

岳阳地区地震活动性研究

梁 芳

(广东省地震局)

摘要 本文系统地研究了岳阳及其邻区300公里范围内的地震活动特征,包括历史和现代地震的时空分布,应变积累释放以及地震活动周相的数值分析等,并利用四种方法对未来50—100年内的地震趋势进行了预测。

关键词: 岳阳地区 地震活动性 地震趋势预测

引言

岳阳市是湖南省的新兴工业城市,也是重点抗震城市之一。应经济建设和城市规划之需开展了地震小区划工作。为此,对以岳阳为中心,300公里为半径的地区进行了全面系统的地震活动性研究。研究区范围为东经 109° — 116° 、北纬 26° — 32° ,包括湘、鄂两省的绝大部分,赣、皖、豫三省的部分地区。

研究区属华南地震区长江中下游地震亚区,处于地震活动强烈的华北地震区和东南沿海地震带之间,历来地震活动水平相对较低。为了给地震危险性分析潜在震源区划分提供依据,本文系统地研究了本区的地震活动特征,并用多种方法对未来地震趋势进行了预测。

一、强震的空间分布

以《中国地震简目》(1988年10月)为依据,并补充湘、鄂、赣等省的资料,汇编了本区 $M \geq 4$ 级历史地震目录。据统计,自公元304年至1988年间,共发生4级以上地震101次,其中4—4.9级62次,5—5.9级37次,6级以上2次。十五世纪以后,地震记载始较完整。图1为强震震中分布图。由图可见,第一活动期地震主要集中发生在洞庭湖盆地西侧,江汉盆地中部沔阳一带,以及襄樊—武汉—黄石北西向地带内。最大地震为1631年常德6.3级地震。第二活动期的地震大多散落在第一活动期震中的外围,最大地震为1932年麻城6级地震。进一步的考察发现,历史强震可归属两条地震带。一条是由会同、常德、沔阳至麻城的北东向麻城—常德地震带,这是本区的主要地震活动带,曾发生6级以上地震2次,5级以上18次。本带主要有NNE、NNW和NWW三组活动断裂相交汇,NNE向断裂的新构造运动明显,为本带的主要发震构造。如常德地震和麻城地震的发震构造皆为NE向断裂。由竹溪、襄樊至九江的北西向地震带属陕鄂地震带之南段。曾发生6级以上地震14次。钟祥、沔阳一

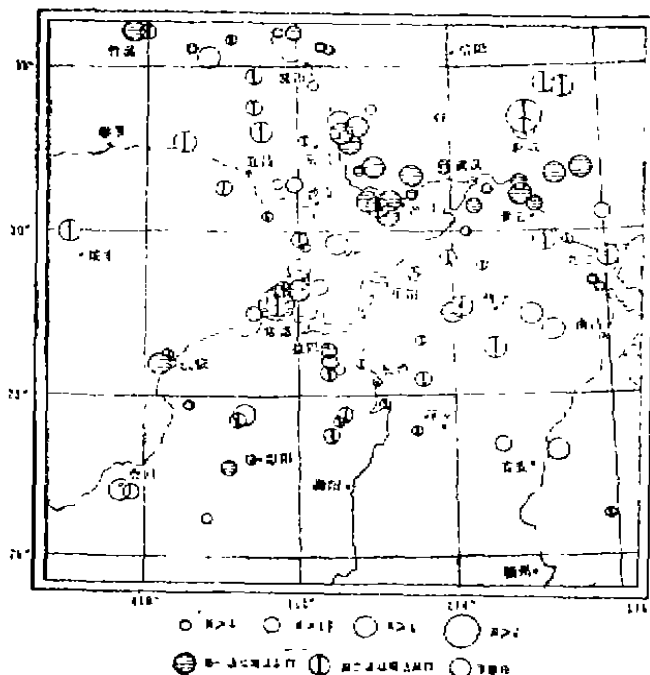


图1 强震震中分布图

Fig. 1 Distribution of epicentre of strong earthquakes

基基资料, 分别对地震活动度、累积频度、应变释放和b值四种地震活动性参量作了空间扫描。

(1) 地震活动度

空间任意一点的地震活动度可定义为

$$R_i = \sum_{j=1}^n \frac{b(M_i - M_0)}{10} \quad (1)$$

若在选取的计算单元内有n次地震发生, 则地震活动度R可理解成把n次地震按同一个大小地震比例关系系数b归化为震级 M_0 的地震次数, 该值可综合反映某区域内地震活动的强度和频度。式中 M_0 取为2.0级(M_L), b值取0.82。以 $(\frac{1}{2})^\circ \times (\frac{1}{2})^\circ$ 为统计单元, 以 $(\frac{1}{4})^\circ$ 为步长进行滑动计算, 结果示于图3。

(2) 地震累积频度

同样取 $(\frac{1}{2})^\circ \times (\frac{1}{2})^\circ$ 为统计单元, $(\frac{1}{4})^\circ$ 为步长, 对 $M_L \geq 2.0$ 级地震累积频度作滑动扫描, 得到如图3的结果。

