第34卷 第4期(713~719)	中 国 地 震	Vol. 34 No. 4
2018 年 12 月	EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA	Dec. 2018

张丽峰、郭晓、张璇等,2018,2014年鲁甸 Ms6.5、景谷 Ms6.6 地震前的长波辐射异常特征,中国地震,34(4),713~719.

2014 年鲁甸 *M*_s 6.5、景谷 *M*_s 6.6 地震前的 长波辐射异常特征

张丽峰¹⁾ 郭晓²⁾ 张璇²⁾ 魏从信²⁾ 秦满忠²⁾

1)青海省地震局,西宁市兴海路1号 810001
2)中国地震局兰州地震研究所,兰州 730000

摘要 为了研究 2014 年鲁甸 M_s6.5、景谷 M_s6.6 地震前的长波辐射变化特征,应用功率谱相 对变化法,以风云气象卫星长波辐射资料为基础数据,对上述 2 次地震进行了分析。结果显示:2 次地震前短期内均存在明显的长波辐射相对功率谱异常变化,异常特征展布的边缘及走向与断 层密切相关,震前短期内地震当年功率谱明显偏离其背景值及标准差,偏离持续时间约 2 个月, 最大偏离差在 7 倍以上。2014 年云南地区的这 2 次 6 级以上地震所表现出的长波辐射时空异 常特征明显,易于识别,可为长波辐射资料用于该地区的地震监测提供震例经验。

关键词: 鲁甸地震 景谷地震 长波辐射 相对功率谱异常 [文章编号] 1001-4683(2018)04-0713-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

自 1800 年发现红外线以来,红外技术被广泛用于通讯、安防、医疗等领域,使人们的生产生活方式得到了很大改变。热辐射主要靠红外线传播,随着卫星遥感技术的不断发展,通过卫星红外探测传感器就可了解地面物体的热辐射状态。20 世纪 80 年代,前苏联科学家 FOPHblЙ(1988)正是在分析中亚地区的热红外遥感影像时发现,地震前 2 条断层交汇区域 出现热红外异常现象。自此,热红外资料被更多的应用于地震研究中,国外学者 Ouzounov 等(2006)利用 Meteosat 和 Terra/MODIS 卫星资料研究了几次强震的热红外辐射变化,得出 强震前存在热辐射增强现象,如 2001 年 1 月 26 日发生在印度普杰的 7 级地震,震前 6 天出 现 LST(land surface temperature)高值异常,震前 4 天消失。Tronin 等(2002)、Choudhury 等(2006)、Saraf 等(2012)等学者也做了相关研究。国内对地震热红外异常的研究主要为震例 及机理方面的研究,如耿乃光(1998)、吴立新等(2006)进行的机理方面的研究;徐秀登(1991)、强祖基(1998)、马瑾(2000)等开展的震例方面的研究。近年来静止气象卫星数据 在地震中的应用研究又取得一些进展(郭晓等,2014;李青梅等,2015;张丽峰等,2016),这种静止卫星资料与 Terra、Aqua 等极轨卫星资料相比,静止卫星资料的优势在于地点一致性好、

[[]收稿日期] 2017-08-13; [修定日期] 2018-11-21

[[]项目类别] 青海省地震科学基金项目(2017B06)资助

[[]作者简介] 张丽峰,女,1989年生,助理工程师,硕士,主要从事热红外异常与地震活动性等方面的研究。 E-mail:ZhangLFng@163.com

时间可比度高。

2014 年云南地区相继发生了 8 月 3 日鲁甸 *M*_s6.5 地震和 10 月 7 日景谷 *M*_s6.6 地震。鲁甸地震造成的人员伤亡惨重、次生灾害显著,而景谷地震是自 2000 年以来云南地区发生的最大地震。为了探究这 2 次地震的热辐射变化特征,文章选用静止气象风云卫星射出长波辐射(outgoing lang-wave radiation,简称 OLR)资料,利用功率谱相对变化法对其进行了分析。

