

岳阳市地震危险性分析

汪梦甫

(湖南大学土木系)

提要 本文分析总结了近年来我国地震工作者对岳阳市及其邻区(简称工作区)的地震地质及地震活动特征的研究。并在此基础上划定潜在震源区,估计各潜在震源区的地震活动性参数;利用工作区11次历史地震等震线资料,统计得到了工作区的烈度衰减关系,利用工作区的烈度衰减关系和美国西部烈度与地震动衰减关系转化得到了工作区的地震动衰减关系。最后计算得到了岳阳市相同概率水平的烈度、加速度、反应谱。

岳阳市位于洞庭之滨,地处湘鄂交界,是岳阳地区治政、经济、文化中心。也是湖南省重要的工业城市和交通枢纽。为了保障可能地震时人民生命财产的安全和经济建设的顺利进行,对岳阳市进行地震危险性分析十分必要。

本文试图用地震危险性分析的概率方法估计岳阳市地震小区划的设计地震动参数,结果是初步的。

一、潜在震源识别与震源区划分

假定未来地震的发生与场地周围活动断层的分布密切相关,分析时考虑了以岳阳市为中心350公里范围内潜在地震对该市可能的影响。

区内历史地震在时间上有周期性、在空间上有重复性,工作区横跨扬子断块和华南断褶带两个构造单元,进一步可细分为三个隆起(即鄂西隆起、武陵隆起、幕阜山隆起)、二个拗陷(即江汉拗陷、洞庭湖拗陷),区内断裂十分发育,展布方向多样。北北东向、北东向、北西向和东西向断裂普遍存在,从区内地貌特征、第四系沉积厚度变化、物探资料和历史地震资料来分析,北北东向、北西向断裂是区内主要发震构造;东西向断裂受北东和北北东向断裂的干扰、切割,呈断续出露,它对地震的位置起着重要的控制作用。

工作区内历史地震记载可以上溯到公元209年,考虑到公元209年—公元1469年地震记载可靠性不足,实际上只选用了工作区1470年—1979年间所发生的震级 $M \geq 4.0$ 的地震。

参照〔1〕、〔2〕和¹⁾、²⁾等研究成果,在对区内历史地震震中分布、断层分布、区内新构造运动特征、地球物理深部构造等进行分析后,将工作区用5个理想化的震源来模拟,它们是:

(1) 长江三峡东段:位于区域新构造拱曲隆起的东翼,地表出露的区域性断裂有多

1) 湖南省地震局编,湖南地震,1983,1986,1987。

2) 湖南省地质研究所,湖南地质,1983,1984。

组，但与现代地震活动有成因联系的活动断裂主要是位于黄陵背斜两侧，作近南北向延伸的北北西向断裂系（包括远安断裂、仙女山断裂），总体走向北西 340° 左右；该区近期小震活动频繁，震源深度大多是在5—15公里，尤以10公里最为集中，区内历史地震极震区等震线长轴大部分呈NNW向，震源机制求得的一组节面亦与此方向一致。

（2）江汉平原区：江汉盆地为一受北北东、北东向两组活动断裂控制的第四纪断陷盆地，总体走向北东 30° 左右；深部重力异常表明，从东往西和由南而北，基底的埋深逐渐加大；在蒲圻咸宁附近的北东向断裂上，温泉密布；区内历史地震等震线极震区长轴方向与断层总体走向一致。

