

长江泰州段水域纳污能力研究分析

王胜艳¹ 王为攀² 黄勇¹

(1. 江苏省水文水资源勘测局泰州分局, 江苏 泰州 225300;

2. 江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225321)

【摘要】 研究水域纳污能力可以为水资源保护和水环境管理提供决策依据。本文根据长江泰州段水功能区分布的实际情况,分析水域纳污能力,结果表明:长江泰州段对化学需氧量的纳污能力为 36977t/a,对氨氮的纳污能力为 1908t/a。

【关键词】 水域; 纳污能力; 分析

中图分类号: TV212.5

文献标识码: A

文章编号: 2096-0131(2017)02-0029-04

Study and analysis on water pollution receiving capacity in Yangtze River Taizhou Section

WANG Shengyan¹, WANG Weipan², HUANG Yong¹

(1. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau Taizhou Branch, Taizhou 225300, China;

2. Jiangsu Taizhou River Diversion Management Office, Taizhou 225321, China)

Abstract: Research on water pollution receiving capacity can provide decision-making basis for protecting water resources and managing water environment. In the paper, the water pollution receiving capacity is analyzed according to practical condition of water function zone distribution in Yangtze River Taizhou Section. The result shows that the pollution receiving capacity of chemical oxygen demand is 36977t/a and the pollution receiving capacity of ammonia nitrogen is 1908t/a in Yangtze River Taizhou Section.

Key words: water; pollutant receiving capacity; analysis

水域纳污能力是指在设计水文条件下,某种污染物满足水功能区水质目标要求所能容纳的该污染物的最大数量。本文根据长江泰州段水功能区分布情况及使用功能,研究该水域的纳污能力,为该江段水资源保护和水环境管理提供决策依据。

1 研究水域概况

1.1 长江泰州段概况

长江泰州段西起泰州新扬湾港,东至靖江的长江农场,河道弯曲、汉道众多、顺直多变,干流总长约 96km。该江段属长江河口感潮河段,河川径流受上游

来水和下游潮汐影响,水流特性位于潮流界与潮区界之间,每日两涨两落,常年以顺流为主。长江泰州段水流运动特点则既受制于多变的地形条件,又受径流动力和潮汐动力的双重作用,是长江下游河道水流特性极其复杂的一个典型河段。

1.2 水功能区划

根据《江苏省地表水环境功能区划》,长江泰州段共划分了 13 个水功能区,总河长 95.60km,其中保护区 1 个,保留区 3 个,饮用水源区 2 个,过渡区 2 个,工业、农业用水区 5 个,2020 年水质目标为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 II 类标准(见表 1)。

表1 长江泰州段水功能区划分情况

序号	水功能区划	起止位置	长度/km
1	长江泰州调水水源保护区	泰州引江河口上游2km—泰州引江河口下游1.4km	3.4
2	长江泰州高港工业、农业用水区	泰州引江河口下游1.4km—龙窝口	3.4
3	长江泰州口岸永安过渡区	龙窝口—幸福闸	1
4	长江泰州永安饮用水源区	幸福闸—北沙	4.1
5	长江泰州工业、农业用水区	北沙—芦坝港	15.3
6	长江泰兴天星洲保留区	芦坝港—七圩港	10.8
7	长江泰兴七圩、夹港工业、农业用水区	七圩港—夹港口	11
8	长江靖江六圩保留区	夹港口—下六圩	10.3
9	长江靖江下六圩小桥闸工业、农业用水区	下六圩—小桥闸	9.5
10	长江靖江小桥过渡区	小桥闸—野漕闸	1.8
11	长江靖江虬蜆港饮用水源区	野漕闸—罗家桥闸	2.8
12	长江靖江夏仕港工业、农业用水区	罗家桥闸—夏仕港下游1km	11.2
13	长江靖江夏仕港保留区	夏仕港下游1km—泰通交界四号港	11

2 水域纳污能力分析

2.1 计算指标

根据长江泰州段水质现状,水域纳污能力计算指标为化学需氧量和氨氮。

2.2 计算原则

2.2.1 四类水功能区水域纳污能力

保留区、保护区、饮用水源区及过渡区水域,这四类水功能区水质目标原则上是维持现状水质不变且无点源污染,其纳污能力因与现状污染负荷相同,因此,直接采用现状面源污染入河量作为其水域纳污能力。

2.2.2 其他水功能区纳污能力

其他水功能区以工业和农业用水为主,需要根据该江段水动力特征和实际情况建立二维非稳态水量—水质数值模型,以模型计算结果作为水域纳污能力。因长江岸线较长,需要将相应水功能区的限定长度范围作为排污混合带,在该范围内允许水质超标,在该长度以外则水质达标,本次计算排污混合带长度取相应水功能区10%的长江岸线长度。

