

基于MIKE FLOOD耦合模型的刚果(布)某工业厂区排水能力评估

蒋佑承, 梁璐

中交水运规划设计院有限公司西南分公司, 四川 成都

收稿日期: 2026年2月25日; 录用日期: 2026年3月10日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

为有效应对非洲中西部刚果(布)沿海地区新建厂区的暴雨洪涝灾害, 本文基于MIKE FLOOD平台, 将MIKE11和MIKE21模型耦合, 构建了厂区内涝模型。选取新建的某工业厂区进行模拟, 结果表明遭遇10年和20年一遇暴雨下的地面积水深度主要集中在0.07~0.18 m, 水深在空间分布上大体呈一致状态, 积水时间主要集中在5.95~6.0 h, 对应风险等级为轻微和低风险。该研究成果可为厂区排水设施规模、防涝措施等提供技术参考, 一定程度减少受灾损失。

关键词

内涝模型, MIKE FLOOD, 工业厂区, 风险等级

Assessment of Drainage Capacity for an Industrial Plant Area in Congo (Brazzaville) Based on the MIKE FLOOD Coupled Model

Youcheng Jiang, Lu Liang

Southwest Branch, CCCC Water Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Received: February 25, 2026; accepted: March 10, 2026; published: April 30, 2026

Abstract

To mitigate storm-induced flood risks in the newly constructed industrial zone along the coastal area of Congo (Brazzaville) in Central-West Africa, an integrated urban inundation model was established using the MIKE FLOOD platform, which dynamically couples the 1D hydrodynamic MIKE11 and 2D overland flow

作者简介: 蒋佑承(1996-), 男, 工程师, 主要研究方向为水文规划, Email: 245674624@qq.com

MIKE21 models. Simulations focused on a representative industrial plant within the zone, which revealed that under 10- and 20-year return period storm events, surface ponding depths ranged from 0.07 to 0.18 m, with spatially homogeneous distribution patterns. Inundation durations were confined to 5.95~6.0 hours, corresponding to slight-to-low risk classifications. These findings offer actionable insights for optimizing drainage infrastructure design and implementing targeted flood resilience strategies, demonstrating practical potential to minimize flood-related economic disruptions in similar tropical coastal industrial developments.

Keywords

Surface Flooding Model, MIKE FLOOD, Industrial Plant Area, Risk Classification

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



1. 引言

当前非洲国家政治、经济发展迅速,越来越多的国内单位正在或即将从事非洲工业厂区设计项目[1]。厂区用地性质一般建构筑物占地面积大、厂房跨度大、绿地率及海绵设施设置率低,这种工业园区开发模式对所在场地径流条件的影响相较于城市片区开发模式更显著,具体表现为场地径流峰值增大、雨水汇流时间缩短、降水以“快排”模式进入厂区排水系统等[2]。本项目位于非洲中西部刚果(布)沿海地区,西临大西洋,周边地势平坦、沼泽发育、地下水广泛分布,下垫面条件较为复杂。为探究项目区遭受暴雨内涝影响的程度,以位于刚果(布)奎卢省黑角市沿海的某工业厂区和生活区为主要评价对象,运用 MIKE 11 一维河网模型、MIKE 21 二维地表模型和 MIKE FLOOD 耦合模型,对研究范围进行基于 MIKE 系列模型的排水能力与内涝风险进行评估,研究成果可为项目区排水设施规模、防涝措施等提供技术参考,一定程度减少受灾损失。

2. 概况

本项目位于刚果共和国奎卢省黑角市北部比利村一带,西南距 N5 公路和大西洋约 10 km,北距奎卢河支流 Ntombo 河约 3.6 km,西距奎卢河约 7.8 km,地理坐标为东经 11°50'50",南纬 4°28'31",场地地理位置见图 1。

研究区范围总计 16 km²,区内地势较为复杂,场地地面标高在 4.3~8.8 m 之间,根据竖向布置原则、工艺布置要求,综合考虑厂内道路与周边道路标高相协调,以及满足生产、运输与货物装卸等对场地的要求,厂区建筑物室内标高定为 7.1 m、建筑物室外标高定为 6.8 m、道路标高定为 6.5 m,生活区建筑物室外标高和道路标高定为 6.5 m。

