

汕头市历史地震影响烈度的分析

贾素娟

(国家地震局地球物理研究所)

提 要 本文将所论地震事件视为随机事件。按全概率定理分析了地震对场地的地震动影响(A)和超越给定值的概率P;对地震烈度序列进行了极值统计分析,得到汕头市地震平均重现期及其对应的烈度值。

关键词 历史地震资料分析 超越率统计 极值统计 地震重现周期

前 言

历史地震影响烈度,是指用烈度来衡量历史上发生过的地震对工程场地所造成的影响程度。历史地震影响烈度分析,一直是评定工程场地地震危险性的重要组成部分。在六十年代以前,评定工程场地的地震危险性时,主要依据“历史地震重演”与“构造类比”两条原则。历史地震重演就是指历史上发生过的地震,未来还可能重复发生。历史地震对工程场地所造成的影响,也同样可能重复发生。所以,在评定工程场地地震危险性时,在提供工程抗震设防依据时,分析历史地震对工程场地的综合影响情况(综合等震线),确定历史地震对工程场地的最大影响烈度,都是工程场地地震危险性评定报告(地震烈度鉴定报告)中的重要组成部分。这不仅是对一般工程,就是对于该设施,大型水利枢纽工程也不例外。

近年来,在对某些重大工程场地进行历史地震影响烈度分析中,曾证实了工程场地历史地震影响烈度的频次分布,有同一个地区(或地震带)内大小地震频次之间的类似关系。即低烈度的频次高;高烈度的频次低,高低烈度频次之间近似地遵从对数直线关系 $\log N = P - qI$ 。利用这种统计关系还可得到各烈度的缺失情况,为工程抗震提供参考依据^[1]。这一思路方法很快在其他工程抗震中得到应用^[2,3]。与此同时,高孟潭与作者将工程场地所遭遇过的历史地震影响烈度,作为“泊松事件”来看待,继而应用陈培善等人改进后的极值分布模型^[4],用格梯格顿(Gringorten, 1978)^[5]的数据处理方法来分析工程场地的历史地震影响烈度的时间序列,进一步得到各烈度值的平均重现期。由此得到的工程抗震所需要的不同平均重现期所对应的烈度值,可以同地震危险性分析结果相比拟^[6]。尽管所依据的资料和处理分析方法不同,但结果的相近性却是令人鼓舞的。这说明了两者在一定程度上反映了工程场地地震危险性的客观性。应用此方法曾多次为工程场地提供抗震设防的参考依据^[7,8]。本文对汕头市的历史地震影响烈度进行极值统计分析。

一、方 法

在地震危险性分析中,将场地周围(地震带或潜在震源区内)的地震事件作为符合泊松分布的随机事件,按全概率定理统计分析周围地震对场地所造成的地震动影响(A)超越给

定值(a)的概率 $P(A \geq a)$ 。而在历史地震影响烈度的极值分析中,是将历史地震对场地所造成的影响烈度值作为符合泊松分布的随机事件,直接对影响烈度序列进行极值统计分析。

用于工程地震方面的极值分布函数以陈培善修正型分布最为合适^[6]。设 $G(i)$ 为场地影响烈度的极值分布函数,其中 i 代表一年内场影响烈度的极大值,其物理意义为场地影响烈度在一年内不超过值 i 的概率的大小。推导出的分布函数为:

$$G(i) = \exp \{ -\exp [-\beta(i-u)] [1 - e^{-\beta(i_2-i)}] \} \quad (1)$$

式中 β 、 u 为统计常数, i_2 为场地影响烈度的上限值。

极值统计理论用于工程地震中,主要是应用场地影响烈度的平均重现期的概念对场地地震危险性进行风险性估计。

场地影响烈度的平均重现期定义为:

$$T(i) = \frac{1}{1-G(i)} \quad (2)$$

式中 $G(i)$ 为场地影响烈度的极值分布函数, $T(i)$ 表示场地影响烈度值平均 $T(i)$ 年被超越 i 一次。

与平均重现期相应的烈度值为:

$$i = G^{-1} \left(1 - \frac{1}{T} \right) \quad (3)$$

其中 G^{-1} 为 G 的反函数。

陈培善修正型场地影响烈度的平均重现期 T 与之相应的烈度值为:

$$\begin{cases} i = u - \frac{1}{\beta} \ln [-\ln G(i) + e^{-\beta(i_2-u)}] \\ \text{其中 } G(i) = 1 - \frac{1}{T} \end{cases} \quad (4)$$

