

浙江省及邻区中强地震潜在震源区的判定与地震危险特征的讨论

谭爱娜 杨导声 刘 畅 张士印

(浙江省地震局)

摘要

本文利用模式识别方法,判定浙江省及其邻区的5.0级和5.5级地震的潜在震源区,并研究了它们的发震背景特征,同时与强震区的地震进行了对比。研究表明,两种地区的发震背景在地质构造和深部构造上存在一定的差异。本文还指出了未来有可能发生5.0级地震的地区。

一、引言

浙江省及其邻区属于我国东南沿海少震弱震区。该区最大历史地震震级为 $M_s 5.5$,近代没有发生过 $M_s > 5.5$ 地震。在此背景下,南北两个地区地震活动水平又不相同。本文根据地质、地貌、地球物理、地震活动等特征,判定该区中强地震潜在震源区,以期为该地震区划工作提供可靠的依据。

二、浙江省及其邻区地震

地质特征及中强地震潜在震源区判定

研究区范围取东经 $117^{\circ}.0-123^{\circ}.0$,北纬 $26^{\circ}.5-33^{\circ}.0$,在构造位置上属于欧亚板块的东南部。胶东—苏北—南黄海块体与华南—东海块体在研究区北部交界。由于块体间的相互挤压、碰撞,从而影响和控制了该区的新构造运动和中强地震活动。该区内主要发育有NE、NW、NNE方向的三组断裂,活动方式多表现为老断裂的复活或继承性活动,它们对中、新生代盆地、山川水系的发育和新生代玄武岩喷溢都有明显的控制作用。中强地震一般分布在北部两个块体交界带附近,两条或两条以上活动断裂交汇部位附近及新生代断陷盆地边缘或其附近,尤其是断陷盆地较深的一侧。

根据研究区的地震地质、地貌、地球物理、地震活动性的特点,取北 30° 东与东西方向两组平行线将该区分成网络(图1)。北东方向的平行线间距为100km,东西向的为70km,共分为46个小区。选取其中资料齐全的33个小区为研究的对象(样本)。

首先对研究区内发生5.0级地震危险性进行识别。对样本的分类原则是:D类为危

险样本,该类地区发生过 $M_s \geq 5.0$ 地震;X类为有待识别的样本,该类地区虽未发生过 $M_s \geq 5.0$ 地震,但发生过 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震;N类为安全样本,该类地区未发生过 $M_s \geq 4.0$ 地震。根据上述原则共划分出D类样本15个,N类样本9个,X类样本9个(图1)。

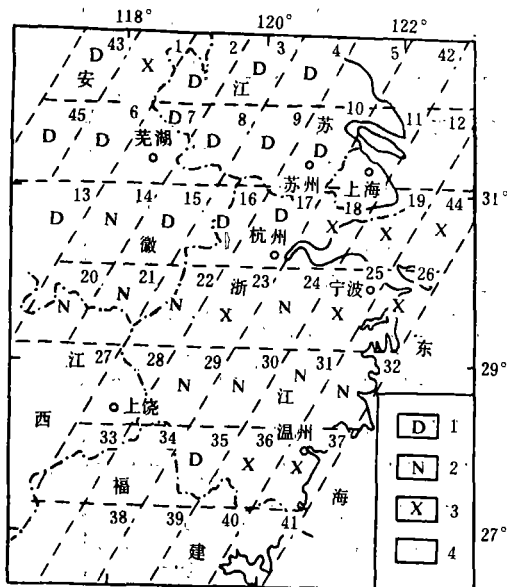


图1 5.0级地震识别分类图

1. D类 2. N类 3. X类 4. 未参加识别

Fig. 1 Classes of $M \geq 5.0$ earthquake risk recognition

在对5.0级地震危险性识别的基础上,进行5.5级地震危险性的识别。删除识别后的N类样本,将原X类样本中经识别后为D类的样本作为5.5级地震危险性识别的N类样本,原D类样本中发生过 $M_s \geq 5.5$ 地震的仍作为D类样本,其余为X类。这样共划分出D类样本9个,N类样本6个,X类样本6个。

