

地震预测的可行技术途径

刘德富¹, 康春丽²

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036; 2. 中国地震台网中心, 北京 100045)

[摘要] 地震预测是一项社会公益事业, 然而由于技术的原因目前还不能做出成功预报, 当前应认真研究以适应社会对地震预测的需求。为研究2008年“5·12”汶川8级地震预测的可能性, 基于地震自身的信息提出了一种数值建模预测地震震级方法, 以及依据卫星遥感射出长波辐射信息预测蕴震地区的方法。其结果表明该方法是地震预测技术的一个可行的途径。

[关键词] 地震; 长波辐射; 数值建模; 预测

[中图分类号] P315.75 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)06-0159-07

1 前言

地震能否预报的问题, 社会虽十分关切但科学上争议却很大, 至今未能有实质性突破。2008年5月12日, 四川省汶川地区8.0级特大地震在未能预报而突然发生后, 有关地震预报的问题再次引起社会的激辩。不少从事地震预报的科技人员和国内外学者, 面对社会的质疑认为, 地震预测之所以是世界性难题, 主要有五点: a. 地震震源深度的不可入性; b. 大地震的非频发性; c. 地震过程的复杂性; d. 地震是浑沌现象不可预测; e. 地震三要素即发生的地点、震级强度和时间的预报能效低等。这些观点, 虽然是依据现实地震监测预报的科技能力和实际水平得出的, 但也并非无懈可击。

众所周知, 地震的蕴育发生与地球地壳在不断地、非均匀地运动有关, 其间既有壳内、外介质的移转, 也有能量流的传输、转化和相互作用, 是一种在开放系统环境中自然发生的现象。对一个开放系统中的地震行为, 要预报在何时、何处、有多大震级强度(地震三要素)虽非易事, 但并未难到不可预报的程度。蕴震震源区虽不可入, 但随着能量流的积累、传输和转化, 有可能在近地表显示出如地壳形变场、重

力场、电磁场、应力应变场、流体动态场、热辐射场等物理过程的前兆性征象, 这些征象是诊断地震在何处蕴育的重要信息。大地震虽然不经常发生是小概率事件, 但中强震活动经常发生, 且与大地震活动之间不仅基本遵循“古登堡定律”而且有着显著的“自律”性特征^[1], 根据这种特征就可以通过建立动态数学模型, 对未来将要发生的地震趋势包括震级强度要素做出较精细的数值化预报^[2]。地震活动虽然是一种自组织临界现象具有“浑沌”特征, 但其行为变化不仅敏感“初条件(状态)”而且临界时刻附加的微小“涨落”就可以导致行为发生“突变”, 利用这一非平衡状态下的物理学原理就可能预报临震的时间要素。

提高地震预报社会效能, 关键在如何预报强破坏性地震事件发生的三要素, 而对于强震事件的要素性预报, 企图在震前某时段一次性同步做出是很难的, 因为地震蕴育—发生过程的不同阶段有不同的物理表象特征。对某一确定地区(如全国范围或某省、某构造地域范围), 防震减灾决策者的合理性战略战术部署, 首先是要考虑该地区是否有强震事件在蕴育, 其次是强震最可能在何部位发生, 最后是该部位最可能发震的时段。按照此战略战术部署的需求, 强震事件的预报应分要素、按照“震级—地

[收稿日期] 2009-03-25

[作者简介] 刘德富(1938-), 男, 黑龙江哈尔滨市人, 中国地震局地震预测研究所研究员, 主要从事空间环境与地震监视预报研究;
E-mail: defu_8@yahoo.com.cn

域—时间”序次逐步做出,如此才有可能将地震预报的能效提升到社会可信任和应用的程度。

对此,文章提出一种按地震事件三要素序次、分不同时段逐步进行“震级强度预告—蕴震地区预测—临震事件预报”的技术诊断和预测方法,并以四川省汶川 8 级特大地震的发生为例讨论了该技术方法的可行性。

2 震级强度的诊断预告方法

2.1 方法的原理

设地震震级(X)随时间(t)的变化与其状态函数 F 有下式关联:

$$\partial X/\partial t = F(a, x, t) \quad (1)$$

积分式(1)得到

$$\int \partial X/\partial t = \int F(a, x, t) \quad (2)$$

式(2)左端代表地震震级不同时刻状态的取值,右端为依从地震状态函数 F 不同时刻的累计效应。未来地震的行为状态 X 若与前期地震行为的自激励变化有关,则式(2)可改写为:

$$X_n = a_0^{(j)} + \sum_{i=1}^{k_j} a_i^{(j)} X_{n-i} + \varepsilon_n^{(j)}, r_{j-1} < X_{n-d} < r_j \quad (3)$$

$$j = 1, 2, \dots, l$$

式(3)中, X_n 是时间序列 $\{X_n\}$ 在 n 时刻的取值, k_j 为第 j 个 AR(k_j)模型的阶数, a_i 和 ε_n 分别是第 j 个 AR(k_j)模型的系数和残差, r 为门限值, d 为延迟关联参数。

