

文章编号: 1003-1375(2010)01-0026-05

山东沿海地区地震海啸研究

冯志泽, 张建民, 陈惠云

(山东省地震工程研究院, 济南 250021)

摘要: 地震海啸是一种极其严重的地震次生灾害。山东是世界上最早记录地震海啸的地区。收集整理了山东沿海地区记载的 7 次地震海啸史料, 对每次地震海啸进行了信度评级, 认为仅有一次可能是海啸。根据山东沿海地区历史地震海啸、地震类型、沿海地理环境、现代地震海啸记录资料等分析, 表明山东沿海未来遭受破坏性地震海啸的可能性较小。

关键词: 地震海啸; 山东沿海; 信度等级; 可能性分析
中图分类号: P315.1 **文献标识码:** A

0 引言

海啸的英文词“Tsunami”来自日文(“tsu”一表示港湾, “nami”一表示波浪), 是港湾中的波的意思。海啸产生的原因有多种: 由大气扰动导致的海水异常升降现象称为风暴潮, 也称为风暴海啸; 强烈地震引起的海啸称为地震海啸; 此外, 海底火山、火山岛等的爆发、海洋附近的山岸崩塌造成的砂土流入深海以及核爆炸引起的海浪也称为海啸。地震海啸是一种极其严重的地震次生灾害。有历史记载以来, 全球发生了近 5000 次地震海啸。约有 85% 的地震海啸分布在太平洋中的岛弧—海沟地带, 其中经常受到海啸威胁的有日本、菲律宾、智利、夏威夷等少数国家和地区; 其他 15% 主要分布在大西洋的加勒比海、印度洋附近的阿拉伯海以及地中海等^[1]。

中国是世界上最早记载地震的国家, 也是世界上最早记录了地震海啸的国家。《续修广饶县志》等记载: 公元前 47 年 2 月 20 日~ 3 月 20 日(西汉初元二年正月), “西汉初元二年正月, 齐地震, 北海水溢”。中国历史上的海啸灾害记录中, 最严重的一次发生在 1781 年的凤山县(今高雄市), 史书记载“乾隆四十六年四、五月间, 时甚晴霁, 忽海水暴吼如雷, 巨涌排空, 水涨数十丈, 近村人居被淹……不数刻, 水暴退……”^[2]。

2004 年 12 月 26 日发生的印度洋海啸横扫印度洋沿岸诸国, 造成 20 多万人员死亡和巨大经济损

失。这次地震海啸灾害引起了世界各国的深刻教训和警示, 也促进了科学工作者对地震海啸灾害的研究。中国地震海啸的研究始于 1976 年唐山大震之后。1977 年海地研究指出: “我国地处太平洋西岸, 近岸大都是 200 m 以内的浅水大陆架, 海底摩擦对海啸波的能量衰减是十分显著的。同时, 外海又有一系列的岛弧形成天然屏障, 所以国外地震对我国影响很小, 一般不致引起灾害”^[3]。1982 年李成研究指出: “我国海区没有大断裂带, 也没有岛弧和海沟(除了台湾省以东海域外), 所以当我国海区发生地震时, 将不易引起海底地壳明显的垂直变化, 从而也不易发生地震海啸”^[4]。印度洋海啸后, 我国的地震海啸研究又有了新的进展。2006 年王晓青等人研究指出了地震海啸的特征及其成因和国内外历史上发生地震海啸的情况, 结合我国沿海的地震、构造、海底地貌等特点, 分析了沿海发生地震海啸的可能性^[2]。2007 年张业成等人研究指出建立巨灾防御体系是今后我国减灾工作的重心^[5]。2007 年陈颀院士等人从海啸的物理和发生条件分析了中国海啸的危险性^[6]。

山东海岸线长 3 100 多公里, 史料上有多次地震海啸的记载。山东沿海地区地震海啸灾害的研究, 对于山东地区地震灾害防治和应急、重大工程的地震安全性评价都有一定意义。

