

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2025.03.005

极端暴雨洪水条件下厂区不同排水方案的 防洪能力模拟

刘宏伟, 储少志, 蔡 钊, 闵 星

(南京水利科学研究院水文水资源研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 为评估近海区域厂区不同排水方案的防洪排水能力, 采用 MIKE21 模型进行厂区漫流排水过程模拟、MIKE11 模型耦合 MIKE21 模型进行厂区明渠排水过程模拟、MIKE URBAN 模型耦合 MIKE21 模型进行厂区管道排水过程模拟, 分析了漫流排水、明渠排水、管道排水方案下厂区内部发生极端暴雨同时厂外遭遇洪水顶托的特殊组合情景下厂区的排水过程, 得到了厂区内部积水深度及不同位置洪水的时空变化。结果表明: 漫流排水、明渠排水、管道排水方案下厂区内最大积水深度分别为 0.073、0.125、0.087 m, 漫流排水方案效果最好, 明渠排水方案效果最差; 抬高厂址高度可以减小管道排水和明渠排水方案洪峰时段受外部洪水顶托的影响。

关键词: 近海厂区; 极端暴雨洪水; 防洪排水能力; 水动力模型

中图分类号: TV87

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2025)03-0030-10

Simulation study on flood control capacity of different drainage schemes in factory area under extreme rainstorm flood conditions

LIU Hongwei, CHU Shaozhi, CAI Zhao, MIN Xing

(Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to evaluate the flood control and drainage capacities of different drainage schemes in the factory area of the offshore region, the MIKE21 model was used to simulate the overland flow drainage process in the factory area, and the MIKE11 model was coupled with the MIKE21 model to simulate the open channel drainage process in the factory area. The MIKE URBAN model was coupled with the MIKE21 model to simulate the pipeline drainage process in the factory area. The drainage processes in the factory area under the special combination scenarios of extreme rainstorms occurring inside the factory area, with the outside of the factory area encountering the backwater effect of floods were studied under the overland flow drainage, open channel drainage, and pipeline drainage schemes, and the water accumulation depth inside the factory area and the spatio-temporal changes of floods at different locations were obtained. The results show that under the overland flow drainage, open channel drainage, and pipeline drainage schemes, the maximum water accumulation depths in the factory area are 0.073, 0.125, and 0.087 m, respectively. The overland flow drainage scheme has the best effect, and the open channel drainage scheme has the worst effect; raising the height of the factory site can reduce the impact of the backwater effect of external floods during the flood peak period on the pipeline drainage and open channel drainage schemes.

Key words: factory area of offshore region; extreme rainstorm flood; flood control and drainage capacity; hydrodynamic model

我国近海平原地区, 自然地理条件特殊, 具有地势低平、河网密布和排水通道繁杂的特点。由于海平原地区为典型的海洋季风气候, 气候温和湿润且四季分明, 因此频繁遭遇旱、水涝、潮以及台风等一系列具有灾害性质的天气情况^[1]。位于近海平原地区的工厂, 在防洪排水上面临着多方面挑战: 内陆流域的洪水、海洋的潮水、极端天气引发的降水事件等。这些自然因素, 加上内陆地区河网的纵横交错, 使得长三角和珠三

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3204500); 南京水利科学研究院研究生学位论文发展基金项目(Yy524021)

作者简介: 刘宏伟(1982—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: hwliu@nhri.cn

通信作者: 储少志(2000—), 男, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: 13335566522@163.com

引用本文: 刘宏伟, 储少志, 蔡钊, 等. 极端暴雨洪水条件下厂区不同排水方案的防洪能力模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2025, 53(3): 30-39.

LIU Hongwei, CHU Shaozhi, CAI Zhao, et al. Simulation study on flood control capacity of different drainage schemes in factory area under extreme rainstorm flood conditions[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2025, 53(3): 30-39.

角等近海平原地区的工厂在防洪排水方面的问题表现出更复杂的特点^[2-3]。

目前,通过构建数值仿真模型,可以很好地模拟厂区在遭遇洪水时的洪水演进过程^[4]。学者们在计算核电厂区洪水演进时考虑了多因素的影响:①不同最大天文潮位和风暴潮增水、海啸波高组合叠加情景下的某核电厂区内的水淹情况^[5];②设计基准洪水位与可能的超设计海啸洪水组合形成数学模型超设计洪水计算方案,开展不同极端工况下某核电厂区的洪水演进情况及其对厂区重要建筑影响的数值模拟^[6];③计算外海高潮位顶托条件下可能最大洪水和千年一遇洪水的演进过程,分析某核电厂厂址内部分建筑组件对洪水的阻水作用等^[7]。

极端暴雨洪水情形下厂区排水工程措施的改变对厂区积水以及排水过程的影响还未有相关数值模拟研究。部分近海工厂涉及用电、化学燃料、核反应等安全问题,其厂区防洪排水的标准极高,所以在建立工厂之初需要确定排水方案,分析计算不同排水方案的防洪排水能力^[8]。本文通过 MIKE 系列模型构建合理的数值模型,同时考虑工厂外的大范围陆域径流洪水(包括极端大流域降雨与海洋高潮位洪水)和工厂内部的小流域降雨洪水条件,模拟不同排水方案下典型近海厂区排水过程,并分析厂区内部分积水深度的时空变化。

1 模型构建

1.1 模型选择

MIKE 系列模型被广泛用于城市内涝模拟^[9-10];MIKE11 可建立一维模型进行河道洪水模拟^[11-12];MIKE URBAN 中的管网模块可较准确地描述管网内各要素以及水流流态^[13-15];MIKE21 可建立用于与河道、管网、湖泊等相关联的水力计算模型模拟二维地表洪水的相关特征^[16];MIKE FLOOD 包括完整的一维及二维洪水模拟引擎,基于 FLOOD 平台可以将 MIKE11 和 MIKE URBAN 以及 MIKE21 模型进行耦合,实现洪水、海洋风暴和堤坝决口等问题的模拟^[17]。

厂区排水形式主要包括漫流排水、管道排水以及明渠排水 3 种形式。结合模型适用性以及本文对不同排水方案的对比分析需求,选择 MIKE21 模型进行厂区漫流排水过程模拟,MIKE11 模型耦合 MIKE21 模型进行厂区明渠排水过程模拟,MIKE URBAN 模型耦合 MIKE21 模型进行厂区管道排水过程模拟。

