

海南省南海地震监测和海啸预警服务

陈运平¹, 沈繁奎², 陈 定²

(1. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084; 2. 海南省地震局, 海南, 海口 510203)

摘要: 2004 年底发生在印度洋的地震海啸造成的巨大灾难引起了人们广泛的关注。根据海南岛有仪器记录到地震海啸的事实, 从构造角度讨论了海南岛未来遭受地震海啸袭击的可能性, 强调了建立海南省南海地震监测和海啸预警系统的必要性和重要性, 并提出了预警系统建设的初步设想。

关键词: 海啸; 海底地震观测; 南海地震; 预警系统; 海南岛

中图分类号: P738.4, P731.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8662 (2006) 01-0061-06

引言

2004 年 12 月 26 日发生在印度尼西亚苏门答腊岛至印度安达曼群岛西侧海沟的 8.7 级大地震引发的海啸, 在没有预警与预防的情况下, 袭击了印度洋沿岸印度尼西亚等十余个国家。这次海啸所造成的人员伤亡与社会经济遭受破坏的程度, 在世界海啸灾难史上是空前的。

在人类的自然灾害史上, 海啸从来就是一种巨大的自然灾害。海南岛有过地震海啸的记录, 未来存在遭受地震海啸袭击的可能性, 研究如何防御和减轻海南岛的海啸灾害, 建立起有效可行的海啸预警系统是当前需要迫切解决的问题。

表 1 20 世纪全球记录到的特大地震海啸波高^[1]
Table 1 Historical tsunamis with magnitude 9 and above

发震时间	地点	波高/m
1917-06-26	萨摩亚群岛	26
1933-03-02	日本三陆	29
1946-04-01	阿留申群岛	35
1960-05-22	智利	25
1964-03-28	阿拉斯加湾	70
1994-06-03	印尼东爪哇	60
1998-07-17	巴布亚新几内亚	49

1 地震海啸及灾害损失

海啸是由海底地壳的剧烈变化而造成的大片水域突然上升或下降而引起的海洋巨浪, 世界上绝大多数的海啸却是海底地震引起的。除了地震之外, 海底火山爆发、海底塌陷与滑坡, 地下核爆破也能引起海啸。海啸携带着巨大的能量, 有极其巨大的破坏力。

收稿日期: 2005-12-29

基金项目: 国家“十五”攻关科技项目 (2001BA601B-04-03) 资助。

作者简介: 陈运平 (1970-), 男, 博士. 主要从事岩石力学与工程的研究工作。

波高是海啸最重要的特征，海啸的等级是用观测到的海啸浪高的对数来度量的。20 世纪记录到的特大地震海啸波高见表 1，2004 年底印度洋海啸的波高为 10 m。

2004 年发生在印度尼西亚苏门答腊岛的地震海啸给东南亚沿海各国造成了巨大的人员伤亡和财产损失。地震发生以后，海啸波以约 750 km/h 的速度向四周传播，20 分钟以后袭击了此次海啸灾害最严重的印尼苏门答腊岛北部班达亚齐地区，2 小时后开始袭击印度洋北部沿岸的泰国、马来西亚、缅甸、孟加拉、印度、斯里兰卡等国，4 小时后袭击了印度洋中因全球变暖而濒临沉没的岛国马尔代夫，7 小时后到达东非印度洋沿岸各国，28 小时后到达美国大西洋及太平洋沿岸，30 多小时后到达南美西海岸，最终完成了它的全球旅行^[2]。根据官方公布的数字，此次海啸中死亡的人数为 305 276。其中死亡人数最多的 4 个国家是印尼（228 948 人）、斯里兰卡（43 382 人）、印度（16 389 人）、泰国（8 506 人）。被这次海啸夺走生命的人数，超过了有史以来历次大海啸中死亡人数的总和（表 2）。

