

# 南京市鼓楼区入江断面水质达标方案的研究

刘一童<sup>1,2</sup>, 逢勇<sup>1,2</sup>, 肖洵<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;)

**摘要:** 根据2016年南京市污水处理厂进出水量、水质资料和自来水用水量情况,分析出鼓楼区现状污染物入河量。通过构建一维稳态水环境数学模型,构建了污染源—水质的响应关系,对现状污染物入河量进行了验证,在基于外秦淮河三汊河口断面和金川河宝塔桥断面水质达标的情况下,计算得到鼓楼区水环境容量COD为21 798 t/a,氨氮为733.24 t/a,总磷为61.30 t/a。结合鼓楼区实际情况,从排水达标区建设、黑臭河道整治、污水处理厂提标改造、引补水等方面提出两个断面达标的可行性措施,为环保部门进一步改善鼓楼区水环境提供了理论支撑。

**关键词:** 有效生活污水处理率; 水环境容量; 断面水质达标方案; 南京市

中图分类号: X143; X26

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)03-0099-06

## Research scheme on water quality reaching standard of entering Yangtzeriver section for Gulou district in Nanjing City

LIU Yitong<sup>1,2</sup>, PANG Yong<sup>1,2</sup>, XIAO Xun<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** According to the inflow and outflow, water quality data of Nanjing Sewage Treatment Plant and tap water consumption in 2016, the current situation of pollutants into the Yangtze river in Gulou District was analyzed. By constructing a one-dimensional steady-state water environment mathematical model, the relationship between pollution source and water quality was established, and the amount of pollutants into the river was verified. Under the condition that the water quality of the section of Sanchahekou at the Qinhuai River and the section of Pagoda Bridge at Jinchuan River has reached the standard, the water environmental capacity in the Gulou district is calculated. The results show that the water environmental capacity of COD is 21,798 t/a, NH<sub>3</sub>-N is 733.24 t/a and TP is 61.30 t/a. Combined with the actual situation in Gulou District, this paper puts forward two feasible measures to meet the requirements of two sections in terms of construction of drainage standard areas, treatment of black-odor river courses, upgrading of sewage treatment plants, and introduction of supplemental water, so as to provide a theory for environmental protection departments to further improve the water environment in Gulou District.

**Key words:** effective domestic sewage treatment rate; water environment capacity; section water quality standards program; Nanjing City

## 1 研究背景

2015年,国务院颁布《水污染防治行动计划》(“水十条”),要求到2020年黑臭水体在地级及其以上城市建成区控制在10%以内,到2030年总体

消除黑臭水体<sup>[1]</sup>。目前我国城市内河水质现状不容乐观,全国2222个水质监测站的统计结果表明,在138个城市内河中,劣V类水质比例高达38%,水质改善任务迫在眉睫<sup>[2]</sup>。根据“水十条”考核要求,各河流和湖泊以考核断面水质达标为任务,采取

收稿日期:2017-11-25; 修回日期:2018-01-29

基金项目:江苏省环保科研课题(2016032)

