

浅析长波辐射数值处理方法在判断 震前异常中的应用*

梁阿全

(黑龙江省地震局 牡丹江地震台, 黑龙江 牡丹江 157009)

摘要: 对4种常用的OLR数值处理方法如距平处理、涡度处理、5日滑动平均值法、小波包分解法与距平涡度综合处理进行对比研究, 分析各种方法适用范围和优缺点。结果表明: 距平法和涡度法能够反映区域内的总体状况, 属于宏观层面; 滑动平均法和小波包分解重构法都是针对某一震例, 应用范围较小。单一数值处理方法存在固有缺陷, 在试用中应结合区域实际情况, 结合各种方法的特性, 充分挖掘数据的使用效率。

关键词: 长波辐射; 数值处理; 地震异常

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)02-0155-05

0 引言

20世纪90年代, 刘德富和康春丽(2003)、康春丽等(2009)利用地气系统向外发射的长波辐射(OLR)资料开展地震预报研究, 在对资料分析提取的过程中发现了许多有价值的信息。大量的实例和实验结果表明, 强烈地震前震中区附近地表温度会出现异常(屈春燕等, 2007; 魏从信等, 2011; 刘放等, 2003), 对长波辐射异常信息的关注和研究可以作为地震预报的一个新手段和新方向。

1 理论方法

1.1 OLR简介

OLR (Outgoing Longwave Radiation) 是指地气系统向外层空间发射的电磁波能量密度, 又可称为热辐射通量密度, 其物理量单位是 W/m^2 。该物理量是以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, 经过对载荷仪器和测量数据的定位及定标处理后, 由普朗克公式计算出红外通道的亮度温度(简称“亮温”, 即等效黑体温度), 再将 NOAA 卫星红外窗区通道(窄波段)的测值与 NIMBUS-7 实验卫星获取的宽波段的总测值 ($5 \sim 50 \mu\text{m}$) 进行匹配, 以便将红外窗区窄波段测定的亮温值校正

到等效于宽波段的总测值, 最后依据“斯蒂芬玻尔兹曼”公式从被遥测目标的温度计算出相应的辐射通量密度, 即 OLR 数值(刘德富等, 1997)。

1.2 OLR 数据的信息提取方法

1.2.1 月距平法

距平法是用当月的数值减去历年来本地区的月平均值(刘德富等, 1997), 主要用于分析强烈地震前异常现象, 可以消除地温年变化对结果的影响, 公式表示为

$$\text{Average Value} = X_{i,j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1, j=1}^n X_{i,j}. \quad (1)$$

式中, $i, j \in n$ 。

1.2.2 涡度值法

涡度值法是用本地区的数值与周围东西南北4个方位的数值相减求差值(康春丽等, 2008, 2009)。该方法是目前处理 OLR 数据应用最广泛的一种方法, 可以很好地显示数值异常区域, 整体效果较好, 公式表示为

$$\text{Eddy value} = \frac{1}{4}(4X_{i,j} - X_{i-1,j} - X_{i+1,j} - X_{i,j-1} - X_{i,j+1}). \quad (2)$$

式中, $i, j \in n$ 。

1.2.3 五日值平均法

五日滑动平均法是气象学的一种数据处理方

* 收稿日期: 2012-03-06.

法,指在一个长序列的逐日资料中,按日值序列,从第1天到第5天,第2天到第6天,第3天到第7天……,每相应5天的数值计算其平均值,由此得到的序列称为五日滑动平均值。荆凤等(2009b)将其应用于 OLR 数据处理中,取得了较好的效果,五日滑动平均法可以消除不稳定的波动,显示出变化的平稳性,充分利用现有数据,公式表示为

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{5}(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5), \\ B &= \frac{1}{5}(X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6), \\ C &= \frac{1}{5}(X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7). \end{aligned} \quad (3)$$

1.2.4 小波包分解法

用小波包方法对震前一段时间 OLR 数据进行分解,从中提取异常的特征信息(王亚丽等,2008)。该方法对中强地震效果比较明显,对于小地震异常变化不明显(戴勇等,2009)。

还有一些其它方法,如分季节研究中国大陆长波辐射空间分布特征,建立以背景场为基础的地震异常信息提取等(荆凤等,2009a)。

2 OLR 数值处理方法对比分析

OLR 数值受到的影响因素较多,由于地球上海陆性质的差异,不仅受到构造活动的影响,还受到大气、太阳以及地形植被等多种因素的干扰,地震前异常的表现形式和异常时间各不相同。