文章称式(3)为《地震自激励门限自回归模型》^[2]。按此模型,可对任何确定区域的已知地震活动信息序列的自然结构,选择并输入与其结构相应的特征参数(包括预置的阶数、门限值阈、延迟参数),按式(3)进行选、建模计算便可得到未来该确定区域地震震级的预测结果。

2.2 应用实例

2008 年 5 月 12 日,在四川省汶川地区突发 8.0 级特大灾害性地震。对此次地震的震级预测问题,文章尝试通过建立数学模型,首先对中国大陆区域 2008 年度的地震活动总趋势及可能达到的最高

震级强度,研究如何进行形势预告;然后针对四川省 2008 年度、2008 年上半年度(1—6 月)、2008 年第 2 季度(4—6 月)的震级强度研究如何做出“区域预警”。

2.2.1 2008 年中国大陆区域地震形势预告的建模研究

依据建模预测的目标是地震趋势即强度水平的变化,文章选取中国大陆区域 1920—2007 年年最高震级实况构造出如表 1 所示的一维时间序列 $N = 88$;再对此序列进行 3 年滑动平均预处理后,得到如表 2 所示的应用信息,时间序列 $N = 86$ 。

表 1 1920—2007 年中国大陆年最高震级实况序列($N = 88$)

Table 1 The yearly maximum earthquake magnitude series in Chinese Mainland 1920—2007

1920—2007 年中国大陆年最高震级实况序列
8.5,6.5,6.5,7.3,7.2,7.0,6.2,8.0,6.0,6.5,6.5,8.0,7.6,7.5,7.0,6.5
6.7,7.0,6.2,6.0,7.3,7.0,6.7,6.5,7.2,6.2,7.2,7.7,7.3,7.2,8.6,8.0
7.5,6.2,7.2,7.5,5.7,6.5,6.5,6.7,6.7,6.8,6.8,7.0,6.6,6.6,7.2,6.8
5.7,7.4,7.8,6.7,6.2,7.6,7.3,7.3,7.8,6.6,6.4,6.8,6.6,6.9,6.6,6.7
6.2,7.1,6.5,6.4,7.4,6.6,7.0,6.5,6.5,6.6,7.3,7.3,7.1,7.5,6.6,5.6
6.6,8.1,5.9,6.8,6.7,6.5,5.6,6.4

表 2 1922—2007 年中国大陆年最高震级 3 年滑动平均趋势信息列($N = 86$)

Table 2 By three years mean series of the maximum earthquake magnitude in Chinese Mainland 1922—2007

1922—2007 年中国大陆年最高震级 3 年滑动平均趋势信息列
7.2,6.8,7.0,7.2,6.8,7.0,6.7,6.7,6.2,6.8,7.4,7.7,7.4,7.0,6.8,6.9
6.9,6.6,6.5,6.8,7.0,6.8,6.8,6.7,6.9,7.1,7.4,7.4,7.7,8.0,8.0,7.3
7.0,7.0,6.8,6.7,6.3,6.8,6.7,6.8,6.8,6.9,6.8,6.7,6.8,6.9,6.6,6.6
7.0,7.3,6.8,6.8,6.9,7.3,7.4,7.2,6.9,6.6,6.6,6.8,6.7,6.8,6.5,6.7
6.6,6.5,6.5,6.6,7.0,6.7,6.8,6.6,6.9,7.0,7.2,7.3,7.1,6.6,6.3,6.8
6.9,6.9,6.5,6.7,6.3,6.2

依据表 2 序列信息,按式(3)模型选择控制参数进行建模运算,优选出延迟参数 $d = 17$ 为最佳预测中国大陆 2008 年度地震震级(M_i)的计算方程即:

$$M_{(i)} = \begin{cases} 3[6.686 + 0.768M_{i-1} - 0.152M_{i-2} - 0.509M_{i-3} + 0.376M_{i-4} - 0.046M_{i-5} - 0.186M_{i-6} \\ + 0.214M_{i-7} - 0.437M_{i-8}] - M_{(i)-1} - M_{(i)-2} & \text{如果 } d-17 < 6.9 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\begin{cases} 3[0.728 + 0.955M_{i-1} - 0.055M_{i-2} - 0.152M_{i-3} + 0.625M_{i-4} - 0.417M_{i-5} - 0.515M_{i-6} \\ + 0.452M_{i-7}] - M_{(i)-1} - M_{(i)-2} & \text{如果 } d-17 > 6.8 \end{cases} \quad (4.2)$$

