

李翀, 郜怀龙, 何萍, 等. 基于地震灾害风险普查的概率地震危险性分析——以从化区为例[J]. 华南地震, 2023, 43(2): 56–68. [LI Chong, GAO Huailong, HE Ping, et al. Probabilistic Seismic Hazard Analysis Based on Seismic Disaster Risk Survey—a Case Study of Conghua District [J]. South China Journal of Seismology, 2023, 43(2): 56–68]

基于地震灾害风险普查的概率地震 危险性分析——以从化区为例

李 翀, 郜怀龙, 何 萍, 卢帮华, 闻则刚

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 为了厘定概率地震危险性分析方法在地震灾害风险调查与评估工作中的适用性, 针对从化区, 以中国地震动参数区划图(GB18306–2015)提供的信息为依托, 给出其周边的潜在震源区划分、地震活动性参数及地震动衰减关系, 基于地震灾害风险普查资料, 利用概率地震危险性分析(CPSHA)方法对其进行地震危险性分析。确定了对从化区地震动峰值加速度起主要贡献的几个潜在震源区及贡献值, 计算了从化区未来50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率1%的PGA分布, 基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)平台绘制了从化区4种概率下的基岩及地表地震动峰值加速度值分布图。结果表明: 背景源(17)、广州、佛冈、河源、担杆岛、珠海和东莞潜在震源区对计算区内PGA起主要贡献; 区内50年超越概率10%地表地震动分布中间高两边低。

关键词: 概率地震危险性分析; 潜在震源区; 地震动峰值加速度; 从化区

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)02-0056-13

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.02.06

Probabilistic Seismic Hazard Analysis Based on Seismic Disaster Risk Survey—a Case Study of Conghua District

LI Chong, GAO Huailong, HE Ping, LU Banghua, WEN Zegang

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: In order to determine the applicability of probabilistic seismic hazard analysis method in the investigation and assessment of earthquake disaster risk, based on the information provided by the China Ground Motion Parameter Zoning Map (GB18306–2015), the potential source area division, seismicity parameters and ground motion attenuation relationship around the Conghua district are given. Based on the seismic disaster risk census data, the seismic hazard analysis of Conghua District is carried out by using the probabilistic seismic hazard analysis (CPSHA) method. Several potential seismic source areas and their contribution values are determined,

收稿日期: 2022-12-01

基金项目: 国家自然科学基金(U1901602); 中国地震局工程力学研究所(基本科研业务费专项)(18612); 广东省科技计划项目(2019B020208014); 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)创新团队项目(99147-42080024)联合资助。

作者简介: 李翀(1993-), 男, 助理工程师, 主要从事地震监测及地震危险性分析工作。

E-mail: 452692262@qq.com

通信作者: 郜怀龙(1988-), 男, 工程师, 主要从事地震监测工作。

E-mail: 798061889@qq.com

which mainly contribute to the peak ground acceleration in Conghua District. The PGA distributions of 63 %, 10 %, 2 % exceedance probability in the next 50 years and 1 % exceedance probability in the next 100 years in Conghua District are calculated. Based on the GIS platform, the distribution maps of peak ground acceleration of bedrock and surface under four probabilities in Conghua District are drawn. The results show the potential seismic source areas, including background sources(17), Guangzhou, Fogang, Heyuan, Dangan Island, Zhuhai and Dongguan, contribute mainly to the PGA in the calculation area. The distribution of ground motion with 50-year exceedance probability of 10 % is high in the middle and low on both sides

Keywords: Probabilistic seismic hazard analysis; Potential source area; Peak ground acceleration; Conghua District

0 引言

中国是世界上遭受地震灾害最为严重的国家之一,地震频度高、强度大、分布广、震源浅、灾害重是我国的基本国情之一^[1]。因此在地震精确预测还不能实现的情况下,减轻灾害是保障生命安全和减轻经济损失的根本关键所在。概率地震危险性分析方法(PSHA)首先由美国学者Cornell于1968年提出,用某种地震动参数在一段时间内的超越概率作为评价地震危险性的指标^[2]。自1982年章在塘和陈达生将PSHA方法引入我国以来^[3],众多地震工程学家对该方法进行了深入的研究,形成了适用于我国实际情况的概率地震危险性分析方法(CPSHA)。高孟潭^[4-5]提出地震危险性分析方法允许充分考虑地震地质及地球物理等因素,能够得出较客观的地震危险性分析评价,建议采用空间概率分布函数反映地震活动在时空上的不均匀性;时振梁等^[6]依据以地震带为统计单元、按震级档分配年平均发生率、采用震级档为条件概率的空间分布函数及引入方向性函数等原则,绘制了华北地区地震区划图,总结出了适合我国情况的地震区划原则及方法;Chan等^[7]利用1940—2005年的地震目录建立了时间相依的特征震模型,在考虑地震间相互作用和应力改变的基础上,将地震预测相关理论融入地震危险性分析的研究,在花莲地区取得了较好的应用效果。其他学者也根据自身研究需要对概率地震危险性分析方法进行了改进和完善,并广泛应用在地震区划以及地震安全性评价等工作中,并不断得到完善发展,为工程抗震设计提供了基础^[8-13]。

2018年10月,习近平总书记在中央财经委员会第三次会议强调,大力提高我国自然灾害防治能力,要实施灾害风险调查和重点隐患排查工程,掌握风险隐患底数。鉴于此,本文以从化区为例,

依托《中国地震动参数区划图GB18306-2015》确定其潜在震源区划分、地震活动性参数及地震动衰减关系,基于地震灾害风险普查资料,通过对从化区进行网格划分,并对各场地单元独立进行概率地震危险性分析,计算得到了更为详细的4种不同超越概率下的从化区基岩峰值加速度分布。在此基础上进行场地调整,依据分段线性差值方法得到研究区场地地震动峰值加速度,为后续开展地震灾害风险评估及编制地震灾害防治区划图提供参考。

1 CPSHA方法原理

CPSHA方法依据地震危险性概率分析的基本原理,基于复杂的层次潜在震源区模型,对地震活动性模型进行了改进,主要考虑了研究地震活动的时空不均匀性,其满足的3个基本假定为:①地震统计区内地震活动的震级分布满足截断的G-R关系;②地震统计区内地震发生满足泊松分布;③地震统计区内地震活动在同一潜在震源区内满足均匀分布,在不同潜在震源区之间为不均匀分布^[1]。基于以上假设,CPSHA方法计算思路及流程如下:

(1)首先将地震带作为地震统计单元,假定地震带的震级上限为 m_{uz} ,震级下限为 m_0 , 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,根据假定②,则统计区内 t 年内发生 n 次地震的概率为:

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

同时根据假定①,相应的震级概率密度函数为:

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

式(2)中, $\beta = b \ln 10$, b 为震级频度关系的斜率。

一般地，震级 m 分成 N_m 档， 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：

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

(2) 在地震带内部划分潜在震源区，并以潜在震源区的空间分布函数 $f_{i,m}$ 来反应各震级档地震在

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

式(4)中 $A(S_i)$ 为地震带内第 i 个潜在震源区的面积， $P_k(A \geq a)$ 为地震带内第 i 个潜在震源区内发生某一特定地震事件时场点地震动超越 a 的概率， $f(\theta)$ 为破裂方向的概率密度函数。

(4) 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：

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

2 从化区地质概况

2.1 地形地貌特征

从化区位于广东省中部，广州市东北面，处于珠江三角洲到粤北山区过渡地带。地势自北向

南倾斜，东北高，西南低，地形呈阶梯状(如图2所示)。东北部以山地、丘陵为主，中南部以丘陵、谷地为主，西部以丘陵、台地为主。最高点是良口东南端的天堂顶，海拔1210 m，是从化东部与龙门县的分界山；最低点在太平镇的太平村，海拔16.2 m。

(3) 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，影响到场点地震动参数值 A 超越给定值 a 的年超越概率为：

南倾斜，东北高，西南低，地形呈阶梯状(如图2所示)。东北部以山地、丘陵为主，中南部以丘陵、谷地为主，西部以丘陵、台地为主。最高点是良口东南端的天堂顶，海拔1210 m，是从化东部与龙门县的分界山；最低点在太平镇的太平村，海拔16.2 m。

2.2 断裂带分布

图2给出了从化区主要断裂带分布情况。如图2所示，区内发育有4条前第四纪断裂带，分别是近NE走向的广州—从化断裂带(F_1)、近EW走向的佛冈—丰良断裂带(F_2)、清远—安流断裂带(F_3)及银盏—永汉断裂(F_4)。区内历史上未发生过破坏性地震，现今小震也不多。



图1 从化区地形图

Fig.1 Topographic map of Conghua District

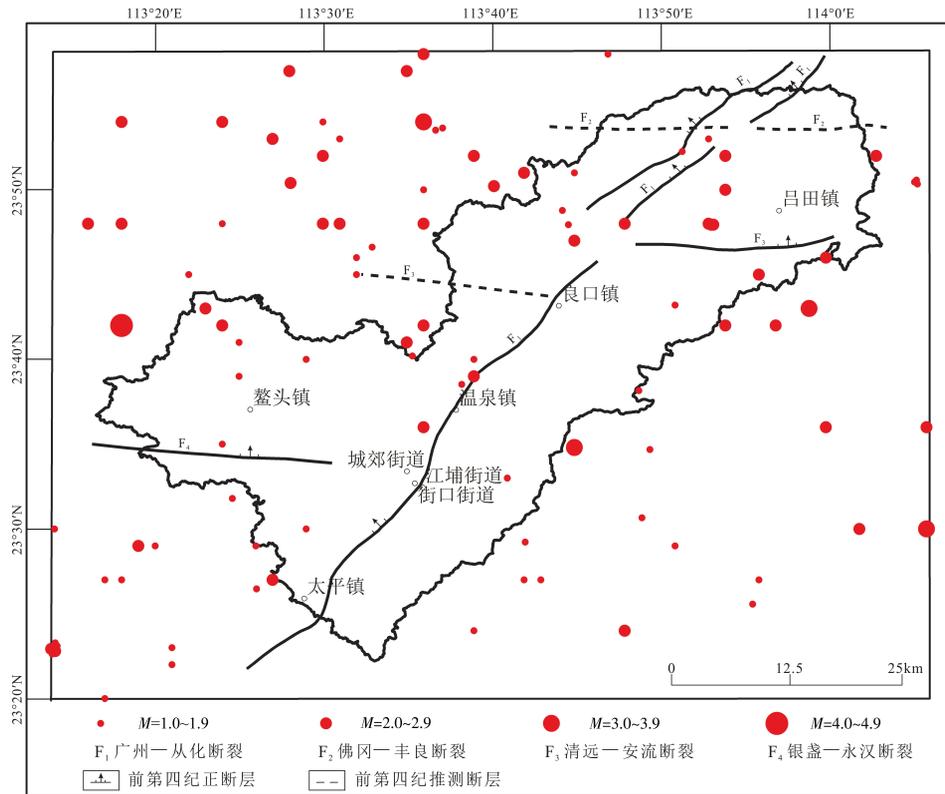


图2 从化区地震构造图

Fig.2 Seismic structure map of Conghua District

3 从化区 CPSHA 分析流程

3.1 地震带及其地震活动性参数确定

地震带一般是指地震集中成带分布, 并受活动构造带或地壳结构变异带控制的地带。依据区域地震活动特征和差异, 结合区域地质构造、地质地球物理等研究结果, 研究区位于华南沿海地震带, 地震统计区活动性参数包括震级上限 m_{uz} 、起算震级 m_0 、震级—累积频度关系中的 b 值、采用“泊松模型”描述地震活动过程所需的地震年平均发生率 v_4 。

3.1.1 震级上限 m_{uz}

地震带的震级上限是指地震带内可能发生的地震震级的上限值, 达到和超过该震级地震的概率趋于 0。华南沿海地震带是我国华南地区地震活动最为强烈的一个地震带, 华南地区所有记录到的 4 次 7 级以上强震均发生于该带(1600 年广东南澳 7 级地震、1604 年福建泉州海外 7.5 级地震、1605 年海南琼山 7.5 级地震、1918 年广东南澳 7.3 级地震), 基于此确定华南沿海地震带震级上限定为 8.0 级。

3.1.2 起算震级 m_0

也称震级下限, 是地震带内需要考虑其地震影响的最小震级, 与震源深度、震源类型、震源应力环境等有关。由于区域范围内绝大多数地震属浅源地震, 4 级地震也会产生一定程度的破坏, 故将起算震级 m_0 定为 4.0 级。

3.1.3 b 值和地震年平均发生率 v_4

b 值是地震统计区震级频度关系的系数, 决定了地震统计区地震震级的概率分布; v_4 是地震统计区 4.0 级以上地震的年发生次数, 即 4.0 级以上地震的年平均发生率。如图 2 所示, 根据华南沿海地震统计区地震活动特征与实际资料状况, 根据华南沿海地震带地震活动特征与实际资料状况, 对 v_4 与 b 值进行拟合和调整, 确定华南沿海地震带 b 值为 0.87, v_4 为 5.6。

