

基于 S-P 概化模型的滁河干流六合段纳污能力分析

陈昌仁^{1,2}, 吕玲玲³, 王纪杰¹, 于涛², 万福绪¹

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省河道管理局, 江苏 南京 210029;
3. 南京市水利局, 江苏 南京 210008)

摘要:根据滁河干流六合段各水功能区水环境现状和水质目标的要求,利用一维 S-P 水质概化模型,在一定的设计水文条件、水质背景、排污口位置及排污方式的条件下,以化学需氧量(COD)和总氮(TN)作为主控因子进行了该江段纳污能力的计算。在 90% 设计保证率下 COD 和 TN 的总纳污能力分别为 7 333 t/a 和 289 t/a;该河段 COD 和 TN 实际纳污量分别为 11 676 t/a 和 1 647 t/a;各水功能区中,COD 和 TN 入河量较多的是工业用水区和龙池保留区,其实际纳污量分别为 4 274 t/a 和 691 t/a;污染物消减率最大的功能区为工业用水区,COD 和 TN 消减率分别为 68.6% 和 91.3%,说明工业用水区是该河段水环境治理的重点区域。

关键词:滁河;纳污能力;S-P 水质模型

中图分类号:X26 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)02-0082-04

水体纳污能力是流域污染物总量控制的基础,是保障流域水体基本功能持续正常发挥的必要前提(Borsuk et al, 2002; 廖文根等,2003; Horn et al, 2004; French et al, 2006)。为了做好污染物总量控制以及水功能区的科学管理工作,本文针对滁河干流六合段,在水功能区划确定的基础上,按照 SL348-2006《水域纳污能力计算规程》(长江流域水资源保护局,2006),给定其水体的功能目标、设计水量、来水水质、水域排污口位置和排污方式,通过对入河排污口普查资料的统计分析,结合河流实际情况,选用 S-P 概化模型,对入河污染物化学需氧量(COD)和总氮(TN)分别进行了水功能区纳污能力分析。

1 研究区概况

滁河是长江下游北岸主要支流之一,发源于安徽省肥东县,贯穿江苏省南京市六合区中部,流经六合区 9 个乡镇,至大河口入江。六合区境内滁河干流长 73.4 km,流域面积 1 160.20 km²,两岸堤线长 129.82 km。根据江苏省水利厅、环境保护厅于 2003 年编制的《江苏省地表水(环境)功能区划》,

滁河干流六合段的水功能区划分为龙池保留区、工业用水区和瓜埠农业用水区等 3 个区。3 个功能区的河段上、下游有控制枢纽工程。为保证区内灌溉、航运的需要,全年大部分时间关闸蓄水,仅在洪水期按工程控制调度预案有计划开闸放水。关闸期间河水基本上不流动,水质较差。依据 2005 年水质监测数据,参照 GB3838-2002《地表水环境质量标准》,滁河干流六合段水功能区水质达标率仅为 40%,其中多数控制断面为超 V 类水,远不能满足水功能区的水质为 IV 类的目标要求,主要超标因子为溶解氧、化学需氧量、高锰酸盐指数和非离子氨。

2 水质模型建立和参数确定

2.1 水质模型建立

水质模型建立的基础是物质守恒定律和化学反应动力学原理:

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad (1)$$

式中: C 为污染物质量浓度(mg/L); t 为污染物在水体中的降解时间(s); K 为污染物综合自净系数(d^{-1})。

纳污能力计算的数学模型通常采用的是一维模型和二维模型。由于滁河干流六合段系季节性山洪河道,河道弯曲、市区河道较窄、水深较小、污染物混合较快,确定本次纳污能力计算采用一维模型。

2.1.1 浓度演算模型 浓度演算采用 S-P 水质模型,其解析解为:

$$C_x = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \quad (2)$$

收稿日期:2010-06-23 收修改稿日期:2010-08-23

基金项目:国家科技重大专项子课题(2008CB4182028);江苏省水利科技重点项目(2009029)。

通讯作者:万福绪。E-mail:fxwan@njfu.com.cn 于涛。E-mail:yutaoo@sina.com

作者简介:陈昌仁,1976年生,男,博士,高级工程师,研究方向为水利工程管理、水土保持及荒漠化防治、流域综合治理等。E-mail:njmoyu@126.com

式中: C_0 为上游断面污染物浓度(mg/L); C_x 为计算断面污染物浓度(mg/L); x 为功能区纵向距离(m); u 为设计流量下功能区内平均流速(m/s); K 为污染物综合自净系数(s^{-1})。

对于水流基本上处于停滞状态的河段和中小型水库、湖泊,可作为一个均匀混合的水体,其水质与污染物的入河位置无关,采用零维水质模型计算:

$$C_t = \frac{m + m_0}{K_h V} + \left(C_0 - \frac{m + m_0}{K_h V} \right) \exp(-K_h t) \quad (3)$$

