

嘉兴市城市防洪包围圈下垫面变化对洪水风险的影响

肖雪玲, 向小华, 吴晓玲

(河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为分析人类活动引起的下垫面变化对平原地区城市洪水风险的影响, 以嘉兴市城市防洪包围圈为研究区域, 利用 MIKE 11 构建水文水动力模型, 分析 1990—2020 年下垫面变化情况, 并以不同下垫面条件作为模型的输入, 模拟相应的城市洪水过程及其变化特征。结果表明: 1990—2020 年城市化进程迅速, 约 46% 的耕地转变为建设用地, 而建设用地扩张对洪水的放大程度随着降雨重现期的增加变得更加显著, 其中 50 年一遇暴雨下的最高洪水水位上涨程度较 5 年一遇暴雨下高 0.206 m; 在 2020 年的下垫面条件下, 已有 12.3% 的河道无法满足 30 年一遇排涝标准, 预计未来洪水威胁将随着城市发展进一步放大, 亟须采取相应措施提高城市排涝能力。

关键词: 下垫面变化; 平原河网; 洪水风险; 水文水动力模型; 嘉兴市

中图分类号: TV87

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2025)01-0026-06

Impact of underlying surface changes of urban flood control encirclement of Jiexing City on flood risk//XIAO Xueling, XIANG Xiaohua, WU Xiaoling (College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to analyze the impact of the underlying surface changes caused by human activities on urban flood risk in plain areas, a hydrological-hydrodynamic model was constructed using MIKE 11 to analyze the changes of the underlying surface of the urban flood control encirclement of Jiexing City from 1990 to 2020, and the corresponding urban flood process and its change characteristics were simulated using different underlying surface conditions as input conditions. The results show that the urbanization process was rapid from 1990 to 2020, with approximately 46% of the arable land converted to construction land, and the expansion of construction land has increasingly amplified the flood risk as the rainfall return period increases. Under a 50-year return period rainfall event, the highest flood level was 0.206 m higher than a 5-year return period event. Under the underlying surface conditions in 2020, 12.3% of the river channels were unable to meet the 30-year return period drainage standard. It is expected that flood threats will further intensify with continued urban development, and corresponding measures must be taken to enhance urban drainage capacity.

Key words: changes in underlying surface; plain river network; flood risk; hydrological-hydrodynamic model; Jiexing City

近年来,受人类活动影响,城市洪涝灾害问题日益突出,严重威胁城市公共安全^[1-2]。特别是极端暴雨条件下,城市化硬质地面增多,河道过流能力有限,造成排水不畅,从而引发城市洪涝问题^[3-5]。随着人类活动的不断扩展,城市下垫面改造程度不断加深,城市洪水风险将逐渐升级。

平原河网地区地势平坦、水系众多,水流运动复杂,受人类活动影响严重,此类地区的城市雨洪风险问题引发广泛关注^[6]。为解决相关问题,产汇流模型是重要非工程手段之一,如何朝飞等^[7]基于 Copula 函数推求各洪峰作用下的风险概率,构建了

洪水风险评估模型。目前普遍采用水文和水动力学耦合模型进行城市洪水预测^[8],如结合 HEC-HMS 水文模型和 HEC-RAS 水力学模型^[9]、耦合 SCS 水文模型和 MIKE 11 水动力模型^[10]、综合 MIKE 11 NAM 水文和 HD 水动力建模方法^[11]等。学者们基于上述产汇流模型研究成果,关注洪水对城市下垫面演变的响应规律,研究显示快速城市化引起的土地利用变化造成地表径流增加,城市防洪压力上升^[12],其中建成区和绿地对城市内涝的影响最为显著^[13-14]。在未来城市化进程下,极端洪水的发生将更加频繁^[15]。

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC3006501)

作者简介:肖雪玲(1999—),女,硕士研究生,主要从事流域水文过程模拟研究。E-mail:1500904014@qq.com

通信作者:向小华(1981—),男,副教授,博士,主要从事流域水文过程模拟研究。E-mail:xxhxiang@hhu.edu.cn

本文以嘉兴市城市防洪包围圈为研究对象,借助 MIKE 11 水文水动力学模型,以地表径流、河道洪水位和排涝能力 3 个指标为依据,结合 1990—2020 年土地利用数据,对城市化持续推进背景下,下垫面变化对城市洪水风险、排涝能力的影响程度进行量化,并提出城市防洪包围圈排涝有效措施。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

