

云南彝良 5.7 级地震前卫星热红外异常^①

张璇¹, 张元生^{1,2}, 魏从信^{1,2}, 田秀丰¹, 冯红武¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:针对 2012 年 9 月 7 日云南彝良 5.7 级地震前在震中区附近出现的大面积热红外异常, 利用中国静止气象卫星 FY-2C/E 红外遥感亮温资料, 采用功率谱相对变化法进行研究。结果表明: 该次地震发生前一个月震源区附近存在明显的热异常区域, 并且随着时间推移不断扩大、迁移; 在 2012 年 9 月 1 日左右异常面积达到最大, 随后逐渐收缩, 相对变化幅度达 10 倍以上。同时发现该次亮温异常沿断层呈带状分布, 应与活动构造分布有关。

关键词:云南彝良 5.7 级地震; 静止卫星; 热红外遥感; 亮温变化; 相对功率谱

中图分类号: P315.728

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2013)01-0171-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.01.0171

Thermal Infrared Anomaly Prior to Yiliang of Yunnan M_s 5.7 Earthquake

ZHANG Xuan¹, ZHANG Yuan-sheng^{1,2}, WEI Cong-xin^{1,2}, TIAN Xiu-feng¹, FENG Hong-wu¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: This study examines the thermal infrared anomaly occurring prior to the September 7, 2012, M_s 5.7 earthquake in Yunnan Yiliang by analyzing infrared remote sensing brightness temperature data recorded by China Geostationary Meteorological satellite FY-2C/E. Infrared data of the prime time from 1:00 to 5:00 local Peking time was selected as the data source. Through data processing in which cloud data was disregarded, the power spectrum transform method was used to analyze and research the temporal evolution diagram of the earthquake thermal infrared anomalies and the timing curve of the brightness temperature average. The results show that 90 days prior to the earthquake, in approximately July 2012, a significant thermal anomaly area occurred near the epicenter, and exhibited irregular shapes. With the passage of time, the abnormal range gradually expanded along a particular direction of tectonic stress field, rapidly mutated, and gradually migrated from north to south. A large range of infrared anomaly up to hundreds of kilometers in length was recorded in the epicentral area, which is inconsistent with the temperature trend observed in the seismogenic zone. This abnormal area reached the maximum on September 1, 2012, and gradually shrank after the earthquake occurred. The anomaly amplitude was rapidly reduced in the area near the seismogenic fault before disappearing. The earthquake thermal anomaly cycle was 64 days, and the thermal anomaly duration was more than 30 days. Prior to the earthquake, the magnitude of relative change was more than 10 times, for a maximum of the pre-

① 收稿日期: 2012-09-25; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013012

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAK19B04); 中国地震局兰州地震研究所青年基金(2011Q04)

作者简介: 张璇(1985-), 女(汉族), 甘肃天水人, 在读硕士研究生, 主要从事地震卫星应用研究, E-mail: zhangx198565@126.com

通讯作者: 张元生(1965-), 男(汉族), 贵州湄潭人, 研究员, 主要从事卫星遥感应用与地震学方面的研究工作。

vious five years. From mid-July 2012 to the seismogenic day, the average increased sharply, and abnormal peaks appeared during the four days prior to the earthquake. After the earthquake occurrence, the characteristic amplitude gradually reduced, and anomalies dissipated step by step. Moreover, we determined that the brightness temperature anomaly exhibited zonal distribution along the fault, which should be related to the distribution of active tectonics. The thermal infrared anomalies observed prior to the earthquake were fairly obvious and persistent, lasting through two stages of initial and strengthening warming. The abnormal area shifted, expanded along the fault direction, and rapidly increased. The epicenter of this earthquake was not in the abnormal maximum area but approached the fault near the edge of the anomaly area. This situation is consistent with the results of most earthquake cases and may be related to the geological structure and the underground environment of the epicenter. These characteristics can provide some clues in determining future seismogenic time and tracking the location of the epicenter. Because the current understanding of the genetic mechanism of earthquake thermal infrared anomalies is not yet complete, future research should include shock cases and law summaries. However, the highlights of the thermal infrared anomaly occurring prior to this earthquake presented in this study are indeed authentic.

