

平原河网地区跨界断面污染源影响权重分析 ——以嘉善县为例

王 雪^{1,2}, 逢 勇^{1,2}, 王 晓^{1,2}

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

摘 要: 为解决平原河网区跨界水环境纠纷问题,明确跨界断面水环境污染来源尤为重要. 以嘉善县为例,建立嘉善县水环境数学模型,利用区域内、外污染源及点、面污染源对跨界断面影响权重分析方法,通过计算结果分析得出,影响跨界断面水环境的主要因素为研究区域内部的重要点源. 利用污染物通量指标,进行区域内部重要点源对每个跨界断面的污染物来源分析,计算得到对跨界断面水环境影响较大的均为距离跨界断面相对位置较近的排放量大的污水处理厂,故通过合理控制跨界断面污染物影响权重最大的重要点源,对解决跨界水环境纠纷问题具有重要意义.

关键词: 平原河网; 水环境数学模型; 跨界断面; 影响权重

中图分类号: X 522

文献标志码: A

文章编号: 0254 - 0037(2018)12 - 1557 - 10

doi: 10. 11936/bjtxb2017060058

Pollutant Sources Influence Weight of the Trans-boundary Section in Plain River Network —A Case Study in Jiashan County

WANG Xue^{1,2}, PANG Yong^{1,2}, WANG Xiao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development of Shallow Lakes,
Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To solve the water environment dispute problem of the trans-boundary section in plain river network, it is particularly important to define the pollutant sources in the trans-boundary section. Taking Jiashan County as a case, a water environment mathematical model in Jiashan County was established. By using the influence weight analysis method of the internal and external pollutant sources and the point and surface pollutant sources in the trans-boundary section, the results of calculation and analysis show that the main factor affecting the water environment of trans-boundary section is the important source of the internal area. The pollutants sources analysis of each trans-boundary section to the important point sources in the internal area was carried out by using pollutant flux index. Results show that the large discharge sewage treatment plant closed to the trans-boundary section of the cross section has a large influence on the water environment of the trans-boundary section. It is of great significance to solve the

收稿日期: 2017-06-28

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2014ZX07405002, 2012ZX07506-006); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 王 雪(1986—), 女, 博士研究生, 主要从事水资源规划与保护方面的研究, E-mail: wangxue7257@126.com

trans-boundary water environment dispute problem by rationally controlling the major sources of the greatest influence weight in trans-boundary section.

Key words: plain river network; water environment model; trans-boundary section; influence weight

跨行政区域河流污染是水环境问题矛盾纠纷事件频发的重要原因,跨界区域的问题对下游区域造成经济损失,更会影响跨行政区之间的协调稳定发展^[1-5]. 因此,对河流跨行政区交界断面污染物溯源分析是实施流域控制的基础.

当前,世界范围内河流突发污染事件^[6-10]不断发生,国内外学者针对突发性污染物溯源、预警及应急响应系统平台^[11]做出了大量的研究,但如何对平原河网区往复河流蓄积污染造成的污染溯源、预警研究较少,特别是平原河网区跨行政区交界断面的污染物来源分析研究更少. Desimone 等^[12]针对大型溢油事故特点,在模拟和应急评估中采用人工智能和模式识别技术,将预警应急过程中的处理设施选择和人员配备作为重要步骤. 杨海东等^[13]结合微分进化和蒙特卡洛模拟方法,识别突发性水污染源,为解决突发水污染事件中追踪溯源问题提出科学的思路和有效的解决办法. 姜继平等^[11]运用系统论的原理和方法,对河流突发污染应急预警响应过程中的基础科学问题进行了数学抽象与深入剖析. 马原^[14]根据突发水质污染事件的发展动态,对其污染源进行判断,并进行重构分析,从而提高相关水质管理人员的水质污染应急处理能力. 针对跨界污染事故,大多学者注重于研究其上下游跨界区域水污染补偿的问题. Savy 等^[15]提出用生态补偿理论解决流域跨界污染问题;张丽丽等^[16]对京津冀进行跨界水污染生态补偿核算机制研究. 目前,跨界区域水污染事件溯源分析较少,李雪等^[17]利用 SPARROW 模型进行了新安江流域跨省界断面污染源溯源分析,得到上游各类污染源中对评估断面污染总量贡献率最高的为农业源,且不同子流域有不同空间分布特征. 目前污染源溯源仅仅局限于污染类型研究,没有进一步的溯源分析. 特别是在平原河网区感潮河段,水流往复不定,大大增加了溯源的难度.

本文结合研究区域水文、水质同步监测,利用 Saint-Venant 方程组构建一维水环境数学模型,模拟平原河网区的嘉善县水质现状. 嘉善县出境河流断面是浙江省与上海市交界断面(跨界断面),选取跨

界断面进行区域污染源影响权重分析,得到影响跨界断面的污染物类型,并进行跨界断面污染物通量分析,计算出跨界断面的污染物影响情况,对跨界断面进行重要污染源的溯源分析,以期为跨行政区环境治理及污染防控提供实际的应用价值.

1 研究区域概况

嘉善县位于浙江省的东北部,与江苏省、上海市交界,是上海、江苏、浙江三地的中心区位,东经 120°44′22″—121°01′45″,北纬 30°45′36″—31°01′12″. 嘉善县总面积 506.59 km²,其中水域面积 72.40 km²,占总面积 14.29%^[18]. 嘉善县属于杭嘉湖平原河网区,水系复杂,水流向随下游感潮河段影响反复不定. 受海洋气流影响,风向季节变化明显,夏季盛行东南风,冬季盛行西北风. 嘉善县主要出入境河流有 9 条,其中池家浜水文站、红旗塘大坝、清凉大桥、枫南大桥为出境河流断面,民主水文站、油车港、杨庙大桥、七星、柏树桥为入境河流断面(图 1 中编号依次为 1~9). 4 个出境断面是嘉善县与上海市交界的重要跨界断面,是两市之间水污染产生纠纷的重要断面,也是本文研究的重点.

