

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2023.06.004

沙颍河下泄污水的降解与稀释特性对 西淝河取水口水质的影响

陈咏诗^{1,2}, 朱海^{1,2}, 杨旭^{1,2}, 陈瀚^{1,2}, 徐津^{1,2}, 唐洪武^{1,2}, 王玲玲^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了更有效地控制沙颍河污水的排放, 保证西淝河线引水工程的正常运行, 基于 MIKE11 建立了一维水动力-水质耦合模型, 以氨氮为水质指标, 分析了污水下泄过程中污染物的降解与稀释特性对西淝河取水口水质的影响机制。结果表明: 汛前随着支干流量比增加, 污染团从主要受降解作用为主过渡到稀释作用为主; 汛初下泄的污水主要依靠干流的稀释作用降低质量浓度; 当沙颍河在汛前和汛初的下泄污水流量分别大于干流量的 10% 和 7% 时, 取水口水质有超Ⅲ类水的风险; 取水口氨氮质量浓度与支干流量比之间存在幂函数关系, 二者的拟合效果与污染团受干流稀释程度有关。

关键词: 污水; 降解; 稀释; 水质; 引江济淮工程; 西淝河取水口; 沙颍河

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2023)06-0029-08

Impact of degradation and dilution characteristics of effluent discharged from Shaying River on the water quality of water-intake of Xifei River

CHEN Yongshi^{1,2}, ZHU Hai^{1,2}, YANG Xu^{1,2}, CHEN Han^{1,2}, XU Jin^{1,2}, TANG Hongwu^{1,2}, WANG Lingling^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to control the effluent discharge of the Shaying River more effectively and to ensure the normal operation on the water diversion project on the Xifei River line, a one-dimensional hydrodynamic-water quality coupling model was established from MIKE11, and the degradation and dilution characteristics of pollutants in the process of sewage effluent discharge were analyzed in terms of the mechanism of the influence on the water quality of the water-intake of Xifei River, using ammonia nitrogen as the water quality index. The results show that before flood, with the increase in the ratio of feeder flow, the pollution mass transitions from being mainly subject to degradation to dilution and the effluent discharged at the beginning of the flood mainly relies on the dilution effect of the main stream to reduce the concentration. When the sewage flow of the Shaying River before and at the beginning of the flood is greater than that of the main stream by 10% and 7%, respectively, the water quality at the water intake is at risk of exceeding Class III of surface water standard. There is a power function relationship between the concentration of ammonia nitrogen at the intake and the branch to trunk flow ratio, and the fitting effect of the two is related to the degree of dilution of the polluted mass by the main stream.

Key words: effluent; degradation; dilution; water quality; Water diversion project from Yangtze River to Huaihe River; water intake of Xifei River; Shaying River

平原河网区闸坝等水工调控工程密布^[1-2], 调控工程的不合理调度和突发强降雨会导致积蓄在闸前的污水集中下泄, 引发严重的水污染事故, 从而对流域生态和水环境造成灾难性破坏^[3-4]。这类事故具有固定的风险源和特定的诱发条件, 多发生于汛前或汛初首次开闸泄洪时^[5-6]。预防此类水污染事件发生的主要措施

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3202605); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(B200204044); 中国长江三峡集团有限公司科研项目(202003251); 江苏省水利科技项目(2021001)

作者简介: 陈咏诗(1998—), 女, 硕士研究生, 主要从事水力学数值模拟研究。E-mail: 756668216@qq.com

通信作者: 王玲玲(1966—), 女, 教授, 博士, 主要从事水力学数值模拟研究。E-mail: wanglingling@hhu.edu.cn

引用本文: 陈咏诗, 朱海, 杨旭, 等. 沙颍河下泄污水的降解与稀释特性对西淝河取水口水质的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(6): 29-36.

CHEN Yongshi, ZHU Hai, YANG Xu, et al. Impact of degradation and dilution characteristics of effluent discharged from Shaying River on the water quality of water-intake of Xifei River[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2023, 51(6): 29-36.

之一是通过合理调控闸坝,控制污水下泄流量^[7]。目前已有不少学者对污染物质在河流中的输运规律开展了相关研究。栾广学等^[8]采用耦合了水动力模型的多组分污染物输移及衰减反应模型模拟了水污染事件中污染物输移过程,发现污染物自身的衰减反应对质量浓度削减效果明显;余真真等^[9]采用实尺度三维大涡模拟模型研究了黄河干流与支流交汇河段污染物的演变趋势,发现在干支流交汇口处污染物扩散效应与流速、地形等因素有关;Yan 等^[10]研究了浑河流域突发性水污染过程中悬浮铁和 COD 的输移规律,发现污染物峰值浓度在不同水文期变化规律不同。目前针对污染物输移规律的研究,大多集中于污染物的衰减扩散特性。对于支流污染严重的大型流域,支流下泄污水受到闸门控制、自然降解与干流稀释的综合作用,对干流水质的影响机制更为复杂。如何充分利用污染物的自然降解和稀释特性,减轻下游敏感区的污染程度,是一项迫切需要开展系统研究的课题。

