

Research on Typhoon Storm Surge Disaster Risk Assessment and Resilient Coastal Planning in Wenzhou City, China

Yiran Zhang

Shanghai Tongji Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract

Under the influence of global climate change, typhoon storm surge disaster intensity and inundation risk are increasing. Taking Wenzhou City of Zhejiang Province as the research object, dynamic simulation and fine inundation risk assessment were carried out using MIKE 21 model to deal with the typical tidal disaster in this region. According to the research results, an adaptive coastal spatial planning strategy is proposed, which emphasizes the coordination of protection and utilization, and has certain flexibility to effectively guarantee the steady and sustainable development of the region.

Keywords

typhoon storm surge; MIKE 21; resilient coast; Wenzhou

中国温州市台风风暴潮淹没风险评估及韧性海岸规划研究

张怡然

上海同济城市规划设计研究院有限公司, 中国·上海 200000

摘要

在全球气候变化的影响下, 台风风暴潮致灾强度和淹没风险愈发增加。以浙江省温州市为研究对象, 利用MIKE 21模式进行动态模拟和精细化淹没风险评估的工作, 以应对该区域的典型潮灾问题。根据研究结果, 提出了一种适应性的海岸空间规划策略, 该策略强调保护和利用的协调, 并具备一定的灵活性, 有效保障区域稳健、可持续发展。

关键词

台风风暴潮; MIKE 21; 韧性海岸; 温州

1 引言

中国海洋灾害之首风暴潮灾多由台风引起, 制约城市建设与高质量发展^[1]。浙江省温州市“三山一面临海”, 紧靠东海, 海岸线狭长, 受季节及地理环境影响, 成为台风风暴潮淹没重灾区, 9417号、9711号、0216号等台风增水造成了严重的经济损失, 损失金额超百万元以上。台风风暴潮淹没致灾评估与兼顾发展韧性岸线空间建设, 对缓解城市压力和维护海洋和陆地系统稳定至关重要。

台风风暴潮淹没风险评估是通过量化判别台风风暴潮增水淹没影响区域内灾害发生的概率和造成的损害程度的过程^[2], 目前已有研究集中在数值模拟和多要素综合叠加两个方面。20世纪50年代, 发达国家如欧美等开始运用数值模拟方法进行研究, 以预警台风风暴潮引发的潮灾。Jelesnianski^[3]是美国的海洋学专家, 他在1972年开发出了

适用于美国海岸的 SPLASH 模型。在20世纪80年代初, 美国国家海洋和大气管理局对 SPLASH 模型进行了改进^[4]。最终在1992年, SLOSH 模型正式应用, 并不断得到更新和完善^[5]。丹麦水利研究所利用 DHI MIKE 水动力系统模型成功模拟了海水、波浪等动态演进情景, 该模型在研究风暴潮等海洋灾害和海洋工程中被广泛应用^[6]。21世纪后, Delft 3D、ECOMSED、FVCOM、ADCIRC 等三维模式广泛应用于台风风暴潮数值模拟研究, 并为各国建立了业务化预报机制提供技术支撑^[1]。

台风风暴潮数值模拟是台风潮灾风险研究中至关重要的工具, 现已形成了专业化且经过实践验证的成熟机制。通过使用 MIKE 21 水动力模拟、ArcGIS 空间可视化技术, 我们能够更直观确定台风风暴潮灾害淹没情况, 这项研究为潮灾风险防御提供了科学依据。

2 温州市台风风暴潮水动力模拟及致灾风险分析

数值模拟是研究风暴潮演化过程的重要手段, MIKE 21 模式已建成一套完备的系统化风险辨识、模拟、响应、防御

【作者简介】张怡然(1997-), 女, 中国山西曲沃人, 硕士, 助理工程师, 从事韧性城市与生态防灾、国土空间规划、经济产业发展规划、经济人文地理等研究。

体系。本节构建温州因地制宜的超强台风情景下的风暴潮数值模型，以实现可能对最大致灾风险辨识。

2.1 MIKE 21 水动力模型构建

2.1.1 区域网格与潮汐边界计算

为最大范围模拟大洋潮波和风暴潮动态演进规律，取北纬 20° ~34°、东经 115° ~131° 作为计算范围，建构模拟区域网格 Mesh 文件^[1]。利用“Nearest neighbor interpolation”法进一步生成海陆地形数据文件，细化网格精度。