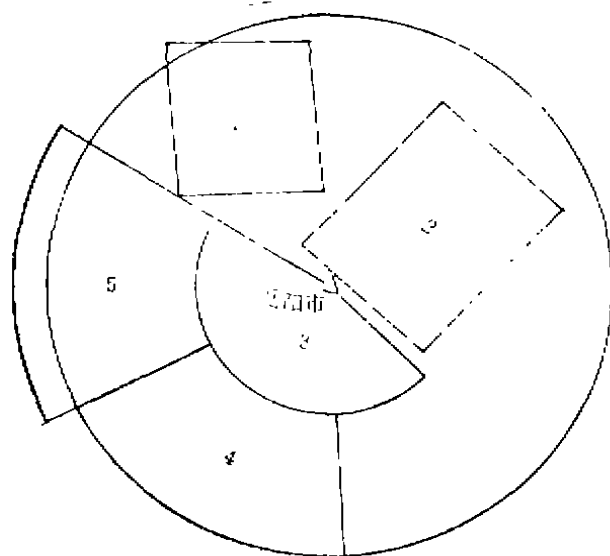


图1 区域震源划分方案

Fig. 1 Idealized potential seismic sources of Yueyang city and its vicinity

（3）洞庭湖地区：洞庭湖盆地处于武陵隆起与幕阜山隆起之间，是在中生代洞庭断拗的基础上发展起来的第四纪断陷湖。湖盆东西两侧的北北东向断裂规模较大（包括东侧的湘江断裂、崇阳—新宁断裂；西侧的太阳山断裂带），新生代以来，活动性增强，与地震关系密切。重力资料表明该区恰是下地幔隆起的陡坡带，区内新构造运动表现为整体下沉和断裂活动，历史地震等震线长轴均为北北东和北东向，沿北东断裂有热水点出露。

（4）湘中南地区：区内主要为向西突出的弧形构造、断裂和岩浆活动发育。

表1 各潜在震源的几何参数及历史地震情况

Table 1 Geometrical Parameters and historical earthquake of potential sources

震源		几何参数			历史地震参数		
编号	类型	与场地距离 (km)	L_1	L_2	震级范围	历史地震次数	历史上发生的最大震级
1	II	—3—177	336	—132	4.75—5.5	6	5.5
2	II	—67.5—139.5	276	—18	4.75—6.0	10	6.0
3	III	0—170	—	—	4.0—6.75	41	7.0
4	III	170—350	—	—	4.0—5.5	12	5.5
5	III	170—400	—	—	4.0—6.5	13	6.5

(5) 咸丰—大庸地区：区内北北东向断裂发育，北西向断裂呈断续出现，深部重力异常等值线呈北东向延伸。

前两个潜在震源区确定为长轴延伸方向已知的面源（Ⅰ型源），第一、第二震源区分别沿北北西、北北东方向；考虑到其他震源区断裂和历史地震震中位置相关性较差，故按长轴延伸方向未知的面源处理（Ⅲ型源）。

二、各潜在震源的地震活动性参教

设某一潜在震源内可能孕育和发生最大地震的震级为 M_u ，能够产生破坏影响的最小震级 $M_0 = 4$ ，震级 $M \geq M_0$ 的地震在不同时段内发生的次数和震级 M 在区间 $[M_0, M_u]$ 上的分布彼此独立，前者用Poisson模型描述，后者用震级概率密度函数 $f(M)$ 描述。

1. 震级上限 (M_u)

表2是三种极值分布确定的各潜在震源区的震级上限的大致情况，在综合极值分布确定的各种结果及广泛征求专家的主观意见后，拟定各潜在震源的震级上限，见表2。

2. 震级频度关系和震级概率密度函数

本文采用如下形式的震级频度关系：

$$\ln N(M) = \alpha - \beta M \quad (1)$$

式中， $N(M)$ 是震级 $\geq M$ 的地震次数， α 和 β 是回归常数。

震级概率密度函数为：

$$f(M) = \begin{cases} \frac{\beta \exp(-\beta(M - M_0))}{1 - \exp(-\beta(M_u - M_0))} & M_0 \leq M \leq M_u \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

年平均发生率 $v = \frac{N(M_0)}{T}$ (T ：观测年限)， β 、 v 的具体数值见表2。

表2 各潜在震源的地震活动性参数
Table 2 Seismicity parameters of potential sources

震源	参数	α	β	v	极值分布估计的震级上限			M_u
					I型分布	II型分布	III型分布	
1		12.9683	2.3616	0.066370	—	—	6.1	6.0
2		11.6333	1.9263	0.099628	6.6	6.6	6.3	6.5
3		8.5572	1.3118	0.080392	6.5	6.6	6.4	7.5
4		9.3681	1.7107	0.023529	5.4	5.4	5.5	6.6
5		6.2006	1.0313	0.027451	6.8	7.0	6.8	7.0

