

# 麻溪（清溪）、澜溪塘水环境容量研究分析

张辉周<sup>1</sup> 胡琦玉<sup>2</sup> 商鹤琴<sup>3</sup>

- 1 南京市公共机构节能管理服务中心 江苏南京 210018;
- 2 南京大学环境规划设计研究院(江苏)有限公司 江苏南京 210093;
- 3 南京大学环境规划设计研究院集团股份有限公司 江苏南京 210093

**摘要:** 本文分别建立了吴江区大网和研究河流所在区域小网水环境数学模型, 利用例行监测数据和野外水量水质同步监测数据对水动力和水质参数进行了率定验证, 得到区域内河道糙率为 0.016~0.03, COD、氨氮、总磷降解系数分别为  $0.08d^{-1}$ 、 $0.05d^{-1}$ 、 $0.04d^{-1}$ 。采用 90% 保证率设计水文条件, 以各个水功能区 2020 年水质目标作为计算水质目标, 分别利用总体达标和控制断面达标两种方法进行澜溪塘和麻溪上 4 个水功能区的理想水环境容量计算, 利用优化选取法确定理想水环境容量, 利用水质对照法对计算结果进行了合理性分析。扣除面源入河量之后, 得到桃源镇和盛泽镇区域内澜溪塘、麻溪两条河 COD、氨氮、总磷的实际水环境容量分别为 1094t/a、氨氮 20t/a、总磷 11t/a, 区域点源污染物削减量分别为 COD1543t/a、氨氮 204t/a、总磷 11t/a。  
**关键词:** 率定验证; 总体达标法; 控制断面达标法; 水环境容量; 削减量

## 前言

麻溪(清溪)与澜溪塘是吴江区境内两条重要的内河, 近年来吴江区内排放的废水和污染物迅速增加。因此科学计算两条河流的水环境容量, 并以此制定污染物总量控制方案, 对于开展河流水环境治理具有重要意义。

经过大量理论研究之后, 我国学者认为水环境容量量化计算主要基于以下基本要素: 基准水量、水质目标、净化能力<sup>[1]</sup>。计算方法则根据水体特征分为解析法<sup>[2]</sup>、模型试错法<sup>[3]</sup>、系统分析法<sup>[4]</sup>、概率稀释模型法<sup>[5]</sup>等。欧美国家一般将同化容量<sup>[6-7]</sup>的计算和污染负荷分配同时进行, 我国多以水质模型为基础, 建立水环境容量计算数学模式。在河网水环境容量计算方面, 郑孝宇等人<sup>[8]</sup>引入节点污染物质允许进入量的概念, 建立了相应于上述水质模型的求解大型河网非稳态水环境容量的“节点—河道—节点”计算模式; 逢勇<sup>[9]</sup>等建立了河网区水量、水质计算模型, 计算了鹤地水库文官至石角段水环境容量; 罗缙<sup>[10]</sup>等建立了平原河网区往复流河道水环境容量模型并对太湖流域苏南地区部分河道的水环境容量进行了计算。

本文根据研究区域的实际情况, 制定适用于了麻溪(清溪)、澜溪塘水环境容量的计算方法, 建立一维河网数学模型, 开展水文频率分析、排污口概化、参数率定验证等工作, 采用解析法与模型试错法相结合的方法, 科学计算麻溪(清溪)与澜溪塘的水环境容量, 为当地污染物减排提供借鉴。

## 一、研究区域概况

麻溪(清溪)、澜溪塘位于吴江区盛泽镇和桃源镇, 是区域众多河道中的两条, 承担区域内的排洪、供水、航运、景观、生态等多方面的任务。吴江市域水系分布见图 1-1 (1), 麻溪清溪所在局部地区水系见图 1-2 (2)。

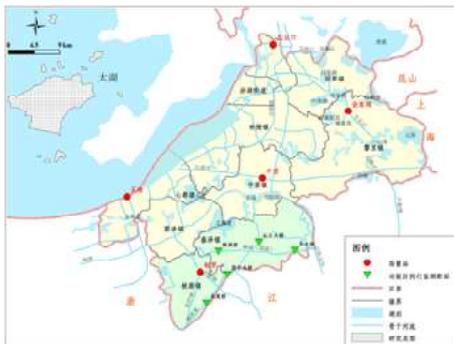


图 1-1 (1) 吴江市域水系分布图

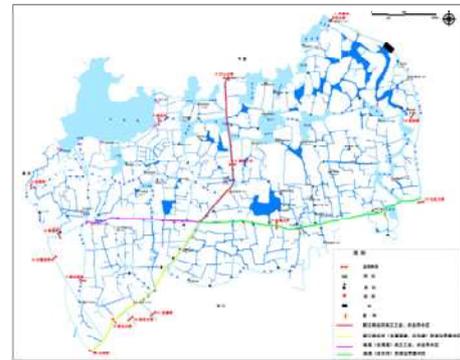


图 1-2 (2) 研究河流所在局部水系图

## 二、计算方法

### 1. 总体达标法

采用完全混合模型进行水环境容量计算(水文保证率为 90%), 该法基于水(环境)功能区达标来计算环境容量。

$$W_{\text{环境容量}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \times W_{ij\text{环境容量}} \quad (\text{式 2-1})$$

