

2010 年智利强震引发的海啸对台湾周边海域的影响

谢燕双, 商少平*, 魏 艳, 张 莉

(厦门大学 海洋与地球学院, 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 2010 年 2 月 27 日南美洲智利中部近岸发生强震并引发海啸. 利用海啸期间台湾周边海域验潮站的潮位资料, 分析了此次海啸对台湾周边海域的影响, 海啸波通过太平洋于震后 25.5 h 到达台湾周边海域, 最大波高达 44 cm. 进而从理论上讨论了海啸传播时间和波高变化的简单计算方法, 并引入了波高衰减因子. 结果表明, 该简单计算方法能快速且较准确地计算出海啸波的传播时间, 引入的波高衰减因子, 可在一定程度上为台湾周边海域海啸的方便快捷的预警提供参考.

关键词: 海啸; 台湾; 验潮站; 波高

中图分类号: P 731.25

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2012)05-0898-05

海啸是由海底地震、火山爆发、海底塌陷滑坡等大地活动, 或行星撞击、海底核爆等大的扰动所产生的具有超长波长和周期的大洋行波. 当海啸波传到岸边时, 由于受到岸边的海底地形等影响, 速度减慢, 波长变小, 波高陡增, 骤然形成“水墙”, 对沿岸生命财产等造成极大的危害^[1-2]. 2010 年 2 月 27 日智利中部近岸发生 8.8 级强震并在智利沿岸引发海啸, 造成 521 人死亡, 直接经济损失高达 300 亿美元, 其中海啸受灾人数为 124 人^[3]. 本文将通过 2010 年智利海啸期间台湾周边海域验潮站的潮位资料, 分析此次海啸对台湾周边海域的影响, 以期在台湾周边海域的海啸预警提供参考.

1 2010 年智利强震引发的海啸

2010 年 2 月 27 日当地时间 03:34 (北京时间 27 日 14:34), 南美洲智利中部近岸 (36.1°S, 72.6°W) 发生里氏 8.8 级大地震, 并在智利沿岸引发海啸. 据国家海洋环境预报中心发布海啸信息, 截止发布时间 2 月 28 日 11:00, 太平洋上的海啸浮标监测得到最大海啸波振幅发生在智利 Vaparaiso 验潮站 (33°S, 71.4°W), 为 2.6 m. 智利 Coquimbo 海洋站、马克萨斯群岛的 Hivaoa 海洋站监测到 1~2 m 的海啸波, 其余的太平洋国家的沿海站监测到的海啸波均不超过 1 m. 智利

收稿日期: 2012-03-12

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目 (200905013-7)

* 通信作者: spshang@xmu.edu.cn

海啸以 400~800 km/h 的速度向外传播, 预测于北京时间 28 日 14:00 影响中国台湾, 15:00~16:00 到达中国大陆沿海. 预计我国沿岸产生的海啸波高不会超过 20 cm.

2 2010 年智利海啸对台湾周边海域的影响

2.1 数据和方法

台湾“中央气象局全球资讯网”发布台湾周边海域 34 个验潮站的潮位观测资料, 图 1 为验潮站分布示意图, 但是其中麦寮和嘉和验潮站智利海啸影响期间无观测数据, 淡水和台北港期间数据质量不佳. 本文利用除麦寮、嘉和、淡水、台北港外的其他 30 个验潮站海啸期间的观测数据, 初步分析智利海啸对台湾周边海域的影响.

验潮站每 6 min 采样一次, 选取的潮位序列的时间为 2 月 25 日 15:00 至 3 月 3 日 0:00, 以分析海啸波的整个生消过程, 时间序列中少数缺测值采用线性内插值补齐. 在海啸影响期间, 潮位序列主要表现为较高频的海啸波叠加在长周期的潮汐信号上. 本文使用移动平均对原始潮位序列进行平滑滤波, 进行平滑的邻近像元点数取 10, 取得平滑潮位序列, 将原始潮位序列减去平滑潮位序列的残差序列视为海啸波序列. 波高和周期是描述海啸波最基本的两个特征量, 以第 1 个到达验潮站的显著波峰或波谷作为该站位的海啸波到达时间, 以过程中出现的最大波高作为该站位的最大海啸波高. 此外, 采用 Welch 法估计功率谱来分析