Key words: Yunnan M_s 5.7 earthquake in Yunnan Province; Geostationary meteorological satellite; Infrared remote sensing; Brightness temperature change; Relative power spectrum

0 引言

地震短临异常信息的有效提取一直是备受关注的问题。自 20 世纪 80 年代以来,卫星遥感技术迅速发展,国内外不少地震学者做了大量的地震红外异常机理的探索,进行了红外遥感技术应用方法及典型震例对比分析等研究,并取得了许多有价值的研究成果。典型震例卫星遥感资料分析结果表明,地震发生前存在不同程度的“热震兆”现象^[1-12]。徐秀登等在研究台湾南投 7.6 级大地震前的卫星热红外异常时,发现震前红外异常明显^[13]。张元生等应用小波变换和相对功率谱方法分析静止卫星热红外遥感资料,对汶川等地震的研究结果表明,地震发生前存在明显的热异常特征周期和特征幅值^[14]。随着震前热异常震例的累积,地震热异常信息提取方法的改进,热红外异常特征在地震预测工作中得到了更多应用^[15-19]。

2012 年 9 月 7 日云南省昭通市彝良县连续发生 5.7 级、5.6 级中强地震。笔者应用中国静止气象卫星 FY-2C/E 亮温变化资料,发现在地震前后表现出了可以识别的热红外异常特征。结合震中区构造活动分析提取该次典型震例的热红外亮温异常信息,研究异常随时间变化的分布特征、持续时间及异常区特征功率谱幅值,为今后运用热红外遥感技术进行地震预报研究提供资料与依据。

1 数据处理过程

1.1 资料来源

本文应用中国静止气象卫星 FY-2C/E 的红外遥感亮温产品数据。资料区域范围为 $N5^{\circ}\sim 50^{\circ}$, $E55^{\circ}\sim 150^{\circ}$, 这样可覆盖整个中国及周边大范围区域;选取研究长度为 2007 年 1 月 1 日至 2012 年 9 月 16 日。对北京时间 01:00、02:00、03:00、04:00、05:00 (GMT17:00、18:00、19:00、20:00、21:00) 的每日观测数据,用补窗法(对每天 5 个时次的观测数据,按照观测质量,考虑云干扰值为下限、错值及不符合黑体辐射公式的高值为上限进行剔除,所得数据计算均值,即为日值)进行简单处理,去除云干扰,计算其平均值,构成日值。

1.2 亮温数据处理

首先,通过对普朗克辐射公式某一波段各波长值和波段响应函数做积分可得到波段的黑体辐射公式:

$$W_i(T) = \frac{\sum_{m_i} [B(v_{m_i}, T) f_i(v_{m_i}) \Delta v]}{\sum_{m_i} [f_i(v_{m_i}) \Delta v]} \quad (1)$$

其中, $m_i = (v_{2i} - v_{1i}) / \Delta v$, i 为波段数; $B(v_i, T)$ 是波数 $v(\text{cm}^{-1})$ 和温度 $T(\text{K})$ 处的光谱辐射出射度 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1}$); $f(v_m)$ 为对应波段的波段响应函数; v_{1i} 和 v_{2i} 分别是 i 波段的上、下限波长对应的波数。利用所得每个波段的辐射出射度与温度的对应

