

# 全球海啸灾害事件统计及预警系统简述

侯京明, 李涛, 范婷婷, 闪迪

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘 要:** 统计分析全球历史海啸灾害数据, 结合相关海啸研究成果, 给出了全球海啸的分布特点及历史重大事件, 并介绍了全球海啸预警系统、数值技术以及海啸监测等防灾情况。

**关键词:** 全球海啸; 分布; 防灾对策

**中图分类号:** P731.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0239(2013)04-0087-06

## 1 引言

海啸, 有时也称地震海浪, 是由海水瞬时大规模位移引发的一系列海洋波动。海底地震、火山以及陨石降落等均有可能产生海啸<sup>[1]</sup>。世界上很多国家的古籍中均能发现海啸的记载, 其中, 日本和地中海沿岸国家的记载最多, 有记录的最早海啸发生在公元前2000年的叙利亚。在我国历史上, 海啸灾害常被误当成海潮。比如, 咸丰年间编纂的《临海县志稿》卷三十八记载, 临海“海潮泛滥, 城乡沟池积潦, 同时俱沸, 历二时止, 沿海庐舍多被淹没<sup>[2]</sup>”。这其实是一次海啸事件—1854年日本南海(33.2°N, 135.6°E)发生8.4级地震并引发了海啸, 海啸对我国造成了一定影响。现代科学已经认识到海啸和海潮是两个不同的概念, 海潮是由于受到太阳、月球等星体引力而产生的, 周期一般为12 h。而海啸的周期约在10 min—2 h之间, 速度也比海潮要快。

在大洋中, 海啸波波高较小, 不容易被察觉到。到达近岸时, 由于水深变浅, 波速减小, 造成能量聚集, 波高会迅速增大, 极易造成灾害。通常, 3—6 m的海啸波到达岸边就很具破坏力, 目前已知的海啸波最高能达到40 m以上。据统计, 截止到2012年, 海啸灾害已造成全球50多万人死亡。2000年

以来, 全球范围内共发生大小海啸25次。海啸灾害的频发, 引起了世界各国的高度重视, 各国纷纷加强了针对海啸灾害的研究工作。

## 2 海啸灾害事件统计分析

本文统计所用历史数据主要来自于美国国家地球物理数据中心的全球海啸源数据库<sup>[3]</sup>, 数据的时间跨度为公元前2000年—2012年, 同时也参考了俄罗斯科学院新西伯利亚海啸实验室的太平洋地区海啸源数据库<sup>[4]</sup>。数据库中的海啸事件来源于学术研究结论、相关文献、监测数据分析、个别事件报告等多个方面。数据内容包括海啸灾害的年份、经纬度信息、海啸产生类型、可信度等级和海啸发生地点等信息。

本文从数据中筛选了可信度等级较高的海啸灾害, 去掉了带有不确定性的数据, 整理出公元前2000年—2012年间的2192个海啸灾害事件, 并对数据进行了分析。

按照海啸发生的年代来统计海啸灾害, 可以发现近现代的海啸次数明显高于以前。这是由于20世纪之前, 受到科学知识和测量仪器的限制, 只有部分或者重大海啸灾害被记录下来, 而近现代日益更新的科技手段使人们能够监测到越来越多的海啸事件。因此不能得出海啸灾害明显增多的结论。

收稿日期: 2012-10-16

项目资助: 海啸预警浮标研发与应用示范(201205034-02)

作者简介: 侯京明(1982-), 男, 工程师, 主要从事海啸和风暴潮预警报技术研究。E-mail: houjingming1982@126.com

从统计海啸数据的地理位置看,全球存在着几大海啸密集区域,见图1,主要包括太平洋沿岸、地中海沿岸、印度洋沿岸和大西洋沿岸等区域。

图2显示的是各海啸密集区所占的比例,全球约有63%的海啸发生在太平洋海域,21%发生在地中海海域,5%发生在大西洋海域,4%发生在加勒比海域,6%发生在印度洋海域,1%发生在黑海。

