

地形变速率与地震震级的模糊判别

郑熙铭 冯德益

(天津市地震局)

摘 要

本文利用模糊数学方法,对地震前地形变速率与地震的震级进行判别,取得了较好的效果。方法简单,是对地震震级进行预报的一种探索。

一、前 言

根据前兆观测资料进行地震三要素的预报,目前正从经验性的阶段向定量和半定量的阶段发展,在这个过程中,必然要借助于数学手段来确定前兆观测值与三要素之间的关系,而要把经验性的描述变成明确的数值结论,这正是模糊数学所研究的对象。因此,本文试图采用模糊数学方法,对震前地形变速率和地震的震级进行判别,以探索三要素之一的震级的预报方法。

众所周知,震前地形异常与地震的震级有密切的关系。但是,多数学者研究的结果,主要是地形变异常的范围与震级的关系($\lg L = aM + b$)或者是异常时间与震级的关系($\lg T = aM + b$),而本文则是通过模糊数学方法对地形变速率与地震震级之间的关系进行研究。

二、资料处理方法

地壳形变包括水平形变,垂直形变和倾斜形变。为了求得形变异常,按照观测的目的和测线的布设方案不同,一般又可分为大面积的形变网观测和跨断层的基线以及短水准线的观测。考虑到多年来所积累的形变资料中,垂直形变资料较为丰富,其中不仅有大面积的震前形变资料,而且还有断层垂直位移资料。因此,本文对垂直形变资料进行处理。

首先,利用模糊数学方法对观测资料的可靠性和形变速率异常进行判别,具体做法是:

对观测资料异常,建立如下形式的模糊从属函数:

$$\mu_i = \mu(x_i) = \left[1 + \frac{a}{|k_i||r_i|} \right]^{-1} \quad (1)$$

式中 $|k_i|$ 是形变观测值随时间变化的曲线斜率的绝对值,它所反映的也就是形变速率。 $|r_i|$ 是对应的相关系数。其计算公式如下:

$$k_i = \frac{\sum_i y_i \sum_i y_i - n \sum_i x_i y_i}{(\sum_i x_i)^2 - n \sum_i x_i^2} \quad (2)$$

$$r_i = \frac{\sum_i x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_i x_i \sum_i y_i)}{\left\{ \sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i x_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left[\sum_i y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

(1) 式中 α 是经验常数, 通过样本学习而定。(2) 式和 (3) 式中 y_i 是形变观测值, x_i 是相应的观测次序。每相邻5个观测值计算一个 k 和 r 值, 即以 $y_{i-2}, y_{i-1}, y_i, y_{i+1}, y_{i+2}$ 和 $x_{i-2}, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, x_{i+2}$ 计算得到 y_i 的从属函数 $\mu(x_i)$, 即 μ_i 。 μ_i 在 $[0, 1]$ 中取值, 它表示形变观测值在 x_i 时段上属于地震异常的可能性, μ_i 越大, 表示 y_i 属于异常的可能性愈大, 由(1)式可知, 当 $|r_i|$ 不变时, $|k_i|$ 愈大, 也就是形变速率愈大, 属于异常的可能性愈大。在 $|k_i|$ 不变情况下, $|r_i|$ 愈大, 说明数据的相关性愈好, $|k_i|$ 作为判别异常的理由就更充分。反之, 如果 $|r_i|$ 值很小, 甚至趋近于零, 这时即使 k_i 值很大, μ 值也必然趋近于零, 说明这时的形变速率虽然很大, 但是观头数据离散度大, 可靠性差, 不足以判定为异常。

α 的选取原则是使有震样本属于异常的最小从属度要大于无震样本属于异常的最大从属度, 本文计算过程中全部采用 $\mu_i = 0.5$ 的模糊界点, 即只有 μ 值超过0.5时才算异常, 亦即相应的形变观测值属于异常的可能性要超过50%时, 才能视为异常。

其次, 在判定为形变异常的基础上, 确定形变速率异常量——包括趋势性的和突变性的, 根据异常量再分别求出面上形变和跨断层形变的活动度, 从此求出相应的地震震级。具体做法是, 将活动度分成7个等级, 它们的从属函数分别为:

$\mu_1 = e^{-\left(\frac{x-35}{30.0281}\right)^2}$	相应的地震震级	大于8级	(4)
$\mu_2 = e^{-\left(\frac{x-7.75}{2.7025}\right)^2}$	相应的地震震级	7.5~8.0	
$\mu_3 = e^{-\left(\frac{x-3.25}{2.7025}\right)^2}$	相应的地震震级	7~7.5	
$\mu_4 = e^{-\left(\frac{x-0.775}{0.27025}\right)^2}$	相应的地震震级	6~7	
$\mu_5 = e^{-\left(\frac{x-0.325}{0.27025}\right)^2}$	相应的地震震级	5~6	
$\mu_6 = e^{-\left(\frac{x-0.055}{0.05405}\right)^2}$	相应的地震震级	4~5	
$\mu_7 = e^{-\left(\frac{x-0.0055}{0.005405}\right)^2}$	相应的地震震级	小于4级	

μ_i ($i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 越大, 表明属于 i 级的程度越高。式中 x 为形变速率, 以毫米/年为单位。

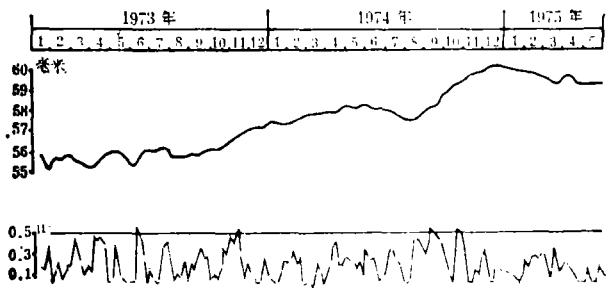
以 $\mu^I, \mu^{\text{I}}, \mu^{\text{II}}, \mu^{\text{N}}$ 分别代表某次地震的趋势性面上形变, 突变性面上形变, 趋势性跨断层形变, 突变性跨断层形变的从属函数。分别求出 μ^J ($J = \text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}$) 后, 取 $\mu_i = \mu^{\text{I}} \vee \mu^{\text{I}} \vee \mu^{\text{II}} \vee \mu^{\text{N}}$, 由 μ_i 按照(4)式判定相应的地震震级。

三、计算结果

按照(1)~(4)式对国内外9次地震的垂直形变资料进行了计算, 结果如下:

1. 1975年2月4日辽宁海城地震

与海城地震有关的垂直形变资料主要有金县短水准和1937, 1958, 1970, 1973年的大面积水准测量。为研究这些形变速率与地震的关系, 首先按(1)式, 对金县东西向短水准进行了从属函数计算, 结果如图1所示。从图中可看出, 该水准观测值采用



速率异常模糊判别, 1973年6月出现趋势异常。1974年9~10月出现突变加速异常, 按照观测高差计算形变速率, 趋势变化阶段 $x^{\text{II}} = 2.2$, 突变阶段 $x^{\text{N}} = 2.6$ 。震前大面积形变速率 $x^{\text{I}} = 3.0$, 分别将这些值代入(4)式, 可得到表1。

图1 金县东西向短水准观测值(上)曲线和从属函数值(下)曲线

表1

x	3	2.2	2.6	$\max(\mu^J)$	$\max(\mu_i)$	判别震级
μ_1	0.321	0.303	0.312	0.321	0.991	7~7.5
μ_2	0.045	0.014	0.026	0.045		
μ_3	0.991	0.859	0.993	0.991		
μ_4	0	0	0	0		
μ_5	0	0	0	0		
μ_6	0	0	0	0		
μ_7	0	0	0	0		

2. 1976年7月28日唐山地震

地震前在震中区及唐山块体边缘有较多的垂直形变资料。我们以宁河南北向短水准、张道口短水准和震中地区面上形变资料为例, 进行计算。

首先按(1)式计算宁河水准和张道口水准观测值的从属函数, 计算结果表明, 宁河水准和张道口水准在震前都有短临异常, 资料可靠(图2)。

宁河水准在震前1974年9月~1976年7月和震后的1976年7月~1977年7月均有量值为31毫米的变化, 按震前形变速率计算, 取 $x^{\text{I}} = 15.5$ 。在1975年5月到1976年6月有6.5毫米的突变, 因此有 $x^{\text{N}} = 6.5$ 。张道口水准在震前3年平均速率1毫米/年。因此 $x^{\text{I}} = 1$,

