

任静、康春丽、马未宇等, 2015, 临震天体引潮力和地面长波辐射 OLR 异常, 中国地震, 31 (2), 447 ~ 455。

# 临震天体引潮力和地面长波辐射 OLR 异常

任静 康春丽 马未宇 杨天青 林向洋

中国地震台网中心, 北京市西城区三里河南横街 5 号 100045

**摘要** 利用天体引潮力周期变化模型和地面长波辐射 (OLR) 数据资料, 分析 2010 ~ 2011 年云南、西藏地区的 4 次  $M5.0$  以上地震震前 OLR 异常, 探讨了诱发地震的外部因素, 即天体引潮力周期与红外异常发展的关联特征。结果显示: 以临近发震时刻所在周期引潮力值最低点日期为 OLR 参照背景, 获取的地震前后 NOAA 长波辐射 OLR 日增量分布图像显示: 震中附近热异常明显, 异常受构造控制, 且其分布与断裂关系密切; 异常演化经历起始-加强-高峰-衰减-再增强-发震-平静的过程, 符合岩石因应力增加而破裂的规律。一方面表明地应力的临界状态演化过程可通过 OLR 辐射变化来反映。另一方面表明引潮力可以改变构造内部地应力的状态。

**关键词:** 云南 西藏 地震 天体引潮力 长波辐射 OLR

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0447-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

20 世纪 90 年代, 中国科学家利用 NOAA 气象卫星热红外波段的资料研究了多个强震震例, 进一步证实了震前热红外异常现象的存在。其中利用卫星遥感地-气系统射出的长波辐射 (OLR) 信息月平均数据, 检测地震前震中区附近长波辐射异常特征, 取得了许多有应用价值的成果 (叶秀薇等, 2010)。这些成果表明, 地震孕育发生区不仅可能有热现象, 而且有以辐射为表征的能量流, 在地-气系统内传播直至外层空间被卫星遥感器接收到, 进而形成了利用卫星对地遥感获取地震短期征兆信息的新技术途径 (康春丽等, 2009)。

目前提出的热红外异常信息识别方法主要有图像解译、差值分析、透热指数、亮温增温异常点对比等, 各种方法各有优缺点 (叶秀薇等, 2010)。研究显示, 正常背景选择的差异性对研究结果有较大影响, 这主要由于基于统计原理的多年平均算法消除了由短期构造快速变化造成的热辐射波动。地震是地球构造应力积累达到一定强度后, 突破了岩石弹性破裂临界值, 快速释放的过程, 故而探索地震学与力学相关联的算法, 具有一定的价值 (李延兴等, 2001)。天体引潮力是诱发地应力累计到临界状态发生地震的重要外部诱因之一, 而探究震前增温与天体引潮力变化, 与地震活动表现出的增温异常现象, 在本质上是一致的, 反映的都是构造运动达到一定程度发生突变即短临地震活动发生在临界点的判定问题 (Matthew et al, 2011)。另外, 天体引潮力作为目前唯一能够预先计算出地球形变的物理量,

[收稿日期] 2014-06-19; [修定日期] 2015-04-10

[项目类别] 星火项目“基于大气温度垂直分层三维遥感技术在地震预测中的应用”(XH153704) 资助

[作者简介] 任静, 女, 1987 年生, 主要从事地震应急相关专业的研究和地震热红外卫星遥感应用研究。

E-mail: renjing19870824@seis.ac.cn

不仅在时间域上具有一定指示作用,还为热异常表现的构造运动和地应力强度判识提供支持(马未宇等,2006a),本文选择我国地形地貌复杂的云南、西藏地区4次地震前的长波辐射 OLR 异常增强特征对引潮力变化进行性探索,对检验这一方法的有效性、丰富技术手段具有一定的价值。

## 1 发震构造及天体引潮力附加构造应力

### 1.1 发震构造

发震构造的资料(表1)来自中国地震台网中心<sup>①</sup>。

表1 4次地震基本参数

序号	发震地点	发震时刻 (年-月-日,时:分)	震中位置 (°)	震级	震中所在 断裂带
1	西藏聂荣县	2010-03-24 10:06	32.4°N, 93.0°E	5.7	巴青-类乌齐
2	四川都江堰、彭州交界	2010-05-25 14:11	31.3°N, 103.7°E	5.0	映秀-北川
3	四川炉霍	2011-04-10 17:02	31.3°N, 100.9°E	5.3	鲜水河
4	云南腾冲、隆阳区交界	2011-08-09 19:50	25.0°N, 98.7°E	5.2	龙门江

