

全国震情会商会预报效能 评分方法的研究

吴富春 姬建中 鲁秀玲 许俊奇

(陕西省地震局)

摘 要

本文综合分析自1976年以来全国震情趋势会商会的资料,对全国历年预报区分布及各区5级以上地震的发震概率作了统计。在此基础上对预报效能用12种评分方法进行试算和比较。结果表明,就目前的预报水平而言,评价全国会商会的预报效能以单项评分方法为好,二项分布检验和Fisher检验方法是较为合适的统计检验方法。本文还用上述方法对16年来我国的地震预报状况作了评价。

关键词: 预报效能; 评分方法; Fisher 检验; 震情会商

一、引言

全国震情趋势会商会是我国各类地震会商会中规模最大、规格最高的会议,也是我国地震预报水平的最高体现。由于会议所形成的震情意见要上报中央、下发全国各有关地区,它的影响广泛且意义深远。因而,找出一种合适的方法并客观地评价这个会商会的效能,总结其中的经验与不足,是一件十分重要且为人们所密切关注的事情。本文拟从原始资料入手,从历年预测图中求出有关数据,并用各种评分方法进行分析,最后筛选出1—2种较为适合的评分方法和统计检验方法,并利用该方法对我国16年来的预报状况作了评价。

二、历年会商资料的预处理

将历年全国震情会商会确定的重点监视区(简称Ⅰ类区)及需注意的地区(简称Ⅱ类区)进行综合归纳,确定出两类地区出现频次较高的区域,共21个小区,标示于图1中。包括1991年在内的16年中的Ⅰ类区均位于上述区域中。图1各小区中的小数表示该区1900—1990年间发生5级以上地震的自然概率,由发生5级以上地震的年份数除以91求得。

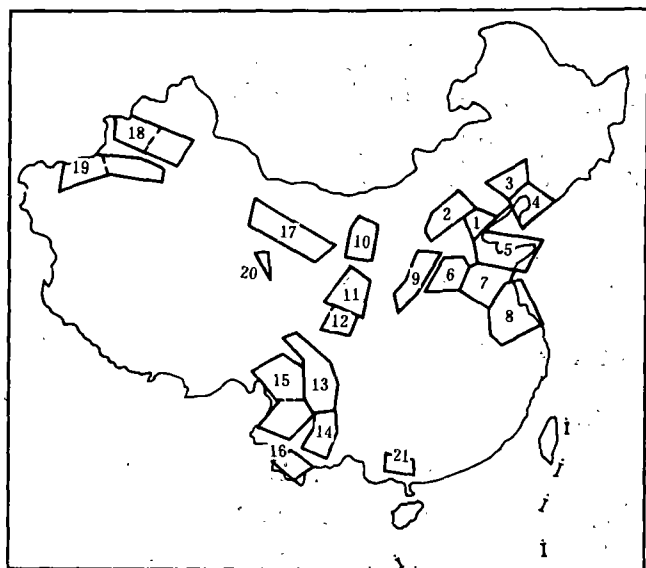


图1 全国历年预报区分布及各区年地震发生概率

Fig. 1 Distribution of prediction areas every year in China and the probability of earthquake occurring in these areas

由于历年预报意见表述严密程度不同,为此,在圈定预报区域时,本文作了如下考虑:

(1) 预报意见中有明确预报范围的,则按明确的地区勾画出。如无明确范围或边界较模糊的,则将预报区画大一些,以便把邻近地区发生的地震也包括进去。

(2) 预报意见中一些年份预报震级不明确,为此,本文规定,只要某预报区在预报的第一年内发生了一次5级以上地震,就认为与预报意见对应了,并不苛求一定要发生与预报的震级相同的地震。

(3) 本文所用的地震资料选自国家地震局分析预报中心编的地震目录。所统计的全

国、中国大陆或可监视区内地震次数包括余震,因此,评价上述区域中5级以上地震的报准率及漏报率应考虑这个因素。

三、资料的再处理和评分方法的筛选

评价历年预报区的报准率和5级以上地震的报准率的问题属于一维问题,可用二行二列的列联表的形式来表示(表2)。表2中 n_1 为报有震实际有震区数; n_0 为报有震实际无震区数; n_1^0 为报无震实际有震区数; n_0^0 为报无震实际无震区数。 $N^1=n_1+n_0$ 为报有震总区数; $N^0=n_1^0+n_0^0$ 为报无震总区数; $N_1=n_1+n_1^0$ 为实际有震总区数; $N_0=n_0+n_0^0$ 为实际无震总区数。

