

浙江省及其邻区红外亮温异常与地震关系^①

张 帆, 熊 丹, 钟羽云, 朱新运

(浙江省地震局, 浙江 杭州 310013)

摘要:选取 2006—2013 年的 FY2 风云 2 号气象卫星热红外亮温夜间数据,采用相对功率谱法进行全时空分析,获得优势频率和幅值。研究每一个频率点的相对功率谱随时间和空间的变化,与浙江省及其邻区 17 个 $M_L 5.0$ 以上地震的三要素关系进行分析,得到如下结果:9 个地震前出现热红外亮温相对功率谱异常,前三个特征周期的对应率比后三个特征周期高;在时间上,异常多出现在震前数日至数月,并且较多发生在异常达到最大值后和异常恢复后,少部分发生在异常达到最大值前;空间上,异常的表现为由弱-强-弱-消失的过程,异常形态多为从零星异常演化成团块状或与断裂带走向较为一致的条带状。异常时间、异常幅度、异常开始到地震发生的时间等特征与地震无明显关系。

关键词:遥感;红外亮温;风云 2 号;小波变换;相对功率谱;地震关系

中图分类号:P315.72

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2016)01-0058-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2016.01.0058

Relation between Infrared Brightness Temperature Anomalies and Earthquakes in Zhejiang Province and Its Adjacent Areas

ZHANG Fan, XIONG Dan, ZHONG Yu-yun, ZHU Xin-yun

(Earthquake Administrator of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, Zhejiang, China)

Abstract: In this study, remotely sensed infrared brightness temperature data from the China Geostationary Meteorological Satellite FY-2C/E from 2006 to 2013 are full time-space analyzed to determine the dominant frequency and amplitude using the relative power spectrum method. The variation in time and space in the relative power spectrum of each frequency was analyzed and compared with the three elements of 17 earthquakes having magnitudes greater than 5.0 in Zhejiang Province and its neighboring area. The following results were obtained: the relative power spectrum anomaly of infrared brightness temperature appears before nine earthquakes. The corresponding ratio of the first three dominant frequencies is higher than that of last three ratios. The anomalies occurred several days or months before earthquakes, and most earthquakes occurred after the anomalies reached the maximum value or were recovering. A few earthquakes occurred before the anomalies reached the maximum value. The anomalies increase in strength and then disappear, in a process from sporadic to conglomerate or banded along the fault zone. Anomaly time and amplitude and the time period from the appearance of the anomaly until the earthquakes occurred have no obvious relation with the three elements of the earthquake.

① 收稿日期:2014-11-25

基金项目:浙江省公益技术研究社会发展项目(2011C23061)

作者简介:张 帆(1978—),男(汉族),高级工程师,主要从事地震数字地震资料应用及地震监测预报研究。

E-mail:cruiser911@163.com。

Key words: remote sensing; infrared brightness temperature; satellite FY-2C/E; wavelet transform; relative power spectrum; relation with earthquake

0 引言

遥感技术已经广范应用到资源普查、土地利用调查、火山活动、土砂灾害、天气预测等领域。根据传感器对电磁波波长的感知,遥感可分为可见光-近红外(Visible-Near Infrared)遥感、红外(Infrared)遥感及微波(Microwave)遥感。1988 年前苏联科学家 Gorny 等发现 1984 年加兹利的一系列地震震前卫星热红外异常后,红外遥感成了地震学界关心的研究课题。很多学者都利用热红外对地震进行研究,用目视解释法分析热红外异常^[1]发现震前有增温现象;1998 年张北 6.2 级地震前沿张家口—渤海断裂带有卫星热红外异常现象^[2];昆仑山 8.1 级地震前出现明显的地温异常条带^[3-4];2000 年姚安 6.5 级地震、1997 年玛尼 7.5 级地震前断裂带内外亮温差值偏高^[5]。还有很多学者利用中国 FY2 号气象卫星的资料来研究地震前红外亮温的增温和异常现象^[6-7]。最近微波遥感也用于地震预测研究,并和红外遥感进行对比^[8]。张元生等^[9]应用小波变换和相对功率谱估计分析静止卫星热红外遥感资料研究汶川地震,发现震前存在明显的热异常。

以往的研究多是针对西部地区,而这些地方的地震都以大震或者巨震为主,对于东部及其沿海地区,热红外方面的研究还相对较少。本文利用遥感资料对浙江省及其邻近地区热红外亮温数据进行分析,研究该区热红外亮温正常背景和异常变化特征,结合研究区地震分析中强震前热红外时空演化特征,探讨热红外异常与地震的关系。

