

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.240823

基于MIKE11模型的沿江城镇圩区水系规划研究

谢心白,王邦玮,杨 勇,徐 敏

(南京市水利规划设计院股份有限公司,江苏 南京 210000)

摘 要: 随着经济社会持续发展,城市的开发建设力度较大,沿江城镇圩区的涝水收集及外排能力已不能满足经济社会发展要求。为结合城市发展建设合理规划和完善城镇圩区水系布局,以南京市浦口区团结圩为例,通过构建MIKE11河网水动力学模型,并利用该模型计算在不同降雨频率情况下圩区的河道水位及流量,试算分析圩内的规划河道整治规模和泵站规模,给出了规划建议的圩区排涝调度方案。在能适应经济发展新形势和满足治水新要求的基础上,对圩内水系进行了系统和完善的布局安排与规划,可为沿江城镇圩区水系规划提供参考和经验。

关键词: 水系规划;排涝;MIKE11;沿江城镇圩区;河网水动力学模型;排涝调度

中图分类号: TV212.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)04-0130-05

Research on Water System Planning of Town Polder Area along Rivers Based on MIKE11 Model

XIE Xinbai, WANG Bangwei, YANG Yong, XU Min

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: With the continuous development of economy and society, the development and construction of cities is relatively strong. The capacity of flood water collection and drainage in town polder areas along the river cannot meet the requirements of economic and social development. In order to reasonably plan and improve the water system layout of town polder areas in combination with urban development and construction, taking Tuanjiewei in Pukou District, Nanjing as an example, by establishing the MIKE11 hydrodynamics model for river network, the model is used to calculate the water level and discharge of rivers in the polder area under different rainfall frequencies. The trial analysis of the planned river regulation scales and pumping station scales is made to give the waterlogging drainage dispatching scheme of the polder area. On the basis of adapting to the new situation of economic development and meeting the new requirement of water control, the water system in the polder area is systematically and perfectly arranged and planned, which can provide reference and experience for the water system planning of town polder areas along the river.

Keywords: water system planning; waterlogging drainage; MIKE11; town polder area along the river; hydrodynamics model for river network; waterlogging drainage dispatching

0 引 言

沿江圩区地势较低,水系丰富,汛期时外河行洪水位高于圩内地面高程,故圩内涝水需通过排涝河道收集后,再利用泵站抽排进入长江或行洪河道。随着经济社会的持续发展,城镇开发建设力度逐步加大,然而沿江城镇圩区的涝水收集及外排能力发展水平滞后于城市发展水平,导致各类基础设施的规划建设与水争地的现象日益严重,圩内水系被阻断的情况时有发生,排水防涝体系建设不健全,城市

排水压力日益加剧。

城镇圩区排涝水文分析作为排涝规划构建的基础,对于完善水系布局、提升水系功能与指导内涝保安具有十分重要的作用。由于具有算法可靠、计算精度高、结果可视化等特点,MIKE11软件被广泛应用于排涝分析与研究。胡静雅等^[1]基于MIKE11构建了平湖市圩区外围河网的水动力学模型,可对未来24 h圩区外围的河网水位及流量变化进行预报;刘默蕾等^[2]以张家港市的福前晨东联圩为例,建立MIKE11模型,研究了城市化对平原圩区排涝的影响并提出了相应的应对措施;王献辉等^[3]基于MIKE11构建了集河道、雨水管网、泵站为一体的排涝融合模型,提高了城市圩区排涝计算的精准性和系统性;张

收稿日期: 2024-08-02

作者简介: 谢心白(1996—),女,硕士,工程师,从事水文与水资源、水利工程规划工作。

慧哲等^[4]以南京江北新区为例,构建 MIKE11 水动力学模型,为提升城市排涝能力与优化内涝规划布局提供了可靠措施。

目前,对排涝、水系等的规划大多采用传统水文分析或经验方法,设计泵站规模偏大,排涝引水河道的设计过流能力往往与泵站的实际抽排能力不匹配,且计算不够精细。对于城镇圩区,协调水系分布与城镇开发要求、确保水系功能的同时并保障经济社会的快速发展是十分重要的。本文以南京市浦口区的团结圩为研究对象,根据圩区内规划水系和雨水泵站的布局,构建 MIKE11 河网水动力学模型,对区域的排涝能力进行计算验证分析,计算不同降雨频率下圩区的河道水位与流量,并提供规划建议的圩区排涝调度方案,确保圩区在合理、安全且能充分维持自然本底的水系布局下进行城市发展建设。研究成果可以为沿江城镇圩区的水系规划提供参考和借鉴。