作者简介:刘一童(1994-),男,江苏沐阳人,硕士研究生,主要从事环境规划与影响评价研究。

通讯作者:逢勇(1958-),男,山东胶州人,博士,教授,博士生导师,主要从事环境规划与影响评价研究。

相应的整治措施,减少污染物入河量,持续提升水环境质量。

控制断面水质达标主要以河流水环境容量为基础,以水环境数学模型为桥梁,以削减污染物入河量为手段。目前,国内外针对控制断面水质达标进行了一系列的研究,并取得了一定的成果。王焯等<sup>[3]</sup>基于溧里桥控制断面水质达标,利用一维稳态水环境数学模型计算溧里河水环境容量,从而提出污染物削减量;朱晓娟<sup>[4]</sup>在计算出初始水环境容量后,利用基尼系数法对松花江干流水环境容量进行优化分配;周刚等<sup>[5]</sup>通过二维水环境模型 WESC2D,运用粒子群算法,提出了非线性优化的水环境容量计算方法;董飞等<sup>[6]</sup>归纳并阐述了目前国内地表水水环境容量的五大计算方法:模型试错法、公式法、概率稀释模型法、系统最优化法和确知数学法,阐明了各种方法的适用范围及优缺点;美国国家环保局在1972年提出的 TMDL(Total Maximum Daily Loads)计划,在满足水质标准的前提下,把研究区域一天能容纳的水环境容量优化分配到各污染源,水环境质量得到好准<sup>[7]</sup>。前面的研究中多将重点放在水环境数学模型的建立,通过已建立的模型来确定研究区域内污染物的入河量。本文将从较为明确的污染物入河量的基础上建立污染源-水质的响应关系,计算出研究区域内的水环境容量。

外秦淮河三汊河口断面和外金川河宝塔桥断面为江苏省水质考核断面,水质目标为V类,分别是外秦淮河和金川河的入江口断面,均位于南京市鼓楼区,目前断面水质持续超标,不能满足“水十条”考核要求。本文通过对鼓楼区生活污水有效处理率进行分析的情况下,计算了现状污染物入河量。利用一维稳态水环境数学模型对污染物入河量进行了验证,在保证两个人江口断面水质达标的情况下,计算出研究区域的水环境容量。

## 2 数据与方法

### 2.1 区域概况

南京市鼓楼区位于长江下游南岸,拥有南京主城11 km 黄金长江岸线。鼓楼区城市内河水系复杂,河道纵横交错,主要可分为秦淮河水系和金川河水系,鼓楼区境内两大水系流域面积分别约为21.90 km<sup>2</sup>和31.45 km<sup>2</sup>。

秦淮河贯穿南京城区,在上坊门和通济门外分为内秦淮河和外秦淮河,其中内秦淮河由东水关入城,外秦淮河由护城河入城,途经中华门和西水关,

最终在三汊河口处入江。鼓楼区境内属于外秦淮河,自石城桥入境,西北方向汇入长江。金川河位于南京主城西北部,是南京市第三大河,发源于鼓楼岗和清凉山北麓,与玄武湖相连,支流包括城北护城河、南十里长沟、二仙桥沟和老虎桥沟等,下游在宝塔桥处入江。明城墙将金川河一分为二,城内为内金川河,城外为外金川河。

### 2.2 数据来源

研究所使用的自来水用水量数据来源于南京市水务集团(图1),污水处理厂生活污水处理量及水质资料来自城北污水处理厂和城东污水处理厂的运行参数月报表(2016年1-12月),水质数据来自于2017年3月7日-3月9日和3月13日-3月15日,分别开展的水质同步监测(图2)。水质监测因子包括COD、氨氮和总磷。

### 2.3 有效生活污水处理率分析方法

有效生活污水处理率是评估城市生活污水排放量及收集量的重要指标,指的是生活污水经污水处理厂处理,且达到相应的排放标准的这部分污水量占生活污水总排放量的比例<sup>[8]</sup>。

本文在借鉴“服务人口覆盖率估算法<sup>[9]</sup>”计算城市生活污水处理率的基础上,简化其计算方法,通过获得生活污水处理量和生活污水总排放量的数据资料,估算出该地区有效生活污水处理率。以计算城市污水处理厂的服务范围内有效生活污水处理率为例,其计算方法为:

有效生活污水处理率 = (生活污水处理量/生活污水总排放量) × 100%

由于生活污水处理厂处理的污水不仅包括生活污水,还有地下水渗入、雨水混入等<sup>[10-11]</sup>,造成统计的生活污水处理量比实际偏高。根据《城市排水工程规划方案(GB 50318-2000)》,生活污水浓度氨氮取值约35~40 mg/L,而地下水、清洁雨水等水体中污染物(如氨氮)浓度较低,会造成污水处理厂的进水水质浓度低于生活污水浓度。本文根据这一原理,采用“浓度折算法”对生活污水处理量进行修正,从而得到实际生活污水处理量。计算方法见公式(1)。

$$Q = Q_0 \frac{C_0}{C_p} \quad (1)$$

式中:Q为实际生活污水处理量,t/a;Q<sub>0</sub>为污水厂进水量,t/a;C<sub>0</sub>为污水进水浓度,mg/L;C<sub>p</sub>为生活污水浓度,mg/L,氨氮可取35~40 mg/L。

