

多节点分段法在计算排污口对水功能区水质影响中的应用

龚 慧¹, 姚 敏², 邵 鹏³, 王 丽⁴

(1. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213000; 2. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210000; 3. 盐城市水利工程质量监督站, 江苏 盐城 224002; 4. 鲁南煤化工研究院, 山东 济宁 272000)

摘要: 中央一号文件明确提出了水功能区限制纳污等“三条红线”, 入河排污口的设置受到更严格的限制和监督。以溧阳市南渡污水处理厂新建排污口为研究对象, 分析复杂水文条件下, 对河流进行多节点分段概化, 对断面浓度、设计流量、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(NH₃-N)为例, 利用一维水质模型分段计算入河排污口对北河及相关水功能区的影响。结果表明, 在最不利水量条件下, 正常排放时对所在水功能区、相邻水功能区及下游水功能区水质均有一定影响; 污水回用 30% 后排放时影响范围缩小, 对下游相邻水功能区水质基本无影响; 事故排放时影响程度显著增大, 进入饮用水源区的 COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 1.2 倍和 1.4 倍。

关键词: 分段法; 水质模型; 排污口; 水功能区; 污水回用

中图分类号: X824

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 12-0001-07

Application on the multi-node piecewise method in calculating the impact of sewage outlet on the water quality of water function area

GONG Hui¹, YAO Min², SHAO Peng³, WANG Li⁴

(1. Changzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213000, Jiangsu; 2. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210000, Jiangsu; 3. Water Conservancy Engineering Quality Supervision Station of Yancheng City, Yancheng, Jiangsu Province, 224002; 4. Lunan Coal Chemical Industry Research Institute, Jining 272000, Shandong)

Abstract: The No. 1 Document of the Central Committee clearly put forward the “three red lines” such as limited pollutant carrying capacity of water function area, and the installation of sewage outlets into rivers was subject to more stringent restrictions and supervision. Taking the newly-built sewage outlet of Nandu Sewage Treatment Plant in Liyang City as the research object, the multi-node segmental generalization of the river under complex hydrological conditions was analyzed, and the parameters such as section concentration, design discharge and comprehensive attenuation coefficient were reasonably selected. Taking the pollutant chemical oxygen demand (COD_{Cr}) and ammonia nitrogen (NH₃-N) as examples, the one-dimensional water quality was utilized to calculate the influence of the sewage outlet on the North River and the related water

收稿日期: 2018-07-23

作者简介: 龚慧 (1990—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水质监测与评价工作。

function areas. The results showed that under the most unfavorable water quantity, the normal discharge had certain influence on the water quality of the water function area, the adjacent water function area and the downstream water function area. When the sewage was reused for 30%, the influence area was narrowed, and the water quality of the downstream adjacent water function area was basically unaffected. When the accident was occurred, the influence degree was significantly increased, and the concentrations of COD_{Cr} and $\text{NH}_3\text{-N}$ entering the drinking water source area were respectively 1.2 times and 1.4 times of the normal discharge.

Key words: piecewise method; water quality model; sewage outlet; water function area; sewage reuse

0 引言

随着近年经济快速发展,工业及生活污水排放量不断增加,污水处理压力日益加剧,新建及改扩建污水处理厂势在必行。但排污口的设置论证须充分考察所在水功能区的水质现状和纳污能力^[1-3],及建设后对受纳水体、相邻水功能区、第三者的影响^[4],在确保不踩踏“三条红线”的前提下建设和管理排污口^[5]。在实际论证工作中,水文条件往往错综复杂,通常存在多个支流口、取水口、其它排污口、考核断面等,简单的数值模型法难以全面准确地反映排污口设置对河流水质的影响^[6-9]。本文利用一维水质模型^[10-12],多节点概化,分段计算新建入河排污口对河流水质的影响,为排污口设置提供参考。