厂区内雨水采用明沟排水方式,沿主要道路铺设,型式为矩形明渠,平均宽度为 0.6 m,平均深度 0.8 m;外围设置有 9 条排水渠,沿外围墙布置,型式为梯形明渠,底宽 6 m,坡比 1:2,上开口 12~20 m。

3. 研究方法

3.1. 模型原理

MIKE 11 是可以用来探究一维水动力河道演进、水质、洪水预报、溃坝等方面的专业水利软件,其包括降雨径流 NAM、水动力 HD、洪水预报 FF、对流扩散 AD、泥沙运输 ST 等模块。本研究采用的是 MIKE 11HD 模块即水动力学模块,它是 MIKE 11 中的基础模块,能够用来模拟明渠河网中非恒定流,其最终计算成果是关于

特征断面的水位和流量的时间序列[3]。

MIKE 21 属于用户友好型集成 Windows 图形界面，只要输入地形数据、糙率数据水动力学边界条件等，模型会根据输入的数据计算出每个网格的水位和水流变化，按照实际的地形数据进行漫溢模拟，较为真实地模拟出这些数据条件下所产生的洪水演进过程[4]。经过多年的发展和改进，该模型在水利工程上的应用已经很普遍，也受到了国内外广泛的认可[5]。



图 1. 研究区域位置图

MIKE FLOOD 是一个耦合其他 MIKE 模型的平台系统，引入构建好的一维与二维模型，提供一维、二维模型相互连接的方式，即综合考虑一维、二维的影响。由于一维模型与二维模型是在单位时间步长上的连续过程，MIKE FLOOD 中的耦合连接方式也是动态过程，因此耦合模型的呈现也是一个动态过程，能够切实地展现水流交换[6]。这样一方面能够充分发挥各模型的优点，另一方面能够减少单独使用模型过程中的网格精度问题。

3.2. 降雨条件

3.2.1. 汇水区域划分

根据厂区设计中的排水方案，按就近排放的原则将项目区划分成 9 个汇水分区，如图 2 所示；各汇水分区对应排涝面积见表 1。

3.2.2. 设计暴雨计算

根据黑角市 1980~2023 年实测暴雨资料，计算出研究区 10 年和 20 年一遇标准下最大 24 h 设计暴雨。短历时设计暴雨根据研究区地理位置和气候条件因素，结合刚果(布)首都布拉柴维尔地区的成果进行对比[7]，本次参考国内《广东省暴雨径流查算图表使用手册》[8]中“海南岛最大 24 h 设计雨型成果(暴雨时程分配表)”进行设计雨型分配，作为研究区各频率下降雨过程，见表 2。

表 1. 汇水区域统计表

序号	排涝分区	汇水面积(km ²)	序号	排涝分区	汇水面积(km ²)
1	A	0.474	6	F	0.505
2	B	0.143	7	H	0.304
3	C	0.113	8	I	0.181
4	D	0.106	9	G	0.653
5	E	0.324			