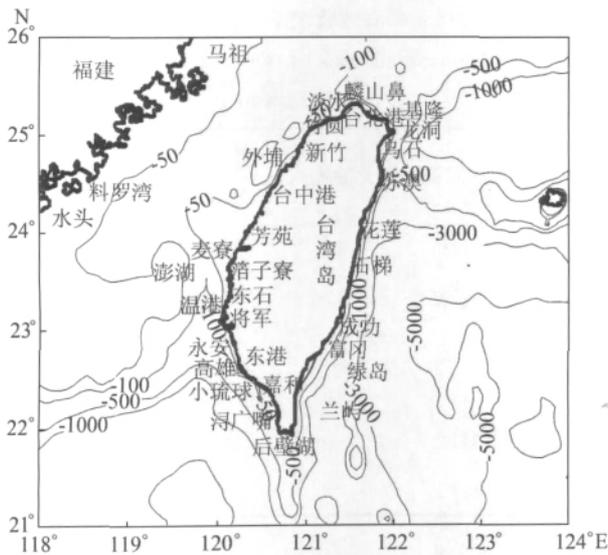


图 1 台湾周边海域等深线和验潮站分布示意图(单位:m)
Fig. 1 Bathymetric and tide gauges surrounding Taiwan(unit:m)

海啸波的周期, Welch 法采用信号重叠、加窗函数和快速傅里叶变换(FFT)等算法来计算一个信号序列的自功率谱^[4], FFT 的长度取 256, 并定义长度为 32 的 hamming 窗函数, 分段序列不重叠, 最后得到较光滑的谱线. 台湾西部海域验潮站均未记录到海啸信号.

2.2 实测分析

2.2.1 台湾东部海域验潮站

台湾东部海域设有花莲、成功、兰屿(如图 1 所示)

等 6 个验潮站. 选取验潮站 2010 年 2 月 26 日至 3 月 2 日的潮位变化曲线图, 截取期间具有明显海啸信号时间段的潮位变化曲线图, 并对该时间段的潮位曲线进行滤波处理, 同时得到高频的海啸波和低频的天文潮波. 对海啸波序列进行波高和频谱分析. 以成功验潮站为例, 图 2(a)、(b)分别为验潮站的各曲线图. 由海啸波曲线可见, 验潮站在地震发生约 25.5 h, 即 2010 年 2 月 28 日 16:00 左右记录到明显的海啸信号, 比预测时间即 2 月 28 日 14:00 迟约 2 h, 海啸波到达的第 1 天(海啸波到达 1.3 h 后)观测到最大波高为 32 cm, 第 2 天最大波高降低至 9 cm, 第 3 天海啸信号基本消失, 潮位曲线恢复正常. 图 2(c)为海啸波信号的频谱图, 选取主峰作为海啸波信号的主频, 为 0.99×10^{-3} Hz, 则周期为 17 min. 东部海域布设的富冈和兰屿验潮站均未观测到海啸波信号, 其他各验潮站的分析结果见表 1. 海啸波从南至北影响东部海域, 周期为 10~60 min, 最大波高滞后于海啸波到达时间约 0.5~1.3 h, 于福江等^[5]认为这是在海啸波周期性强迫下港口出现高频振荡并叠加在原始波形上使得水位进一步升高, 其中成功站的最大波高最大.

2.2.2 台湾北部海域验潮站

台湾北部海域设有竹圆、基隆港、苏澳(如图 1 所示)等 8 个验潮站, 以苏澳站为例, 图 3 为该验潮站的潮位变化和滤波得到的各曲线图. 由海啸波曲线可见, 苏澳站在地震发生约 25.7 h 记录到海啸信号, 海

