

龙梁河-石安河梯级河网区 水系重构对水动力影响研究

陈昌仁¹,张安齐²,王 坤³,陈 楚⁴,颜秉龙⁵

(1. 江苏省河道管理局,江苏南京 210029; 2. 河海大学 智能感知技术创新研究院,山东 潍坊 261100;

3. 南京水利科学研究院 水灾害防御全国重点实验室,江苏南京 210029;

4. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司,江苏南京 210029; 5. 连云港市水利规划设计院有限公司,江苏连云港 222006)

摘要:沿等高线开挖的人工河道,横向连接入海河流、水库形成的沿海梯级河网,具有比降低、动力弱、洪水流向不确定的复杂特征。通过水系重构改善行洪动力条件、降低洪峰水位是保障区域防洪安全的重要途径。以连云港龙梁河-石安河梯级河网区为研究对象,基于梯级河网水动力模型,模拟识别现状河网防洪薄弱点,采用多方案模拟分析,提出不同水系重构方案。结果表明将河网区上游洪水排到区域外部的水库,减少区域内部流量的方案,可有效提升区域行洪能力。研究为类似沿海河网地区的水系重构方案提供借鉴参考。

关键词:平原河网;水动力学;水系重构;连云港

中图分类号:TV87 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2025)10-0044-0005

Research on the impact of river system reconstruction on hydrodynamics in the Longliang River-Shi'an River cascade river network area

CHEN Changren¹, ZHANG Anqi², WANG Kun³, CHEN Chu⁴, YAN Binglong⁵

(1. Jiangsu River Course Administration Bureau, Nanjing 210029, China;

2. Intelligent Sensing technology Research Institute, Hohai University, Weifang 261100, China;

3. The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 4. Jiangsu Water Conservancy Engineering Technology Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China; 5. Lianyungang Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd.,

Lianyungang 222006, China)

Abstract: Artificial rivers excavated along contour lines, which laterally connect sea-entering rivers and reservoirs to form a coastal cascade river network, exhibit complex characteristics such as low slope, weak hydropower, and uncertain flood flow direction. Reconstructing the river system to improve flood discharge hydrodynamic conditions and reduce flood peak water levels is an important approach to ensuring regional flood control safety. Taking the Longliang River-Shi'an River cascade river network area in Lianyungang as the research object, based on the cascade river network hydrodynamic model, this study simulated and identified the weak points of flood control in

收稿日期: 2025-06-30

基金项目: 江苏水利科技项目(Y523004); 江苏省基础研究计划自然科学基金青年基金资助项目(BK20230122)

作者简介: 陈昌仁(1976—),男,高级工程师,博士,主要从事流域水文水动力过程模拟与调控研究。E-mail:njmoyu@126.com

通信作者: 王坤(1992—),男,工程师,博士,主要从事流域水文水动力过程模拟与调控研究。E-mail:wangkun@nhri.cn

the current river network, and proposed different river system reconstruction schemes through multi-scheme simulation analysis. The results show that the scheme of diverting floodwater from the upper reaches of the river network area to reservoirs outside the region and reducing the internal flow of the region can effectively improve the regional flood discharge capacity. This study provides a reference for river system reconstruction schemes in similar coastal river network areas.

Key words: plains river network; hydrodynamics; river system reconstruction; Lianyungang

江苏沿海河网区域地势低平,上游水库河道洪水下泄,下游潮位顶托,具有河网密度大、比降低、动力弱、流向不确定的复杂特征^[1]。河网区水系结构和闸坝布局对区域防洪、排涝安全起决定性作用,合理规划河网系统结构,改变河网的空间格局,是一种切实有效提升区域防洪水平的方式^[2]。水动力模拟结果是检验水系重构方案防洪能力效果的基础,在模型软件方面,随着现代计算机技术的发展,20世纪60年代一些发达国家率先完成信息处理技术向工程实践的转移,以水文模拟与水动力分析为核心的专业化数值模拟软件得以开发应用,水利计算逐渐从理论探索转向产业应用^[3-4]。比较有代表性的包括美国与加拿大合作研制的SWMM模型、英国研发的Info Works ICM模型、丹麦研发的MIKE模型系列软件^[5-6],上述众多洪水模拟方法被用于复杂河网的水系重构研究中,其中由丹麦水力研究所开发的用于模拟河网系统的水流水质的MIKE11软件^[7],已经过大量的研究验证,适用于复杂平原河网的一维水动力模拟。

