

地震预报确定率、报准率和 成功率的计算

肖志江* 骆鸣津

(河南省地震局)

唐九安

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文提出一种评价地震预报意见的定量化方法。对于任一种预报意见的确定率、报准率和成功率均以数学公式表示。最后以1975~1984年我国年度地震趋势预报意见为例,进行了计算和分析。结果表明我国的地震中期预报水平还很低。

一、引 言

在地震预报过程中,评价各种预报意见时,常用“对应”或“没有对应”、“虚报”、“漏报”这样笼统的说法,对各种预报意见难以比较其优劣,不便于总结经验教训。对某个地区、某个时段的多次预报意见的总评价问题,有的学者已提出一些方法^[1、2],我们在此提出一种评价预报意见的成功率的定量计算方法。

对预报意见的评价分三步来进行:首先要评价预报意见本身的确定率,然后根据实际对应情况评价预报意见的报准率;最后对预报意见作出总的评价,称之为成功率,它是确定率和报准率的综合。

地震预报意见一般包含时间、地点、震级三个参数。在考虑单台预报意见时,可把所预报的地点分解为震中距和震中方位两个参数。在考虑综合预报时,把预报地点视为一个区域。

二、地震预报意见确定率的计算

设某次预报意见所预报的地震的某参数的全部取值范围为样本空间A,把所预报的地震

*现在浙江省地震局工作

的各参数作为均匀分布的随机变量 X ，若预报的地震参数的区间为 (c, d) ，则报准的概率为：

$$P\{C < X < d\} = \int_c^d \frac{1}{A} dx = \frac{\Delta A}{A} \quad (\Delta A = d - c). \quad (1)$$

显然 ΔA 愈小，则 P 愈小，但预报意见的确定性程度愈高，对预报意见本身的评价应愈高。因此，定义预报意见报准的相反事件的概率为预报意见的确定率，即

$$V_A = 1 - \frac{\Delta A}{A}. \quad (2)$$

对于时间的预报，其确定率

$$V_t = 1 - \frac{\Delta t}{t}. \quad (3)$$

式中 Δt 为预报的时间区间长度， t 为各类预报意见的时间域，中期预报为365天，短期预报为180天，临震预报为30天¹⁾。

对于单台对发震的地点的预报，设其有效监测距离为 D ，则有效监测区域面积为以台为圆心， D 为半径的圆面积 S （图1）。设预报的距离区间为 (D_1, D_2) ，相应圆面积区间为 (S_1, S_2) ，则

$$V_D = 1 - \frac{S_2 - S_1}{S} = 1 - \frac{D_2 - D_1}{D}. \quad (4)$$

若预报的方位区间为 (θ_1, θ_2) ，则

$$V_\theta = 1 - \frac{\theta_2 - \theta_1}{360} = 1 - \frac{\Delta \theta}{360}. \quad (5)$$

对方位区间作如下定量规定：北东方向的方位区间为 $[(45 - 22.5), (45 + 22.5)]$ ，即 $(22.5, 67.5)$ ， $\Delta \theta = 67.5 - 22.5 = 45$ （度），北北东方向的方位区间为 $[(22.5 - 11.25), (22.5 + 11.25)]$ ，即 $(11.25, 33.75)$ ， $\Delta \theta = 33.75 - 11.25 = 22.5$ （度）。其它方位依此类推。北北东方位及南东方位的 $\Delta \theta$ 示于图2中。

对于多台或多种手段对发震地点的综合预报有：

$$V_s = 1 - \frac{\Delta S}{S}. \quad (6)$$

式中 S 为多台或多种手段的有效监测区域面积， ΔS 为预报的发震区面积。

对于震级的预报，其确定率

$$V_M = 1 - \frac{\Delta M}{8.9}. \quad (7)$$

式中 ΔM 为预报的震级区间长度，8.9为全球有记录以来的地震的最高震级。

以上计算是把预报的各个时间段、不同的震中距及不同的震级范围视作等权。如果确认有某种因素影响对预报意见的评价，可以采取加权的办法。例如，震中距越小，可能出现的前兆异常越多，越易报准。设报准概率的权为震中距的倒数，则：

¹⁾ 华北地区地震综合预报清理成果报告，1985。

$$V_D = 1 - \frac{\frac{1}{l}}{\sum_{i=1}^K \frac{1}{n}} \cdot \frac{D_2^2 - D_1^2}{D^2} \quad (8)$$

式中 $K = \text{INT}\left(\frac{D}{D_2 - D_1} + 0.5\right)$, $l = \text{INT}\left(\frac{D_1 + D_2}{2(D_2 - D_1)} + 0.5\right)$ (INT为取整函数)。

