

应用极值理论估计华南地区未来5至10年的地震危险性

贾素娟

(国家地震局地球物理研究所, 北京)

提 要 本文应用极值分布函数和震级平均复发周期概念, 研究了华南5条地震带的缺震情况, 外推未来5至10年结果表明: 右江带无 $M \geq 5$ 级地震; 东南沿海内带有5.6~5.9级地震危险, 但危险性不大; 东南沿海外带发生6.5~6.9级地震的概率达69%; 台湾西带随时可能发生5级和6级地震; 台湾东带随时有可能发生6级和7级地震。

关键词 地震危险性预测 极值分布函数 震级平均复发周期 华南地区

冈贝尔 (Gumbel) 的极值统计方法^[1]在地震活动性研究中得到了广泛的应用。陈培善等则利用由极值方法求出的大地震复发周期进行中长期地震预报^[2]。本文就是应用陈培善修正型的极值分布函数, 用震级的平均复发周期的概念平均外推, 对华南地区5个地震带进行缺震估计。

一、方 法

陈培善修正型极值分布函数, 依据下述假设: (1) 地震的大小比例遵从震级频度关系, 即 $\log N = a - bM$; (2) 地震的发生遵从泊松分布; (3) 一个地区发生的地震具有一个震级上限。陈培善等推导出的震级极值分布函数为^[2]:

$$G(x) = \exp \left(- \left(\exp(-\beta(x-u)) (1 - e^{-\beta(x_2-x)}) \right) \right) \quad (1)$$

式中 $\beta = b \ln 10$ (b 为震级频度关系中的统计常数); u 为统计常数; x_2 为震级上限。

极值分布函数 $G(x)$ 的估计值 $\hat{G}(x)$ 采用格林格顿 (Gringorten) 1978年提出的方法^[3,4]

$$\hat{G}(x_l) = (1 - 0.44) / (n + 0.12) \quad (2)$$
$$l = 1, 2, \dots, n$$

陈培善修正型极值分布函数, 震级 $\geq X$ 的地震的平均复发周期为^[2]:

$$T(x) = \exp(\beta(x-u)) / (1 - \exp(-\beta(x_2-x))) \quad (3)$$

二、资 料

尽管极值统计分析对资料的要求不太苛刻。只要大地震记载资料相对较全即可, 但是,

本文1991年9月11日收到

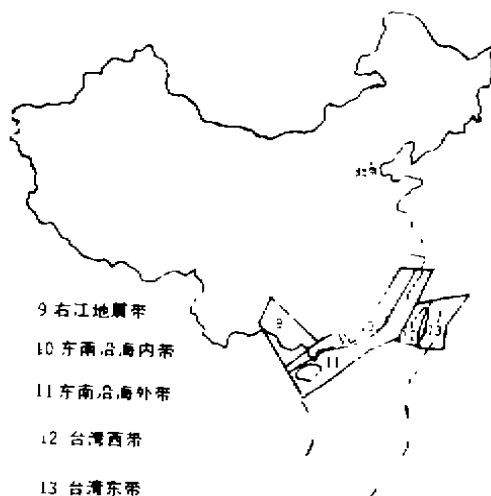


图1 华南地震带划分示意图
Fig. 1 Sketch map of dividing the seismic zones in South China area

对于多数地震带，早期的地震记载都不太完整。为了使统计分析的结果更接近实际情况，必须针对各地震带资料的具体情况，来选择供统计分析用的资料时段及目录，选择的原则为：

(1) 考虑地震资料的时间不均匀性，选择地震记载相对较全的时间段的资料来进行分析；

(2) 尽可能删去前震和余震，以保持地震事件之间的相互独立性。

华南5个地震带的划分如图1所示。从中国地震目录〔5,6〕上选取地震，建立各地震带的地震目录，分析地震记载相对较全的时间段，资料截止时间各地震带均为1990年4月30日。各地震带资料的具体情况，这里不累述了（见附录）。