研究区域各类污染源对水域造成严重污染,主

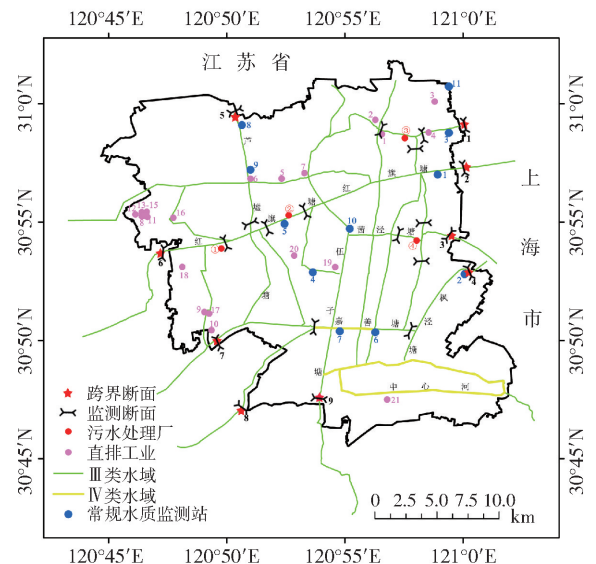


图 1 研究区域污染源、跨界断面及水功能区分布示意图

Fig. 1 Distribution of pollutant sources, trans-boundary sections and water function zones in the study area

要包括污水处理厂、直排工业企业、生活污染、畜禽和农田种植 5 类污染类型。研究区域内点源包括污水处理厂共 4 家和直排工业企业 21 家(分布见图

1), 其他污染类型为研究区域面源污染。根据 2013 年环境统计数据统计计算得到各类污染源污染物入河量信息见表 1。

表 1 研究区域污染物排放统计信息

Table 1 Statistical information of pollutants into the river in the study area

t/a

污染源	COD	NH ₃ -N	TP	TN	合计
污水处理厂	1 630.1	174.5	9.7	276.2	2 090.5
工业直排	169.5	11.2	0.9	33.0	214.6
城镇生活	985.1	109.5	13.1	158.7	1 266.4
农村生活	707.8	78.6	9.4	114.0	909.8
畜禽水产	1 092.7	127.5	31.0	305.0	1 556.2
农田种植	0.0	64.0	29.3	399.5	492.8
合计	4 585.2	565.3	93.4	1 286.4	6 530.3

2 嘉善县水环境数学模型构建

2.1 水文、水质同步监测

在本课题组人员的协助下,在嘉善县开展连续 3 d 的水文、水质同步监测。2013 年 8 月 22—24 日每天水文、水质指标各监测 4 次。水文指标监测因子为流量、流速、水深及水面宽度等;水质指标监测因子为 pH、水温(T)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、总氮(TN)。此次同步监测的断面共计 21 个,布设见图 1。

2.2 模型基本方程

2.2.1 水动力数学模型

在水动力数学模型中,由质量守恒的连续性方程和能量守恒的动量方程组成的 Saint-Venant 方程组^[19],用于描述河道水流运动。

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

式中: t 为时间坐标, s ; x 为空间坐标, m ; B 为河宽, m ; Z 为水位, m ; Q 为断面流量, m^3/s ; q 为旁侧入流, m^3/s ; A 为过水面积, m^2 ; α 为动量校正系数; g 为重力加速度, G ; K 为流量模数, $m^3/(s \cdot km^2)$; 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, m^3/s 。

2.2.2 水质数学模型

在水质数学模型中,假设物质在断面上完全混合的前提下^[16-17],利用对流扩散方程来描述河道水

质运行。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - KC \quad (2)$$

式中: t 为时间坐标, s ; x 为空间坐标, m ; C 为模拟物质的质量浓度, mg/L ; u 为河流平均流速, m/s ; E_x 为对流扩散系数, m^2/s ; K 为模拟物质的一级衰减系数, $1/d$ 。

2.3 模型的建立

在充分掌握嘉善县地形地貌、降雨蒸发等资料的基础上,以主干河流水系为基础,对嘉善县进行河网概化(见图 2)。本次模型建立中,污染源数据依据浙江省嘉善县 2013 年环统资料,直排工业及污水

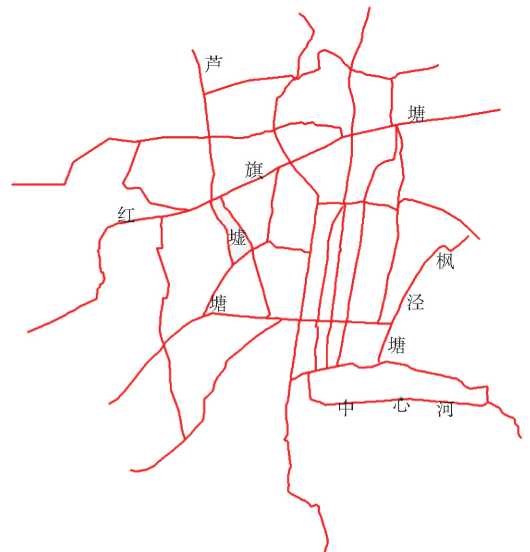


图 2 嘉善县水环境数学模型河网示意图

Fig. 2 River network of mathematical model in Jiashan Country

处理厂等点源数据根据其所在位置进行排污口概化后输入模型中,农业及农村生活等面源则根据相对位置平均分配到相应河段^[20-21],对应河段面源根据逐日降雨资料分配到逐日。

