data to Earthquake Prediction

ZHONG Mei-jiao^{1,2}, ZHANG Yuan-sheng², GUO Xiao², ZHANG Xuan²

(1.Institute of Geology,CEA,Beijing 100029,China; 2.Lanzhou Institute of Seismology,CEA,Lanzhou,Gansu 730000,China)

Abstract: Using four typical earthquakes as examples, the temperature-time sequences of each earthquake's epifocal area is scanned in small windows using microwave remote sensing and thermal infrared remote sensing, and then surface temperature anomalies before the occurrence of these earthquakes are analyzed. The results show that, although the surface temperatures inverted from satellite thermal infrared and microwave remote sensing has similar change patterns, the former is more obvious. The increase in temperature is not continuous and negative anomalies are also present before the earthquakes. There is a direct correlation between the spatial distribution of the temperature anomalies and faults. The temperature anomaly sections are not large-scale and there were no obvious migrations of the sections. The results of this study are useful for reference in future studies.

Key words: thermal infrared remote sensing; microwave remote sensing; AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit); abnormality of surface temperature; earthquake

0 前言

地震前存在卫星热红外异常的发现始于前苏联B.И.ГОРНЫЙ的研究^[1]。随后我国科学家^[2-6]陆续也开展了这方面的研究。研究结果表明中强以上地震临震时,震区出现较大面积的持续增温是一种

相当普遍的现象;不同地区增温幅度不同。与其他地震前兆手段相比,热红外遥感具有面信息及可观测无人到达区的独特优势,因此被应用到地震预报研究中。

然而卫星红外通道传感器观测到的信息受气象

^① 收稿日期:2013-11-27

基金项目:国家自然科学基金(40874029);国家重大项目(E0311/1112)

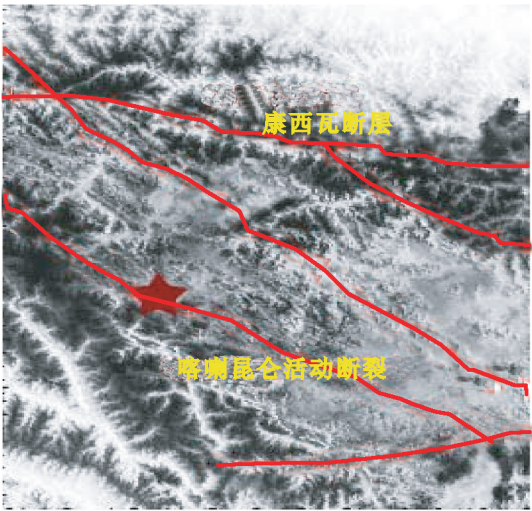
作者简介:钟美娇(1981—),女(壮族),云南广南人,硕士,主要从事遥感应用研究及地震预报工作。

通信作者:张元生, email: zhangys@gssb.gov.cn.

因素(特别是云)干扰很大。微波遥感的特性有可能弥补热红外遥感的缺憾。在物理机理上,微波辐射和红外辐射都是由于物质内部微粒的运动状态发生微小的变化所产生的热辐射,即地震前产生热红外辐射异常的同时应该产生微波辐射异常。20 世纪 90 年代以来,邓明德等^[7-8]、任雅琼等^[9]开展的一系列遥感技术应用于地震预报的基础理论和实验研究也进一步证实:在快速加载的条件下,先后发现了岩石的红外辐射能量和微波辐射能量随岩石的应力状态而变化的物理现象,这些研究表明将卫星热红外观测和微波观测结合起来进行地震研究是有可能也是非常必要的。

本研究选取四次典型强震——1996 年 11 月 19 日新疆和田 7.1 级地震、2003 年 9 月 27 日中、俄、蒙交界 7.9 级地震、2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级地震^[10]和 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级地震作为研究对象,结合发震区的构造背景,应用 AVHRR 热红外遥感资料和 AMSU 微波遥感资料,跟踪各研究区震发前后的温度时序演变;通过研究这种变化探求两种资料所表现的震前地表温度异常特征,同时对上述两种遥感资料的应用结果进行对比分析,初步探索微波遥感资料在地震预报中的应用研究。