关系表可查得对应的黑体的辐射温度值,该温度值即为亮温。

其次,采用小波变换和相对傅氏功率谱法对选取的亮温数据进行处理。应用小波变换可以在时间域去除年变温度场和地球基本温度场。即舍去小波 7 阶的尺度部分。由于雨云和寒热气流引起的温度变化时间较短,一般为几小时至几天,这种信息经小波变化可基本去除,即舍去小波 2 阶的细节部分^[14]。由于红外数据量相对较大,可以采用功率谱法获得优势频率和幅值,目的在于研究地震前后热辐射变化的功率谱与其他时段的功率谱有何异同。文中以 $n=64$ 天为窗长、 $m=1$ 天为滑动窗长做傅氏变换,计算其功率谱。对每个像元的时程数据滑动一次可获得一组功率谱,时间约定为窗内数据的起始时间,这样就获得了时频空间数据。用经度为 1° 的间隔沿纬度方向作时频剖面图,寻找幅值变化较大的对应频率(特征周期)、时间和区域位置参数,再根据特征周期和时间参数作平面图^[14-16]。采用上述功率谱相对变化法可以获得时频空间数据,并利用时频剖面图法进行全时空和全频段扫描,最后得到地震热红外异常时空演化图和亮温平均值时序曲线,从而进行地震热红外异常信息的提取和分析。

2 数据处理结果

2.1 地震热红外异常演化过程及特征

2012 年 9 月 7 日云南彝良发生 5.7 级地震,震中位于 $27.5^\circ\text{N}, 104.0^\circ\text{E}$,发震构造处在西鱼河断裂及昭通断裂附近,震源深度 14 km,震型为震群型。该次地震发生在一条 NE 向的走滑断裂上,属于小江断裂带内最东侧的一条分支断裂。多年来,这一地区发生过数次 $M_s \geq 5.0$ 的地震(图 1)。

我们设定扫描分析地理范围为 $\text{N}21^\circ \sim 33^\circ$, $\text{E}98^\circ \sim 110^\circ$,在地震前后的相对功率谱时空演化图中可以明显看出 7 月 18 日起震中区西部开始出现小面积热异常(图 2 中绿色区域);随着时间推移异常范围沿一定构造应力场方向逐渐扩大,在昭通以西方向呈现不规则形状;至 8 月 12 日异常范围(图 2 中红色区域)涉及到震中区的东北部;震前 25 天内异常区域沿 NE 向持续延伸、快速突变;之后于 8 月 22 日由北向南迁移,在震中区内 NE、SW 方向均有大范围热红外异常,呈带状分布,长度达数百公里;到 9 月 1 日左右面积达到最大。震中位置始终位于异常突出部位的边缘,异常总体方向与断层分布基本一致,可能与该地区构造应力的集中和调整

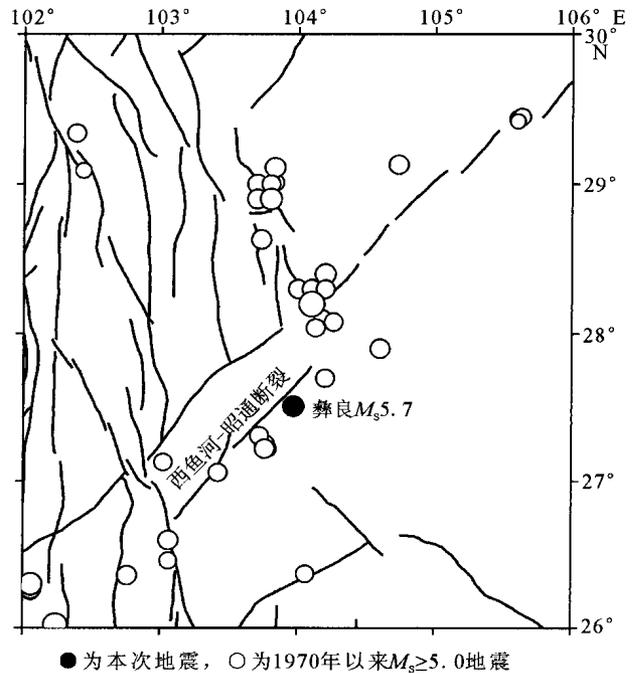


图 1 云南东部区域地震分布

Fig. 1 Distribution of earthquakes in east Yunnan.