(3) 应变释放

根据能量—震级公式

$$\sqrt{E} = (10^{1.5M} + 4.8)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

以 $(\frac{1}{2})^\circ \times (\frac{1}{2})^\circ$ 为统计单元, 求出 $\sqrt{E_i}$ 之和后, 以 $(\frac{1}{4})^\circ$ 为步长作空间扫描, 结果如图

带为NNW向晚第三纪活动断裂带, 历史上是中强震的多发区, 现代地震活动水平也很高。上述两带发生的5级以上地震占全区的80%, 构成全区地震活动的主体。不过, 岳阳周围150公里范围内的地震活动性很低, 除岳阳东北曾发生过3次有感地震外, 基本上为中强地震空白区。

二、现代地震的空间分布

图2给出了1966年4月—1988年8月台网观测的震中分布。图中大园圈示研究区范围。区内除少数中强震外, 以小地震活动为主。沙市以北, 武汉—九江一带地震比较密集。历史上中强震或强震密集的常德、麻城和沔阳等地, 现代地震活动水平反而较低。岳阳一带除东北部有少量小震外, 地震活动相当平静。

为了定量地研究本区地震的空间分布, 以1970—1988年 $M_L \geq 2.0$ 级地震为

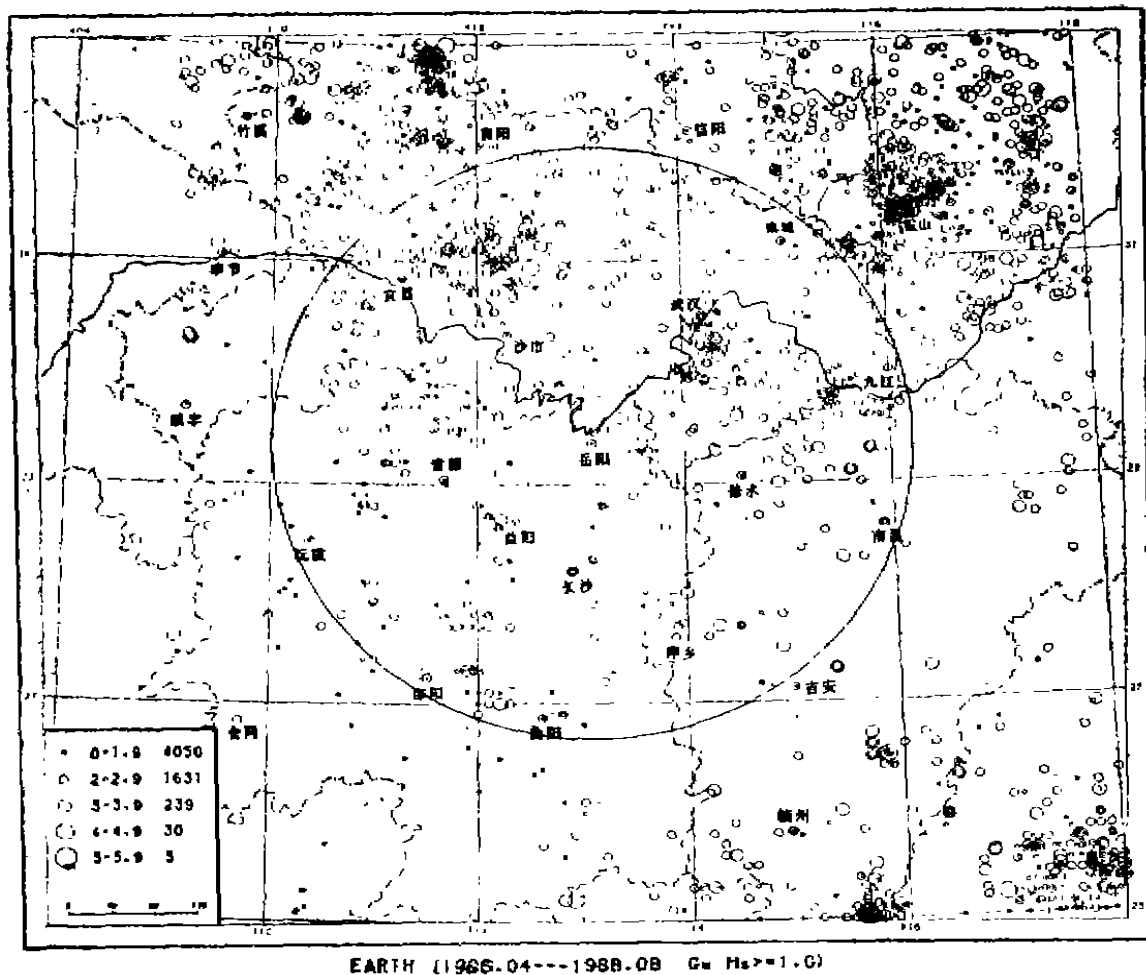


图2 现代地震震中分布图

Fig. 2 Distribution of epicentre of present earthquakes

3所示。

(4) b值

根据宇津b值公式

$$b = \frac{\lg e}{\bar{M} - M_s} \quad (3)$$

式中 $\bar{M} = \frac{\sum_{j=1}^n M_j}{N}$ 系平均震级，N为地震次数， $M_s = M_{min} - \frac{\Delta M}{2}$ ，其中 M_{min} 为起算震级，