1 理论和方法

为了研究物体热辐射的性质,引入一个在任何温度下对任何波长的辐射都能全部吸收的标准热辐射体,即绝对黑体,作为理解热辐射过程和定量研究的基准。黑体的吸收率 $\alpha(\lambda, T) \equiv 1$, 反射率 $\rho(\lambda, T) \equiv 0$, 透射率 $\tau(\lambda, T) \equiv 0$, 它们都是波长和温度的函数。黑体的辐射出射度与其温度和辐射波长的关系用普朗克公式表示为

$$M_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \quad (1)$$

式中: $M_\lambda(\lambda, T)$ 为光谱辐射出射度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); c 为真空中的光速; h 为普朗克常数, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ W} \cdot \text{s}^2$; k 为玻尔兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \text{s/K}$;

T 为黑体的绝对温度 (K); λ 为波长 (μm)。

物体亮度温度(简称亮温,用 T_b 表示)定义为辐射出与被测物体相等的辐射能量的黑体温度,是一个衡量物体温度的指标,而不是物体的真实温度。假设物体的辐射值为辐射值 N_E , 那么根据式(1)可以推导出物体亮度温度 T_b 与 N_E 的关系为

$$T_b = \frac{C_2}{\lambda \ln \left(1 + \frac{C_1}{\lambda^5 N_E} \right)} \quad (2)$$

FY2 号卫星所记录的数据只是遥感传感器 VISSR 扫描辐射计所记录到的数字量化值,不是辐射能量,因此必须进行辐射定标将数字量化值转换为辐射值。FY2 号卫星的通道计数值 DC_i 与卫星通道辐射值 N_{Ei} 成线性关系^[10]:

$$N_{Ei} = I_i + G_i \cdot DC_i \quad (3)$$

式中: DC_i 为卫星通道计数值; G_i 为卫星 i 通道的定标斜率; I_i 为截距,也叫做定标系数,在 1 级数据中给出。将 DC_i 和 I_i 代入式(3)中得到 i 通道的辐射值 N_{Ei} 后,代入式(2)便可得到卫星通道 i 的红外亮温值 T_{bi} 。

2 资料选取

FY2 号卫星定位于 105°E 赤道上空,定点距地面 36 000 km。卫星上装载的 VISSR 仪器每小时对观测区进行一次扫描,扫描区域为 $60^\circ \text{N} \sim 60^\circ \text{S}$ 、 $45^\circ \sim 165^\circ \text{E}$, 仪器通道波段为可见光 ($0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$)、红外 1 ($10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$)、红外 2 ($11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$)、红外 3 ($3.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$) 和水气 ($6.3 \sim 7.6 \mu\text{m}$), 其中红外 1 和红外 2 为热红外,红外 3 为中红外。由于地球本身曲率和卫星轨道不稳定,卫星所拍摄到的“图像”有一定的畸变,使用前必须对畸变进行几何校正。虽然前人对此已经做了很多的工作^[11], 但进行几何校正还是比较复杂和繁琐。国家气象卫星中心网站 (<http://www.nsmc.cma.gov.cn/>) 提供了经过几何校正和定标后的标称格式 1 小时平均相当黑体亮度温度数据产品下载。为避开复杂繁琐的几何校正和定标工作,本文选择国家气象卫星中心下载的 2006 年 1 月至 2013 年 12 月整 8 年每天 5 幅夜间的平均相当黑体亮温数据(世界时间 17 时、18 时、19 时、20 时、21 时整)。

东部地区地震主要沿郯庐断裂带活动。郯庐断裂带长 2 400 多 km, 切穿中国东部不同大地构造单

元,是地壳断块差异运动的接合带。它向南到湖北省长江北岸的武穴,向北北东方向经安徽省的宿松、潜山、庐江、嘉山,江苏省的泗洪、宿迁,山东省郯城、沂水、潍坊进渤海,然后过辽东半岛穿过东北三省到达俄罗斯。1668 年 7 月 28 日山东郯城 8.5 级大地震、1969 年 7 月 15 日渤海中部 7.4 级地震、1975 年 2 月 24 日辽宁海城 7.3 级地震都发生在郯庐断裂带上或其附近。浙江省的地震活动受到长江中下游—