生活污水量主要来自于自来水,通过收集到的自来水用水量,采用《城市排水工程规划方案

(GB50318-2000)》,取生活污水排污系数 0.9,计算出生活污水总排放量。污水处理厂服务范围和行政区划的边界通常是不吻合的,而不同污水处理系统服务范围内有效生活污水处理率也不相等。对于一个行政区划内有多个污水处理系统的,本文采用“加权平均法”计算行政区划内的有效生活污水处理率。

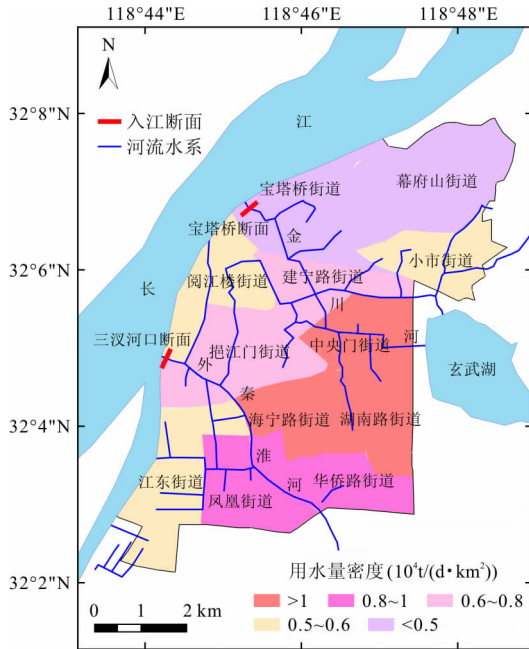


图 1 鼓楼区水系概况及用水量空间密度分布图

即假设同一个污水处理系统范围内的有效生活污水处理率是均匀相等的,而不同的污水处理厂处理生活污水的权重是不等的,以不同污水处理系统内的生活污水产生量占行政区划内总污水量的比例来确定权重。则该行政区划内的有效生活污水处理率计算公式为:

$$w = p_i \beta_i \quad (2)$$

式中:  $w$  为行政区划污水接管率;  $p_i$  为各污水处理厂污水接管率;  $\beta_i$  为各污水处理厂所占权重,可通过生活污水产生量确定( $\sum \beta_i = 1$ )。

## 2.4 水环境容量计算方法

2.4.1 排污口概化 外秦淮河和金川河沿线分布着较多排水泵站,污染源主要通过沿线支流自流或经排水泵站排入外秦淮河和金川河,最终汇入长江。根据排污口概化原则<sup>[12]</sup>: (1) 城东污水处理厂作为较大污染源单独概化为排口; (2) 距离较近且排水量较小的泵站可概化为集中排口; (3) 外秦淮河和金川河的较大支流可概化为排污口。