据统计，1900~1983 年太平洋周边地区共发生 405 次海啸，其中以日本为最频繁、最严重。阿拉斯加、堪察加—千岛群岛、新几内亚—所罗门群岛、美国西海岸、中美洲、南美洲西海岸都有多次破坏性海啸发生。据我国学者统计，从公元前 47 年到公元 1966 年，在我国近海共发生 25 次地震海啸，其中 8~9 次为破坏性海啸。与海南岛相近的台湾，比较保守地估计确实侵袭台湾的海啸至少也有 9 次^[4]。

表 2 历史上死亡人数超过 10 000 的海啸灾难^[3]
Table 2 Historical tsunamis with death toll over 10 000

年份	地点	死亡人数
1498	日本东海道	26 000
1707	日本东海道、南海道	30 000
1771	日本琉球	13 486
1792	日本有明海	14 920
1868	智利北部沿海	25 674
1883	印尼喀拉喀托火山	36 140
1896	日本三陆外海	27 122
1908	意大利墨西拿	82 000
1960	智利沿海	10 000
2004	苏门答腊	305 264

2 海南岛遭受地震海啸的分析

2.1 海啸的形成条件和特点

海啸是由海底地震、火山爆发或海底塌陷、滑坡等地壳活动所产生的具有超大波长和周期的大洋行波。当其接近近岸浅水区时，波速变小，波幅陡涨，浪高有时可达 20~30 m 以上，骤然形成“水墙”，瞬时侵入沿海陆地，造成危害。虽然全球各大洋都有地震海啸发生，但是由于太平洋周边为地震和火山活动的活跃带，所以太平洋发生海啸最多，其次为地中海、大西洋、印度洋。

海啸主要由海底地震引起，但并不是每次海底地震都能引起海啸，而只有那些伴有强烈地壳活动的海底地震（约占 1/4）才能产生海啸，尤其是靠近海岸的海底地震形成海啸的可能性更大。震源深度一般为 0~40 km，属浅源地震。通常震级 5.5 级以上的地震才会引发海啸，7.7 级以上的近海海底地震往往伴随毁灭性的海啸。这种强烈海底地震，使地层断裂，部分地层出现猛然上升或下沉，造成海水从海底到海面的剧烈“抖动”，从而形成海啸。

海啸按生成源地可分成两类：近海海啸和远洋海啸。近海海啸也称本地海啸，生成源地在近岸一百多公里以内，海啸波到达海岸的时间很短，通常只有几分钟或十几分钟，带有很大的突然性，令人措手不及；远洋海啸是从远洋传播过来的海啸。海底地震发生后，整层海水的剧烈抖动使洋面生成波长为几十或几百公里、周期为2~200分钟的震荡波，并快速地往四周传播。例如，以南美洲智利沿海为震源中心的海啸波，以1 000 km/h左右的速度传播，24小时之后就可以横越整个太平洋传播到日本。海啸波是一种长波，在传播过程中若没有遇到障碍则能量衰减很少，因而传播到几千公里以外仍能造成很大灾害。海啸波在大洋中移行时波高仅为1 m左右，但当海啸波进入大陆架后，因深度急剧变浅，从海底到海面流速几乎一样的海啸波直冲海岸或港湾，这时波高骤增，最大波幅可达20~30 m。这种海啸波能量极大，就像十几米、几十米高的水墙一波又一波地直冲上岸，摧毁岸边一切房屋、建筑、堤防、树木和人畜，造成巨大的灾难。

2.2 海南岛地震海啸危险性分析

全球地震海啸的分布与地震带一致，太平洋的周围是地球上构造活动最活跃的地带，常有大量的地震发生和火山爆发，因此，全球大多数的地震海啸发生在环太平洋。

南海深海底的大洋型地壳沿马尼拉海沟向东俯冲于菲律宾吕宋岛之下，已导致皮纳图博火山大爆发。一旦在这里触发海底地震引起海啸，那么，我国海南、广东、福建、台湾沿海便会受到海啸威胁。马尼拉海沟，应成为我国海啸预警的重点。