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,总面积 1535 km^2 。溧阳市境内河流均属太湖流域南溪水系,东西向干流为北河、中河、南河,南北向干流为丹金溧漕河。北河是溧阳市北部排洪、引水、航运的骨干河道;南河自西向东穿越溧阳腹部经宜兴三汊入太湖;中河自西向东横贯溧阳腹部经宜兴西汊注太湖。丹金溧漕河自北向南先后与北河、中河、南河及腹部古渎河、常州河交接,也是交通运输骨干河道。溧阳市水系情况详见图 1。

北河位于茅山山脉东南、宜溧山区以北,西起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(又名洮湖),全长 27.5 km ,汇水面积 343.3 km^2 ,每年流入长荡湖水量约为 0.37 亿 m^3 。根据北河代表站南渡水文站多年监测资料,北河多年平均水位为 3.43 m (吴淞高程),多年平均流量为 $4.74 \text{ m}^3/\text{s}$ 。



图 1 溧阳市水系概况图

2 排污口及所在水功能区

2.1 排污口状况

根据设计资料,新建南渡污水处理厂位于溧阳市南渡镇旧县新材料工业园内,服务范围为南渡镇、竹箦镇、上兴镇镇区乡镇生活污水。近期服务人口 19 万人,服务总面积近 520 km^2 。尾水排放规模为 1.5 万 t/d ,拟设计为岸边排放,排放方式为连续排放,即 $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 。排放口拟建于北河施家桥下游约 570 m 处,北河左岸, $\text{N}31^\circ 28' 51.46''$ 、 $\text{E}119^\circ 19' 7.70''$,具体位置见图 2。

污水处理工艺为改良 A^2/O 工艺,尾水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 A 标准。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^[13],

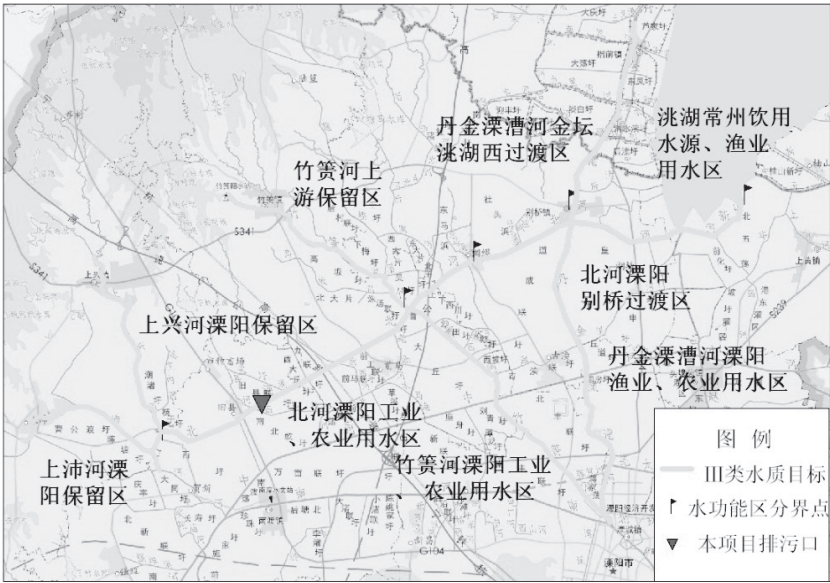


图 2 排污口及所在水功能区位置图

表 1 主要污染物进、出水浓度及污染物削减总量表图

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
污染物削减总量 (t/a)	1447.5	804.2	1233.1	160.8	26.81	160.8

确立主要污染物进、出水浓度列于表 1。

经计算,新建南渡污水处理厂将大幅度削减区域内主要水污染物,将“就近排放、漫天排放、雨污合排”的乡镇生活污水经管网收集集中处理后排放,可以较大幅度地改善乡镇地区水环境污染现状,可以大幅度削减末端受纳水体北河的污水负荷,对于改善区域内河道水环境具有积极意义。