3.2 潜在震源区划分及其地震活动性参数确定

潜在震源区的含义一般定义为未来可能发生破坏性地震的地区, 采用历史地震重演及构造类比原则, 依据地质构造、地球物理、地壳形变、断裂活动及地震性活动等资料, 综合分析并划分潜在震源区。潜在震源区地震活动性参数包括: 震级上限 m_{uz} 、分震级档的空间分布函数 f_{i,m_j} 和各潜在震源区

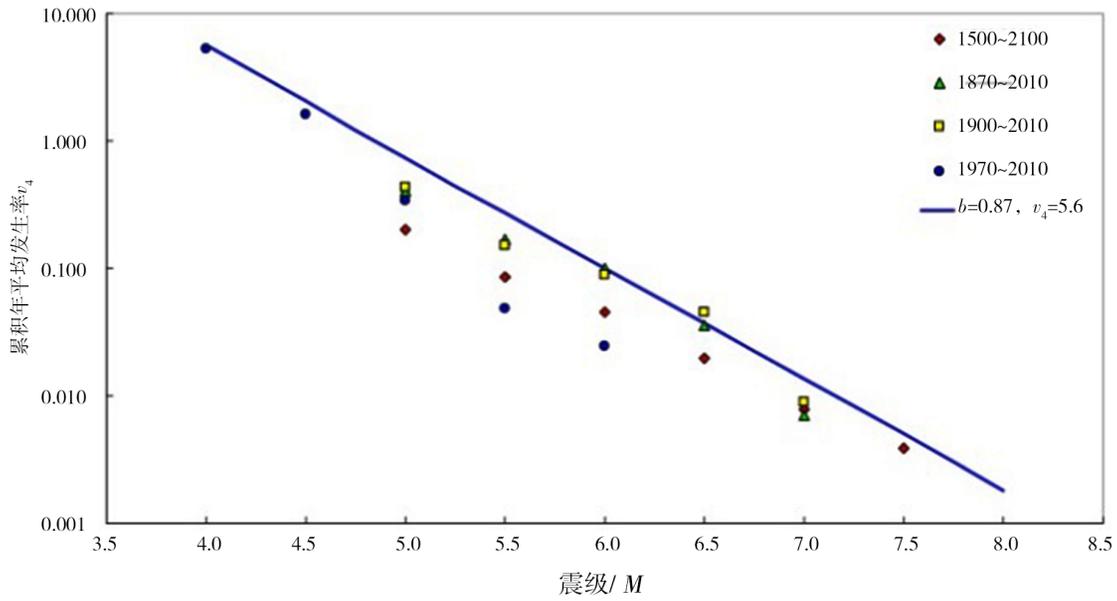


图3 地震带拟合曲线

Fig.3 Fitting curve of seismic zone

等震线椭圆长轴走向方向性函数 $f(\theta)$ 。震级上限在划分潜在震源区时，依据潜在震源区本身的地震活动性及地震构造特征已经确定。

3.2.1 潜在震源区划分

区域范围共划分出主要潜在震源区37个，位

于华南地震带，其中7.5级潜在震源区1个，7.0级潜在震源区3个，6.5级潜在震源区6个，6.0级潜在震源区6个，5.5级的潜在震源区21个(详见图4)。对研究区影响较大的7个潜在震源区描述如下。

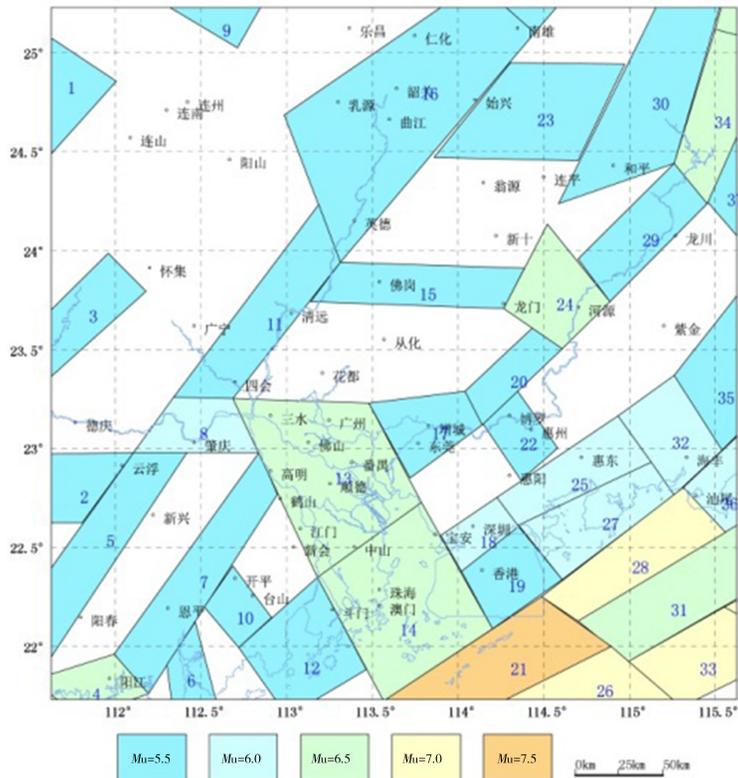


图4 区域潜在震源区划分

Fig.4 Potential source area division of the region

(1)广州潜在震源区(13号)。本区呈梯形展布,东部为广州凹陷,西部为三水盆地,南部有中山凹陷和顺德凹陷。本区历史上曾发生多次中强地震,盆地现今小地震较少。考虑到北西向的西江断裂、白坭—沙湾断裂、狮子洋断裂均定为6.5级上限的发震构造,且区域性北东向断裂与北西向断裂在该区交汇,因此将该潜在震源区的震级上限判断为6.5级。

(2)佛冈潜在震源区(15号)。位于佛冈、龙门一带,东两向梯形展布。区内主要控震构造为东西向的佛冈—丰良断裂和清远—安流断裂,二者都属切割较深的基底断裂。沿断裂大量温泉和小震活动,在佛冈、龙门地区较密集,确定本区震级上限为5.5级。

(3)清远潜在震源区(11号)。位于清远、四会等地,区内发育有中生代百嘉盆地,沉积了近3000 m厚的白垩系至第三系的红色碎屑岩,第四系厚达20~30 m。区内有近东西向断裂清远—安流断裂、北东向吴川大断裂及北西向的磨刀门—四会断裂通过。历史上发生近170次小地震,形成震群,本区在震源级上限定为5.5级。

