

易损性分析在徐州市地震小区划中的应用*

王立功 (国家地震局地质研究所)

反应谱、地脉动、平均剪切模量等方法的小区划,虽然给出了定量指标,但仅局限于地震地面振动效应,工程地质法的地震小区划定性分析,显得过于粗略。易损性分析介于定性、定量之间的一种小区划方法,在定性分析基础上给出定量指标,综合反映地震地面振动效应和地面破坏效应。

易损性分析是以宏观震害为基础,综合分析多种地质因素对震害的影响,用易损性指数表示震害程度。以基本烈度为背景,按易损性指数值划分烈度小区。

笔者于1981—1983年承担徐州市震害预测任务,完成了该市170平方公里的地震小区划,并初步经历了菏泽地震的检验。

一、震害地质因素

(一) 地基土 徐州处于华北断块区冀鲁断块的南部,地貌上为低山丘陵间夹盆地、谷地。按工程地质特性将基岩划分为八个岩组**:

I、震旦系下部陆源碎屑岩岩组; II、震旦系上部浅海相碳酸盐岩岩组; III、寒武系下部浅海相砂岩、页岩、灰岩岩组; IV、寒武系中部浅海相厚层灰岩岩组; V、寒武系上部浅海相薄层灰岩岩组; VI、奥陶系中、下部厚层灰岩岩组; VII、石炭系中、上部海陆交互相砂岩、页岩(夹煤层)夹灰岩岩组; VIII、二叠系陆相砂岩、页岩(夹煤层)岩组(图1—A)。

对比不同岩性基岩的震害差异,将上列岩组按不同抗震性能归并为 a_1 、 a_2 、 a_3 三类:

a_1 —抗震性能好的,包括IV、V、VI三个岩组,以中、厚层灰岩为主,有豹皮状灰岩、条带状灰岩、鲕状灰岩、条带灰岩、白云质灰岩及少量白云岩、石英砂岩等。

a_2 —抗震性能中等的,包括I、II二个岩组,薄、中层灰岩、白云岩,泥质灰岩、泥质白云岩、砂岩及少量页岩。

a_3 —抗震性能较差的,包括III、VII、VIII三个岩组,以页岩为主,夹砂岩、薄层灰岩及少量煤系地层。

山前或盆地、谷地边缘分布中、上更新统坡积—洪积粘土,紫红色、褐黄色,致密坚硬,含铁锰结核

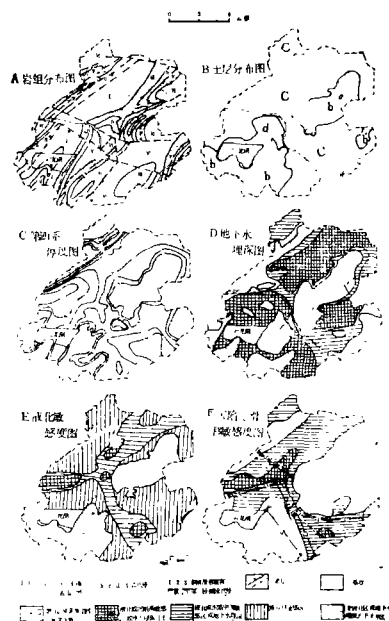


图1 徐州市地质因素图组

和钙质结核,底部钙质结核增大并含少量碎石。盆地、谷地中央为全新统地层,自1128年黄河改道、夺淮入海,至1855年北迁山东,前后700余年流经徐州,在市内留下很厚的松散物质。黄河属地上河,由粉砂、轻亚粘土组成的漫滩高出地表6—7米,形成地表“分水岭”,改变了原地表迳流状态,在山前凹地形成许多湖泊,沉积了软塑淤泥质粘性土或可塑—软塑粘性土。高漫滩两侧为黄泛物轻亚粘土和软塑粘性土。徐州城几经黄河水淹没,留下数米至十余米厚的填土(图1—B),填土中含大量砖瓦碎块甚至完整的建筑物残骸,古地面埋于地下3米、4.5米、7.5米、10米等不同深度。

