

## 太湖流域望虞河西岸地区氮磷污染来源解析及控制对策\*

张利民<sup>1</sup>, 王水<sup>2</sup>, 韩敏<sup>2</sup>, 何卿<sup>2</sup>, 潘国权<sup>2</sup>, 王春<sup>2</sup>

(1:江苏省太湖水污染防治办公室, 南京 210024)

(2:江苏省环境科学研究院, 南京 210036)

**摘要:** 本文比较全面地调查了太湖流域望虞河西岸地区氮磷污染来源, 结果表明: 太湖流域望虞河西岸水体氮磷污染严重, 氮磷污染物主要来源于生活污染, 其氨氮、总氮、总磷排放量分别占总负荷量的 60.2%、52.5% 和 52.9%。工业污染问题突出, 纺织印染是污染物排放最大的工业行业。张家港市和江阴市为氮磷污染的主要贡献地。对区域环境容量进行了预测, 并提出了氮磷污染削减目标, 氨氮、总氮和总磷污染削减率分别达 32.4%、51.8% 和 51.1%。最后, 从加大污染综合治理力度、落实河道及生态修复工程、加强环境管理和监控等方面提出了望虞河西岸地区的氮磷污染控制对策。

**关键词:** 望虞河; 氮磷; 环境容量; 控制对策; 太湖流域

## Nitrogen and phosphorus pollution in the western district of Wangyu River and countermeasures, Taihu Basin

ZHANG Limin<sup>1</sup>, WANG Shui<sup>2</sup>, HAN Min<sup>2</sup>, HE Qing<sup>2</sup>, PAN Guoquan<sup>2</sup> & WANG Chun<sup>2</sup>

(1: *General Office of Lake Taihu Water Pollution Prevention and Control, Nanjing 210024, P. R. China*)

(2: *Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, P. R. China*)

**Abstract:** Wangyu River is one of the 15 major inflow rivers of Lake Taihu, and it is also the water diversion river of Yangtze-Taihu Water Diversion. It is of great importance to abate the pollution from the west side of Wangyu River. In this paper, the water quality and the nitrogen and phosphorus pollution were investigated. The results showed that the west side of Wangyu River was confronting a severe water pollution problem due to high level presence of both nitrogen and phosphorus in the effluent. The nitrogen and phosphorus pollution mainly came from domestic sectors, of which the three major water pollutants ( $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN and TP) accounted for 60.2%, 52.5% and 52.9% of the total pollution emission, respectively. Pollution of industry was also a large problem, and the printing and dyeing industry was the industry branch of the maximum pollutant discharge. Both Zhangjiagang City and Jiangyin City were the main sources of nitrogen and phosphorus pollutants. The environmental capacity of the area was predicted, and the target of the pollutant abatement was forecasted. The rate of the pollutant abatement of  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN and TP reached about 32.4%, 51.8% and 51.1%, respectively. Based upon the above analysis, the control countermeasures of nitrogen and phosphorus were proposed to improve the aquatic environment of Wangyu River west side area such as reinforcing pollution comprehensive treatment, carrying out river and ecological restoration engineering, strengthening environmental management and monitoring, etc..

**Keywords:** Wangyu River; nitrogen and phosphorus; environmental capacity; countermeasures; Taihu Basin

望虞河小流域是江苏省太湖流域 15 条主要入湖河流中面积最大、污染负荷最重的区域。望虞河西岸地区北至长江、南至京杭运河、西至锡澄运河、东至望虞河, 含无锡市市区、新区、锡山区、惠山区、江阴市、常熟市和张家港等 7 个地区, 总面积约 2358 km<sup>2</sup>, 约占太湖流域江苏部分的 12.16% (图 1)。区域内人口密集, 经济高度发达, 污染负荷高, 水质恶化, 尤其是氮磷污染严重, 是太湖流域水环境治理的重点和难点<sup>[1-2]</sup>。望虞河也是“引江济太”的引水通道<sup>[1]</sup>, 具有重要的水利战略地位。因此, 弄清望虞河西岸地区氮磷来源结构对于

\* 国家“水体污染控制与治理”科技重大专项课题“乡镇污水处理及重点行业污染负荷削减关键技术与工程示范项目(2008ZX07101-003)”资助。2009-06-15 收稿; 2009-09-13 收修改稿。张利民, 男, 1966 年生, 博士, 研究员; E-mail: zhanglimin71@hotmail.com.

