

连云港市区水环境改善的 河网联合调控

潘志富, 王小青, 孙 阳

(连云港市市区水工程管理处, 江苏 连云港 222003)

摘要:以连云港市为例,通过构建一维水动力-水质耦合模型,对连云港市区河网联合调控典型情景进行了模拟,分析了市区主要污染物氨氮在不同初始浓度和引水流量条件下,在河道中输移扩散规律,由此提出了面向水环境改善的连云港市区河网联合调控优化方案建议。为连云港市实现“高质发展、后发先至”提供水环境保障和技术支持。

关键词:河网联合调控;水动力-水质耦合模型;污染物输移扩散;连云港市

中图分类号:X552

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)01-0029-06

Study on Joint Regulation of River Network in Lianyungang City for Water Environment Improvement

PAN Zhifu, WANG Xiaoqing, SUN yang

(Lianyungang City Water Engineering Management Office, Lianyungang 222003, China)

Abstract: Take Lianyungang City as an example, the typical scenarios of Lianyungang urban river network joint regulation were simulated by building a 1D hydrodynamic-water quality coupling model, and under different initial concentration and water diversion flow conditions, the law of transportation and diffusion of the urban main pollutant ammonia nitrogen in the river course were analyzed. The suggestion of optimization plan for the joint regulation of the river network in Lianyungang urban area for the water environmental improvement is proposed. To provide water environment protection and technical support for Lianyungang city to achieve "high-quality development, late-comer first".

Key words: river network joint regulation; hydrodynamic-water quality coupling model; transport and diffusion of pollutants; Lianyungang city

城市水环境是城市建设和可持续发展的重要保障。如何改善城市水环境、如何应用新一代信息技术实现城市河道的长效久治和智慧化管理,是自然科学领域的热点问题和前沿问题,也是城市发展的关键科学问题之一。

本文以连云港市为例,通过摸底调查,梳理连云港市区河网水环境现状,识别主要污染源和水环

境胁迫因素,系统构建一维水动力-水质耦合模型,综合模拟和预测不同情景、不同调控方案下的污染物输移扩散过程,提出面向水环境改善的河网多闸联动调控方案,探索长效久治的智慧化河道管理模式。为城市河网的联合调度、智慧管理、科学决策和快速响应奠定坚实基础,为连云港市实现“高质发展、后发先至”提供水环境保障和技术支持。

收稿日期:2021-08-06

作者简介:潘志富(1969—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程管理与水环境工作。E-mail:LYGWZJ@126.com

1 研究内容

1.1 研究区域

连云港市地处江苏省北端,位于北纬 $33^{\circ}58'55''$ ~ $35^{\circ}08'30''$,东经 $118^{\circ}24'03''$ ~ $119^{\circ}54'51''$ 之间。连云港市水系基本属于淮河流域沂沭泗水系,位于淮河流域沂沭泗水系的最下游,沂沭地区的主要排洪河道新沂河、新沭河等均从市内入海,处在江苏省供水网络的末梢,既是水资源较为紧缺的地区,又是著名的洪水走廊^[1]。研究区域涉及玉带河、大浦河、龙尾河、东盐河和排淡河 5 条河流,电厂闸、玉带河闸等 9 座闸门,2 处省考断面及 3 处国考断面。本文以连云港市区 4 条典型调水路线为研究目标,进行河网联合调控研究。

1.2 主要污染源和水环境胁迫因素

2016 年至今,连云港市相继实施了“清水进城”工程建设项目、黑臭水体整治项目,开展了生态调水工作。目前,市区河道已初步实现了从“清水进城”到“碧水绕城”的蜕变,连云港市区水环境问题得到了有效改善,但市区河道仍存在突发污染的风险。相关资料显示,连云港市区河道主要污染物为氨氮,主要污染源为生活污水,2017—2018 年国考断面监测数据显示,个别月份氨氮浓度超出Ⅳ类,甚至Ⅴ类水标准,水环境容量为负^[1-2]。本文以氨氮做为连云港市区水环境胁迫因素,构建连云港市区河道一维水动力-水质耦合模型,模拟不同情景下连云港市区河道内氨氮的输移扩散规律,为连云港市实现“高质发展、后发先至”提供水环境保障和技术支持。

2 模型建立

2.1 模型控制方程

2.1.1 一维水动力模型控制方程

采用一维圣维南方程描述河流水动力特征,由反映质量守恒定律的连续性方程和反映动量守恒定律的动量方程共同刻画。根据流域上下游拓扑关系,将模型计算区域分成不同单元和节点进行分区计算,控制方程如下:

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

$$-\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u^2}{C_n^2 R} + \frac{uq}{gA} \quad (2)$$

式中: Q 为流量; A 河道过水断面面积; z 为水位; u 为流速; g 为重力加速度; C_n 为河段的谢才系数; R

水力半径; n 为河床糙率系数; q 为区间入流。

2.1.2 一维水质模型控制方程

描述河流水系污染物输移运动和浓度变化规律的控制方程为对流扩散方程,其方程形式如下:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \sum S \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \sum S \quad (4)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \sum S \quad (5)$$

式中: D 为弥散系数; C 为河段中某种污染物的浓度; t 为时间; x 为河水流动的距离; u 为河段水流的平均流速; S 为污染源汇项。

河流的弥散系数是分子扩散系数、紊动扩散系数与纵向离散系数之和,但纵向离散系数一般要比分子扩散系数、紊动扩散系数大得多,当河流的弥散系数很小时,一般可以忽略,即 $D=0$,入式(4)。对于均匀河段,流量和排污稳定时,各断面的污染浓度不随时间变化,如式(5)。

2.2 河网概化

对研究区域河网进行概化,玉带河 4.2 km、大浦河 10.2 km、龙尾河 5.1 km、东盐河 27.2 km 和排淡河 17.1 km 河道断面根据设计资料确定;研究区域内涉及的闸门、泵站按照模型中可控建筑物进行概化,其中玉带河闸与玉龙泵站为分流节点,大浦闸、新城闸和大板跳闸为水位控制节点。

2.3 边界与参数

边界:模型上游边界以流量做为控制条件,位于电厂闸处;模型下游边界以水位进行控制,由于缺乏基础资料,水位根据明渠均匀流公式进行推求,位于大浦闸、新城闸和大板跳闸处。

糙率:根据经验,治理后混凝土河道糙率取 0.02^[3]。

分流比:玉带河闸处分流比为 1:2,上游来水的 1/3 流向大浦河,2/3 流向东盐河;玉龙泵站处分流比为 1:2,上游来水的 1/3 流向龙尾河,同时满足龙尾河过流量不大于 $8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

氨氮目标质量浓度:以研究区域考核断面水质标准作为目标,氨氮质量浓度设定为 2.0 mg/L (Ⅴ类水)。

2.4 情景工况设计

本文连云港市区河道水质指标中最容易超标的氨氮为例进行模拟,由于调水路线较短,氨氮在河道中的降解有限,因此在模拟过程中不考虑其降解。构建的一维水动力-水质耦合模型中氨氮的

运动包括输移和扩散两种,其中扩散主要发生在两个不同浓度水体的交界面,从浓度低向浓度高方向扩散,扩散速度有限,同时本次模拟涉及的距离较短,在模拟过程中氨氮的扩散作用相较输移作用基本可以忽略不计^[3-5]。

在此基础上,本文结合现场调查结果及相关资料,设计了 4 个电厂闸引水流量梯度,分别为 10 m³/s、20 m³/s、30 m³/s 和 40 m³/s,引水水体的水质按 V 类设定,氨氮质量浓度为 2.0 mg/L;河段内氨氮质量浓度设计 3 个梯度,分别在 V 类水的基础上,分布按照超标 10%、30% 和 50% 设定,共组合设计 12 种典型情景如表 1 所示。

表 1 典型情景组合

情景 编号	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	超标/ %	ρ(NH ₃ -N)/ (mg·L ⁻¹)
1	10	10	2.2
2		30	2.6
3		50	3.0
4	20	10	2.2
5		30	2.6
6		50	3.0

表 2 典型情景模拟结果分析

调 水 路 线	情 景 编 号	电 厂 闸 引 水 流 量/ (m ³ ·s ⁻¹)	污 染 物 初 始 质 量 浓 度/ (mg·L ⁻¹)	水 质 达 标 时 间/h				
				猴 嘴 闸 上 游	新 城 闸 上 游	大 板 跳 闸 处	新 浦 闸 处	大 浦 闸 处
				500 m 处省控断面	5 000 m 处省控断面	国控断面	国控断面	国控断面
1	1	10	2.2	18	26			
	2		2.6	18	26			
	3		3.0	19	27			
	4	20	2.2	14	21			
	5		2.6	14	21			
	6		3.0	14	21			
	7	30	2.2	13	19			
	8		2.6	13	20			
	9		3.0	13	20			
	10	40	2.2	12	18			
	11		2.6	12	18			
	12		3.0	12	18			

