

南通港闸区污水处理厂尾水排放对水环境的影响

杨柳俊

(南通水文水资源勘测局,江苏 南通 226006)

摘要 采用水量、水质数学模型,通过数值模拟预测,计算分析了南通港闸区污水处理厂尾水排放对长江水环境的影响范围和程度。达标排放时,污染不明显,影响较小,而在事故排污时,南通水厂取水口水质由Ⅲ类变为Ⅳ类。

关键词 污水处理厂 尾水 长江 水环境 水污染

中图分类号 X522 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2004)06-0052-04

南通港闸区位于江苏省南通市城区西北侧,地处长江入海口北岸,南枕万里长江、北临苏北平原。现有的污水处理厂兴建于 1994 年,运行能力为 0.335 万 t/d。随着区内经济的高速发展,目前该污水处理厂已处于满负荷运转状态,港闸区内还有大量工业、生活废水不能接入污水处理厂集中处理。由于受区内水环境容量限制以及存在超标排放的问题,港闸区内水体呈恶化趋势,部分水体污染十分严重,区内各河道水质均达不到Ⅲ类水功能区划要求。为改善港闸区水环境质量,促进招商引资,推动社会、经济的可持续发展,南通市港闸区政府部门根据南通市总体规划和港闸区分区规划,拟在原污水处理厂外围征地 5 万 m²,扩建 2.5 万 t/d 污水处理厂。采用上海同济大学设计的催化还原内电解→MBBR→硅藻土处理工艺方案,即先将污水进行催化还原内电解处理,提高污水的可生化性,然后采用 MBBR (Moning-Bed Biofilm Reactor 悬浮载体生物膜反应池,又称移动床生物膜反应池)主体处理工艺,最后采用硅藻土进行深度处理。尾水达到 GB 8978—1996《污水综合排放标准》表 4 中的污水处理厂一级排放标准后排入长江。原污水处理厂在本扩建工程建成投运后停止运行。

1 水环境现状评价

港闸区污水处理厂排污口设置位置处于长江南通天生港工业、饮用水源区,该水功能区自南通九圩港船闸起,至南通燃料公司码头,全长 10.91 km。江苏省南通水文水资源勘测局在该江段近岸设有 4 个水质监测断面,采样点距岸 100 m 左右,每年分别于

3、6、8、11 月例行监测一次。主要监测项目有 pH 值、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、COD_{Mn}、DO、TP、FN、Cr⁶⁺、NO₃-N、氰化物、As、氯化物等。此外在狼山龙爪岩处还设有国控水质监测站点(距岸 200 m 左右),监测频率为 1 次/月。2002 年 10 月~2003 年 10 月期间,采样分析的水质资料见表 1。

根据《江苏省地表水(环境)功能区划》,长江南通市区段(南通九圩港船闸—通州港区共 34.48 km),近岸(200 m 内)水质执行 GB 3838—2002《地表水环境质量》中的Ⅲ类水标准,200 m 外执行Ⅱ类水标准。将表 1 中所有分析项目全部作为评价因子,以 GB 3838—2002《地表水环境质量》中的Ⅲ类水质标准作为评价标准,进行单因子评价,则所有指标全部达标,即长江评价段近岸符合Ⅲ类水功能区划要求。又根据狼山龙爪岩国控水质监测站点监测成果和 2002 年南通市环境保护局《南通市环境状况公报》中的水环境状况结论,表明长江南通段中泓各项水质指标年均值均符合国家地表水环境质量Ⅱ类水标准,总体水质较好。

2 污水处理厂尾水排放对长江评价段水环境的影响分析

2.1 水环境保护重点和评价范围的确定

水环境保护的重点为南通港闸区污水处理厂长江排污口上游的芦泾港水厂和下游的南通港水厂取水水源地。根据南通市供水规划,这两个水厂取水规模均为 5 万 t/d,主要用作调节港闸区管网压力。由此确定水环境评价范围为自港闸区污水处理厂长江排污口上游 2.5 km 的芦泾港水厂取水口起至下游