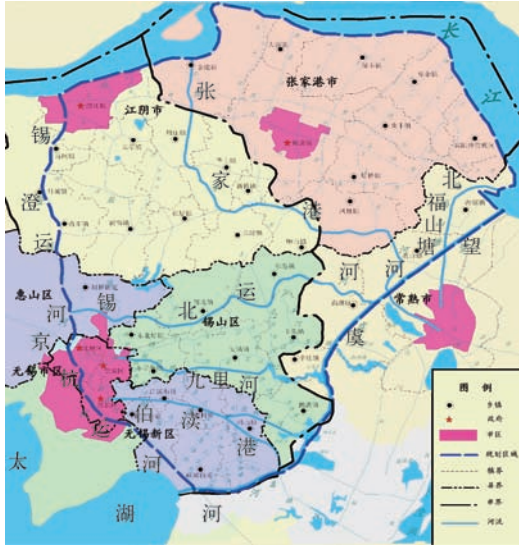


图1 望虞河西岸地区范围

Fig. 1 The region of the west side of Wangyu River

提出有效的望虞河地区污染控制措施,从而改善河网水质有显著的现实意义,但是目前关于望虞河西岸地区氮磷结构的研究鲜见报道.本文在对望虞河西岸地区氮磷来源进行系统调查统计的基础上,对氮磷结构进行解析,并通过区域环境容量的计算,提出了氮磷污染削减目标和控制对策.

## 1 望虞河西岸水环境状况

望虞河西岸属典型的平原河网区,河港纵横交叉,水系交错相连.伴随工农业的高速发展,各类废水的排放量剧增,使得该地区水环境问题日益严重.“引江济太”的实施使该问题更加被关注,望虞河引水时,水位抬高<sup>[3]</sup>,西岸张家港河、福山塘、伯渎港、九里河、锡北运河等五大支流排水入望虞河的河道发生倒流,造成西岸河网水质恶化<sup>[2,4]</sup>.2005-2007年,望虞河五大支流污染较为严重,五条河流的水质都处于劣V类,大部分断面出现超标;以氮磷超标为主.2007年区域主要超标因子氨氮、总磷、总氮排放强度分别达到 $2.53\text{t}/\text{km}^2$ 、 $0.35\text{t}/\text{km}^2$ 和 $5.07\text{t}/\text{km}^2$ ,

是江苏太湖流域平均水平的0.86倍、1.0倍和1.1倍,造成西岸地区水环境质量严重恶化.

## 2 氮磷来源解析

### 2.1 结构特征

本文对望虞河西岸地区的污染源基础数据进行了详尽的调研,其中工业、生活、农业污染源基础数据来源为2007年污染源普查数据、各地区环境统计、企业排污申报、各地区统计年鉴以及各相关部门资料<sup>[5-10]</sup>;污染物产排当量和入河系数参照《全国水环境容量核定技术指南》<sup>[11]</sup>.

2007年望虞河西岸地区氨氮、总氮和总磷入河量分别达到5974.2t、11956.8t和825.1t.其中,生活污染负荷最大,其氨氮、总氮和总磷入河量分别占各类污染物总入河量的60.2%、52.5%和52.9%.生活污染源、工业污染源以及农业污染源污染负荷占总污染负荷的比例分别见图2.

