

基于MIKE11模型的平原城市超标准洪水调度方案研究

陈瑾仪¹, 高成¹, 曹淳妍¹, 庆丹丹², 张博尧¹

¹河海大学水文水资源学院, 江苏 南京

²河海大学设计研究院有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2024年3月21日; 录用日期: 2024年4月11日; 发布日期: 2024年4月28日

摘要

由于全球气候变暖和更频繁的极端降水事件, 未来几年平原城市超标准洪水灾害的发生频率和强度预计将会继续增加。聊城市地处黄河下游、鲁西平原, 是山东省历史上遭受洪涝灾害最多、最重的地区之一。面对可能发生的超标准洪水灾害, 本文建立MIKE11河网水动力模型对其进行洪涝模拟, 提前制定超标准洪水调度方案, 科学利用工程与非工程措施在市域范围内形成联合调度模式, 保障城市的防洪安全。结果表明, 调度方案能够满足聊城市防御目标和保护对象的要求。超标准洪水三道防线和中心城区独立防洪圈建成后, 即使遭遇超标准洪水, 也可有效保护聊城市及中心城区的防洪安全。同时, 调度方案考虑到聊城市未来规划建设, 既解决了中心城区现状河道数量较少, 调蓄能力不足问题, 又布置了闸泵工程设计河道排涝出路, 进一步提升了聊城市的防洪排涝能力。本文的研究结果也为我国同类平原城市洪涝调控提供了新的理论依据, 具有参考意义。

关键词

平原城市, 超标准洪水, MIKE11模型, 调度方案, 洪涝调控

A Study of Over-Standard Flood Scheduling Scheme for Plain Cities Based on MIKE11 Model

Jinyi Chen¹, Cheng Gao¹, Chunyan Cao¹, Dandan Qing², Boyao Zhang¹

¹College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing Jiangsu

²Hohai University Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 21st, 2024; accepted: Apr. 11th, 2024; published: Apr. 28th, 2024

作者简介: 陈瑾仪, 出生于1999年5月, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向为城市防洪排涝, Email: 1109127853@qq.com

文章引用: 陈瑾仪, 高成, 曹淳妍, 庆丹丹, 张博尧. 基于 MIKE11 模型的平原城市超标准洪水调度方案研究[J]. 水资源研究, 2024, 13(2): 200-210. DOI: 10.12677/jwrr.2024.132023

Abstract

Due to global warming and more frequent extreme precipitation events, the frequency and intensity of flood disasters in plain cities are expected to continue to increase in the next few years. Liaocheng City is located in the lower reaches of the Yellow River and the Luxi Plain, and it is one of the areas that suffered the most and heaviest floods in the history of Shandong Province. Facing the possible over-standard flood disaster, this paper establishes a hydrodynamic model of MIKE11 river network to simulate the flood, formulates the over-standard flood dispatching scheme in advance, and scientifically uses engineering and non-engineering measures to form a joint dispatching mode within the city to ensure the flood control safety of the city. The results show that the dispatching scheme can meet the requirements of Liaocheng's defense targets and protected objects. After the completion of the three lines of defense against over-standard flood and the independent flood control circle in the central city, the flood control safety can be effectively protected even if it encounters over-standard flood. At the same time, considering the future planning and construction of Liaocheng City, the dispatching scheme not only solves the problems that the number of rivers in the central city is small and the storage capacity is insufficient, but also arranges the sluice pump project to design the drainage outlet of rivers, further improving the flood control and drainage capacity. The research results of this paper also provide a new theoretical basis for flood control in similar plain cities in China, which has reference significance.

Keywords

Plain City, Over-Standard Flood, MIKE11 Model, Scheduling Scheme, Flood Control

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球气候变暖, 灾害性天气和极端天气事件频发[1] [2] [3] [4]。其中, 洪涝灾害是最具破坏性、最广泛和最频繁的自然灾害之一[5] [6] [7], 从生命财产损失和发生频率来看, 洪涝灾害也成为平原城市最严重的自然灾害之一[8]。同时, 由于更频繁的极端降水事件, 未来几年超标准洪水灾害的发生频率和强度预计将会继续增加[9] [10] [11] [12] [13]。因此, 需采取相应措施来减轻超标准洪水造成的损失。如何有效运用工程设施调度洪水, 并结合非工程措施使城市淹没范围最小化, 减轻城市防洪压力, 成为城市洪涝灾害应对中的关键[14]。

聊城市地处黄河下游、鲁西平原, 是历史上遭受洪涝灾害最多、最重的地区之一。中心城区是聊城市的核心区域, 内部河湖交错、水系发达, 人口与社会经济财富密集, 极易发生洪涝灾害, 一旦发生将造成人员及财产的重大损失[15]。面对可能发生的超标准洪水灾害, 建立模型对其进行洪涝模拟, 提前制定城市洪涝调度方案, 可有效降低灾害损失。

因此, 本文以聊城市为研究对象, 构建聊城市 MIKE11 一维非恒定流河网模型, 研究面对超标准洪水时如何在市域范围内采取有效措施进行洪涝调控, 减轻城市, 尤其是中心城区的防洪排涝压力。同时, 研究如何在市域范围内构建洪水防御体系, 形成联合调度模式, 保障城市安全, 也为我国同类平原城市洪涝调控提供了新的理论依据, 具有参考意义。