1 资料处理

1.1 数据概况

射出长波辐射通量密度是指波长集中在 4~∞μm 的电磁波向外太空辐射出的能量密度,其大小主要由发射下垫面温度决定,对于云顶和地面空间,云顶温度低 OLR 值较小,地面温度高 OLR 值较大,所以晴空下的 OLR 可用于反映地面温度变化(吴晓,2007)。实时 OLR 产品主要通过中国静止气象卫星自选扫描辐射器 VISSR 的红外 1 通道、红外 2 通道及 水汽通道数据反演得出。本研究所用数据来源于静止气象卫星 FY-2E,在国家卫星气象中心(http://satellite.cma.gov.cn)可下载获取 1 日 8 个时次(00:00、03:00、06:00、09:00、12:00、15:00、18:00、21:00 UTC)的实时 OLR 数据。选取午夜 15:00、18:00、21:00 UTC 等 3 个时次数据计算,以避免自天太阳直接辐射造成的干扰;因文件记录区域过大(60°S~60°N、45°~165°E),通过格式转换获取中国及邻区(5°~50°N、55°~150°E)的数据;以 0.05°×0.05° (5km×5km)为最小像元,计算 3 个时次数据平均值构成日值,并进行了简单去云处理。

1.2 数据处理方法

经上述处理后的数据以二进制格式存储并以年为单位建立数据库,累计到 2017 年 1 月 1 日其数据共有 11 年。这 11 年的长波辐射数据中包括 2 部分温度变化信息,第 1 部分为云 雨、极端气流、地球基本温度场、年变、日变等引起的温度变化,第 2 部分为其他影响因素(如 地震等构造活动)引起的温度变化。从频率域分析,这些影响因素具有不同的频率(陈顺云 等,2006),如地球基本温度场和年变温度场属于长周期成分,而云雨和极端气流现象则属于 短周期成分,其引起的温度变化时间较短,一般为几小时至几天。小波变换分析方法可对信 号进行多尺度细化,是对信号进行时频分析的理想工具。本文采用 Daubecheies(dbN)小波 系中的 db8 小波基对长波辐射资料进行了小波变换处理,在此基础上又对其进行了功率谱 计算及相对处理,具体计算过程详见郭晓等(2010)的文献。处理后的数据为时频相对功率 谱空间数据,对各频率数据进行时空扫描以期发现长波辐射异常震兆。

在前人工作基础上,本文计算了地震当年功率谱、功率谱背景值、功率谱标准差等,以期为进一步提取长波辐射地震异常预测指标提供参考。以 0.5°×0.5°区域为例,地震当年功率 谱用地震当年数据来计算,计算式为

$$\overline{w_i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=121} w_{ij}}{121}, \ 1 \le i \le 365$$
(1)

式中,w_{ij}为小区域第*i*天第*j*个像元的相对功率谱值。功率谱背景值即为计算每年(2006~2015年)相同天的相对功率谱平均值,计算式为

714

$$\overline{A}_{i} = \frac{\sum_{k=1}^{k=10} \sum_{j=1}^{j=121} w_{ijk}}{1210}, \ 1 \le i \le 365$$
(2)

式中, w_{ii}, 为小区域第 k 年(2006~2015 年)的第 i 天第 j 个像元的相对功率谱值。功率谱标准 差计算式为

$$B_{i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{k=10} \sum_{j=1}^{j=121} (w_{ijk} - \overline{A_{i}})^{2}}{1210}}, \ 1 \le i \le 365$$
(3)

式中, w_{ik}与式(2)中相同,式(2)、(3)不考虑闰年的情况。

2 资料处理结果及分析

2.1 鲁甸地震前长波辐射异常特征

2014 年 8 月 3 日云南省昭通市鲁甸县发生 *M*_s6.5 地震,震源深度为 12.0km,震中位于 27.1°N、103.3°E,该次地震的发震断层为 NW 向的包谷垴-小河断裂(房立华等,2014)。

对 24°~33°N、95°~106°E 区域进行长时间尺度(半年)的扫描,结果发现 2014 年 6 月初 有异常出现于怒江断裂与巴青-类鸟齐断裂附近,主要分布在震中西北部且离震中较远;随 时间推移,异常逐渐沿东南方向向震中扩展,最后集中分布在理塘-德巫断裂与玉农希断裂 的交界处,其展布与鲜水河断裂方向较为一致(图 1),在 7 月初面积达到最大,相对功率谱 大于 8 倍的面积大概为 2×10⁴km²;7 月中旬异常开始向震中东北部延伸,至 7 月底震中西北 部异常几乎消失,震中东北部异常在 8 月底逐渐减弱并逐日背离震中。异常总体表现为增 强、减弱、消失。