我国共发生海啸灾害48次,渤海、黄海、东海和南海均出现过海啸灾害。其中,台湾省周边发生21次海啸灾害,占总数的43.75%,是我国最易发生海啸的省份。

按照海啸的产生原因分类,海啸主要可以分为地震海啸、滑坡海啸和火山海啸三种,当然,其他几种现象也能产生海啸,比如极端气象现象、陨石降落、海底爆炸和冰川崩解等,但均非常少见。本文主要对前三种海啸类型进行了统计分析。

## 2.1 地震海啸

### 2.1.1 成因及分布

地震海啸是由海底地震引发的海啸,是发生次数最多,造成破坏最大的海啸类型。海底地震发生时,地壳的大规模升降运动造成水体位移,然后在重力作用下海水被拉回,从而产生海啸。地震海啸占海啸事件总数的82.4%。地震海啸一般发生在俯冲带地区,80%的地震海啸发生在环太平洋俯冲带。图3是全球地震海啸的分布图,地震海啸密集区域和图1几乎一致。这些区域大多存在着俯冲带或类似地质构造。

为了摸清全球地震海啸分布与地震分布之间的关系,本文统计了美国国家地震信息中心1960年以后近40年的地震数据,见图4,图中红线为板块边界线。20世纪60年代以后,随着计算机技术以及测量仪器的发展,更多的地震事件被记录下来,因此该数据基本能显示全球各个地震密集地区。从图3和图4的对比中可以看出,不是所有的海底地震都能引发海啸,全球地震主要发生区域的范围更广,而且基本都位于板块的边界处。地震海啸主要出现在地震最密集的区域,这些区域同时也是地质运动最活跃的区域。

现有知识还不能清楚的解释地震海啸的产生

方式,也没有直接的观测和测量手段来展现海啸的产生。但是,科学的海啸研究表明海啸的大小与几个因素有关:断裂带形状、海底位移量和震源处水深等。陈颢和陈棋福认为,地震海啸的产生一般受三个条件控制<sup>[5]</sup>:

震源断层条件:构造地震是最主要的产生海啸的地震类型,地震引起海底垂直方向上的剧烈变形,才能产生海啸;

震源水深条件:在深水区发生的地震更容易产生海啸;

震级、震源深度条件:震级大于6.5,震源较浅的地震易于产生海啸。

### 2.1.2 历史大事件

历史上曾经发生过多次危害严重的地震海啸,造成人员伤亡最大的前几位地震海啸有:

2004年12月26日,印度尼西亚苏门答腊岛发生9.0级强烈地震并引发海啸,海啸袭击了包括印尼在内的印度洋沿岸国家,如马尔代夫、泰国、马来西亚、斯里兰卡、印度及非洲东海岸等国家和地区。据联合国统计,约有23万人死亡<sup>[6-7]</sup>;

1908年12月28日,意大利西西里岛墨西拿市近海发生7.1级地震,随后高达12m的海啸袭击了该城市。在地震和海啸的双重破坏下,这座城市93%的建筑物被破坏,12.3万人死亡<sup>[8]</sup>;

1755年,葡萄牙里斯本附近海域发生里氏9.0级地震,40min后海啸袭击了该城市,城市85%的建筑被摧毁,10万多人死亡,其中海啸直接造成的死亡人数约为3万人<sup>[9]</sup>;

1707年,日本发生8.6级的宝永地震,这是日本有记录以来第二强烈地震,地震引发破坏性海啸,高知县监测到7—10m的海啸波,死亡人数约为3万人<sup>[10]</sup>;

1868年,智利阿里卡近海发生强烈地震(震级约在8.5—9.0级之间),随后引发的海啸几乎完全摧毁了港口城市皮斯科,海啸影响到夏威夷、新西兰和日本等地,遇难人数约为2.5万<sup>[11]</sup>。