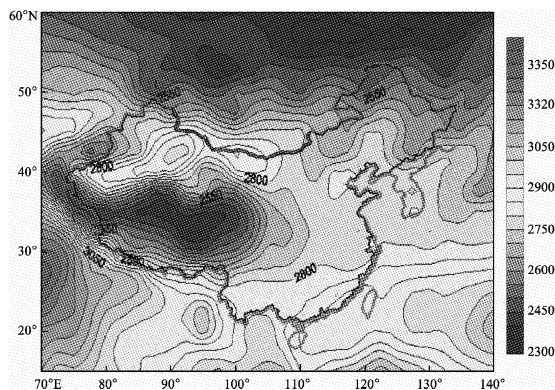


图1 2008年全国OLR原始数据累计分布图

Fig. 1 Distribution of OLR original data accumulation in 2008 in China

图1显示2008年我国OLR数值分布图,可以看出数值从高纬到低纬,从高海拔到低海拔的递增,数值曲线与纬线和等高线方向大致平行,数值逐渐递减,变化明显处多为地形剧烈变化的地方,如喜马拉雅山南面以及青藏高原四周边缘,可见地形地貌是影响OLR数值的一个重要因素,但从图中无法分辨海陆状况,无法判断地震前数值异常变化的区域。

2.1 距平处理

图2为2008年全年OLR数据距平处理后分布图,将12个月的数据分别与每个月数据均值相减,累加得出2008年距平分布图。距平处理后,一定程度上消除了原始数据受纬度和地形的影响,较好地体现了海陆性质的变化,表现出一定的区域差异。

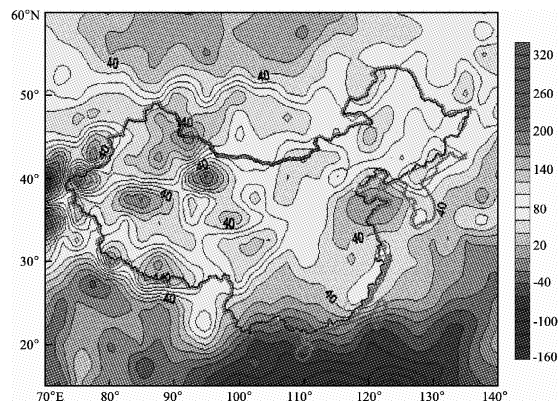


图2 2008年OLR数据距平处理分布图

Fig. 2 Distribution of difference processing between OLR data and average values in 2008

图2中红点表示2008年中国境内 $M_s \geq 6.0$ 地震(数据来源于中国地震台网中心),除台湾地区的大洋边缘和东北地区的深震(大洋地震、深震异常与大陆地震表现不一致),绝大部分地震都发生在西部地区,大都是在OLR数值剧变的区域,与图例所示构成了较好的对应关系。

需要注意的是,距平处理方法并不能完全消除外在因素的干扰影响,因为历年月平均值的计算本身就存在一定偏差。本文中月均值计算采用1974~2008年35年间累计月数据平均值,其中排除1978年4~12月缺数,月均值计算中既包含了某些地区震前的高值异常,也包含了月数据受到季节和年度变化大气扰动,且无法与这两种主要干扰建立对应关系并将其排除在外。因此距平处理的结果不够精确。

2.2 涡度处理

图3为2008年OLR累计数值涡度处理分布图。涡度处理意义在于找出一定时间区域OLR数值的高低差异,突出显示数值异常剧烈变化的区域。本文将涡度算法做了一定改进,图3a为计算网络4个方向的数值,图3b为计算网络8个方向的数值,以使得数据差异显示的更加突出,公式表示为

$$\text{Eddy value} = \frac{1}{4}(4X_{i,j} - X_{i-1,j} - X_{i+1,j} - X_{i,j-1} - X_{i,j+1}), \quad (4)$$

$$\text{Eddy value} = \frac{1}{8}(8X_{i,j} - X_{i-1,j} - X_{i+1,j} - X_{i,j-1} - X_{i,j+1} - X_{i-1,j-1} - X_{i+1,j-1} - X_{i-1,j+1} - X_{i+1,j+1}). \quad (5)$$