图1给出了这4次地震的震中位置与震区活动断裂分布。

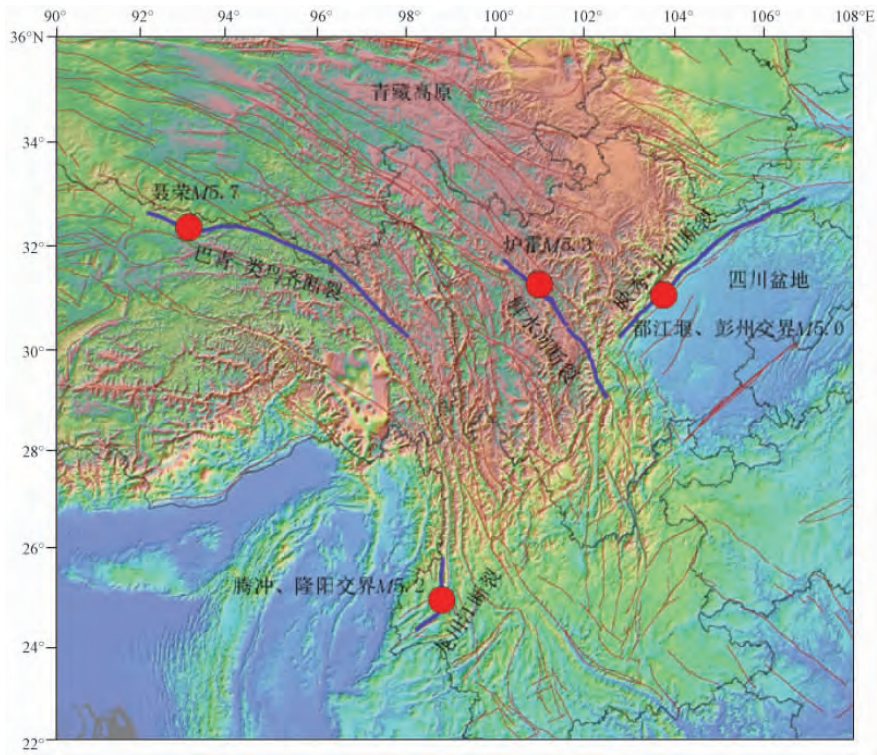


图1 震中与震区活动断裂(发震断层)分布图

<sup>①</sup> <http://www.ceic.ac.cn/>

## 2 潮汐计算及地面长波辐射数据处理

### 2.1 潮汐的计算

月球和太阳引潮力引起的地球的周期性弹性变形称为固体潮。对地震具有触发作用的天体引潮力主要是日、月潮汐引力(张晶等,2007),固体潮汐应力是固体潮在地球内部引起的、具有周期性变化特征的应力(Qin et al,2012)。长期以来,国内外针对潮汐应力是否会影响或调制地震的发生开展了大量工作,吴小平等(2009)指出潮汐应力对处于临界应力状态的断层触发地震,对地震具有临界触发效应;郗钦文等(1994)认为引潮力诱发的地震多发生在周期振幅相位最大值的临近时刻(马未宇等,2006b;李志安等,1994;刘军等,2014),但如何判定发震构造的应力强度是否达到临界状态,还有待研究。

本文研究发震时刻和引潮力周期振幅相位最大值之间的关系,通过分析潮汐周期背景下的遥感 OLR 辐射异常变化,判断其是否诱发地震。

根据卡尔文的计算方法,任意天体  $i$  在地球内部任意一点  $P$  产生的引潮力位为  $W_i(p)$  (吴庆鹏,1997;郗钦文等,1986)

$$W_i(p) = k \frac{M}{r_m} \sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{r}{r_m} \right)^n P_n(\cos z_m) \quad (1)$$

$P_n(\cos z_m)$  为  $(\cos z_m)$  的勒让德多项式。 $z_m$  为星体的天顶距。 $M$  为月球、地球的质量。 $k$  为万有引力常数, $r$  为震中与地心距离, $r_m$  为月心与地心的距离, $r_s$  为日心与地心的距离。

