

岷县、漳县交界6.6级地震长波辐射异常分析

戴 勇¹, 高立新¹, 张延芹², 陆颖哲³

(1 内蒙古自治区地震局, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 赤峰市地震局, 内蒙古 赤峰市 024000;

3. 满洲里地震台, 内蒙古 满洲里 021400)

摘要: 本文通过涡度方法、时频分析等方法, 研究了岷县漳县6.6级地震前, 震中区域(102.50°E~105.50°E, 33.50°N~37.50°N)红外遥感OLR时空分布特征, 结果显示: (1) 岷县漳县6.6级地震前震中区域涡度场存在显著增强的异常现象; (2) 震中区格点OLR涡度值时序曲线一般情况下随机波动, 但在震前存在明显异常变化, 其时频结果也显示在地震前存在能量密度增强现象, 异常期间谱结构不断变化。

关键词: 岷县漳县6.6级地震; 长波辐射; 涡度; 异常变化

中图分类号: P315.728 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)04-794-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.794

Research on the Anomaly of Outgoing Long-wave Radiation prior to the Minxian - Zhangxian M_s 6.6 Earthquake

DAI Yong¹, GAO Li-xin¹, ZHANG Yan-qin², LU Ying-zhe³

(1. Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot Inner Mongolia 010010, China;

2. Earthquake Administration of Chifeng City, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China;

3. Manchuria seismic station, Manchuria, Inner Mongolia 021400, China)

Abstract: Outgoing Long-wave Radiation (OLR), also known as thermal radiant flux density, refers to the energy density of electromagnetic waves emitted by the earth-atmosphere system into outer space. OLR is the broadband (5~50 μm) information that forms after reprocessing of the telemetry data of a single infrared band.

The dataset adopted in this study is the evening data of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) OLR satellite networking with a resolution of $1^\circ \times 1^\circ$ in which the unit is W/m^2 . Such information appears on the NOAA Website at <ftp://ftp.cpc.noaa.gov>.

In this study, the eddy method and time-frequency analysis are used to examine the temporal and spatial distribution characteristics of Outgoing Longwave Radiation (OLR) in the epicenter area of the Minxian - Zhangxian M_s 6.6 earthquake (102.50°E - 105.50°E, 33.50°N - 37.50°N) determined by infrared remote sensing.

Results indicate that an enhancement of the monthly average of the eddy field of the OLR did not appear in the corresponding period between 2009 and 2012. The time series curve of the OLR eddy monthly average, in the epicenter grid points (103.50°E, 35.50°N), (104.50°E, 34.50°N) of the earthquake, showed was no significant seasonal variation in the OLR eddy value. Generally, the eddy

收稿日期: 2013-07-29

基金项目: 地震行业科研专项经费项目(201208009); 震情跟踪课题(2012020406)

作者简介: 戴 勇(1981-), 男, 安徽巢湖人, 硕士, 主要从事地震预测研究工作。

value fluctuated randomly near the average value line. Prior to the earthquake, however, the value showed abnormal and distinct short-term changes. To examine these change characteristics, the short-time Fourier transform method was used to determine the time - frequency analysis of the daily eddy value of the grid points (103.50°E, 35.50°N). The results indicate that prior to the earthquake, an unusual increase in energy density occurred. During the abnormal period, the characteristics of the spectral structure changed. The low-frequency components were principal in the early stage, whereas the radio-frequency component became the principal part during the later stage.

Previous research identified an abnormal increase in OLR information of the nearby epicenter prior to the Wenchuan $M_s8.0$ earthquake. The Lushan $M_s7.0$ earthquake occurred near the Guan County - An County fault zone in the southern region of the Longmenshan Mountains following the Wenchuan earthquake. Prior to the former earthquake, an abnormal two-center high-value area was present in the epicenter area that was similar to that occurring prior to the latter earthquake. The present study identified an additional abnormal increase in the OLR eddy in southeastern Gansu, which was the epicenter area of the Minxian - Zhangxian $M_s6.6$ earthquake. This example proves that prior to some earthquakes, the OLR eddy increases abnormally. Therefore, OLR has very broad application prospects in earthquake prediction research.