2.4 模型参数率定验证

2.4.1 模型参数率定

根据2013年8月22—24日共计12次同步监测结果,污染源利用嘉善县2013年环统资料,以模型内部的水文、水质监测断面资料为依据,采用试错法调试各河道的糙率对模型参数进行率定,率定得到嘉善县河道糙率为0.023~0.028。根据研究区域污染源及水质污染的特点,选择污染因子 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、TP和TN作为水质模拟对象,对各河道水质降解系数进行调试,率定得到COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN的降解系数分别为 $0.09\sim 0.13\text{ d}^{-1}$ 、 $0.04\sim 0.07\text{ d}^{-1}$ 、 0.045 d^{-1} 、 $0.06\sim 0.11\text{ d}^{-1}$ 。利用模型计算得到的水位、水质数据与实测值作对比,模型内部监测断面水位的平均绝对误差在1.3 cm以内;COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN的平均误差分别小于5.25%、13.56%、10.23%、5.27%。由此可见,模型模拟的水位及水质均拟合较好,部分监测断面模型计算值和实测值对比见图3。

2.4.2 模型参数验证

利用模型率定得到的河道糙率和水质降解系数,根据2013年全年逐日水文资料及每2个月一次水质监测资料,污染源利用嘉善县2013年环统资料,对河道糙率和水质降解系数进行验证,模拟计算得到研究区域监测点位的水位绝对误差均在5.4 cm以内,污染因子COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN的水质质量浓度平均误差分别小于0.89%、7.42%、5.08%、5.34%。嘉善县水环境数学模型的河道糙率及水质降解系数符合该区域的水环境现状,模型模拟结果误差在允许范围内,可使用该模型进行模拟该区域的水文、水质变化过程。部分监测断面模型模拟计算值与实测值对比情况见图4。

3 区域污染源影响权重计算方法

3.1 区域内、外污染源影响权重计算方法

区域水环境的影响因素^[18]主要为区域入境断面来水的污染(外源)及区域内污染源的排放(内源)。外源主要是研究区域上游污染源排放进入河道后汇入研究区域的污染物,内源主要是指研究区域内部污染源排放进入研究区域内河道的污染

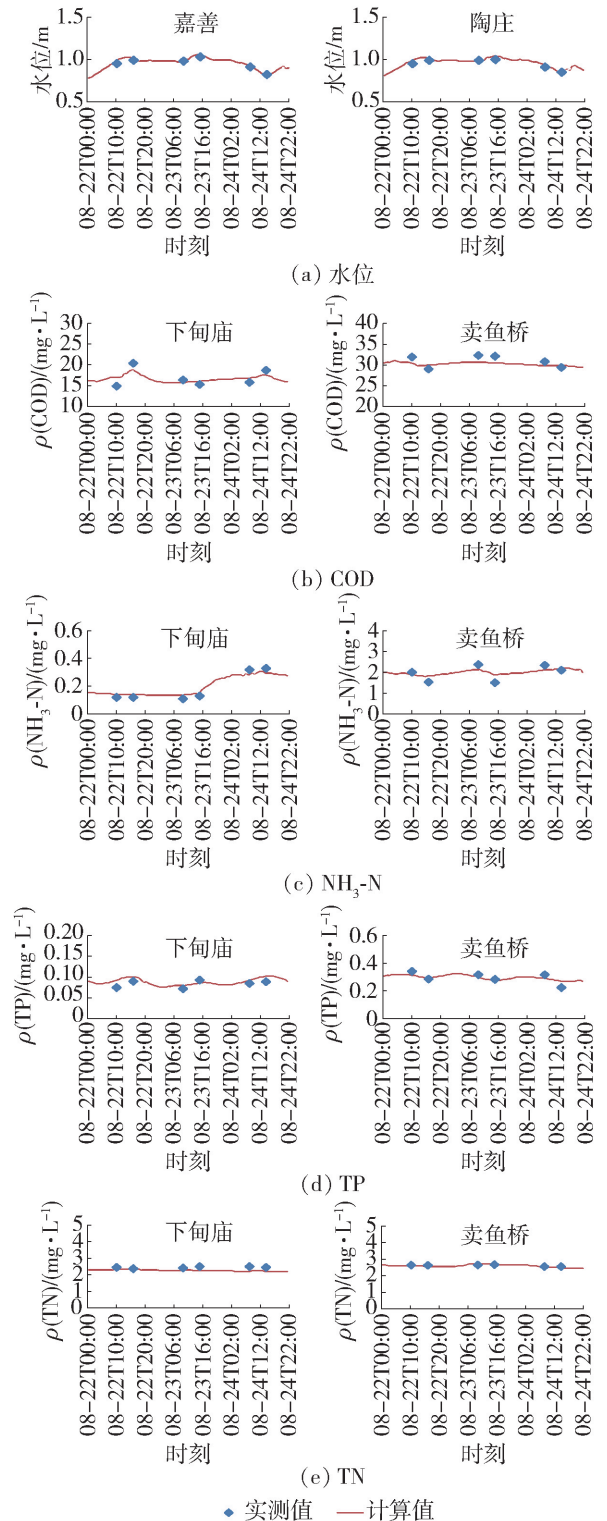


图3 部分监测断面模型率定计算值和实测值对比

Fig. 3 Comparison between calculated and measured values of partial monitoring sections