式(4)中, $M_{(i)}$ 代表 2008 年地震震级预测值, $M_{i-1}, M_{i-2}, \dots, M_{i-7}, M_{i-8}$ 分别代表预测年前的 2007 年, 2006 年—2000 年地震趋势信息值(见表 2 序列), $M_{(i)-1}, M_{(i)-2}$ 分别为预测年前第 1 年和第 2 年的震级实况值(见表 1 序列), $d-17$ 代表预测年前第 17 年的 M 值, 该值如果小于 6.9 级则用方程(4.1)计算预测震级值(预测误差 0.3 级), 如果大于 6.8 级则用方程(4.2)计算(预测误差 0.4 级)。从表 2 信息列可知, 2008 年前第 17 年的震级阈值为 6.7 级(即 $d-17=6.7$), 应用方程(4.1)代入相应的信息值进行建模计算, 得到预测 2008 年地震震级趋势及强度的结果是:

$$M(2008) = 3[6.686 + 0.768(6.2) - 0.152(6.3) - 0.509(6.7) + 0.376(6.5) - 0.046(6.9) - 0.186(6.9) + 0.214(6.8) - 0.437(6.3)] - 6.4 - 5.6 = 3[6.63] - 12.0 = 7.89(\pm 0.3) \text{ 级}$$

即从总形势上可预告 2008 年中国大陆地震活动最高震级期望值水平可达 7.9 级, 该结果与 2008 年 5 月 12 日四川省汶川发生的 8.0 级特大地震实况基本相符。

2.2.2 2008 年四川省地震震级建模预测研究

在前述预测中国大陆范围内 2008 年有大震趋势预告背景下, 又最可能在某一省区发生并做出预测的问题, 可以同样依据某确定省区范围的地震活动特征, 进行建模计算并做出预测。文章以四川省为例, 首先分析了四川省特征性地震活动自身演变的时序结构, 然后分别对四川省 2008 年度、2008 年上半年和 2008 年第 2 季度的震级强度水平, 同样按自激励原理进行了建模预测, 其结果是:

1) 四川省强震活动, 存在有显著的“自然律动(自律性)”结构。笔者曾在 1989 年《中国科学》^[1] 发表过 1950—1985 年期间四川省 5.8 级以上强震事件的“自律”结构特征, 按此特征延时 23 年后至 2008 年 5 月 12 日汶川 8 级特大地震的发生, 7 级以上大震事件的自然律动节奏仍然未变。图 1 是 1950—2008 年汶川地震前四川省 5.8 级以上地震事件的序次结构图。从图 1 可以看出, 在总计 58 年发生的 32 次事件中, 7 级以上(含 6.9 级)到 8 级大震有 6 次, 两次大震之间需历经 5.8 级以上强震事件的次数均为 (8 ± 1) 次。例如序号 3(1955 年 4 月康定 7.5 级) - 序号 11(1973 年 2 月炉霍 7.6 级) - 序号 19(1976 年 8 月松潘 7.2 级)、序号 16(1976 年松潘 7.2 级) - 序号 23(1981 年 1 月道孚 6.9 级) -

序号 32(2008 年汶川 8.0 级) 等都以 8 次为节奏而律动发生, 当然也可视为有 (12 ± 1) 次的律动节奏。大震事件显示出的这种自然演进特征, 表明地震活动具有“自激励性”, 可以依据地震活动的自身信息对其未来的行为走向做出预测。

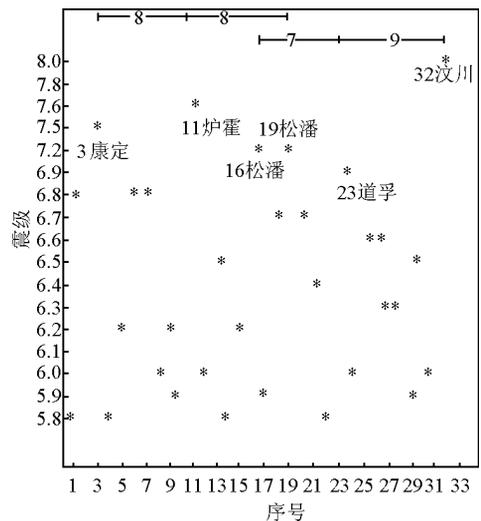


图 1 四川省 5.8 级以上地震事件序列结构图(1950—2008 年)