嘉兴市地处亚热带季风区,气候温和湿润,雨量充沛,年平均降水量为 1 168.6 mm,洪涝灾害频发。在 2013 年“菲特”、2021 年“烟花”台风影响下发生了严重的洪涝灾害,嘉兴站水位分别达到 2.59、2.51 m。嘉兴市城市防洪包围圈总面积为 127.29 km²,内部含河道(包括湖泊、湿地) 258 条(个),河道总长 361.94 km,水面率为 8.54%,湖泊、湿地、河道及其他众多河道、湖荡相互连通,河道流向一般为自西南向东北。防洪工程由穆湖溪、三店塘、平湖塘、海盐塘、长水塘等枢纽、节制闸以及防洪堤等组成,总排涝流量 294 m³/s,不考虑内部小型防洪包围圈的作用。

嘉兴市城市防洪包围圈共有概化河道 244 条,可控水工建筑物 62 个,河道断面 923 个,具体见图 1。

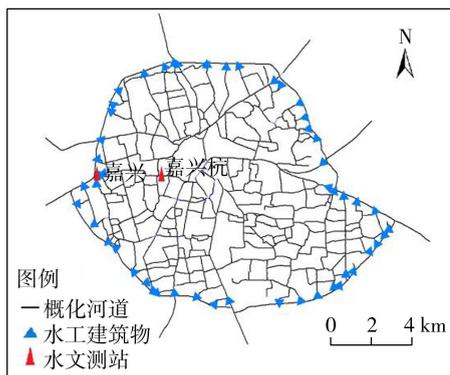


图 1 研究区河网概化图

1.2 数据来源

a. 下垫面利用嘉兴市 1990 年、2000 年、2010 年和 2020 年的 Landsat 遥感影像数据(30 m 分辨率)反映下垫面变化情况,并基于各土地利用类型的特征^[16],将下垫面划分为耕地、绿地(包括林地和草地)、水域、建设用地等 4 种类型。

b. 水文数据。降雨、外河水位数据来源于嘉兴站,内河水位采用嘉兴杭站数据。利用嘉兴站 1950—2021 年历年最大 1、6、24 h 降水量系列计算设计暴雨量,根据《浙江省短历时暴雨图集》进行 24 h 暴雨历时分配,获得不同重现期设计暴雨过程。水文数据来源于嘉兴市水利局。

c. 排涝标准。根据《嘉兴市全域水系重构规划(2021—2035 年)》,嘉兴市区需达到 30 年一遇的排涝标准,即 30 年一遇 24 h 设计暴雨不成灾,控制包围圈内河水位不超过 2.16 m。

2 研究方法

2.1 水动力模型

MIKE 11 是研究水动力、水质、洪水预报、溃坝等方面的专业工程软件^[17],包含水动力(HD)、降雨径流(RR)、水质(AD)等模型。本文采用 MIKE 11 水动力模型对河道进行演算、模拟多种水工建筑物并灵活设置调度规则。该模型基于一维非恒定流圣维南(Saint-Venant)方程组来反映河道中的水量平衡和动量平衡^[10,17]。

2.2 降雨径流模型

由于平原河网地区地势平坦,水流流向不固定,没有统一的汇流出口^[18],本文引入河网多边形的概念,模拟平原地区的产流过程。河网多边形是指由实际河道和圩区分界线所围成的封闭区域^[6,19],该区域内的产流只汇入其四周所围的河道中,即所围河道承接了封闭区域内的所有产流。

MIKE 11 降雨径流模型可用于模拟流域内的降雨径流过程,根据不同场景,适配降雨产流模块方法,MIKE 11 降雨径流模型包括 NAM 模型、UHM 模型、URBAN 模型等^[17]。其中,URBAN 模型(时间-面积法)针对降雨开始后迅速形成地表径流,且该径流在降雨结束后迅速减少为零这一城市化地区特点,可用于模拟城市雨洪产流环节。其模型参数包括集水时间、初损、水文衰减系数、不透水面积率和时间-面积曲线类型^[20],本文主要考虑城市综合径流系数,因此忽略初损和水文衰减系数两个参数的影响,使不透水面积率等同于综合径流系数。