## 2.2 滑坡海啸

### 2.2.1 成因及分布

滑坡产生的原因可以主要概括为地质运动(如地震)和人类活动两个方面。陆地滑坡进入水中,或者海底滑坡都有可能引发海啸,滑落体引起

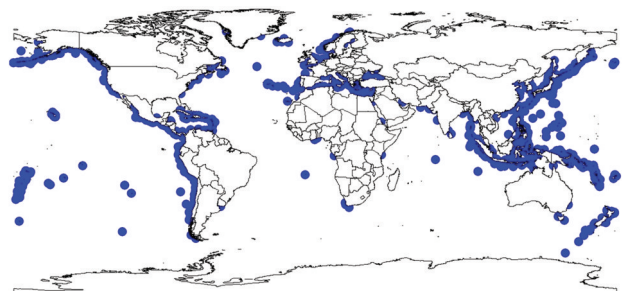


图1 全球海啸事件

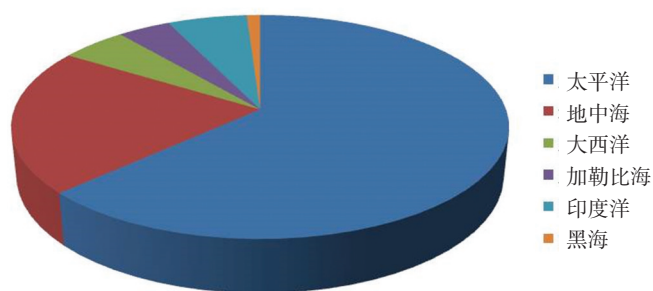


图2 海啸密集区比例

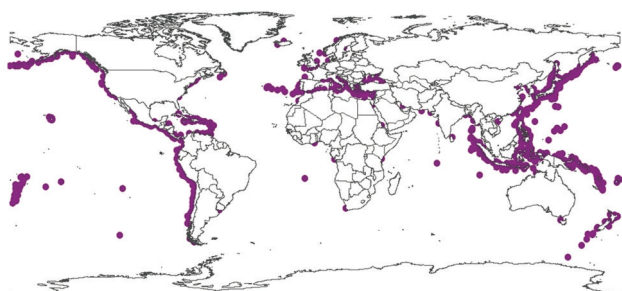


图3 全球地震海啸

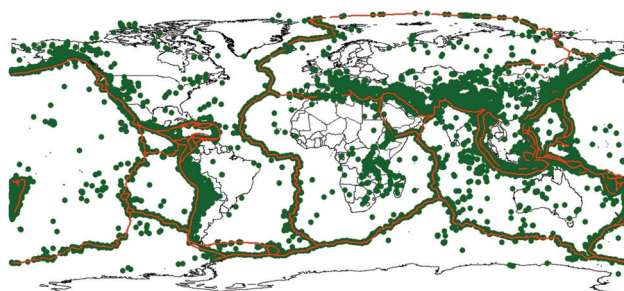


图4 全球地震

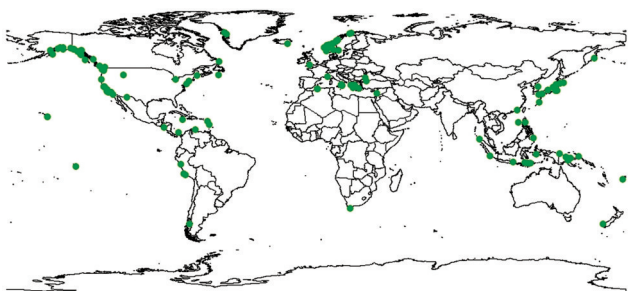


图5 全球滑坡海啸

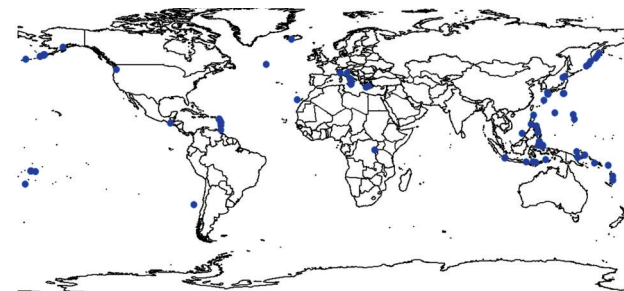


图6 全球火山海啸

水体移动从而产生海啸。滑坡海啸经常发生在海岸边、陆架坡、海岭或者海底峡谷区域,内陆湖泊也可能发生滑坡海啸。滑坡海啸占海啸事件总数的6.9%。图5显示的是全球滑坡海啸的分布,主要集中在太平洋、大西洋和地中海沿岸。