1 资料收集与数据处理



(a) 震区构造热红外温度识别图

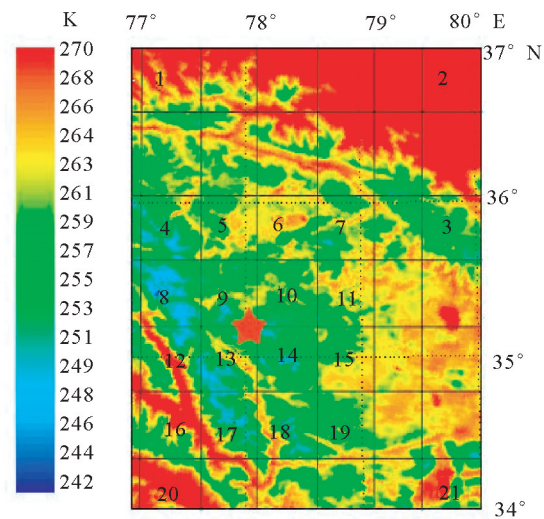
热红外遥感:采用的热红外卫星遥感数据均为各研究区夜间的 AVHRR 数据。AVHRR 数据的陆表温度反演采用 Becker 和 Li^[11]地表温度计算公式来实现,通过对震源区进行窗口大小为 $0.4^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的扫描,得到各窗口的温度时序图。

微波遥感:根据瑞利—金斯定理,在微波遥感测量地表温度时,微波辐射计观测到的亮温近似地与地表温度成线性关系,因此亮温的变化可以体现地表温度的变化。微波数据选用夜间的 AMSU—A 影像资料。该数据点像元对应地面范围大小约为 $40\text{ km}\times 40\text{ km}$,在高纬度地区相当于 AVHRR 数据 $0.4^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的数据覆盖范围,资料尺度由此得以统一,便于微波遥感像元值与此范围的热红外地面温度进行对比研究。AMSU—A 第 3 通道的亮度温度与地表温度相关性最大,最能体现地表温度特征。因此在研究过程中直接使用第 3 通道的亮温来研究地表温度的变化趋势。

2 震例研究

2.1 1996 年 11 月 19 日新疆和田 7.1 级地震

热红外温度对发震区域构造的识别清晰显示地震正好发生在喀喇昆仑断裂带上,震区的构造背景较复杂(图 1(a))。



(b) 震区窗口扫描图

图 1 1996 年新疆和田 7.1 级地震构造热红外识别和窗口扫描图

Fig.1 The structure identified by infrared temperature and the divided regions for scanning in the area of Hetian $M_s7.1$ earthquake, Xinjiang, in 1996

震区的窗口扫描结果显示(图 1(b)、图 2)在 1995 年和 1996 年下半年各扫描区域的温度时序曲线总体趋势是缓慢下降;在降温趋势下,从 1996 年

10 月中旬至 11 月中旬开始震中附近区域出现了不同程度的增温,与 1995 年同期相比,增温幅度最低 5 度,最高达十几度;在增温异常区域,温度达到最

高值后开始急剧下降,至 11 月底恢复正常年变化,地震发生在温度下降过程中;增温区域分布呈条带状分布,与发震断层分布基本一致。

2.2 2003 年 9 月 27 日中、俄、蒙交界 7.9 级地震

对此震例进行了微波遥感资料研究,震区的温度时序变化显示(图 3):(1)第 3 通道的亮度温度时序曲线能较好地反映地表温度的年变趋势。在春季,三年的温度波动都比较大,与春季的气候特点相

对应;7 月份温度均达到最高。(2)2003 年 8 月 12 日至 9 月 9 日震源区地表温度出现了明显的增温现象,增温幅度达 5 度;此后至 10 月 15 日出现了降温过程,在降温过程中发生了 7.9 级地震;震后温度迅速增高,增温达十几度,直至 11 月 10 日后温度才回落趋于正常变化。这与郭晓等^[12]对热红外资料的研究结果基本一致。