Fig. 1 The events - series structure of Magnitude ≥ 5.8 in Sichuan Province from 1950 to 2008

2) 2008 年年度地震震级建模预测, 应用四川省 1965—2007 年每年的年最高震级实况信息(表 3) $N=43$ 。

表 3 1965—2007 年四川省年最高震级实况序列
Table 3 The yearly maximum earthquake magnitude series in Sichuan Province 1965—2007

1965—2007 年四川省年最高震级实况序列	
5.1, 4.8, 6.8, 5.7, 5.3, 6.4, 5.8, 5.8, 7.6, 5.9, 6.3, 7.2, 4.9, 5.1, 5.0, 5.8	
7.1, 6.0, 4.6, 3.2, 4.6, 5.7, 3.8, 5.2, 6.7, 5.1, 5.0, 4.5, 5.0, 5.7, 5.1, 5.5	
3.8, 4.5, 5.0, 4.3, 6.0, 5.3, 5.0, 4.1, 5.3, 4.4, 4.0	

经平滑预处理后, 依据式(3)模型进行选建模计算, 得到最佳年度预测方程及震级(M)预测结果:

$$M(2008) = 3[1.374 + 0.385(4.6) + 0.587(4.6) + 0.632(4.8) - 1.087(4.8) + 0.474(5.4) - 0.166(5.2)] - 4.0 - 4.4 = 3[5.4] - 8.4 = 7.8(\pm 0.2) \text{ 级}$$

即 2008 年度四川省地震震级期望值最高可达 8 级水平。

3) 2008 年上半年地震震级建模预测, 应用四川省 1970—2007 年每半年尺度最高震级实况信息(表 4) $N=76$ 。

表4 1970—2007年半年尺度最高震级实况序列

Table 4 The maximum earthquake magnitude series of the half-year scale from 1970 to 2007

1970—2007年半年尺度最高震级实况序列
6.4,5.5,4.6,5.8,5.2,5.8,7.6,6.5,5.9,5.7,6.3,4.7,4.5,7.2,4.9,3.8,4.9 5.1,4.5,5.0,5.8,3.9,7.1,4.2,6.0,3.9,3.9,4.6,3.2,3.1,4.6,3.3,4.1,5.7 3.8,3.3,5.2,4.1,6.7,6.6,5.1,4.5,5.0,3.4,4.3,4.5,3.7,5.0,3.9,5.7,5.1 3.7,5.4,5.5,3.8,3.7,4.5,3.4,3.4,5.0,4.0,4.3,6.0,4.0,4.1,5.3,4.1,5.0 4.0,4.1,4.5,5.3,4.2,4.4,4.0,3.8

经平滑与处理后,依据式(3)模型进行选建模计算,得到最佳半年尺度预测方程及震级(M)预测结果:

$$M(1-6月/2008) = 3[-0.296 - 0.033(4.1) - 0.129(4.2) - 1.208(4.6) + 2.492(4.7) - 1.808(4.6) + 2.942(4.2) - 2.182(4.4) + 1.984(4.4) - 0.417(4.8) - 0.742(4.5) + 1.160(4.5) - 0.623(4.7) - 0.429(4.8) + 1.531(4.8) - 0.194(4.4) - 1.074(4.1)] - 3.8 - 4.0 = 3[5.3] - 7.8 = 8.1(\pm 0.1)级$$

即四川省2008年上半年最高震级期望值可达8.2级。

4)2008年第2季度地震震级建模预测,应用四川省1970年第1季度—2008年第1季度共计153个季尺度最高震级实况,按照每3个季度做滑动平均得到如表5所示,信息序列N=151。

表5 1970年第1季度—2008年第1季度四川省季度平均最高震级信息序列

Table 5 The maximum earthquake magnitude series of season average in Sichuan (from the first season of 1970 to the first season of 2008)