MIKE11 采用的是 HD 模型,数值计算采用双扫算法,差分采用 Abbott 格式,每个时间步长采用隐式有限差分法交替计算水位和流量,基本控制方程为 Saint-Venant 方程组^[18-20]。MIKE21 模型计算方法采用基于三向不可压缩和 Reynolds 值均布的 Navier-Stokes 方程^[21],采用单元中心有限体积法进行空间离散,采用 Riemann 近似求解流量,时间积分采用显式积分法,并服从 Boussinesq 假定和静水压力假定。

1.2 模型条件

1.2.1 计算范围

研究区位于江苏省连云港市某地,其所属烧香河排水片区总面积为 450 km²,为典型的滨海平原区,地势中间高四周低。地区内规划建设面积约为 2.6 km² 的某厂,位于盐河和蔷薇河以东,古泊善后河左侧,附近主要河流有古泊善后河、车轴河、盐河、烧香河等,主要工程有大板跳闸、烧香河北闸等。

由于某厂为特殊工程设施,采用土石堆积建立厂区地基。排水方案为漫流排水时,不设置围墙,计算区域为厂区内部分区域以及厂区外区域。排水方案为管道排水、明渠排水时,厂区统一设置不透水围墙,厂区内部分积水分别通过管道和明渠排出,计算区域为围墙内部厂区所在区域。

1.2.2 糙率

曼宁系数可以反映河床材质、地形状况以及水力条件复杂度,它在不同断面和不同水力条件下会有所不同。根据地形状况、断面形状等因素选取精确的曼宁系数是水动力学精准计算的前提。本文根据美国联邦铁路局以及美国土木工程师协会发布的曼宁系数经验取值表(表 1)进行选取。

1.2.3 设计暴雨

设计净雨量是指在特定设计标准下,考虑到地表条件、降雨强度、降雨历时以及地表损失(如蒸发和渗透)后,实际进入排水系统的雨量,该参数能准确反映在特定地表条件下,排水系统需要处理的水量大小^[22-23]。本文主要计算区域为厂区内部的混凝土地表区域,这类地表的渗透能力较低,降雨基本转化为径流,且在工程设计中,通常认为设计暴雨服从一致性假设,即在工程使用期间不变^[24],因此采用设计净雨量作为模型的输入降雨条件。

表 1 曼宁系数经验取值
Table 1 Empirical value of Manning's roughness

排水方案	材料类别	<i>n</i>	<i>M</i>
漫流排水	光滑混凝土	0.012	83.3
	休耕土壤(无残留物)	0.050	20.0
	耕地土壤(剩余覆盖≤20%)	0.060	16.7
	耕地土壤(剩余覆盖>20%)	0.170	5.9
明渠排水	沥青	0.013~0.017	58.8~76.9
	混凝土	0.011~0.020	50.0~90.9
	土壤,均匀笔直	0.020~0.030	33.3~50.0
管道排水	混凝土整体(光滑形式)	0.012~0.014	71.4~83.3
	混凝土整体(粗糙形式)	0.015~0.017	58.8~66.7
	混凝土管道	0.011~0.015	66.7~90.9
	塑料管道(光滑)	0.011~0.015	66.7~90.9

注:*n*为曼宁系数,可综合反映管渠壁面粗糙情况对水流的影响;*M*为 MIKE 模型中对糙率进行设置的参数,为曼宁系数的倒数。

研究区位于江苏省境内平原河网区,参考《江苏省暴雨洪水图集》,可能最大暴雨的雨型分配为 54 h 降雨过程,3 h 为一时段进行分配,前半部有一小峰,后半部为一高峰;根据面深关系曲线求各时段的关系系数,根据关系系数以及可能最大 24 h 点雨量可以计算各时段可能最大面雨量。依据《江苏省暴雨洪水图集》中设计净雨量的计算方法,计算可能最大降雨(probable maximum precipitation, PMP)设计净雨量,结果见表 2。

江苏省平原区河道年最大 3 d 暴雨的雨型分配为 72 h 降雨过程,6 h 为一时段进行分配,前半部有一小峰,后半部为一高峰。查算各时段的折算系数,计算各时段年最大 3 d 面雨量,依据设计净雨量的计算方法,计算千年一遇设计净雨量,结果见表 2。

1.2.4 设计洪水边界

局地降雨产流、上游来水、水利工程溃决、海洋风暴潮顶托上溯等多重致灾因子多种遭遇组合情景下推求可能最大洪水的方法在平原河网区重大工程设计中已有验证和应用^[25]。依据现有资料,研究区域内发生不同频率降雨,区域内骨干河道初始状态处于 20 年一遇设计洪水状态,且降雨导致河道和区域洪水进一步上涨,遭遇海洋岸边代表点发生不同最大潮水过程,导致海堤溃决海水向陆域上溯,厂区存在不过水围墙,计算厂区附近的洪水演进过程。在流域 PMP 遭遇最大可能潮位的过程情景下,厂区附近各点位(图 1)最高洪水水位分别为 A 点 5.53 m、B 点 5.77 m、C 点 6.09 m、I 点 6.16 m、J 点 6.18 m、K 点 6.19 m、D 点 6.19 m、E 点 6.19 m、F 点 5.51 m、G 点 5.46 m、H 点 5.45 m。由于厂区范围较小,厂区外相同方向洪水过程相似,为简化模型设置和计算,选取北面 B 点、东面 D 点、南面 F 点以及西面 H 点作为厂区外 4 个方向的洪水边界。图 2 为不同方向点位的洪水水位过程。

通过分析设计洪水条件下河道重要闸门断面的过水流量和河道沿线最高水位的合理性来验证洪水边界的正确性。根据相关规划和设计,大板跳闸闸底高程为-2.5 m,设计洪峰流量为 259 m³/s,设计标准为 20 年一遇;烧香河北闸以水位 1.6 m 作为开关闸条件,设计洪峰流量为 680 m³/s,一潮排水总量为 1 060.9×10⁴ m³。在设计洪水边界条件下,开闸条件下大板跳闸模拟泄流洪峰流量为 259 m³/s,与设计洪峰流量一致,沿程水位在 3.01~3.65 m 之间,略低于现状设计标准下的堤防高程;烧香河北闸模拟泄流洪峰流量为 680 m³/s,与设计流量一致,一潮排水总量偏大(2 114.1×10⁴ m³),相对误差为 8.5%,沿程水位在 3.05~4.28 m 之间,略低于现状设计标准下的堤防高程。外部洪水计算结果合理,可作为模型外边界条件。