注：震级上限取100年超过概率为10的极值震级

三、工作区烈度和地震动衰减关系

1. 烈度衰减关系

对现有资料分析后发现,区内历史地震等震线图有明显的地区重现特征,由于烈度衰减关系主要反映地区的震源机制、传播介质及地形等的影响,从理论上说,不同的潜在震源区应采用不同的烈度衰减关系,限于资料,同时也是考虑到工作区内各潜在震源区的实际情况(尽管发震构造不同,但烈度衰减的快慢程度、等震线形状接近相同)本文采用区内11次地震等震线,统计得到了工作区的烈度衰减关系,并以此作为各潜在震源区的烈度衰减关系。

工作区内历史地震等震线图基本上属于椭圆形或带形,由统计得到椭圆和带形烈度衰减关系分别为:

椭圆烈度衰减关系:

$$\text{长半轴, } a = \exp(1.39615 + 1.41580M - I) / 0.91619) - 2 \quad (3)$$

$$\text{短半轴, } b = \exp(1.05368 + 1.36765M - I) / 0.83819) - 2 \quad (4)$$

相关系数 $R=0.91$, 标准差 $\sigma_1=0.548$

带形烈度衰减关系:

短轴:

$$I = 1.05368 + 1.36765M - 0.83819 \ln(R + 2) \quad (5)$$

相关系数 $R=0.91$, 标准差 $\sigma_1=0.548$

带长:

$$S = \exp(0.33498 + 1.15055M - 0.62481I) \quad (6)$$

相关系数 $R=0.89$, $\sigma_{\ln S}=0.47$

2. 地震动衰减关系

岳阳市及其邻区缺乏强震观测资料,可借助参考区的烈度、地震动衰减关系按照文献〔3〕、〔5〕所述烈度震级法(IM法)估计其地震动衰减关系。

选择美国西部为参考区,根据文献〔7〕的烈度资料统计得到了美国西部地区烈度衰减规律:

$$I = 7.83979 + 1.22173M - 4.48307 \lg(\sqrt{R^2 + 10^2} + 25) \quad (7)$$

相关系数 $R=0.94$, 标准差 $\sigma_1=0.50$

参考区的地震动衰减规律:

$$Y = b_1 \times 10^{b_2 M} (\sqrt{R^2 + 10^2} + 25)^{-b_3} \quad (\text{单位: cm/s}) \quad (8)$$

其中, b_1 、 b_2 、 b_3 是回归系数,取自〔6〕。

岳阳市及其邻区的烈度衰减规律采用〔5〕式。由(5)、(7)、(8)三式按IM法不难得到岳阳市及其邻区的地震动衰减规律,见表3。

表3 岳阳市及其邻区的地震动衰减规律

Table 3 Ground motion attenuation law of Yueyang city and its vicinity

$$\ln Y = C_1 + C_2 M - C_3 \ln(R + 2) \quad (\text{单位: cm/s})$$

周期T(秒)	C_1	C_2	C_3	$\sigma_{\ln Y}$
0.1	-1.43030	0.63701	0.57731	0.80
0.15	-0.15389	0.55898	0.60530	0.81
0.2	-0.23071	0.61954	0.56956	0.76
0.3	-0.67894	0.77387	0.60960	0.77
0.4	-1.17673	0.86487	0.56354	0.78
0.5	-1.49248	0.90943	0.51532	0.73
0.6	-2.20480	1.04334	0.50413	0.74
0.8	-2.40388	1.03202	0.43912	0.71
1.0	-2.36093	0.97149	0.30308	0.70
1.3	-3.09345	1.05385	0.24711	0.77
2	-3.52426	1.12359	0.29059	0.85
3	-3.90980	1.16989	0.30523	0.89
4	-4.43442	1.25640	0.33924	0.99
5	-4.98793	1.35284	0.40382	1.02
6	-4.13569	1.17256	0.34699	0.99
8	-3.65512	1.05911	0.33020	0.88
峰值加速度 (cm/s ²)	1.62239	0.73762	0.56009	0.73

