

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2021065

王喜娜,王先伟,黄华兵,等.基于GIS的风暴潮灾害风险预警方法研究[J].中国防汛抗旱,2021,31(10):15-20.WANG Xina,WANG Xianwei,HUANG Huabing,et al.Research on storm surge disaster risk early warning method based on GIS[J].China Flood & Drought Management,2021,31(10):15-20.(in Chinese)

基于GIS的风暴潮灾害风险预警方法研究

王喜娜¹ 王先伟^{2,3} 黄华兵^{2,3} 刘春霞⁴

(1.广东生态工程职业学院,广州510520;2.中山大学地理科学与规划学院,广州510275;
3.广东省公共安全与灾害工程技术研究中心,广州510275;4.中国气象局广州热带海洋气象研究所,广州510641)

摘 要:风暴潮灾害是对沿海地区破坏性巨大的一种海洋灾害,风暴潮灾害监测预警是极为重要的减灾非工程措施。目前,国家海洋环境预报中心发布的风暴潮灾害预警主要是风暴潮增水预警,即增水值是多少,但风暴潮灾害事件的影响取决于风暴增水、增水发生时天文潮位、沿海地形、海堤高程及社会经济分布状况等多方面因素,仅有风暴增水的预警不能直观地预见灾害即将带来的影响。提出基于GIS对风暴潮灾害事件影响进行评估的监测预警方法,并以201604号台风“妮妲”为例进行了说明。首先,通过对天文潮和风暴增水预报获取目标区域潮位预报;然后,基于Flood Area构建风暴潮漫滩淹没模型,对风暴潮漫滩淹没进行仿真模拟;最后,结合淹没范围、深度和社会经济数据,评估风暴潮灾害事件可能导致的受灾人口数和GDP损失,基于风暴潮灾害风险进行预警分级,该方法可以为风暴潮灾害事件的应急管理提供决策支持。

关键词:风暴潮;GIS;灾害风险预警

中图法分类号:P731.23

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2021)10-15-06

风暴潮灾害的破坏性居于全球海洋灾害之首,据国际灾害防御和减灾委员会公布的数据显示:1949-2014年间全球海洋灾害累计发生2 497次,其中风暴潮灾害1 496次,风暴潮灾害损失占海洋灾害损失总量的60%^[1-2]。

风暴潮灾害监测预警是一项非常重要的防灾减灾非工程措施,过去风暴潮灾害的监测预警多关注对风暴增水的数值预报^[3-5],把预报潮位与沿海的警戒潮位相比较,确定预警级别。但是当预报潮位超过警戒潮位时,淹没的范围在哪里,淹没有多深,灾情有多大,这些重要的信息在当前的预警信息中是非常缺乏的。以往的相关研究中,对风暴潮灾害风险进行预警是较为少见的。根据黄崇福等^[6]的研究,自然灾害风险被定义为由自然事件或力量为主因导致的未来不利事件情景。本文基于情景驱动的区域自然灾

害风险分析理论,提出一种基于GIS的风暴潮灾害风险预警方法,其风险包括致灾因子的危险性、承灾体的暴露度和脆弱性。根据风暴潮海洋预报信息,预测因风暴潮灾害导致的损失(受影响人口、财产)的期望值。

风暴潮灾害风险预警方法通过GIS将气象海洋预报模型、海陆洪水演进模型、灾害损失计算模型进行耦合,计算灾害的预计影响范围和损失,本方法可用于灾情研判,为灾害应急管理提供决策支持,以便早期预警、动态警戒和科学决策。

1 研究区域和技术方法

1.1 研究区域与数据来源

本文所选研究区域为受风暴潮灾害影响严重的珠江

收稿日期:2021-02-28

第一作者信息:王喜娜,女,副教授,E-mail:95625065@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41801074、41871085);广东省普通高校特色创新类项目(2019GKTSCX067)。

