

DOI:10.13203/j.whugis.20150354



文章编号:1671-8860(2017)12-1818-08

# 华南沿海地区海啸影响数值模拟与分析

李智广<sup>1,2,3</sup> 谢顺平<sup>1,2,3</sup> 都金康<sup>1,2,3</sup> 郑文龙<sup>1,2,3</sup> 左天惠<sup>4</sup>

1 南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京,210046

2 江苏省地理信息技术重点实验室,江苏 南京,210046

3 中国南海研究协同创新中心,江苏 南京,210093

4 广西壮族自治区地震局,广西 南宁 530022

**摘要:**应用海啸数值模拟模型(cornell multi-grid coupled Tsunami model, COMCOT)对华南沿海地区可能遭受的海啸进行模拟研究具有现实意义。基于COMCOT模型及马尼拉海沟潜在震源分段及其参数设置,模拟了不同震源引发多场海啸到达华南沿海地区的波高变化和到时特征。模拟分析发现,海啸到达中国福建省南部至广东省西部一带能够产生最大2.5 m波高的海啸波,海南岛东部沿岸也会产生最大1.5~2.0 m的海啸波,海啸传播到广西北部湾地区的最大波高在0.3 m以下;海啸波发生1.9 h后最先到达海南岛东部沿岸,2.6 h后到达香港、澳门及广东的汕尾一带地区,3.6 h后到达福建南部一带及琼州海峡地区,8.9 h以后到达北部湾地区。华南沿海不同地区海啸的首波波高和最大波波高对马尼拉海沟震源位置的敏感性存在差异性,其中广东沿海中段对马尼拉海沟震源位置最为敏感,震源断层2、断层3引发海啸在该地区的首波和最大波高接近2.5 m,而震源断层1、断层6(断层编号依据2006年美国地质调查局资料)引发海啸在该地区的首波和最大波高只在1.0 m上下。

**关键词:**华南沿海;海啸;COMCOT;数值模拟;马尼拉海沟;断层

**中图法分类号:**P229

**文献标志码:**A

海啸是一种破坏力极大的自然现象,一旦发生,极可能造成巨大的人员伤亡及财产损失。中国地震海啸的记录相对较少。有研究考证近百年对中国有影响的几次大海啸,包括1917年7月4日台湾基隆东海中7.3级地震引发的浪高3.7 m的海啸,1918年2月13日广东南澳附近海域7.3级地震引发的海逸,1986年11月15日台湾花莲东北海中7.6级地震引发的海啸等<sup>[1]</sup>。华南沿海地区是我国人口最密集、经济最发达的地区之一<sup>[2]</sup>,一旦遭受海啸袭击,人员和经济损失不可估量。因此,有必要研究潜在地震海啸对我国华南沿海地区的影响。

中国南海北部沿岸地区包括中国东南沿海大部分省区的海岸带。处在南海东部边缘的马尼拉海沟是南海最有可能发生地震的地区,杨马陵<sup>[3]</sup>、Wu<sup>[4]</sup>等学者或从海啸历史资料、或从地质构造分析,均认为南海区域具备发生地震海啸的条件。这一地震带到华南沿海一带的距离均在1 000~2

000 km内,最近处不足700 km,且中间没有海岛链作为保护屏障,华南沿海的广东、海南、福建、香港和台湾地区都将无遮挡地暴露在海啸波的威胁下。地震带到华南地区之间,大部分是水深超过1 000 m的深海区,海啸波在大洋上传播速度约为700~900 km/h<sup>[5]</sup>,若马尼拉海沟发生海啸,海啸波会在短时间内侵袭中国大陆南部沿海地区。

早期的海啸研究多是在实验室内进行模拟试验,人为地制造海水抬升来触发海啸,侧重于海啸波传播过程的模拟。20世纪90年代以来,许多能够模拟海啸产生、传播、爬高全过程的海啸数值模拟模型被开发出来,如联合国教科文组织发布的TUNAMI(Tohoku University's numerical analysis model for investigation of near-field tsunamis)系列<sup>[6]</sup>、Titov等<sup>[7]</sup>开发的MOST(method of splitting tsunami)模型、Liu<sup>[8]</sup>开发的COMCOT(cornell multi-grid coupled Tsunami model)模型、George<sup>[9]</sup>发布的Tsunami Claw模

收稿日期:2016-07-27

项目资助:国家自然科学基金(41371044);广西科技攻关计划(桂科攻12426002);

第一作者:李智广,硕士,研究方向为GIS应用。lgung@163.com

通讯作者:谢顺平,教授级高级工程师。xiesp@nju.edu.cn

型、福江等<sup>[10]</sup>建立的 CTSU 海啸模型。其中 COMCOT 模型可用于模拟地震海啸、滑坡海啸、人造海啸波等,在海啸波的传播和近岸爬升阶段,分别采用交错式线性蛙跳法和移动边界条件来计算浅水波方程,具有坚实的物理基础,其解算方法在确保计算精度的同时节约了计算量,并在世界各地得到应用<sup>[8]</sup>。本文借助前人对马尼拉海沟地震断层构造的研究成果,研究潜在地震海啸对中国南部福建省至广西省一带沿岸的影响程度。