连云港市东海县境内大中小型水库星罗棋布,入海河道众多。为提升洪水控制能力,东海县开挖建成了多级“等高截水”防洪工程,即沿50 m、18 m等高线开挖龙梁河和石安河两条人工河,横向串联水库与天然河道,形成沿海梯级河网,面临着局部河道比降低、动力弱、洪水流向不确定的问题。为此,本研究以龙梁河-石安河河网区为例,构建一维河网水动力模型,识别河网防洪薄弱环节,提出水系重构方案,并通过与现状河网的对比,研究其对区域水动力的影响,以期为沿海河网地区的防洪能力提升提供借鉴。

1 研究区域概况

龙梁河-石安河河网区位于江苏省连云港市东海县,总面积1 097.9 km²,其中水域面积115.2 km²,境内水网复杂,闸泵众多,如图1所示。河网区内两大干流龙梁河、石安河均为沿等高线人工开挖形成的河道,往复流问题突出,水动力模拟较为困难,防

洪风险较大,是本研究关注的重点区域。



图1 研究区水系及水利工程分布

龙梁河位于东海县西部,由大石埠水库开始,经石埠、洪庄、桃林、双店、温泉、横沟、南辰等乡镇通向石梁河水库,全长65 km,是一条等高截水平底河道,羽山闸上河底高程45.0 m,闸下游高程降低为41.0 m。龙梁河截去了50 m以上山丘区的来水,河道采用20年一遇标准设计。

石安河位于东海县中部,纵贯县境南北,北起石梁河水库(大I水库),南到安峰山水库(大II水库),原为石梁河水库的输水干渠。石安河沿18 m等高线开挖,河底高程14 m,截取50~18 m高程之间的大面积岭地高水,全长55 km。河道按防洪20年一遇标准进行了整治。

2 模型构建与方案设计

2.1 数据来源

利用一维水动力模拟软件MIKE11对研究区河网进行概化建模,在Google Earth中对研究区骨干水

系进行矢量化提取,并对其进行配准、分隔、裁剪,最终得到模型河道数据。模型采用的地形数据为河道实测断面数据。

2.2 边界条件设置

根据《龙梁河初设报告》^[8],龙梁河流域范围划分为4个汇水区,由南至北分别为:汇水区1(竹墩闸以南段),汇水区2(竹墩闸至昌西闸段),汇水区3(昌西闸至羽山闸段),汇水区4(羽山闸以北段)。将龙梁河起点处的大石埠水库调度闸位置为流量边界,同时将汇水区2-4范围内龙梁河河道的中点位置以点源形式概化旁侧入流。在水位控制点方面,将石安河、阿安河、卫星河设置为水位边界。

2.3 模型验证

经参照连云港市河道整治工程实施方案和反复检验,龙梁河-河网区内给定糙率参数范围为0.020-0.030。采用20年一遇洪水流量、水位对率定好的模型进行验证,验证结果见图2。结果表明,龙

梁河20年一遇设计流量沿程模拟水位的确定性系数(DC)为0.79,相对误差(RE)为0.31%;石安河20年一遇设计流量沿程模拟水位的确定性系数(DC)为0.61,相对误差(RE)为1.18%。在模拟验证过程中,确定性系数大于0.5,相对误差小于25%,表明模拟结果满足后续模型计算精度要求。

2.3 水动力重构方案提出

为降低河网区在洪水发生时的损失,根据龙梁河-石安河河网区在遭遇50年一遇洪水情况下现状漫堤情况设计各方案,通过前期计算结果^[9],目前河网区共存在5处漫堤位置,如图3(a)所示。在各漫堤处上游进行水系河网的改造,以减少洪灾对研究区的影响,目前河网区内存在未和龙梁河、石安河连接的现有河道,设计开挖新河道使其相连,分别命名为R1~R5,各方案示意图如图3所示。

3 计算结果分析

3.1 典型断面水位过程线

特征断面水位过程线所反映的洪峰水位和退水时间与防洪风险有着较大关系,在特征指标中,平均洪峰水位指在特定河段内,多次洪水事件或不同断面测得的洪峰水位算术平均值,反映洪水对河道纵向空间的整体压迫程度,直接决定了河段的漫堤风险。洪峰水位越高,系统承受的水压越大,防洪设施失效概率越大;而平均退水时间指洪水从洪

