

基于水质模型的苏州河环境综合整治 一期工程优化调整

廖振良 徐祖信 高廷耀

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要 苏州河是上海市一条受到严重污染的感潮河流。随着上海经济和城市的发展,人们越来越关注苏州河的“黑臭”问题。为此,上海市启动了苏州河环境综合整治工程。在本研究中,我们选用 USEPA 的 WASP 开发了苏州河水质模型,使用的数据主要来自 1999 年苏州河第三次调水试验的同步监测资料、全市污染源调查资料,以及其他有关资料,模型经过了率定和验证。应用此模型,对苏州河环境综合整治一期工程中有关工程和方案进行了模拟计算,根据计算结果,对一期工程进行了优化调整。通过苏州河一期工程的实施,苏州河干流在 2000 年底基本消除了长达半个多世纪的黑臭现象,干流水质主要指标年均值基本达到国家景观水标准,河道生态系统逐步改善。

关键词 水质,数学模型,河流污染控制,苏州河,上海

1 介绍

上海市的苏州河是黄浦江的一条主要支流。在 1999 年之前,苏州河的水质很差,水体经常处于厌氧状态,呈现出严重的黑臭现象。导致这种现象的主要原因是:① 水系内大量污水未经处理直接排入苏州河及其支流;② 沿岸数十座市政泵站在降雨期间不得不经常放江,将大量合流污水排入河中;③ 由于潮汐作用,大量污水不能及时下泄,在苏州河中下游回荡;④ 支流的闸门除防汛等的需要外,均关闭,使得河流的流动性更差。

从 20 世纪五六十年代开始,上海市就开始治理苏州河。70 年代建设了一条截污管线——西干线。1993 年,合流污水一期工程建成。但是,由于各种原因,苏州河“黑臭”现象在 1999 年之前并未改变。

随着上海社会经济的发展,人们越来越关注苏州河的污染问题。苏州河环境综合整治工程于 1998 年正式启动,它是市政府水环境治理的龙头工程,包含了许多工程项目。

对于如此宏大的工程,如何评价和预测工程的效果,并制定一个科学的规划,显得十分重要。而开发水质模型,以模型为基础进行研究是必要的。基于水质模型,能模拟不同水文水质条件下,各种工程措施及闸门调度方案的效果。通过比较结果,就能提出优化的工程措施排序及优化的闸门调度方案,以此对苏州河整治进行科学决策。

2 苏州河水质模型开发介绍

2.1 模型软件的选择及二次开发

通过多种水质模型软件比较,选择 USEPA 的 WASP 作为模型开发软件^[1,2]。根据计算的需要,修改了一些重要数组的大小,包括河段数、边界个数、污染负荷数等,重新定义了某些参数。修改了输入输出的格式,改变了文件调用方式,这些使得系统集成很容易。利用先进的编译工具进行了重新编译,并开发了水质模型与水动力模型及 GIS 的接口。

