

# 嘉兴市区水功能区水质达标纳污能力研究

朱心悦<sup>a</sup>, 逢勇<sup>a,b</sup>, 徐丽媛<sup>a</sup>

(河海大学 a. 环境学院; b. 环境学院 浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 嘉兴市区属于平原河网水系, 往复流情况严重, 上游来水水质较差且区域内污染源排污量大, 导致其水质逐年恶化。嘉兴市区污染源调查结果表明: 市区内面源污染相对严重, 畜禽污染源为水环境污染的重点污染源。利用污染源影响权重分析得到: 研究区域内源及点源影响相对较大。在此基础上进行重点污染源概化, 建立一维非稳态水量水质数学模型, 实现水功能区水质与其流域内概化污染源的响应关系, 结合水功能区划成果得到各水功能区的纳污能力, 提出总量控制方案。计算结果表明: ①嘉兴市区 18 个河流水功能区 COD 纳污能力为 8642 t/a, 氨氮纳污能力为 794 t/a, TP 纳污能力为 227 t/a; ②污染物超标严重, 氨氮和 TP 为主要污染因子; ③在 2011 年现状入河量基础上, COD、氨氮和 TP 分别需削减 49%、57% 和 56%。本研究结果为水功能区水质达标及污染源减排工作提供决策依据。

**关键词:** 水量水质模型; 水质达标; 纳污能力; 水功能区

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0022-06

## Research on water environmental capacity of water quality standard in water function zone of Jiaxing

ZHU Xinyue<sup>a</sup>, PANG Yong<sup>a,b</sup>, XU Liyuan<sup>a</sup>

(a. College of Environment; b. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development on Shallow Lake College of Environment, Ministry of Education, College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Jiaxing urban region belongs to plain water network with a complicated water system with rectilinear current as well as a large amount of discharged pollutants, which has resulted in water quality being degenerated. According to an investigation of pollution source in Jiaxing urban district, diffused pollution is rather critical; animal sources of fecal pollution is the major source in water environment pollution. Weight analysis of influence of pollution source show that endogenous and point sources have great impact inside the research area. Based on this, generalization of major pollution sources is performed; simultaneously, one-dimensional unsteady water quantity and quality model were established to achieve corresponding relationship between water quality in water function zones and generalized pollution sources. Through mathematical model, based on water quality reaching standard for water function zones and reducing pollution source of sewage outlet in the same proportion, it calculated permissible pollution emission of sewage outlets and environmental capacity of water function zones as well as their reducing scheme. Results indicate as follows: ① Permissible pollution bearing capacity of COD, NH<sub>3</sub>-N and TP were 8642 t/a, 794 t/a and 227 t/a; ② Pollutants in urban areas have exceeded the standard severely, NH<sub>3</sub>-N and TP have become the main pollution factors; ③ Regarding pollutants discharged into the river in 2011, COD, NH<sub>3</sub>-N and TP needs to be cut 49%, 57%, 56% respectively. The result can provide decision-making foundation for water function zone to reach water quality standard and to reduce discharge of pollutants.

**Key words:** water quantity and quality model; water quality reaching standard; permissible pollution bearing capacity; water function zone

收稿日期: 2013-10-11; 修回日期: 2013-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179053); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-006-05、2012ZX07506-007-01)

作者简介: 朱心悦(1988-), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向: 环境规划与环境影响评价。

通讯作者: 逢勇(1958-), 男, 山东胶南人, 教授、博士生导师, 研究方向: 环境规划与环境影响评价。

嘉兴市地处浙江省东北部长江三角洲南翼的杭嘉湖平原地区,南邻钱塘江口的杭州湾,北、东两侧分别与江苏省、上海市相接,四面与湖州市为邻,总面积为 3 915 km<sup>2</sup>,含水域面积 311 km<sup>2</sup>。嘉兴市区指嘉兴市中心城区,分南湖和秀洲两区,区域内河网交纵复杂,污染物排放量大,加上上游来水水质较差,使嘉兴市的水质逐年恶化。因此在污染源现状调查成果基础上及时复核嘉兴市区水功能区纳污能力,并据此实行污染物减排标准对改善嘉兴市的水质具有相当重要的意义。