表 2 设计净雨量
Table 2 Design net rainfall of rainstorm

时段 编号	PMP 设计 净雨量/mm	千年一遇 设计净雨量/mm
1	0	0
2	136.83	0
3	21.28	0
4	0	0
5	0	0
6	7.31	0
7	72.50	0
8	124.72	38.10
9	40.24	38.10
10	23.34	38.10
11	36.02	38.10
12	14.90	0
13	171.18	0
14	218.80	0
15	377.20	152.40
16	72.50	152.40
17	44.56	152.40
18	63.18	152.40

注:每 3 h 为一个时段。

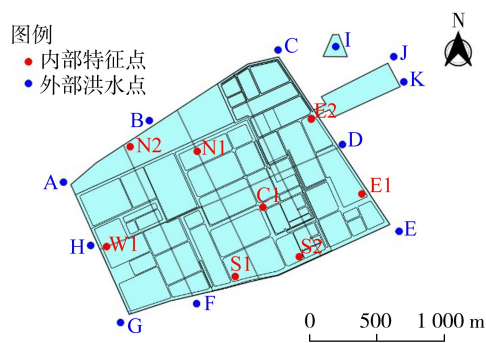


图 1 厂区附件点分布示意图

Fig. 1 Location distribution of points in factory

1.3 不同排水方案的模型构建

1.3.1 漫流排水方案

在设计厂区漫流排水方案模型时,根据不同区域内的水动力学特性和洪水管理需求将厂区计算区域划分为 3 个主要部分(图 3):厂区中部平台,为厂区防洪防水的核心保护区,该平台高程较高且内部为统一高程;厂区内漫流区域,上边界为平台的外边缘,下边界为厂区边缘,坡度为 3‰,未设置围墙,保证厂区内积水能够从四周自由出流;厂区外部区域,高程设置为外部实际高程,该区域接收厂区内洪水排放,同时也是外部洪水漫流过境的区域。

采用不规则三角网进行网格划分,不同计算区域根据情况选择不同限制条件划分网格与加密网格,共生成节点 15 360 个、三角网格 30 256 个;全区域采用统一降雨条件(PMP、千年一遇);厂区中部平台以及厂区内漫流区域计算时糙率参数取混凝土地表 $M(83.3)$,厂区外部区域取休耕土壤 $M(16.7)$ 。厂区外部区域 4 个方向边界取图 2 洪水过程作为洪水外边界。

1.3.2 明渠排水方案的模型构建

在设计厂区明渠排水方案模型时,地表计算区域为厂区范围去除明渠部分,地表高程为统一厂坪标准高度;采用不规则三角网进行网格划分,共生成节点 8 534 个、三角网格 15 838 个;地表糙率取混凝土地表 $M(83.3)$;地表计算区域采用统一降雨条件(PMP、千年一遇);厂区边界为封闭边界。

根据厂区的范围和形状,在厂区内每个方向设置 2 条明渠共 8 条明渠(图 3)来实现厂区内多模块多方位排水,各明渠分布较均匀,保证每个明渠的汇水区域面积基本相等;各明渠坡度均为 3‰;明渠糙率参数取混凝土管道 $M(66.7)$;明渠长度及宽度根据千年一遇 10 min 降水量(52.90 mm)规模进行设计,详细尺寸见表 3;上游边界均为封闭无流边界,下边界为厂区外部洪水过程;明渠沿线两岸接受地表漫流区来水,明渠断面设置为矩形断面;明渠排水设计符合 GB 50014—2021《室外排水设计标准》。

明渠和地表通过侧向方式连接耦合,水流通过明渠两岸与地表连接处进行交换,侧向连接方式具有较高的准确性和可靠性^[26-28]。

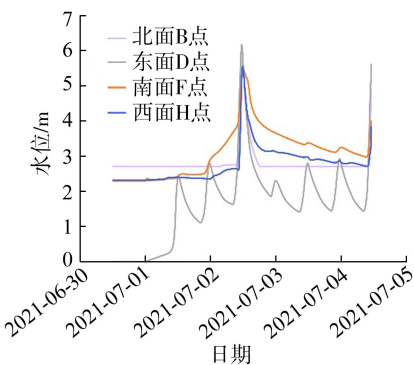


图 2 不同方向点位洪水过程

Fig. 2 Flood process of points in different directions

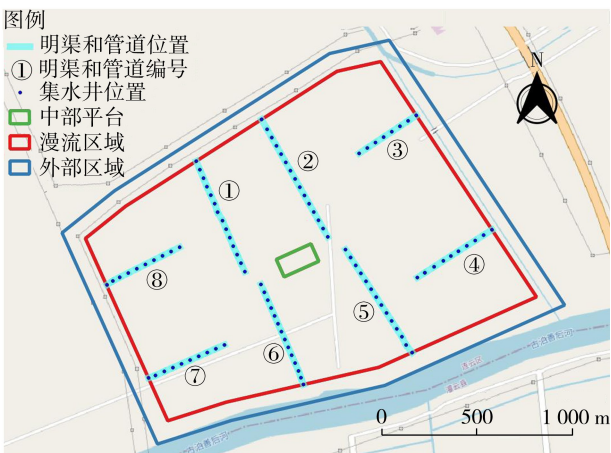


图 3 计算区域划分示意图

Fig. 3 Computing region partition

表 3 明渠尺寸

Table 3 Open channel size

明渠编号	明渠宽度/m	起始渠深/m	末端渠深/m	渠长/m
①	3.0	0.5	1.91	470
②	2.5	0.5	2.56	685
③	2.5	0.5	2.72	740
④	3.4	0.5	1.85	450
⑤	3.4	0.5	1.99	495
⑥	2.5	0.5	2.65	715
⑦	2.5	0.5	2.38	625
⑧	2.6	0.5	1.97	490

1.3.3 管道排水方案

在设计厂区管道排水方案模型时,地表计算区域为厂区全范围;采用不规则三角网进行网格划分,共生成节点 5 179 个、三角网格 10 078 个;地表计算区域糙率取混凝土地表 $M(83.3)$;地表计算区域采用统一降雨条件(PMP、千年一遇);厂区边界为封闭边界。