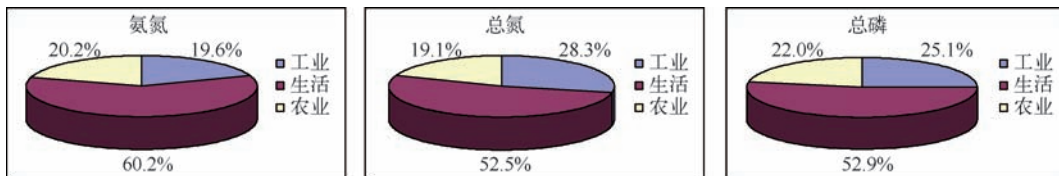


图2 生活、工业、农业污染源污染负荷百分比

Fig. 2 The pollution load percentage of domestic, industry and agricultural pollution sources in the region

**2.1.1 生活污染源** 生活污染负荷由城镇和农村人均综合用水量、人均综合排水量、生活污水平均浓度等生活污染的统计参数核算出.生活污染负荷在望虞河西岸地区三类主要污染来源中所占比例最大,这是因为望虞河西岸含城镇人口276万人,农村人口251万人,总人口约527万人(含外来常住人口),人口密度达 $2235\text{人}/\text{km}^2$ ,是江苏省人口密度的3倍,比江苏省太湖流域十五条主要入湖河流规划区域的人口密度高出约23%,人口高度密集,生活污染物相应偏高,而区域内生活污水处理率不足40%,城镇生活污水集中处理率不足60%,大量生活污水未经处理直排入周围水体.现有的54座污水处理厂多数不具备脱氮除磷工艺,处理标准普遍不高,无法达到太湖流域一级A类标准.生活污染源氨氮、总氮和总磷污染物排放均占总排放量的50%以上.

2.1.2 工业污染源 望虞河西岸地区工业比较发达,区域内共有工业企业 2 万多家,以纺织印染、冶金、化工、化纤、电子为主;经济开发区和工业集中区有 52 个,其中国家级开发区 4 个,省级 11 个,市级 6 个,县(区)级 31 个。根据污染源普查资料、环境统计资料、各地区环境保护局提供的重点监管企业名单以及现场调查和监测等,重点调查了污染物排放量占总量 90% 以上的重点排污企业共 480 家,其中直接排放的企业 150 家,接入污水处理厂集中处理的企业共 330 家。区域内工业废水治理以去除 COD 为主,缺少配套的脱氮除磷工艺,总氮等污染指标还未纳入污染治理和控制指标。区内工业废水集中处理率较低,仅为 44.9%;规划区内开发区污水处理厂水体回用水平低,回用率仅为 4.15%。2007 年工业废水排放量总计  $27480 \times 10^4 \text{t}$ ,氨氮排放量为 1169t,总磷排放量为 207t,总氮 3386t。

2.1.3 农业面源 农业面源污染主要来自种植业、畜禽养殖业和水产养殖业。种植业污染尚未得到有效控制。西岸地区种植业集约化程度高,化肥使用强度大;大量营养物随地表径流流失进入周边水体<sup>[12-13]</sup>,影响水体水质状况。现有耕地约 688km<sup>2</sup>,其中水田约 538.67km<sup>2</sup>,旱地约 149.33km<sup>2</sup>;总施肥量 41837.3t,平均化肥施用量约为 0.061kg/m<sup>2</sup>,高于全国平均水平(0.031kg/m<sup>2</sup>)。据统计资料<sup>[5-10]</sup>,2007 年西岸地区种植业污染物入河量分别为:氨氮 686t,总氮 1207t,总磷 91t。

畜禽养殖产生的畜禽尿液、冲洗场地的污水、畜牧场和加工厂的污水也是重要的污染源。这些污水中生物指标、高浓度的氮磷,排入当地的河流和水坑中,造成水质的不断恶化和水体营养化<sup>[14-15]</sup>。据污染源普查数据与实地调查,西岸地区 2007 年底畜禽存栏量为:猪 22.6 万头,奶牛 2.7 万头,鸡 115.4 万只,区域内共有规模化畜禽养殖场和奶牛养殖小区 112 家,规模化畜禽养殖量仅占到整个地区的 31%。养殖业数量多,规模小,畜禽粪便综合利用和处理率低。畜禽养殖业排放的氨氮、总磷分别占农业面源污染总量的 42.7% 和 48.3%。