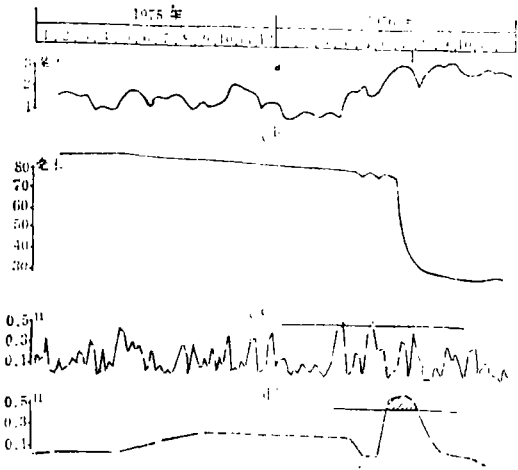


图2 水准观测曲线：(a)张道口 (b)宁河
从属函数曲线：(c)张道口 (d)宁河

突变阶段 $x^N_2=1.4$ 。在唐山地震的震中附近,面上形变主要是:1954年~1967年每年平均上升0.2毫米,1967~1969年每年平均上升8.8毫米,1969~1972年,每年平均下降8.3毫米,1972~1975年每年平均上升1.8毫米。由此可见,在震前20余年期间,出现了明显的反向运动,取其绝对值的平均速率,结果为2.42毫米/年,即 $x^I=2.42$ 。将这些 x 代入(4)式,结果见表2。

3. 1976年8月16日松潘地震

震前在震中区附近有面上垂直形变资料和松潘短水准资料。松潘至南坪的150公里范围内,1975年的第一次测量(1975年7~9日)结果相对于1960年,出

现下沉135毫和上升177毫米的两个形变异常区。我们取其绝对值的中数按年平均求得速率为10.4毫米/年。1976年震前两个月复测结果相对于1975年第二次观测结果,平均每月下沉1毫米,则相当于年速率12毫米。松潘短水准在总趋势下降的背景上,从1974年4月开始出现反向变化,但由于1975年1月~1976年6月中断观测,因此无法确定最

表2

X	2.42	15.5	6.5	1.0	1.4	$\max(\mu^I)$	$\max(\mu_i)$	判别震级
μ_1	0.308	0.655	0.406	0.277	0.285	0.655	0.909	7~7.5
μ_2	0.020	0	0.807	0.001	0.004	0.807		
μ_3	0.909	0	0.235	0.500	0.625	0.909		
μ_4	0	0	0	0.499	0.084	0.499		
μ_5	0	0	0	0	0	0		
μ_6	0	0	0	0	0	0		
μ_7	0	0	0	0	0	0		

表3

x	10.04	12	1.7	$\max(\mu^I)$	$\max(\mu_i)$	判别震级
μ_1	0.511	0.556	0.292	0.556	0.719	7~7.5
μ_2	0.382	0.084	0.006	0.382		
μ_3	0	0	0.719	0.719		
μ_4	0	0	0	0		
μ_5	0	0	0	0		
μ_6	0	0	0	0		
μ_7	0	0	0	0		

大异常,但据现有资料,震前1976年6月相对1974年4月上升1.7毫米。由于资料不连续我们暂且将跨断层形变速率定为1.7。将上述几个值代入(4)式,可得到表3的结果。

4. 1966年3月22日邢台地震

在震中区1955年相对1920年面上形变下沉区沉降总量210毫米,上升区隆起总量140毫米,取此两值中数,按35年平均得到年速率为5毫米。1965年相对1955年上升10毫米,年速率1毫米。将上述速率值代入(4)式计算,结果见表4。

表4

x	5.0	1.0	$\max(\mu_i')$	$\max(\mu_i)$	判别震级
μ_1	0.398	0.277	0.398	0.657	7~7.5
μ_2	0.355	0.001	0.355		
μ_3	0.659	0.500	0.657		
μ_4	0	0.499	0.499		
μ_5	0	0			
μ_6	0	0			
μ_7	0	0			

5. 1970年1月5日通海地震

沿曲江断裂带有一水准测线,通过震中区,地震前有2期资料,即1958~1959年和1969年的观测资料,据此资料,在距震中20公里处相对下降共60毫米,年速率为6毫米。将此值代入(4)式计算得表5。

6. 1983年6月24日越南莱州地震

震前在我国云南永胜2条跨断层定点水准测线分别观测到1毫米和1.3毫米的突变。由此按(4)式计算,结果见表6。

表5

x	6	$\max(\mu_i)$	判别震级
μ_1	0.393	0.657	7.5~8.0
μ_2	0.657		
μ_3	0.355		
μ_4	0		
μ_5	0		
μ_6	0		
μ_7	0		