1 研究区概况

团结圩位于南京市浦口区中部、长江北岸,主要涉及浦口区江浦街道和江北新区核心区,是由城南河、高旺河、雨山河及长江组成的城镇围合区。圩内地势较低,地形以长江冲积平原为主,圩区总面积约为 36.98 km²,属北亚热带气候区,季风气候明显,四季分明、雨量丰沛,多年平均气温为 15.4℃,年平均降水量为 1 102.2 mm,降水量的年际变化较大,年内分配不均匀,夏季降水量最多、冬季最少、春季多于秋季。

团结圩是江北中心城防洪圈的组成部分,圩区内的主要水系包括西江中心河、芝麻河与十里长河等重要排涝河道。圩内现状河道有 20 条,现状排涝泵站有 10 座,总排涝规模为 92.04 m³/s,排涝模数为 2.49 m³/s·km²。团结圩的现状水系布局如图 1 所示。

随着区域城镇化发展,对团结圩的开发力度较大,然而圩区内现状部分排涝泵站规模基本按农田排涝的要求建设,排涝能力有限,与城市排涝的标准有很大差距,且部分排涝河道及设施的建设明显滞后于城市化进程,难以抵御较大洪涝灾害;由于城市开发建设与区域用地规划调整,部分现状河道(段)线位与城市规划用地设计产生矛盾;圩区内部分排涝河道过水断面缩窄、淤积严重,泵站连通河道的现状过流能力无法满足规划泵站扩建要求,河道的过流与排涝能力不足;部分区域现状河道为自然沟渠,



图 1 现状水系图

水系杂乱,水系连通性较差。

团结圩外部受长江、城南河、高旺河与雨山河等洪水威胁,内部受本区域降水影响,需顺应经济社会发展的新形势,结合治涝保安、水资源保障、水生态保护等新要求,对圩区内水系进行系统和完善的布局安排与规划。

2 水系规划标准及方案

2.1 治涝标准

城市排涝标准应基于城市的经济社会地位重要性及人口规模等,依据国家规范及相关规划要求确定。根据《南京市浦口区国土空间总体规划(2021—2035年)》^[5]《南京江北新区总体规划(2014—2030年)》^[6]《南京城市防洪规划(2013—2030年)》^[7]《南京市中心城区排水防涝综合规划》^[8]等相关规划及标准,确定本次排涝河道及泵站的规划排涝标准为 20 a 一遇。

2.2 水系规划方案

以“安全为重,底线思维;生态优先,人水和谐;因地制宜,合理可行;统筹协调,分期落实”为原则,针对团结圩的现状 & 主要问题,对圩区水系及相关水利工程进行规划布局。

为提升区域的排涝能力,提高水系连通性,结合区域用地规划进行调整,拓宽整治张村河、十里长河、西江中心河、芝麻河、和平河、五里河、朱家店河下游段、巩固中心河(芝麻河—浦滨路段)、团结河(浦乌路—浦滨路段)、南农河及学院河;调整团结河与五里河的河道线位;在现状水系的基础上新增景观河、紫创河及部分十号河河段;扩建张村泵站、西江泵站及双合泵站;废除三合泵站、工人新村泵站及团结泵站。

根据圩区水系总体规划布局,团结圩规划河道为20条,规划河道的总长度约为49.02 km,其中主要河道有7条,包括芝麻河、张村河、十里长河、西江中心河、和平河、五里河与南农河,总长度约为26.53 km,分别通过排涝区的南、北、东侧泵站与高旺河、城南河以及长江相接;其他河道13条,总长度约为22.49 km;规划水系布局图如图2所示。团结圩规划雨水泵站为7座,分为张村泵站、解放泵站、西江泵站、双合泵站、五里泵站、南门泵站与南农泵站,总排涝规模为158 m³/s,排涝模数为4.27 m³/s·km²。泵站的排涝规模详如表1所列。