式中, $i, j \in n$ 。

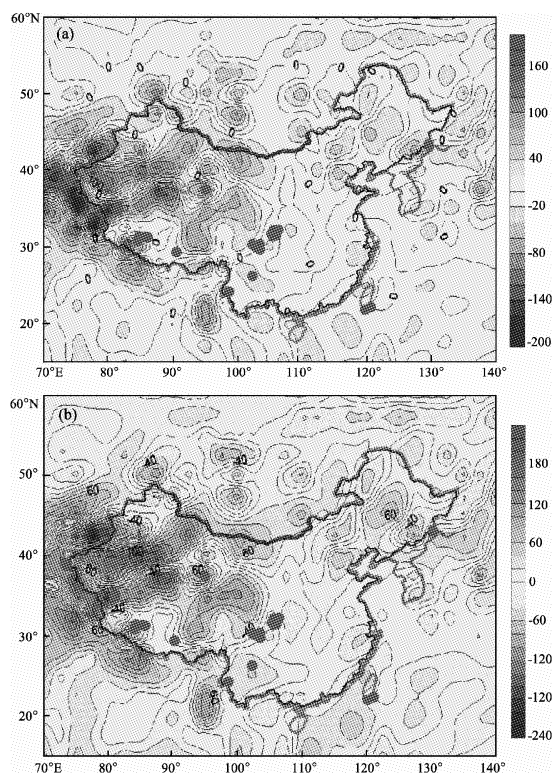


图3 2008年OLR数据涡度分布图

(a) 4个方向; (b) 8个方向

Fig. 3 Eddy distribution of OLR data in 2008

(a) in 4 direction; (b) in 8 direction

OLR涡度值变化区域,即图中颜色迅速变化处,其剧烈程度与震级基本正相关,但不完全拟合,如汶川地震震中(30°N, 120°E),并不是涡度变化最激烈的区域。涡度处理图清晰明确,整体效果较好,但不能排除年季变化和地形天气等

因素的干扰。

涡度处理后的OLR数值仍然受到高山湖泊、城市矿场、台风降水等多种多样的外在因素的影响。我国地域辽阔,OLR数值处理方法并不是对所有地区都普遍适用,选取海陆状况单一、地表形态、年季气候差异不大的区域进行研究,效果较好,比如在青藏高原、青海新疆等广阔的西部地区。

2.3 距平涡度综合处理

距平、涡度方法都有不足,笔者尝试将两者结合起来,图4是改进的涡度算法处理分布图。将2008年1~4月、5~12月原始数据按月处理,每个月数据分别减去各自平均值,然后作8个方向涡度处理累加求得,相当于原始数据距平后再涡度处理。

距平处理排除年季扰动,涡度处理突出高低值差异,距平后再涡度的处理方式比较客观地反映了年度数据的变化情况。图4a中,震中位置与数值剧烈变化处基本相对应,尤其西部地区的对应关系比较理想,很好地反映了发震前异常的现象。

图4中椭圆形是汶川地震的发生区域,震前该地区数值变化差异明显,震后差异消失,数值迅

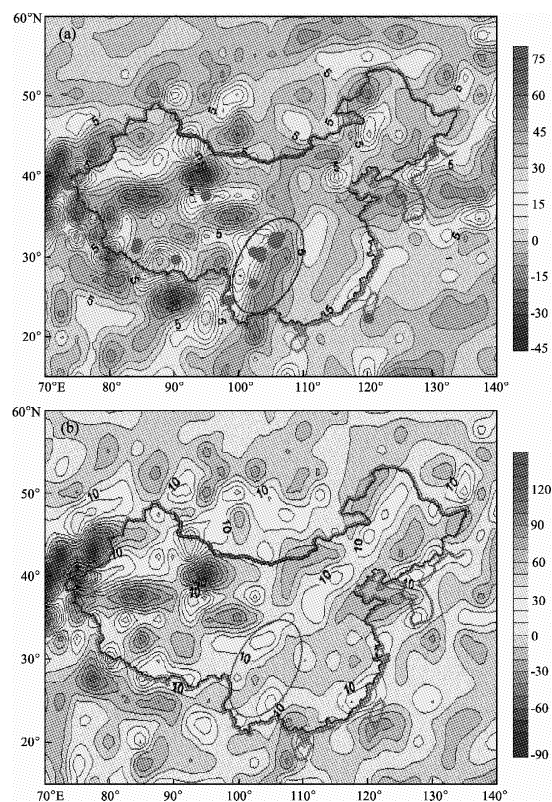


图4 OLR数值距平处理后涡度分布图

(a) 2008年1~4月; (b) 2008年5~12月

Fig. 4 Eddy distribution after difference processing between OLR data and average values in 2008