对于月亮,取  $n = 2$  和  $n = 3$  则月球对地球内部产生的二阶和三阶引潮力位为

$$W_{m2}(P) = \frac{3}{4} k \frac{M}{r_m} \left( \frac{r}{r_m} \right)^2 \left\{ \begin{aligned} & (1 - 3\sin^2 \varphi) \left( \frac{1}{3} - \sin^2 \delta_m \right) + \\ & \sin 2\varphi \sin 2\delta_m \cos H_m + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta_m \cos 2H_m \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$W_{m3}(P) = \frac{3}{4} k \frac{M}{r_m} \left( \frac{r}{r_m} \right)^3 \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{3} (3 - 5\sin^2 \varphi) \sin \delta_m (3 - 5\sin^2 \delta_m) + 5\sin \varphi \cos^2 \varphi \cos 2H_m + \\ & \frac{1}{2} \cos \varphi (1 - 5\sin^2 \varphi) \cos \delta_m (1 - 5\sin^2 \delta_m) \cos H_m + \frac{5}{6} \cos^3 \varphi \cos^2 \delta_m \cos 3H_m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

同理对于太阳取  $n = 2$ , 则太阳对地球的二阶引潮力位之和为

$$W_{s2}(P) = \frac{3}{4} k \frac{S_s}{r_s} \left( \frac{r}{r_s} \right)^2 \left\{ \begin{aligned} & (1 - 3\sin^2 \varphi) \left( \frac{1}{3} - \sin^2 \delta_s \right) + \\ & \sin 2\varphi \sin 2\delta_s \cos H_s + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta_s \cos 2H_s \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

对于地球整体则有

$$W_{\text{whole}}(P) = W_{m2}(P) + W_{m3}(P) + W_{s2}(P) \quad (5)$$

其中  $\delta_s$  和  $\delta_m$  是日、月赤尾,  $\varphi$  为震中纬度,  $H_s$  和  $H_m$  是日、月天顶距。

### 2.2 长波辐射(OLR)数据资料及其处理

射出长波辐射(简称 OLR)是指地气系统向外层空间发射的电磁波能量密度,单位  $W/m^2$ ;它是通过 NOAA 极轨卫星载荷的辐射测量仪,在红外窗区通道( $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$ ),对地球和大气进行扫描测量,获取地面射出的长波辐射(马未宇等,2008)。

目前,研究采用的 OLR 数据,取自美国 <http://www.emc.ncep.noaa.gov> 网站通播的全球信息数据。该热红外长波辐射已积累有 30 多年数据。由于 OLR 是基于红外波段遥感产生的成果,对海洋表层和近地表温度的变化响应最为敏感,因此在监测与“热”成因现象相关的一些地学灾害征兆方面,是一种很理想的技术手段(康春丽,2008)。

本文为了考察 2010~2011 年云南、西藏地区的 4 次地震长波辐射信息场的变化特征,选取了 2010~2011 年 4 次地震的日平均网格数据,构成 OLR 信息的数值分布场,研究范围在  $22^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$  内。为提取该区域内 4 次地震前每天的 OLR 数据的变化特征,本文按下式对研究区域的网格点临震前(日际尺度)的 OLR 数值进行计算,得到辐射增强区表征信息量的各格点位的数值分布

$$\Delta S_i(x,y) = S_i(x,y) - S_{\text{背景}}(x,y) \quad (6)$$

其中,  $\Delta S_i(x,y)$  代表各格点位的 OLR 数值增量;  $S_i(x,y)$  代表各格点位的 OLR 数值;  $S_{\text{背景}}(x,y)$  代表固定的背景 OLR 数值,本文对 4 次地震分别采用引潮力值发震周期震前最低点为时间背景,  $x$  为纬度,  $y$  为经度,  $i$  为格点位标。

### 3 震例研究

#### 3.1 引潮力变化

利用(1)~(5)式,计算出上述 4 次地震前后天体引潮力随时间变化曲线如图 2 所示。由图 2 可以看出,天体引潮力具有明显的低谷→高峰→低谷周期性变化,4 次地震均发生在与发震时刻相对应的引潮力最大振幅相位附近,显示了 4 次地震发生在引潮力高峰相位点,反映引潮力对地应力达到临界点的活动构造有诱发地震的作用,但是地应力的强度变化情况如何? 为此我们进一步分析潮汐周期背景下的遥感 OLR 异常变化。

