

SeisComP3 地震监测软件系统及其在海啸预警系统建设中的应用

徐志国¹, 梁姗姗², 邹立晔², 李宏伟¹, 王宗辰¹

1. 国家海洋环境预报中心, 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室, 北京 100081
2. 中国地震台网中心地震台网部, 北京 100045

摘要 SeisComP3 软件系统是近些年发展起来的一款免费的、部分开源的地震实时监测与自动处理系统。根据地震监测、大地震海啸预警等工作需求, 本研究组应用 SeisComP3 系统提供的实用工具进行辅助功能开发, 实现地震数据的实时汇集、共享与自动处理, 为大地震海啸预警提供及时、可靠的地震基本参数。同时, 基于 SeisComP3 系统地震自动定位结果和实时波形数据, 应用 W 震相方法快速反演海啸强震震源机制解, 为海啸数据模拟程序提供实际发震断层参数解, 提高后续海啸数值预报的准确性。实际应用表明: SeisComP3 软件系统为海啸业务提供了重要的数据保障和科技支撑, 促进了海啸预警预报工作的发展。

关键词 地震; 地震监测; 海啸预警

SeisComP(seismological communication processor) 是近些年发展起来的一款免费的、部分开源的地震实时监测与自动处理系统。2006—2008 年, 在德国印度洋海啸预警系统 GITEWS(German Indian Ocean Tsunami Early Warning System) 项目背景下, 系统增加了新功能, 用以满足海啸预警需求。2007 年, GITEWS/GEOFON 开发小组发布了第 3 代 SeisComP 软件系统 SeisComP3^[1]。

SeisComP3 软件系统经过完善与升级, 具有高度的完整性、可靠性和延续性, 并已广泛应用于欧洲、东南亚、南美等国家和地区, 应用于地方、区域、全球的地震活动监测以及大地震海啸预警预报等工作^[2-11]。

SeisComP3 系统集成了多个独立的模块, 支持 MySQL、PostgreSQL 等多种数据库接口, 实现了数据的获取、处理、分析、管理、归档与发布, 并可由一系列图形用户界面来操作完成。该系统的主要特点包括: 1) 开源、免费; 2) 可移植、易扩展; 3) 全自动和人机交互相结合; 4) 遵循通用的地震数据标准; 5) 目录、震相、波形数据的全面处理^[12]。

本文介绍 SeisComP3 系统对海啸预警系统建设的业务支撑和实际应用。根据地震监测、大地震海啸预警等工作需求, 本研究组应用 SeisComP3 提供的实用工具, 进行了辅助功

能开发, 为海啸预警系统建设提供业务支撑和技术保障。

1 实时地震数据汇集与共享

目前, 海啸预警中心发布海啸预警信息主要依靠地震台网实时记录的海底强震信息。地震发生后, 海啸预报员根据地震发震时间、位置、震级、震源深度以及近实时的震源机制解参数, 为海啸预警信息发布提供判据。

国家海洋局海啸预警中心基于 SeisComP3 系统中 SeedLink^[13] 模块建立了地震数据流服务器, 通过海洋数据专网获取国家海洋局在沿海地区及岛屿建设的 25 个宽频地震台站实时数据流, 实现了对中国近海海底地震的监测; 通过互联网访问美国地震学联合研究会(IRIS)、欧洲 GEOFON 台网公开的地震数据流服务器, 根据台站均匀分布的原则, 获取 560 个地震台站数据, 从而实时监测全球海底地震活动。

SeedLink 是 SeisComP 系统获取数据的核心部分, 它基于 SOCKET 实现 TCP/IP 协议通信, 具有客户端-服务器端通信模式, 端口号为 1800。目前, 大多数地震台网或系统都支持 SeedLink 通讯协议, 例如美国地震学联合研究会(IRIS)地震数据中心、全球地震台网(GSN), 欧洲 GEOFON 台网、Earthworm 系统、Antelope 系统等。SeisComP3 利用 SeedLink 模块

收稿日期: 2016-12-26; 修回日期: 2016-01-06

作者简介: 徐志国, 高级工程师, 研究方向为地震监测与海啸预警, 电子信箱: xuzhg04@sina.com; 梁姗姗(通信作者), 工程师, 研究方向为地震定位、震源机制反演等, 电子信箱: liangshanshan@seis.ac.cn