地球引力作用下海平面具有周期性波动效益，造成海波涨水。在水动力模型中，考虑潮位（即天文潮）影响，模拟区域网格 Mesh 文件作为输入，采用“Tide Prediction of Heights”工具输出潮位边界，建构初始潮汐模型。

2.1.2 台风风场及模型运行参数确定

台风作为引起风暴潮增水的决定性因素，其计算精确度极大程度影响结果可靠性^[7]。根据台风最大风速和影响半径等参数，来估算影响半径内海平面气压和风速的分布情况^[8,9]，并运用藤田风场模式公式计算台风风场。

$$P = P_n - (P_n - P_0) \left[1 + \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (式 1)$$

其中， P_0 为台风中心气压； P_n 为台风外围气压； r 为目标点到台风中心距离； R_0 为最大风速半径。

$$V_r = V_{max} \cdot \left(\frac{R}{R_m} \right)^7 \cdot \exp \left(7 \left(1 - \frac{R}{R_m} \right) \right) \quad (式 2)$$

$$V_r = V_{max} \cdot \exp \left((0.0025R + 0.05) \cdot \left(1 - \frac{R}{R_m} \right) \right) \quad \text{for } R < R_m \quad (式 3)$$

$$V_t = -0.5 \cdot V_f \cdot (-\cos \varphi) \quad \text{for } R \geq R_m \quad (式 4)$$

$$V = V_r + V_t \quad (式 5)$$

其中， R 为计算点至气压中心距离； R_m 为最大风速半径； V_{max} 为最大风速； φ 为最大风速角度； V_f 为台风中心移动速度； V_r 为台风转速； V_t 为台风平移速度； V 为总风速。

2.2 可能最大台风风暴潮模拟与淹没风险评估

可能最大台风风暴潮研究作为灾害风险评估的重要依据，通过建构超强台风增水淹没及最大可能致灾情景模型^[10]，为采取最有效保障措施、最大程度地保护近海区域安全提供基础。

根据温州历史上最高强度、直接登陆型 9417 号台风的途径，结合历年台风统计资料和相关调查研究，通过参考相关文献并进行计算，确定了模拟区域可能的最大台风参数值。根据气象和海洋学知识，当与天文潮同时发生时，潮位达到最高值，因此最大可能的台风风暴潮总潮位是风暴潮的最大增水叠加上天文潮的高潮位^[1]。为了控制天文潮，结合验潮站多年累积数据确定模拟区域潮高平均值 2.57m 作为参考条件。

运行 MIKE21 水动力模型叠加 GIS 可视化结果呈现在图 1 中。台风登陆后的 2~3 小时达台风风暴潮增水最高值，温州站和瑞安站的验潮站最高潮位分别达到 8.42m 和 7.34m。台风风暴潮增设淹没总面积达到 1070.72km²，最大淹深水深 5.27m，主要影响市域范围滨海湾、江河沿岸和滨海平原区的共计 63 个乡镇和街道，占据了温州市域总面积的 9.30%。