沙颍河是淮河流域最大的支流^[11],但部分地区水资源缺乏,河流整体污染严重^[12-13],其污水排放量占淮河干流污水来源的 40% 以上^[14]。沙颍河下游敏感区域密集,例如引江济淮工程西淝河线取水口和被列为全国重要饮用水水源地之一的蚌埠淮河水源地^[15-16]分别距沙颍河口 26.5 km 和 98 km,因此一旦发生水污染事故将会对淮河中游造成严重影响。鉴于此,本文以沙颍河颍上闸以下段与淮河中游润河集到淮南段为研究对象,基于 MIKE11 搭建一维水动力-水质耦合模型,研究沙颍河污水下泄过程中污染物受降解和干流稀释作用程度及其与西淝河取水口污染物质量浓度间的关系,以期能为淮河流域防污调度以及引江济淮工程的运行提供技术支持。

1 研究区概况

沙颍河是淮河流域最大的支流,流域面积约为 4 万 km²^[17],最大洪水流量 3 310 m³/s。沙颍河上闸坝众多,颍上闸为沙颍河最下游的控制性水闸,枯水期拦蓄污水、汛前腾空防洪库容保证防洪安全^[18]。本文将颍上闸作为沙颍河的上边界,控制污水汇入流量。西淝河介于沙颍河与涡河之间,流经安徽省 6 个县,于凤台峡山口汇入淮河,全长 250 km^[19-20]。西淝河线引水工程是向淮河以北安徽、河南受水区输水的清水廊道^[21-22]。引水工程运行要求淮河干流西淝河闸局局部河段水质不低于Ⅲ类地表水标准。当引水口河段水质达标时,可直接利用西淝河泵站从淮河干流引水入西淝河下段,再继续北送;当淮河干流遭遇污染团或河口水质不达标时,西淝河线暂停从淮河干流引水,而是利用西淝河采煤沉陷区调蓄库容所蓄清水抽水北送^[23]。研究区域范围为 116°E ~ 117.5°E,31°N ~ 33°N,如图 1 所示。

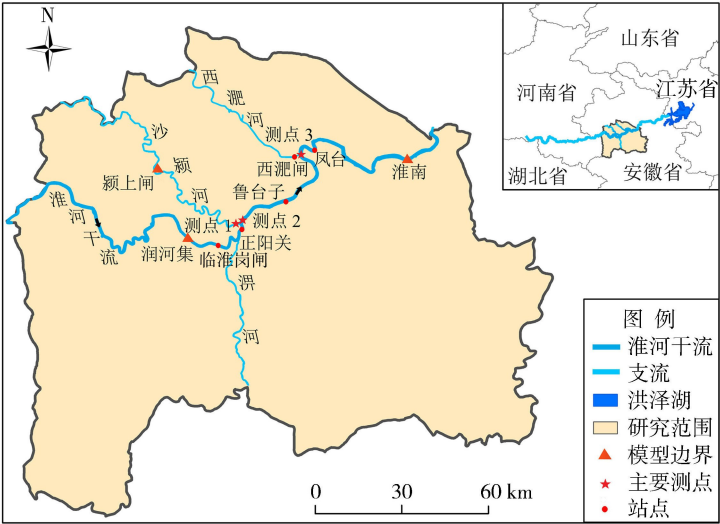


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of study area

2 模型建立

2.1 数学模型

本文采用圣维南方程组描述一维河网水动力过程,并耦合一维对流-扩散方程描述污染物的运移规律。

2.1.1 水动力模块控制方程

河道水动力过程可描述为符合有关物理定律的圣维南方程组,包括连续方程和动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B_t \frac{\partial Z}{\partial t} = q$$

(1)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_z + g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{4/3}} = 0$$

(2)

式中: x 为河道纵向坐标; t 为时间; Q 为断面流量; Z 为水位; B_t 为河宽 B 与附加滩地宽度 B_w 之和; q 为单位

河长的旁侧入流量; n 为糙率系数; u 为过水断面平均流速; g 为重力加速度; A 为过水断面面积; R 为过水断面水力半径; $(\partial A/\partial x)|_z$ 为水位相同时的断面面积沿程变化率。

2.1.2 水质模块控制方程

污染物进入水体后的迁移、扩散和转化,是通过污染物与水体之间复杂的物理、化学、生物等作用而变化的。这一复杂的物理、化学、生物过程可用对流扩散反应(ADR)方程描述,对于横、垂向皆平均的纵向一维模型,其控制方程如下:

$$\frac{\partial (Ac)}{\partial t} + \frac{\partial (Qc)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial c}{\partial x} \right) - Akc + C_m q$$

(3)

式中: c 为水深平均污染物浓度; D 为各污染物弥散系数; k 为污染物的衰减系数; C_m 为源汇污染物浓度。

2.2 模型范围

研究范围东起淮南,西至淮河干流润河集,长约 160 km,包括沙颍河、西淝河以及淝河 3 支水系,模型概化为 2 个入流边界(淮河干流润河集和沙颍河)、1 个出流边界(淮河干流淮南)和 2 支旁侧入流(淝河和西淝河),包括 1 230 个水位和流量计算节点,临淮岗及颍上闸 2 个坝闸调蓄节点。