2.3 现状污染物入河量

现状污染物入河量是指人类的生产、生活活动所产生的污染物进入地表水体的总量,包括点源污染和面源污染。

点源现状资料来源为调查监测的资料。为便于模型模拟,本次计算将排污口概化。根据长江泰州段沿

线的工业污染源、主要入江支流排污口分布情况,将距离较近的几个排污口概化为一个排污口,概化后的排污口位置居中,确保排污口的总体分布格局保持不变。

面源通过现状调查分析计算得出。根据泰州市统计年鉴中人口、耕地面积、畜牧业生产情况等相关资料及调查得到的资料,参考中国环境规划院提出的排污系数范围,采取排污系数法计算得到各水功能区的面源污染物产生量及入河量。

2.4 二维非稳态水流—水质数值模型的建立和验证

计算水域内工业、农业和渔业用水区的水域纳污能力,需要建立二维非稳态水流—水质数值模型,用以模拟水体的水流过程和相应的污染物输运扩散过程,得到相应水功能区10%的长江岸线长度为排污混合带的水域纳污能力。

2.4.1 模型基本方程和求解方法

2.4.1.1 水量模型

a. 基本方程。

连续方程:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(Hu)}{\partial t} + \frac{\partial(Huu)}{\partial x} + \frac{\partial(Huv)}{\partial y} \\ & = fHv - gH \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{gu}{c^2} \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(Hv)}{\partial t} + \frac{\partial(Huv)}{\partial x} + \frac{\partial(Hvv)}{\partial y} = -fHu - gH \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{gv \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2} \quad (3)$$

式中 x, y ——水平方向纵向、横向坐标;
 u, v —— x, y 方向平均流速分量;
 H ——全水深,即水底到水面的距离;
 ξ ——水位;
 f ——柯氏力系数;
 g ——重力加速度;
 c ——谢才系数,即 $c = \frac{1}{n} H^{\frac{1}{6}}$ 。

b. 求解方法。由于计算区域边界弯曲,为不规则边界,故采用边界拟合坐标技术对模拟区域进行坐标变换。坐标变换后可将 $X-Y$ 平面上不规则的物理区域变换为坐标系下的矩形区域。变换关系如下:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} &= P \\ \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} &= Q \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 P, Q ——调节函数。

$\xi-n$ 坐标系下的水动力方程为

$$\left. \begin{aligned} z_t + \frac{1}{J}(h \cdot (y_\eta u - x_\eta v))_\xi + (h \cdot (-y_\xi u + x_\xi v))_\eta &= q \\ u_t + \frac{1}{J}(y_\eta u - x_\eta v)u_\xi + \frac{1}{J}(-y_\xi u + x_\xi v)u_\eta \\ + \frac{1}{J}g(z_\xi y_\eta - z_\eta y_\xi) - fv + gn^2 \sqrt{\frac{u^2 + v^2}{h^{4/3}}}u &= 0 \\ v_t + \frac{1}{J}(y_\eta u - x_\eta v)v_\xi + \frac{1}{J}(-y_\xi u + x_\xi v)v_\eta \\ + \frac{1}{J}g(-z_\xi x_\eta + z_\eta y_\xi) + fu + gn^2 \sqrt{\frac{u^2 + v^2}{h^{4/3}}}v &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, $J = x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi$ 。

用有限体积法对变换后的式(5)进行离散,采用交错网格技术,用 ADI 法对方程组进行数值求解,计算得到各个控制节点的水位、垂线平均流速。

2.4.1.2 水质模型

a. 基本方程:

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HuC)}{\partial x} + \frac{\partial(HvC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(HD_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(HD_y \frac{\partial C}{\partial y}) + S_c \quad (6)$$

式中 C ——污染物浓度;

D_x, D_y —— x, y 方向浓度扩散系数;

S_c ——污染源强。

b. 求解方法。将式(6)变换为 $\xi-\eta$ 正交曲线坐标系下的对流分散方程。采用有限体积法离散控制方程,并进行数值求解,得到各个控制节点的浓度数值。

2.4.2 模型计算区域和网格布置

长江泰州段上游为镇扬河段,长江主流出和畅洲汉道进入大港水道后水流较稳定,这为研究水域提供一个稳定的入流的条件。为计算水域一个稳定的入流条件。因此,本次计算区域上游选择镇扬河段的瓜州,下游选择长江农场,全长约 150km。

计算水域采用三角形网格布置,较正交曲线更贴合长江河道天然岸线边界。通过求解 Poisson 方程,计算区域概化为计算网格 19512 个,节点 10214 个,网格单元的边长约为 120m。

2.4.3 计算时段

非稳态二维水量-水质数值计算模型采用显式计算方法。根据计算区域划分的网格单元大小,考虑水流和水质的不同计算特征,水流模拟计算时步长为 0.5s,而水质计算步长为 10s。

2.4.4 计算条件和参数确定

2.4.4.1 水文设计条件

根据大通站多年长系列水文资料,选取多年实测最小月平均流量作为统计样本,采用频率分析法,得到 90% 保证率的枯水设计流量为 8040m³/s,与典型大潮构成组合方案,作为水质预测的设计水文条件。大通水文站 1980 年 1 月的平均流量为 8150m³/s,接近于该流量值。因此确定以 1980 年 1 月为计算典型月。

