

官幼雄. 基于地震安全性评价的广东省地震危险性分析[J]. 华南地震, 2019, 39(1): 71-75. [GUAN Youxiong. Seismic Risk Analysis of Guangdong Province Based on Seismic Safety Evaluation[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(1): 71-75]

## 基于地震安全性评价的广东省地震危险性分析

官幼雄

(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 地震安全性评价是防震减灾的重要措施之一。地震危险性分析是地震安全性评价的基础。论文利用安全性评价基本理论和方法对广东省的地震危险性进行分析。以广东省历史上发生的中强地震目录作为研究基础, 分析了广东省的地质构造特点和断裂特点, 划分潜在地震源、确定地震活动性参数, 建立了地震发生概率模型, 通过计算得出地震带的综合影响。研究结果表明广东省内具有发生 7.5、6.5、6.0、5.5 级级段地震的发震条件, 其中沿海地区是广东省中、强地震的主要发震区域。

**关键词:** 地震安全性评价; 广东省; 地震危险性分析; 地震发生概率模型

中图分类号: P315.9      文献标志码: A      文章编号: 1001-8662(2019)01-0071-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.01.012

## Seismic Risk Analysis of Guangdong Province Based on Seismic Safety Evaluation

GUAN Youxiong

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** Seismic safety evaluation is one of the important measures of mitigating earthquake disasters. Seismic hazard analysis is the foundation of seismic safety evaluation. The paper analyzes the seismic hazard of Guangdong Province by using the basic theory and method of safety evaluation. Based on the catalogue of moderate-strong earthquakes in the history of Guangdong Province, the paper analyzes the geological structure characteristics and fracture characteristics, divides the potential earthquake source, determines the seismicity parameters, establishes earthquake probability model and calculates the comprehensive influence of earthquake zones. The results show that there are seismogenic conditions for the occurrence of 7.5, 6.5, 6.0, 6.5 earthquakes in Guangdong province and the coastal area is the major mid-strong earthquake zone.

**Keywords:** Seismic safety evaluation; Guangdong province; Seismic risk analysis; Probabilistic model for earthquake occurrence.

收稿日期: 2018-01-15

作者简介: 官幼雄(1976-), 男, 工程师, 主要从事地震工程行业技术管理工作。

E-mail: 561841319@qq.com.

地震安全性评价是防御与减轻地震灾害,服务国民经济建设的基础工作之一。地震危险性分析即是地震安全性评价的基础,又是工程地震工作的一个重要组成部分<sup>[1]</sup>。

多年来,广东省经济发展迅速,城市建设规模宏大,2018年随着粤港澳大湾区的建设,城市经济活动和工程强度加大,广东省成为开放程度最高,经济最具活力的区域之一<sup>[2-3]</sup>。高度发展的经济和城市化进程,遭遇地震灾害,必然放大灾害的破坏效应<sup>[4-6]</sup>。因此分析地震危险性,做好安全性评价通过科学合理的抗震设施,使建筑物有效地抵御强烈地震的破坏,达到有效减灾目的<sup>[7-8]</sup>。

## 1 广东省地质构造特点

广东地处东南沿海地震带,属于环太平洋地震带,由太平洋板块和欧亚板块挤压形成。从全国地震危险性来看,属于弱震少震地区,但是在华南地区是地震相对多发的省份。在广东省历史上发生的最大的破坏性地震是1918年南澳7.3级地震,造成了大量的房屋倒塌和人员伤亡<sup>[9]</sup>。20世纪以来,广东省大于6级的地震共9次,基本都集中在南澎、河源、阳江、海丰、北部湾等这一地震带内,其它地区分布零星。

广东省的地形大致北高南低。由北边的低山、丘陵逐渐过渡到台地、平原,直至南边的众多的岛屿、港湾,分布在绵长的海岸线周围。这种地形造成了广东温暖潮湿的气候,频繁的暴雨、台风又使当地多降水。广东省地形特点使该区域地层发育齐全,地质构造复杂,碳酸盐岩和第四系软土分布普遍<sup>[11]</sup>。因此地震活动震中多沿北东向,强度东西强而中间弱,从沿海向内陆地区逐渐减弱的特征,地质构造复杂<sup>[12]</sup>。新构造运动与地震活动明显,与区域性断裂活动相关<sup>[13-14]</sup>。