2.3 边界条件设置

模型中淮河干流上游边界为润河集,沙颍河上游边界为颍上闸,模型下游边界为淮南,西淝河与淝河以旁侧入流的形式汇入模型。为了保证模型计算的精度与稳定,同时受限于柯朗条件^[24-25],一维模型的时间步长取为 20 s。淮河流域水体主要污染物为氨氮^[26],因此本文水质模型中选取氨氮为污染物指标进行水质模拟。

2.4 模型参数率定与验证

2.4.1 水动力模型参数

水动力模型需要确定的参数为糙率^[27]。选择 2004 年 7 月 14—30 日淮河中上游的洪水过程对模型进行率定。此次洪水影响范围较大,洪峰明显。模型上游边界从润河集起算,边界条件取实测流量过程,下游边界淮南采用实测水位过程,沙颍河入口颍上闸采用流量边界,模型范围内的其他河流简化为点源,基于水量平衡原则以旁侧入流的方式考虑区间汇水对模型的影响。通过率定,最终确定水动力模型糙率为 0.025。图 2 为淮河干流鲁台子和凤台站点的水位验证结果,鲁台子与凤台水位峰值率定误差分别为 0.7% 和 0.5%。造成误差的原因是实际河道糙率的时空异质性^[28-30]和模型模拟误差^[31]。总体上两站点峰值水位率定误差较小,采用纳什效率系数法(NSE)对水位计算结果进行误差分析,两站点计算结果的纳什效率系数分别是 0.96 和 0.97,表明所建模型精度较高,糙率取值基本合理。

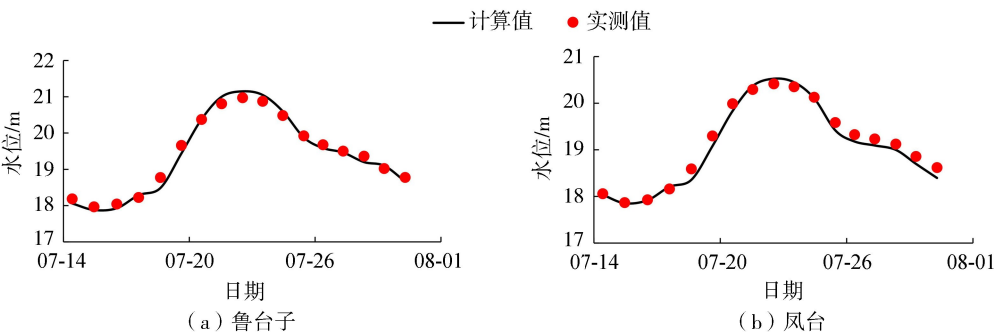


图 2 2004 年洪水期水位验证结果

Fig. 2 Verification results of water level for the flood period in 2004

2.4.2 水质模型参数

以氨氮为水质指标,同样选取 2004 年 7 月 14—30 日淮河中上游的洪水过程对水质模型进行率定验证。水质模型主要参数有扩散系数和衰减系数。按照经验,扩散系数通常小型河流取 1~5 m²/s,大型河流取 5~20 m²/s^[32],本文模型扩散系数取 10 m²/s。污染物衰减系数表示污染物的降解、沉降等过程,可以采用水团追踪试验、实测资料反推、类比等方法计算,本文氨氮衰减系数的率定运用实测资料反推法,在同一河流选取 2 个水质测点,运用一级反应动力学方程进行计算:

$$k = 86.4(\ln c_1 - \ln c_2) u_1 / L$$

(4)

式中: c_1 、 c_2 分别为河段上下断面同一时刻的氨氮浓度; u_1 为河段平均流速; L 为河段上、下断面间距。结合式(4)并基于实测数据反推,淮河干流和沙颍河的氨氮衰减系数分别为 0.139 d^{-1} 和 0.065 d^{-1} 。

图3为淮河干流鲁台子水质验证结果,计算结果的纳什效率系数为0.70,模拟结果的趋势与实测结果一致,拟合程度较高,说明模型可有效反映计算流域内氨氮质量浓度变化过程。

3 工况设置

鉴于在多因子条件下难以分析污水泄流过程污染物受自然降解与干流稀释作用规律,因此将边界入流量设为恒定值,进行单因子分析。

基于淮河流域蚌埠闸1956—2021年的流量进行水文频率分析,将2017年(来水频率 $P=25\%$)、2015年($P=46\%$)和2013年($P=88\%$)作为典型丰、平、枯水年。选择3个典型年淮河干流润河集汛前与汛初第一场洪水的平均流量作为淮河干流入流边界流量,如图4所示。

依据沙颍河历次污染事故中闸上积蓄污水量^[33],取其均值约为1.6亿 m^3 ,污染物氨氮质量浓度约为 8 mg/L 。污水下泄完毕后,颍上闸继续下泄水体的氨氮质量浓度取为 0.5 mg/L ,即为Ⅱ类水。淮河干流入流边界氨氮质量浓度与河道氨氮初始质量浓度均取为 0.5 mg/L 。