2. 研究区域概况

聊城市位于山东省西部, 地理位置为 35°47'N~37°02'N, 115°16'E~116°32'E, 地处鲁西北黄泛平原, 境内地

形平缓，西南高、东北低，地面坡降 1/6500~1/7500，地面海拔一般在 22.80~47.80 m。聊城市河网概化与防洪工程体系见图 1，地形地貌见图 2。

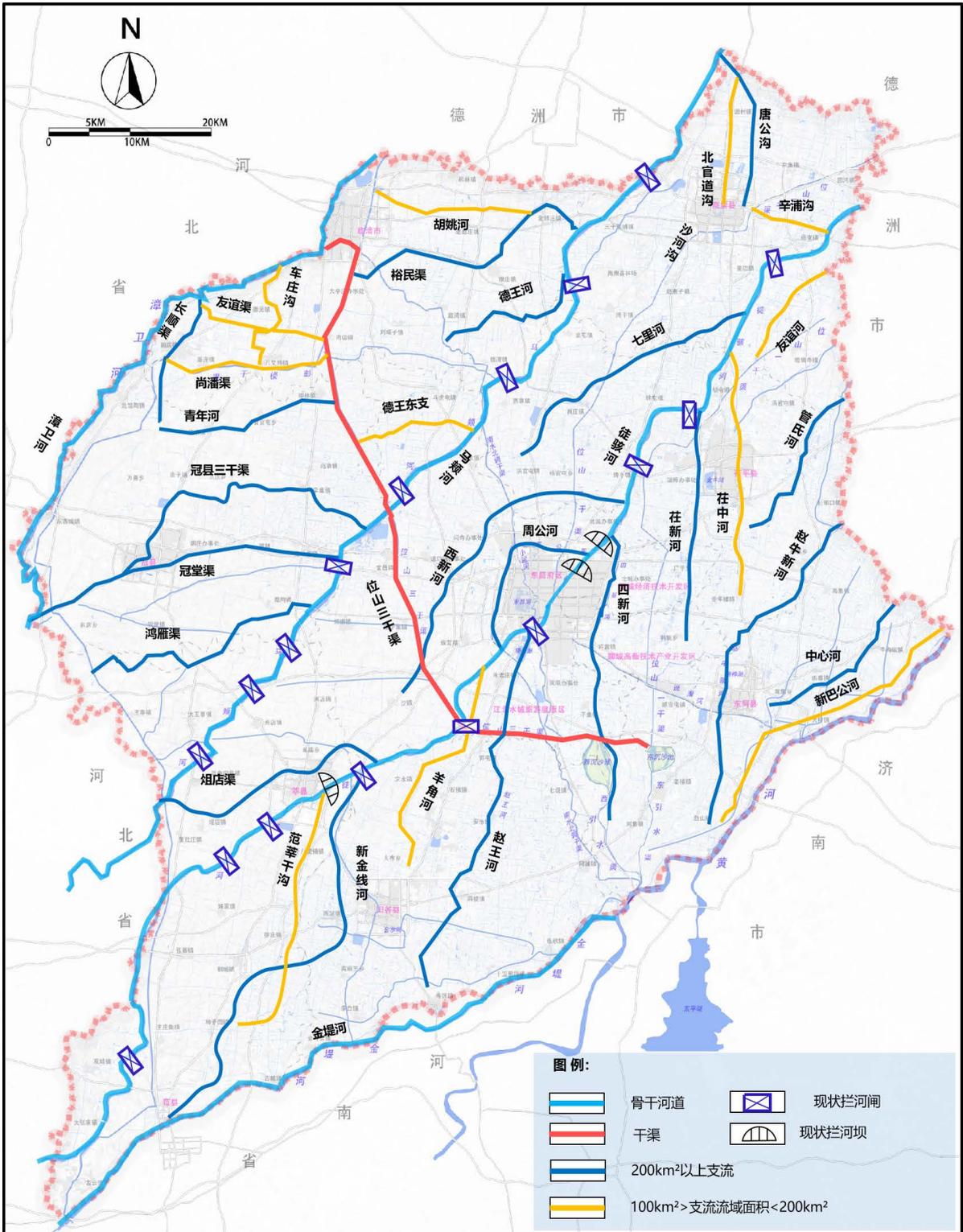


图 1. 河网概化与防洪工程体系示意图

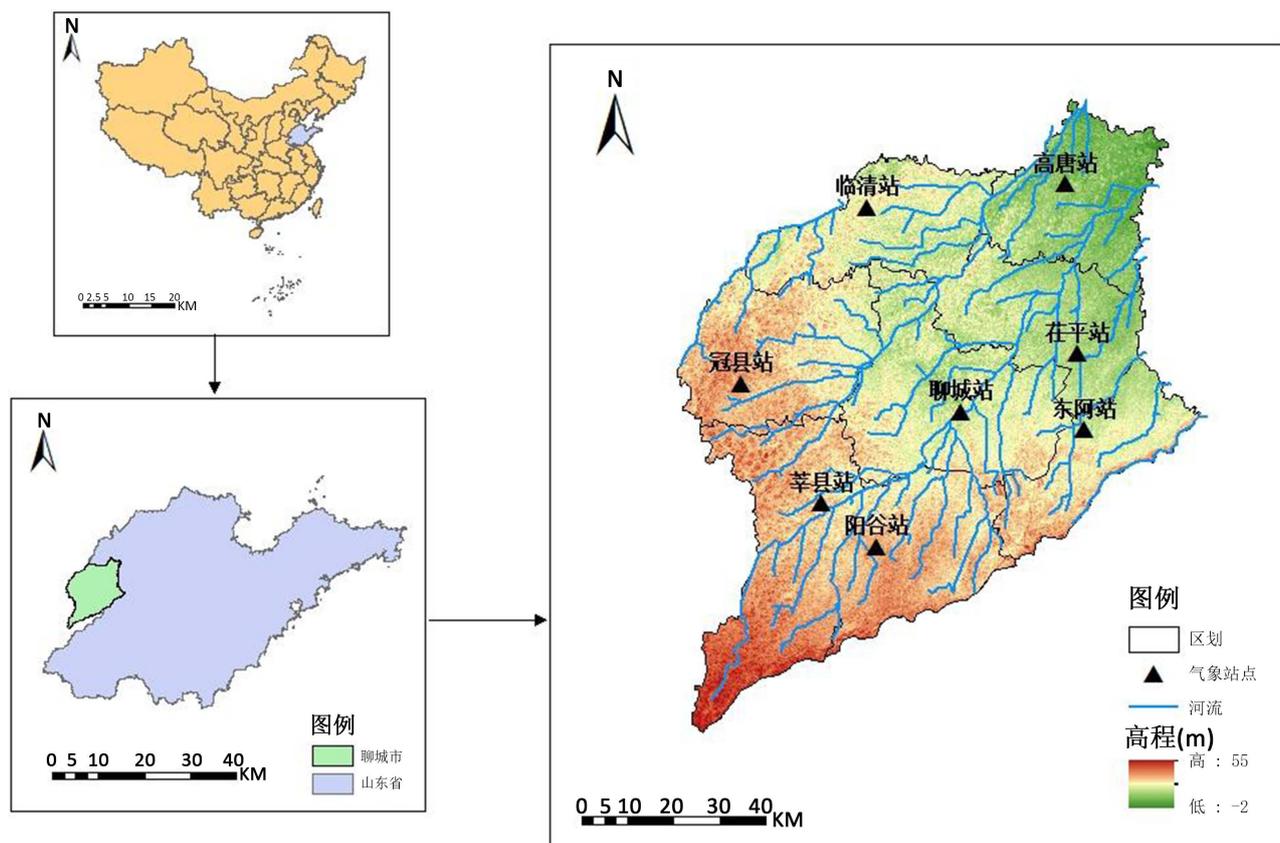


图 2. 研究区地形地貌图

聊城市具有显著的季节变化和季风气候特征，多年平均降水量 555.9 mm。全年降水 60%集中在夏季，夏季易出现局部内涝。全市降水时空分布极不均匀，从时间上看，降水主要集中在汛期 7、8 月份。从空间上看，东昌府区、茌平区、高唐县降水量较大，阳谷降水量较少。

聊城市是山东省历史上遭受洪涝灾害最多、最重的地区之一。其洪涝灾害有以下几个特点：周期性、连续性、突发性、季节性。年际内一般是夏秋多涝，在大涝年和特大涝年内又具有暴雨集中，夏秋连涝的特点[16]。近年来，聊城市受洪涝灾害影响严重，1990 年至今共发生较大雨涝灾害 5 次，主要有 2010 年、2013 年、2015 年、2016 年、2018 年等，共计造成农作物受灾面积 961.48 万亩，房屋损坏、倒塌 17,221 间，受灾人口 349.6 万人，直接经济损失 51,110 万元[17]。

3. MIKE11 水动力模型构建

3.1. 模型基本原理