2.2 河道概化

对于干流,从黄渡到外白渡,共分为 38 个河段,全长 35km,而河网范围北至蕴藻浜,东至黄浦江,南至淀浦河,西至西大盈,共 369 个河段。

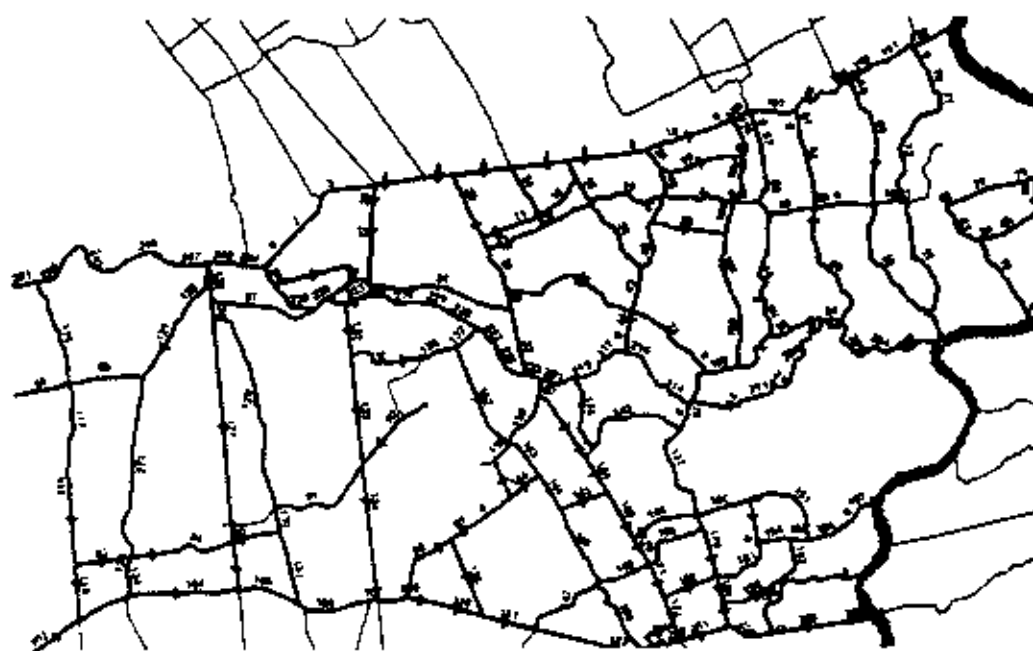


图1 河网概化图

2.3 需要率定的参数

包括纵向离散系数 E_z , COD 降解率 K_C , 氨氮降解率 K_n , BOD 降解率 K_1 , 底泥耗氧率 SOD, 以及大气复氧系数 K_2 。先在上海市环科院的实验室对这些参数进行测定和研究,再利用一些理论或经验公式确定其范围,最后通过模型率定得出率定值。

2.4 第三次调水试验简介

模型的率定验证主要采用 1999 年苏州河第三次调水试验的同步水文水质监测资料。第三次调水试验的关键是将苏州河潮汐双向流改为单向流,以将回荡在中游的污水团迅速排出去,这通过操作吴淞路闸门实现,涨潮关闸,落潮开闸,使水流向变为单一的由西向东,这种调度方式被称为“西引东排”,另外一种方式“东引北排”将在苏州河二期工程中应用。

第三次调水试验是苏州河上有史以来监测范围最广、频率最密以及数据最完备的一次水文水质同步监测试验。共有 9 个干流监测点,14 个支流监测点,以及泵站、污水厂及自来水厂等若干个同步监测点。试验从 1999 年 5 月底开始,至 9 月初结束。