据49个钻孔、2716个土样、土层试验数据,按反映土层抗震性能好坏的参数大小顺序列表(表1),如剪

* 陈建英、蔡灵铎同志参加部分野外工作。

** 徐州市建委抗震办公室,1982,徐州市及邻近地区地震地质基本特征及区域稳定性分析。

分析孔数
分析样数

最小值
最大值
平均值

表 1 徐州市土层物理力学性质一览表

土层名称	取样深度 (米)	物理力学性质试验指标										颗粒特征				剪切波速 Vs (米/秒)	剪切模量 G×10 ³	静力触探 Ps 公斤/厘米 ²	标准贯入 击数 N														
		天然含水量 w%	天然容重 r	比重 G	饱和度 st%	孔隙比 e	液限 wL	塑限 wP	塑限指数 Ip	液限指数 IL	压缩模量 P=10	压缩模量 P=20	内摩擦角 φ	内聚力 c	粘粒含量 %					平均粒径	有效粒径 d10	不均匀系数 K10											
粉砂级细砂	1.2	2	1.75													0	6	0.032	13	0.013	12	1.7	6	118	6	2.5×10 ³	11	10	6	3			
	14.7	2	1.83													3	23	0.076	31	0.085	30	4.5	254	23	12.26×10 ³	23	90	21	25				
																31	1.76			31	2.6	202	23	7.75×10 ³	50	23	50	21	11				
亚砂土	0.6															2.2			17	0.005	17	2.2											
	17.4															7.6			34	0.041	31	7.6											
																4.8				0.015	31	4.2											
轻亚粘土	1.5	7	14.4	7	1.71	2.69	7	0.52	7	0.64	7	26.1	7	20.0	7	4.2	7	-0.92	7	50	7	62											
	20.2	25	25.3	25	1.92	2.70	25	0.90	25	0.77	25	30.1	25	21.9	25	7.1	25	0.41	19	156	19	185											
亚粘土	2.3	14	18.3	9	1.82	2.70	9	0.86	9	0.57	15	26	15	15.0	15	8.8																	
	25.8	27	26.3	22	1.92	2.72	22	0.92	22	0.70	28	33.1	28	19.5	28	13.7	44	-0.10															
粘土	1.1	30	20.4	27	1.80	2.72	27	0.78	27	0.60	30	17.0	30	16.0	30	13.0	89	1.00	6	15	6	20	19	3°26'	19	0.14							
	20.73	62	55	55	1.95	2.75	55	0.96	55	0.85	62	44.3	67	20.7	62	2.22		0.44	219	11	90	11	240	35	24°42'	35	0.70						
淤泥质土	2.3	17	36.8	10	1.70	2.73	10	0.89	10	0.83	17	33.0	17	17.0	17	15.0	17	0.10	1	19	1	25	8	1°43'	8	0.10							
	15.0	22	39.9	13	1.81	2.73	13	0.98	13	1.15	23	42.3	23	20.4	23	21.9		1.58	26	2	32	32	15°6'	32	0.46								
																		0.83	2	23	2	29	8	6°31'	8	0.25							
粘性土壤	3.6	1	32.1	1	1.67	2.71	1	0.76	1	1.14	1	35.6	1	21.9	1	10.6	1	0.67	1	9	1	14											
	7.35	3	40.1	3	1.71	2.72	3	0.88	3	1.23	3	38.5	3	23.6	3	15.2	3	1.53	101	3	98	3											
																		1.07	3	41	3	44											
老粘土	3.3	11	18.3	11	1.86	2.69	11	0.81	11	0.54	11	28.2	11	18.1	11	12.7	11	0.10	11	97	11	232											
	39.9	33	24.3	33	1.98	2.73	33	0.94	33	0.71	32	40.0	32	21.6	32	18.6	32	0.48	444	28	191	28	1435										
																		0.11	28	191	28	198											