(续表 1)

情景 编号	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	超标/ %	ρ(NH ₃ -N)/ (mg·L ⁻¹)
7	30	10	2.2
8		30	2.6
9		50	3.0
10	40	10	2.2
11		30	2.6
12		50	3.0

3 模拟结果分析

将 4 条调水路线与 12 种典型情景进行组合,形成 48 种调水方案进行模拟,对模拟结果进行统计分析,模拟结果如表 2 所示,发现 48 种调水方案整体上存在相同趋势。以调水路线 1 猴嘴闸上游 500 m 处省控断面为例,在相同的流量下,随着河段内氨氮初始浓度的增加,同一考核断面氨氮浓度达标的时间基本一致(图 1);在氨氮浓度相同下,随着引水流量的增加,同一考核断面水质达标的时间有所减少,但减少的幅度随着流量的增加而呈现下降趋势(图 2)。

(续表 2)

调水路线	情景编号	电厂闸引水 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	污染物初始 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水质达标时间/h				
				猴嘴闸上游 500 m 处省控断面	新城闸上游 5 000 m 处省控断面	大板跳闸处 国控断面	新浦闸处 国控断面	大浦闸处 国控断面
2	1		2.2	18		36		
	2	10	2.6	18		37		
	3		3.0	19		37		
	4		2.2	14		28		
	5	20	2.6	14		28		
	6		3.0	14		28		
	7		2.2	12		24		
	8	30	2.6	12		25		
	9		3.0	12		25		
	10		2.2	11		22		
	11	40	2.6	11		22		
	12		3.0	11		23		
3	1		2.2				7	18
	2	10	2.6				7	19
	3		3.0				7	19
	4		2.2				5	13
	5	20	2.6				6	14
	6		3.0				6	14
	7		2.2				5	11
	8	30	2.6				5	12
	9		3.0				5	12
	10		2.2				4	10
	11	40	2.6				4	10
	12		3.0				4	10
4	1		2.2	21	31		8	23
	2	10	2.6	22	32		8	25
	3		3.0	22	32		8	25
	4		2.2	15	24		6	18
	5	20	2.6	16	24		6	19
	6		3.0	16	24		6	19
	7		2.2	13	20		5	16
	8	30	2.6	13	21		6	16
	9		3.0	13	21		6	17
	10		2.2	11	19		5	14
	11	40	2.6	12	19		5	14
	12		3.0	12	19		5	15