(4)河源潜在震源区(24号)。位于河源市附近,为地球物理场变异地段以及地壳形变幅值剧变部位。区内有新生代继承性活动的河源盆地,喜山期玄武岩发育,并有多组北东向、北西向和近东西向活动断裂,其中以河源—邵武断裂规模最大,是中强地震的控震构造。历史上发生多次破坏性地震,最著名的是1962年6.1级河源地震,其后小震频繁。考虑水库地震特征及发震时间问题等,本潜源区震级上限定为6.5级。

(5)担杆岛潜在震源区(21号)。位于担杆列岛以南海域,呈北东向长方形展布。岛东面为北西向的大鹏湾断裂,西面为北西向的西江断裂,北东向的滨海断裂横贯全区,该断裂也是第四纪活动断裂。小震活动较为频繁,本区又是滨海断裂带上7级地震等震距分布的空档地段,同时还存在一个周围5~6.75级地震包围的围空现象,本潜源区震级上限为7.5级。

(6)珠海潜在震源区(14号)。位于珠江口和五桂山以南地区,包括中山、珠海、澳门等地。区域性的北西向狮子洋断裂、西江断裂分别位于本区东、西两个边界的内侧,北以五桂山北麓断裂为界,南与担杆岛潜在震源相邻,北西向的白坭—沙湾断裂也延入本区,上述三条北西向断裂

在晚更新世有活动,且与区域性北东向断裂在本区交汇。本区曾发生过多次小震。因此,其震级上限与珠江口盆地北部的广州潜在震源区一致,定为6.5级。

(7)东莞潜在震源区(17号)。位于东莞市附近。区内发育有珠江三角洲三大盆地之一的东莞盆地,该盆地是一个中、新生代断陷盆地,仅晚更新世以来,就接受了厚约40 m的沉积。区内断裂比较发育,北面主要有近东西向瘦狗岭—罗浮山断裂,南面有北东向紫金—博罗断裂,西面有北西向狮子洋断裂。这些断裂均为第四纪活动断裂,该区历史上没有破坏性地震记载,近年来小震活动也不多。震级上限为5.5级。

3.2.2 空间分布函数 f_{i,m_j}

在地震带内,须把地震带各震级档地震的年平均发生率分配给各相应的潜在震源区。这里采用空间分布函数,根据各潜在震源区发生不同震级档地震可能性的大小,对统计区各震级档的地震年平均发生率进行不等权分配。

空间分布函数 f_{i,m_j} 指的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。在同一地震带内其满足归一条件:

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

式(6)中, n 为地震带内第 m_j 档潜在震源区的总数。依据地震活动特征、区划图发生率、地震构造条件、地震活动度、网格活动性、大震发生率、中长期危险性、离逝时间等因子确定本区 m_j 从4.0到8.0共分成7个震级档。

3.2.3 等震线椭圆长轴走向及方向性函数 $f(\theta)$

等震线长轴取向决定于地震震源的破裂方式,其方向性函数与相应潜在震源区的构造走向有关,可表示为:

$$f(\theta) = P_1 \delta(\theta_1) + P_2 \delta(\theta_2) \quad (7)$$

式(7)中 θ_1 和 θ_2 为潜在震源区内可能的主破裂面走向与正东方向的夹角; P_1 和 P_2 为相应的取向概率。研究区主要潜在震源区椭圆长轴走向及方向性函数见表1。

3.3 地震动衰减关系

建立地震动预测方程是地震危险性分析中的重要环节。我国绝大部分地区缺乏足够的强震记录,无法直接采用统计回归的方法建立本区地震动预测方程,一般采用胡聿贤等^[14]提出的转换方

法,即根据场地所在地区的地震烈度衰减关系、参考地区的基岩峰值加速度和反应谱衰减关系、参考地区的地震烈度衰减关系,转换得到适用于所在场地所在地区的地震动参数衰减关系。本文采用了《地震危险性图编制技术规范 FXPC/DZ P01》中的东部活跃区地震动参数衰减关系,其较充分地考虑大震近场饱和特征,并采用了分段线形模型,衰减关系平均值数学形式为:

$$\text{当 } M < 6.5 \text{ 时, } \lg Y(M, R) = A_1 + B_1 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (8)$$

$$\text{当 } M > 6.5 \text{ 时, } \lg Y(M, R) = A_2 + B_2 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (9)$$

式(8)、(9)中 $Y(M, R)$ 代表加速度峰值或反应谱值, M 为面波震级, R 为震中距, A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 、 E 为模型系数。本研究区水平基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数见表2。

表1 潜在震源区空间分布函数
Table 1 Spatial distribution function of potential source area

潜源区名称	破裂		潜在震源区空间分布函数(M)						
	方向	概率	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
背景源(17)	0°/90°	0.5/0.5	0.021 96	0	0	0	0	0	0
广州	120°	1	0.004 43	0.003 82	0.009 79	0.022 74	0	0	0
佛冈	0°	1	0.002 29	0.001 87	0	0	0	0	0
河源	45°	1	0.003 43	0.003 43	0.003 62	0.019 57	0	0	0
担杆岛	20°	1	0.004 05	0.009 08	0.020 16	0.017 93	0.031 67	0.126 57	0
珠海	120°	1	0.004 47	0.003 82	0.009 58	0.022 27	0	0	0
东莞	35°	1	0.002 21	0.004 95	0	0	0	0	0

表2 从化地区水平基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数
Table 2 Attenuation relationship coefficients between peak acceleration and response spectrum of horizontal bedrock in Conghua area

周期/s	方向	A_1	A_2	B_1	B_2	C	D	E	σ
PGA	长轴	2.024	0.673	3.565	0.435	2.329	2.088	0.399	0.245
	短轴	1.204	0.664	2.789	0.42	2.016	0.944	0.447	0.245
0.20	长轴	2.558	0.643	3.68	0.47	2.309	2.088	0.399	0.261
	短轴	1.779	0.628	2.918	0.454	1.999	0.944	0.447	0.261
1.00	长轴	0.226	0.895	2.409	0.559	2.157	2.088	0.399	0.3
	短轴	-0.599	0.895	1.644	0.55	1.873	0.944	0.447	0.3
2.00	长轴	-0.666	0.936	1.247	0.641	2.047	2.088	0.399	0.342
	短轴	-1.449	0.934	0.516	0.632	1.779	0.944	0.447	0.342
6.00	长轴	-1.432	0.859	-1.432	0.859	1.857	2.088	0.399	0.333
	短轴	-2.041	0.841	-2.041	0.841	1.617	0.944	0.447	0.333