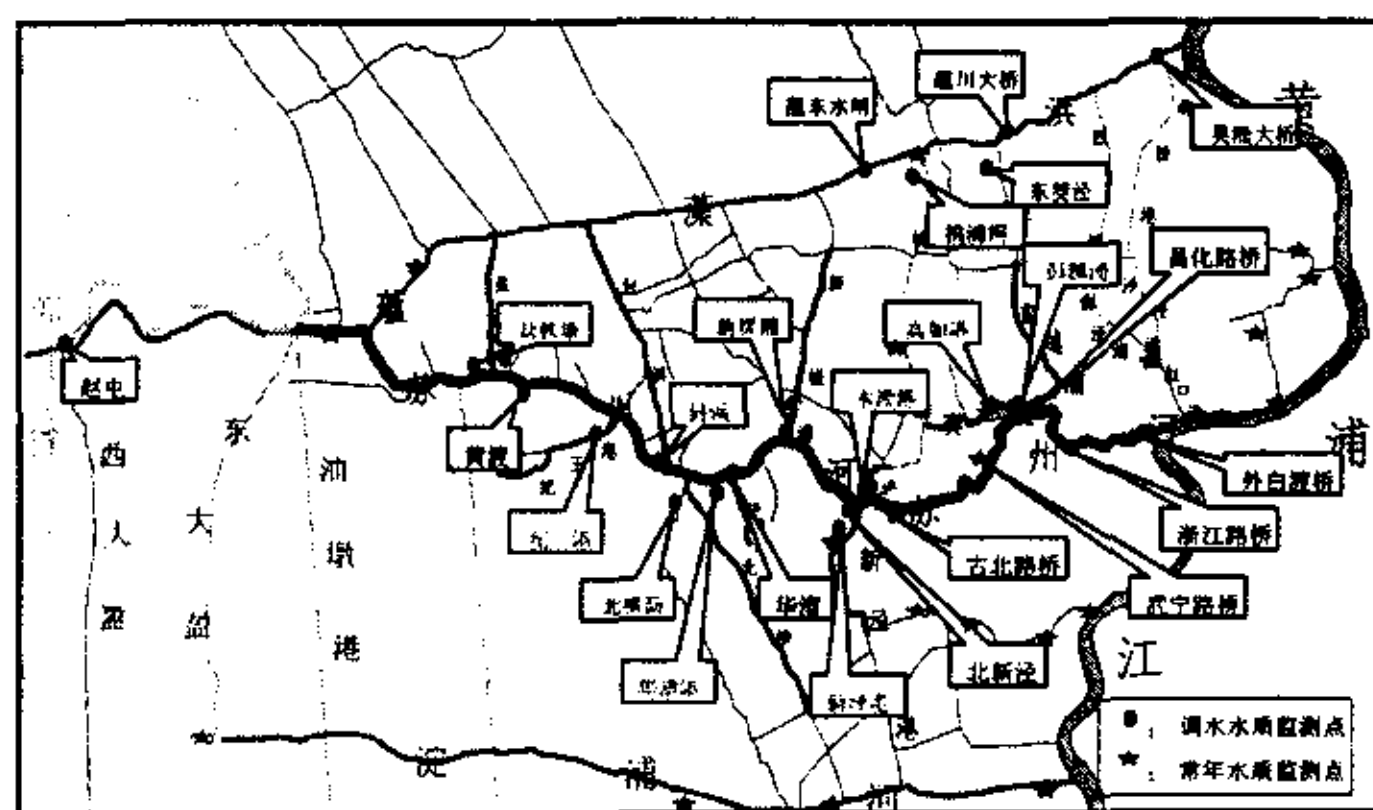


图 2 苏州河第三次调水试验水质监测点分布图

2.5 主要输入数据

(1) 监测数据系列: 对于干流, 利用第三次调水试验数据, 对于河网, 没有第三次调水试验数据的地方采用常规监测值。

(2) 时间步长: 为 3 600s。

(3) 流量: 由外部水动力模型 HOHY 提供。

(4) 污染负荷: 对于干流, 污染负荷通过各直排干流的点源的排污量和浓度计算得到实时动态变化值。对于河网, 采用资料(从《上海市水环境污染源调查 GIS 系统》中生成), 按照污染源的位置、去向, 将它们整理合并为 88 个点源负荷。

2.6 模型率定验证结果

(1) 主要参数率定值与实验值的比较

表 1 模型率定值与实验室研究值的比较

E_x (m^2/s)	K_r (d^{-1})	K_n (d^{-1})	K_1 (d^{-1})	K_2 (d^{-1})	SOD ($g/m^2 \cdot d$)	
实验研究值	5~35		0.11~0.57	0.05~1.48	0.5~7.5	
模型率定值	13	0~0.25	0.03	0.1	0.2	0.3~10