物。利用嘉善县水环境数学模型,分别模拟只考虑内源或外源条件下跨界断面的质量浓度值。在只考虑内源时,模型上游边界选取该河段水功能区水质目标值进行模拟计算;只考虑外源时,模型

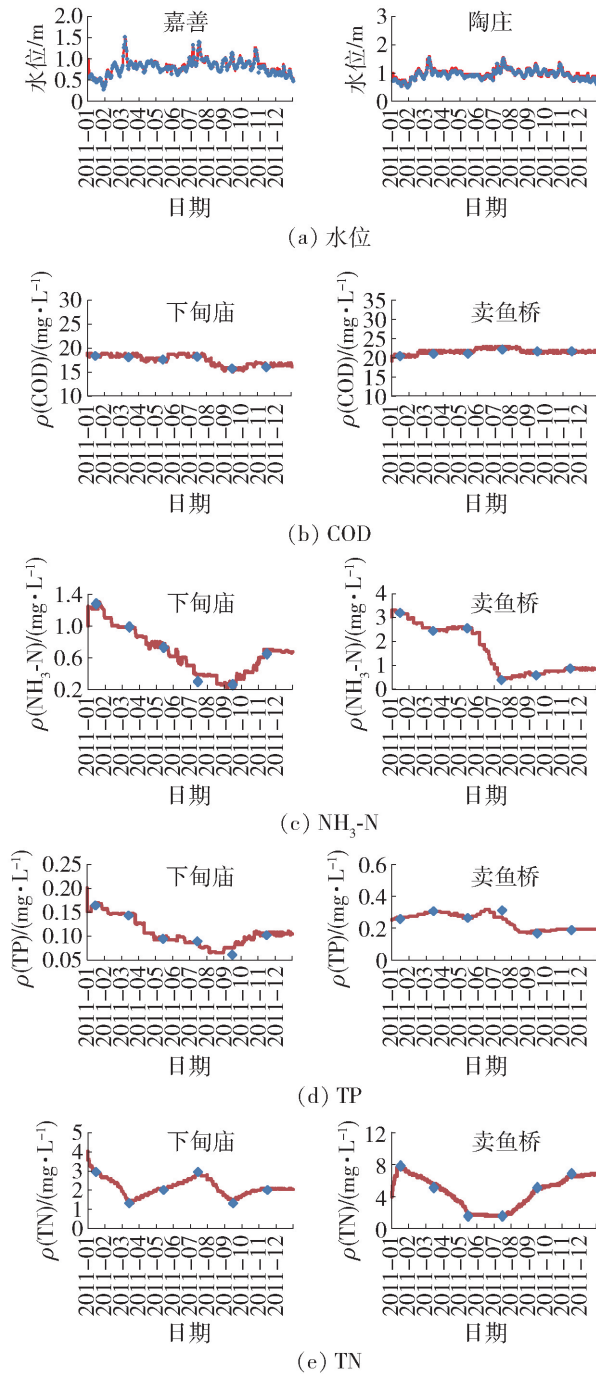


图4 部分监测断面模型验证计算值和实测值对比

Fig. 4 Comparison between calculated and measured values of partial monitoring sections

上游边界选取实测值,模型内部不输入污染源数据进行模拟计算。根据模型模拟计算得到的数据,利用内、外污染源对跨界断面影响权重公式进行计算分析,从而确定跨界断面水环境污染影响的主要因素。公式为

$$\alpha_i = \frac{C_i}{C_i + C_0}, \alpha_0 = \frac{C_0}{C_i + C_0} \quad (3)$$

式中: α_i 为区域内源所占的影响权重,%; α_0 为区域外源所占的影响权重,%; C_i 为模型上游边界取该河段水功能区水质目标值时,跨界断面水质质量浓度值, mg/L ; C_0 为模型上游边界取入境来水实测水质,水环境数学模型内部不输入污染源数据时,跨界断面的水质质量浓度值, mg/L 。

3.2 区域点、面污染源影响权重计算方法

为追溯跨界断面水环境污染影响的来源,针对不同类型的污染源采取有效的控制污染源排放的管理措施。利用建立的水环境数学模型,分别模拟只考虑点源或面源的情况下跨界断面的水体质量浓度值。模拟时上游边界选取该河段水功能区水质目标值,只考虑点源时,模型内部只输入点源数据;只考虑面源时,模型内部只输入面源数据进行计算。根据2种情况下模拟计算得到的数据,利用点、面污染源对跨界断面影响权重公式进行计算分析,从而确定对跨界断面水环境影响的主要污染源类型。公式同公式(3)。

3.3 区域重要污染源影响权重计算方法

为了优化跨界断面水环境污染现状,针对不同的跨界断面,在重点污染源类型中追溯到具体的重要污染源来进行量化的控制,可更科学有效地利用研究区域的水资源。本文引入污染物通量指标,污染物通量不仅反映跨界断面的水质指标,还可结合水量指标来定量判定跨界断面的污染状态。尤其本文研究区域流向随下游感潮河段影响反复不定,利用污染物通量指标来计算双向流带来的水环境污染来源更有科学性和合理性。

3.3.1 污染物通量计算方法

污染物通量是水污染控制规划的主要约束条件^[22-23],也是污染物总量控制的关键参数。其计算需要连续时间内的水质质量浓度及水量值,但研究区域水流往复流明显,仅靠低频次的监测数据不能真实反映研究区域水环境现状。本文结合建立的嘉善县水环境数学模型来模拟计算跨界断面的污染物通量。采用双向流来解决往复流的问题,跨界污染物通量计算时,出境为正向河流,入境为反相河流。为了更符合水环境现状,利用实时监测数据与模型数据进行实时校核,引入污染物通量校核系数来校核污染物通量计算结果。污染物通量计算公式为

$$W = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \alpha_i 8.64 \times 10^{-2} \quad (4)$$