3.4 计算

通过对地震动衰减关系进行不确定性校正,得到对从化区水平向基岩地震动峰值加速度起主要贡献的几个潜在震源区及贡献值。如图5所示,可以看出,在50年超越概率63%的风险水平下,贡献最大的潜在震源区为:背景源(17)、广州、

佛冈及河源潜在震源区;在50年超越概率10%的风险水平下,贡献最大的潜在震源区为:背景源(17)、广州及佛冈潜在震源区;在50年超越概率2%和100年超越概率1%的风险水平下,贡献最大的潜在震源区为:广州潜在震源区。

为了能够全面反映从化区基岩水平地震动峰值加速度情况,将从化区按6秒经纬度间隔划分成

若干彼此相邻的场地单元，取场地单元中心点为控制点。根据前文所确定的潜在震源区、地震活动性参数及地震动衰减关系，利用概率地震危险性分析的方法，按照《地震危险性图编制规范》(FXPC/DZ P-01)的要求，对区内各场地单元进行

地震危险性分析计算。得到了各场地单元的基岩水平加速度峰值超越概率曲线以及未来50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率1%水平向基岩地震动峰值加速度，限于篇幅，只选取1处场地单元作为示例，如表3所示。

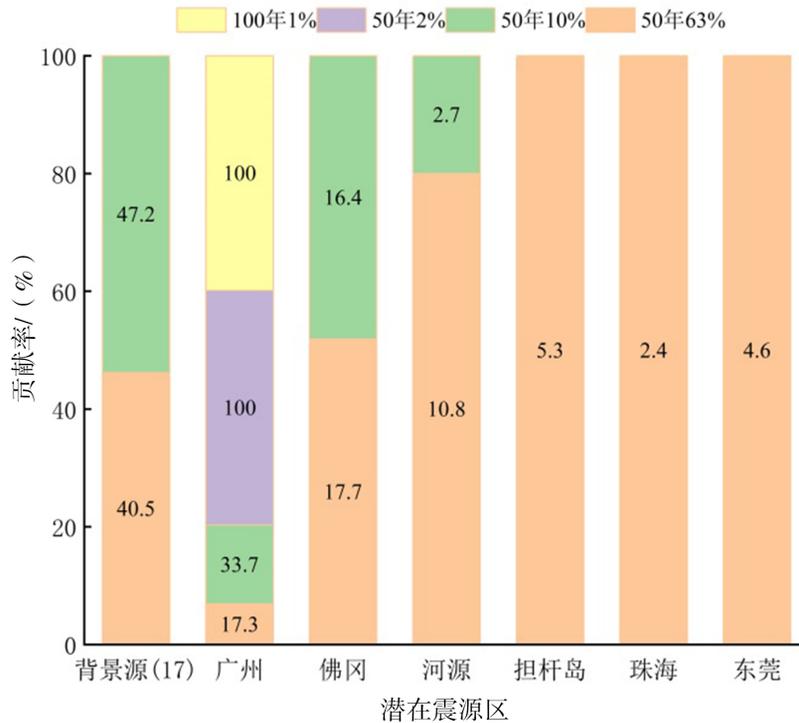


图5 地震危险性贡献

Fig.5 Seismic hazard contribution

表3 代表场地单元水平向基岩地震动峰值加速度

Table 3 Peak ground acceleration of horizontal bedrock of site unit

周期/s	不同概率水平向基岩地震动峰值加速度/(cm·s ⁻²)			
	50年63%	50年10%	50年2%	100年1%
PGA	10.213	31.491	55.818	81.148
0.200	27.875	86.549	154.082	225.506
1.000	6.111	21.906	42.994	67.710
2.000	2.431	9.879	20.316	32.731
6.000	0.340	1.309	2.994	5.163

图6给出了代表场地单元4个不同概率水准的地震危险性计算结果，可以看出，地震危险性计算结果随着概率水准的降低越来越大。图7给出了代表场地单元水平向基岩地震动峰值加速度1年、50年及100年的超越概率曲线。

《中国地震动参数区划图GB18306-2015》用四个超越概率水平对四级地震的作用作出了明确规定，即：50年超越概率63%的多遇地震动；50年超越概率10%的基本地震动；50年超越概率2%的罕遇地震动；100年超越概率1%的极罕遇地震动。

选取部分场地单元50年超越概率10%基岩地震动峰值加速度分析(表4), 计算出各单元相对应的Ⅱ类场地的地震动加速度峰值, 并与五代图结果进

行对比(表5), 结果表明, 本文计算结果基本与五代图结果一致。

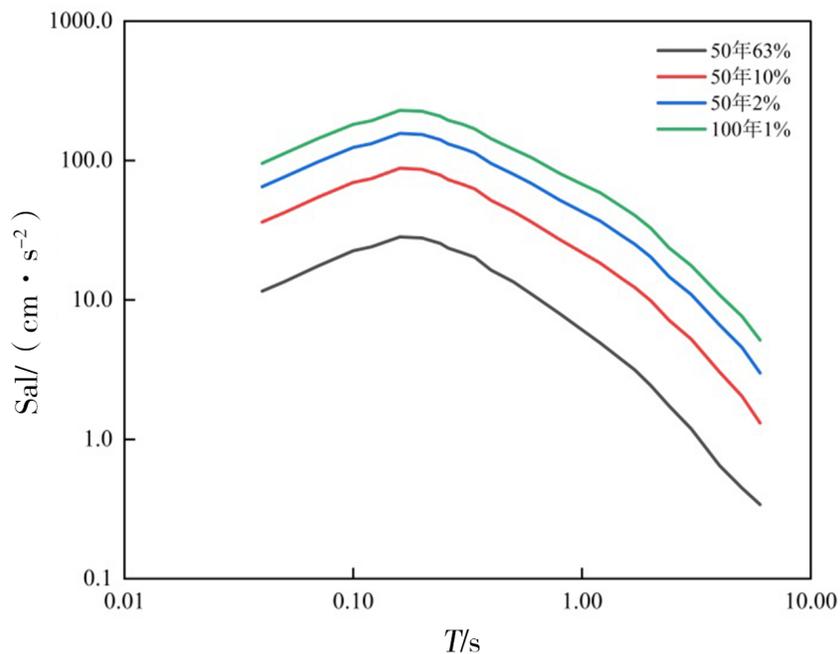


图6 不同概率的水平向基岩地震动峰值加速度反应谱

Fig.6 Response spectrum of ground peak acceleration of horizontal bedrock with different probabilities

