

# 平原河网区城市水污染特征及控制对策研究

严以新<sup>1</sup> 蒋小欣<sup>1</sup> 阮晓红<sup>2</sup> 李 轶<sup>3</sup> 赵振华<sup>3</sup> 倪利晓<sup>3</sup> 张 瑛<sup>3</sup>

(1. 河海大学交通学院海洋学院 江苏 南京 210098 ; 2. 南京大学地球科学与工程学院 江苏 南京 210093 ; 3. 河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098 )

**摘要** :以典型平原河网城市——苏州市为例 ,进行水污染成因及控制研究。前街后河的棋盘式河网格局体现了苏州市特有的文化风貌 ,也使得苏州市同样存在平原河网城市共有的环境特征。主城区内 ,水体流速不大于 0.01 m/s ,C:N 严重失衡为 0.4~1.4(其中 C 以 BOD<sub>5</sub> 计算) ,水生态系统已遭到严重的破坏。针对苏州市主城区水污染特征 ,从区域水文循环角度 ,提出了时空分步实施的综合治理理念。即首先进行内外污染源控制 ,再通过适当的闸坝调度引入周边太湖或长江清洁水源 ,改善主城区水体水动力条件、缓解水体碳氮失衡 ;对于局部污染仍严重的水体进一步实施原位强化净化工程。通过效果评估分析及实施综合治理方案后 ,可使水体水质达到地表水环境质量Ⅳ类水标准。该方案为其他平原河网城市的水污染控制提供了参考。

**关键词** :平原河网区 ;水污染特征 ;时空分步综合治理 ;长效运营管理 ;苏州市

中图分类号 :X522 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2008)05-0001-03

## Water pollution characteristics and control measures in cities of plain river network area

YAN Yi-xin<sup>1</sup> , JIANG Xiao-xin<sup>1</sup> , RUAN Xiao-hong<sup>2</sup> , LI Yi<sup>3</sup> , ZHAO Zhen-hua<sup>3</sup> , NI Li-xiao<sup>3</sup> , ZHANG Ying<sup>3</sup>

(1. College of Traffic , College of Ocean , Hohai University , Nanjing 210098 , China ; 2. School of Earth Sciences and Engineering , Nanjing University , Nanjing 210093 , China ; 3. College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China )

**Abstract** :The causes of water pollution and control measures in Suzhou City , a typical city in the plain river network area , were investigated. The chessboard-shaped river network has both the special cultural characteristics of Suzhou and the common water environmental characteristics of the plain river network area. In the ancient urban area , the flow velocity was less than 0.01 m/s and the C/N ratio( the C amount was obtained from BOD<sub>5</sub> ) was unbalanced , in the range of 0.4-1.4. This indicates that the aquatic ecosystem was seriously destroyed. On the basis of the water pollution characteristics of the ancient urban area of Suzhou , an integrated pollution control plan considering the temporal and spatial variation is presented in terms of the regional hydrological cycle. Firstly , external and internal pollution sources will be controlled. Then , clean water from the Yangtze River or Taihu Lake will be diverted to the ancient urban area through dam and sluice control to improve the hydrodynamic conditions of the water and to balance the C/N ratio. Finally , for some channel sections still seriously polluted after the aforementioned two measures , in situ purification projects will be carried out. The efficiency of this plan for water environment improvement is evaluated. Results show that the water quality can reach Class Ⅳ criteria of the *Environmental Quality Standards for Surface Water*( GB3838-2002 ) of China after the implementation of the plan. This plan provides references for other cities in the plain river network area.