Key words: Minxian - Zhangxian $M_s6.6$ earthquake; Outgoing Long-wave Radiation; eddy; abnormality

0 引言

长波辐射(Outgoing Long-wave Radiation, 简记OLR), 又称热辐射通量密度, 是指地-气系统向外层空间发射的电磁波能量密度, OLR是对红外单波段遥测数据经过再处理后形成的宽波段(5~50 μm)信息^[1]。从二十世纪90年代开始, 我国学者将其引入地震预测研究领域, 开展了大量的震例研究, 例如: 刘德富等^[2]分析我国1976-1985年在龙陵、唐山、松潘、乌惜、共和等5个地区发生的7级以上大地震前的OLR异常现象, 发现强震发生地区, 在时间上和空间上震前一个月都存在较为显著的热红外辐射异常; 康春丽^[3]研究发现2007年6月3日宁夏6.3级地震发生之前, 在川滇地区(20°~35°N, 95°~110°E)出现了一次显著的OLR短期和临震的异常增强现象; 戴勇等^[4]采用小波包方法对长波辐射值OLR时间序列进行分解重构, 提取异常信息, 通过对15个不同震例的研究表明, 地震前的10个月内, 重构信号均出现能量严重衰减的现象。地震学者在进行OLR震例总结同时, 还对震前OLR异常机理进行了尝试性地分析、研究, 取得了比较理想的研究成果, 有助于OLR在地震预测领域的应用^[5-9]。但对震区在震前OLR增强现象成因的分析仍相对较少, 并没有形成系统、完备的有关OLR震兆异常特征及其产生机理的理论体系, 对于如何更好地应用于地震预测领域, 还需从创新处理方法、总结异常、分析成因机理等多角度进行深入研究。

本文以岷县漳县6.6级地震为例, 重点分析了岷县漳

县6.6级地震前后震中区(102.50°E~105.50°E, 33.50°N~37.50°N)OLR时空分布特征, 以期将获得的研究成果应用于地震预测中。

1 数据来源及方法原理

本文采用的OLR数据资料主要是由美国国家海洋大气局提供的分辨率为1°×1°的NOAA卫星网格化长波辐射数据(晚间), 其单位为W/m²(可从网站ftp://ftp.cpc.noaa.gov下载)。

为减少干扰, 采用OLR网格数据, 利用公式(1)计算出OLR涡度值

(Eddy)网格数据^[7]:

$$S_E^*(x_{ij}, y_{ij}) = 4S(x_{ij}, y_{ij}) - (x_{i-1,j}, y_{ij}) - (x_{i,j}, y_{i,j-1}) - (x_{i+1,j}, y_{ij}) - (x_{ij}, y_{i,j+1}) \quad (1)$$

其中, $S_E^*(x_{ij}, y_{ij})$ 表示各格点位的涡度值; $S(x_{ij}, y_{ij})$ 表示各格点位的值; x 表示纬度, y 表示经度, i, j 为格点位标。

2 岷县、漳县交界6.6级地震前后OLR涡度值特征分析

2.1 涡度场空间演化特征

本节重点分析了岷县漳县6.6级地震前震中区域OLR涡度场空间演化特征。图1显示的是2013年3月~6

月份研究区 OLR 月平均涡度值空间分布, 由该图可清晰地显示出, 2013 年 3 月份没有明显的异常, 4 月份震中附近出现近圆形高值异常区, 中心点位置为 (103.50°E , 35.50°N), 其涡度值为 1.08 W/m^2 , 异常幅度达到 0.05 W/m^2 。震中位于高值异常区东南缘, 距异常区中心点 129 km 。2013 年 5 月份、6 月份高值异常区消失。由此可见, 岷县漳县 6.6 级地震前位于震中区域 OLR 月均值涡度场存在增强过程。