2.2 相关水功能区及现状水质

北河西起东塘桥,东至太湖,其中东塘桥~绸缪桥段长 15.4 km,为“北河溧阳工业、农业用水区”;绸缪桥~入湖口段长 12.1 km,为“北河溧阳别桥过渡区”。2020 年水质目标均为Ⅲ类(《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002),下同)。

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。根据江苏省水环境监测中心常州分中心 2014 ~ 2016 年常规监测资料,论证范围内现状水质均达不到功能区目标水质,水环境现状不容乐观。

2.3 取水户情况

通过调查、资料收集后确定论证范围内没有

在建、拟建取水口、入河排污口。

3 节点断面浓度计算方法

据《入河排污口设置论证基本要求(试行)》,按枯水期最不利环境设计水量条件下,以数值模型法计算预测入河排污口排污对水功能区水质影响,计算各节点处断面浓度^[14]。分为正常排放、回用 30% 后排放和事故排放 3 种情况进行计算。

3.1 计算模型

根据《纳污能力计算规程》:北河河面宽约 70 m,底宽 15 m,多年平均水位为 3.43 m(吴淞基面),宽深比不大(见图 3),污染物质能在较短的时段内在断面内达到基本均匀混合,且污染物浓度在断面横向上变化不大;北河多年平均流量为 4.74 m³/s,小于 150 m³/s,属于中、小型河道,因此可选用河流一维模型计算^[10-12, 15]。

污染物浓度按式(1)计算。

$$C_x=C_0\exp(-K\frac{x}{u})$$

(1)

式中:

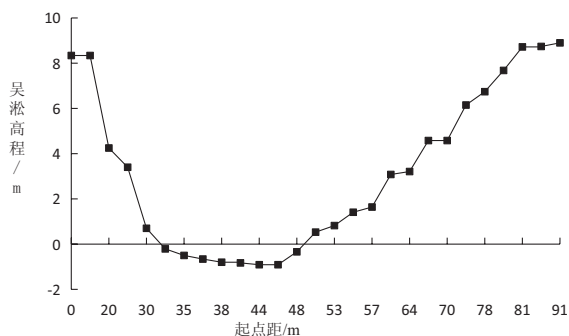


图 3 北河实测大断面图 (2016 年 8 月 18 日施测)

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/s;

排污口断面、汇流口水质浓度采用完全混合模式计算, 公式如下:

$$C_{wi} = \frac{C_{xi}Q + C_{pi}Q_{pi}}{Q + Q_p} \quad (2)$$

式中:

C_{wi} —初始断面与废污水混合后的污染物浓度, mg/L;

C_p —废污水的污染物浓度, 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;

3.2 计算河段

计算河段以入河排污口、相邻功能区交界断面及支流口为节点, 分段进行计算^[16]。

3.3 设计水文条件

采用近 10 年最枯月平均流量的均值作为设计流量^[17], 以江苏省水文水资源勘测局常州分局别桥站和南渡站多年实测资料及沿线巡测流量资

料 (2016 年 8 月 18 日施测) 为基础, 推算本项目拟设排污口段的设计流量为 0.96 m³/s。推算各口门设计流量, 见图 4。

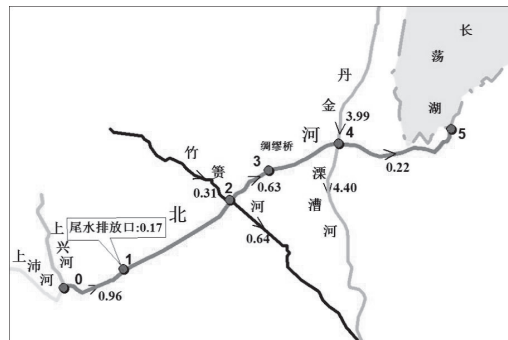


图 4 各节点设计流量图

3.4 入流断面水质浓度 (C_0) 的确定

入流断面水质浓度的初始值 C_0 以上一水功能区目标水质确定。即以 III 类标准值, COD_{Cr} 的 $C_0 = 20$ mg/L; 氨氮的 $C_0 = 1.0$ mg/L。

