

长江三峡地区地震活动度分析

龚 平 韩晓光 高士钧

(国家地震局地震研究所)

摘要 本文运用地震活动度的概念,对三峡地区地震活动特征及其与地质构造的关系进行了分析,得出了本地区地震活动度年平均值低, $M \geq 2.0$ 级地震与构造有密切关系等结论。

关键词 地震活动度 模糊集合 空间因子 长江三峡

近几十年来,许多专家和学者对三峡地区地震构造环境,古今地震活动特征,地震破裂特征以及未来地震活动趋势等做了大量研究,并取得了一些成果。但以前大多采用的是确定的方法,而本文则运用模糊集合的方法对该区1959年到1987年有仪器记录的地震进行了分析和讨论。

一、地震活动度的基本内容

1985年苏联学者Ю.В. Ризницкий从统计学角度引入了地震活动度(A)的概念,定量地描述地震活动性,其基本思路是将A与能级K的小震的频度 N_K 联系起来,将各地震震级折合到等效频度。由于高、低震级折合数相差太大,A受高震级的控制太强,对此,吴佳翼^[1]、Shozo Matsumura等学者从修改折合震级、地震频度、强度、有无b值等方面来进行改进。另一些学者(冯德益,^{[2][3]}王碧泉^[4]、谷继成^[5]等)认为地震活动性属不确切的模糊概念,运用模糊数学理论来研究可能更合适一些,并做了许多有意义的探索和研究。谷继成等从模糊理论的角度引入了地震活动度的概念,其基本内容如下:

依模糊数学的基本观点,可设地震活动性模糊集的子集为:

$$\tilde{A} = \bigcup_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (1)$$

其中 $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$ 是第i个量 x_i (如频度N, 平均震级m或平均释放量e, 最大震级M和地震空间分布密度d等)。对于某个标准 \tilde{A} 的隶属函数, 特别对 \tilde{A} 定义为完全没有地震活动的普通集合情形, 即

$$\mu_{\tilde{A}_0}(x_i) = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

根据模糊集合论 \tilde{A} 和 \tilde{A}_0 的加权的闵可夫斯基距离^[7]概念, 谷继成^[5]等定义模糊集合 \tilde{A} 所对应的地震活动度为:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W(x_i) \mu_A(x_i) \quad (3)$$

其中S为地震活动度， $W(x_i)$ 为对应于某个量 x_i 的权因子。

一般说来，影响地震活动性的因素有地震频度 N ，平均震级 (\bar{m}) 或平均释放能量 (e) ，最大震级 M 和地震发生的空间分布密度 (d) 。这里频度 N 的隶属函数取为

$$\mu_{\sim A}(N) = 0.25 \lg(N+1) \lesssim 1 \quad (4)$$

对于平均震级的隶属函数取半梯形分布为：

$$\mu_{\sim A}(\bar{m}) = 0.073 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{bm}\right) \quad (5)$$

最大震级 M 的隶属函数为

$$\mu_{\sim A}(M) = 0.11M \quad (6)$$

以证 M 达最大值时，隶属为1或接近于1的半梯形分布。

地震空间分布密度，用地震间距离的平均值 d 反映。 d 越小则密度越大，地震活动性越强，反之则密度小，活动性弱。其隶属函数取降半 γ 的分布来描述其分布的集中度，即

$$\mu_{\sim A}(d) = \begin{cases} 0 & \text{当 } N=1 \\ 10^{-kd} & \text{当 } N \neq 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中 k 为常数，取 $k=0.01(\text{km})^{-1}$

若考虑到记忆效应 $R^{(a)}$ 的作用，则隶属函数 $\mu_A(d)$ 的形式为：

$$\mu_{\sim A}(d) = \begin{cases} 1 & \text{当 } n=0 \\ 0.5(1+R)10^{-kd} & \text{当 } n>0 \end{cases} \quad (8)$$