本次共概化排污口 7 个,概化排口位置分布见图 2。

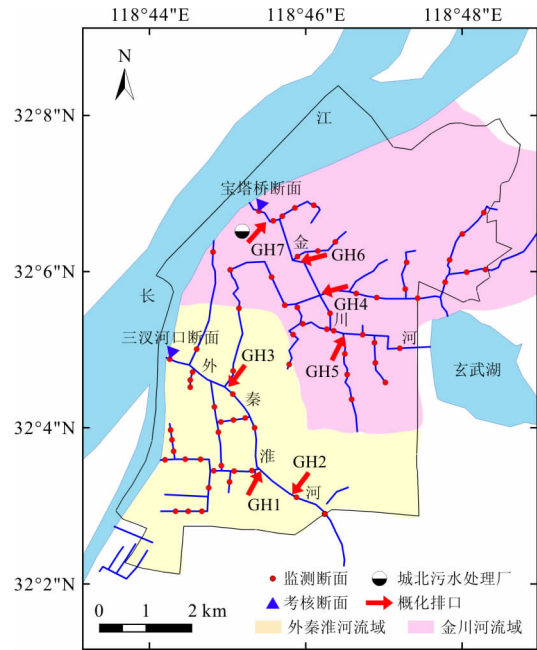


图 2 水质同步监测断面及概化排口位置分布图

2.4.2 水环境数学模型建立 外秦淮河和金川河由西北护城河相连接,但西北护城河与外秦淮河相连处由小桃园泵站控制,小桃园泵站平时不开机,水体交换较少,因此可将外秦淮河和金川河分别作为独立流域考虑。

考虑到外秦淮河和金川河的宽深比均不大,污染物浓度在横向上变化较小,污染物在较短河段内能够在断面上均匀混合等因素,故本文采用一维稳态水环境数学模型<sup>[13]</sup>公式(3)~(4)分别对外秦淮河和金川河模拟污染物沿河流纵向的输移过程。

$$C = C_0 \cdot \exp\left(-\frac{kx}{86400u}\right) \quad (3)$$

$$C_0 = \frac{C_{\perp} Q_{\perp} + C_q q}{Q_{\perp} + q} \quad (4)$$

式中:  $C_0$  为上游来水与污染源或支流稀释后的混合浓度,mg/L;  $k$  为河流中污染物降解系数, $d^{-1}$ ;  $x$  为相近两个概化排口的纵向距离,m;  $u$  为流速,m/s;  $C_{\perp}$  为上游来水水质,mg/L;  $C_q$  为污染源或支流浓度,mg/L;  $Q_{\perp}$  为上游来水流量, $m^3/s$ ;  $q$  为污染源或支流流量, $m^3/s$ 。

水质降解系数主要参考课题组已建立的秦淮河流域水质模型降解系数率定结果<sup>[14]</sup>,结合附近水体水质降解系数,确定 COD 降解系数为 0.08~0.12  $d^{-1}$ ,氨氮降解系数为 0.05~0.09  $d^{-1}$ ,总磷降解系数为 0.05~0.08  $d^{-1}$ 。

水质边界条件采用同步监测水质实测值;水文

条件外秦淮河采用上游武定门闸排水量实测值,金川河采用流域降雨径流产流量及下游入长江干流闸门处水位值。

2.4.3 水质响应关系建立 根据一维稳态水环境数学模型,建立水质与污染源之间的响应关系,表示为:

$$C_{\text{控制断面}} = C(C_{\text{边界断面}}, C_1, C_2, \dots, W_1, W_2, \dots) \quad (5)$$

式中: $C$ 为断面水质浓度,mg/L; $W$ 为概化排污口的污染物入河量,t/a。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 污染物入河量计算结果

鼓楼区主要位于江心洲污水处理厂和城北污水处理厂两大污水处理系统内,根据两个污水处理厂2016年日进出水量及水质资料,利用公式(1),计算出污水处理厂实际生活污水处理量,如表1所示。根据鼓楼区生活污水产生量及污水处理厂有效生活污水处理率,由公式(2)近似计算出鼓楼区有效生活污水处理率在70%以上。

表1 2016年鼓楼区污水处理厂生活污水处理量

污水处理厂	污水量/ $10^4$ ( $t \cdot d^{-1}$ )				污水进口浓度/( $mg \cdot L^{-1}$ )		污水处理厂有效生活污水处理率/%	权重/%
	设计处理量	污水厂进水量	实际生活污水处理量	生活污水总排放量	COD	氨氮		
江心洲污水处理厂	64	60.6	29.16	39.59	137	19.39	74	42
城北污水处理厂	30	32.8	16.64	24.89	293	17.76	67	58