## 2 广东省内断裂特点

广东及其邻近地区活动断裂较多,NE向和NW向断裂组成正交网络格架,近EW东西向断裂穿插其中。广东省的地震断裂以NE向为主,其次是EW向,此外也有NW等方向的断裂<sup>[15]</sup>。

(1)NE向断裂:广东省内NE向断裂有:南澳断裂、吴川四会断裂、汕头惠来断裂、紫金博罗断裂、恩平新丰断裂、潮州普宁断裂、莲花山断裂等。

(2)NW向断裂:广东省NW向断裂主要有韩江断裂、丰顺—汕头断裂、榕江断裂、大埔—饶

平断裂、伶仃洋—三水、芦苞断裂、练江断裂、珠江口断裂、白坭—沙湾断裂、西江断裂一带。

(3)EW向断裂:广东省EW向断裂主要有高要—惠来断裂、九峰断裂、佛冈—丰良断裂和贵东—蕉岭断裂、琼州海峡断裂等,实际可见的EW断裂常常为NE向断裂的派生构造。

## 3 地震危险性分析的概率方法

### 3.1 划分潜在震源区

潜在震源区指有可能发生地震的地区。这个可能发生的时间可以指几十年,也可能指上百年或者更长的时间。

潜在地震源划分包括两级:

(1)一级潜在震源区。一级潜在震源区主要包括地震活动性参数统计单元和地震趋势分析单元。

(2)二级潜在震源区。二级潜在震源区是在一级潜在震源区的基础之上进一步划分潜在震源区。

### 3.2 确定地震活动性参数

地震活动参数的确定是否合理,直接影响分析结果的可靠程度。本研究中潜在震源区地震活动性主要参数包括三类:

(1)震级上限 $M_u$ 。震级上限是指潜在震源区可能发生的最大地震的震级。按照0.5个震级单位间隔确定,例如5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0和7.5级等几个震级段。

(2)分震级档的空间分布函数 $f_{i,m_j}$ 。该函数是指每个潜在震源区内,各震级档发生地震的可能性函数。

(3)地震烈度衰减关系。地震动烈度衰减关系选取是地震危险性概论分析的重要环节。研究的地区不同,震源特性、传播介质与场地条件也不相同,地震烈度的衰减关系就具有强烈的地区性<sup>[16-17]</sup>。

### 3.3 地震发生概率模型

#### 3.3.1 地震带内发生地震的概率

假设地震带的震级下限为 $m_0$ ,震级上限为 $m_{uz}$ , $t$ 年内 $m_0 \sim m_{uz}$ 之间地震年平均发生率 $v_0$ , $v_0$ 由未来的地震活动趋势来确定,则统计区内 $t$ 年内发生 $n$ 次地震的概率:

$$P(n) = \frac{(v_0 t)^n}{n!} e^{-v_0 t} \quad (1)$$

相应的震级概率密度函数为:

$$f(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m-m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{uz}-m_0)]} \quad (2)$$

其中:

(1)地震带内地震发生的时间符合分段的泊松分布过程并且地震活动性遵从修正的震级频度关系<sup>[8]</sup>。

(2) $v_0$  根据未来的地震活动趋势来确定。

(3) $\beta-b\ln 10$ ,  $b$  为震级频度关系的斜率。

将公式 2 中震级  $m$  分成  $N_m$  档, 设  $m_j$  表示震级范围为  $(m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m)$  的震级档。则地震带内发生  $m_j$  档地震的概率:

$$P(m_j) = \frac{2}{\beta} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) \quad (3)$$

### 3.3.2 地震带内部发生的地震影响到场点地震动的年超越概率

根据分段泊松分布模型和全概率公式, 地震带内部发生的地震影响到场点地震动的年超越概率为<sup>[9]</sup>:

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp \left\{ -\frac{2v_0}{\beta} \cdot \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_i} \iint P(A \geq a|E) \cdot f(\theta) \cdot \frac{f_{i,m_j}}{A(S_i)} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) dx dy d\theta \right\} \quad (4)$$

其中:

(1) $A(S_i)$  为地震带内第  $i$  个潜在震源区的面积;