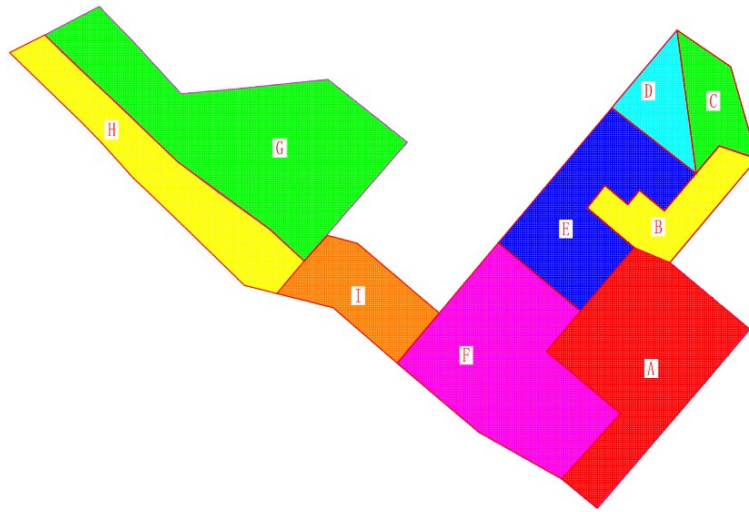


图 2. 汇水区域划分图

表 2. 厂区设计暴雨过程表

时段/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p = 10%设计暴雨/mm	0.46	0.69	0.5	0.53	0.69	0.72	0.9	0.86	1.18	1.63	1.63	1.71
p = 5%设计暴雨/mm	0.64	0.95	0.68	0.73	0.95	0.99	1.23	1.19	1.63	2.24	2.24	2.35
时段/h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
p = 10%设计暴雨/mm	3.91	3.74	4.42	23	95	4.93	1.47	0.78	0.86	0.45	0.5	0.43
p = 5%设计暴雨/mm	4.37	4.18	4.94	26	104	5.51	2.02	1.08	1.19	0.62	0.68	0.59

3.2.3. 设计排涝流量计算

根据《中非地区桥涵水文计算方法浅析》[7]，对于小流域(汇水面积 $F < 4 \text{ km}^2$)可以使用国外常用的 Kirpich 法和 Rational Method 法，该方法已在非洲地区广泛应用。在考虑研究区地下水对地表产流影响的前提下[9]，根据计算研究区各频率排涝流量计算成果见图 3。

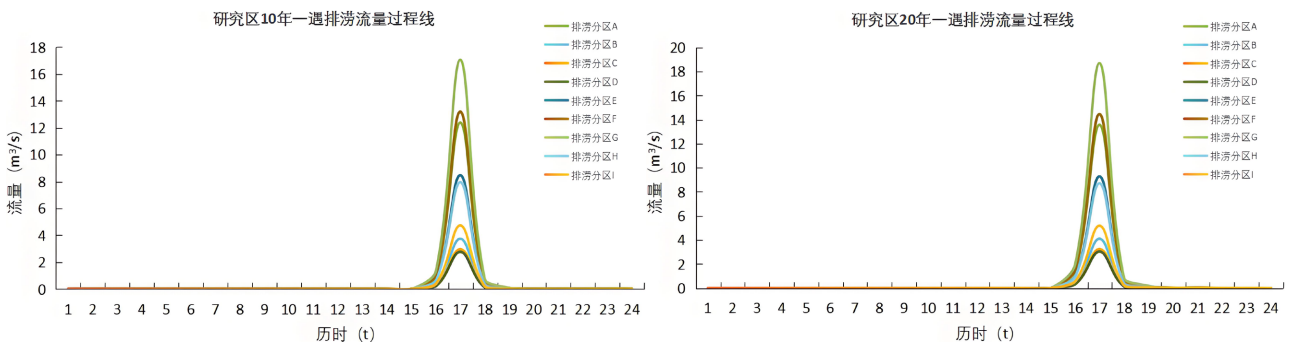


图 3. 研究区排涝流量过程图

3.3. 模型构建

根据研究区域实际情况，厂区内涝水主要由内部排水沟排至厂区外部排水渠，再由排水渠排至周边洼地。为准确描述区域的排涝情况，需要建立耦合模型，同时对排水沟、排水渠以及地表二维漫流演进进行模拟。

一维河道洪水演进模拟范围为厂区的排水沟及排水渠，各汇水分区的设计排涝流量作为上边界条件，受纳洼地的地面高程作为边界水位。计算初始状态取为 0.05 m 水深。根据厂区的设计资料，共布置 9 条排水渠与 5 条排水沟，详见图 4，排水沟渠的糙率参考其设计糙率，设置为 0.025。