MIKE 软件是由丹麦水力研究所 DHI 研究开发的，集降雨径流、地下水、河道乃至海洋，水体污染物物理、化学及生物模拟功能为一体的数学模拟软件。MIKE11 是一维河道、河网综合模拟软件，主要用于河口、河流、灌溉系统和其他内陆水域的水文学、水力学、水质和泥沙传输模拟[18]。

MIKE 模型界面友好，易于操作，结构流程规范合理，模拟精度高，是一款较为成熟的雨洪模型，在工程和学术领域均得到了广泛的应用。因此本文选择 MIKE 模型进行模拟研究。

3.1.1. MIKE11 水动力计算

MIKE11 水动力模块主要用于洪水预报及水库联合调度、河渠灌溉系统的设计调度，以及河口风暴潮的研

究, 是目前世界上应用最为广泛的商业软件, 具有计算稳定、精度高、可靠性强等特点, 能方便灵活地处理复杂河网水流、模拟闸门、水泵等各类水工建筑物的运营调度, 尤其适合应用于水工建筑物众多、控制调度复杂的情况。MIKE11 水动力计算模型是基于垂向积分的物质和动量守恒方程, 即一维非恒定流 Saint-Venant 方程组来模拟河流或河口的水流状态[19]。连续方程和动量方程如下:

连续方程:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) + gAS_f - u \cdot q = 0 \quad (2)$$

式中: x 、 t 分别为计算点空间和时间的坐标; A 为过水断面面积, m^2 ; Q 为过流流量, m^3/s ; h 为水位, m ; q 为旁侧入流流量, m^3/s ; C 为谢才系数; R 为水力半径; a 为动量校正系数; g 为重力加速度, m/s^2 。