为分辨 2013 年 4 月份出现的高值异常现象, 是由季节性变化引起的还是与强震的孕育、发生有关的, 在此计算、处理了震中区 2009–2012 年期间 4 月份的 OLR 月均值数据, 得到了该区域 OLR 涡度分布特征 (图 2), 结果显示, 2009 年–2012 年期间每年的 4 月份震中及其附近区域 OLR 涡度场都未出现明显的高值异常区。由此可见, 岷县漳县 6.6 级震前震中区出现的异常高值并不是由季节变化引起的, 此异常是一次典型的地震前兆异常。

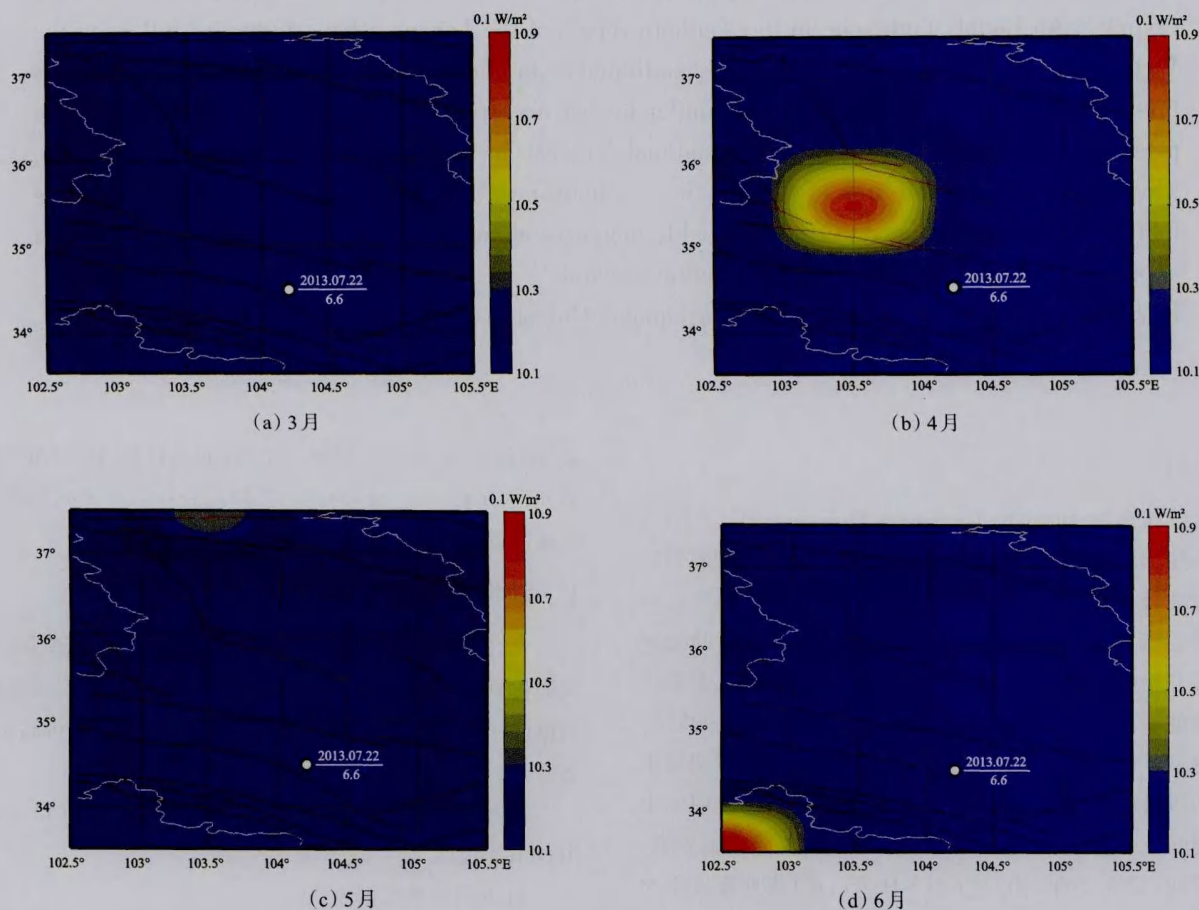
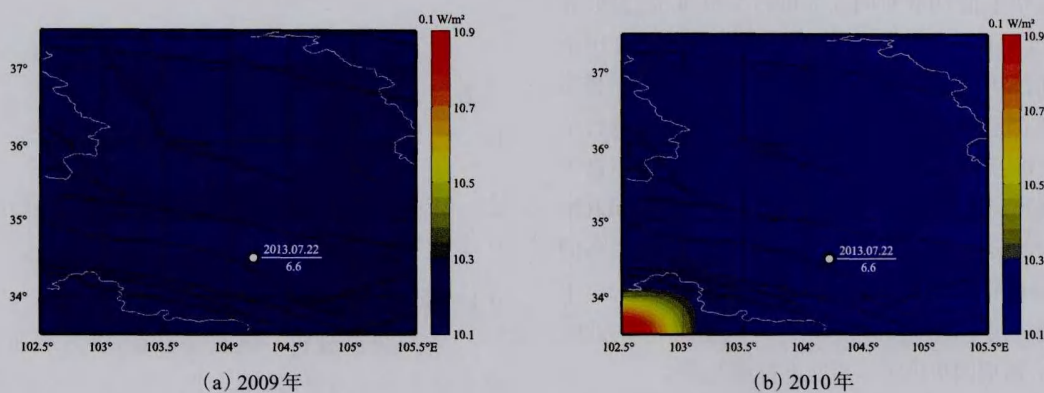