1970年第1季度—2008年第1季度四川省季度平均最高震级信息序列
5.3,5.0,5.2,4.4,4.5,4.6,4.8,4.6,4.9,5.2,6.0,5.9,6.5,5.6,5.8,5.3,5.6 5.5,5.9,5.4,4.5,4.0,4.1,4.2,5.0,5.8,6.3,5.9,4.3,3.8,3.6,4.0,4.5,4.6 4.4,4.2,4.3,4.5,4.9,5.0,5.0,4.1,4.7,4.6,4.7,3.7,3.7,4.6,4.5,4.6,3.8 3.5,3.7,3.7,3.7,3.3,3.1,3.1,3.6,3.7,3.7,3.3,3.5,3.8,4.6,4.4,4.2,3.6 3.4,3.5,3.3,3.9,4.1,4.4,4.3,5.3,6.1,6.0,5.3,4.8,4.7,4.3,4.3,3.8,3.8 3.3,3.7,4.0,3.9,4.0,3.6,3.8,3.9,4.2,4.3,3.8,3.8,4.4,4.3,4.7,4.1,3.9 4.0,3.9,4.0,4.0,4.2,4.3,3.6,3.5,3.8,3.8,3.7,3.3,3.4,3.4,3.9,4.4,4.5 3.8,3.4,3.2,4.2,4.1,4.4,3.6,3.8,4.1,4.7,4.9,4.5,4.1,4.4,4.6,4.3,3.9 3.7,3.8,3.9,3.9,4.5,4.4,4.0,4.2,4.2,4.1,3.8,3.8,3.8,3.8,4.1

对此信息列,依据式(3)模型进行选建模计算,得到最佳季节尺度预测方程及震级(M)预测结果:

$$M(4-6月/2008年) = 3[1.366 + 1.013(4.1) + 0.365(3.8) - 1.112(3.8) + 0.801(3.8) + 0.049(3.8) - 1.252(4.1) + 1.026(4.2) + 0.337(4.2) - 0.839(4.0) + 0.274(4.4) + 0.585(4.5) - 1.281(3.9) + 0.766(3.9) + 0.701(3.8) - 1.236(3.7)$$

$$+ 0.944(3.9) - 0.066(4.3) - 0.574(4.6) + 0.878(4.4) - 0.918(4.1) + 0.312(4.5) + 0.293(4.9) + 0.242(4.7) - 0.613(4.1) + 0.157(3.8) + 0.283(3.6) - 0.771(4.4) + 0.680(4.1) - 0.041(4.2) - 0.557(3.2) + 0.414(3.4) + 0.369(3.8) - 0.535(4.5) + 0.071(4.4) + 0.843(3.9) - 0.984(3.4) + 0.085(3.4) + 0.094(3.3) - 0.110(3.7) - 0.050(3.8) + 0.021(3.8) + 0.165(3.5) - 0.137(3.6)] - 4.6 - 3.8 = 3[5.3] - 8.4 = 7.5(\pm 0.2)级$$

即四川省2008年第2季度震级期望值最高可达7.7级。

上述对中国大陆范围总体或四川省区域2008年度的建模预测研究结果表明,“5·12”汶川8.0级特大地震的发生,与其前期不同时、空尺度范围的特征性地震活动是有密切关联的。这种关联的最突出表现,是地震活动具有“自律性”并以“自激励”方式演进,应用数学建模计算技术可以客观地做出较精细的、与实际震级相近的数值化预测。

3 蕴震地区的诊断预测方法

地震的蕴育发生,是能量积累—传播—释放的过程。由于蕴震地区所处的环境系统是开放的,因而会有能量自蕴震区以辐射的形式向周围环境传播。这种辐射能流的传播,按“斯蒂芬—玻尔兹曼”定律可至“地—气系统”并经大气窗而达外层空间,被空间卫星遥感器接收到。因此,利用卫星对地遥感辐射信息,是监视地震可能在何处蕴育的一种可行技术途径。作者利用美国NOAA系列遥感卫星提供的“地—气系统”射出长波辐射(Outgoing-Longwave-Radiation, 简记为OLR)数据信息,曾分析了全球重大地震事件发生前OLR信息场的分布及变异特征,发现蕴震区附近OLR信息的变异与周围环境相比有显著的不同,且普适性地表现为一种可识别的增强性特征^[3-5],据此特征可用于诊断蕴震区位。

3.1 长波辐射(OLR)信息的接收及处理

美国《NOAA》系列遥感卫星提供的地气系统射出长波辐射(OLR)数据信息,自1974年至今已积累长达34年的资料。该资料可从ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov网站获取,获取到全球按经纬网格(2.5×2.5度或1×1度)加工的原始数据。为用此数据做短临地震蕴震区的诊断,文章截取出中国范围的(2.5×2.5度)月平均数据后,按式(1)进行距平计算处理:

$$\Delta OLR(t) = S^*(x_{i,j}, y_{i,j}, t) - \bar{S}^*(x_{i,j}, y_{i,j}, t) \quad (4)$$

其中, $S(x_{i,j}, y_{i,j}, t)$ 代表各格点位年度或月度 OLR 值, $\bar{S}^*(x_{i,j}, y_{i,j}, t)$ 代表各格点位年度或月度 OLR 多年平均值。