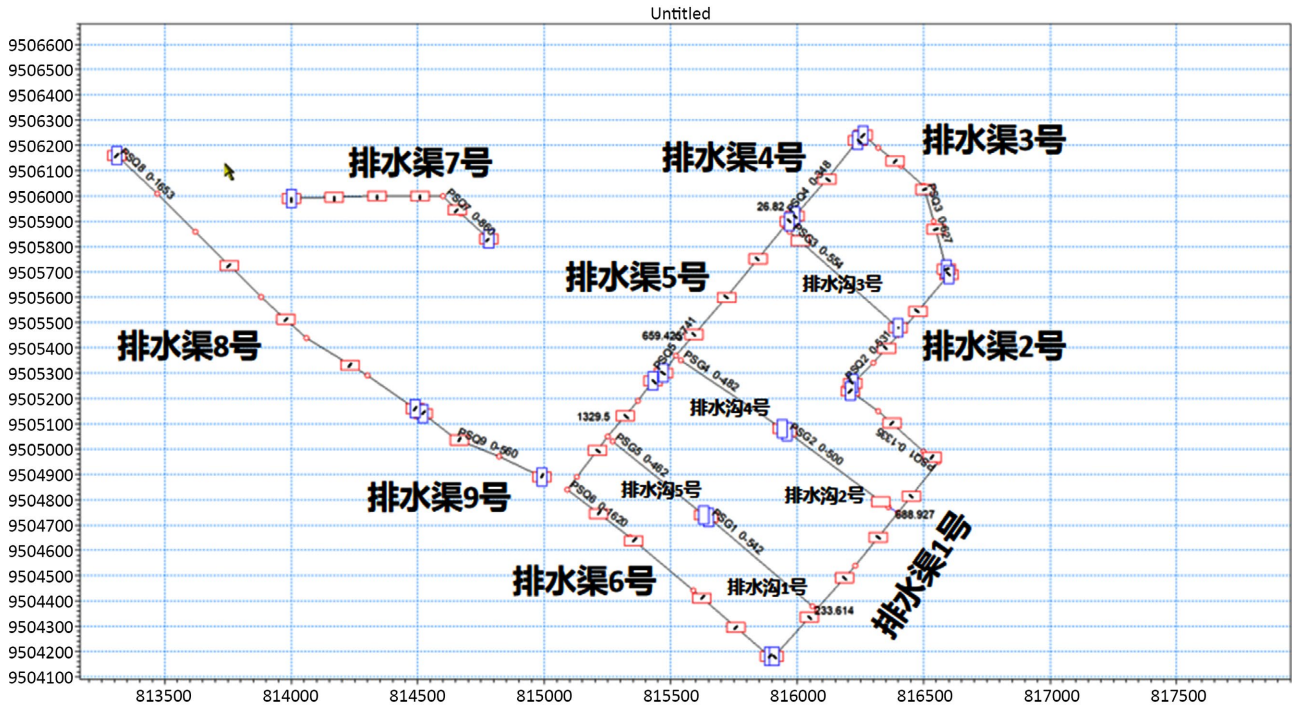


图 4. 研究区一维河网模型图

二维地表网格剖分后，共生成 14,576 个三角形非结构网格，节点 7453 个。本次网格划分的原则为在靠近评价对象的厂区和生活区处将网格进行适当加密，结合厂区建筑物布置及排水沟渠情况等将项目区周边网格边长设置为 10~30 m，其余项目区外草地、林地和洼地等网格边长设置为 50 m。利用现场航拍图并结合勘察成果确定研究区主要漫流的下垫面类型为建成区、草地、林地和沼泽。综合分析并结合该地区实际情况，建成区的 n 取 0.045，区外草地林地取 0.05~0.055，沼泽取 0.055~0.06，成果如图 5 所示。