(2) 经验证, 计算误差较小(限于篇幅, 仅列出华漕断面验证结果如图 3), 说明模型结构合理, 参数正确, 能满足水质模拟的需要。

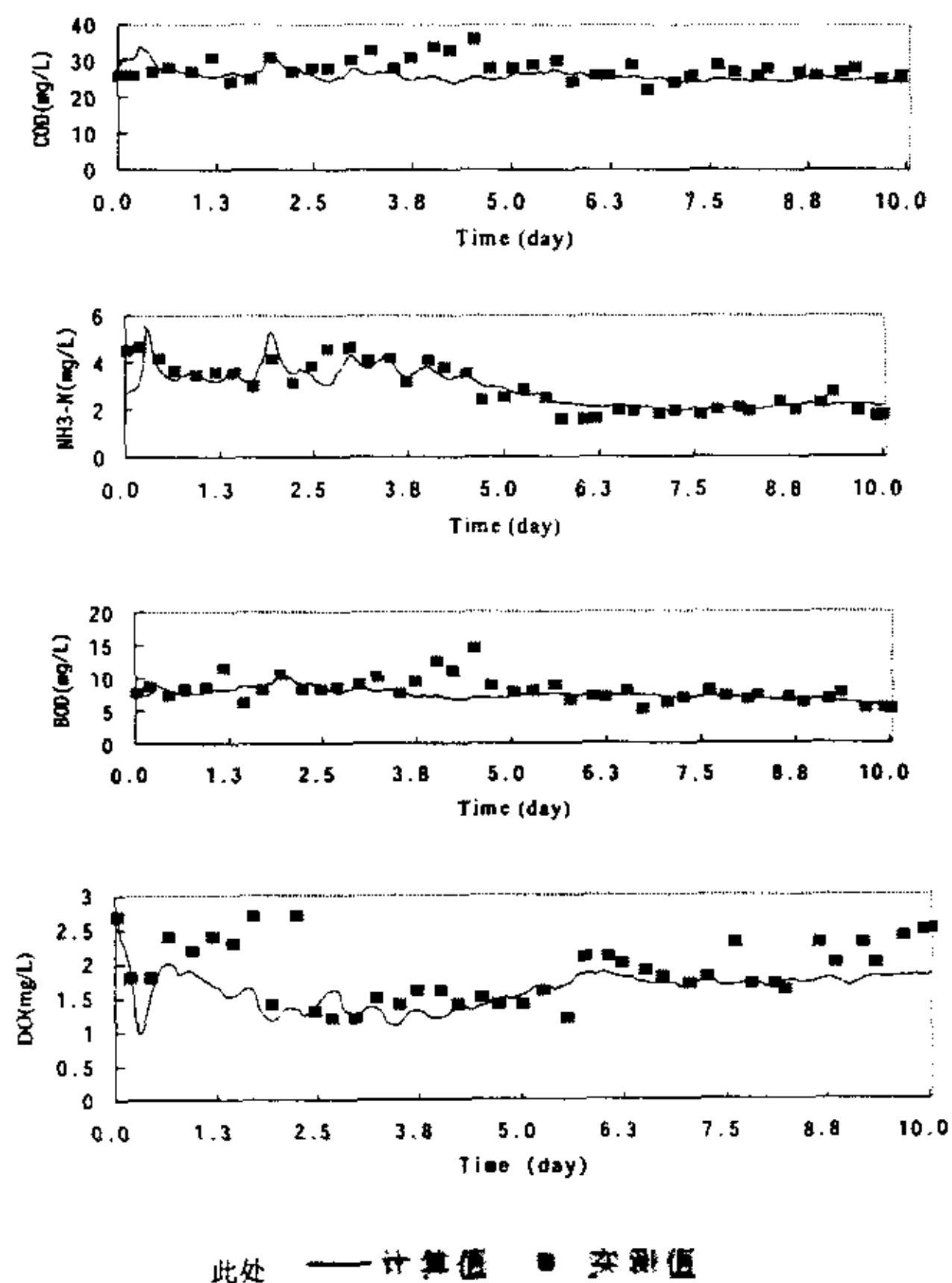


图3 水质模型验证图(华漕断面 1999.8.12 0:00G 至 8.22 0:00)

3 苏州河环境综合整治工程介绍

在1998年市政府批准的《苏州河环境综合整治方案》中,明确了苏州河的治理方针和整治目标等,在此基础上,规划了苏州河环境综合整治一期工程,其实施期为1998~2002年。

苏州河环境综合整治工程的主要目标是:到2000年基本消灭干流的黑臭现象,到2010年恢复苏州河的生态系统。

为了达到这些目标,需要规划实施一系列的工程项目。其中主要包括:截污、建闸、调水、底泥疏浚、曝气复氧、污水处理厂建设等等,总投资将以百亿元计。

通过使用模型计算分析,苏州河环境综合整治一期工程得到了优化调整。经过一期工程的实施,苏州河干流黑臭现象基本被消灭,水质得到了很大的改善。

4 苏州河环境综合整治一期工程的分析 and 优化

4.1 截污工程的计算和相应的优化

截污计算方案的水动力条件为枯水年西引东排。

通过污染源调查,发现苏州河中游地区(称之为六支流地区),规划的截污量(820 个污染源)只占总污染负荷量的 22%(总共有 3 518 个污染源)。采用模型进行计算,得到的结果是,如仍按规划方案截污,则该地区的污染仍然十分严重。所以截污方案必须调整。通过调整,将截污量提高到 85%,再利用模型计算,可以发现预测水质将大大改善,一期工程的目标可以达到。截污方案调整已得到实施。