从而得到以 ΔOLR (距平) 信息为表征的面域数值场分布。为进一步精细诊断蕴震区位, 文章还对月际或日际 OLR 各点位数据按式(5)进行计算:

$$S_E^*(x_{i,j}, y_{i,j}) = 4S(x_{i,j}, y_{i,j}) - S(x_{i-1,j}, y_{i,j}) - S(x_{i,j}, y_{i,j-1}) - S(x_{i+1,j}, y_{i,j}) - S(x_{i,j}, y_{i,j+1}) \quad (5)$$

其中, $S_E^*(x_{i,j}, y_{i,j})$ 代表各格点位的月(日)际涡度值; $S(x_{i,j}, y_{i,j})$ 代表各格点位月(日)平均值; x 为纬度; y 为经度; i, j 为格点位标。

进一步得到定义为“OLR 涡度”信息量为表征的面域数值场分布。

3.2 应用实例

以“5·12”四川省汶川 8.0 级特大地震事件为例, 考查其震前卫星遥感中国区域“地—气系统”射出长波辐射(OLR)信息场的分布, 发现从年尺度到月际和日际尺度, 四川地区长波辐射场都出现有可识别的异常特征。根据此种特征, 可逐步进行蕴震地区的短临诊断预测。

3.2.1 震前中期年尺度长波辐射变化特征

表 6 所示是 2007 年度, 我国南北地震带范围内 ($20^\circ \sim 40^\circ N, 95^\circ \sim 110^\circ E$), OLR 2007 年年变涡度信息场的数值分布状况, 从表 6 可以看出, 该年际尺度长波辐射场的最大异变增强区, 出现在四川省龙门山断裂带的南起始端即 $30^\circ N/102.5^\circ E$ 附近, 大约是在四川雅安地区的北部, 辐射异变值达到 $+4.0 W/m^2$, 为全区域年变之最。该异变增强区与“5·12”汶川大地震孕育发生的破裂区 ($31^\circ \sim 33^\circ N, 103^\circ \sim 105^\circ E$) 十分吻合。

表 6 南北地震带 OLR 年变涡度场数值分布 (2006—2007 年) (单位: $\times 0.1 W/m^2$)

Table 6 The yearly change distribution of OLR eddy value at the north-south seismic belt from 2006 to 2007

N/E	95	97.5	100	102.5	105	107.5	110
40	-10	0	-8	3	-8	20	-15
37.5	-12	6	24	-3	-3	8	25
35	36	21	28	-26	-18	-1	-27
32.5	12	-18	-10	-1	19	-22	7
30	-13	21	-6	[40]	-44	-28	13
27.5	-40	-16	-32	-32	14	1	-11
25	17	-2	25	-5	-24	-27	28
22.5	28	31	8	-38	-14	20	12
20	-16	-17	-4	2	8	20	-6

3.2.2 汶川 8 级地震前后短期月尺度长波辐射变化特征

汶川大震前短期即 2008 年 2—4 月, 我国南北地震带范围内 OLR 月距平信息场的最大增强中心, 持续出现在 $30^\circ \sim 32.5^\circ N, 102.5^\circ E$ 附近。2 月份辐射变异的增强区先向北迁移龙门山带的北侧, 涡度异变中心值达 $+10.7 W/m^2$ (见表 7), 3 月至 4 月最大增强区又回迁至龙门山带直至大震发生的 5 月, 涡度异变中心值更高达 $+12.5 W/m^2$ (见表 8), 震后到 8 月随着强余震的衰减, 龙门山带的辐射增强区显著消失, 涡度信息值变成 $-2.8 W/m^2$ (见表 9)。

表 7 2008 年 2 月南北地震带 OLR 距平涡度场数值分布 (单位: $\times 0.1 W/m^2$)

Table 7 The eddy value distribution of OLR departure at the north-south seismic belt in Feb. 2008

N/E	95	97.5	100	102.5	105	107.5	110
40	-106	-18	-78	-73	16	-19	46
37.5	31	4	30	8	-80	-11	-28
35	-12	-7	-7	-6	-31	11	-39
32.5	76	56	46	[107]	0	-70	47
30	-18	-51	-31	63	-35	24	16
27.5	-46	-16	51	-21	-41	5	3
25	49	26	7	-14	-50	-8	32
22.5	30	7	21	-56	30	15	22
20	0	1	0	3	19	21	-26

表 8 2008 年 5 月南北地震带 OLR 距平涡度场数值分布 (单位: $\times 0.1 W/m^2$)

Table 8 The eddy value distribution of OLR departure at the north-south seismic belt in May 2008