# 1 COMCOT 海啸数值模型与研究区域

## 1.1 研究区域

华南地区特殊的地理区位(图 1),使得该地区海洋灾害频繁。其中不少地方地势低平,例如珠江三角洲低于平均高潮位(0.9 m)的平原有 2 994.76 km<sup>2</sup>,占平原总面积的 48.4%<sup>[11]</sup>;韩江三角洲平原面积 890.31 km<sup>2</sup>,大部分地区高程低于 2 m;泻湖平原多数低于 1 m,当地的多年平均高潮位为 1.64 m,最高高潮位 3.10 m<sup>[2]</sup>。海啸引发的海水陡然上升,易对这些地区的经济建设产生直接或间接影响。

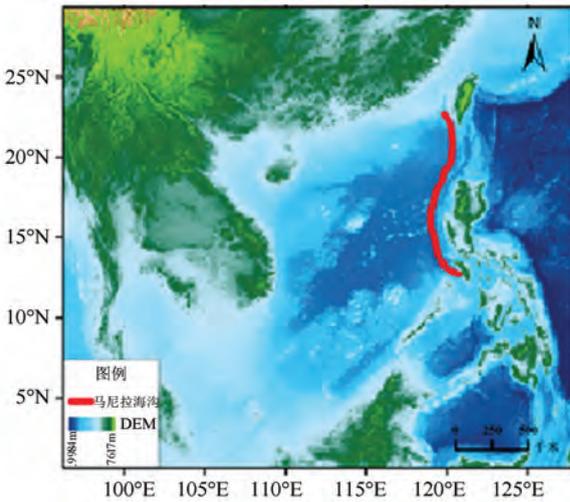


图 1 研究区  
Fig.1 Study Area

马尼拉海沟<sup>[12]</sup>全长约 1 000 km,近 NS 向的延伸方向多次发生改变<sup>[13]</sup>,如图 1 所示。该地区是中国南海亚板块向菲律宾板块的俯冲带,强震活动频繁且倾滑型(或具有倾滑分量的走滑型)地震比例很高。马尼拉海沟断裂是南海中唯一的海沟<sup>[14]</sup>,是最具可能发生海啸的地带。

## 1.2 COMCOT 海啸数值模型

海啸数值模拟模型 COMCOT 能够模拟海啸

从产生、传播到爬高的整个过程,已成功应用于 1960 年智利海啸、2004 年苏门答腊海啸等的数值模拟。

模型使用基于弹性错移理论的断层单元模型模拟海底地震,并假定地震引起地层错动的瞬间发生海水抬升,从而触发海啸。如图 2 所示, $\theta$  表示走向角( $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ ),是走向与正北方向的夹角; $\delta$  是倾角( $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ ),是断面与水平面的夹角; $\lambda$  表示滑移角( $0^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ ),是上覆板块相对俯冲板块运动方向与断面走向之间的夹角。 $W$ 、 $L$  分别是段块破裂面的宽度和长度。以上参数均为 COMCOT 的断层模型的输入参数,另外还有震中经纬度、深度和破裂面之间的错移距离等。

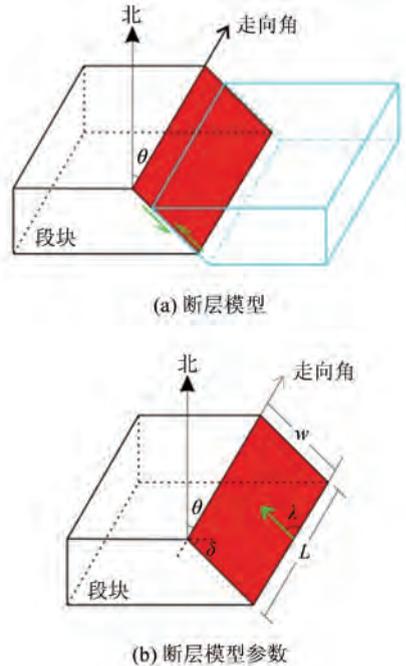


图 2 断层模型和断层模型参数  
Fig.2 Fault Model and its Parameters

对于海啸波在大洋和浅水区的传播过程,模型利用有限差分法分别计算线性或非线性的浅水波方程。方程组(1)和(2)分别是直角坐标系下的线性和非线性方程。海啸波在近岸的爬高过程采用移动边界方案处理,即岸界随干湿网格的变化而移动,与边界垂直方向的体积通量为零<sup>[15]</sup>。

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial t} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \tau_x = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + \tau_y = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $\eta$  为相对于平均海平面的自由表面位移;  $H$  为总水深;  $g$  为重力加速度;  $P$  和  $Q$  分别指  $x$  和  $y$  方向上的体积通量;  $\tau_x$  和  $\tau_y$  分别为  $x$  和  $y$  方向上的底摩擦应力。