切波速、剪切模量、隙比、内摩擦角、凝聚力、静力触探尖端阻力等,其数值由高而低大致反映抗震性能由好而坏;含水量和压缩模量等由高而低则反映抗震性能由坏而好。根据土层物理力学性质参数在表中的顺序评分,顺序1、2、3、4、5对应评分5、4、3、2、1。评分结果老粘土42分,全新统的轻亚粘土、粉砂、粘性土各29分,淤泥质土14分,填土11分。按积分高低将土层分为**b**、**c**、**d**三类:

b—抗震性能较好的老粘土

c—抗震性能较差的粉砂、轻亚粘土、粘性土

d—抗震性能很差的淤泥质土、填土

(二) 第四系厚度 盆地、谷地型沉积决定了第四系厚度由边缘向中央逐渐增厚的特点(图1—c),第四系土层覆盖面积约140平方公里,其中土层厚度小于30米的约占85%,土层厚度大于50米的占3%左右。全新统最大厚度26.78米,除城区填土以外,占孔中砖瓦碎块几乎全位于埋深10—20米的全新统底板处;徐州市建筑设计院静力触探于黄河漫滩地下10米、14米、19米处发现三层石块,推测为黄河堤坝遗迹;江苏省第二水文地质大队勘探发现的泗水古河道埋于地下12—18米,泗水于黄河入侵徐州后消失,可以认为徐州市全新世沉积属七、八百年间的黄河冲积层。层间普遍分布淤泥层和淤泥质粘土层,厚0—4米不等。

(三) 地下水埋深 根据1981年8月121个民井水位调查资料和1981—1982年13个勘探孔水位资料,粗略勾划出徐州市地下水埋深图(图1—D)。地下水埋深受地形地貌控制:山区大于6米,盆地、谷地边缘2—6米,中央小于2米。局部开采使埋深增大。

(四) 砂土液化 徐州市山前粘土不存在液化问题,连同基岩一起构成非液化区。盆地、谷地中的黄河冲积物,普遍具粉砂、极细砂、轻亚粘土,沉积时间短,结构松散,标准贯入击数11击左右,静力触探 P_s 值平均35公斤/厘米²。据47个占孔统计:①表层粘性土或填土厚0—2米;②地表15米以浅普遍分布砂土层;③可液化砂土层多为静水环境下沉积的、富含有机质的灰色易液化砂土层^[1];④地下水埋深大多数小于2米。初步判定在Ⅶ度条件全新统地层分布区为可液化区。

为进一步判别可能出现的液化强弱程度,拟从15米以浅的砂土层总厚度、单层砂土的最大厚度、砂土层结构及地下水埋深等因素考虑。据47个占孔统计,砂土层总厚度大部分3—12米,单层砂土最大厚度大部分为2—10米,地下水埋深0.24—6.06米,大部分1—4米。砂土层结构有四型式:①单层结构(D),即砂

土层以单一型式或夹薄层粘土型式存在,包括以粉细砂为主的 D_1 型和以轻亚粘土为主的 D_2 型;②互层结构(H),即砂土层、粘性土层厚度相近,以相间型式存在的结构;③夹层结构(J),以粘性土层为主、薄层砂土夹于厚层粘性土中的结构。液化敏感性与砂土层厚度、结构、抑制层厚度及地下水埋深等因素有关,一般情况下砂土层愈厚、抑制层愈薄、地下水位愈高,液化敏感性愈高;反之,液化敏感性愈低。液化敏感性与其影响因素影响作用的强、中、弱有关,以数字表示影响等级,结合以往砂土液化震害调查、勘探试验规定砂土层总厚度>10米、10—5米、5—1米对应数字5、3、1;单层砂土最大厚度>8米、8—5米、5—2米、2—0.5米,对应数字4、3、2、1;地下水埋深<2米、2—4米、4—5米对应数字5、3、1。基于抑制层厚度0—2米,差别影响不明显,可不考虑。砂土层总厚度小于1米、单层砂土最大厚度小于0.5米及地下水埋大于5米等情况不考虑液化。不同结构对液化的影响以结构系数*表示,按其影响由弱到强,结构系数 $D_1=1$ 、 $D_2=0.8$ 、 $H=0.6$ 、 $J=0.4$ 。各占孔砂土层厚度、地下水对液化影响的数字之和乘以相应砂土层的结构系数,即为该占孔砂土液化敏感性指数。可液化区47个占孔砂土液化敏感性指数值0—14,其中指数为零的钻孔12个,占25.5%。