N/E	95	97.5	100	102.5	105	107.5	110
40	-122	-86	-92	-30	6	-66	-2
37.5	98	73	43	50	-22	-16	6
35	-43	35	-3	21	27	20	57
32.5	6	-31	-19	-30	35	-12	-46
30	68	-2	-23	[125]	-10	-8	75
27.5	23	36	-5	-151	29	25	-45
25	-131	-33	7	-1	-89	-14	33
22.5	-73	58	6	0	48	98	-69
20	-14	87	-46	38	67	-22	75

表 9 2008 年 8 月南北地震带 OLR 距平涡度场数值分布 (单位: $\times 0.1 W/m^2$)

Table 9 The eddy value distribution of OLR departure at the north-south seismic belt in August 2008

N/E	95	97.5	100	102.5	105	107.5	110
40	-90	-24	32	-54	37	-24	-30
37.5	40	16	4	0	-33	-27	36
35	-23	25	18	-42	40	50	-72
32.5	-59	-27	40	17	49	-71	65
30	58	70	-59	[-2]	-69	32	-94
27.5	-80	-30	24	53	26	-49	-57
25	-10	-15	59	67	-51	-51	-36
22.5	27	-25	-30	-61	-26	-65	83
20	98	-16	-95	-2	-47	-54	36

为考查汶川地震发生前的短期尺度辐射增强中心的异变是否具有特殊性,对 2000—2008 年历年 2 月份、同区位(32.5°N /102.5°E)辐射变异强度值进行了计算,得到如表 10 所示结果。该结果清楚地表明,2008 年 2 月出现的 +10.7 W/m²,是近 8 年来没有过的最高值,可视为异变。这一特征的显现,距“5·12”汶川大震的发生时间和地域更为逼近到短期。

3.2.3 临震前日际长波辐射变化特征

在汶川震中区有短期月际辐射异常增强的背景下,跟踪分析震中区日际辐射场的动态变化后发现,临震前 1 天即 2008 年 5 月 11 日 OLR 日变信息场变变更突出。从表 11 可以更清晰地看到,在

30.5°N,103.5°E 附近的长波辐射 OLR 涡度场的强度变化值,比周围环境有极其显著的增强,达到 +37.2 W/m²为全区域范围之最。重要的是此一日际尺度的辐射异变增强区,不仅与“5·12”汶川大震发生的震中区完全吻合,而且就出现在临震前 1 天。为进一步确认 2008 年 5 月 11 日 OLR 的显著增强是否有特殊性,对震前自 5 月 1 日至震后 5 月 16 日,逐日计算了(30.5°N /103.5°E)点位的 OLR 涡度变化值。从表 12 可以看出,汶川震中区从 5 月 6 日至 11 日连续 5 天逐日增强,并在 5 月 10 日震前 2 天开始至 11 日从 30.0 W/m² 达到 37.2 W/m² 的最大值,12 日大震发生后又逐日减小,从而可以确认临震前的日异变特征具有特殊性。

表 10 2000—2008 年历年 2 月份震中区(32.5°N /102.5°E)长波辐射距平数值表

Table 10 The departure value change of OLR at the grade of 32.5N/102.5E degree in Feb. from 2000 to 2008

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
辐射值	10.3	7.0	-1.0	2.5	4.3	6.6	8.2	4.8	10.7

表 11 2008 年 5 月 11 日南北地震带区域 OLR 信息场变化分布(单位:0.1 W/m²)

Table 11 The changed distribution of OLR message field at the North - South seismic belt in 11/05/2008

N/E	97.5	98.5	99.5	100.5	101.5	102.5	103.5	104.5	105.5	106.5	107.5	108.5	109.5	110.5	111.5
35.5	-15	-37	-52	227	-112	-12	137	95	135	7	80	-77	22	27	40
34.5	-15	42	-17	-65	117	-202	-62	112	-47	-2	20	80	62	37	70
33.5	5	85	25	87	7	280	-465	147	-37	10	-7	40	-102	12	95
32.5	-47	-47	55	-20	45	220	-45	-207	27	-27	-127	10	-350	215	-517
31.5	65	105	-20	67	-42	-175	-395	165	-82	-55	60	60	-45	-15	77
30.5	-37	-260	-30	60	-177	-62	[372]	-7	157	50	10	-12	17	42	82
29.5	72	-62	-145	20	-102	242	-140	72	55	92	-5	-22	0	2	-32
28.5	-102	87	-72	-172	30	-252	-40	70	20	-115	-7	20	10	0	5
27.5	60	47	157	227	-2	137	50	97	15	27	5	2	37	55	72
26.5	-155	-105	-150	-232	87	82	-150	-117	85	2	0	-12	5	-87	-107
25.5	-145	-7	-27	45	-57	37	-95	-107	85	-25	20	7	20	52	7
24.5	205	-30	25	55	72	120	40	40	-7	12	-10	25	95	70	177
23.5	-115	30	-110	147	-67	-142	105	110	85	55	135	132	95	-30	-122
22.5	92	-80	42	-122	45	-40	32	-10	-72	102	5	-245	-280	-165	-92