根据浙江、江苏、安徽三省的1/250万地质图、重力布格异常图、M面埋深图及浙江省及邻区地震目录提取特征量。对于5.0级地震选取19个特征量(表1),对于5.5级地震选取9个特征量(表2)。由所选取的特征量对每一样本组成特征向量,可写为:

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_m)^T \quad (1)$$

式中m表示特征量的个数。而在每一样本区读取的特征量值,可组成 $m \times p$ 矩阵,其中p表示样本的个数,对于5.0级地震, $p=33$;对于5.5级地震, $p=21$ 。

为便于计算,对每一个特征量进行离散化处理,即依据表1和表2中各特征量的阈值,用Cara-3方法借助于计算机选取适合每一特征离散化的阈值,并对D、N、X类样本分别进行编码。本文采用S编码^[3]。

本文采用的模式识别方法为Cara-3方法^[3]。这是一种有监督的模式识别方法。首先选定4个值 K_{11} 、 K_{21} 、 K_{12} 、 K_{22} ,用文献[1]给出的原则,对新特征进行学习,并由此得到D类和N类样本的类示性特征。对K值系数采用正交优选法^[4]选取,共16组,对每组K值选出一组D类或N类样本的类示性特征,将16组结果进行比较,并从中选取识别结果最好的一组作为最终投票的K值。对于5.0级地震选取 $K_{11}=12$, $K_{12}=12$, $K_{21}=5$, $K_{22}=2$,与此对应的D类样本示性特征代号为4,N类样本示性特征代号为4和17的组合(表3)。对于5.5级地震选取 $K_{11}=5$, $K_{12}=2$, $K_{21}=5$, $K_{22}=2$,对应的D类和N类样本的示性特征见表4。

表1 5.0级地震的特征量及阈值

序号	特 征	阈值分位点
1	本区发生 $M_s \geq 5.5$ 地震次数	0.5
2	本区 1986 年前发生 $4 \frac{3}{4} \leq M \leq 5 \frac{1}{5}$ 地震的次数	0.5
3	本区 1986 年前发生 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震的次数	1.5
4	本区 1900 年前发生 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震的次数	0.5
5	本区 1900 年前发生 $M_s \geq 4.0$ 地震的次数	0.5
6	本区断裂节点数	0.5
7	本区是否有 2 个以上活动断裂	0.5
8	本区活动断裂端点数	0.5
9	本区是否有 2 个以上活动断裂的端点	0.5
10	本区是否有新生代盆地	0.5
11	本区是否有热水泉	0.5
12	本区距研究区北部块体距离	85km
13	本区是否有第三凹陷	0.5
14	本区 M 面最深值	32.60km
15	本区 M 面最浅值	30.25km
16	本区 M 面梯度值	0.4×10^{-1}
17	重力布格异常最大值	23.20mgI
18	重力布格异常最小值	-12.50mgI
19	重力布格异常梯度值	1.6mgI/km

表2 5.5级地震的特征量及阈值

序号	编号	特 征	阈 值
1	4	1900 年前发生 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震次数	1.5
2	5	1900 年前发生 $M_s \geq 4.0$ 地震次数	0.5
3	9	是否有 2 个以上活动断裂的端点	0.5
4	12	本区距北部两块体的距离	62km
5	14	M 面最深值	32km
6	15	M 面最浅值	29.35km
7	17	重力异常最大值	27.0mgI
8	18	重力异常最小值	-4.40mgI
9	19	重力布格异常梯度	1.3mgI/km

对地震危险性识别的投票,是在选定 K 值后与删除试验同时进行,选取最佳方案作为投票结果(表 5)。对 5.0 级地震进行样本删除试验,共进行 16 次投票,取 13 次以上的