变化相关,但其与主断裂带的走向关系还有待于进一步的宏观调查。震后恢复阶段(从 9 月 11 日开始)可以发现,越靠近发震断层,异常幅度降低的越快,震中区 SW 向异常减弱较慢,应与该区域地质构造和天气因素相关(图 2)。

分析这次热异常的时空演化发现,异常变化持续较长,震前出现热异常的区域面积相对较大,形态相对突出,与发震区气温变化趋势不符;而震中恰好在异常最集中区域的边缘部位,与大多数震例结果相符;震后异常条带收缩,异常信息逐渐衰减,趋于消失。

2.2 地震热红外区域亮温平均值时间变化特征

热红外异常区域平均值亮温变化通常可以清晰明了的反应地震异常信息,分析该区域五年数据的平均值亮温变化曲线(图 3),可以得到以下特征:(1)该次地震引起的热异常持续时间在 30 天以上,相对明显;(2)热异常特征周期为 64 天,震前特征功率谱幅值为近五年来的最大值,相对变化率达到 11 倍(2012 年 9 月 3 日左右);(3)2012 年 7 月中旬到发震日(2012 年 9 月 7 日),平均谱值陡增,发震时刻恰好在异常突出后开始回落的阶段;(4)震后特征幅值逐渐减小,异常随之消散;(5)在 2009 年、2010 年、2011 年都出现过相对变化率为 7 倍左右的异常峰值,但未发生与之对应的地震,对比本次异常峰值前几次异常变化均表现出持续时间短,异常幅度较

