

大震的连续预报*

吴 荣

(南开大学)

摘要

本文的目的是对任何时刻 t , 建立下一次我国大陆大震发生的时间、地点的预报公式。首先, 我们给出 t 后三个月内我国大陆是否有大震的判别。若有, 再进一步确定时间、地点。为此, 利用了全球大震与我国大陆大震在时间、地点上的联系, 并运用随机过程的理论, 导出了所需的公式。

一、引言

在文献[1]中, 我们利用了全球 $M_s = 7$ 的地震与我国 $M_s \geq 7$ 的地震的关系, 采用了“相关区”的方法预报我国大陆几个月内是否有 $M_s \geq 7$ 的地震的发生。这种方法不能“连续”预报。所谓不连续, 是指在我国大陆发生大震后, 不能立即作出对下一次我国大陆大震的估计, 需要再经过四、五个月后才能作判断, 这样就容易产生漏报。如1976年龙陵地震与唐山地震相差不到三个月, 故唐山地震就无法预报了。此外, 若想进一步较精确地作出时间、地点的预报, 则此法就更显不足。针对上述问题, 本文提出了大震的“连续”预报法。

二、基本思想及资料处理

本文的目的是: 对于任何时刻 t , 首先给出 t 后三个月内我国大陆是否有大震¹⁾发生的判断。若有, 再进一步确定重点时间及地点(把我国大陆划分为五个区, 具体划法见附一)。为此利用了全球大震(包括我国大陆本身)与我国大陆在发震时间、地点上的联系, 并利用随机过程的理论分别构造不同的预报公式。若把地震的发生过程视为一个轨道是阶梯函数的随机过程 $X(t)$ (见文献[2]), 它的跳跃时刻即是发生地震的时刻, 再进一步假设它具有 u 独立性, 即对任意正整数 m, n , 非负实数

$$t \geq t_n \geq t_{n-1} \geq \cdots \geq t_1, \quad u \geq v_m \geq v_{m-1} \geq \cdots \geq v_1$$

以及任意实数 $y, z, y_1, \dots, y_n, z_1, \dots, z_m$ 有

* 1979年5月3日收到。

1) 我国大陆大震是指: 新疆、西藏、云南等地 $M_s \geq 6\frac{3}{4}$, 四川、甘、宁、青等地 $M_s \geq 6.5$, 华北(包括内蒙) $M_s \geq 6$ 的地震。

$$\begin{aligned}
 & P(X(u+t) \leq y | X(u+t_n) \leq y_n, \dots, X(u+t_1) \leq y_1, X(u) \leq z, \\
 & X(u-v_m) \leq z_m, \dots, X(u-v_1) \leq z_1) = P(X(t) \\
 & \leq y | X(t_n) \leq y_n, \dots, X(t_1) \leq y_1, X(0) \leq z).
 \end{aligned}$$

(自然还假说“过程”关于时间是齐次的). 这种过程模型是本文的基本出发点, 但这里仅侧重于方法介绍, 不作数学上的深入探讨.

资料选取是自 1900 年以来国外 $M_s \geq 7$, 台湾省 $M_s \geq 6$, 我国大陆: 新疆、西藏、云南等地 $M_s \geq 6 \frac{3}{4}$, 四川、甘肃、宁夏、青海等地 $M_s \geq 6.5$, 华北(包括内蒙)等地 $M_s \geq 6$ (华南及东北深震除外). 1900—1969 年底, 共取我国大陆资料 96 个(时差只有几天的, 两次震当一次处理). 1970—1976 年底的我国大陆资料作内符用. 1977 年后试报. 余震只取三个月后的较大者.

三、趋势和时间

根据地震带的分布状况, 把全球分为十个大区, 我国大陆是第 10 区(见附二).

以 τ_i 表示第 i 区发震到下一次 10 区发震的间隔时间, 简称第 i 区的间隔时间. 以 $F_i(x)$ 表示其分布函数, $i = 1, 2, \dots, 10$.

σ_i 表示第 i 区发震至再下一次 10 区发震的间隔时间, 简称第 i 区的累积间隔时间. 以 $G_i(x)$ 表示其分布函数, $i = 1, 2, \dots, 10$.

1. 趋势预报公式

对任一时刻 t , 设在 $[t-u, t]$ 时段内共发生 s 个地震, 发震时间分别是 $t-u_i, i=1, 2, \dots, s$, 对应的区域是 $j_i, i=1, 2, \dots, s$, (这些区域可能有重复的). 若在该时段内 10 区发生了一次地震, 发震时间是 $t-u_k$ (如图 1).