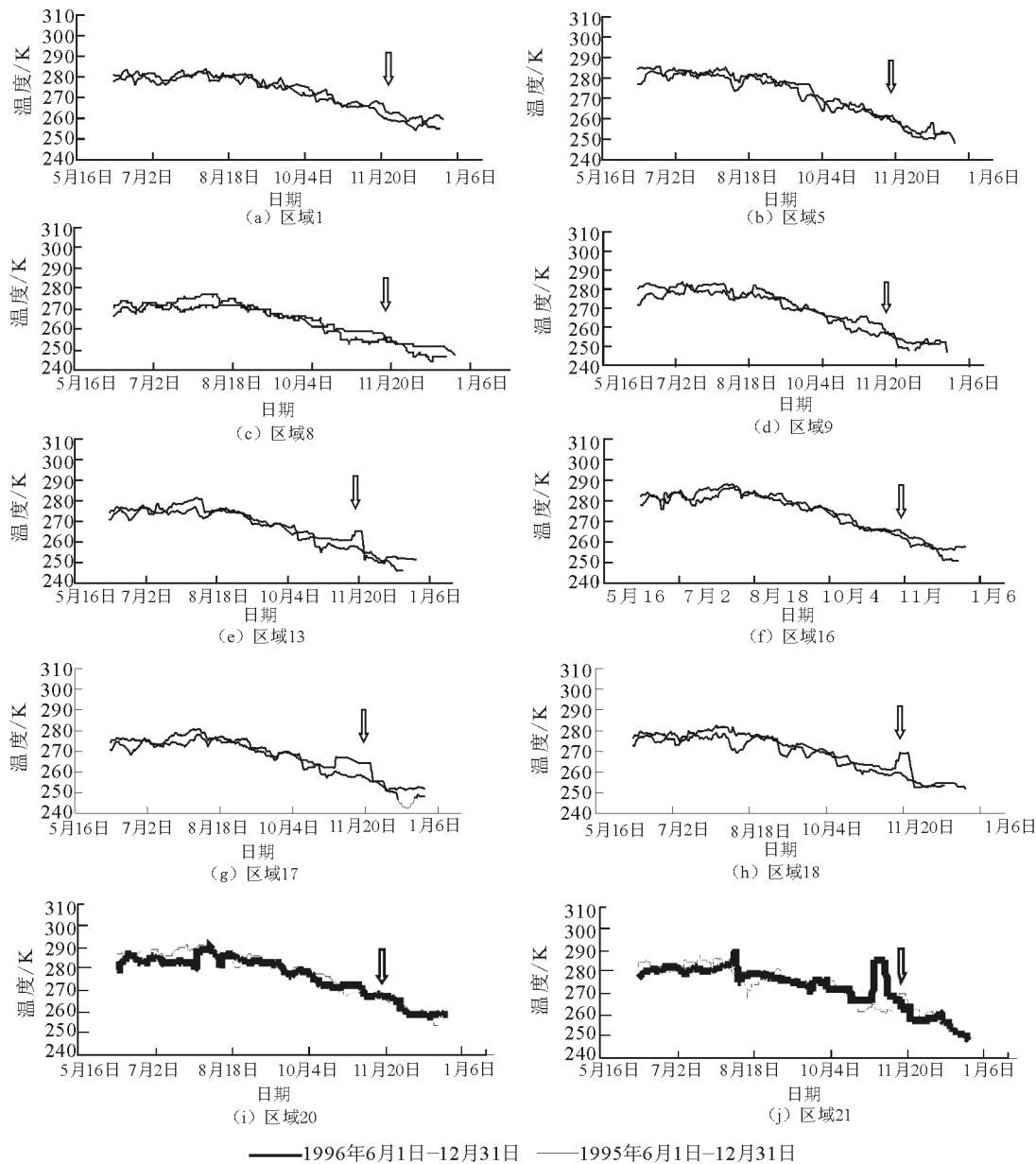


图 2 新疆和田 7.1 级地震震区窗口扫描温度时序曲线图

Fig.2 Temperature-time sequences for some divided regions in the research area of Hetian $M_s 7.1$ earthquake

