

2011年盈江5.8级地震热辐射亮温异常分析*

惠少兴¹, 张元生², 解滔³, 金昭娣¹

(1. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 使用从2010年1月12日至2012年1月11日, 在($20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $93^{\circ} \sim 103^{\circ} \text{E}$)范围内由中国静止气象卫星FY-2E观测的热红外遥感亮温资料, 对2011年3月10日盈江5.8级地震周边地区的热红外亮温异常特征进行了研究。结果表明: 从2011年3月初开始在盈江5.8级地震震中周围开始出现相对能谱异常, 之后异常区域逐渐扩大并向震中区域集中, 并于3月中下旬在震中偏西地区形成片状异常区域, 相对能谱最大异常幅度达13倍, 随后异常区域和幅度逐渐减小, 地震发生后数天异常消失。

关键词: 盈江5.8级地震; 热红外辐射异常; 热红外遥感亮温; 小波能谱

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)03-0362-05

0 引言

热红外异常作为一种地震前兆一直被研究, 近十几年来, 随着卫星遥感技术在地震研究中的应用, 国内外研究人员开展了大量这方面的研究工作 (Quzounov, Freund, 2004; 强祖基等, 1990, 1998; 张元生等, 2002, 2004; 马晓静等, 2009; 魏从信等, 2011), 所得的研究成果对地震热异常与地震孕育、发生的关联性有了更加深入的认识。但目前, 地震热异常成因机理、异常信息提取以及异常与地震参数的关系仍是该研究的难点和关键点。

随着红外遥感技术在地震学领域的不断应用加上大量的震例分析, 地震学者逐渐发展出了“地球放气温室效应”理论 (强祖基等, 1992) 以及在此基础上提出的“地球放气温室效应—大气耦合”的地震热红外异常成因机理 (Zhang *et al.*, 2010), 理论认为“地球放气温室效应”是地震热红外异常的基本成因, “大气耦合”是间接成因, 主要与地震发生区域的水汽含量有关。

异常信息的提取以及异常与地震参数的关系作为地震热异常研究的关键问题, 研究人员主要从热异常时空演变过程与发震时刻的关系, 异常与活动构造的相关性, 异常面积和幅度与震级大

小的关系以及非震因素对地震热异常提取的影响等方面来研究异常变化特征与地震参数的相关性 (康春丽等, 2003; 马瑾等, 2006; 钟美娇, 张元生, 2007), 但这些研究成果存在一定的差异且可比性不强, 还未被多数人认可可能作为地震预测的依据。

2011年3月10日12时58分, 在云南省德宏傣族景颇族自治州盈江县发生了5.8级地震, 共造成25人死亡、数百人受伤以及巨大的经济损失, 盈江5.8级地震是否也存在热红外辐射异常, 其热异常在时间和空间上的分布特征是怎样的? 笔者收集了2010年1月12日至2012年1月11日盈江地震前以及震后空间区域($20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $93^{\circ} \sim 103^{\circ} \text{E}$)范围内由中国静止气象卫星FY-2E记录的热红外遥感亮温资料, 应用小波能谱方法对亮温资料进行了处理, 获得了地震之前的热红外亮温异常特征, 并分析了盈江5.8级地震异常特征与地震参数的相关性, 为中强震热异常研究打下一定的基础。

1 资料处理

FY-2E静止气象卫星于2008年12月成功发射, 运行轨道定点位于 105°E 赤道上空, 有效观测范围为($60^{\circ} \text{S} \sim 60^{\circ} \text{N}$, $45^{\circ} \sim 165^{\circ} \text{E}$), 于2009年

* 收稿日期: 2013-07-24.

基金项目: 陕西省地震局起航与创新基金(201309)资助.

11月开始提供有效的亮温数据服务。远红外观测波段分别为 $10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ 和 $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 热红外亮温观测每小时进行一次, 空间分辨率约 5 km 。笔者以盈江5.8级地震震中为中心, 选取空间范围 ($20^\circ \sim 30^\circ\text{N}$, $93^\circ \sim 103^\circ\text{E}$) 内的亮温资料进行分析。白天太阳辐射对观测的地表亮温资料影响较大, 为避免太阳辐射的影响, 选取各时区凌晨00:00~04:00的5个数据时间点的观测资料, 用补窗法对每个象元进行简单处理初步去除部分云的影响, 而后取其平均值作为该象元这一天的观测日值, 对每一天的观测资料做同样的处理, 最终得到每个象元的亮温日值序列。象元上空有云层存在时, 卫星观测到的亮温反映的是云顶的温度, 云顶温度要比云层下地表温度低许多。为进一步去除云层的影响, 用低通滤波器提取亮温日值序列中周期为一年及以上的趋势成分 (图1a中上方曲线), 并以1.5倍均方差做为下限 (图1a中下方曲线) 进行简单的去云处理, 低于1.5倍均方差下限的值认为是受云的影响, 用趋势成分中相应的值代替, 经处理后的亮温曲线如图1b所示。