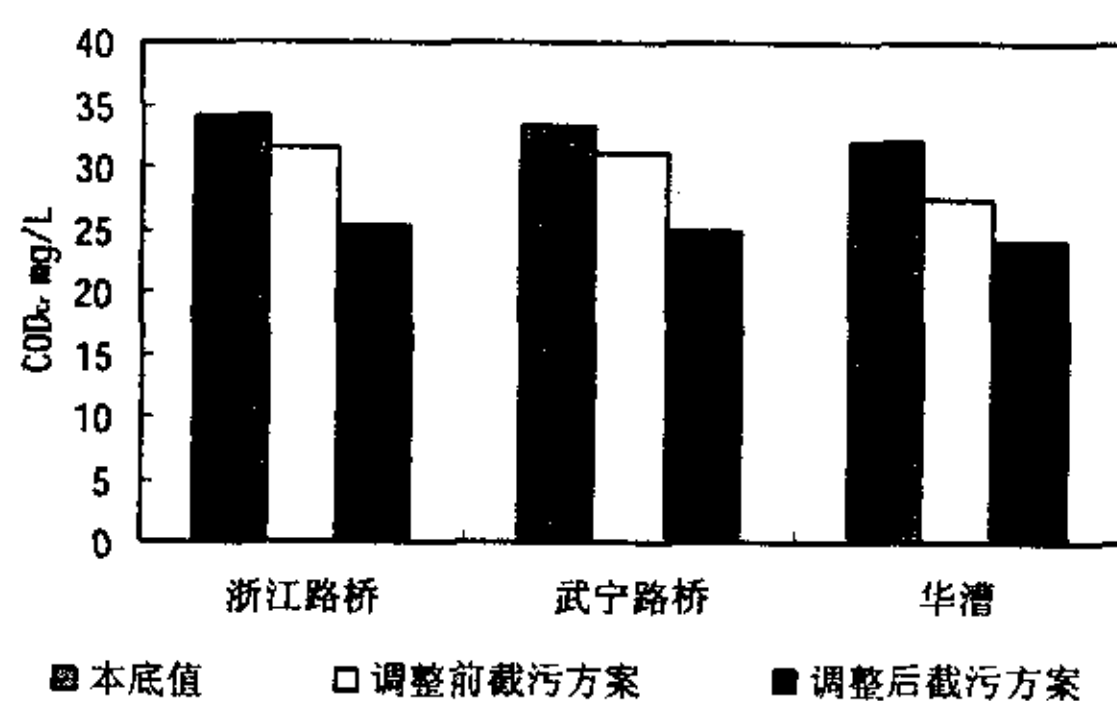


图 4 截污方案 COD_{Cr} 计算结果

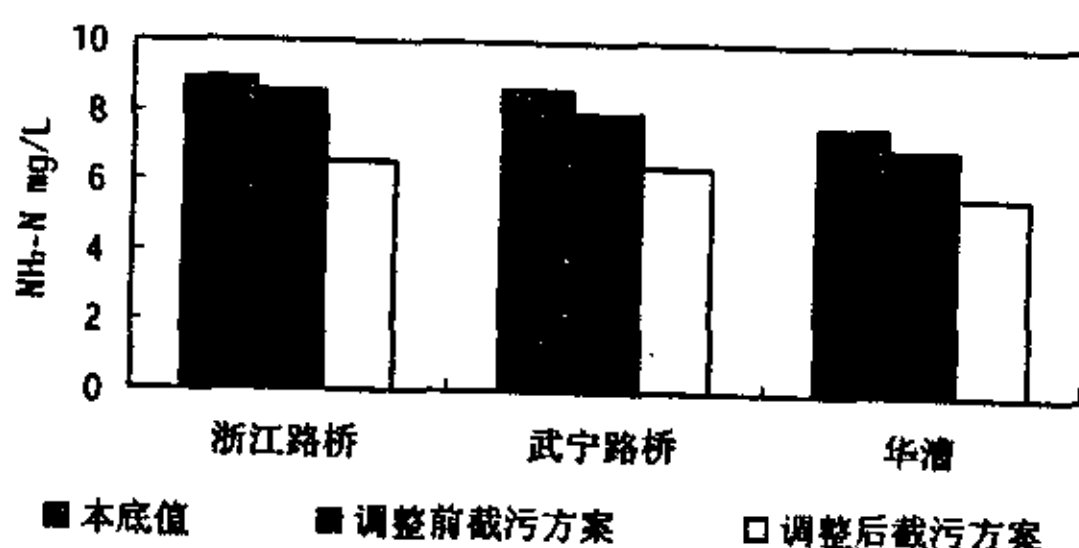


图 5 截污方案 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计算结果

利用模型计算,发现采用西引东排,加上截污,就能够达到一期工程目标。据此,对有关工程方案进行了进一步确定,增加了截污量,调整了其他一些效果不明显或暂时无实施必要的工程。方案调整包括:

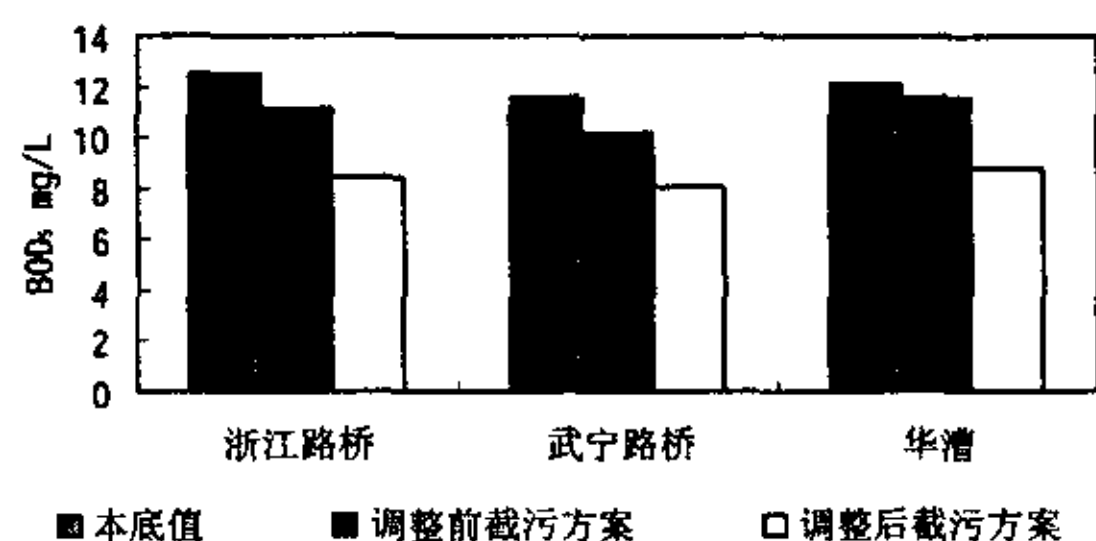


图6 截污方案 BOD₅ 计算结果

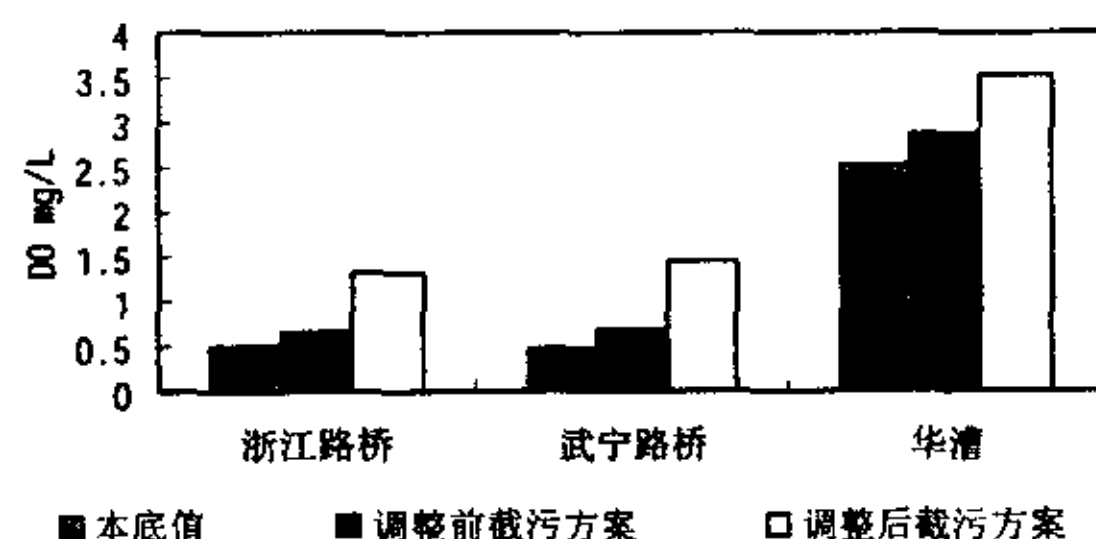


图7 截污方案 DO 计算结果

(1)增加截污量。中游地区截污量从22%提高到85%。

(2)延缓河口地区泵闸工程的建设。通过西引东排的实施,苏州河干流变为单向流,流量增加15~30m³/s,下游水质大大提高,上下游水质差别明显减小。根据模型计算分析,即使在枯水年,通过西引东排,下游流量都能增加15~25m³/s^[3],而如果在河口建泵站,通过泵运行只能增加很少的流量,所以建议延缓河口泵站及双向挡水闸的建设。这样做的另一个原因是保护外滩景观,在一期工程期限内论证该工程对外滩景观的影响太过仓促。

(3)调整底泥疏浚。按照模型计算结果,对底泥疏浚原方案进行调整。底泥疏浚必须配合防汛墙改造和河口闸门建设,一期工程中仅对上游河段进行了部分疏浚。

(4)其他调整的工程。包括东大盈泵站建设、木渎港泵站建设、东茭泾泵站建设、太浦河泵站建设等。

4.2 曝气复氧计算

在某些受严重污染的河段设置曝气复氧地装置是提高这些河段溶解氧水平的有效方式。而随着溶解氧的提高,其他污染指标也会相应地有所改善,模型计算的结果也表明了这一点。

一期工程中,建造了一艘曝气船进行工程试验。

4.3 泵站放江的计算

苏州河沿线共有37座市政泵站,其中34座为合流泵站。在降雨期间,这些泵站会直接向

苏州河排放污水。这是对苏州河的严重的短期冲击污染负荷。苏州河环境综合整治工程中的重要一项就是对市政泵站的改造。通过模型模拟泵站放江,发现这是影响苏州河水质的的重要因素。建议在二期工程中考虑市政泵站的改造。

