

李继业、任建辉、高峰等 2011 地震红外长波辐射短期异常特征分析,中国地震 27(4) 410~418。

地震红外长波辐射短期异常特征分析

李继业¹⁾ 任建辉¹⁾ 高峰²⁾ 胡滨生¹⁾ 孟令蕾¹⁾

1) 哈尔滨市防震减灾技术中心,哈尔滨市世纪大道 1 号 150021

2) 黑龙江省地震局,哈尔滨 150090

摘要 利用 NOAA 卫星资料反演的地震长波辐射值 OLR 对黑龙江及其周边 2003 年以来 8 次中强地震进行了追踪研究。结果显示,震前 2 个月左右 OLR 场值存在明显的高值异常区,未来震中距离高值区中心点 250km(优势距离为 160km)。该方法对黑龙江及其周边 4 级以上地震短期判定可能具有一定的指示价值,也为利用卫星遥感技术预测未来可能发震区域并及时做出短期预测预警提供了新途径。

关键词: 长波辐射 地震红外异常 短期预测

[文章编号] 1001-4683(2011)04-0410-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

众所周知,地震的发生是构造活动应变能长期蓄积(热能也相随蓄积)而突然释放的结果。地表介质的热状况及其变化的物理实质就体现在辐射能力的高低上,空间对地卫星遥感的基本原理正是基于任何地物介质都具有电磁辐射这一特性,通过辐射扫描仪的接收来揭示其特征及变化的。

1990 年以来,中国在利用卫星遥感热红外技术预测地震方面开展了大量的研究工作。刘德富等(1997)利用卫星红外长波辐射资料研究了 OLR 异常与地震的关系,发现 1976 年龙陵 7.4 级、唐山 7.8 级、松潘 7.2 级、1985 年乌恰 7.4 级以及 1990 年青海共和 7.0 级等地震前月平均 OLR(长波辐射)值增长显著,达到历年同期最高值。戴勇等(2009)通过 15 个不同震例对长波辐射值 OLR 时间序列进行分解重构,发现地震前 10 个月重构信号均出现能量严重衰减现象,且其持续时间长短与发震震级存在一定相关性。许多学者(耿乃光等,1997;吴立新等,1998、2002;刘善军等,2007;荆凤等,2009;郭晓等,2010;张元生等,2010;温少妍等,2011)亦通过岩石加载试验发现“地震断层”破裂过程中,随着围岩压强-岩石应变的加大,岩石物理温度增高,并在裂隙(断层)产生处观测到显著性增温现象。我国地震部门已将该信息的监视和研究用于地震预测分析,并在中短期预测地震危险区域上积累了一些经验。

[收稿日期] 2011-03-31

[基金项目] 中国地震局地震科技星火计划(XH12015Y)资助

[作者简介] 李继业,男,1981 年生,硕士,工程师。主要从事地震活动性及地震预测方法的研究。

E-mail: JIYE_LI@126.com

1 “OLR”及数据处理

长波辐射(OLR)是指地-气系统向外层空间发射的电磁波能量,一般用长波辐射通量来表示,其物理量测单位是 W/m^2 。目前经常采用的 OLR 数据是由美国 NOAA 极轨气象卫星载荷的高分辨率辐射计通过对地进行扫描,在 $2 \sim 10\mu m$ 波段获得遥测数据,再经处理后提供的一种数字式产品。NOAA 卫星是太阳轨道卫星,绕极近 SN 向环绕地球一圈约 102min,红外波段星下点的分辨率可达 1.1km,扫描宽度为 2800km,对任一确定地区,卫星可每日飞经两次,对遥测数据进行多次空间平均后,可向用户提供便于计算处理的、按地理经纬网格 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 为间距的逐日平均和逐月平均 OLR 数据资料。由于 OLR 是基于红外波段遥测产出的结果,对海洋表层和近地面温度的变化响应最为敏感,因而对监测与“热”成因现象相关联的一些地学灾害征兆,不失为一种很理想的监测手段(刘德富等 2003)。