对于公式(3)中的权因子 $w(x_i)$ 。根据要求：

$$\frac{1}{n} \int w(x_i) dx_i = 1 \quad (9)$$

和本地区的实际情况可取考虑到空间因子的向量 $w(x_i)$ 为：

$$w(x_i) = (N, M, \bar{m}, d) = (1.6, 1.4, 0.7, 0.3) \quad (10)$$

若取不考虑空间因子时向量 $w(x_i)$ 为：

$$W(x_i) = (N, M, \bar{m}) = (1.4, 1.2, 0.4) \quad (11)$$

下面我们依据公式(3)分别就考虑空间因子和不考虑空间因子的情况，分析本地区地震活动震特征。

二、地震活动特征分析

在构造上本区位于华南地台西北缘，北以青峰大断裂相邻于秦岭地槽系。地表构造大致

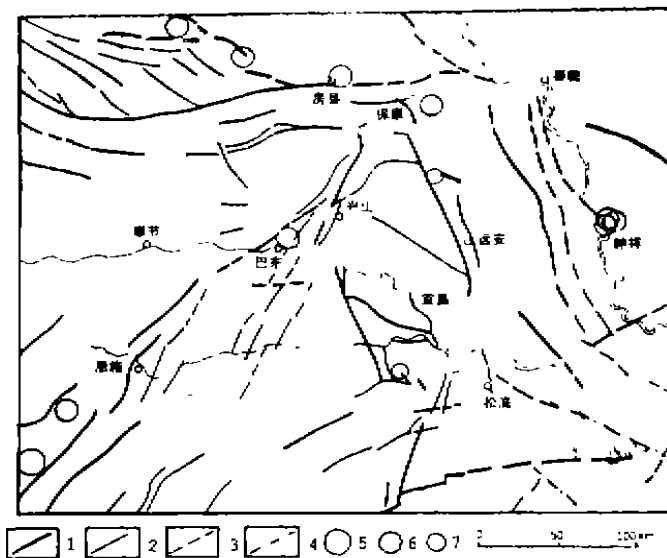


图1 三峡地区地震构造图

Fig. 1 Seismotectonics at the area of Three Gorge

1. 主干断裂, 2. 一般断裂, 3. 推测断裂, 4. 隐伏断裂,
5. $M \geq 6$; 6. $M = 5-5.9$; 7. $M = 4.5-4.9$

以黄陵背斜西翼为界, 西部为黔江—巴东褶断带, 由一系列北东走向的褶皱及同向断裂组成; 东部则展布多组北北西走向的大断裂, 形成一系列北北西向的地堑地垒系(图1)。第四纪以来, 该区主要以间歇性整体抬升运动为主, 断裂之间的差异运动不明显, 因而在现今地震活动上也表现出弱地震活动势态。据历史资料, 该区仅记载有中强地震11次, 其中最大一次为1856年咸丰大路坝6.4级地震, 这些地震均受区内主要活动断裂带控制。该区自1959年以来, 还记录了微小地震数千次, 这些地震震中分布零散(图2, 见34页), 似与断裂关系不密切。