流量及水位边界条件是: $Q = Q_0, Z = Z_0$,即上边界给定流量过程,下边界给定水位过程。由于计算区域与大通站间区间入流量相对较小,故以大通站最小月平均流量作为一维水流模拟的上边界条件,用下游潮位站的同步潮位过程作为下边界条件,经一维水动力数学模型模拟后得到计算区域二维水动力数学模型的上下游边界的潮位变化过程,并以此作为设计边界条件。

2.4.4.2 水质设计条件

根据江苏省水环境监测中心泰州分中心自 2005 年 1 月至 2015 年 12 月长江泰州段水质监测断面的实

测数据,化学需氧量和氨氮的平均监测质量浓度分别是小于15mg/L、0.302mg/L。考虑不利影响,水质设计条件为化学需氧量15mg/L、氨氮0.302mg/L。

浓度场边界条件为:入流边界所有节点浓度增量为0;出流边界采用第二类边界条件,即浓度增量的法向导数为0。

2.4.4.3 初始条件

初始时刻计算区域水位取下游边界水位,其流速、浓度增量取0。

2.4.4.4 计算参数

综合考虑计算区域地形、水生植物等其他因素的影响,结合长江江苏段的水动力研究成果,长江泰州段糙率取值0.020~0.022;柯氏力系数 $f = 7.37 \times 10^{-5}$;分散系数选用公式 $E_x = \alpha_x hu^*$, $E_y = \alpha_y hu^*$,其中 α_x 取为6, α_y 取为0.60,得到纵向及横向扩散系数分别取为 $120\text{m}^2/\text{s}$ 、 $0.60\text{m}^2/\text{s}$;化学需氧量的降解系数为0.15/d,氨氮的降解系数为0.13/d。

2.4.5 模型率定和验证

为验证模型的可靠性,对长江泰州段自1980年1月大潮和小潮过程进行了模拟,同时,利用实测潮位资源作为边界条件分别对大潮和小潮涨急、落急时刻特征进行水流模拟。将水位计算值与实测值进行比较,大、小潮水位率定误差计算值与实测值的误差值均在20cm之内,小于10cm的占78.90%。流场空间分布基本合理,潮位过程线及流速验证精度较高,说明该模型能够较好地模拟长江泰州段实际水流情况。

3 水域纳污能力计算结果

根据面源现状调查资料,经计算分析,计算水域内保留区、保护区、饮用水源区及过渡区共8个水功能区水域纳污能力为:化学需氧量3373t/a,氨氮432t/a。根据二维水量-水质数值模拟计算结果,计算水域内其他5个水功能区的水域纳污能力为:化学需氧量33604t/a,氨氮1476t/a。长江泰州段水域纳污能力合计为:化学需氧量36977t/a,氨氮1908t/a,见表2。

4 结论

长江泰州段对化学需氧量的水域纳污能力为36977t/a,对氨氮的水域纳污能力为1908t/a。研究水

表2 水域纳污能力计算结果

序号	水功能区划	水域纳污能力/(t/a)	
		化学需氧量	氨氮
1	长江泰州调水水源保护区	239	13
2	长江泰州高港工业、农业用水区	2565	104
3	长江泰州口岸永安过渡区	650	34
4	长江泰州永安饮用水源区	733	101
5	长江泰州工业、农业用水区	9969	477
6	长江泰兴天星洲保留区	589	96
7	长江泰兴七圩、夹港工业、农业用水区	7304	370
8	长江靖江六圩保留区	326	59
9	长江靖江下六圩小桥闸工业、农业用水区	6553	281
10	长江靖江小桥过渡区	123	61
11	长江靖江彭祺港饮用水源区	104	10
12	长江靖江夏仕港工业、农业用水区	7213	244
13	长江靖江夏仕港保留区	609	58
合计		36977	1908

域纳污能力是促进水资源的可持续利用、落实水功能区限制纳污红线管理目标的重要科学依据。为保护长江中下游的水质,必须加强对入江污染物的控制和管理,使污染物排放总量限值在纳污能力即最大允许排放量之内,将有益于全面落实水功能区限制纳污红线管理目标。

参考文献

- [1] 逢勇,陆桂华.水环境容量计算理论及应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 傅慧源.长江干流水域纳污能力及限制排污总量研究[J].人民长江,2008,39(23):40-42.
- [3] 韩龙喜,朱党生,姚琪.宽浅型河道纳污能力计算方法[J].河海大学学报,2001,29(4):72-75.
- [4] 乔维川,谢慧芳,陈建国.太湖流域丹阳市水体纳污能力分析 & 总量控制规划[J].环境科学与管理,2010,35(4):47-50.
- [5] 阎非,苏保林,贾海峰.基于排污口权重的一维河流水环境容量计算[J].水资源保护,2006,22(2):16-18.
- [6] Zhao D H, Shen H W, Tabios III GO, et al. Finite-volume two-dimensionla unsteady-flow model for river basins[J]. Hydr. Engng, ASCE, 1994, 120(7):863-883.
- [7] 赵棣华,戚晨,庚维德,等.平面二维水流-水质有限体积法及黎曼近似解模型[J].水科学进展,2000,11(4):368-373.