引用格式: 徐志国, 梁姗姗, 邹立晔, 等. SeisComP3 地震监测处理系统及其在海啸预警系统建设中的应用[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 88-92;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.07.011

接收多种来源的地震数据,采用SeedLink协议数据包进行传输,这种包以512 B大小的Mini-SEED格式的数据包形式发送,其中包括8 B大小的SeedLink头段数据。此外,SeisComP3系统还支持不同类型的数据接口,例如美国Geotech公司的SMART-24、英国Guralp公司的CMC-DM24、美国REFTEK与瑞士SYSCOM公司的MR2002、北京港震公司EDAS系列等类型的数据采集器,使得SeisComP3直接与多台地震仪器相连接,实现单台地震数据的汇集与共享,极大地发挥了地震台站数据的应用效能。

但由于海洋局建设地震台站地理位置的特殊性,从南至北呈一条直线分布,如果对这些台站单独组网进行地震定

位,定位结果将存在较大偏差,很难满足海啸预警的基本业务需求。为了解决这一问题,本研究组采用安全隔离网闸技术,通过“区域地震数据流服务器-安全隔离网闸-全球地震数据流服务器”的技术方案,实现全球和区域台站的联合地震定位,有效地提高网内地震定位精度,特别是中国近海地震定位精度,为南中国海海啸预警业务工作提供了有效保障。图1为海啸预警中心实时地震数据汇集与共享系统架构图。地震数据流服务器的建立实现了地震数据的实时汇集、交换和共享,为地震监测处理系统提供实时地震数据,实现不同地震定位系统(SeisComP3和Antelope)的同时运行与备份,为海啸预警预报工作提供稳定、可靠的地震参数。