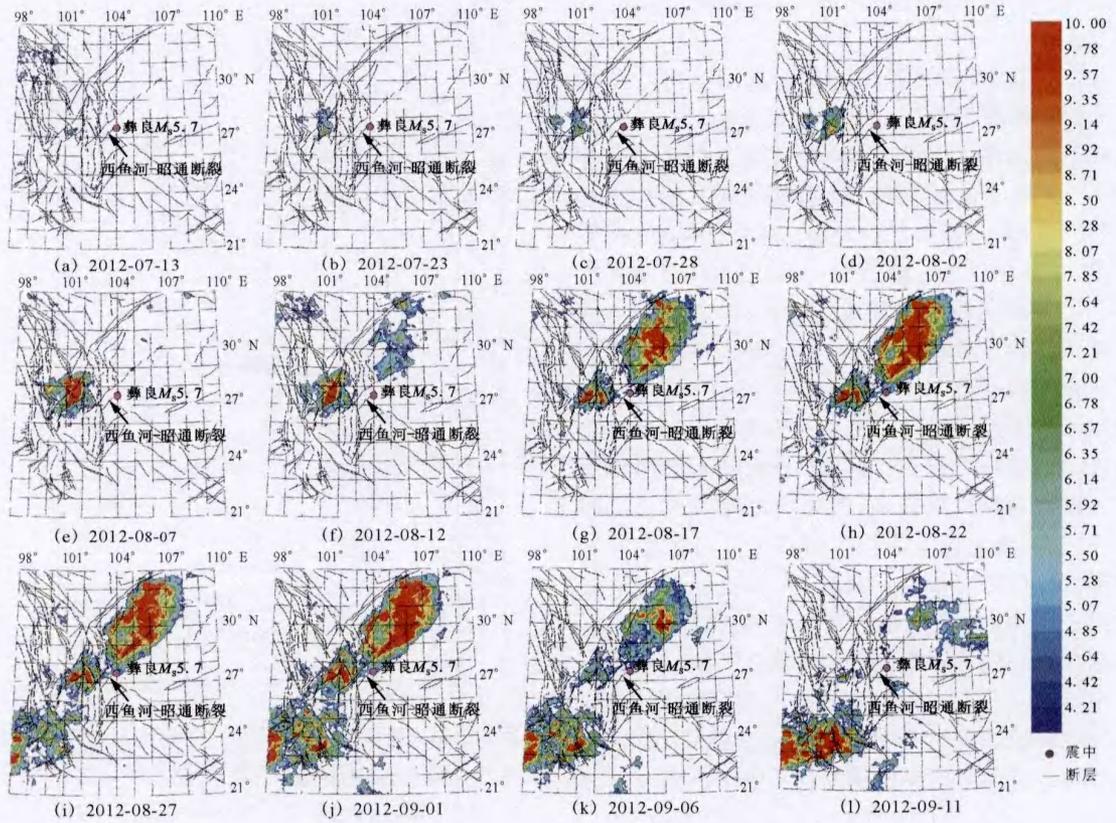


图2 云南彝良5.7级地震前后热红外相对功率谱时空演化图

Fig. 2 Time evolution of thermal infrared anomalies in the nearby area of Yiliang $M_{5.7}$ earthquake's epicenter.

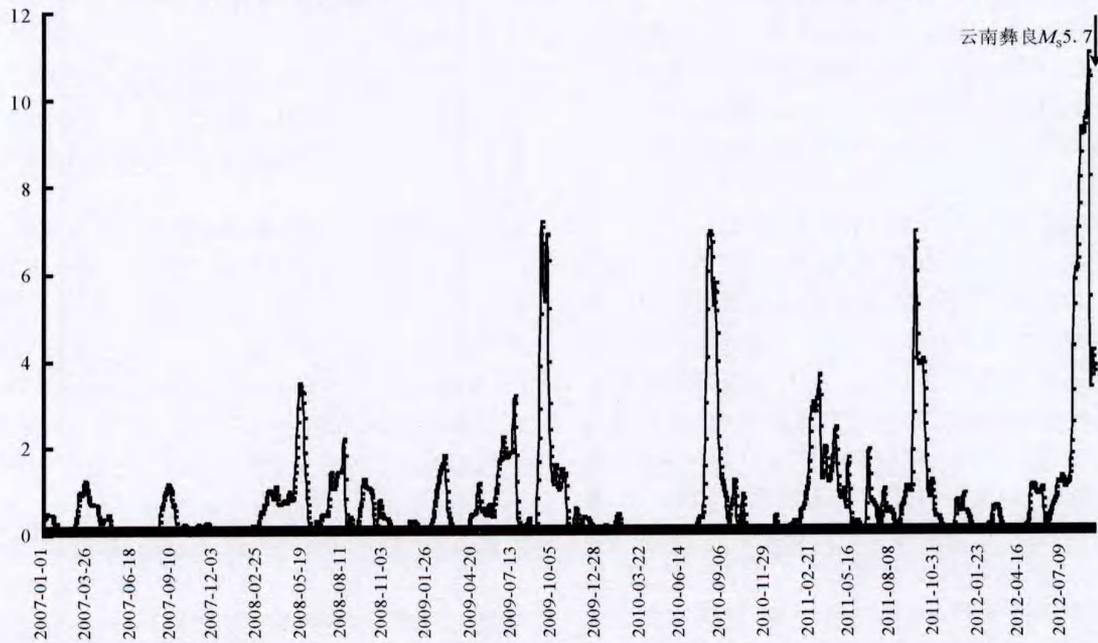


图3 异常区平均谱值时序曲线(区域范围: $27^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$, $101^{\circ}\sim 101.5^{\circ}\text{E}$)

Fig. 3 Time-series curve of infrared effective observation period in this area(Region: $27^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$, $101^{\circ}\sim 101.5^{\circ}\text{E}$).