1 地震海啸的发生条件及分类

*收稿日期: 2009-07-31

基金项目: 山东省地震局合同制项目

作者简介: 冯志泽(1970-), 男(满族), 辽宁省北镇县人, 山东省地震局高级工程师, 主要从事地震地质灾害及地震救援研究。

E-mail: kegs520@sohu.com

1.1 地震海啸的发生条件

地震海啸主要是海底地震断层错动时因为垂直位移,使海底发生激烈地上下方向移动而产生的。通常垂直位移越大,相对错动速度越快,位移面积越大,则海啸越严重。深水比浅水易于产生海啸,地震释放的能量要变为巨大水体的波动能量,地震必须发生在深海,发生在浅海的地震产生不了海啸。破坏性海啸,其震源区水深一般在 200 m 左右,灾难性海啸的震源区水深在 1 km 以上。通常震级大于 6.5 级、震源深度在 25 km 以内容易产生海啸;震级在 7.5 级以上、震源深度在 40 km 以内,可形成灾难性海啸。在满足震源的断层条件和水深条件下,震级越大,震源越浅,海啸级别越大。并不是所有的海底地震都会引发地震海啸,海啸要在陆地海岸带造成灾害,该海岸必须开阔,具备逐渐变浅的条件。据统计,在 1.5 万次海底构造地震中,大约仅有 100 次能够引起海啸。

综上所述,产生破坏性海啸的条件包含 3 个方面:¹ 震级一般在 6.5 级以上的浅源地震(20~50 km),震源表现为大面积的垂直运动。^④震源所在海区有一定的深度,水深一般在 200 m 以上。^④开阔逐渐变浅的海岸条件。此外,研究表明,地震波频谱中能量相对集中且周期较长的海底地震,更容易发生地震海啸^[2]。

表 2 海啸信度等级表

信度等级	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级
描述	不是海啸	可疑海啸	非常可疑海啸	可能是海啸	海啸
信度值		近于 0.25	近于 0.5	近于 0.75	近于 1.0

根据发生地震距离和发生海啸灾害地的远近,地震海啸分为遥海啸和本地海啸。遥海啸是指横越大洋或从很远处传播开的海啸,也称越洋海啸。本地海啸指发生地震距离海啸灾害地较近的海啸。

2 山东沿海历史地震海啸分析

2.1 山东沿海历史地震海啸记载

山东沿海自然灾害史料记载丰富,有二三千年历史。我国记载的第一起地震海啸就发生在山东,据《昌乐县志》和《乐安县志》等记载:“西汉初元二年正月,齐地震,海水溢”。根据史料记载及有关灾害史研究,山东沿海地区有 7 次地震海啸记载,具体记载情况见表 3^[8-10]。

2.2 地震海啸史料的分析

2.2.1 产生地震海啸的历史地震分析

1.2 地震海啸的分类

根据海啸能量和造成损失情况,目前国际上通用的是今村、饭田(1958 年)所建的海啸分级表,用于对海啸进行分级。

国际海啸分级表(表 1)共分 $M = -1, 0, 1, 2, 3, 4$ 等 6 级,分别对应的海啸波幅是: < 0.5 m、1 m、2 m、4~6 m、10 m、 > 30 m。通常当海啸达到 1 级时,就构成破坏性海啸,将造成一般的经济损失,达到 2 级时将会有人员伤亡,达到 3 级时将会严重受灾,4 级以上是毁灭性的海啸灾害^[7]。

表 1 国际海啸分级表

海啸等级	海啸波高/m	损失程度
-1	< 0.5	能量损失(无损失)
0	1±	轻微损失
1	2±	损害海岸及船舶
2	4~6	人员伤亡,房屋倒塌
3	10~20	≤ 400 km 岸段严重受损,人员伤亡大,房屋损毁严重
4	≥ 30	≥ 500 km 岸段严重受损,人员伤亡巨大,建筑物尽毁