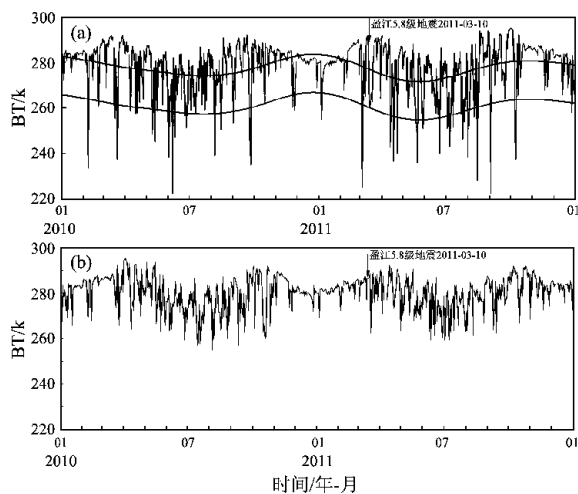


图1 亮温原始记录 (a) 及经1.5倍均方差去云后的亮温记录 (b)

Fig. 1 The raw brightness temperature data of one pixel (a) and the brightness temperature data after cloud elimination by 1.5 times mean variance (b)

2 处理方法

小波变换是一种分析非稳态信号的有效方

法, 在地球物理学、地震勘探等各项研究中得到了广泛的应用 (Kumar, Foufoula, 1997)。小波变换是一种线性时-频分析方法, 改变时间-频率窗口形状可很好地解决时间分辨率和频率分辨率的矛盾, 在时间域和频率域都有很好的局部化性质。小波变换具有多分辨率的特点, 可以对各周期分量进行时间定位。有限时间序列的小波变换定义为

$$W_\psi f(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}^*(t) dt. \quad (1)$$

式中: a 是尺度伸缩因子, 用于控制变换的频率分辨率, b 是时间平移参数, a 和 b 均为无量纲参数。 $W_\psi f(a, b)$ 表示经小波变换后的小波系数。 $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \left(\frac{t-a}{a} \right)$ 是小波母函数, 这里选择 Morlet 小波, $*$ 表示对 $\psi_{a,b}(t)$ 取复共轭。常用的复值 Morlet 小波在频率域为

$$\psi(\omega) = \pi^{-0.25} e^{-(\omega - \omega_0)^2/2}. \quad (2)$$

当 $\omega_0 \geq 5$ 时, 式 (2) 近似满足容许条件 (Farge, 1992), 这里将 ω_0 值取为 6。 $\psi(t)$ 和 $W_\psi f(a, b)$ 是复数, 小波能谱通常定义为振幅的平方 $|W_\psi f(a, b)|^2$, 小波能谱可在时间域得到信号各频谱成分随时间的变化。由于各象元所处的纬度、海拔高度以及气候环境等因素有差异, 使不同象元的能谱信息本身就有差异, 从而在空间上造成虚假的异常现象。因此我们计算各频段的相对能谱变化 $R_w(a, b) = |W_\psi f(a, b)|^2 / \bar{W}^2(a, b)$, 其中 $\bar{W}^2(a, b) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |w f(a, b)|^2$ 是各频段全局小波能谱, 表示在整个时段内将小波能谱取平均, N 为数据长度, 对每一频段, $R_w(a, b)$ 表示各时刻能谱与两年能谱平均值的比值。

由于连续小波变换是非正交变换, 相邻频段信息中有重叠的成分, 因此不需要太高的频率分辨率, 将 a 按 0.5 的间隔进行离散化, 在时间域取 $b=1$ 计算每天的相对能谱。对每个象元一次选取计算两年的资料, 数据长度 $N=730$ (包含闰年时 $N=731$)。在获得时频相对功率谱信息后, 对研究区域进行时空扫描, 分析异常区域的空间和时间演化特征。