2.3 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级地震

由于此次地震(3.9°N, 95.9°E)发生在赤道附近,极轨卫星覆盖欠佳,加之有云天气变化节奏快,

不易进行热红外遥感应应用。在此仅应用 AMSU 数据资料对该地震分析研究,意在探讨微波遥感在低纬度地区的地震研究可行性。

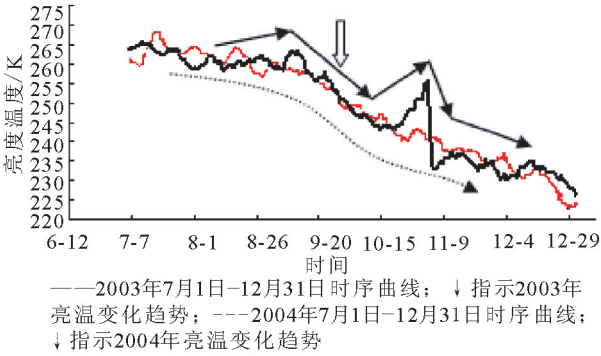


图3 中、俄、蒙交界处7.9级地震的AMSU第3通道亮温对比分析时序图

Fig. 3 Temperature-time sequences from the third channel of AMSU in 2003 and 2004 before and after the M_s 7.9 earthquake on Sept. 27, 2003, in common boundary of China, Russia and Mongolia

从理论上讲,震级愈大,其积累和释放能量就愈多,震前震中区出现温度异常就愈明显,而此震例研究结果未能反映这一特征(图4)。这很可能是由于地震发生在海域,海水的流动实现了快速热交换,极轨卫星很难监测到海域大地震的温度异常变化。另一个原因是极轨卫星在赤道附近每天覆盖同一区域的 AMSU 数据量最少,导致数据的波动幅度较大,降低了对异常的敏感度。同时赤道云雨天气对微波资料的影响也较大。

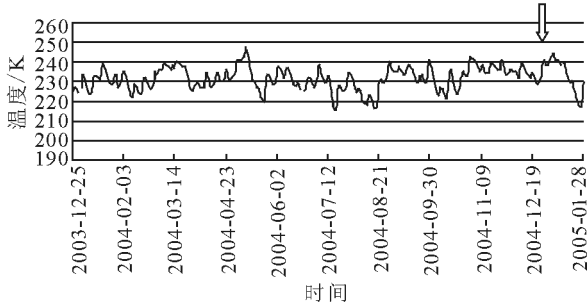


图4 印尼地震震中区 AMSU 通道3的2004年时序曲线趋势图

Fig. 4 Temperature-time sequence from the third channel of AMSU before the Indonesia M_s 8.7 earthquake on Dec. 26, 2004

2.4 2005年10月8日巴基斯坦7.8级地震

钟美娇和张元生^[15]通过红外此次地震遥感影像资料对巴基斯坦7.8级地震的研究发现:在震前3个月发震区出现了明显的热红外异常状况,总体上低于前一年同期的温度值(负异常);震前一个半月内出现了为期10天左右的增温过程,局部小区域增

温达10度;震后温度回升。

2.5 分析

(1) 对于2003年9月27日发生的7.9级中、俄、蒙地震,热红外遥感和微波遥感的地表温度年变形态、地震前兆异常、震后异常变化都具有很好的一致性。在低纬度地区,由于不能精确地获取逐日同时段、同地点的微波遥感数据,以及微波遥感的分辨率低等原因,严重影响了微波遥感数据资料的有效应用,例如印尼地震。