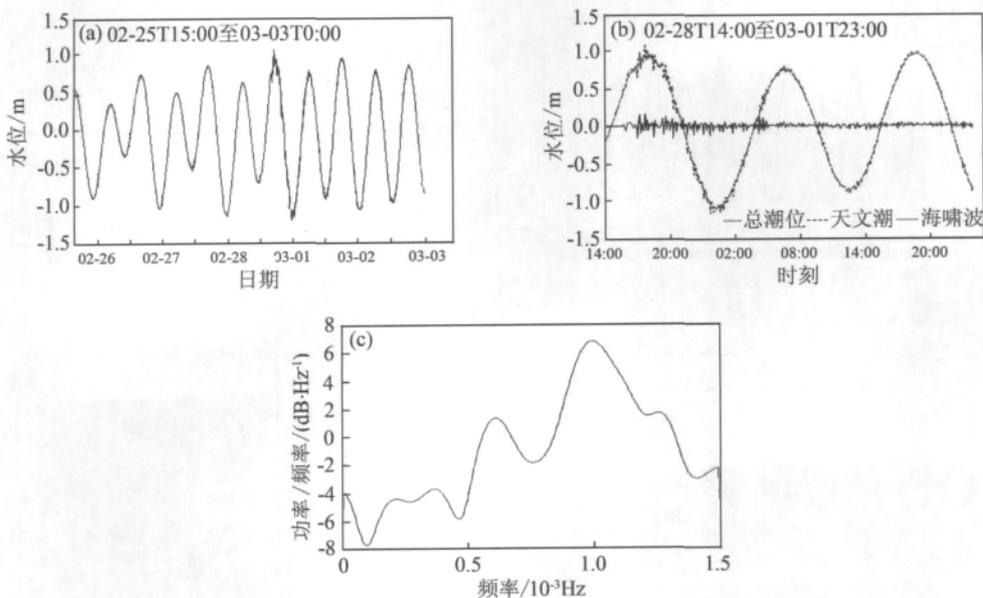


图 2 成功验潮站水位曲线和频谱图

Fig. 2 Sea level curve and power spectral density of Chenggong gauge

表1 台湾东部海域验潮站的海啸波分析结果

Tab.1 Tsunami analysis of tide gauges surrounding East Taiwan

验潮站	抵达时间	最大波高/cm	最大波高 发生时间	周期/min
花莲	16:24	17	17:12	11
石梯	16:24	11	17:12	42
成功	16:00	32	17:18	17
绿岛	16:00	9	16:30	52

表2 台湾北部海域验潮站的海啸波分析结果

Tab.2 Tsunami analysis of tide gauges surrounding North Taiwan

验潮站	抵达时间	最大波高/cm	最大波高 发生时间	周期/min
竹圆	18:18	19	18:36	49
麟山鼻	17:18	12	18:06	46
基隆港	17:12	25	17:36	52
龙洞	16:48	16	17:30	30
乌石	16:12	30	16:48	30
苏澳	16:12	32	18:00	26

海啸波到达的第1天(海啸波到达1.8h后)观测到最大波高为32cm,第2天最大波高降至5cm,第3天海啸波信号基本消失,潮汐曲线恢复正常.海啸波频谱图的主频为 0.64×10^{-3} Hz,则周期为26min.北部海域布设的淡水和台北港验潮站在此期间的观测数据由于质量问题未能采用,其他各验潮站的分析结果见表2.海啸波从东北至西北影响北部海域,周期为20~60min,最大波高滞后于波到达时间0.3~1.8h,且苏澳站的最大波高最大.

2.2.3 台湾西南部海域验潮站

台湾西南部海域设有将军、高雄、后壁湖(如图1所示)等8个验潮站.以后壁湖站为例,图4为该验潮站的潮位变化及滤波得到的各曲线图.由海啸波曲线可见,后壁湖站在地震发生约25.6h记录到海啸信

号,海啸波传到的第1天(海啸波到达2.8h后)观测到最大波高达44cm,第2天最大波高降低至15cm,第3天海啸信号逐渐消失,潮汐曲线恢复正常.海啸波频谱的主频为 1.4×10^{-3} Hz,则周期为12min.西南部海域布设的嘉和验潮站此间无数据,其他验潮站的分析结果见表3.海啸波从南至北影响西南部海域,周期为10~50min,最大波高滞后于海啸波到达时间2.8~4.6h,且越往北滞后时间越长,可能是海啸波导致台湾海峡发生轻微振荡,反射波使得观测得的海啸波增强,后壁湖站的最大波高最大.