COMCOT 模型的技术流程如图 3 所示。

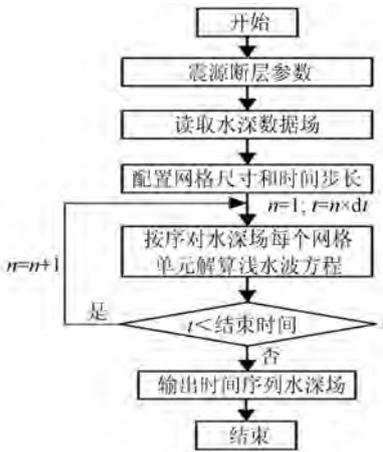


图 3 COMCOT 模型流程图

Fig.3 Flowchart of COMCOT Model

COMCOT 采用多层嵌套网格系统节省计算资源和时间,即针对大的计算区域和重点关注区域设置不同分辨率的网格,外层使用大网格,内层不同区域再嵌套不同的子网格;同时,随着水深变化设置不同的网格解析度和时间间隔,确保能够恰当地表示物理过程中的频散效应<sup>[15]</sup>。

## 2 海啸数据处理

用 COMCOT 模型模拟地震海啸时,除了要设置模拟时长、数据存储间隔时长、最小近海水深等,还需要设定震源的断层模型、多层嵌套格网参数等。

海啸源的断层单元参数和模拟区域的测深数据是海啸模拟的关键数据资料。2006 年美国地质调查局(USGC)海啸研究组将马尼拉海沟分为 6 个地震单元,并给出了相应的断层单元参数<sup>[4]</sup>;文献[16-17]参照此组参数进行了海啸研究。Wu 等<sup>[4]</sup>将子断层的走向角进行了修正(表 1),使其更接近实际情况(图 4)。Megawati 等<sup>[18]</sup>综合利

用马尼拉海沟的多种数据将马尼拉海沟划分成 33 个离散化断层单元,使得该区域各个位置的断层特征能更细致地表达。马尼拉海沟包含了众多的板块俯冲<sup>[19]</sup>,其不同部位都是潜在的地震源。本文采用将马尼拉海沟划分为 6 个地震单元的断层参数。

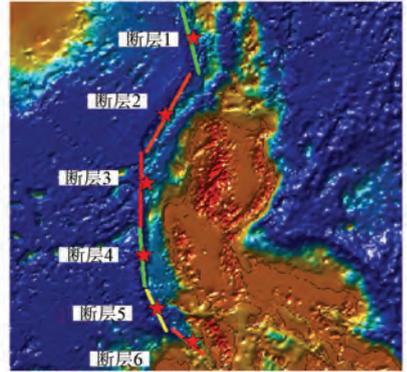


图 4 马尼拉海沟 6 个断层单元分布

Fig.4 Faults Distribution Along Manila Trench

海水测深数据使用的是 USGS 地理数据库中分辨率为 0.5' 的 USG SDEM 地形数据。通过数据预处理和裁剪获得两个二级网格 Layer21 和 Layer22,覆盖华南沿海大部分区域,用于二级网格运算;通过邻域重采样方法和裁剪处理获得覆盖马尼拉海沟震源到华南沿海精度为 2' 的地形测深数据,用于一级网格运算,如图 5 所示。表 2 列出了两层网格的基本参数,Grid2 采用含海底摩擦项的非线性浅水波方程。方程组(3)的  $F_x$  和  $F_y$  分别是  $x$  和  $y$  方向的底部摩擦阻,其余参数同式(2)。由于无法获得华南沿海的海底平均糙率,参照相关研究建议的近岸区域曼宁系数取值参考范围 0.025~0.030  $m^{-1/3} \cdot s^{[20]}$ ,本研究取 0.026  $m^{-1/3} \cdot s$ 。

$$\begin{cases} F_x = \frac{gn^2}{H^{7/3}} P \sqrt{P^2 + Q^2} \\ F_y = \frac{gn^2}{H^{7/3}} Q \sqrt{P^2 + Q^2} \end{cases} \quad (3)$$

到达近岸的波高和时间是评价海啸波对该地区影响的两个主要指标。为了分析华南沿海地区的海啸波特征,本文在该地区设置了一组虚拟验潮站,如图 6 所示。TS1~TS18 依次从福建南部的漳州地区向西南延伸至广西壮族自治区北部湾近岸,其中 TS11、TS12、TS13 位于海南岛东部沿岸。

## 3 海啸数值模拟与分析

### 3.1 模拟海啸波分析

采用 COMCOT 模型模拟马尼拉海沟 6 个断

表 1 马尼拉海沟断层参数<sup>[4]</sup>

Tab.1 Fault Parameters of Manila Trench<sup>[4]</sup>

断层	经度	纬度	长度/km	宽度/km	位移/m	深度/km	走向角	倾角	滑移角
1	120.5°E	20.2°N	160	200	20	40	354°	10°	90°
2	119.8°E	18.7°N	180	200	20	40	22°	20°	90°
3	119.3°E	17.0°N	240	200	20	40	2°	28°	90°
4	119.2°E	15.1°N	170	200	20	40	356°	20°	90°
5	119.6°E	13.7°N	140	200	20	40	344°	22°	90°
6	120.5°E	12.9°N	100	200	20	40	331°	26°	90°