鼓楼区主要污染源为城镇生活污水及地表径流,城镇生活污水主要通过泵站进入河流。无农村生活、工业、农田面源及畜禽养殖等污染源。采用污染物排放量及入河量计算方法<sup>[15]</sup>计算鼓楼区污染物入河量,本次计算得到鼓楼区污染物COD入河量为21 798 t/a,氨氮入河量为2 508 t/a,总磷入河量为281 t/a。根据收集到的排水达标区建设资料,将污染物优化分配到各污染源,其中污染物入河量外秦淮河流域约占37.6%,金川河流域约占32.6%,城北污水处理厂约占29.9%。各污染源污染物入河量比例见图3。

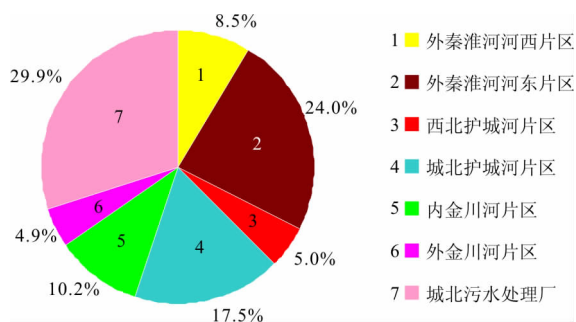


图3 各污染源污染物入河量比例图

#### 3.2 水环境容量计算结果及水质提升方案分析

3.2.1 水环境容量计算结果 在设计水文条件下,分别满足三汊河口断面和宝塔桥断面水质达标的入外秦淮河和金川河污染源的最大允许排放量,即为基于控制断面水质达标的水环境容量,现状污染物

入河量及允许排污量计算结果见表2。

根据表2可知,COD、氨氮和总磷水环境容量分别为21 798、733.24、61.30 t/a;氨氮和总磷分别需削减1774.76和219.7 t/a,削减率分别为70.8%和78.2%;COD现状水质不超标,故不需要削减。

3.2.2 断面水质提升方案分析 针对三汊河口断面和宝塔桥断面水质超标主要来源分析,结合鼓楼区排水达标区建设、黑臭河道整治、引补水、污水处理厂提标改造等规划,提出三汊河口断面和宝塔桥断面水质达标的3种整治方案,见表3。

方案1:(1)理想情况下,鼓楼区污染物入河量削减100%,即不存在污染物入河;(2)上游来水水质得不到改善,维持现状;(3)城北污水处理厂执行一级B排放标准,维持现状;三汊河口断面和宝塔桥断面不可达标。

方案1计算结果表明上游来水水质对两个人江口断面水质影响较大,两个人江口断面若要达到考核要求,必须控制上游来水水质。城北污水处理厂尾水排口位于宝塔桥断面上游100 m处,目前尾水执行一级B排放标准,若污水处理厂不进行提标改造,则宝塔桥断面很难达标。

方案2:(1)排水达标区建设和黑臭河道整治部分完成的情况下,鼓楼区现状污染物入河量可削减85%~90%;(2)外秦淮河从秦淮新河引水,经过七桥瓮断面,从三汊河口断面入江<sup>[14]</sup>,当引水量达到25  $m^3/s$ 时,三汊河口断面可达标;金川河补水水源主要

来自于玄武湖  $12 \times 10^4$  t/d,化纤厂  $8 \times 10^4$  t/d、小桃园泵站从秦淮河引水  $30 \times 10^4$  t/d 及部分城北污水处理