式中: W 为污染物通量, t ; i 为计算天数, d ; C_i 为水质

质量浓度, mg/L; Q_i 为流量, m^3/s ; α_i 为污染物通量校核系数。

其中污染物通量校核系数计算公式为

$$\alpha = \frac{C_j Q_j}{C_s Q_s} \quad (5)$$

式中: α 为断面污染物通量校核系数; C_j 为断面水质计算质量浓度, mg/L; Q_j 为断面计算流量, m^3/s ; C_s 为断面水质实测质量浓度, mg/L; Q_s 为断面实测流量, m^3/s 。

3.3.2 重要污染源影响权重计算方法

为了更有针对性地追溯到影响跨界断面水环境质量的重要污染源, 对影响权重大的重要污染源进行合理的排放控制, 可明显改善跨界断面水环境现状。结合建立的嘉善县水环境数学模型, 利用污染物通量指标, 根据不同污染源对跨界断面影响权重来分析确定污染来源。模型按水文水质同步监测资料可计算实测跨界断面污染物通量。模拟计算时模型内部不输入某一污染源信息, 计算得到跨界断面污染物通量, 利用重要污染源对跨界断面影响权重计算公式^[24], 确定对跨界断面水环境影响的重要污染源。重要污染源对跨界断面影响权重计算公式为

$$\alpha_s^i = \frac{W_s^i}{W_s} \quad (6)$$

表2 内、外污染源对跨界断面水质影响权重计算结果

Table 2 Influence weight of internal and external pollutant sources on water quality of trans-boundary sections %

断面	COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	内源	外源	内源	外源	内源	外源	内源	外源
池家浜水文站	55.0	45.0	52.3	47.7	51.4	48.6	53.8	46.2
红旗塘大坝	55.6	44.4	50.2	49.8	55.2	44.8	53.0	47.0
清凉大桥	56.1	43.9	51.3	48.7	51.9	48.1	52.0	48.0
枫南大桥	54.9	45.1	52.9	47.1	53.2	46.8	51.8	48.2
平均值	55.4	44.6	51.7	48.3	52.9	47.1	52.6	47.4

4.2 点、面污染源影响权重分析

研究区域内部污染源主要分为点源和面源, 计算得到影响跨界断面水质的主要因素为研究区域内源, 可根据不同污染类型对内部污染源进行来源分析。由于面源污染受降雨径流影响较大, 本文将2013年分为丰、平、枯水期进行计算。利用建立的嘉善县水环境数学模型及嘉善县2013年污染源环境统计资料, 根据点、面源对跨界断面水质影响权重分析方

式中: α_s^i 为污染源 i 对跨界断面 s 影响权重, %; W_s^i 为模型内部不输入污染源 i 时, 跨界断面 s 污染通量, t; W_s 为跨界断面 s 污染物通量, t。

4 结果与讨论

4.1 内、外污染源影响权重分析

嘉善县地处三省交界的重要区域, 其下游与上海市的跨界断面污染来源成为解决两市水污染问题关键问题。跨界断面水质的影响因素^[18]主要为嘉善县上游来水的水质(外源)及嘉善县内污染源的排放(内源), 利用建立的嘉善县水环境数学模型及2013年水文、水质及污染源数据, 根据内、外污染源对跨界断面水质影响权重分析方法, 计算得到内、外污染源对跨界断面水质影响权重(见表2)。从表2可见, 嘉善县内源对跨界断面影响较外源大, COD内源平均影响权重达到55.4%, NH₃-N内源平均影响权重达到51.7%, TP内源平均影响权重达到52.9%, TN内源平均影响权重达到52.6%。根据结果分析可知, 嘉善县内外污染源对跨界断面影响均较高, 但其内部污染排放影响更为明显, 故影响跨界断面水质的主要因素为研究区域内源。

法, 分别计算得到不同水期点、面源对跨界断面水质影响权重(见表3)。从表3可见, 与平水期及枯水期相比较, 在丰水期各断面的面源污染权重最大。在丰水期只有池家浜水文站和红旗塘大坝的COD与TN因子的面源污染权重大于点源污染权重, 其他断面的不同水期及因子均是点源对跨界断面影响较面源大, 丰、平、枯水期COD点源平均影响权重分别达到51.6%、55.1%、55.6%, NH₃-N点源平均影

响权重分别达到 63.7%、70.4%、69.5%,TP 点源平均影响权重分别达到 60.8%、66.4%、67.5%,TN 点源平均影响权重分别达到 66.6%、69.9%、67.9%。根据结果分析可知,嘉善县内部点源对跨界断面水质影响更为明显,主要由于研究区域内部

直排工业企业排放量大,且有 4 家污水处理厂,从而得到,影响跨界断面水质的主要因素为研究区域内部的点源,合理有效地控制影响跨界断面水质的点源,可提高跨界断面的水质管理效率。

表 3 各水期点、面源对跨界断面水质影响权重计算结果

Table 3 Influence weight of point and non-point pollutant sources on water quality of trans-boundary sections in different water periods