小等特征,或与该地区在这一时段的降雨等天气因素相关。

3 讨论和结论

对于该次地震热红外异常,我们在震前的日常工作(每周处理亮温数据1次)中已有所发现,并且根据其时空演化图和区域时间序列曲线,编写出说明异常情况的文件,提交至相关预报部门。但科学问题是需要不断检验和讨论的,正是由于目前对地震热红外异常的成因机理认识尚不成熟,加之地震异常的复杂性、地域性及气象异常的干扰性,该异常能否在未来地震预报中作为一种判识指标,还需要实践的检验以及大量震例的研究总结,但地震热红外异常在本次地震前的突出反映确是真实可信的。

通过前面对云南彝良5.7级地震前后热异常分析,可以总结如下特征:

(1)该次地震震前热红外异常明显,异常形态在时域上具有持久性,大致经历了初始增温和加强增温两个阶段,时长在30天以上。异常区域基本沿断层走向移动和扩展,异常面积增速较快,震中并没有出现在异常最大区域内,而是在异常区边缘的断层附近,这可能与震中附近的地质构造和地下环境有关。

(2)异常区特征功率谱幅值最高达到平均值的11倍,异常峰值出现在震前4天(即异常高值回落阶段),峰值过后也是大多数震例中较易发生地震的时段,但各震例发震时刻距高值的时间不尽相同^[18]。根据上述演化方向和异常峰值特征,可以为确定未来地震的发震时间、追踪震中位置提供一些线索。

总之,该地区热红外前兆异常与地震孕育、发生、发展以及地震的发震时间、地点具有明显相关性,异常形态特征、演化过程及时序曲线都具有很强的代表性,今后唯有不断改善数据处理方法,提高地震预测的精准度,才能为防震减灾发挥更大的实效。

致谢:感谢中国气象局国家卫星气象中心提供了部分静止卫星数据资料。

[参考文献]

- [1] 强祖基, 侯常恭. 卫星热红外图像亮温异常——短临震兆[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(6): 564-573.
Qiang Z J, Lin C G. Satellite Infrared Brightness Temperature Anomaly——Earthquake Imminent Precursor[J]. Science in China (D), 1998, 28(6): 564-573.
- [2] 刘德福, 彭克银, 刘维贺, 等. 地震有“热征兆”[J]. 地震学报, 1999, 12(6): 710-715.
- Liu D F, Peng K Y, Liu W H, et al. Thermal Omens before Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1999, 12(6): 710-715.
- [3] Saraf A K, Rawat P, et al. Satellite Detection of Earthquake Thermal Infrared Precursors in Iran [J]. Nature Hazard, 2008, 47: 119-135.
- [4] 张元生, 沈文荣, 徐辉. 新青8.1级地震前卫星热红外异常[J]. 西北地震学报, 2002, 24(1): 1-4.
Zhang Y S, Shen W R, Xu H. Satellite Thermal Infrared Anomaly before the Xinjiang—Qinghai Border $M_s 8.1$ Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2002, 24(1): 1-4.
- [5] Qiang Z J, Xu X D, Dian C G. Impending-earthquake Satellite Thermal Infrared and Ground Temperature Increase Anomalies [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36: 1894-1900.
- [6] 张元生, 郭晓, 张小美, 等. 应用静止卫星热红外遥感亮温资料反演地表温度的方法研究[J]. 西北地震学报, 2004, 26(2): 113-117.
Zhang Y S, Guo X, Zhang X M, et al. Study on the Inversion Method of Land Surface Temperature by Applying IR Bright Temperature Data of Still Satellite[J]. Northwestern Seismological Journal, 2004, 26(2): 113-117.
- [7] 邓志辉, 王煜, 陈梅花, 等. 中国大陆几次强地震活动的卫星热红外异常分析[J]. 地震地质, 2003, 25(2): 327-337.
Deng Z H, Wang Y, Chen M H, et al. Satellite Infrared Anomaly of Several Strong Earthquakes in China Mainland[J]. Seismology and Geology, 2003, 25(2): 327-337.
- [8] Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A. Thermal IR Satellite Data Application for Earthquake Research in Japan and China[J]. Journal of Geodynamics, 2002, 33: 519-534.
- [9] 康春丽, 陈正位, 陈立泽, 等. 昆仑山8.1级地震的热红外前兆特征分析[J]. 西北地震学报, 2003, 25(1): 12-15.
Kang C L, Chen Z W, Chen L Z, et al. Analysis on the Satellite Infrared Anomaly Feature before West to Kunlun Mountain Pass $M_s 8.1$ Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2003, 25(1): 12-15.
- [10] 徐秀登, 徐向民, 马升灯, 等. 临震大气增温异常成因的初步认识[J]. 地震学报, 1995, 17(1): 123-127.
Xu X D, Xu X M, Ma S D, et al. Primal Knowledge Why Atmosphere Temperature Increases before Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1995, 17(1): 123-127.
- [11] 强祖基, 杜乐天. 地球排气与森林火灾和地震活动[J]. 地学前缘, 2001, 8(1): 235-245.
Qiang Z J, Du L T. Earth Degassing, Forest Fire and Seismic Activities[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(1): 235-245.
- [12] 张景康, 杜乐天, 曹正林, 等. 再论汶川大地震与深部气体的关系[J]. 西北地震学报, 2011, 33(1): 96-101.
Zhang J L, Du L T, Cao Z L, et al. More Discussion on the Relationship between Wenchuan Earthquake and Deep Gas [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(1): 96-