3.1.2. 建筑物计算

MIKE11 模型把水工建筑物分为一般水工建筑物和控制性水工建筑物两种, 并采用独立的模块对建筑物的调度来进行计算。模型将自动根据建筑物所处的流态, 选用相应的水力学公式进行计算。在控制性建筑物模块中, 自由出流、淹没出流计算公式分别如下:

自由出流:

$$Q_{free,underflow} = \tau \frac{\delta}{\sqrt{1 + \frac{\delta w}{y_1}}} a \sqrt{2gy_1} \quad (3)$$

淹没出流:

$$Q_{submerge,underflow} = \tau \frac{\delta}{\sqrt{1 - \frac{\delta w}{y_1}}} a \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \quad (4)$$

式中, τ 为流量校正因子; δ 为收缩系数; w 为闸门的垂直开度, m ; y_1 为上游水位, m ; a 为通过闸门的过流面积, m^2 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; y_2 为下游水位。

3.2. 模型构建

3.2.1. 河网概化

聊城市属平原河网区, 地形平缓, 水系众多且纵横交错, 河道水流运动状况复杂, 需要对河网概化分析和合理设置。将《聊城市城区水系专项规划(2016~2030年)》市域水系现状图作为参照底图, 以聊城市境内徒骇河、马颊河、漳卫河、金堤河四条骨干河道为干流, 其余河道以支流形式汇入干流, 对河道布局进行概化。本次模型共计概化 51 条河道, 2371 个计算节点, 聊城市河网概化图见图 3。

3.2.2. 断面文件生成

聊城市地形坡度较小, 河网内水流平缓, 水位变幅不大, 中心城区内河道参照 2022 年实测断面数据, 其余河道参照聊城市重要河渠表给定数据, 收集对应模拟河道断面起始距 x 以及河床高度 z , 将骨干河道徒骇河、马颊河、漳卫河及金堤河断面概化为复式断面, 其余支流河道断面概化为矩形断面, 导入 MIKE11, 并按照约 200 m 间隔对河道中间断面进行内插, 即可生成成为河道断面信息文件。本次共计概化 9518 个断面。