3 结果分析

2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震震中位于 (24.7°N, 97.9°E), 震源深度 10 km, 发震构造为大盈江断裂。大盈江断裂位于中缅山脉北部, 中缅山脉向北与喜马拉雅弧形构造带相连, 以西则

是印度板块向北推挤与欧亚大陆碰撞的“阿萨姆角”(钱晓东, 秦嘉政, 2007), 它是构造活动的“增生楔”。该断裂北端始于腾冲以西, 止于八莫盆地, 全长约 140 km。断裂走向 NE, 倾向 NW 或 SE, 倾角较陡, 第四纪以来表现为左旋滑动, 为晚更新世活动断裂(安晓文等, 2009), 近年来地震活动频繁。

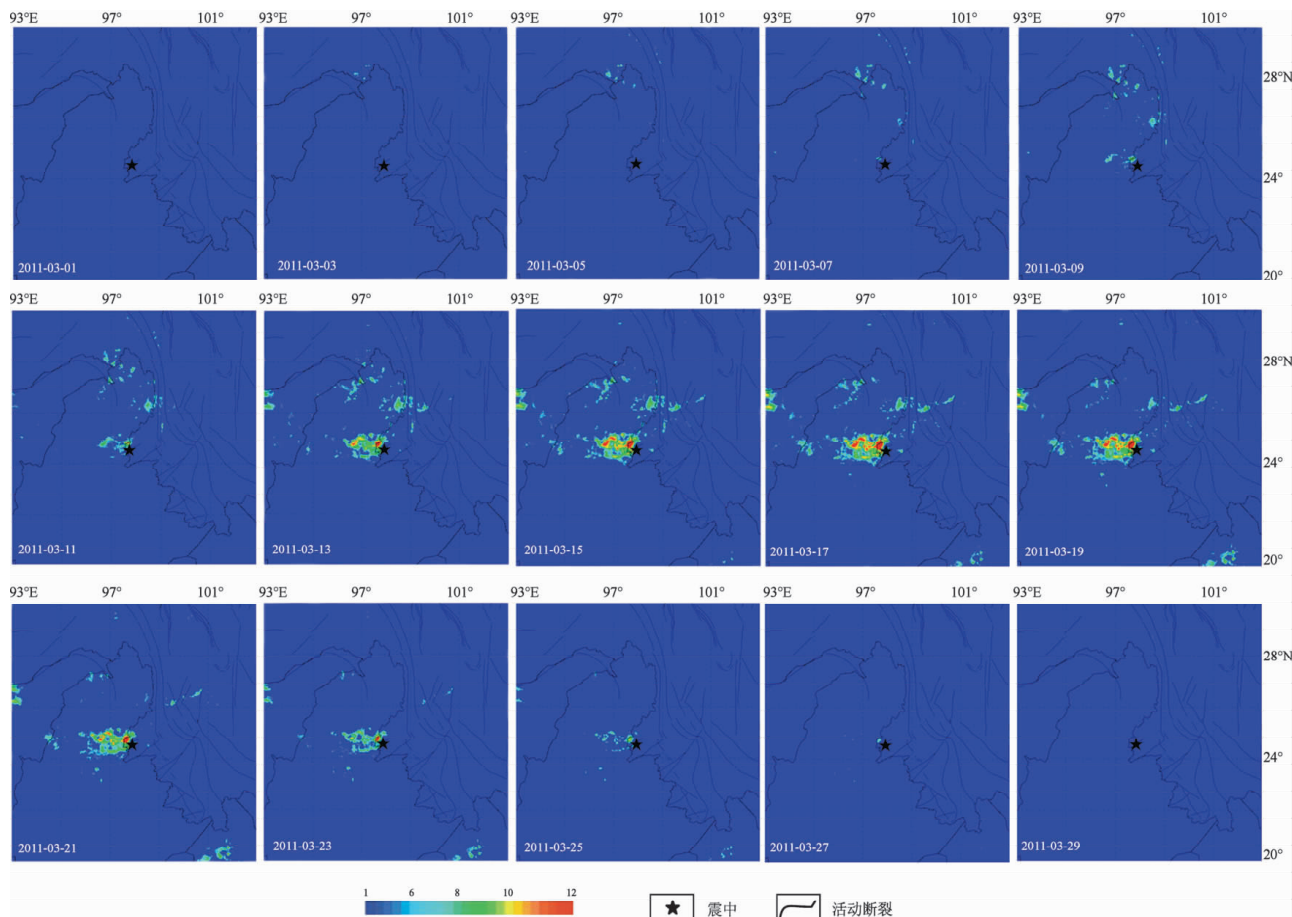


图2 盈江 5.8 级地震热红外亮温小波相对能谱异常时空演化

Fig. 2 Abnormal time-spatial evolution of relative wavelet power spectrum of thermal infrared brightness temperature for Yingjiang M_s 5.8 earthquake on Mar. 10, 2011