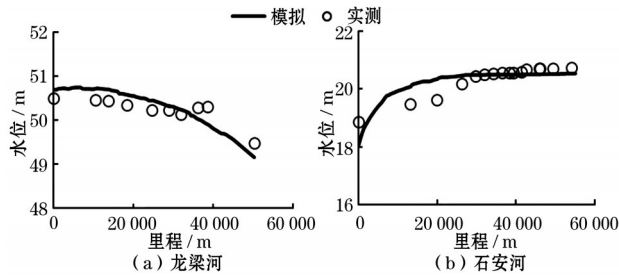


图2 率定验证结果

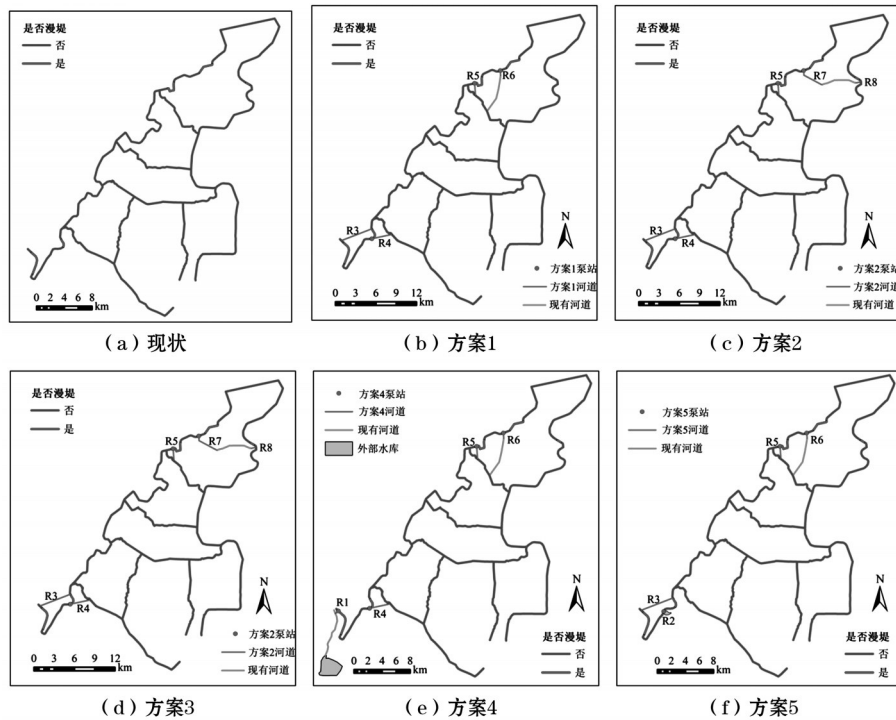


图3 各方案示意

峰水位降至警戒水位以下所需时间的平均值,其表征了河网系统遭受洪灾后的恢复速度。退水时间越长,洪涝灾害持续时间越长,阻碍了社会经济活动恢复原状。

基于前文所建水动力模型成果,选定龙梁河桩号 A0+13000 处断面为西部主干河道龙梁河代表断面,石安河桩号 A0+13500 处断面为东部主干河道石安河代表断面。峰值与水位退水时间见表1,各方案水位过程线如图4。

表1 典型断面水位峰值及退水时间

断面	方案	峰值/m	出现时间/h	峰退时间/h	耗时/h	缩短时间/h	降低水位/m
龙梁河	现状	49.72	16.11	38.89	22.78		
	方案1	49.35	15.56	39.44	23.88	-1.11	0.37
	方案2	49.35	15.56	39.90	24.34	-1.57	0.37
	方案3	48.90	15.00	37.65	22.65	0.13	0.82
	方案4	48.98	15.28	37.50	22.22	0.56	0.74
	方案5	49.47	16.11	40.00	23.89	-1.11	0.25
石安河	现状	19.42	24.44	46.94	22.50		
	方案1	19.09	22.78	45.00	22.22	0.27	0.33
	方案2	19.14	22.78	45.83	23.05	-0.56	0.28
	方案3	18.99	22.78	38.61	15.83	6.66	0.42
	方案4	19.01	21.39	35.28	15.89	8.60	0.41
	方案5	19.11	23.06	45.83	22.77	-0.28	0.31