鉴于上述本区构造活动特征及地震分布特征, 我们不防假设本区断裂活动不是彼此独

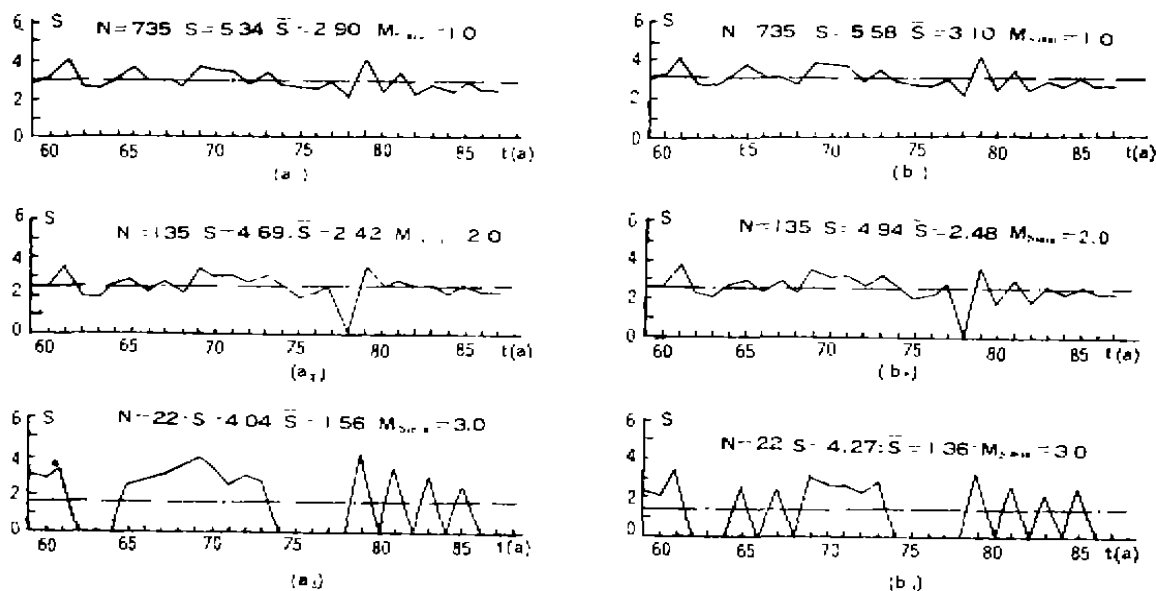


图3 S—T图

(a₁) 考虑空间因子 (b₁) 不考虑空间因子

Fig. 3 Map of S—T

表1. $M_{smin}=0.1$, 考虑空间因子时的情况

年 份	当年地震次数	最大震级	S值	年 份	当年地震次数	最大震级	S值
1959	21	3.5	3.04	1974	12	2.9	2.81
1960	50	3.0	3.14	1975	45	2.3	2.74
1961	38	4.9	4.05	1976	37	2.4	2.73
1962	30	2.6	2.70	1977	32	2.9	2.91
1963	36	2.3	2.67	1978	15	1.8	2.11
1964	40	2.9	3.00	1979	27	5.1	4.07
1965	105	3.3	3.59	1980	26	2.3	2.45
1966	47	2.9	2.99	1981	30	3.8	3.35
1967	22	3.4	3.00	1982	26	2.3	2.49
1968	17	2.8	2.61	1983	37	3.0	2.99
1969	18	4.8	3.73	1984	23	2.4	2.58
1970	35	4.0	3.51	1985	22	3.2	2.93
1971	69	3.2	3.46	1986	23	2.5	2.59
1972	19	3.3	2.90	1987	31	2.9	2.84
1973	22	3.9	3.31				

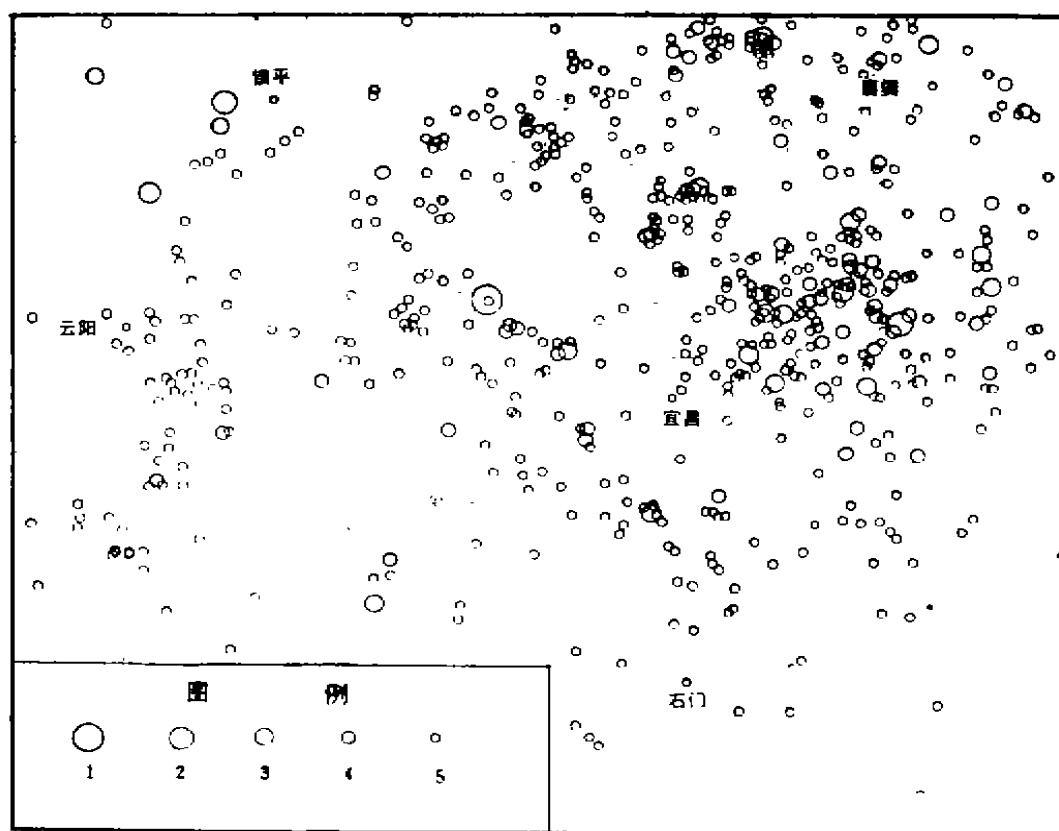


图2 三峡地区地震震中分布图 (1959——1987)

1.5—5.9级; 2.4—4.9级; 3.3—3.9级; 4.2—2.9级; 5.1—1.9级

Fig. 2 Epicentre distribution at the area of Three Gorge (1959—1987)