在对历史地震海啸分析中,常常需要对海啸的信度进行分析,根据海啸的可信程度(表 2),一般分为 5 个等级^[7],用于判定某次海啸发生的可信度。

从上述记载的 7 次地震海啸来看,均记载有“地震,……海啸”,说明产生地震海啸的地震距离海啸发生地点不远,为本地海啸。根据历史地震目录记载^[11],上述 7 次地震海啸相对应的历史地震情况如表 4。从表中可以看出记载的地震海啸所对应的地震震级序号 1~6 的地震震级均小于 6 级,发生地震海啸的可能性较小。特别是序号 2、5 和 6,1971 年出版的《中国地震目录》中都未记录这几次地震。序号 7 为 1668 年 7 月 25 日郯城 8 级地震,该地震发生在郯城,《蒙阴县志》中记载的“海潮啸汇川”不可能是地震海啸,因为蒙阴距离海较远。而《日照县志》仅简单记有“山间涌海上车螯”,并无海啸详细描述。但是据李裕澈等人研究^[12],该次地震在韩半岛西北海岸形成了海啸。

表3 山东沿海地震海啸记载一览表

序号	公历时间 (旧历时间)	记录地点 (现在地点)	出处或文献	资料原文
1	公元前 47. 2. 20 - 3. 20(西汉初 元二年正月)	齐(淄博市东北莱 州湾、广饶等地)	《乐安县志》卷三十三 《续修广饶县志》卷二十 《昌乐县志》卷一 《青州府志》卷五	西汉初元二年正月, 齐地震, 北海水溢。 西汉初元二年, 地震, 北海水溢。 西汉初元二年, 春正月, 齐地震, 海水溢。 汉元帝初元二年正月戊午, 齐地震, 北海水溢。
2	171. 2. 14. (东汉建宁四年)	北海(龙口市)	《古今图书集成》山川典 318 卷	地震, 北海海水泛滥。
3	173. 6. 27- 7. 26 (东汉熹平二年 夏六月)	东莱、北海(昌乐 县、龙口市) 琅玕(诸城市)	《后汉书· 灵帝纪》卷八 《诸城县志》卷九	东汉熹平二年夏六月, 北海地震, 东莱、北海海水溢。 熹平二年, 琅玕地震, 海溢。
4	1046. 4. 24 (庆历六年三月)	登州(蓬莱市)	嘉靖《山东通志》卷 39	自是屡震, 彻海底有声如雷。
5	1341 年	潍县(潍坊北部)	《潍县志》卷六	元至正元七年, 潍县地震, 海水溢。
6	1471 年	潍县(潍坊北部)	《潍县志》	明成化七年, 地震, 海溢。
7	1668. 7. 25(康熙 七年六月十七)	蒙阴(蒙阴县) 日照(日照市)	康熙《蒙阴县志》 康熙《日照县志》	海海啸汇川。 山间涌海上车螯。

表4 山东沿海记载地震海啸对应的地震情况一览表

序号	公历时间	地震地点	震中位置	震级	信度等级
1	公元前 47. 02. 20~ 03. 20	益都北部	N36. 8° E118. 4°	5	1
2	171. 02. 14	山东省东北部		小震	0
3	173. 06. 27~ 07. 26	莱州湾	N37. 5° E119. 5°	5~ 5. 4	2~ 3
4	1046. 04. 24	蓬莱、文登等地(登州)	N37. 8° E119. 7°	5	1
5	1341	潍坊北部		小震	0
6	1471	潍坊北部		小震	0
7	1668. 07. 25	郯城	N34. 8° E118. 5°	8. 2	0