对长波辐射资料的处理主要包括:①距平化处理。将每月的长波辐射 OLR 值与该月的多年平均 OLR 值相减,并绘制等值线图,形成长波辐射距平场分布图;②涡度处理。为了找出变化幅度最大的高值点,在对 OLR 数据进行距平化处理的同时,还可对不同网格点数据与其相邻数据进行对比分析,形成长波辐射涡度场分布图。

考虑到强震孕育期以及地震短临预测的需要,本文搜集了 NOAA 卫星 30 多年的数据资料,在构造底图基础上以网格形式叠加了 OLR 信息场要素。对黑龙江及周边地区 OLR 物理量按月、季、年的多年尺度平均背景场的空间分布及变化特征,做了大量数据图像化处理和简要分析。在此基础上利用最新获得 OLR 信息,按月份、季度和年度进行涡度场处理、距平场处理,绘制长波辐射 OLR 场。由于数据的网格精度为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,相对于黑龙江省的面积,数据量相对较少,因而把研究区选定为 $117^\circ \sim 136^\circ E$ 、 $43^\circ \sim 55^\circ N$,主要包括黑龙江、吉林和内蒙古的部分地区,构造上属于黑龙江亚板块地区。本文应用 OLR 资料,系统分析了黑龙江及其邻近地区的 OLR 背景场特征及其变化规律,以期用辐射特征来揭示黑龙江及周边地区中强地震前震中附近高值辐射异常与地-气系统的变化关系。

2 黑龙江及其周边地区中强震前 OLR 空间扫描

本文采用涡度处理方法,找出变化幅度最大的极值点,对不同网格点数据与相邻数据进行对比分析,形成长波辐射涡度场分布图,进而研究区域上的变化幅度及区域中强地震前 OLR 场值的变化特征。本文研究了黑龙江及其周边地区 2003 年以来 8 次 4 级以上地震前 OLR 场值变化的情况,即 2004 年内蒙古东乌珠穆沁旗 5.9 级、2005 年黑龙江林甸 5.1 级、2008 年内蒙古阿荣旗 5.2 级、2008 年黑龙江龙江 4.6 级、2009 年黑龙江安达 4.5 级、2009 年黑龙江鸡东 4.1 级、2010 年黑龙江友谊 4.2 级和 2011 年黑龙江五大连池 4.2 级等地震,并重点对黑龙江林甸 5.1 级、内蒙古阿荣旗 5.2 级、黑龙江龙江 4.6 级等地震的 OLR 时空演化特征进行了分析,较为系统地介绍了正常背景场、地震前兆图像变化过程和异常信息。

图 1 为 2004 年 3 月 24 日内蒙古东乌珠穆沁旗 5.9 级地震前的 OLR 空间扫描结果,从中可发现 2004 年 2 月在内蒙古东部 $45^\circ N$ 、 $120^\circ E$ 点位出现辐射高值区,OLR 高值异常中心区涡度值为 $187W/m^2$,高出周边环境值 $60 \sim 130W/m^2$,该异常中心区域距离内蒙古东乌珠穆沁旗 5.9 级地震震中约 150km,OLR 高值异常出现时间与发震时间间隔 1.8 个月。地震

后 OLR 高值异常区消失,震中附近涡度值接近于地震前的背景值。

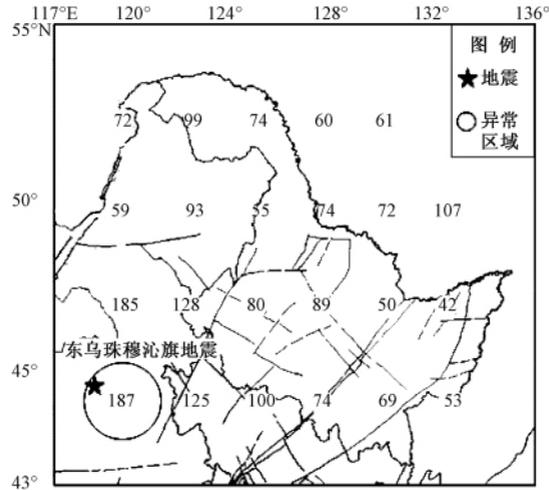


图1 2004年3月24日内蒙古东乌珠穆沁旗5.9级地震前
OLR空间扫描结果(扫描时间2004年2月)