速衰减。可以初步理解为大地震前聚集能量，地震时集中释放，震后短时间内即恢复到原来的水平。尽管汶川地震无论从震级还是释放的能量都很大，但从全国范围来看，变化最剧烈的区域并不是震级最大的区域，因此说明了数据源受到多种因素的影响和干扰，想要精确弄清震前热红外辐射异常，还要结合区域特点，如地形、气象等资料综合分析。

2.4 5 日滑动平均值法

滑动平均能够消除一些如季节、气温等小尺度干扰因素，显示时间序列上的变化趋势。取地震前后 3 个月左右时间段，OLR 数值和历年该区域内平均值作为时间序列，两者都进行五日滑动处理；然后将其两者差值与其标准差进行比较，以大于 0.5 倍标准差为判断异常的基准。

采用美国国家海洋大气局网站 (<http://www.noaa.gov/>) 分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 逐日观测数据，震例选取 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s 8.0$ 地震，震中位于 ($31.01^\circ N$, $103.42^\circ E$)，选取距离震中最近的网格点数值。

图 5a 中实线部分表示 OLR 原始时间序列五日滑动处理后的结果，加号线表示该点历年均值五日滑动处理后的结果，只是数值初步处理，杂乱无序，看不出明显的异常变化。图 5b 中实线表示原始数据与均值分别五日滑动处理后的差值，虚线表示背景值，即 ± 0.5 倍标准差。图中椭圆的区域为两处高值异常区，第一处为主震发生前 40 天左右，4 月 3 日达到最大峰值；第二处最大余震前 33 天左右，7 月 4 日达到最大峰值（荆风等，2009a, b）。

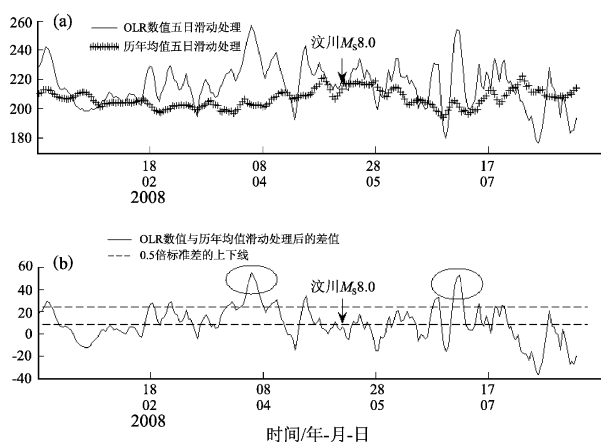


图 5 汶川地震 OLR 时间序列

Fig. 5 Time series of OLR data of Wenchuan $M8.0$ earthquake

2.5 小波包分解

小波包分析具有多分辨率分析的特点，在时频两域具有表征信号局部特征的能力，可以利用小波包方法将特定点热红外辐射信息的时间序列分解成不同频带的信号，研究各频带的能量变化规律，检测地震事件前兆的异常信号。

本文采用美国国家海洋大气局网站 (<http://www.noaa.gov/>) 分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 逐日观测数据，用 Daubechies 母波进行小波包分析。震例选取 2008 年 3 月 20 日新疆南部 $M_s 7.5$ 地震，震中 ($35.64^\circ N$, $81.54^\circ E$)。取 2007 年 10 月 1 日至 2008 年 3 月 31 日，共 183 天的 OLR 数值进行小波包分解重构。

图 6 为 db 小波四层分解重构后的信号，可以看出信号表现出了不同程度的准周期性变化规律，震前 100 天左右，从 2007 年 10 月 29 日至 2008 年年 2 月 3 日，大约 35 天能量严重衰减，而且这种严重衰减在研究时段内没有重复出现，初步判断是某种特定的震前突发因素造成（王亚丽等，2008）。

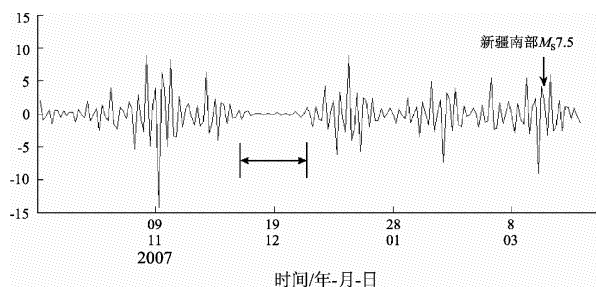


图 6 2008 年 3 月 20 日新疆南部地震小波包分解重构信号

Fig. 6 Reconstructing signal after the wavelet packet decomposition of earthquake on Mar. 20, 2008 in south Xinjiang