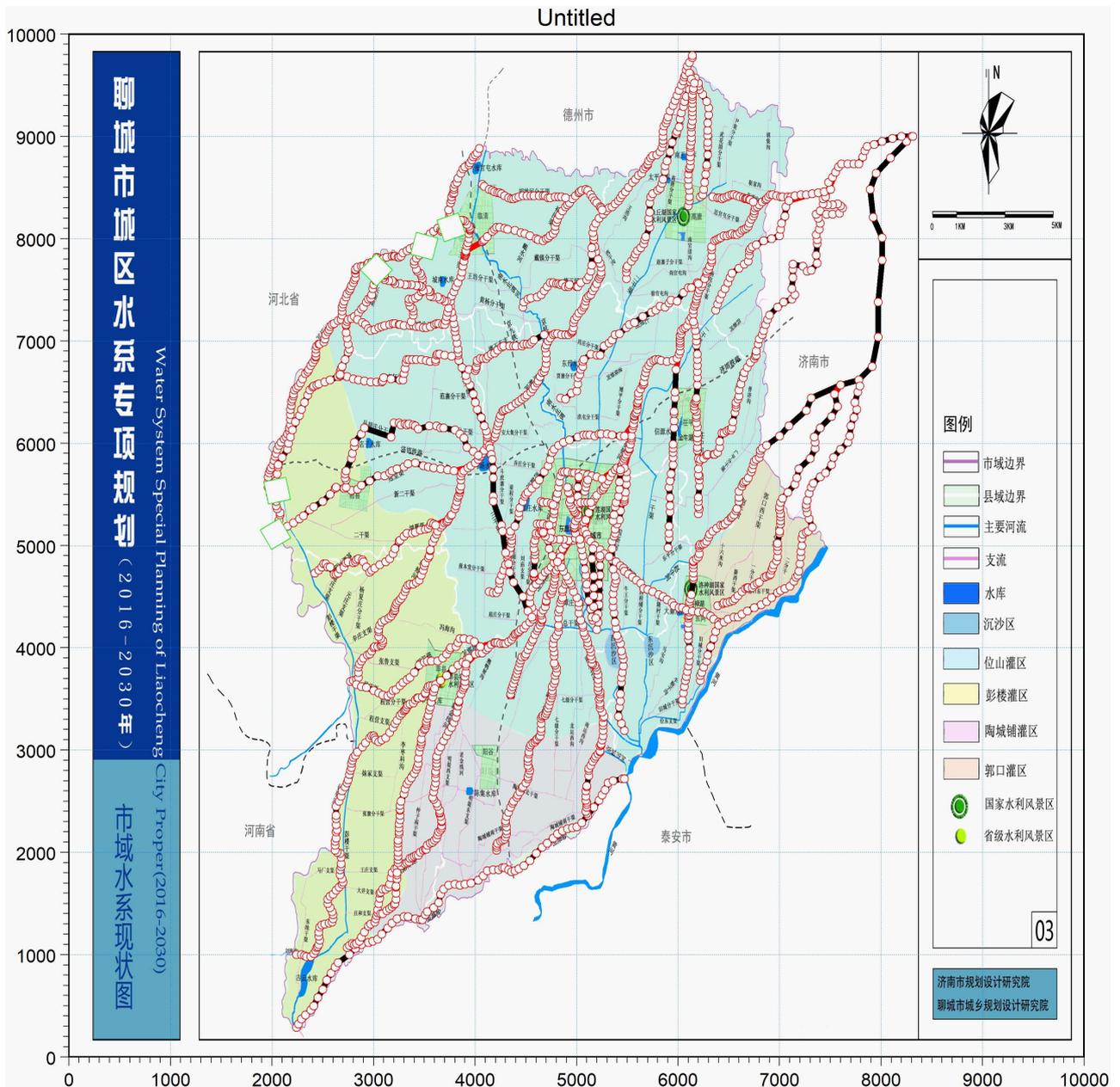


图 3. 聊城市河网概化图

3.2.3. 模型边界

利用 MIKE11 水动力模型中的边界条件编辑器来创建边界文件。模型上游边界采用流量边界，干流、支流沿程流量边界由设计暴雨推求出各汇水分区设计流量过程，有水库调蓄的分区分先进行水库调洪计算。下游边界采用水位边界，将《山东省海河流域综合规划(2012~2030)》中水位成果及水文站水位排频成果作为下边界条件。

本次 MIKE11 水动力模型初始条件主要包括河道糙率和水位。聊城市河道形态较为顺直，根据天然河道糙率表及相关规划，模型中糙率取为 0.028~0.042。河道初始水深定为 0.5 m。

3.2.4. 模型率定与验证

本次采用《山东省海河流域综合规划(2012~2030)》中“50 年一遇”工况下徒骇河、马颊河的水位流量数据

对模型进行率定。将模型结果与徒骇河、马颊河水位数据进行对比，徒骇河及马颊河各控制点的水位差均控制在 0.13 m 以内，纳什效率系数均大于 0.95，具体水位成果见图 4。模拟结果与规划结果基本一致，说明本次构建的洪涝模型基本能够模拟区域内河道洪水情况，具有较好的适应性。

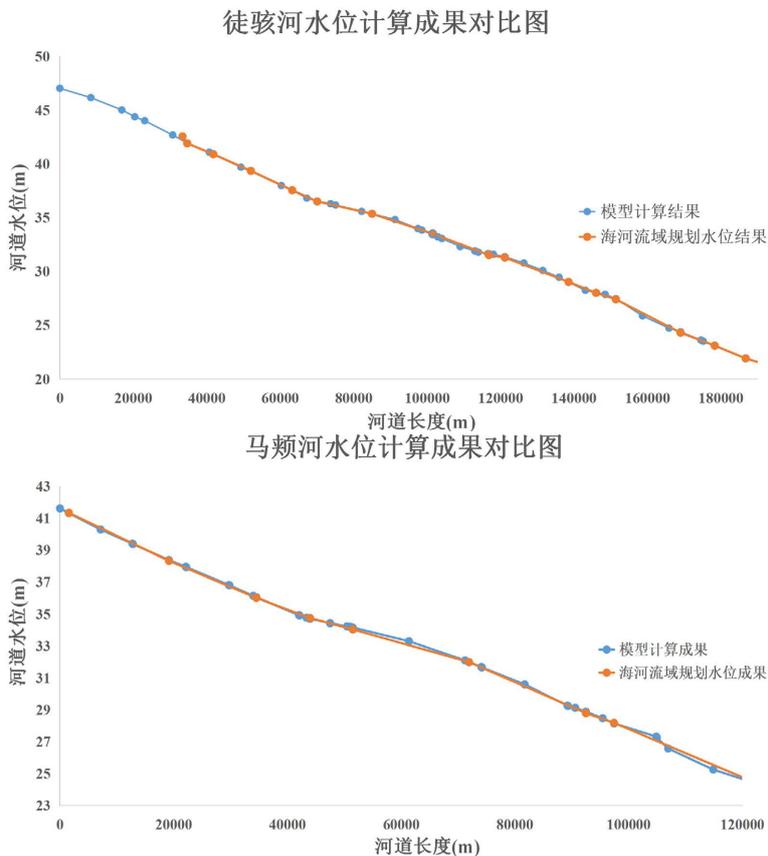


图 4. 水位计算成果对比

4. 洪涝调控措施方案

4.1. 现状防洪排涝体系

4.1.1. 防洪工程体系

马颊河、漳卫河基本达到 50 年一遇防洪标准，金堤河尚未全线达到 20 年一遇防洪标准。聊城境内流域面积 100~3000 km² 之间的中小河流 35 条，防洪标准偏低，距离全线 20 年一遇防洪标准有一定距离。徒骇河沿线现有拦河闸坝 12 座，马颊河沿线现有拦河闸坝 8 座，金堤河沿线现有拦河闸坝 3 座，在保证防洪安全的前提下，充分拦蓄雨洪，聊城市具体防洪工程体系见图 1。中心城区主要防洪河道为徒骇河、西新河、四新河。徒骇河中心城区段已实施防洪扩挖工程，现状仅城区段达到 50 年一遇防洪标准，四新河、西新河现状防洪能力不足 20 年一遇。

4.1.2. 排涝工程体系

聊城市中心城区现状排涝河道共 15 条，主要有小湄河、周公河、周公河南段、西王干渠、小运河、新水河、青年渠、青周渠、孙堂干渠、聊位河、顾滑河、聊张河、前田河、班滑河、南水北调干渠。其中，青年渠 950 m 河段(柳园路 - 花园路)为暗渠。近年来，聊城市不断加大城市排涝建设力度，排涝骨干工程等重要排涝工程的实施使城市排涝能力有所提高，但仍有优化空间。例如现状河道数量较少，排涝出路缺失；河道仍存在堵点淤积