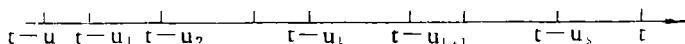


图 1

第 i 个地震对 t 后三个月内 10 区发生一次大震的概率贡献为

$$\left\{
 \begin{array}{ll}
 P(u_i \leq \tau_{ji} \leq u_i + 9 / \tau_{ji} > u_i) = \frac{F_{ji}(u_i + 9) - F_{ji}(u_i)}{1 - F_{ji}(u_i)} & i \geq k \\
 P(u_i \leq \sigma_{ji} \leq u_i + 9 / \sigma_{ji} > u_i) = \frac{G_{ji}(u_i + 9) - G_{ji}(u_i)}{1 - G_{ji}(u_i)} & i < k
 \end{array}
 \right.$$

(以 10 天为计时单位).

第 i 个地震对 t 后三个月内 10 区不发震的概率贡献为

$$\left\{
 \begin{array}{ll}
 P(\tau_{ji} > u_i + 9 / \tau_{ji} > u_i) = \frac{1 - F_{ji}(u_i + 9)}{1 - F_{ji}(u_i)} & i \geq k \\
 P(\sigma_{ji} > u_i + 9 / \sigma_{ji} > u_i) = \frac{1 - G_{ji}(u_i + 9)}{1 - G_{ji}(u_i)} & i < k
 \end{array}
 \right.$$

s 个地震对 t 后三个月内 10 区发震的平均概率贡献为

$$\bar{P}_t = \frac{1}{S} \left(\sum_{i=1}^{k-1} \frac{G_{ji}(u_i + 9) - G_{ji}(u_i)}{1 - G_{ji}(u_i)} + \sum_{i=k}^s \frac{F_{ji}(u_i + 9) - F_{ji}(u_i)}{1 - F_{ji}(u_i)} \right) \quad (1)$$

S 个地震对 t 后三个月内 10 区不发震的平均概率贡献为

$$1 - \bar{P}_t. \quad (2)$$

令

$$H_t = \frac{\bar{P}_t}{1 - \bar{P}_t}. \quad (3)$$

显然 H_t 愈大, 发震的可能性也愈大。利用历史资料计算 H_t 后, 可以定出判别指标 p_1, p_2 。当 $p_1 \leq H_t$ 时认为 t 后三个月 10 区发震可能性较大, 当 $H_t < p_2$ 时认为可能性较小, 而当 $p_2 \leq H_t < p_1$ 时则认为不确定。

2. 时间预报方法

根据(1)节, 若判别出 t 后三个月内 10 区发震可能性大, 则希望能进一步确定更短的时段, 或者给出三个月中最大可能是发生在哪一个月? 下面提出两种方法, 针对具体情况灵活使用:

1. 区间交法(见例 2(i))。

2. 比较法 仿公式(1)可求出 S 个地震对 t 后第 l 个月内 ($l = 1, 2, 3$) 10 区发震的平均概率贡献 \bar{P}_{tl} :

$$\begin{aligned} \bar{P}_{tl} = \frac{1}{S} & \left(\sum_{i=1}^{k-1} \frac{G_{ji}(u_i + 30l) - G_{ji}(u_i + 30(l-1))}{1 - G_{ji}(u_i)} \right. \\ & \left. + \sum_{i=k}^s \frac{F_{ji}(u_i + 30l) - F_{ji}(u_i + 30(l-1))}{1 - F_{ji}(u_i)} \right) \quad l = 1, 2, 3 \dots \quad (4) \end{aligned}$$

以三者中最大者作为最大可能的发震时间, 次大者为第二可能。在实报时一般报两种可能效果较好。

3. 几个具体问题

(1) 在 $[t - u, t]$ 时段内, 若 10 区未发震, 则公式(1)中全用间隔时间分布。

(2) 在 $[t - u, t]$ 时段内, 若 10 区发生两次或两次以上的地震, 则只取 t 前 10 区第二次震后的地震(如图 2)。在 $[t - u, t]$ 时段内 10 区发生三个地震, 时间分别是 $t - u_{i_1}, t - u_{i_2}, t - u_{i_3}$, 则只取 $[t - u_{i_2}, t]$ 时段内的地震放入公式(1)中计算。