上述评分方法仍属于0-1型。此类方法很多,文献[1]列举了20多种,我们先从中选出12种接近于本文要求的评分方法来对历年会商结果进行试算,然后从计算结果中挑选出1-2种更为合适的评分方法。

对于历年全国会商会预报效能的检验,用3种方法,即 χ^2 检验、Fisher检验及二项分布检验。

χ^2 检验的公式为:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad \chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}$$

其中 n_i 为盲目预报时各种“状态”出现的频数, E_i 为 n_i 的期望值, $i, j=0, 1$ 。该公式的适用范围为 $E_{\min} \geq 50$, $E_{\min}$ 为最小自然概率分布的理论频数。

表1 图1所示的区号、区名及年发震概率对应表

区号	区 名	E	区号	区 名	E
1	京 津 唐	0.044	12	松 潘 茂 汶	0.078
2	京西北—晋冀蒙	0.056	13	甘孜—巧家	0.378
3	辽蒙交界	0.022	14	滇东, 滇中南	0.278 北 0.178 南
4	辽东半岛及渤海	0.033	15	川滇藏, 滇西, 滇西北	0.322 北 0.267 南
5	山东北岛—渤海—北黄海	0.011	16	耿马, 澜沧, 思茅, 勐腊	0.178
6	晋 冀 豫	0.067	17	甘新青, 祁连山中	0.144
7	苏 鲁 豫	0.022	18	北天山(乌市—伊宁)	0.156 西 0.100 东
8	苏鲁交界—南黄海 铜陵—扬州—黄海, 皖中	0.067	19	南天山(乌恰—库尔勒)	0.278 西 0.167 东
9	山西中南端—晋陕豫	0.078	20	都兰—花石峡—乌兰	0.011
10	宁 蒙 交 界 区	0.087	21	南宁—玉林—钦川	0.022
11	陕甘宁青, 甘东南	0.100			

表2 二行二列联表

实际 \ 预报	有	无	合计
有	n_{11}	n_{10}	N_1
无	n_{01}	n_{00}	N_0
合计	N^1	N^0	N

Fisher 检验的公式为:

$$P_H = \frac{\sum_{k=1}^{\min(N^1, N^0)} P_k}{\sum_{k=1}^{\min(N^1, N^0)} P_k}, \quad P_H \leq \frac{\alpha}{2}, \quad \alpha = 0.01.$$

α 为显著性水平。适用范围: $N < 50$ (N 为预报样本数)。

二项分布检验的公式为:

$$P_B = \sum_{k=0}^{N_1} P_k, \quad P_B \leq \frac{\alpha}{2}, \quad \alpha = 0.01.$$

适用范围: $N \geq 50$, $E_{\min} < 5$, $N^1 < 10$ 或 $N^1/N > 0.1$ (N^1 为预报有震数)。

根据全国会商会预报结果, 得出 $N=21$, $E_i < 5$ ($E_i = E_{\min}$), $N^1 < 10$, $N^1/N > 0.1$ 。可以看出, 用二项分布及 Fisher 方法检验是较为合适的。本文对预报效能的检验使用了上述 3 种方法。

表3列出了历年预报状况的统计结果及由统计检验及各种评分方法所求得的结果。需要说明的是: 在 21 个基本预报区内, 若某年预报 m 个区有 5 级以上地震, 则意味着对另外的 $21-m$ 个区作了无 5 级以上地震的预报。在 Hedike 评分中本文用了两种自然概率, 一种是从每年的具体预报结果中求出数学期望值后(按自然概率分布的理论频数), 计算 S_H 。另一种是某年