表3 5.0级地震的识别示性特征

特征 类别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
特征 类别		2		4		6		8		10		12		14		16		18	
D类示性 特征				0															
N类示性 特征				1													1		

表4 5.5级地震的识别示性特征

特征 类别	4	5	9	12	14	15	17	18	19
特征 类别		2		4		6		8	
D类示性 特征	1								1
	2					0	1	1	
	3			1	0				
	4	0			0				
	5		0						
N类示性 特征	1		1						0
	2		1	0					
	3	1	1						

投票结果。由投票结果可知,错投数 $\tau_D=0$, $\tau_N=0$, 误识率为 0。识别结果见图 2。对 5.5 级地震进行样本及特征的同时删除试验。共进行 10 次投票,取 6 次以上投票结果(表 5),其 $\tau_D=1$, $\tau_N=0$, 误识率 ϵ 为 4%。图 3 给出了识别结果。

在投票中,分别进行 K 值正交试验、删除对象及删除特征试验。结果表明,识别结果的稳定性是较好的(表 6),而对 5.0 级地震的识别结果的稳定性优于 5.5 级地震。

在对 5.0 级地震的危险性识别中,X 类样本的 25 号虽识别为 N 类,而在 K 值试验中,仍有 12 次投票为 D 类,表明 25 号样本仍有 70% 的概率可识别为 D 类。在删除对象试验中选取 13 次投票结果,其误识率 $\epsilon=0$;若选取 16 次投票结果,则误识率 $\epsilon=5\%$ 。表 6 给出了各次试验的不稳定样本及其不稳定性。

在 5.5 级地震危险性识别中各次试验的不稳定样本及不稳定性见表 7。若取 60% 投中,误识率 ϵ 为 4%。这可能与样本数量少有关。适当地增加样本,有可能会减少识别结果的不稳定性。

从表 5 和图 2、图 3 可以看出,5.0 级地震潜在震源区主要集中在浙、皖、苏交界处,即北纬 30° 线以北,且沿 EW 方向展布。该区是大华北地震带南端向南延伸的地带,历史上曾多次发生过 $M_s \geq 5.0$ 地震,而近年来中强地震也较活跃。其中杭州以北(包括杭州

表5 各类样本分类及识别结果

样本分类	D 类		N 类		X 类		样本总数
	样本序号	累计	样本序号	累计	样本序号	累计	
5.0 级 分类	2、3、4、6、7、 8、9、10、13、15、 16、17、35、43、45	15	14、20、21、22、24、 29、30、31、32、	9	1、18、19、23、 26、37、36、25、 44	9	33
5.0 级 识别	2、3、4、6、7、 8、9、10、13、15、 16、17、35、43、45、 1*、18*、19*、23*、26*、 37*	21	14、20、21、22、24、 29、30、31、32、25*、 36*、44*	12		0	33
5.5 级 分类	3、4、6、8、9、 35、43、45、16	9	1、18、19、23、26、 37	6	2、7、10、13、 15、17	6	21
5.5 级 识别	3、4、6、8、9 35、43、45、7*、13*、 15*	11	1、18、19、23、26、 37、2*、10*、17*、 (16)	10		0	21

表6 5.0 级地震危险性识别 K 值及删除对象不稳定性

试验分类	D类错投为N类		N类错投为D类		D _x 错投N类		N _x 错投为D类	
	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性
K 值试验	/	/	/	/	/	/	25	12/16
删除对象	45	1/16	/	/	23	3/16	25	3/16
	35	3/16	/	/	26	2/16		
					37	2/16		
试验	45	1/16	/	/	23	3/16	25	12/16
	35	1/16	/	/	26	2/16		
					37	2/16		

湾)、溧阳老震区均有发生 5.0 级地震的可能。

杭州西南、金华以北(23 号样本)地区为 5.0 级地震的潜在震源区。该地区处于金衢盆地内,且有江绍大断裂通过,历史上没有发生中强地震的记载,自有仪器记录以来也未记录到 $M_s \geq 3$ 地震。

