

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2018.03.15

# 不同行政区入秦淮河污染物通量分担率研究

宋为威<sup>1,2,3</sup>,逢 勇<sup>1,2</sup>

(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,江苏 南京 210098;  
2. 河海大学环境学院,江苏 南京 210098;3. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**为研究秦淮河流域各行政区入秦淮河的污染物通量分担率,基于一维平原河网水环境数学模型,模拟了2016年受沿河支流及排污泵站影响的主要入河的污染物( $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP)通量。结合实测和计算结果,量化分析了控制单元及全流域内各行政区对主要入河污染物通量的分担率。结果表明,秦淮河流域内各行政区对国考七桥瓮断面主要超标因子的分担率为:秦淮区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为12%、TP平均分担率为13%;雨花台区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为20%、TP平均分担率为15%;建邺区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为2%;江宁区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为55%、TP平均分担率为53%;溧水区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为1%、TP平均分担率为2%;句容市的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均分担率为10%、TP平均分担率为17%。

**关键词:**污染物通量;分担率;控制单元;行政区;秦淮河流域

中图分类号:TV122 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2018)03-0091-05

## Study on pollutant flux sharing rate of different administrative areas in Qinhuai River

SONG Weiwei<sup>1,2,3</sup>, PANG Yong<sup>1,2</sup>

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

2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to study the pollutant flux sharing rate of different administrative areas in the Qinhuai River, the pollutant flux of the main pollutants ( $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP) into the Qinhuai River influencing by the tributaries and sewage pumping stations in 2016 were simulated based on the one-dimensional plain river network water environment mathematical model. Combined with the measured and calculated results, quantitative analysis of the pollutant flux sharing rate of different control units and administrative areas in the whole basin was carried out. The results show that the pollutant sharing rates of different administrative areas in the Qiqiaoweng section are as follows: the average sharing rates of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of Qinhuai District are 12% and 13%, respectively; the average sharing rates of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of Yuhuatai District are 20% and 15%, respectively; the average sharing rate of  $\text{NH}_3\text{-N}$  of Jianye District is 2%; the average sharing rates of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of Jiangning District are 55% and 53%, respectively; the average sharing rates of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of Lishui are 1% and 2%, respectively; the average sharing rates of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of Jurong City are 10% and 17%, respectively.

**Key words:** pollutant flux; sharing rate; control unit; administrative area; Qinhuai River Basin

基金项目:江苏省环保科研课题(2016032)

作者简介:宋为威(1991—),男,博士研究生,主要从事生态水利学研究。E-mail:songweiwei0515@163.com

通信作者:逢勇,教授,博士生导师。E-mail:ypang@hhu.edu.cn

秦淮河是贯穿南京城区的骨干河流,由于区域人口迅速增加、基础设施建设相对滞后,造成秦淮河七桥瓮和秦淮新河节制闸两个《水污染防治行动计划》考核断面水质波动较大,秦淮河水污染问题较为严重。随着河长制的实施,各级党政主要负责人担任“河长”,负责组织领导相应河湖的管理和保护工作。为确保秦淮河水质达标,除进行污染治理之外,减少污染物排放也十分重要,保证各行政区入河水质达标。

研究污染物总量控制,针对污染物通量的研究十分重要<sup>[1]</sup>,目前在水环境通量及分担率方面已有一些相关研究。陈亚男等<sup>[2]</sup>通过对望虞河西岸主要入河支流污染物通量研究,运用水量、水质计算模型,计算出张家港入望虞河污染物通量分担率最大。罗缙等<sup>[3]</sup>对太湖流域主要入湖河道污染物通量进行研究,利用水量、水质计算模型以及太湖流域废水负荷模型,计算出太湖流域河网区各主要入湖河道污染物入湖量,得出直湖港入湖污染物通量最大,主要输送无锡地区的污染物。胡嘉镗等<sup>[4]</sup>基于一维河网与三维河口耦合水质模型,模拟计算了珠江上游入河口的 COD、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和无机磷等污染物通量,得到入河口污染物通量对河网区的贡献。胡琦玉等<sup>[5]</sup>提出了等次制与打分制两种较为实用的考核方法,分别对各行政区河流交接断面水质进行了分析与评价。郝晨林等<sup>[6]</sup>采用 Monte Carlo 方法模拟计算不同采样方案下的污染物通量,同时采用偏差(系统误差)和不精确度(离散程度)两个指标,建立了各算法误差随时间间隔变化的相关性曲线,对河流污染物通量估算方法进行筛选。富国<sup>[7]</sup>通过对河流时段通量所采用的估算方法的误差进行比较分析,研究了实测河流断面时段通量中时间平均离散通量的贡献。前人多在通量的计算方法、入河支流的贡献率等方面研究,对秦淮河流域水环境通量及各行政区的分担率研究不多,故本文将从入秦淮河污染物通量分担率方面展开论述。