厂区管道排水设置 8 条管道(图 3),分布位置与明渠一致,各管道坡度 3‰;管道糙率取混凝土管道 $M(71.4)$,管道直径、深度根据千年一遇 10 min 降水量(52.90 mm)设置,详细尺寸见表 4;管道上每隔 50 m 设置集水井,集水井深度尺寸与管道底部高程相同,集水井尺寸统一为 4 m 直径;管道排水设计符合 GB 50014—2021《室外排水设计标准》。

表 4 管道尺寸
Table 4 Pipeline size

管道编号	管道直径/m	起始管底标高/m	末端管底标高/m	管长/m
①	2.8	2.69	1.28	470
②	2.9	2.59	0.54	685
③	2.9	2.59	0.37	740
④	3.0	2.49	1.14	450
⑤	3.0	2.49	1.01	495
⑥	3.0	2.49	0.35	715
⑦	2.8	2.69	0.82	625
⑧	2.6	2.89	1.42	490

2 结果与分析

为了有效评估和提升厂区的防洪排水能力,并在降水事件发生时准确预测厂区内部积水深度的时空变化,通过对雨排方式、厂坪高度、厂外洪水和厂区降水等关键因素进行交叉组合,设立不同的方案情景,进行全面的对比分析。根据厂区的平面布局,在厂区内部选取了 8 个具有代表性的特征点 C1、S1、S2、E1、E2、N1、N2 和 W1(图 1),这些特征点覆盖了厂区的中心区域、南侧、东侧、北侧和西侧,从而能够全方位地反映厂区内部的积水情况。通过对这些特征点在不同方案情景下积水深度的分析,可以了解积水随时间和空间分布的变化,以及不同排水方案对积水深度的影响。

2.1 排水方案对比分析

为保证不同排水方案对比分析时具有可比性,采用控制变量法。厂区内降水输入统一为 PMP,厂外遭遇设计基准洪水,仅排水方式不同,计算模拟厂区排水过程。漫流排水方案下厂区内部各特征点(C1、S1、S2、E1、E2、N1、N2、W1)最大积水深度分别为 0.016、0.053、0.040、0.045、0.067、0.042、0.055、0.073 m,积水深度过程线如图 4(a)所示;管道排水方案下分别为 0.084、0.075、0.083、0.086、0.087、0.084、0.071、0.075 m,积水深度过程线如图 4(b)所示;明渠排水方案下分别为 0.068、0.059、0.090、0.125、0.108、

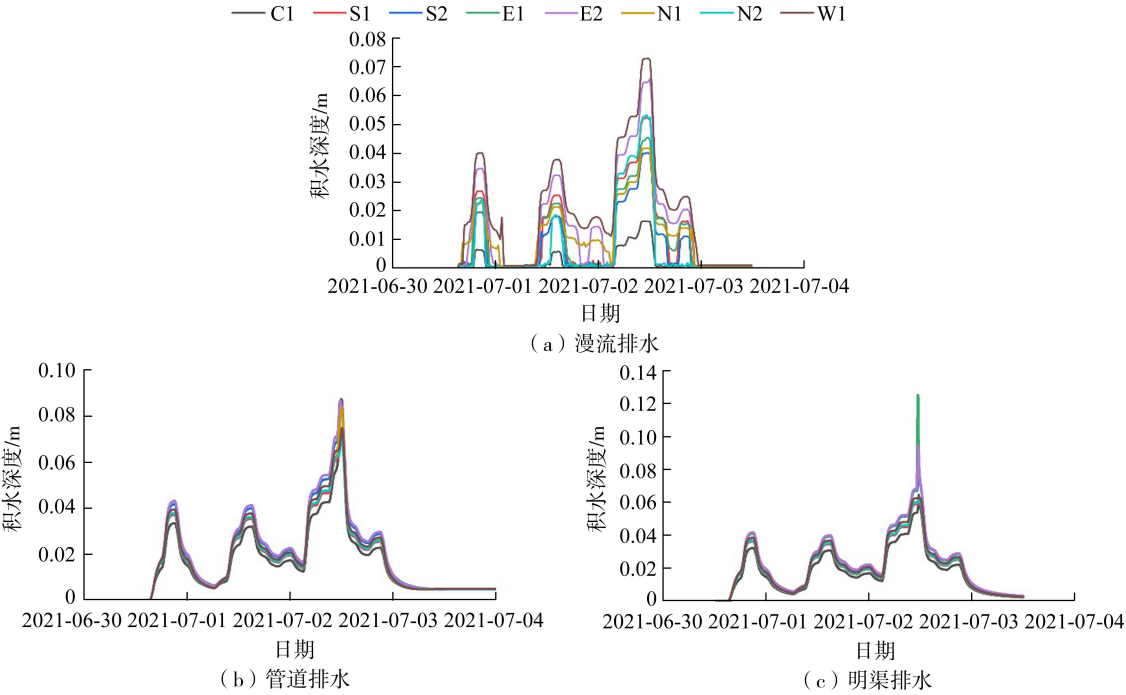


图 4 不同排水方案下各特征点积水深度变化过程

Fig. 4 Process of water accumulation depth changes at key points under different drainage schemes

0.060、0.060、0.063 m,积水深度过程线如图 4(c) 所示。3 种方案下积水深度最大值分别为 0.073、0.087、0.125 m,漫流排水方案效果最好,明渠排水方案效果最差,建议在防洪要求标准较高的中小型工厂优先采用漫流排水方案。

漫流排水方案效果最好,积水主要分布在汇流斜坡两端,坡面汇水在此处叠加(图 5(a))。管道排水和明渠排水的出口位置受到外部洪水水位的顶托影响,尤其是厂区东面,当外部洪水水位较高时,排水过程受到明显阻碍,这种顶托效应导致了管道排水和明渠排水情况下,厂区的最大积水深度相对于漫流排水的情况有所增加(图 5)。在外部洪水水位最高的东面 E1、E2 点位置,管道排水的最大积水深度低于明渠排水,相对于明渠排水展现了更佳的排水能力。