式中: C_0 、 C_t 为起始时刻与 t 时刻水体污染物浓度(mg/L); V 为水体容积(m^3); Q_L 为河(库)出流量(m^3/s); K 为污染物综合自净系数(s^{-1}); $K_h = \frac{Q_L}{V} + K$,为中间变量(s^{-1}); $m_0 = C_0 Q_L$ 为污染物入河速率(g/s); m 为污染物入河速率(g/s); t 为计算时段长(s)。

2.1.2 S-P水质模型的概化 对于滁河干流六合段,污染物在河段横断面上基本上能均匀混合,考虑现有排污口的实际状况,如位置、水量等对纳污能力计算的影响,并考虑因排污口分布带来的纳污能力计算的复杂性,在具体计算时对排污口的位置进行概化。将沿程入河的点源与非点源污染物概化为一个排污口入河,入河口在计算单元的中部,即认为概化的入河排污口距计算单元的上、下断面的距离相等。

2.1.3 纳污能力计算模型 纳污能力计算根据SL348-2006《水域纳污能力计算规程》,结合河流的实际情况和污染源的概化情况,分别采用以下2个计算模型。

a. 污染物均匀混合时水功能区纳污能力模型为:

$$W = (C_s - C_x)(Q + Q_p) \quad (4)$$

式中: W 为计算单元的纳污能力(kg/d); C_s 为计算单元水质目标值(mg/L); C_x 为流经 x 距离后的污染物浓度(mg/L); Q 为概化排污口初始断面的入流流量(m^3/s); Q_p 为计算单元上断面的废污水排放流量(m^3/s)。

b. 入河排污口位于计算河段的中部时,水功能区纳污能力模型为 $W = [C_s - C_0 \exp(-K_L/u) - \frac{m}{Q} \exp(-K_L/u)](Q + Q_p)$ (5)

式中: W 为计算单元的纳污能力(kg/d); C_s 为计算单元水质目标值(mg/L); C_0 为初始断面的污染物浓度(mg/L); u 为设计流量下功能区内平均流

速(m/s); K 为污染物综合自净系数(s^{-1}); m 为污染物入河速率(g/s); Q 为概化排污口初始断面的入流流量(m^3/s); Q_p 为计算单元上断面的废污水排放流量(m^3/s)。

以上2模型反映了计算单元在确定的水质目标 and 设计流量条件下所具有的纳污能力,适用于天然径流较小的河流。

2.2 水质模型参数确定

2.2.1 设计水文条件 六合区滁河干流受堰闸控制,在关闸期间基本上无流量,水位观测资料系列虽较长,但受人类活动影响显著。为满足用水量不断增加的需要,河道蓄水位逐年提高,近20年以来河道年最低水位已由4.0m左右提升至2005年的6.5m。因此,取近10年与六合站最低月平均水位相应的河段蓄水量作为设计水量,其值为5046 m^3 ,把由较长雨量资料系列(1954年至今)计算的一定保证率典型年数据作为分析时的参考。滁河六合段属 $15 m^3/s < Q < 150 m^3/s$ (Q 为多年平均流量)的中型河段, Q 取值16.07 m^3/s 。关闸期,河段内水流基本上属于停滞状态;开闸期,河段流量 Q 以开闸最小下泄量计算。

2.2.2 污染物综合自净系数 以滁河干流实测水质数据率定污染物综合自净系数 K 。将模拟的COD和TN与实测值绘图,根据二者拟合程度调整 K ,拟合较好时的 K 即为本研究河段的 K 值。水质模型有关参数详见表1。

2.2.3 流速 开闸期对应设计流量下计算单元的设计流速,采用以下公式计算:

$$u = aQ^b \quad (6)$$

式中: a 、 b 为待定系数, u 为流速。

将上式取对数,得线性回归式:

$$\ln u = \ln a + b \ln Q \quad (7)$$

对 $\ln u$ 和 $\ln Q$ 采用近期30次的断面实测流量成果资料,进行最小二乘法线性回归分析,得到经验系数 a 、 b 的值。

2.2.4 初始浓度 纳污能力以水功能区为计算单元,上一个功能区的水质目标即为下一水功能区起始断面的污染物浓度 C_0 。在估算非点源污染量时,因总磷(TP)资料不全,未能对各功能区的TP进行纳污能力计算。为使点源与非点源污染所用的水质指标一致,已通过相关关系将点源污染的 NH_3-N 转化为TN。该计算单元COD的 C_0 取值为30mg/L,TN的 C_0 取值为1.5mg/L。

2.2.5 水质目标 按照《江苏省地表水功能区

划》,已确定六合区水功能区水质目标均为IV类,Ⅲ类水的污染物浓度限值作为 C_s 。以《地表水环境质量标准》(GB3839-2002)中IV

表1 滁河干流六合段水功能区水质模型参数

Tab.1 Parameter of water quality model of water function area in Liuhe reach, Chuhe River