水域纳污能力是指在设计水文条件下,满足计算水域的水质目标时,该水域所能容纳的某种污染物的最大数量<sup>[1]</sup>。其大小与水体特征、水质目标及污染物特性等有关,在实际计算中受污染源概化、设计流量和流速、上游污染物浓度、污染物综合降解系数等设计条件和参数的影响。张秀菊等<sup>[2]</sup>定量分析了排污口概化方式、水文条件、降解系数、水质浓度等参数的不确定性对纳污能力的影响。阎非等<sup>[3]</sup>提出了基于排污口权重的水环境容量计算方法,为确定排污方案、河流综合管理提供了新的思路。韩龙喜等<sup>[4]</sup>结合水资源保护提出了不同水功能区组合情况下的纳污能力计算方法。付意成等<sup>[5]</sup>提出了在污染物总量控制原则下,以水功能区水体纳污能力为计算单元,入河污染物变动特性的水质达标控制方法。水功能区水质目标是指水功能区现状条件和规划条件下的水质保护目标<sup>[1]</sup>。河流纳污能力随规划设计目标的变化而改变,反映了特定水体污染物排放量与水质保护目标之间的动态输入响应关系<sup>[6]</sup>。骆辉煌等<sup>[7]</sup>提出了水体纳污能力核算应根据不同水功能区类型及其水环境质量现状采用不同的方法开展。

本文在前人研究的基础上,利用 Saint - Venant 方程组建立一维水量水质数学模型模拟嘉兴市区的水环境状况,在全面分析污染源权重及概化排污口的基础上,通过调节各排污口的污染物入河量,确保嘉兴市区水功能区水质类别达标,计算得到各水功能区的纳污能力,实现污染物的总量控制,为下一步减排工作提供依据。

## 1 研究方法

### 1.1 水量水质数学模型建立

1.1.1 模型建立 嘉兴市区模型河网概化图见图 1,共设置 13 个开边界,其中上游来水边界 7 个。河网水动力模型建立以质量和动量守恒定律为基本理

论,在一维河道非稳态水流运动的 Saint - Venant 微分方程组的基础上,以流量  $Q(x,t)$  和水位  $Z(x,t)$  为研究对象,补充考虑了漫滩和旁侧入流,得到如下基本方程组:

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

式中: $Q$ 为流量; $x$ 为沿水流方向空间坐标; $B_w$ 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。上述方程组以 Preissmann 四点中心隐式差分格式将其离散,辅以连接条件,形成河道方程,计算采用传统的“追赶法”求解<sup>[8]</sup>。

一维河流水质模型控制微分方程是建立在质量守恒基础上的对流扩散方程:

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

$$\sum_{l=1}^N (QC)_{l,j} = (C\Omega)_j \left(\frac{dZ}{dt}\right)_j \quad (3)$$

式中: $C$ 为水流输送物质的断面平均浓度; $Q$ 为断面流量; $E_x$ 为纵向分散系数; $A$ 为断面面积; $S$ 为外部的源或汇项; $S_c$ 为与输送物质有关的衰减项, $S_c = Kd \cdot A \cdot c$ , $Kd$ 为衰减因子。 $\Omega$ 是河道叉点 - 节点的水面面积; $j$ 是节点编号; $l$ 是与节点 $j$ 相联接的河道编号;方程对空间项采用隐式迎风格式,时间项采用前差分对每一单一河道进行离散<sup>[9]</sup>,将整个河网水质浓度离散成节点和断面水质浓度进行数值求解。