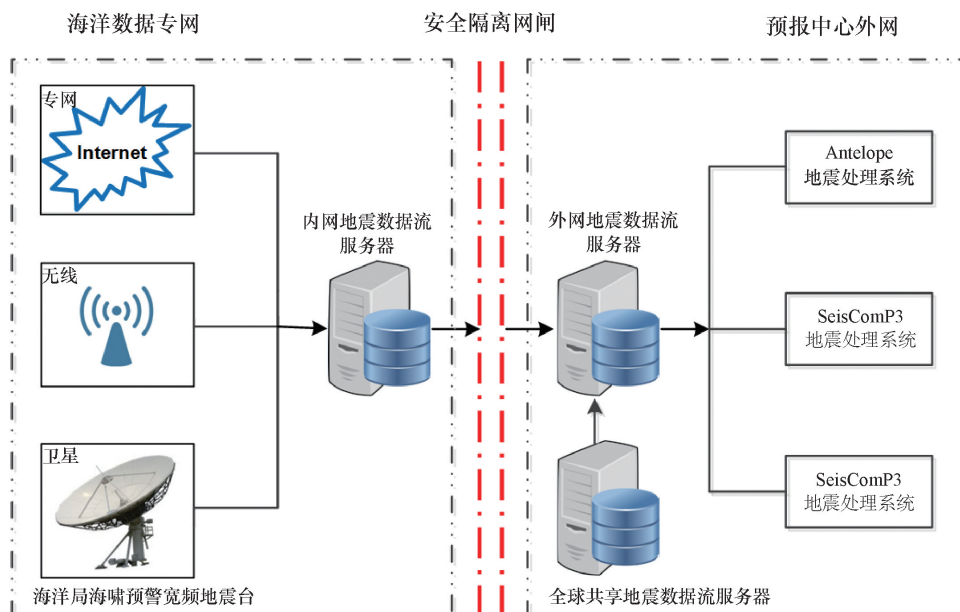


图1 海啸预警中心实时地震数据汇集与共享系统构架

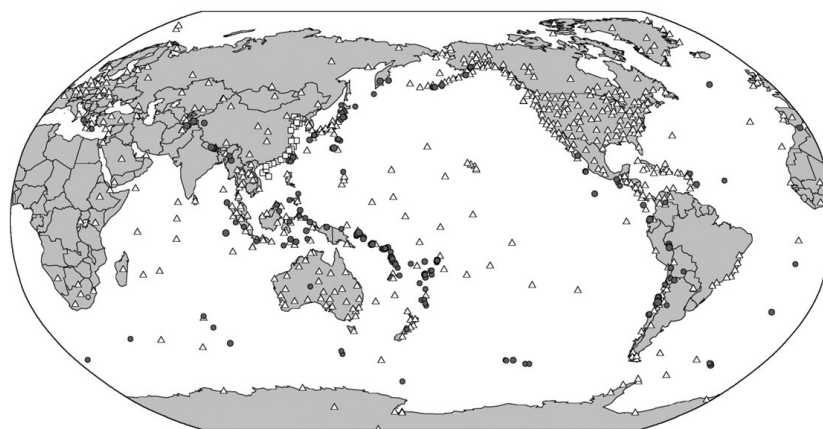
Fig. 1 Real-time seismic data collection and sharing system at the Tsunami Warning Center

2 全球海底地震监测与海啸预警发布

国家海洋局海啸预警中心应用SeisComP3系统直接访问SeedLink地震数据流服务器,接收海洋局25个海啸预警地震台和全球地震台网560个台站的实时波形数据,实时监测全球海底的强震活动,为大地震海啸预警提供地震的基本参数。SeisComP3软件系统所接入的区域和全球地震台站分布如图2所示。

SeisComP3系统在实时地震监测、海啸预警预报工作中发挥着重要作用。如图2所示,自2015年1月—2016年4月期间,系统共记录处理了131次6.0级以上地震。通过对自动定位结果统计可知,一般在地震发生3~8 min内,SeisComP3

即提供了稳定、可靠的地震速报结果。国家海洋局海啸预警中心负责中国近、远海以及全球大洋海啸预警信息的制作与发布,预报员根据海啸预警工作流程,对62次6.5级以上海底地震发布了115期海啸信息,其中有9次海底强震引发了海啸(表1),其中2015年9月17日智利中部海域发生的8.2级地震引发海啸,地震引发4.75 m的海啸波,最大海啸波爬高达13.6 m,对震中附近沿岸地区造成灾害性影响,但并未对沿岸国家造成灾害性影响。SeisComP3系统为大地震海啸预警业务提供了快速、准确的地震参数,为海啸预警信息的发布赢得了时间,对于提高中国的海啸预警能力建设有重要的现实意义。



注:图中方形为海洋局在沿岸或岛屿地区建设的25个宽频地震台,三角形为全球范围分布的560个地震台站,实心圆表示SeisComP3系统自动定位地震震中分布

图2 SeisComP3软件系统所接入台站和6.0级以上地震自动定位震中分布
Fig. 2 Stations map and epicenters distribution with magnitude greater than 6.0

表1 2015年1月—2016年4月太平洋地区引发海啸地震参数列表

Table 1 Parameters of tsunami earthquakes occurred in the Pacific areas from January 2015 to April 2016

序号	发震时刻(BJT)	经度	纬度	深度/km	震级	位置	最大波高/m	波高类型
1	2015-03-30 07:48:31	152.60°E	4.70°S	30	7.5	新不列颠地区	0.50	1
2	2015-07-10 12:12:42	158.40°E	9.3°S	10	6.7	所罗门群岛	0.01	2
3	2015-07-18 10:27:33	165.2°E	10.4°S	20	7.0	圣克鲁斯群岛	0.09	2
4	2015-07-27 12:49:46	169.60°W	52.40°N	10	6.9	阿留申群岛海域	0.08	2
5	2015-09-17 06:54:31	71.60°W	31.60°S	20	8.2	智利中部海域	13.60	4
6	2015-11-11 09:54:37	71.80°W	29.40°S	10	6.9	智利中部海域	0.55	2
7	2015-11-14 04:51:30	128.81°E	31.00°N	12	6.7	东海海域	0.30	2
8	2016-03-02 20:49:48	94.21°E	4.90°S	20	7.8	印尼苏门答腊海域	0.21	2
9	2016-04-17 07:58:37	79.95°W	0.35°N	10	7.8	厄瓜多尔海域	0.25	3

注:海啸最大爬高值来源于美国国家地球物理数据中心(NGDC)全球历史海啸数据库^[4]。波高类型:1为目测波高,2为潮位站观测波高,3为深海压力计观测波高,4为海啸爬高。