### 2.2.2 历史大事件

美国阿拉斯加利图亚湾历史上曾经发生过多次滑坡海啸事件,1958年滑坡事件中飞溅波浪曾将树木搬运到525 m的高度<sup>[12]</sup>。1964年,美国威廉王子湾滑坡海啸造成70多人死亡,海啸波高达30多米,由于海啸发生在半夜,因此造成重大损失,海啸波波及到夏威夷、日本等太平洋沿岸<sup>[13]</sup>。1998年,巴布亚新几内亚附近海域发生一次海底滑坡引发的海啸,高达15 m的海啸波冲击了该国,造成2200人

失去生命<sup>[14]</sup>。

## 2.3 火山海啸

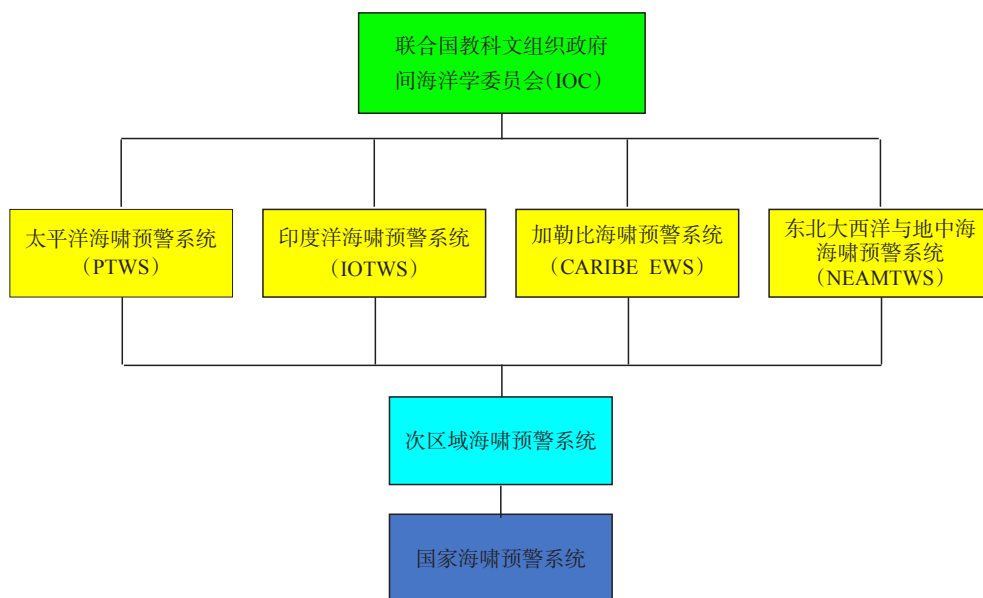
### 2.3.1 成因及分布

火山海啸一般属于小型局地海啸。火山海啸的产生原因主要包括海底火山喷发、火山喷发引起的地壳运动以及火山喷发物降落到海面上等,这些现象均有可能造成水体扰动,将能量传递到远处,从而形成海啸。火山海啸占海啸事件总数的5.9%,全球火山海啸的分布见图6,从图上看,太平洋西岸发生的火山海啸次数最多,地中海沿岸、大西洋及太平洋东岸也有火山海啸的发生。

### 2.3.2 历史大事件

历史上有一次火山海啸就造成3万多人死亡的





记载,1883年,印度尼西亚喀拉喀托火山发生喷发并引发了海啸,波高超过40 m,海啸冲毁了巽他海峡两岸的大量房屋设施,造成3.6万人死亡<sup>[15]</sup>。研究发现,公元前1490年古希腊米诺斯文化的毁灭与爱琴海中的圣托里尼火山爆发所产生的海啸有关。