在龙梁河断面所在位置方案3和方案4洪峰水位明显低于其他方案。另一方面,在石安河断面,方案1至方案5对应的水位降幅在0.28~0.42 m,其中方案3降低水位最多,为0.42 m。在退水过程调控方面,各方案退水历时与研究区现状相比差距约为-0.28~8.60 h,其中方案4缩短退水时间的效果最为明显,退水周期从22.50 h缩短至13.89 h,降幅达38.2%。

综上所述,基于龙梁河和石安河典型断面的水位过程,各工程方案对沿程洪水要素的调控效能呈现差异化特征:在洪峰水位削减方面,方案3在两典型断面上展现出最优表现,其水位降幅较原有现状分别达0.42 m、0.82 m;而在退水历时提升维度,方案4表现突出,使退水历时分别缩短0.56 h、8.60 h。表明方案3的水系重构措施对纵向水位梯度调节更具优势,而方案4对洪水过程线形态的降低作用更为显著。

在典型断面位置,各方案均表现出显著的洪峰调控效果(图4)。由表1中各方案的对比可见,在龙梁河断面,方案1至方案5对应的水位降幅在0.25~0.82 m,其中方案3降低水位最多;在退水过程调控方面,方案3和方案4缩短退水时间的效果较好,其中方案4为0.56 h,这是因为在龙梁河内部连通调节高水位的R3将洪水直接分洪排放在附近区域,多余水量仍在河网中,而R1采取的工程措施是将洪水分流向区域外部水库,内外排水方式的差异导致

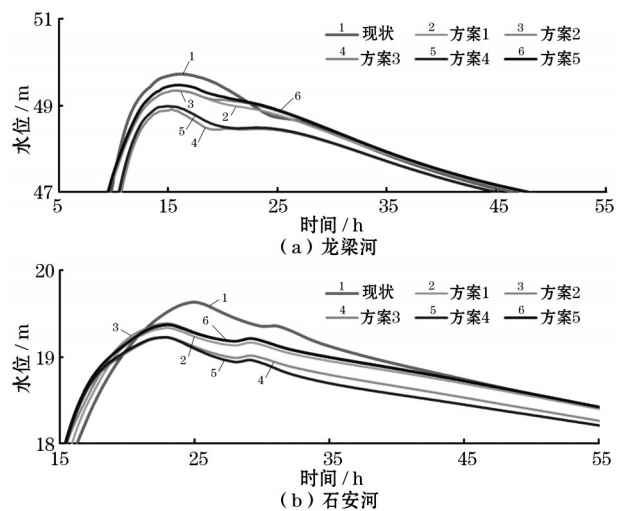


图4 典型断面水位过程线

3.2 最高水位分布及漫堤情况

50年一遇的洪水条件下,经过各方案的调节后,龙梁河大部分地区的洪峰水位在48.50~49.50 m

之间,部分地区超过了49.5 m,如图5所示。方案3、方案4将龙梁河上游洪水排到区域外部的水库,减少了龙梁河内部流量,与其他方案相比在龙梁河前半段水位明显较低。

同时,石安河在经过各方案的调节后,大部分地区的洪峰水位在19.00~19.40 m之间,方案2及方案5的部分地区超过了19.40 m,如图6所示。各方案中方案3、方案4石安河水位明显更低。