图 1 2013 年岷县漳县 6.6 级地震震中区 OLR 涡度场逐月变化图

Fig.1 Monthly changes of OLR eddy field of the $M_{6.6}$ Minxian-Zhangxian earthquake epicenter region in 2013



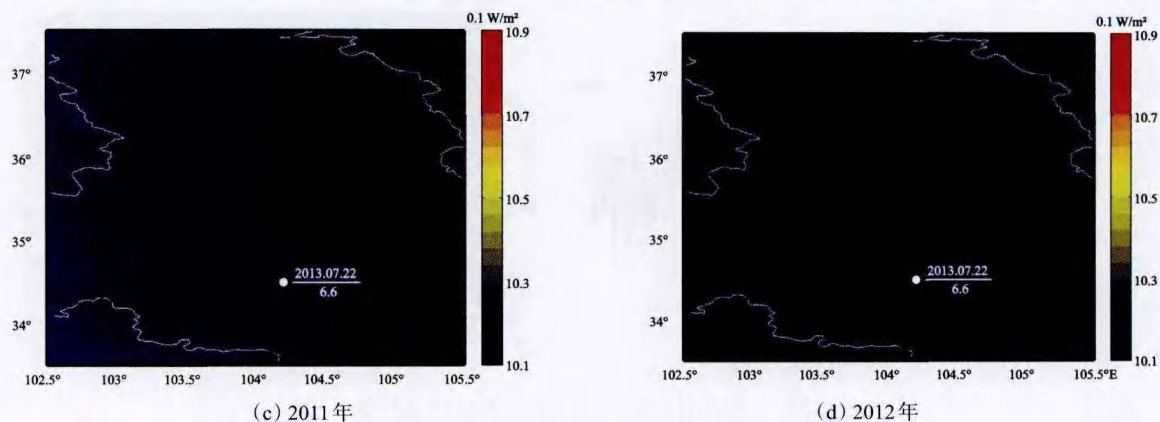


图2 甘肃岷县漳县6.6级地震震中区往年4月份OLR涡度场

Fig.2 OLR eddy field of the $M6.6$ Minxian-Zhangxian earthquake epicenter region in April former years

2.2 震中区OLR时序特征

选取了位于2013年4月份OLR涡度场高值异常区中心的格点(103.50°E , 35.50°N)和震中附近的格点(104.5°E , 34.5°N),重点研究了这两个格点涡度值时间序列变化特征。