### 3 海啸预警系统

#### 3.1 系统介绍

由于现在科技尚不能预测地震、火山等现象,所以海啸也不能预测,但是海啸可以预警。一旦有海啸发生,我们可以利用数值技术计算海啸的到达时间和波高,及时通知沿海居民,减小生命财产损失。越洋海啸一般需要几小时甚至几十小时后才能到达沿岸,如果海啸警报及时,民众是有时间进行撤离的。

美国在1948年就组建了夏威夷地震海啸预警系统。联合国政府间海洋学委员会(IOC)于1965年成立了太平洋海啸预警系统国际协调组(ICG/ITSU)。2004年印度洋大海啸发生后,地震海啸的预警引起了世界各国的重视。目前,针对地震海啸,世界各国已经在政府间海洋学委员会的框架下建立了比较完善的预警体系,共有四个区域性海啸预警系统,分别是太平洋海啸预警系统(PTWS)、印度洋海啸预警系统(IOTWS)、加勒比海啸预警系统

(CARIBE EWS)和东北大西洋与地中海海啸预警系统(NEAMTWS)。除此之外,还有许多次区域级和国家级海啸预警系统。

我国在1983年加入太平洋海啸预警系统国际协调组后,国家海洋环境预报中心开展了我国的海啸预警报业务<sup>[16]</sup>。目前,我国与太平洋海啸警报中心等多个国际海啸组织存在合作关系,已具备发布海啸预警报的能力。

#### 3.2 海啸数值计算

因为海啸属于小概率事件,没有大量观测资料提供研究,所以海啸数值模拟成为当今海啸研究领域的重要手段,在海啸预警系统中起到了重要作用。国际上,海啸数值模拟的发展是从上个世纪七八十年代开始的。1978年,Houston等人选取夏威夷群岛为研究对象,用有限差分线性浅水方程分别对1960年智利海啸和1964年阿拉斯加海啸进行模拟<sup>[17]</sup>;1988年,Imamura等研究了1960年智利海啸和1964年阿拉斯加海啸穿越大洋到达日本海岸的传播过程,用蛙跳有限差分格式解线性浅水方程,数学频散取代了方程的物理频散,既保证了物理上的正确,又提高了计算效率<sup>[18]</sup>。

进入上世纪90年代后,在前人研究成果的基础上,多个成熟稳定的海啸模型产生并发展起来。1995年,Imamura等人建立了TSUNAMI模型,在联合国TIME计划的推广下,模型曾在许多国家广泛