由液化敏感性指数作液化敏感度分区,敏感性指数大于10的为液化高敏感区,敏感性指数10—6的为液化中等敏感区,敏感性指数小于6的液化低敏感区。在Ⅶ度条件下,高敏感区液化较重,估计压砂面积10—20%,中等敏感区液化轻微,估计压砂面积小于10%,低敏感区基本不液化(图1—E)

(五) 地面沉陷 地震地面沉陷是振动条件下松散土层密实、淤泥层变形、饱水砂土层液化喷水冒砂等作用的结果。沉陷敏感性与第四系厚度、全新统厚度、淤泥层(或填土层)厚度及液化敏感度有关。各因素的影响作用强、中、弱、无以数字3、2、1、0表示。根据49个钻孔资料规定:第四系厚度(米)30、30—15、<15,全新统厚度(米)>15、15—5、<5,液化敏感度高、中、低分别对应数字3、2、1;淤泥或填土厚度(米)>3、3—1、<1对应数字2、1、0。每个钻孔影响因素数字叠加之和为该钻孔土层沉陷敏感性指数,变化值1—11,按数值高低作沉陷敏感度分区(图1—F):11—8沉陷高敏感区,即沉陷较重区;8—4沉陷中等敏感区,即中等沉陷区; <4沉陷低敏感区,即沉陷不明显区。

* 结构系数为表示不同结构砂土层是影响液化作用的数值。

不均匀沉陷；城区广泛分布填土，因时间短、地下水位浅，压密程度很差，加之古城墙古堤坝遗址多，地表岩性极不均一，振动条件下将产生不均匀沉陷。

(六) 斜坡滑移 黄河高漫滩两侧的边坡及奎河岸坡存在斜坡滑移问题。高漫滩两侧斜坡总长约26公里。斜坡原为黄河大堤，由粉砂、轻亚粘土、粘土组成，高出外侧地表7—8米，高出内侧河滩1米左右。目前堤身多处破坏，成为极不稳定的地段。据42个观测点的天然坡角资料，最小坡角21°，最大坡角70°，平均坡角44°。陡坡最小高度2米，最大高度13米，平均5.7米。沿斜坡见崩塌、滑坡10多处，顺坡裂缝更多。较大的滑坡有两处，一是骆驼山附近家用电器厂滑坡，发生于1982年7月，滑坡长百米，严重处侧向滑移和垂直落差皆达2米多，新建浴室倒塌。二是七里沟枝校滑坡，亦发生于1982年雨季，滑坡段长20多米，围墙倒塌5米余。