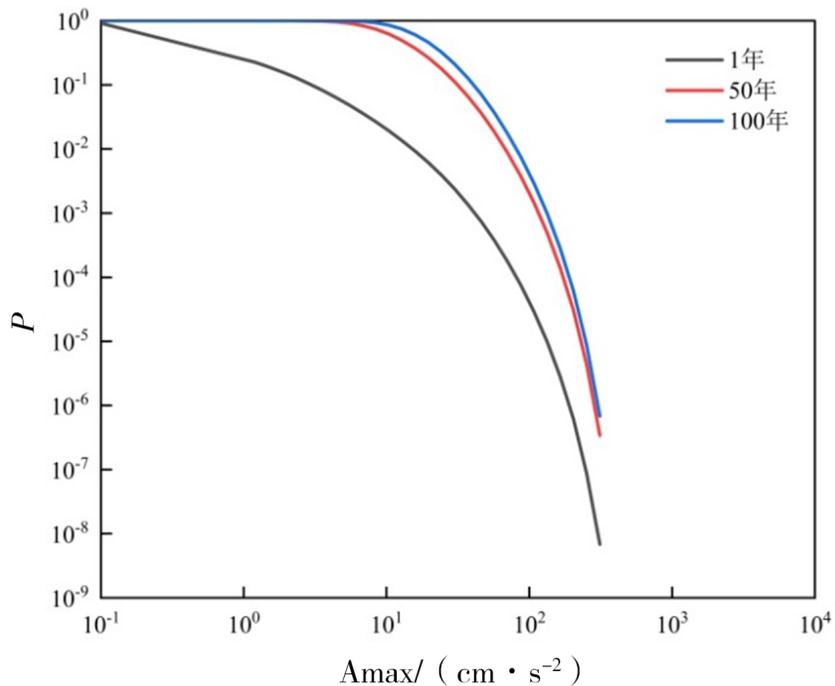


图7 超越概率曲线

Fig.7 Exceedance probability curve

表4 部分场地50年超越概率10%基岩地震动峰值加速度
Table 4 The peak ground acceleration of bedrock with 50-year exceedance probability of 10% in some site units

场地单元序号	基岩地震动峰值加速度/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$)
1	32.385
2	32.214
3	33.824
4	33.027
5	34.052
6	31.844
7	31.582
8	31.491
9	33.963
10	35.844
11	35.680
12	32.401
13	37.197
14	32.849
15	37.828
16	39.541
17	39.158
18	39.821
19	40.688
20	42.228
21	43.018
22	42.163
23	44.773

表5 部分场地计算结果与五代图结果对比
Table 5 The comparison between calculation results of some site units with the results of the fifth generation map

场地单元序号	计算结果/g	五代图结果/g
1	0.05	0.05
2	0.05	0.05
3	0.05	0.05
4	0.05	0.05
5	0.05	0.05
6	0.05	0.05
7	0.05	0.05
8	0.05	0.05
9	0.05	0.05
10	0.05	0.05
11	0.05	0.05
12	0.05	0.05
13	0.05	0.05
14	0.05	0.05
15	0.05	0.05
16	0.05	0.05
17	0.05	0.05
18	0.05	0.05
19	0.05	0.05
20	0.05	0.05
21	0.05	0.05
22	0.10	0.05
23	0.10	0.05

根据各场地单元地震危险性计算结果,得到了从化区50年超越概率63%、10%、2%及100年超越概率1%基岩场地地震动峰值加速度值分布图;按照各控制点场地类别及《中国地震动参数区划图GB18306-2015》场地调整方案进行场地地震动峰值加速度调整,得到了从化区50年超越概率63%、10%、2%及100年超越概率1%地表地震动峰值加速度值分布图。限于篇幅,选取50年超越概率10%及100年超越概率1%计算结果进行展示

(见图8~10)。

4 结论

本文在给出从化区周边的潜在震源区划分、地震活动性参数及地震动衰减关系的基础上,以6秒经纬度网格将从化区剖分为若干场地单元,利用概率地震危险性分析(CPSHA)方法,对各场地单元进行地震危险性分析,得到以下结论。

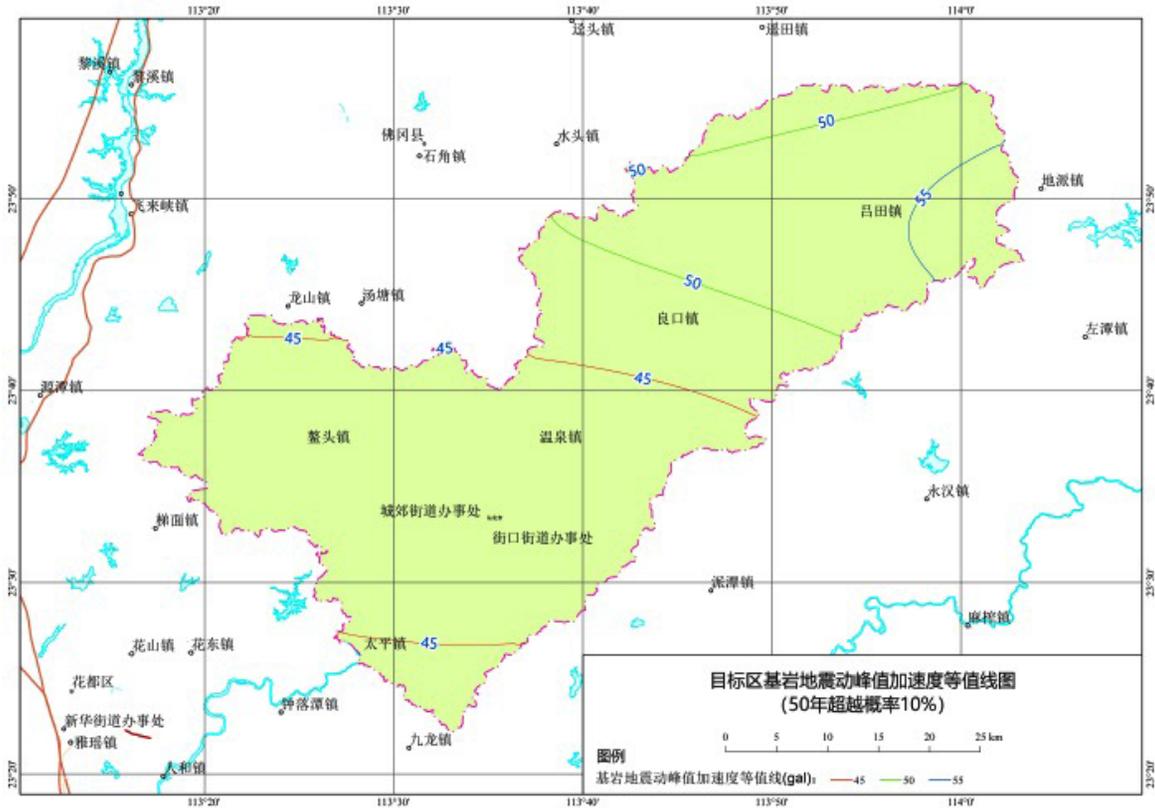


图8 50年超越概率10%基岩地震动峰值加速度值分布图

Fig.8 Distribution map of peak ground acceleration of bedrock with 50-year exceeding probability of 10%