表 2 模拟区域二级网格设置参数

Tab.2 Parameters Configured for Two-level Grids in Simulated Domain

网格	分辨率	范围	行列数	控制方程	曼宁系数/( $m^{-1/3} \cdot s$ )	
Grid1	2'	10°N~30°N, 105°E~125°E	751×601	线性	缺省	
Grid2	Layer21	0.5'	17°N~22°N, 106.5°E~111°E	600×540	非线性	0.026
	Layer22	0.5'	21°N~24.5°N, 111.5°E~118.5°E	420×840	非线性	0.026

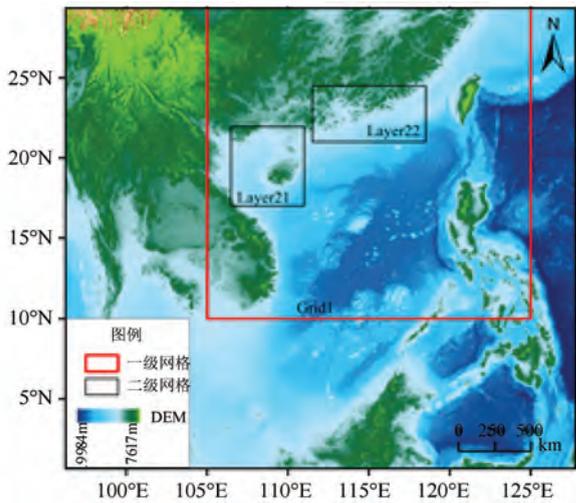


图 5 研究区计算网格设置

Fig.5 Configuration of Computational Grids

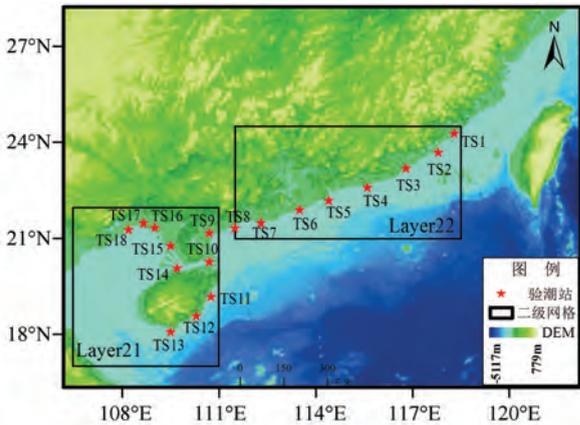


图 6 研究区虚拟验潮站设置

Fig.6 Configuration of Tidal Stations

为接近,均低于 0.5 m;而在其他验潮站的首波波高有较大差异,海南岛东部沿岸及琼州海峡地区的 TS9~TS13 等处的最大首波波高可达 1.0 m 左右,最小 0.1 m,而广东省沿岸一带的 TS1~TS8 最大首波波高可达 2.5 m,最小在 0.26 m 左右。首波到时上,海啸最早到达的地区是 TS11、TS12、TS13 所在的海南岛东部沿岸,海啸发生 2 h 后到达该地区,海啸发生 2.5 h 后其首波可到达广东一带,海啸首波最晚到达的是广西北部湾地区,即海啸发生 8 h 后才到达该地区。6 个断层单元触发的海啸到达同一验潮站的时间差异最大为 1.2 h,最小 0.4 h。总体而言,相比马尼拉海沟南半段震源(断层 4~断层 6),其北半段震源(断层 1~断层 3)触发海啸的首波最先到达海南沿海地区的 TS1~TS13,海沟中段(震源 1~震源 5)触发的海啸首波到达 TS14~TS18 这 5 站的时间差异不大,且先于两端的震源 1、震源 6 触发的海啸首波。

分别提取 6 个断层单元引发的海啸传播到 18 个验潮站的最大波高,如图 9 所示。可以看出,断层 1~断层 6 触发的海啸在 TS1~TS18 各站形成的最大波高中,TS1、TS2、TS3 各站最大波高的最小值均是断层 6 处触发的海啸波,TS4~TS18 各站最大波高的最小值对应断层 1。总体上,断层 2、断层 3 两处触发海啸所形成的最大波高高于其他 4 处。按照断层 2、断层 3 这两种情况,北部湾内地区的 TS14~TS18 这 5 个验潮站的最大波高最小,低于 0.5 m;琼州海峡(TS9、TS10)处最大波高在接近 0.5~1.0 m 左右的范围内;广东沿岸一带(TS3~TS8)最大波高可达 2.5 m 左右,最低也有 1.0 m;福建南部沿岸(TS1、TS2)最大波高在 1.0~1.5 m 之间,海南岛东部沿岸(TS11~TS13)记录到 1.5~2.0 m 的最大波高。

层单元触发的海啸,并提取出 18 个验潮站记录的首波波高和到时,如图 7、图 8 所示。可以看出,波高分布上,6 个断层单元触发的海啸在位于北部湾地区的 TS14~TS18 这 5 个验潮站的首波波高较