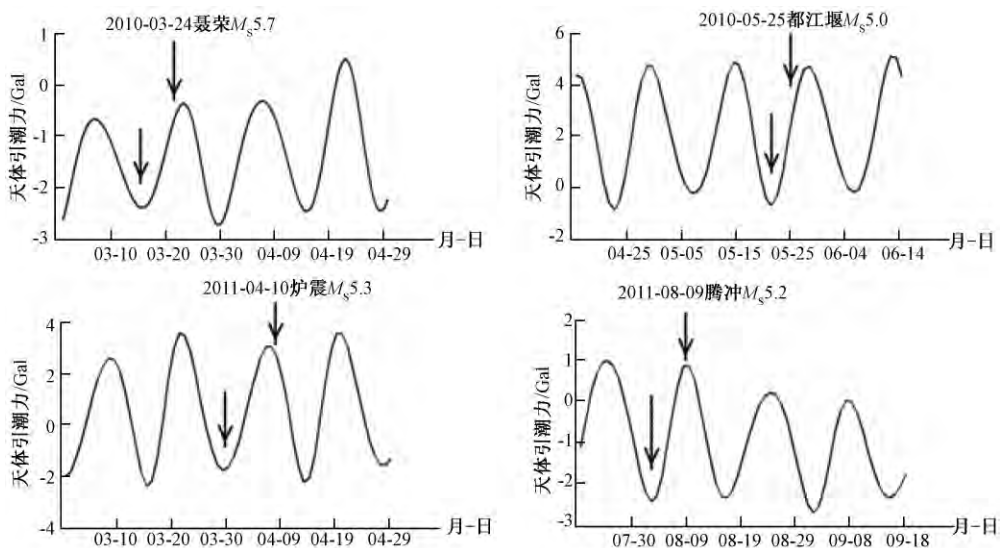


图 2 4 次地震前后天体引潮力时序变化曲线

### 3.2 地震前 OLR 时空变化特征

大量的实验证实,中强震前出现的卫星红外异常具有阶段性特征,在岩石持续受力状态下,红外辐射不断增强,这种红外增温异常可分为初始增温-加强增温-相对平静 3 个阶段,这一过程与岩石力应力加载-破裂过程中辐射变化的过程相吻合(吴立新等,2004;强祖基等,1990;徐秀登,2001)),这为我们开展工作提供理论依据。

基于潮汐周期(图 2)和(6)式,提取卫星数据 OLR 的变化情况(对聂荣地震、都江堰地震、炉霍地震和腾冲地震分别以 2010 年 3 月 16 日、5 月 17 日、4 月 8 日和 8 月 5 日为背景,连续相减,获得的 OLR 的连续日变化(图 3~6))。