南黄海地震带,东南沿海地震带,环北地震带,冀鲁豫地震亚区,华南地震区、大巴山—南岭地震亚区、富春江地震带的影响。因此我们所选择的区域主要是沿"郯庐断裂带"的地震区以及浙江省以南的地震区带,经纬度范围选择为 $22^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $107^{\circ}\sim 127^{\circ}\text{E}$ 。选取 2006 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日的 $M_L5.0$ 以上地震共 17 个,见表 1。

表 1 研究区所选 $M_L5.0$ 以上地震三要素表
Table 1 The three elements of $M_L\geq 5.0$ earthquakes selected in the study area

序号	发震时间	纬度/(°)	经度/(°)	震级/ M_L	地点
1	2006-07-04T11:56:26	38.90	116.28	5.5	河北文安县
2	2007-03-13T10:22:59	26.72	117.73	5.1	福建顺昌县
3	2010-01-24T10:36:12	35.57	110.77	5.2	山西河津县
4	2010-06-05T20:58:11	38.18	112.63	5.0	山西阳曲县
5	2010-10-24T16:58:55	34.07	114.65	5.0	河南太康县逊母口镇
6	2011-01-12T09:19:50	33.33	123.90	5.2	南黄海
7	2012-02-16T02:34:22	23.95	114.50	5.1	广东河源市锡场镇
8	2012-05-28T10:22:52	39.71	118.47	5.1	河北唐山市
9	2012-07-20T20:11:50	33.12	119.61	5.2	江苏宝应县
10	2013-01-23T12:18:16	41.50	123.20	5.4	辽宁灯塔县
11	2013-02-22T11:34:13	23.91	114.48	5.0	广东河源市锡场镇
12	2013-04-21T07:21:27	35.18	124.55	5.3	山东荣城市
13	2013-04-22T17:11:53	42.90	122.35	5.6	内蒙古科尔沁左翼后旗
14	2013-05-18T06:02:25	37.70	124.65	5.4	山东荣城市龙须岛镇
15	2013-09-04T06:23:26	25.64	118.75	5.2	福建仙游县
16	2013-11-23T13:44:11	37.10	120.00	5.0	山东莱州市
17	2013-12-16T13:04:52	31.10	110.45	5.4	湖北巴东县溪丘湾镇

3 计算方法和结果

红外亮温数据中包含地球基本温度场、年变温度场、月变温度场、雨云和寒暖气流引起的温度变化以及其他因素(包括地震)引起的温度微变化信息。为了得到可靠的亮温数据,以云干扰值为下限,错值及不符合黑体辐射公式的高值为上限,用补窗法剔除数据进行计算均值去除云干扰,接着用小波变换方法扣除 7 阶的尺度部分和 2 阶的细节部分消除亮温背景场(包含地形影响)和气象突变因素。然后对每个像元点采用相对功率谱法对处理后的数据进行全时空分析,获得优势频率和幅值;以 $n(n=64,128$;本文中 $n=64$,单位:d)为窗长, $m(m=1,2,3,4,5$;本文中 $m=1$,单位:d)为滑动窗长作傅里叶变换计算其功率谱^[11]。每一像元点的所有功率谱进行相对处理得到相对功率谱后,对每一个频段进行时空扫描,分析震前的变化特征。

在部分地震前,某一特征周期的相对功率谱在震前数日至数月前出现异常,并且较多发生在异常

达到最大值后和异常恢复后,少部分发生在达到最大值前;异常有由弱-强-弱直至消失的过程,异常形态多为从零星异常演化团块状或与断裂带走向较为一致的条带状。

2012 年 7 月 20 日江苏宝应县 $M_L5.2$ 地震的相对功率谱第一特征周期(64 天)震前 6 天在震中附近出现近东西向的异常条带,直至地震发生(图 1)。

在震中附近以 32.7°N , 120.0°E 为中心, $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 区域的相对功率谱均值从 2012 年 7 月 5 日开始上升,8 月 7 日达到最大值 16.07 后开始下降,9 月 6 日恢复到 1 左右;地震在达到最大值前 18 天发生(图 2)。

2013 年 1 月 23 日辽宁灯塔县 $M_L5.4$ 地震前 30 天,在震中西南方出现一呈北东向分布的异常条带,该条带在震前 12 天面积最大,地震当天消失(图 3)。在震中附近以 41.5°N , 123.2°E 为中心, $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 区域的相对功率谱均值从 2012 年 12 月 16 日开始上升,2013 年 1 月 9 日达到最大值 7.1,1 月 23 日恢复到 1 左右,地震则在当天发生(图 4)。