立的,而是相互联系和影响的。也即某一条断裂的活动不是孤立活动,而是与其本身的结构特征和周围构造环境有密切联系的。这是在计算中考虑空间因子的重要依据。

在计算过程中,我们不仅考虑到不同震级的地震活动度,同时还考虑空间因子对不同震级活动度的影响。其计算结果如图3(见33页)。图中 N 为参与计算的地震数目, \bar{S} 为参与计算的地震时间段内的地震活动度的平均值, M_{smin} 为参与计算的最小地震震级。结果表明,无论是考虑空间因子还是不考虑空间因子的地震活动度的年平均值都低于1965年—1985年间全国地震活动度的年平均值($S=6.17$)^[8],表明三峡地区的地震活动度水平明显低于全国水平。而参与计算的最低震级越大,地震活动度的年平均值越低,当最低震级取3.0时,无论是否考虑空间因子,其地震活动度的年平均值都在1.7以下(图4),这反应了本区地震活动水平较低。从图3中见,地震活动度年值有上下波动特征,但波动值不大,总不能超过其相应的年平均值。其次,

地震活动度年值随时间的变化似乎存在一个约为12年的准周期活动特征。因而推断在未来7—8年中地震活动水平有可能会增强。

由图4中可以看出,当取不同大小的 M_{smin} 时是否考虑空间因子加入计算是有影响的。当取 $M_{smin} \geq 2.0$ 级时,考虑空间因子的地震活动度平均值要高于不考虑空间因子的年平均值;而 $M_{smin} < 2.0$ 时

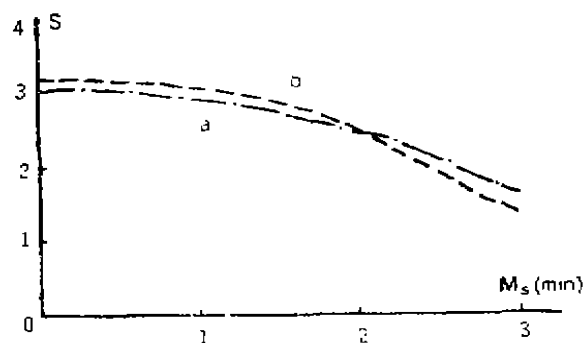


图4 $S-M_{smin}$ 关系图

a、考虑空间因子; b、不考虑空间因子;

Fig. 4 The relative map of $S-M_{smin}$

则情况相反。由此可以认为,本区 $M_s \geq 2.0$ 级地震与构造因素的联系更为密切。这与本区 $M_s \geq 2.0$ 级地震基本上沿活动断裂带分布这一事实^[8]是一致的。

表1(见第34页)列出了1959年—1987年来每年地震频次及最大地震,与图3中地震活动度的峰值相对应的是本区的3次中强地震(即1961年宜都4.9级,1969年保康4.8级和1979年秭归5.1级)和震级小、频度高的地震序列。

三、结 论

据以上分析讨论,大体得出如下结论:

- (1) 三峡地区地震活动水平较低,属弱地震活动区。
- (2) 本区地震活动度的年平均值随 M_{smin} 变化明显,在计算中随着 M_{smin} 的提高, S 值会进一步降低,推测本区近期发生中强地震的可能性不大。
- (3) 本区 $M_s \geq 2.0$ 级的地震与活动断裂关系密切,而 $M_s < 2.0$ 级的地震与活动断裂关系不密切。
- (4) 大于3.0级的地震活动可能存在有一个约12年的周期,推测在未来7—8年内大于3.0级的地震活动会加强。

参 考 文 献

- 〔1〕吴佳翼等, 论地震活动性的定量问题, 地震, 1983, (5).
- 〔2〕Shozo Matsumura, A one—parameter expression of seismicity patterns in space and time. , B. S. S. A. Vol. 74, PP. 2559—2576.
- 〔3〕冯德益等, 模糊数学在地震预报和震源孕育模式研究中的应用, 西北地震学报, 1981, 3 (3).
- 〔4〕冯德益等, 模糊聚类分析方法在以震报震中的应用, 地震, 1981, (4).
- 〔5〕王碧泉等, 大震前地震活动的图象识别, 地震学报, 1982, 4 (4).
- 〔6〕谷继成等, 论地震活动性的定量化; 地震活动度, 中国地震, 1987, 3 (增刊).
- 〔7〕汪培庄, 模糊集合论及其应用, 上海科学技术出版社, 1983.
- 〔8〕韩晓光等, 鄂西三峡地区地表破裂系统与现代地震活动, 华南地震, 1986, 6 (2).

ANALYSIS ABOUT DEGREE OF SEISMICITY AT THE AREA OF THREE GORGE ON THE YANGTZE RIVER

Gong Ping, Han Xiaoguang and Gao Shijun

(Seismological Institute of SSB)

[Abstract] In this paper, the relations between seismicity characteristics and the geological structure at the area of Three Gorge are analysed by applying the concept of degree of seismicity. The result shows that the mean value of degree of seismicity at this area is very low and the earthquakes of $M_s \geq 2$ bear close relations to the structure.

[Key words] Degree of seismicity, Fuzzy set, Spatial factor, The Three Gorge on the Yangtze River