根据常用的今村-饭田海啸强度分级表(表3)<sup>[21]</sup>,断层2和断层3所触发的海啸对华南沿海各地区的影响程度分别为:广西北部湾地区—1级,基本无灾害可能;福建南部沿岸、海南岛东部沿岸及琼州海峡地区0级,可能造成渔船、水产设施

损坏等小灾害;广东沿海一带的TS4、TS5、TS6、TS8可达1级,TS3、TS7也接近1级,可能造成海滨低地房屋损坏(图10(a))。断层1、断层4、断层5、断层6触发海啸对华南沿海地区影响相较断层2和断层3等级更低(图10(b))。

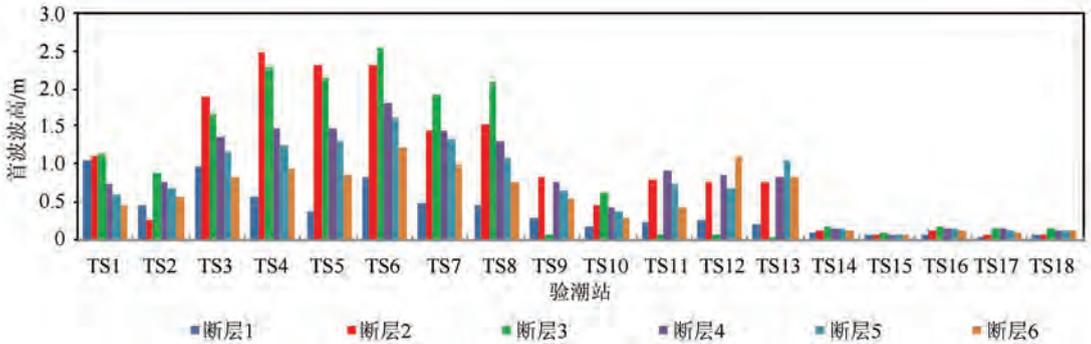


图7 18个验潮站记录的6个断层单元引发的海啸首波波高和到时

Fig.7 Wave Heights of Head-Wave Recorded at 18 Tidal Stations

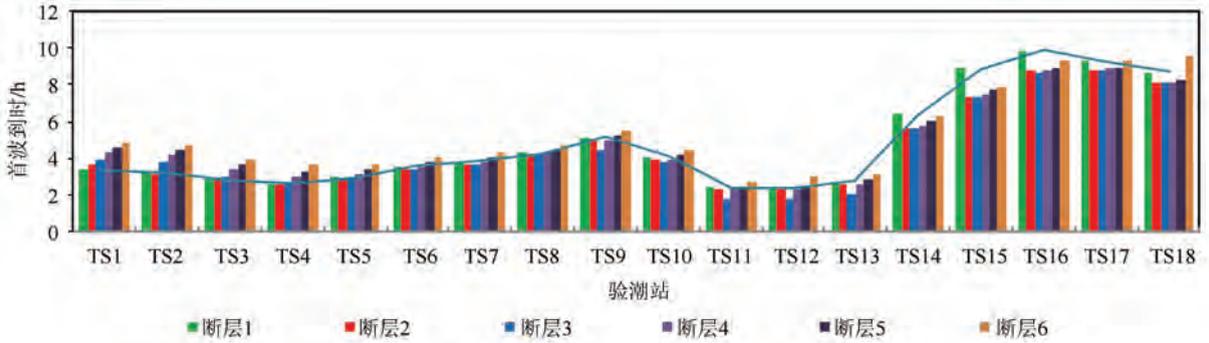


图8 18个验潮站记录的6个断层单元引发的海啸首波到时

Fig.8 Arrival Time of Head-Wave Recorded at 18 Tidal Stations

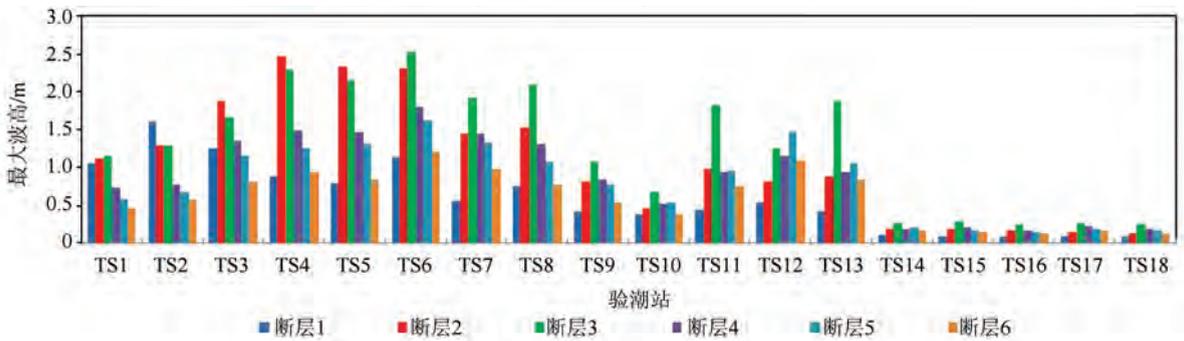


图9 18个验潮站记录到6个断层单元引发海啸的最大海啸波

Fig.9 Wave Heights of Maximum-Wave Recorded at 18 Tidal Stations

表3 今村-饭田海啸强度分级表

Tab.3 Imamura-Iida Intensity Scale of Tsunami

海啸强度/m	波高范围	灾害程度说明	海啸能量/ J
-1	<50 cm	验潮站方能观测到海啸痕迹,通常无灾害	$2.5 \times 10^{18}$
0	1 m左右	渔船、水产设施有损坏;100 km长海岸范围内波高50~80 cm,可能造成小灾害	$1.3 \times 10^{19}$
1	2~3 m	海滨低地房屋有损坏,船舶流失;200 km长海岸范围内波高约1 m	$6.4 \times 10^{19}$
2	4~6 m	多数房屋浸水、流失,人畜溺死;300 km长海岸范围内波高约1.5 m	$3.2 \times 10^{20}$
3	10 m左右	局部达到20 m;破坏区长达400 km,波高约2.4 m,造成显著破坏	$1.6 \times 10^{21}$