三角洲(以下简称珠三角)的8个地级市(图1),总面积37 199.8 km²,是我国人口汇聚最多、经济发展最迅猛、创新能力最突出的区域之一。珠三角是华南地区最大的沿海平原,海岸线总长达1 059 km,沿海中山市、珠海市等在平均海平面以下,受洪潮威胁极大。风暴潮灾是珠三角面临的重大隐患,如果遭遇风暴潮灾,珠三角所造成的影响和损失将远远大于其他地区,研究珠三角的风暴潮灾害风险预警对该地区的可持续发展具有非常重要的现实意义。

本文收集了珠三角25 m分辨率的数字高程模型(DEM)、珠三角的堤防工程矢量数据及主要验潮站的观测潮位数据,用来实现风暴潮漫滩淹没模拟。为了实现风暴

潮的潮位预报,收集了连续的潮位观测数据和海洋气象预报数据,研究数据及来源见表1。

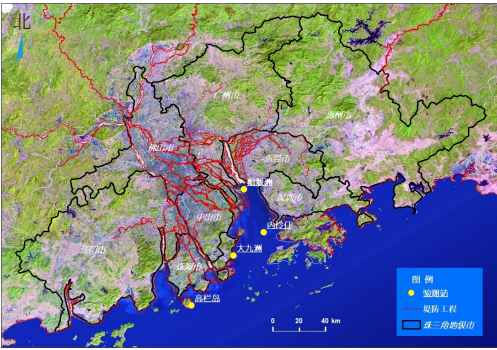


图1 研究区域示意图

表1 研究数据及来源

数据类别	数据名称	数据说明	来源
潮位与气象	验潮站观测潮位	舢舨洲、内伶仃、大九洲、高栏岛1个月、逐小时潮位数据	广州海事测绘中心
	台风预报数据	中国气象数值预报系统台风气压场、风场预报	中国气象局广州热带海洋气象研究所
下垫面	DEM	25 m分辨率,1985国家黄海高程	广东省自然资源厅
	堤围工程矢量数据	中心线位置及高程	警戒潮位核定研究报告(2017)
	土地利用类型	土地利用分类	国家地球系统科学数据中心
社会经济	公里格网人口分布数据集 ^[7]	人口,1 km分辨率,2010年	国家地球系统科学数据中心
	公里格网GDP分布数据集 ^[8]	GDP,1 km分辨率,2010年	

1.2 技术方法

风暴潮灾是由天文潮和风暴增水两部分引起的,天文潮是由日月引力引起的海水规律性的涨落,风暴增水是因为气象因素引起的异常增水。风暴潮灾害风险预警首先需对天文潮和风暴潮增水进行预报,然后结合沿岸数字高程模型、堤围高程构建风暴潮漫滩淹没模型,最后结合社会经济(GDP和人口)的暴露性和脆弱性,评估淹没区域受灾人口和GDP损失,在灾害来临前,绘制基于风暴潮灾害风险评估的预警图,从而为防灾减灾救灾工作提供决策支持。技术路线如图2所示。

(1)天文潮预报。基于图1和表1中4个验潮站的连续潮位观测数据,采用潮汐调和分析法,利用T_Tide模型计算沿海各潮位站的潮汐调和常数,潮汐调和常数可以用来预报未来任意时刻该地点的天文潮高。将各验潮站的天文潮预报值进行处理,将各验潮站在同一时刻的天文潮高采用克里金插值法进行空间插值,从而生成逐小时的天文潮预报潮位面。