厂中水回用。(3)城北污水处理厂执行一级 A 排放标准;三汊河口断面和宝塔桥断面可达标。

表 2 现状污染物入河量及允许排污量计算结果表

t/a

概化排口编号	现状排污量			允许排污量			削减量			污染来源
	COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷	
GH1	2397	262.57	24.56	2397	32.82	6.263	0	229.75	18.297	外秦淮河西片区
GH2	5385	590.13	55.20	5385	73.77	14.076	0	516.36	41.124	外秦淮河东片区
GH3	1439	123.04	10.21	1439	15.38	2.604	0	107.66	7.606	西北护城河片区
外秦淮河流域小计	9221	975.74	89.97	9221	121.97	22.943	0	853.77	67.027	
GH4	4613	429.32	39.14	4613	53.66	9.980	0	375.66	29.160	城北护城河片区
GH5	2710	250.81	21.76	2710	17.56	1.523	0	233.25	20.237	内金川河片区
GH6	1437	119.11	9.61	1437	8.34	0.673	0	110.77	8.937	外金川河片区
金川河流域小计	8760	799.24	70.51	8760	79.56	12.176	0	719.68	58.334	
GH7	3817	733.40	120.33	3817	531.72	26.176	0	201.68	94.154	城北污水处理厂
合计	21798	2508.38	280.81	21798	733.24	61.30	0	1774.76	219.70	

表 3 断面水质提升方案分析

方案	污染物 削减量/%	补水量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )		氨氮浓度/( $mg \cdot L^{-1}$ )		总磷浓度/( $mg \cdot L^{-1}$ )		上游来水水质	备注
		外秦淮河	金川河	三汊河口断面	宝塔桥断面	三汊河口断面	宝塔桥断面		
1	100	0	0	3.020	2.88	0.300	0.672	维持现状	城北污水处理厂一级 B 排放
2	85~90	25	5.8	1.989	1.99	0.278	0.310	维持现状	城北污水处理厂一级 A 排放
3	>90	0	0	1.930	1.72	0.320	0.280	V 类水	城北污水处理厂准 IV 类排放

方案 3:(1)排水达标区建设和黑臭河道整治全部完成的情况下,鼓楼区现状污染物入河量可削减 90% 以上;(2)控制上游来水水质达到 V 类水;(3)城北污水处理厂提标改造,尾水执行准 IV 类排放标准;三汊河口断面和宝塔桥断面可达标。

3.2.3 合理性分析 水环境容量受水文、气象、水质、降解系数以及污染物负荷等多种因素的影响,水环境容量的确定方法目前国内外还没有统一的标准,水文、水质等基础资料的匮乏使合理确定水环境容量更为困难<sup>[16-18]</sup>。

毕良芹等<sup>[19]</sup>将落蓬湾断面水质超标率和污染物削减率进行对比分析,得出两者的差距在 40% 以内,得出胥河水环境容量较为合理;韩梓流等<sup>[20]</sup>得出京杭运河水质超标率与污染物削减率差距小于 30%;解学慧等<sup>[21]</sup>分析出二干河污染物 COD 负荷超标 34%,与水质超标率相差 14%;张琳等<sup>[22]</sup>计算出深圳市观澜河年污染负荷量超水环境容量 10.5 倍,造成水质长期超标;张萌等<sup>[23]</sup>分析仙女湖总磷

水质超标 0.12 倍,污染负荷超水环境容量 72.66%。总体来说,前面的研究多通过分析污染物削减率与水质超标率或水质超标倍数之间的关系,核算水环境容量是否合理。

鼓楼区现状污染负荷氨氮和总磷超标,COD 达标,不需要削减。将两个人江口断面水质超标率与现状污染物削减率进行对比分析,如图 4 所示。

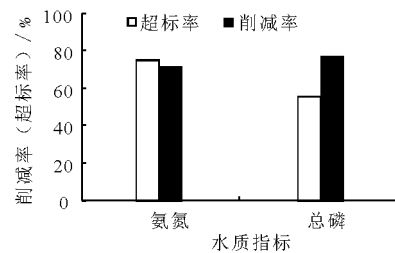


图 4 现状鼓楼区污染物削减率与水质超标率对比

从图 4 可知,现状氨氮和总磷的污染物削减率与水质超标率二者的差距均较小,在 30% 以内,表明上述方法计算出的鼓楼区水环境容量是基本合理的。

## 4 结 论

(1) 计算得到江心洲污水处理厂和城北污水处理厂的有效生活污水处理率分别为 74% 和 67%, 鼓楼区有效生活污水处理率达到 70% 以上。

(2) 在确保三汊河口和宝塔桥两个入江口断面水质达标的情况下, 鼓楼区水环境容量 COD 为 21798 t/a, 氨氮为 733.24 t/a, 总磷为 61.30 t/a。