(2) 在高纬度地区,微波遥感陆面温度变化的波动幅度弱于热红外遥感,这一结果反映出热红外遥感受云天气的干扰较大,微波遥感受其干扰较小的事实。此外,云对于微波也不是完全透明的,在不同程度上也阻碍了微波的传输,其特性可从数据曲线在春季波动较大(春季云天气较多)得到。

3 结论与讨论

地震孕育过程中有“热”效应参与释放是无庸置疑的,因此,可以用卫星遥感技术来监测地表温度异常变化,以预测强震的发生。在地震监测预报中,卫星热红外观测资料与其它地震前兆资料相比,其突出的优点是覆盖面广,平面分辨率高,具有连续性等特点,且不受地理环境的限制,可用于地震监视能力差的地域。因此应用卫星技术和成果来监测预报地震受到了很大的重视和支持。但卫星热红外遥感受云的影响十分突出,特别是在低纬度地区,云雨天气偏多,影响更为明显,致使对热红外地震前兆异常的判定带来不利的影响。为了降低云雨天气对地表温度异常判定的影响,我们尝试采用 AMSU(先进微波探测器)数据来研究震前陆表温度异常。重点研究了较长时段内发震地区的陆表温度时空变化特征,并采用微波遥感和热红外遥感数据对几个震例进行多角度对比分析。除了2004年12月26日印尼8.7级地震外,其他3个地震均存在明显的温度前兆异常。

本研究选取四个震例重点研究了地震区陆表温度的时间序列特征,对震区进行了温度窗口扫描,获得了较理想的结果。同时对微波遥感资料与热红外遥感资料进行了对比分析研究,这是一种新的尝试,是本研究的创新点。研究主要取得了以下结果:

(1) 结合发震区的地质构造资料,从热红外遥感图像信息中提取了发震区构造在地表的展布,进一步说明了温度呈条带状分布与断层展布有密切的关系。

(2) 热红外遥感和微波遥感的地表温度年变形态极为相似。对于低纬度地区,极轨卫星遥感资料不太适合于地震研究,静止卫星遥感资料应当更具有优越性。微波遥感反演出的陆表温度的波动幅度要弱于热红外遥感,这一结果反映了热红外遥感较微波遥感受云雨天气干扰较大的事实。同时表明云雨天气对微波也不是完全透明的,存在一定程度的吸收作用。

(3) 获取了巴基斯坦 7.8 级地震、新疆和田 7.1 级地震的热红外遥感陆表温度变化的地震信息:即在地震前后均存在明显的温度异常。对于中、俄、蒙交界 7.9 级地震存在较明显的微波遥感陆表温度异常,但弱于热红外遥感,进一步证实了热红外遥感和微波遥感地表温度震前异常是一种短期地震前兆异常,即震前 3 个月内出现温度异常。研究发现大地震的温度异常空间分布特征与断层的展布存在密切的关系,与已得研究结果存在出入,温度异常区并非大面积存在,且其迁移不明显。这一新发现具有明确的物理意义,将对地震三要素的地点预测有着重要的意义。很难用温度异常变化幅度的大小来判定震级的大小,其原因较多:如地质地貌条件、植被覆盖程度、海洋与陆地的差异、孕震区本身等等都与地震地表温度变化有着密切的联系,有待进一步地深入研究。

(4) 巴基斯坦 7.8 级地震震前呈现降温过程,即负异常。而新疆和田 7.1 级地震和中、俄、蒙交界 7.9 级地震震前为正异常。3 个地震的研究结果与前人的研究结果“震前是一个增温过程”不完全一致,其中 2 个地震一致,1 个地震不一致。这种震前降温或升温的复杂机理有待进一步的深入研究。

参考文献(References)