(2)风暴增水预报。中国气象局广州热带海洋气象研

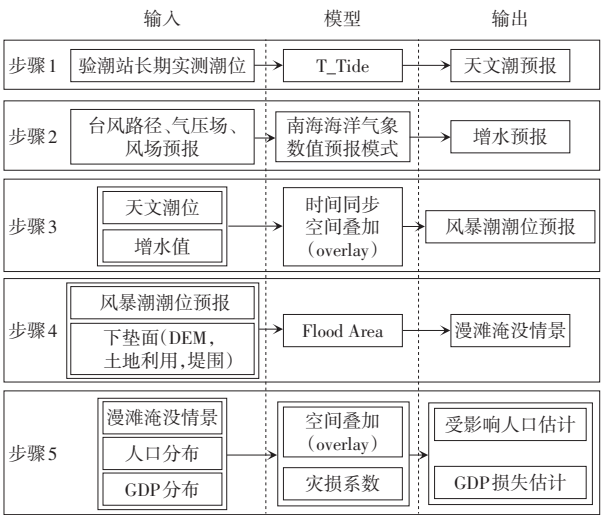


图2 技术路线图

究所研发了南海海洋风暴潮增水预报模式,可以预报因气压抽吸作用和风搅拌引起的风暴增水值。该模式每天提供两次,协调世界时(UTC)时间0时和12时的逐小时风暴增水预报,预报时段为未来72 h^[9]。

(3)风暴潮潮位预报。将天文潮预报结果和增水预报

结果在时间上同步,空间上叠加,得到潮位的时空分布,并将潮位根据陆海高程基准的关系进行转化,统一使用1985国家黄海高程基准。

(4)漫滩淹没模拟。风暴潮漫滩淹没模拟将潮位的预报数据作为输入数据,结合下垫面DEM、土地利用类型、堤围工程分布及高程等,构建基于Flood Area的珠三角风暴潮漫滩淹没模型,得到淹没水深和范围等关键参数。

Flood Area是德国Geomer公司开发的内嵌于GIS平台ArcGIS的二维水动力学建模工具,在国内外广泛用于洪水演进模拟、计算洪水淹没深度和范围及动态风险评估制图。Flood Area基于GIS规则格网(ArcGIS的ArcGrid格式)构建洪水演进模型,考虑了地形坡度和多种地表覆盖形态下地表粗糙度对洪水动态演进过程的影响,洪水以输入水位、流量或面雨量3种方式进行建模,对每个时相的洪水运动状态,以栅格形式输出,可视化地表达流向、流速和淹没水深等时空物理场。

本文基于Flood Area的风暴潮漫滩淹没模型计算范围如图1所示,模型输入的初始水位面为海域逐小时的预报潮位面,每个小时时相的预报潮位面模拟周期指定为1 h,且与先前模拟相延续。Flood Area模型无需设置时间步长,需设置网格的最大水流交换率,由网格的实际水流交换率动态调整时间步长。最大水流交换率的推荐值是1%~5%,经过多次测试,在该模型中将最大水流交换率设置为5%。陆地部分采用规则格网的DEM,25 m空间分辨率,根据珠三角堤防工程的微地形修正DEM的栅格高程值,以保证关键地区地形数据的准确性。不同土地利用类型对应的粗糙度设置如表2所示。

表2 不同土地利用类型的粗糙度

项目	土地利用类型				
	居民地	水体	旱地	水浇地	林地
Striker系数	14	40	17	20	15
Manning糙率	0.07	0.03	0.06	0.05	0.07

(5)灾害损失评估。风暴潮灾害损失评估内容有多种分类方法,按现有国家《特别重大自然灾害损失统计制度》,灾害损失评估内容体系分为人员受灾、农村和城镇居民住宅用房损失、非住宅用房损失、居民家庭财产损失、农业损失、工业损失、服务业损失、基础设施损失、公共服务损失、资源与环境损失;按损失发生的形式,有直接损失与

间接损失;按损失的可量化性可以分为可衡量的损失与不可衡量的损失。本文从易操作性方面考虑,选择了受灾人口和区域GDP作为损失评估的内容。

风暴潮受灾人口评估方法采用人口密度法,将受灾范围图与人口密度图叠加得到受灾人口分布图,由GIS空间分析功能统计受灾区域的人口数量。人口密度法可以评估区域总体受灾人口数量,还可以反映受灾人口的空间分布情况,本文采用珠三角公里格网的人口分布数据作为损失评估的基础数据。