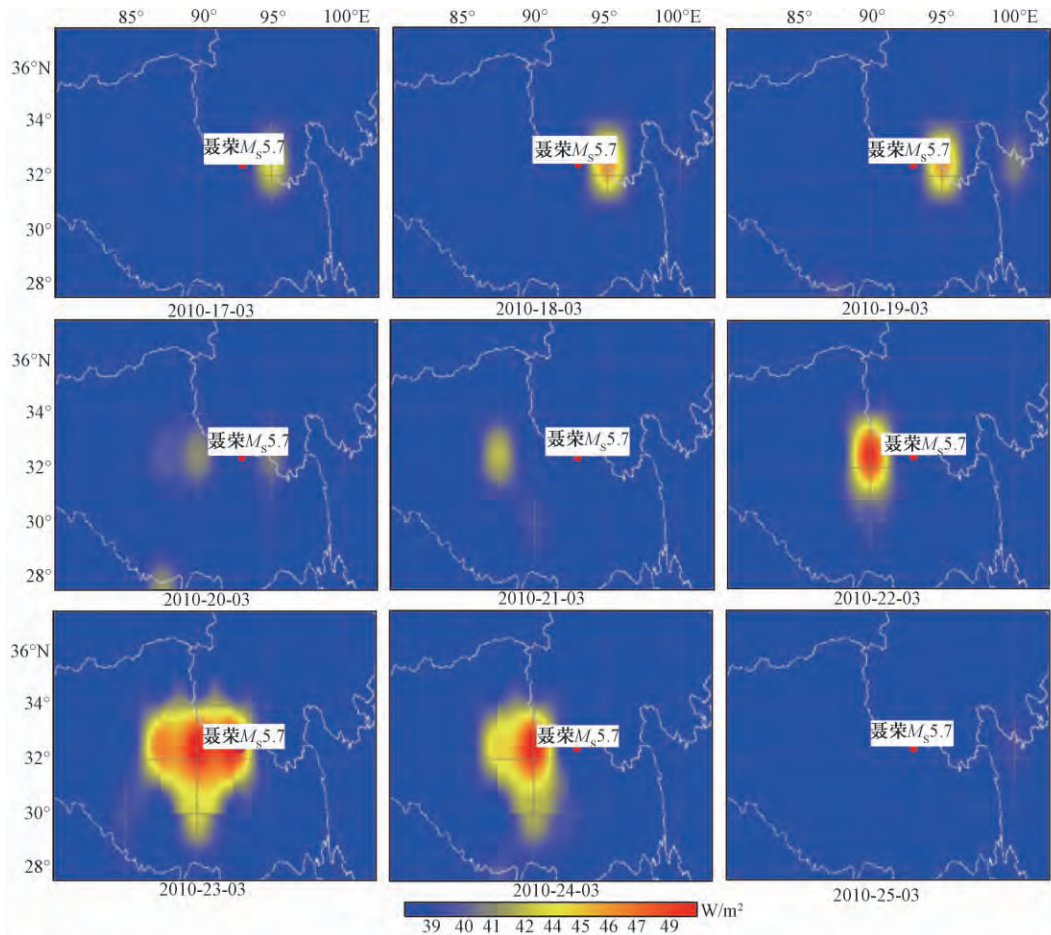


图 3 西藏聂荣  $M_{5.7}$  地震增温异常时空演化图像 图中红色圆点为震中,世界时 12:00

对于聂荣地震(图 3):震区附近 OLR 日辐射场自 2010 年 3 月 17~25 日连续增强,3 月 17 日(引潮力处于周期低峰相位点附近)开始,OLR 日平均增量场的增强中心从震中区附近西移,并在震前一天即 3 月 23 日(引潮力处于周期高峰相位点附近)达到最高,3 月 24 日(引潮力处于周期高峰相位点附近并在这天达到峰值后逐渐减小)10 时 06 分,聂荣发生 5.7 级地震。10 时 44 分,聂荣再次发生 5.5 级地震后,OLR 日平均辐射的增强中心区域完

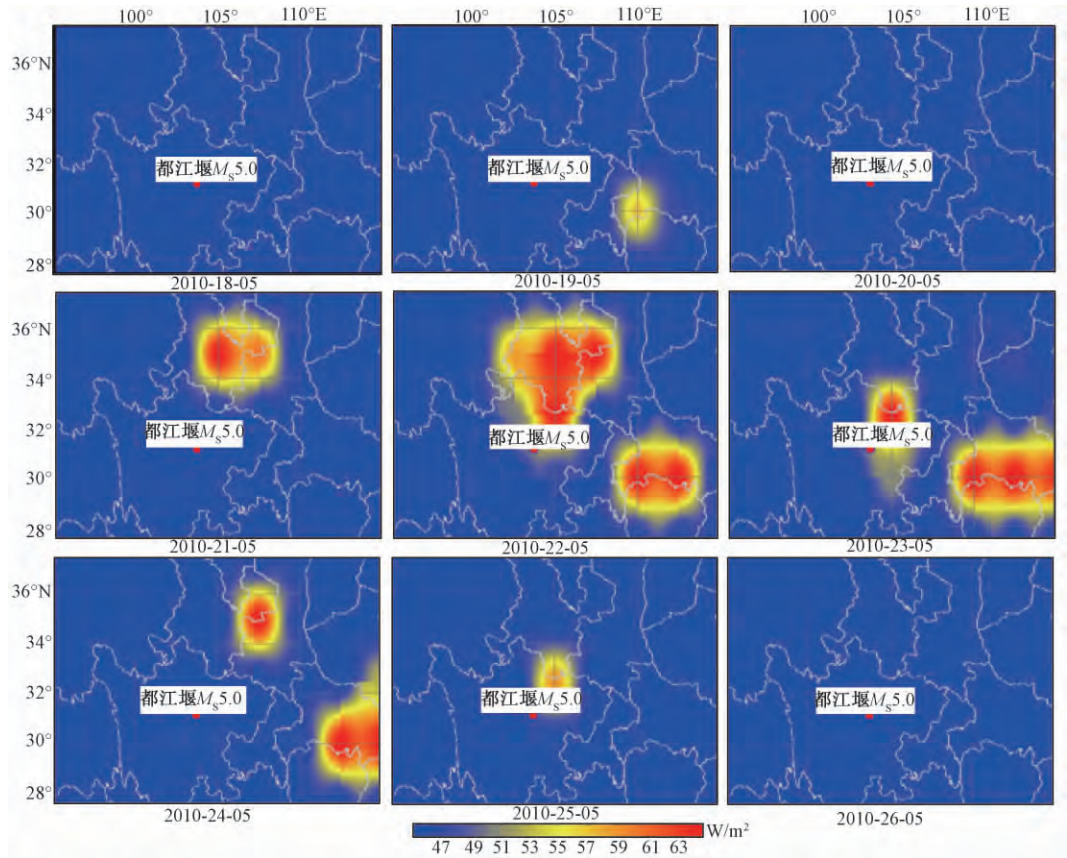


图4 四川都江堰  $M_s 5.0$  地震长波辐射增量场分布(图中红色圆点为震中,世界时 12:00)