根据淮河流域闸坝调度原则,为防止污水集中下泄,非汛期水质较差时,原则上上一级支流水闸下泄流量控制在 $100\text{ m}^3/\text{s}$ 以内;汛期各闸坝的下泄流量按照防汛实时调度,以确保防汛安全。通过对2008—2018年颍上闸调度情况分析可知,汛前与汛期水闸调度流量与淮河干流流量之比(即表1中的支干流量比)一般分别控制在0.2和0.5以内。

基于实际资料分析,设置沙颍河典型年汛前和汛初不同污水下泄工况(表1),分析西淝河取水口处(图1中测点3)的水质情况,研究污染物受降解与干流稀释作用的机制。从表1可知,汛前工况与汛初工况的本质差别在于河道流量不同,对于平水年与丰水年,淮河干流汛初流量是汛前流量的4~5倍。

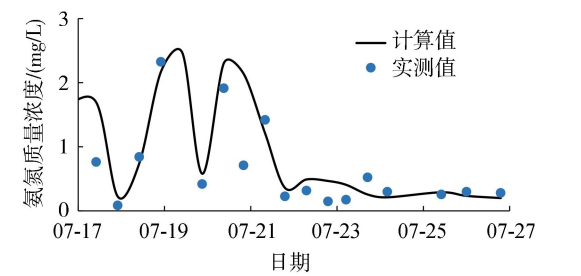


图3 鲁台子2004年水质验证结果
Fig.3 Validation results of water quality for Lutaizi in 2004

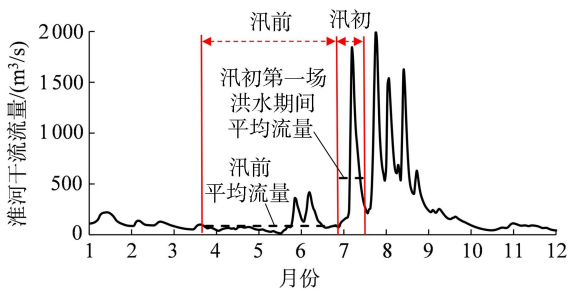


图4 年内研究时段划分示意图
Fig.4 Division diagram of intra-year study period

表 1 汛前、汛初沙颍河污水下泄工况													
Table 1 Sewage discharge conditions of effluent in Shaying River before flood and at the beginning of flood													
时期	工况 编号	典型年	润河集月 均来流/ (m ³ /s)	沙颍河污 水下泄流量/ (m ³ /s)	支干流 流量比	污水下泄 完毕所需 时间/d	时期	工况 编号	典型年	润河集月 均来流/ (m ³ /s)	沙颍河污 水下泄流量/ (m ³ /s)	支干流 流量比	污水下泄 完毕所需 时间/d
汛前	1-1	枯水年	160	3	0.02	578.70	汛初	2-1	枯水年	400	28	0.07	66.14
	1-2	枯水年	160	16	0.10	115.74		2-2	枯水年	400	40	0.10	46.30
	1-3	枯水年	160	32	0.20	57.87		2-3	枯水年	400	120	0.30	15.43
	1-4	平水年	310	6	0.02	298.69		2-4	枯水年	400	200	0.50	9.26
	1-5	平水年	310	31	0.10	59.74		2-5	平水年	1700	119	0.07	15.56
	1-6	平水年	310	62	0.20	29.87		2-6	平水年	1700	117	0.10	10.89
	1-7	丰水年	500	10	0.02	185.19		2-7	平水年	1700	510	0.30	3.63
	1-8	丰水年	500	50	0.10	37.04		2-8	平水年	1700	850	0.50	2.18
	1-9	丰水年	500	100	0.20	18.52		2-9	丰水年	2000	140	0.07	13.23
						2-10		丰水年	2000	200	0.10	9.26	
						2-11		丰水年	2000	600	0.30	3.09	
						2-12		丰水年	2000	1000	0.50	1.85	

4 结果与分析

4.1 污水受自然降解和淮河干流稀释影响程度

为了探究自然降解和淮河干流稀释作用对污染团水质质量浓度下降的影响程度,分别在沙颍河汇入淮河干流前、后和西淝河取水口处选取3个测点(测点1、2、3,见图1),对这3个测点的氨氮质量浓度进行统计(表2),根据各测点氨氮质量浓度采用式(5)(6)计算了各工况下污水受自然降解和淮河干流稀释作用的占比,如图5所示。