若对 m 个区作了有震预报, 则按历史地震的自然概率对 m 个小区年地震频度简单求和, 得到 E , 再计算 S_E 。

表 3

I 类区预报状况、统计检验和评分结果 ($N=21$)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Σ	$\bar{A}$
n_1	3	2	1	4	1	2	1	1	2	2	1	0	8	8	0	26	1.73
n_2	4	7	6	4	8	3	4	6	5	4	8	8	6	4	7	77	6.13
n_3	8	3	8	6	4	2	4	8	2	2	8	5	4	3	3	59	3.83
n_4	8	9	9	7	8	14	12	12	12	18	8	10	9	11	11	158	10.20
N^*	7	9	9	8	8	5	5	8	7	8	7	8	8	7	7	103	8.87
N_1	8	6	7	10	6	4	5	4	4	4	8	5	7	8	3	84	6.80
N^0	14	12	15	13	12	18	18	15	14	15	14	15	13	14	14	212	14.13
N_0	12	18	14	11	18	17	19	17	17	17	14	18	14	16	18	280	15.88
E_2	8	9.14	10	8.80	9.14	12.85	12.18	12.14	11.39	12.14	9.33	11.43	8.67	10	12		
E_3	8	2.88	6	8.18	2.88	8.05	3.81	2.88	2.87	2.88	4	8.57	4.88	4	2		
E_4	4	8.88	4	4.18	8.88	4.05	3.81	4.88	5.87	4.85	4.87	4.57	5.33	5	8		
E_1	8	2.14	2	3.81	3.14	0.95	1.18	1.14	1.89	1.14	2	1.48	2.87	2	1		
χ^2	0.0710	0.0218	1.0500	0.0284	1.4000	1.8880	0.8400	0.1240	0.8180	1.1120	2.0000	2.8250	0.1010	1.0500	1.7500	$\chi^2_{0.05}=3.84$	通不过
P_{χ^2}	0.8781	0.7814	0.4447	0.8080	0.8610	0.3131	0.3593	0.7119	0.4070	0.0680	0.1388	0.8524	0.5570	0.2880	1.0000	$\alpha=0.01$	通不过
P_{α}	0.538	0.870	0.912	0.584	0.914	0.243	0.743	0.718	0.397	0.321	0.231	0.581	0.532	0.321	0.142	$\alpha=0.01$	通不过
P_1	0.48	0.22	0.17	0.60	0.11	0.40	0.20	0.17	0.28	0.33	0.14	0.00	0.38	0.43	0.00		0.35
P_2	0.43	0.25	0.40	0.48	0.33	0.13	0.25	0.20	0.14	0.13	0.48	0.33	0.31	0.31	0.31		0.28
P_3	0.67	0.75	0.80	0.64	0.87	0.88	0.78	0.80	0.88	0.87	0.67	0.67	0.88	0.78	0.78		0.72
P_4	0.57	0.78	0.83	0.50	0.88	0.80	0.80	0.83	0.71	0.83	0.88	1.00	0.83	0.57	1.00		0.75
P	0.62	0.68	0.48	0.52	0.48	0.78	0.82	0.82	0.87	0.71	0.48	0.48	0.67	0.87	0.62		0.67
Q_1	0.33	0.40	0.14	0.40	0.20	0.50	0.20	0.25	0.50	0.50	0.17	0.00	0.43	0.50	0.00		0.30
Q_2	0.87	0.68	0.84	0.54	0.50	0.82	0.75	0.71	0.71	0.77	0.67	0.83	0.84	0.78	0.81		0.86
S	0.000	-0.028	-0.283	0.039	-0.222	0.275	-0.050	-0.033	0.143	0.200	-0.288	-0.333	0.067	0.214	-0.214		-0.031
Q	0.000	-0.038	-0.314	0.038	-0.200	0.024	-0.050	-0.044	0.208	0.285	-0.282	-0.380	0.072	0.283	-0.889		-0.068
V	0.000	0.325	0.223	0.038	0.258	0.081	0.050	0.038	0.172	0.230	0.274	0.358	0.070	0.224	0.289		0.175
S_{α}	0.374	0.145	-0.037	0.382	-0.068	0.258	0.084	0.082	0.143	0.332	0.043	-0.200	0.235	0.278	-0.270		0.108
S_{α}	0.000	-0.028	-0.222	0.038	-0.240	0.300	0.050	-0.038	0.041	0.222	-0.241	-0.351	0.088	0.222	-0.250		-0.029
I	2.0×10^{-3}	7.8×10^{-4}	0.039	0.001	0.051	0.057	0.002	0.001	0.020	0.048	0.064	0.138	0.003	0.035	0.082		0.037
M	2.0×10^{-3}	8.5×10^{-4}	0.043	0.001	0.065	0.081	0.002	0.002	0.028	0.071	0.070	0.171	0.004	0.041	0.155		0.049
E_0	0.487	0.592	0.783	0.878	0.331	0.878	0.811	0.628	0.743	0.568	0.572	0.881	0.818	0.828	0.828		0.889