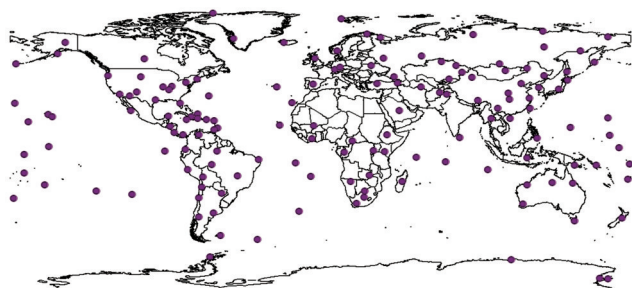


图8 全球地震网络

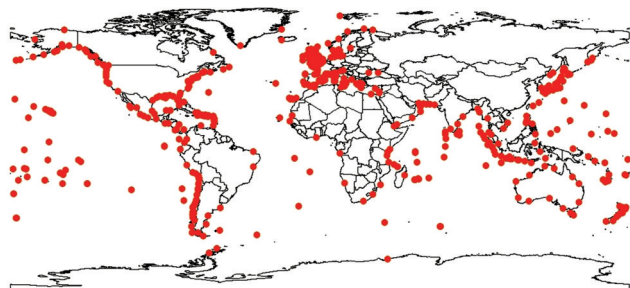


图9 全球潮位站

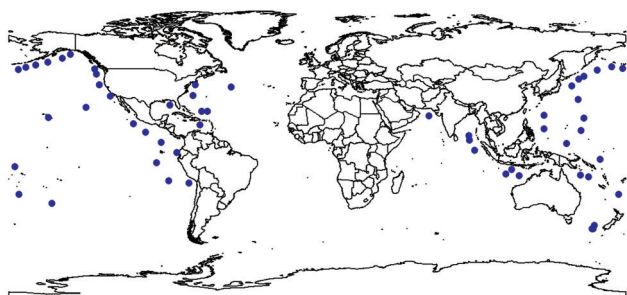


图10 全球海啸浮标

应用<sup>[19]</sup>;1997年, Titov 等发布了 MOST 模型, 该模型后来成为美国海洋与大气管理局海啸研究中心的常用模型<sup>[20]</sup>;1998年, Philip Liu 等在美国康奈尔大学发展起 COMCOT 海啸模型<sup>[20]</sup>, 采用多重网格嵌套的有限差分方法来模拟海啸波的传播和爬高, 该模型曾经成功的模拟了多次海啸事件<sup>[21]</sup>。

我国的海啸研究工作起步较晚, 2001年, 于福江建立了 CTSU 海啸模型<sup>[22]</sup>, 运用蛙跳格式求解浅水方程。模型已经在国家海洋环境预报中心开始业务化使用, 在我国海啸预警工作起到了重要作用。该模型已经成功对 2007 年千岛群岛海啸、2010 年智利海啸和 2011 年日本大海啸等多次海啸进行了数值模拟。

### 3.3 海啸监测

#### 3.3.1 地震监测

地震及水位监测信息同样在海啸预警系统中发挥着重要作用。要进行地震海啸的预警工作, 必须首先获得地震信息。世界很多国家都建有地震监测网络, 其中, 覆盖范围最大的是美国建立的全球地震网络(GSN), 目前全球有 150 多个站点(见图 8), 地震数据公开。GSN 与多个海啸预警系统合作, 为海啸预警提供及时准确的海底地震信息。

#### 3.3.2 水位监测

国际上水位监测的主要手段是潮位站和浮

标。联合国教科文组织(UNESCO)下属的政府间海洋学委员会联合各国潮位站组成了水位监测网络, 为海啸预警提供及时的近岸水位信息, 站点分布见图 9。从分布上看, 潮位站密集区域基本位于海啸多发区。

海啸浮标用于实时监测海面的异常变化, 美国国家海洋和大气局(NOAA)在全球布置了 50 多个 DART 海啸浮标(见图 10), 用以获取海啸波数据, 目前主要集中在环太平洋地区。一旦有海啸发生, 海啸浮标能够启动应急模式, 加密数据记录次数和发报次数, 数据能够直接传给海啸预警系统, 为海啸预警提供实时数据参考。

目前, 我国沿海建有 100 多个海洋站, 实时监测水位变化; 南海布放有 2 个海啸浮标, 直接监测南海海啸; 20 个海洋站建有地震监测仪, 监测我国海域的地震活动。未来, 我国还将加大浮标和地震仪的建设力度, 增强我国的海啸监测能力。

## 4 小结

本文主要统计分析了从公元前 2000 年至今的有记录的全球海啸灾害数据, 给出了其分布特点以及历史大事件, 并简要介绍了世界海啸预警体系、数值计算技术以及海啸监测等情况。海啸虽然是小概率事件, 但全球海啸主要发生在太平洋海域,