情况；中心城区现状泵闸数量较少，周公河、班滑河、聊位河等城区排涝河道直接汇入徒骇河，无控制性泵站、闸门等排涝设施，且中心城区暂未划分排涝分区，排涝体系尚不完善。

4.2. 防御目标和保护对象

方案防御目标为在聊城市遭遇超标准洪水时，研究 30 年一遇、50 年一遇、100 年一遇重现期下本地区洪涝调度方案，兼顾中心城区和聊城市两者的防洪安全，在确保人民群众生命和财产安全的前提下，寻找最优洪涝调度方案，最大程度地减少洪涝灾害造成的损失。

方案一级保护对象为聊城市中心城区内主城区，需优先确保主城区不被洪水淹没；方案二级保护对象为主城区周边区域，必要时可临时淹没；方案三级保护对象为聊城市其他区县，尽可能使城市受灾范围最小化。

4.3. 洪涝调度方案设计

聊城市境内暴雨多集中于徒骇河流域，城区常遭受洪涝灾害的威胁，在市域范围内布置超标准洪水防线，在中心城区范围内建立独立防洪圈，并在防洪圈上游连通徒骇河、马颊河，当徒骇河流域遭遇超标准暴雨时，可分洪减灾，降低聊城市区防洪压力。

为保证城区安全，根据现状水网条件，形成 3 道超标准洪水防线。第一道防线由彭楼干渠右堤构成，防御聊城西片卫河及卫运河、马颊河上游洪水；第二道防线由马颊河右堤、三干渠右堤构成，防御聊城西片卫河及卫运河洪水；第三道防线由位山灌区西引水渠、沉沙池、总干渠、三干渠及徒骇河右堤构成，防御上游黄河、金堤河洪水。

洪涝调度方案利用现有渠道布置两条分洪通道：① 利用位山三干渠分洪。徒骇河洪水由扈庄分干渠引入位山三干渠，并利用放马场水库引水通道及现有沟渠，将洪水分至马颊河。② 利用南水北调干渠分洪。徒骇河洪水由分洪道引入南水北调干渠，再由邢郭沟将洪水分至马颊河。

中心城区排涝规划布局以城区防洪圈为基础，将中心城区划分为 4 个排涝分区，见表 1。在各个排涝分区内新建河道水系，完善城区水系格局；合理布置闸泵，构建中心城区独立排涝区。具体布置见图 5。

4.4. 洪涝调度方案结果与分析

根据调度方案拟定规则，在 30 年一遇、50 年一遇及 100 年一遇超标准暴雨下，对拟定的方案进行数值模拟计算，市域内四条骨干河道及中心城区内主要河道最高水位情况见表 2，水位对比见图 6。

由表 2 可知，徒骇河、马颊河、漳卫河、小运河能够抵挡 30 年一遇、50 年一遇及 100 年一遇的超标准洪水，保障其流域内的防洪安全。由于建立了超标准洪水防线和中心城区独立防洪圈，虽然金堤河水位在几种超标准洪水重现期下均超地面高程，洪水会在中心城区上游发生漫溢，但位山三干渠和南外环路作为城市防洪安全屏障，可将金堤河洪水阻挡于城区之外。同时，中心城区独立防洪圈的建立，使西新河、四新河堤防能有效防御超标准洪水。在遭遇 30 年一遇、50 年一遇及 100 年一遇超标准洪水时，周公河、小湄河水位均超堤防或地面高程，周公河超堤防 0.39~0.89 m，小湄河超地面 0.65~1.12 m，会发生漫溢而产生内涝，导致中心城区北排涝区与东排涝区的淹没。

表 1. 中心城区排涝区划分表

序号	防洪圈	防洪圈范围	总面积(km ²)
1	中心排涝区	东南至徒骇河，西抵南水北调干渠，北临周公河	74.3
2	城北排涝区	东至徒骇河，南抵周公河，西至京九铁路，北临北外环路	44.3
3	城西排涝区	东至南水北调干渠，南抵南外环路，西至西新河，北临京九铁路	57.8
4	城东排涝区	东至四新河，南抵南外环路，西北临徒骇河	117.7
合计			294.1