水功能区	河长/ km	水深/ m	水体 容积/ 10^4 m^3	COD				TN			
				$C_0/$ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$C_s/$ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$K_{关}/$ d^{-1}	$K_{开}/$ d^{-1}	$C_0/$ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$C_s/$ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$K_{关}/$ d^{-1}	$K_{开}/$ d^{-1}
龙池保留区	16.7	5.51	582.36	30	30	0.05	0.25	1.5	1.5	0.04	0.25
工业用水区	0.35	5.51	237.46	30	30	0.05	0.25	1.5	1.5	0.04	0.25
瓜埠农业用水区	12.5	5.51	479.79	30	30	0.05	0.25	1.5	1.5	0.04	0.25

注: $K_{关}$ 和 $K_{开}$ 分别为关闸期和开闸期的 K 值。

3 纳污能力计算结果

滁河干流六合段3个功能区的纳污能力计算结果见表2和表3。在90%设计保证率下COD和TN的总纳污能力分别为7333 t/a和289 t/a,纳污能力最大的功能区为六合龙池保留区,其COD和TN纳污能力分别为3286 t/a和129 t/a。该河段COD和TN实际纳污量分别为11676 t/a和1647 t/a,各水功能区中,COD和TN入河量较多的是工业用水区和龙池保留区,其实际纳污量分别为4274 t/a和691 t/a。污染物消减率最大的功能区为工业用水区,COD和TN消减率分别为68.6%和91.3%。因此,工业用水区是该河段水环境治理的重点区域。

表2 滁河干流六合段各水功能区COD纳污能力和实际纳污量

Tab.2 Water environmental capacity and gross water pollutant discharge of COD in each water function area of Liuhe reach, Chuhe River

水功能区	纳污能力/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	实际纳污量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	污染物消减量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	消减率/ %
龙池保留区	3286	4102	816	19.9
工业用水区	1340	4274	2934	68.6
瓜埠农业用水区	2707	3300	593	18.0
合计	7333	11676	4343	37.2

表3 滁河干流六合段各水功能区TN纳污能力及实际纳污量

Tab.3 Water environmental capacity and gross water pollutant discharge of TN in each water function area of Liuhe reach, Chuhe River

水功能区	纳污能力/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	实际纳污量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	污染物消减量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	消减率/ %
龙池保留区	129	691	562	81.3
工业用水区	53	608	555	91.3
瓜埠农业用水区	107	348	241	69.3
合计	289	1647	1358	82.5

4 讨论

笔者研究中发现当实测资料差异较大时,可导致拟合 K 值出现较大的变化。因此,在应用实测法进行河流污染物综合自净系数估算时,应加大监测频率,提高监测精度。此研究以COD和TN作为主控因子进行滁河干流六合段纳污能力的计算,但随着供水水质标准要求的提高,应不仅限于COD和TN纳污总量的研究;计算结果虽得到了地方水行政主管部门的认可和审批,但该河段纳污总量分析研究仍需模型调整和参数优化等方面不断完善和改进。

参考文献

- 长江流域水资源保护局. 2006. 水域纳污能力计算规程 SL348-2006[S]. 北京:中国水利水电出版社:20-21.
- 廖文根,李锦秀,彭静. 2003. 水体纳污力量化问题探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报,1(3):211-215.
- Borsuk M E, Stow C A, Reckhow K H. 2002. Predicting the Frequency of Water Quality Standard Violations: A Probabilistic Approach for TMDL Development [J]. Environmental Science & Technology, 36(10):2109-2115.
- French C, Wu L S, Meixner T, et al. 2006. Modeling nitrogen transport in the Newport Bay/San Diego Creek watershed of South California [J]. Agricultural Water Management, 81(1/2):199-215.
- Horn A L, Rueda F J, Hormann G, et al. 2004. Implementing river water quality modeling issues in mesoscale watershed models for water policy demands an overview on current concepts, deficits, and future tasks [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 29(11/12):725-737.

(责任编辑 杨春艳)

Analysis on Water Environmental Capacity in Liuhe Reach of Chuhe River Based on S-P Generalized Model

CHEN Chang-ren^{1,2}, LV Ling-ling³, WANG Ji-jie¹, YU Tao², WAN Fu-xu¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Nanjing Water Conservancy Bureau, Nanjing 210008, China;

3. River Course Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: According to the requirement of water quality target and water environmental status in each water function area Liuhe Reach of Chuhe River, using one dimensional water quality generalization model (S-P), under a certain designed hydrological condition, water quality background, the location of sewage outfall and the way of blowdown, water environment capacity of this river area was calculated, chemical oxygen demand(COD) and total nitrogen (TN) as its main-control factors. The results said that Under 90% designed guarantee rate, the water environment capacity of COD and TN were 7 333 t/a and 289 t/a; while COD and TN cumulated to 11 676 t/a and 1 647 t/a respectively inflowed into this river area, industrial water usages area and Longchi reserve zone had the more COD and TN, 4 274 t/a and 691 t/a respectively; industrial water usages area had the largest pollutants eliminating rate, COD and TN were 68.6% and 91.3% in order. This showed that industrial water usages area was the important governance area of Liuhe reach.

Key words: Chuhe River; water environmental capacity; S-P water quality model