

常熟市洪洞水质净化厂 尾水排放环境影响研究

钱 进¹, 周 毅², 陈家栋³, 徐 勇⁴, 张 游², 闫怀春²

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水利数字中心, 江苏 南京 210012;
3. 江苏省水文水资源勘测局南京分局, 江苏 南京 210008; 4. 江苏省水文水资源勘测局苏州分局, 江苏 苏州 215011)

摘要:重点介绍了常熟市洪洞水质净化厂尾水排放环境影响模型:在对常熟自然水文气象环境、河流水系和水利工程充分调研的基础上,利用 MIKE11 建立了河网水质模型,并以前期积累的水质水量数据为依据,率定和验证了模型;利用该模型,分别计算分析了正常排放工况和事故排放工况2种情况下,洪洞水质净化厂运行对周边河网水质的影响;文章还详细分析了常浒河口污染物输运规律和净化厂运行对长江水功能区的影响。通过上述分析计算,文章明确洪洞水质净化厂选址可行,项目运行后,对周边河网水质环境影响可控,有利于长江水质的改善。

关键词: 洪洞尾水; 尾水排放; 环境影响; 常熟市

中图分类号:TV64

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)07-0012-0005

Research on the environmental impact of tail water discharge from Hongdong water purification plant in Changshu City

QIAN Jin¹, ZHOU Yi², CHEN Jiadong³, XU Yong⁴, ZHANG You², YAN Huaichun²

(1. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;

2. Jiangsu Water Conservancy Digital Center, Nanjing 210012, China;

3. Nanjing branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210008, China; 4. Suzhou branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Suzhou 215011, China)

Abstract: The study highlighted the environmental impact model for tail water discharge from a water purification plant in Hongdong County, Changshu. Based on a thorough investigation of the natural hydrometeorological environment, river systems and hydraulic engineering in Changshu, the water quality model of river network was established by using MIKE11, and the model was calibrated and verified based on the accumulated water quality and quantity data. The model was then used to calculate and analyze the impact of the operation of Hongdong County water purification plant on the water quality of the surrounding river network under both normal and accident discharge conditions. The article also analyzes in detail the transport law of pollutants in the Changshu River estuary and the influence of the operation of the purification plant on the Yangtze River water functional zone. Based on the above analysis and calculation, it is clear that the location of the Hongdong County water purification plant is feasible, and that the environmental impact of the project on the water quality of the surrounding river network can be controlled after its operation, which is conducive to the improvement of the water quality of the Yangtze River.

Key words: Hongdong tail water; tail water discharge; environment impact; Changshu City

收稿日期: 2024-03-21

作者简介: 钱进(1974—),男,高级工程师,本科,主要从事水文水资源工作。E-mail:14508989@qq.com

1 区域概况

1.1 自然环境

常熟市位于江苏省东南部,长江、太湖下游,长江三角洲前缘,是典型的平原河网地区^[1]。常熟市境域呈荷叶形,东西宽49 km,南北距37 km,全市总面积1 276.3 km²(其中包括长江水域面积116.8 km²及飞入地0.035 km²)。市境属长江三角洲冲积平原,地势由西北向东南倾斜,地面高程大多在3~7 m。望虞河、盐铁塘纵横贯穿全境,将全市分为虞西、阳澄、滨江3个片区。望虞河以西属于虞西片,地势高亢,微有起伏。望虞河以东、盐铁塘以北属滨江片,地势偏高。望虞河以东、盐铁塘以南为阳澄片,地势低洼,河湖密布。尚有顾山、福山褚丘和虞山分布在境域西北和城西。

1.2 水文气象

1.2.1 水文特征

根据常熟市西高东低的地形特征,为了达到高低分开的目的,在境内望虞河东岸设控制线,使望虞河东西形成水位级差。望虞河是“引江济太”调水试验工程的主干道之一,其警戒水位为3.80 m,保证水位为4.20 m^[2]。望虞河以西属虞西区,境内无国家基本水文站,仅在练塘吉家桥闸上设水尺观测水位。望虞河以东为阳澄区,境内设有白茆塘常熟水位站,根据该站资料统计,年最高水位出现在6—10月之间,其中以7月份出现次数最多,其次是9月份。

