

一维水质模型在排污口对水质影响分析中的应用

龚 慧¹, 国 静², 李 骏¹, 姚 敏³

(1. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213000; 2. 南京农业大学理学院, 江苏 南京 210095; 3. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210000)

摘要: 城市的发展和人口的增加, 直接导致了污水排放量的增加。本文以溧阳市新建排污口为研究对象, 在分析排污口进出水水质及北河现状水质的基础上, 将河流进行合理概化, 对设计流量、初始浓度、综合衰减系数等参数进行合理取值。以污染物化学需氧量(COD_{Cr})和氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)为例, 利用一维水质模型计算入河排污口对北河的影响范围。结果表明, 正常排放时, COD_{Cr} 和氨氮的混合区长度分别为11010 m和15696 m, 污水回用30%后排放影响范围分别减小18.66%和1.79%, 事故排放情况下污水影响范围显著增大, 分别为正常排放的1.72倍和1.43倍。

关键词: 水质模型; 北河; 排污口; 污水回用

中图分类号: X52

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2017)06-0024-04

Application of one-dimensional water quality model in analyzing the water quality impact of sewage outfall

GONG Hui¹, GUO Jing², LI Jun¹, YAO Min³

(1. Changzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213000, Jiangsu; 2. College of Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu; 3. Jiangsu Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210000, Jiangsu)

Abstract: The increase of population and the development of the city, directly led to the increase of sewage emissions. The new outfall in Liyang City was set as the research object. Based on the analysis of the sewage outfall water quality and current water quality of the North River, the river is reasonably generalized, reasonable value of parameters such as flow, initial concentration and integrated attenuation coefficient was suggested. Taking the chemical oxygen demand (COD_{Cr}) and ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) as an example, the influence of the sewage outfall on the North River is calculated by using one-dimensional water quality model. The results showed that the normal discharge, the length of the mixed zone of COD_{Cr} and $\text{NH}_3\text{-N}$ were 11010m and 15696m. After the wastewater reuse 30%, the influence length decreased by 18.66% and 1.79% respectively. In the case of accident discharge, the influence length was increased significantly, which was 1.72 times and 1.43 times that of normal discharge.

Key words: water quality model; North River; outfall; wastewater reuse

收稿日期: 2017-04-17

作者简介: 龚慧(1982-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水质监测与评价研究工作。

随着近年人口增长及经济不断发展, 生活污水和工业废水排放量不断增加, 污水处理压力日益加剧, 污水排放需达到相应排放标准, 且不能对受纳水体及相邻水体造成严重污染。溧阳市城市发展加快, 大量污水经处理后将排入北河, 本文利用一维水质模型^[1], 计算新建入河排污口对北河河流水质的影响, 为污水厂建设提供参考。

1 研究区概况

溧阳市位于江苏省南部, 苏、浙、皖三省交界处, 隶属江苏省常州市, 土地总面积 1535 平方公里。境内河流均属太湖流域南溪水系, 以南河(芜太运河)为干流自西向东穿越溧阳腹部, 接宜溧漕河经宜兴三汊入太湖; 中河作为骨干河道于南河南渡镇西分流南河上游来水, 与北河同时承接溧阳西北部、北部降雨径流, 横贯溧阳腹部经埭头镇于市域东北部出境, 进入宜兴西北部水网, 汇入西洫, 入注太湖。溧阳市水系情况详见图 1。

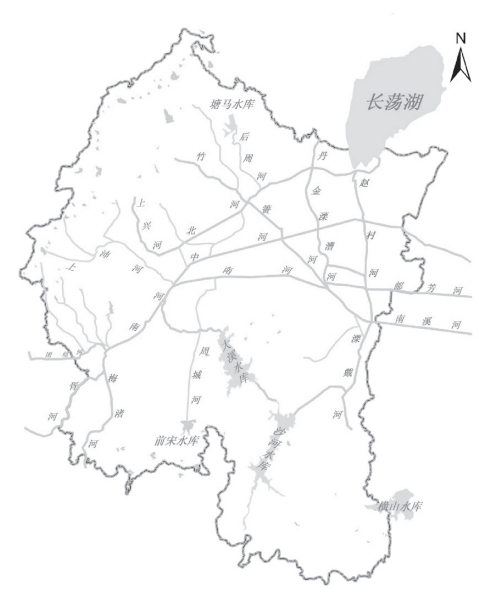


图 1 溧阳市水系概况图

本次研究对象主要为北河, 北河位于茅山山脉东南、宜溧山区以北, 属南溪水系, 西起自上兴镇东塘桥与上沛河相接, 向东北穿越竹箦镇和别桥镇后, 与丹金溧漕河贯通, 东入长荡湖, 全长 27.5 km, 汇水面积 343.3 km²。北河是溧阳市境内北部山丘岗冲与圩区间排洪、引水、航运的骨干河道, 每年流入长荡湖水量(与丹金溧漕河交汇之后)约为 0.37 亿 m³。