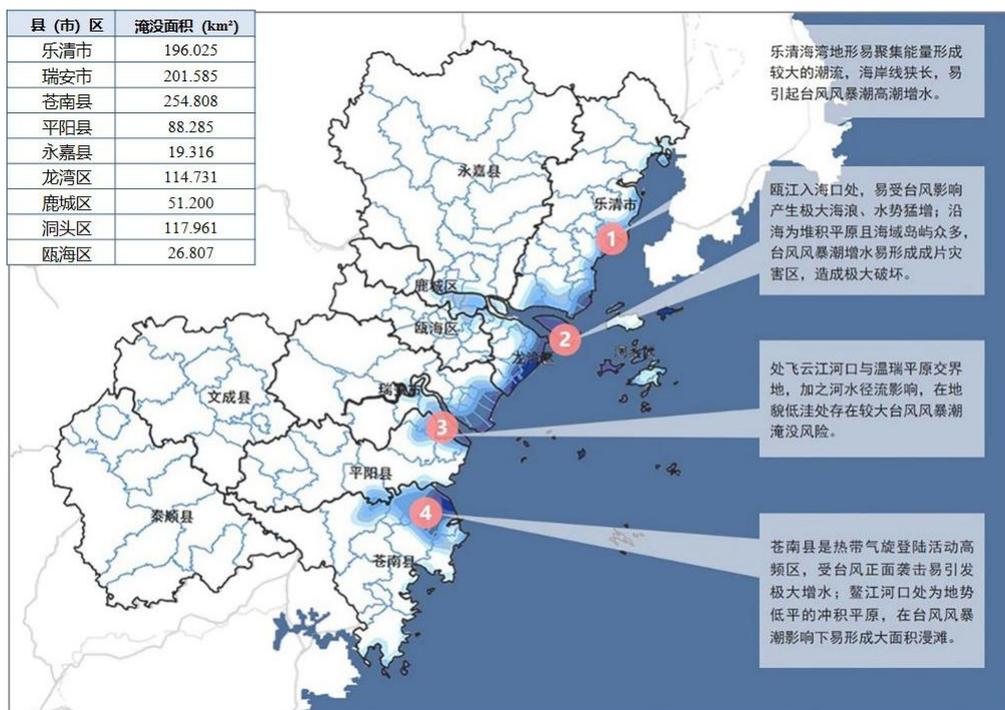


图 1 温州可能最大台风风暴潮淹没范围及风险评估示意图

3 温州安全与高效海岸空间规划策略

台风风暴潮直接作用和影响沿海海岸空间，具有生态敏感性、多灾种性，易受生产经济活动频繁干扰。根据台风风暴潮淹没风险评估结果，整合生态防灾和海防工程设施防御，依托环境演变规律调整海岸空间布局，以确保城市后方安全稳定发展。

3.1 海岸韧性保护系统的建设

除了作为原生自然资源之外，海湾、海岛、滩涂、湿地和沙滩还具备着防潮减灾的作用^[1]。以实际温州蓝碳工程实施和生态修复为主体，维系连续、完整的“天然海堤”。对海草床、盐沼、海藻养殖、南红和北柳进行植被补充和结

构优化，以形成复合植物群落，在保护生物多样性的同时有效减少海潮对岸线的直接冲击。

沿海城市的海防水利工程是防止潮水、海浪侵袭城市的重要基础设施。本文根据台风风暴潮情景模拟研究，提出了温州海塘加固方案，旨在增强现有防御设施的能力，最大限度地满足防潮减灾的需求。

海岸防御工程及植被群落结构优化示意图见图 2。

3.2 优化沿海开发利用结构

综合考虑海岸现状空间和用地开发效益，规划协调岸线的开发利用适宜性及利用方式管控布局，顺应陆海系统人流、物流、生物流等复杂递进交互模式^[11]，形成活力焕发、多元混合的滨海特色发展空间（图 3）。