图3显示的是格点(103.50°E , 35.50°N)OLR涡度自2006年5月至2013年7月月均值时序曲线,OLR涡度值总体呈现围绕均值线附近(即1倍均方差以内)随机波动变化特征,其季节性变化特征并不明显。自2012年12月份开始出现单调递增的变化,一直持续到2013年4月份,达到最大值 1.08 W/m^2 ,超过1倍均方差 0.78 W/m^2 。另外要说明的是,2013年4月份的OLR涡度值不仅是2012年12月以来的最大值,也是2006年5月以来的最大值。若以超过均方差的时间作为异常持续时间,则此次异常持续时间长达3个月。由此可见,此次异常是一次典型的短期异常。

图4(a)显示的是格点(103.50°E , 35.50°N)OLR涡度自2012年10月10日至2013年7月24日日值时序曲线,在4~6月份期间存在明显增强现象的同时,超差异异常点频次也增多。在此还采用短时傅里叶变换方法^[8]对格点

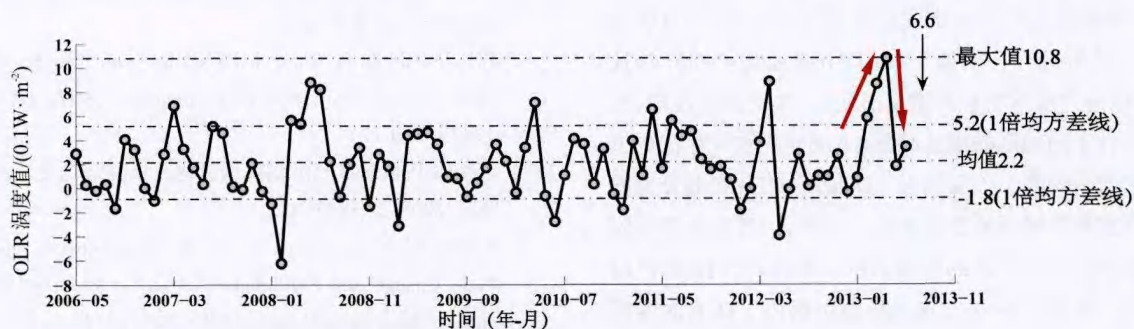
(103.50°E , 35.50°N)OLR涡度日值数据进行了处理,得到的时频分析结果如图4(b)所示,在岷县漳县6.6级地震前存在明显的能量密度增强的异常变化,异常期间谱结构特征是不不断变化的,其中2013年3~4月份期间异常能量主要集中在 $0\sim 0.05\text{ day}^{-1}$ 频段内,2013年5月份期间异常能量主要集中在 $0.15\sim 0.35\text{ day}^{-1}$ 频段内。

图5显示的是格点(104.50°E , 34.50°N)OLR涡度月均值时序曲线,OLR涡度值季节性变化特征并不明显。在岷县漳县6.6级地震前也存在明显的OLR涡度增强的异常变化。自2012年12月份开始出现单调递增的变化,一直持续到2013年3月份,达到最大值 4.9 W/m^2 ,超过1倍均方差 2.9 W/m^2 。若以超过均方差的时间作为异常持续时间,则此次异常持续时间长达1个月。

3 结论与讨论

(1) 岷县漳县6.6级地震前,震中区域涡度场存在明显增强的异常现象,这一现象在2009年~2013年同期并未出现过。

(2) 位于岷县漳县6.6级地震震中区格点(103.50°E , 35.50°N)、(104.5°E , 34.5°N)OLR涡度月均值时间序列曲线均显示,OLR涡度值并不存在明显的季节性变化特征,

图3 格点(103.5°E , 35.5°N)OLR涡度月均值时序曲线Fig.3 Time-sequence curve of OLR eddy at grid point of ($E103.5^{\circ}$, $N35.5^{\circ}$)