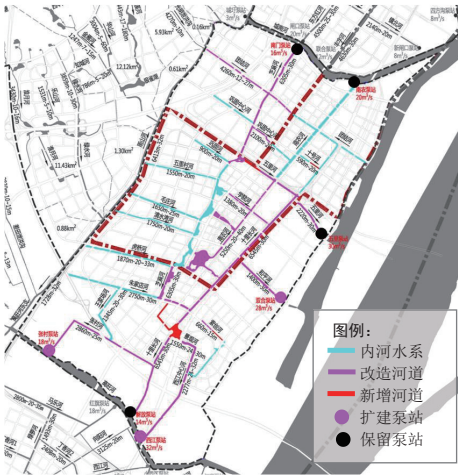


图2 规划水系布局图

表1 雨水泵站规划规模一览表

序号	泵站名称	排入河道	现状规模/ (m³·s ⁻¹)	规划规模/ (m³·s ⁻¹)	备注
1	张村泵站	高旺河	1.5	18	扩建
2	解放泵站	高旺河	14.0	14	保留
3	西江泵站	高旺河	2.2	32	扩建
4	双合泵站	长江	2.5	28	扩建
5	五里泵站	长江	30.0	30	保留
6	南门泵站	城南河	16.0	16	保留
7	南农泵站	城南河	20.0	20	保留
合计			86.2	158	

3 模型构建

城镇圩区排涝水文分析采用河网水文模型模拟在各种设计工况下水体在流域中运动的全过程,包括降雨、产流、汇流以及河道演进的全过程,从而获得设计洪水在河道中运动的水位、流量等各项参数。本次采用由丹麦水利研究所(Danish Hydraulic Institute, DHI)编制的MIKE系列软件建立区域数字模型,将MIKE11水动力模块(Hydraulic Dynamics, HD)与降雨径流模块(RR, Runoff Runoff)耦合,模拟

水体运动,按20 a一遇、50 a一遇校核计算团结圩规划河道的设计水位及流量。考虑到计算范围为城镇区,故MIKE11降雨径流模块(RR)采用城市地区(Urban)的径流估算方法。

3.1 模型原理

区域水文模拟模型以区域水体运动为研究对象,根据输入的降雨边界条件模拟水体在流域内的运动情况。圩内水体运动受当地降雨和人类活动等综合影响,水体运动情况复杂,水体在陆域的运动可分为产流、地表汇流和河道汇流三个过程,模型通过对降雨、产流、汇流以及排水全过程的计算,模拟水体在规划区的运动。其中,产流模拟采用NAM(New Zealand Agricultural Model)模型、地表汇流模拟采用河网多边形汇流模型、河道水流运动采用一维圣维南方程组来描述^[9],如式(1)所示。

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x \end{cases} \quad (1)$$

式中: q 为旁侧入流, m³/s; Q 为河道断面流量, m³/s; A 为过水面积, m²; V_x 为旁侧入流流速在水流方向上的分量, m/s; g 为重力加速度, 9.80 m/s²; K 为流量模数, m³/s; α 为动量校正系数。

3.2 河网断面概化

根据团结圩规划水系和雨水泵站布局,本次模型拟概化圩内20条规划河道、7座雨水泵站。依据片区竖向规划,本次圩内河道规划河底高程为3.50~4.50 m。由于河道无设计断面数据及实测糙率资料,模型计算中河道断面均采用明渠均匀流公式进行初步设计估算;根据圩内河道现状及规划断面形式,河道综合糙率初步拟定为0.028。团结圩河网模型的概化示意图如图3所示。

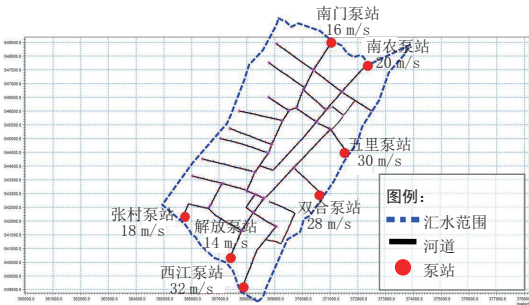


图3 河网模型概化示意图

3.3 边界条件

模型中各边界条件设置如下。
(1)流量边界条件:采用实测降雨资料排频分析

法与暴雨图集法互相参照和验证的方法进行设计暴雨的计算,由于在研究区域范围内缺乏实测的降雨资料,因此采用邻近地区晓桥水文站记录的 1962—2009 年最大 1 日降雨资料,通过频率分析法计算设计暴雨;经计算和分析比较,实测降雨分析法与暴雨图集法的结果总体相差约为 4%,由于实测降雨资料更能反映区域暴雨情况,因此,本次采用实测降雨资料排频分析法得到 20、50 a 一遇情况下区域 24 h 的设计净雨过程,如图 4 所示;考虑到海绵城市规划建设,本次设计取相对保守的径流系数 0.60。