2 排污口及水质现状

溧阳市地处太湖流域上游, 随着近年来经济快速发展, 工业及生活污水排放量不断增加, 而溧阳市乡镇地区多为雨污合流制管网, 且规模较小, 成本较高, 管理混乱, 难以监管, 现状污水处理压力日益加剧。为改善乡镇地区水环境污染现状, 完善城镇排水设施建设, 提高城镇居民生活质量, 溧阳市政府决定实施区域供水治污一体化工程, 其中上兴镇、南渡镇和竹箦镇三个乡镇的污水经管网收集后由南渡污水厂集中处理, 新建南渡污水处理厂, 工程规模 1.5 万 m³/d。

新建南渡污水处理厂位于南渡镇旧县新材料工业园内, 尾水拟排入北河, 排污口拟设于北河施家桥下游约 570 m 处, 北河左岸, 具体位置见图 2。拟设计为岸边排放, 尾水排放规模为 1.5 万 t/d, 即 0.17 m³/s, 排放方式为连续排放。



图 2 排污口地理位置图

根据预测进、出水水质等相关资料, 并按同类污水处理厂进行类比分析, 确立主要污染物进、出水浓度列于表 1。

表 1 主要污染物进、出水浓度表

污染物	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
进水浓度 (mg/L)	320	160	240	35	5.5	45
出水浓度 (mg/L)	50	10	10	5	0.5	15

拟设排污口所在功能区为北河溧阳工业、农业用水区, 2020 年水质目标为Ⅲ类; 相关河湖有上兴河、上沛河、竹箦河、丹金溧漕河、长荡湖, 2020 年水质目标均为Ⅲ类。区域内各汇流断面 2014 年~2016 年现状水质基本为Ⅳ~劣Ⅴ类, 均已超出

功能区 2020 年水质目标 (III 类)。以 COD_{Cr} 和氨氮为例, 近几年水质监测结果如图 3 所示。水环境现状不容乐观。

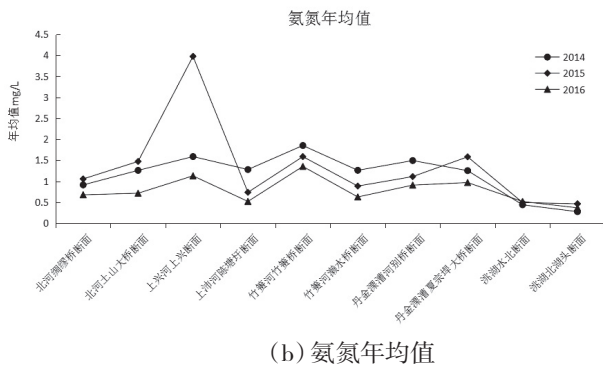
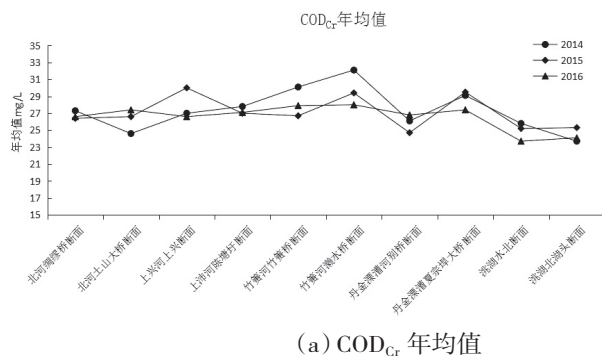


图 3 水质监测结果

3 影响范围计算

3.1 计算工况

本次计算以数值模型法预测入河排污口排污对水体水质影响范围, 计算工况分为正常排放、回用 30% 后排放和事故排放 3 种工况进行分析。

3.2 计算模型

水质模型是描述河流水体中污染物变化的数学表达式, 包括零维模型和一维模型^[2-3]。根据《纳污能力计算规程》, 对于宽深比不大的中小型河流, 污染物质能在较短的时段内, 在断面内达到基本均匀混合, 可用一维水质模型模拟污染物沿河流纵向的迁移^[4]。北河设计标准断面口宽 70 m, 设计底宽 15 m, 水深 3.43 ~ 4.43 m, 属宽深比不大; 年平均流量为 4.74 m^3/s , 小于 150 m^3/s , 属于中、小型河道, 因此选用河流一维模型计算入河排污口对北河的水质影响范围, 混合区长度按式 (1) 进行计算:

$$x = -\frac{u}{k} \ln \frac{C_x}{C_0} \quad (1)$$

式中:

C_0 —初始断面的污染物浓度, mg/L ;

C_x —流经 x 距离后的污染物浓度, mg/L ;

x —沿河段的纵向距离, m ;

u —设计流量下河道断面的平均流速, m/s ;

k —污染物综合衰减系数, $1/\text{s}$;

3.3 模型参数

(1) 计算范围及节点

计算以入河排污口及支流口为节点, 分段进

行计算, 其中距离较近的支流口, 概化为一个节点, 计算范围为从污水厂拟设排污口至下游长荡湖入口处, 概化后的计算节点如图 4。

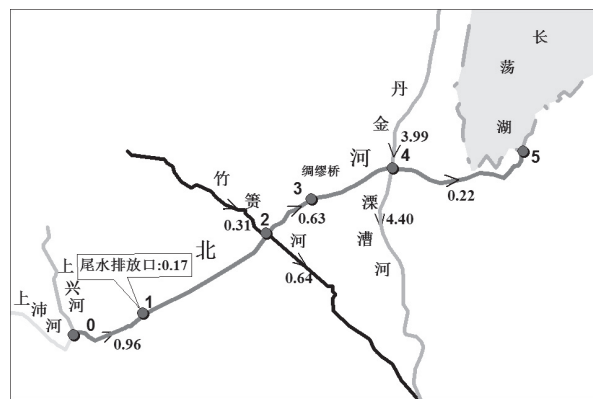


图 4 计算节点

(2) 设计流量

根据《纳污能力计算规程》, 设计水文条件应选择 90% 保证率最枯月平均流量或近 10 年最枯月平均流量。根据江苏省水文水资源勘测局常州分局北河溧阳站多年实测资料及沿线巡测 (2016 年 8 月 18 日施测) 流量资料, 分析推算北河的近十年最枯月平均流量。各计算河段河长、流量及流速见表 2。

表 2 各计算河段设计流量及设计流速

河段 节点号	计算长度 (m)	流量 Q m^3/s	断面面积 S m^2	流速 U m/s
1-2	8000	0.96	13.8	0.0696
2-3	3000	0.63	12.6	0.0500
3-4	4300	0.63	12.6	0.0500
4-5	7800	0.22	12.2	0.0180

(3) 入流断面水质浓度 (C_0)

入流断面浓度是指进入水功能区前水体中的

污染物浓度值^[5]。断面水质浓度采用完全混合模式, 根据式(2)进行计算:

$$C_0 = \frac{C Q + C_p Q_p}{Q + Q_p} \quad (2)$$

式中:

C —初始断面的水质浓度, mg/L;

C_p —废污水浓度值, mg/L;

Q —初始断面的入流流量, m³/s。

Q_p —废污水排放流量, m³/s;

北河及交汇河道上兴河、上沛河、竹箐河、丹金溧漕河, 2020 年水质目标均为Ⅲ类, 水质浓度以Ⅲ类标准值 COD_{Cr} 为 20 mg/L, 氨氮为 1.0 mg/L。

(4) 出流断面水质浓度 (C_x) / 控制标准 (C_s)

出流断面污染物浓度按式(3)计算:

$$C_x = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \quad (3)$$

控制标准 C_s 以功能区出流控制断面水质标准来确定。因此 COD_{Cr} 以Ⅲ类标准值 $C_s = 20$ mg/L 为控制标准; 氨氮以Ⅲ类标准值 $C_s = 1.0$ mg/L 为控制标准。

(5) 综合衰减系数 k

污染物综合衰减系数是反映污染物沿程变化的综合系数, 其影响因素较多, 受自然条件、水体污染程度、流速、气温等多因素^[6-7]的影响其值较难确定, 本次计算采用经验公式(4)与(5), 各计算河段设计流量、设计流速及综合衰减系数见表3。

$$\text{COD}_{\text{Cr}}: k=0.050+0.68u \quad (4)$$

$$\text{NH}_3\text{-N}: k=0.061+0.551u \quad (5)$$

表3 各河段综合衰减系数计算表

节点号	流速 U	COD _{Cr} 降解系数	NH ₃ -N 降解系数
	m/s	1/d	1/d
1-2	0.0696	0.0973	0.0993
2-3	0.0500	0.0840	0.0886
3-4	0.0500	0.0840	0.0886
4-5	0.0180	0.0623	0.0709

3.4 计算结果

(1) 正常排放

计算结果见表4和5, 结果表明, 在最不利水量条件下, 排污口污水正常全部排放时 COD_{Cr} 混

合区长度为 11010 m, 影响河段为排污口至绸缪桥断面以东的北河河段 10 m; 氨氮混合区长度为 15696 m, 影响河段为排污口至绸缪桥断面以东的北河河段 4696 m。