日本东侧日本海沟一带为地震海啸频发地区，但通常难以越过日本列岛抵达我国大陆东岸。琉球诸岛之间有相对开阔的水道，其外侧琉球海沟附近若发生强烈的地震海啸，就有可能波及我国海域。所幸的是，琉球海沟类似于马里亚纳海沟，为低应力俯冲带，所以发生逆断层型强震的可能性较小。

台湾处在岛弧—大陆碰撞边界上，其东侧缺失海沟俯冲带。但自台湾南端向南延至菲律宾吕宋岛西侧，由岛弧—大陆碰撞带逐渐过渡为马尼拉海沟俯冲带。就中国的海啸预警而言，最值得关注的当是这一段板块边界。至于更南面的菲律宾海沟，以及造成这次大海啸的巽他海沟俯冲带，由于岛屿的阻隔，在那里引发的海啸通常难以对我国海域造成重大影响。

沿近南北向的马尼拉海沟，南海深海底的大洋型地壳（属欧亚板块）向东俯冲于菲律宾吕宋岛（属菲律宾海板块）之下，这一俯冲激起了强烈的地震火山活动，比如1991年的皮纳图博火山大爆发。地质构造分析表明，马尼拉海沟俯冲带不同于琉球海沟等低应力俯冲带；更重要的是，它并非如一般海沟那样位于菲律宾群岛的东侧，而是坐落在西侧的南海东缘，一旦在这里触发海底地震引起海啸，那么，海南、广东、福建、台湾沿海便会毫无遮拦地处于海啸波涛的威胁之下。

在南海台湾—菲律宾岛弧地区，区域主压应力场呈近东西方向，与断裂带方向几近垂直。据初步统计，5级以上地震的震源机制为正断层或逆断层（垂直运动）为主的占70%，如1972年4月25日马尼拉海沟南端7.3级地震是具有倾滑分量的走滑错动，1994年台湾海峡的7.3级地震，震源错动以正断层为主^[9]。由于引发海啸的地震震源机制类型是倾滑型或带倾滑分量的走滑型的地震，从地震错动方式上，该区的地震多数具备引发海啸的条件。

东海、南海,特别是台湾岛附近海域具备产生海啸的条件,发生在菲律宾海、琉球海沟的地震海啸可能传播过来。1605年7月13日海口 $7\frac{1}{2}$ 级地震,引起了近海的70多个村庄沉陷为海^[6],1867年12月18日发生在台湾基隆北海中的6级地震引起的海啸,导致了数百人伤亡^[4],这说明从台湾到海南岛一线的海区,存在地震海啸灾害的可能性。

1992年1月4日~5日海南岛东方市近海发生的地震引起了海啸,并由仪器完整观测记录下来。这一事实证明,海南岛近海确实能产生地震海啸,地震海啸将成为海南省潜在的自然灾害,应引起高度重视。

2.3 海南岛的地震海啸实例

1992年1月4日22时40分至5日19时43分,海南省东方市板桥镇近海连续发生8个地震,其中3.4~3.7级地震3个^[6],板桥、感城等乡镇有感,并伴有地声。据海南省海洋局报告,三亚港从5日14时起港内潮水上涨的速度就有逐渐加快之势,14时30分至17时潮位出现异常现象,涨潮速度达到10节以上。每次涨退潮过程20~40 min不等,大约持续5~6次,16时后出现两次大涨潮,榆林验潮站记录到的波高为0.78 m,三亚港也出现波高0.5 m至0.8 m的海啸,涨潮时伴有轻微声响,并明显出现流带,有些地方出现旋涡,海水浑浊。在海啸波的冲击下,港内的船只碰撞、搁浅、拉断绳缆和锚链,有些船只因此而受损。海南省的4个验潮站均完整地记录了这次地震引起的海啸波,其中三亚榆林港记录到的海啸波振幅最大,详情可看参考文献[7]。