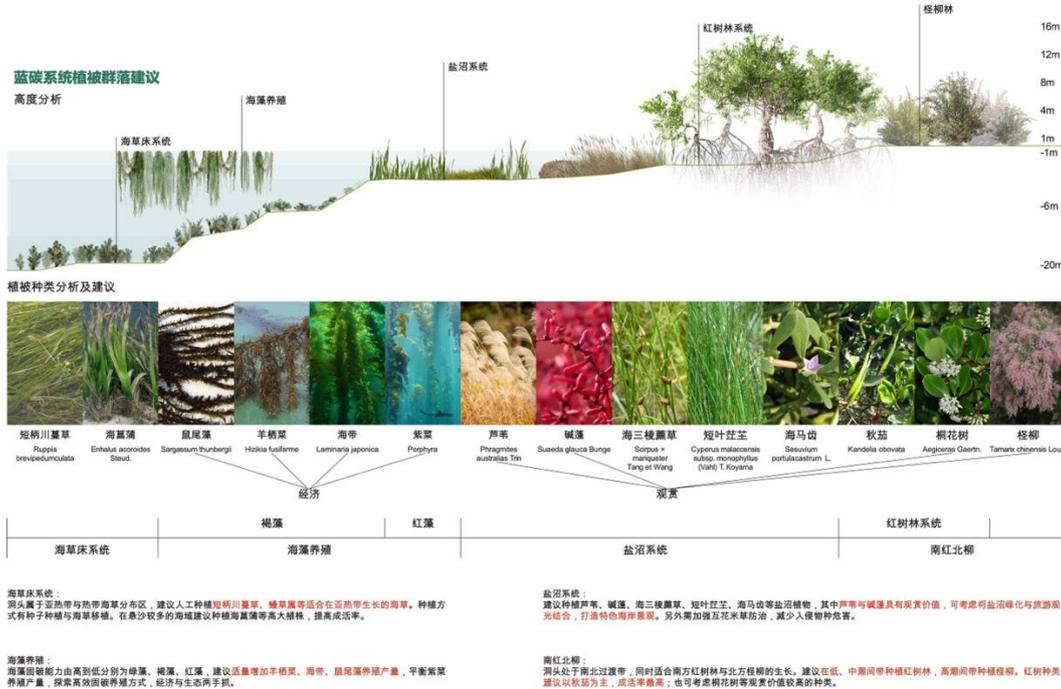


图 2 海岸防御工程及植被群落结构优化示意图



图3 温州海岸复合多元化空间构建示意图

4 结语

本研究通过运用 MIKE 21 数字技术，构建了台风风暴潮水动力演进情景模型，实现了温州台风风暴潮的风险识别和评估。从韧性防护系统构建和岸线开放利用结构优化两个方面制定有的放矢防潮减灾规划策略，这将有利于长期保障城市的安全，并为应对气候危机和极端台风风暴潮灾害提供了新的途径。

参考文献

[1] 张怡然.温州市台风风暴潮灾害风险辨识与生态防灾规划研究[D].天津:天津大学,2021.

[2] 于良巨,施平,侯西勇,等.风暴潮淹没风险的精细化评估研究[J].自然灾害学报,2017,26(1):41-47.

[3] Jelesnianski C P. Numerical computations of storm surges with bottom stress[J]. Monthly Weather Review,1967,95(11):740-756.

[4] Shaffer W, Jelesnianski C P, Chen J. Hurricane Storm Surge

Forecasting[C]. Oceans. IEEE,1986(3):1379-1385.

[5] Jelesnianski C P, Chen J, Shaffer W. SLOSH (Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes) [R]. NOAA Technical Report NWS48, 1992(71).

[6] DHI. User Guide and Reference Manual of MIKE21(Coastal Hydraulics and Oceanography)[M]. 1996.

[7] 朱首贤,沙文钰,丁平兴,等.近岸非对称型台风风场模型[J].华东师范大学学报(自然科学版),2002(3):66-71.

[8] 李旋.江苏沿海风暴潮数值预报模式研究[D].上海:上海海洋大学,2016.

[9] 易思.海平面上升与可能最大风暴潮复合作用的风险评估及其适应策略研究[D].上海:华东师范大学,2018.

[10] 郭豪爽.沿海地区风暴潮淹没风险评估研究[D].上海:上海海洋大学,2019.

[11] 周建军,桑劲.“冗余空间”:城市应急空间规划与管理思考[J].规划师,2020,36(6):36-39.