

# 基于水环境容量分析的断面达标控制研究 ——以常熟市东环河虞东路桥断面为例

展永兴, 吴心艺

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

**摘要:** 以常熟市东环河虞东路桥断面为研究对象, 对其水环境质量现状进行调查和分析, 得出氨氮、总磷为主要超标因子。通过建立一维稳态水质模型, 确定模型参数, 计算东环河断面水质达标时各排水口的允许排污量和水环境容量; 进而与现状污染物入河量对比, 确定污染物削减量, 制定系统的、切实可行的许可排放量分配方案和初步整治方案, 实现断面水质达标。

**关键词:** 超标因子; 达标率; 水环境容量; 容量分配

中图分类号: X82

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2019)01-0001-06

## Study on sectional compliance control based on the analysis of water environmental capacity —taking Yudong Road Bridge section of Donghuan River in Changshou City as an example

ZHAN Yongxing, WU Xinyi

(Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Suzhou 215128, Jiangsu)

**Abstract:** Taking Yudong Road Bridge section of Donghuan River in Changshou City as a research object, the current situation of water environment quality was investigated and analyzed, which showed that ammonia nitrogen and total phosphorus were the main exceeding standard factors. Through the establishment of a one-dimensional steady water quality model, the parameters of the model were determined and the allowable discharge and water environmental capacity of the drainage ports were calculated when the water quality of the Donghuan River section reached the standard. Then compared with the current pollutants into the river, the amount of pollutants cut was determined, and a systematic, practical and feasible allowable emission distribution scheme and preliminary regulation scheme was formulated to achieve section water quality standard.

**Key words:** exceeding standard factor; compliance rate; water environmental capacity; capacity allocation

东环河位于常熟市虞山镇与古里镇交界处, 水流流速较慢, 属于市级河道。由于长期接纳城市工业和生活污水, 同时受到船舶、养殖业、农村面源污染, 以及河道淤积和上游清水补给不足等因素的综合影响, 东环河虞东路桥断面水质长期不达标。如何控制主要入河断面污染物, 制定相应达标

方案已成为解决东环河污染的主要问题。

先前研究多采用污染物浓度控制, 但随着排入水体污染物的增多, 浓度控制已很难控制水环境污染, 于是人们提出了总量控制的方法来达到改善水质、满足水环境质量标准的目的<sup>[1-2]</sup>。近年来我国在总量控制方面展开研究, 逐步形成了以

收稿日期: 2018-07-14

作者简介: 展永兴(1975—), 男, 高级工程师, 主要从事水利规划设计工作。

污染物目标总量控制技术为主,容量总量控制和行业总量控制为辅的水质管理技术体系<sup>[3]</sup>。

本文通过建立东环河水质模型,根据水质监测数据进行模型参数率定,计算区域水环境容量,提出整治方案,对于提高重点断面水质达标率,改善东环河水环境质量有重要意义。

## 1 水质监测分析

### 1.1 东环河虞东路桥断面干流水质分析

针对东环河水质不达标现状(表1),2016年6~9月对东环河虞东路桥断面干流水质进行分析检测,共得到8组水质分析数据(图1)。

表1 东环河虞东路桥断面水质达标率

指标名称	2016年	2017年
COD <sub>Mn</sub>	75%	100%
NH <sub>3</sub> -N	27.7%	75%
TP	33.3%	75%