3 海底强震震源机制解快速反演

海啸预警系统的工作原理就是利用地震波传播速度比海啸的传播速度快的物理机制,同海啸波赛跑,为减轻海啸灾害对人们生命财产安全赢取更多时间。但如果仅仅根据地震基本参数信息(震中位置、震级和深度)判断是否引起海啸,可能会引起误报或漏报等情况。在大地震发生之后,如何快速、准确地判断该地震是否会激发海啸,仍然是个悬而未决的科学问题。通过对海啸地震的特征及其激发海啸机制的研究表明:地震的大小、地震机制、震源深度及震源破裂过程是影响地震激发海啸的重要因素^[5],这些因素也是判断是否形成海啸以及海啸危险性的可靠技术手段。

随着海啸预警技术的发展,数值模拟成为模拟和预报海啸灾害的有效手段之一。海啸数值模拟可以较准确地模拟海啸波传播及近岸爬坡的全过程,为海啸预报人员提供大量参考数据,为准确评估海啸灾害提供必要的支撑。在海啸数

值模拟计算过程中,初始选取的地震断层参数(走向、倾角和滑动角)直接影响模拟结果的准确性。因此,为了提高地震海啸预警的时效性和准确性,应用实际地震断层参数开展海啸数值模拟工作具有重要的现实意义。

本研究组基于SeisComP3系统的自动定位事件信息(包括发震时刻、震中位置、震源深度和震级)和实时接收的长周期(LH)三分量地震波形数据,应用W震相方法^[16-17]和初步地球参考模型PREM(preliminary reference earth model)计算的格林函数库,基于简振正型叠加方法计算地震理论波形,快速反演海底强震震源机制解,为海啸数值模拟提供有效的断层参数。图3为应用W震相方法近实时反演震源机制解流程。

海底强震发生后,基于SeisComP3系统提供的地震自动定位结果,近实时截取W震相反演所需波形数据,在震后十几分钟内得到稳定、可靠的地震震源参数,包括矩震级、矩心位置和深度、震源机制解等震源参数。海啸预报人员将根据

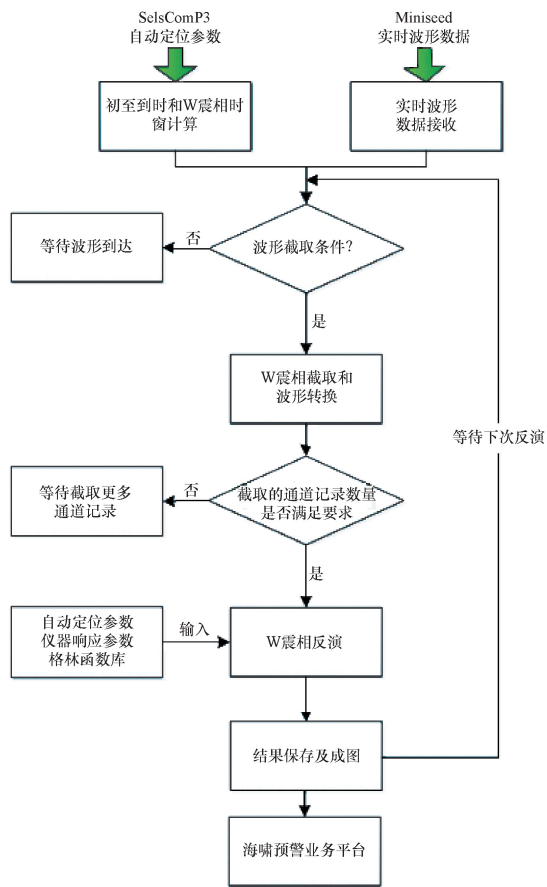


图3 应用W震相方法近实时反演震源机制解流程
Fig. 3 Flow of the near real-time earthquake source parameters inversion with W-phase method

地震震源参数特征,正确判断该地震是否能激发海啸以及海啸规模的大小。然后,根据海底测深数据、海底地形数据及可能遭受海啸袭击的海岸地区的地形地貌特征等相关资料,基于COMCOT(Cornell multi-grid coupled tsunami model)^[18-20]海啸模拟程序,并行计算海啸到达时间及强度,为海啸预报人员提供定量的判断依据,减少误判与误报的发生,提高海啸预警的时效性和准确性,为地震海啸灾害快速应急响应赢取宝贵时间。