GDP损失评估采用灾损曲线法,灾损曲线法的关键是确定不同致灾强度下的灾害损失率。洪涝灾害损失率是一个比较难获得的参数,通常通过历史洪水的灾情调查分析获得。金管生等^[10-11]研究了长江流域和淮河流域不同淹深水深等级下的洪灾经济损失率(图3),在珠江流域未见洪灾经济损失率的公开文献,本文借鉴了长江流域和淮河流域的洪灾损失率调查结果,取两者的中间值,作为珠江流域的洪灾经济损失率(图3),后续将开展洪灾现场实地调查,继续修正珠江流域的洪灾经济损失率。本文采用公里格网的GDP空间展布数据,叠加风暴潮淹没范围和深度,乘以不同水深下的GDP洪灾损失率,得到研究区域的GDP损失。

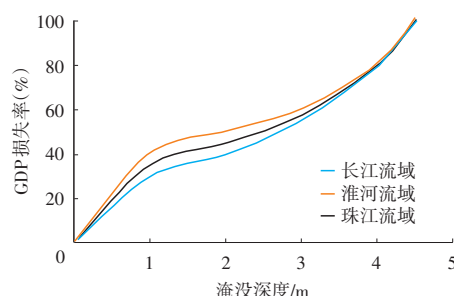


图3 淹没深度 - GDP损失率曲线

综上所述,本方法交叉融合气象海洋预报模型、海陆洪水演进模型、灾害损失计算模型,在数据收集和系统建模方面具有一定的复杂性,本文开创了有益的探索,下面以201604号台风“妮妲”为例,说明该技术方法的应用。

2 结果分析

2.1 台风“妮妲”风暴潮

2016年8月2日0时35分,台风“妮妲”在深圳市大鹏

半岛登陆,登陆时中心附近最大风力12级,最低气压975 hPa。台风“妮妲”风暴潮发生于2016年8月2-3日,受其影响,2016年8月2-3日北至惠州岸段,南至阳江岸段,沿海出现60~110 cm的风暴潮增水,黄埔、汕尾、南沙、广州、惠州、赤湾等站最大增水分别为110 cm、101 cm、101 cm、99 cm、92 cm和89 cm。风暴潮造成广东水产养殖受灾面积3 230 hm²,损失产量2 260 t,损毁渔船258艘、防波堤100 m、海堤和护岸7.86 km,道路3.44 km,直接经济损失1.12亿元^[12]。

2.2 台风潮位预报

采用验潮站连续观测潮位数据,基于潮汐调和预报工具T_Tide,预报珠三角2016年8月整个月的天文潮,将验

潮站的天文潮位通过空间插值,形成天文潮位面;南海海洋风暴潮数值预报模式2016年8月1日12时(UTC)预报了未来72 h的风暴增水,经过对天文潮数据和风暴潮增水预报数据进行时间同步、空间叠加以后,生成潮位的时空分布。图4是舢舨洲、内伶仃、大九洲、高栏岛验潮站在2016年8月1日0时至8月3日12时(共计60 h)的预报潮位和观测潮位,从图中可以看出4个站的数据预报和观测拟合较好;该模式在低潮的部分,观测和预报相差较大,说明该风暴潮预报模式对低潮部分预测有待改进。但是本研究的目的是风暴潮高风险的预计,所以对高潮部分更加关注,该模式对高潮部分拟合良好,可以用来支撑风暴潮灾害风险预警分析。