目前太湖流域综合治理十一大骨干工程之一——望虞河工程已经建成,望虞河东控制线已能正常发挥作用,望虞河所泄的太湖洪水、虞西区涝水因有控制线抵挡,高水不再压向望虞河以东的阳澄区。

1.2.2 气候

常熟市地处北亚热带南部湿润气候区,季风盛行,温暖湿润,四季分明,雨量充沛。冬季盛行大陆来的偏北风,以寒冷少雨天气为主;夏季盛行海洋来的东南风,以炎热多雨天气为主;春秋两季为冬夏两季风交替,常出现冷暖、干湿多变的天气。本地区的异常气候,如潮湿、夏秋旱、梅雨、台风、龙卷风等时有发生。降水量较丰沛并主要集中在每年5—9月,其降水量约占全年总量的54.4%。

1.3 河流水系与水利工程

(1)河流水系

本项目所在地常熟市地处太湖下游,望虞河、盐铁塘纵横贯穿全境,境内水网密布,湖荡众多,水面率约为16.6%^[3]。境内主要引排水河道23条,镇级河道96条,村级河道5 321条。水面积超过13.3 hm²的湖荡有13个,主要有昆承湖、尚湖、南湖荡、六里塘、嘉菱塘、官塘等。所有这些水域组成了一个可供引、排、调、蓄、航的水网,服务于全市的经济社会和人民生活。常熟市与长江相邻,主要通江河道有常浒河、白茆塘、海洋泾、徐六泾、金泾塘等。

(2)水利工程

常熟市境内现有沿江口门9个,分别为望虞闸、浒浦闸、白茆闸、福山闸、耿泾闸、老海洋泾闸、新海洋泾闸、徐六泾闸、金泾闸。

望虞河闸位于望虞河工程东首,是太湖流域综合治理骨干工程之一,是国家重点建设项目。工程主要任务为排洪、除涝、引水和通航。

浒浦闸是常浒河入、引江水量控制口门,主要由一座总净宽为24 m的3孔节制闸以及船闸等配套设施和工程组成,其设计最大引水流量为260 m³/s,设计最大排水流量为280 m³/s。

白茆闸是阳澄区主要通江河道之一,是白茆塘入、引江水量控制口门,主要由一座总净宽为44 m的5孔节制闸以及管理配套设施和自动化控制工程等组成,其设计最大引水流量为452 m³/s,设计最大排水流量为505 m³/s。

2 模型的建立和验证

2.1 模型的建立

城北污水处理厂排放口位于常浒河上游,与东环河相近。由于东环河流量较大,故需要考虑东环河水水质条件。城北污水处理厂与周行污水处理厂相距6.0 km,周行污水处理厂排水口与浒浦闸相距10.8 km,其中洪洞泾长约1.0 km。

一维模型计算取浒浦闸为边界,其运行调度情况已知,且流量控制已知。常浒河上游边界取在常浒河枢纽断面,东环河计算河段长5 km。

同时考虑洪洞水质净化厂排水可能影响范围内各主要河流和支流的调蓄净化能力,将徐六泾、金泾、横塘河等主干河道以及洞坝河、南塘、宁塘、寺泾河、洪洞泾、迈步塘、横六泾、油麻泾、淼泉塘等9条支流考虑在模型计算范围内。由于某些支流没有断面监测资料,故采用概化断面地形,这主要考虑槽蓄量相似,基本能做到水动力相似。

根据以上计算范围,采用DHI MIKE11软件建立了概化模型。常浒河与东环城河交界处以东至浒浦闸河段长约15 km,模型概化后共布置117个计

算断面,共有测量断面19个,插值断面59个,概化断面39个。

计算区内主要环境污染为点源,且大部分污水来自市政污水处理厂和企业自备污水处理厂。其中城北污水处理厂排放量占常浒河整条河流排放量的70%,该厂主要污水源是生活污水,占比90%以上。处理后尾水排放对环境影响较大的是COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP,故本次环境影响评估水质指标选择COD、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。