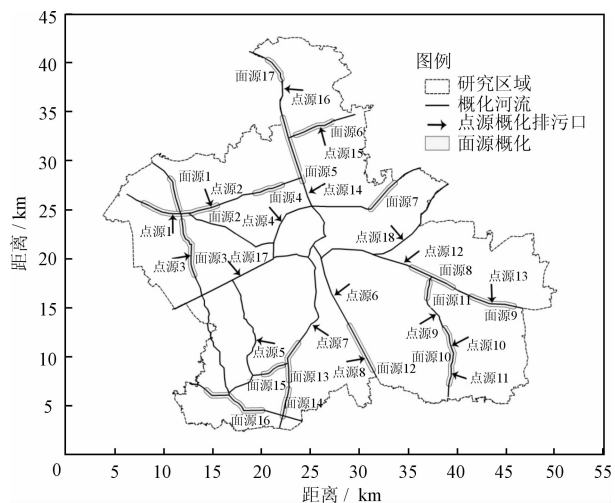


图 1 研究区域河网概化及污染源排污口概化示意图

1.1.2 参数率定 采用一维水量水质模型对嘉兴市区河网的3个水文站点(王江泾站、嘉兴站和嘉兴杭站)及4个水质站点(新滕出口、蚂蝗塘桥、焦山门桥和杨庙大桥)进行了全面率定,站点位置见图2。

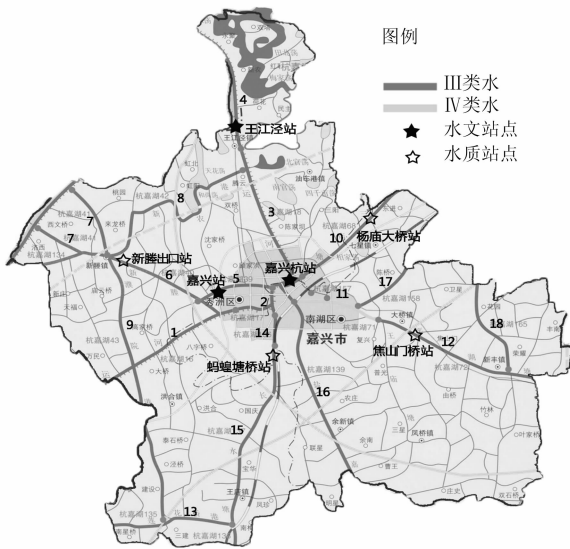


图2 嘉兴市区水功能区及率定站点(水文水质)位置分布图

(1)水量模型参数率定。根据嘉兴市区2011年水文监测资料,边界条件采用各边界断面水位或

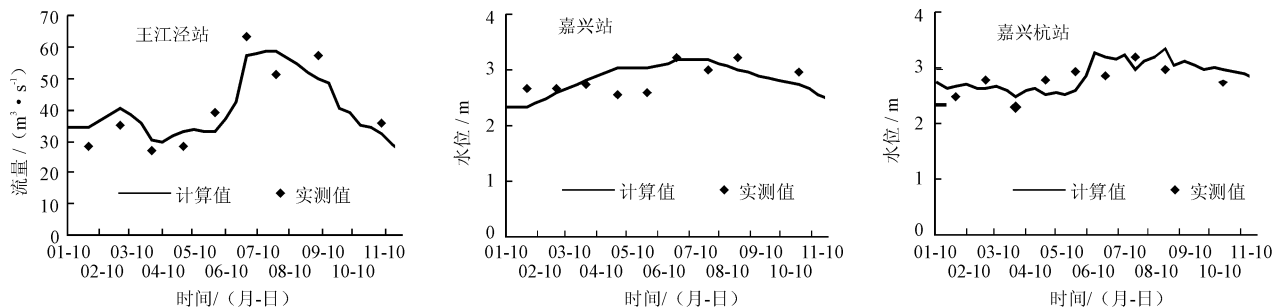


图3 2011年率定点流量(水位)计算值与实测值的对比

## 1.2 污染源影响权重分析方法

考虑影响研究区域内水环境水质的主要因素为:一是研究区域上游边界来水水质,为外部污染源(外源);二是研究区域内部污染源的排放量(内源),其中内部污染源分为点源和面源。点源包含集中式污水处理厂、工业企业和规模化养殖,根据污染源普查资料可整理分析得到点源污染物入河量;而面源污染过程复杂、影响因素众多,包括农村生活污染、农业种植面源污染、畜禽分散养殖,可根据实际收集资料情况按相关参数、模型推算面源污染物入河量<sup>[10-12]</sup>。