图2为2005年7月25日黑龙江林甸5.1级地震前3个月的OLR空间扫描结果,从中可以发现2005年6月(图2(c))在黑龙江西部47.5°N、125°E点位出现辐射高值区,OLR高值异常中心区涡度值为 $60\text{W}/\text{m}^2$,高出周边环境值 $60\sim 100\text{W}/\text{m}^2$,与地震前正常背景场(图2(a)、2(b))相差约 $40\text{W}/\text{m}^2$,异常中心区域距离震中约110km,高值异常出现时间与发震时间间隔1.8个月。地震后(图2(d))OLR高值异常明显减弱,震中附近涡度值略高于地震前背景值。

图3为2008年6月10日阿荣旗地震和7月7日龙江地震前的OLR空间扫描结果,发现2008年5月(图3(b))在内蒙古东部50°N、122.5°E点位出现辐射高值区,OLR高值异常中心区涡度值为 $-45\text{W}/\text{m}^2$,高出周边环境值 $10\sim 70\text{W}/\text{m}^2$,与地震前正常背景场(图3(a))相差约 $40\text{W}/\text{m}^2$,异常中心区域距离震中约100km,高值异常出现时间与发震时间间隔1.3个月。地震后(图3(c))OLR高值异常持续后呈减弱趋势,这与随后发生的黑龙江龙江4.6级地震发震时间相差不到一个月,这可能与震中距离相对较近有一定的关系,OLR高值减弱后(图3(d))震中附近涡度值仍略高于地震前背景值。

从黑龙江龙江4.6级地震前的OLR空间扫描结果可发现,2008年6月(图3(c))在黑龙江和内蒙古交界地区47.5°N、125°E点位出现辐射高值区,OLR高值异常中心区涡度值为 $68\text{W}/\text{m}^2$,高出周边环境值 $20\sim 100\text{W}/\text{m}^2$,与地震前正常背景场(图3(a)、3(b))相差约 $60\text{W}/\text{m}^2$,异常中心区域距离震中约140km,高值异常出现时间与发震时间间隔1.2个月。地震后(图3(d))OLR高值异常明显减弱,震中附近涡度值略高于地震前背景值。

图4为2009年5月10日黑龙江安达4.6级地震前的OLR空间扫描,发现2009年4月在黑龙江和内蒙古交界地区47.5°N、122.5°E点位出现辐射高值区,OLR高值异常中心区涡度值为 $-140\text{W}/\text{m}^2$,高出周边环境值 $130\sim 230\text{W}/\text{m}^2$,异常中心区域距离震中约220km,高值异常出现时间与发震时间间隔1.3个月。地震后OLR高值异常区消失,震中附近涡度值接近于地震前背景值。