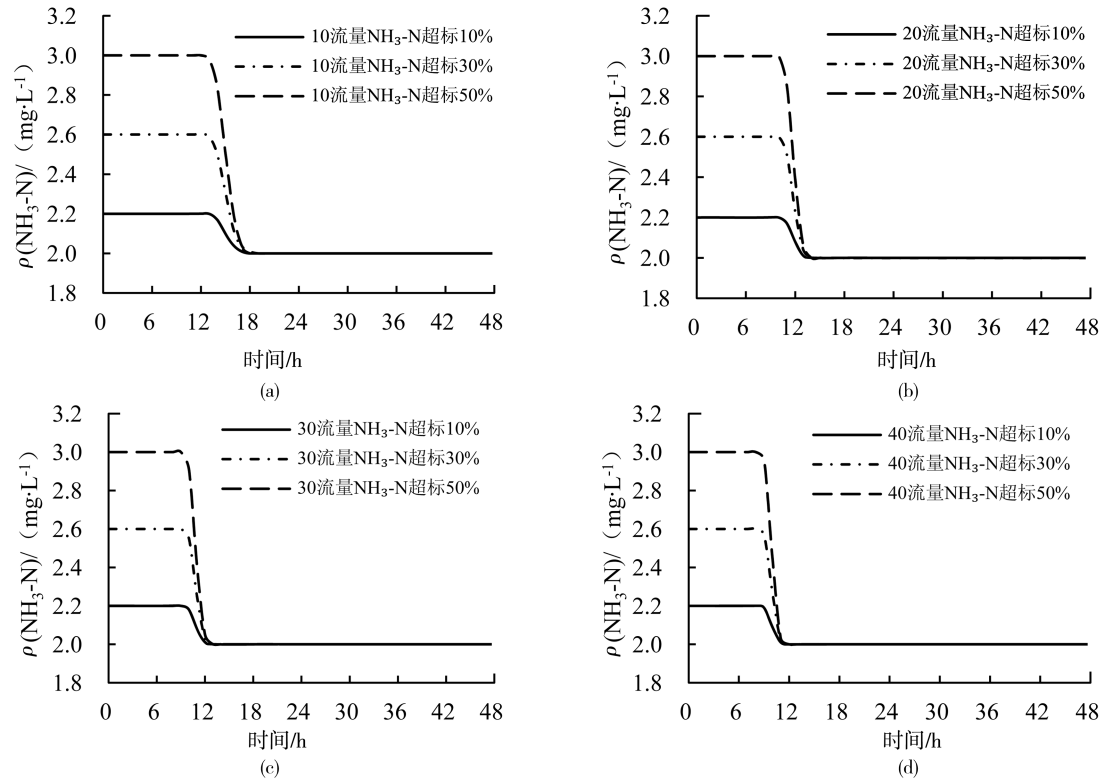


图 1 调水路线 1 同流量下猴嘴闸上游 500 m 省控断面模拟结果

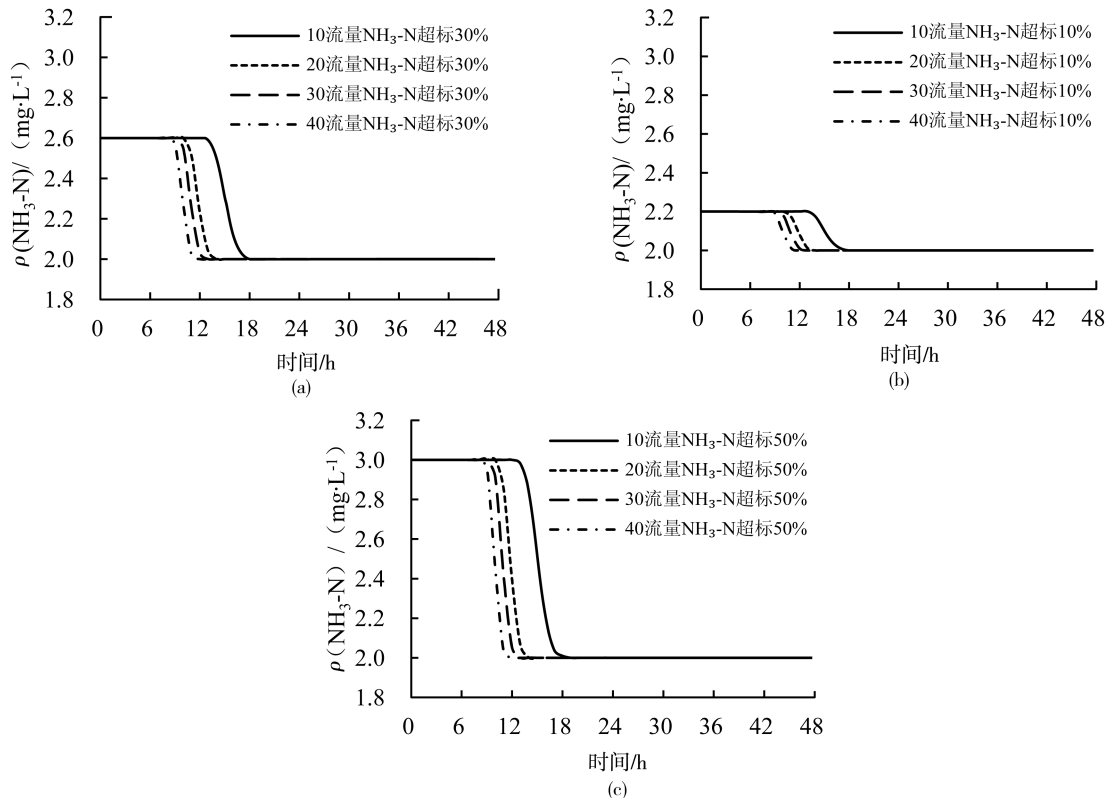


图 2 调水路线 1 同质量浓度下猴嘴闸上游 500 m 省控断面模拟结果

4 河网联合调控建议

对 48 种调水方案模拟结果进行统计, 分析各

考核断面水质达标时间、氨氮质量浓度和电厂闸引水流量关系。结果显示, 以水质达标所需的水量最少为考量时, 推荐在连云港市区河道省控或者国控

断面水质超标时选择情景 1 进行调水,此情景下电厂闸引水流量为 $10 \text{ m}^3/\text{s}$,调水路线需根据考核断面位置选择;综合考量水质达标所需时间和水量时,推荐在连云港市区河道省控或者国控断面水质超标时选择情景 8 进行调水,此情景下电厂闸引水流量为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$,调水路线需根据考核断面位置选择。

