

平原河网纳污能力核算方法研究

张红举,翟淑华

(太湖流域水资源保护局,上海 200434)

摘要 :以太湖流域河网为研究对象,在水功能区概化的基础上,建立河网水量水质模型,提出了大尺度河网纳污能力计算方法,并针对河网的特点设计了“虚拟点源”复核成果。

关键词 :河网,水功能区,纳污能力,虚拟点源

中图分类号 :X524 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)05-0024-04

Research on calculation of carrying capacity of plain river network

ZHANG Hong-ju, ZHAI Shu-hua

(Taihu Basin Water Resources Protection Bureau, Shanghai 200434, China)

Abstract :Based on study of the river network in Taihu Basin and schematizing water function regions, a water quantity and quality model was established. The method of calculating the carrying capacity in a large-scale river network is put forward in this paper, and, in terms of the features of the river network, a virtual point source was designed for checking the results.

Key words :river network; water function region; carrying capacity; virtual point source

1 太湖流域水功能区简介

在江苏省、浙江省、上海市人民政府已批复本省(市)的水功能区划基础上,挑选流域重要湖泊(如太湖等)、河网中的主要骨干河道(如望虞河、太浦河、黄浦江、江南运河、流域上游源头河流、入江入海支流等)以及省际(界)河流(湖泊)水功能区,形成流域重点水功能区划作为本次纳污能力核算对象。

流域重要江河湖库水功能区划共划分一级区 243 个,其中保护区 12 个,缓冲区 73 个,开发利用区 153 个,保留区 5 个。在开发利用区内饮用水源区 40 个,工业用水区 77 个,农业用水区 51 个,渔业用水区 10 个,景观娱乐用水区 71 个,过渡区 29 个。

2 纳污能力核算

水功能区纳污能力是指对确定的水功能区,在满足水域功能要求的前提下,按给定的水功能区水质目标值、设计水量、排污口位置及排污方式,单位时

间功能区水体所能容纳的最大污染物量^[1]。水功能区的纳污能力是制定区域限制排污总量的基础,也是编制水资源保护规划和经济发展规划的依据之一。

2.1 水功能区概化

以流域地理信息系统为平台,对流域河网进行数学概化。平原河网概化一维河道 1481 条(图 1),全部概化为复式梯形断面,过流能力与实际河道保持一致。由于纳污能力核算方法不同,位于山丘区的水功

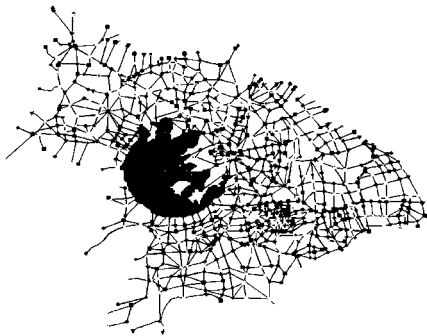


图 1 太湖流域平原区河网概化示意图

作者简介 张红举(1977—),男,安徽安庆人,工程师,从事水资源规划和水质数值计算研究。E-mail: zeusium@hotmail.com

能区在模型中没有概化,受资料限制,位于平原区的水功能区也有少部分没有概化。因此,模型中对应概化河网的水功能区(简称“对应水功能区”)数量小于流域水功能区总数。模型中概化水功能区 313 个,占水功能区总数的 89%,没有概化水域对应的水功能区(简称“未对应水功能区”)有 38 个,占总数 11%。

根据太湖流域水资源分区,对应水功能区分布如下:杭嘉湖区 97 个,湖西及湖区 93 个,黄浦江 51 个,武阳区 72 个。

2.2 污染源条件

模型中点污染源直接采用两省一市环境保护部门提供的 2005 年流域工业点源、城镇生活点源资料。点污染源根据污染源经纬度位置或者资料提供的排放去向,采用地理信息系统分配至河道。根据太湖流域实际情况,将面污染源分为城市和城镇降雨径流、旱地降雨径流、稻田降雨径流、农村生活、畜禽养殖和水产养殖等 6 种类型,同时调研各类污染物入河途径,见图 2。以 2005 年流域社会经济调查资料为基础,计算各类面源污染物进入河网的数量。