各类污染源对水环境水质影响的权重计算公式

流量实测数据,对水量模型参数进行率定。采用试错法,即调试各河道的糙率,使得率定断面的计算水位或流量过程与实测水位或流量相吻合,率定得到河道糙率为0.019~0.022。率定点位流量(水位)计算值与实测值的对比见图3。

(2)水质模型参数率定。通过对研究区域水质评价分析,选择污染因子 $COD_{Cr}$ 、氨氮和TP作为水质模拟对象。根据嘉兴市区2011年水质监测数据,边界条件选用边界断面水质实测数据,加入研究区域内污染物,对模型内部5个水质监测断面进行率定。率定得到 $COD_{Cr}$ 降解系数为0.08~0.11 $d^{-1}$ ,氨氮降解系数为0.08~0.1 $d^{-1}$ ,TP降解系数为0.05 $d^{-1}$ 。率定点位的 $COD_{Cr}$ 、氨氮和TP计算值与实测值的对比见图4。

由图3和图4可知,水文(流量或水位)和水质计算值过程线与实测值能够较好拟合。通过对3个流量(水位)站点和4个水质监测断面进行参数率定,统计得到流量(水位)计算值与实测值的平均相对误差为11%, $COD_{Cr}$ 、氨氮和TP计算值与实测值的平均误差分别为9%、18%和16%,均满足建模的允许误差。因此本研究所建立的一维非稳态河网水量模型能较准确地模拟该流域水量水质变化状况。

为:

$$\alpha_i = \frac{C_i}{C_i + C_0}; \quad \alpha_0 = \frac{C_0}{C_i + C_0} \quad (4)$$

式中:污染源权重 $\alpha_i$ 为研究区域内部(点源)污染源所占的权重,%; $\alpha_0$ 为研究区域外部(面源)污染源所占的权重,%; $C_i$ 为上游边界为水功能区水质目标时,只考虑内部(点源)污染源排放情况下按水质模型计算得出的研究区域出境断面水质浓度值,mg/L; $C_0$ 为上游边界取实测水质时,忽略内部(点源)污染源排放情况下按水质模型计算得出的研究区域出境断面的水质浓度值,mg/L。