表2 各工况下结果统计表
Table 2 Statistical table of results under each working condition

典型年	工况编号	氨氮质量浓度/(mg/L)			取水口水质超Ⅲ类水时长/h	取水口水质超Ⅴ类水时长/h	工况编号	氨氮质量浓度/(mg/L)			取水口水质超Ⅲ类水时长/h	取水口水质超Ⅴ类水时长/h
		测点1	测点2	测点3				测点1	测点2	测点3		
枯水年	1-1	0.62	0.50	0.50	0	0	2-1	6.24	0.69	0.76	0	0
	1-2	5.25	0.69	0.61	0	0	2-2	6.59	1.01	0.94	0	0
	1-3	7.29	1.39	1.22	1370.0	0	2-3	7.14	2.10	1.97	372.0	0
	1-4	2.53	0.50	0.50	0	0	2-4	7.32	2.91	2.73	222.0	218.0
平水年	1-5	6.36	0.97	0.90	0	0	2-5	7.00	0.92	0.90	0	0
	1-6	6.88	1.54	1.43	714.0	0	2-6	7.10	1.12	1.00	256.0	0
	1-7	4.06	0.53	0.50	0	0	2-7	7.37	2.20	2.12	86.0	84.0
	1-8	6.74	1.04	0.97	0	0	2-8	7.44	3.00	2.89	52.0	50.0
丰水年	1-9	7.06	1.62	1.53	442.0	0	2-9	7.02	0.93	0.90	0	0
							2-10	7.11	1.13	1.08	216.0	0
							2-11	7.35	2.18	2.13	72.0	70.0
							2-12	7.50	2.98	2.98	44.0	42.0

$$N_{dil} = (\rho_{q1} - \rho_{q2}) / (\rho_{q0} - \rho_{q3}) \tag{5}$$

$$N_{deg} = 1 - N_{dil} \tag{6}$$

式中: N_{dil} 、 N_{deg} 分别为污水沿程受淮河干流稀释和自然降解作用的占比; ρ_{q0} 为颍上闸前氨氮初始质量浓度,取为8 mg/L; ρ_{q1} 、 ρ_{q2} 、 ρ_{q3} 分别为污水下泄过程中测点1、测点2、测点3的氨氮质量浓度。

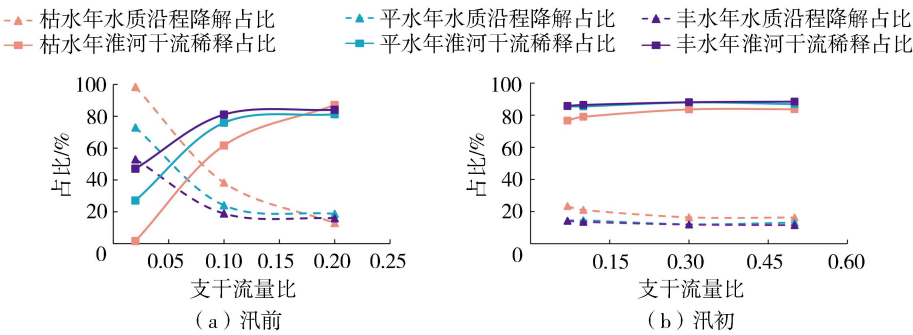


图5 污染物受自然降解和干流稀释作用的占比
Fig.5 Percentage of pollutants subject to degradation and to dilution of main stream

由表2可知,稀释作用发生在测点2,污染物降解作用在污水输移过程经过的河段上都会发生。如图5(a)所示,对于汛前污水下泄,随着支干流量比增加,污染团受到的沿程降解作用快速减弱,同时淮河干流稀释作用明显增强。例如当枯水年汛前的支干流量比从0.02增大到0.10时,淮河干流稀释作用对降低污染物质量浓度贡献占比从2%增加到62%,而沿程降解作用从98%降低到38%。因为枯水年汛前是河道最枯的时期,当支干流量都很小时,污染团的推移速度很慢,在与淮干汇合前污水已有充足的时间通过降解作用消耗大部分污染物。当河道流量增加,污染团在支流上推移时间减少使得污染物的降解作用大大下降,污水与干流汇合之后主要依靠稀释作用降低污染物质量浓度。

如图5(b)所示,对于汛初污水下泄,主要依靠淮河干流来水的稀释作用降低污水氨氮质量浓度。汛初下泄污水受干流稀释作用的占比稳定在80%左右,而沿程降解作用稳定在20%左右。

综上,当河道来水较枯时,颍上闸保持小流量下泄可充分利用降解作用降低污染物质量浓度;由于干流

水质好,当干流流量增大时,其水环境容量及纳污容量将显著增大。合理加大颍上闸污水下泄流量,仍可保证取水口不发生污染事故。

4.2 西淝河取水口氨氮质量浓度分析

选取测点3断面氨氮质量浓度、超Ⅲ类(氨氮质量浓度大于1 mg/L)和超劣Ⅴ类(氨氮质量浓度大于2 mg/L)水质的持续时长等指标进行统计分析,结果统计见表2。

随着支干流量比增大,由于下泄污水总量相同,取水口水质受污染时长呈现逐渐减小的趋势。例如,表2中典型丰水年的汛初当支干流量比从0.10递增至0.5时,取水口超Ⅲ类水质的持续时长从216 h递减到44 h。这是因为下泄污水流量增大会使污染团沿程推移速度加快,总量一定的污染团经过取水口用时减少。

由表2可知,平水年与丰水年在汛前支干流量比大于0.1时,取水口水质会面临超Ⅲ类水标准的风险。进一步的试验发现,当枯水年汛前的支干流量比为0.15时,取水口氨氮质量浓度为0.97 mg/L。枯水年在较大支干流量比条件下取水口才会受到污染。因为枯水年淮河干流河道流量较小,污染团在干流上的迁移速度慢,污染物在到达取水口前降解得更充分。因此对于汛前污水调度,沙颍河可以不超过干流流量的10%下泄污水,保持小流量慢速下泄以充分利用污染物本身的降解作用来降低污染物质量浓度,保证取水口水质的安全。