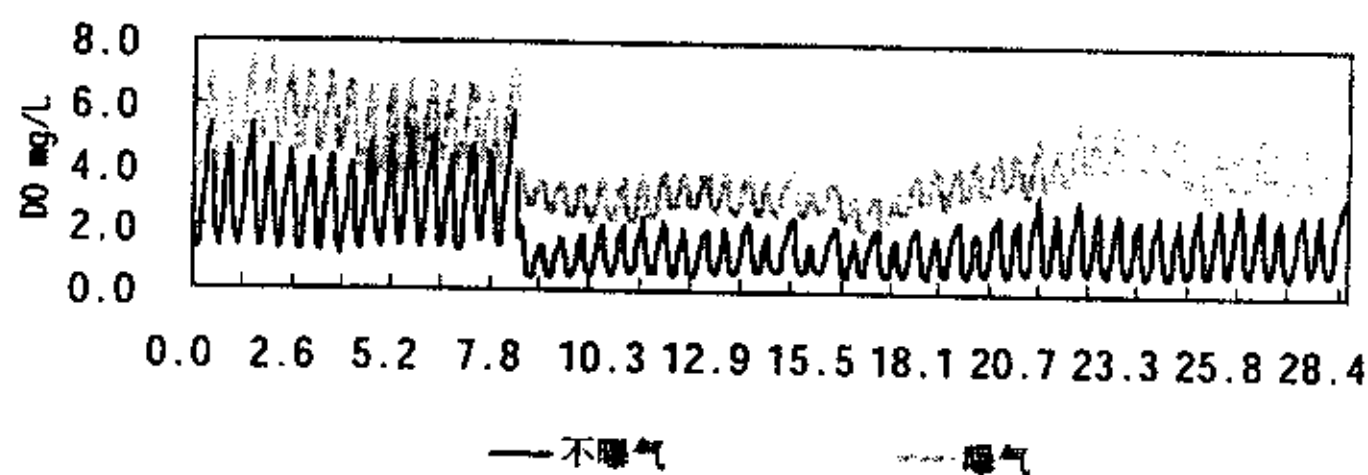


图8 武宁路桥断面曝气复氧前后 DO 比较

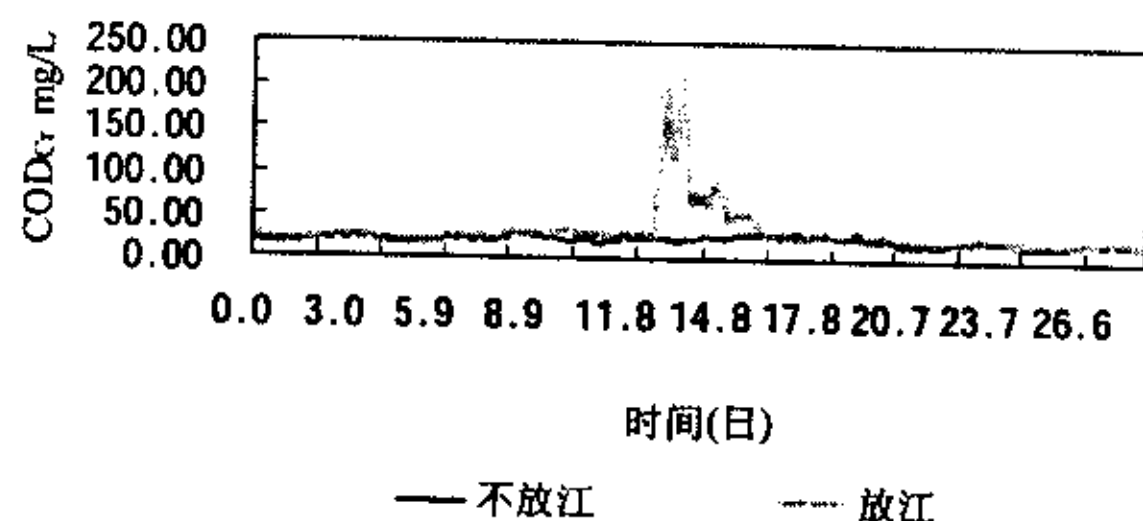


图9 武宁路桥断面放江与否 COD_{Cr} 比较

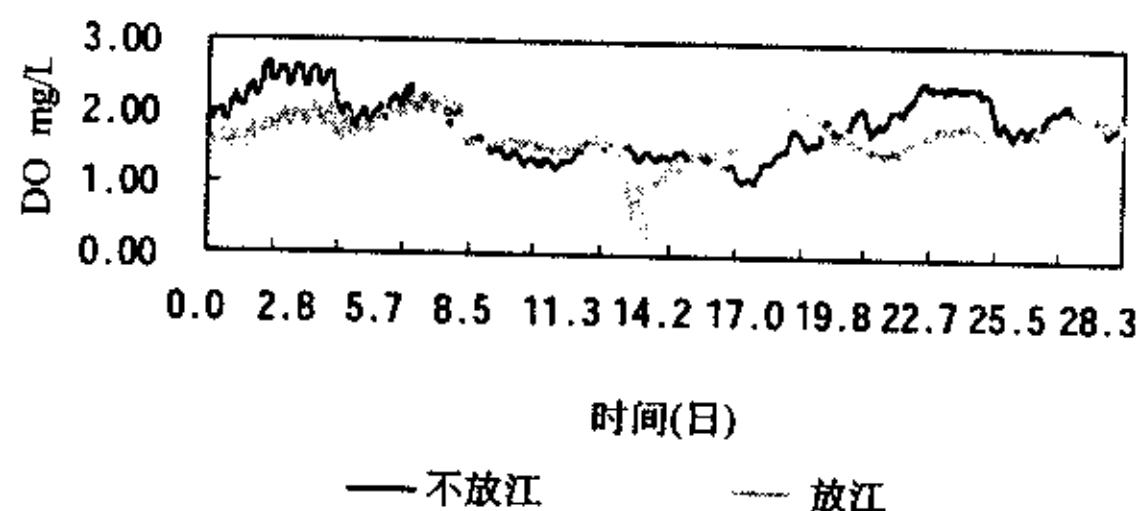


图10 武宁路桥断面放江与否 DO 比较

4.4 一期工程的效果

经过5年的努力,苏州河一期工程实现既定的目标。

(1)干流主要水质指标年均值基本达到了国家景观水标准^[4]。至2000年底,苏州河干流基本消除了黑臭。武宁路桥断面是历年来污染最为严重的断面,它的监测值显示苏州河干流水质这些年来正逐年改善。

(2)苏州河生态系统逐步改善^[5]。随着水质的好转,生态系统得到同步改善。水生生物种类和底栖动物生物量不断增加,水体的生物毒性下降,水中开始有鱼。

(3)投资减少^[6]。经优化和调整,实际一期工程总投资为 69.88 亿元,比计划的 86.5 亿元减少 16.62 亿元。

5 总结

本文介绍了苏州河水质模型的开发及应用。以水质模型为基础,苏州河环境综合整治一期工程得以优化和调整,使实际总投资比计划减少。通过苏州河一期工程的实施,苏州河干流在 2000 年底基本消除了长达半个多世纪的黑臭现象,干流水质主要指标年均值基本达到国家景观水标准,河道生态系统逐步改善。

表 2 武宁路桥断面水质年平均值(mg/L)

年份	DO	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N
1998	1.56	61.93	15.09	13.74
1999	2.24	48.96	15.98	9.72
2000	2.18	41.84	12.11	9.11
2001	3.12	26.03	4.57	5.48
2002	3.06	22.42	5.06	5.35

注:2002 年水质为 1~9 月平均值

参 考 文 献

- 1 廖振良,林卫青,徐祖信. WASP-5 系统及其述评. 上海环境科学,2001,20(1):3-6.
- 2 Wu-Seng Lung and Catherine E. Larson, Water quality modeling of upper Mississippi river and lake Pepin. Journal of Environmental Engineering, 1995,121(10):691-699.
- 3 徐祖信,卢士强. 苏州河综合调水的流量计算分析. 上海环境科学,2003,22(增刊):36-38.
- 4 徐祖信,罗海林,张锦平. 苏州河市区段近 10 年水质变化分析和评价. 上海环境科学,2003,22(增刊):15-17.
- 5 徐祖信,夏德详,张锦平. 苏州河一期整治的生态恢复现状研究. 上海环境科学,2003,22(增刊):18-20.
- 6 徐祖信,张效国,匡桂云. 苏州河环境综合整治一期工程效益分析. 上海环境科学,2003,22(增刊):1-4.

The Optimization of Suzhou Creek Rehabilitation Project Stage I Based on Water Quality Model

Liao Zhen-liang Xu Zu-xin Gao Ting-yao

(School of Environmental Science and Engineering, Tongji University,
Shanghai 200092, China, z_liao@tongji.edu.cn)

Abstract: The Suzhou Creek is a very seriously polluted tidal river in Shanghai City, China. Suzhou Creek Rehabilitation Project was launched in 1998, the planned investment of the Project Stage I was 8.65 billion yuan (about 1.05 billion US dollar). The USEPA's WASP model was used to establish the Suzhou Creek water quality model, using data from the third low flow augmentation test on the Suzhou Creek in 1999 and other monitoring results. Based on the model, Suzhou Creek Rehabilitation Project Stage I was optimized and adjusted, so the actual investment of the Project Stage I was 6.988 billion yuan. By executing the Project Stage I, the target of Stage I has been met, the "black and stink" phenomena of the mainstream was eliminated in the end of 2000, and the water ecological system was improved step by step.

Key words: Water quality, Mathematical model, River pollution control, Suzhou Creek, Shanghai