$\Delta M (=0.5)$ 为震级分档区间。以 $(\frac{1}{2})^\circ \times (\frac{1}{2})^\circ$ 为统计单元，由上式求取b值，然后以 $(\frac{1}{4})^\circ$ 为步长作滑动计算，结果示于图3。

由图3(a)一(d)可见，以上四种地震活动性参量的扫描结果显示了较好的一致性，同时也揭示了本区现代地震空间分布的不均匀性。即大致以北纬29°为界，以南地震活动性较低，以北地震活动性较高，尤以下述五区至为明显。

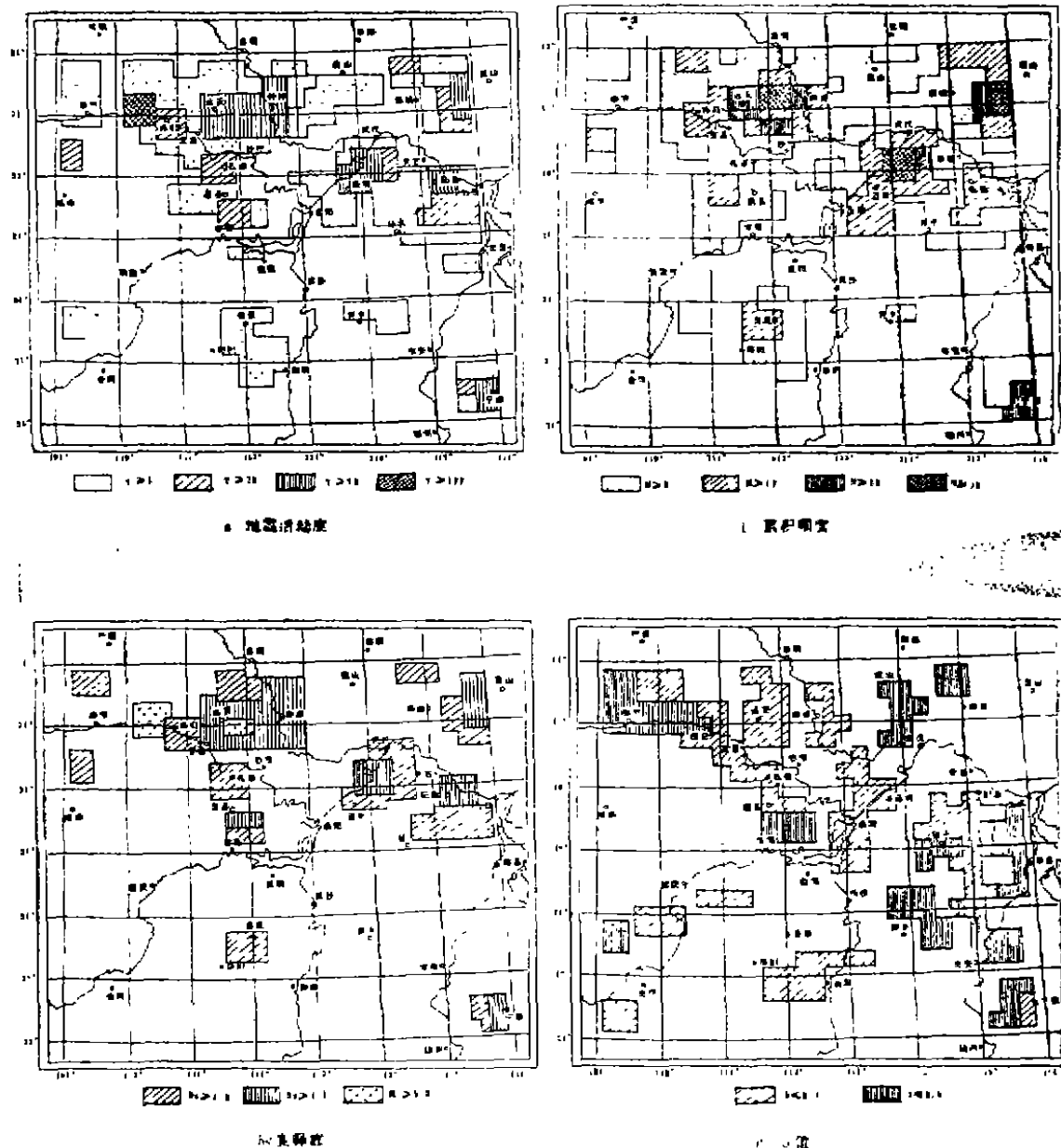


图3 四种地震活动性参量的空间扫描

Fig. 3 Spatial scanning pattern of parameters in four seismicity

a. Degree of seismicity; b. Accumulating frequency; c. Strain release;
d. b-value.