## 1 研究区概况

秦淮河水系有南北两源,北源句容河发源于句容市宝华山南麓,南源溧水河发源于南京市溧水区东庐山,两河在南京市江宁区方山埭西北村汇合成秦淮河干流,绕过方山向西北至外城城门上坊门从东水关流入南京城,由东向西横贯市区,从西水关流出,注入长江。流域总面积 2 659 km<sup>2</sup>,1 708 km<sup>2</sup>位于南京境内,约占 64%,951 km<sup>2</sup>位于镇江、句容境内,约占 36%。

基于秦淮河下游国考七桥瓮断面达标标准,计算各行政区入秦淮河污染物的通量及其分担率。对

七桥瓮断面产业直接影响的行政区有江宁区、秦淮区、雨花台区、建邺区,河道有外秦淮河、秦淮新河、秦淮河;对其产生间接影响的行政区有句容市、溧水区,河道有句容河、溧水河。

## 2 模型建立

### 2.1 基本方程

水动力计算的控制方程是描述明渠一维非恒定流的圣维南方程组,包括连续性方程和动量方程,并补充考虑了漫滩和旁侧入流:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $Q$  为流量;  $x$  为沿水流方向空间坐标;  $b$  为调蓄宽度,指包括滩地在内的全部河宽;  $h$  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;  $\alpha$  为动量校正系数;  $A$  为主槽过水断面面积;  $g$  为重力加速度;  $C$  为谢才系数;  $R$  为水力半径。方程组利用 Abbot-lonescu 六点隐式有限差分格式求解,该方法具有稳定性好、计算精度高的特点,离散后的线性方程组用追赶法求解。

秦淮河流域流量边界水文条件通过降雨资料、蒸发资料采用产汇流模型计算得到,洋桥断面流量为 37 m<sup>3</sup>/s。水位边界为秦淮河入江口处的水位,其中节制闸水位为 5.4 m,三岔河口水位为 5.2 m。根据实测流速设置初始条件,初始水位为 5 m,初始水平流速 -0.06 m/s,初始竖直流速 -0.08 m/s。

污染物在水中的分布与浓度主要取决于污染物的降解、随水流的运动以及污染物的扩散。对流扩散模块的控制方程为一维对流扩散方程:

$$\frac{\partial A\rho}{\partial t} + \frac{\partial Q\rho}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( AD \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) = -AK\rho + \rho_2 q \quad (2)$$

式中:  $\rho$  为物质浓度;  $D$  为纵向扩散系数;  $K$  为线性衰减系数;  $\rho_2$  为源汇浓度。对流扩散方程的数值解法与水动力方程组类似,采用六点隐式差分格式求解,最后求解采用 Thomas 追赶法。

水质边界条件根据 2016 年秦淮河流域的水文水质同步监测结果确定,洋桥断面 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的质量浓度分别为 13.0 mg/L、1.39 mg/L、0.12 mg/L; 节制闸断面 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的质量浓度分别为 14.0 mg/L、3.39 mg/L、0.23 mg/L; 七桥瓮断面 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的质量浓度分别为 17.3 mg/L、2.85 mg/L、0.26 mg/L。设置 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的初始质量浓度分别为 10 mg/L、1.2 mg/L、0.1 mg/L。

## 2.2 模型率定

利用 2016 年的水文水质同步监测资料采用试错法进行水动力模型参数率定<sup>[8,9]</sup>, 即根据各水文站、水位站实测的流量、水位资料, 调试模型中各河道的糙率, 使模型计算值与实测值相吻合。率定得到的河道糙率值为 0.025~0.032, 率定结果见图 1。从图 1 可见, 计算值与实测值吻合较好, 故建立的水动力模型能够模拟秦淮河流域水文变化过程。