2.3 耦合模型

由于本文主要考虑暴雨情况下的城市河网排蓄水能力,城市管网在一次降雨中先蓄满,对后期河网蓄水影响较小,故利用 URBAN 模型进行降雨径流模拟,忽略市政排水管网的作用。在汇流过程中,不考虑高程分布,直接将考虑河网多边形的地表径流作为水动力模块的内边界条件,以旁侧入流的方式沿河长均匀分配到四周的概化河道^[6],从而实现水文水动力模型耦合。

模型计算时间步长为 5 min,计算过程中水工建筑物按照实际调度过程/规则设置,依据《嘉兴市防洪能力调查分析报告》,嘉兴市城市防洪包围圈内河初始水位设为常水位 0.98 m,起排水位为 1.26 m,以 URBAN 模型结果输入为流量内边界。

3 结果与分析

3.1 模型率定及验证

采用嘉兴杭站实测水位数据率定耦合模型^[10,21]。此处选择耦合模型中集水时间、各土地利用类型径流系数、时间-面积曲线系数以及糙率作为率定对象,结合2017年、2018年实测降水量进行模型参数率定,选取2021年“烟花”台风期间降水量、水位实测数据进行模型验证。

参数率定结果中,集水时间为900 s,各土地利用类型径流系数为耕地0.4、绿地0.2、水域1、建设用地0.85,时间-面积曲线系数为2,糙率为0.025。嘉兴杭站水位实测值与计算值对比见图2。误差分析结果见表1。由表1可知,计算水位的纳什效率系数均在0.75以上,洪峰水位误差均小于5.5 cm,表明该模型能够较准确地模拟研究区域降水至河道的洪水情况。其中,由于本模型断面基于2019年河道调查结果,并通过后期实测数据对部分主河道进行修正,因此模型概化河道与2018年、2021年水系情况较接近,导致2017年水位模拟效果相对较差,这也是造成水位模拟值低于实测值的主要原因。

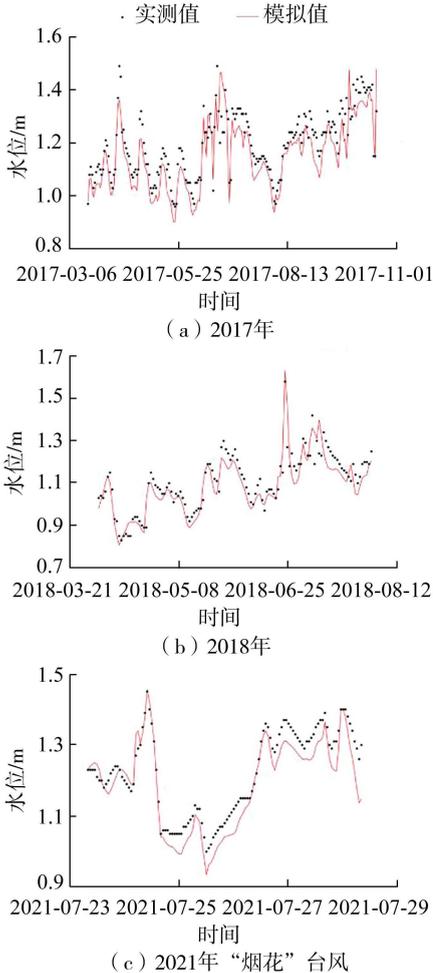


图2 嘉兴杭站水位实测值与计算值对比

表1 模拟误差分析

时间	实测洪峰水位/m	计算洪峰水位/m	洪峰水位误差/m	纳什效率系数
2017年(率定)	1.490	1.465	-0.025	0.766
2018年(率定)	1.580	1.633	+0.053	0.807
2021年“烟花”台风(验证)	1.450	1.455	+0.005	0.842

为分析区域下垫面变化对洪水风险的影响,首先通过1990—2020年间嘉兴市城市防洪包围圈内下垫面变化情况,获得研究区下垫面时空变化特征,再结合城市雨洪信息,考察该变化对洪水风险的影响程度。

3.2 下垫面变化特征

3.2.1 时间变化特征

图3和表2为1990—2020年下垫面变化情况。由图3、表2可知,1990年研究区域的土地利用类型主要以耕地为主,面积占比高达88.95%;至2020年,耕地和建设用地共同成为主体,分别占区域面积的47.28%和49.65%,而其余土地利用类型面积较小。1990—2020年期间,耕地面积占比呈逐渐减少趋势,下降41.67%;与耕地的变化相反,建设用地不断扩张,其面积占比上涨40.68%;绿地和水域面积基本保持稳定,没有明显变化。其中,耕地和建设用地位于2000—2010年期间变化趋势最为显著,耕地面积占比减少18.74%,而建设用地的面积占比增加17.63%。总体上,1990—2020年期间研究区域下垫面变化主要体现在耕地逐渐减少和建设用地不断增加。