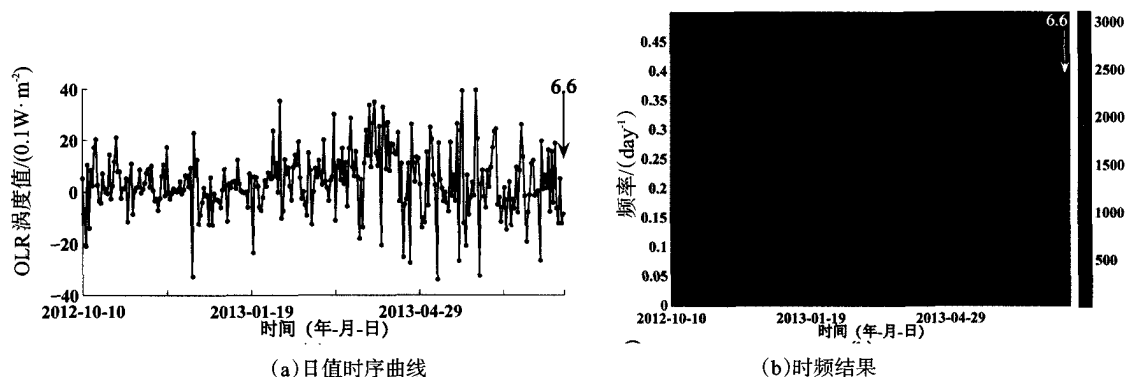


图4 格点(103.5°E,35.5°N)OLR 涡度特征

Fig.4 The characteristic of OLR eddy at grid point of (104.5°E,N34.5°N)

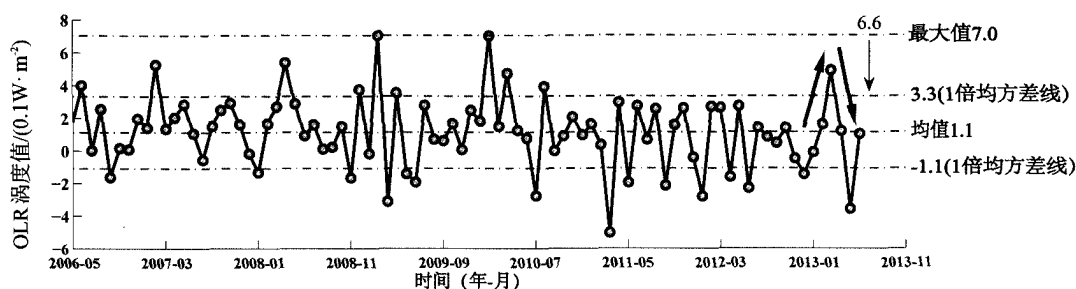


图5 格点(104.5°E,34.5°N)OLR 涡度月均值时序曲线

Fig.5 Time-sequence curve of OLR eddy at grid point of (104.5°E,N34.5°N)

一般在均值线附近随机波动,但在岷县漳县6.6级地震前存在明显的短期异常变化。为进一步研究这一异常变化特征,本文采用短时傅里叶变换方法对格点(103.50°E, 35.50°N)OLR 涡度日值数据进行了时频分析,结果显示,岷县漳县6.6级地震前存在明显的能量密度增强的异常变化,异常期间谱结构特征是不变化的,前期是以低频成分为主,至异常后期以高频成分为主。

(3) 康春丽等分析了汶川8.0级地震发生前长波辐射(OLR)信息场的中期、短期和临震时空分布及变化特征,发现汶川8.0级地震前震中区附近存在 OLR 信息异常增强的现象^[7]。芦山7.0级地震发生在龙门山南段的灌县-安县断裂带附近,是龙门山所在区域内继2008年5月12日汶川8.0级地震之后再一次发生的大震^[9-10],芦山7.0级地震前震中区附近存在类似于汶川8.0级地震前的异常现象,即在震前存在双中心异常高值区^①。本文研究发现,在震中处于甘东南地区的岷县漳县6.6级地震前也存在 OLR 涡度异常增强现象。该震例再一次证明,OLR 在部分大震前确实存在异常增强的变化事实。因此,OLR 在地震预测研究领域具有非常广阔的应用前景。另外,汶川8.0、芦山7.0和岷县、漳县交界6.6三次地震震中都位于 OLR 涡度场异常增强区边缘,这属于巧合,还是与区域地质构造、地震

孕育等有关,有待于进一步研究。

致谢:感谢康春丽教授、荆凤博士等提供的基于卫星红外遥感的地震信息综合处理系统!感谢李胜乐教授提供的无私帮助!

