

沿海场点地震海啸危险性概率分析

宋昱莹 温瑞智 任叶飞 杨智博

(中国地震局 工程力学研究所, 中国地震局 地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 地震危险性分析工作在我国已趋于成熟, 而海啸危险性分析则刚刚起步。论文从介绍海啸危险性分析的基本原理和步骤出发, 基于数值模拟技术, 针对我国南部沿海的大鹏湾附近场点开展地震海啸危险性概率分析, 给出了超越概率曲线, 为实现我国沿海地区地震海啸危险性区划图具有一定参考意义。

关键词: 地震海啸; 危险性概率分析

中图分类号: P315; P731. 25

文献标志码: A

Probabilistic tsunami hazard analysis of Chinese coastal site

SONG Yuying, WEN Ruizhi, REN Yefei, YANG Zhibo

(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

Abstract: With the development of probabilistic seismic hazard analysis (PSHA), tsunami hazard analysis method has gradually practiced and turned to probabilistic tsunami hazard analysis (PTHA). Especially for the areas lack of the historical tsunami data, the numerical simulation method is the best effective way to evaluate the tsunami hazard. In this paper, we accomplish the work of PTHA on a giant infrastructure site, which can provide technical supports for constructing China tsunami zonation map.

Key words: Seismic Tsunami; PTHA

引言

近几十年随着地震危险性分析方法的成熟, 海啸危险性评价工作也开始逐渐转为基于概率方法的危险性分析(Probabilistic tsunami hazard analysis, PTHA), 该方法继承了现有成熟的地震危险性分析方法(Probabilistic seismic hazard analysis, PSHA)^[1], 考虑了地震海啸发生的时间不确定性, 并最终计算出某一给定近海沿岸场点未来若干年内指定海啸波高值的超越概率^[2]。

Kurkin(2004) 整理俄罗斯勘察加半岛的历史地震海啸记录, 计算出地震海啸重现期为 100 年^[3]。Houston(1977) 结合地震发生模型与概率分析方法, 评价美国西海岸夏威夷群岛地震海啸危险性^[4]。2007 年刘迎春等运用基于数值模拟的概率分析方法评价了中国南海沿岸地区的海啸危险性^[5]。我国有四千多年的文字记载历史, 但与地质历史相比还是太短暂, 而且我国有关古海啸沉积的研究还处于初级阶段, 因此历史地震海啸与古地震海啸沉积不能为地震海啸危险性概率分析提供可靠的数据, 可以运用地震海啸数值模拟分析方法来评价我国沿海重大工程场址地震海啸危险性。本文分析了我国近海的海啸潜源, 对我国南部沿

收稿日期: 2014 - 05 - 06; 修订日期: 2014 - 06 - 26

基金项目: 国家自然科学基金(51278473); 环保部公益性行业科研专项(201209040); 东北亚地震海啸和火山合作研究计划项目(ZRH2014-11)

作者简介: 宋昱莹(1989 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为工程地震。E-mail: soyoyo0501@gmail.com

海的大鹏湾附近场点进行地震海啸危险性概率分析 给出了该场点的地震海啸危险性超越概率曲线。

1 地震海啸危险性概率分析方法步骤

地震危险性分析方法主要思路是基于 Cornell 在 1968 年提出的方法^{[6][7]}。地震危险性分析分为以下几步:(1) 划分地震带及潜在震源区;(2) 统计相关地震参数;(3) 产生地震随机样本,计算地震波衰减;(4) 计算地震动年超越概率。地震海啸危险性分析的思路:(1) 划分潜在地震海啸源区;(2) 统计相关地震参数;(3) 数值模拟地震海啸随机样本并计算沿岸波高,或统计历史地震海啸波高记录;(4) 计算地震海啸波高年累积频率和超越概率,见下图 PSHA 与 PTHA 的对比^[8]:

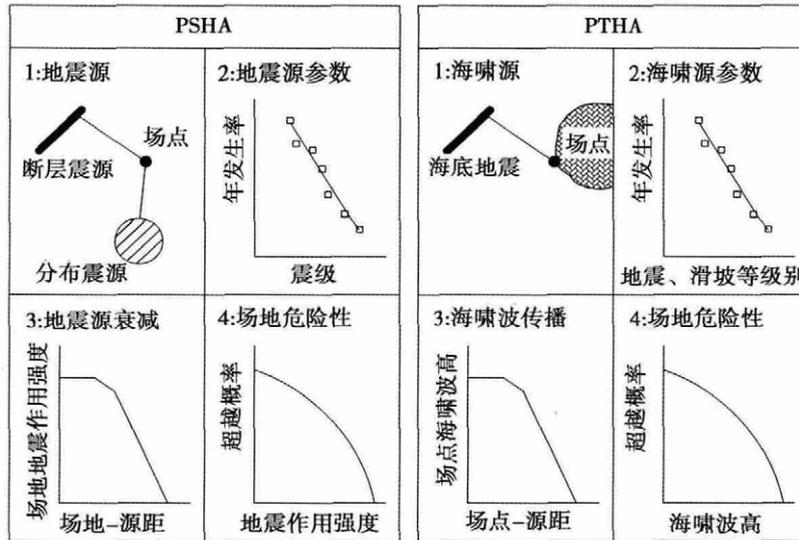


图1 地震危险性分析与地震海啸危险性概率分析对比

Fig. 1 The difference between PSHA and PTHA

在 PTHA 中,设有 N 个潜在地震海啸源区对沿岸场点的海啸危险性有贡献,其中第 n 个潜在地震海啸源区影响近海沿岸场点 h 海啸波高 T 年超越概率为 $P_n(H \geq h)$,则场点 h 海啸波高 T 年总的超越概率表示为^[1]:

$$P(H \geq h) = 1 - \prod_n (1 - P_n(H \geq h)) \tag{1}$$

在地震海啸危险性概率分析中,最关键的是确定第 n 个潜在地震海啸源区对场点的地震海啸危险性。地震海啸危险性评价方法主要有以下两种:一是基于历史地震海啸记录;二是基于地震海啸数值模拟。当某一近海沿岸场点历史地震海啸记录特别充足时,可以直接计算出指定海啸浪高的超越概率;反之如果历史地震海啸观测记录不够充足,可以采用数值模拟的分析方法来进行场点的地震海啸危险性评价工作。我国有四千多年的文字记载历史,但与地质历史相比还是太短暂,而且我国有关古海啸沉积的研究还处于初级阶段,因此历史地震海啸与古地震海啸沉积不能为地震海啸危险性概率分析提供可靠的数据,可以运用地震海啸数值模拟分析方法来评价我国沿海重大工程场址地震海啸危险性。

在地震海啸数值模拟中经常用到基于浅水长波方程的海啸模型、基于 Boussinesq 方程的模型和完全非线性势流理论等,并通过有限差分等数值计算方法实现海啸数值模拟研究。常用的软件有 MOST、COMCOT、TUNAMI、FUNWAVE、CULWAVE 等。本文采用的 COMCOT 模型是康奈尔大学研制的一个多重网格耦合海啸数值模拟软件,可以模拟海啸从产生、深海传播到近岸爬高淹没的全过程。

2 我国沿海场点地震海啸危险性分析

我国沿海海区大陆架周边分布着一系列的岛屿,这是一道抵御越洋海啸的天然屏障。但我国东海和南

海有发生局部地震海啸的可能性。在东海海域,太平洋板块与欧亚板块交汇处的日本琉球海沟是地震海啸爆发的危险区域;而在南海海域,菲律宾板块与欧亚板块交汇处的马尼拉海沟也是地震海啸爆发的危险区域。这两个地区发生大型倾滑型地震并引发海啸的可能性很大。此外,我国近海还散布着一些地震断层,这些地区一旦发生地震,对附近沿海地区造成地震海啸灾害的可能性也很大。由上可知我国沿海的地震海啸危险主要来自于琉球海沟、马尼拉海沟和我国近海的地震断层。

本文对大鹏湾附近场点进行地震海啸危险性概率分析。根据中国地震局地质研究所、中国地震局地球物理研究所、中国地震局地震预测研究所于2011年发表的《琉球海沟、马尼拉海沟地震构造背景及震源参数评估报告》潜在近海及局部地震海啸源区的划分如图2;大鹏湾选取场点如图3。由于近场断层产生的地震海啸规模较小,对除本地外的区域基本无影响;且琉球海沟地震引发的海啸波在传播到大鹏湾的过程中受到台湾岛的阻碍。所以对于该场点,只需考虑马尼拉海沟、珠-坳中部断裂及担杆列岛海外段断裂的地震海啸危险性。以上三个海啸潜在源区地震活动性参数如表1。