2. 2. 2 地震海啸信度评价

对历史记载资料的可信性分析, 由于地震海啸和风暴潮在地质地层上留下的遗迹类似, 不可能从挖掘地层的角度进行地震海啸事件分析, 所以只能根据地震海啸的发生条件、地震海啸记述情况进行分析。一般来讲, 如果发生地震海啸, 那么其影响面一般较广, 山东的历史记载丰富翔实, 一次大的地震海啸应该有多个县志或通志记载。但仔细分析史料可以看出, 这些记载是否视为地震海啸还待考究。例如, 记载的第一起地震海啸发生在公元前 47 年, 《昌乐县志》和《乐安县志》都记有: “西汉元帝初元二年正月, 齐地震, 海水溢; 秋七月复震”, 但是对应记载的地震震级只有 5 级, 况且记述的海啸是否因地震引起无法判断, 所以发生地震海啸的可能较小。序号 2~ 6 记载的地震海啸情况也比较类似。序号

7 是 1668 年 7 月 25 日郯城地震, 该次地震历史震害记载十分丰富, 不能凭简单记载“山间涌海上车螯”而确定发生了地震海啸。

根据历史记载地震海啸资料、历史地震震级等分析, 确定了山东沿海记载的 7 次地震海啸的信度等级, 公元前 47 年 2 月和 1046 年 4 月 24 日记载地震海啸的信度等级为 1 级, 为可疑海啸。173 年 6 月 27 日至 7 月 26 日记载地震海啸的信度等级为 2~ 3 级, 可能是海啸。其余几次记载我们认为地震海啸的信度等级为 0 级, 不是海啸。

2. 2. 3 现代地震海啸资料分析

1969 年 7 月 18 日在渤海中发生了 7. 4 级地震, 当时渤海沿岸的烟台、秦皇岛、葫芦岛等地均未有海啸波的反映。只有龙口在震后约 2 h 后诱发起振幅不足 10 cm 的海面波动, 说明该次地震在山东

沿海地区未引起地震海啸。但是该地震在河北唐山引起波高约为 20 cm 的海啸, 并对河北唐山造成一定损失。

3 山东沿海遭受地震海啸可能性分析

3.1 山东沿海遭受本地地震海啸可能性分析

山东沿海地区没有现今活动的板块俯冲带和海沟构造, 近代垂直差异运动表现不强烈。已发生的地震震源断层多为走滑型, 而走滑型的地震不容易引发海啸, 所以从地震活动类型来看发生地震海啸的可能性不大。

山东沿海主要指渤海和黄海。渤海是一个近封闭的内海, 它一面临海, 三面环陆, 东面经渤海海峡与黄海相通, 辽东半岛的老铁山与山东半岛北岸的蓬莱角间的连线即为渤海与黄海的分界线。

渤海海域面积约 7.7 万 km^2 , 平均水深 18 m, 最大水深 85 m, 20 m 以浅的海域面积占一半以上。渤海海底平坦, 多为泥沙和软泥质。海岸分为粉沙淤泥质岸、沙质岸和基岩岸 3 种类型。渤海湾和黄河三角洲等沿岸为粉沙淤泥质海岸, 山东半岛北岸主要为基岩海岸。黄海西临山东半岛和苏北平原, 东边是朝鲜半岛, 北端是辽东半岛。山东附近的黄海为北黄海。北黄海指山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的半封闭海域, 海域面积约为 8 万 km^2 , 平均水深 44 m, 最大水深在白翎岛西南侧, 为 86 m。

全部为大陆架所占的浅海。山东半岛为港湾式沙质海岸。

因此, 渤海、黄海产生破坏性本地地震海啸可能性很小。

3.2 山东沿海遭受越洋地震海啸可能性分析

根据我国海洋自然地质地貌条件分析, 中国外海有一系列岛屿暗礁和海峡的阻挡, 海啸波通过岛屿会损耗大量的能量。同时, 渤海和北黄海为浅水区域, 海啸波在浅水中移行, 能量将发生巨大损失。

从历史记载地震海啸灾害来看, 山东沿海没有遭受越洋地震海啸的记载, 所以山东沿海未来不可能遭受越洋地震海啸。

4 结语

(1) 山东沿海历史上有过 7 次地震海啸记载, 根据其记载情况、历史地震情况等分析, 其信度较低, 仅有一次可能是地震海啸, 2 次为可疑海啸, 其余不是海啸。