在枯水年汛初,当支干流量比大于0.1时,取水口水质才有受污染风险,另外2个典型年支干流量比大于0.07时取水口水质就有可能受到污染。因此对于汛初污水调度,沙颍河以不超过干流流量的7%下泄污水,即可保证取水口水质安全。

由图5(b)可知,汛初工况中污水主要受到淮河干流稀释作用,但由于干流的稀释作用有限,汛初当支干流量比大于0.3时取水口水质可能会出现超Ⅴ类地表水情况,并且随着支干流量比增加,超Ⅴ类标准时长逐渐减小,氨氮质量浓度增加。劣Ⅴ类水会对水环境生态造成严重影响,并且在引水工程中,这类水质往往是更难处理的,为了保障生态环境健康以及取水口水质安全,应该尽量避免河流出现劣Ⅴ类水质情况。

4.3 支干流量比与取水口氨氮质量浓度关系

为充分探究支干流量比与取水口氨氮质量浓度之间关系,在3个典型年汛前和汛初分别增设几组工况,将取水口断面氨氮质量浓度与颍上闸断面初始质量浓度之比定义为氨氮相对质量浓度,研究取水口氨氮相对质量浓度与支干流量比的关系。由图6可知,二者拟合曲线近似为幂函数,各拟合曲线的确定系数(R^2)和均方根误差(RMSE)见表3。

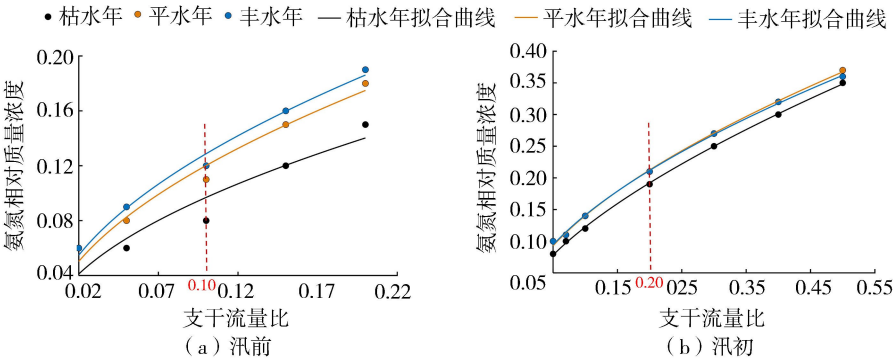


图6 取水口氨氮相对质量浓度与支干流量比拟合

Fig. 6 Fitting results of relative peak concentration at the water intake to the branch and stem flow ratio

支干流量比与氨氮相对质量浓度的拟合效果和污染团受干流稀释程度有密切关系。图6中平水年与丰水年,汛前与汛初数据拟合结果较好,枯水年在汛前的拟合效果不如其他年份理想,这是由于河道流量越大,流速越快,污水受稀释作用越强,受自然降解作用越弱,在稀释作用占主导下氨氮相对质量浓度与支干流量比的幂函数关系越强烈。在实际工程污水调度中,在已知支干流流量的情况下,即可根据两者关系预测取水口质量浓度,据此可进行更有针对性、更有效的工程调控。

如图6所示,随着支干流量比增大,氨氮相对质量浓度增加的趋势渐缓。汛前平水年和丰水年的支干流量比小于0.1,汛初支干流量比小于0.2,相对质量浓度增加趋势较快,反之,氨氮相对质量浓度增加趋势变

缓并趋于一致,这与污水受自然降解和干流稀释作用的影响程度有一定关系。

5 结 论

- a. 对于沙颍河颍上闸汛前污水下泄,随着支干流量比增加,污染团从主要受降解作用为主过渡到稀释作用为主;汛初沙颍河下泄的污水主要依靠淮干的稀释作用降低质量浓度。
- b. 对于汛前污水调度,沙颍河可以不超过干流流量的10%下泄污水,保持小流量慢速下泄以充分利用污染物本身的降解作用来削减污染物质量浓度,能够保证西淝河取水口水质的安全;对于汛初污水调度,沙颍河以不超过干流流量的7%下泄污水,即可保证取水口水质安全。若存在迫切需要加大沙颍河下泄流量以腾出防洪库容抗洪的情况,可视情况加大污水下泄流量,把下泄量控制在淮干流量的30%以内可防止取水口水质超Ⅴ类地表水标准,避免对取水口周围生态环境造成严重影响。
- c. 西淝河取水口氨氮质量浓度与支干流量比之间存在幂函数关系,二者的拟合效果与污染团受干流稀释程度有关。实际工程污水调度中,在已知支干流流量的情况下,即可根据两者关系预测取水口浓度,据此可进行更有针对性、更有效的水质水量调控。

参考文献:

[1] 余文公.平原河网水闸生态调度研究[C]//周媛.浙江省水利学会2020学术年会论文集.北京:中国水利水电出版社,2020:100-107.