西岸地区水产养殖产业发展迅速,高密度、高产量的养殖模式产生了大量有机和无机污染物,对局部水体环境构成威胁<sup>[16]</sup>。据调查,2007 年西岸地区共有水产养殖面积逾 4000hm<sup>2</sup>,主要养殖鱼类,其次为虾、河蟹等,沿望虞河的鹅真荡、嘉菱荡、宛山荡仍有网围网面积 387hm<sup>2</sup>未取缔,直接影响望虞河水质。

望虞河西岸及主要入河河流两岸未构建足够的生态保护绿化带,农业面源污染的缓冲宽度不足,难以阻滞农田污染物进入河流。

## 2.2 工业污染行业特征

西岸地区工业高度发达,行业分布广泛,纺织印染、冶金、电子、化工等重污染企业在区域工业经济中占有主导地位,也是主要的排污行业,排污量占工业负荷的 90% 以上。其中纺织印染是水污染物排放量最大的行业,废水排放量占总量的 44.8%,氨氮、总氮和总磷分别占总量的 44.1%、50.6% 和 44.8%,其次是冶金、化工、电子、食品等行业。重点工业源污染物排放行业构成见图 3。

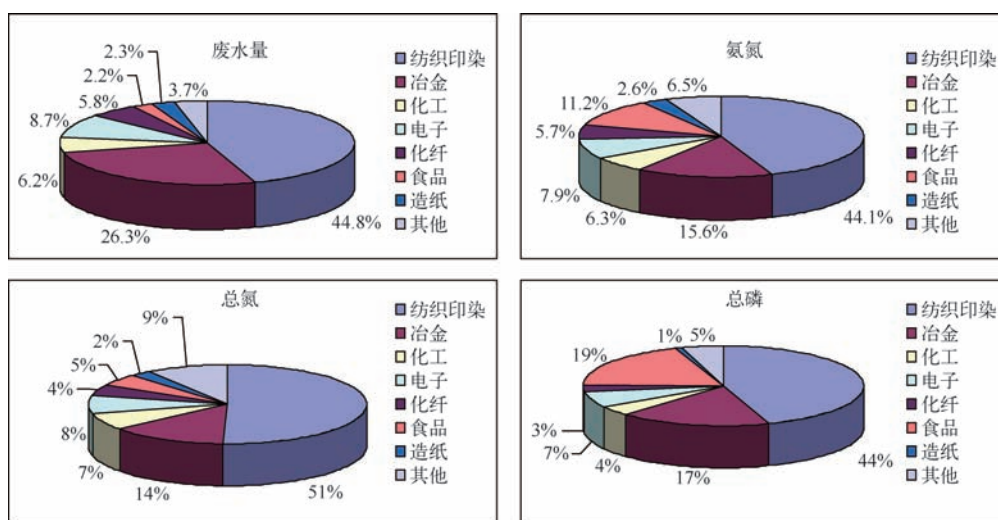


图 3 重点工业源污染物排放行业构成

Fig. 3 The composition of pollution discharge of key industry pollution sources in the region

表1 污染物分区入河总量

Tab.1 The sectional total quantity of pollutants discharged into the Wangyu River

区域	氨氮(t/a)	总氮(t/a)	总磷(t/a)
无锡市区	372	1103.9	39
无锡新区	434.8	1286.3	56.6
无锡锡山区	953.4	1836.4	138.5
无锡惠山区	243.1	422.3	33.2
江阴市	1553.7	2916.8	212.1
张家港市	1974.9	3622.9	290.7
常熟市	442.2	768.3	55.1
合计	5974.2	11956.8	825.1

### 2.3 区域分布特征

区域内各(县)区入望虞河污染排放量呈现差异,详见表1.其中,张家港市、江阴市和锡山区占前三位,三个地区氨氮、总氮、总磷入河污染物之和分别达入河总量的75.0%、70.1%和77.7%.