奎河于市内河道长约10公里，郊区岸坡角20—30度，城区人工护坡，坡度角在45度以上，河床至坡顶高差一般3—4米。

斜坡地震稳定与其土质、土力学条件、坡度角、可能滑动的土体厚度等因素有关，反映在如下经验公式^[2]中：

$$a_c = \frac{C}{rH} (\tan\phi \cos\theta - \sin\theta)g$$

式中： a_c ——斜坡发生初始位移的临界加速度，米/秒²

g ——重力加速度，米/秒²

r ——土层天然容重，克/厘米³

c ——土层凝聚力，克/厘米³

H ——可能滑动的土体厚度，米

ϕ ——土层的内摩擦角，度

θ ——斜坡的坡度角，度

在Ⅶ度条件下：

$a_c > 0.1g$ ，斜坡基本稳定，无明显地面破坏现象，侧向位移量小于0.5厘米；

$0.01g < a_c \leq 0.1g$ ，斜坡低稳定，中等地面破坏，侧向位移0.5—5厘米；

$a_c \leq 0.01g$ ，不稳定，较大的地面破坏，侧向位移5—50厘米。

根据埋深2—6米土层物理力学试验指标，按可能滑动的土层厚度3米和5米分别作计算，计算结果表明，黄河高漫滩两侧边坡和奎河岸坡在Ⅶ度条件下大部分地段都处于不稳定状态，这与现场经验判断基本一致，并以坡高>8米、8—4米、<4米表示未来地震

灾害重(Ⅰ)、中等(Ⅱ)、轻(Ⅲ)不同程度(图1—F)。

(七) 断层 徐州市内断层有北北东或北东和北西西向两组(图1—A)。北北东或北东向多为压(扭)性逆断层或冲断层，构造岩结构紧密、富水性差、抗震性能好；北西西向为张(扭)性断层，构造岩结构松散、富水性好、抗震性能差。规模较大的北西西向断层为废黄河断层，横贯市区、长约10多公里，断层带宽1—3公里，埋深一般为30—40米，是主要供水水源地。根据地震地质分析，市区周围100公里范围内是华北断块区中相对稳定的地块，废黄河断层无明显的活动迹象，不可能成为发震断层。但当相邻郯庐带郯城—宿迁段发生7级以上地震时，无论是受强烈振动影响可能引起新的活动，还是地震波在断层破碎带的反射、折射，都有可能加重地表灾害，一般情况下沿断层迹的灾害应重于断层带其他区段的灾害。

(八) 地形 徐州市有大小山头44座以上，从万分之一地形图上量得212个坡度角，其变化范围1°31′—26°36′，按坡陡程度分为平缓、较缓、较陡、很陡四级，对应的坡角为<8°、8°—13°31′、13°30′—20°、>20°，分别标志以1、2、3、4(图1)。

盆地、谷地径(或宽)深比。盆地直径或谷地宽为相对两侧基岩露头点之间的距离，深即中央部位的第四系厚度。从二万分之一地基土层分布图及第四系厚度图量取五条剖面，径深比为176:1、247:1、156:1、109:1、207:1、160:1，其坡度分别为11.3%、8.1%、12.8%、18.3%、9.7%和12.5%，盆、谷底基岩面平缓。

二、地质因素易损性分析图与地震小区划

(一) 地质因素地震易损性指数

地质因素地震易损性指数产生于不同地质因素地震易损性研究的基础上，作者对此曾作了阐述^{[3][4]}，参考这两个实例，对徐州市不同地质因素易损性指数规定：

地基土易损性指数

土层、岩层及其厚度(或埋深)是诸因素中的主导因素，易损性指数值一般应占总值的50—60%。横向的岩性变化与纵向的厚度(埋深)变化组成地基土易损性趋势矩阵 A_1 ：

地基土代号 a_1 、 a_2 、 a_3 、 b 、 c 、 d 见上节。

其他地质因素地震易损性指数：

地下水 地下水对灾害的影响随水位埋深的增加

地基土代号 土层厚 (米)度	a ₁	a ₂	a ₃	b	c	d
0—5	1	2	5	2	5	7
5—10	0.5	1.5	3	3	7.5	9
10—20	0	0.5	1	4	9	11
>20	0	0	0	5	11	13

而减轻,盆地、谷地中央小于2米,边缘2—4米,山前坡地4—6米,山区大于6米。对应以上埋深的易损性指数为3,2,1,0。

砂土液化 在Ⅶ度条件下砂土液化加重震害,对应砂土液化敏感度高、中、低的易损性指数3、2、1。

地面沉陷 地面沉陷引起震害随沉陷量增加而增大,不均匀沉陷大于均匀沉陷。沉陷量与沉陷敏感程度有关,沉陷敏感度高、中、低对应易损性指数3、2、1,不均匀沉陷易损性指数为3。