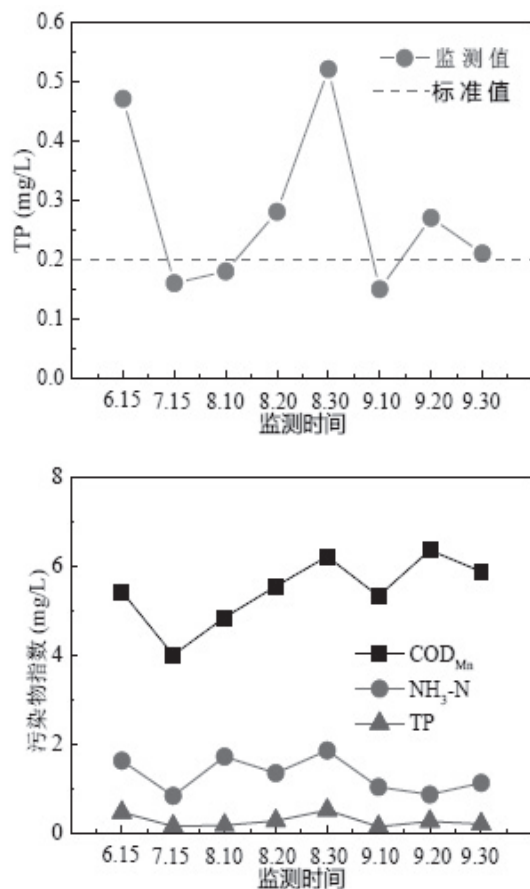
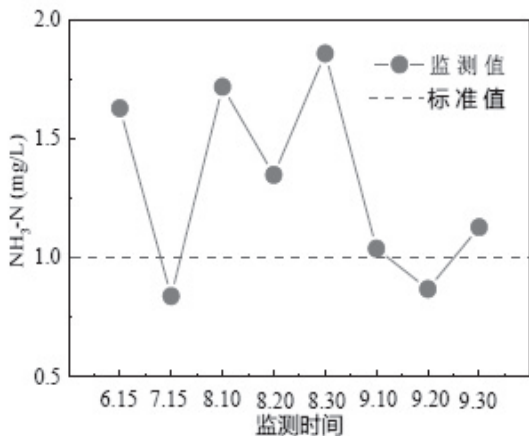
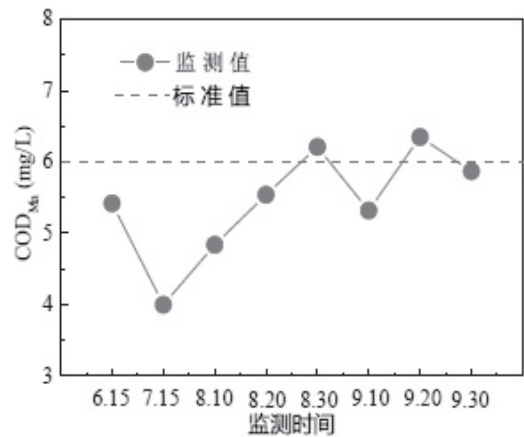


图1 2016年6~9月虞东路桥断面水质情况

(1)氨氮:2016年6~9月东环河虞东路桥断面NH<sub>3</sub>-N浓度介于0.84~1.86 mg/L之间,平均浓度为1.31 mg/L,共出现6次不达标现象。

(2)总磷:2016年6~9月东环河虞东路桥断面TP浓度介于0.15~0.52 mg/L之间,平均浓度为0.28 mg/L,共出现5次不达标现象,TP最大浓度出现于8月30号,最低浓度出现于7月份,总体达标率仅为37.5%。

(3)高锰酸盐指数:2016年6~9月东环河虞东路桥断面COD<sub>Mn</sub>浓度介于4.00~6.35 mg/L之间,平均浓度为5.44 mg/L,共出现2次不达标现象,COD<sub>Mn</sub>最大浓度出现于9月20号,最低浓度出现于7月份,总体达标率为75.0%。

### 1.2 东环河虞东路桥断面支流水质分析

2016年8~9月,在东环河虞东路桥断面相关河段上设置10个监测点位(图2),进行水质监测。监测结果见图3~5。

#### (1)高锰酸盐指数 COD<sub>Mn</sub>

由图3可知,东环河虞东路桥断面汇水范围内的周家河、朱家河、陆石泾、淼西河、落水泾等

支流河道  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  不超标,只有石湾里、青墩塘等河流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  指数接近于Ⅲ类水指标。虞东路桥断面支流河道水系连通性较好,周边主要以农田和水产养殖业为主,生活污染源相对较少,所以  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  指标维持在达标范围内。