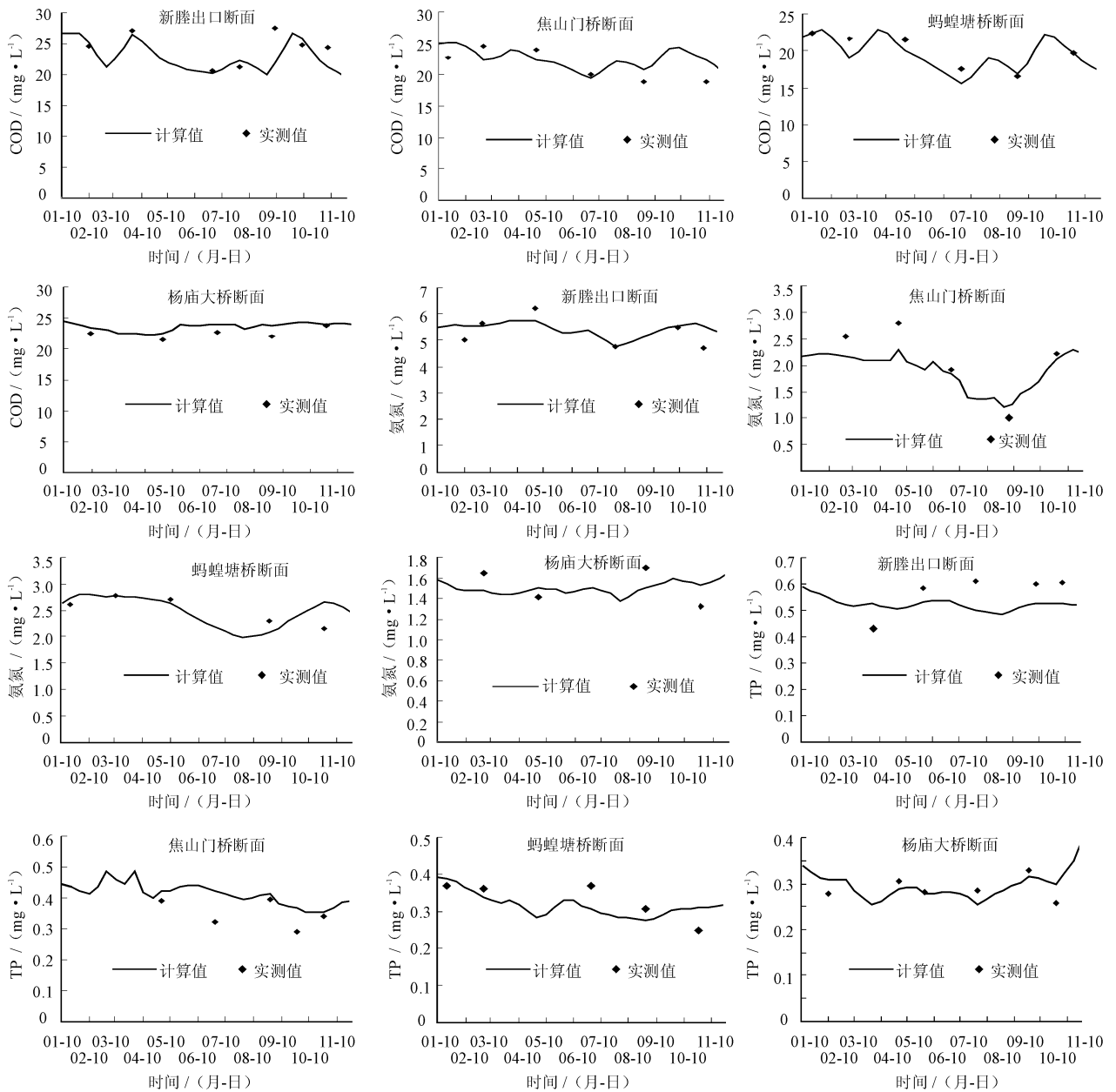


图 4 2011 年率定点 COD<sub>Cr</sub>、氨氮和 TP 水质浓度计算值与实测值的对比

## 2 水质达标方案分析

### 2.1 污染源入河量计算

嘉兴市区污染源资料来源于嘉兴市提供的 2011 年环境统计资料,根据第一次全国污染源普查系数手册,统计计算得到嘉兴市区 2011 年污染物入河量见表 1。其中污水处理厂处理范围包括生活废水和工业废水(由于计算河流的纳污能力,故对排海的污水处理厂暂不计算在内);规模化畜禽是指生猪出栏量在 500 头以上,家禽出栏量(存栏量)在 3 万只以上的养殖场。从表 1 可知:①嘉兴市区面源污染相对严重,COD、氨氮及 TP 的面源入河量占

总量的 61%、66% 和 51%;②畜禽污染源为嘉兴市区水环境污染的重点污染源,尤其 TP 入河量的贡献率相对较高,占总量的 68%。

### 2.2 污染源影响权重分析

根据污染源影响权重分析方法,采用 2011 年嘉兴市区水质监测数据及污染物入河量数据,利用本研究所建立的水量水质模型,模拟计算嘉兴市区范围内内源、外源、点源和面源的污染源影响权重,结果见表 2。从表可知:①研究区域内源影响相对较大,尤其是氨氮和 TP 的内源影响权重平均达到 66% 和 72%;②研究区域点源影响相对较大,尤其是 TP 的点源影响权重平均达到 61%。

表1 2011年嘉兴市区污染物入河量及权重结果表 t/a

类别	点源			面源			合计
	直排 工业	污水 处理厂	规模化 畜禽	农村 生活	农田	分散 畜禽	
COD	495 (3)	714 (4)	5473 (32)	6146 (36)	1579 (9)	2613 (16)	17020 (100)
氨氮	56 (3)	23 (1)	550 (30)	683 (37)	316 (17)	225 (12)	1853 (100)
TP			252 (49)	82 (16)	79 (16)	98 (19)	511 (100)

注:括号内为各污染物所占的比例(%)。

表2 嘉兴市区内源外源与点源面源影响权重结果表 %

内外源	内源外源权重分析			点面源	点源面源权重分析		
	COD	氨氮	TP		COD	氨氮	TP
内源	57	66	72	点源	55	61	69
外源	43	34	28	面源	45	39	31