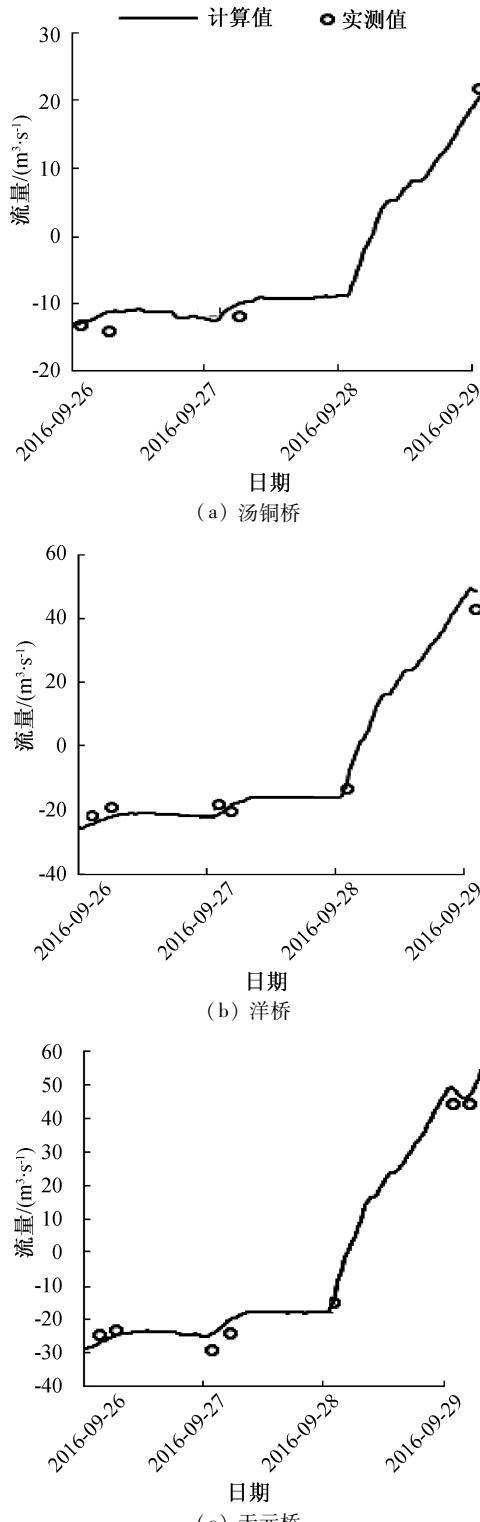


图 1 汤铜桥、洋桥、天元桥流量率定结果

秦淮河流域为平原河网区, 主要污染物来源为生活及三产污染, 主要的水质超标因子为  $NH_3-N$  和 TP。因此, 选择  $NH_3-N$  和 TP 两个污染因子作为水质模拟对象, 采用 2016 年的水文水质同步监测资料进行模型参数率定, 计算铁心桥、七桥瓮断面  $NH_3-N$  和 TP 的质量浓度, 率定得到的  $NH_3-N$  降解系数为  $0.05 \sim 0.07 d^{-1}$ , TP 降解系数为  $0.05 \sim 0.08 d^{-1}$ 。率定结果见图 2。