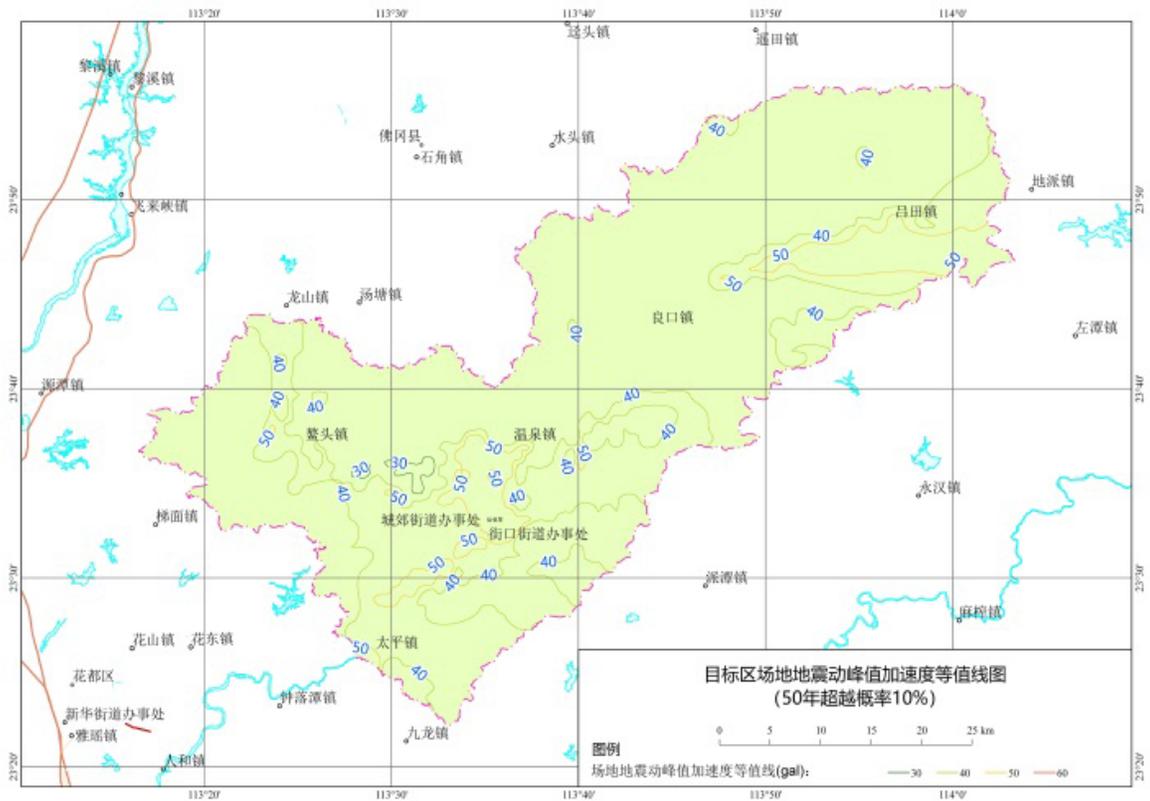


图9 50年超越概率10%地表地震动峰值加速度值分布图

Fig.9 Distribution map of peak ground acceleration of surface with 50-year exceeding probability of 10%

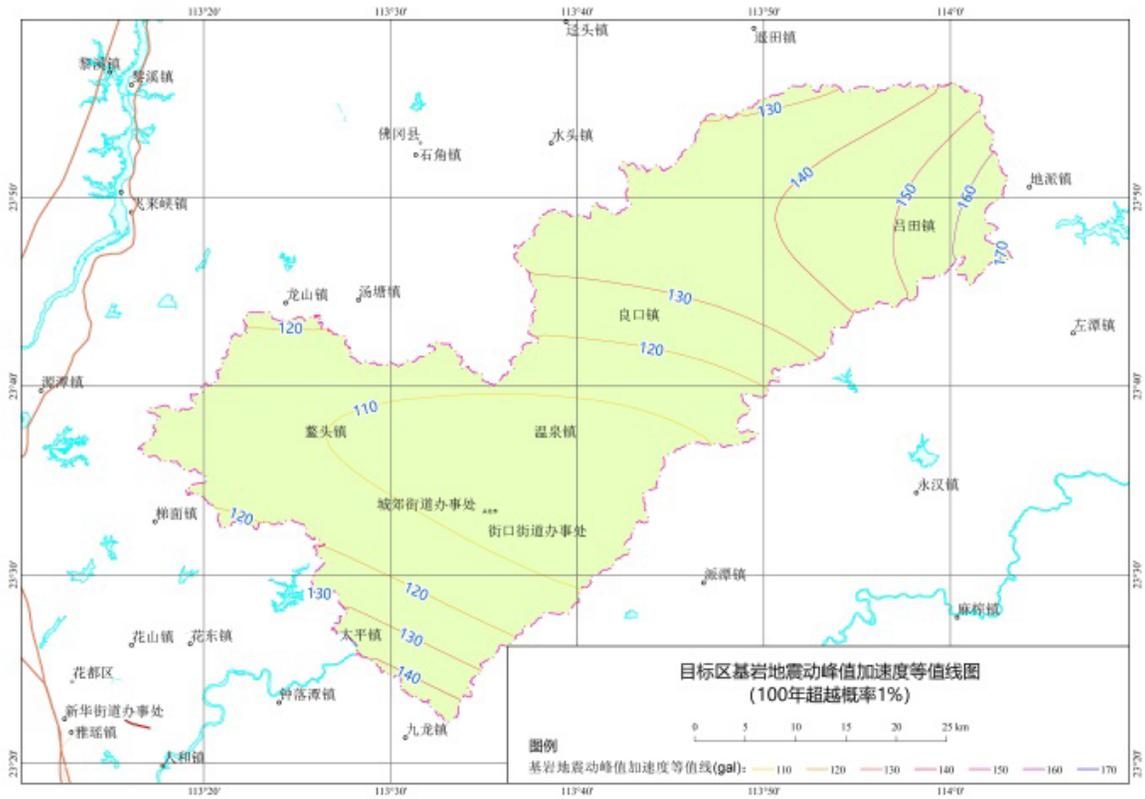


图10 100年超越概率1%基岩地震动峰值加速度值分布图

Fig.10 Distribution map of peak ground acceleration of bedrock with 100-year exceeding probability of 1%