(3) 在排水达标区和黑臭河道整治的基础上, 采取适当的引补水措施, 可保障入江口断面水质达标。

### 参考文献:

- [1] 石效卷, 李璐, 张涛. 水十条 水十条——对《水污染防治行动计划》的解读[J]. 环境保护科学, 2015, 41(3): 1-3.
- [2] 谢飞, 吴俊锋. 城市黑臭河流成因及治理技术研究[J]. 污染防治技术, 2016, 29(1): 1-3+15.
- [3] 王焯, 逢勇, 李一平, 等. 基于控制断面水质达标的允许排放量研究[J]. 水电能源科学, 2015, 33(7): 48-50+54.
- [4] 朱晓娟. 吉林省松花江干流环境容量优化配置研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [5] 周刚, 雷坤, 富国, 等. 河流水环境容量计算方法研究[J]. 水利学报, 2014, 45(2): 227-234.
- [6] 董飞, 刘晓波, 彭文启, 等. 地表水水环境容量计算方法回顾与展望[J]. 水科学进展, 2014, 25(3): 451-463.
- [7] ELSHORBAGY A, TEEGAVARAPU R S V, ORMSBEE L. Total maximum daily load (TMDL) approach to surface water quality mana. [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2005, 32(2): 442-448.
- [8] 宋国君, 韩冬梅. 中国城市生活污水管理绩效评估研究[J]. 中国软科学, 2012(8): 75-83.
- [9] 贺瑞军. 城市污水处理的现状与展望[J]. 图书情报导刊, 2006, 16(24): 181-182.
- [10] LEE R K. Interpreting storm flow data to determine types of II[C]// Pipeline Division Specialty Conference. 2007: 497-509.
- [11] JOANNIS C, COMMAILLE J F, DUPASQUIER B. Assessing Infiltration Flow - Rates into Sewers [C]// International Conference on Urban Drainage. 2002: 1-15.
- [12] 朱党生. 水资源保护规划理论及技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [13] 包为民, 张小琴, 瞿思敏, 等. 感潮河段圣维南方程应用问题分析与改进研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2010, 25(3): 359-366.
- [14] 姚凌伟, 逢勇. 秦淮新河引水量对断面水质达标影响的研究[J]. 四川环境, 2017, 36(4): 118-122.
- [15] 逢勇. 水环境容量计算理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] WANG Xue, PANG, Yong, WANG Xiao, ET AL. Study of Water Environmental Cumulative Risk Assessment Based on Control Unit and Management Platform Application in Plain River Network[J]. SUSTAINABILITY, 2017, 9(6): 975.
- [17] BURN D H, LENCE B J. Comparison of Optimization Formulations for Waste - Load Allocations [J]. Journal of Environmental Engineering, 1992, 118(4): 597-612.
- [18] 刘江, 陈国鼎, 曾继军, 等. 基于 MIKE 对流扩散和生态耦合模型的鸭子荡水库水质模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(1): 118-122.
- [19] 毕良芹, 逢勇, 罗缙. 落蓬湾断面水质达标及胥河水环境容量研究[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(5): 124-128.
- [20] 韩梓流, 逢勇. 基于京杭运河五牧断面水质达标的水环境容量计算研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(4): 81-87.
- [21] 解学慧, 逢勇. 基于二干河开太桥断面水质达标研究分析[J]. 四川环境, 2017, 36(4): 123-127.
- [22] 张琳, 周建银, 王家生, 等. 基于控制断面法的水环境容量及污染综合治理研究[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(11): 23-26+32.
- [23] 张萌, 祝国荣, 周懋, 等. 仙女湖富营养化特征与水环境容量核算[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1395-1404.