表 1 长江评价段水质监测结果

mg·L⁻¹

断面名称	pH 值	DO	COD _{Mn}	COD _{Cr}	NH ₃ -N	BOD ₅	TP	FN	氰化物	Cr ⁶⁺	As	氯化物	NO ₃ -N
九圩港船闸 (1# 断面)	7.7~ 8.2	6.4~ 8.5	3.0~ 5.0	9.1~ 11.5	0.41~ 0.52	2.6~ 3.5	0.03~ 0.06	0.001*	0.002*	0.002*	0.003*	8.4~ 17.9	0.25~ 0.71
芦泾港水厂 (2# 断面)	7.7~ 8.1	6.5~ 8.5	2.8~ 4.8	8.5~ 9.0	0.38~ 0.41	2.2~ 3.6	0.03~ 0.06	0.001*	0.002*	0.002*	0.003*	8.2~ 17.5	0.36~ 0.51
污水处理厂 (3# 断面)	7.7~ 8.3	6.1~ 8.1	3.9~ 5.9	10.0~ 16.5	0.53~ 0.87	3.0~ 4.1	0.04~ 0.10	0.001*	0.002*	0.002*	0.003*	8.5~ 18.2	0.41~ 1.12
南通港水厂 (4# 断面)	7.7~ 8.0	6.2~ 8.1	4.1~ 5.6	9.8~ 10.2	0.47~ 0.65	2.9~ 3.9	0.05~ 0.10	0.001*	0.002*	0.002*	0.003*	8.9~ 19.2	0.50~ 0.80
狼山龙爪岩 (5# 断面)	7.8~ 8.2	6.6~ 8.7	2.5~ 4.0	6.5~ 10.5	0.06~ 0.50	2.5~ 3.0	0.03~ 0.05	0.001*	0.002*	0.002*	0.003*	8.8~ 20.1	0.16~ 0.40
Ⅲ类水标准值 (GB 3838—2002)	6~ 9	≥5	≤6	≤20	≤1.0	≤4	≤0.2	≤0.005	≤0.2	≤0.05	≤0.05	≤250	≤10

注 带 * 的项目均为未检出,所填数据为检出限的 1/2。

2.2 km 南通港水厂取水口,全长 4.7 km 的长江水域。

2.2 评价因子、评价标准的确定

根据长江南通段水域功能及水质现状等因素,确定影响评价因子为 COD_{Cr}、NH₃-N 和 COD_{Mn}。依据《江苏省地表水(环境)功能区划》,评价江段近岸水质执行 GB 3838—2002《地表水环境质量》中的Ⅲ类水标准。

2.3 计算模型

长江南通江段的江面宽阔、宽深比很大,排放的污染物在短距离内可达到垂向均匀混合,而达到横向均匀混合需要很长距离。因此,水流运动及物质输送方程可采用深度平均二维模型来描述。同时,由于该江段河岸边界不规则,因此采用边界拟合正交曲线坐标系统比较合适,在该坐标系统下的二维深度平均水量、水质方程如下。

2.3.1 基本方程

水流方程：

$$\begin{aligned} &\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial(g_\eta HU)}{\partial \xi} + \frac{\partial(g_\xi HV)}{\partial \eta} \right] = 0 \\ &\frac{\partial(HU)}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial(g_\eta HUU)}{\partial \xi} + \frac{\partial(g_\xi HUV)}{\partial \eta} \right] + \\ &\quad \frac{HV}{J} \left[U \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} - V \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} \right] = \\ &\quad - \frac{Hg}{g_\xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial(g_\eta H\sigma_{\xi\xi})}{\partial \xi} + \frac{\partial(g_\xi H\sigma_{\eta\xi})}{\partial \eta} + \right. \\ &\quad \left. H\sigma_{\xi\eta} \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} - H\sigma_{\eta\eta} \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} \right] + \frac{\tau_{s\xi} - \tau_{b\xi}}{\rho} + fHV \\ &\frac{\partial(HV)}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial(g_\eta HVU)}{\partial \xi} + \frac{\partial(g_\xi HVV)}{\partial \eta} \right] + \\ &\quad \frac{HU}{J} \left[V \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} - U \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} \right] = \\ &\quad - \frac{Hg}{g_\eta} \frac{\partial Z}{\partial \eta} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial(g_\eta H\sigma_{\xi\eta})}{\partial \xi} + \frac{\partial(g_\xi H\sigma_{\eta\eta})}{\partial \eta} + \right. \end{aligned}$$

$$H\sigma_{\eta\xi} \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} - H\sigma_{\xi\xi} \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} \Big] + \frac{\tau_{s\eta} - \tau_{b\eta}}{\rho} - fHU$$