2015年9月17日,智利中部沿岸近海发生8.2级强震并引发破坏性海啸,地震发生后14 min,系统得到比较稳定的震源机制解,预报人员根据快速震源机制解和该地区历史地震构造特征,初步判断为此次地震为一低角度俯冲逆断层,且为浅源地震,易引发海啸。海啸预报员根据快速震源机制解提供的断层参数,快速进行海啸数值模拟,计算智利海啸到达时间及强度(图4)。从图4可看出智利8.2级强震引发海啸,初步判断海啸到达智利沿岸的预报波高约为5 m。根据潮位站水位观测结果,智利沿岸潮位站的最大波高为4.75 m,最大波高预报结果与观测结果相差不多,为海啸预报提供了定量的判断依据。

Pacific Deep-Ocean Tsunami Amplitude Forecast

This map should not be used to estimate coastal tsunami amplitudes or impacts. Deep-ocean amplitudes are usually much smaller than coastal amplitudes.

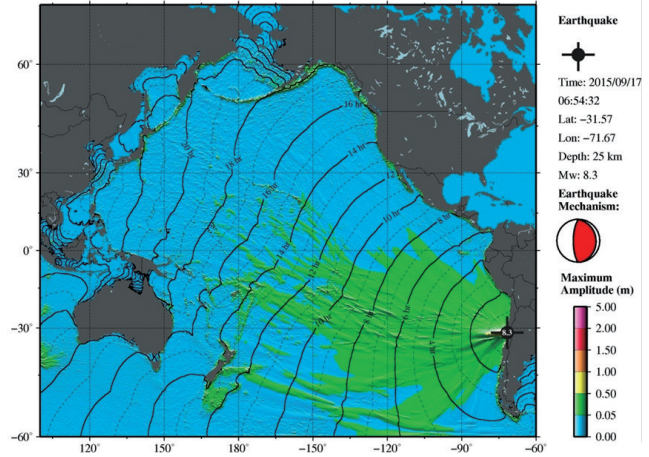


图4 基于SeisComP3系统快速反演智利8.2级地震震源机制解模拟海啸最大波高

Fig. 4 Rapid estimation of maximum wave height for Chile M_w 8.2 earthquake with fast earthquake source parameters

4 结论

SeisComP3软件系统自安装运行以来,以其稳定的性能、友好的界面、便捷的操作、强大的功能,特别是可靠的地震自动处理系统,已经在地震自动速报、大地震海啸预警等业务工作中发挥了重要作用。在保障实时监测全球大地震活动水平的同时,依靠其强大的数据处理和交换能力,SeisComP3软件系统为海啸业务提供了重要的数据保障和科技支撑,有力地促进了海啸预警预报工作模式的发展,从而有助于海啸预警预报和减轻地震海啸灾害等研究工作的深入开展。

目前,国家海洋局海啸预警中心正致力于中国和南中国海海啸预警与减灾系统建设,进一步完善海啸灾害监测与预警信息发布、风险评估、应急减灾的技术支撑平台,为中国和南中国海区域国家提供及时有效的地震海啸预警信息。海啸预警中心将继续依托SeisComP3系统,结合最新的地震监测和海啸预警预报技术和方法,进一步完善和改进现有海啸预警系统平台,使之具备更强大的海啸预警预报服务能力,提高中国地震海啸预警能力,提升中国在海啸预警领域的国际影响力。

参考文献 (References)

- [1] Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH. SeisComP3 documentation[EB/OL]. [2016-12-08]. <http://www.seiscomp3.org/doc/jakarta/2015.040/>.
- [2] Pesaresi D. The egu2010 sm1.3 seismic centers data acquisition session: An introduction to antelope, earthworm and seiscomp, and their use around the world[J]. Annals of geophysics, 2011, 54(1): 1-7.
- [3] Hanka W, Saul J, Weber B, et al. Real-time earthquake monitoring for