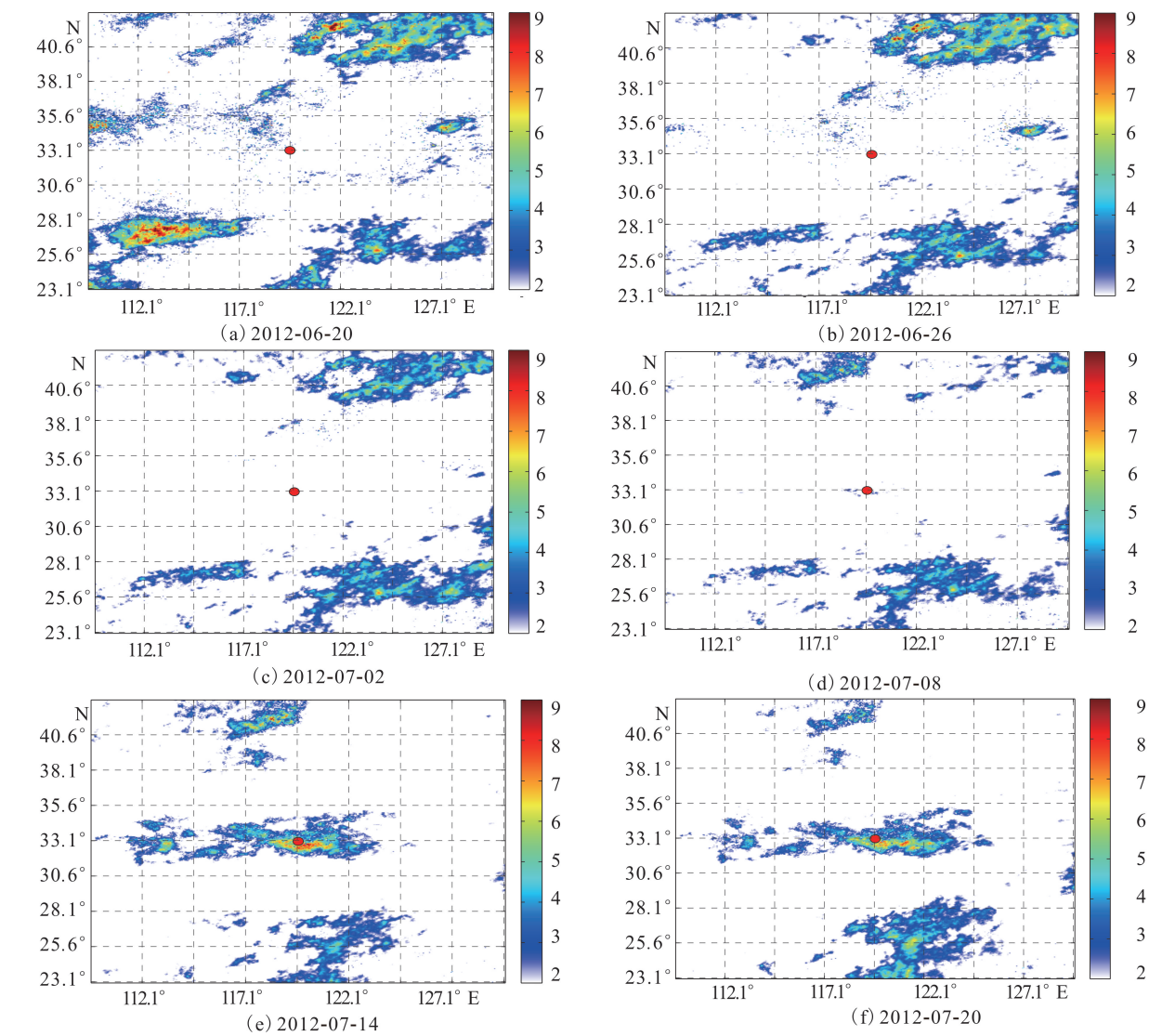


图 1 2012 年 7 月 20 日江苏宝应县 $M_L5.2$ 地震相对功率谱异常演化图

Fig.1 Abnormal evolution of relative power spectrum of Baoying,Jiangsu $M_L5.2$ earthquake on July 20,2012