(2) 山东沿海地区近现代几次发生 6.5 级以上强震, 山东沿海均未发生地震海啸。

(3) 根据山东沿海历史地震海啸、地震类型、沿海地理环境、现代地震海啸记录资料等分析, 山东沿海未来遭受破坏性地震海啸可能性很小。

本文完成过程中得到了孙昭民研究员的悉心指导, 在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国自然灾害丛书中国重大自然灾害及减灾对策[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 395-400.
- [2] 王晓青, 吕金霞, 丁香. 我国地震海啸危险性初步探讨[J]. 华南地震, 2006, 3(1): 76-80.
- [3] 海地. 地震海啸[J]. 地震战线, 1997, (4): 6-8.
- [4] 李成. 地震海啸的研究[J]. 海洋通报, 1982, 1(2): 16-23.
- [5] 张业成, 张立海, 马宗晋, 等. 从印度洋地震海啸看中国的巨灾风险[J]. 灾害学, 2007, 9(3): 105-108.
- [6] 陈颀, 陈棋福, 张尉. 中国的海啸灾害[J]. 自然灾害学报, 2007, 4(2): 1-6.
- [7] 高中和, 李灼华, 季幼庭, 等. 中国大陆沿海地震海啸析疑[J]. 中国地震, 1992, 12(4): 102-107.
- [8] 魏光兴, 孙昭民, 孟昭翰, 等. 山东省自然灾害史[M]. 北京: 地震出版社, 2000: 3-98.
- [9] 谢毓寿, 蔡美彪, 王会安, 等. 中国地震历史资料汇编(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [10] 闵祥鹏, 邱普艳. 我国地震海浪初步分析[J]. 华北地震科学, 2005, 12(4): 40-44.
- [11] 顾功叙. 中国地震目录(公元前 1831- 公元 1969 年)[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [12] 李裕澈, 李德基, 吴锡熏, 等. 1668 年中国郯城 8.5 级巨震在韩半岛的地震影响区及地震海啸[J]. 中国地震, 2003, 6(2): 184-187.

Study on Tsunami Disaster in the Coastal Area of Shandong

FENG Zh-zhe, ZHANG Jian-min, CHEN Hu-yun

(Shandong Earthquake Project Research Institute, Jinan 250021, China)

Abstract: The tsunami is a kind of extremely serious secondary disaster of earthquake. Shandong is the area of the earliest records of tsunami in the world. In this paper, seven times of tsunamis that recorded in the historical of coastal area of Shandong province had been collected and arranged, each tsunami was appraised by the credibility grade, only one time of such tsunamis possibly occurred. Base on the analysis of historical tsunami, earthquake type, geographical environment, modern recording material of tsunami in the coastal area of Shandong province, it shows that the possibility of suffering destructive tsunami in the coastal area of Shandong province is relatively little in the future.

Key words: earthquake tsunami; coastal area of Shandong; credibility grade; possibility analysis

(上接第 20 页)

The Characteristics of Regional Stress Field in Anhui Area and the Coherence Characteristics of Focal Mechanism Solutions before Mid- Strong Earthquakes

ZHENG Xian-jin, LIU Dong-wang, LIU Ze-min, SHEN Xiao-qi

(Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: 246 focal mechanism solutions of $M_L \geq 2.0$ earthquakes in Anhui and adjacent areas since 1974 are calculated using maximal vertical amplitude ratio of Pg and Sg. By using system clustering method, preponderant composite focal mechanism solutions of each subarea in different period is calculated to analyze the characteristic of regional stress field in each subarea. Statistic analysis of stress axes parameters shows that the predominant direction is approximate to the stress field direction in East China. The coherence parameter of focal mechanism solutions in Anhui Area drops obviously before mid- strong earthquakes.

Key words: stress field; three subareas; system clustering method; focal mechanism solution; coherence parameter