- tsunami warning in the Indian Ocean and beyond[J]. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 2010, 10(12): 2611–2622.
- [4] Nikolaos T, Efthimios S, Aristidis I, et al. Scisola: Automatic moment tensor solution for SeisComP3[J]. *Seismological Research Letters*, 2016, 87(1): 157–163.
- [5] Clinton J F, Diehl T, Cauzzi C, et al. Earthquake monitoring: SeisComp3 at the Swiss National Seismic Network[C]. *AGU Fall Meeting Abstracts*, Washington United States: American Geophysical Union, 2011(1): 2205.
- [6] Saul J, Becker J, Hanka W, et al. SeisComP3—Where are we now?[C]. *EGU General Assembly Conference*. Vienna Austria: EGU General Assembly, 2010: 11074.
- [7] Marius C G, Craiu A, Marmureanu A, et al. Using antelope and seiscomp in the framework of the romanian seismic network[C]. *EGU General Assembly Conference*. Vienna Austria: EGU General Assembly, 2014, 16: 9623.
- [8] Olivieri M, Clinton J. An almost fair comparison between earthworm and SeisComp3[J]. *Seismological Research Letters*, 2012, 83(4): 720–727.
- [9] Grunberg M, Engels F. Earthquake monitoring at different scales with Seiscomp3[C]. *AGU Fall Meeting Abstracts*. Washington United States: American Geophysical Union, 2013, 1: 2308.
- [10] Behr Y, Boese M, Smith D, et al. Update on the next generation earthquake early warning in SeisComP3[C]//*EGU General Assembly Conference*. Vienna Austria: EGU General Assembly, 2016, 1: 13723.
- [11] Melis N S, Konstantinou K I. Real-time seismic monitoring in the Greek region: An example from the 17 October 2005 East Aegean sea earthquake sequence[J]. *Seismological Research Letters*, 2006, 77(3): 367–373.
- [12] 徐志国, 邹立晔, 梁姗姗, 等. SeisComP3地震实时监测与自动处理系统[J]. *国际地震动态*, 2016(9): 16–24.
- Xu Zhiguo, Zou Liye, Liang Shanshan, et al. SeisComP3 real time monitoring and automatic processing system[J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2016(9): 16–24.
- [13] Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH. SeedLink wiki documentation[EB/OL]. [2016-06-15]. <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/seed-link>.
- [14] National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Significant Earthquake Database[DB/OL]. [2016-06-03]. <https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>.
- [15] 陈运泰, 杨智娴, 许力生. 海啸、地震海啸与海啸地震[J]. *物理*, 2005, 34(12): 864–872.
- Chen Yuntai, Yang Zhixian, Xu Lisheng. Tsunami, earthquake-generated tsunamis and tsunamigenic earthquakes[J]. *Physics*, 2005, 34(12): 864–872.
- [16] Kanamori H, Rivera L. Source inversion of W phase: Speeding up seismic tsunami warning[J]. *Geophysical Journal International*, 2008, 175(1): 222–238.
- [17] Duputel Z, Rivera L, Kanamori H, et al. W phase source inversion for moderate to large earthquakes (1990–2010)[J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 189(2): 1125–1147.
- [18] Liu P L F, Cho Y S, Yoon S B, et al. Numerical simulations of the 1960 Chilean Tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii [M]. Springer Netherlands, 1995: 99–115.
- [19] Liu P L F, Woo S B, Cho Y S. Computer programs for tsunami propagation and inundation[R]. New York: Cornell University, 1998.
- [20] User manual for Cornell multi-grid coupled tsunami model-COMCOT V1.7[EB/OL]. [2013-1-18]. http://ceeserver.cce.cornell.edu/pll-group/doc/COMCOT_User_Manual_v1_7.pdf.

SeisComP3 and its technical support and application to the tsunami warning system

XU Zhiguo¹, LIANG Shanshan², ZOU Liye², LI Hongwei¹, WANG Zongchen¹

1. Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China

2. Department of Seismic Network, China Earthquake Network Center, Beijing 100045, China

Abstract SeisComP3 is a free and open software platform for real-time earthquake monitoring, rapid detection and damage assessment. In this paper we start with a brief of the platform and its basic modules. Then we use those existing modules to do data acquisition, real-time data exchange (SeedLink protocol) over Internet or intranet and use automatic processing for earthquake monitoring. After that, according to the need for earthquake monitoring and tsunami warning, we develop a new SeisComP3 module, which supports automatic calculation of earthquake fault plane parameters solution for tsunami simulation and seismic events' notifications; the station information and corresponding event waveforms are provided by the SeisComP3 system through different utilities and services. Practical application has shown that SeisComP system and its main modules can provide good service support to the tsunami warning system.

Keywords earthquake; earthquake monitoring; tsunami warning

(编辑 王志敏)