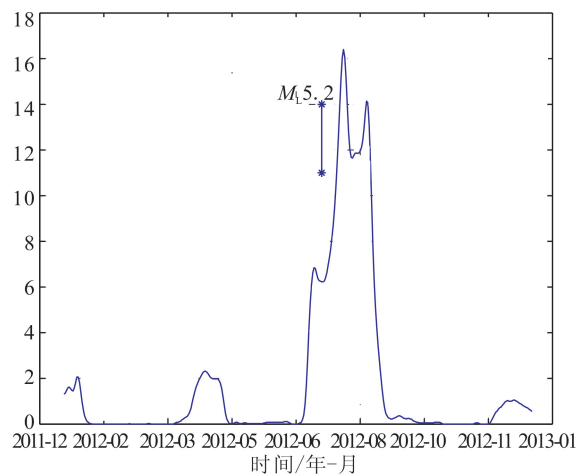


图 2 2012 年 7 月 20 日江苏宝应县 $M_L5.2$ 地震震中附近区域相对功率谱变化图

Fig.2 Relative power spectrum variation in the area near the epicenter of Baoying $M_L5.2$ earthquake

所选择的 17 个地震中, 9 个地震前有明显红外亮温相对功率谱异常, 所占比例为 52.94%。每个地震出现异常的特征周期不一样, 其中前三个特征周期出现异常的概率较高, 9 个地震中有 8 个地震在前三个特征周期都出现异常, 所占比例为 88.89%; 有 7 个地震前两个特征周期出现异常, 所占比例为 77.78%(表 2)。

按照不同特征周期统计, 18 个异常中地震发生于异常恢复后的有 11 个, 达到最大值后的有 5 个, 达到最大值前的有 2 个, 所占比例分别为 61.11%、27.78%和 11.11%。大部分地震发生在相对功率谱异常恢复后(表 3)。