水质方程：

$$\begin{aligned} &\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (g_\eta HUC) + \frac{\partial}{\partial \eta} (g_\xi HVC) \right] = \\ &\quad \frac{1}{J} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(HD_\xi \frac{g_\eta}{g_\xi} \frac{\partial C}{\partial \xi} \right) - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(HD_\eta \frac{g_\xi}{g_\eta} \frac{\partial C}{\partial \eta} \right) \right] - \\ &\quad \kappa_1 HC + S_c \Big) \end{aligned}$$

式中：Z 为水位；H 为水深；U、V 为 ξ、η 方向流速分量；g 为重力加速度；f 为科氏力系数；ρ 为水的密度； $\sigma_{\xi\xi}$ 、 $\sigma_{\xi\eta}$ 、 $\sigma_{\eta\xi}$ 、 $\sigma_{\eta\eta}$ 分别为 ξ、η 方向的紊动应力分量； $\tau_{s\xi}$ 、 $\tau_{s\eta}$ 、 $\tau_{b\xi}$ 、 $\tau_{b\eta}$ 分别为水面及河底的切应力分量；J、 g_ξ 、 g_η 为坐标变换系数。

2.3.2 定解条件

a. 边界条件

水流条件 岸边界 U = V = 0 冰边界,上游潮位

过程 Z₁(t)、下游潮位过程 Z₂(t)、 $\frac{\partial U}{\partial \xi} = \frac{\partial Z}{\partial \xi} = 0$ 。

浓度边界 岸边界, $\frac{\partial C}{\partial \eta} = 0$ 冰边界,入流边界 C

= C₀(0, η)、出流边界 $\frac{\partial C}{\partial \xi} = 0$ 。

b. 初始条件

Z(ξ, η, 0) = Z₀(ξ, η) ; U(ξ, η, 0) = U₀(ξ, η) ; V(ξ, η, 0) = V₀(ξ, η) ; C(ξ, η, 0) = C₀(ξ, η)。

2.3.3 参数选择

①曼宁糙率 n 在计算过程中调整修正,约 0.02。② $f = 2\Omega \sin \phi$, Ω 为地球转动角速度,φ 为计算水域地理纬度。③紊动混合系数：η 方向的混合系数 D_η = 0.5HU*；ξ 方向的混合系数 D_ξ = 6.0HU*。其中 U* 为摩阻流速。④水质衰减系数 K,采用南通水文水资源勘测局 2001 年对长江南通段的实测率定结果, K_{COD_{Cr}} 为 0.211/d, K_{COD_{Mn}} 参照

$K_{\text{COD}_{\text{Cr}}}$, $K_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为 0.131/d。

2.3.4 数值求解

上述二维水流、水质模型的基本方程都可表达成统一的对流扩散方程,采用有限控制体积法离散基本方程,并用 SIMPLE 方法及交错网格技术,进行数值迭代求解计算。

2.4 预测计算的设计条件

a. 水量条件。根据大通站 1959 ~ 1996 年实测最小月平均流量系列,经频率分析计算,得到 90% 保证率的最小月平均流量为 7 580 m³/s,由于大通站 1979 年 1 月平均流量接近该流量值,因此选用天生港 1979 年 1 月潮位过程作为相应的设计潮位过程。

b. 水质条件。以评价江段实测水质最大浓度作为设计现状浓度。

c. 污染源条件。污水处理厂扩建后,以其满负荷运行计算,排放污水量约 2.5 万 t/d,正常尾水排放水质根据设计指标 (COD_{Cr} 质量浓度 60 mg · L⁻¹, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度 15 mg · L⁻¹) 预测,事故尾水排放的水质按设计进水水质指标考虑 (COD_{Cr} 质量浓度为 500 mg · L⁻¹,设计进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度根据 2002 年南通市区污水处理厂实际运行分析数据确定为 30 mg · L⁻¹),同济大学采样试验表明南通港闸区污水处理厂设计的污水处理工艺,其 COD_{Cr} 去除率在 88% 以上, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率 50% 以上,即在设计进水条件下,尾水可达到污水综合排放一级排放标准。目前对 COD_{Cr} 和 COD_{Mn} 相关性的研究报道较多,研究表明在一定的水污染时期,水质类型较稳定时 COD_{Cr} 和 COD_{Mn} 之间存有某种程度的相关关系,南通港闸区污水处理厂主要接纳港闸区内印染、化工、电子等企业的生产废水,由于水质类型比较复杂,废水一般只分析 COD_{Cr} 项目,因此只能参考其他地区的相关成果来初步推算 COD_{Mn} 值。本文采用文献[1] 对数线性回归方程进行推算,得计算设计源强见表 2。