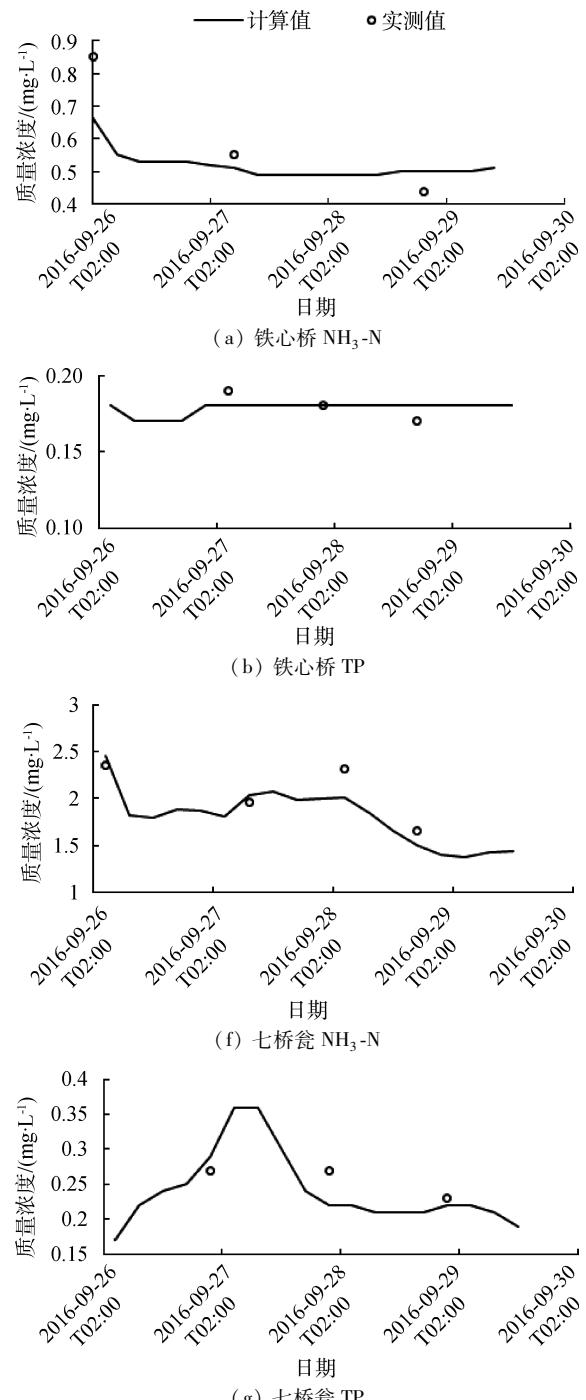


图 2 铁心桥、七桥瓮断面  $NH_3-N$  和 TP 率定结果

由图 2 可知, 模型计算值与实测值误差在 30% 以内, 吻合结果较好, 故该模型可用于描述秦淮河流域河网区水质变化过程。

### 3 分担率计算方法

大多数水文站长期的连续流量资料相对容易获得,而水质监测周期短则一周、长则两月,因此计算通量时运用时段通量计算方法。因为在实际的监测中,无法获取每个瞬间的流量值和浓度值,只能获取时间跨度较大的离散分布监测值,因而将通量计算方法简化为

$$W = \bar{Q}\bar{\rho}T + \sum_{j=1}^n \bar{Q}'\bar{\rho}'\Delta T_j \quad (3)$$

式中: $W$  为污染物通量; $T$  为计算的时间段; $\bar{Q}$  为时均流量; $\bar{\rho}$  为时均质量浓度; $\bar{Q}'$  为时段内平均流量偏差; $\bar{\rho}'$  为时段内平均质量浓度偏差; $n$  为计算时段内监测值的数量。

根据调查发现,秦淮河流域非点源污染和径流总量对控制单元的污染物排放和达标起着重要作用,基于七桥瓮断面水质达标,划分秦淮河流域控制单元,图 3 为控制单元及流域内行政区分布。本研究中分担率以各行政区的入河支流通量之和占总通量比例的形式表达,计算公式为

$$I = \frac{\sum_{j=1}^m W_j}{W} \quad (4)$$

式中: $I$  为某行政区的分担率; $W_j$  为某行政区支流  $j$

对秦淮河的污染物通量; $m$  为某行政区入秦淮河支流数量。

### 4 结果与分析

2016 年有 32 条支流直接流入秦淮河,分布在不同的行政区,其污染物通量及分担率计算结果见表 1。由表 1 可知,对七桥瓮断面直接影响的江宁区分担率最高,两种污染物的分担率均为 75% 左右;其次为雨花台区,两种污染物的分担率均为 20% 左右;由于秦淮区和建邺区计算范围是在七桥瓮断面上游,所以这两个区对污染物排放的分担率最小。

表 1 2016 年各行政区直接流入秦淮河污染物模型

计算通量及分担率

| 行政区  | NH <sub>3</sub> -N             |       | TP                             |       |
|------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|      | 污染物通量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 分担率/% | 污染物通量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 分担率/% |
| 秦淮区  | 85.47                          | 2     | 6.64                           | 3     |
| 雨花台区 | 595.24                         | 20    | 46.30                          | 19    |
| 建邺区  | 88.16                          | 3     | 6.86                           | 2     |
| 江宁区  | 2276.29                        | 75    | 188.33                         | 76    |
| 合计   | 3045.16                        | 100   | 248.13                         | 100   |

考虑到对秦淮河产生间接影响的行政区还有句容市和溧水区,河道有句容河、溧水河。综合考虑秦淮河全流域水系的污染物通量对七桥瓮断面的影响,从而计算出全流域内各行政区通过直接或间接的方式排入秦淮河污染物通量和分担率(表 2)。由