恢复后发震的绝大多数部分都发生在恢复后的 20 天之内, 约占 81.81%; 最大之后发震的都发生在

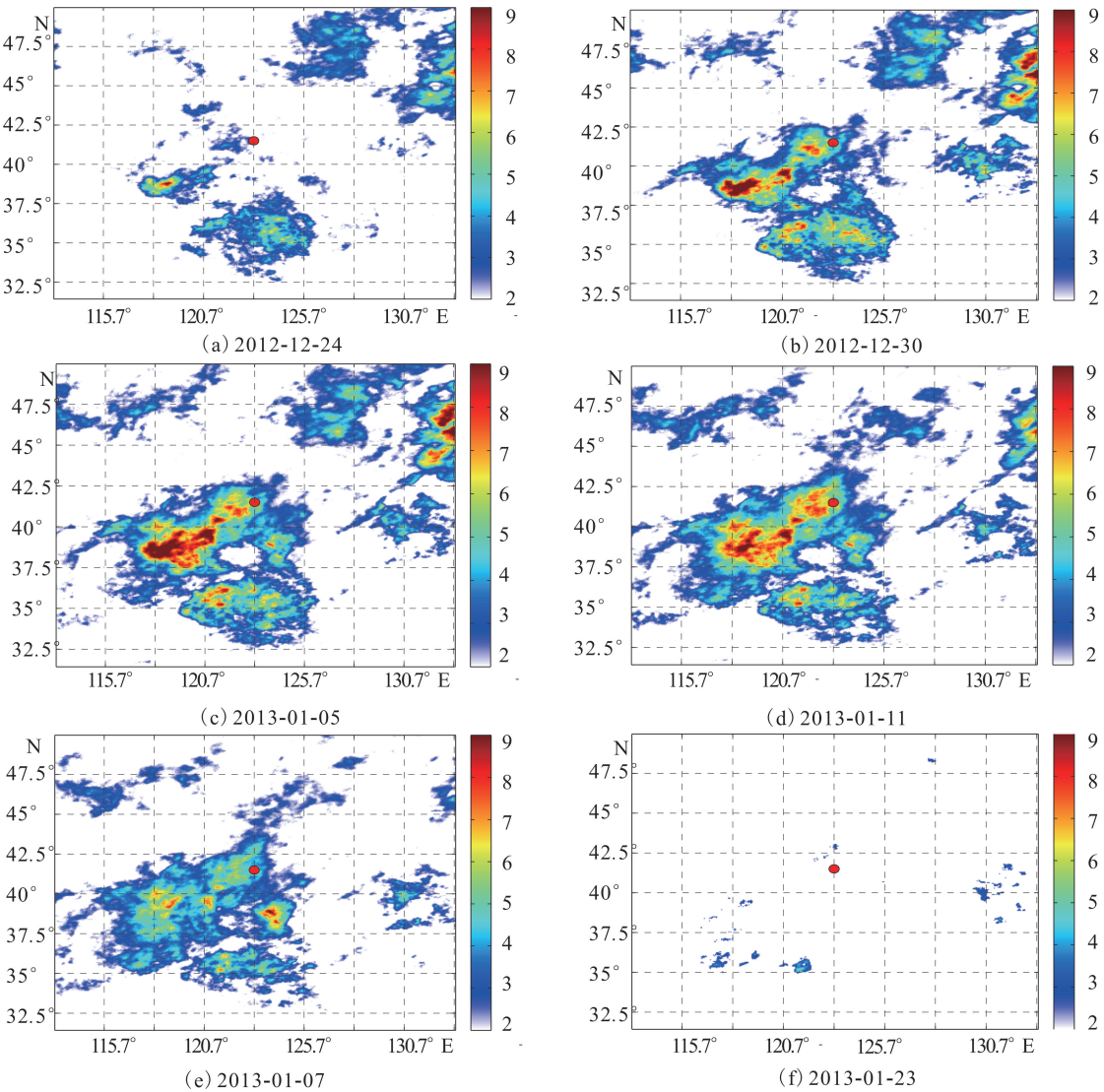


图 3 2013 年 1 月 23 日辽宁灯塔县 $M_L5.4$ 地震相对功率谱异常演化图

Fig.3 Abnormal evolution of relative power spectrum Dengta,Liaoning $M_L5.4$ earthquake on January 23,2013

表 2 红外亮温相对功率谱异常特征周期对应表

Table 2 The periodic table of anomaly characteristics of relative power spectrum of infrared brightness temperature

序号	时间	震级/ M_L	地点	特征周期					
				第一	第二	第三	第四	第五	第六
1	2010-01-24	5.2	山西河津县		✓				
2	2010-06-05	5.0	山西阳曲县高村		✓	✓	✓	✓	✓
3	2010-10-24	5.0	河南太康县	✓					✓
4	2012-05-28	5.1	河北唐山市林西						✓
5	2012-07-20	5.2	江苏宝应县	✓	✓	✓			
6	2013-01-23	5.4	辽宁灯塔县	✓					
7	2013-09-04	5.2	福建仙游县石苍		✓	✓			
8	2013-11-23	5.0	山东莱州市店子			✓			
9	2013-12-16	5.4	湖北巴东县	✓				✓	

达到最大值后 20 天之内;最大之前发震的都发生在达到最大值前 20 天之内。在恢复后发震的最大时间为 42 天,在最大值之后发震的最大时间为 15 天,在最大值前发震的最大时间为 18 天。此外,从表 3

中看出相对功率谱的异常幅度介于 5~16 之间,但与震级没有明显的正相关关系,震级越大异常幅度不一定越大。

表 3 亮温相对功率谱异常特征统计表

Table 3 The statistical table of anomaly characteristics of relative power spectrum of infrared brightness temperature

序号	时间	震级/ M_L	地点	特征周期	开始时间	结束时间	幅度(时间)	发震时间
1	2010-01-24	5.2	山西河津县	1	2009-11-18	2010-01-20	9.9(2010-01-11)	恢复后 4 天
				2	2010-05-05	2010-06-17	11.6(2010-06-04)	最大值后 1 天
				3	2010-03-05	2010-05-12	16.3(2010-04-07)	恢复后 24 天
2	2010-06-05	5.0	山西阳曲县	4	2010-04-28	2010-06-13	5.9(2010-05-24)	最大值后 12 天
				5	2010-04-10	2010-06-05	8.1(2010-05-03)	恢复当天
				6	2010-04-10	2010-05-24	8.3(2010-04-25)	恢复后 12 天
3	2010-10-24	5.0	河南太康县	1	2010-08-24	2010-10-19	8.9(2010-09-22)	恢复后 5 天
				6	2010-07-25	2010-10-05	10.6(2010-08-26)	恢复后 19 天
4	2012-05-28	5.1	河北唐山市	6	2012-04-05	2012-06-22	8.2(2012-05-26)	最大值后 2 天
5	2012-07-20	5.2	江苏宝应县	1	2012-07-05	2012-09-06	16.1(2012-08-07)	最大值前 18 天
				2	2012-06-28	2012-09-12	9.1(2012-07-27)	最大值前 7 天
				3	2012-06-25	2012-07-08	3.8(2012-07-03)	恢复后 12 天
6	2013-01-23	5.4	辽宁灯塔县	1	2012-12-16	2013-01-23	7.1(2013-01-09)	恢复当天
7	2013-09-04	5.2	福建仙游县	2	2013-07-01	2013-10-25	11.1(2013-08-24)	最大值后 11 天
				3	2013-7-17	2013-08-19	3.8(2013-08-02)	恢复后 16 天
8	2013-11-23	5.0	山东莱州市	3	2013-09-14	2013-11-07	9.4(2013-10-08)	恢复后 16 天
9	2013-12-16	5.4	湖北巴东县	1	2013-09-07	2013-11-05	9.4(2013-10-10)	恢复后 42 天
				5	2013-11-04	2013-12-18	8.7(2013-12-01)	最大值后 15 天