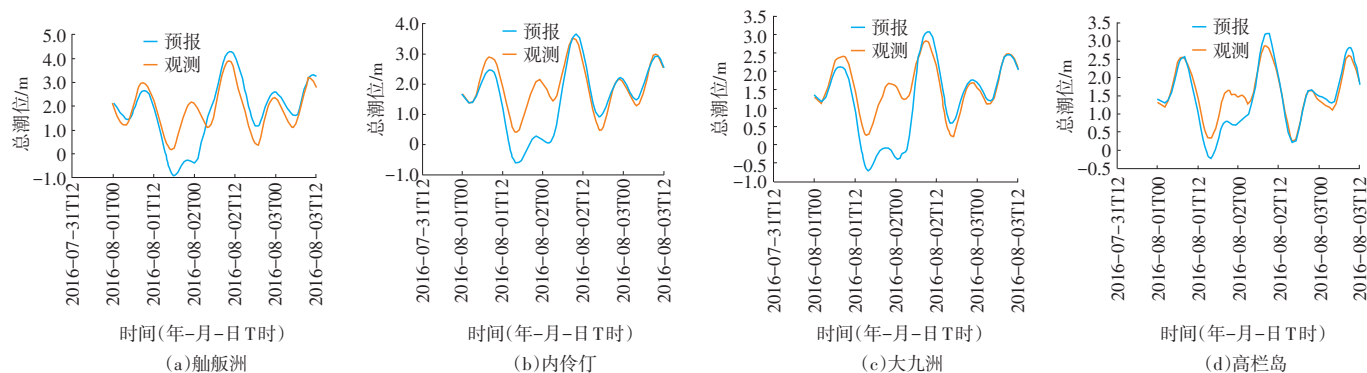


图4 预报潮位和实测潮位的对比

在4个站中,最大潮位误差最小的是内伶仃,预报与观测最大潮位误差11 cm;最大潮位误差最大的是高栏岛,预报与观测最大潮位误差34 cm。4个站的最大潮位平均误差24.5 cm。最大潮位出现时间误差在3个站延后1 h,1个站预报无误差,见表3。总体来说,该潮位预报模式在最大潮位的预测方面表现了较好的预报能力。

表3 总潮位预报模式检验

测站位置	观测		预报	
	最大潮位/m	最大潮位出现时间 (年-月-日 T时:分)	最大潮位/m	最大潮位出现时间 (年-月-日 T时:分)
舢舨洲	3.92	2016-08-02T10:00	4.20	2016-08-02T11:00
内伶仃	3.54	2016-08-02T09:00	3.65	2016-08-02T10:00
大九洲	2.84	2016-08-02T09:00	3.09	2016-08-02T10:00
高栏岛	2.88	2016-08-02T09:00	3.22	2016-08-02T09:00

2.3 淹没风险预警图

基于Flood Area构建珠三角风暴潮漫滩淹没模型,输入珠三角25 m分辨率的DEM、土地利用类型数据和逐小

时的预报潮位,模拟台风“妮妲”造成的风暴潮漫滩场景,模拟时段为2016年8月2日0-12时。每6 min输出一张淹没图,将淹没风险按水深分为4个等级:水深 $h \geq 1.8$ m,风险很高;水深 $1.2 \text{ m} \leq h < 1.8 \text{ m}$,风险高;水深 $0.6 \text{ m} \leq h < 1.2 \text{ m}$,风险较高; $h < 0.6 \text{ m}$,一般风险。图5为2016年8月1日20时计算的8月2日9时的淹没风险预警图,从图中可以看出,珠海市沿海地区、深圳皇岗口岸区域

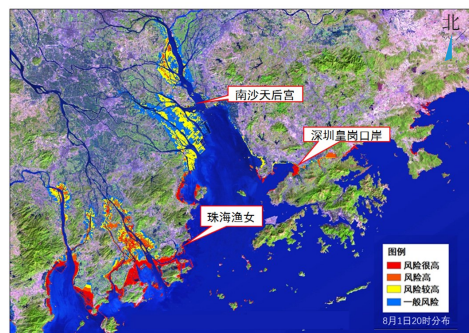


图5 台风“妮妲”风暴潮灾害风险预警图(8月2日9时)

淹没风险很高,广州南沙区有淹没风险,但风险等级较低。

在深圳皇岗口岸、广州南沙天后宫和珠海渔女3个观察点测量风暴潮期间的最大水深。8月2日7-9时,珠海渔女实测潮位2.85 m,路面淹水深度1.5 m;南沙天后宫实测潮位3.92 m,路面淹水深度0.5 m;深圳皇岗口岸水位实测潮位2.59 m,路面淹水深度1.8 m。