断面	水期	COD		NH ₃ -N		TP		TN		%
		点源	面源	点源	面源	点源	面源	点源	面源	
池家浜水文站	丰	47.5	52.5	54.6	45.4	47.2	52.8	66.4	33.6	
	平	50.6	49.4	61.9	38.1	53.3	46.7	69.2	30.8	
	枯	51.5	48.5	61.5	38.5	55.7	44.3	66.8	33.2	
红旗塘大坝	丰	48.3	51.7	58.7	41.3	52.1	47.9	63.9	36.1	
	平	50.9	49.1	65.0	35.0	56.9	43.1	67.7	32.3	
	枯	51.6	48.4	64.3	35.7	58.5	41.5	66.0	34.0	
清凉大桥	丰	53.4	46.6	67.5	32.5	63.1	36.9	65.7	34.3	
	平	56.9	43.1	73.7	26.3	68.6	31.4	68.9	31.1	
	枯	57.4	42.6	72.8	27.2	69.2	30.8	67.2	32.8	
枫南大桥	丰	57.1	42.9	74.1	25.9	80.8	19.2	69.2	30.8	
	平	62.1	37.9	81.1	18.9	86.9	13.1	73.7	26.3	
	枯	62.0	38.0	79.5	20.5	86.5	13.5	71.5	28.5	
平均值	丰	51.6	48.4	63.7	36.3	60.8	39.2	66.6	33.4	
	平	55.1	44.9	70.4	29.6	66.4	33.6	69.9	30.1	
	枯	55.6	44.4	69.5	30.5	67.5	32.5	67.9	32.1	

4.3 跨界断面重要点源影响权重分析

嘉善县 4 个出境河流断面是浙江省与上海市交界的主要跨界断面,了解 4 个断面污染物通量变化情况可为省市之间水环境管理提供可靠依据。根据建立的嘉善县水环境数学模型及 2013 年红旗塘大坝国控断面实时监测数据,采用实时校核技术,利用污染物通量公式,计算得到 2013 年嘉善县与上海市之间 4 个跨界断面的 COD 污染物通量为 117 731 t, NH₃-N 污染物通量为 6 313 t, TP 污染物通量为 1 572 t, TN 污染物通量为 24 545 t。2013 年跨界断面污染物通量计算结果见图 5。由图可见,2013 年跨界断面污染物通量计算结果显示,4 个跨界断面中断面 2(红旗塘大坝)污染物通量最大,故有效监控红旗塘大坝断面污染物通量有重要意义。

通过计算得到对跨界断面影响权重较大主要因素为研究区域内部的点源。选取嘉善县与上海市之

间的跨界断面分别进行区域内重要点源的污染物来源分析,结合嘉善县水环境数学模型水文、水质数据及 2013 年污染源环统资料,在计算得到跨界断面污染物通量计算结果的基础上,利用重要点源对跨界断面影响权重计算公式,计算得到重要点源对跨界断面影响权重计算结果(见表 4)。由表 4 可得,嘉善县出境断面池家浜水文站的污染物影响权重最大的污染源为污水厂 3,污染物影响权重平均值为 52%;红旗塘大坝的污染物影响权重最大的污染源为污水厂 1,污染物影响权重平均值为 48%;清凉大桥的污染物影响权重最大的污染源为污水厂 4,污染物影响权重平均值为 50%。根据计算结果分析可知,对跨界断面水环境影响较大的均为距离跨界断面相对位置较近的排放量大的污水处理厂,故对跨界断面最大污染物影响权重的点源进行合理控制,可保障跨界断面水质达标。

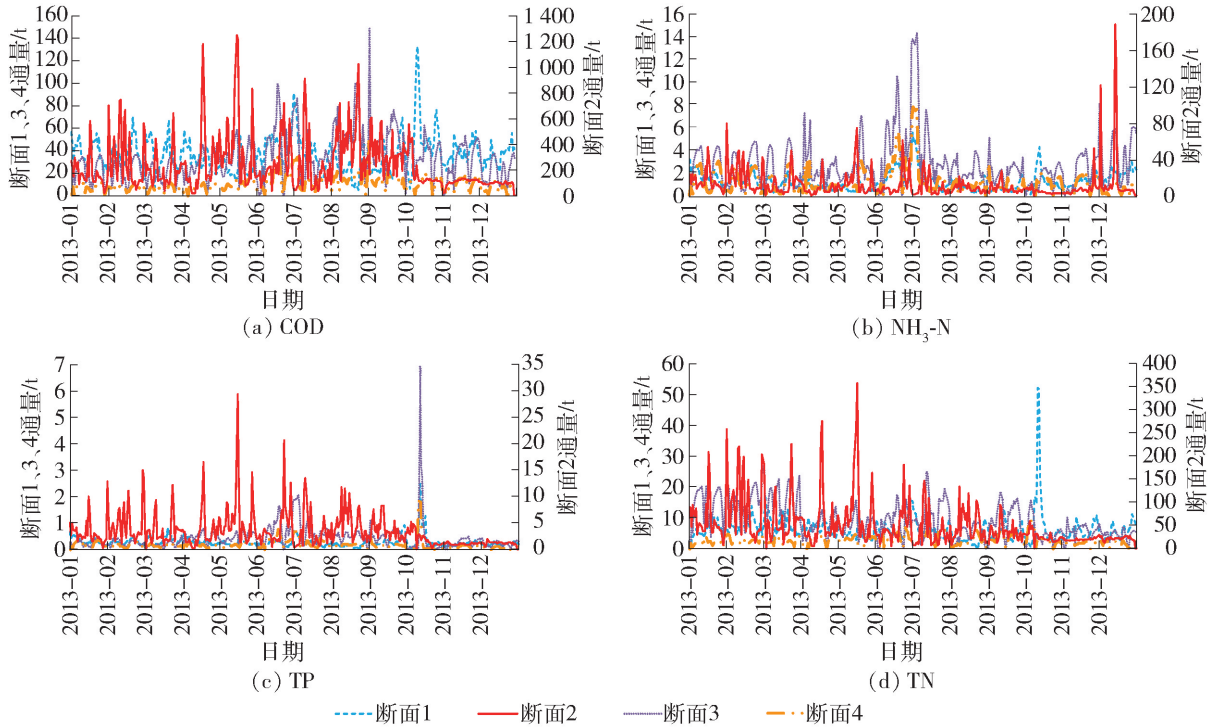


图5 2013年跨界断面污染物通量

Fig. 5 Pollutant fluxes of trans-boundary sections in 2013

表4 重要点源对跨界断面影响权重计算结果

Table 4 Influence weight of the important point source of trans-boundary sections