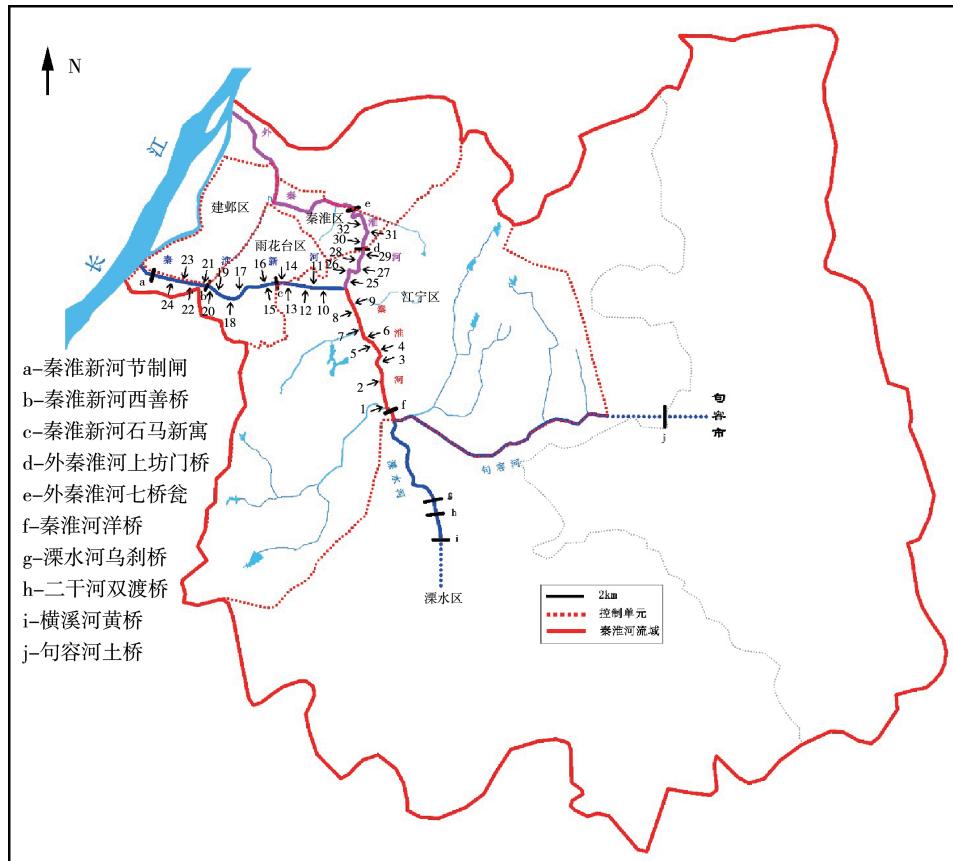


图 3 控制单元及流域内行政区分布

表2可见,七桥瓮断面水质受到江宁区的影响最大,分担率超过全流域的50%;句容市的贡献率为17%,江宁区与句容市对全流域的总贡献率为70%,与控制单元的江宁区贡献率75%近似相等,原因是控制单元的江宁区贡献率已经将句容市概括在内。上游溧水区贡献率为2%,说明秦淮河上游对全流域基本无影响,而真正的水质污染是从江宁区和句容市开始的,这两个市区的污染物贡献率占据全流域的约75%。秦淮区的贡献率变大,由于前面计算的直接流入秦淮河支流中考虑的是七桥瓮断面上游,而未考虑秦淮区下游的污染物入河。通过控制单元与全流域污染物通量可以看出,控制单元内的通量约占全流域通量的50%。

表2 2016年全流域行政区入秦淮河污染物通量及分担率

| 行政区  | NH <sub>3</sub> -N         |       | TP                         |       |
|------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
|      | 污染物通量/(t·a <sup>-1</sup> ) | 分担率/% | 污染物通量/(t·a <sup>-1</sup> ) | 分担率/% |
| 秦淮区  | 835.60                     | 12    | 82.22                      | 13    |
| 雨花台区 | 1376.62                    | 20    | 91.39                      | 15    |
| 建邺区  | 130.69                     | 2     | —                          | —     |
| 江宁区  | 3815.11                    | 55    | 326.83                     | 53    |
| 溧水区  | 94.71                      | 1     | 10.90                      | 2     |
| 句容市  | 719.49                     | 10    | 106.11                     | 17    |
| 合计   | 6972.22                    | 100   | 617.44                     | 100   |