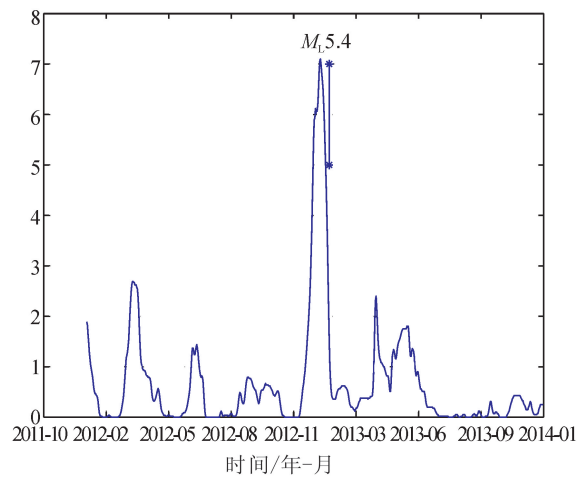


图 4 2013 年 1 月 23 日辽宁灯塔县 M_L 5.4 地震震中附近相对功率谱变化图

Fig.4 Relative power spectrum variation in the area near the epicenter of Dengta, Liaoning M_L 5.4 earthquake on January 23, 2013

4 结论与讨论

本研究选取 2006—2013 年的平均相当黑体亮温数据,利用补窗法去除云干扰得到地表连续可靠的亮温数据。采用小波变换方法从原始亮温数据中扣除 7 阶的尺度部分和 2 阶的细节部分以便消除亮温背景场(包含地形影响)和气象突变因素,得到亮温相对变化序列。用相对功率谱法(窗长为 64 天,滑动窗长为 1 天)对处理后的数据进行全时空分析,获得 6 个特征周期及其幅值。研究每个特征周期的相对功率谱随时间和空间的变化,并与浙江省及其

邻区 17 个 M_L 5.0 以上地震的地震三要素关系进行研究,得到如下结论:

(1) 9 个地震前出现热红外亮温相对功率谱异常,前三个特征周期的对应率相比后三个特征周期高,且大部分地震都发生在异常恢复后 20 天以内。在时间上,异常多出现在震前数日至数月,并且发生在异常达到最大值后和异常恢复后,少部分发生在达到最大值前;空间上,异常的表现形式为由弱-强-弱直至消失的过程,异常形态多为从零星异常演化团块状或与断裂带走向较为一致的条带状。异常时间、异常幅度、异常开始到地震发生的时间等特征与地震三要素无明显关系。

(2) 对于地震红外亮温异常提取,云和噪声是最大干扰因素。本研究虽然利用补窗法将红外亮温数据进行处理,但还是不能完全消除云和噪声的影响。经过后期的小波变换后并采用 2 阶的尺度部分可以将这种云和噪声的短期影响进一步扣除。更快捷、方便的扣除云和噪声的方法还需进一步研究。

(3) 卫星热红外遥感技术以其获取信息范围大、数据更新快,可以实施时空动态监测的优势弥补了传统观测方法的不足,使地震前兆的监测从传统的静态定点观测模式向动态连续的大面积观测模式发展。本研究探讨热红外亮温相对功率谱与地震三要素之间的关系,突破陆海限制、行政限制,为地震监测获取更多的数据,弥补台网密度不够以及海洋区域监测能力弱的不足。虽然红外亮温相对功率谱在一些地震前的确有异常出现,但是异常时间、幅度