## 3 氮磷污染削减目标确定

### 3.1 区域污染物排放量的核算和修正

河道水环境质量的变化是区域工业、生活和农业污染物排放的结果,考虑水体自然降解因素,利用入、出边界水质变化估算区域污染物排放总量是比较科学的测算方法,可以据此对照校核从统计途径获得的各类污染物的总量数据.根据某时段河道水质变化估算区域污染物入河量按式(1)计算,从而核定规划区入河污染物排放量计算的合理性.

$$W = KVC + Q(C_2 - C_1) \quad (1)$$

式中:W为规划区域污染物入河量;V为河道体积;C为现状水质监测值;C<sub>1</sub>为河段进口水质浓度;C<sub>2</sub>为河段出口水质浓度;Q为年径流量.

### 3.2 河网区水环境容量计算方法

区域水体中污染物发生平流输移、纵向离散、横向混合物理、化学和生物作用,使水体中污染物浓度逐渐降低,根据控制单元水质目标、设计条件以及选用的适当水质模型,计算该区域水环境容量.计算时,分为理想水环境容量、实际水环境容量、点源允许排放量、污染物削减量四类进行.其中:计算实际水环境容量时,扣除各控制单元非点源入河量得到水环境容量,通过各控制单元中非点源在入河量中的比例,建立理想水环境容量和实际水环境容量之间的关系,其计算公式如下:

$$W_{\text{水环境容量}} = W_{\text{理想水环境容量}} - W_{\text{面源入河量}} \quad (2)$$

$$\text{其中: } W_{\text{面源入河量}} = W_{\text{农田入河量}} + W_{\text{农村生活入河量}} + W_{\text{畜禽入河量}} \quad (3)$$

按照各控制单元工业、生活入河平均系数,反向折算到陆上,得到最大允许排放量.通过各控制单元中各类污染源入河系数,建立水环境容量和最大允许排放量之间的关系,按下式计算:

$$W_{\text{点源最大允许排放量}} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{\text{(水环境容量)}_i}}{\beta_{\text{(点源平均入河系数)}_i}} \quad (4)$$

最终根据点源最大允许排放量和点源排放量,确定污染物削减量,其计算公式为:

$$W_{\text{现状削减量}} = W_{\text{点源排放量}} - W_{\text{点源最大允许排放量}} \quad (5)$$

其中:

$$W_{\text{点源排放量}} = W_{\text{工业排放量}} + W_{\text{城市生活排放量}}$$

### 3.3 污染物排放量预测

污染物排放量预测对于规划实施河网流域污染物的控制影响较大,准确的预测对于制定水环境综合整治规划非常关键.需要从社会经济发展、废水排放量、污染物排放量、污染物入河量等四个方面进行预测.其中:社会经济发展主要进行人口和国内生产总值的预测,废水排放量包括工业废水量和生活污水排放量,污染物排放量包括工业污染物和生活污水污染物排放量,具体计算可参见文献[17].污染物入河量预测是通过排污口进入规划河流的污染物质,可根据现状排污口污染物排放量与入河量之间的关系,推求规划水平年污染物入河量;通过支流进入规划河流的污染物质,可根据规划水平年支流的排污状况及河流的降解作用,演算至入河口的污染物浓度,再乘以水量,即规划水平年支流的污染物入河量.

### 3.4 结果与讨论

以2007年为基准年,以2012年作为目标期限.以90%保证率作为设计水文条件,建立河网模型,依据流

域现场同步监测的水文、水质、污染源综合降解系数研究实验进行参数率定,计算得到2012年区域水环境氮磷容量.望虞河西岸地区污染物削减目标计算成果(表2)可知,区域水环境容量小,而排污总量很大.区域内有大量闸坝等水利工程,水流状态和水量受人为控制,引排无序,区域水流不畅,常年积纳大量污水,使水体对污染物质的稀释和同化自净能力下降,导致区域环境容量较小.根据确定的污染物削减目标,氨氮、总氮和总磷污染削减率分别达32.4%、51.8%和51.1%,污染控制和削减任务非常严峻(表2).