## 5 结 论

基于七桥瓮断面水质达标,划分秦淮河流域控制单元,2016年对秦淮河流域直接影响的主要污染物通量,NH<sub>3</sub>-N入河总量为3 045.16 t,TP入河总量为248.13 t。秦淮河流域内各行政区对七桥瓮断面主要超标因子的分担率为:秦淮区的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为12%、TP平均分担率为13%;雨花台区的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为20%、TP平均分担率为15%;建邺区的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为2%;江宁区的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为55%、TP平均分担率为53%,溧水区的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为1%、TP平均分担率为2%;句容市的NH<sub>3</sub>-N平均分担率为10%、TP平均分担率为17%。在秦淮河全流域内,水环境整治需要从江宁区着手,这样可以大大提高整治效率。

## 参考文献:

- [1] 韦雨婷,逢勇,罗缙,等.苏南运河对太湖主要入湖河流污染物通量的贡献率[J].水资源保护,2015,31(5):42-46.(WEI Yuting, PANG Yong, LUO Jin, et al. Study on pollutant flux contribution rate of Sunan Canal to main inflow rivers of Taihu Lake [J]. Water Resources Protection, 2015,31(5):42-46. (in Chinese))
- [2] 陈亚男,逢勇,赵伟,等.望虞河西岸主要入河支流污染物通量研究[J].水资源保护,2011,27(2):26-28.

(CHEN Ya'nan, PANG Yong, ZHAO Wei, et al. Study on flux of pollutants discharged into western Wangyu River Basin through main inflow river channels [J]. Water Resources Protection, 2011,27(2):26-28. (in Chinese))

- [3] 罗缙,逢勇,林颖,等.太湖流域主要入湖河道污染物通量研究[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(2):131-135.(LUO Jin, PANG Yong, LIN Ying, et al. Study on flux of pollutants discharged into Taihu Lake through main inflow river channels [J]. Journal of Hohai University ( Natural Sciences ), 2005, 33 ( 2 ) : 131-135. (in Chinese))
- [4] 胡嘉镗,李适宇.模拟珠江河网的污染物通量及外源输入对入河口通量的贡献[J].环境科学学报,2012,32(4):828-835. (HU Jiatang, LI Shiyu. Modeling the pollutant flux in the Pearl River network and the contribution of external waste loads to the riverine flux [J]. Acta Science Circumstantiae, 2012,32(4):828-835. (in Chinese))
- [5] 胡琦玉,逢勇,罗缙.跨行政区河流交接断面水质考核方法探究[J].环境科技,2016,29(4):56-60. (HU Qiyu, PANG Yong, LUO Jin. Study of assessment methods for water quality of transition sections on inter-administrative rivers [J]. Environmental Science and Technology, 2016,29(4):56-60. (in Chinese))
- [6] 郝晨林,邓义祥,汪永辉,等.河流污染物通量估算方法筛选及误差分析[J].环境科学学报,2012,32(7):1670-1676. (HAO Chenlin, DENG Yixiang, WANG Yonghui, et al. Study on the selection and error analysis of riverine pollutant flux estimation methods [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012,32(7):1670-1676. (in Chinese))
- [7] 富国.河流污染物通量估算方法分析(IV):时段通量估算方法比较分析[J].环境科学研究,2003,16(1):1-4. (FU Guo. Analysis of the estimation methods for the river pollutant fluxes (IV) :comparison and analysis of the estimation methods of period fluxes [J]. Research of Environmental Sciences, 2003,16(1):1-4. (in Chinese))
- [8] 范丽丽,沙海飞,逢勇.太湖湖体水环境容量计算[J].湖泊科学,2012,24(5):693-697. (FAN Lili, SHA Haifei, PANG Yong. Water environmental capacity of Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2012, 24 ( 5 ) : 693-697. (in Chinese))
- [9] 鲍琨,逢勇,孙瀚.基于控制断面水质达标的水环境容量计算方法研究:以殷村港为例[J].资源科学,2011,33(2):249-252. (BAO Kun, PANG Yong, SUN Han. A water environment capacity calculation method based on water quality standards at the control sections:a case study of the Yincun Port [J]. Resources Science, 2011,33(2):249-252. (in Chinese))
- [10] WEBB B W, PHILLIPS J M, WALLING D E, et al. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme[J]. Science of the Total Environment, 1997,195(96):379-389.

(收稿日期:2017-06-03 编辑:王芳)