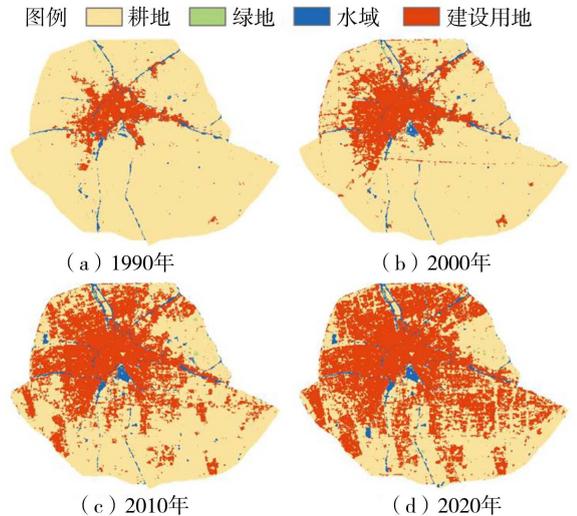


图3 1990—2020年土地利用类型分布情况

表2 1990—2020年土地利用类型面积占比

年份	土地利用类型面积占比/%			
	耕地	绿地	水域	建设用地
1990	88.95	0.07	2.00	8.97
2000	79.28	0.06	2.10	18.56
2010	60.54	0.28	2.99	36.19
2020	47.28	0.19	2.87	49.65

3.2.2 土地利用转移

为分析1990—2020年各种土地利用类型之间的转移情况,本文利用土地利用转移矩阵^[22-23]进行统计。由表3可知,研究区域的土地利用类型变化主要体现在耕地的转出和建设用地的转入。具体而言,在1990—2020年期间,约46%的耕地(51.55 km²)转移至建设用地,而少部分变为绿地和水域,分别为0.20、1.73 km²;与之相比,建设用地的转出尺度较小,仅少部分面积变为耕地(0.04 km²)和水域(0.04 km²)。另外,由于绿地和水域在总体土地利用中占比较低,其转移面积变化不明显。总体而言,1990—2020年期间,研究区域城市化进程迅速推进,耕地不断被占用进行城市建设,导致耕地向建设用地急速转化。

表3 1990—2020年土地利用转移矩阵

土地利用	土地利用转移面积/km ²			
	耕地	绿地	水域	建设用地
耕地	59.75	0.20	1.73	51.55
绿地	0.03	0.04	0.01	0.02
水域	0.37	0.01	1.88	0.29
建设用地	0.04	0	0.04	11.34

3.3 城市洪水风险响应

3.3.1 洪水要素分析

为定量描绘城市发展下垫面变化对洪水要素的影响,选取1990、2020两年的下垫面条件,采取不同重现期 T 的降水量进行相应的降雨径流模拟,并分析地表径流、河道洪水水位的变化特征,结果见表4和图4。由表4、图4可知,相同重现期的降水量在2020年引发的洪水在地表径流量、洪峰流量以及最高洪水水位等方面都较1990年有显著提高。

从5年一遇至50年一遇暴雨,降水量增加了

129.6 mm,地表径流量由1990年下垫面条件下的增加745.65万m³到2020年的增加1055.80万m³,洪峰流量的增值由602.52 m³/s上升至853.12 m³/s。可见,2020年的地表径流量、洪峰流量变化增大,说明城市化水平的提高对地表径流有着明显的放大作用,导致城市洪水风险增加。对于5年一遇暴雨,2020年的地表径流量和洪峰流量分别比1990年高332.63万m³和370.93 m³/s;对于50年一遇暴雨,2020年的地表径流量和洪峰流量分别比1990年高642.78万m³和621.53 m³/s。总体来看,城市化引起的下垫面变化对高重现期降雨下的地表径流量和洪峰流量影响效果更加明显。