[2] 王海森,冯岚,李百炼,等.基于MIKE 11的河网区域小型闸坝调控的水质响应模拟研究[J].环境科学学报,2022,42(8):314-324. (WANG Haisen, FENG Lan, LI Bailian, et al. Water quality response to regulation of small floodgates in river network region of Wuxi based on MIKE 11 model[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022, 42(8): 314-324. (in Chinese))

[3] 杨民钦.水利工作的一项新使命:“’94·7”淮河严重污染事件引出的思考与建议[J].中国水利,1994(11):20-21. (YANG Minqin. A new mission of water conservancy work - reflections and suggestions on “94-7” Huaihe River serious pollution Event[J]. China Water Resources, 1994(11): 20-21. (in Chinese))

[4] 李来山.闸坝对污染河流水质水量的调控能力研究[D].郑州:郑州大学,2012.

[5] 陈炼钢,施勇,徐时进,等.淮河流域水污染事故全过程预警预报技术研究[J].治淮,2013(1):22-23. (CHEN Liangang, SHI Yong, XU Shijin, et al. Study on whole-process early warning and forecasting technology of water pollution accidents in Huaihe River Basin[J]. Harnessing the Huaihe River, 2013(1): 22-23. (in Chinese))

[6] 张永勇,花瑞祥,夏瑞.气候变化对淮河流域水量水质影响分析[J].自然资源学报,2017,32(1):114-126. (ZHANG Yongyong, HUA Ruixiang, XIA Rui. Impact analysis of climate change on water quantity and quality in the Huaihe River Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(1): 114-126. (in Chinese))

[7] 李冬锋.闸坝对污染河流水质水量作用分析及调控研究[D].郑州:郑州大学,2013.

[8] 栾广学,侯精明,杨露,等.耦合高效高精度水动力模型的多组分污染物输移及衰减反应模型[J].水资源保护,2022,38(6):131-137. (LUAN Guangxue, HOU Jingming, YANG Lu, et al. Multi-component pollutant transport and attenuation reaction model coupled with high-efficiency and highprecision hydrodynamic model[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(6): 131-137. (in Chinese))

[9] 余真真,朱海,毛颂平,等.黄河干支流交汇河段污染物传输模拟研究[J].人民黄河,2022,44(4):100-106. (YU Zhenzhen, ZHU Hai, MAO Songping, et al. Simulation of pollutant transport in the confluence of main stream and tributary of the Yellow River[J]. Yellow River, 2022, 44(4): 100-106. (in Chinese))

[10] YAN B, LIU Y, GAO Z, et al. Simulation of sudden water pollution accidents in Hunhe River basin upstream of Dahuofang Reservoir[J]. Water, 2022, 14(6): 925.

[11] 胡小阳,徐源,王红萍,等.沙颍河重要闸控断面水质变化及影响因素分析[J].水力发电,2018,44(11):1-5. (HU Xiaoyang, XU Yuan, WANG Hongping, et al. Analysis of water quality change and influencing factors in important gate sections of Shaying River[J]. Water Power, 2018, 44(11): 1-5. (in Chinese))

[12] 田进宽,郭佳航,左其亭,等.沙颍河流域水资源配置思路与计算模型[J].水资源保护,2022,38(2):62-67. (TIAN Jinkuan, GUO Jiahang, ZUO Qiting, et al. Thoughts and calculation model for water resources allocation in Shaying River Basin [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(2): 62-67. (in Chinese))

[13] 李志伟,丁凌峰,唐洪武,等.淮河干流污染物分布及变化规律[J].河海大学学报(自然科学版),2020,48(1):29-38. (LI

表3 拟合曲线参数及拟合效果评价

Table 3 Fitting curve parameters and fitting effect evaluation

时期	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	RMSE
枯水年汛前	0.33	0.53	0.875 4	0.016 2
平水年汛前	0.42	0.54	0.976 3	0.008 8
丰水年汛前	0.44	0.53	0.989 0	0.006 3
枯水年汛初	0.55	0.65	0.999 6	0.002 3
平水年汛初	0.56	0.60	0.998 8	0.004 0
丰水年汛初	0.54	0.58	0.998 9	0.003 8

注:拟合曲线函数为幂函数 $y=ax^b$ 。

Zhiwei, DING Lingfeng, TANG Hongwu, et al. Distribution and variation of pollutants in main stream of Huaihe River[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2020,48(1):29-38. (in Chinese))

[14] 褚金庭. 沙颍河流量和水质对淮河污染的影响[J]. 水资源保护,2001,27(3):4-7. (CHU Jinting. Influence of flow rate and water quality of Shayinghe River on water quality in Huaihe River[J]. Water Resources Protection,2001,27(3):4-7. (in Chinese))

[15] 田鑫. 浅谈西淝河污染成因及保护对策[J]. 治淮,2017(4):12-13. (TIAN Xin. The causes of pollution and protection measures of the Xifei River[J]. Harnessing the Huaihe River,2017(4):12-13. (in Chinese))

[16] 汪磊. 蚌埠市淮河水源地安全保障达标建设评估与对策[J]. 治淮,2020(3):6-8. (WANG Lei. Evaluation and countermeasures of Huaihe River water source in Bengbu City[J]. Harnessing the Huaihe River,2020(3):6-8. (in Chinese))

[17] 陆露,张艳军,宋星原,等. 淮河-沙颍河水量水质综合模拟[J]. 武汉大学学报(工学版),2013,46(4):437-441. (LU Lu, ZHANG Yanjun, SONG Xingyuan, et al. Numerical simulation of water quality and quality for the Shaying River in Huai River [J]. Engineering Journal of Wuhan University,2013,46(4):437-441. (in Chinese))

[18] 徐源. 多闸坝控制下沙颍河水质水量变化特征研究[D]. 武汉:武汉大学,2017.