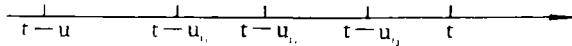


图 2

(3) 为了提高 H_t 的分辨率, 对每一个大区, 根据 τ_i 的分布情况把它再划分为若干小区, 这些小区可分为 A, B 两类。 A 类即 τ_i 值 70% 以上集中在六个月内者; B 类即 τ_i 值 80% 以上集中在六个月外者。然后把 i 区的所有 A 类小区及 B 类小区分别归并在一起, 记为 A_i, B_i , 相应的间隔时间分布函数和累积间隔时间分布函数记为 $F_{A_i}(x), F_{B_i}(x), G_{A_i}(x), G_{B_i}(x)$ 。在公式(1)中用这类分布函数计算。

此外, 在计算中用经验分布代替理论分布, 以 n_{A_i} 表示发生在 A_i 中的历史地震总数,

$n_{A_i}(x)$ 表示 A_i 发震后不超过 x 天 10 区就发震的地震次数，则

$$F_{A_i}(x) = \frac{n_{A_i}(x)}{n_{A_i}}.$$

类似可得其余 3 个分布。

为此，对每一个大区要造四种频数表。以第五大区为例，列表如下（表 1）：

表 1

		t		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		总数
		频数		0—30																																
τ_{A_5}	1900—1969	21	16	21	16	13	19	5	4	5	6	0	3	2	4	0	0	6	141																	
	1900—1978	28	19	24	19	16	22	5	4	5	6	1	3	3	4	0	2	6	167																	
σ_{A_5}	1900—1969	3	1	3	5	8	7	11	7	10	7	10	6	7	3	7	6	40	141																	
	1900—1978	3	5	5	6	10	10	14	8	11	10	10	6	7	6	7	7	42	167																	
τ_{B_5}	1900—1969	2	3	2	3	0	1	8	6	3	3	2	7	3	4	3	1	7	58																	
	1900—1978	3	3	2	4	1	2	8	7	4	3	2	8	3	4	3	6	7	70																	
σ_{B_5}	1900—1969	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4	35	58																	
	1900—1978	0	0	0	2	0	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3	5	36	67																	

区划¹⁾是本方法的关键，既要使间隔时间的长短分布集中，又要使小区不要过多，以免造成因边界过多实报时难于处理。

(4) u 的取法，按照下述三条原则定 u ：

(i) 在长为 u 的时段内，全球大震应有一定的数量，一般不应少于四、五个。

(ii) 在长为 u 的时段内，10 区发震率一般不超过两次。

(iii) u 尽可能短。

根据上述三条原则，取 $u = 120$ (天) 较合适。

(5) 判别指标的确定以 10 天为计时单位算出 1900—1969 年底全部 H_t 值并绘制成图。根据图形定出下列两种类型的判别指标。

(i) 在 $[t - 12, t]$ 时段内 10 区未发震，取 $p_1 = 0.8$, $p_2 = 0.5$,

当 $H_t \geq 0.8$, 则报 t 后 100 天内 10 区有震。

当 $H_t < 0.5$, 则报 t 后 90 天内 10 区无震。

当 $0.5 \leq H_t < 0.8$, 则待定。

(ii) 在 $[t - 12, t]$ 时段内 10 区发生地震，则分四种情况。

(a) 若 t 恰好是 10 区发震时刻，取 $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.1$,

当 $H_t \geq 0.2$, 则报 t 后 100 天内 10 区有震。

当 $H_t < 0.1$, 则报 t 后 90 天内 10 区无震。

1) 有些地区地震很少，或者资料不易得到，因此暂不划区，称为待定区。

当 $0.1 \leq H_t < 0.2$, 则待定。

(b) 若 t 前第一次 (即与 t 的时差最短的一次) 10 区地震与 t 的间隔时间不超过 40 天, 则取 $p_1 = 0.27$,

当 $H_t \geq 0.27$, 则报 100 天内 10 区有震。

当 $H_t < 0.27$, 则待定。

(c) 若 t 前第一次 10 区地震与 t 的间隔不超过 80 天但大于 40 天, 则取 $p_1 = 0.45$, 当 $H_t \geq 0.45$, 则报 t 后 100 天内 10 区有震,

当 $H_t < 0.45$, 则待定。

(d) 若 t 前第一次 10 区地震与 t 的间隔超过 80 天, 则规则同 (i), 即取 $p_1 = 0.8$, $p_2 = 0.5$.