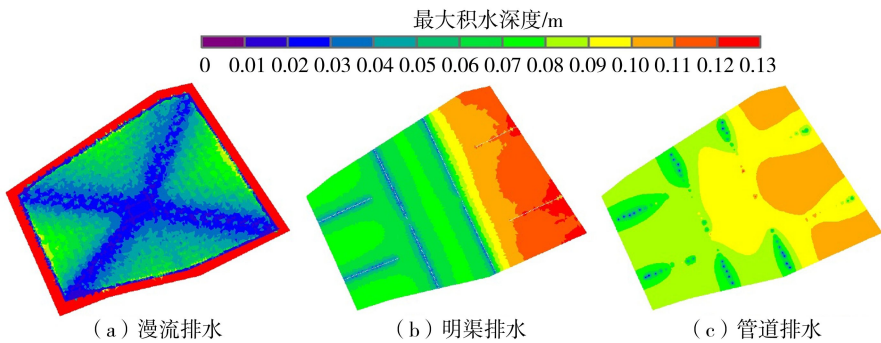


图 5 不同排水方案下厂区最大积水深度

Fig. 5 Maximum water accumulation depth in factory area under different drainage schemes

2.2 厂坪高度变化分析

漫流排水方案提高厂坪高度后边界仍高于外部洪水最高水位,修改厂坪高度后模型计算条件不变,可以认为在漫流边界高于外部洪水时厂坪高度的升高对排水效果没有影响;在厂区内部降水为 PMP,厂区外部遭遇设计基准洪水情景下,明渠排水和管道排水方案抬升厂坪高度时各特征点最大积水深度见表 5、表 6。

在厂区内部降水条件为 PMP,厂区外部遭遇设计基准洪水情景下,明渠排水方案厂区高度在从 Dbf 提高 0.5 m 后,各特征点的最大积水深度出现下降,说明此时洪水顶托影响厂区排水,而在厂区高度后续提高 1.0、2.0 m 后,各特征点的最大积水深度保持不变,说明厂坪高度提高超过 0.5 m,洪水顶托效果消失。管道排水方案厂区高度在从 Dbf 提升 0.1、0.5、0.7、1.0 m 后,各特征点的最大积水深度都出现下降,此时洪水顶托影响厂区排水,而在厂区高度后续提高 2.0 m 后,各特征点的最大积水深度基本保持不变,因此管道排水方案下厂坪高度提高超过 2.0 m,洪水顶托效果消失。

表 5 明渠排水方案不同厂坪高度最大积水深度
Table 5 Maximum water accumulation depth in open channel drainage scheme under different factory site heights

特征点	最大积水深度/m			
	Dbf	Dbf+0.5 m	Dbf+1.0 m	Dbf+2.0 m
C1	0.068	0.054	0.054	0.054
S1	0.059	0.059	0.059	0.059
S2	0.090	0.067	0.067	0.067
E1	0.125	0.068	0.068	0.068
E2	0.108	0.069	0.069	0.069
N1	0.060	0.060	0.060	0.060
N2	0.060	0.060	0.060	0.060
W1	0.063	0.063	0.063	0.063

注:Dbf 代表厂区建设的设计基准洪水水位高度,下同。

表 6 管道排水方案不同厂坪高度最大积水深度
Table 6 Maximum water accumulation depth in pipeline drainage scheme under different factory site heights

特征点	最大积水深度/m					
	Dbf	Dbf+0.1 m	Dbf+0.5 m	Dbf+0.7 m	Dbf+1.0 m	Dbf+2.0 m
C1	0.088	0.081	0.068	0.065	0.057	0.056
S1	0.088	0.081	0.065	0.063	0.062	0.061
S2	0.083	0.079	0.072	0.071	0.070	0.070
E1	0.086	0.081	0.075	0.073	0.072	0.072
E2	0.087	0.082	0.075	0.073	0.072	0.072
N1	0.084	0.079	0.069	0.066	0.065	0.063
N2	0.071	0.068	0.063	0.063	0.063	0.063
W1	0.075	0.071	0.066	0.066	0.065	0.065

2.3 排水工程规模影响分析

为了给工程设计提供可靠的理论建设和建设指导,考虑排水设施尺寸规模的变化对厂区排水的影响,针对管道排水和明渠排水方案,进行了集水井大小变化以及管道直径变化、明渠宽度变化后的排水模拟。

2.3.1 集水井大小影响

探究集水井大小对管道排水方案的影响,在厂区内部降水为 PMP,厂区外部遭遇设计基准洪水情景下,增加了集水井直径分别为 1.0、0.5 m 的排水情形。集水井直径从 1.0 m 减小到 0.5 m 后,最大积水深度骤增,厂址内部大部区域水深超过 0.38 m,分布情况由东部水深大、西部水深小,变为厂址内部各处最大积水深度几乎相同(图 6)。在降水峰值处,集水井各特征点最大积水深度约增大 4 倍(图 7),集水井减小使得厂区内积水无法有效排出,在厂区内形成积水,在本文研究中,集水井的大小不应小于 1.0 m。