全消失。结合图 2 可以看出,伴随着引潮力由低谷向高峰连续增强,辐射也不断增强,辐射所反映出的构造应力不断增强,在引潮力接近最高峰的时候,辐射也达到最强,然后发生地震,发震时刻在引潮力值的最大振幅相位附近。

同理,用该方法我们处理了该地区其他 3 个地震,结果具有相似的演化过程,地震发生在引潮力由低谷向高峰连续增长并接近最大振幅相位时刻,长波辐射经历起始-增强-高峰-震后快速衰减的过程。4 次地震发生在引潮力高峰相位点,反映引潮力对地应力达到临界点的活动构造具诱发地震的作用;通过分析潮汐周期背景下的遥感 OLR 辐射异常变化(图 3~6)看出,依据引潮力获得的长波辐射 OLR 异常增强区域的分布与地质构造,特别是与活动断裂的关系密切,同时潮汐的变化与辐射强度的增加具有一定的同步性,经历了增长-高峰-衰减的演变过程,也表明了天体引潮力对地应力处于临界状态的活动断层具有诱发地震的可能。

#### 4 结论和讨论

目前在利用遥感资料研究地震构造活动时,经常由于云层的干扰,阻碍了对震前温度异常的观测。由于长波辐射(OLR)表征了地-气系统向外层空间发射的电磁波能量密度,是最

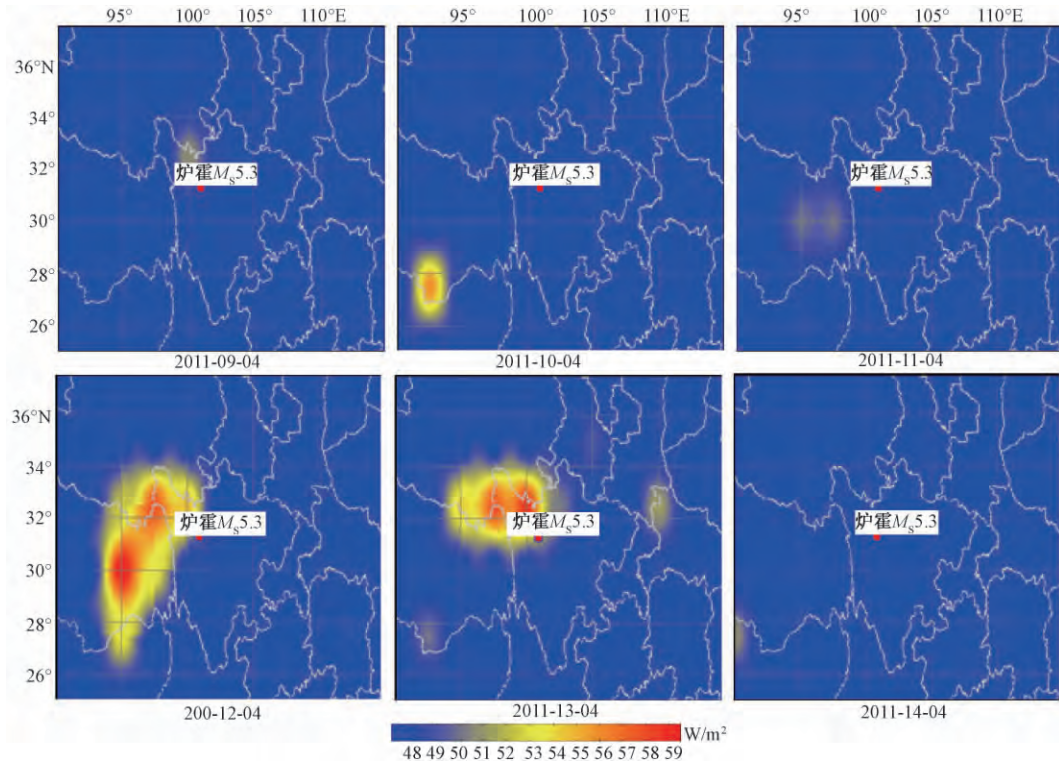


图5 四川炉霍  $M_s 5.3$  地震长波辐射增量场分布(图中红色圆点为震中,世界时 12:00)