4	20 m左右	局部超过30 m;500 km海岸范围内波高约4 m,造成巨大破坏和灾害损失	$8.0 \times 10^{21}$

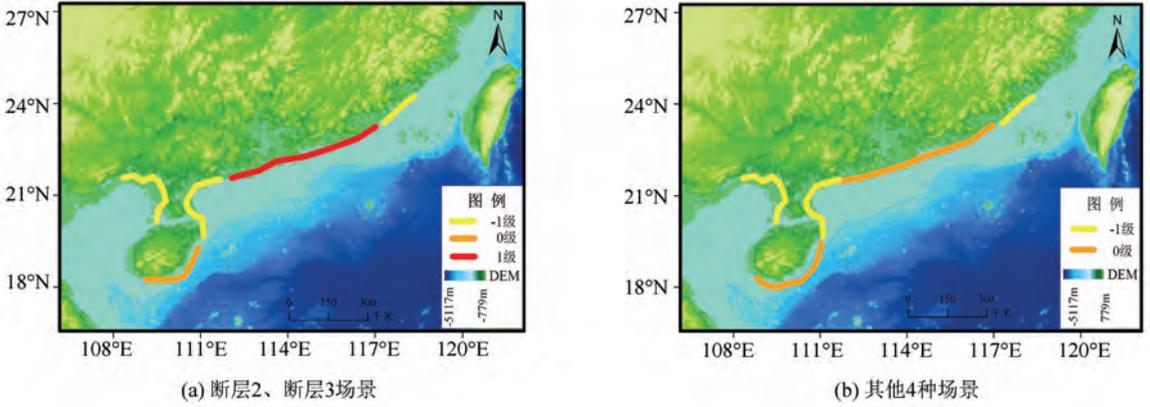


图 10 华南地区海啸规模等级分布图

Fig.10 Tsunami-Scale Maps of Grade Distribution in South China

### 3.2 海啸波对震源位置的敏感性分析

在马尼拉海沟各个位置的断层单元参数及地震震级确定的情况下,华南沿海不同地区的海啸波高对震源位置敏感性有差异。从图 7 中可以看出,TS4、TS5、TS6 站的首波波高极差接近 2.0 m,最大接近或超过 2.5 m,最小不足 0.5 m,反映出相应区域海啸首波波高对马尼拉海沟震源位置最为敏感;TS7、TS8 两站的首波波高极差约在 1.5 m 左右,对震源位置也具有较高的敏感性,需要重点防范海沟中北段的断层 2、断层 3 海底地震可能触发的海啸对广东省沿海一带的影响。TS3、TS9、TS11、TS12、TS13 各站的首波波高极差约在 1.0 m 左右,对震源位置的敏感性中等;TS1、TS2、TS10 站点首波波高极差约在 0.5 m 左右,对震源位置的敏感性较弱,这表明马尼拉海沟不同部位海底地震触发海啸对海南岛东海岸、琼州海峡地区及福建南部影响程度相当,由于广西北部湾地区特殊的地理位置,马尼拉海沟引发的海啸对该地区影响极小。

对比图 7 和图 9 可以看出,TS2、TS11、TS12、TS13 站的最大波波高极差较首波波高极差有了一定幅度的增大,反映出这些站点的最大波波高相比于首波波高对震源位置更为敏感,其它站点的最大波波高和首波波高对震源位置的敏感性基本一致。在 TS9、TS11、TS12、TS13 站点,震源断层 3 引发海啸的首波波高低于其他断层单元引发海啸的首波波高,而其引发海啸的最大波波高却高于其他断层单元引发海啸的最大波波高,反映出震源断层 3 引发海啸对这些站点的影响有一定的滞后增强效应。

### 4 结 语

华南沿海地区是我国经济最发达的地区之一,对这一地区开展海啸影响分析具有重要的现实意义。本文采用 COMCOT 海啸数值模拟模型模拟了位于马尼拉海沟潜在震源带引发的数场海啸,研究了华南沿海地区可能受到的海啸波特征和分布规律,分析了该地区海啸波对震源位置的敏感性,为海啸预警决策提供参考。结论如下。