三、结 果

应用上面介绍的方法及各地震带经过整理的地震目录，分别计算了各震级档外推5年和10年的缺震数，以及平均复发周期（见附录表1至表5）。

表1—5是华南地区5个地震带未来5—10年的缺震估计。表中的M代表震级区间，n代表从起始年到终止年这段时间里已经发生的地震数。 n_1 代表外推5年应发生的地震数。 n_2 代表外推10年应发生的地震数。 $n_1 - n$ 代表未来5年的缺震数。 $n_2 - n$ 代表未来10年的缺震数。T代表平均复发周期。如果 $n_2 - n \geq 1$ （或者 $n_1 - n \geq 1$ ），认为有危险。 $n_1 - n \approx 0$ （或者 $n_2 - n \approx 0$ ），表示没有某级以上的地震发生。所谓“没有”，只是意味着要发生地震的概率很小，并非绝对没有。而所谓危险，是意味着发生地震的概率较大，并非一定要发生。

根据前面的假设2，在一段时间t内，大于某个震级的地震次数 ξ 是一个泊松随机变量，服从泊松分布。即发生k个震地的概率为：

$$P(\xi = k) = \frac{\alpha^k \cdot e^{-\alpha}}{k!} \quad (4)$$

α 是取时间间隔里发生地震的平均数。

要发生大于k个地震的概率为：

$$P(\xi > k) = 1 - P(\xi \leq K) = 1 - \sum_{\gamma \leq k} \frac{\lambda^\gamma \cdot e^{-\lambda}}{\gamma!} \quad (5)$$

λ 是从某一个震级以上的地震开始算起在t时间内的平均值。根据(5)式，就可以估计要发生地震的概率。

例如，在(t+5)年里平均发生一个地震，即 $n_1 = 1$ ，而到目前为止还未发生地震，

即 $n=0$ ，则要发生地震的概率为：

$$P(\xi > 0) = 1 - \sum_{\gamma \leq 0} \frac{\lambda^\gamma e^{-\lambda}}{\gamma!} = 1 - 0.37 = 0.63$$

可见要发生地震的概率较大。

如果已经发生了一个地震，即 $n=1$ ，再要发生地震的概率为：

$$P(\xi > 1) = 1 - \sum_{\gamma \leq 1} \frac{\lambda^\gamma e^{-\lambda}}{\gamma!} = 1 - 0.37 - 0.37 = 0.26$$

可见要发生地震的概率就较小了。

如果已经发生了两个地震，即 $n=2$ ，还要发生地震的概率为：

$$P(\xi > 2) = 1 - \sum_{\gamma \leq 2} \frac{\lambda^\gamma e^{-\lambda}}{\gamma!} = 1 - 0.37 - 0.37 - 0.18 = 0.08$$

可以看成是小概率事件。

如果 $n_1=0.7$ ， $n=0$ ，要发生地震的概率为

$$P(\xi > 0) = 1 - \sum_{\gamma \leq 0} \frac{\lambda^\gamma e^{-\lambda}}{\gamma!} = 0.503$$

则地震要发生与不发生各占一半，这时，有点危险，但不大。

当 $n_1-n=1$ （或 $n_2-n=1$ ）时，要发生地震的概率随 n_1 与 n 的取值不同而异。如果 $n_1=1$ ， $n=0$ ，要发生地震的概率为 $P(\xi > 0) = 0.63$ ；如果 $n_1=2$ ， $n=1$ ，则 $P(\xi > 1) = 0.60$ ； $n_1=3$ ， $n=2$ ， $P(\xi > 2) = 0.58$ ； $n_1=4$ ， $n=3$ ， $P(\xi > 3) = 0.57$ ；…… $n_1=10$ ， $n=9$ ， $P(\xi > 9) = 0.54$ ，等等。 n_1-n 不变时，要发生地震的概率随 n 值的增加而减小。

当 $n_1-n=2$ 时，要发生地震的概率与 $n_1-n=1$ 时类似。 $n_1=2$ ， $n=0$ ， $P(\xi > 0) = 0.88$ ； $n_1=3$ ， $n=1$ ， $P(\xi > 1) = 0.80$ ； $n_1=4$ ， $n=2$ ， $P(\xi > 2) = 0.76$ ； $n_1=5$ ， $n=3$ ， $P(\xi > 3) = 0.74$ ；…… $n_1=10$ ， $n=8$ ， $P(\xi > 8) = 0.67$ ，等等。