图2 东环路虞东路桥断面支流监测点位置图

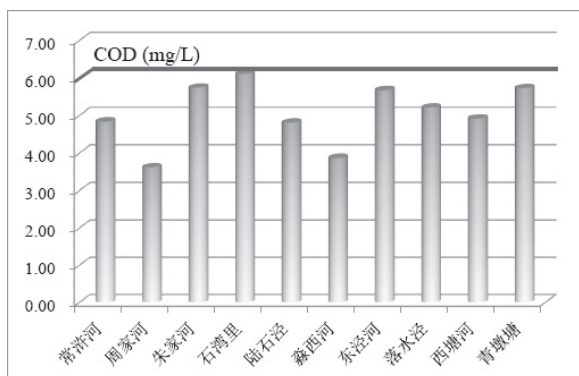


图3 东环路虞东路桥断面支流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  监测结果柱状图

### (2) 氨氮

由图4可知,东环路虞东路桥断面汇水范围内支流河道存在  $\text{NH}_3\text{-N}$  超标现象,其中超标倍数介于1.16 ~ 1.54之间,东泾河对虞东路桥断面  $\text{NH}_3\text{-N}$  超标影响最大。周家河、石湾里、陆石泾、森西河等支流河道周边存在较大范围农田和养殖业塘,农业面源污染和养殖业污染是支流河道  $\text{NH}_3\text{-N}$  指数超标的主要原因。由此可知,河道的  $\text{NH}_3\text{-N}$  污染源治理对于虞东路桥断面整治具有重要意义。

### (3) 总磷

图5为东环路虞东路桥断面汇水范围内支流

道 TP 浓度统计情况。

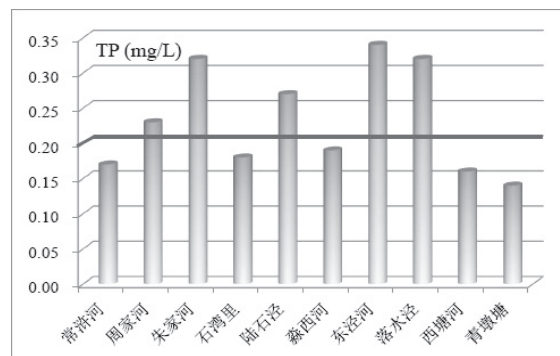


图4 东环路虞东路桥断面支流  $\text{NH}_3\text{-N}$  监测结果柱状图

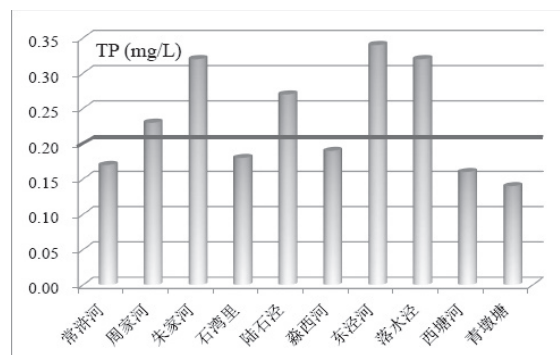


图5 东环路虞东路桥断面支流 TP 监测结果柱状图

由图5从中可知,TP 超标情况和  $\text{NH}_3\text{-N}$  类似,支流河道中石湾里、森西河 TP 指数接近于Ⅲ类水指标,然而周家河、朱家河、陆石泾、东泾河、落水泾等出现 TP 超标现象,其中东泾河超标倍数达到1.70倍。分析原因可能是这些支流河道周边行政区域如:东环村、石墩村、浦浜村、吴庄村存在大范围水田种植和湖荡养殖业,农业面源污染和水产养殖污染造成支流河道 TP 超标,同时沿河存在散户居住区,生活污水接管工程尚未完善,存在生活污水直排河道现象。东环路虞东路桥断面汇水范围南端的新桥村还存在分散的工业企业,同样存在生产废水直排河道现象。由此造成虞东路桥断面汇水范围支流河道 TP 超标,进而影响东环水质。

通过以上分析可以发现,东环路虞东路桥断面支流主要存在问题是  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP,归结原因主要是农业面源污染和水产养殖污染,其中落水泾等支流对断面污染负荷贡献较大,在达标整治过程中应作为重点工程。

### 1.3 污染指标计算与分析

采用单因子评价法,即将各参数浓度与对应

断面的评价标准相比。该方法是操作最为简单的一种水质评价方法,目前使用较多,可直接了解水质状况与评价标准之间的关系,找出主要污染因子。本研究选取有机污染指标(高锰酸盐指数 $COD_{Mn}$ )、氨氮和富营养化指标(总磷)作为评价指标。计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中:

$P_i$ —水质评价因子单项指数;

$C_i$ —评价因子 $i$ 的实测浓度均值(mg/L);

$S_i$ —评价因子 $i$ 的评价标准值(mg/L),并根据监测断面所属功能区和《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类确定<sup>[4]</sup>。