3 建立海南省南海地震监测和海啸预警系统

2004年度印度洋地震海啸后许多科学家认为共识,是该地区没有海啸预警系统,缺乏海啸知识和信息,是这次海啸过程中人员死亡特别多的主要原因之一。

国际海啸预警系统于1965年成立,目前由太平洋海啸预警中心(PTWC)和包括中国在内的25个国家构成,太平洋海啸预警中心是国际海啸预警系统的运行中心。国际海啸预警系统由地震与海啸监测系统、海啸预警中心和信息发布系统构成,其中地震与海啸监测系统主要包括地震台站、地震台网中心、海洋潮汐台站。目前,除了国际海啸预警系统之外,日本、葡萄牙等国也有自己的海啸预警系统^[8]。监测海啸的主要方法有^[9]:(1)在沿海设置自记验潮仪,根据水位记录曲线的异常升降现象判断出现海啸的可能性;(2)设置岸边水声接收站监测海啸(因为地震海啸产生的声波的传播速度比海啸传播的速度快得多,故可根据接收到海啸声音的时刻,推算地震海啸到达的时间);(3)通过国际性的协作组织,加强通讯网,建立联合的海啸预警和警报系统。

目前海南省对南海地震和海啸的监测预警工作仍处于空白,尚未建立南海地震和海啸预警系统,这与震情形势的要求很不适应。为此,海南省人大常委会执法检查组提出建议,加强海洋地震监测预报和海啸预警工作,尽快启动南海地震监测系统建设及海啸预警项目。开展南海地震监测,有利于南海地下资源的勘测与开发。国家正着手规划建设我国的海洋地震监测网络和海啸预警技术系统,海南省政府及有关部门要尽快完成南海地震监测和海啸预警系统建设项目的立项,并积极争取纳入国家和相关部门专项计划,抓住这次难得的

机遇,力争尽快提高海南及周边地区的地震监测和应急能力。以南海地震监测和海啸预警系统为依托,将进一步开展对地震海啸的研究,为减轻此类灾害做出贡献。

海南省海啸预警系统应该包括以下几个主要内容。

(1) 加强南海地震监测和海啸防灾救灾研究。这是基础性的研究,是防御地震海啸袭击的前提和基础。目前在南海永兴岛已建立了一个数字地震台,这是我国第一个监测海洋地震的永久地震观测站。在海南岛也有了海南地震数字遥测台网,对发生在海南岛附近的地震能迅速测定它的参数,及时做出反应。将来有条件的话,可安装多个深海海底地震仪组成监测系统。对建设海啸预警系统而言,要开展海底地震预测、地震海啸产生机理和形成条件的研究,比如海底地震的位置(海底地形)、类型、震级、震源深度等与海啸的关系,海啸波的传播方向和速度,远洋海啸的数值模拟等等。

(2) 预警信息的快速发布。通常在地震发生后 20 分钟以内发出海啸警报。只要提前 10 分钟,成年人就可以跑出 500 m 以外,老年人和小孩也可以跑出 100 m 以外。在正常情况下,就可能逃到安全地区。

(3) 各个地区都要制定海啸预警预案。 通报和通知海啸信息。通过有效手段,使沿海居民及时得到海啸信息; 组织安全撤离。确定多条安全撤离路线,确定带领和最后检查撤离的人员,保证全部人员的安全撤离; 在预定安全地点储藏必要的食品、饮用水和药品,适时加以更新; 保证必需的交通运输工具。

(4) 在对海啸敏感和脆弱的海岸地区制定科学的发展建设规划。海边建筑和工程设计的目的是保护人民生命财产的安全。建筑和完善必要而又坚固的海堤,禁止在没有海堤保护的海滩上建筑低矮不坚固的住房,在较高的地点建筑坚固的海潮灾害庇护所。