判别指标是根据虚报、漏报率尽可能小而确定的。

4. 举例

例 1: $t = 1966$ 年 12 月 31 日, t 前 120 天内全球发震情况:

9 月 8 日 2.3 N, 128.4 E $M_s = 7$ B_3

9 月 14 日 60.7 S, 27.7 W $M_s = 7$ (待定区)

9 月 16 日 22.9 N, 121.6 E $M_s = 6$ A_4

10 月 7 日 21.6 S, 170.8 E $M_s = 7$ A_5

10 月 17 日 10.5 S, 78.5 W $M_s = 7 \frac{3}{4}$ A_9

12 月 1 日 14.0 S, 167.0 E $M_s = 7$ A_5

10 月 27 日 73.4 N, 54.9 E $M_s = 7$ (待定区)

12 月 31 日 11.8 N, 166.5 E $M_s = 7$ A_5

12 月 28 日 25.5 S, 70.6 W $M_s = 7 \frac{3}{4}$ B_9

$S = 7$. 在该时段内 10 区未发震。

$$\frac{F_{B_3}(21) - F_{B_3}(12)}{1 - F_{B_3}(12)} = \frac{18}{76}, \quad \frac{F_{A_5}(12) - F_{A_5}(3)}{1 - F_{A_5}(3)} = \frac{33}{76},$$

$$\frac{F_{A_4}(20) - F_{A_4}(11)}{1 - F_{A_4}(11)} = \frac{27}{43}, \quad \frac{F_{B_9}(9) - F_{B_9}(0)}{1 - F_{B_9}(0)} = \frac{3}{44},$$

$$\frac{F_{A_5}(18) - F_{A_5}(9)}{1 - F_{A_5}(9)} = \frac{48}{84}, \quad \frac{F_{A_5}(9) - F_{A_5}(0)}{1 - F_{A_5}(0)} = \frac{58}{141},$$

$$\frac{F_{A_9}(17) - F_{A_9}(8)}{1 - F_{A_9}(8)} = \frac{21}{32}.$$

把它们代入公式 (1) 计算, 得

$$\bar{P}_t = \frac{1}{7} \left(\frac{18}{76} + \frac{27}{43} + \frac{21}{32} + \frac{33}{76} + \frac{48}{84} + \frac{3}{44} + \frac{58}{141} \right) = 0.43,$$