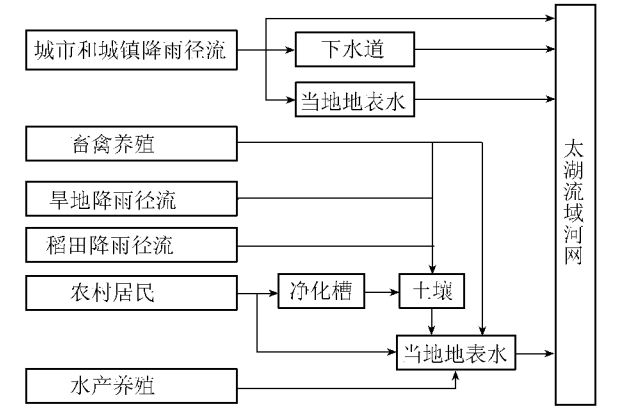


图 2 太湖流域面源污染入河路径概化

通过点源资料统计与面源计算,2005 年太湖流域排入河网的 COD、NH₃-N、TP、TN 分别为 1 027 138 t/a、94 729 t/a、12 055 t/a、154 099 t/a,见表 1。

表 1 2005 年太湖流域主要污染物入河量 t/a

分类	COD	NH ₃ -N	TP	TN
工业	349 100	37 248	1 242	47 645
城镇生活	331 128	32 365	4 095	441 682
面污染源	346 910	25 116	6 718	64 772
总计	1 027 138	94 729	12 055	154 099

2.3 核算方法

河网地区水流往复,运动复杂,SL 348—2006《水域纳污能力计算规程》(以下简称《规程》)中介绍的河道恒定流计算方法难以适用。本文针对河网水流运动的特点,在满足《规程》要求的计算设计条件下,研究合适的纳污能力核算方法。

太湖流域河网纳污能力核算主要组合运用了以

下两种方法。

2.3.1 模型法

模型法是采用太湖流域河网水量水质耦合的数学模型,通过调整进入水功能区的污染物量来核算对应水功能区纳污能力。水量模拟采用求解圣维南方程组:

$$\begin{cases} B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = q_s V_x \end{cases} \quad (1)$$

式中: B 为河宽, m; q_s 为旁侧入流, m³/s; Q 为河道断面流量, m³/s; A 为过水面积, m²; Z 为水位, m; V_x 为旁侧入流流速在水流方向上的分量,一般可以近似为零; K 为流量模数,反映河道的实际过水能力; α 为动量校正系数,是反映河道断面流速分布均匀性的系数。

对上述方程组采用四点线性隐式格式进行离散求解^[2]。

水质模拟采用数值求解通用对流扩散方程:

$$\frac{\partial (A \rho)}{\partial t} + \frac{\partial (U A \rho)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A E_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \frac{A S}{86 400} \quad (2)$$

$$E_x = \alpha_e C_0 \theta^2 q \quad (3)$$

式中: ρ 为某种水质参数的质量浓度, mg/L; t 为时间, s; E_x 为纵向分散系数, m²/s; U 为断面平均流速, m/s; S 为某种水质参数的源汇项, g/(m³·d); α_e 为系数,取 0.01; C_0 为谢才系数, θ 为断面宽深比; q 为断面平均单宽流量, m²/s。

求解指标为化学需氧量(COD)和氨氮(NH₃-N)并考虑与溶解氧(DO)相关,其水质参数的源汇项各不相同。

该数学模型水质参数采用流域 1998 年 57 个水质站点,1999 年 105 个站点率定,2000 年流域 108 个站点验证,COD、NH₃-N、TP、TN 指标计算相对误差分别为 20%、55%、48%、27%,基本满足计算要求。