从5年一遇至50年一遇暴雨,1990年河道最高洪水水位上升0.265 m,2020年提高0.471 m。针对不同暴雨重现期,1990—2020年期间,50年一遇暴雨情景下河道最高洪水水位的变化程度最大,然后依次为30年一遇、20年一遇、10年一遇、5年一遇,50年一遇暴雨下的最高洪水水位上涨程度较5年一遇高0.206 m。当降雨重现期较小时(以5年一遇为例),2020年最高洪水水位比1990年上升0.129 m;而在50年一遇暴雨情景下,最高洪水水位上升0.335 m。1990年最高洪水水位出现时间在不同降雨情况下均比2020年提前,主要原因在于研究区河网洪水过程受水利工程影响较大,具体体现在城市化进程对洪水过程起放大作用,造成洪水总量和洪峰流量增加、退水开始时间(排涝流量大于洪水流量时)往后推延,导致最高水位出现时间退后;而从5年一遇到50年一遇暴雨,最高水位出现时间差从0.5 h下降至0.2 h,说明最高水位出现时间变化对下垫面变化的响应程度随着降雨重现期的增大而

表4 洪水要素变化情况

重现期/a	降水量/mm	地表径流量/万m ³		洪峰流量/(m ³ /s)		最高洪水水位/m		最高水位出现时间/h	
		1990年	2020年	1990年	2020年	1990年	2020年	1990年	2020年
5	139.0	799.74	1132.37	891.79	1262.72	1.477	1.606	18.3	18.8
10	178.4	1026.43	1453.35	1077.19	1525.22	1.549	1.749	18.4	18.9
20	217.8	1253.11	1774.32	1260.98	1785.45	1.635	1.889	18.7	19.1
30	239.5	1377.97	1951.10	1364.86	1932.55	1.669	1.943	18.8	19.2
50	268.6	1545.39	2188.17	1494.31	2115.84	1.742	2.077	19.0	19.2

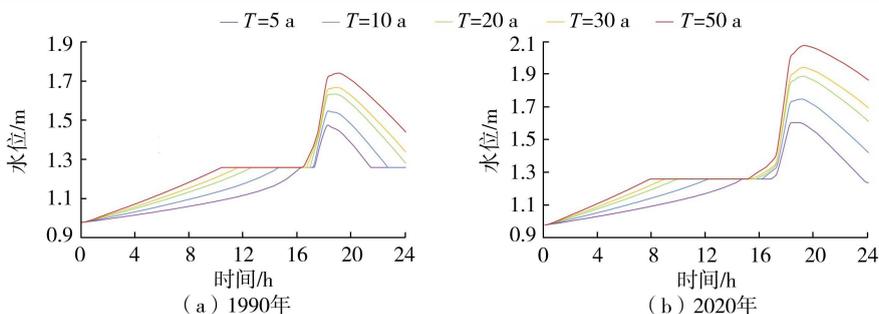


图4 河道洪水过程(嘉兴杭站)

减小。

总之,城市建设使区域不透水面积增加,下垫面对洪水的调节能力变小,径流系数相应提高;同时,随着暴雨重现期增加,排涝能力小于洪水流量,外排不及时,导致洪水水位上涨程度增加,最高水位出现时间退后。

3.3.2 排涝能力分析

以30年一遇暴雨情景为例研究下垫面变化对城市行洪排涝能力的影响,结果如图5所示。在城市化水平较低(1990年)的下垫面条件下,包围圈以内的河道最高水位整体分布在1.56~1.96 m之间,其中水位为1.56~1.76 m的河道占60.25%,>1.76~1.96 m的河道占39.75%,均低于最高控制水位(2.16 m),即能够满足30年一遇排涝标准。在2020年下垫面条件下,地表径流量达到1951.10万 m^3 ,较1990年增加42%,河道水位总体上升,研究区西侧、东北以及东南侧有50.41%的河道的水位高于1.96 m,12.30%的河道水位甚至已经超过最高控制水位。总体来看,在2020年的城市化程度下,部分区域的排涝能力已不足以满足30年一遇排涝标准,造成该现象的主要原因是局部水系连通较差、河道束窄,排涝规模不足,导致河道排水能力受限。