从图 2 可以看出, 热红外亮温异常从 2011 年 3 月初开始零星小范围地出现在震中 NW 方向, 之后异常区逐渐扩大并向震中附近集中, 相对能谱异常幅度同步增大。主震发生后 1 天内又发生了 6 次 4 级以上地震, 地震序列能量释放比较充分。相应的亮温异常在震中以西区域逐渐聚集, 异常幅度和区域达到最大, 之后范围逐渐减小, 但仍围绕着发震构造区域分布, 地震发生约半个月后异常消失。从象元 (24.7°N, 97.6°E) 异常时间演化进程可以发现在地震前热红外亮温小波相对能谱显著增加 (图 3), 且这次

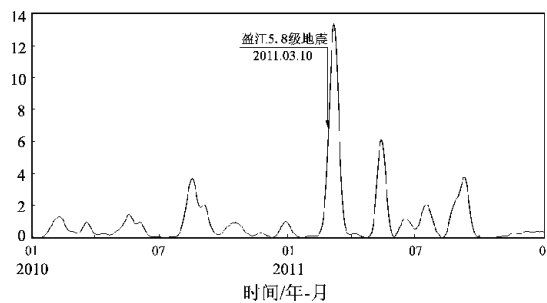


图3 异常区域象元小波相对能谱时序曲线

Fig. 3 Time evolution of relative wavelet power spectrum of one pixel at the abnormal area

热红外异常在两年时间里变化最为突出。通过以往的震例分析,较多地震发生在异常增强后的衰减期,但也有地震发生在异常刚开始和增强期,此次地震属于后者。

4 结论与讨论

热红外亮温小波相对能谱异常时空演化和异常区域象元小波相对能谱时序曲线是判断地震热红外亮温异常变化的有效手段。笔者以 FY-2E 记录的亮温数据为基础,应用小波能谱方法分析研究了盈江 5.8 级地震热红外亮温异常演化图和震中周围区域象元小波相对能谱时序曲线,得到以下结论:

(1) 相对能谱异常时空演化显示,地震前震中附近出现了热红外亮温异常,开始时异常区域较小且分散,随后逐渐扩大并向震中附近集中,最终在发震构造周边形成片状区域,该变化和正常气候变化不相符,应属地震引起的异常变化,最终地震发生在异常区域的边缘。在临近发震阶段,相对小波能谱曲线加速上升并在震后几天达到 2 年来的最大值,变化幅度达约 13 倍均值。从异常出现到地震发生,异常持续 25 天,震后数天异常基本消失。

(2) 该区域相对能谱异常特征明显,其变化与区域象元小波相对能谱值时序曲线有很好的对应关系,震级与峰值的关系总体上表现不明显,两者关系还需进一步分析研究。

(3) 该区域象元小波相对能谱值时间序列曲线存在明显的年变特征,异常年变化明显。

地震热异常可以作为地震前兆,但由于对其成因机理认识不够完善,其应用于地震预测还有很多问题尚需解决,如确定异常与地震的关系需要大量的震例归纳。一次地震的孕育和发生是地壳板块或次级地块运动引起应力集中,当应力超过岩石承受强度时局部岩层发生错断的结果。岩石力学实验表明,在岩石受压剪应力至破裂过程中存在增温现象,临近破裂时剪切区域的平均红外辐射温度加速上升(吴立新等,2004)。在地震发生前,震源区应力已近岩层破裂临界状态,贯通地表的裂隙数量增多,地壳内部的温室气体

(如 CO_2 , CH_4) 溢出,同时由于裂隙增多,加强了地下岩层与地表的热对流(Tronin, 2000; 强祖基等, 1991)。上述因素的共同作用使地震前热异常集中在震中附近,且与断裂分布关系密切。

本研究部分静止卫星数据资料由中国气象局国家卫星气象中心提供,在此表示感谢。

参考文献:

- 安晓文,常祖峰,石静芳. 2009. 大盈江断裂西南段晚第四纪活动研究[J]. 地震研究, 32(2): 194-197.
- 康春丽,陈正位,陈立泽,等. 2003. 昆仑山西口 8.1 级地震的热红外前兆特征分析[J]. 西北地震学报, 25(1): 12-15.
- 马瑾,陈顺云,刘培涛,等. 2006. 用卫星热红外信息研究关联断层活动的时空变化—以南北地震构造带为例[J]. 地球物理学报, 49(3): 816-823.
- 马晓静,邓志辉,陈梅花,等. 2009. 从卫星红外亮温与大地热流的关系看地震前的热红外异常[J]. 地球物理学报, 52(11): 2746-2751.
- 钱晓东,秦嘉政. 2007. 滇缅弧板缘地震及其与云南地震活动关系[J]. 云南大学学报, 30(S1): 467-475.
- 强祖基,孔令昌,王戈平,等. 1992. 地球放气、热红外异常与地震活动[J]. 科学通报, 24: 2259-2262.
- 强祖基,贺常恭. 1998. 卫星热红外图像亮温异常—短临震兆[J]. 科学通报(D 辑), 26(8): 564-573.
- 强祖基,徐秀登,贺常恭. 1990. 卫星热红外异常—临震前兆[J]. 科学通报, 35(17): 1324-1327.
- 强祖基,徐秀登,贺常恭. 1991. 非增温背景下的热红外异常兼机制讨论[J]. 科学通报, 36: 841-844.
- 魏从信,张元生,惠少兴. 2011. 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, 34(2): 153-157.
- 吴立新,刘善军,吴育华,等. 2004. 岩石压剪破裂的热红外辐射规律及其地震前兆意义[J]. 岩石力学与工程学报, 23(4): 539-544.
- 张元生,郭晓,张小美,等. 2004. 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, 26(2): 113-117.
- 张元生,沈文荣,徐辉. 2002. 新青 8.1 级地震前卫星热红外异常[J]. 西北地震学报, 24(1): 1-4.
- 钟美娇,张元生. 2007. 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, 29(2): 137-140.
- Farge M. 1992. Wavelet Transform and their Applications to Turbulence. Annu[J]. Rev. Fluid Mech., 24(1): 395-458.
- Kumar P., Foufoula E. 1997. Wavelet Analysis for Geophysical Applications[J]. Rev. Geophys., 35(4): 385-412.
- Quzounov D., Freund F. 2004. Mid-infrared Emission Prior to Strong Earthquakes Analyzed by Remote Sensing Data[J]. Advances in

- Space Research, 33: 268 – 273.
- Tronin A. A. . 2000. Thermal IR Satellite Sensor Data Application for Earthquake Research in China [J]. International Journal of Remote Sensing, 21 (16) : 3169 – 3177.
- Zhang Y. S. , Guo X. , Zhong M. J. . 2010. Wenchuan Earthquake: Brightness Temperature Changes from Satellite Infrared Information [J]. Chinese Science Bulletin, Geophysics, 55 (18) : 1917 – 1924.

Analysis on Brightness Temperature Anomalies of Yingjiang $M_s5.8$ Earthquake in 2011

HUI Shao-xing¹, ZHANG Yuan-sheng², XIE Tao³, JIN Zhao-di¹

(1. *Earthquake Administration of Shannxi Province, Xi'an 710068, Shannxi, China*)

(2. *Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China*)

(3. *China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China*)

Abstract

Using the thermal infrared remote-sensing data of brightness temperature from Jan. 12, 2010 to Jan. 11 2012 which is observed by Chinese geostationary meteorological satellite FY-2E in the spatial region of ($20^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $93^{\circ}\text{E} \sim 103^{\circ}\text{E}$), we analyze the thermal-infrared anomalous variation in the epicenter and its surrounding areas of Yingjiang $M_s5.8$ earthquake on Mar. , 10 in 2011. The results show that the relative wavelet power spectrum (RWPS) anomalies appeared since early Mar. , 2013 around the epicenter of Yingjiang $M_s5.8$ earthquake, and the abnormal areas gradually extended and concentrated towards the epicenter. In middle to late of Mar. , 2013, a schistose abnormal area was formed along with the seismogenic fault in the westward direction, and the maximum anomalies amplitude of RWPS reached 13 times of the mean value. The abnormal area and amplitude of RWPS dwindled afterward and the anomalies disappeared in several days after Yingjiang $M_s5.8$ earthquake.

Key words: Yingjiang $M_s5.8$ earthquake; thermal infrared anomalies; thermal infrared brightness temperature; wavelet power spectrum