等和地震震级的关系不明显,要对将来发生的地震三要素进行判断,还需要同 GPS、地形变、流体观测等学科结合起来。

致谢:本文在撰写过程中得到了中国地震局兰州地震研究所张元生研究员的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References)

- [1] 叶民权,吴其勇,杨忠东.卫星热红外异常与强震关系研究实例[J].科学通报,1994,39(22):2074-2077.
YE Min-quan, WU Qi-yong, YANG Zhong-dong. The Study Cases of the Relationship between Satellite Thermal Infrared Anomaly and Strong Shock[J].Chinese Science Bulletin,1994,39(22):2074-2077.(in Chinese)
- [2] 吕琪琦,丁鉴海,崔承禹.1998年1月10日张北6.2级地震前可能的卫星热红外异常现象[J].地震学报,2000,22(3):183-188.
LV Qi-qi, DING Jian-hai, CUI Cheng-yu. The Feasible Satellite Thermal Infrared Anomaly before Zhangbei 6.2 Earthquake on January 10, 1998[J]. Acta Seismologica Sinica, 2000, 22(3): 183-188.(in Chinese)
- [3] 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 Yuan-sheng, SHEN Wen-rong, XU Hui. Satellite Thermal Infrared Anomaly before the Xinjiang Qinghai Border Ms8.1 Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2002, 24(1): 1-4.(in Chinese)
- [4] 陈梅花,邓志辉,贾庆华.地震前卫星红外异常与发震断裂的关系研究——以2001年昆仑山8.1级地震为例[J].地震地质,2003,25(1):100-108.
CHEN Mei-hua, DENG Zhi-hui, JIA Qing-hua. The Relationship between the Satellite Infrared Anomalies before Earthquake and the Seismogenic Fault——A Case Study on the 2001 Kunlun Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2003, 25(1): 100-108.(in Chinese)
- [5] 陈梅花,邓志辉,马晓静,等.断裂带内外温差法在震前红外异常研究中的应用[J].地震地质,2007,29(4):863-872.
CHEN Mei-hua, DENG Zhi-hui, MA xiao-jing, et al. Application of the Inside-Outside Temperature Relation Analysis

- Method in Study on Satellite Infrared Anomalies prior to Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(4): 863-872.(in Chinese)
- [6] 王想,张元生,郭晓.利用FY-2C资料研究于田7.4级地震前的红外增温异常[J].内陆地震,2009,23(3):345-350.
WANG Xiang, ZHANG Yuan-sheng, GUO Xiao. Satellite Thermal Infrared Abnomaly before Yutian 7.4 Earthquake[J]. Inland Earthquake, 2009, 23(3): 345-350.(in Chinese)
- [7] 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):171-176.
ZHANG Xuan, ZHANG Yuan-sheng, WEI Cong-xin, et al. Analysis of Thermal Infrared Anomaly before the Lushan Ms 7.0 Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2): 171-176.(in Chinese)
- [8] 钟美娇,张元生,郭晓,等.卫星热红外和微波遥感资料在地震预报中的应用研究[J].地震工程学报,2014,39(6):1059-1063.
ZHONG Mei-jiao, ZHANG Yuan-sheng, GUO Xiao, et al. Application of Satellite Thermal Infrared and Microwave Remote Sensing Data to Earthquake Prediction[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 39(6): 1059-1063. (in Chinese)
- [9] 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(10):904-910.
ZHANG Yuan-sheng, GUO Xiao, ZHONG Mei-jiao, et al. The Variation of Thermal Infrared Bright Temperature before Wenchuan Earthquake[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(10): 904-910.(in Chinese)
- [10] 童进军,张勇,胡博,等.青海湖地区NCEP资料对风云二号C星热红外通道绝对辐射定标影响研究[J].红外与毫米波学报,2008,27(5):337-341,388.
TONG Jin-Jun, ZHANG Yong, HU Bo, et al. Effect of Ncep Data on the Absolute Radiometric Calibration for Thermal Infrared Bands of FY2C in Qinghai Lake[J]. J Infrared Millim Waves, 2008, 27(5): 337-341, 388.(in Chinese)
- [11] 杨磊,冯小虎,郭强,等.风云二号气象卫星图像自动几何精校正[J].计算机工程与应用,2011,47(3):202-206.
YANG Lei, FENG Xiao-hu, GUO Qiang, et al. Automatic Geometric Precision Correction of Fengyun-2 Meteorological Satellite Imagery[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(3): 202-206.(in Chinese)