四、岳阳市地震危险性分析

1. 以烈度为参数的地震危险性分析

用表1给出的5个潜在震源区的类型、震源参数,表2给出的各潜在震源区的地震活动性参数,以及(3)、(4)、(5)、(6)式表示的烈度衰减关系,按照文献〔8〕所述原理,用椭圆衰减模型和带形衰减模型对岳阳市进行地震危险性分析,图2所示。

由图2可以看出,椭圆衰减模型和带形衰减模型的计算结果相差甚微;若取年超过概率为 2.1×10^{-3} ,则场地烈度为6.4,对衰减规律的不确定性校正后的场地烈度为6.6。

地震危险性分析表明岳阳市的地震基本烈度为Ⅶ度弱。

2. 以加速度、反应谱为参数的地震危险性分析

(1) 带长(或等效断层破裂长度)的估计:由上述分析可知,岳阳市地震烈度均为Ⅶ

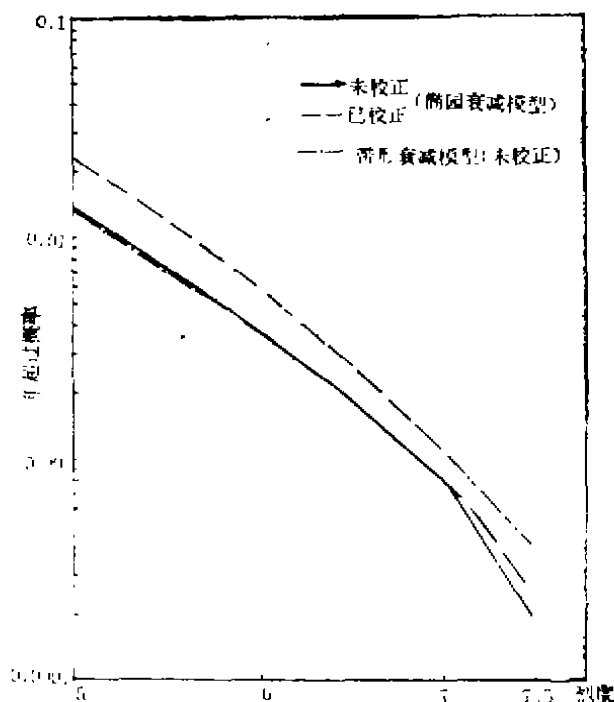


图2 岳阳市地震烈度的超越概率
Fig. 2 Seismic hazard curve of Yueyang city in terms of intensity

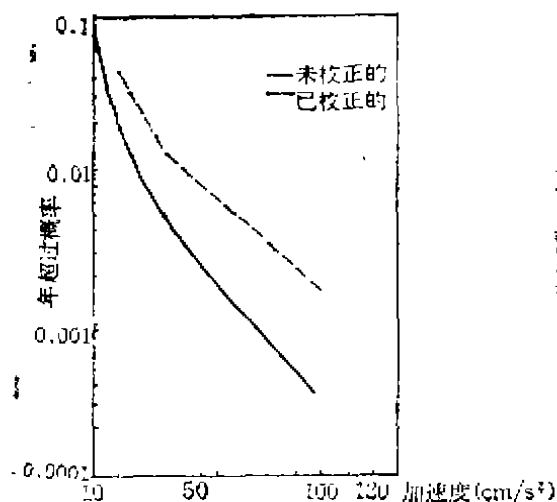


图3 岳阳市峰值加速度及超越概率
Fig. 3 Seismic hazard curve of Yueyang city in terms of acceleration

度, 由(6)式可得带形衰减模型的带长:

$$\ln S = 1.15055M - 4.03869 \quad (9)$$

(2) 地震危险性分析的计算结果: 用表1给出的5个潜在震源区的类型、震源参数, 表2给出的各潜在震源区的地震活动性参数, 表3所列的周期从0.1到8.0的16个周期的速度反应谱及峰值加速度衰减关系, 以及带长与震级的关系式(9), 按照文献〔8〕所述原理, 用带形衰减模型对岳阳市进行地震危险性分析, 图3是以峰值加速度为参数的分析结果; 若取年超过概率为 2.1×10^{-3} , 则峰值加速度为 $0.057g$ (或 $56cm/s^2$), 对衰减规律的不确定性校正后的峰值加速度为 $0.095g$ (或为 $93cm/s^2$)。图4是50年超过概率为10% (即年超过概率为 2.1×10^{-3}) 的加速度反应谱 (注意: $PSA = \frac{2\pi}{T} PSV$)。