断面名称	点源	COD	NH ₃ -N	TP	TN	平均值	%
池家浜水文站	工业 1	21	22	21	25	22	
	工业 2	18	17	19	21	19	
	工业 3	13	5	7	9	9	
	工业 4	11	0	9	0	10	
红旗塘大坝	污水厂 3	52	50	56	49	52	
	污水厂 1	48	47	48	50	48	
清凉大桥	污水厂 2	31	30	29	32	31	
	污水厂 4	51	50	48	52	50	

注:枫南大桥断面上游无主要点源,故无计算结果。

5 结论

1) 利用区域内、外污染源对跨界断面影响权重分析方法,计算分析得出内部污染源平均影响权重,COD为55.4%,NH₃-N为51.7%,TP为52.9%,TN为52.6%,研究区域内污染源影响权重大于外部污染源影响权重,说明该区域内部污染严重且对跨界断面影响较大。

2) 由于面源受降雨影响较大,利用区域点、面污染源对跨界断面影响权重分析方法按丰、平、枯水

期分别计算出污染源影响权重。分析可知,在丰水期各断面的面源污染权重最大,但丰水期只有池家浜水文站和红旗塘大坝的COD与TN因子的面源污染权重大于点源污染权重,其他断面的不同水期及因子均是点源对跨界断面影响较外源大,总体来说,点源影响权重大于面源影响权重,故影响跨界断面水环境的主要因素为研究区域内部的重要点源。

3) 采用实时校核技术,计算得到2013年嘉善县与上海市之间4个跨界断面的COD污染物通量为117 731 t,NH₃-N污染物通量为6 313 t,TP污染

物通量为 1 572 t, TN 污染物通量为 24 545 t. 利用污染物通量指标针对区域内部重要点源对每个跨界断面进行污染物来源分析, 得到影响跨界断面最大的重要污染源, 对池家浜水文站的影响权重最大的为污水厂 3, 红旗塘大坝影响权重最大的为污水厂 1, 清凉大桥影响权重最大的为污水厂 4. 对跨界断面水环境影响较大的均为距离跨界断面相对位置较近的排放量大的污水处理厂, 故通过对其合理控制即可对跨界断面水环境污染进行科学有效的改善, 对解决跨界水环境纠纷问题具有重要意义.

参考文献:

- [1] 周海炜, 钟尉, 唐震. 我国跨界水污染治理的体制矛盾及其协商解决[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2006, 40(2): 234-239.
ZHOU H W, ZHONG W, TANG Z. The system contradiction on transboundary water pollution controlling in China and its consultation solution [J]. Journal of Central China Normal University (Nat Sci), 2006, 40(2): 234-239. (in Chinese)
- [2] 王雪, 逢勇, 谢蓉蓉, 等. 基于控制断面水质达标的秃尾河流域总量控制[J]. 北京工业大学学报, 2015, 41(1): 124-130.
WANG X, PANG Y, XIE R R, et al. Total amount control of water quality standard at the control section in Tuwei river basin [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2015, 41(1): 124-130. (in Chinese)
- [3] 王晓, 逢勇, 谢蓉蓉, 等. 基于污染带特征指标控制的秃尾河流域总量研究[J]. 北京工业大学学报, 2015, 41(7): 1098-1107.
WANG X, PANG Y, XIE R R, et al. Total amount control in Tuwei river basin under the control of characteristic parameters of pollution zone [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2015, 41(7): 1098-1107. (in Chinese)
- [4] 宋丹, 杨肃博, 蒋昌谭, 等. 吴江重庆段水体 COD_{Mn}、氮和磷的时空分布[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(1): 100-109.
SONG D, YANG S B, JIANG C T, et al. Temporal spatial variation of carbon, nitrogen and phosphorus in Wujiang river [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2014, 40(1): 100-109. (in Chinese)
- [5] 王华, 王晓, 张甦. 浅水湖泊水生植被恢复判别模型研究与应用[J]. 北京工业大学学报, 2012, 38(1): 132-138.
WANG H, WANG X, ZHANG S. Aquatic macrophyte restoration differentiation model and application on shallow lakes [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2012, 38(1): 132-138. (in Chinese)
- [6] 黄德春, 陈思萌, 张昊驰. 国外跨界水污染治理的经验与启示[J]. 水资源保护, 2009, 25(4): 78-81.
HUANG D C, CHEN S M, ZHANG H C. The experience and inspiration of transboundary water pollution administration abroad [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 78-81. (in Chinese)
- [7] ALBERINI A. Environmental regulation and substitution between sources of pollution: an empirical analysis of Florida's storage banks [J]. Journal of Regulatory Economics, 2001, 19(1): 55-79.
- [8] BENDOW J. Challenges of transboundary water management in the Danube Riber basin [J]. International Water Resource, 2005, 46: 73-82.
- [9] 何磊, 陈圣波. 基于 RS 和 GIS 的松花江流域(吉林省段)水资源网络化管理技术研究[J]. 世界地质, 2004, 23(2): 163-167.
HE L, CHEN S B. Technological research on networking manage of water resources of Songhua River area (Jilin Province part) based on RS and GIS [J]. Global Geology, 2004, 23(2): 163-167. (in Chinese)
- [10] 王彦颖. 基于 WebGIS 的松花江(吉林省段)污染应急决策支持系统研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
WANG Y Y. Research on emergency strategy supporting system of Songhua River (Jilin Province section) based on WebGIS [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2007. (in Chinese)
- [11] 姜继平, 王鹏, 刘洁, 等. 突发水污染预警应急响应研究与实践的方法学辨析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3621-3628.
JIANG J P, WANG P, LIU J, et al. Methodological analysis on the research and practices on the early-warning and emergency response to river chemical spill incidents [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(9): 3621-3628. (in Chinese)
- [12] DESIMONE R V, AGOSTA J M. Oil-spill response simulation: the application of artificial intelligence planning technology in simulation for emergency management [M]. San Diego: Society for Computer Simulation, 1994: 254-265.
- [13] 杨海东, 肖宜, 王卓民, 等. 突发性水污染事件溯源方法[J]. 水科学进展, 2014, 25(1): 122-129.
YANG H D, XIAO Y, WANG Z M, et al. On source identification method for sudden water pollution accidents [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(1): 122-129. (in Chinese)
- [14] 马原. 大凌河突发水质污染的重构分析[J]. 水利规