$$1 - \bar{P}_t = 0.57$$

$$H_t = \frac{\bar{P}_t}{1 - \bar{P}_t} = 0.75.$$

例2：用公式(3)算出1944年3月11日—12月30日时段内全部 H_t 值，并作图(如图3)。

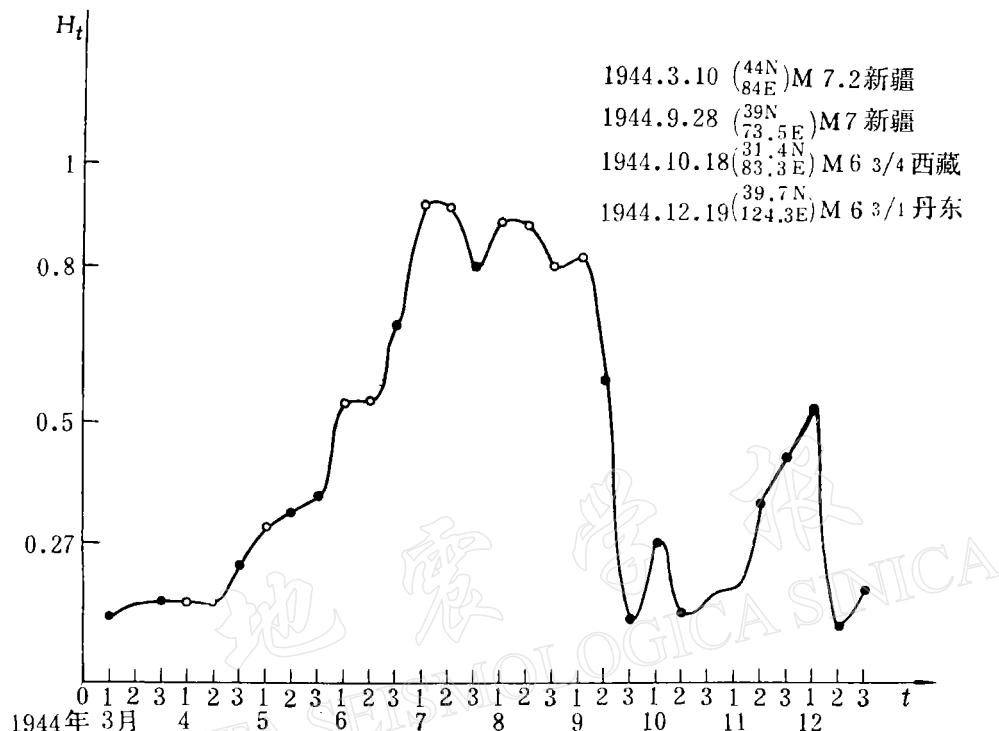


图 3

图3中凡黑圆点对应的 t 都是发生地震的时间(即该10天内全球至少发了一次大震)。本文仅限于研究黑圆点的规律，并由此导出各种预报准则。

(i) 用区间交法求发震时间

由图3，在1944年3月10日后，首先符合报“有”的 H_t 是1944年7月30日，对应值为0.8。按判别规则(i)应报8月1日—11月10日10区发震。在7月30日前最后一次符合报“无”的 H_t 是5月30日，对应值为0.36。按判别规则(ii)之(d)应报6月1日—8月30日10区不发生地震。除去这两个区间的共同部分，应报10区发震时间是9月1日—11月10日。实际发震是在9月28日。

(ii) 用比较法求发震时间

由图3，9月28日后首次达到报“有”的 H_t 是10月10日，对应值为 $H_t = 0.28$ ，按判别规则(ii)之(b)应报10月11日—1月30日10区发震。但在9月28日后10月10日前没有符合报“无”的 H_t 值，此时区间交法不起作用。有时即使报“无”的 H_t 值存在，但“有”“无”区间没有共同部分，或者共同部分很短，对缩短预报区间效果不显著等等。凡诸如此类，应采取比较法。

取 $t = 9$ 月28日，用公式(4)计算 \bar{P}_{it} ，得

$$\bar{P}_{it} = \frac{1}{7} \left(\frac{8}{133} + \frac{2}{71} + \frac{1}{36} + \frac{0}{99} + \frac{13}{42} + \frac{21}{142} + \frac{14}{104} \right) = 0.101$$

$$\bar{P}_{t2} = \frac{1}{7} \left(\frac{7}{133} + \frac{3}{71} + \frac{0}{36} + \frac{2}{99} + \frac{2}{42} + \frac{16}{142} + \frac{24}{104} \right) = 0.072$$

$$\bar{P}_{t3} = \frac{1}{7} \left(\frac{11}{133} + \frac{7}{71} + \frac{0}{36} + \frac{4}{99} + \frac{10}{42} + \frac{21}{142} + \frac{15}{104} \right) = 0.107$$

$$\bar{P}_{t4} = \frac{1}{7} \left(\frac{7}{133} + \frac{4}{71} + \frac{1}{36} + \frac{3}{99} + \frac{6}{42} + \frac{16}{142} + \frac{15}{104} \right) = 0.081$$

其中最大者是 \bar{P}_{t3} , 次大者是 \bar{P}_{t4} . 应报:

第一可能 1944 年 12 月 1 日—12 月 31 日;

第二可能 1944 年 10 月 1 日—10 月 31 日.

实际发震是在 1944 年 12 月 19 日.

在预报时, 如有可能, 最好把两种方法的计算结果进行综合, 然后再决定最大或次大可能的发震时间.

5. 效果

1900—1969 年底共取 10 区资料 96 个, 但其中有三对时间间隔不到 15 天, 因而两个震当成一个, 故实际上只取了 93 个震.

(1) 趋势 仅就 t 是发震时刻计, 共有 H_t 值 900 多个, 即作了 900 多次“有”“无”和“待定”的预报. 但其中只有 30 多个数据产生了虚报、漏报、错报率不到 $40/900 = 4/90$.

实际漏报 3 个, 即 1952 年 9 月 23 日在 $28.5^{\circ}\text{N}, 102.3^{\circ}\text{E}$ 处发生的 $6\frac{3}{4}$ 级震, 1923 年 4 月 23 日在 $29.0^{\circ}\text{N}, 129.5^{\circ}\text{E}$ 处发生的 $6\frac{3}{4}$ 级震, 1936 年 5 月 27 日在 $28.5^{\circ}\text{N}, 83.5^{\circ}\text{E}$ 处发生的 7 级震.

实际产生的虚报仅十几次(相邻几个 H_t 产生同一次虚报).

1970—1976 年底, 内符检验仅一次虚报, 无漏报.

(2) 时间 报准率达 90%.

四、地 点

大区划分同前, 对每一个小地区, 根据转移到 10 区的地点(指五个小区)和时间长短的集中程度再划分为若干小区, 并将性质相似的小区归并在一起, 称为“区类”, 记为 $D_i^{(t)}$ —第 i 大区第 t 个“区类”.