(5) 加强海岸的环境保护。珊瑚礁、红树林、防护林带都是保护海岸不受大潮巨浪侵蚀的天然屏障。近年来在三亚等地,由于人工采伐珊瑚礁用于制作旅游工艺品,珊瑚礁已受到大量破坏,今后必须停止采伐加强保护。东寨港沿岸有人为了养殖基围虾,红树林受到人为破坏而日见减少,今后必须加强保护。种植红树林,在岸边浅海水区形成宽而长的红树林带,可以有效抵御大潮巨浪的冲击,其好处是显而易见的。这类环保措施不仅能有效地防灾减灾,更能改善自然生态环境,增加旅游魅力,造福子孙后代。

(6) 普及海啸防灾救灾知识。有没有自然灾害的科学知识,对于防灾减灾至关重要。2004 年底印度洋地震海啸造成死亡人数特别多的原因之一,就是受害者缺乏有关地震海啸及其预防和应急的科普知识。当海啸到达海岸时,海水先大幅度后退,在日本等多地震海啸且科普宣传做得好的国家,当地居民看到这种现象,知道巨浪即将到达,会立即转身往远处和山上跑。可是在 2004 年底印度洋地震海啸现场,不少人却在海水后退时跑过去拣贝壳,结果送了性命。与此形成鲜明对照的是,有一位英国小游客看到“海水开始冒泡,泡沫发出咝咝声,就像煎锅一样”的异常现象,她凭借此前所学的知识判断出这是海啸即将到来的迹象。在她警告下,约 100 名游客在海啸到达海滩前几分钟撤退,幸免于难。可见,加强防灾救灾知识的宣传教育,提高公众的防灾救灾意识是多么重要。

4 结语

海南岛是未来可能遭受强地震海啸袭击最值得注意的地区,只要建立起海啸预警系统,严密监测有关地区海底地震的发生,利用布设在海域的探测器接收海啸传播的信息,及时、畅通地发布准确的警报,就可以避免或大大减轻海啸带来的损失。所以重点关注和监测马尼拉海沟至台湾南侧的海底地震,建立海南省南海地震监测和海啸预警系统是十分必要的。

参考文献:

- [1] 包澄澜. 海啸灾害及其预警系统 [J]. 国际地震动态, 2005, 1: 14-18.
- [2] NOAA. December 26th, 2004, Indonesian Earthquake and Tsunami [EB/OL]. <http://www.prh.noaa.gov/itic>, 2005.
- [3] 马宗晋, 叶洪. 2004年12月26日苏门答腊—安达曼大地震构造特征及地震海啸灾害 [J]. 地学前缘, 2005, 12(1): 281-287.
- [4] 李起彤, 许明光. 台湾及其邻近地区的海啸 [J]. 国际地震动态, 2005, 2: 7-12.
- [5] 杨马陵, 魏柏林. 南海海域地震海啸潜在危险的探析 [J]. 灾害学, 2005, 20(3): 41-47.
- [6] 沈繁奎, 符干. 海南地震活动研究 [M]. 北京, 地震出版社, 1994.
- [7] 叶琳, 王喜年, 包澄澜. 中国的地震海啸及其预警服务 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(1): 100-103.
- [8] 杨马陵. 地震海啸监测预警现状与进展 [J]. 华南地震, 2005, 25(2): 22-29.
- [9] 魏柏林, 陈玉桃. 地震与海啸 [J]. 华南地震, 2005, 25(1): 43-49.

Earthquake Monitoring and Tsunami Warning Service for the South China Sea in Hainan Province

CHEN Yunping¹, SHEN Fanluan², CHEN Ding²

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Earthquake Administration of Hainan Province, Haikou 570203, China)

Abstract: The disaster caused by seismic tsunami occurred in the India Ocean at the end of 2004 had been paid great attention. Based on the fact that seismic tsunami happened in the Hainan Island recorded by instrument, we discuss the possibility of future seismic tsunami attack in the viewpoint of tectonics, emphasize the essential and fundamentality of establishment of the South China Sea earthquake monitoring and tsunami warning system in Hainan Province, and put forward a preliminary plan of this system.

Keywords: Tsunami; Submarine seismic observation; The South China Sea earthquake; Warning system; The Hainan Island