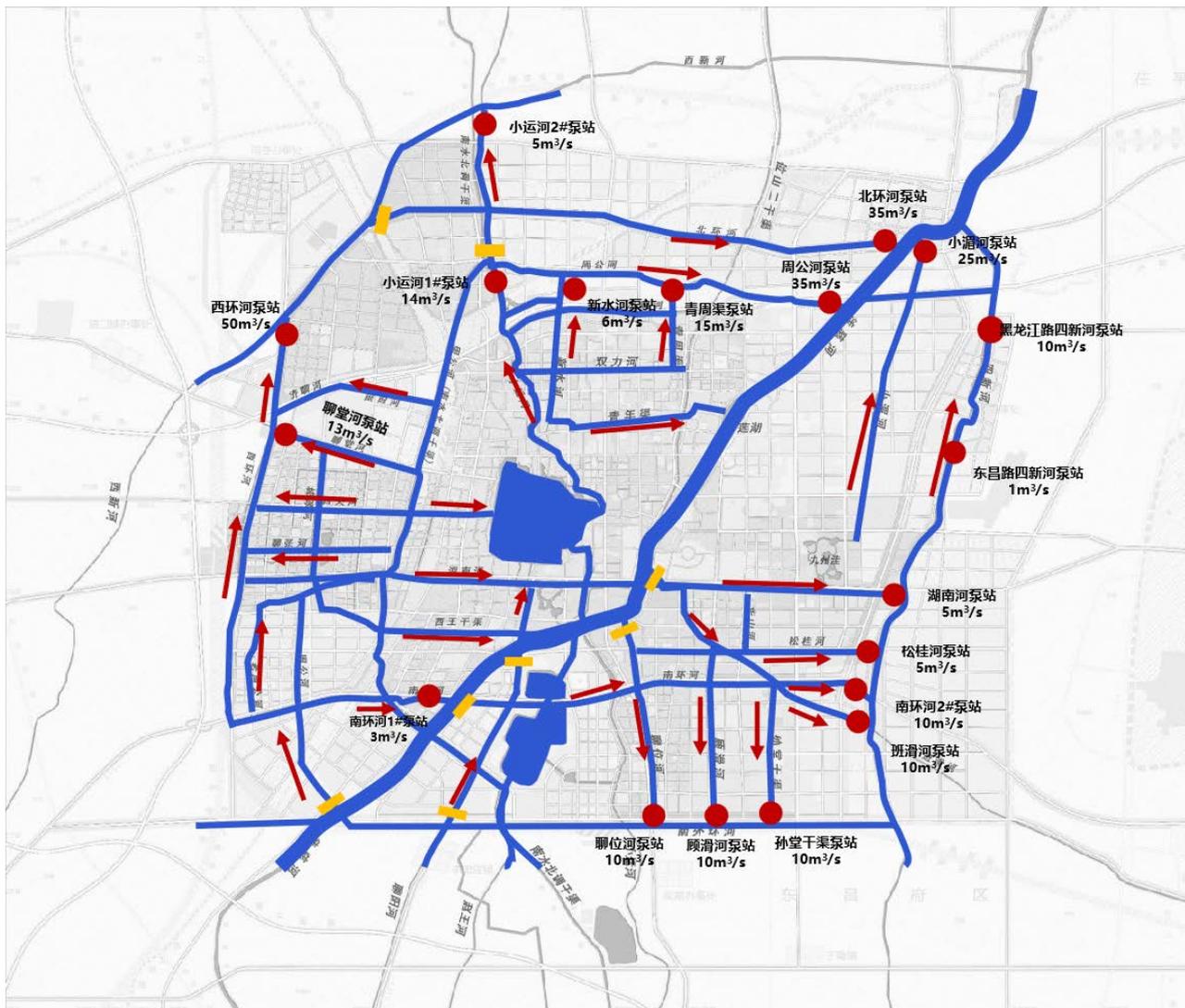


图 5. 中心城区闸泵建筑图

表 2. 河道最高水位情况表 单位: m

序号	河道名称	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇	堤防/地面高程
1	徒骇河	33.41	33.58	33.89	35.00
2	马颊河	33.83	33.88	33.96	36.75
3	漳卫河	37.04	37.05	37.07	39.00
4	金堤河	45.55	45.57	45.58	44.23
5	西新河	32.96	33.15	33.51	34.50
6	四新河	32.55	32.71	33.01	34.50
7	周公河	33.69	33.87	34.19	33.30
8	小涓河	32.55	32.71	33.02	31.90
9	小运河	33.69	33.87	34.19	34.40

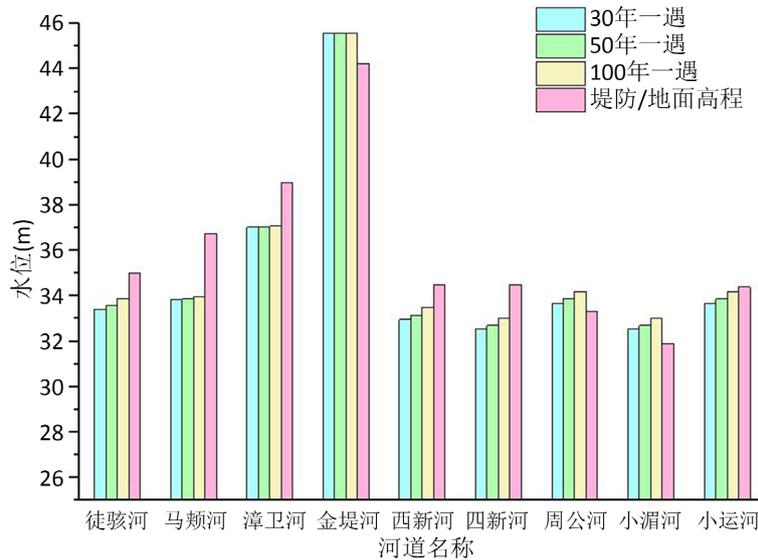


图 6. 河道最高水位对比图

因此,本调度方案能够满足聊城市防御目标和保护对象的要求,尽量减少中心城区内涝的发生和淹没范围,最大可能地保障了主城区及聊城市的安全。超标准洪水三道防线和中心城区独立防洪圈建成后,即使遭遇 100 年一遇超标准洪水,也可有效保护聊城市及中心城区内防洪安全。同时,调度方案考虑到聊城市未来规划建设,既解决了中心城区现状河道数量较少,调蓄能力不足问题,又布置了闸泵工程设计河道排涝出路,进一步提升了聊城市的防洪排涝能力。