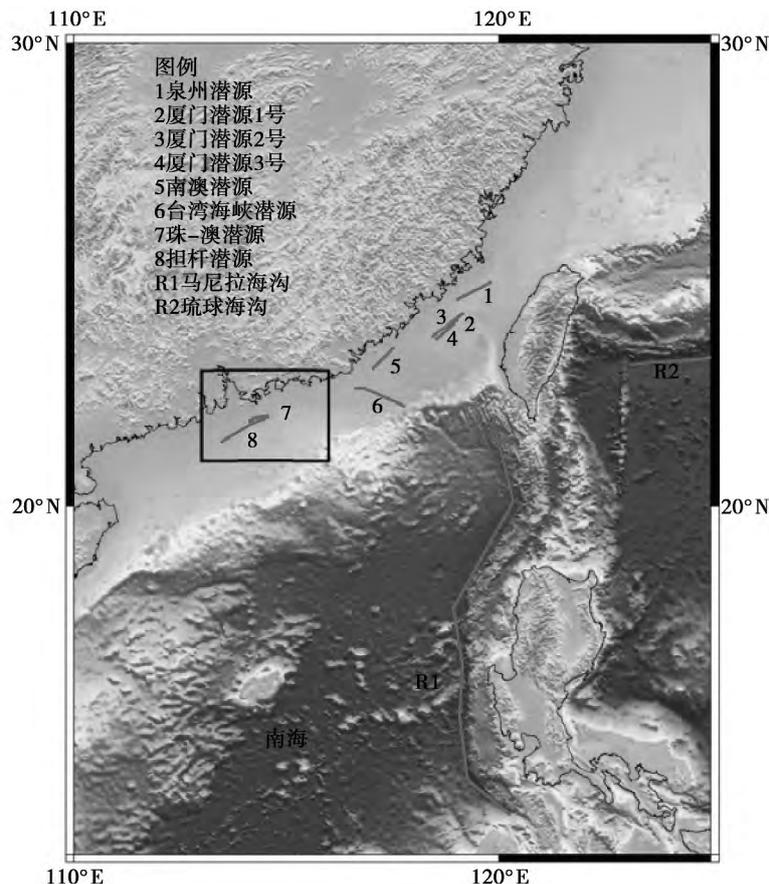


图2 我国潜在近海及局部地震海啸源区的划分(方框区域的放大图见图3)

Fig. 2 Potential local and regional tsunami-generated sources for the south China coast

马尼拉震级上限 M_{uz} 见表1;取7.0级作为起算震级 M_0 ;震级频度关系式中的 b 值见表1^[4]。担杆列岛海外段、珠-坳中部断裂震级上限 M_{uz} 见表1;取7.0级作为起算震级 M_0 ;区域性震级频度关系为 $\log N = 2.81 - 0.73M$, 则 b 值取0.73^[9]。

通过数值模拟与计算,得到了大鹏湾场点各波高值的超越概率,绘制曲线如图4所示。场点2.0米的海啸波高100年超越概率为16.19%,重现期为566年,这一结果与刘迎春2007年给出的香港及澳门场点未来100年内2.0米海啸波高超越概率10%较吻合。

在数值模拟的过程中,我们发现在所有近海及局部潜在海啸源区产生的危险性中,马尼拉海沟的危险性起了主导作用。这是由于近海断层的震级上限仅为7.5,且近海水深浅,因此产生的海啸能量较小,造成的影响也较小。

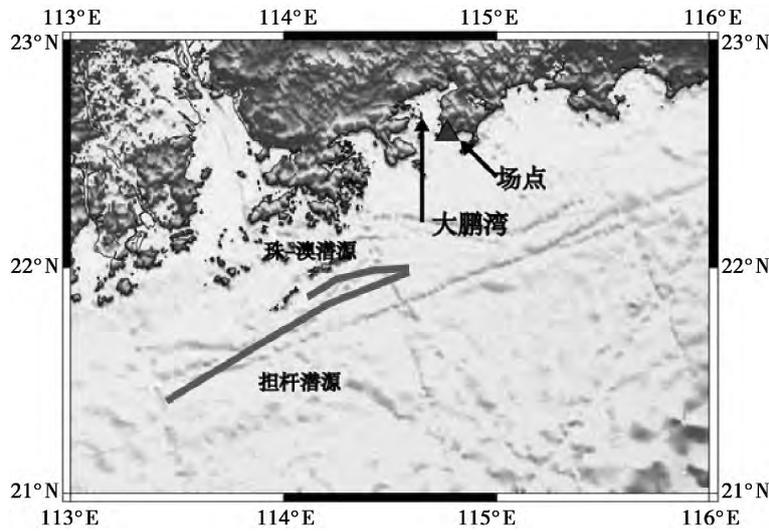


图3 地震海啸危险性分析场点选取

Fig.3 Geographical locations of PTHA evaluated site

表1 潜在地震海啸源区地震活动性参数

Table 1 Seismic parameters of three potential tsunami sources for the PTHA evaluated site in this study