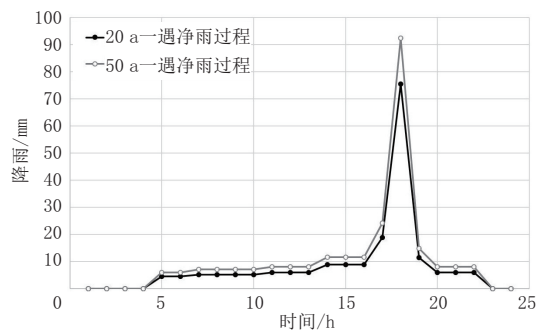


图 4 20、50 a 一遇净雨过程

(2)出流边界条件:根据团结圩规划雨水泵站的布局及规模,在相应河道河口位置处设置雨水泵站,以圩内雨水泵站抽排过程作为模型的出流边界条件。

(3)泵站运行条件:根据片区竖向及管线综合规划及区域地块场坪标高,团结圩排涝区的河道最高控制水位为 6.50 m,河道初定常水位为 5.00 m;依据片区规划竖向及河道设计参数,圩内泵站的运行方案为当水位达到拟定开机水位时泵站开机、当水位回落至初定常水位 5.00 m 时泵站关机。

4 结果分析

4.1 计算结果

通过建立 MIKE11 河网水动力学模型,根据不同降雨频率情况模拟计算团结圩内河道各节点的水位、流量、流速及泵站抽排流量过程等。以河网水位不超过河道最高控制水位 6.50 m 为原则,通过模型试算不同拟定开机水位的泵站调度方案,综合分析圩内的河道规划整治规模和泵站规模,得出圩内泵站的建议运行方案为当水位达到 5.72 m 时泵站开机、当水位回落至初定常水位 5.00 m 时泵站关机;同时得出圩内各河道最高水位及流量计算成果,如表 2 所列。

表 2 20、50 a 一遇排涝计算成果表

河道名称	20 a 一遇		50 a 一遇	
	最高水位/ m	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	最高水位/ m	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
芝麻河	6.48	21.98	6.62	20.78
十里长河	6.44	17.39	6.60	18.23
张村河	6.44	20.15	6.61	19.65
西江中心河	6.41	32.00	6.59	32.00
团结河	6.46	12.66	6.62	12.31
巩固中心河	6.47	10.76	6.62	9.79
五里河	6.47	32.48	6.62	32.30
和平河	6.43	28.00	6.59	28.62
虎桥河	6.47	10.58	6.61	10.81
朱家店河	6.45	5.95	6.61	10.92
王家场河	6.43	14.70	6.60	19.51
景观河	6.43	24.65	6.60	26.00
紫创河	6.43	24.64	6.60	25.99
南农河	6.47	24.01	6.62	23.98
毛庄河	6.48	7.89	6.62	8.06
绿水湾河	6.48	7.82	6.62	7.97
五里村河	6.48	6.36	6.62	6.10
学院河	6.45	8.40	6.61	9.35
巩固河	6.47	6.37	6.62	6.79
十号河	6.46	1.55	6.62	1.54

4.2 讨论与分析

(1)无论是采用传统的排涝水文计算还是河网水动力学模型计算,目的都是为了通过相应的计算分析得到可靠、合理的排涝水系布局;但相较于传统的排涝水文计算,河网水动力学模型具有处理复杂数据、支持快速对比分析多种工况、能提供更精准的计算、实现洪水演变动态分析等多个优势。团结圩水系丰富,片区排涝要求高,规划有 20 条河道,7 座雨水泵站,为提高结果精准度,实现对多河道、多泵站圩区的快速分析,对团结圩建立区域河网水动力学模型进行分析计算是十分有必要的;同时,在以往的规划中,大多运用传统水文分析或经验方法,造成圩内五里河、十里长河等排涝引水河道的设计过流能力与其连通泵站的抽排能力不匹配,可能导致更大的片区涝水抽排压力和排涝隐患。本次利用地形、降雨、泵站运行调度等多重数据,建立整个圩区河网水动力学模型,能够较精准地模拟圩内所有河道的水流动态过程,更能反映实际情况,提高了水系规划方案的合理性;此外,通过建立圩内河网水动力学模型,实现了快速进行对 20、50 a 一遇两种不同暴雨频率工况下的分析计算,为片区水系规划提供了可靠的数据支撑。