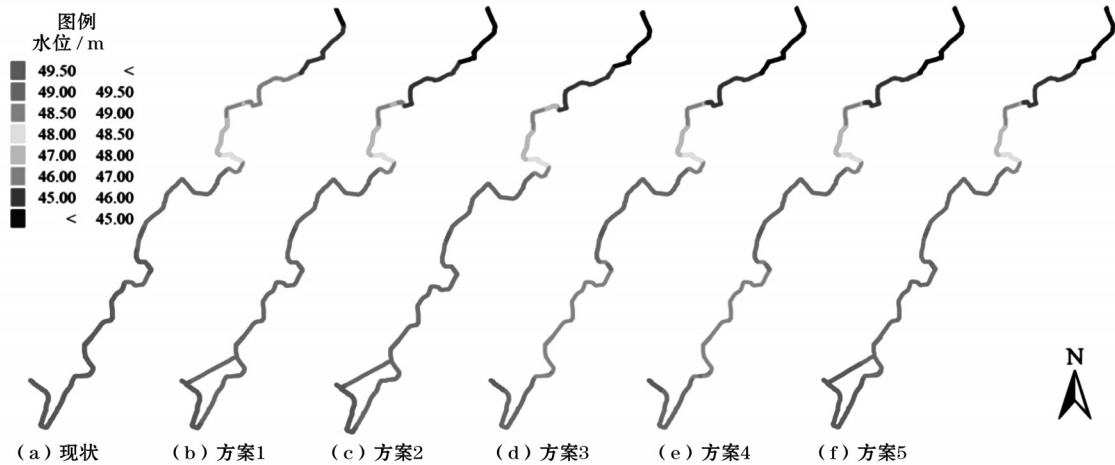


图5 龙梁河现状及各方案最高水位分布

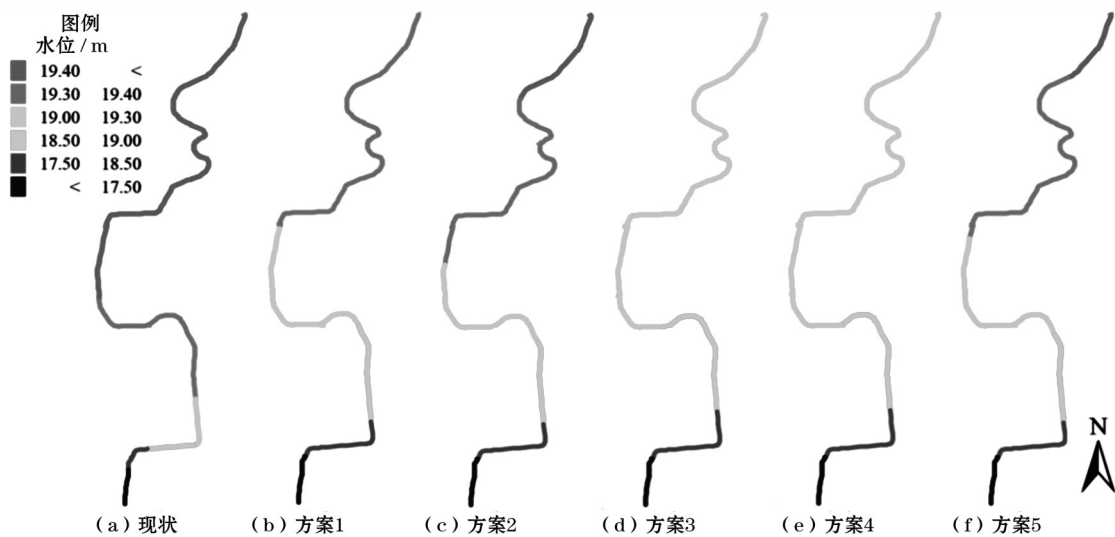


图6 石安河现状及各方案最高水位分布

对于龙梁河-石安河河网区的漫堤情况进行分析,在50年一遇洪水情况下,经过各方案针对原有河网5处漫堤位置的洪水调节,研究区漫堤状况均得到较大改善,各方案所有河道均未漫堤,改善状况均达100%。

综上所述,方案4在缩短退洪时间、降低最高行洪水位方面均表现良好,是现状河网条件下良好的水系重构方案。

4 结论

本文对沿海河网水系重构及其影响进行了探讨,

建立基于水动力过程模拟的水系重构方案优化调整方法,提出了连云港市龙梁河-石安河河网区水系重构方案,研究了不同水系重构方案对区域水动力的影响,对于改善区域水动条件、提升区域防洪能力具有一定的指导作用。同时,研究提出的水系重构方案对区域河道治理、水系规划设计具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 钟平安,唐洪武. 淮河中下游洪涝综合治理的思考与初探[J]. 水科学进展,2020,31(5):746-753.