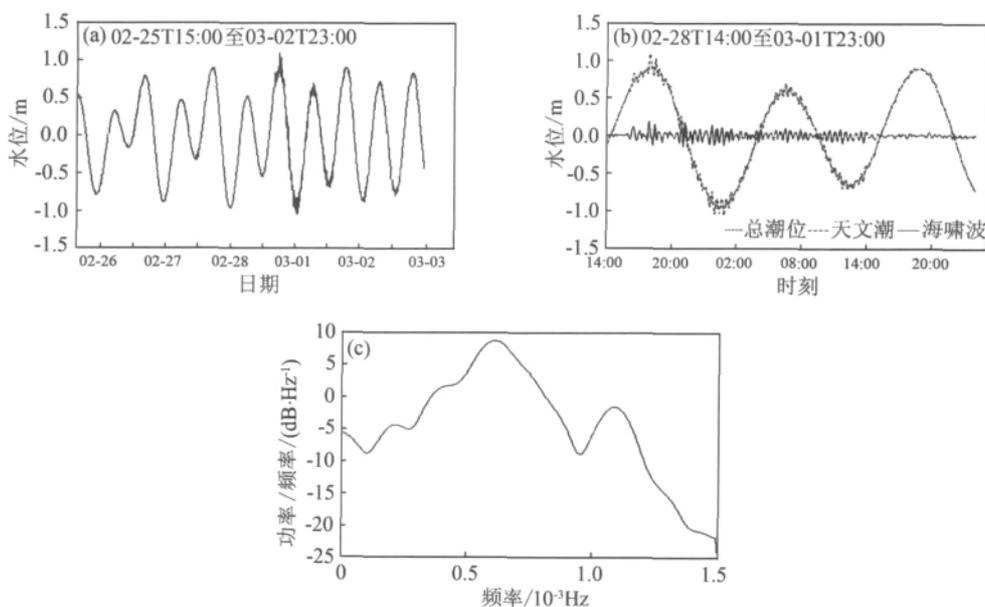


图3 苏澳验潮站水位曲线和频谱图

Fig.3 Sea level curve and power spectral density of Suao gauge

表 3 台湾西南部海域验潮站的海啸波分析结果
Tab.3 Tsunami analysis of tide gauges surrounding Southwest Taiwan

验潮站	抵达时间	最大波高/cm	最大波高 发生时间	周期/min
后壁湖	16:06	44	18:54	12
浚广嘴	16:42	10	19:12	34
东港	16:42	18	19:06	37
小琉球	17:00	8	19:06	41
高雄	17:24	29	20:18	36
永安	17:24	22	20:12	29
将军	17:24	19	22:00	23

周边海域的等深线分布如图 1 所示。N 取 2 500, 每一等分约 7.8 km, 对台湾周边海域的验潮站分别取东部的成功、北部的苏澳以及西南部的后壁湖、东港以及将军站为例, 依上述方法进行计算, 得到海啸波从智利地震源到各验潮站的传播时间见表 4。

表 4 海啸传播时间表
Tab.4 Tsunami wave propagation time

验潮站	经纬度(°E, °N)	计算传播时间/h	实测传播时间/h
成功	121.4, 23.1	26.0	25.5
苏澳	121.9, 24.6	26.6	25.7
后壁湖	120.5, 21.8	26.3	25.6
东港	120.4, 22.5	26.8	26.2
将军	119.7, 23.2	27.2	26.9

2.3 传播时间和海啸波高的简单计算

2.3.1 传播时间的计算

海啸波以长波的形式传播^[5], 传播速度为 $C = \sqrt{gH}$, 其中 g 为重力加速度, H 为水深。设海啸从地震源到某一目标海域的距离为 L , 将 L 分为 N 等分, 则海啸波从地震源传播至该目标海域的时间 $t = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{C_i} = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{\sqrt{gH_i}}$, 其中 l_i, H_i 分别为第 i 等分的距离和水深。本文水深数据由 Etopo2(4'×4') 资料得到, 台湾

2.3.2 波高衰减因子

海啸波在实际传播过程中, 由于波峰线变宽、海底摩擦等因素的影响^[6], 波高变小, 当传入浅海, 则波高变大。台湾东海岸前两个因素的影响大于后者, 本文引入波高衰减因子 β , 以期海啸预警提供参考。 $\beta A_1 = A_2$, 其中 A_1, A_2 分别为智利验潮站及台湾验潮站的实测波高, 智利 Vaparaiso 验潮站测到的最大海啸振幅为 2.6 m, 台湾周边海域验潮站的波高衰减因子如表 5 所示。

