

美国夏威夷州海啸灾害研究概述

张金凤

(天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

摘 要: 夏威夷是世界上最易遭受海啸洪水灾害的地区之一。本文介绍了美国夏威夷群岛在海啸实时监测和数值模拟方面的研究进展, 并重点介绍了夏威夷海啸预警系统的组成与作用。

关键词: 海啸灾害; 海啸实时监测; 海啸预警; 夏威夷

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)02-0089-06

1 引言

海啸是由海底地震、海底火山爆发、海岸和海底山体滑坡、小行星和彗星溅落大洋以及海底核爆炸等产生的, 是具有超大波长和周期的大洋行波^[1]。2004年印尼苏门答腊附近海域发生强烈地震, 引发的海啸波及东南亚和南亚至少10个国家, 造成近20万人死亡和重大的财产损失^[2], 引起世界各国高度重视, 对海啸进行了深入研究。我国位于太平洋西岸, 台湾岛屿及日本海岛屿一带是地震多发地带, 尽管我国海区外围有成串的岛屿、暗礁环绕, 形成了一道抵抗海啸的天然屏障^[3]。但我国也可能是地震海啸袭击的地区, 尤其是中国东南沿海, 对这一带有较大影响的海啸主要是菲律宾西侧的大地震、印度尼西亚巽他海峡的火山喷发以及中国南海的大型海底滑坡^[4]。为了对我国的海啸研究与预防提供参考, 本文对美国夏威夷群岛的海啸研究进行总结。

夏威夷(Hawaii)群岛长期遭受从太平洋地震带(远离夏威夷)和近岸地震带产生的海啸灾害。自从1837年以来夏威夷Oahu岛总共遭受了11次海啸, 海水漫滩高度达到1 m以上^[5], 其中1946年从阿留申群岛地震源产生的海啸造成Oahu岛上Kahuku沿岸增水高达7.2 m, 159人死亡, 大量沿

岸房屋倒塌, 造成重大的财产损失^[6]。近年来, 2001和2007年秘鲁(Peru)海啸以及2004年印尼苏门答腊海啸对夏威夷岛也产生了影响, 使近岸波浪增水, 但没有造成巨大损失。海啸灾害一直受到夏威夷州和美国政府的高度重视, 国家海洋和大气局(NOAA)专门成立了太平洋海啸预警中心, 同时采取了一系列的措施以减小海啸带来的人员和财产损失, 比如对海啸进行实时监测^[8], 并通过数值模拟方法模拟海啸发生^[9], 建立了完备的海啸预警系统和完善的撤离体系^[6]。

2 海啸实时监测

及时准确地对海啸进行监测是提高防灾减灾能力的关键。海啸监测可以通过潮位站观测、浮标测量和高精度卫星遥感等手段进行^[1]。NOAA在夏威夷岛共设置了Nawiliwili、Honolulu、Mokuoloe、Kahului、Kawaihae和Hilo等6个潮位测站(见图1), 实时监测潮位变化, 时间精度最小为15 s, 最大为6 min。夏威夷大学海洋与资源工程系在Oahu岛Kilo Nalu建立了一个潮位观测站, 实时准确观测Oahu近岸潮位, 潮流速度以及水温等。高精度卫星遥感图片可以拍摄到地震海啸波的传播, 同时高精度卫星测量的陆地高程以及海洋水深数据可以为数值模拟提供精确的地形数