最常用的极值分布函数的估计办法是最小二乘法。设所采用的资料段年限为几年,每年选取一个最大的影响烈度值,并按递增顺序排列:

$$i_1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_l \leq \dots \leq i_n \quad (5)$$

则第 l 位的影响烈度极值为一顺序统计量,它的分布函数为 $G(i_l)$ 。

格林格顿(Gringorten)1978年提出的 $G(i_l)$ 的估计值为^[6]:

$$\hat{G}(i_l) = (1 - 0.44) / (n + 0.12) \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

(6)式对于历史地震影响烈度的估计效果最好^[6]。本文即采用(6)式进行估计。

二、资 料

建立场地历史地震影响烈度目录是进行极值统计分析的基础。首先应用金严最近为“新编中国地震区划图”而拟合得到的中国东部烈度平均轴衰减公式:

$$I = 4.493 + 1.454M - 1.792 \ln(d + 16) \quad (7)$$

$$\sigma = 0.5304$$

将“中国地震简目”〔9〕中的地震计算出对汕头市(23.41°N, 116.66°E)的影响烈度,按7舍8入的原则取Ⅳ度以上的影响烈度,舍去震中距在1000km以上或者震源深度在60km之下的地震。这样得到了计算的影响烈度目录。

然后再查阅有关资料〔10,11,12,13,14〕,凡是有等震线图的或者有破坏情况记载的,能够确定其影响烈度的,均用宏观资料,而不用计算结果。这样得到对汕头市产生Ⅳ度以上影响的地震共39次,资料截止时间是1990年12月。最早的一次地震是1067年广东潮州一带的6级地震,对汕头产生了Ⅳ度的影响。但是从1067年至1507年的441年里只有3次影响烈度,而从1508年到1990年的483年里有36次影响烈度。前段时间的资料缺失太多,只分析后段时间的资料。舍去5次余震,还有31次。最高影响烈度达Ⅷ度,有2次,一次是1918年南澳7.3级地震(见图1),另一次是1900年南澳7级地震(见图2)。Ⅶ度影响有1次,即