(2) $P(A \geq a|E)$  为地震带内第  $i$  个潜在震源区内发生某一特定地震事件(震中  $(x, y)$ , 震级  $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ , 破裂方向确定)时场点地震动超越  $a$  的概率;

(3) $f(\theta)$  为破裂方向的概率密度函数。

### 3.3.3 地震带综合影响

假定共有  $N_z$  个地震带对场点有影响, 则综合所有地震带的影响得:

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^{N_z} (1 - P_k(A \geq a)) \quad (5)$$

## 4 广东省地震危险性

### 4.1 广东省历史上中强地震时间分布特征

从最早有地震历史记录以来, 广东曾发生过中强以上地震目录。1970 年以来区域性地震台网所记录的  $M \geq 4.0$  地震的地震如表 1 所示。通过表 1 可知,  $M \geq 4.0$  级地震 31 次, 最大地震为 2004 年 9 月 17 日阳江 5.2 级地震。可知 1970 年以来区域范围内以微震、小震为主。

表 1 区域  $M \geq 4.0$  级地震目录 (1970-01-2015-02)

Table 1 Catalogue of earthquakes with  $M \geq 4.0$  in the region (1970-01-2015-02)

序号	发震时间/年-月-日	h: min	震中位置		参考地点	M
			东经	北纬		
1	1970-07-04	04: 34	112°45'	22°11'	台山	4.0
2	1973-04-06	09: 34	112°30'	23°36'	广宁	4.0
3	1973-06-11	01: 00	111°48'	21°42'	阳江	4.0
4	1974-03-04	12: 18	113°18'	23°42'	清远	4.0
5	1975-02-11	20: 43	111°48'	21°42'	阳江	4.0
6	1976-05-27	07: 37	111°48'	21°42'	阳江	4.7
7	1980-07-24	17: 00	111°48'	21°42'	阳江	4.5
8	1985-09-04	07: 58	111°48'	21°42'	阳江	4.8
9	1986-01-28	07: 13	111°48'	21°42'	阳江	5.0
10	1986-03-25	12: 51	111°48'	21°42'	阳江	4.1
11	1986-09-15	13: 47	114°33'	23°51'	河源	4.4
12	1986-09-23	04: 15	111°48'	21°42'	阳江	4.4
13	1987-02-25	22: 28	111°47'	21°44'	阳江	4.7
14	1987-04-10	01: 26	111°48'	21°42'	阳江	4.3
15	1987-07-06	01: 11	111°47'	21°44'	阳江	4.0
16	1987-09-15	10: 04	114°33'	23°46'	河源	4.9
17	1989-09-18	12: 53	112°13'	22°08'	恩平	4.5
18	1991-09-21	23: 37	114°33'	23°44'	河源	5.0
19	1994-09-16	13: 09	111°44'	21°48'	阳江	4.1
20	1995-01-04	01: 11	111°48'	21°45'	阳江	4.1
21	1996-04-29	22: 24	113°17'	24°23'	英德	4.0

(转下表)

(接表 1)

序号	发震时间/年-月-日	h:min	震中位置		参考地点	M
			东经	北纬		
22	1997-09-26	13-26	112°55'	23°16'	三水	4.4
23	1997-12-03	04-29	112°40'	22°11'	台山	4.2
24	1999-07-29	08-48	111°48'	21°42'	阳江	4.4
25	2001-04-22	01-52	111°44'	21°50'	阳江	4.7
26	2004-09-17	02-31	111°52'	21°46'	阳江	5.2
27	2004-11-11	17-42	111°50'	21°47'	阳江	4.0
28	2006-09-14	19-52	114°16'	21°59'	担杆列岛海域	4.0
29	2007-12-04	20-31	111°43'	21°56'	阳西	4.0
30	2012-02-16	02-34	114°28'	23°54'	东源	4.8
31	2013-02-22	11-34	114°29'	23°54'	东源	4.8

## 4.2 广东省潜在震源区划分

通过对广东省地震孕育、形成基本条件的认识,划分影响较大的十个潜在震源区。分别为:清远潜在震源区、肇庆潜在震源区、恩平潜在震源区、广州潜在震源区、台山潜在震源区、镇海湾潜在震源区、东莞潜在震源区、博罗北潜在震源区、惠州潜在震源区、高栏岛潜在震源区、珠海潜在震源区、深圳潜在震源区、香港潜在震源区、担杆岛潜在震源区。