收稿日期: 2009-07-06

作者简介: 张金凤(1978-), 女, 讲师, 主要从事海岸河口水动力及海啸、风暴潮灾难气候研究。E-mail: orejzhang@gmail.com

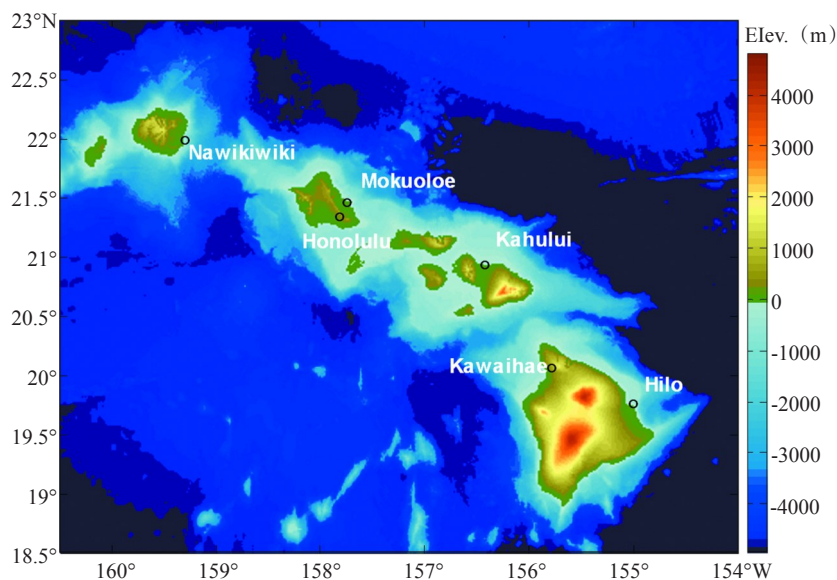


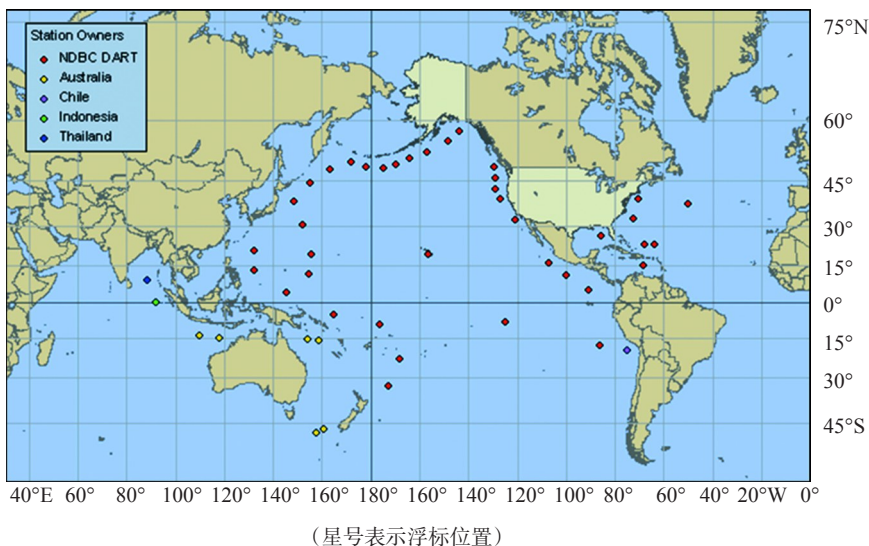
图1 夏威夷潮位测站示意图

据, 为准确模拟提供保证。

深水浮标 (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, 简称 DART) 测量是进行海啸实时监测的最有效手段^[10]。1984 年 NOAA 太平洋海洋环境实验室 (PMEL) 发展了深海海啸监测系统, 2003 年在原有基础上提高了测量精度, 建立了 DART 深水浮标监测体系, 可以监测到波高小于 1 cm 的海啸, 极大地提高了海啸实时监测能力。截止到 2008 年, 美国在太平洋、大西洋以及加勒比海

域共设置深水浮标测站 39 个, 其中夏威夷岛附近有一个测站 51407 (见图 2)^[11]。2009 年澳大利亚、智利、印度尼西亚以及泰国也设置了深水浮标系统, 用于海啸预警。

地震源发生海啸, 深水浮标测站实时监测得到波高数据, 由于海啸传播需要一定的时间, 这样便于沿岸城市及时作出预防措施, 避免灾害的发生。

图2 太平洋 DART 深水浮标位置示意图^[11]

3 海啸数值模拟

数值模拟方法是模拟和预报海啸灾害的有效手段之一。数值模拟不仅可以模拟地震、海啸波浪传播以及近岸爬坡的全过程,而且可以为海啸预警系统提供大量的数据,为准确模拟和评估海啸灾害,建立海啸预警系统提供必要的支撑。