其余因素的加权问题可作类似的考虑。

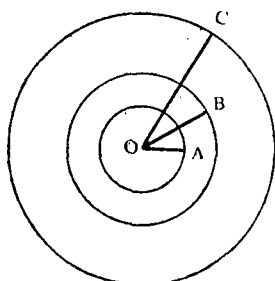
根据预报意见确定率的计算结果可以决定对预报意见的重视程度。例如, 依据某年3月15日以后的前兆资料出现的异常分析, 认为5月15日前后二天内将发生地震, 则

$$V_{t1} = 1 - \frac{5}{180} = 0.97。$$

如果预报时间是5月15日前后30天, 则

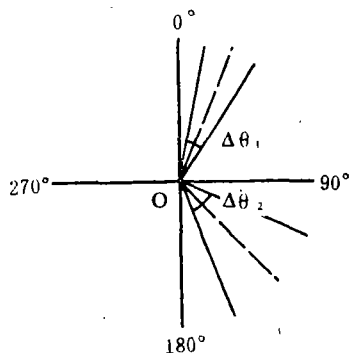
$$V_{t2} = 1 - \frac{61}{180} = 0.66。$$

显然后一种预报意见确定率很低, 也就是不确定性很大, 因此即使报准, 对这种预报意见也难以给予重视。



$D_1 = OA$ $D_2 = OB$ $D = OC$

图 1



O: 台站位置 $\Delta\theta_1$: 北北东方位 $\Delta\theta_2$: 南东方位

图 2

三、地震预报的报准率和成功率

实际发生的地震的参数和预报的参数的误差决定了对预报意见的报准率的评价。设某参数误差为 $\Delta A'$, 则报准率为

$$\begin{cases} E_A = 1 - \frac{\Delta A'}{A}, & (\Delta A' \leq A); \\ E_A = 0, & (\Delta A' > A). \end{cases} \quad (9)$$

式中A的定义同(2)式。

我们将地震预报的成功率定义为预报意见的确定率和报准率的乘积, 即

$$F_A = V_A \cdot E_A = \left(1 - \frac{\Delta A}{A}\right) \left(1 - \frac{\Delta A'}{A}\right), \quad (10)$$

对发震时间、地点和震级的预报成功率分别有下列各式:

$$F_t = \left(1 - \frac{\Delta t}{t}\right) \left(1 - \frac{\Delta t'}{t}\right); \quad (11)$$

$$F_D = \left(1 - \frac{D_2^2 - D_1^2}{D^2}\right) \left(1 - \frac{|D_s^2 - D_0^2|}{D^2}\right); \quad (12)$$

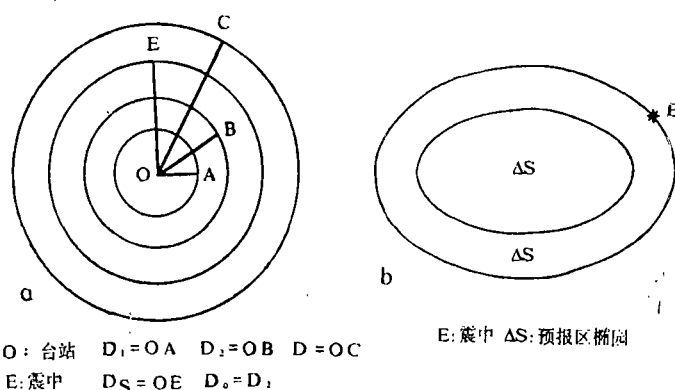
$$F_\theta = \left(1 - \frac{\Delta \theta}{360}\right) \left(1 - \frac{\Delta \theta'}{360}\right); \quad (13)$$

$$F_s = \left(1 - \frac{\Delta S}{S}\right) \left(1 - \frac{\Delta S'}{S}\right); \quad (14)$$

$$F_M = \left(1 - \frac{\Delta M}{8.9}\right) \left(1 - \frac{\Delta M'}{8.9}\right). \quad (15)$$

(12) 式中 D_s 为实际震中距, $D_0 = D_2$ (当 $D_s > D_2$ 时) 或 $D_0 = D_1$ (当 $D_s < D_1$ 时)。

(14) 式中 $\Delta S'$ 为边界过震中的且与 ΔS 同心的几何图形 (通常为圆或椭圆) 的面积与 ΔS 之差 (见图 3)。



如果把对地震的震中、时间、震级分别报准看作独立的随机事件, 三种参数同时报准才算预报成功, 则预报成功率为

$$P = F_t \cdot F_D \cdot F_\theta \cdot F_M \quad (16)$$

或
$$P = F_t \cdot F_s \cdot F_M. \quad (17)$$

如果把一个参数报准也算预报成功, 则其成功率用三要素各自的预报成功率的平均值表示:

$$P = \frac{1}{4} (F_t + F_D + F_\theta + F_M) \quad (18)$$

或
$$P = \frac{1}{3} (F_t + F_s + F_M). \quad (19)$$

如果对各参数预报成功率给予不同的权, 则取其平均值:

$$P = \frac{1}{q_t + q_s + q_M} (q_t \cdot F_t + q_s \cdot F_s + q_M \cdot F_M). \quad (20)$$