当 $n_1-n=3$ 时，要发生地震的概率与上述两种情况相似。 $n_1=3$ ， $n=0$ ， $P(\xi > 0) = 0.95$ ； $n_1=4$ ， $n=1$ ， $P(\xi > 1) = 0.91$ ； $n_1=5$ ， $n=2$ ， $P(\xi > 2) = 0.88$ ； $n_1=6$ ， $n=3$ ， $P(\xi > 3) = 0.85$ ；…… $n_1=10$ ， $n=7$ ， $P(\xi > 7) = 0.76$ ，等等。

根据（5）式，就可以计算各种情况要发生地震的概率值，实际计算可查泊松分布表。

通过对 n_1-n 和 n_2-n 值的分析，可以找出来未来5—10年里相对危险的地震带及其要发生地震的概率。

对于每个地震带的情况，简述如下：

（1）右江地震带

从表1中可以看出，无5级以上地震危险。

（2）东南沿海内带

从表2中可以看出，5.5—5.9级， $n_1-n=0.69$ ， $n_2-n=0.77$ ，有发生5.5—5.9级地震的危险的但危险性不大。

（3）东南沿海外带

从表3中可以看出, 6.5—6.9级, $n_1 - n = 1.40$, $n_2 - n = 1.42$, 有发生6.5—6.9级地震的危险, 发震概率达69%。

(4) 台湾西带

从表4中可以看出, 7.0—7.4级, $n_1 - n = 2.13$, $n_2 - n = 2.24$, 有发生7.0—7.4级地震的危险, 发震概率达70%。尽管从表4中看5级和6级地震都不缺, 但是5.0—5.4级地震的平均复发周期为3.3年, 5.5—5.9级地震的平均复发周期为5.5年, 6.0—6.4级地震的平均复发周期为9.7年, 所以, 未来5—10年内随时有可能发生5级和6级地震。

本文资料截止到1990年4月, 1991年3月12日已经发生一个6.0级地震。

(5) 台湾东带

从表5中可以看出, 7.5—7.9级, $n_1 - n = 1.02$, $n_2 - n = 1.33$, 有发生7.5—7.9级地震的危险, 未来5—10年的发震概率只有5.5—60%。尽管计算结果不缺6.0—7.4级地震, 但是从平均复发周期来看, 6.0—6.4级为1.2年, 6.5—6.9级为2.4年, 7.0—7.4级为5.3年, 所以, 未来5—10年内随时有可能发生6级和7级的地震。

1990年12月14日已发生一个7.1级地震, 1991年3月26日发生一个6.7级地震。

应用极值理论对华南地区未来5—10年的地震危险性进行了估计, 所得结果只是初步的。对于地震比较多的地震带, 所得结果相对可靠一些。对于地震比较少, 可能发生的较大地震尚未发生时, 所得结果就不可靠。还要结合其他方法的分析预报情况, 进行综合分析、判断, 才能得到比较可靠的结果。

附录: 华南地区5条地震带缺震估计

Appendix: The estimation of seismic gaps in five seismic zones of South China area

表1 右江地震带缺震估计

9 You jiang 1494—1990

$bta = 2.5259$

$u = 3.7144$

$\times = 6.2000$

$q = 0.2339$

$fail = 0.0000$

M	n	n_1	n_2	$n_1 - n$	$n_2 - n$	T
		$t1 = 5$	$t2 = 10$			
4.5—4.9	15	49.49	49.98	34.49	34.98	7.4
5.0—5.4	16	14.00	14.14	-2.00	-1.86	27.0
5.5—5.9	7	3.96	4.00	-3.04	-3.00	109.7
6.0—6.2	1	0.62	0.63	-0.38	-0.37	810.8

表2 东南沿海内带缺震估计

10 Dong nan yan hai nei 1507—1990

$bta = 1.8510$

$u = 3.5296$

$\times 2 = 7.2000$

$q=0.1536$						
$fail=0.0000$						
M	n	n_1	n_2	n_1-n	n_2-n	T
		$t1=5$	$t2=10$			
4.5-4.9	17	48.98	49.48	31.98	32.48	6.1
5.0-5.4	26	18.41	19.61	-6.59	-6.38	15.5
5.5-5.9	7	7.89	7.77	0.89	0.77	40.1
6.0-6.4	5	3.05	3.08	-1.05	-1.92	108.6
6.5-6.9	1	1.21	1.22	0.21	0.22	336.3
7.0-7.2	0	0.25	0.25	0.25	0.25	1992.1