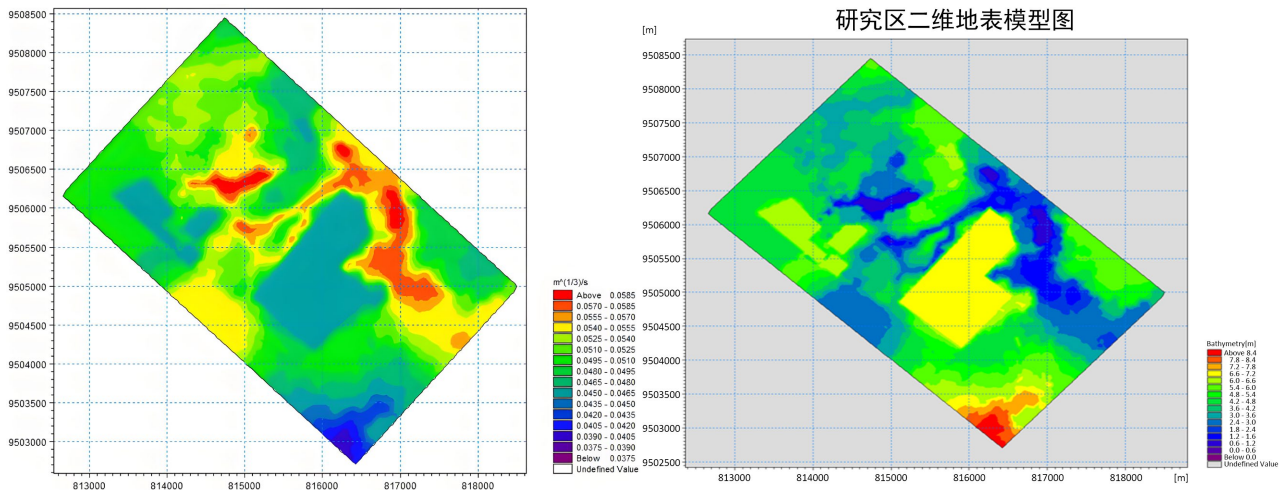


图 5. 研究区糙率场图(左)和二维地表模型图(右)

将 MIKE 21 和 MIKE 11 加载到 MIKE FLOOD 中, MIKE 11 与 MIKE 21 采用左右岸连接的侧向连接方式, 将一维河道两岸与二维地表模型连接, 形成河网与地形网格的交互计算方式, 成果详见图 6。