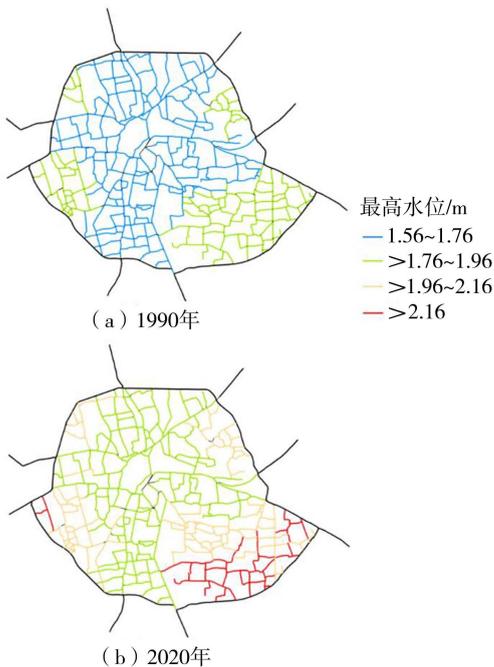


图5 30年一遇暴雨情景下最高水位分布

4 结论

a. 研究区域土地利用类型主要为耕地和建设用地。1990—2020年,有接近一半的耕地转化为城市建设用地。

b. 城市化程度越高,暴雨对城市洪水的影响程度越显著;下垫面变化在不同暴雨重现期下,对城市洪水的影响程度呈现差异化的放大作用,当设计暴雨从5年一遇变成50年一遇时,最高洪水水位对下垫面变化的响应程度由增量为0.129 m上升至增量为0.335 m。

c. 目前的防洪排涝体系已无法与《嘉兴市国土空间总体规划(2020—2035)》对研究区的用地规划相匹配,有必要采取河道清淤、河道拓宽、水系连通、增加排涝规模等措施增强排涝能力以确保城市安全。

参考文献:

- [1] 徐宗学,陈浩,任梅芳,等.中国城市洪涝致灾机理与风险评估研究进展[J].水科学进展,2020,31(5):713-724. (XU Zongxue, CHEN Hao, REN Meifang, et al. Progress on disaster mechanism and risk assessment of urban flood/waterlogging disasters in China[J]. Advances in Water Science, 2020, 31(5): 713-724. (in Chinese))
- [2] 刘丁蓉,杨凯,孙仕.珠三角城市群内涝灾害韧性综合评估及障碍因子识别[J].水利经济,2024,42(4):23-29. (LIU Dingrong, YANG Kai, SUN Shi. Comprehensive assessment and obstacle factor recognition of waterlogging disaster resilience in Pearl River Delta urban agglomeration[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2024, 42(4): 23-29. (in Chinese))
- [3] 汪自力,宋修昌,何鲜峰,等.郑州“7·20”特大暴雨河道堤防险情调查分析[J].人民黄河,2022,44(7):44-47. (WANG Zili, SONG Xiuchang, HE Xianfeng, et al. Investigation and analysis of the dangerous situation of river embankment in torrential rainstorm of July 20, 2021 in Zhengzhou[J]. Yellow River, 2022, 44(7): 44-47. (in Chinese))
- [4] 高玉琴,王慧,刘钺,等.基于空间信息格网的南京市洪水风险评估[J].水利水电科技进展,2024,44(6):6-12. (GAO Yuqin, WANG Hui, LIU Yue, et al. Flood disaster risk assessment in Nanjing City based on spatial information grids[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2024, 44(6): 6-12. (in Chinese))
- [5] 傅春,付耀宗,肖存艳,等.基于MIKE FLOOD模型的鹰潭市内涝弹性分析[J].水利水电科技进展,2022,42(1):33-39. (FU Chun, FU Yaozong, XIAO Cunyan, et al. Analysis of urban waterlogging resilience based on MIKE FLOOD model in Yingtan City[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42(1): 33-39. (in Chinese))
- [6] 王船海,王娟,程文辉,等.平原区产汇流模拟[J].河海大学学报(自然科学版),2007,35(6):627-632.