通过分析震中东北部 0.5°×0.5°区域 2014 年的数据,发现该区在地震前 33 天出现了一次明显的功率谱峰值(图 2),约为平均值的 10 倍;对比该区域 10 年数据的功率谱背景值与标准差时序曲线,发现在地震前 56 天地震当年功率谱开始偏离其背景值及标准差,偏离起止时间为 2014 年 6 月 8 日~8 月 9 日,持续 62 天;地震当年功率谱与其背景值及标准差的最大差值分别为 8 和 7 倍。

2.2 景谷地震前长波辐射异常特征

鲁甸地震之后,在10月7日普洱市景谷傣族彝族自治县发生了 *M*_s6.6 地震,震源深度为5km,震中位于23.4°N、100.5°E,其发震断层正好位于 NW 向右旋走滑的茶房-普文断裂之间,是两条断裂贯通过程中的构造活动表现(吴坤罡等,2016)。

对 21°~27°N、97°~104°E 区域进行长时间尺度(半年)的扫描,发现 7 月初震中及其附 近出现相对功率谱异常,幅度较小;随着时间推移,半个月内异常迅速增强,区域比较集中, 震中东侧异常以镇远-普洱断裂为边界,西侧经过澜沧江断裂,其边界与南宁河东支断裂平 行,在 7 月 19 日面积达到最大,相对功率谱大于 8 倍的面积大概为 2×10⁴km²;随后于 7 月 25 日左右震中附近异常基本消失,但在 8 月初震中西北部异常又逐渐回升且不断增强,在 8 月 5 日再次突出呈现,之后减弱并于 8 月中旬趋于消失(图 3)。异常总体的演化过程为增强— 减弱—再增强—减弱—消失。

通过分析震中附近 0.5°×0.5°区域 2014 年的数据,发现该区在地震前 80 天出现了 1 次

4 期

716

СМҮК



图 1 鲁甸 6.5 级地震前长波辐射相对功率谱时空演化



考查范围:28.8°~29.3°N,101.2°~101.7°E

明显的功率谱峰值(图4),约为平均值的15倍;对比该区域10年数据的功率谱背景值与标准差时序曲线,发现在地震前104天时地震当年功率谱开始偏离其背景值及标准差,偏离起止时间为2014年6月26日~8月18日,持续53天;地震当年功率谱与其背景值及标准差的



图 3 景谷 6.6 级地震前长波辐射相对功率谱时空演化



图 4 景谷 6.6 级地震前长波辐射异常时序曲线 考查范围:23.7°~24.2°N,100.3°~100.8°E

34 卷

最大差值分别为12、10倍。

3 结论与讨论

对 2014 年鲁甸 M _s6.5 、景谷 M _s6.6 地震的分析表明,2 次地震前短期内都存在明显的长 波辐射相对功率谱异常,异常特征展布的边缘及走向与断层密切相关。在时间上,鲁甸地震 异常出现在 2014 年 6 月初,7 月初非常明显,8 月底基本消失;景谷地震异常出现在 2014 年 7月初,7月19日左右非常明显,之后减弱并8月初再次突出呈现,并于8月中旬趋于消失。 在空间上,鲁甸地震异常主要分布在震中西北部,震中在其边缘;景谷地震异常主要分布在 震中及西北部,震中在异常内边缘。两者相比景谷地震异常似更为显著,呈现区域更为集 中,而且异常有反复增强现象。一次强震释放的能量是相当大的,其引起的地表热异常也是 相当可观的,2次地震功率谱异常面积达到最大时,相对功率谱大于8倍的面积都约为 2×10⁴km²。从2次地震当年功率谱时序曲线可看到,2次地震前都出现了一次较明显的峰 值,均在10倍以上,且都出现在地震前短期阶段内;地震当年功率谱偏离其背景值及标准差 值明显,偏离持续时间约2个月;地震当年功率谱与其背景值及标准差的最大差值均在7倍 以上。地震当年功率谱偏离其背景值及标准差的起止日期似可作为判别异常开始和结束的 指标,偏离持续时间似可作为异常持续时间的指标,这种长时间(偏离持续时间约2个月)、 大幅度(最大差值在7倍以上)的偏离或许可作为判别是否为地震长波辐射异常的依据。期 盼通过分析样本的不断累积、进化,这些强震长波辐射异常特征能具有短期预测意义,并可 为进一步提取长波辐射地震异常定量化预测指标提供参考。

从时间和空间上对 2 次地震的长波辐射相对功率谱演化特征总结可得出,异常增强期 过后开始减弱至后续平静期是可能的发震时间,异常区内部及其边缘是可能的发震地点。 功率谱背景值及标准差的计算分析有望在异常指标的定量化方面取得进展。凭有限震例得 出的结论肯定只是初步的,还有待分析大量的不同震例样本来深化这些异常现象的指标意 义。

致谢:感谢中国气象局国家卫星气象中心为本研究提供的静止卫星长波辐射资料。

参考文献

陈顺云、刘培洵、刘力强等,2006,地表热红外辐射的小波分析及其在现今构造活动研究中的意义,地球物理学报,49(3), 824~830.