- [1] В.И.ГОРНЫЙ.地球热红外辐射—地震活动性的标志[J].АН.СРСР,1988,301(1):67-69.
В.И.ГОРНЫЙ. Earth Thermal Infrared Radiation-A Mark of Seismic Activity[J]. АН.СРСР, 1988, 301(1): 67-69. (in Chinese)
- [2] 单新建,屈春燕,马瑾.卫星热红外观测与发震断层不同段落交替活动特征分析,大地测量与地球动力学,2005,25(2):58-62.
SHAN Xin-jian, QU Chun-yan, MA Jin. Satellite Thermal Infrared Observation and Analysis on Alternate Activity of Different Segments of Seismogenic Fault[J]. Crustal Deformation and Earthquake, 2005, 25(2): 58-62. (in Chinese)
- [3] 姚清林,强祖基,王弋平.青藏高原地震前 CO 的排放与卫星热红外增温异常,地球科学进展,2005,20(5):505-510.
YAO Qing-lin, QIANG Zu-ji, WANG Yi-ping. CO Release from the Tibetan Plateau before Earthquakes and Increasing Temperature Anomaly Showing in Thermal Infrared Images of Satellite[J]. Advance in Earth Sciences, 2005, 20(5): 505-510. (in Chinese)
- [4] ZHANG Yuan-sheng, GUO Xiao, ZHONG Mei-jiao, et al. Wenchuan Earthquake: Brightness Temperature Changes from Satellite Infrared Information[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(18): 1917-1924.
- [5] 张璇,张元生,魏从信,等.四川芦山 7.0 级地震卫星热红外异常解析[J].地震工程学报,2013,35(2):272-277.
ZHANG Xuan, ZHANG Yuan-sheng, WEI Cong-xin, et al. Analysis of Thermal Infrared Anomaly before the Lushan Ms7.0 Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2): 272-277. (in Chinese)
- [6] 张璇,张元生,魏从信,等.云南彝良 5.7 级地震前卫星热红外异常[J].地震工程学报,2013, 35(1):171-176.
ZHANG Xuan, ZHANG Yuan-sheng, WEI Cong-xin, et al. Thermal Infrared Anomaly Prior to Yiliang of Yunnan Ms5.7 Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 171-176. (in Chinese)
- [7] 邓明德,崔承禹,耿乃光.遥感用于地震预报的理论及实验结果[J].中国地震,1993,9(2):163-169.
DENG Ming-de, CUI Cheng-yu, GENG Nai-guang. Application of Principle of Remote Sensing to Earthquake Prediction and the Experimental Results[J]. Earthquake Research in China, 1993, 9(2): 163-169. (in Chinese)
- [8] 房宗维,邓明德,钱家栋,等.无源微波遥感用于地震预测及物理机理研究[J].地球物理学报,2000,43(4):465-470.
FANG Zong-fei, DENG Ming-de, QIAN Jia-dong, et al. Application of Passive Microwave Remote Sensing Technology To The Seismic Prediction and Its Physical Mechanism[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2000, 43(4): 465-470. (in Chinese)
- [9] 任雅琼,刘培均,马瑾,等.亚失稳阶段雁列断层热场演化的实验研究[J].地球物理学报, 2013, 56(7):2348-2357.
REN Ya-Qiong, LIU Pei-Xun, MA Jin, et al. Experimental Study on Evolution of Thermal Field of En Echelon Fault During the Meta-instability Stage[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(7): 2348-2357. (in Chinese)
- [10] 钟美娇,张元生.2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级地震热红外异常[J].西北地震学报,2007,29(2):138-140.
ZHONG Mei-jiao, ZHANG Yuan-sheng. Thermal Infrared Anomaly before Pakistan Earthquake ($M_s=7.8$) on October 8, 2005[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007, 29(2): 138-140. (in Chinese)
- [11] Becker F, Li z L. Towards a Local Split Window Method Over Land Surface[J]. Int J Remote Sens, 1990, 11(3): 369-393.
- [12] 郭晓,张元生,钟美娇.卫星热红外遥感资料在地震预报中的应用研究[J].西北地震学报,2005,27(3):223-227.
GUO Xiao, ZHANG Yuan-sheng, ZHONG Mei-jiao. Study on Thermal Infrared Data of Satellite Remote Sensing Applied to Earthquake Prediction[J]. Northwestern Seismological Journal, 2005, 27(3): 223-227. (in Chinese)