表2 望虞河西岸地区污染物削减目标计算成果

Tab.2 Calculation results of pollution reduction target in the west side of Wangyu River

项目	氨氮	总氮	总磷
水环境容量(t/a)	4036	5766	403.6
污染物入河量(t/a)	5974.2	11956.8	825.1
污染物削减目标(t/a)	1938.2	6190.8	421.5
污染物削减率(%)	32.4	51.8	51.1

## 4 氮磷控制对策

### 4.1 加大污染综合治理力度

4.1.1 生活污水治理 全面禁磷,规划区内全面禁止生产、销售和使用各类含磷洗涤剂,积极推广使用浓缩无磷洗涤剂.污水处理厂提标改造,区域内54家污水处理厂实施脱氮除磷提标改造,达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB32/1072-2007)<sup>[18]</sup>要求.推广农村污水治理设施,重点发展锡山、江阴、张家港、常熟等地的农村小型生活污水处理设施,建设小型地理式污水处理设施或生态组合处理工程,到2012年,分散居住区生活污水处理率达到75%以上.

4.1.2 工业污染治理 调整产业结构和工业布局,对工业园区内氮磷严重超标的工业企业实施关、停、并、转、迁政策.对区内六大行业中111家重点直排点源实施提标改造,达到DB32/1072-2007<sup>[18]</sup>要求.实施中水回用工程,到2012年,纺织印染、电子行业的废水回用率须达50%以上;冶金和造纸行业单位产品废水排放量必须达到相应的标准要求.提高工业废水集中处理率.开展清洁生产审核和循环经济建设.

4.1.3 控制和削减农业面源污染 实施绿色农业工程,大力发展生态农业、有机农业和节水农业,全面推广测土配方施肥和农药减量增效控污等先进适用技术,削减化肥、农药施用强度.控制畜禽养殖污染,陆续取缔重点保护区域内畜禽养殖场;积极推广发酵床生态养殖技术;推行干清粪作业,减少污水和粪便流失;2012年畜禽养殖粪便综合利用率要达到85%以上,修建秸秆、粪便、生活垃圾等固体废弃物发酵池,处理有机垃圾等废弃物,生产沼气和有机肥,实现资源循环利用,减少污染物排放.清理整顿围垦养殖,全部取缔望虞河沿线鹅湖水产养殖场和29户养殖承包户共387hm<sup>2</sup>人工围网面积,建设生态净化系统.

### 4.2 落实河道整治及生态修复工程

4.2.1 定期实施河道清淤 分期分批对五条主要入望虞河河道及区内数百条支流、小河浜实施清淤.尽可能沟通断头浜,建设生态岸坡.清淤过程中加强对两岸排污口的核查,进行排污口规范化整治,对非法排污口坚决取缔.

4.2.2 河道生态化整治 建设“二带七廊道”:在望虞河和走马塘两岸各50m范围内建设生态保护绿化带;在“二带”之间沿北福山塘、张家港河、锡北运河、严羊河-羊尖塘、九里河、张塘桥河、伯渎港两岸建设生态绿色廊道.完成锡北运河生态堤岸修复工程.建设伯渎港入望虞河河口生态修复湿地.建设宛山荡、鹅真荡、嘉菱荡三个前置库.建设鹅湖、鸿山、安镇、羊尖、顾山、常阴沙等6个生态农业示范区.实施河道生态护坡.

4.2.3 加强环境管理和监控 落实行政区域交界断面水质交接责任机制,把交界断面水质改善的总体和年度计划目标纳入环保目标责任制,落实到行政首长的年度考核和任期考核,切实落实水环境质量达标的行政责任.全面实施区域水污染损失补偿机制,对规划区内张家港河顾家桥(对照)、凤凰、大义镇东益村、锡北运河王庄北新桥、羊尖塘羊尖大桥、九里河鸟嘴桥、伯渎港承泽坎桥等6个补偿断面和1个对照断面,由上游设区的市及所辖县(市)政府根据责任对下游设区的市予以资金补偿.建立区域水环境管理及决策支持系统,统一管理各地水利设施的建设,统一进行区域调水排水控制、统一规划设置排污口.增强西岸地区河网水体流动能力,促进河网水体有序流动,提高区域环境容量,彻底改善区域整体水环境质量.制定区域内河道总氮地方标准,提出总氮控制要求,以减轻对望虞河水质的影响.加强对排污单位的监管,年排放化学需