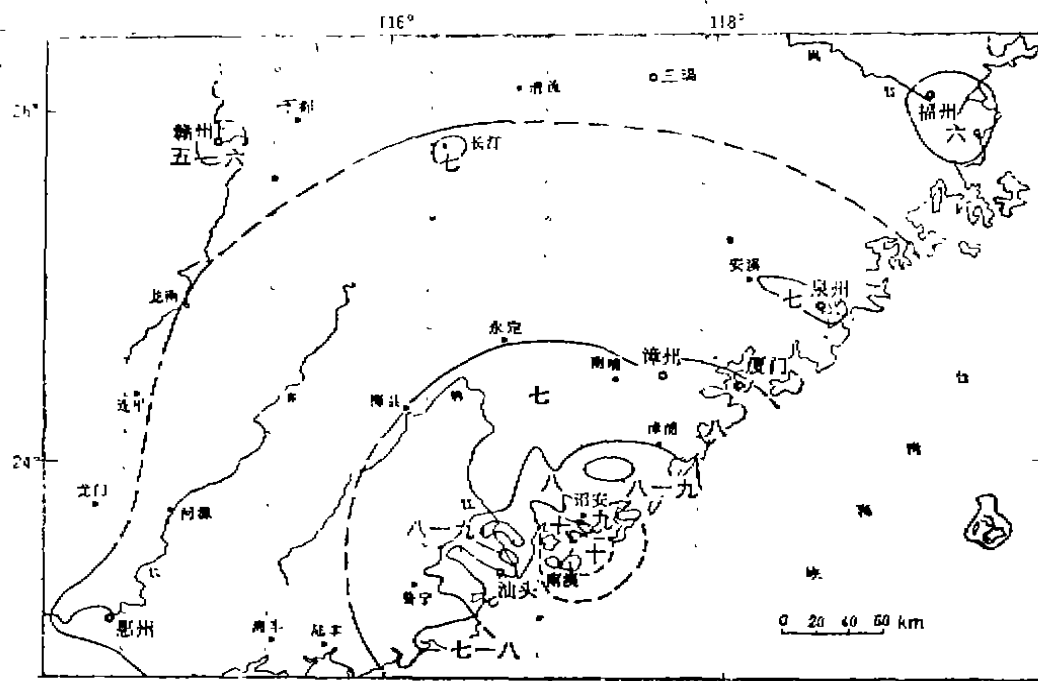


图1 1918年2月13日广东南澳地震

Fig. 1 Nanao earthquake on Feb. 13, 1918 in Guangdong province

1895年广东揭阳6级地震。Ⅵ度影响有3次,1604年泉州海外8级地震,1641年广东揭阳东的5级地震和1886年汕头4级地震,对汕头均造成了Ⅵ度的影响(见表1)。从1508年到1990年的频次分布如下:

烈度	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
次数	21	4	3	1	2

表1 汕头市历史地震影响烈度目录

Tab. 1 The catalogue of the influence of historical earthquakes on intensity in Shantou city

发震时间				震中经纬度		震级	震中距	烈度
年	月	日	时 分 秒	北纬	东经			
1067	11	00	.0	23.6	116.5	6.8	26.3	7.0
1185	06	08	.0	24.6	117.6	6.5	162.7	4.0
1445	12	12	.0	24.5	117.6	6.3	153.9	4.0
1508	11	00	.0	23.7	116.4	4.8	41.4	4.0
1519	09	00	.0	23.5	117.2	5.0	55.9	4.0
1538	03	00	.0	23.8	116.5	4.8	46.0	4.0
1600	09	29	.0	23.5	117.2	7.0	55.9	8.0
1604	12	29	.0	25.0	119.5	8.0	337.8	6.0
1641	11	26	.0	23.5	116.5	5.8	18.7	6.0
1791	04	08	.0	23.8	117.5	5.5	95.9	4.0
1792	08	09	.0	23.6	120.6	7.0	402.7	4.0
1849	00	00	.0	23.4	116.2	4.8	46.9	4.0
1878	11	23	.0	23.5	118.0	6.5	137.1	5.0
1886	01	13	.0	23.4	116.7	4.8	.0	6.0
1895	08	30	.0	23.5	116.5	6.0	18.7	7.0
1902	11	21	15 03 88.0	23.0	121.0	7.3	446.3	4.0
1906	03	28	06 58 40.0	24.3	118.6	6.3	220.7	4.0
1909	11	21	15 36 88.0	24.4	121.8	7.3	534.4	4.0
1918	02	13	14 07 13.0	23.6	117.3	7.3	68.5	8.0
1920	06	05	12 21 28.0	23.5	122.7	8.0	616.8	4.0
1921	03	19	16 19 45.0	24.0	116.5	6.3	67.2	5.0
1922	09	02	03 16 06.0	24.5	122.0	7.6	556.4	4.0
1934	02	14	11 59 34.0	17.5	119.0	7.6	697.8	4.0
1935	04	21	06 01 54.0	24.3	120.8	7.1	432.8	4.0
1935	09	04	08 37 42.0	22.2	121.3	7.2	494.5	4.0
1936	08	22	14 51 35.0	22.3	120.8	7.2	442.0	4.0
1941	12	17	03 19 42.0	23.3	120.3	7.0	372.2	4.0
1951	11	25	02 47 13.0	22.9	121.5	7.5	498.5	4.0
1962	03	19	04 18 53.0	23.7	114.7	6.1	206.2	5.0
1962	04	24	06 10 10.0	23.5	116.8	4.8	17.0	5.0
1964	01	18	20 04 41.0	23.2	120.6	7.0	403.4	4.0
1966	03	13	31 20.0	24.2	122.7	7.8	621.3	4.0
1972	01	25	10 06 22.0	22.6	122.3	8.0	584.7	4.0
1978	07	23	22 42 39.0	22.2	121.4	7.3	504.4	4.0