秭归—宜昌：地震活动度与应变释放扫描结果均呈高值。1979年发生的秭归5.1级地震为本区台网记录的最大地震。历史上为弱震区，现代地震频度也不高。不过，b值扫描结果呈现大面积低值，预示是可能再度发生中强震的地区。

远安—钟祥：历史地震活动水平较高，曾发生过5级左右地震5次。现代地震活动也

相当频繁。地震活动度、累积频度和应变释放扫描呈现高值，一致性较好。该区今后仍有发生中强震的可能。

蒲圻—武昌：历史地震活动水平较低，只发生过2次4级地震。然而现代地震相当活跃，累积频度扫描呈最高值。地震活动度及应变释放也很高。该区距岳阳市不足100公里，是一个值得注意的地区。

麻城—霍山：曾发生过2次6级以上强震和多次5级以上中强震，现代地震多为小震群活动。各特征量扫描均呈高值。但该区距岳阳市较远，故影响不大。

九江—黄石：历史上曾发生过2次5级以上地震。现代地震频度不高。但地震活动度和应变释放值颇高。

三、震源深度

研究区内发生的101次 $M \geq 4$ 级地震中，有震源深度资料的仅有10次，深度范围在5—

25公里之间，多为13—16公里。历史地震深度资料更少。1631年常德6级地震震源深度为25公里左右，1932年麻城6级地震深13公里，均在地壳厚度以内。

岳阳周围600公里范围内，现代地震有深度资料的462次，其中深度在1—15公里的388次，占84%，6—10公里的约占50%。300公里范围内，受台网布局的限制，可定出深度的地震仅有30次。其中6—10公里深的14次，约占50%，20公里内者占83%。综上所述，研究区或更大范围内的地震绝大多数发生在20公里以内，以6—10公里居多此即本区地震震源的优势深度（图4）。

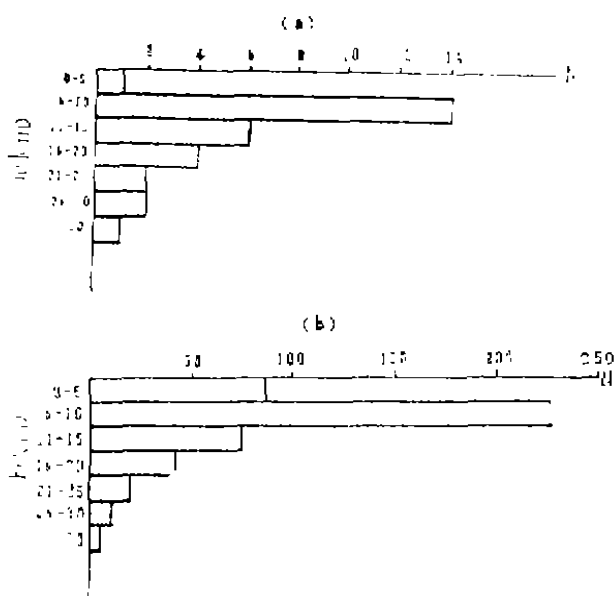


图4 震源深度的统计分布

Fig. 4 Statistical distribution of source depth

四、地震的重复性和迁移性

研究区6级以上地震无原地重复现象。

5级以上地震的重复性主要表现在江汉盆地的钟祥、沔阳和常德等地，形成较密集的5级地震活动区（图1）。

图5（a）和（b）为1300年以来的 $M \geq 4$ 级地震沿经纬度的时空分布。由图可见，大致以北纬30°和东经113°为界，地震随时间作南北向或东西向往返迁移。这一特点在两个大释放段表现得尤为明显。图5（c）和（d）为第二活动期的活跃段即1840年至今的地震时空迁移图。图示中强震有由南向北逐渐迁移之势。沿经度方向则基本上是东西对迁。大于5级地震以东经114°~116°居多。第二活动期剩余释放段未来数十年内，中强震的迁移方向有二种可能：一是地震仍在西北部的鄂西山区一带活动，经过不长时间后即向麻城—常德地震带之东北端迁移；二是近期即向东北方向迁移。无论哪种可能，都以洞庭湖以东地区发震的