3 OLR 数值特征与震前异常分析

以上 4 种 OLR 数值处理方法都是前人学者研究并广泛使用的方法。本中对涡度法进行了一定改进，由原来 4 个方向改为 8 个方向；另外尝试将距平法和涡度法综合运用，从效果来看，初步达到了实验目的。

从数值异常与地震的对应关系来看，距平法和涡度法能够反映区域内的总体状况，属于宏观层面，如图 3、图 4 中的西藏南部、四川汶川等地区均是高低值迅速变化的区域。

滑动平均法和小波包分解重构方法都是针对某一震例,对某一小区域或网格点进行数据重采样处理。滑动平均法的应用范围较小,会有异常不明显的情况出现(荆风等,2009a,b);小波包方法应用某经纬度网格点数值,数据来源有限,对大震异常效果相对较好,一些中强地震前能量衰减不明显,即发生异常遗漏的可能(王亚丽等,2008)。

单一的 OLR 数值应用,可以先根据涡度图判断异常区域,有针对性的重点监测。然后用滑动平均法和小波包分解法对该区域进一步细化研究。

4 结论

(1) 从全国范围效果图来看,我国新疆、西藏和青海等部分地区,地震异常与 OLR 涡度异常对应最为明显。原因可能有以下两点:① 内陆地区远离海洋,没有海洋潮汐、热带气旋和台风等干扰;② 西部地区面积广阔,地形单一,人为活动影响较少。

(2) 总体来说 5 种数值处理方法都存在探测的盲区和需要进一步深入研究的地方,OLR 数据只是卫星红外波段的数据产品,有很大的局限性,本文的缺点也是数据来源单一,缺乏地震区域地形、气象、水文地质等资料的支持,会遗漏一些影响长波辐射数值的重要因素,需要进一步改进。

(3) 长波辐射数值受到地形、大气降水、植被地貌等多种因素的共同影响,不确定因素较多。各种数据处理方法都应尽量避免其它因素的干扰,随着深入开展的研究,希望针对某一区域,结合当地的气象、水文和地质等条件综合分析,逐渐建立与区域地形地貌相符的预测模型。

参考文献:

- 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[J]. 地震,29(3):61-66.
- 荆风,申旭辉,康春丽. 2009a. 中国大陆地区卫星长波辐射背景场特征初步分析及震例研究[J]. 地震,29(增刊):90-97.
- 荆风,申旭辉,康春丽. 2009b. 中强地震前的长波辐射异常震例研究[J]. 地震,29(4):117-122.
- 康春丽,韩延本,刘德富. 2008. 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,32(6):1703-1708.
- 康春丽,张艳梅,刘德富. 2009. 汶川 8.0 级大地震的长波辐射征象[J]. 地震,29(1):116-120.
- 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[J]. 地学前缘,10(2):427-435.
- 刘德富,罗灼礼,彭克银. 1997. 强烈地震前的 OLR 异常现象[J]. 地震,17(2):126-132.
- 刘放,程万正,但尚铭. 2003. 卫星遥感热红外辐射信息与云南永胜 6.0 级地震[J]. 地震研究,26(2):120-125.
- 屈春燕,单新建,马瑾. 2007. 地震活动热红外异常的影响因素分析[J]. 地震研究,30(2):113-119.
- 王亚丽,陈桂华,康春丽. 2008. 利用小波包分析进行地震相关热红外辐射异常信息监测[J]. 地球物理学进展,23(2):368-374.
- 魏从信,张元生,惠少兴. 2011. 2009 年 8 月 11 日安达曼群岛 $M_s7.5$ 地震热红外变化[J]. 地震研究,34(2):153-157.

Application Analyze of Several Longwave Radiations Numerical Methods on Judging Abnormity before Earthquakes

LIANG A-quan

(Mudanjiang Seismic Station, Earthquake Administration of Heilongjiang, Mudanjiang 157009, Heilongjiang, China)

Abstract

We compared the four common numerical processing method of OLR (outgoing longwave radiation), such as monthly mean processing, eddy processing, 5-days sliding average value method, wavelet packet decomposition with the comprehensive processing of monthly mean and eddy, and analyzed the applicable range and advantages and disadvantages of these methods. The results show that monthly mean and eddy methods could reflect the overall situation in the region, it belongs to macro level. The 5-days sliding average value and wavelet packet decomposition methods in small application range are applied to an earthquake case. Because of inherent defect of the single numerical method, we should combine the characteristics of various methods and improve the using efficiency of the data according to the actual situation in the area.

Key words: longwave radiation; numerical processing; seismic anomaly