从表2可以看出:

(1)15年来,全国会商会的预报水平是较低的,每年的预报均不能通过检验。

(2)有震报准率 P_1 的变化在0—0.5之间,平均为0.25。也即平均每年有25%的预报有震区内会发生5级以上地震。

(3)历年预报区的虚报率 P_0 在0.5—1.0之间,平均为0.75。可以看出,全国会商会的虚报率是成功率的3倍。

(4)有震区的漏报率 P_2 在0.13—0.46之间,平均为0.28。

(5)无震区预报的准确率 P_3 在0.54—0.88之间变化,平均为0.72。

(6)有震区的报准率 Q_1 在0—0.67之间,平均为0.30。

(7)无震区的报准率 Q_2 在0.50—0.82之间,平均为0.66。

由上述结果可以看出,几种单项评分方法的含义明确,计算简便,其所得出的量值也与以往人们对全国会商会的预报评价相吻合。因此它不失为一种较好的评分方法,其缺点是没有考虑到预报区内地震发生的自然概率。

由顾氏评分求得 S 在-0.29—0.28之间变化,平均为-0.031。其数值较低且负值较多;OEYAOB评分结果 Q 在-0.39—0.27之间变化,平均值为-0.056;Wallen评分的结果 V 在0—0.37之间变化,平均为0.18,且多为正值。这个结果与实际情况相矛盾,例如1987年和1990年,报有震的准确率为0,但这两年的 V 值仍较高,达0.390,而报准率较高的1979年其 V 值仅为0.038。造成上述问题的原因是当某年有震报准率很低时, S 、 Q 均会出现负值,是最差的预报。由于 V 是 S 、 Q 乘积的算数平方根,所以 V 仍是大于0的正数,显然这与实际是不相符的;Hedike评分值 S_H 在-0.35—0.22之间变化,平均值为-0.029。上述4种评分方法显然是不适用的。

另外,由信息熵差和信息比所求出的 I 与 M 值虽是正数,但量值很小,平均值仅为0.037和0.049。这种评分结果显然也不符合要求。

根据历史地震年发生自然概率所求得的Hedike评分值 S_E 在-0.27—0.37之间变化,平均值为0.11。在过去的15年间,有4个年份为负值。出现负值的原因是这几年预报成功的地震次数(区域)比由自然概率所求得的地震次数还要少。由这种方法所求出的评分值较 P_1 低,但其中已考虑了自然概率的问题,因此,这是一种较好的评分方法。特别是在预报水平进一步提高之后,这种评分方法更具有科学性。

由15年来的地震预报情况统计结果可以看出,预报的可能发生5.0—5.9级地震的地区中,实际发生5.0—5.9级地震的地区仅占总数的14%,发生6.0—6.9级地震的占8%,发生7级以上地震的占20%,后者是由于预报区过少而引起的涨落。在各预报震级档次中虚报率是较高的。上述情况也说明,对这类会商会作更精确的评分是没有必要的。

图2给出了历年中国大陆及可监视区内5.0—5.9级,6.0—6.9级及5级以上地震位于Ⅰ类和Ⅱ类区内的比率。该比值由上述预报区内的地震次数除以中国大陆或可监视区内地震总数求得,没有考虑减去某年各预报区总面积占全大陆或可监视区面积之比这个自然概率问题。从图2中可以看出:

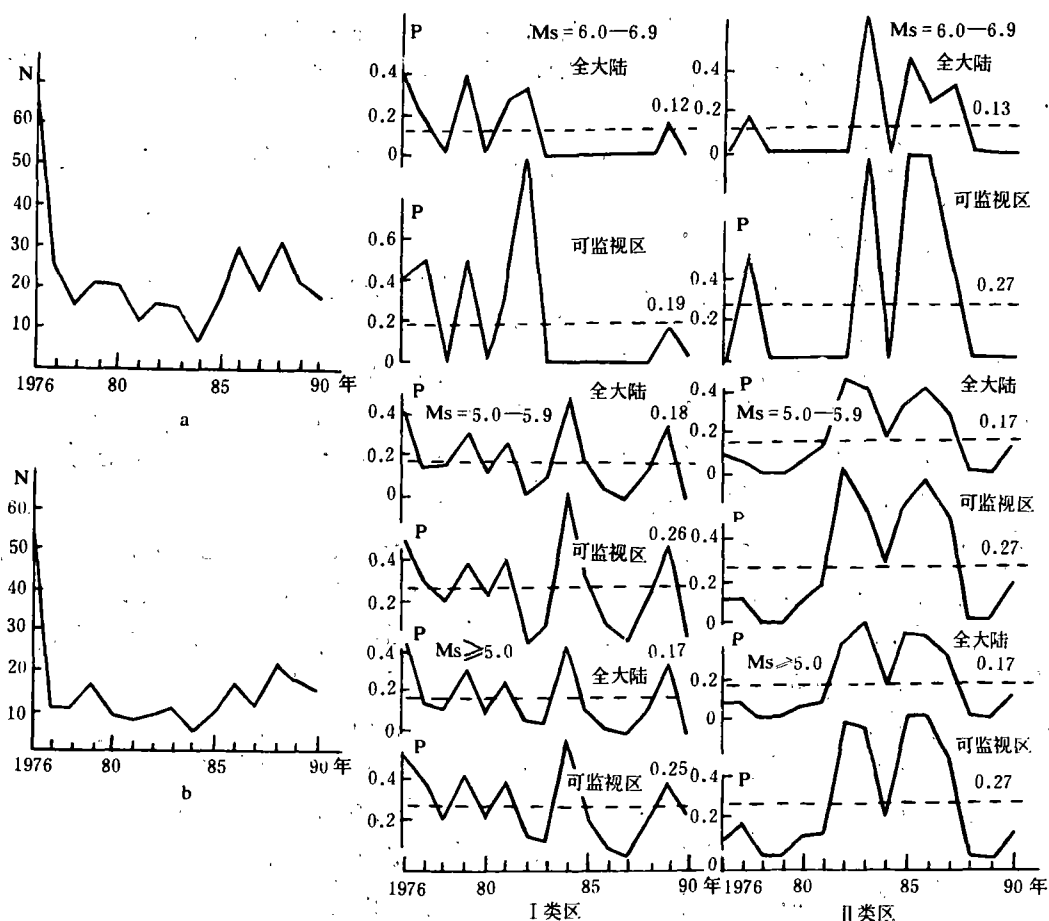


图2 中国大陆地区及可监视区内地震位于I、II类区的比率

a. 中国大陆地区历年 $M_s \geq 5.0$ 地震频次

b. 可监视区内历年 $M_s \geq 5.0$ 地震频次

Fig. 2 The ratio of earthquakes in the prediction areas and in whole land of China

(1) 中国大陆地区不同级次的地震位于I类和II类区的比率平均为:

6.0—6.9级地震: 0.12 和 0.13; 5.0—5.9级地震: 0.18 和 0.17; 5级以上地震: 0.17 和 0.17。

(2) 预报的可监视区内的地震位于I类和II类区的比率平均为:

6.0—6.9级地震: 0.20 和 0.27; 5.0—5.9级地震: 0.26 和 0.27; 5级以上地震: 0.25 和 0.27。

(3) 预报成功率与每年发生的地震次数无明显的关系。1985年以后, 中国大陆地区5级以上地震年频次明显增高, 但同期的预报成功率反而下降了。

(4) 平均而言, 中国大陆地区地震位于II类区的比率高于位于I类区的比率。

由于用单项评分所求得的中国大陆地区5级以上地震落入Ⅰ类区中的平均值仅为17%,如果再减去预报区与大陆地区的面积之比,这个数值还要小。因此,我们认为,评价中国大陆地区地震落入历年预报区内的比值问题还是以单项评分为好。如考虑预报区面积的影响,可先求出某年预报区总面积与全国面积之比,再从全国平均每年发生5级以上地震次数中求出预报区内一年应发生5级以上地震的次数,把它们作为E代入Hedike评分公式中,即可求出评分值 S_E 。