斜坡滑移 废黄河高漫滩两侧斜坡和奎河岸坡在Ⅶ度条件均属不稳定边坡,按其影响震害重、中、轻,规定易损性指数3、2、1。

断层 按断层对震害影响的强、弱、无,规定废黄河断层迹、断层带易损性指数为2、1,其他断层为零。

地形 基岩斜坡对震害的影响随斜坡的变缓而减轻,对应于斜坡的陡、较陡、较缓、很缓的分级,其易损性指数为3、2、1、0。

(二) 地质因素易损性分析图

G	a ₁	a ₂	a ₃	b	c	d
R	se					
i	l					
h	f					
S	m					M

G 地基土组成 a₁—d 地基土代号

R 第四系厚度 i 地基土易损性指数

se 地面沉陷易损性指数 l 地面滑移

易损性指数 f 断层易损性指数

m 地形易损性指数 M 总的易损性指数

图2 地震易损性分析单元

徐州市地性因素地震易损性分析图由637个易损性分析单元组成,易损性分析单元的面积500米×500米。根据易损性指数的规定和地质因素图求每个分析单元的易损性指数(图2)。

地基土易损性指数 由地基土易损性趋势矩阵乘以地基土组成矩阵而得。如某分析单元地基土组成矩阵B:

地基土代号 土层厚 (米)度	a ₁	a ₂	a ₃	b	c	d
0—5	0	0	0	0	0	0
5—10	0.9	0	0.1	0.7	0.3	0
10—20	0	0	0	0	0	0
>20	0	0	0	0	0	0

$$C = A \cdot B^T$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 2 & 5 & 7 \\ 0.5 & 1.5 & 3 & 3 & 7.5 & 9 \\ 0 & 0.5 & 1 & 4 & 9 & 11 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 11 & 13 \end{pmatrix}$$

$$\cdot \begin{pmatrix} 0 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \times & \times & \times \\ \times & 5.1 & \times & \times \\ \times & \times & 0 & \times \\ \times & \times & \times & 0 \end{pmatrix}$$

C 矩阵对角线元素之和

$$i = 0 + 5.1 + 0 + 0 = 5.1$$

即该分析单元地基土易损性指数。

又该单元地下水埋深3.5,砂土液化敏感度高,地面沉陷敏感度高,斜坡稳定,无断层影响,地形坡度缓,相应的易损性指数h=2,s=1,s₀=1,i=0,f=0,m=1,总的易损性指数M=10.1。

637个总的易损性指数M值变化范围1—25(图3),综合反映地震地面效应强弱程度,M值1—5、5—10、10—15、15—20、>20对应地震地面效应极弱、弱中等、强、强烈。

三 地震小区划

小区烈度异常主要受局部地质条件影响。我国五十年代用局部土层岩性和地下水埋深等调整基本烈度,由于地质因素考虑太少,且方法过于简单,小区划显得很粗略,与实际地震效应相距甚大。易损性分析考虑了必要的地质因素,既有反映地面振动效应的地基土、地下水、第四系厚度等因素,又有反映地面破坏效应的砂土液化、地面沉陷、地面滑移、断层等因素。因此,以基本烈度为背景,以总的易损性指数值为依据勾划烈度小区图应是比较合理的。

震害考察表明,在一定范围内烈度常有一、二度之差,高烈度震中区可高达二、三度,远离震中低烈度区相差一度左右。徐州市远距估计震中100公里以

外,烈度属中偏低,考虑小区烈度差1.5度左右。基本烈度中地基土按二类土考虑,小区烈度中三类土分布区的烈度应大致与基本烈度值相当。根据以上原则及基本烈度在小区中应占一定优势的考虑,按易损性指数值将徐州市划分为VI⁺、VII⁻、VII、VII⁺、VIII⁻五个小区(表2,图3),与地震地面效应极弱、弱、中等、强、强烈分区相一致。