我国位于太平洋西北岸,面临着海啸灾害的威胁。因此,我们应该提高民众海啸意识,做好海啸疏散图、海啸灾害评估等防灾减灾工作。

### 参考文献:

- [1] 陈颢. 海啸的成因与预警系统[J]. 自然杂志, 2005, 27(1): 4-7.
- [2] 王锋, 刘昌森, 章振铨. 中国古籍中的地震海啸记录[J]. 中国地震, 2005, 21(3): 437-443.
- [3] World Data System. Global Historical Tsunami Database. Boulder, CO, USA: National Geophysical Data Center, [2012-8-19]. [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml)
- [4] Novosibirsk Tsunami Laboratory. Historical Tsunami Database for the Pacific, 47 B. C. to present. Novosibirsk, Russia: Siberian Division Russian Academy of Sciences, 2005. [2012-8-19]. <http://tsun.sssc.ru/htdbpac/events/Main.asp?Continue=Event+data>
- [5] 陈颢, 陈棋福. 印尼地震海啸及其相关的地球物理现象[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 112-117.
- [6] 崔秋文, 李建一, 董军, 等. 印度洋大地震与海啸灾害综述[J]. 山西地震, 2005, (3): 42-48.
- [7] 陈虹, 李成日. 印尼 8.7 级地震海啸灾害及应急救援[J]. 国际地震动态, 2005, (4): 22-26.
- [8] Grezio A, Gasparini P, Marzocchi W, et al. Tsunami risk assessments in Messina, Sicily-Italy[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2012, 12: 151-163.
- [9] 孟庆龙, 王旭东. 自然启示录: 1755 年里斯本地震海啸对葡萄牙社会的冲击和影响[J]. 史学理论研究, 2005, (2): 96-106.
- [10] Takashi F, Kentaro I, Takuto M, et al. Tsunami Simulation for the Great 1707 Hiei, Japan, Earthquake using the Earth Simulator[J]. Annual Report of the Earth Simulator Center, 2011: 95-101.
- [11] Okal EA, Borrero JC, Synolakis CE, et al. Evaluation of Tsunami Risk from Regional Earthquake at Pisco, Peru[J]. Bulletin of the Seismological society of America, 2006, 96(5): 1634-1648.
- [12] Fritz H M, Hager W H, Minor H E. Lituya Bay Case: Rockslide Impact and Wave Run-Up, Science of Tsunami Hazards, 2001, 19: 3-22.
- [13] Zhang Y L, Witter R C, Priest G R, et al. Tsunami-tide interaction in 1964 Prince William Sound tsunami[J]. Ocean Modelling, 2011, 40(3): 246-259.
- [14] Tappin D R, Watts P, McMurtry G M, et al. The Sissano, Papua New Guinea tsunami of July 1998: Offshore evidence on the source mechanism[J]. Marine Geology, 2001, 175: 1-23.
- [15] George Pararas-Carayannis. Near and Far-field Effects of Tsunamis Generated by the Paroxysmal Eruptions, Explosions, Caldera Collapses and Massive Slope failures of the Krakatau Volcano in Indonesia on August 26-27, 1883[J]. Science of Tsunami Hazards, 2007, 21(4): 191-201.
- [16] 叶琳, 于福江, 吴玮. 我国海啸灾害及预警现状与建议[J]. 海洋预报, 2005, 22(1): 147-157.
- [17] Houston J R. Interaction of tsunamis with the Hawaiian islands calculated by a finite-element numerical model[J]. J of Phys Oceanography, 1978, 8: 93-102.
- [18] Imamura F, Goto C. Truncation error in numerical tsunami simulation by the finite difference method[J]. Coastal Eng In Japan, 1988, 31: 245-263.
- [19] 于福江, 吴玮, 赵联大. 基于数值预报技术的日本新一代海啸预警系统[J]. 国际地震动态, 2005, (1): 19-22.
- [20] 王培涛, 赵联大, 于福江, 等. 海啸灾害数值预报技术研究现状[J]. 海洋预报, 2011, 28(3): 74-79.
- [21] Liu P F, Cho Y, Yoon S B, et al. Numerical simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii[R]. Recent Development in Tsunami Research, 1994, 99-115.
- [22] 于福江, 叶琳, 王喜年. 1994 年发生在台湾海峡的一次地震海啸的数值模拟[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 32-39.

## Review of global tsunami disaster and tsunami warning system

HOU Jing-ming, LI Tao, FAN Ting-ting, SHAN Di

(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

**Abstract:** In this paper, the data of the global historic tsunami events are statistically analyzed. Combining with some corresponding study results of tsunami, the distribution characteristic and major historic events of global tsunami are reviewed, and the tsunami warning systems including monitoring facilities and tsunami numerical techniques are introduced.

**Key words:** global tsunami; distribution; prevention measures