直接反映下垫面属性、能量变化参数的辐射物理量,而且其波段( $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$ )集中在大气窗口,受云层干扰小(马未宇,2008),因此选择地面长波辐射(OLR)数据进行研究。而上述4例地震中,OLR的影像变化也展示其在震前存在的明显异常变化,表明OLR可能发展成为地震短临预测中进行发震地区判定的有效数据源。

由以上4个震例可见,依据潮汐值变化周期获得OLR震前辐射增强图像经历连续的震前起始-加强-高峰-震后衰减-平静的演变过程,而这一过程与岩石应力加载-破裂过程中辐射变化的过程相吻合(刘善军等,2009;崔承禹等,1993)。由此推断:震前OLR辐射变化过程是活动地震构造初始微破裂-扩大微破裂-主震构造大破裂(发震)-牵动各向活动构造破裂-构造调整-趋近稳定的发震过程中宏观辐射的表征。

天体引潮力附加构造应力对地应力的处于临界状态(即长波辐射OLR异常高峰-衰退期)的活动断层具有明显的诱震作用。但这仅是诱发地震的外部因素,而不是决定因素(陈闻晨等,2010)。决定地震发生的内部因素是地壳构造活动。引潮力的变化究竟如何调制、诱发地震的发生,如何影响长波辐射OLR的异常,其机理还不清楚,需要积累更多的震例分析和更加深入的研究。但这种现象的存在以及研究中取得的一些认识表明,利用遥感卫星技术获取地表辐射信息,并通过辐射场的动态化数值分析提取区域强震异常指征将是提高地震预测水平的新技术途径。

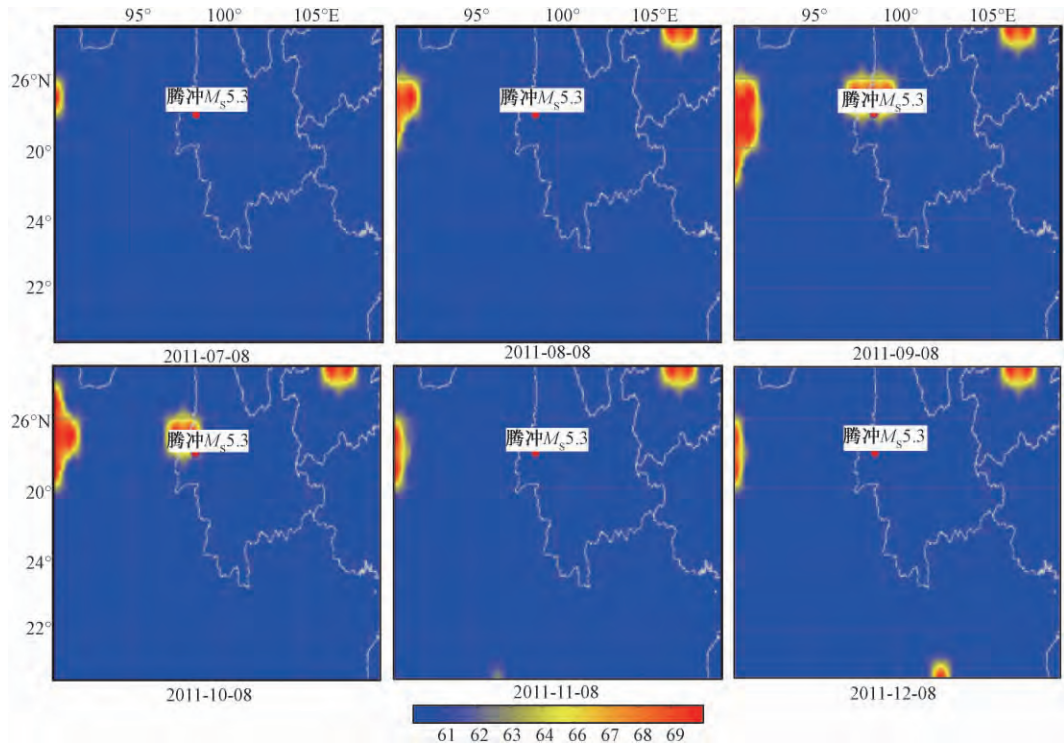


图6 云南腾冲  $M_s 5.3$  地震长波辐射增量场分布(图中红色圆点为震中,世界时 12:00)