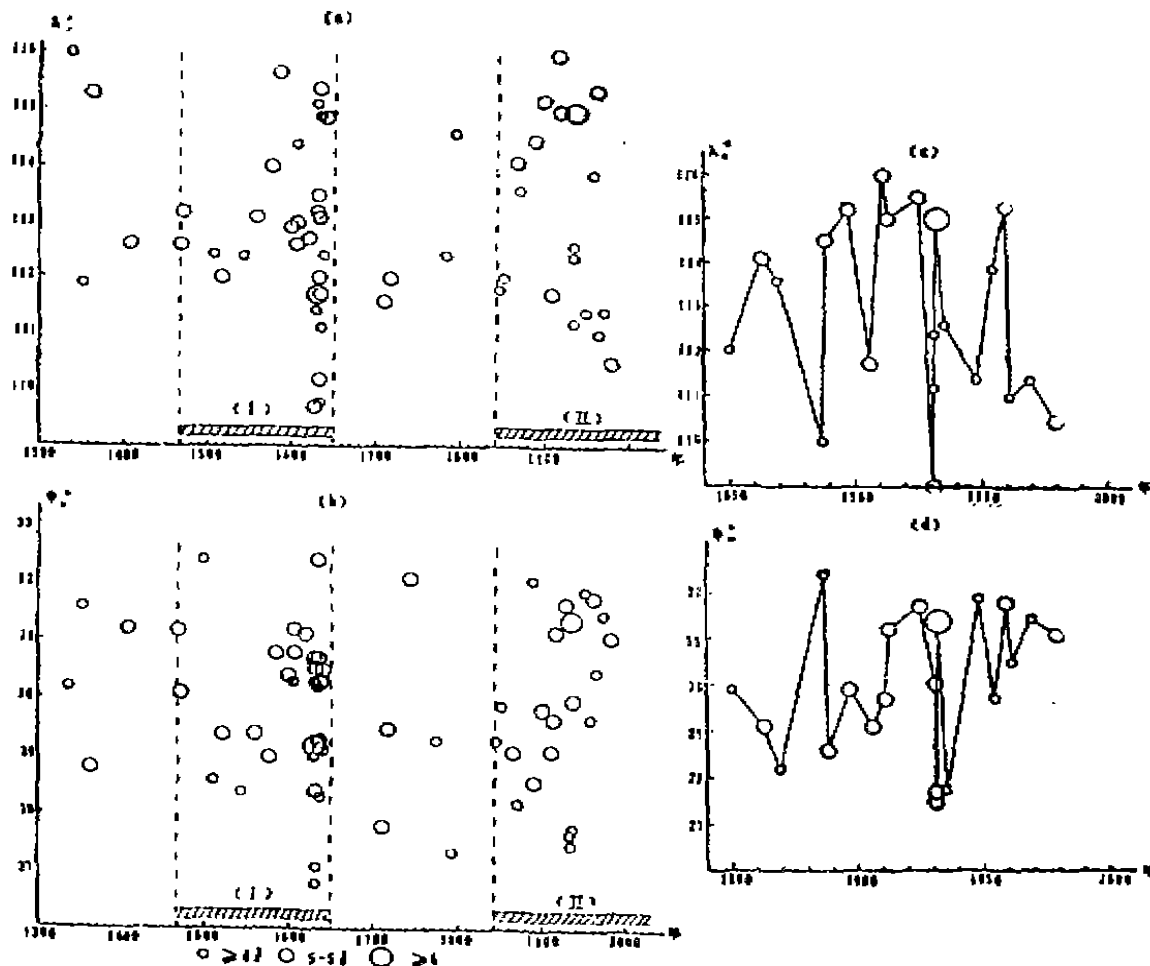


图5 历史地震时空分布图
Fig. 5 Time-spatial distribution of historical earthquakes

可能性较大。

五、地震的周期性和阶段性

研究地震的时间序列特征，确定地震活动周期，有助于估计未来地震活动趋势。图6为1300—1988年岳阳地区300公里范围内 $M \geq 4$ 级地震的时间序列图。如图所示，地震在时间上表现出平静与活动交替出现的周期性，大致可划分为两个活动周期。因资料的限制，每周期只划分出平静段和活跃段。第一活动周期的起始时间参照第二周期的时间界限大体定为1310年。各时段的划分见表1。

与华北和东南沿海两区相比，本区两个地震活动周期的平静段较长，且仍有5级地震发生，而活跃段较短。第一周期能量释放比较集中，大释放后衰减很快，几乎无剩余释放段；

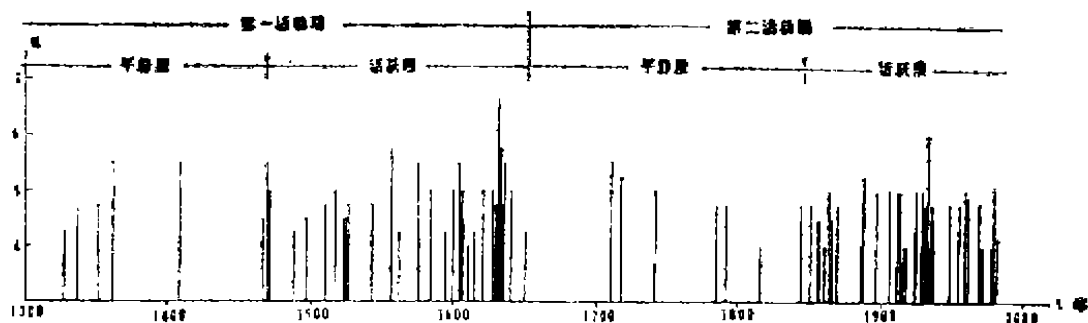


图6 历史地震时间序列图

Fig. 6 Temporal series of historical earthquakes

表1 地震活动周期划分

Tab. 1 Division of seismicity period

地震活动期	活动段	地震次数			最大震级 (Mmax)	应变释放 (焦耳 $\frac{1}{2}$)	释放速率 (焦耳 $\frac{1}{2}$ /年)
		$M \geq 4 \frac{1}{2}$	$M \geq 5$	$M \geq 6$			
第一周期 (1310—1650)	平静段 (1310—1468)	2	2	0	$5 \frac{1}{2}$	9.32×10^6	
	活跃段 (1469—1650)	10	19	1	$6 \frac{1}{2}$	86.48×10^6	0.286×10^6
第二周期 (1651—?)	平静段 (1651—1842)	2	3	0	$5 \frac{1}{2}$	9.04×10^6	
	活跃段 (1843—?)	11	10	0	6	39.84×10^6	0.146×10^6