东环河虞东路桥断面2016年6~9月的数值监测指标及各因子单项指数如表2所示。

表2 东环河虞东路桥断面2016年6~9月的数值监测指标及各因子单项指数

时间	$COD_{Mn}$	单项指数	氨氮	单项指数	总磷	单项指数
日期	mg/L	Ⅲ类	mg/L	Ⅲ类	mg/L	Ⅲ类
6.15	5.42	0.90	1.63	1.63	0.47	2.35
7.15	4.00	0.67	0.84	0.84	0.16	0.80
8.10	4.84	0.81	1.72	1.72	0.18	0.90
8.20	5.54	0.92	1.35	1.35	0.28	1.40
8.30	6.21	1.04	1.86	1.86	0.52	2.60
9.10	5.32	0.89	1.04	1.04	0.15	0.75
9.20	6.35	1.06	0.87	0.87	0.27	1.35
9.30	5.87	0.98	1.13	1.13	0.21	1.05
平均值	5.44	0.91	1.31	1.31	0.28	1.40

通过上述监测指标及单项指数的计算,东环河虞东路桥断面污染特征如下:

(1)东环河虞东路桥断面的首要污染因子为氨氮,统计数据显示虞东路桥断面氨氮达标率为25.0%,并且出现连续4次监测氨氮浓度超标现象。此外2次未超标的监测结果,也十分接近Ⅲ类水指标。

(2)总磷超标频繁且超标倍数较高,东环河虞东路桥断面总磷指标未出现连续超标现象,这可能是因为6~9月之间,苏州地区降雨频繁,东环河断面流量变化较大,对污染物具有一定稀释效果的原因,但依然出现5次超标现象,超标倍

数较高,最大超标倍数可达2.60倍,支流河道中总磷最大超标倍数则为1.70倍。未超标的监测数据也十分接近Ⅲ类水达标线。

(3)断面高锰酸盐指数在Ⅲ类达标线上下徘徊,由东环河干流以及支流监测结果可知,断面汇水范围内 $COD_{Mn}$ 达标率相对较高,河道干流仅出现2次不达标现象,支流河道 $COD_{Mn}$ 也基本均达标,但也存在 $COD_{Mn}$ 监测结果接近于Ⅲ类水达标线,因此断面达标整治过程中 $COD_{Mn}$ 依然要作为重要污染物治理。

## 2 污染物入河总量计算

根据资料和现场调研结果,采用下述方法,计算出河段区域内全年各污染物年入河总量<sup>[5]</sup>。

(1)农村生活污染物入河量

$$W_{生1} = W_{生1p} \times \beta_2 \quad (2)$$

$$W_{生1p} = N_{农} \times \alpha_1 \quad (3)$$

式中:

$W_{生1}$ —农村生活污染物入河量;

$W_{生1p}$ —农村生活污染物排放量;

$\beta_2$ —农村生活入河系数(取值为0.8);

$N_{农}$ —农村人口数;

$\alpha_1$ —农村生活排污系数。

(2)城镇生活污染物入河量

$$W_{生2} = (W_{生2p} - \theta_2) \times \beta_3 \quad (4)$$

$$W_{生2p} = N_{城} \times \alpha_2 \quad (5)$$

式中:

$W_{生2}$ —城镇生活污染物入河量;

$W_{生2p}$ —城镇生活污染物排放量;

$\beta_3$ —城镇生活入河系数(取值为0.8);

$\theta_2$ —被污水处理厂处理掉的城镇生活污染物量;

$N_{城}$ —城市人口数;

$\alpha_2$ —城市生活排污量。

据调查,镇区污水排放量取185 L/(人·d),农村生活污水产生量取40.5 L/(人·d)

(3)农田污染物入河量

$$W_{农} = W_{农p} \times \beta_4 \quad (6)$$

$$W_{农p} = M \times \alpha_3 \quad (7)$$

式中:

$W_{农}$ —农田污染物入河量;

$W_{农p}$ —农田污染物排放量;



$\beta_4$ —农田污染物入河系数(取值为0.1);

$M$ —耕地面积;

$\alpha_3$ —农田排污系数。

计算汇总东环河虞东路桥断面各污染物年入河总量分别为:  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  为 704.1549 t、 $\text{NH}_3\text{-N}$  为 76.4744 t、TP 为 10.5341 t。

### 3 断面整治方案

针对东环河流域,选用合适的水质模型来模拟污染物在水体中的变化,然后依据水质目标及污染物的特征,排污方式、时空分布来确定水体的水环境容量。将水环境容量计算结果与东环河污染物年入河总量进行对比,对于超标排放的污染物选用合适的分配模型对污染源进行控制,以减轻东环河流域内的水质污染状况。