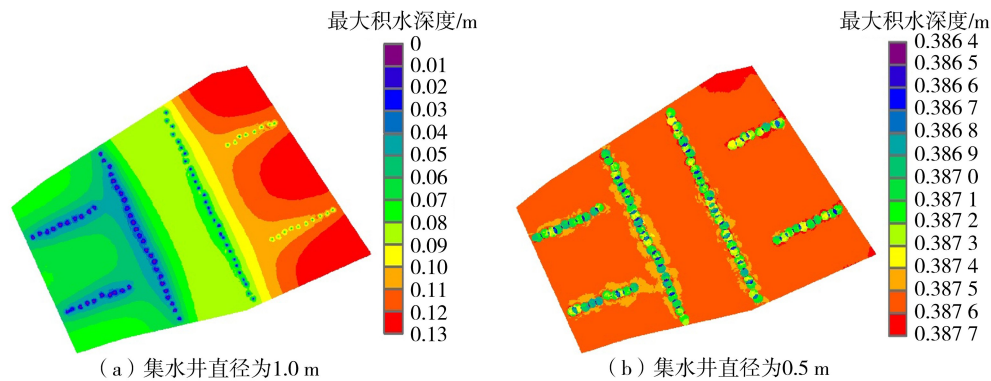


图 6 不同集水井尺寸最大积水深度

Fig. 6 Maximum water accumulation depth under different catchment well sizes

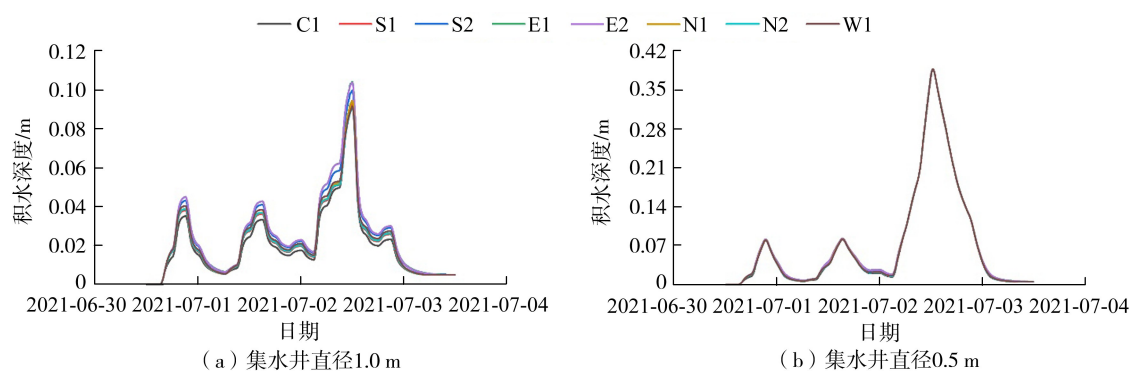


图 7 不同集水井尺寸下各特征点积水深度变化过程

Fig. 7 Process of water accumulation depth changes at key points under different catchment well sizes

2.3.2 管道直径影响

探究管道直径大小对管道排水方案的影响,在厂区内部降雨为 PMP,厂区外部遭遇设计基准洪水情景下基础上,增加了管道直径分别为 2.0、1.0 m 的排水情形。管道直径从 2.0 m 减小到 1.0 m 后,最大积水深度增长幅度较大,厂址内部大部区域水深超过 0.45 m,分布情况从中部水深大、四面水深小,变为厂址内部各处最大积水深度相近(图 8);在降水峰值处,特征点最大积水深度约增大 3 倍,达到 0.45 m(图 9),管道减

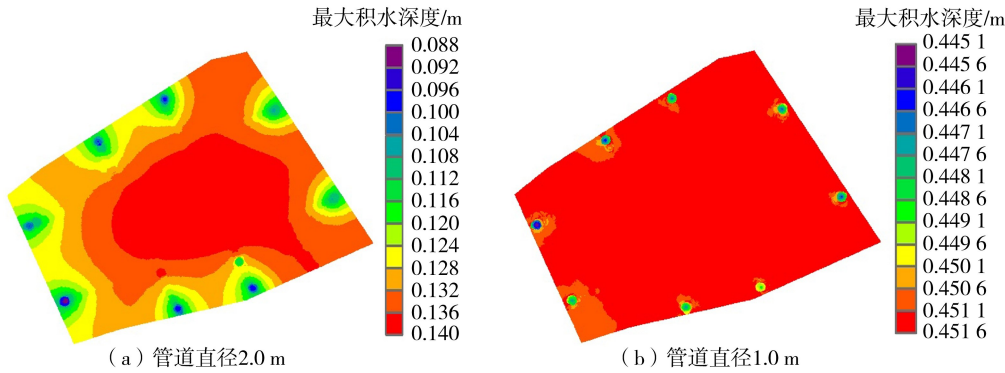


图 8 不同管道直径最大积水深度

Fig. 8 Maximum water accumulation depth under different pipeline diameters

小后管道处于满载状态,厂区内积水无法快速有效排出。

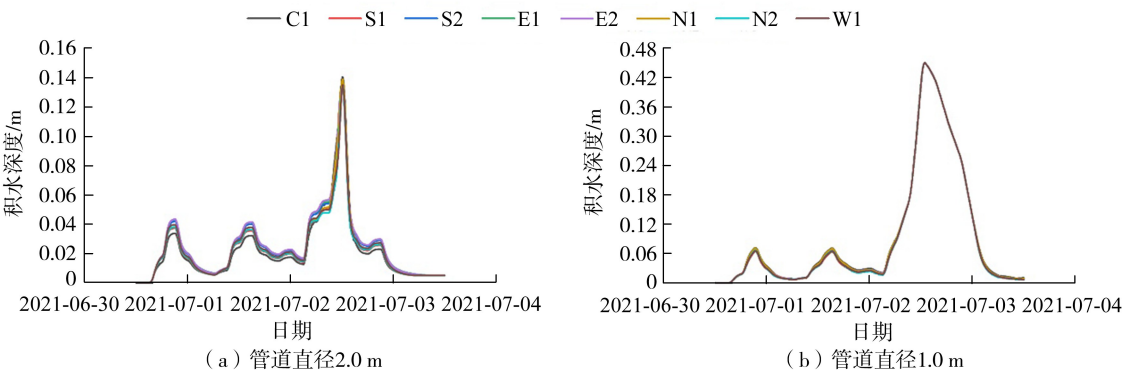


图 9 不同管道直径各特征点积水深度变化过程

Fig. 9 Process of water accumulation depth changes at key points under different pipeline diameters

2.3.3 明渠宽度影响

在厂区内降雨为 PMP,厂区外部遭遇设计基准洪水情景下,增设了明渠宽分别为 3.0、2.0、1.0、0.5 m 的明渠排水情形。厂址内部不同特征点在不同明渠宽度情形(明渠设计宽度为 3.0、2.0、1.0、0.5 m,起始渠深均为 0.5 m,坡度比降均为 3‰),在降水峰值与外部洪水峰值叠加时段的积水深度变化过程如图 10 所示。