参考文献(References)

- [1] 康春丽,李志雄,孟庆岩,等.地震红外长波辐射的短期预测指标研究[J].地震,2009,29(增刊):83-89.
KANG Chun-li, LI Zhi-xiong, MENG Qing-yan, et al. Study of Short-term Earthquake Prediction Indicators for Thermal Infrared Outgoing Longwave Radiation[J].Earthquake,2009,29(S):83-89.(in Chinese)
- [2] 刘德富,罗灼礼,彭克银.强烈地震前的 OLR 异常现象[J].地震,1997,17(2): 126-132.
LIU De-fu, LUO Zhuo-li, PENG Ke-yin.OLR Phenomena before Strong Earthquake[J].Earthquake, 1997, 17(2):126-132.(in Chinese)
- [3] 康春丽.川滇地区长波辐射场变化与地震活动关系研究[J].地震,2008,28(3):43-48.
KANG Chun-li. Research on Relation between the OLR Field Change and Earthquake Activity in Chuan-Dian Region of China [J].Earthquake, 2008,28(3):43-48.(in Chinese)
- [4] 戴勇,丁风和,韩晓明.基于小波包分析的 OLR 地震异常信

① 戴勇,等.芦山7.0级地震长波辐射异常分析.2013.

- 息提取初探[J]. 地震, 2009, 29(3): 61-66.
- DAI Yong, DING Feng-he, HAN Xiao-ming. A Preliminary Study on Extraction of Earthquake-related OLR Anomalies Using Wavelet Packet Decomposition[J]. Earthquake, 2009, 29(3): 61-66. (in Chinese)
- [5] 康春丽, 韩延本, 刘德富, 等. 强震前地气系统长波辐射(OLR)异常的成因[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(6): 1703-1708.
- KANG Chun-li, HAN Yan-ben, LIU De-fu, et al. The OLR Anomaly and Mechanism before Tibet Earthquake ($M_{6.9}$) [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(6): 1703-1708. (in Chinese)
- [6] 李继业, 任建辉, 高峰, 等. 地震红外长波辐射短期异常特征分析[J]. 中国地震, 2011, 27(4): 410-418.
- LI Ji-ye, REN Jian-hui, GAO Feng, et al. Analysis of Short-term Earthquake Anomaly for Outgoing Longwave Radiation Information[J]. Earthquake Research in China. 2011, 27(4): 410-418. (in Chinese)
- [7] 康春丽, 张艳梅, 刘德富, 等. 汶川8.0级大地震的长波辐射征象[J]. 地震, 2009, 29(1): 90-97.
- KANG Chun-li, ZHANG Yan-mei, LIU De-fu, et al. Long-Wave-Radiation Patterns Prior to the Wenchuan $M_{8.0}$ [J]. Earthquake, 2009, 29(1): 90-97. (in Chinese)
- [8] 万永革. 数字信号处理的MATLAB实现[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- WANG Yong-ge. MATLAB Implementation of Digital Signal Processing[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)
- [9] 汤懋苍, 廖留峰, 邓国卫, 等. 汶川巨震与玉树强震地气系统演变的对比分析[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 199-204.
- TANG Mao-cang, LIAO Liu-feng, DENG Guo-wei, et al. A Comparative Analysis on the Evolution of Earth-gas System between Wenchuan Earthquake and Yushu Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 199-204. (in Chinese)
- [10] 荣代璐, 李亚荣. 芦山7.0级地震前地震活动的临界点特征[J]. 地震工程学报, 2013, 35(2): 252-256.
- RON Dai-lu, LI Ya-rong. The Critical Point Behavior of Seismic Activities Prior to Lushan $M_{7.0}$ [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2): 252-256. (in Chinese)