以 τ_{it} 表示区类 $D_i^{(t)}$ 发震到下一次我国大陆发震的间隔时间, 简称为区类 $D_i^{(t)}$ 的间隔时间.

以 ξ_{it} 表示区类 $D_i^{(t)}$ 发震后, 下一次 10 区发震的地点. 以

$$F_i^{(t)} = P(\tau_{it} \leq x | \xi_{it} = k), \quad k = 1, 2, \dots, 5,$$

表示已知下一次我国大陆地震发生在第 k 区的条件下, 区类 $D_i^{(t)}$ 的间隔时间分布.

1. 地点预报公式

设根据趋势判别知 t 后 100 天(或 120 天)内有震, 又设在 $[t - 12, t]$ 时段内共发生 s 个地震(若该时段内 10 区发震, 则只取 t 与 t 前第一次 10 区地震间的地震), 发震时

间分别是 $t - u_i$, $i = 1, 2, \dots, S$. 对应的区类分别是 $D_{i_1}^{(i_1)}, \dots, D_{i_s}^{(i_s)}$ (其中可能有相同的).

第 k 个震对 t 后三个月内 10 区第 j 小区发震的概率贡献为

$$\begin{aligned} P(\xi_{i_k l_k} = j, u_k < \tau_{i_k l_k} \leq (u_k + 9) / \tau_{i_k l_k} > u_k) \\ = \frac{1}{1 - F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)} \cdot P(\xi_{i_k l_k} = j)(F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k + 9) - F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)) \end{aligned} \quad (5)$$

S 个地震对 t 后三个月内 10 区第 j 小区发震的平均概率贡献为

$$\bar{P}_{t_j} = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S \left[\frac{1}{1 - F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)} \cdot P(\xi_{i_k l_k} = j)(F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k + 9) - F_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)) \right] \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (6)$$

以其最大者报第一可能发震的地点, 次大者为第二可能. 实报时一般报两种可能.

在具体计算时是用频率代替概率.

以 $n_{i_k l_k}$ 表示区类 $D_{i_k}^{(i_k)}$ 历史地震总次数;

以 $n_{i_k l_k}(x)$ 表示间隔时间不超过 x 的历史地震总数;

以 $\eta_{i_k l_k}^{(j)}$ 表示区类 $D_{i_k}^{(i_k)}$ 转移到 10 区第 j 小区的历史地震总数 (转移概念参看文献 [3]);

以 $\eta_{i_k l_k}^{(j)}(x)$ 表示转移到 10 区第 j 小区的时间不超过 x 的历史地震总数.

这样,

$$\begin{aligned} P(\xi_{i_k l_k} = j, u_k < \tau_{i_k l_k} \leq u_k + 9 / \tau_{i_k l_k} > u_k) \\ \approx \frac{n_{i_k l_k}}{n_{i_k l_k} - n_{i_k l_k}(u_k)} \cdot \frac{\eta_{i_k l_k}^{(j)}}{n_{i_k l_k}} \cdot \frac{\eta_{i_k l_k}^{(j)}(u_k + 9) - \eta_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)}{\eta_{i_k l_k}^{(j)}} \\ = \frac{1}{n_{i_k l_k} - n_{i_k l_k}(u_k)} (\eta_{i_k l_k}^{(j)}(u_k + 9) - \eta_{i_k l_k}^{(j)}(u_k)) \end{aligned} \quad (7)$$

为此, 需要对每一个区类编造频数表. 下面给出第一大区的全部区类的经纬度和频数表. 由它们可以大致看出划区的规律. 当然这种划法不是唯一的, 也未必是最优的. 总之要历史符合率(用公式 (6) 对历史资料进行计算后的理论数据与实际的符合率)尽可能地高. 一般要求达到 90% 以上. 这就需要反复调整区类.

一区: 伊朗、阿富汗、土耳其等

$D_1^{(1)}$: $(35^\circ N - 45^\circ N, 10^\circ E - 45^\circ E)$,

$D_2^{(1)}$: $(25^\circ N - 42^\circ N, 45^\circ E - 69^\circ E) + (35^\circ N - 42^\circ N, 69^\circ E - 72^\circ E)$.

表 2、3 中的横行数字是区类按时间转移到 10 区各小区的频数.

特别应当注意的是, 第 10 区本身作为地点预报因子时也要区划, 确定“区类”. 它不同于原有的五个小区.

2. 举例

绘制 1977 年 5 月 30 日—11 月 20 日的 H_t 图(图 4).