注：本表的地理位置和时间范围：23.41N 116.66E 1067—1990

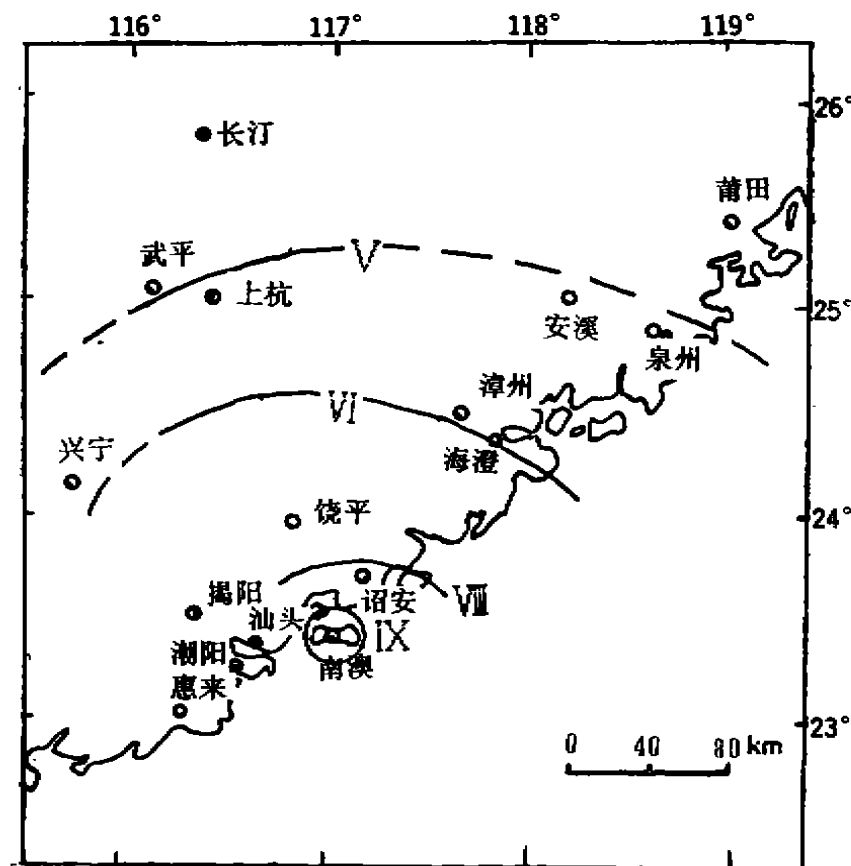


图2 1600年9月29日广东南地震等震线图
Fig. 2 Nanao earthquake on Sep. 29, 1600 in Guangdong province

三、结 果

应用公式(1)、(4)和(6)，以及汕头市历史地震影响烈度目录，得到汕头市平均重现期曲线(图3)，不同的平均重视期所对应的烈度值列简表如下：

平均重现期(年)	100	500	1000	10000
烈 度 值(度)	5.9	8.0	8.7	9.8

新编全国烈度区划图中采用时空不均匀性的地震危险性分析方法，得到汕头市50年超越概率为0.1的烈度值是7.9，50年超越概率为0.05的烈度值是8.2。为了便于与极值分析结果相比较，将超越概率曲线也用重现期的形式来表示(如图4所示)。比较以后发现，极值分析结果与危险性分析结果，在一般工业和民用建筑抗震设计所依据的是平均重现期为500年或1000年相应的烈度值，比较接近。两种方法在科学思路、资料来源和处理方法号不相同，

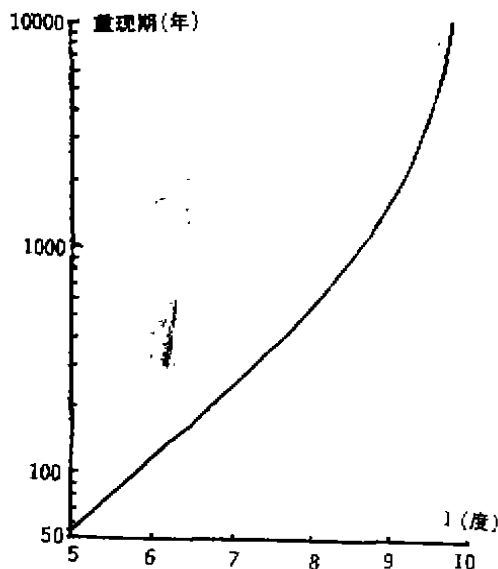


图3. 汕头市的影响烈度的重现曲线
Fig. 3 Curve of the return period
of influence intensity in
Shantou city