## 4.3 广东省地震活动参数的确定

### 4.3.1 震级上限 $M_u$

广东省震级上限是将广东历史上发生过的最大地震震级定为上限。广东省历史上所有记录到的4次7级以上强震分别为1600年广东南澳7级地震、1604年福建泉州海外7½级地震、1605年

海南琼山7½级地震、1918年广东南澳7.3级地震,故地震带震级上限定为8.0级。根据广东省历史地震记录,区域范围内地震较多为浅源地震,4级地震也能够产生一定程度的破坏,故 $M_0$ 取4级。

### 4.3.2 分震级档的空间分布函数 $f_{i,m_j}$

在地震带内各潜在震源区不同震级档发生地震可能性的大小是不同的。采用空间分布函数,对统计区内各震级档地震的年平均发生率进行不等权分配。空间分布函数 $f_{i,m_j}$ 的物理含义是地震带内发生一个 $m_j$ 档震级的地震落在第I个潜在震源区内概率的大小。设 $n$ 为地震带内第 $m_j$ 档潜在震源区的总数在同一地震带内 $f_{i,m_j}$ 满足归一条件:

$$\sum_{i=1}^n f_{i,m_j} = 1 \quad (6)$$

根据以上条件和方法得到各潜在震源区的空间分布函数。如表2所示。

表2 主要潜在震源区的空间分布函数和方向性函数

Table 2 Spatial distribution function and directional function of the main potential source area

潜源名	4.0~4.9	5.0~5.4	5.5~5.9	6.0~6.4	6.5~6.9	7.0~7.4	7.5~7.9	$s_1$	$W_1$	$s_2$	$W_2$
恩平	0.003 66	0.003 13	/	/	/	/	/	50.00	1.00	0.00	0.00
台山	0.002 48	0.002 00	/	/	/	/	/	110.00	1.00	0.00	0.00
高栏岛	0.003 36	0.002 74	/	/	/	/	/	50.00	1.00	0.00	0.00
东莞	0.002 21	0.004 95	/	/	/	/	/	35.00	1.00	0.00	0.00
香港	0.002 12	0.004 73	/	/	/	/	/	30.00	1.00	0.00	0.00
惠东	0.002 24	0.005 04	0.006 61	/	/	/	/	30.00	1.00	0.00	0.00
深圳	0.001 95	0.004 34	0.004 56	/	/	/	/	30.00	1.00	0.00	0.00
大亚湾	0.002 21	0.004 95	0.006 66	/	/	/	/	30.00	1.00	0.00	0.00
斗门海外	0.003 47	0.007 77	0.007 94	0.018 45	/	/	/	20.00	1.00	0.00	0.00
广州	0.004 43	0.003 82	0.009 79	0.022 74	/	/	/	120.00	1.00	0.00	0.00
珠海	0.004 47	0.003 82	0.009 58	0.022 27	/	/	/	120.00	1.00	0.00	0.00
珠一凹陷	0.005 82	0.012 99	0.018 00	0.041 26	0.129 65	/	/	0.00	1.00	0.00	0.00
担杆岛	0.004 05	0.009 08	0.020 16	0.017 93	0.031 67	0.126 57	/	20.00	1.00	0.00	0.00

### 4.3.3 地震烈度衰减关系

本研究选用的地震烈度衰减关系是由霍俊荣博士根据《中国地震烈度区划图(1990)》的基础资料,经统计分析得到的华南地区地震烈度衰减关系,具体衰减形式和参数值为,如下式所示:

$$\begin{cases} I_a=4.359+1.179M-2.98281g(R+15) \\ I_b=3.086+1.179M-2.5681g(R+7) \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $I_a$  和  $I_b$  分别是长轴和短轴方向的烈度,  $M$  是震级,  $R$  为震中距, 单位 km,  $\sigma$  是标准差。