在此时段内首次符合报“有”的时刻是 10 月 10 日. 按照规则 (i) 10 月 10 日后三个

表 2 $D_t^{(1)}$ 频数表

		t	1	2	3	4	5	6	7	8	> 8	总计
			0—30									
10 区 小 区 号												
I	1970—1978				2							2
	1900—1969			1	2	1	2	1		1	2	10
II	1970—1978	2		1								3
	1900—1969	1		1					2	1	1	6
III	1970—1978											0
	1900—1969				1	3		2		1	2	9
IV	1970—1978	2										2
	1900—1969	1	1								1	3
V	1970—1978		1								1	2
	1900—1969	1	1		2	1	1		2	2		10
总 数												47

表 3 $D_t^{(1)}$ 频数表

		t	1	2	3	4	5	6	7	8	> 8	总计
			0—30									
10 区 小 区 号												
I	1970—1978	1										1
	1900—1969	1	2				1	1		1	2	8
II	1970—1978											0
	1900—1969					1			1	1	3	6
III	1970—1978									1		1
	1900—1969							1		1	2	4
IV	1970—1978		1								1	2
	1900—1969				4			1	1		1	7
V	1970—1978		1						1			2
	1900—1969	1		1			2		1	3		8
总 数												39

月内应在 10 区发震，时间是 1977 年 10 月 11 日—1978 年 1 月 20 日。在 10 月 10 日前最后一次符合报“无”的时刻是 7 月 30，按规则 (ii) 之 (d) 应报 1977 年 8 月 1 日—10 月 30 日 10 区无震。按区间交法应报 10 区发震时间是 1977 年 11 月 1 日—1978 年 1 月 20 日。

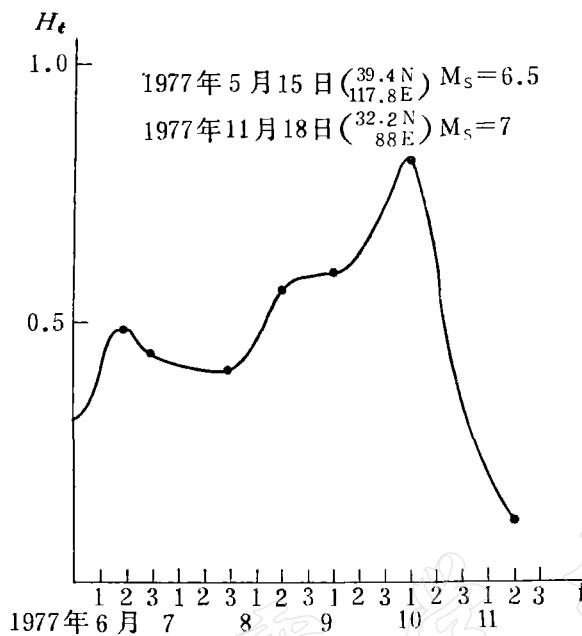


图 4

实际是 1977 年 11 月 18 日在西藏 (32.2 N, 88.0 E) 发生 $M_s = 7.1$ 地震。

1977年10月10日前120天内发震情况:

6月22日	24.0 S, 176.0 W	$M_s = 8.1$	$D_3^{(5)}$
7月29日	9.0 S, 157.0 E	$M_s = 7.2$	$D_8^{(3)}$
8月19日	10.9 S, 117.5 E	$M_s = 8.0$	$D_5^{(3)}$
9月5日	52.5 N, 179.6 E	$M_s = 7.1$	$D_1^{(7)}$
10月10日	22.0 S, 174.0 W	$M_s = 7.1$	$D_5^{(5)}$
7月15日	20.1 N, 121.9 E	$M_s = 5.9$	$D_3^{(4)}$

由公式(6)得

$$\bar{P}_{t1} = \frac{1}{6} \left(\frac{5}{42} + \frac{1}{37} + \frac{0}{20} + \frac{3}{24} + \frac{2}{61} + \frac{3}{28} \right) = 0.068$$

$$\bar{P}_{t2} = \frac{1}{6} \left(\frac{1}{42} + \frac{2}{37} + \frac{4}{20} + \frac{2}{24} + \frac{3}{61} + \frac{1}{28} \right) = 0.074$$

$$\bar{P}_{t3} = \frac{1}{6} \left(\frac{3}{42} + \frac{0}{37} + \frac{0}{20} + \frac{2}{24} + \frac{3}{61} + \frac{4}{28} \right) = 0.057$$

$$\bar{P}_{t4} = \frac{1}{6} \left(\frac{2}{42} + \frac{0}{37} + \frac{0}{20} + \frac{1}{24} + \frac{2}{61} + \frac{1}{28} \right) = 0.026$$

$$\bar{P}_{t5} = \frac{1}{6} \left(\frac{7}{42} + \frac{0}{37} + \frac{3}{20} + \frac{4}{24} + \frac{0}{61} + \frac{2}{28} \right) = 0.092$$

由此应报：第一可能 5 区；

第二可能 2 区.