将水功能区所属各概化河段计算断面浓度取平均值作为该水功能区的计算水质浓度。根据模型计算结果,逐渐调整进入水功能区的污染负荷,将计算得出的水功能区水质浓度与其水质目标比较,直至水质浓度恰好达到水质目标,此时该水功能区的污染负荷量可认为等于其纳污能力。

2.3.2 公式法

未对应水功能区纳污能力采用公式法核算。根据文献[2],河道型水功能区纳污能力可根据以下公式求得^[3-4]:

$$W = 0.0864 Q (\rho_s - \rho_0) + K V \rho_s \times 10^{-6} + 0.0864 q_s \rho_s \quad (4)$$

式中: W 为水功能区纳污能力, t/d ; Q_0 为进口断面的入流流量, m^3/s ; ρ_0 为进口断面的入流水质质量浓度, mg/L ; q_s 为旁侧入流流量, m^3/s ; ρ_s 为水功能区的水质目标质量浓度, mg/L ; V 为水体体积, m^3 ; K 为污染物降解系数, d^{-1} 。

湖泊型水功能区(不含太湖)纳污能力核算采用湖(库)均匀混合模型, 计算公式如下:

$$M = 0.0864 Q_i (\rho_s - \rho_0) + K V \rho_s \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中: M 为污染物最大允许入湖速率, t/d ; Q_i 为入湖(库)流量, m^3/s 。

公式法计算的水功能区纳污能力成果采用不均匀系数修正^[5]。

2.4 计算流程

采用地理信息系统建立污染源与对应排放水功能区之间联系, 在设计水文条件下, 进行平原河网水量水质耦合计算。统计控制时段内各水功能区 COD 和 NH_3-N 年均浓度, 根据水功能区水质目标, 将对应水功能区分为达标水功能区与超标水功能区两大类。达标水功能区纳污能力采用公式法计算。

对于超标水功能区, 采用模型法计算纳污能力。即削减该水功能区或来水水功能区的污染负荷量降低水质浓度。污染负荷削减的原则是先削减区域点源的排放量, 若点源全部削减后水质还未达标, 再考虑通过减少农田化肥投入、缩小畜禽养殖规模等措施削减区域面源负荷。为保证精度, 每一次污染物削减幅度不超过 5%。

由于太湖流域的面源污染所占比例较大, 部分水功能区水质主要受面源影响, 即使点源污染负荷全部削减, 也很难达到水质目标。面源削减难度很大, 因此考虑到目前技术可行性, 将计算目标设为水功能区的水质达标率不低于 95%。即计算水功能区整体达标率小于 95% 时, 则削减进入超标水功能区的污染物量, 重新进行模型计算。当达标水功能区达到总数 95% 时, 停止污染负荷削减计算。

剩余 5% 左右水功能区水质未达标的原因, 一部分是由于该地区污染负荷远大于周边地区, 水质难以达标; 一部分是由于来水水功能区水质目标设置较低, 过渡区长度不足, 导致下游水功能区达标困难。对于这部分水功能区可采用公式法计算纳污能力。

将汇总的纳污能力回代到河网水量水质模型中进行水质可达性分析, 最终确定对应水功能区纳污能力。未对应水功能区数量较少, 其入流浓度可参考相邻概化河道获得; 由于河道规模较小, 其旁侧入流可设为零处理, 这部分水功能区纳污能力采用公式法计算。