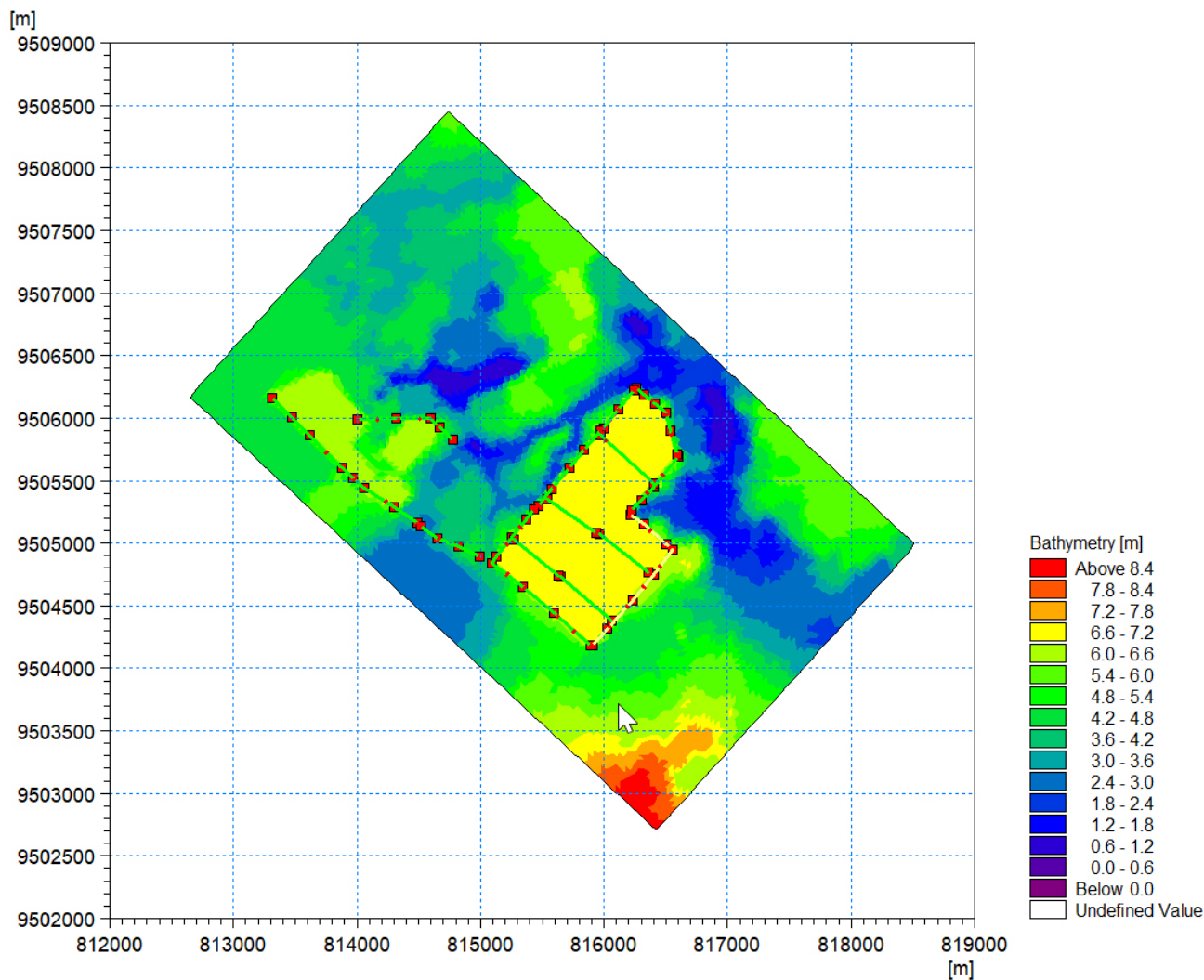


图 6. MIKE FLOOD 耦合成果图

4. 模拟结果及分析

4.1. 排水沟渠水位情况

在遭遇各频率暴雨下, 各排水沟渠水位及两岸高程对比见表 3。在 10 年一遇暴雨时, 厂区内排水沟 1 号和 5 号会发生漫溢现象; 在 20 年一遇暴雨时, 厂区外部排水渠 9 号以及排水沟 1 号、3 号和 5 号会发生漫溢现象, 漫溢的涝水将会以侧向连接的方式进入二维地表模型。

表 3. 排水沟及排水渠水位成果表

名称	左岸高程(m)	右岸高程(m)	p = 10%最高水位(m)	是否漫溢	p = 5%最高水位(m)	是否漫溢
排水渠 1 号	6.8	5.0	4.63	否	4.68	否
排水渠 2 号	5.0	6.8	3.54	否	3.57	否

续表