表 2 徐州地震小区划简表

小区烈度	VI ⁺	VII ⁻	VII	VII ⁺	VIII ⁻
易损性指数	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25
地貌部位及主要地质问题	基岩山区及部分老粘土分布的山前地区,地下水埋深大于6米	老粘土分布的山前地区及部分Q ₃ 粘性土分布的盆地、谷地边缘区,地下水埋深大于4米	谷地中央及废黄河高漫滩Q ₃ 软粘土轻亚粘土分布区,地下水埋深0—4米,中等液化、沉降和斜坡滑移,废黄河断裂通过	盆地中央、废黄河高漫滩Q ₃ 轻亚粘土粉砂、软粘土、杂填土分布区,地下水埋深0—2米,较重的液化、沉降、不均匀沉降、斜坡滑移,废黄河断裂通过	

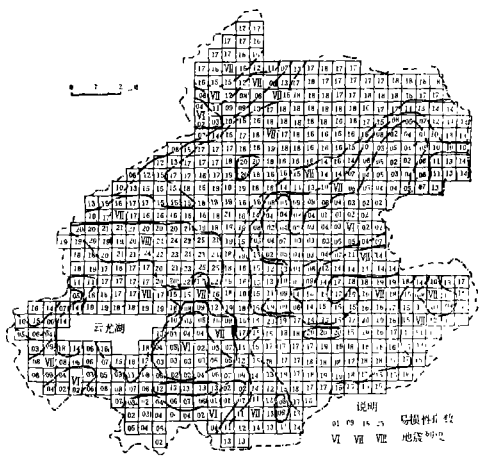


图 3 徐州市地震小区划图

1983年11月7日凌晨山东菏泽发生5.9级地震,影响徐州市的烈度为V度,据震后人感调查,小区烈度VI⁺的子房山、云龙山、户部山、白云山、骆驼山等地大部分人员无感,少数人感到咯噔一动,持续时间仅1秒左右;小区烈度VII⁻的山前地带有感人员明显比山上增多,振动持续时间2—3秒;小区烈度VII⁺—VIII⁻的黄河新村、和平新村,湖滨新村、西关及老城区等地绝大多数人员有感,很多人惊恐逃户外,并伴有器皿撞击声及屋顶落灰等现象,振动持续时间3—5秒。

结 论

(1) 本文将多因素综合分析广泛应用于砂土液化、地面沉降等敏感性分析和土层抗震性能划分等方面,丰富了地质因素地震易损性分析的内容。

(2) 地基土易损性趋势矩阵是一新的概念,与地基土组成矩阵相乘而得地基土易损性指数,较之M. Couillaud和J. di Ion等人求易损性指数的方法*更简便明确。

(3) 徐州市地质因素易损性分析图由637个易损性分析单元(500米×500米)组成,按总的易损性指数值变化作五级分区,即地震地面效应极弱(0—5)、弱(5—10)、中等(10—15)、强(15—20)、强烈(20—25)分区。以基本烈度Ⅶ度为背景分别对应于VI⁺、VII⁻、VII、VII⁺、VIII⁻等烈度小区。经菏泽地震检验,基本与地震效应相符,可在该市抗震防灾规划中参考使用。

参 考 文 献

- [1] 王立功等,1982,易液化砂层初探,地震科学研究,3期。
- [2] M.R. Legg, 1982, Seismic Hazard Mapping for life line Vulnerability Analysis, Third International Earthquake Microzonation conference proceedings Vol. III.
- [3] 王立功:1981,地震易损性分析——地震小区划的一种新方法,地震,5期。
- [4] 王立功:1982,唐山东矿区地震易损性分析,地震地质,4卷3期。

* Office of the United Nations Disaster Co-ordinator.; Composite Vulnerability Analysis 1976—1977

• 书讯 • 《水文地质学》一书由沈照理(主编)、刘光亚、杨成田、孙世雄、陈葆仁等十七人编辑,即将由科学出版社出版。