四、结论

综上所述,可以得出如下结论:

(1)全国震情趋势会商会所作的地震预报仍处于盲目预报状态,其水平较低。

(2)就目前的预报水平而言,评价全国会商会预报效能的方法以单项评分为好。而进行Q、S、V等一些更精确的综合评分是没有必要的。当预报水平有所提高之后,则可用Hedike评分方法。

(3)二项分布检验和Fisher检验是较合适的统计检验方法。

(4)15年的预报结果表明,历年所预报的Ⅰ类和Ⅱ类区中,有25%及20%左右的地区会发生5级以上地震。中国大陆及可监视地区内发生的5级以上地震分别有17%和25%落入Ⅰ类区中,有17%和27%的地震落在Ⅱ类区中。

(5)地震的预报成功率与地震较多的年份无明显关系。

(6)减少少震区的预报区数、减少跟踪预报,是提高预报评分值的有效方法。

(本文1992年3月23日收到)

参考文献

- [1]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. 3, P. 334—345, 1981.
- [2]王宗皓、李麦村,天气预报中的概率统计方法,科学出版社,1974.
- [3]M·费史,概率论及数理统计,王保福译,上海科学技术出版社,1962.

STUDY ON EVALUATION METHOD FOR PREDICTION ACCURACY IN THE NATIONAL ASSEMBLY FOR EARTHQUAKE TENDENCY CONSULTATION

Wu Fuchun, Ji Jianzhong, Lu Xiuling, Xu Junqi

(Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an, China)

Abstract

Having summarized the earthquake tendency opinions obtained from the National Assembly for
(下转 66 页)

- [5] 朱传镇, 对地震分形特征的几点认识, 地震研究, Vol. 14, No. 2, 1991.
[6] 洪时中等, 对地震分形特征的几点认识, 国际地震动态, No. 3, 1991.
[7] 李海华等, 门源 6.4 级强震前地震活动时间的分维结构, 西北地震学报, Vol. 9, No. 4, 1987.
[8] 安镇文等, 大震前后地震活动的时空分维特征, 地震学报, Vol. 11, No. 3, 1989.
[9] 朱令人等, 地震活动信息熵与分数维研究, 国际地震动态, No. 3, 1991.

A PRELIMINARY STUDY ON THE MULTI-FRACTAL OF EARTHQUAKE DISTRIBUTION IN NORTH CHINA

Jiang Haikun, Wei Guangxing

(Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan, 250021)

Abstract

According to the definition and principle of "fixed mass method", a numerical method is given in this paper, which can be used to judge the earthquake space-distribution fractal and calculate its dimension. Using this method, the features of earthquake distribution in North China is studied. The results show that satisfying certain statistic conditions, the earthquake distribution belongs fractal in different areas and periods. Selecting different areas and periods in the epicentral areas of the Tangshan and Haicheng earthquakes, the $D_q - q$ spectra are calculated. The results show that there is no marked change for the D_q versus q curves before and after the strong earthquakes. The results also show that for large areas, the D_0 value has reducing trend before strong earthquakes, and increase after the events; it is opposite for small areas; and for some areas, the D_0 seldom changes before and after strong events.

(上接95页)

Earthquake Tendency Consideration since 1976, we get that earthquakes with magnitude over 5 happened in a quarter of the prediction areas. The prediction accuracy in seismically active regions is greater than that in seismically inactive regions. About 17% earthquakes with magnitude over 5 in the Chinese continent happened in the predicted regions in the same year. The low level predictions is a blind prediction.

Having passed the practical calculation, we think that; the Individual Evaluation Method and the Hedike Evaluation Method are suitable to appraise the prediction accuracy and the binomial distribution test and the Fisher test are the suitable statistical test methods.