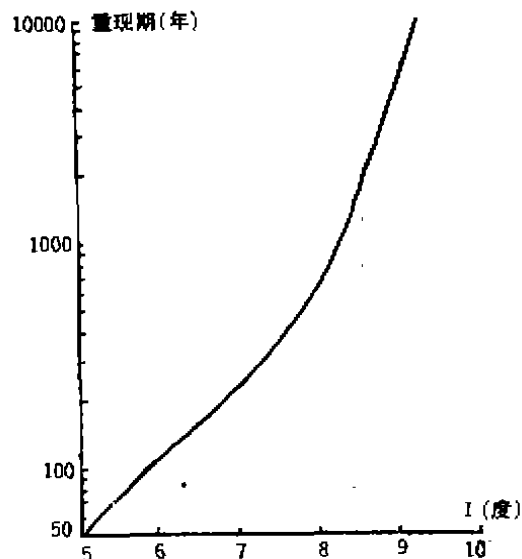


图4. 汕头市地震危险性分析方法
所得到的重现期曲线
Fig. 4 Curve of the return period
gained by the method of
seismic risk analysis

但所取得的结果却如此接近, 可以认为二者在一定程度上都反映了工程场地地震危险性的客观性。

根据风险性估计的理论, 对于各种不同重要程度和不同使用期的工程, 应采用不同平均重现期的烈度值, 作为抗震设计的依据。目前, 国内外普遍采用平均重现期为475年的烈度值(或加速度峰值等地震动参数)作为中小工程和民用建筑的抗震设计参考; 重大工程采用平均重现期为1000年的烈度值; 核电站等用平均重现期为一万年的烈度值。

综上所述, 汕头市一般工业与民用建筑可按Ⅲ度设防; 特殊情况可参改本文结果取用不同的设防标准。

参 考 文 献

- 〔1〕贾素娟, 郑家全, 1988, 场地影响烈度的频次特征及其工程地震的意义, 国际地震动态, 7, 3—7。
- 〔2〕沈建文等, 1988, 场地烈度——频次关系与 μ 值的联系及其在合肥市的应用, 中国地震, 1, 14—40。
- 〔3〕刁守中等, 1988, 场地烈度预测及其应用, 中国地震, 4, 27—28。
- 〔4〕陈培善等, 1973, 极值理论在中长期地震预报中的应用, 地球物理学报, 16, 6—24。
- 〔5〕Gringorten, Irving, I., A plotting yule for extremel probapility paper, J. Geophgs Res., 1978, 68, 813—814。
- 〔6〕高孟潭, 贾素娟, 1988, 极值理论在工程地震中的应用, 地震学报, 3, 317—326
- 〔7〕国家地震局地球物理研究所, 1987, 中央电视塔塔址工程地震研究报告。

- 〔8〕 国家地震局地球物理研究所, 1991, 山东省地震局, 胜利油田部分地区地震小区划报告。
- 〔9〕 “中国地震简目”汇编组, 1988, 中国地震简目。
- 〔10〕 顾功叙主编, 1983, 中国地震目录(公元前1831年—公元1969年), 科学出版社。
- 〔11〕 顾功叙主编, 1983, 中国地震目录(公元1970年—1979年), 地震出版社。
- 〔12〕 国家地震局全国地震烈度区划编图组汇编, 1979, 中国地震等烈度线图集, 地震出版社。
- 〔13〕 国家地震局地球物理研究所, 复旦大学中国历史地理研究所合编, 1986, 中国历史地震图集(明时期), 地图出版社。
- 〔14〕 国家地震局地球物理研究所, 复旦大学中国历史地理研究所合编, 1990, 中国历史地震图集(清时期), 中国地图出版社。

ANALYSIS ABOUT THE INFLUENCE OF HISTORICAL EARTHQUAKES ON INTENCITY IN SHANTOU CITY

Jia Sujuan

(Geophysical Institute of Seismological Bureau)

[Abstract] In this paper, the seismic events are taken as the stochastic. According to the theorem of total probability, the influence of earthquake on ground shock (A) and the probability (P) which surpassed the specified price are studied. After analysed the extremum statistics of intensity sequence, I have gained the average return period of earthquake and its corresponding intensity rating.

[Key words] Analysis of the data about historical earthquakes, Statistics of transcendental probability and the extreme value, Return period of earthquakes