马尼拉海沟地震触发的海啸,其首波将在 1.9 h 后最先到达海南岛东部沿岸,2.6 h 后到达香港、澳门及广东的汕尾一带地区,3.6 h 后到达福建南部一带及琼州海峡地区,8.9 h 以后到达北部湾地区。

马尼拉海沟北段地震较南段地震引发的海啸对华南沿海的影响更大,可在广东省从东到西的大部分沿海产生 2.5 m 左右的海啸波,造成渔船、水产设施损坏等灾害;海南岛东部沿岸一带产生的最大海啸波也在 1.5~2.0 m 之间,可能造成海滨地势较低房屋损毁;传播到广西北部湾地区的最大波高在 0.3 m 以下。

华南沿海地区海啸的首波波高和最大波波高对马尼拉海沟震源位置的敏感性存在差异,广东沿海中段最为敏感,震源断层 2、3 引发海啸在这一地区的首波和最大波波高均接近 2.5 m,而震源断层 1、断层 6 的首波和最大波波高只在 1.0 m 上下,不同震源引发海啸到达该段的首波波高和最大波波高极差分别为 2.0 m 和 1.5 m。

若考虑到同时发生的环流、潮汐等因素与海底地震引发海啸的叠加效应,海啸造成的实际破

坏可能较模拟的结果会更大。

本文仅对大范围沿海地区的海啸特征及其影响进行分析研究,若要对某个特定地区的海啸灾害影响进行评估,需要分辨率更高的近岸水深数据及陆地 DEM,后续研究将针对研究区局部的高分辨率水深数据获取和海啸波淹没范围研究开展相应工作。

### 参 考 文 献

- [1] Wang Feng, Liu Changsen, Zhang Zhenquan. Earthquake Tsunami Record in Chinese Ancient Books [J]. *Earthquake Research in China*, 2005, 21(3): 437-443 (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)
- [2] Zhang Junxiang, Li Pingri, Huang Guangqing. Hurricane Disasters in New Orleans of USA and Typhoon Storm Surge[J]. *Tropical Geography*, 2006, 26(3): 218-222 (张俊香,李平日,黄光庆. 新奥尔良飓风灾难与华南沿海台风风暴潮[J]. 热带地理, 2006, 26(3): 218-222)
- [3] Yang Maling, Wei Bailin. The Potential Seismic Tsunami Risk in South China Sea and Its Surrounding Region [J]. *Journal of Catastrophology*, 2005, 20(3): 41-47 (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)
- [4] Wu T R, Huang H C. Modeling Tsunami Hazards from Manila Trench to Taiwan [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 36(1): 21-28
- [5] Wang Peitao, Yu Fujiang, Zhao Lianda, et al. Numerical Analysis of Tsunami Propagating Generated by the Japan Mw9.0 Earthquake on Mar.11 in 2011 and its Impact on China Coasts [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(9): 3 088-3 096 (王培涛,于福江,赵联大,等. 2011年3月11日日本地震海啸越洋传播及对中国影响的数值分析[J]. 地球物理学报, 2012, 55(9): 3 088-3 096)
- [6] UNESCO-IOC. IUGG/IOC Time Project: Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-frog Scheme [OL]. [http://www.jodc.go.jp/info/ioc\\_doc/Manual/122367eb.pdf](http://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/Manual/122367eb.pdf), 1997
- [7] Titov V V, Gonzalez F I. Implementation and Testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) Model [OL]. [http://docs.lib.noa.gov/noa\\_documents/OAR/PMEL/TM\\_ERL\\_PMEL/TM\\_ERL\\_PMEL\\_112.pdf](http://docs.lib.noa.gov/noa_documents/OAR/PMEL/TM_ERL_PMEL/TM_ERL_PMEL_112.pdf), 1997
- [8] Liu P L F, et al. Computer Programs for Tsunami Propagation and Inundation [OL]. [http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/doc/COMCOT\\_User\\_Manual\\_v1\\_7.pdf](http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/doc/COMCOT_User_Manual_v1_7.pdf), 1998
- [9] George D L. Introduction Tsunami Claw User's Guide [OL]. <http://faculty.washington.edu/rjl/pubs/icm06/TsunamiClawDoc.pdf>, 2006
- [10] Yu Fujiang, Ye Lin, Wang Xinian. The Simulation of Tsunami Happened in the Taiwan Strait in 1994 [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(6): 32-39 (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)
- [11] Li Pingri, Fang Guoxiang, Huang Guangqing. Impacts on Sea Level Rising on the Economic Development of Zhujiang Delta and Countermeasures [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(6): 527-534 (李平日,方国祥,黄光庆. 海平面上升对珠江三角洲经济建设的可能影响及对策[J]. 地理学报, 1993, 48(6): 527-534)
- [12] Chen Zhihao, Li Jiabiao, Wu Ziyin, et al. Tectonic Evolution Implication of Geometry Shape Characteristics for Manila Trench [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(2): 59-65 (陈志豪,李家彪,吴自银,等. 马尼拉海沟几何形态特征的构造演化意义[J]. 海洋地质与第四纪, 2009, 29(2): 59-65)
- [13] Shang Jihong. Tectonic Dynamics Research and Subducting Characteristics Comparison Between Middle and Northern Part Manila Subducting Belt [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2008 (尚继宏. 马尼拉海沟中北段俯冲带特征对比及区域构造动力学研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2008)
- [14] Zang Shaoxian, Ning Jieyuan. Study on the Subduction Zone in Western Pacific and its Implication for the Geodynamics [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1996, 39(2): 188-201 (臧绍先,宁杰远. 西太平洋俯冲带的研究及其动力学意义[J]. 地球物理学报, 1996, 39(2): 188-201)
- [15] Pan Wenliang, Wang Sheng'an. Introduction and Application of COMCOT Model [J]. *Marine Forecasts*, 2009, 26(3): 45-52 (潘文亮,王盛安. COMCOT数值模式的介绍和应用[J]. 海洋预报, 2009, 26(3): 45-52)
- [16] Liu P L F, Wang X M, Andrew J. Tsunami Hazard and Early Warning System in South China Sea [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 36(1): 2-12
- [17] Nguyen P H, Bui Q C, Vu P H, et al. Scenario-Based Tsunami Hazard Assessment for the Coast of Vietnam from the Manila Trench Source [J]. *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 2014, 236: 95-108
- [18] Megawati K, Shaw F, Sieh K, et al. Tsunami Hazard from the Subduction Megathrust of the South China Sea. Part I: Source Characterization and the Resulting Tsunami [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 36(1): 13-20
- [19] Chen Chuanxu, Wu Shiguo, Zhao Changlei. Incoming Plate Variation Along the Northern Manila Trench [J].