## 5 结语

(1)广东省内北东向断裂规模最大,是一组控制强震震中空间分布的控震构造。北西向断裂主要分布于沿海地区,大多数控制沿海水系的发育和沿海港湾的形成,是中、强地震的主要发震构造。东西向断裂是深部构造的主要骨架,形成最早。北东东向断裂主要发育于滨海地区,在地貌新构造上是沿海岛链带与陆架盆地的分界线,是 7 级及以上地震的控震构造。

(2)根据区域地震构造与历史地震活动特征,区域具有发生 7.5、6.5、6.0、5.5 级级段地震的发震条件。7.5 级发震构造有滨海断裂担杆岛海外段; 6.5 级发震构造主要有西江断裂、淇澳—桂山断裂、白坭—沙湾断裂、狮子洋断裂、广从断裂的珠江三角洲段等; 6 级地震发震构造主要有五华—深圳断裂、吴川—四会断裂的中段等; 5.5 级地震的发震构造主要有吴川—四会断裂东北段、苍城—海陵断裂、鹤城—金鸡断裂、河源—邵武断裂长宁—湖镇段和仙塘—龙川段、高要—惠来断裂带的新塘—长宁段等。

综上所述,广东省经济发展过程中,对已有建设进行抗震能力提升,对新建建设做好地震安全性评价和抗震设防工作,新建重大工程尽可能避开沿海区域。全面做好防震减灾工作,从而保障广东省经济建设顺利进行。

### 参考文献:

- [1] 王金艳. 基于 GIS 建立江苏省地震安全性评价数据库 [C] //中国土木工程学会、中国工程院土木、水利与建筑工程学部、中国土木工程学会防震减灾工程技术推广委员会、合肥工业大学、安徽省住房和城乡建设厅. 工程防震减灾新技术、新进展和新应用(上). 2016: 8.
- [2] 贾小斌. 深圳市地面坍塌灾害分布特征分析[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 116-121.
- [3] 贾小斌. 深圳市地面坍塌灾害成因分析[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 114-118.
- [4] 刘江龙, 刘会平, 吴湘滨. 广州市地面塌陷的形成原因与时空分布[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 62-65.
- [5] 刘晓然, 王威. 城市潜在地震次生火灾风险属性区间识别理论[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 43-50.
- [6] 戴胜利, 李迎春. 东日本 9 级大地震次生灾害的传导机理及管理优化研究[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 162-168.
- [7] 聂树明, 吴华平, 李晋. 基于 GIS 的建设工程抗震设防业务管理系统[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 79-84.
- [8] 李晋, 姜慧, 王立新, 等. 广州市部分城区震害预测与信息服务系统构建[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 144-147.
- [9] 李宏志, 康建国, 陈华云, 等. 广东省农村民居地震安全示范工程实施现状分析 [J]. 灾害学, 2010, 25 (4): 84-89.
- [10] 王挺, 何霆, 陈修吾. 广东省农居地震安全技术服务体系设计与实现[J]. 华南地震, 2017, 37(1): 97-104.
- [11] 刘会平, 潘安定, 王艳丽, 等. 广东省的地质灾害与防治对策[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 101-105.
- [12] 易顺民. 广东省滑坡活动的时间分布规律研究 [J]. 热带地理, 2007, 27(6): 499-504.
- [13] 刘芳, 陈宇坤, 何颖, 等. 天津滨海吹填场地震陷评价方法及应用研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 45-49.
- [14] 刘芳, 杨绪连, 陈宇坤, 等. 天津市滨海新区地震地质灾害评价与分区研究[J]. 灾害学, 2010, 26(1): 54-58.
- [15] 林本海, 杨树庄, 朱伯善, 等. 广东省地质构造与岩土工程基本特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(z2): 3337-3346.
- [16] 王光冲, 毛国良, 李小军, 等. 基于强震动观测数据的地震定位分析[J]. 华北地震科学, 2017, 35(3): 8-12.
- [17] 郭雨帆, 宫伟, 罗佳宏, 等. 西北太平洋俯冲带断裂几何学特征[J]. 华北地震科学, 2017, 35(4): 1-10.
- [18] 董宗明, 刘白云. 1927 年古浪 8 级大震区小震重新定位及问题评论[J]. 地震工程学报, 2017, 39(4): 692-697.
- [19] 惠少兴, 严川, 王平, 等. 陕西地区小震震源机制研究 [J]. 地震工程学报, 2018, 40(2): 288-293.