2.2 模型的率定

由于模型计算采用流量边界条件,而水流模型唯一的参数糙率对流速不敏感,流速大小与计算水位相关^[4]。计算水位采用2019年常熟(二)站平均水位。

根据苏州市河网水质衰减情况,太湖流域管理局、河海大学水生态环境研究所、荷兰DELFT水力学所研究并推荐使用的降解系数,COD的综合衰减系数 K 取 0.2 d^{-1} , $\text{NH}_3\text{-N}$ 的综合衰减系数 K 则采用苏州环科所推荐的 0.15 d^{-1} 。

模型率定采用2020年11月25—27日流量水质同步监测数据和2018年水功能区水质数据。经模型率定,模型参数采用在推荐值的基础上偏保守估计的方式微调取值,并分冬、夏季取值,春、秋季采用线性插值的方式取值。

2.3 模型的验证

采用2019年常熟三水厂水质过程作为长江水质过程,浒浦闸流量过程作为边界条件,点源污染采用现状归上排污口许可污染物量,对2019年河网水质过程进行了模拟。

各水质断面计算误差统计如下:高锰酸盐指数计算平均误差均小于30%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP计算误差小于20%。高锰酸盐指数受生活污水截污影响较大,偶然性较大,规律与TP不一致。由于常浒河断面较大,环境容量较大,溶解氧水平较高,水体对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的降解较快。以上统计结果表明,利用MIKE11建立的河网水质模型较好地反映了常浒河附近河网水质变化过程。

3 计算水文条件选取

通过分析可知,浒浦闸关闸时间与水质的相关性不明显,开闸引水时有利于改善周边河网的水质,但是开闸排水时可能由于水力停留时间的减少,对下游水质断面造成不利的影响。

由于环境影响分析往往坚持采用不利工况计算分析的原则,为此选择浒浦闸关闸7 d、开闸排水 $120\text{ m}^3/\text{s}$ 作为计算条件,同时徐六泾闸关闸、开闸排水 $40\text{ m}^3/\text{s}$ 作为组合条件,并分冬季和夏季2种工况。为此计算工况组合表如表1所示。

表1 计算工况组合

工况名称	工况编号	浒浦闸	徐六泾闸	季节
冬季关闸	W00	关	关	冬季
夏季关闸	S00	关	关	夏季
冬季排水	W11	排 $120\text{ m}^3/\text{s}$	排 $40\text{ m}^3/\text{s}$	冬季
夏季排水	S11	排 $120\text{ m}^3/\text{s}$	排 $40\text{ m}^3/\text{s}$	夏季
冬季浒浦闸排水	W10	排 $120\text{ m}^3/\text{s}$	关	冬季
夏季浒浦闸排水	S10	排 $120\text{ m}^3/\text{s}$	关	夏季
冬季徐六泾排水	W01	关	排 $40\text{ m}^3/\text{s}$	冬季
夏季徐六泾排水	S01	关	排 $40\text{ m}^3/\text{s}$	夏季

注:编号中W表示冬季,S表示夏季,0表示关闸,1表示开闸,十位数表示浒浦闸,个位数表示徐六泾闸。

4 对周边河网水质的影响

4.1 正常排放工况

利用上述河网水质数学模型,对周边河网水质进行了计算分析。模拟计算了7 d水质过程,取平均值作为计算结果对比分析工程前后水质的变

化。为分析典型断面的水质变化,取常浒河东环河交界处、塘桥村断面、白宕桥断面、浒浦闸断面、盐铁塘沈家市断面作为分析断面。

(1)对洪洞泾水质的影响

洪洞泾水质受洪洞水质净化厂入河尾水的影响, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、COD质量浓度均有不同程度的升

高,水质质量浓度升高到接近Ⅳ类水体标准,尤其是夏季雨季在面源污染的双重冲击下,TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度更高。但是质量浓度基本没有超过Ⅳ类水体。值得注意的是,由于污水处理厂排放COD量较大,洪洞泾槽蓄量仅 5 m^3 ,有机污染难免在底泥中累积。在底泥耗氧和夏季面源污染的冲击下,溶解氧质量浓度降低到 2 mg/L 以下的风险较大。由于洪洞水质净化厂排放TN质量浓度达到 10 mg/L ,在厌氧条件,硝态氮在反硝化作用下转化成 $\text{NH}_3\text{-N}$,致使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度升高而超过Ⅳ类水体。同时,TP也在底泥中累积,在厌氧条件下将从底泥空隙水中释放大量的TP,从而使得TP质量浓度也升高超过Ⅳ类水体。为此,建议在线监测洪洞泾溶解氧水平,掌握规律,发现长期溶解氧水平较低时,应对底泥进行科学有序的清淤。