宁波附近,即 25 号样本,虽被识别为 N 类,但 K 值试验表明其不稳定性为 70%,选定 K 值删除对象试验仍显示有 20%的不稳定性,这可能与该区处于危险区样本(19 号、26 号)及安全区样本(24 号、31 号)之间有关。因此对宁波地区应考虑为 5.0 级地震的潜

表7 5.5级地震危险性识别K值、删除对象和删除特征试验不稳定性

试验分类	D类错投为N类		N类错投为D类		D _x 错投为N类		N _x 错投为D类	
	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性	样本序号	不稳定性
K 值试验	3	5/16	26	4/16	7	3/10	10	4/16
	9	1/16	37	1/16	15	3/10	17	5/16
	16	2/16						
删除对象 试验	3	4/10			7	1/10	17	3/10
	16	8/10						
删除特征 试验	16	10/10	26	1/10	7	1/10	17	2/10
							10	1/10
不稳定的 最大概率	3	5/16	26	4/16	7	3/10	10	4/16
	16	10/10	37	1/16	15	3/10	17	5/16
	9	1/10						

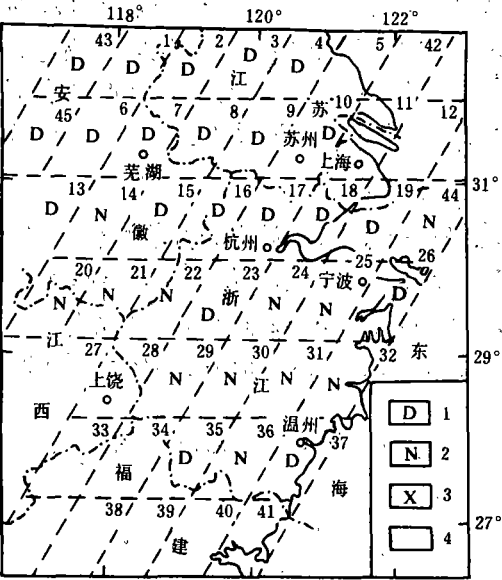


图2 5.0级地震的识别结果
1. D类 2. N类 3. X类 4. 未参加识别
Fig. 2 Result of $M_s \geq 5.0$ earthquake recognition

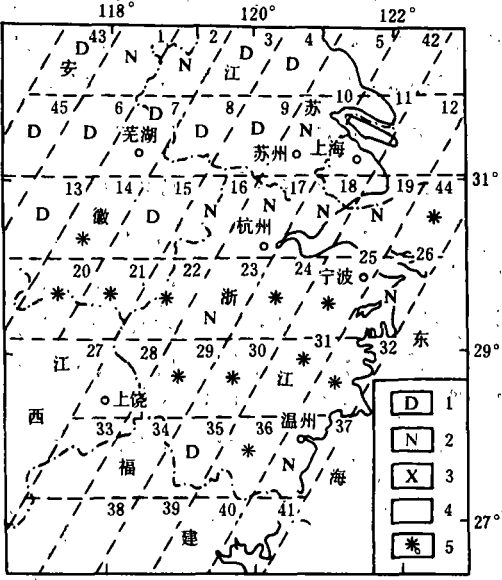


图3 5.5级地震的识别结果
1. D类 2. N类 3. X类 4. 未参加识别
Fig. 3 Result of $M_s \geq 5.5$ earthquake recognition

在震源区。
浙江省南端与福建省交界处(35号样本)的庆元附近(历史上曾发生过5.5级地

震),温州及舟山附近沿海地区(37、26号样本)为5.0级地震的潜在震源区。

5.5级地震潜在震源区主要分布于苏皖浙三省交界处及浙闽交界的庆元地区。

三、地震危险特征的讨论

1. 本文对浙江省及邻区地震危险性的识别结果表明,未来中强地震的潜在震源区主要集中在已发生过中强地震、且近代小震活跃的地区,因而地震活动性可作为判定危险区的主要指标。