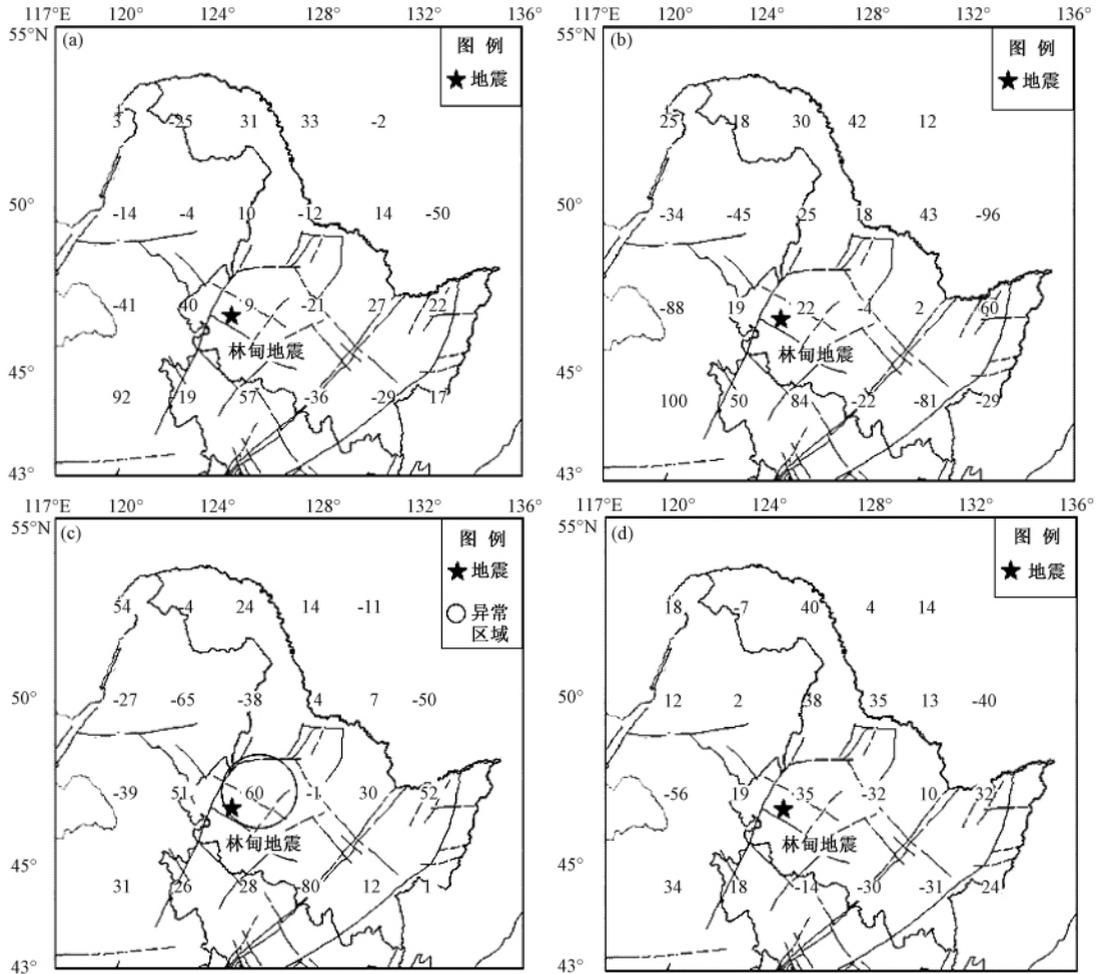


图2 2005年7月25日黑龙江林甸5.1级地震 OLR 空间扫描结果

(a) 2005年4月; (b) 2005年5月; (c) 2005年6月; (d) 2005年8月

图5为2009年12月19日黑龙江鸡东4.1级地震前的 OLR 空间扫描结果。发现2009年11月份在黑龙江东部 45°N、130°E 点位出现辐射高值区, OLR 高值异常中心区涡度值为 $68\text{W}/\text{m}^2$, 高出周边环境值 $30 \sim 90\text{W}/\text{m}^2$, 异常中心区域距离震中约 20km, 高值异常出现时间与发震时间间隔 1.6 个月。地震后 OLR 高值异常消失, 震中附近涡度值接近于地震前背景值。

图6为2010年3月10日黑龙江友谊县4.2级地震前的 OLR 扫描结果。发现2010年3月在黑龙江东部 45°N、132.5°E 点位出现辐射高值区, OLR 高值异常中心区涡度值为 $114\text{W}/\text{m}^2$, 高出周边环境值 $50 \sim 110\text{W}/\text{m}^2$, 异常中心区域距离震中约 160km, 高值异常出现时间与发震时间间隔 0.3 个月。地震后 OLR 高值异常明显减弱, 震中附近涡度值略高于地震前背景值。