表4 正常排放北河 COD_{Cr} 混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	24.5	21.5	8000	11010
2-4	21.2	20.0	3010	

表5 正常排放北河氨氮混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	1.60	1.40	8000	15696
2-4	1.32	1.13	7300	
4-5	1.02	1.00	396	

(2) 回用 30% 后排放

计算结果见表6和7, 结果表明, 在最不利水量条件下, 污水回用 30% 后排放 COD_{Cr} 混合区长度为 8955 m, 影响河段为排污口至竹箐河交汇口以东的北河河段 955 m; 氨氮混合区长度为 15415 m, 影响河段为排污口至绸缪桥断面以东的北河河段 4415 m。可见, 回用 30% 后排放对北河水质影响比正常排放时更小, 影响长度比正常排放时更短。与正常排放相比, COD_{Cr} 混合区长度减小 18.66%, 氨氮混合区长度减小 1.79%。

表6 回用 30% 后排放北河 COD_{Cr} 混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	23.3	20.5	8000	8955
2-4	20.4	20.0	955	

表7 回用 30% 后排放北河氨氮混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	1.44	1.26	8000	15415
2-4	1.21	1.04	7300	
4-5	1.01	1.00	115	

(3) 事故排放

计算结果见表8和9, 结果表明, 在最不利水量条件下, 事故排放 COD_{Cr} 混合区长度为 18895 m, 为正常排放的 1.72 倍, 影响河段为排污口至绸缪
(下转第 31 页)

桥断面以东的北河河段 7895 m; 氨氮混合区长度为 22404 m, 为正常排放的 1.43 倍, 影响河段为排污口至绸缪桥断面以东的北河河段 11404 m。可见, 事故排放 COD_{Cr}、氨氮对下游北河水质影响显著增大, 远远高于正常排放情况。

表 8 事故排放北河 COD_{Cr} 混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	65.1	57.2	8000	18895
2-4	49.2	42.7	7300	
4-5	23.6	20.0	3595	

表 9 事故排放北河氨氮混合区长度

节点	C_{0i}	C_{xi}/C_s	x/m	混合区长度 /m
1-2	6.12	5.36	8000	22404
2-4	4.42	3.81	7300	
4-5	1.38	1.00	7104	

4 结论与建议

通过对北河新建排污口影响范围的计算, 可以看出, 正常排放时 COD_{Cr} 和氨氮的混合区长度分别为 11010 m 和 15696 m; 污水回用 30% 排放后影响范围明显减小, COD_{Cr} 和氨氮混合区长度分别为 8955 m 和 15415 m, 与正常排放相比, COD_{Cr} 混合区长度减小 18.66%, 氨氮混合区长度减小 1.79%; 事故排放情况下, 污水影响范围显著增大, COD_{Cr} 混合区长度为 18895 m, 为正常排放的 1.72 倍, 氨氮混合区长度为 22404 m, 为正常排放的 1.43 倍。因此, 考虑到河流现状水质多区段未达标, 应

鼓励污水回用, 减少排放量, 并采取措施改善河流水质, 并加强流域水资源管理, 同时注重水资源保护与管理的科学研究, 以实现水资源的合理利用和可持续发展^[8-9]。

参考文献:

[1] 杨国胜, 叶闽, 李德旺, 等. 建设项目入河排污口设置论证实例分析[J]. 人民长江, 2008, 39 (23).

[2] 郭凤震. 邯郸市滏阳河纳污能力及模型参数影响分析[J]. 水资源保护, 2011, 27 (3):20-23 .

[3] 王林, 宓辰羲. 辽阳市汤河流域纳污能力及污染物限排总量研究[J]. 水利规划与设计, 2016 (10):80-81 .

[4] 张文志. 采用一维水质模型计算河流纳污能力中设计条件和参数的影响分析[J]. 人民珠江, 2008, 29 (1):19-20 .

[5] 柏菊, 王振龙. 基于一维水质模型的淮北市区纳污能力计算[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2011, 11 (1):10-12 .

[6] 郭儒, 李宇斌, 富国. 河流中污染物衰减系数影响因素分析[J]. 气象与环境学报, 2008, 24 (1):56-59 .

[7] 李锦秀, 廖文根. 水流条件巨大变化对有机污染物降解速率影响研究[J]. 环境科学研究, 2002, 15 (3):45-48 .

[8] 朱健, 王平, 李捍东. 贾河纳污能力及排污总量控制分析[J]. 水资源保护, 2009, 25 (3):48-51 .

[9] 周梦雷, 胡焕发. 城市新区污水处理厂入河排污口设置论证实例[J]. 资源节约与环保, 2015 (3):207-209 .

(责任编辑: 华智睿)