注:2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震震中(31.0°N / 103.4°E)

表 12 2008 年 5 月,30.5°N/103.5°E OLR 涡度信息逐日变化

Table 12 The daily change of OLR eddy at the grade of 30.5N/103.5E degree in May 2008

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20.5	-0.5	5.0	-7.5	12.2	0.0	1.5	9.5	10.2	30.0	37.2	15.7	-5.5	-4.0	10.0	14.5

4 讨论

综上所述,特别是结合“5·12”汶川大震实例的应用可以看出,若首先对确定区域进行中短期数值建模预告震级,然后利用卫星遥感长波辐射信息进行短临跟踪预测蕴震地区,已基本可以体现出对

一次地震事件分要素、逐步做出诊断的可行性。问题是在实际分析监视过程中,按照文章提出的诊断技术和方法,面对社会应用去实现“事件性地震预报”时的必要性和可靠性如何?

1)地震活动虽然有其自然规律可循,但是地震预报尤其是对地震事件(含地震发生的时间、空间、

强度三要素)的预报,企图一次性同步做出肯定是不可取的,因为地震三要素从孕育至发生过程的物理表象不可能在蕴震之始被完全显现。因而,对不同时段采用分要素、逐步进行诊断的技术,不仅能体现出对蕴震过程的物理认识,且符合过程预报原理,更重要的是有利于政府部门和社会各阶层在不同阶段、自我利用采取不同的防震对策和措施,以实现最大减轻地震灾害的目标。

2)依据地震自激励原理,采用数值建模计算技术,对确定区域、确定时段进行地震震级强度的预告时,不可否认的是最终选定的预报计算模型是否正确。文章之所以应用具有非线性功能的《地震自激励门限自回归模型》,不仅是考虑到地震活动具有时而线性、时而非线性,总体呈非线性而演变这一特征,而且认为未来的地震行为除了极为敏感其前期某一初始地震状态的信息外,还与其前期、特别是近期地震行为演化的动态信息密切相关。因而在建模过程中正确选择模型参数,特别是模型(3)式中的门限值(r)参数、门限延迟(d)参数以及动态信息阶数(k)的界定极为关键,选择适当可使数值建模预测震级的误差最小,提高社会可应用的信任度。

3)对已确定有发生强震的区域(如某省区),依据卫星遥感“地—气系统”射出长波辐射信息诊断其蕴震的具体部位时,不可否认的是也存在有不确定性。这种不确定性,大多是由于辐射异常区围绕蕴震发生区周围有‘迁动’而造成的。虽然如是,但可分析辐射异常区的迁动特征,跟踪做出强震将在某省区内、某一位或某一专区地界蕴育发生的诊断预测还是可行的,对社会的自我预防也是有意义的。

参考文献

- [1] 刘德富,黎令仪.地震活动的自律现象[J].中国科学 B 辑,1989,(2):191-198
- [2] 黎令仪,刘德富.震级序列的门限建模[J].地球物理学报,1985,(3):303-310
- [3] 刘德富,康春丽.地球长波辐射(OLR)遥感与重大自然灾害预测[J].地学前缘,2003,10(2):427-434
- [4] 刘德富,康春丽.苏门答腊岛 8.7 级大地震前的辐射异常现象[J].国际地震动态,2005,(1):37-39
- [5] Dimitar O, Liu Defu, Kang Chunli, et al. Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes [J]. Tectonophysics,2007,431:211-220

Technically feasible approach to earthquake prediction

Liu Defu¹, Kang Chunli²

(1. Institute of Earthquake Science China Earthquake Administration, Beijing 100036, China;

2. China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

[Abstract] Earthquake prediction is an undertaking of public welfare. But earthquakes cannot be successfully predicted at present due to technological reasons. Earthquake prediction should be studied earnestly to adapt the demand of society for earthquake prediction at present. In order to study the possibility of predicting the Wenchuan M8.0 Earthquake occurred on May 12, 2008, based on the earthquake information itself, this paper has suggested a kind of numerical modeling method for predicting the earthquake magnitudes, and a method for predicting seismogenic areas by means of the Outgoing-Long-Wave-Radiation (OLR) information of satellite remote sensing. The results show that it is a technically feasible approach.

[Key words] earthquake; OLR; numerical modeling; predicting