#### 3.1 基本概念

(1) 污染物削减量:指现状污染物入河量减去环境容量。若为正,则为污染物削减量;若为负,则为剩余环境容量<sup>[6]</sup>。即:

$$W_{\text{削减}} = W_{\text{入河}} - W_{\text{容量}} \quad (8)$$

式中:

$W_{\text{容量}}$ —环境容量;

$W_{\text{削减}}$ —污染物削减量;

$W_{\text{入河}}$ —现状污染物入河量。

(2) 削减率:指削减量与现状污染物入河量的比值,即:

$$\text{削减率} = W_{\text{削减}} / W_{\text{入河}} \quad (9)$$

式中:

$W_{\text{削减}}$ —污染物削减量;

$W_{\text{入河}}$ —现状污染物入河量。

#### 3.2 水环境容量模型建立

构建水质响应关系是指通过环境模型技术手段建立起污染源负荷与水体污染物浓度之间的定量关系。污染源—水质响应关系的确定是制定污染控制措施、保证水质达标的重要基础。水质响应关系的建立模型方法有多种。目前,常用的水质模型包括 WASP、EFDC、SWAT、HSPF、SPARROW、MIKE 等,涵盖从机理到经验、从一维到三维的多种模拟过程和空间尺度。然而,不同模型在资料需求、模拟组分、时空尺度上存在较大差异,因而适用于不同的情形。具体的模型选择应综合考虑水体特征、研究目的和资料可得情况而定。由于东

环河污染物浓度仅在河流纵向上发生变化,横向断面上变化不大,横向和垂向的污染物浓度梯度可忽略。因此,本方案选择河流一维稳态水质模型计算水环境容量,如图6所示。

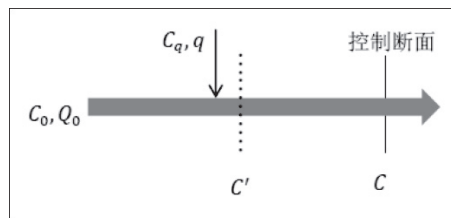


图6 一维水质模型示意图

排污口下游某处的水质浓度为<sup>[7]</sup>:

$$C = C' \exp\left(-\frac{Kx}{86400\mu}\right) \quad (10)$$

式中:

$C'$ —支流或排污口等边界汇入后的稀释浓度, mg/L;

$C$ —距离边界下游  $x$  米处控制断面的浓度, mg/L;

$K$ —降解系数, 1/d;

$x$ —控制断面距离支流或排污口等边界的距离, m;

$\mu$ —河段的流速, m/s。

只有一个排污口时,水环境容量计算公式为:

$$W_{\text{容量}} = [(Q_0 + q)C_s \exp\left(-\frac{Kx}{86400\mu}\right) - C_0Q_0] \times 86.4 \quad (11)$$

式中:

$W_{\text{容量}}$ —水环境容量, kg/d;

$C_0$ —上游来水浓度, mg/L;

$Q_0$ —上游来水流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$q$ —支流或排污口等边界汇入流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$C_s$ —河段水质标准, mg/L。

控制断面水质浓度与排污量呈线性关系,因此,当多个排污口存在时,将多个计算结果叠加即可。对东环河虞东路桥断面水环境容量进行计算,结果见表3。

#### 3.3 许可排放量分配

许可排放量分配是在流域总量控制目标确定后,将污染负荷分配到下级单元的过程。

(1) 等比例分配法

等比例分配法是一种较为简单公平的分配方法。该方法在污染源达标排放量的基础上,将允许排放量按照污染物的达标排放量等比例地分配

表 3 东环河虞东路桥断面水环境容量计算结果

东环河虞东路桥断面 常浒河交汇处 ~ 横泾塘交汇处		
COD <sub>Mn</sub> (t/a)	水环境容量	985.8
	入河量	704.1594
	削减量	有容量
	削减率	——
氨氮 (t/a)	水环境容量	49.3
	入河量	76.4744
	削减量	27
	削减率	35.52
总磷 (t/a)	水环境容量	5.9
	入河量	10.341
	削减量	4.441
	削减率	42.9%

到各排污单元。假设参与分配的排污单位数目为  $n$ ，各排污单位的达标排放量分别为  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3 \cdots$ 、 $W_n$ ，环境允许排放量为  $Q$ ，则每个排污单位分配到的许可排放量为：

$$Q_i=Q\times \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \tag{12}$$

式中：

- $Q_i$ —第  $i$  个排污单位的许可排放量；
- $Q$ —该控制单元的环境允许排放量；
- $W_i$ —第  $i$  个排污单位的达标排放量。