图 3 以猴嘴闸上游 500 m 处省控断面为例,展示了不同调水路线下,实现水质达标所需的时间,结果显示,调水路线 1、2 水质达标所需的时间基本相同,调水路线 4 在引水流量较低时,水质达标所需时间较其余两条调水路线长,引水流量较高时,水质达标所需的时间和其余两条调水路线接近。因此,在实际调水过程中,可根据此规律合理选择调水路线。

5 结 论

本文以连云港市为例,通过调查分析识别其主要污染源和水环境胁迫因素,构建了一维水动力-水质耦合模型,模拟了 48 种河网联合调控典型情景下,市区主要污染物氨氮在河道中输移扩散规律,提出了面向水环境改善的连云港市区河网联合调控建议,主要结论如下:

相同引水流量下,随河段内氨氮初始质量浓度的增加,同一考核断面氨氮质量浓度达标的时间基本一致;

相同氨氮初始质量浓度下,随着引水流量的增加,同一考核断面水质达标的时间有所减少,但减少的幅度随着流量的增加而呈现下降趋势;

基于氨氮在河道中输移扩散规律,建议连云港市在水质调控过程中,以水质达标所需的水量最少为考量时,推荐选择 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 的小流量方案调水;综合考量水质达标所需时间和水量时,推荐选择 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 的中等流量方案调水,调水路线均需根据考核断面位置选择。

参考文献:

- [1] 潘志富,刘二军,孙佑祥,等. 连云港市区水环境调查与治理规划[J]. 水科学与工程, 2019(4):1-3.
- [2] 张言,宗国营,王玉甫,等. 连云港市通榆河水环境

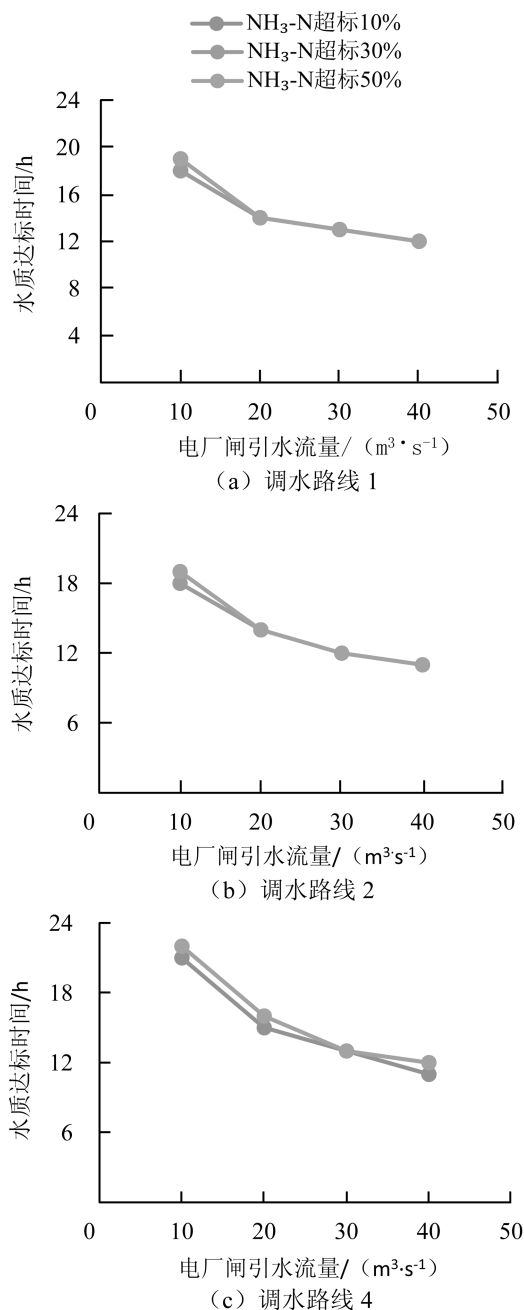


图 3 猴嘴闸上游 500 m 省控断面水质达标时间

综合治理浅析[J]. 西北水电, 2021(1):22-27.

- [3] 刘洪燕. 北方小基流河流氨氮综合降解系数特征研究[J]. 能源与节能, 2016(9):109-128.
- [4] 王蓉,黄天寅,吴玮. 典型城市河道氮、磷自净能力影响因素[J]. 湖泊科学, 2016, 28(1):105-113.
- [5] 孙远军,卢士强,邵一平,等. 城市河流水体污染物降解规律及降解系数研究[J]. 上海环境科学, 2019(24):99-104.