### 2.3 排污口概化

排污口概化的污染源包括工业点源、城镇生活点源、农村生活面源、农业面源和畜禽源。其中工业点源包含直排工业按污染物从大到小排序,筛选出占污染物总量85%的直排工业企业;污水处理厂处理的污染源包括城镇生活源和工业源,以点源形式排放,不考虑排海的污水处理厂;鉴于嘉兴市区为畜禽养殖大市,畜禽污染源分为点源和面源两类进行考虑。点源是指规模化集中养殖的畜禽,面源是指分散式养殖的畜禽。结合嘉兴市区水文水系情况,主要入河排污口的概化原则为:

(1)有大型污水处理厂处、重点直排工业源、城市人口居住区以及规模化畜禽养殖区附近的河流需要概化排污口;

(2)排污口若距离较近,可根据概化排污口权重把多个排污口简化成集中的排污口;

(3)分散的面源排污口通过沿线河流,以一段河流的形式进入概化河网。

本研究共概化35个排污口,其中点源排污口18个,面源排污口17个,见图1。

### 2.4 水功能区纳污能力计算

根据《浙江省水功能区、水环境功能区划》要求,嘉兴市区共涉及18个水功能区(见图2),除11号水功能区为Ⅳ类水质标准,其余均为Ⅲ类水质标准。根据2011年嘉兴市区环境统计资料及水文水质断面实测数据,采用90%保证率(2011)最枯月流量,利用已建水量水质模型,通过等比例削减法削减

概化排污口的入河量,使各水功能区水质达标,此时计算得到污染物最大允许排放数量,即为水功能区纳污能力,结果见表3。同时,根据污染物总量控制原则,在水功能区纳污能力复核成果基础上,计算得到嘉兴市区的污染物削减情况表,见表4。从表3和表4可知:

(1)嘉兴市区18个河流水功能区纳污能力COD、氨氮和TP分别为8642、794及227 t/a;

(2)嘉兴市区污染物超标严重,尤以氨氮和TP为主要污染因子;

(3)根据总量控制原则,在2011年现状入河量基础上,COD、氨氮和TP分别需削减49%、57%和56%。

表3 嘉兴市区各水功能区纳污能力结果表 t/a

序号	纳污能力			序号	纳污能力		
	COD	氨氮	TP		COD	氨氮	TP
1	352	31	7	10	554	41	11
2	87	7	2	11	730	80	23
3	551	48	11	12	1119	106	39
4	398	33	10	13	338	26	8
5	90	8	3	14	59	6	2
6	377	30	11	15	776	70	18
7	339	28	9	16	787	63	15
8	537	47	11	17	415	43	14
9	668	86	23	18	465	41	10
总计					8642	794	227

表4 嘉兴市区污染物削减率计算结果表 t/a, %

污染物	纳污能力	现状入河量	削减率
COD	8642	17020	49
氨氮	794	1853	57
TP	227	511	56

## 3 结论与建议

### 3.1 结论

通过嘉兴市区污染源调查及水功能区水质达标纳污能力计算,可以得出如下结论:

(1)污染源调查成果表明:嘉兴市区面源污染相对严重,畜禽污染源为嘉兴市区水环境污染的重点污染源,尤其TP入河量的贡献率相对较高;

(2)污染源权重分析表明:研究区域内源及点源影响相对较大,其中氨氮和TP的内源影响权重平均达到66%和72%,TP的点源影响权重平均达到61%;

(3)纳污能力计算结果表明:嘉兴市区18个河

流水功能区纳污能力 COD、氨氮和 TP 分别为 8642、794、227 t/a;嘉兴市区污染物超标严重,尤以氨氮和 TP 为主要污染因子;根据总量控制原则,在 2011 年现状入河量基础上,COD、氨氮和 TP 分别需削减 49%、57% 和 56%。

### 3.2 建议

结合嘉兴市区水功能区水质达标纳污能力计算结果及其城市发展特点,提出水环境管理措施及目标如下:

(1)通过城镇和农村生活污水治理工程、农村垃圾处理工程等逐步实现嘉兴市区城乡污水收集处理一体化;