最后将各部分成果汇总即可得到流域河网水功能区纳污能力, 见图 3。

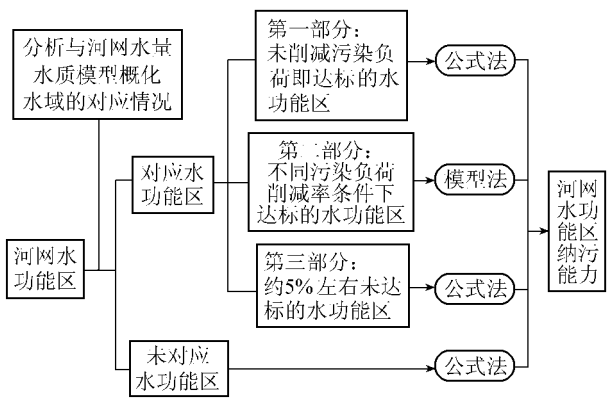


图 3 纳污能力计算示意图

2.5 计算条件

2.5.1 降水典型年选择

按照纳污能力计算条件要求, 应选择 $P = 90\%$ 流域降水典型年作为计算水量条件。根据 1956 ~ 2000 年系列降雨资料分析, 1971 年流域降水量为 983.9 mm, 降水频率 86%, 基本满足计算条件。

2.5.2 水利工程调度

水利工程调度原则以现行水利工程调度文件为基础, 结合近年来太湖流域“引江济太”调水及各地区水资源、水环境调度实践, 参考省市相关研究成果, 并根据计算结果与实际资料进行对比分析, 反复调整后形成。

根据太湖流域水情特点、用水情况和近年流域水资源调度实践, 本次计算将全年太湖控制水位划分为若干个时段, 实行分期和分目标区控制, 详见表 2。

表 2 太湖水位调度线

时 段	防洪控制水位/m	引水控制水位/m	泵引控制水位/m
1 月 1 日 ~ 3 月 31 日	3.5	3.2	2.9
4 月 1 日 ~ 6 月 15 日	3.0	2.9	2.8
6 月 16 日 ~ 7 月 20 日	3.0 ~ 3.5	2.9 ~ 3.3	2.8 ~ 3.1
7 月 21 日 ~ 10 月 31 日	3.5	3.3	3.1
11 月 1 日 ~ 12 月 31 日	3.5	3.2	2.9

当太湖水位低于泵引水位时, 为泵引区, 启用望虞河常熟枢纽泵站, 将长江水引入太湖, 增加入湖水量。当太湖水位处于自引水位和泵引水位之间时, 为自引区, 通过望虞河常熟枢纽节制闸利用长江潮位与河道水位差将长江水引入太湖。当太湖水位处于自引水位和防洪控制水位之间时, 为适时调度区, 以区域水资源调度为主, 流域骨干河道视地区水位适时引排。当太湖水位高于防洪控制水位时, 为防洪调度区, 按照国家防汛抗旱总指挥部批复的太湖流域洪水调度方案进行调度。

2.5.3 初始条件

初始条件采用河网、湖泊水质初步赋值并经计算后获得的稳定值,以尽可能消除初始条件设置对统计结果的影响。

模型计算水质浓度初步赋值:河网总体为Ⅲ类水质标准,湖泊为Ⅱ类水质标准。其中,太湖、新孟河、望虞河、太浦河、黄浦江等重要水体水质初始条件根据水功能区目标分别赋值。

根据以上初拟的水质浓度进行计算,时段为1a,可获得较为稳定的水质浓度场分布,将该浓度场作为模型计算的初始条件。

2.5.4 边界条件

长江水质边界参考监测部门实测数据, $i(COD)$ 为0~15 mg/L, $i(NH_3-N)$ 为0.10~0.15 mg/L。西部山丘区入流水质设为Ⅱ类。

2.5.5 其他计算条件

水量模拟计算步长为900 s,水质模拟计算步长为3600 s。

2.6 计算成果

根据计算,流域河网COD纳污能力为54.7万t/a,其中武阳区为15.87万t/a,黄浦江区为16.18万t/a,湖西及湖区为10.36万t/a,杭嘉湖区为12.29万t/a。