3.5 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, 采用经验公式^[18-20]:

COD_{Cr} 的 K 值公式: $K = 0.050 + 0.68u$

NH₃-N 的 K 值公式: $K = 0.061 + 0.551u$

计算河段设计流量、设计流速、综合衰减系数等详见表 2。

4 计算结果

4.1 正常排放

计算结果见表 3 和表 4, 结果表明: 在最不利水量条件下, 正常排放时排放口水域 COD_{Cr} 最大浓度点浓度为 24.5 mg/L, 氨氮最大浓度点浓度为 1.60 mg/L; 竹箦河与北河交汇口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为 21.2 mg/L 和 1.32 mg/L; 绸缪桥断面

表 2 河段计算参数一览表

河道	河段	计算长度 (m)	设计流量 Q (m ³ /s)	断面面积 (m ²)	设计流速 u (m/s)	COD _{Cr} 衰减 系数 (1/d)	NH ₃ -N 衰减 系数 (1/d)
北河	0~1	4400	0.96	13.8	0.0696	0.0973	0.0993
北河	1~2	8000	0.96	13.8	0.0696	0.0973	0.0993
北河	2~3	3000	0.63	12.6	0.0500	0.0840	0.0886
北河	3~4	4300	0.63	12.6	0.0500	0.0840	0.0886
北河	4~5	7800	0.22	12.2	0.0180	0.0623	0.0709

COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为 20.0 mg/L 和 1.24 mg/L ; 丹金溧漕河与北河交汇口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为 19.8 mg/L 和 1.02 mg/L; 北河入湖口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为 14.5 mg/L 和 0.71 mg/L。

由此可见, 正常排放时 COD_{Cr}、氨氮混合区对所在水功能区(北河溧阳工业、农业用水区)、相邻水功能区(竹箦河溧阳工业、农业用水区, 丹金溧漕河溧阳渔业、农业用水区)及下游水功能区(北

河溧阳别桥过渡区)水质均有一定影响, 但下游功能区出流断面水质达标, 对饮用水源区(洮湖常州饮用水水源、渔业用水区)水质无影响。

4.2 回用 30% 后排放

计算结果见表 5 和表 6, 结果表明: 在最不利水量条件下, 污水回用 30% 后排放, 排放口水域 COD_{Cr}、氨氮最大浓度点浓度相比于正常排放时, 分别下降了 4.9% 和 10.0%; 竹箦河与北河交汇口处,

表 3 正常排放下各节点断面 COD_{Cr} 浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 1 ~ 2	20	0.96	0.0696	50	0.17	24.5	0.0973	8000	21.5
						C_{2w}			C_{x3}
2 ~ 3		1.13	0.05	20	0.31	21.2	0.0840	3000	20
						C_{2w}			C_{x4}
2 ~ 4		1.13	0.05	20	0.31	21.2	0.0840	7300	18.4
						C_{4w}			C_{x5}
4 ~ 5		0.63	0.018	20	3.99	19.8	0.0622	7800	14.5

表 4 正常排放下各节点断面氨氮浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 1 ~ 2	1	0.96	0.0696	5	0.17	1.60	0.0993	8000	1.4
						C_{2w}			C_{x3}
2 ~ 3		1.13	0.05	1	0.31	1.32	0.0886	3000	1.24
						C_{2w}			C_{x4}
2 ~ 4		1.13	0.05	1	0.31	1.32	0.0886	7300	1.13
						C_{4w}			C_{x5}
4 ~ 5		0.63	0.018	1	3.99	1.02	0.0709	7800	0.71