- (WANG Chuanhai, WANG Juan, CHENG Wenhui, et al. Numerical simulation of runoff yield and confluence in plain area [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2007, 35(6): 627-632. (in Chinese))
- [7] 何朝飞, 王晓云, 陈伏龙, 等. 玛纳斯河不同峰量组合下的融雪洪水风险分析[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(1): 15-21. (HE Chaofei, WANG Xiaoyun, CHEN Fulong, et al. Risk analysis of snowmelt flood under different combination of flood peaks and flood volumes in Manas River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(1): 15-21. (in Chinese))
- [8] FELDER G, ZISCHG A, WEINGARTNER R. The effect of coupling hydrologic and hydrodynamic models on probable maximum flood estimation [J]. Journal of Hydrology, 2017, 550: 157-165.
- [9] BAGHEL T, SINHA M K, AHMAD I, et al. A coupled hydrological and hydrodynamic model for flood mitigation [M]//PANDE C B, MOHARIR K N. Groundwater Resources Development and Planning in the Semi-Arid Region. Cham: Springer International Publishing, 2021: 467-484.
- [10] 韩超, 梅青, 刘曙光, 等. 平原感潮河网水文水动力耦合模型的研究与应用[J]. 水动力学研究与进展, 2014, 29(6): 706-712. (HAN Chao, MEI Qing, LIU Shuguang, et al. Research and application on a coupled hydrological and hydrodynamic model in plain tidal river network [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2014, 29(6): 706-712. (in Chinese))
- [11] 林波, 刘琪璟, 尚鹤, 等. MIKE 11/NAM 模型在挠力河流域的应用[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(5): 99-108. (LIN Bo, LIU Qijing, SHANG He, et al. Application of coupled MIKE 11/NAM model in Naoli River Basin, northeastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(5): 99-108. (in Chinese))
- [12] 宋鹏越, 徐宗学, 李鹏, 等. 土地利用变化对流域产汇流的影响: 以济南市黄台桥以上流域为例[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(12): 143-154. (SONG Pengyue, XU Zongxue, LI Peng, et al. Impact of land use changes on runoff generation/routing: case study in the upstream of Huangtaiqiao in Jinan City [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2023, 54(12): 143-154. (in Chinese))
- [13] DAS P C, ESRAZ-UL-ZANNAT M. Assessing the impacts of land use-land cover changes on direct surface runoff: a remote sensing approach in Khulna City [J]. Water Science & Technology, 2022, 85(10): 3122-3144.
- [14] LIU Liu, XU Zongxue. Hydrological projections based on the coupled hydrological-hydraulic modeling in the complex river network region: a case study in the Taihu Basin, China [J]. Journal of Water and Climate Change, 2015, 6(2): 386-399.
- [15] WANG Luoyang, LI Yao, HOU Hao, et al. Analyzing spatial variance of urban waterlogging disaster at multiple scales based on a hydrological and hydrodynamic model [J]. Natural Hazards, 2022, 114(2): 1915-1938.
- [16] 陈百明, 周小萍. 《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 994-1003. (CHEN Baiming, ZHOU Xiaoping. Explanation of Current Land Use Condition Classification for national standard of the People's Republic of China [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(6): 994-1003. (in Chinese))
- [17] Danish Hydraulic Institute. A modelling system for rivers and channels reference manual [R]. Horsholm: DHI Water & Environment, 2003.
- [18] 朱琰, 陈方, 程文辉. 平原河网区域来水组成原理[J]. 水文, 2003, 23(2): 21-24. (ZHU Yan, CHEN Fang, CHENG Wenhui. The principle of flat river network fraction [J]. Hydrology, 2003, 23(2): 21-24. (in Chinese))
- [19] 高程程, 夏雪瑾. 水文模型中的河网多边形生成算法研究[J]. 中国水运, 2011, 11(8): 80-81. (GAO Chengcheng, XIA Xuejin. Research on polygon generation algorithm of river network in hydrological model [J]. China Water Transport, 2011, 11(8): 80-81. (in Chinese))
- [20] 梁灵君, 杨忠山, 刘超. 基于 MIKE11 的北京市典型区域降雨径流特征研究[J]. 水文, 2012, 32(1): 39-42. (LIANG Lingjun, YANG Zhongshan, LIU Chao. Rainfall runoff simulation of Beijing typical area based on MIKE11 [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(1): 39-42. (in Chinese))
- [21] ZHONG Hua, ZHANG Bing, MA Ting, et al. Flood scenario simulation, based on the hydrological and hydrodynamic model in the Puyang River catchment [J]. Water, 2022, 14(23): 3873.
- [22] 李一琼, 白俊武. 近 20 年苏州土地利用动态变化时空特征分析[J]. 测绘科学, 2018, 43(6): 58-64. (LI Yiqiong, BAI Junwu. Analysis of temporal and spatial dynamic changes of land use of Suzhou in recent 20 years [J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(6): 58-64. (in Chinese))
- [23] 刘柏君, 夏军, 黄生志, 等. 岱海湖水位对气候要素与土地利用的响应[J]. 水资源保护, 2022, 38(6): 64-70. (LIU Bojun, XIA Jun, HUANG Shengzhi, et al. Responses of Daihai Lake water level to climatic factors and land use [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(6): 64-70. (in Chinese))

(收稿日期: 2023-12-02 编辑: 俞云利)