二十世纪七、八十年代,美国海岸和水动力实验室(CHL)一直承担对海啸数值模拟的研究,尤其针对袭击夏威夷诸岛的几次海啸进行了数值模拟。Houston等^[9]用有限元方法模拟了1960年智利海啸和1964年阿拉斯加海啸,计算结果与夏威夷附近潮位测点吻合良好,并对海啸波进行了谱分析;随后Farrar和Houston^[12]模拟了海啸对Oahu岛Barbers港口共振响应。从九十年代开始国家科学基金(NSF)设立了专项基金对海啸数值模型进行研究,同时美国俄勒冈州(Oregon)大学承担了海啸数值模拟研究。NOAA专门成立了海啸研究中心(NOAA Center for Tsunami Research),开发了MOST(Method of Splitting Tsunami)数值模型^[13],可以模拟地震、海啸波浪传播以及近岸爬坡的全过程,该研究中心发表了大量的有关海啸数值模拟文章^[14-16]。

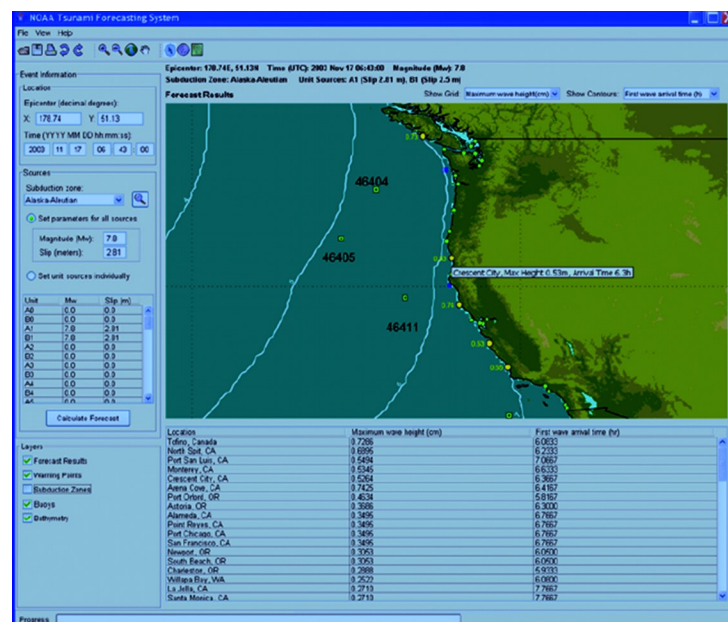
此外,许多学者对海啸数值模拟进行了大量的研究^[17-18]。Curtis^[19-20]利用一维数学模型结合洪水以及近岸波浪增水历史记录,给出了夏威夷Oahu岛海啸撤离区域地图,并印发在了电话簿上;Wei等^[21]发展了二维模型,模拟海啸波浪增水,可以把该方法应用到夏威夷海啸撤离区域地图项目中,建立更加准确详细的海啸撤离范围地图;Dao等^[22]发展了一种基于POD的数值模型能快速模拟海啸传播以及海啸近岸波高;Michele等^[23]利用人工神经网络预测海啸的产生和传播过程;Borrero等^[24]数值模拟了2007年苏门答腊海啸,在实测资料的基础上比较了4种不同的海啸模型对海啸传播模拟的影响。数值模拟还可以为海啸预警系统提供大量的数据,如Wei等^[25]和Yamazaki等^[26]在反演算法的基础上,得到太平洋地震带的地震参数资料,利用数值模型模拟海啸传播过程,并通过深水浮标(DART)实时监测数据对模拟结果进行验证,最后得到近岸波浪漫滩区域以及爬坡高度^[10]。

4 海啸预警系统

第二次世界大战期间,利用一些基本的通讯和设施建立了最初的海啸预警系统,主要是根据地震参数和潮位测站提供海啸预警信息。该预警系统成功地应用于1952年和1957年海啸,避免了灾害损失;可是在1960年智利海啸袭击夏威夷时,并没有给出正确的预警信号和撤离范围,造成Hilo附近至少60人死亡。随后,为了减少和降低海啸对夏威夷群岛造成的损失,美国和夏威夷州采取了一系列的措施,完善海啸预警系统。