房立华、吴建平、王未来等,2014,云南鲁甸 M_s6.5 地震余震重定位及其发震构造,地震地质,36(4),1173~1185.

耿乃光、于萍、邓明德等,1998,热红外震兆成因的模拟实验研究,地震,18(1),83~88.

郭晓、张元生、魏从信等,2014,汶川 8.0级地震和仲巴 6.8级地震中波红外热辐射异常,地球学报,35(3),338~344.

郭晓、张元生、钟美娇等,2010,提取地震热异常信息的功率谱相对变化法及震例分析,地球物理学报,**53**(11),2688~2695. 李青梅、张元生、吕俊强等,2015,2014年10月7日云南景谷 M₈6.6 地震热红外异常,地震工程学报,**37**(4),1008~1012.

马瑾、单新建,2000,利用遥感技术研究断层现今活动的探索-以玛尼地震前后断层相互作用为例,地震地质,22(3),210~218.

强祖基、赁常恭、李玲芝等,1998,卫星热红外异常——短临震兆,中国科学:D辑,28(6),564~573.

吴坤罡、吴中海、徐甫坤等,2016,滇西南 2014 年景谷-强震群的地质构造成因——茶房-普文断裂带贯通过程的构造响应, 地质通报,35(1),140~151.

718

吴立新、唐春安、钟声等,2006,非连续断层破裂红外辐射与声发射、应力场的对比研究,岩石力学与工程学报,25(6), 1111~1117.

吴晓,2007,用 FY-2C 静止气象卫星资料计算射出长波辐射通量密度,气象科技,35(4),474~479.

徐秀登、强祖基、赁常恭等,1991,临震卫星热红外异常与地面增温异常,科学通报,33(4),291~294.

张丽峰、郭晓、张璇等,2016,强震中波红外异常特征研究,地震工程学报,38(6),3~8.

В.И.ГОРНЫЙ, 1988, 地球热红外辐射——地震活动性的标志, АНСС, 301(1), 67~69.

Choudhury S, Dasgupta S, Saraf A K, 2006, Remote sensing observation of pre-earthquake thermal anomalies in Iran, Int J Remote Sens, 27(20), 4381~4396.

Ouzounov D, Bryant N, Logan T, et al, 2006, Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquake in 1999-2003, Phys Chem Earth, **31**(2006), 154~163.

Saraf A K, Rawat V, Das J, 2012, Satellite detection of thermal precursors of Yamnotri, Ravar and Dalbandin earthquakes, Nat Hazard, **61**, 861~872.

Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A, 2002, Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China, J Geodyn, **33**, 519~534.

The Outgoing Long Wave Radiation Anomalous Features of the $M_s 6.5$ Ludian and $M_s 6.6$ Jinggu Earthquakes in 2014

Zhang Lifeng1Guo Xiao2Zhang Xuan2Wei Congxin2Qing Manzhong21) Qinghai Earthquake Agency, Xining 810001, China

2) Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China

Abstract This paper aims at analyzing the outgoing long wave radiation anomalies of the $M_{\rm s}6.5$ Ludian and $M_{\rm s}6.6$ Jinggu earthquakes in Yunnan Province, using the outgoing long wave date comes from meteorological satellite FY-2E and by the method of relative power spectrum. The result shows that there obviously exist relative power spectrum anomalies of outgoing long wave in the short term before the two earthquakes. The edge and direction of anomalous characteristics are closely related to the faults. The relative power spectrum of the two earthquakes distinctly deviates from its annual average and standard deviation. The persistent deviation period is about two months and the maximum deviation is over seven times. The time-spatial characteristics of relative power spectrum for the two earthquakes are obvious and easy to identify. It can also provide references for earthquake prediction in this regions by using outgoing long wave radiation data.

Key words: Ludian earthquake; Jinggu earthquake; Outgoing long wave radiation; Anomaly of relative power spectrum

719

C<mark>MY</mark>K

4 期