地震海啸源	长度(km)	宽度(km)	深度(km)	方向角(°)	倾角(°)	滑移角(°)	震级上限(M_{uz})	b值
马尼拉海沟	210	82	20	350	14	110	8.2	0.89
	310	109	20	29	20	110	8.6	0.98
	135	66	20	3	20	90	7.9	0.98
	140	66	20	351	20	90	7.9	0.98
	166	71	20	353	30	50	8	0.98
	142	66	20	308	30	50	7.9	0.98
珠-坳中部断裂	52	50	20	74	60	90	7.5	0.73
担杆列岛海外段	135	50	20	63	60	90	7.5	0.73

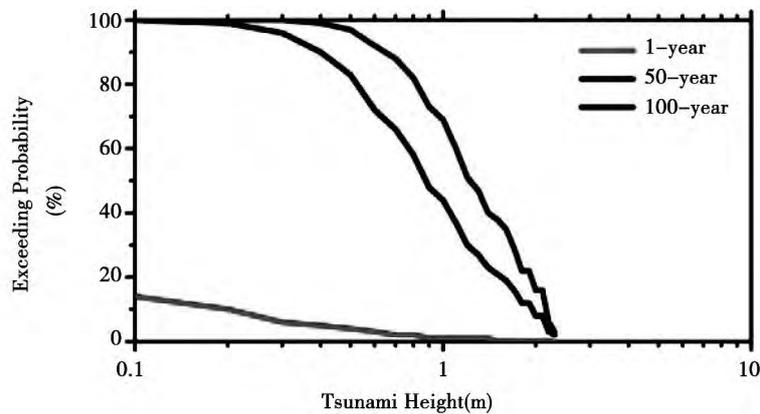


图4 场点地震海啸危险性分析超越概率曲线

Fig.4 Exceeding probability curve for 1-year ,50-year and 100-year respectively at the site evaluated PTHA in this study

3 结论

本章介绍了地震海啸危险性概率分析的方法和主要思路。本章的思路可为实现我国沿海地震海啸危险性分析,编制我国沿海地震海啸危险区划图提供技术支持,为沿海城市的规划、海洋资源的合理开发、重大工程设施的布局提供可靠参考。

参考文献:

- [1] 温睿智,任叶飞,李小军,等. 我国地震海啸危险性概率分析方法[J]. 华南地震,2011,31(4): 1-13.
WEN Ruizhi, REN Yefei, LI Xiaojun, et al. Probability analysis method of earthquake-induced tsunami risk in China[J]. South China Journal of Seismology, 2011, 31(4): 1-13. (in Chinese)
- [2] KURKIN A A, PELINOVSKII E N, CHOI B H, et al. A Comparative estimation of the tsunami hazard for the russian coast of the sea of japan based on numerical simulation[J]. Oceanology C/C of Okeanologia, 44: 163-172.
- [3] HOUSTON J R, CARVER R D, MARKLE D G. Tsunami-wave elevation frequency of occurrence for the Hawaiian Islands[R]. U. S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Technical Report H-77-16, 1977.
- [4] LIU Y, SANTOS A, WANG S M, SHI Y S, et al. Tsunami hazards along Chinese coast from potential in South China Sea[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2007, 163(1-4): 233-244.
- [5] GEIST E L and PARSONS T. Probabilistic analysis of tsunami hazards[J]. Natural Hazards, 2006 37(3): 277-314.
- [6] CORNELL C A. Engineering seismic risk analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1968, 58(5): 1583-1606.
- [7] 胡聿贤主编. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [8] Gaye L Downes and Mark W Stirling. Groundwork for development of a probabilistic tsunami hazard model for New Zealand[C]// ITS 2001 Proceedings, Session 1, Number 1-6: 292-301.
- [9] 陈龙生,陈棋福,陈凌,等. 中国大陆与香港及周围地区的地震目录完全性分析[J]. 中国地震, 1997, 13(4): 311-320.
CHAN Lungsang, CHEN Qifu, CHEN Ling, et al. Completeness analysis of earthquake catalogues of China and Hong Kong and Its vicinity[J]. Earthquake Research in China, 1997, 13(4): 311-320. (in Chinese)