**Key words** :plain river network area ; water pollution characteristics ; treatment considering temporal and spatial sequence ; persistent operation and management ; Suzhou City

基金项目 :国家“十五”重大科技专项( 2003AA601070 )  
作者简介 :严以新( 1949— ) ,男 ,福建闽侯人 ,教授 ,博士 ,主要从事海岸、河口动力环境及其模拟 ,海岸防护工程 ,海岸、河口泥沙运动 ,海岸与水运工程经济等研究工作。E-mail :yanyx@hhu.edu.cn  
通讯作者 :阮晓红 ,教授 ,E-mail :ruanxh@nju.edu.cn

1 苏州市古城区存在的水环境问题

1.1 古城区水系特征

古城区河网主要包括进出外城河河道、外城河、古城区内河道及园林池塘,古城区内主要河道呈三横三纵分布,具体分布见图 1。

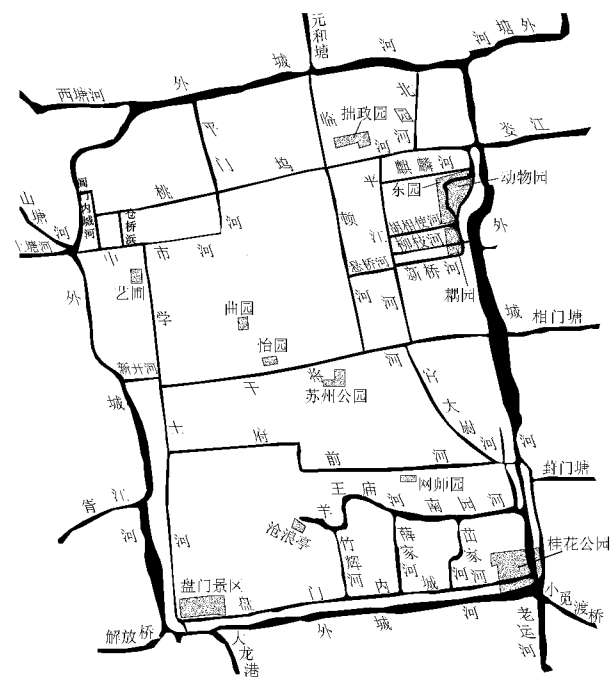


图 1 苏州市古城区水系分布

1.2 古城区存在的水环境问题

目前,苏州市古城区河网的主要水环境问题为:

- a. 水体流动缓慢。苏州市古城区以平原地形为主,河底高程和水流坡降较小。城区内河道水流长年滞流,仅依靠泵站抽水推动流动,城区河道还存在一些断头浜和因人为关闸导致的断流河。有些河道水流即使有流动,流速也小于 0.01 m/s。
- b. 水体污染严重。根据 2003 ~ 2004 年古城区河道水环境的监测数据及其分析,古城区河道水环境呈现出低碳高氮现象,C:N 一般为 0.4 ~ 1.4 (其中 C 以 BOD<sub>5</sub> 计算),碳氮比严重失衡。从有利于水体自净、加强反硝化脱氮的角度考虑,C:N 应大于 2.86<sup>[1]</sup>。水体溶解氧普遍偏低,有时甚至为零。在这种水质情况下,污染物难以被微生物有效去除,容易导致藻类的大量生长,水环境恶化。
- c. 水体生物多样性低,生态脆弱。苏州市古城区河道基本没有大型水生植物生长,底吸栖生物也较少,但水体和底泥中藻类相对较多,共有 77 种藻类。其中浮游藻类 73 种,底吸附泥藻类 34 种。在春夏季节易爆发水华现象,破坏水体中的生态食物链,严重影响水体的景观功能。

2 苏州市古城区河道污染成因分析

根据现场踏勘及资料调查,苏州市古城区河道污染成因主要包括以下几个方面:

- a. 城市点、面源污染。苏州市古城区以居民生活污水和三产污水(主要来自服务业,如餐饮、宾馆、洗浴中心和美容美发店等)污染为主。据 2005 年统计资料,古城区生活污水的集中处理率约为 54.9%,入河污水量为 17382.3 t/d;三产污水入河量为 3257.7 t/d。由于前街后河的棋盘式河网格局,未集中收集的生活污水和三产污水直接排入河道。由于部分街道街面狭窄,两旁古民居和商铺密集,污水收集管道铺设非常困难,使得污水收集率难以进一步提高。同时,苏州市古城区内建筑密集,可消纳面源污染的绿地和可渗透性地表面积相对较少,使得面源污染物未加任何阻拦直接进入河道。
- b. 水体内源污染。苏州市古城区河道底泥层厚度可达 50 cm 以上,河道底泥含有大量的污染物质,有机质含量约为 8%;TN 和 TP 的质量比分别可达 8.30 mg/kg 和 3.11 mg/kg。因此,河道底泥成为水体潜在的内污染源。
- c. 水体交换缓慢。苏州市古城区河网属于城市缓流水体,流速不大于 0.01 m/s,形成了一个具有内在动力学的密闭系统,不同水期、不同季节表现出不同的水质和水动力特征<sup>[2]</sup>。在枯水期,缓流水体进水量少,水体置换速度慢,淤积严重,导致污染物(如氮、磷等营养盐)的富集,自净功能减弱。

3 苏州市古城区水污染控制总体方案研究

根据苏州市古城区的水污染特征及其成因分析,提出了时空分步实施的总体方案。在时间上,分步实施。即截污在前,治理在后;清淤在前,引水在后;水环境质量改善在前,水生态修复在后。在空间上,进一步对局部污染严重的水体实施原位强化净化工程。苏州市古城区水污染控制总体框架见图 2。

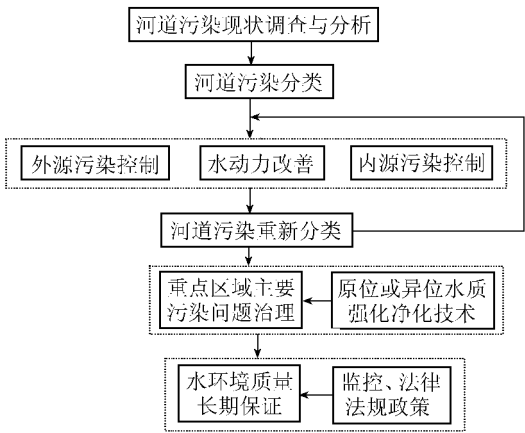


图 2 苏州市古城区水污染控制总体方案框架

3.1 污染源控制工程

a. 外源污染控制。实施“污水管网支管到户工程”，进一步完善污水收集系统，提高污水接管率，增强城市污水收集效率，削减生活污染排放量，减少河道纳污总量，实现“截污、治污”。对于低洼地区的截污率提高问题，在就地处理和中水回用的基础上，通过污水的单独收集，设置污水泵站将污水提升至高位管网中，送至污水处理厂处理。

b. 内源污染控制。根据监测结果，古城区河道中底泥平均以每年 20 cm 的速度淤积。经部分清淤，目前 70% 的河道底泥淤积厚度小于 60 cm，其余为 60 ~ 90 cm。按照目前的清淤速度，约 2 ~ 3 年可以完成整个河道的清淤工作。根据相关资料，冬季底泥中附着大量的藻类，是春夏季藻类暴发的一个重要源头。因此，建议在冬季进行清淤<sup>[3]</sup>。

3.2 水力循环调度与控制工程

针对河网水系滞流特征，提出外部—内部—局部的水动力循环模式，通过河道整治工程使长江及太湖清洁水源自流入外城河，通过内城河闸坝调度，改善内城河的水动力状况，同时实现内城河与外城河的水体交换，对于断头浜和封闭性园林内部水体，采用人工强化流动或循环技术改善水体的水动力条件。

由计算机技术、网络通信技术、自动监控技术及水环境实时模拟技术构建水环境实时监控系统，利用水环境模拟模型预测河道水环境变化规律，确定分级调水控制规模，调控水质改善的生境，提高水体自净能力。同时，系统可进行信息的实时采集、实时传输、数据统计、汇总分析、科学计算、辅助决策、测值超限报警等，实现了城市河网水动力分级循环控制的自动化。

3.3 重污染水体原位强化净化工程

a. 水体净化工程。对于水环境质量改善，源头控制是最重要的，但截污和治污需要一个过程。在现有截污水平下，改善水环境质量则需要采用必要的原位强化净化措施（表 1）。