(2) 分配基本原则

①重点源重点削减原则，城镇生活污染源与工业污染源作为优先削减的重点；②分配可行性原则，即总量分配与削减要优先考虑易削减的区域与行业，分配的结果要兼顾到未来控制方案的可行性；③反馈调整原则，即总量分配与削减的方案要通过规划方案的设计、评估和反馈调整来保证其实施的可行性。

3.4 许可排放量分配结果

东环河虞东路桥断面水质达到 III 类水质目标时，河道与常浒河交汇处至河道与横泾塘交汇处河段总控制目标：COD<sub>Mn</sub> 为 985.8 t/a，NH<sub>3</sub>-N 为 49.3 t/a，TP 为 5.9 t/a。

依据上述的总量分配基本原则与方法，虞东路桥断面汇水区计算得到水质达标情况下的总量

分配结果如表 4 所示。

表 4 东环河虞东路桥断面水质达标许可量分配结果

序号	管理区	行政村	COD <sub>Mn</sub> ( t/a )	NH <sub>3</sub> -N ( t/a )	TP ( t/a )
1	虞山镇琴湖管理区	东环村	130.8243	6.5418	0.7839
2		浦浜村	19.1476	0.9575	0.1147
3	虞山镇虹桥管理区	新厍村	37.7604	1.8882	0.2263
4		梦兰村	49.4201	2.4712	0.2961
5		渠中村	240.1477	12.0085	1.4390
6		庞浜社区	58.8335	2.9420	0.3526
7		金山社区	39.2580	1.9631	0.2352
8		青龙社区	22.6776	1.1340	0.1359
9	古里镇	吴庄村	190.8345	9.5426	1.1435
10		新桥村	109.7512	5.4881	0.6577
11		湖东村	64.2890	3.2147	0.3852
12	高新区	东渔村	22.8916	1.1447	0.1372
总计			985.8355	49.2964	5.9073

3.5 整治方案探讨

(1) 针对重点治理区域内乡镇的城镇生活面源污染问题，主要治理措施为加快污水接管覆盖率，提高城镇生活污水集中处理率；加强城镇垃圾的收集及中转站标准化改造；对镇区内河流实施综合整治，如淤积河道清淤工程增强自净能力、生态驳岸建设能减轻面源污染等。

(2) 虞东路桥断面汇水范围内主要存在 5 处工业集中区，分别位于虞山镇琴湖管理区和古里镇，工业集中区企业主要以印染、纺织、食品、建材、机械制造等行业为主，对于工业集中区加强工业污染源排查，重点做到雨污分流，加强污水管网建设，实现污水接管集中处理，提高工业水重复利用率，对部分企业实施临时限产限排，企业污水排放口达到相应污水厂接管或直接排放标准，增强企业污染源排查，确保废水实现接管集中处理或达标排放，重点加强印染、砂洗等行业排查及监管情况。

(3) 提高污水管网覆盖率，并加快扩大城区、城镇和农村污水管网覆盖范围。修复老旧破损管网，对雨污合流排水片区施行雨污分流改造，无法改

(下转第 11 页)

造的采取截流措施,进一步提高污水接管率。

本文对东环河虞东路桥断面污染源进行调研分析,得出东环河虞东路桥断面水质情况不稳定,主要超标因子为氨氮,其次为总磷。对水环境容量进行了计算,通过水环境容量计算结果与东环河现状排污量的对比,得出东环河流域现状排污量已远超出功能区段水环境容量。应对现状污染源排放量进行削减,使河网的水环境容量达到控制要求。

[1] GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S].

- [2] 孟伟, 刘征涛, 张楠, 等. 流域水质目标管理技术研究Ⅲ——水环境基准、标准与总量控制 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 1-8.
- [3] 叶旭. 温瑞塘河流域污染物总量控制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [4] 孟伟, 张楠, 张远, 等. 流域水质目标管理技术研究: 控制单元的总量控制技术 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(2): 35-39.
- [5] 田旭东, 汪小泉. 钱塘江流域污染负荷及水环境容量研究 [J]. 环境污染与防治, 2008.
- [6] 罗缙, 逢勇, 罗清吉. 太湖流域平原河网区往复流河道水环境容量研究 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 144-146.
- [7] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南 [R]. 北京: 中国环境规划院, 2003.