本研究利用公里格网的人口分布数据集^[7]和公里格网的GDP分布数据集^[8],采用人口密度法和GDP洪灾损失率计算台风“妮妲”风暴潮灾害中,各地级市所遭受的

淹没范围、经济损失和受影响人口(图6)。淹没范围在20 km²以上的地级市有广州、珠海、中山、江门和东莞,其中广州和珠海淹没范围在80 km²以上。经济损失较大的地级市有东莞、深圳、广州和珠海,经济损失的大小与土地利用类型和产业分布有重要关系,说明在这4个地级市的淹没区中分布有大量的经济产业。受灾人口与城镇、居民点的分布密切相关,从数据可以看出江门、中山、佛山受影响人口较多,说明在这3个地级市的淹没区中分布有较密集的村镇。

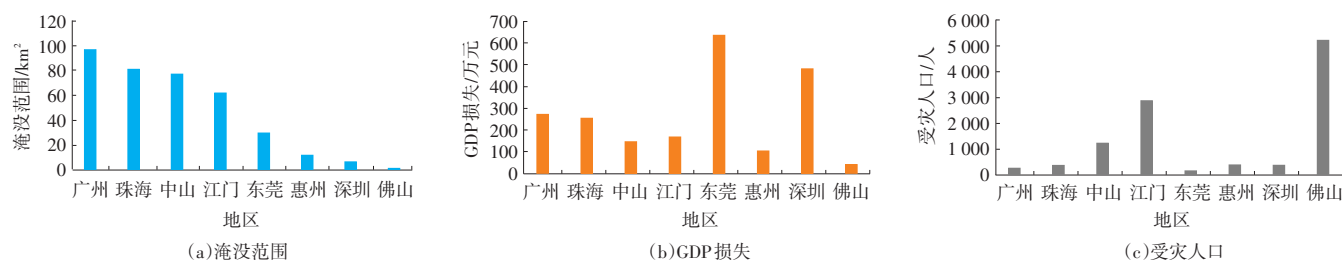


图6 台风“妮妲”风暴潮灾害影响评估

3 结 语

本文耦合天文潮预报、风暴潮增水预报、漫滩淹没模拟、灾害损失评估等方法,提出了一个基于GIS的风暴潮灾害风险预警方法,制作的风险预警图可用于风暴潮灾害的分析研判和应急管理。未来可设计风暴潮灾害损失监测预警精细化平台,建立风暴潮灾害损失预警信息发布的规范化、科学化“绿色通道”,真正实现风暴潮灾害事件的科学判断、动态警戒和早期预警。

参考文献

- [1] 金雪,殷克东,孟昭苏,等.中国沿海地区风暴潮灾害损失监测预警研究进展[J].海洋环境科学,2017,36(1):149-154.
- [2] 王喜年.风暴潮预报知识讲座——第二讲 风暴潮灾害及其地理分布[J].海洋预报,2001(2):70-77.
- [3] 韩雪,盛建明,潘锡山,等.南海海域风暴潮精细化数值模式研究[J].海洋预报,2019,36(1):52-58.
- [4] 罗锋,盛建明,潘锡山,等.江苏沿海精细化风暴潮模式研究与应用

[J].南京大学学报(自然科学),2014,50(5):687-694.

- [5] 李永平,于润玲,郑运霞.一个中国沿岸台风风暴潮数值预报系统的建立与应用[J].气象学报,2009,67(5):884-891.
- [6] 黄崇福,刘安林,王野.灾害风险基本定义的探讨[J].自然灾害学报,2010,19(6):8-16.
- [7] 江东.中国公里格网人口分布数据集[DB/OL].[s.n.][2021-01-28].
<http://www.geodata.cn>.
- [8] 黄耀欢,江东,付晶莹.中国公里网格GDP分布数据集[DB/OL].[s.n.][2021-01-28].<http://www.geodoi.ac.cn/doi.aspx?doi=10.3974/geodb.2014.01.07.v1>.
- [9] 刘春霞,廖菲,赵中阔.广州风暴潮数值预报模式(GZSSM_V1.1)规格书[R].2016.
- [10] 金管生,李富绥,许书平.长江流域洪灾经济损失评估方法综述[R].1992.
- [11] 金管生,李富绥,许书平.淮河流域洪灾经济损失评估方法综述[R].1992.
- [12] 广东省防灾减灾年鉴编纂委员会.广东省防灾减灾年鉴2017年卷[R].2017.