表 1 不同河道的原位强化净化措施

河道状况	推荐措施
污染程度相对较轻	移栽挺水或沉水植物
污染程度相对较重	强化曝气 + 投加微生物（必要时投加化学药剂去除水中悬浮物）+ 移栽沉水植物
水力交换较差	增设推流曝气机改善水动力条件 + 沉水植物（河道较宽处可适当采用浮床和沉床技术）

b. 生态护岸工程。结合城市建设规划，保持现有岸坡形式，逐步采用透水性材料替代现有的岸坡材质，将原有的硬质护岸改造成生态护岸，提高河道

的生态效应，控制部分面源污染。目前，已进行部分河道混凝土护坡改造示范工程。

c. 藻类控制。苏州市古城区河道藻类控制主要有以下 3 个途径：①在藻类易爆发的春夏季加强调水，改变藻类生长的环境；②通过水生生物进行控藻，主要利用在低溶解氧条件下生长较好的黄尾密鲴进行控藻；③根据监测资料发现，硅藻、蓝藻等冬季沉降到底泥表面，可以在冬季通过清淤，清除由于藻类吸附后释放所引起的藻类暴发的源头。

3.4 水环境质量改善措施的长效运营管理模式<sup>[4]</sup>

通过体制、机制及制度的建立，达到苏州市水环境质量改善长效运行的目的。建立了政府特许经营管理模式，提出了保证苏州市水环境质量改善长效运行的多元化资金来源渠道，包括：政府财政补贴、拨款，按照水资源有偿使用和“污染者付费原则”筹集资金。具体有：通过市场机制筹集资金，通过制定土地资源补偿政策，赋予特许经营公司一定范围内的土地开发权，引导融资机构资金进入环保投资领域，利用效益补偿政策获取经费，建立水环境保护捐助基金，等等。提出了在苏州市水环境质量改善相关法律法规中应完善或建立的主要制度。包括：完善水务市场准入制度，建立水务市场退出制度，建立水务企业权利保障制度，完善政府监管制度和完善特许经营外部监督制度，完善苏州市排污收费制度，制定苏州市河网城市生态修复制度和完善公众参与制度等。

4 苏州市古城区水环境质量改善措施实施的效果评估

a. 古城区污水截污率提高。通过苏州市古城区低洼片区的污水收集率和集中处理率的提高，预期到 2010 年截污率平均达到 80%，2020 年达到 90%。连续、定期的底泥清除工程的实施，可以有效地降低河道所承受的污染负荷，加快河道水体恢复生态健康。

b. 三个不同层次的引调水工程环境效益。调水试验表明，当外城河入流流量不小于 24 m<sup>3</sup>/s 时，古城区大部分河道水流流速由不大于 0.01 m/s 提高到 0.05 ~ 0.10 m/s，内城河重污染河道氨氮指标下降 25% ~ 50%。根据苏州市河网特点研发和建设的水环境实时监控管理系统示范工程，提高了信息收集的实时性、准确性和信息管理的可视化程度，保证了城市河网水动力分级循环控制的自动化，为水环境信息的科学管理和合理决策提供了依据。

（下转第 29 页）

表 14 宁夏绿洲生态需水量预测结果

万 m<sup>3</sup>

年份	需水量			总需水量	50%降水频率		75%降水频率	
	林地	草地	湿地		天然供给	人工配置	天然供给	人工配置
现状年	8875.01	30817.47	10143.37	49835.85	47688.58	2147.27	46162.74	3673.11
2010	8875.01	30817.47	7501.09	47193.57	43925.89	3267.68	42418.90	4774.67
2020	8875.01	31547.54	7501.09	47923.64	42675.22	5248.42	41258.68	6664.96
2030	8875.01	31547.54	7501.09	47923.64	40812.30	7111.34	39220.97	8702.66