- 101.
- [13] 徐秀登, 徐向民, 王煜, 等. 台湾南投 7.6 级地震前热红外异常[J]. 地震学报, 2000, 22(6): 666-669.
Xu X D, Xu X M, Wang Y, et al. Satellite Infrared Anomaly before Nantou M_s 7.6 Earthquake in Taiwan, China[J]. Acta Seismologica Sinica, 2000, 22(6): 666-669.
- [14] 张元生, 郭晓, 钟美娇, 等. 汶川地震卫星热红外亮温变化[J]. 科学通报, 2010, 55(3): 904-910.
Zhang Y S, Guo X, Zhong M J, et al. Wenchuan Earthquake: Brightness Temperature Changes from Satellite Infrared Information[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(3): 904-910.
- [15] 张元生, 郭晓, 魏从信, 等. 日本 9 级和缅甸 7.2 级地震热辐射表现特征[J]. 地球物理报, 2011, 54(10): 2575-2580.
Zhang Y S, Guo X, Wei C X, et al. The Characteristics of Seismic Thermal Radiation of Japan M_s 9.0 and Myanmar M_s 7.2 Earthquake[J]. Chinese J. Geophys, 2011, 54(10): 2575-2580.
- [16] 郭晓, 张元生, 钟美娇等. 提取地震热异常信息的功率谱相对变化率法及震例分析[J]. 地球物理学报, 2010, 53(11): 2688-2695.
Guo X, Zhang Y S, Zhong M J, et al. Variation Characteristics of OLR for the Wenchuan Earthquake[J]. Chinese J. Geophys, 2010, 53(11): 2688-2695.
- [17] 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): 137-140.
Zhong M J, Zhang Y S. Satellite Infrared Anomaly before Pakistan M_s 7.8 Earthquake, October 8, 2005[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007, 29(2): 137-140.
- [18] 魏从信, 张元生, 惠少兴. 2009 年 8 月 11 日安达曼群岛 M_s 7.5 地震热红外变化[J]. 地震研究, 2011, 34(2): 41-45.
Wei C X, Zhang Y S, Hui S X. Thermal-Infrared Variation of Andaman Islands M_s 7.5 Earthquake on August 11, 2009 [J]. Journal of Seismological Research, 2011, 34(2): 41-45.
- [19] 强祖基, 马蔼乃, 曾佐勋, 等. 卫星热红外地震短临预测方法研究[J]. 地学前沿, 2010, 17(5): 254-256.
Qiang Z J, Ma Ai N, Zeng Z X, et al. A Study of the Method of Satellite Thermal Infrared Earthquake Prediction in Imminence[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(5): 254-256.