其中:  $\alpha_{ij}$  为不均匀系数;  $\alpha_{ij} \in (0, 1]$ ; 河道越宽、水面越大, 则  $\alpha_{ij}$  越小。

$$W_{ij\text{环境容量}} = Q_{0ij}(C_{sij} - C_{0ij}) + KV_{ij}C_{sij} \quad (\text{式 2-2})$$

对于往复流地区, 采用双向流计算公式, 具体如下:

$$W = \frac{A}{A+B}W_{\text{正}} + \frac{B}{A+B}W_{\text{反}} \quad (\text{式 2-3})$$

其中: A 为正向流计算时间段天数; B 为反向流计算时间段天数;  $W_{\text{正}}$  为正向河流的环境容量值, 具体计算公式为:

正向河流:

$$W_{\text{正}} = Q_{01}(C_s - C_{01}) + K_1V_1C_s \quad (\text{式 2-4})$$

$W_{\text{反}}$  为反向河流的环境容量值, 具体计算公式为:

反向河流:

$$W_{\text{反}} = Q_{02}(C_s - C_{02}) + K_1V_1C_s \quad (\text{式 2-5})$$

### 2. 控制断面达标法

控制断面达标法根据设计水文条件和边界水质, 利用已建立的河网一维非稳态水量水质模型, 计算得出断面水质达标时各概化排污口的允许排污量, 进而得出区域水环境容量。

### 3. 水环境容量优化选取

按照同时满足的原则, 对总体达标法以及控制断面达标法计算所得各水功能区水环境容量结果进行比选, 选取两者的最小值作为本次计算对象的水环境容量。

## 三、水环境数学模型建立及参数确定

1.模型基本方程

(1) 水量模型基本方程

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0 \end{cases} \quad (式 3-1)$$

式(3-1)中: Q 为流量; x 为沿水流方向空间坐标; B<sub>w</sub> 为调蓄宽度,指包括滩地在内的全部河宽; Z 为水位; t 为时间坐标; q 为旁侧入流流量,入流为正,出流为负; u 为断面平均流速; g 为重力加速度; A 为主槽过水断面面积; B 为主流断面宽度; n 为糙率; R 为水力半径。

(2) 水质模型基本方程

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}(AE_x \frac{\partial C}{\partial x}) + Sc - S = 0 \quad (式 3-2)$$

$$\sum_{I=1}^{N_I} (QC)_{I,j} = (C\Omega)_j (\frac{dZ}{dt})_j \quad (式 3-3)$$

式(3-2)是河道方程,式(3-3)是河道叉点方程。式中 Q、Z 是流量及水位; A 是河道面积; E<sub>x</sub> 是纵向分散系数; C 是水流输送的物质浓度; Ω 是河道叉点——节点的水面面积; j 是节点编号; I 是与节点 j 相联接的河道编号; Sc 是与输送物质浓度有关的衰减项,例如可写为 Sc = K<sub>a</sub>AC; K<sub>a</sub> 是衰减因子; S 是外部的源或汇项。

2.河网及排污口概化

以京杭运河、澜溪塘、老运河、頔塘等位代表的 46 条河流进行概化,形成大网模型(图 3-1),建立麻溪(清溪)、澜溪塘两条河流所在的盛泽镇-桃源镇局部片区河流进行概化,以下简称小网模型,本次共概化 13 个排污口(图 3-2)。

3.设计水文条件确定

根据对区内五个雨量站 1979~2014 年年平均降雨量频率计算,得到区域内 90% 保证率对应水平年对 2011 年,选取 2011 年为典型年,开展水环境容量计算。

4.水质目标确定

根据《江苏省地表水(环境)功能区划》,本次研究河流涉及 4 个水功能区,其中新江南运河吴江工业、农业用水区和麻溪(含清溪)吴江工业、农业用水区水质目标为 IV 类,新江南运河(含澜溪塘、白马塘)苏浙边界缓冲区和麻溪(后市河)苏浙边界缓冲区水质目标为 III 类。

5.参数率定验证

①大网模型水动力参数率定与验证

本研究率定得到区域内河道糙率为 0.016~0.03,相对误差的绝对值均不超过 10%,说明建立的模型适用于研究区域内水动力模拟。

利用 2016 年 3 月份水量水质同步监测数据进行验证,小网模型中各断面模型计算值与实测值之间相对误差可控制在 20% 以内,该小网模型可用于模拟局部水体水动力情况。