[19] 陈林,易齐涛,陈逸函,等. 淮河支流西淝河污染物质负荷输出特征[J]. 科学技术与工程,2022,22(6):2554-2561. (CHEN Lin, YI Qitao, CHEN Yihan, et al. Characterization of pollutants outflow in Xifei River of Huaihe River's tributary[J]. Science Technology and Engineering,2022,22(6):2554-2561. (in Chinese))

[20] 张珊,商乃萱,张金羽,等. 淮河流域西淝河浮游植物群落结构特征[J]. 水生态学杂志,2020,41(4):81-89. (ZHANG Shan, SHANG Naixuan, ZHANG Jinyu, et al. Structural characteristics of the phytoplankton community in the Xifei River Basin of the Huaihe River[J]. Journal of Hydroecology,2020,41(4):81-89. (in Chinese))

[21] 刘磊,戴耀. 浅议临河设施工程航道通航条件影响评价重点:以引江济淮工程西淝河北站工程为例[J]. 工程与建设,2018,32(6):810-811. (LIU Lei, DAI Yao. A brief discussion on key evaluation points of waterway navigation conditions of Linhe River facility project :taking Xifei River Hebei Station Project as an example[J]. Engineering and Construction,2018,32(6):810-811. (in Chinese))

[22] 黄海波. 引江济淮工程调度运行的思考[J]. 江淮水利科技,2021(5):28-29. (HUANG Haibo. Thinking on the operation of the project of diversion from river to Huai River[J]. Jianghuai Water Resources Science and Technology,2021(5):28-29. (in Chinese))

[23] 张效武. 引江济淮工程江水北送段方案比较研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2019,19(3):11-13. (ZHANG Xiaowu. Comparative study on the scheme of North River Delivery of Jiang-Jinan Project[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power,2019,19(3):11-13. (in Chinese))

[24] 黄鑫,秦国锐,罗秋实,等. 感潮河段平面二维非恒定水流模型深化研究[J]. 水利水电技术,2015,46(4):130-133. (HUANG Xin, QIN Guorui, LUO Qiushi, et al. Deepened study on two-dimensional unsteady flow model for tidal river reach[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2015,46(4):130-133. (in Chinese))

[25] 饶贵康,王玲玲,徐津,等. 调水期风场对淮河入江水道浅水湖泊水动力水质的影响研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):31-37. (RAO Guikang, WANG Lingling, XU Jin, et al. Study on the effect of wind field on hydrodynamic water quality of shallow lakes in Huaihe River watercourse entering Yangtze River during the water diversion period [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2023,51(3):31-37. (in Chinese))

[26] 刘玉年. 淮河中游水质时空变异研究[J]. 水资源保护,2009,25(4):1-4. (LIU Yunian. Study on spatial and temporal variation of water quality in middle reaches of Huaihe River[J]. Water Resources Protection,2009,25(4):1-4. (in Chinese))

[27] 段承坤. 一维河网水动力模型的预测校正解法与建模技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2021.

[28] 刘鑫. 武汉河段糙率变化对水流运动的影响研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2022.

[29] 张雨山,王双银,臧聪敏,等. 基于原型观测的输水渠道糙率取值及变化分析[J]. 水利水电科技进展,2021,41(1):24-29. (ZHANG Yushan, WANG Shuangyin, ZANG Congmin, et al. Variation analysis of roughness coefficient value for water conveyance channels based on prototype observation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2021,41(1):24-29. (in Chinese))

[30] 孔宇,孙巍,李小龙,等. 河道海绵建设中 SWMM-MIKE 11 耦合模型的构建及应用思路[J]. 水资源保护,2021,37(6):74-79. (SUN Yu, SUN Wei, LI Xiaolong, et al. Building and application idea of SWMM-MIKE 11 coupling model in sponge river construction[J]. Water Resources Protection,2021,37(6):74-79. (in Chinese))

[31] 孙文宇,姚成,刘志雨,等. 秦淮河水文水动力模型及实时校正[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(4):26-33. (SUN Wenyu, YAO Cheng, LIU Zhiyu, et al. Hydrological and hydrodynamic model of Qinhuai River and real-time correction [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2022,50(4):26-33. (in Chinese))

[32] 金相楠. 平原河网地区水质水量综合调控研究[D]. 天津:天津大学,2017.

[33] 程绪水. 上下联动 科学防污:2004 年淮河水污染联防综述[J]. 治淮,2004(9):9-12. (CHENG Xushui. Joint scientific pollution prevention:summary of Huaihe River water pollution prevention in 2004[J]. Harnessing the Huaihe River,2004(9):9-12. (in Chinese))