- 划与设计, 2017(5): 59-62.
- MA Y. The reconstruction of emergency water pollution in Daling River[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2017(5): 59-62. (in Chinese)
- [15] SAVY C E, JANE K T. Payments for ecosystem services: a review of existing programmes and payment systems [R]. [S. l.]: Anchor Environmental Consultants CC, 2004: 1-6.
- [16] 张丽丽, 钟伟萍. 论京津冀协同发展跨界水污染生态补偿核算机制[J]. *管理观察*, 2017(10): 84-85.
- ZHANG L L, ZHONG W P. On the mechanism of ecological compensation for transboundary water pollution in Beijing, Tianjin and Hebei Provinces[J]. *Management Observer*, 2017(10): 84-85. (in Chinese)
- [17] 李雪, 曹芳芳, 陈先春, 等. 敏感区域目标污染物空间溯源分析——以新安江流域跨省界断面为例[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(9): 1714-1720.
- LI X, CAO F F, CHEN X C, et al. Spatial source apportionment analysis of target pollutant for sensitive area—a case study in Xin'anjiang River Basin for interprovincial assessment section [J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(9): 1714-1720. (in Chinese)
- [18] 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 等. 嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定[J]. *环境科学*, 2012, 33(7): 2244-2250.
- XIE R R, PANG Y, ZHANG Q, et al. Weight parameters of water quality impact and risk grade determination of water environmental sensitive spots in Jiashan [J]. *Environmental Science*, 2012, 33(7): 2244-2250. (in Chinese)
- [19] 李梓嘉, 董增川, 樊孔明, 等. MIKE11 模型在泗洪县城城区河网引水冲污工程中的应用[J]. *水电能源科学*, 2012, 30(8): 100-103.
- LI Z J, DONG Z C, FAN K M, et al. Application of MIKE11 model in water diversion and flushing pollutants of urban river network in Sihong City [J]. *Water Resources and Power*, 2012, 30(8): 100-103. (in Chinese)
- [20] 徐凌云, 逢勇, 付浩. 保障望虞河引调水期水质的引水顶托条件研究[J]. *水资源保护*, 2016, 32(3): 121-126.
- XU L Y, PANG Y, FU H. Study of diversion backwater conditions for ensuring water quality of Wangyu River during water diversion period [J]. *Water Resources Protection*, 2016, 32(3): 121-126. (in Chinese)
- [21] 朱铭铭, 逢勇, 谢蓉蓉, 等. 基于杭嘉湖平原河网模型的嘉善水厂断面水质达标分析[J]. *水资源保护*, 2013, 29(3): 34-38.
- ZHU M M, PANG Y, XIE R R, et al. Up-to-standard analysis of water quality based on Hangjiahu plain river network model: a case study of Jiashan waterworks section [J]. *Water Resources Protection*, 2013, 29(3): 34-38. (in Chinese)
- [22] 翟淑华, 张红举. 环太湖河流进出湖水量及污染负荷(2000—2002年)[J]. *湖泊科学*, 2006, 18(3): 225-230.
- ZHAI S H, ZHANG H J. Water quantity and waste load variation of rivers around Lake Taihu from 2000 to 2002 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(3): 225-230. (in Chinese)
- [23] 马倩, 刘俊杰, 高明远. 江苏省入太湖污染量分析(1998—2007年)[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(1): 29-34.
- MA Q, LIU J J, GAO M Y. Amount of pollutants discharged into Lake Taihu from Jiangsu Province, 1998-2007 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 29-34. (in Chinese)
- [24] 杨柳, 逢勇, 王雪. 苕溪入湖污染物通量计算及区域污染物影响权重分析[J]. *水资源保护*, 2016, 32(1): 101-107.
- YANG L, PANG Y, WANG X. Calculation of flux of inflow pollutant and analysis of weight of influence of pollutant from different districts in Tiaoxi [J]. *Water Resources Protection*, 2016, 32(1): 101-107. (in Chinese)

(责任编辑 张 蕾)