目前,在海啸实时监测和数值模拟的基础上,建立了一整套海啸预警系统。太平洋海啸预警中心(Pacific Tsunami Warning Center,简称PTWC)位于夏威夷Oahu岛,是美国建立的两个海啸预警中心之一,它是国际海啸预警系统的一部分,也是夏威夷州海啸预警中心。其主要职责是通过分布在整个太平洋区域的地震台站和海洋潮汐台站组成的监测系统,并发布海啸警报信息^[27]。NOAA太平洋海洋环境实验室(PMEL)开发了短时海啸洪水预报(Short-term Inundation Forecasting for Tsunamis,简称SIFT)系统,可以预报海啸振幅、波浪传播速度以及达到近岸传播时间等,同时实时洪水模型(Stand-by Inundation Models,简称SIM)可以可视化预报指定海岸海啸信息,为安全撤离提供足够的时间。SIFT和SIM模型结合形成了太平洋海啸预警系统,包括夏威夷岛^[8]。

2004年印尼苏门答腊海啸以后,美国政府加强了海啸预警系统建设,扩展了国家海啸灾害减灾项目的范围,以增强美国沿岸的海啸预警能力^[28-30]。实时海啸预警系统主要是基于DART深水实测数据和海啸预报数值模型(MOST)并结合其他一系列的高精度的海啸预报模型实现的^[17]。太平洋海啸预警系统建设过程:首先预先建立沿太平洋地震带地震参数以及海啸产生、传播、近岸洪水数据库,数据要进行数据同化处理;地震发生后,从数据库中提取海啸源参数资料;当海啸传播到DART测站后,实时监测数据传到PTWC,再次精确的得到海啸源参数;通过海啸模拟软件MOST以及SIFT模拟得到海啸传播过程以及洪水数据;最后通过SIM模型发布海啸预警,用户可

图3 海啸预警系统用户查询界面^[31]

以通过信息系统界面^[31](见图3)查询海啸信息。整个海啸预警系统,从预警流程和预警范围来看还有待于进一步完善。

5 结语

夏威夷群岛长期遭受太平洋沿岸海底地震带产生的海啸威胁,尤其是1946阿留申群岛海啸给夏威夷当地造成了重大损失,引起了美国和夏威夷州高度重视,采取了一系列的措施预防和控制海啸灾害。通过潮位观测站、卫星遥感图像和深水浮标等实时监测海啸的产生和传播;并采用各种数值模拟方法有效地模拟海啸地震源参数、海啸传播以及近岸波浪增水等;在实时监测和数值模拟结果的基础上建立了一整套完善的海啸预警系统。近年来,我国海啸研究与预报也得到了长足发展,但是在海啸实时监测以及海啸预警系统方面还存在许多不足,同时我国长期遭受台风和风暴潮袭击,建立一套完整的防灾减灾信息系统对海啸、风暴潮等灾害进行实时监测、分析和预报成为今后研究的热点。

致谢:作者在夏威夷大学海洋与资源工程系从事博士后研究期间,得到K. F. Cheung教授的指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] 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(S): 147-157.
- [2] 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.
- [3] 温瑞智,公茂盛,谢礼立.海啸预警系统及我国海啸减灾任务[J].自然灾害学报,2006,15(3): 1-7.
- [4] 陈颢,陈棋福,张尉.中国的海啸灾害[J].自然灾害学报,2007,16(2): 1-6.
- [5] Walker D A. Tsunami Facts, SOEST Technical Report 94-03[R]. University of Hawaii, Honolulu, 1994, 1-93.
- [6] Curtis G D. Tsunami mitigation in Hawaii[J]. Solutions to Coastal Disasters Congress, 2008, 140-147.
- [7] Keating BH. The 1946 tsunami at Kahuku, Ne Oahu, Hawaii[J]. Solutions to Coastal Disasters Congress, 2008, 157-168.
- [8] Titov V V, Gonzales F I, Bernard E N, et al. Real-time tsunami forecasting: Challenges and solutions[J]. Nat. Hazards, 2005, 35: 41-58.
- [9] Houston J R. Interaction of tsunamis with the Hawaiian Islands calculated by a finite element numerical model[J]. Journal of Physical Oceanography, 1978, 8(1): 93-102.
- [10] Wei Yong, Bernard E N, Tang Liujuan, et al. Real-time experimental forecast of the Peruvian tsunami of August 2007 for U.S. coastlines[J]. Geophysical research letters, 2008, 35, L04609, doi:10.1029/2007GL032250.
- [11] NOAA map[Z]. 2006. <http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/Jpg/dart-locations-2006b.jpg>.