氨氮纳污能力为3.7万t/a,其中武阳区为1.2万t/a,黄浦江区为1.0万t/a,湖西及湖区为7709 t/a,杭嘉湖区为7618 t/a,见表3。

表3 太湖流域河网水功能区纳污能力计算成果 t/a

水资源 分区	COD			NH ₃ -N		
	对应水 功能区	未对应水 功能区	合计	对应水 功能区	未对应水 功能区	合计
湖西及湖区	91 320	12 297	103 617	7 218	491	7 709
武阳区	155 995	2 733	158 728	11 930	68	11 998
杭嘉湖区	122 157	759	122 916	7 599	19	7 618
黄浦江区	154 977	6 792	161 769	10 011	145	10 156
合计	524 449	22 581	547 030	36 758	723	37 481

3 成果复核

纳污能力的定义是单位时间内功能区水体所能容纳的最大污染物质,因此可考虑将纳污能力作为污染源代入模型计算,检验流域水功能区达标率,从而对成果进行复核。

本次计算中,由于未对应水功能区纳污能力较小,COD、NH₃-N分别只占总量的4%、2%,因此成果复核主要针对对应水功能区开展。构造纳污能力“虚拟点源”验证思路是:将模型中COD和NH₃-N的点源和面源的发生量全部清为零,将各水功能区纳污能力按照河长平均分配至各概化河段,并把各段纳污

能力作为“虚拟点源”施加在河段中部,见图4。通过信息系统分配,保证进入河网的污染负荷量与进入水功能区的污染负荷量一致,且等于水功能区纳污能力。最后通过模型计算,获得水功能区达标率。

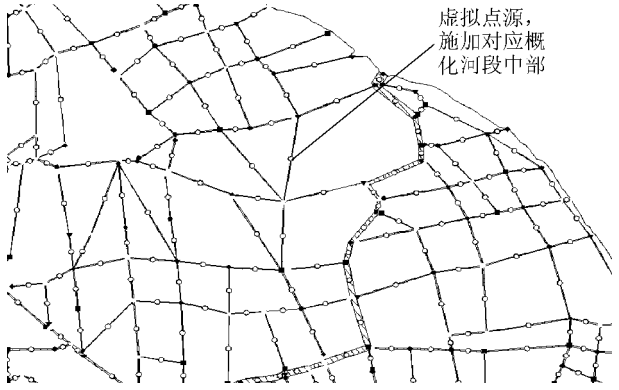


图4 概化河段虚拟点源示意图

经复核,在1971年型设计条件下,水功能区COD的达标数为306个,达标率为97.8%,NH₃-N达标数为289个,达标率为92.3%,可以认为成果满足精度的要求。

4 结 语

太湖流域大部分地域属典型平原河网地区,地面比降小,河道水流缓慢且方向往复不定,给纳污能力计算带来了一定的困难。采用模型法计算精度较高,但工作量大,对基础资料要求较高,适用于平原河网有对应概化河道的水功能区,一部分位于西部山丘区的水功能区不能应用;公式法物理意义明确,简单易行,适用范围广,但成果精度较低。在大尺度河网水功能区纳污能力计算实践中,可根据河网的特点,组合应用这两种方法,有效解决计算精度与适用范围的问题。本文提出了河网纳污能力的复核算证方法,今后可继续完善,进一步研究未对应水功能区纳污能力的复核方法。

参考文献:

[1] SL348-2006 水域纳污能力计算规程[S].2006.
[2] 水利部水利水电规划设计总院.全国水资源综合规划技术细则[R].北京:水利部水利水电规划设计总院,2002.
[3] 水利部太湖流域水资源保护局.太湖流域河网水质研究(2463-3560-CHA).上海:水利部太湖流域水资源保护局,2002 9-10.
[4] 水利部太湖流域管理局.太湖流域水资源保护规划[R].上海:水利部太湖流域管理局,2002 69.
[5] 孙卫红,姚国金,逢勇.基于不均匀系数的水环境容量计算方法探讨[J].水资源保护,2001(2):25-26.

(收稿日期:2008-03-20 编辑:高渭文)