表 2 影响预测计算的设计源强

排放方式	污染物名称	处理效率 / %	出水(排入长江)	
			质量浓度/(mg·L ⁻¹)	源强/(g·s ⁻¹)
正常达标排放	COD_{Cr}	88	60	17.36
	$\text{NH}_3\text{-N}$	50	15	4.34
	COD_{Mn}	88	10.5	3.07
事故超标排放	COD_{Cr}	0	50	144.70
	$\text{NH}_3\text{-N}$	0	3	8.68
	COD_{Mn}	0	26	75.20

注 : $\text{COD}_{\text{Cr}} = 12.651 \text{ COD}_{\text{Mn}}^{0.6624}$, 相关系数 $r = 0.8082$ 。

2.5 预测计算结果

2.5.1 正常达标排放工况下的影响分析

在正常达标排放、大小潮涨落潮期间,排放口附近 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 COD_{Mn} 的污染带预测长度见表 3。

预测污染带对上、下游水厂取水源地的影响见表 4。

表 3 正常达标排放时混合区长度

评价因子	混合区边界质量浓度/(mg·L ⁻¹)	潮型	混合区范围/m			混合区离上下游取水口距离/m	
			上游	下游	宽度	上游	下游
COD_{Cr}	20	大潮	10	20	10	2 490	2 180
		小潮	20	40	20	2 480	2 160
$\text{NH}_3\text{-N}$	1.0	大潮	60	90	30	2 440	2 110
		小潮	100	130	50	2 400	2 070
COD_{Mn}	6.0	大潮	30	40	40	2 470	2 160
		小潮	80	100	45	2 420	2 100

表 4 正常达标排放时对上、下游水源地的影响

预测断面	影响贡献值/(mg·L ⁻¹)			叠加背景值/(mg·L ⁻¹)			水质评价类别
	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	
芦泾港水厂取水断面	0.00 ~ 0.25	0.00 ~ 0.09	0.00 ~ 0.08	9.00 ~ 9.25	0.41 ~ 0.50	4.8 ~ 4.9	Ⅲ
南通港水厂取水断面	0.02 ~ 0.62	0.01 ~ 0.15	0.00 ~ 0.12	10.22 ~ 10.82	0.66 ~ 0.80	5.6 ~ 5.7	Ⅲ

2.5.2 事故排放工况下的影响分析

事故排放工况指污水处理厂因受自然灾害、机械、电力故障影响或者企业高负荷未达标污水冲击影响等因素,造成污水处理设施不能正常运转。预测源强以污水处理厂设计进水指标计(表 2)。预测分析结果见表 5 和表 6。

表 5 事故排放工况时混合区长度

评价因子	混合区边界质量浓度/(mg·L ⁻¹)	潮型	混合区范围/m			混合区离上下游取水口距离/m	
			上游	下游	宽度	上游	下游
COD_{Cr}	20.0	大潮	60	120	70	2 440	2 080
		小潮	90	300	90	2 410	1 900
$\text{NH}_3\text{-N}$	1.0	大潮	100	300	60	2 400	1 900
		小潮	200	500	80	2 300	1 700
COD_{Mn}	6.0	大潮	600	1 900	100	1 900	300
		小潮	1 200	2 800	190	1 300	

表 6 事故排放工况时对上、下游取水源的影响

预测断面	影响贡献值/(mg·L ⁻¹)			叠加背景值/(mg·L ⁻¹)			水质评价类别
	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Mn}	
芦泾港水厂取水断面	0.00 ~ 2.10	0.00 ~ 0.15	0.00 ~ 0.92	9.00 ~ 11.10	0.41 ~ 0.56	4.8 ~ 5.7	Ⅲ
南通港水厂取水断面	0.13 ~ 4.70	0.02 ~ 0.38	0.03 ~ 2.95	10.33 ~ 14.90	0.67 ~ 1.03	5.9 ~ 8.6	Ⅳ