第二周期能量释放相对分散，剩余释放段较长。两个周期的不同释能方式，反映了不同时期区域地壳应力积累、释放和调整过程的差异性。

各时段的应变释放和速率同时列于表1。应变释放曲线示于图7。由表可见，两个平静段的应变释放大致相等，而活跃段却相差悬殊。第二周期约为第一周期之半，同华北、东南沿海两区的情形非常相似^[1]。一般认为，这种现象是由历史震级评定的差异性 or 区域应力积累释放方式的不均衡而造成的。显然，若以第一周期的活动水平推测未来趋势，势必高估实际的地震活动水平。所以，我们利用第二周期的应变释放速率来估计未来的地震活动趋势。这在后面还要详细阐述。

六、地震活动周期的数值分析

在前述地震周期性和阶段性分析的基础上，对本区 $M \geq 4$ 级地震的时间序列进行了数据处理，采用平均方差法、延滞自相关函数法、最大熵谱法和周期图分析法^[2]这四种不同方法进行数值分析，以期进一步确认其周期特征。资料截取时段统一为1300—1988年，以10年为采样步长，以最大震级为统计特征量，共获取样本96个。计算结果，由平均方差法和延滞自

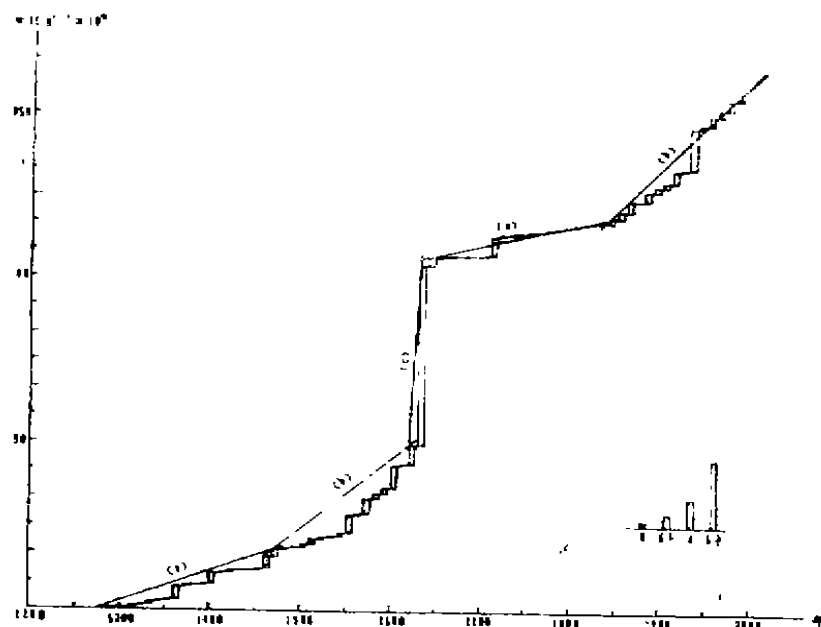


图 7. 应变释放曲线

Fig. 7 Accumulating and releasing curve of strain

相关函数法得到的周期值均为320年〔图8(a)和(b)〕, 由最大熵谱分析法得到的周期值为340年, 此外尚有75年的次级活动韵律〔图8(C)〕。

周期图分析的计算结果如图8(d)和表2所示。由图可见, 当 $K=2$ 时的谱线最为突出, 对应的周期为340年; $K=9$ 时的谱线次之, 对应的周期为75年。此即为主要周期和次要周期, 与最大熵谱分析得到的结果相同。

综合上述四种方法所得到的结果, 可以认为, 本区地震活动的最佳周期是320—340年, 每一主要地震周期内尚存在75年的次级活动韵律。这与前面由地震时间序列分析的结果完全一致。

七、地震趋势预测

(1) 极值理论预测

资料取1300—1988年 $M \geq 4$ 级地震序列, 求得 $\beta=1.447$, $\mu=4.092$, 得到如表3所列的结果。由表可见, 未来50年内, 本区可能发生6—6.5级地震2—3次, 但发生大于6.5级地震的可能性不大。

(2) 马尔可夫概率模型预测

取1400—1988年历史地震序列, 分别以4、4.5和5级作为起算震级, 以1400年、1500年和1600年为起始时间, 采用马尔可夫概率模型分别进行统计, 求得未来50和100年内大于5级的各震级档最少发生一次的概率列于表4。

结果表明, 统计结果和起始震级无关, 即不同的起始震级得到的结果相同。但不同的统计时段对结果产生影响, 尤其对 $M \geq 6$ 级地震的发展概率影响比较明显, 随统计时段的缩