(2)对常浒河水功能区水质的影响

洪洞水质净化厂建成后,区域入河污染负荷将下降,城北污水处理厂影响较大的常浒河上游河段东环河交界处水质将明显改善, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度将下降 $20\%\sim 40\%$,TP质量浓度下降 $10\%\sim 20\%$,COD质量浓度下降 $30\%\sim 40\%$ 。常浒河下游河段的白宕桥断面和浒浦闸断面的水质受洪洞水质净化厂排水的影响,水质质量浓度有所升高, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度升高 $10\%\sim 20\%$,TP质量浓度升高 $10\%\sim 30\%$,COD质量浓度升高 $20\%\sim 40\%$,但是水质质量浓度均未超过Ⅳ类水质标准。受到浒浦闸排水的影响,水力停留时间减少,白宕桥、浒浦闸水质断面的质量浓度升高较关闸时更多。由于常浒河水面宽,复氧能力大,虽然有底泥累积污染的风险,但是溶解氧水平降低到 2 mg/L 以下的风险小。底泥以汇为主,内源污染释放量对水质影响小。

(3)对盐铁塘水功能区水质的影响

由于盐铁塘平时流速小,洪洞水质净化厂建成后,对盐铁塘沈家市的影响较小。但是在徐六泾闸开闸时,洪洞水质净化厂对沈家市断面的水质影响增大。洪洞水质净化厂建成后,沈家市断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP质量浓度增加 $10\%\sim 20\%$,COD质量浓度增加 $10\%\sim 30\%$,但是水质质量浓度均未超过Ⅳ类水质标准。

4.2 事故排放工况

污水处理厂由于停电、设备损坏(污水管网系统堵塞、破裂和接头处破损,污水水泵损坏)、污水处理设施运行不正常、停车检修等,致使大量污水外溢或未经处理直接排入河流,造成地表水、地下

水事故污染等水环境风险。有时进水异常、水质剧烈冲击,或雨污合流的收水管网雨季流量大、超出污水处理厂设计规模等非正常运行状况下的原污水非正常排放。活性污泥变质后,会发生污泥膨胀或污泥解体等异常情况,使污泥流失,处理效果降低的环境风险。事故排放在枯水期和平水期对河流接纳水体水质影响巨大,在丰水区也影响较大^[5]。

所以,虽然事故是偶发性的,但仍需要评估事故排放时对环境造成的影响。由于事故排放往往有应急预案,故这里仅考虑事故发生后1 d内如何有效控制环境风险。因此计算模拟事故排放1 d产生的环境影响。此时中水回用 30% 仍然正常,排放质量浓度为城北污水处理厂现状进水质量浓度,即 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度为 20 mg/L 、COD质量浓度为 400 mg/L 、TP质量浓度为 5 mg/L 。为分析典型断面的水质变化,将常浒河东环河交界处、塘桥村断面、白宕桥断面、浒浦闸断面、盐铁塘沈家市断面作为分析断面。

计算结果表明:事故工况下,下游各断面水质将全面处于劣Ⅴ类水体, $\text{NH}_3\text{-N}$ 超Ⅴ类水体上限4倍以上,TP超Ⅴ类水体上限3倍以上,COD超Ⅴ类水体上限4倍以上。由此可见,事故发生时河网水体应严禁进入长江。由于附近河网入长江均有闸门控制,当事故发生时,应及时关闭沿江闸门和通航船闸,待水体达标后再恢复通航和水闸调度。

5 对长江水源地的影响

5.1 常浒河河口污染物输运规律分析

由于实测枯季期间常浒河闸门基本长期关闭,故以实测洪季水文条件下COD质量浓度为例说明常浒河河口污染物输运的规律:

(1)与长江COD质量浓度相比,常浒河排水中COD质量浓度较高,排水时形成一条由常浒河河口向下游沿岸延伸带状分布的污染带,以高一个水质类别(约超过长江本底质量浓度 4 mg/L)为界,污染带长度约 3.9 km ,离岸扩散距离约 0.3 km 。

(2)长江进入低平潮时,常浒河仍然在排水,此时长江逐渐进入涨潮流,由于此时长江处于转流期间,流速较小,常浒河排放的污染物将在河口累积,形成一个集中在河口的三角形累积区,离岸扩散距离约 0.3 km 。

(3)随着长江涨潮流的逐渐加强,低平潮时累积在常浒河河口的污染物开始随着涨潮流向上游输送。此时由于常浒河也开始涨潮,从浒浦闸外排

的水流也逐渐减弱,在河口已经逐步表现为逆流而上的涨潮流,浒浦闸排放的污染物将被逼停滞在闸下2 km的河口段内。涨急时,污染物将被沿岸输送到上游,贴岸输送距离超过3 km后才逐步脱离岸线,离岸扩散距离约0.4 km,未触及常熟水源取水口。

(4)高平潮时,向上输送的污染带达到最上游,且由于转流的逐步形成,污染物掺混加强,掺混落潮流后脱离岸线向下游输送。

5.2 对长江水功能区的影响分析

常浒河浒浦闸排水在长江涨落水流的带动下,稀释扩散后形成上下游沿岸带状分布的污染带。为了解浒浦闸排水对长江水体的最大影响,这里统计不同水文条件下不同环境水体水质条件形成的污染带最大范围。这里沿岸距离是上下游累加距离,离岸距离是污染带最大离岸距离。

(1)COD的影响范围较大,离岸扩散距离最大达到400 m,且位置位于常熟水源地取水水域离岸距离最宽处,表明,常浒河排水对常熟水源地取水COD质量浓度有一定的影响,但是瞬间影响值不超过5 mg/L,潮平均基本没有影响。

(2)不同的水文条件下的污染带影响范围规律性较差,主要影响因素是浒浦闸的调度过程和关闸历时。

(3)总体而言,以影响一个水质类别为界,COD的影响范围上下游沿岸影响长度为5~7 km,离岸扩散距离300~400 m; $\text{NH}_3\text{-N}$ 的影响范围上下游沿岸影响长度为0~4 km,离岸扩散距离小于200 m。

(4)从洪洞水质净化厂排水与现厂址和排放标准相比,对长江水质总体上是改善的。

6 结 语

根据河网水质模型计算分析,洪洞水质净化厂尾水污染物正常排放对论证水域内水环境保护目标的影响不大,且对国考断面水质基本无影响。因此项目尾水排放可以满足水功能区水质及水环境保护目标的要求。

根据事故排放预测推演,如果发生事故排放,将会对河道水质产生影响,因此应采用“互联互通”方式,当发生事故排放时,通过泵站调节,使污水进入其他污水处理厂进一步处理,并采取相应的应急措施,建造事故排放池,以确保未经处理的污水不流入常浒河。现状区域很多生活污水直接排入河,一定程度影响区域河网水质,通过实施支流面源污染收集工程,污水经洪洞水质净化厂处理后排放,可以改善河网水质,并且经过一系列的综合整治措施,区域水质将逐渐变得更好。从水功能区管理及对区域水环境贡献角度看,洪洞水质净化厂选址合理可行。

参考文献:

- [1] 姚里丰. 常熟市构建节水社会的实践与思考[J]. 水资源开发与管理, 2020(4): 75-79.
- [2] 董岩芳, 闻余华, 鲍建腾. 望虞河排水能力初步研究[J]. 江苏水利, 2021, 288(9): 16-20.
- [3] 史书华, 陈星. 基于调蓄能力与水系结构关系分析的城市合理水面率研究——以常熟市为例[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2020, 42(2): 1-6.
- [4] 王玉, 王敏. MIKE11模型的糙率分析[J]. 水利建设与管理, 2023, 43(8): 60-64, 75.
- [5] 赵恰, 赵明杰, 刘晓晓, 等. 某污水处理厂扩建环境影响分析研究[J]. 江苏科技信息, 2023, 18(6): 77-80.