## 参考文献

- 崔承禹、邓明德、耿乃光,1993,在不同压力下岩石光谱辐射特性研究,科学通报, **38**(6), 538 ~ 541。
- 康春丽,2008,强震前地气系统长波辐射异常的成因,地球物理学进展, **23**(6), 1703 ~ 1708。
- 康春丽、李志雄、孟庆岩,2009,地震红外长波辐射的短期预测指标研究,地震, **29**(2), 83 ~ 89。
- 李延兴、许力生、胡新康,2001,日、月对孕震区的水平引潮力与震源机制的关系,地震, **21**(1), 1 ~ 6。
- 李志安、韩延本,1994,触发地震的日月引潮力,北京师范大学学报:自然科学版, **30**(3), 368 ~ 372。
- 刘军、刘小阳、薄海光等,2014,基于引潮力附加构造应力调制的九江地震热异常时空动态过程研究,地震学报, **36**(3), 514 ~ 521。
- 刘善军、吴立新、张艳博,2009,岩石破裂前红外热像的时空演化特征,东北大学学报(自然科学版), **30**(7), 1034 ~ 1038。
- 马未宇、徐秀登、张行才,2006a, NCEP 温度图像与天体引潮力附加构造应力结合作地震短临预测初探,地震地质, **28**(3), 447 ~ 455。
- 马未宇,2008,汶川地震前的 NCEP 异常现象,科学导报, **26**(10), 37 ~ 40。
- 马未宇、徐秀登、张行才,2006b,印度尼西亚  $M_w 9.0$  地震序列与增温异常和天体引潮力的相关关系研究,西北地震学报, **28**(2), 129 ~ 133。
- 强祖基、徐秀登、钱常恭,1990,卫星红外异常临震前兆,科学通报, **35**(17), 324 ~ 327。
- 吴庆鹏,1997,重力学与固体潮,北京:高等教育出版社, 225 ~ 250。
- 吴立新、刘善军、吴育华等,2004,遥感-岩石力学,岩石力学与工程学报, **23**(1), 24 ~ 30。
- 郗钦文、杨林章,1994,地球对引潮力的响应及综合分析,中国地震, **10**(1), 83 ~ 89。
- 郗钦文、侯天航,1986,固体潮汐与引潮常数,中国地震, **2**(2), 30 ~ 41。
- 徐秀登、徐向民,2001,地震前红外异常的基本特征与成因机理,地震, **23**(3), 310 ~ 312。



叶秀薇、黄元敏, 2010, 卫星热红外遥感资料在地震预测中应用现状, 华南地震, **30**(2), 27 ~ 35。

张晶、郗钦文、杨林章等, 2007, 引潮力与潮汐应力对强震触发的研究, 地球物理学报, **50**(2), 448 ~ 454。

吴小平、冒蔚、黄雍等, 2009, 基于不同构造分区中国地震的潮汐应力触发效应及相关天文特征, 中国科学, **39**(6), 901 ~ 912。

Matthew B, Martin J, W, Bruce D M, 2011, Exploring land surface temperature earthquake precursors: A focus on the Gujarat (India) Earthquake of 2001, Geophys Res Lett, **38**, L15303.

Qin K, Wu L X, 2012, Quasi-synchronous multi-parameter anomalies associated with the 2010 ~ 2011 New Zealand earthquake sequence, 1059 ~ 1072.

## Preliminary study on the tidal force and Outgoing Longwave Radiation change

*Ren Jing Kang Chunli Ma Weiyu Yang Tianqing Lin Xiangyang*

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

**Abstract** Based on the cycle process of the tidal force of celestial body and the Outgoing Longwave Radiation (OLR) data, we analyzed the relationship between the tide force and infrared abnormal changes before and after 4 earthquakes that occurred at the regions of Yunnan and Tibet of China. The images of the daily increment of OLR by choosing the minimum of the tidal force period approaching the earthquake as reference background, and subtracted it from the surface OLR with day by day, same time and same scope, showed that the infrared anomalies were obvious near the epicenter, the anomaly expansion were controlled by the fault structure, and the anomaly distribution is closely related with fracture; the process of anomaly evolution was as follow: Initial infrared rise—enhancement—reaching peak—attenuation—re-enhancement—earthquake occurred—return to baseline. It was consistent with the regulation of rock broken procession under stress load. It implied that the evolution process of the critical condition of crustal stress can be reflected through changing of OLR radiation and the tidal force plays as an inducement role for changing the accumulate-unbalance of the structure internal crustal stress.

**Key words:** Yunnan Xizang Earthquake Tidal force of celestial body Outgoing Longwave Radiation