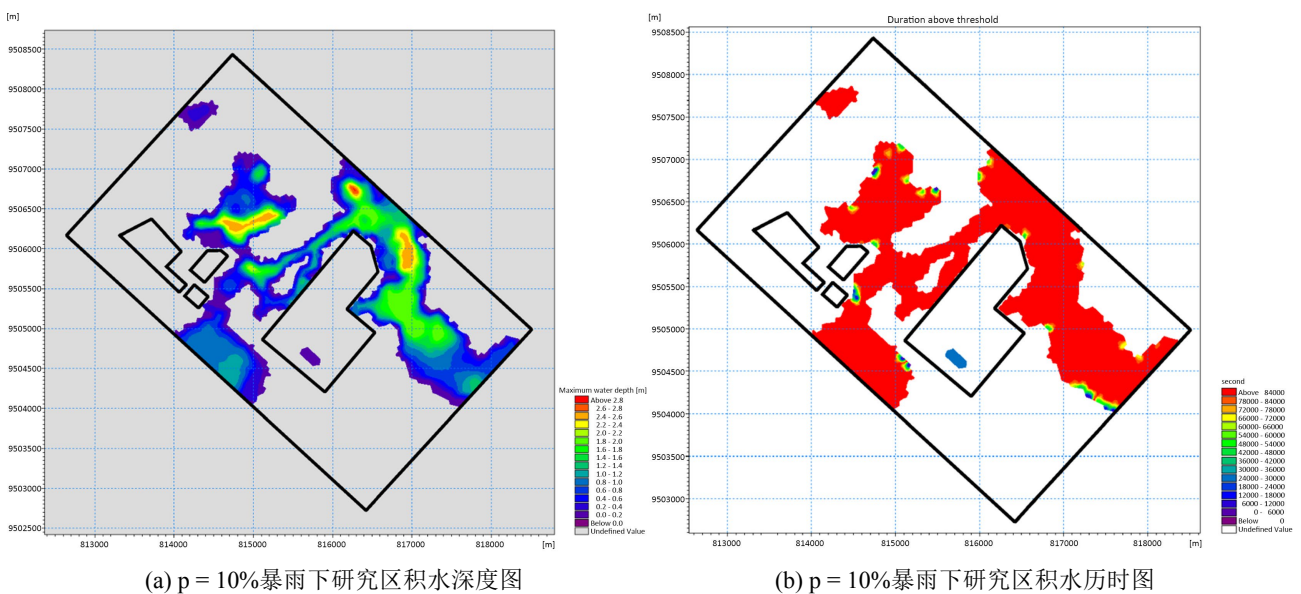
排水渠 3 号	6.8	5.0	3.37	否	3.38	否
排水渠 4 号	6.0	6.8	4.26	否	4.27	否
排水渠 5 号	6.8	6.0	4.66	否	4.72	否
排水渠 6 号	5.5	6.8	4.61	否	4.66	否
排水渠 7 号	4.0	6.5	3.67	否	3.73	否
排水渠 8 号	6.5	4.5	3.66	否	3.68	否
排水渠 9 号	3.5	4.5	3.50	否	3.52	是
排水沟 1 号	6.8	6.8	6.85	是	6.87	是
排水沟 2 号	6.8	6.8	6.68	否	6.79	否
排水沟 3 号	6.8	6.8	6.79	否	7.06	是
排水沟 4 号	6.8	6.8	6.51	否	6.62	否
排水沟 5 号	6.8	6.8	6.84	是	6.86	是