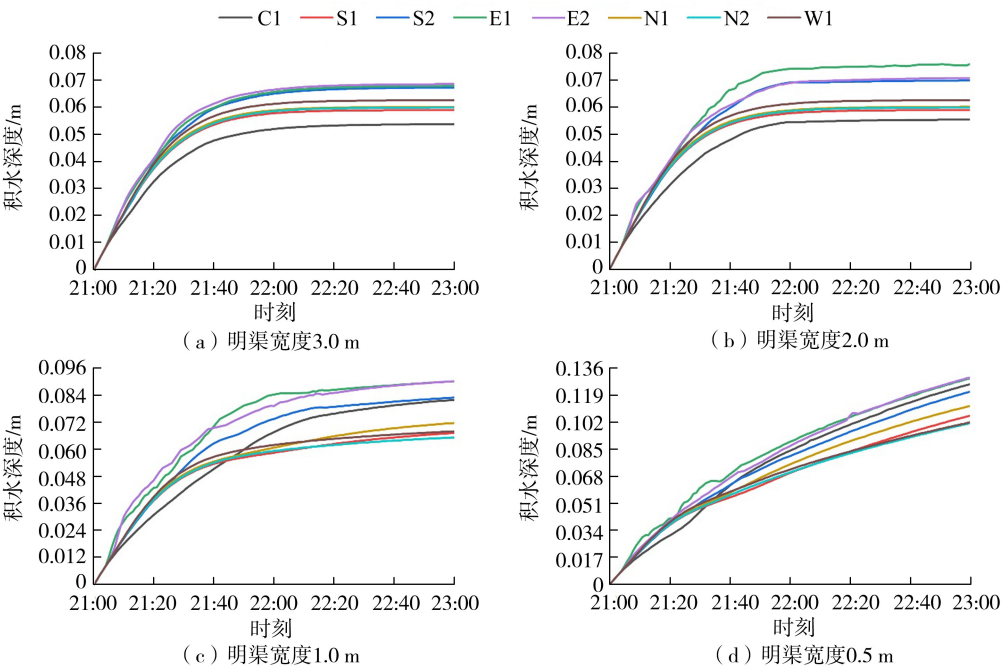


图 10 不同明渠宽度各特征点积水深度变化过程

Fig. 10 Process of water accumulation depth changes at key points under different open channel widths

明渠设计宽度从原输入尺寸变化为 2.0、1.0、0.5 m 后,积水深度的最大值依次升高。在明渠宽度大于等于 1.0 m 前,厂区内各特征点积水深度经一定时间后均达到一个较稳定的值(0.05~0.09 m),且明渠宽度越宽,到达稳定值的时间越短。在明渠宽度减小到 0.5 m 后,厂区内各特征点的积水持续上涨,一直未达到稳定值,此时明渠排水能力小,雨水只能排出少量,并且排水速度较慢,大部分降雨在厂区内形成积水。通过对比分析发现,明渠宽度缩小一定规模后会显著影响厂区的排水。

3 结 论

a. PMP 叠加遭遇设计基准洪水情形下,漫流排水、管道排水、明渠排水方案下厂区内最大积水深度分别为 0.073、0.087、0.125 m。漫流排水方案效果最好,明渠排水方案效果最差,建议在防洪要求标准较高的中小型工厂优先采用漫流排水方案。

- b. 在降雨雨峰与外部洪水洪峰遭遇的短暂时间里,外部洪水的顶托会对明渠排水和管道排水造成影响,可以通过提升厂坪高度来消除此影响。明渠排水和管道排水消除外部洪水顶托作用需要提升的厂坪高度分别为 0.5、2.0 m。
- c. 排水工程规模改变后的计算表明,研究厂区的明渠宽度和管道直径 1 m 以上可满足基本排水要求。

参考文献:

[1] CAI Rongshuo,LIU Kexiu,TAN Hongjian,et al. Climate change and China's coastal zones and seas: impacts, risks, and adaptation[J]. Chinese Journal of Population,Resources and Environment,2021,19(4):304-310.

[2] 肖洋,王艳,徐辉荣,等. 珠江三角洲洪水就近入海防洪治理方案[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(3):257-264. (XIAO Yang,WANG Yan,XU Huirong,et al. Analysis on flood control scheme for flood discharge from nearer route in the Pearl River Delta[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2021,49(3):257-264. (in Chinese))

[3] 何艳梅. 综合洪水风险管理理念下防洪法的防洪管理体制机制优化[J]. 水利经济,2024,42(5):72-81. (HE Yanmei. Optimization of flood control management system and mechanism of the Flood Control Law under concept of integrated flood risk management[J]. Journal of Economics of Water Resources,2024,42(5):72-81. (in Chinese))

[4] YAVARI-RAMSHE S,ATAIE-ASHTIANI B. Numerical modeling of subaerial and submarine landslide-generated tsunami waves-recent advances and future challenges[J]. Landslides,2016,13(6):1325-1368.

[5] 朱光昱,王昆鹏,梁兵,等. 核电厂海啸水灾事故仿真研究[J]. 核科学与工程,2022,42(5):1172-1177. (ZHU Guangyu,WANG Kunpeng,LIANG Bing,et al. Simulation study on tsunami flood accident in nuclear power plant[J]. Nuclear Science and Engineering,2022,42(5):1172-1177. (in Chinese))

[6] 李最森,王飞,史永忠,等. 某近海核电站海啸洪水演进数值模拟研究[J]. 水利水电技术(中英文),2021,52(6):105-116. (LI Zuisen,WANG Fei,SHI Yongzhong,et al. Numerical simulation of tsunami flood routing in offshore nuclear power plant[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2021,52(6):105-116. (in Chinese))

[7] 纪忠华,胡劭乾,王璐,等. 基于 MIKE21 模型的滨海核电厂厂址防洪评价研究[J]. 水利水电技术,2016,47(1):132-137. (JI Zhonghua,HU Mengqian,WANG Lu,et al. Study on MIKE21 model-based assessment on flood control of site for coastal nuclear power plant[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2016,47(1):132-137. (in Chinese))

[8] 李曦亭,王磊之,商守卫,等. 流域、区域和城镇防洪工程工况与调度变化的洪涝互馈效应研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2024,52(2):12-18. (LI Xiting,WANG Leizhi,SHANG Shouwei,et al. Research on mute feed effect of flood and waterlogging under change of working condition and dispatching of flood control project in basin,sub-basin and urban[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2024,52(2):12-18. (in Chinese))

[9] 卢丽,潘学标,张立桢. MIKE FLOOD 模型在北京清河流域洪涝模拟中的有效性验证[J]. 水利水电技术(中英文),2021,52(增刊 2):157-163. (LU Li,PAN Xuebiao,ZHANG Lizhen. Calibration and validation of MIKE FLOOD model:a flood simulation of Qinghe watershed in Beijing[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2021,52(Sup2):157-163. (in Chinese))

[10] 方煜铭,马旭民,林凯荣,等. 基于 MIKE FLOOD 的深圳市大空港片区暴雨内涝模拟分析[J]. 人民珠江,2024,45(5):88-95. (FANG Yuming,MA Xumin,LIN Kairong,et al. Simulation analysis of rainstorm waterlogging in Shenzhen Dakonggang Area based on MIKE FLOOD[J]. Pearl River,2024,45(5):88-95. (in Chinese))

[11] PALLAVI R,RANI K R,SHASHIKANTH K,et al. Intricate flood flow advancement modelling in the Krishna river sub basin, India[J]. ISH Journal of Hydraulic Engineering,2023,29(2):199-208.