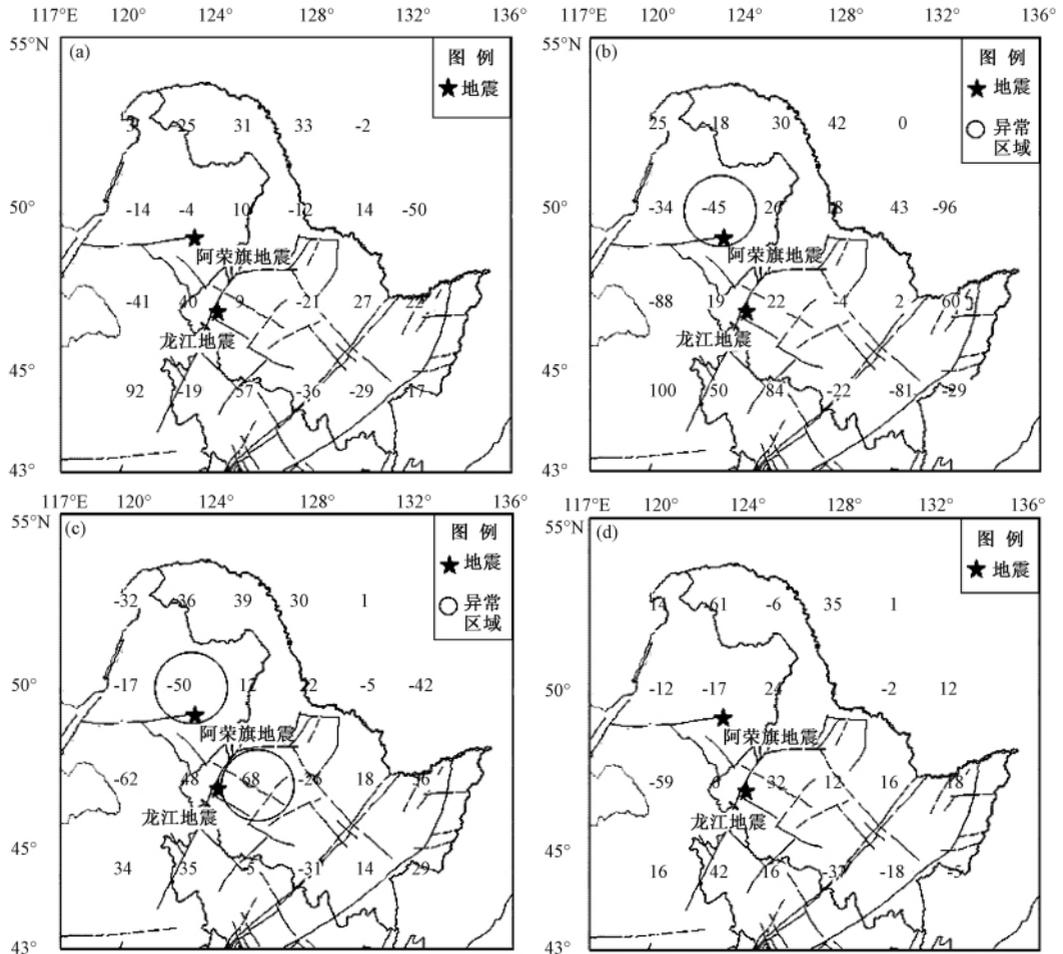


图3 2008年6月10日内蒙古阿荣旗5.2级、2008年7月7日黑龙江龙江4.6级地震前 OLR 空间扫描结果
(a) 2008年4月; (b) 2008年5月; (c) 2008年6月; (d) 2008年7月

图7为2011年1月15日黑龙江五大连池4.2级地震前的 OLR 空间扫描结果。发现2010年12月在黑龙江中部 47.5°N 、 130°E 点位出现辐射高值区, OLR 高值异常中心区涡度值为 $39\text{W}/\text{m}^2$, 高出周边环境值 $35\sim 65\text{W}/\text{m}^2$ 异常中心区域距离震中约 250km , 高值异常出现时间与发震时间间隔1.5个月。地震后 OLR 高值异常区消失, 震中附近涡度值接近于地震前背景值。