7. 1983年5月26日日本海中部地震

震前在男鹿半岛从1978年开始观测到面上形变隆起异常(1981年以后加速),到发震为止共计3厘米,年速率平均6毫米。将此值代入(4)式计算,结果如表7。

8. 1979年5月22日湖北巴东地震

震前在距震中45公里处的仙女山断裂北端跨断层水准测线上,观测到0.15毫米的异

表6

x	1.0	1.3	$\max(\mu^j)$	$\max(\mu_i)$	判定震级
μ_1	0.277	0.283	0.283	0.594	7~7.5
μ_2	0.001	0.003	0.003		
μ_3	0.500	0.564	0.594		
μ_4	0.499	0.022	0.499		
μ_5	0.001	0	0.001		
μ_6	0	0	0		
μ_7	0	0	0		

表7

x	6	$\max(\mu_i)$	判定震级
μ_1	0.393	0.657	7.5~8.0
μ_2	0.657		
μ_3	0.355		
μ_4	0		
μ_5	0		
μ_6	0		
μ_7	0		

常，按此值代入(4)式计算结果见表8。

表8

x	0.15	$\max(\mu_i)$	判定震级
μ_1	0.260	0.657	5~6
μ_2	0		
μ_3	0.268		
μ_4	0.004		
μ_5	0.957		
μ_6	0.045		
μ_7	0		

9. 1973年4月14日苏联TOKMa地震

震前该地区面上水准测量结果：1972年相对1941年上升10毫米，平均年速率为0.32毫米，1973年相对1972年突变隆起30毫米。按(4)式计算，结果见表9。

四、结 论

通过上述9个地形变速率变化与地震震级的模糊判别，获得了较好的结果(表10)。从此可知，根据震前形变速率来判别未来发展的震级是可行的。而且计算方法简单，数学意义清楚。是对地震震级预报方法的一种探索。

表9

x	0.32	30	max (J)	max (μ_i)	判定震级
μ_1	0.263	0.972	0.972	0.999	5 ~ 6
μ_2	0	0	0		
μ_3	0.308	0	0.308		
μ_4	0.058	0	0.058		
μ_5	0.999	0	0.999		
μ_6	0	0	0		
μ_7	0	0	0		

表10

地 震	实际震级	模糊判别震级	效 果
1975年2月海城地震	7.3	7~7.5	符 合
1976年7月唐山地震	7.8	7~7.5	偏 小
1976年8月松潘地震	7.2	7~7.5	符 合
1966年8月邢台地震	7.2	7~7.5	符 合
1970年1月通海地震	7.7	7.5~8.0	符 合
1983年6月莱州地震	7.0	7~7.5	符 合
1979年5月巴东地震	5.1	5~6	符 合
1973年4月TOK Ma地震	4.6 (苏联震级)	5~6	偏 大
1983年5月日本海地震	7.7	7.5~8.0	符 合

采用形变速率来判别未来发生的地震震级之所以可行,是由于形变速率是断层活动度的一个重要因子,而断层活动程度又与以后发生的地震震级有密切的关系。再者,垂直形变观测方法成熟,精度较高,数据可靠。因此,能获得较为理想的效果。

参 考 文 献

- [1] 梅世蓉主编, 1976年唐山地震, 地震出版社, 1982。
- [2] 冯德益等, 模糊数学方法与应用, 地震出版社, 1983。
- [3] 郑熙铭, 唐山7.8级地震前天津地区的一些形变特征, 西北地震学报, 7, 1, 1985。
- [4] 东京大学地理系, 日本活断层研究组, Active Faults in and around Japan: The Distribution and the Degree of Activity. National Disaster Science, 2, 1980。
- [5] 张祖胜等, 强震孕育过程中大面积地形变的一些特点, 地震, 2, 1985。
- [6] 国家地震局地震测量队, 海城7.3级地震的地形变, 地球物理学报, 20, 4, 1977。
- [7] 马宗晋等, 1966—1976年中国九大地震, 地震出版社, 1982。
- [8] 罗灼礼等, 1976年松潘7.2级地震主要预报依据的审查及前兆异常特征的讨论, 地球物理学报, 27, 8, 1984。
- [9] 陈立德等, 越南莱州7.0级地震的前兆特征及多源场孕震前兆模型, 地震研究, 8, 3, 1985。
- [10] 王静瑞, 1979年湖北巴东5.1级地震震源机制与地形变, 地壳形变与地震, 创刊号, 1981。
- [11] 力武常次, 地震预报, 地震出版社, 1978。
- [12] 茂木清夫, 日本海中部地震与地震空区, 震群和地壳形变, 世界地震译丛, 4, 1984。
- [13] В.М. Сигалов, Исследование Теодезических Методами Тектонических предвестников Змлетрясей, Геодэзия и картография, 8, 1984。