表 5 回用 30% 后排放各节点断面 COD_{Cr} 浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 1 ~ 2	20	0.96	0.0696	50	0.12	23.3	0.0973	8000	20.5
						C_{2w}			C_{x3}
2 ~ 3		1.13	0.05	20	0.31	20.4	0.0840	3000	19.2
						C_{2w}			C_{x4}
2 ~ 4		1.13	0.05	20	0.31	20.4	0.0840	7300	17.7
						C_{4w}			C_{x5}
4 ~ 5		0.63	0.018	20	3.99	19.7	0.0622	7800	14.4

表 6 回用 30% 后排放各节点断面氨氮浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 ~ 2	1	0.96	0.0696	5	0.12	1.44	0.0993	8000	1.26
2 ~ 3		1.13	0.05	1	0.31	C2w	0.0886	3000	Cx3
						1.21			1.13
2 ~ 4		1.13	0.05	1	0.31	C2w	0.0886	7300	Cx4
						1.21			1.04
4 ~ 5		0.63	0.018	1	3.99	C4w	0.0709	7800	Cx5
						1.00			0.70

COD_{Cr} 和氨氮浓度分别下降了 3.8% 和 8.3%; 绸缪桥断面 COD_{Cr} 和氨氮浓度分别下降了 4.0% 和 8.9%; 丹金溧漕河与北河交汇口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别下降了 0.5% 和 2.0%; 北河入湖口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别下降了 0.7% 和 1.4%。丹金溧漕河交汇口断面 COD_{Cr} 和氨氮基本达到水质管理目标三类标准值。

由此可见, 回用 30% 后排放时 COD_{Cr}、氨氮混合区对所在水功能区(北河溧阳工业、农业用水区)、相邻水功能区(竹箦河溧阳工业、农业用水区)及下游水功能区(北河溧阳别桥过渡区)水质均有一定影响, 但污染物很快得到降解, 下游功能区出流断面水质达标, 对下游相邻水功能区(丹金溧漕河溧阳渔业、农业用水区)水质基本无影响, 对饮用水源区(洮湖常州饮用水水源、渔业用水区)水质无影响。

4.3 事故排放

计算结果见表 7 和表 8, 结果表明: 在最不利水量条件下, 事故排放时排放口水域 COD_{Cr}、氨氮最大浓度点浓度分别为正常排放的 2.7 倍和 3.8

倍; 竹箦河与北河交汇口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 2.3 倍和 3.4 倍; 绸缪桥断面 COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 2.3 倍和 3.4 倍; 丹金溧漕河与北河交汇口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 1.2 倍和 1.4 倍; 北河入湖口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 1.2 倍和 1.4 倍。

由此可见, 事故排放对水功能区影响显著增大, 对所在水功能区、相邻水功能区、下游水功能区及下游相邻水功能区水质均有影响。但对长荡湖饮用水源地水质无影响。

5 结论

通过采用多节点分段法计算北河新建排污口对水功能区的水质影响, 可以看出, 正常排放时 COD_{Cr} 和氨氮污染物对所在水功能区、相邻水功能区及下游水功能区水质均有一定影响, 北河入湖口处 COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为 14.5 mg/L 和 0.71 mg/L; 污水回用 30% 后排放影响程度降低, 影响范围缩

表 7 事故排放下各节点断面 COD_{Cr} 浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 1 ~ 2	20	0.96	0.0696	320	0.17	65.1	0.0973	8000	57.2
2 ~ 3		1.13	0.05	20	0.31	C2w	0.0840	3000	Cx3
						49.2			46.4
2 ~ 4		1.13	0.05	20	0.31	C2w	0.0840	7300	Cx4
						49.2			42.7
4 ~ 5		0.63	0.018	20	3.99	C4w	0.0622	7800	Cx5
						23.1			16.9