[12] 肖雪玲,向小华,吴晓玲. 嘉兴市城市防洪包围圈下垫面变化对洪水风险的影响[J]. 水利水电科技进展,2025,45(1):26-31. (XIAO Xueling,XIANG Xiaohua,WU Xiaoling. Impact of underlying surface changes of urban flood control encirclement of Jiaxing City on flood risk[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2025,45(1):26-31. (in Chinese))

[13] 马盼盼,于磊,潘兴瑶,等. 排水模型不同概化方式对模拟结果的影响研究:以 MIKE URBAN 软件为例[J]. 给水排水,2019,55(3):132-138. (MA Panpan,YU Lei,PAN Xingyao,et al. Study on the influence of different generalization methods of drainage model on simulation results:a case study of MIKE URBAN[J]. Water & Wastewater Engineering,2019,55(3):132-138. (in Chinese))

[14] 栾震宇,金秋,赵思远,等. 基于 MIKE FLOOD 耦合模型的城市内涝模拟[J]. 水资源保护,2021,37(2):81-88. (LUAN Zhenyu,JIN Qiu,ZHAO Siyuan,et al. Simulation of urban waterlogging based on MIKE FLOOD coupling model[J]. Water Resources Protection,2021,37(2):81-88. (in Chinese))

[15] 傅春,林国聪,黄金燕,等. 基于 MIKE 模型的湘阴县雨水管网健康度评价[J]. 水利水电科技进展,2023,43(6):103-110.

(FU Chun,LIN Guocong,HUANG Jinyan,et al. Health degree evaluation of rainwater pipe network in Xiangyin County based on MIKE model[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2023,43(6):103-110. (in Chinese))

[16] 黄金燕. 基于 MIKE FLOOD 模型的城市内涝脆弱性分析及排涝方案优化研究[D]. 南昌:南昌大学, 2023.

[17] 张宏宇,李莉,赵志伟,等. 基于 Mike Urban 的山地城市管网水质模型构建与率定[J]. 中国给水排水,2023,39(21):131-138. (ZHANG Hongyu,LI Li,ZHAO Zhiwei,et al. Construction and calibration of water quality model of mountainous city pipe network based on Mike Urban[J]. China Water & Wastewater,2023,39(21):131-138. (in Chinese))

[18] TOM R O,GEORGE K O,JOANES A O,et al. Review of flood modelling and models in developing cities and informal settlements;a case of Nairobi City[J]. Journal of Hydrology,2022,43:101188.

[19] 王天泽,王远航,马帅,等. 基于 MIKE FLOOD 耦合模型的洪水淹没风险分析:以北京市某科学城为例[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(7):1-17. (WANG Tianze,WANG Yuanhang,MA Shuai,et al. MIKE FLOOD coupling model-based flood inundation risk analysis;a case of a science city in Beijing[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2022,53(7):1-17. (in Chinese))

[20] 周雁潭,刘立军,李鹏辉,等. 基于多层级目标耦合的城市内涝防治研究[J]. 人民长江,2024,55(5):15-22. (ZHOU Yantan,LIU Lijun,LI Penghui,et al. Study on urban waterlogging prevention and control based on multi-level targets coupling [J]. Yangtze River,2024,55(5):15-22. (in Chinese))

[21] 任杰,董增川,徐伟,等. 基于 MIKE21 FM 模型的河道防浪林行洪影响分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2019,47(5):420-424. (REN Jie,DONG Zengchuan,XU Wei,et al. Study on influence of river wavebreak forest on flood discharge ability based on MIKE21 FM Model[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2019,47(5):420-424. (in Chinese))

[22] RAMMAL M,BERTHIER E. Runoff losses on urban surfaces during frequent rainfall events;a review of observations and modeling attempts[J]. Water,2020,12(10):2777.

[23] AN N,HEMMATI S,CUI Y J,et al. Assessment of rainfall runoff based on the field measurements on an embankment[J]. Geotechnical Testing Journal,2017,40(1):29-36.

[24] 张瀚,邱静,黄本胜,等. 气候变化对珠三角地区典型城区流域排水系统的影响[J]. 水资源保护,2022,38(6):56-63. (ZHANG Han,QIU Jing,HUANG Bensheng ,et al. Impact of climate change on drainage system of typical urban watershed in Pearl River Delta[J]. Water Resources Protection,2022,38(6):56-63. (in Chinese))

[25] 陈力鸿,刘宏伟,蔡钊. 滨海平原区可能最大洪水计算研究[J]. 水电能源科学,2024,42(1):18-21. (CHEN Lihong,LIU Hongwei,CAI Zhao. Research on calculation of the possible maximum flood in the coastal plain area[J]. Water Resources and Power,2024,42(1):18-21. (in Chinese))

[26] 侯俊,陈诚,郑玉磊,等. 基于 MIKE FLOOD 模型的平原水网地区内涝治理效果模拟研究[J]. 水利水电科技进展,2024,44(6):41-47. (HOU Jun, CHEN Cheng, ZHENG Yulei, et al. Simulation study on effectiveness of waterlogging control in plain water network areas based on MIKE FLOOD model[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2024,44(6):41-47. (in Chinese))

[27] 黄国如,陈文杰,喻海军. 城市洪涝水文水动力耦合模型构建与评估[J]. 水科学进展,2021,32(3):334-344. (HUANG Guoru,CHEN Wenjie,YU Haijun. Construction and evaluation of an integrated hydrological and hydrodynamics urban flood model [J]. Advances in Water Science,2021,32(3):334-344. (in Chinese))

[28] 张文婷,刘永志,张行南,等. 联安围防洪保护区洪水演进模拟分析[J]. 水资源保护,2022,38(2):1-6. (ZHANG Wenting,LIU Yongzhi,ZHANG Xingnan,et al. Flood routing simulation and analysis of Lian'anwei flood protection zone[J]. Water Resources Protection,2022,38(2):1-6. (in Chinese))

(收稿日期:2024-07-19 编辑:刘晓艳)