(下转第53页)

短30%。

4.3 效果评估

采取堤闸协同策略之后,江苏省沿海防控体系效能得到明显改善,通过对台风“杜苏芮”期间的数据加以分析,得出如下几点结论:

风险降低:协同调度堤防和水闸系统,大幅降低洪水漫堤和内涝风险,高风险区域提前关闭水闸,内涝发生的概率减少了40%,堤防加固降低风暴潮破坏程度。

恢复时间缩短:堤防和水闸的恢复时间比历史数据减少30%以上,内陆地区精准排水,快速降低水位,防止长期积水引发的次生灾害。

防控效率提升:协同操作缩减了人工干预的时间,尤其是在风暴高潮时,精准的水闸调度提升了防控的效率,同传统的手动调度相比,防控的效率提升约20%。

“杜苏芮”台风期间,堤闸协同运行策略的成功运用,提升了灾害防控水平,也为今后风暴潮灾害防控工作积累了宝贵经验,证明堤防与水闸联动的可行性。

5 总结与展望

5.1 研究总结

针对风暴潮防控工作,展开江苏省沿海堤闸系统的研究,提出了协同运营的改进措施,风暴潮灾害链繁杂化特性使得相应的防控体系要具备灵活性且需保持即时反馈状态。通过风险分区分片动态调节的框架方式,江苏省可以按不同地区风险等级的等级精准规划应对方法,联动作业机制,强化了堤防与水闸的合作,在风暴潮高发期提高了抗灾救急效率。

5.2 未来展望

气候变化引起风暴潮的强度和频率增大,将来研究要重视改善堤闸系统的适应能力,尤其在极端天气状况下怎样保证对多重灾害链冲击的有效应对,研究重点聚焦于跨区域协作机制,大数据和物联网技术应用,智能调度和自动化监测改进上,从而提升应急反应和防控水平。

参考文献:

- [1] 苑希民,黄玉啟,田福昌,等. 基于LSTM-GM神经网络模型的风暴潮增水预报方法[J]. 水资源保护,2023,39(6):8-15.
 - [2] 刘仕潮,李明杰,吴少华. 江苏沿海台风风暴潮特征分析[J]. 海洋预报,2024,41(2):1-12.
 - [3] 朱勇辉,李梦雨,栾华龙,等. 河口海岸堤防安全风险预估及预警研究与展望[J]. 长江科学院院报,2025,42(6):1-7.
 - [4] 李亮,郭俊丽,时连强,等. 1300—2019年江苏沿海风暴潮灾害时空分布特征[J]. 古地理学报,2024,26(1):241-254.
 - [5] 谭家辉,潘毅,于普兵,等. 江苏沿海台风风暴潮过程中的波浪增水分布研究[J]. 海洋预报,2022,39(1):48-55.
 - [6] 张成偶. 水闸及堤防工程水利管理技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025(6):229-231.
 - [7] 肖克龙. 水利工程堤防水闸深基坑抢险方法探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版),2024(26):202-204.
 - [8] 张旭,杨亚婷. 风暴潮期间水位变化条件下的海堤越浪量研究[J]. 海洋预报,2025,42(1):64-70.
 - [9] 魏国振,任明磊,孙琳,等. 台风风暴潮与上游洪水耦合作用下温州飞云江感潮河段潮水位模拟研究[J]. 热带地理,2024,44(6):1016-1024.
 - [10] 黄婉茹,郭敬,谭骏,等. 风暴潮灾害承灾体风险预警技术研究[J]. 自然灾害学报,2023,32(4):85-93.
-
- (上接第48页)
- [2] 王冬梅,桑学锋,石一凡,等. 区域水系协同调控及对策研究[J]. 江苏水利,2024(12):16-19.
 - [3] 马洪涛. 数学模型在城市排水规划中应用的相关问题[J]. 中国给水排水,2013,29(21):138-143.
 - [4] CIPOLLA S S, MAGLIONICO M, STOJKOV I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM [J]. Ecological Engineering, 2016, 95(10):876-887.
 - [5] 马建明,喻海军. 洪水分析软件IFMS/Urban特点及应用[J]. 中国水利,2017(5):73-75.
 - [6] 朱德军,陈永灿,王智勇,等. 复杂河网水动力数值模型[J]. 水科学进展,2011,22(2):203-207.
 - [7] 穆聪,李家科,邓朝显,等. MIKE模型在城市及流域水文——环境模拟中的应用进展[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(2):71-80.
 - [8] 连云港市水利规划设计院有限公司. 东海县龙梁河治理工程初步设计报告[R]. 连云港:连云港市水利规划设计院有限公司,2023.
 - [9] 王宗志,张安齐,王坤,等. 等高截水工程实施后东海县河网区水系格局及连通性变化定量分析[J]. 水资源保护,2025,41(3):31-38,64.