②小网模型水质参数率定与验证

利用 2016 年 3 月份水量水质同步监测数据,利用小网模型进行水质参数率定。当 COD、氨氮、总磷的降解系数分别取 K<sub>1</sub>=0.08d<sup>-1</sup>、K<sub>2</sub>=0.05d<sup>-1</sup>、K<sub>3</sub>=0.04d<sup>-1</sup> 时,思古大桥 COD、氨氮、总磷氮模型计算值与实测值之间吻合较好。

根据率定的水质降解系数,利用小网模型进行水质参数验证,结果表示污染物降解系数符合 2014 年澜溪塘和麻溪、清溪上主要断面的水质变化规律,可用于该区域水质模拟。

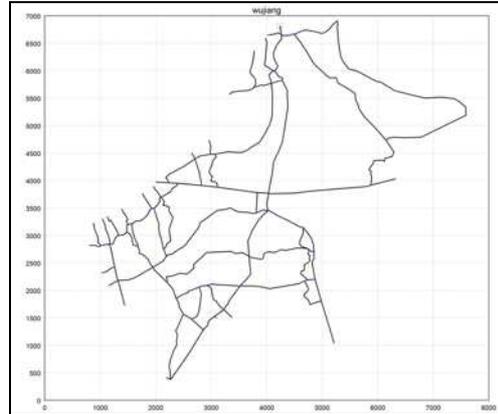


图 3-1 大网模型河网概化示意图

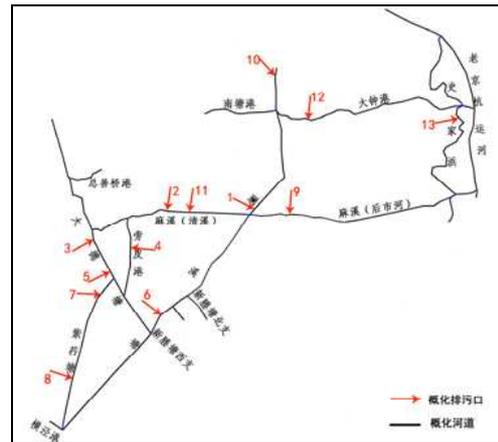


图 3-2 小网模型河网及排污口概化示意图

四、模型应用及结果分析

1.水环境容量计算结果

按照同时满足的原则,对总体达标法以及控制断面达标法计算所得各水功能区水环境容量结果进行比选(表 4-1)。

表 4-1 总体达标法水环境容量计算结果表

水(环境)功能区	总体达标法(t/a)			控制断面达标法(t/a)			水环境容量优化选取(t/a)		
	COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷
新江南运河吴江工业、农业用水区	1210	60	8	1253	119	8	1210	60	8
新江南运河(含澜溪塘、白马塘)苏浙边界缓冲区	1747	87	12	1385	61	4	1385	61	4
小计							2595	121	12
麻溪(含清溪)吴江工业、农业用水区	896	45	6	675	83	2	675	45	2
麻溪(后市河)苏浙边界缓冲区	384	29	6	608	28	7	384	28	6
小计							1059	73	8
合计							3654	194	20

2.计算结果合理性分析

根据污染源现状调查结果,本次研究的 4 个水功能区现状污染物入河量及环境容量对比见表 4-2。

表 4-2 研究区域内主要水功能区现状污染物入河量与环境容量对比表

水(环境)功能区	COD(t/a)		氨氮(t/a)		总磷(t/a)	
	环境容量	现状入河量	环境容量	现状入河量	环境容量	现状入河量
新江南运河吴江工业、农业用水区	1210	1352	60	103	8	10
新江南运河(含澜溪塘、白马塘)苏浙边界缓冲区	1385	963	61	41	4	4
麻溪(含清溪)吴江工业、农业用水区	675	1490	45	90	2	7
麻溪(后市河)苏浙边界缓冲区	384	2630	28	118	6	10
合计	3654	6435	194	352	20	31

(下转第 95 页)

(上接第 24 页)

从表 4-2 可以看出,四个水功能区氨氮和总磷现状入河量均超过环境容量,这与区域内水质超标特征相对应;麻溪(后市河)各项指标环境容量相对均较小,分析是由于该水功能区上游水功能区目标水质要求低于该功能区引起的,因此水功能区也是污染物入河量远远高于水环境容量的原因。

根据调查,2014 年研究区域内 COD、氨氮、总磷的水质超标率分别为 24.1%、25.93%和 5%,则根据表 4-2,区域污染物削减率分别为 COD: 76.12%、81.62%和 52.68%。二者对比关系见图 4-1。