7 宁夏需水总量分析

宁夏需水总量预测见表 15 ,限于篇幅 ,仅给出了 50%降水频率下的总量。随着节水措施的实施 ,预测水平年需水量结构发生了很大的变化 ,虽然农业仍是需水量大户 ,但需水量和需水量比重都在降低 ,而产业需水量和生活需水量的比重在逐渐增加。三个预测水平年农业需水量比重分别为 86.8%、80.1%和76.0% ,分别比现状年下降了7.0%、

表 15 宁夏社会经济及生态需水量预测结果  
( 50%降水频率 ) 亿 m<sup>3</sup>

年份	需水量				
	生活	第二、第三产业	农业	生态	总计
现状年	1.06	4.14	78.98	0.21	84.40
2010	1.50	8.34	62.97	0.33	73.14
2020	1.88	11.95	55.66	0.52	70.01
2030	2.22	14.36	52.40	0.71	69.69

(上接第 3 页)

c. 河道原位强化净化工程环境效益。①河道经强化曝气和投加微生物制剂 ,可使污染程度较重河段的水质接近 GB3838—2002《地面水环境质量标准》中Ⅳ类水标准 ;②有植物去污工程的河段 ,由于植物对于污染物 ,特别是营养物的去除作用 ,可以在上述工程的基础上进一步去除氨氮。以污染最严重的中市河为例 ,水体中碳氮比提高至 3 以上 ,河道中氨氮的质量浓度控制在 2.5 mg/L 以下。

5 结 论

- a. 针对苏州市老城区的水环境问题 ,提出了时空分步实施理念 ,即首先进行内外污染源控制 ,再通过适当的闸坝调度引入周边太湖或长江清洁水源 ,达到改善老城区水体水动力条件、缓解水体碳氮失衡的目的。对于局部污染仍严重的水体实施原位强化净化工程。
- b. 建立了苏州市水环境质量改善长效运行的政府特许经营管理模式 ,提出了保证苏州市水环境质量改善长效运行的多元化资金来源渠道、水环境质量改善相关法律法规中应完善或建立的主要制度

13.7%和 17.8% ,充分体现了农业节水的效果 ,而第二、第三产业需水量比重由现状的 4.9%变化为各预测水平年的 11.1%、17.2%和 20.8% ,增幅较大 ;生活需水量的比重也发生了较大的变化 ,2030 年生活需水量比重为 3.2% ,比现状年增加了 1.9%。

参考文献 :

[1] 宁夏回族自治区统计局.宁夏统计年鉴 1999[M].北京 :中国统计出版社 ,1999.

[2] 谢新民 ,赵文俊 ,裴源生 ,等.宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究[M].郑州 :黄河水利出版社 ,2002 :66-72.

[3] 陈玉民 ,郭国双 ,王广兴 ,等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京 :水利电力出版社 ,1995 :168.

[4] 栗晓玲 ,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法[J].水科学进展 ,2003 ,14(6) :741-742.

(收稿日期 2007-07-20 编辑 徐 娟)

等措施。

- c. 通过技术研究、示范工程实施效果评估及水污染控制总量论证 ,总体方案实施将使古城区水环境质量达到地表水环境质量Ⅳ类水标准。方案抓住河网水体滞流的关键问题 ,充分考虑各单项技术在不同时段、不同空间的实施效果 ,实现了技术经济优化及水质改善的总体目标。
- d. 本文提出的苏州市古城区水环境质量改善总体方案对于江南河网城市的水环境改善具有重要的示范意义和借鉴作用。

参考文献 :

[1] 周群英 ,高廷耀.环境工程微生物学[M].北京 :高等教育出版社 ,2003 :254.

[2] 朱亮 ,蔡金榜 ,陈艳.城市缓流水体污染成因分析及维护对策[J].水科学进展 ,2002 ,13(3) :383-388.

[3] 邢雅因 ,阮晓红 ,赵振华.模拟城市河道底泥不同疏浚深度对氮释放的影响研究[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2006 ,34(4) :378-382.

[4] 朱智 滔 ,周密 ,万法菊.苏州水环境质量改善长效运行的管理模式[J].水资源保护 ,2007 ,23(6) :66-69.

(收稿日期 2007-10-10 编辑 徐 娟)