5. 结论

本文以聊城市为研究区,从城市防洪排涝的角度构建聊城市 MIKE11 河网水动力模型,模拟遭遇超标准洪水时的研究区河道情况,结合现状水系布局,对聊城市市域范围和中心城区防洪排涝安全需求进行布局,将工程措施与非工程措施紧密结合,提出科学可行的洪涝调控方案,进而根据模型结果分析洪涝调度方案。主要结论如下:

1) 徒骇河、马颊河、漳卫河、小运河能够抵挡 30 年一遇、50 年一遇及 100 年一遇的超标准洪水,保障其流域内的防洪安全。

2) 由于建立了超标准洪水防线和中心城区独立防洪圈,虽然金堤河水位在几种超标准洪水重现期下均超地面高程,洪水会在中心城区上游发生漫溢,但位山三干渠和南外环河作为城市防洪安全屏障,可将金堤河洪水阻挡于城区之外。同时,中心城区独立防洪圈的建立,使西新河、四新河堤防能有效防御超标准洪水。在遭遇 30 年一遇、50 年一遇及 100 年一遇超标准洪水时,周公河、小湄河水位均超堤防或地面高程,周公河超堤防 0.39~0.89 m,小湄河超地面 0.65~1.12 m,会发生漫溢而产生内涝,导致中心城区北排涝区与东排涝区的淹没。

3) 调度方案能够满足聊城市防御目标和保护对象的要求,尽量减少中心城区内涝的发生和淹没范围,最大可能地保障了主城区及周边区域的安全。超标准洪水三道防线和中心城区独立防洪圈建成后,即使遭遇 100 年一遇超标准暴雨,也可有效保护聊城市及中心城区内防洪安全。

4) 调度方案考虑到聊城市未来规划建设,既解决了中心城区现状河道数量较少,调蓄能力不足问题,又布置了闸泵工程设计河道排涝出路,进一步提升了聊城市的防洪排涝能力。

基金项目

河海大学优秀研究生学位论文培育项目(422003507)。

参考文献

- [1] PALL, P., AINA, T., STONE, D. A., et al. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in Autumn 2000. *Nature*, 2011, 470(7334): 382-385. <https://doi.org/10.1038/nature09762>
- [2] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 337-353.
- [3] 高涛, 谢立安. 近 50 年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J]. *地球科学进展*, 2014, 29(5): 577-589.
- [4] GOSWAMI, B., VENUGOPAL, V., SENGUPTA, D., et al. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science*, 2006, 314(5804): 1442-1445. <https://doi.org/10.1126/science.1132027>
- [5] SANYAL, J., LU, X. Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: A review. *Journal of Natural Hazards*, 2004, 33(2): 283-301. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037035.65105.95>
- [6] VANNEUVILLE, W., KELLENS, W., MAEYER, P. D., et al. Is “flood risk management” identical to “flood disaster management”? *Earthzine*, 2011.
- [7] KARAGIOZI, E., IOANNIS, FOUNTOULIS, et al. Flood hazard assessment based on geomorphological analysis with GIS tools—The case of Iaconia (Peloponnesus, Greece). 2011.
- [8] 吴舒祺, 赵文吉, 王志恒, 等. 基于 GIS 的洪涝灾害风险评估及区划——以浙江省为例[J]. *中国农村水利水电*, 2020(6): 51-57.
- [9] MCMICHAEL, R. A. J. Climate change and health in sub-Saharan Africa: A case-based perspective. *EcoHealth*, 2009, 6(1): 52-57.
- [10] IPCC. Part B: Regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2014.
- [11] STRAIN, E. M. A., OLABARRIA, C., MAYER-PINTO, M., et al. Ecoengineering urban infrastructure for marine and coastal biodiversity: Which interventions have the greatest ecological benefit? *Journal of Applied Ecology*, 2018, 55(1): 426-441. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12961>
- [12] WOODRUFF, J. D., IRISH, J. L. and CAMARGO, S. J. Coastal flooding by tropical cyclones and sea-level rise. *Nature*, 2013, 504(7478): 44-52. <https://doi.org/10.1038/nature12855>
- [13] WANG, Z., LAI, C., CHEN, X., et al. Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 2015, 527: 1130-1141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.008>
- [14] 张念强, 李娜, 王艳艳, 等. 我国城市洪涝灾害应急管理框架探讨[J]. *中国防汛抗旱*, 2020, 30(7): 5-9+77.
- [15] 夏军强, 董柏良, 李启杰, 等. 近年城市洪涝致灾的水动力学机理分析与减灾对策研究[J]. *中国防汛抗旱*, 2022, 32(4): 66-71.
- [16] 张学宏. 聊城市城区雨污分流改造探索与实践[J]. *城乡建设*, 2020(16): 64-67.
- [17] 江崇海, 马喜堂. 聊城市水利志: 1991-2020 [M]. 北京: 中国文史出版社, 2021.
- [18] 刘鑫. 福州仓山龙津阳岐水系补水活水策略研究[J]. *城市道桥与防洪*, 2023(5): 123-126+19.
- [19] 冯艳, 薛梅. HD 模型在围堤行洪影响分析中的应用[J]. *东北水利水电*, 2014, 32(12): 3-4+71.