*Chinese Journal of Geophysics*, 2014, 57(12):4 063-4 073 (陈传绪, 吴时国, 赵昌奎. 马尼拉海沟北段俯冲带输入板块的不均一性[J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 4 063-4 073)

- [20] Wang Peitao, Yu Fujiang, Fan Tingting, et al. Numerical Study on the Linear/nonlinear Characteristics and the Impacts of Continental Shelf Effects of the Tsunami Waves Propagating [J]. *Acta Oceanologica Sinica* (in

*Chinese*), 2014, 36 (5): 18-29 (王培涛, 于福江, 范婷婷, 等. 海啸波传播的线性核非线性特征及近海陆架效应影响的数值研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(5): 18-29)

- [21] Iida K. Magnitude, Energy and Generation Mechanisms of Tsunamis and a Catalogue of Earthquakes Associated with Tsunamis [C]. 10th Pacific Science Congress, Honolulu, 1963

## Numerical Simulation and Analysis of Tsunami Impacts on the Coastal Area of South China

LI Zhiguang<sup>1,2,3</sup> XIE Shunping<sup>1,2,3</sup> DU Jinkang<sup>1,2,3</sup> ZHENG Wenlong<sup>1,2,3</sup> ZUO Tianhui<sup>4</sup>

1 Department of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210046, China

2 Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China

3 Collaborative Innovation Center of South China Sea Studies, Nanjing 210093, China

4 Earthquake Administration of Guangxi Autonomous Region Province, Nanning 530022, China

**Abstract:** The coastal area of South China overlooks the Manila trench across the South China Sea. Once a tsunami triggered by the earthquake in the trench that has frequent seismic activity, the tsunami energy may spread northward to the coast of China and influence the region. Based on the focal parameters of Manila trench which is divided into six segments, COMCOT (cornell multi-grid coupled tsunami model) is adopted to simulate six potential tsunamis. The six earthquakes are close to Mw9.0, and the epicenter of them distributes from north to south across the trench. By analyzing the height and arrival time of tsunami wave which propagates to the coastal area of South China, the results indicate that, after 1.9 h when the tsunami occurs, the lead wave firstly propagates to the eastern coast of Hainan Island. It costs 3.6 h to get to Qiongzhou Strait and the south of Fujian Province, and the maximum wave can reach 1.5-2.0 m. 2.6 h later, the region of Hong Kong, Macao and Swabue of Guangdong Province can detect the lead waves, and the maximum wave in this region is about 2.5 m. 8.9 h later, the wave travels to the Beibu Gulf, and the wave amplitude is less than 30 cm. The sensitivity analysis shows that the sensitivity to source location is different in different coastal regions of the South China. In general, the most sensitive area is the region of Hong Kong, Macao and most parts of Guangdong Province. If the tsunami is triggered by Fault2 and Fault3, the maximum wave height is near 2.5 m. However, in the case of Fault1 and Fault6, the maximum wave height is about 1 m.

**Key words:** south China coastal area; tsunami; COMCOT; numerical simulation; manila trench; fault

**First author:** LI Zhiguang, master, specializes in the GIS application. E-mail: lgung@163.com

**Corresponding author:** XIE Shunping, professor. E-mail: xiesp@nju.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41371044; Scientific and Technological Projects in Guangxi, No. 12426002.