表 8 事故排放下各节点断面氨氮浓度计算表

节点	C_0 (mg/L)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	C_p (mg/L)	Q_p (m ³ /s)	C_w (mg/L)	K (1/d)	x (m)	C_{x2} (mg/L)
排放口 ~ 2	1	0.96	0.0696	35	0.17	6.12	0.0993	8000	5.36
2 ~ 3		1.13	0.05	1	0.31	C2w	0.0886	3000	Cx3
						4.42			4.16
2 ~ 4		1.13	0.05	1	0.31	C2w	0.0886	7300	Cx4
						4.42			3.81
4 ~ 5		0.63	0.018	1	3.99	C4w	0.0709	7800	Cx5
						1.38			0.97

小,对下游相邻水功能区水质基本无影响,北河入湖口处 COD_{Cr} 和氨氮浓度分别下降了 0.7% 和 1.4%;事故排放时影响程度显著增大,北河入湖口处, COD_{Cr} 和氨氮浓度分别为正常排放的 1.2 倍和 1.4 倍。因此考虑到北河及相关水功能区现状水质多未达标,应鼓励污水回用,减少排放量,并多方位采取措施加强流域水资源管理,改善河流水质,腾出纳污能力,同时应强化管理,防范并杜绝污水处理厂事故排放,以保障人民群众生活、生产和生态用水安全。

参考文献:

[1] 石秋池.关于水功能区划[J].水资源保护,2002(03):58-59.

[2] 李红亮,王树峰.不同设计水文条件下河北省水功能区纳污能力研究[J].南水北调与水利科技,2010,8(3):68-70.

[3] 路雨,苏保林.河流纳污能力计算方法比较[J].水资源保护,2011,27(04):5-9.

[4] 罗慧萍,逢勇,徐心彤.江苏省太湖流域水功能区纳污能力及限制排污总量研究[J].环境工程学报,2015,9(04):1559-1564.

[5] 刘昕宇,刘胜玉,李建民,等.珠江三角洲重点入河排污口污染物分析与评价[J].水资源保护,2013,29(04):36-39.

[6] 于术桐,黄贤金,程绪水,等.国内外入河排污口管理经验及其对比研究[J].环境污染与防治,2012,34(10):105-109.

[7] 柯盛,赵利容,孙省利.湛江湾陆源入海排污口海域 PAHs 分布特征及来源[J].海洋环境科学,2014,33(01):71-77.

[8] 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):59-61.

[9] 柴洁.国内外入河排污口管理研究进展[J].长江科学院院报,2014,31(08):35-40.

[10] 林金. MIKE11 模型在台州市区河网纳污能力计算中的应用[J].浙江水利水电学院学报,2014,26(1):13-18.

[11] 朱茂森.基于 MIKE11 的辽河流域一维水质模型[J].水资源保护,2013,29(03):6-9.

[12] 张家鸣,刘继艳.基于一维水动力水质模型的纳污能力分段核定研究—以江门市江海区礼乐河为例[J].人民珠江,2017,38(07):85-88.

[13] 张灿,陈虹,余忆玄,等.我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析[J].环境科学,2013,34(04):1345-1350.

[14] 付铭韬.蟒河水功能区水质监测及入河排污口调查分析[J].人民黄河,2011,33(07):64-66.

[15] 刘晓东,华祖林,谢增芳,等.一维河流水质模型多参数识别的反演优化通用算法[J].水力发电学报,2012,31(02):122-127.

[16] 张晓,罗军刚,陈晨,等.基于动态规划的河流纳污能力优化计算[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(10):218-224.

[17] 王涛,彭昆国,陈宏文,等.袁河流域水环境容量分析的设计水文条件计算[J].水文,2012,32(04):22-26.

[18] 冯帅,李叙勇,邓建才.太湖流域上游平原河网污染物综合衰减系数的测定[J].环境科学学报,2017,37(03):878-887.

[19] 王晓青.三峡工程蓄水对澎溪河回水区 COD_(Mn)、NH₃-N 和 TP 综合衰减系数的影响[J].安全与环境学报,2015,15(01):325-329.

[20] 朱晓娟,沈万斌,高凯,等.吉林省松花江干流氨氮综合衰减系数分段研究[J].科学技术与工程,2013,13(10):2758-2761.