从表 4-2 和图 4-1 可以看出,根据本文计算得出的水环境容量,区域需削减的污染物比例与区域水质超标率之间呈较好的线性关系,说明本次水环境容量计算基本合理。

### 3.区域污染物总量控制分析

根据上文计算得到的各水功能区点源污染物入河量和理想水环境容量,结合现状各水功能区点源污染物入河量,得到各水功能

表 4-3 研究区域内主要水功能区实际水环境容量与点源污染物入河量对比

水(环境)功能区	COD (t/a)			氨氮 (t/a)			总磷 (t/a)		
	实际容量	点源入河量	削减量	实际容量	点源入河量	削减量	实际容量	点源入河量	削减量
新江南运河吴江工业、农业用水区	662	804	142	0	80	80	6	8	2
新江南运河(含澜溪塘、白马塘)苏浙边界缓冲区	433	11	0	20	1	0	0	0	0
麻溪(含清溪)吴江工业、农业用水区	0	476	476	0	47	47	0	5	5
麻溪(后市河)苏浙边界缓冲区	0	925	925	0	77	77	4	8	4
合计	1094	2216	1543	20	206	204	10	21	11

从表 4-3 可以看出,扣除区域面源污染物之后,各水功能区实际水环境容量总体变小,以之作为点源污染物控制原则,两条河流设计的桃源镇、盛泽镇还需削减的污染物质分别为 COD1543t/a、氨氮 204t/a、总磷 11t/a。其中麻溪附近片区是重点削减区域。

### 结束语

本文以区域内 90%降雨保证率对应的水文条件作为设计水文条件,以各个水功能区 2020 年水质目标作为计算水质目标,结合水量水质同步监测试验,以模型率定验证法确定了各项参数,以就近概化的原则将污染源进行概化。分别采取总体达标和控制断面达标两种方法进行澜溪塘和麻溪上 4 个水功能区的理想水环境容量计算。利用优化选取法确定水环境容量计算结果,同时利用水质对照法对计算结果进行了合理性分析,扣除区域内面源入河量,得到 4 个水功能区实际水环境容量。根据计算结果,各水功能区氨氮和总磷现状污染物入河量均已超出了水环境容量,区域点源污染物削减量分别为 COD1543t/a、氨氮 204t/a、总磷 11t/a,应着重加强对麻溪(含清溪)吴江工业、农业用水区和麻溪(后市河)吴江苏浙边界缓冲区入河污染物总量的控制。

### 参考文献:

[1]郑英铭, 高建群.潮汐河流水环境容量的研究[J].环境科学.1990, 11(3): 63-69.  
[2]袁寿荣.陆良县水污染控制线性规划研究[J].云南环境科

区实际环境容量与现状点源污染物入河量对比见表 4-3。

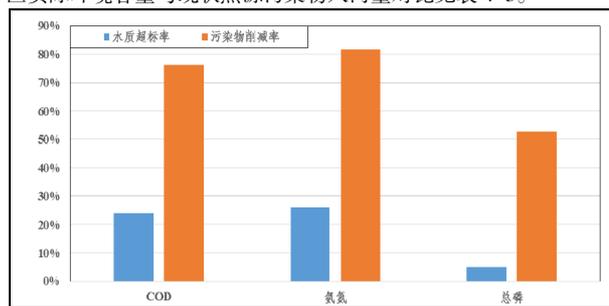


图 4-1 区域污染物削减率与水质超标率对比图

学.2000, 19(4): 21~22.

[3]戴正德,王蕾,马生伟等.祀麓湖水污染总量控制和工程治理的效益分析[J].云南大学学报自然科学版, 2000, 22(1): 18~19.

[4]赵军.浅论污染物排放总量控制[J].山东环境((suppl.): 28~29.)

[5]林国强.南流江玉林城区段污染物总量控制及方案[J].广西水利水电, 2002, 1: 54~55.)

[6]Scherer C R.On the efficient allocation of environmental assimilative capacity: The case of thermal emissions to a large body of water[J].Water Resources Research, 1975, 11(1): 180 - 181.

[7]Cairns J, Gallagher B J.Matching heated waste water discharges to environmental assimilative capacity[C]// Symposium on energy production and thermal effects, Oak Brook, Illinois, USA, 10 Sep 1973.1974.

[8]郑孝宇, 褚君达, 朱维斌.河网非稳态水环境容量研究[J].水科学进展.1997, 8(1): 25~31.

[9]逢勇,程炜,赵玉萍.鹤地水库文官至石角段水环境容量研究[J].河海大学学报(自然科学版).2003, 31(1): 76~79.

[10]罗缙,逢勇,罗清吉,林颖.太湖流域平原河网区往复流河道水环境容量研究[J].河海大学学报(自然科学版).2004, 32(2): 144~146.