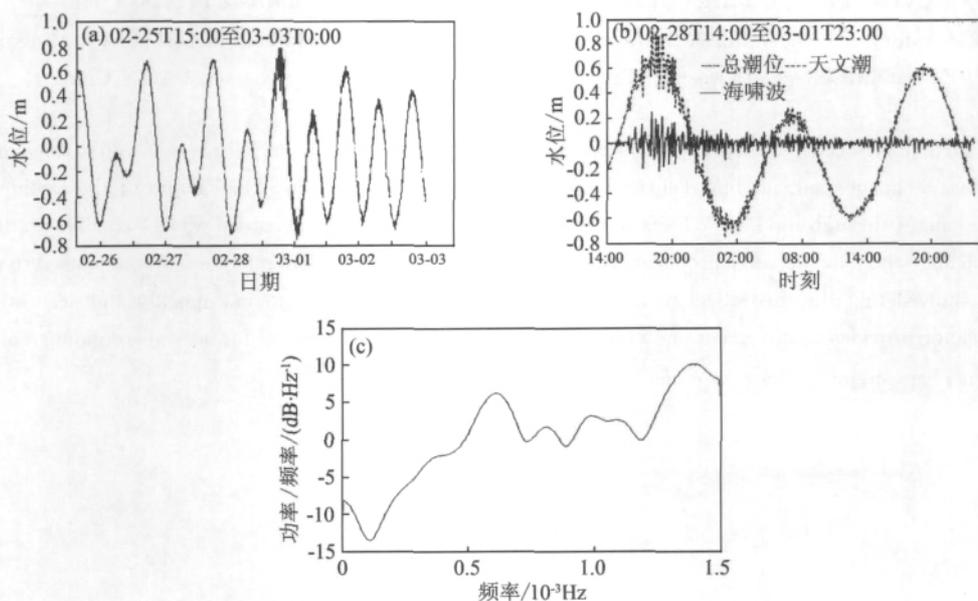


图 4 后壁湖验潮站水位曲线和频谱图

Fig.4 Sea level curve and power spectral density of Houbihu gauge

表 5 海啸波高衰减因子
Tab. 5 Tsunami wave height attenuation factor

东部海域 验潮站	β	北部海域 验潮站	β	西南部海域 验潮站	β
花莲	0.0327	竹圆	0.0365	后壁湖	0.0846
石梯	0.0212	麟山鼻	0.0231	浔广嘴	0.0192
成功	0.0615	基隆港	0.0481	东港	0.0346
绿岛	0.0173	龙洞	0.0308	小琉球	0.0154
		乌石	0.0577	高雄	0.0558
		苏澳	0.0615	永安	0.0423
				将军	0.0365

3 小 结

2010年2月27日智利强震引发的越洋海啸,台湾周边海域的验潮站记录到明显的海啸信号,2月28日海啸最大波高达 44 cm,海啸影响持续了 1 d 左右,之后潮汐曲线恢复正常。

本文的简单计算方法,能快速且较准确地计算出海啸波的传播时间。根据此次海啸对台湾周边海域影

响的实测资料,引入了波高衰减因子,在一定程度上能对台湾周边海域的海啸预警起到参考作用。

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] 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(增刊): 147-157.
- [3] Fritz H M, Petroff C M, Catalán P A, et al. Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami[J]. Pure and Applied Geophysics, 2011, 168: 1989-2010.
- [4] 肖大雪. 基于 Matlab 的谱估计方法及算法性能比较[J]. 科技广场, 2010, 9: 10-13.
- [5] 于福江, 原野, 越联大, 等. 2010年2月27日智利 8.8 级地震海啸对我国影响分析[J]. 科学通报, 2011, 56(3): 239-246.
- [6] Tanioka Y, Seno T. Detailed analysis of tsunami waveforms generated by the 1946 Aleutian tsunami earthquake[J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2001, 1: 171-175.
- [7] Voit S S. Tsunamis[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1987, 19(1): 217-236.

Effect of the 2010 Chile Ocean Tsunami on Seas Surrounding Taiwan

XIE Yan-shuang, SHANG Shao-ping*, WEI Yan, ZHANG Li

(Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology, Ministry of Education, College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A great earthquake occurred off the central coast of Chile, South America, on February 27, 2010, and produced tsunami. The data recorded by tide gauges surrounding Taiwan were analyzed in the study. After 25.5 hours of the earthquake, the tsunami wave arrived at tide gauges through the Pacific Ocean, and the maximum wave height recorded was 44 cm. Then a theoretical method was discussed to calculate the tsunami wave propagation time, otherwise wave height attenuation factor was used to measure the wave height. The results showed that the theoretical method could calculate the propagation time quickly and accurately, and the wave height attenuation factor provides a convenient and efficient reference on tsunami warning for seas surrounding Taiwan.

Key words: tsunami; Taiwan; tide gauge; wave height