4.2. 地表积水深度和时间

通过对 MIKE FOOD 耦合模型结果的处理, 可得到研究区遭遇 10 年一遇和 20 年一遇暴雨下的地表积水深度的空间分布情况, 参考国内相关研究成果[10], 研究区淹没面积、厂区内积水深度、积水历时和风险等级判定统计成果见表 4, 研究区积水深度和积水历时分布图如图 7 所示。

表 4. 研究区最大淹没面积、厂区内最大积水深度和积水历时统计成果表

工况	研究区最大淹没面积(万 m ²)	厂区内最大积水深度(m)	积水历时(h)	风险等级
p = 10%暴雨条件下	483.88	0.07	5.95	轻微风险区域
p = 5%暴雨条件下	486.75	0.18	6.0	低风险区域



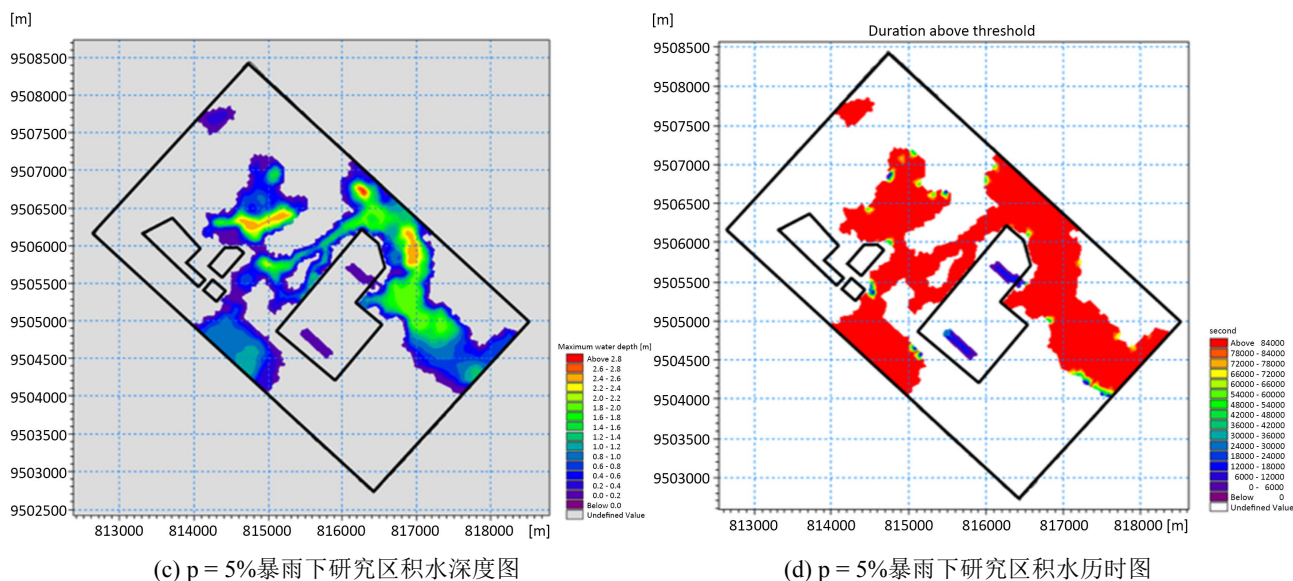


图 7. 研究区最大集水深度与积水历时图

4.3. 内涝风险评估

结果表明, 10 年一遇暴雨条件下: 厂区外部排水渠无涝水溢出至建筑物室外地面, 排水沟有涝水溢出至建筑物室外地面, 厂区内最大淹没深度为 0.07 m, 未超过建筑物室内标高 7.1 m, 内部道路在强降雨条件下会有 5.95 h 短暂淹没, 判断淹没区属轻微风险区域; 20 年一遇暴雨条件下: 厂区外部排水渠无涝水溢出至建筑物室外地面, 排水沟有涝水溢出至建筑物室外地面, 厂区内最大淹没深度为 0.18 m, 未超过建筑物室内标高 7.1 m, 内部道路在强降雨条件下会有 6.0h 短暂淹没, 判断淹没区属低风险区域。

5. 结论

本文基于 MIKE 21、MIKE 11 和 MIKE FLOOD 数学模型, 对研究区域内排水能力与内涝风险进行了评估。根据 MIKE FLOOD 模拟结果, 重点就厂区内积水深度, 淹没持续时间等内涝灾情方面进行了风险评估, 得出不同方案条件下积水情况在时间与空间上的分布以及重点区域涝水演进过程, 得出以下主要结论。

1) 厂区内地表积水深度主要集中在 0.07~0.18 m, 整个研究区及厂区的淹没面积随着降雨重现期的增加而增加, 暴雨以及排水渠末端受洼地水位顶托导致的排水不畅是厂区内产生积水的主要原因。

2) 虽然经分析在遭遇 10 年和 20 年一遇暴雨时厂区的内涝等级为轻微或低风险, 但同样建议做好应急排水措施, 如在区内增设临时强排泵站、增设挡板、防淹沙袋等; 定期对排水沟渠进行维护, 以防淤堵。

参考文献

- [1] 毛雪松, 徐旺, 臧芝树, 唐可, 汤鑫磊. 中法公路涵洞水文设计方法对比[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(5): 654-659.
- [2] 王瑜, 郭众一. 某工业园区降水径流模拟及雨水管网安全评估[J]. 山西建筑, 2022, 48(17): 154.
- [3] 林立, 张翼, 程玉祥. Mike11 与 Hec-ras 水动力模型洪水计算成果分析[J]. 浙江水利科技, 2019, 47(1): 17-20.
- [4] 耿玉莹, 钱秀红, 金炳琪等. 基于 MIKE21 的小清河感潮河段水质数值模拟研究[J]. 人民黄河, 2024, 46(10): 96.
- [5] 孙治平, 赵志宏, 刘子金, 王鑫, 连海东, 王燕, 任子豪. 基于 MIKE21 的跨河桥梁壅水数值模拟分析[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33(6): 129-136.
- [6] TANSAR, H., BABUR, M. and KARNCHANAPAIBOON, S. L. Flood inundation modeling and hazard assessment in lower ping river basin using MIKE FLOOD. Arabian Journal of Geosciences, 2020, 13: 934.

<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05891-w>

- [7] 苏明星, 项少军, 王峰. 中非地区桥涵水文计算方法浅析[J]. 北方交通, 2010, 4(5): 91.
- [8] 广东省水文总站. 广东省暴雨径流查算图表[Z]. 广州: 广东省水文总站, 1991.
- [9] 袁光耀. 地下水平均埋深对径流系数影响的研究[J]. 农田水利与小水电, 1992(9): 9-13.
- [10] 王丽晶, 潘兴瑶, 赵飞, 杨思敏, 李永坤, 李虎, 刘子龙, 徐美. 北京城市积水内涝风险地图编制与应用[J]. 北京水务, 2022(6): 24-29, 43.