(2)结合节水型城市和节水型社会建设,进一步提高化工、冶金电镀、电力等高耗水行业水循环利用和中水回用水平,加强用水定额管理,对达不到清洁生产要求的企业逐步淘汰;

(3)在种植业生产过程中,合理施用农药、化肥及淤泥、人畜粪便等有机肥,综合利用农业废弃物,推广农作物和林木病虫害的综合防治,促进农业生态良性循环,建设标准化、无公害的生态农业,有效减少农业生产引起的面源污染;

(4)针对畜禽养殖污染,严格按照“一堵、两分离、三配套、零排放”的要求,全面封堵直排口,强化干湿分离、雨污分离,配套干粪堆积场、沼气池、沼液池配套建设,并定期清理干粪、沼液、沼渣、污水、污液,以防对周边环境造成污染,实现农牧结合生态循环利用。

(上接第 21 页)

供的方法思路分析排涝泵站群规模和运行对河网排水的影响,对建设新区所需的泵站规模有一个初步评判,并做风险评估。

### 参考文献:

- [1] 刘洋. 几种水面线推算方法的比较[J]. 人民黄河, 2011, 33(2): 51-53.
- [2] Walton R, Jonas M, Stroppini A, et al. Hydraulic model study of delta-mendota canal[C]//. Impacts of Global Climate Change, World Water and Environmental Resources Congress, Alaska, United States, 2005.
- [3] Leandro J, Chen A S, Djordjevi S, et al. Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 135(6): 495-504.

### 参考文献:

- [1] 长江流域水资源保护局. GB/T 25173-2010. 水域纳污能力计算规程[S]. 北京:国家质检总局, 2010.
- [2] 张秀菊,杨凯,蔡爱芳,等. 不确定性参数对水体纳污能力的影响分析[J]. 中国农村水利水电, 2012(1): 13-17.
- [3] 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+22.
- [4] 韩龙喜,朱党生,蒋莉华. 中小型河道纳污能力计算方法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 35-38.
- [5] 付意成,魏传江,储立民,等. 浑太河流域水质达标控制方法研究[J]. 中国环境监测, 2012, 28(2): 70-76.
- [6] 路雨,苏保林. 河流纳污能力计算方法比较[J]. 水资源保护, 2011, 27(4): 5-9+47.
- [7] 骆辉煌,魏开涓,史晓新. 水资源保护与纳污总量控制[J]. 中国水利, 2011(23): 73-78.
- [8] 汪德耀. 计算水力学理论与应用[M]. 南京:河海大学出版社, 1989.
- [9] Dewey R J. Application of stochastic dissolved oxygen model[J]. Journal of Environmental Engineering, 1984, 110(2): 412-429.
- [10] Carpenter S R, Carcao N F, Correll D L, et al. nonpoint of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecological Applications, 1998, 8(3): 559-568.
- [11] Withers P J A, Davidson I A & Foy R H. Prospects for controlling diffuse phosphorus loss to water[J]. Environ Qual, 2000, 29: 167-175.
- [12] Elrashidi M A, Alva A K, Huang Y F, et al. Accumulation and downward transport of phosphorus in florida soils and relationship to water quality[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2001, 32: 3099-3119.
- [4] 徐奎,马超. 福州市主城区洪涝灾害成因分析及对策研究[J]. 水利水电技术, 2011, 42(10): 113-118.
- [5] 王建鹏,薛春芳,解以扬,等. 基于内涝模型的西安市区强降水内涝成因分析[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 772-775.
- [6] 徐晶,宋东辉. 考虑河道涌容调节的排涝设计[J]. 人民长江, 2010, 41(24): 17-19+24.
- [7] 江如汉,喻胜春,袁锦虎. 潮水地区泵站规模确定方法的探讨[J]. 中国农村水利水电, 2008(8): 127-129
- [8] 谢华,黄介生. 城市化地区市政排水与区域排涝关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 10-13+26.
- [9] 兰才有,仪修堂,段桂芳,等. 南水北调东线工程水泵机组选型方法探讨[J]. 排灌机械, 2004, 22(1): 1-7+12.