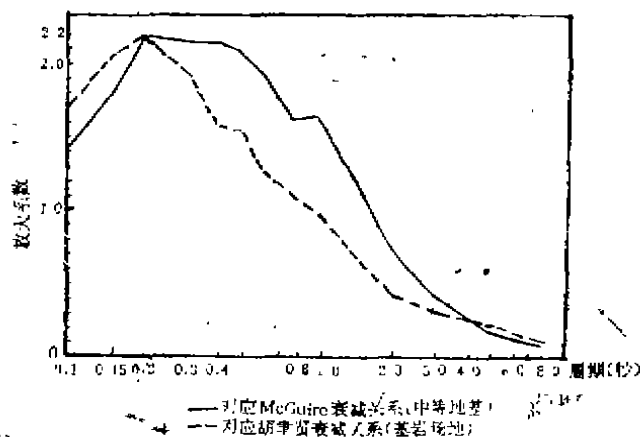


图4 岳阳市加速度反应谱估计结果
Fig. 4 Acceleration response spectra for Yueyang city of 10% probability of exceedance within 50 years

五、结果与讨论

(1) 岳阳市地震危险性分析的结果表明, 带形衰减模型和椭圆衰减模型的计算结果相差甚微, 可以相互替代, 这与文献〔8〕有关带形等震线的定义是一致的, 从某种意义上说, 带形衰减模型具有更广泛的意义。

(2) 过去的研究者主要以峰值加速度为参数进行地震危险性分析, 并常以一定概率水平的峰值加速度值, 与规范的谱值对应起来, 得到适用于场地的反应谱, 以作为场地的设计地震动反应谱。这样做的缺陷是, 设计加速度是概率方法确定的, 而场地反应谱又是定数法确定的。本文自始至终用概率方法得到了岳阳市地震小区划的设计反应谱。

参 考 文 献

- 〔1〕湖南省地震局编, 湖南地震史, 湖南科学技术出版社, 1980。
- 〔2〕湖北省地震史料汇考编辑室编, 湖北地震史料汇考, 地震出版社, 1986。
- 〔3〕胡聿贤、张敏政, 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算方法, 地震工程与工程振动, 第四卷, 第一期, 1984。
- 〔4〕胡聿贤、张继栋等, 基岩地震动参数与震级和距离的关系, 地震学报, 第2期, 1982。
- 〔5〕Wang Meng fu, Zhang Zaiyong, Improved method of Seismic hazard assessment and its application, 《广州国际地震区划学术讨论会论文集》, 1988。
- 〔6〕R. K. McGuire, Seismic design spectra and mapping procedures using hazard analysis based directly on oscillator response, EESD, Vol. 5, 1977。
- 〔7〕J. G. Anderson, On the attenuation of Modified Mercalli Intensity with distance in the united states, BSSA, Vol. 68, No. 4, 1978。
- 〔8〕汪梦甫, 地震危险性分析的衰减模型, 地震学刊, 第3期, 1988。

SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF YUEYANG CITY

Wang Mengfu

(Department of Civil Engineering, Hunan University)

[Abstract] In the Light of characteristics of seismic geology and seismic activities in Yueyang city and its vicinity investigated by Chinese earthquake workers in the last ten years, the author delineates the potential sources, and estimates the seismicity parameters of the potential sources. Using 11 historical isoseismals data of the studied area, the intensity attenuation law are obtained. Besides, the ground motion attenuation law for the studied area is obtained by using the intensity attenuation law of the studied area and the attenuation law of intensity and ground motion of the United States. At last, a risk-consistent response spectra with certain probability of exceedance for Yueyang city are presented.