实际发震在 2 区。

3. 效果

内符效果 89%。自 1977 年初试报以来，1977 年 5 月 12 日芦台 $M_s = 6.5$ 级地震漏报；1977 年 11 月 18 日西藏 (32.2 N, 88.0 E) $M_s = 7.1$ 级地震趋势、时间、地点皆正确；1978 年 3 月 25 日苏联阿拉木图 (中苏边境) (44.4 N, 78.1 E) $M_s = 7.2$ 级地震趋势、时间、地点皆正确；1978 年 9 月 12 日虚报一次。

五、存在问 题

1. 若我国大陆两次大震时差很近(不足半月), 则其中一个地震易漏报.
2. 区类频数表中数据较少且较分散, 因而频率的稳定性较差. 但随着时间的延长, 数据会不断增加, 情况就会好些.

本文的计算工作是在 1976 年底完成的. 曹春花、冯培生、吴恒山等同志也参加了计算. 此外在本文的写作过程中还得到王梓坤教授的指导和帮助. 作者在此表示谢意.

附一、国内大陆及边界附近的分区

I: 新疆、西藏、青海部分地区

$$\left(\begin{array}{l} 35 \text{ N}-45 \text{ N} \\ 73 \text{ E}-85 \text{ E} \end{array}\right) + \left(\begin{array}{l} 37 \text{ N}-47 \text{ N} \\ 85 \text{ E}-91 \text{ E} \end{array}\right) + \left(\begin{array}{l} 40 \text{ N}-45 \text{ N} \\ 91 \text{ E}-95 \text{ E} \end{array}\right)$$

II: 西藏等地

$$\left(\begin{array}{l} 28 \text{ N}-35 \text{ N} \\ 73 \text{ E}-85 \text{ E} \end{array}\right) + \left(\begin{array}{l} 28 \text{ N}-37 \text{ N} \\ 85 \text{ E}-91 \text{ E} \end{array}\right) + \left(\begin{array}{l} 26 \text{ N}-35 \text{ N} \\ 91 \text{ E}-95 \text{ E} \end{array}\right)$$

III: 甘肃、宁夏、青海部分地区

$$\left(\begin{array}{l} 32 \text{ N}-43 \text{ N} \\ 95 \text{ E}-105 \text{ E} \end{array}\right)$$

IV: 四川、云南等地

$$\left(\begin{array}{l} 21 \text{ N}-32 \text{ N} \\ 95 \text{ E}-105 \text{ E} \end{array}\right)$$

V: 华北、内蒙等地

$$\left(\begin{array}{l} 29 \text{ N}-41 \text{ N} \\ 115 \text{ E}-124 \text{ E} \end{array}\right) + \left(\begin{array}{l} 39 \text{ N}-42 \text{ N} \\ 105 \text{ E}-115 \text{ E} \end{array}\right)$$

附二、全球十大区

- | | |
|---------------|-----------------|
| (一) 伊朗、阿富汗等 | (二) 缅甸、苏门答腊等 |
| (三) 苏拉威西、所罗门等 | (四) 中国台湾省, 菲律宾等 |
| (五) 斐济、汤加等 | (六) 日本、千岛等 |
| (七) 白令海峡等 | (八) 中美、北美等 |
| (九) 南美等 | (十) 我国大陆及边境附近地区 |

参 考 文 献

- [1] 南开大学数学系统计预报科研小组,预测大地震的一种数学方法,地球物理学报,18, 2, 118—126, 1975.
- [2] 南开大学数学系统计预报科研小组,概率与统计预报及在地震与气象中的应用,97—103,科学出版社,1978.
- [3] 王梓坤等,地震迁移的统计预报,地质科学,4, 294—306, 1973.

CONTINUOUS PREDICTION OF LARGE EARTHQUAKES

WU RONG

(Nankai University)

Abstract

The purpose of this work is to establish at any time t , formulas for the time and region of the next large earthquake to occur within continental China.

At first a criterion may be obtained to estimate the possibility of the occurrence of a large earthquake in this region during the coming three months after time t . If it should occur, then try to predict its time and location.

These formulas are derived by using the relation between the time and region data of the earthquakes occurred in both the whole world and continental China and by applying the Theory of Stochastic Process.