氧量 5t 以上的工业企业的排污口安装自动监控装置, 实行实时监控; 加强对排污企业的现场监督检查, 要求持证排放、按量排污。

## 5 结语

(1) 望虞河西岸氮磷负荷高、水质氮磷污染严重; 氨氮主要来源于生活和农业面源, 总氮主要来源于生活和工业污染源, 总磷主要来源于生活和工业源; 总体来说, 氮磷污染物主要来源于生活污染, 其次是工业污染和农业面源污染。工业行业污染问题突出, 纺织印染、冶金、电子、化工等重污染企业是工业污染的主要来源, 排污量占 90% 以上, 纺织印染是污染物排放最大的工业行业。从区域排污来看, 张家港市和江阴市为氮磷的主要贡献地, 其次为锡山区。

(2) 区域内闸坝等水利工程多, 水流不畅, 常年积纳大量污水, 水体自净能力下降, 导致区域水环境容量小。根据确定的污染物削减目标, 氨氮、总氮和总磷污染削减率分别达 32.4%、51.8% 和 51.1%。

(3) 在望虞河西岸地区已有的氮磷污染控制措施基础上, 有针对性地加大污染综合治理力度, 落实河道及生态修复工程, 加强环境管理和监控, 可有效降低氮磷排污, 改善望虞河水质。

(4) 笔者在大量调研统计的基础上对望虞河西岸地区氮磷污染来源进行了解析, 但对污染物排放系数的确定仍需在今后的研究中结合地区特色对经验系数进行修正, 有待于进一步研究。

## 6 参考文献

- [ 1 ] 高 怡, 毛新伟, 徐卫东. “引江济太”工程对太湖及周边地区的影响分析. 水文, 2006, 26(1): 39-41.
- [ 2 ] 曹雪华, 周 镔. 望虞河引水对常熟市西岸地区水环境的影响. 水资源保护, 2006, 22(6): 47-50.
- [ 3 ] 唐永良. 引江济太对锡澄片水环境的影响分析. 水文, 2005, 25(4): 39-41.
- [ 4 ] 尤德康. 引江济太对无锡水环境的影响与对策. 江苏水利, 2002, (10): 27-30.
- [ 5 ] 江苏省统计局编. 江苏统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 6 ] 无锡市统计局编. 无锡统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 7 ] 苏州市统计局编. 苏州统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 8 ] 江阴市统计局编. 江阴统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 9 ] 张家港市统计局编. 张家港统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 10 ] 常熟市统计局编. 常熟统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [ 11 ] 中国环境规划院编. 全国水环境容量核定技术指南, 2003.
- [ 12 ] 沃 飞, 陈效民, 吴华山等. 太湖流域典型地区农村水环境氮、磷污染状况的研究. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 819-825.
- [ 13 ] 程 波, 张 泽, 陈 凌等. 太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊): 118-124.
- [ 14 ] 杭中平, 孙治会, 万吉国. 畜禽养殖场污染源现状和有效解决方式. 山东畜牧兽医, 2009, (2): 35-36.
- [ 15 ] 万晓红, 邱 丹, 赵小明. 太湖流域规模畜禽养殖场污染特性的解析. 农业环境与发展, 2002, 17(2): 35-38.
- [ 16 ] 李绪兴. 水产养殖与农业面源污染研究. 安徽农学通报, 2007, 13(11): 61-67.
- [ 17 ] 张利民, 刘伟京, 尤本胜等. 太湖入湖河流治理规划研究. 南京: 江苏教育出版社, 2008: 13-14.
- [ 18 ] 江苏省环境保护厅, 江苏省质量技术监督局. 太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值 (DB32/1072-2007) 2007.