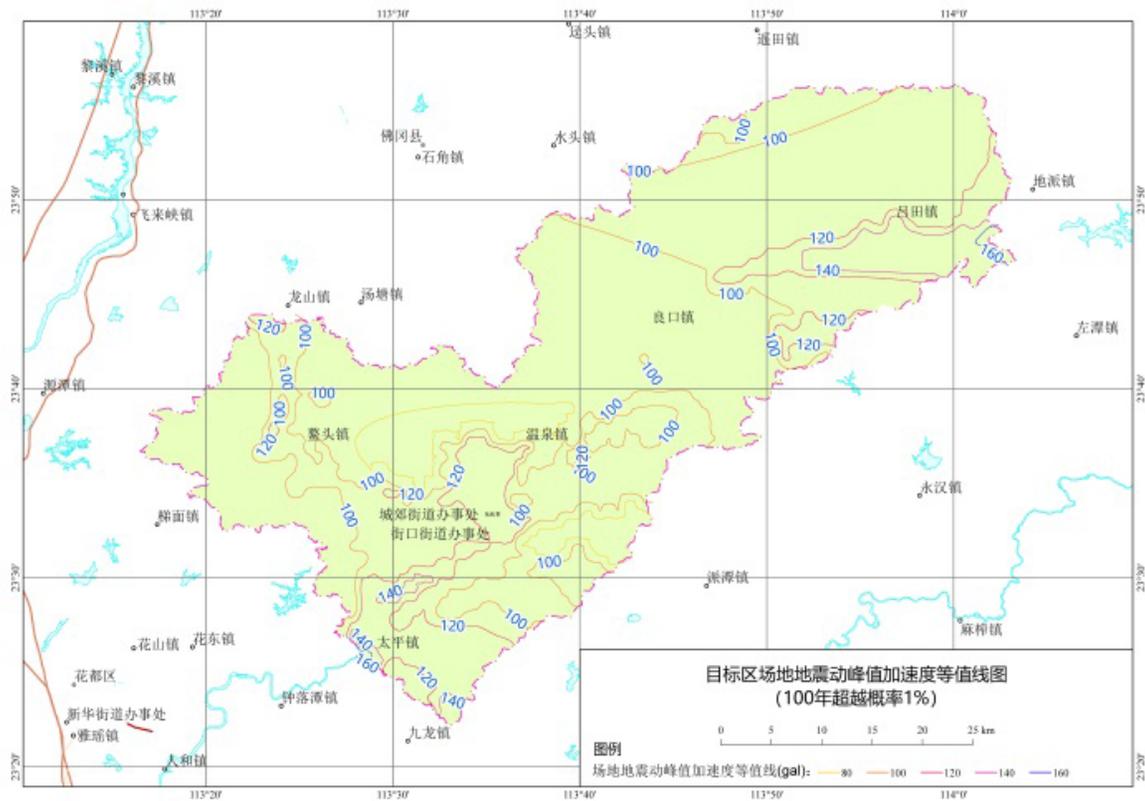


图11 100年超越概率1%地表地震动峰值加速度值分布图

Fig.11 Distribution map of peak ground acceleration of surface with 100-year exceeding probability of 1%

(1)对从化区地震动峰值加速度起主要贡献的潜在震源区是背景源(17)、广州、佛冈、河源、担杆岛、珠海和东莞潜在震源区,并计算了各潜在震源区在不同超越概率下的贡献值。

(2)从化区代表场地单元50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率1%基岩水平地震动峰值加速度分别为 $10.213 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 、 $31.491 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 、 $55.818 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 及 $81.148 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

(3)利用绘图软件,通过插值分析及场地调整,得到了从化区未来50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率1%的基岩及地表地震动峰值加速度分布图。

随着粤港澳大湾区的建设,广东省城市规模建设进一步扩大,城市经济活动和工程强度日愈增强,遭遇地震灾害,必然放大地震及此生灾害的破坏效应。利用概率地震危险性分析方法,结合地理信息系统技术对区域地震危险性进行计算和可视化展示,研究成果可为区域抗震设防决策提供科学依据,基于地震灾害风险普查的地震危险性分析对于提高广东省地震灾害风险评估及编制地震灾害防治区划图具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 高孟潭. 中国地震动参数区划图(GB18306-2015)宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [2] Cornell C A. Engineering seismic risk analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1968, 58 (S1): 183-188.
- [3] 章在塘, 陈达生. 二滩水电站坝区场地地震危险性分析[J]. 地震工程与工程振动, 1982, 2(3): 1-15.
- [4] 高孟潭. 地震危险性分析方法概述[J]. 国际地震动态, 1986(11): 10-13.
- [5] 高孟潭. 关于地震年平均发生率问题的探讨[J]. 国际地震动态, 1988(01): 1-5.
- [6] 时振梁, 鄢家全. 地震区划原则和方法的研究: 以华北地区为例[J]. 地震学报, 1991 (2): 179-189.
- [7] Chan C H, Wu Y M, Cheng C T, et al. Time-dependent probabilistic seismic hazard assessment and its application to Hualien City[J]. Natural Hazard & Earth System Sciences, 2013 (5): 1143-1158.
- [8] 马永, 毕金孟, 宋程, 等. 利用混合概率预测模型分析华北地区地震活动特征[J]. 地震研究, 2021, 44(4): 572-582.
- [9] 吕大刚, 刘亭亭, 李思雨, 等. 概率地震危险性分析、分解与设定地震及其在西安地区的应用[J]. 地震工程与工程振动, 2018, 38(05): 12-21.
- [10] 纪春玲, 董博. 山东某场地概率地震危险性分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2017, 38(04): 53-64.
- [11] 尹超, 刘菲菲, 张敬磊. 西安—宝鸡高速公路地震危险性评价[J]. 地震工程与工程振动, 2017, 37(02): 181-188.
- [12] 苏立彬, 郭永刚, 吴悦, 等. 基于GIS的西藏地区活动构造分布特征及地震灾害危险性分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(3): 1256-1262.
- [13] 贺素歌, 周青云, 刘自凤. 2021年云南漾濞 $M_w 6.4$ 地震发震断裂及震中周边地区地震危险性评估[J]. 地震研究, 2021, 44(3): 380-390.
- [14] 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[J]. 地震工程与工程振动, 1984, 4(1): 1-11.