3 结论与建议

采用深度平均二维模型,预测污水排放对评价江段的影响有两种情况。南通港闸区污水处理厂尾水达标排放时,对长江评价段影响较小,上游芦泾港

水厂取水口和下游南通港水厂取水口污染不明显,叠加背景值后,评价江段的近岸仍能达到Ⅲ类水功能区划要求。而在事故排污时,对长江评价段将造成污染,在排水口上、下游近岸会有明显污染区域(劣于Ⅲ类水质),上、下游取水口水源保护区内水质也会受到显著影响,其中南通港水厂取水口水质由Ⅲ类变为Ⅳ类。为了切实保护长江水环境,使长江评价段达到功能区划要求,建议地方水行政主管部门、环境保护主管部门以及南通市港闸区污水处理厂等相关部门,采取以下主要措施:①强化长江各水功能区的管理,加强对排污口水质、水量以及所在水功能区的水质状况监测与分析,依法行政,确保功能区水质达到相应标准。②各有关部门需对水源地采

取有效的保护措施,划定水源地保护区范围,实施区域污染物排放总量控制。③南通港闸区污水处理厂在设计时需考虑采取未达标回路处理分流系统,将未达标尾水收回污水厂内再处理,杜绝事故性排污,确保尾水达到一级排放标准。④南通港闸区污水厂在技术条件可能的情况下,应尽量将排污口伸入江中,采用深水混合排放方式,同时完善排水口消力坎设计与施工,做好河床与江堤边坡的维护工作。

参考文献:

[1] 贾利,金立新,万一. 淮河流域污废水 COD_{Cr} 与 COD_{Mn} 相关性研究[J]. 水资源保护,1998(4): 24~27.
(收稿日期 2003-08-25 编辑 舒建)

(上接第 48 页)

地区最完整、最广阔的湿地生态系统,艾里湖、大芦湖是因黄河引水而形成的湿地生态系统,均是许多候鸟栖息的地方,由于黄河断流,水源短缺,致使其湿地生态系统失去天然蓄水库,生态系统的脆弱性更为突出,严重影响珍贵生物物种资源的分布和栖息环境^[4]。

6 地表水资源利用中的主要问题

6.1 有效利用率不高

山东省地表水资源利用率不高,主要表现在两个方面:一是地表水拦蓄利用率低。全省入海河流 300 多条,除黄河外,年入海水量约 113.5 亿 m^3 。一般年份全省地表水拦蓄利用量仅 80 亿 m^3 ,占地表水资源量的 30%。二是地表水资源浪费比较严重。受输水工程和用水技术的限制,山东省农业灌溉水利用系数仅为 0.45 左右,工业用水重复利用率全省平均为 50% 左右,万元产值取水量为 481 m^3 ,有些城市达 500~800 m^3 ,水资源浪费问题比较突出。

6.2 引黄泥沙问题比较突出

目前山东省已有 11 个城市的 68 个县(市、区)使用黄河水,引黄灌溉面积近 84 万 hm^2 。1958~1990 年间,全省共引黄河水约 1507 亿 m^3 ,引进泥沙约 22.86 亿 t。这些泥沙的 46.2% 分布在沉沙区,38.5% 分布在各级渠系,8.8% 进入田间,6.5% 下泄排水系统^[5]。

引黄泥沙对生态环境的不利影响是:①沉沙区的泥沙常引起风沙灾害。自复灌以来至 1990 年,全省开辟沉沙区 4 万 hm^2 ,累计沉沙约 8.13 亿 m^3 ,50% 以上的面积出现不同程度的沙化现象。大量的粗颗粒泥沙集中堆积在沉沙区中,形成沙丘和沙垄,

在干燥多风的春冬季节,风吹沙扬,沙土迁移,形成风沙灾害,其影响范围达 2~3 km。②输水渠清淤弃土占压大量耕地,引起土壤沙化。至 1990 年全省累计清淤达 5 亿 m^3 左右,按平均堆高 4 m 计,则占农田 1.3 万 hm^2 左右。③排水河道淤积。资料表明,进入骨干河道的引黄泥沙占同期河道总淤积量的 40% 左右,影响了防洪除涝。

参考文献:

[1] 王仁卿,周光裕. 山东植被[M]. 济南:山东科学技术出版社,2000. 217~225.
[2] 田家怡,慕金波,王安德. 山东小清河流域水质污染问题与水质管理研究[M]. 东营:石油大学出版社,1996. 128.
[3] 济宁市科学技术委员会. 南四湖自然资源调查及开发利用研究[M]. 济南:山东科学技术出版社,1987. 162.
[4] 张高生,王立成,刘大胜. 黄河三角洲自然保护区生物多样性及其保护[J]. 农村生态环境,1998,14(4): 16~18.
[5] 王文林. 黄河泥沙[M]. 郑州:黄河水利出版社,1996. 115.
(收稿日期 2003-03-20 编辑 舒建)