通过对黑龙江及其周边地区2003年以来8次4级以上地震前的 OLR 扫描, 发现震前在震中附近都有温度扰动较大的现象存在, 表明该地区的构造活动可能在增强。地震后 OLR 高值异常区普遍消失, 震中附近涡度值与震前背景值基本相当或略高, 也表明该区域的主要构造应力得到了释放, 地震后该地区恢复或接近于震前区域应力水平。OLR 空间扫描震例总结列于表1。

结合以上震例, 我们发现, OLR 的涡度处理空间扫描结果对黑龙江及其周边地区4.0级以上地震有较好的显示, 震中位置一般在高值点 250km 范围内(优势距离为 160km), 发

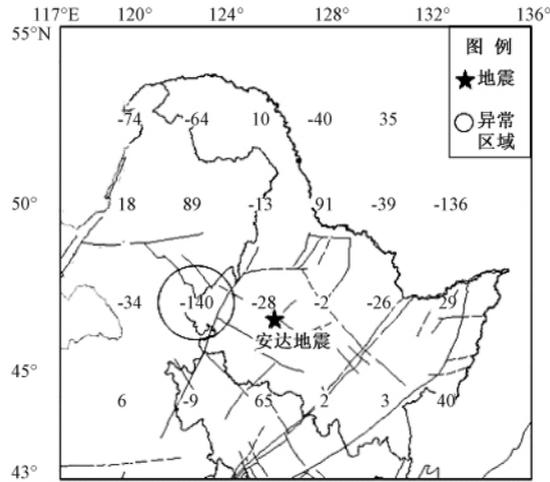


图 4 2009 年 5 月 10 日黑龙江安达 4.6 级地震前 OLR 空间扫描结果(扫描时间 2009 年 4 月)

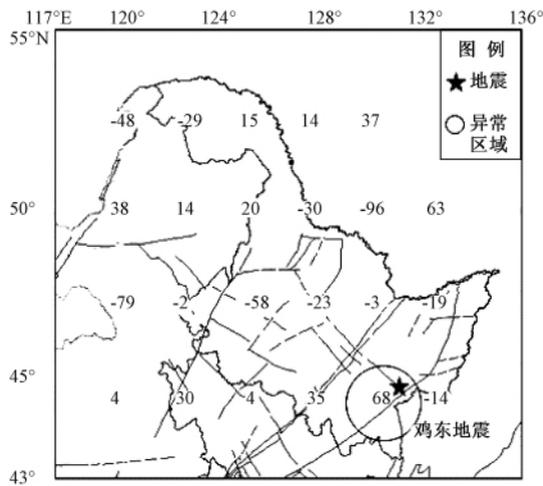


图 5 2009 年 12 月 19 日黑龙江鸡东 4.1 级地震前 OLR 空间扫描结果(扫描时间 2009 年 11 月)

震时间一般滞后 2 个月左右,最短仅有 10 天。

表 1

OLR 空间扫描震例总结表

高值异常时间 (年-月)	扰动高值点 北纬(°)/东经(°)	发震时间 (年-月-日)	震中位置 北纬(°)/东经(°)	距离差(km)	时间差(月)	地震前后 场值对比
2004-02	45.0/120.0	2004-03-24	45.4/118.2	150	1.8	接近
2005-06	47.5/125.0	2005-07-25	46.6/124.5	110	1.8	略高
2008-05	50.0/122.5	2008-06-10	49.1/122.4	100	1.3	略高
2008-06	47.5/125.0	2008-07-07	47.1/123.2	140	1.2	略高
2009-04	47.5/122.5	2009-05-10	46.5/125.2	220	1.3	接近
2009-11	45.0/130.0	2009-12-19	45.2/131.1	20	1.6	接近
2010-03	45.0/132.5	2010-03-10	46.7/131.7	160	0.3	略高
2010-12	47.5/130.0	2011-01-15	48.6/126.0	250	1.5	接近