表3 东南沿海外带缺震估计

11 Dong nan yan hai wai 1619-1890

$bta=1.1136$						
$u=2.5111$						
$\times 2=8.8000$						
$q=0.1384$						
$fail=0.0000$						
M	n	n_1	n_2	n_1-n	n_2-n	T
		$t1=5$	$t2=10$			
5.0-5.4	18	12.74	12.87	-6.28	-6.13	16.2
5.5-5.9	10	7.30	7.38	-2.70	-2.02	28.6
6.0-6.4	4	4.18	4.23	0.18	0.23	50.9
6.5-6.9	1	2.40	2.42	1.40	1.42	92.1
7.0-7.4	2	1.37	1.39	-0.63	-0.61	171.3
7.5-7.9	1	0.79	0.80	-0.21	-0.20	338.2
8.0-8.8	1	0.62	0.63	-0.38	-0.37	765.6

表4 台湾西带缺震估计

12 Taiwan xi 1624-1990

$bta=0.8581$						
$u=3.7721$						
$\times 2=7.4000$						
$q=0.2413$						
$fail=0.0000$						
M	n	n_1	n_2	n_1-n	n_2-n	T
		$t1=5$	$t2=10$			
4.5-4.9	24	69.49	70.43	45.48	46.43	2.0
5.0-5.4	57	45.25	45.86	-11.75	-11.14	3.3
5.5-5.9	41	29.46	29.86	-11.54	-11.14	5.5
6.0-6.4	34	19.18	19.44	-14.82	-14.56	9.7
6.5-6.9	22	12.49	12.66	-9.51	-9.34	19.3
7.0-7.4	6	8.13	8.24	2.13	2.24	54.9

表5 台湾东帝缺震估计

13 Taiwan dong 1881—1990

bta=1.3313

u=5.9420

$\times 2=8.1000$

q=0.1764

fail=0.0000

M	n	n ₁ t1=5	n ₂ t2=10	n ₁ -n	n ₂ -n	T
5.0—5.4	58	195.90	204.42	137.90	146.42	0.3
5.5—5.9	77	100.68	105.06	23.68	28.06	0.6
6.0—6.4	70	51.74	53.99	-18.26	-16.01	1.2
6.5—6.9	39	26.59	27.75	-12.41	-11.25	2.4
7.0—7.4	24	13.67	14.26	-10.33	-9.74	5.3
7.5—7.9	6	7.02	7.33	1.02	1.33	14.5
8.0—8.1	2	0.93	0.97	-1.07	-1.03	124.2

参 考 文 献

- (1) Gumbel, E. J., 1958, Statistics of Extremes, Columbia university press.
 (2) 陈培善等, 1973, 极值理论在中长期地震预报中的应用, 地球物理学报, 16, 6—24.
 (3) Gringorten, Irving, I., 1978, A plotting rule for extremel probability paper, J. Geophys. Res, vol. 68, 813—814.
 (4) 高孟潭, 贾素娟, 1988, 极值理论在工程地震中的应用, 地震学报, 10, (3), 317—326.
 (5) 顾功叙主编, 1983, 中国地震目录(公元前1831年—公元1969年), 科学出版社.
 (6) 顾功叙主编, 1983, 中国地震目录(公元1970—1979年), 地震出版社.

THE ESTIMATION OF SEISMIC RISK IN THE COMING FIVE OR TEN YEARS IN SOUTH CHINA AREA BY USING THE LARGEST VALUE THEORY

Jia Sujuan

(Institute of Geophysics, SSB)

[Abstract] In this paper, the situation of seismic gaps in five seismic zones of South China is studied by using the extremal distribution function and average recurrence period of magnitudes. The result shows that in the coming five or ten years, there isn't any earthquakes of $M=5$ in Youjiang seismic zone, earthquakes of $M=5.5\sim 5.9$ may occur at the intrazone of southeastern coast, but it does not cause any harmful to us, and there is probability of 69 per cent that earthquakes of $M=6.5\sim 6.9$ will occur at the outer zone of southeaster coast. At the west zone of Taiwan, it is possible that earthquakes of $M=5$ or $M=6$ will occur at any time and at the east zone of Taiwan, there will be earthquakes about $M=6$ or $M=7$ at all times.

[Key words] Prediction of seismic risk; Extremal distribution function, Average recurrence period of magnitudes, South china area