2. 胶东—苏北—南黄海块体和华南—东海块体的存在及相互作用是较明显的地震危险特征。其它地质地貌特征与地震危险性的关系则不明显,如在5.0级地震潜在震源区的识别中所选出的D类示性特征中无地质地貌特征。我国华北、西南强震区的地震分布与新构造活动及活动断裂的展布有明显的关系,而本文的研究表明,浙江省及邻区的中强地震的这种分布特征则不明显,表现出较大的随机性。我国自80年代开始进入新的地震活跃期以来所发生的多次中强震,如四川内江地震、重庆地震、青海共和地震均未显示出与构造的明显关系,这可能反映了强震与中强震具有不同孕震机制,与构造的关系存在差异。

3. M面埋藏深度与研究区的地震危险性有较密切的关系。在 30°N 以北M面埋藏深度大于29.35km及 28°N 以南M面埋藏深度小于32km的地区均为地震危险性指标。表明该区中强地震发生的地区不是地壳相对最薄的区域。这与我国东部强震区的特点不一致,如郯庐地震带是处于地壳最薄的区域,即地幔隆起区,在该带上发生了1665年临沂 $8\frac{1}{2}$ 级地震及4次大于7级的地震。

由对资料的分析可知,研究区M面埋深与地势相关,反映了该区地壳均衡状态较好,所以其地震活动性较弱,这与强震区的深部构造背景是有差异的。虽然该区在整体上显示较好的均衡状态,但南北两区又有差异。M面深度由西南向东北渐变,北区地幔相对隆起,在隆起的背景上,M面出现次级短轴构造,形态较复杂。南区构造则相对简单。北区的历史和近代地震要比南区活跃。

重力布格异常虽被识别为危险特征,但目前仍无足够的资料以作进一步的解释。

四、结 论

(1) 利用模式识别方法判定中强地震的潜在震源区,对少震、弱震区有一定的实用价值,它不受少震的影响,可利用多因素来判别未来发震的地区。

(2) 根据本文的研究,金衢盆地可能为5.0级地震的潜在震源区。该区历史上虽未发生过 $M_s \geq 5.0$ 地震,但也要注意其发生5.0级地震的可能性。

(3) 少震、弱震区的深部构造及地质背景可能与强震区不同,研究两者之间的差异,有利于深入探讨不同强度地震的孕震条件。

本文中的分区与特征的选取还有待进一步完善。

研究中使用的 Cara-3 程序由马秀芳提供,在工作中马秀芳亦给予了帮助,特此表示感谢。

(本文 1991 年 4 月 10 日收到)

参考文献

- [1] 马秀芳、王春珍、王碧泉,用模式识别方法确定北京及邻近地区易发生地震的地点,地震学报,Vol. 1, No. 4, 374—384, 1985.
- [2] 王碧泉、杨锦英、王春珍,大震前地震活动的图象识别,地震学报,Vol. 4, No. 2, 105—115, 1982.
- [3] 马秀芳、王玉秀、王碧泉,几种有监督的模式识别方法及其程序包,中国科学技术出版社,1986.
- [4] 中国科学院数学研究所运筹优选小组,优选法,科学出版社,1975.

DIVIDING THE POTENTIAL EARTHQUAKE SOURCE ZONES OF MIDDLE AND STRONG SHOCKS AND THE FEATURES OF SEISMIC RISK IN ZHEJIANG AND ITS VICINITY

Tan Aina, Yang Daosheng, Liu Chang, Zhang Shiyin
(*Seismological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou, China*)

Abstract

By using the pattern recognition method, this paper divides the potential earthquake source zones of M5.0 and M5.5 in Zhejiang Province and its vicinity, and studies the features of the statutory background, comparing with the earthquakes of strong earthquake area. It shows that there exists the difference of their background of geological structure and deep structure for the two zones. Finally, it points out the potential source area occurring M5.0 earthquake in the future.