单台多种手段对某次地震预报的总的成功率和单手段多台预报成功率的计算分别用以下两式表示:

$$P_N = \frac{1}{\sum_{i=1}^N q_i} \cdot \sum_{i=1}^N q_i P_i; \quad (21)$$

$$P_M = \frac{1}{\sum_{i=1}^M q_i} \cdot \sum_{i=1}^M q_i P_i. \quad (22)$$

式中 N 为观测手段的数量， M 为台站数。(21)式中 q_i 为第 i 种手段预报成功率的权，(22)式中 q_i 为第 i 个台站预报成功率的权。

多台多手段对某次地震的预报成功率：

$$P_d = \frac{1}{\sum_{i=1}^N q_{Ni}} \cdot \sum_{i=1}^N q_{Ni} P_{Ni} \quad (23)$$

或

$$P_d = \frac{1}{\sum_{i=1}^M q_{Mi}} \cdot \sum_{i=1}^M q_{Mi} P_{Mi}. \quad (24)$$

式中 M 为总的台站数， N 为总的观测手段数， q_{Ni} 为 P_{Ni} 之权， q_{Mi} 为 P_{Mi} 之权。

对多次地震，多台多手段预报成功率为：

$$P'_d = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l P_{di}. \quad (25)$$

对多次地震，单台多手段和单手段多台的预报成功率分别有：

$$P'_N = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l P_{Ni}; \quad (26)$$

$$P'_M = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l P_{Mi}. \quad (27)$$

式中 l 为预报次数(包括预报意见时间域 t 内漏报地震次数)。

四、对我国1975~1984年年度地震活动

趋势预报的评价

本文计算所依据的资料为国家地震局分析预报中心所编的《1975~1984年中国地震趋势分析图》。因年度趋势意见只给出地点和震级的预报情况，因此，本文只计算对地点和震级的预报成功率。

计算地点的预报成功率时，首先要确定 S 。我们以文献[3]中图23为基础，把全国分为六个区(见图4)，其中把渤海、黄海划入华北地震区，把滇西和青藏高原东部一部分及南北带划为一个区。若预报的监视区跨二个区，则 S 为这二个区面积之和。 S 、 ΔS 、 $\Delta S'$ 均用求积仪在图上量算。

在确定 ΔM 时，对有明确震级范围的直接取值；对只给出一个震级值没有给出范围的，如5级或6级，其范围取为5~5.4或6~6.4， ΔM 即为0.4；凡不列出震级的，则定为5

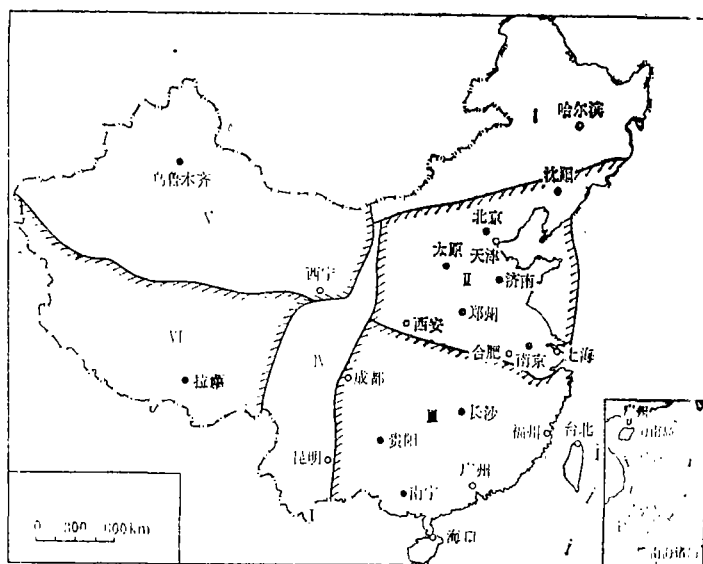


图4 地震中期预报分区图

Fig. 4 A map of China with six earthquake prediction regions

级以上, ΔM 取为 $8.9 - 5.0 = 3.9$ 。 $\Delta M'$ 为实际发生的地震的震级和预报的震级范围最接近值之差。

由于每年划定的地震监视区的范围有一定的差别, 提法上也有差别, 因此在计算预报意见确定率时给予不同的确定性系数 q 。对重点保卫区、加强监视区和密切注视区的 q 取为 1, 需进一步观测研究区 (1976)、需注意监视区 (1978)、注意监视区 (1980)、注意观测区 (1981) 和需注意研究的地区 (1984) 的 q 取为 0.8, 有异常需进一步核实观测区 (1976) 的 q 取为 0.6。