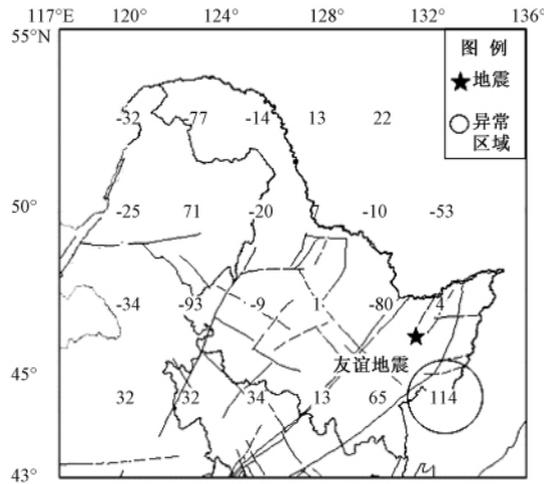


图6 2010年3月9日黑龙江友谊4.2级地震前 OLR 空间扫描结果(扫描时间2010年3月)

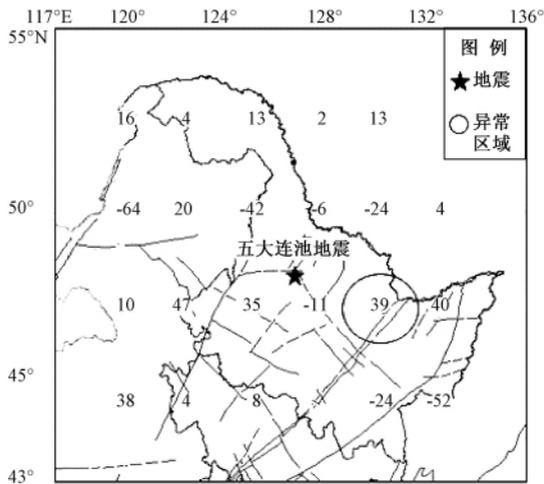


图7 2011年1月5日黑龙江五大连池4.2级地震前 OLR 空间扫描结果(扫描时间2010年12月)

3 OLR 值的同震异常成因探讨

目前关于震前热辐射异常成因的研究主要都是基于构造应力-应变能的释放过程。一次6级以上的地震,其孕震区较大,当孕震区演化到一定程度时,会出现一系列的变化(秦松涛等,2003)。如:地下气体溢出、地下电场、磁场的变化、地下温度的变化等等,这些变化影响了大气的吸收、散射等性质,从而对 OLR 数值产生影响。事实表明,1976年我国唐山地震震前5月份,致灾区(含北京、承德、天津、唐山等地)地面0cm处的月平均温度比多年平均值高出1.1~1.5℃,而其周围区域的同层地温均低于多年平均,为负值;尤其是致灾区范围内在地下0~320cm深度整层的地温测值都有明显增加,与卫星遥测该区所得到的热辐射增强特征完全相符;1976年5月29日云南龙陵大地震前,当地气象台也曾罕见地观测到长达10余天的大气增

温,特别是地下泉水的温度增加了 10°C ;1976年8月23日四川松潘7.2级大地震前,飞机在震区万米以上高空曾受到强烈电磁波(辐射)的干扰(刘德富等2003)。

邓明德等(1997)通过岩石加载试验模拟并测量“地震断层”破裂过程中的热效应(温度变化特征),发现随着围岩压强-岩石应变的加大,岩石的物理温度增高,并在裂隙(断层)产生处观测到显著的增温现象,多数情况下升温可达 $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。进一步的实验还证实,当围岩应力的增加速率大于 $3\text{MPa}/\text{min}$ 时,岩石内部因热量积累温度呈线性增加。并由此推论,在地壳运动大范围受力作用的背景下,随着孕震构造区应力应变的不断加强与集中,孕震区所在地块整体从震源至地表都将处于热能不断积累、温升不断增大的状态(相对非孕震区地块似一个形成的“热源”),这也是卫星遥感经常在孕震构造区域附近监测到热红外辐射增强的原因。