Research on storm surge disaster risk early warning method based on GIS

WANG Xina¹, WANG Xianwei^{2,3}, HUANG Huabing^{2,3}, LIU Chunxia⁴

(1.Guangdong Eco-Engineering Polytechnic, Guangzhou 510520; 2.School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275; 3. Guangdong Provincial Engineering Research Center for Public Security and Disasters, Guangzhou 510275; 4. Guangzhou Institute of Tropical Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510641)

Abstract: Storm surge is one of the most severe marine disasters in China. Early warning is a very important non-structural measure for disaster prevention and mitigation. Early warning information of storm surges issued in National Marine Environmental Forecasting Center only contains the water level variations caused by tropical cyclones. The severity of storm surge disaster is determined by the height of storm surge, the phase or the height of astronomical tide, coastal topography, embankment height and socio-economic distribution. Only the early warning of storm surge can not directly predict the impact of the disaster. A monitoring and early warning method for evaluating the impact of storm surge disaster events based on GIS is proposed, which is illustrated by taking typhoon “Nida” as an example. The total tide level prediction in the target area is obtained through the prediction of astronomical tide and storm surge; The storm surge floodplain inundation model is constructed based on the Flood Area to simulate the storm surge floodplain inundation; Combined with the inundation range, depth and socio-economic data, the number of affected people and GDP loss that may be caused by storm surge disaster events are evaluated, and the early warning classification is carried out based on storm surge disaster risk. This method can provide decision support for the emergency management of storm surge disaster events.

Keywords: storm surge; GIS; disaster early warning

责任编辑 姚力玮

《中国防汛抗旱》杂志征稿启事

《中国防汛抗旱》杂志创办于1990年,是我国唯一以防洪抗旱减灾为主题公开发行的刊物。以“及时报道党和国家在防洪抗旱方面的方针政策、交流推广防洪抗旱系统的先进经验技术、探讨减轻水旱灾害的对策及措施、介绍防洪抗旱及相关领域的新理论、新技术、新研究成果,进一步增强全社会水患意识、促进防洪抗旱工作”为宗旨,是我国从事防洪抗旱工作各级领导和工作人员的重要参考,也是防洪抗旱领域专家学者沟通的重要交流平台。

主要栏目:特别关注、研究综述、监测预报、城市防洪、水工程调度、山洪灾害防治、信息化建设、风险管理、研究探讨、案例分析、他山之石、减灾文化、我的防汛生涯等,每年重点选题如下,欢迎投稿。

栏目	主要内容	征稿对象	拟刊期
研究综述	防洪抗旱重点研究方向综述文章	科研院所、大专院校	每年各期
特邀主编专栏	特定方向理论研究、技术应用 (非产品推广)类论文	知名专家或杰出青年学者担任 栏目特邀主编并组稿	每年双月期
年度洪旱灾害调研	当年典型洪旱过程和灾情调研分析	科研院所、大专院校	每年9-12期
地方行动	各地防洪抗旱行动	流域和省级相关部门	每年5-9期
特别关注·年度洪旱概述	当年各流域机构洪旱及防御情况概述	各流域机构水旱灾害防御部门	每年12期、1期、2期
城市防洪	城市防洪排涝方面的研究论文	科研院所、大专院校	每年择期
信息化建设	防洪抗旱信息化建设方面的研究论文	科研院所、大专院校	每年择期
风险管理	水旱灾害风险管理方面的研究论文	科研院所、大专院校	每年择期

咨询电话:(010)68781008 投稿网址:www.cfdm.cn