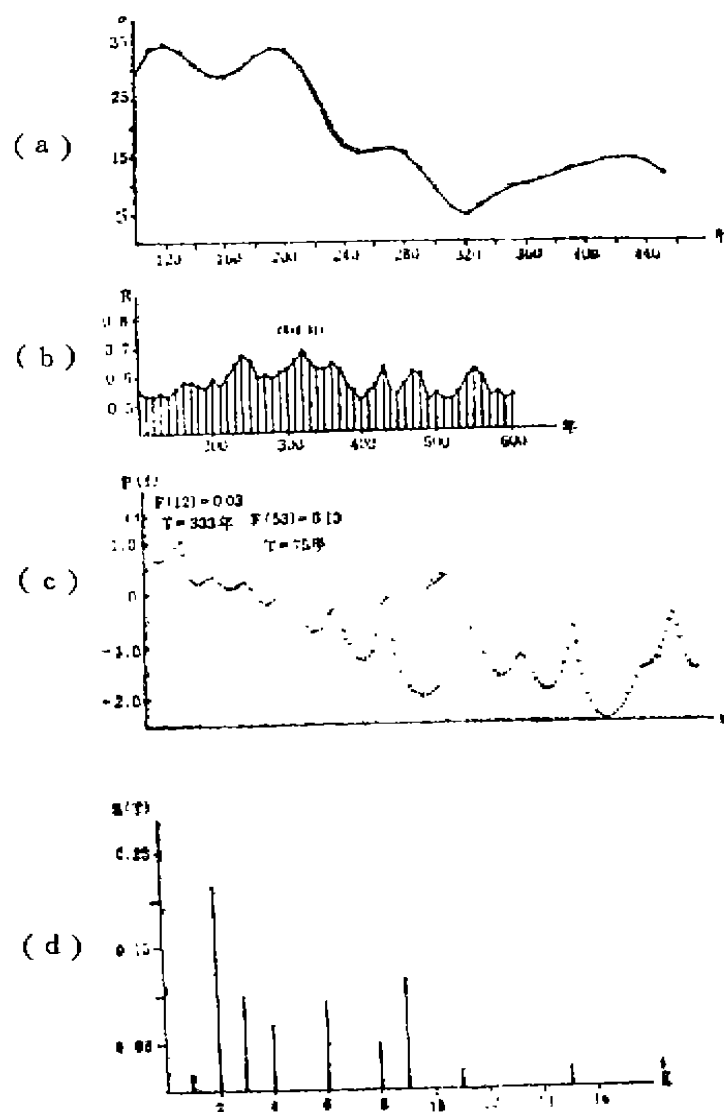


图 8. 地震活动周期的数值分析

- (a) 平均方差;
- (b) 延滞自相关函数;
- (c) 最大震级熵谱;
- (d) 周期图

Fig. 8 Mathematical analysis for seismicity period.

- (a) Mean variance of maximum magnitude
- (b) Delay autocorrelation function.
- (c) Entropy spectrum of maximum magnitude
- (d) Period map.

短而增高。综合起来, 未来50—100年内, 发生5级地震的概率为100%, 发生一次5½级地震的概率为60—86%, 发生6级地震的概率约为50%, 而发生6½级以上地震的概率较低。

表2 周期图计算结果
Tab. 2 Calculating results of the period map

K	a_j	b_j	s_j	T_j
1	0.177	0.086	0.019	680
2	0.591	-0.278	0.213	340
3	-0.421	-0.166	0.102	227
4	0.346	-0.160	0.073	170
6	-0.283	-0.323	0.092	113
8	0.310	0.065	0.050	85
9	-0.331	-0.353	0.117	75
11	0.171	-0.130	0.023	62
15	-0.135	-0.139	0.019	45

表3 极值理论预测
Tabl. 3 Forecasting results of largest value theory

项 目 \ 震 级	4 级	5	5 $\frac{1}{2}$	6	6 $\frac{1}{2}$	6 级
T(x)	25.89	37.17	76.64	158.00	325.78	467.78
$\eta(x)$	0.0386	0.0269	0.0130	0.0063	0.0031	0.0021
Ny(x)	26.6	18.5	9.0	4.4	2.1	1.5
Ns(x)	25	24	9	1	0	1
Np ₅₀ (x)	3.5	-4.2	0.6	3.7	2.3	0.6

T(x) — 震级为x的地震复发周期, (年); $\eta(x)$ — 震级为x的地震年均发生率; Ny(x) — 统计时间内地震应发生数; Ns(x) — 统计时间内地震实发生数; Np₅₀(x) — 外推50年内地震应发生数。

(3) 周期图预测

周期图的分析方法可用于对未来地震趋势进行预测。图9为地震数字时间序列曲线, 包括原始序列X(t)、周期部分S(t)和平稳随机部分 $\eta(t)$ 。由曲线S(t)—t可预测未来的地震活动趋势。将曲线外推100年, 由图可见, 在2024年前后曲线出现峰值。由峰值所对应的能量估计, 该时段内未来可能发生的最大地震为6级左右。