4 结论与讨论

(1)在判读震前OLR时,识别其空间分布的孤立特征非常重要,它往往与活动断裂的空间分布有关,可能表明了局部地区的热活动状态,揭示中强地震前震中及其附近地区高值辐射异常与地-气系统变化的关系,而非正常背景下大气环境或者太阳辐射引起的增强异常。

(2)OLR异常与地震强度有关,似乎是震级越大,异常量越大。在一些强震前震中附近较容易发现长波辐射的异常增强现象,如2004年内蒙古东乌珠穆沁旗5.9级地震前,OLR中心涡度值达到了 $187\text{W}/\text{m}^2$,2008年黑龙江龙江4.6级地震前OLR中心涡度值仅为 $68\text{W}/\text{m}^2$ 。但地震震级的大小与异常区的面积无明显关系。

(3)通过对黑龙江及其周边地区2003年以来8次中强地震长波辐射值OLR的追踪研究,发现震前2个月左右OLR场值出现明显的高值异常区域,未来震中在距离高值区中心点250km范围内(优势距离为160km)。期望该方法对黑龙江及其周边地区短期内4级以上地震的判定具有一定的参数价值。

参考文献

- 邓明德、耿乃光、崔承禹等,1997,岩石应力状态改变引起岩石热状态改变的研究,中国地震,13(2),179~185。
- 戴勇、丁风和、韩晓明,2009,基于小波包分析的OLR地震异常信息提取初探,地震,29(3),61~66。
- 耿乃光、邓明德、崔承禹等,1997,遥感技术用于固体力学实验研究的新成果,力学进展,27(2),185~192。
- 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。
- 荆凤、申旭辉、康春丽等,2009,中强震前的长波辐射异常震例研究,地震,29(4),117~122。
- 刘德富、罗灼礼、彭克银,1997,强烈地震前的OLR异常现象,地震,17(2),126~132。
- 刘德富、康春丽,2003,地球长波辐射(OLR)遥感与重大自然灾害预测,地学前缘,10(2),A27~A36。
- 刘善军、吴立新、李金平等,2007,台湾恒春地震前的卫星热红外异常特征及其机理,科技导报,25(6),32~37。
- 秦松涛、孙洪斌,2003,德令哈6.6级地震前卫星红外长波辐射OLR的分析,高原地震,15(3),A2~A4。
- 吴立新、王金庄,1998,煤岩受压红外热像与辐射温度特征实验,中国科学(D辑),28(1),A1~A6。
- 吴立新、刘善军、吴焕萍等,2002,地震红外遥感实验的热像处理系统与关键技术,红外技术,24(4),27~31。
- 温少妍、屈春燕、闫丽莉等,2011,区域红外亮温背景场建立方法及初步应用,地震,31(2),59~67。
- 张元生、郭晓、钟美娇等,2010,汶川地震卫星热红外亮温变化,科学通报,55(10),904~910。

Analysis of short-term earthquake anomaly for outgoing longwave radiation information

*Li Jiye*¹⁾ *Ren Jianhui*¹⁾ *Gao Feng*²⁾ *Hu Binsheng*¹⁾ *Meng Linglei*¹⁾

1) Harbin Technical Center of Earthquake Prevention and Disaster Reduction ,Harbin 150021 ,China

2) Earthquake Administration of Heilongjiang Province ,Harbin 150090 ,China

Abstract With a conversion of NOAA satellite data , OLR value is obtained to trace and study eight moderate strong earthquakes since 2003 in Heilongjiang sub-plate. The result shows that at the point of two months before the earthquake , high value anomaly areas appear in the OLR value , the future epicenter would be located in the high value area within 250 km , and the edge distance 160 km. Particularly , the method can be used to determine the earthquake of about $M_s4.0$ in Heilongjiang and its surrounding areas , and as a new way for the determination of the future possible seismicity region and short-term prediction.

Key words: **Outgoing longwave radiation** **Thermal infrared anomalies prior to earthquake**
Short-term prediction