我们将每年所有预报意见总的确定率、报准率和成功率列于表 1 中。用表 1 中的数据作成图 5, 由图 5 可以看出:

表 1 1975~1984年每年中期预报成功率

时间(年)	V_s	V_m	E_s	E_m	P_d	L	P'_d
1975	0.95	0.90	0.20	0.17	0.16	0	0.16
1976	0.64	0.45	0.35	0.35	0.23	11	0.13
1977	0.96	0.88	0.17	0.16	0.14	16	0.07
1978	0.83	0.64	0.27	0.26	0.19	10	0.12
1979	0.95	0.75	0.59	0.57	0.51	7	0.30
1980	0.91	0.69	0.27	0.27	0.20	13	0.09
1981	0.83	0.66	0.50	0.49	0.39	5	0.21
1982	0.85	0.70	0.14	0.14	0.12	9	0.05
1983	0.90	0.56	0.29	0.29	0.21	6	0.11
1984	0.83	0.53	0.19	0.21	0.13	2	0.12

表中 L 为每年漏报事件数, P'_d 为全年总的预报成功率 (含漏报的情况)

(1) 对地点预报的确定率 V_s 曲线反映, 除 1976 年预报区域过大外, 其余每年在各地震区中确定的各类监视区的面积平均为本区面积的百分之十左右。

(2) 震级预报确定率曲线 V_M 呈下降趋势。

(3) 地点报准率 E_S 和震级报准率 E_M 曲线起伏大，并且除1978~1979年外，曲线呈现很有规则的一起一伏的形态。

(4) 地震预报成功率 P_d 和 P'_d 反映总的地震中期预报水平还较低，即使是成功地预报了海城地震的1975年，其 P_d 和 P'_d 也并不高，1979年以后这两条曲线呈起伏下降趋势。

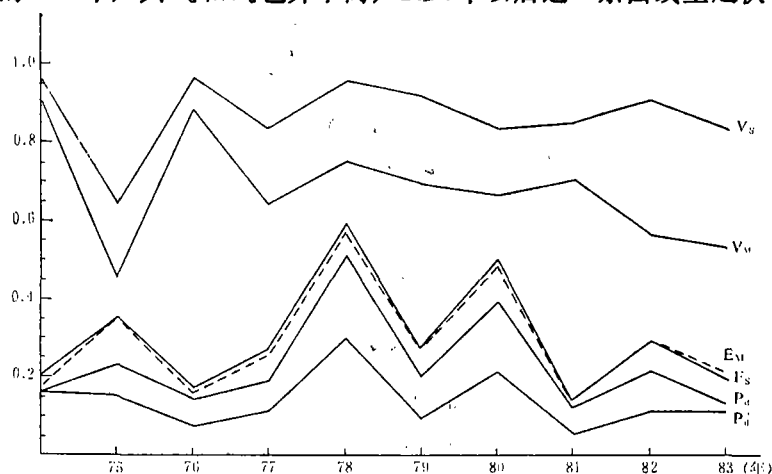


图5 1975—1984年度中期地震趋势预报的确定率、报准率和成功率

Fig. 5 Curves of the rates of determination, precision and success for annual mid-term prediction of seismicity tendency from 1975 to 1984

五、结 束 语

本文提出的对地震预报成功率的计算方法可以使对预报意见的评价实现定量化，这有利于不断总结经验教训，推进地震预报研究的进展。本文的工作仅仅是一种尝试，还有一些问题有待进一步探讨，对我国1975~1984年中期地震预报成功率的计算结果也有待深入研究。

顾梦林同志对本文提出了有益的讨论意见，骆兰梅同志清绘了图4，在此一并致谢。

(本文1986年5月2日收到)

参 考 文 献

- [1] 朱令人等，新疆地震会商预报效能分析，地震，No. 1，1986.
- [2] 洪时中，关于地震预报评分问题的初步讨论，地震研究，Vol. 4，No. 8，1981.
- [3] 中国科学院地质研究所，中国地震地质概论，地震出版社，1974.
- [4] 浙江大学数学系高等数学教研组，概率论与数理统计，人民教育出版社，1982.

CALCULATION OF THE RATES OF DETERMINATION,
PRECISION AND SUCCESS FOR THE
EARTHQUAKE PREDICTION

Xiao Zhijiang, Luo Mingjin

(*Seismological Bureau of Henan Province*)

Tang Jiu'an

(*The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

Abstract

In this study, we present a quantitative method which can estimate the opinion of the earthquake prediction by using a series of formulas to calculate the rates of determination, precision and success for various opinions in earthquake prediction. Finally, as an example, the rates of determination, precision and success for annual earthquake prediction in China from 1975 to 1984 have been calculated and analysed. The results show that the level of the seismic midterm prediction in China is still very low.