(4) 应变释放速率预测

按照能量积累释放均衡模式, 以第二周期的释放速率 0.146×10^8 焦耳 $\frac{1}{2}$ /年推算, 未来50年内的应变积累相当于一次6.4级地震。此即可能发生的最大震级。

综上所述, 按照第一周期活跃段的时间推算, 第二周期的剩余释放段将在2025年前后结束, 距今尚有约35年, 在该时段内不可能发生7级地震, 但可能发生6级左右地震或多次5—6级地震, 以洞庭湖以东地区发震的可能性较大。

表 4 马尔可夫概率模型预测
Tab. 4 Forecasting results of Markovian probabilistic model

统计时段	预测时间	震 级			
		5.0	5.5	6.0	6.5
1400—1988年	50年	0.986	0.590	0.158	0.083
	100年	1.000	0.832	0.292	0.158
1500—1988年	50年	1.000	0.600	0.402	0.099
	100年	1.000	0.840	0.643	0.189
1600—1988年	50年	1.000	0.629	0.491	0.123
	100年	1.000	0.862	0.741	0.230

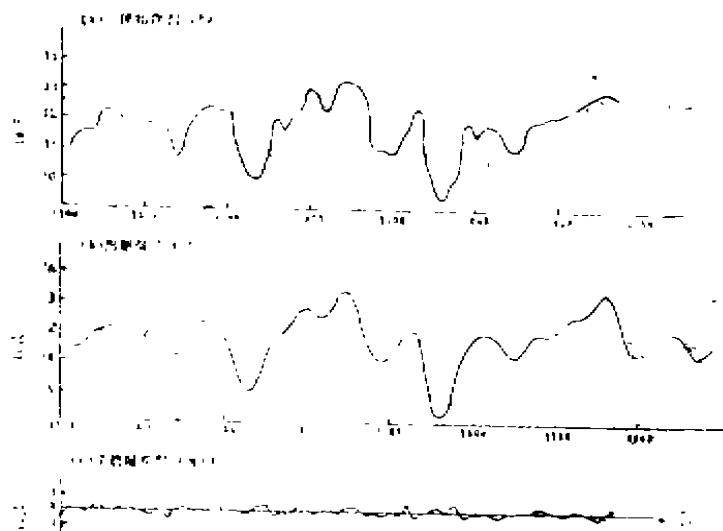


图 9. 地震数字时间序列曲线
Fig. 9 Curves of seismic digital time series

参 考 文 献

- 〔1〕 林纪曾等, 东南沿海地区地震活动特征的研究, 海南岛北部地震研究文集, 地震出版社, 1988.
- 〔2〕 宋良玉、张建中等, 地震发生的随机模式, 地震学报, 2、3、1980.

A STUDY ON SEISMICITY IN AND NEAR YUEYANG

Liang Lao

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] The seismicity in Yueyang region within the range of three hundred are systematically investigated in this paper, including the time-space distribution of historical and present earthquakes, accumulation and release of strain, and the mathematical analysis in the period of seismic activity has also been done. Lastly, the seismic risk in the region for 50 to 100 years in the future is predicted by four methods.

[Key Words] Yueyang; Seismicity; Seismic tendency and its Prediction

~~~~~

## 深沪湾海底古森林

### ——牡蛎礁遗迹暨石圳海岸景观自然保护区 论证会在晋江县召开

1990年9月26—28日在晋江县召开了建立福建省晋江县深沪湾海底古森林—牡蛎礁遗迹暨石圳海岸地貌地质景观自然保护区论证会。参加会议的有国家海洋局海洋第三研究所、海洋出版社、福建省科委、晋江县委、泉州科委及福建省有关高等学校、科研单位、地质、地震、林业等各部门的领导、专家、学者等总共51人，笔者被邀请参加了会议。

国家海洋局第三海洋研究所周秋麟先生传达1989年7月国务委员宋健对全国建立自然保护区的指示，指出我们国家的自然保护与发达国家的差距，提出“我们应为子孙后代留下什么？”，指出对深沪湾海底古森林—牡蛎礁这样极其珍贵的自然遗迹建立自然保护区是功在千秋万代，是一项非常合算的事。

会议期间，专家、学者们到实地观察，论证。认为深沪湾海底古森林年龄古老，分布面积广。现今林区生长环境（海拔300米以上）与今天油杉森林遗迹环境（海底）反差大，是世界上罕见的，是我国珍贵的自然遗迹。

古牡蛎礁也出露于深沪湾潮间带，与古森林相距不到100米。古牡蛎分布广，数量巨大，年龄古老，国内外至今未有任何类似的报导，是极其罕见的又一个珍贵的自然遗迹。

距今17500年的古牡蛎礁和距今7500年左右的古油杉森林遗迹都出露在今天深沪湾潮间带更是国内外罕见。它深刻地反映了17500年以来深沪湾由海变“山”，又由“山”变海的沧桑演变，是普及科学知识的自然课堂。它方便研究考察，对古海平面，古海洋生物，古气候，古植物，对海洋学、地质学，构造运动学的研究都具有重大意义。建（下转第22页）