(2)根据团结圩排涝区 20、50 a 一遇暴雨频率工

况下的水文模型计算结果,在开机水位为5.72 m的泵站运行方案下,团结圩排涝区河道20 a一遇的最高水位为6.41~6.48 m,50 a一遇的最高水位为6.59~6.62 m。团结圩排涝区规划道路竖向最低高程约为7.52 m,在遭遇20 a一遇暴雨时,河道最高水位低于规划道路竖向最低高程1.04~1.11 m;在遭遇50 a一遇暴雨时,河道最高水位低于规划道路竖向最低高程0.90~0.93 m。在规划排涝标准下,圩内河道水位均在河道最高控制水位6.50 m以下,因此团结圩河道整治方案、泵站规模选定、泵站运行方案调整满足排涝要求。

(3) 规划建议团结圩的排涝调度方案为:汛期维持河道水位不超5.0 m;暴雨时河道水位达5.72 m时及时开机,河网水位不超最高控制水位6.5 m;河网水位降至5.0 m时关机。

(4) 结合城市开发与建设与区域用地的规划调整,本次规划调整了控规以及上位规划中团结圩景观河、团结河与张村河等部分河道的线位与布局,同时在控规基础上连通并新增了部分河道,提高了现状河道与规划河道的线位切合度,加强了圩内水系的连通性。

(5) 本次规划在控规、上位规划的基础上,根据团结圩雨水泵站的现状、规划场地标高和汇水分区,结合对排涝模数和排涝量的科学计算,调整了圩内规划雨水泵站的规模。

(6) 西江中心河是团结圩重要的排涝河道之一,然而现状河道中多处因道路、桥梁施工存在淤积、堵塞、河道上下游不连通等情况,建议在工程完工后及时进行河道清淤疏浚。为提高片区泵站排涝能力、缓解城市排水压力,本次规划将西江泵站规模扩建至 $32 \text{ m}^3/\text{s}$;为满足泵站扩建后规划工况下河道过流要求,保证区域防洪排涝安全,远期规划对西江中心河进行拓宽整治,使河口宽达24~32 m。

(7) 本次规划填补了既有规划在团结圩城镇区域与外排泵站间的空白,拓宽改造了张村河、西江中

心河、十里长河等河道,增强了城镇范围内水系与城镇范围外水系及排涝泵站间的衔接性,提高了排涝引水河道的过流能力与泵站抽排能力的匹配度,缓解了距离泵站较远的圩内涝水不能及时汇至泵站前池的问题,提高了区域排水能力。

5 结 语

本文以南京市浦口区的团结圩为研究对象,通过建立MIKE11河网水动力学模型,计算了在不同降雨频率情况下圩区河道的水位及流量,试算分析了圩内的河道整治规模和泵站规模,最后给出了规划建议的圩区排涝调度、河道整治与泵站改造方案。在确保区域水系正常发挥功能,满足治涝保安要求,保护、恢复和利用现有水系生态系统并构建幸福河湖的同时,也要适应经济社会发展新形势,合理规划布局城镇圩区水系及相关水利工程。研究结论可为后续类似沿江城镇圩区的水系规划提供参考和新思路。

参考文献:

- [1] 胡静雅,张仁贡,尹则高.平湖市圩区外围河网水位分析与预报[J].水电站机电技术,2022,45(8):60-62.
- [2] 刘默蕾,陈婕,刘俊.平原河网圩区城市化对排涝的影响及排涝措施研究[J].水电能源科学,2020,38(4):68-71.
- [3] 王献辉,果利娟,邓人超,等.基于MIKE11的排涝融合模型在城市圩区应用探讨[J].水利规划与设计,2022(5):32-36.
- [4] 张慧哲,胡素端.基于MIKE11水动力模型的城市内涝规划研究[J].吉林水利,2023(9):18-22.
- [5] 浦口区国土空间总体规划编制领导小组.南京市浦口区国土空间总体规划(2021—2035年)[R].南京市规划和自然资源局浦口分局,2023.
- [6] 南京江北新区总体规划编制小组.南京江北新区总体规划(2014—2030年)[R].南京:南京市规划设计研究院有限责任公司,2015.
- [7] 王超,王献辉,李萍,等.南京城市防洪规划(2013—2030年)[R].南京:南京市水利规划设计院有限责任公司,2015.
- [8] 邱明海,等.南京市中心城区排水防涝综合规划[R].上海:上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2015.
- [9] 吴春,徐阳明,李达,等.一维非恒定流模型在太湖湖滨地区的应用研究[J].水电能源科学,2009,27(4):134-137.