- [12] Farrar P D, Houston J R. Tsunami response of Barbers Point Harbor, Hawaii[R]. WES Miscellaneous Paper HL-82-1, 1982.
- [13] Titov V, González F I. Implementation and testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) model[R]. NOAA Tech. Memo. ERL PMEL-112 (PB98-122773), NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA, 1997.
- [14] Titov V V, Mofjeld H O, Gonzalez F I, et al. Offshore forecasting of Alaska-Aleutian Subduction Zone tsunamis in Hawaii[R]. NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-114, 1999.
- [15] Tang L C, Chamberlin E, Tolkova M, et al. Assessment of potential tsunami impact for Pearl Harbor, Hawaii[J]. NOAA Tech. Memo. OAR PMEL, 2006.
- [16] Tang L, Titov V V and Chamberlin C D. A Tsunami Forecast Model for Hilo, Hawaii[R] NOAA OAR Special Report, PMEL Tsunami Forecast Series: Vol. 1, 2009.
- [17] Synolakis C E, Bernard E N, Titov V V. et al. Validation and verification of tsunami numerical models[J]. Pure appl. geophys. 2008, 16: 2197-2228.
- [18] 姚远, 蔡树群, 王盛安. 海啸波数值模拟的研究现状[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 487-494.
- [19] Curtis G, Mader C. Real-time Monitoring and modeling for tsunami threat evaluation[J]. Science of Tsunami Hazards, 1987, 5(1): 49-55.
- [20] Curtis G. A methodology for developing tsunami inundation and evacuation zones[C]. Proc. of the Pacific Congress on Marine Technology, Tokyo, 1990.
- [21] Wei Y, Mao X Z, Cheung K F. Well-balanced finite volume model for longwave runoff[J]. J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng. 2005, 132(2): 114-124.
- [22] Dao M H, Tkalich P and Chan E S. Tsunami forecasting using proper orthogonal decomposition method[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113, C06019.
- [23] Michele R, Liong S Y and Vu M T. et al. Artificial neural network for tsunami forecasting[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 36: 29 - 37.
- [24] Borrero J C, Weiss R, Okal E A. The tsunami of 2007 September 12, Bengkulu province, Sumatra, Indonesia: Post-tsunami field survey and numerical modeling[J]. Geophys. J. Int., 2009, 178, 180-194.
- [25] Wei Y, Cheung K F, Curtis G D, et al. Inverse algorithm for tsunami forecasts[J]. J Waterw Port Coastal Ocean Eng., 2003, 129(2): 60-69.
- [26] Yamazaki Y, Wei Y, Cheung K F, et al. Forecast of tsunamis from the Japan - Kuril - Kamchatka source region[J]. Natural Hazards, 2006, 38: 411-435.
- [27] 刘瑞丰, 梁建宏, 任泉等. 国际海啸预警系统(ITWS)[J]. 地震地磁观测与研究, 2005, 26(1): 3-7.
- [28] Tang L, Chamberlin C, Titov V V. Developing tsunami forecast inundation models for Hawaii: Procedures and testing. NOAA Tech[R]. Memo. OAR PMEL-141, 2008.
- [29] Bernard E N, Robinson A R. The Sea, Tsunamis[B]. Harvard Univ. Press, Cambridge, 2009.
- [30] Tang L, Titov V V, and Chamberlin C D. Development, testing, and applications of site-specific tsunami inundation models for real-time forecasting[J]. J Geophys Res, 2009, 114, C12025, doi: 10.1029/2009JC005476.
- [31] Venturato A J, Denbo D W, Titov V V. et al. Development of a Real-time Tsunami Forecasting System[Z]. <http://nctr.pmel.noaa.gov/tsunami-forecast.html>.

A review of tsunami hazard in Hawaii

ZHANG Jin-feng

(School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072 China)

Abstract: Hawaii is one of the regions prone to flooding damage from tsunamis. The real-time reporting and numerical simulation of tsunamis in Hawaii are introduced. Furthermore, the tsunami warning system in Hawaii is presented emphatically.

Keywords: tsunami hazard; tsunami real-time reporting; tsunami warning; Hawaii