

上海市主要河流调水方案的水质影响分析

卢士强¹, 徐祖信², 罗海林², 林卫青¹

(1. 上海市环境科学研究院环境规划与标准研究所, 上海 200233; 2. 上海市环境保护局, 上海 200001)

摘要 针对上海市平原感潮河网的特点, 对全市河网的水流、水质调度情况进行了详细分析, 并利用 MIKE11 建立了上海市平原感潮河网的水动力和水质模型, 同时数值模拟和分析了全市主要河流调水方案对水质的影响。结果表明, 通过水利工程的合理、科学调度运行, 全市骨干河流的水质可以得到一定程度的改善, 部分河段的水质甚至可以提高 1~2 个水质等级。

关键词 上海市; 平原河网; 数学模型; 调水方案; 水质影响

中图分类号 X143 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2006)01-0032-05

改善河流水质的根本措施是对污染源进行有效的治理。但是, 要截除所有排入河流的污染源比较困难。通过综合调水, 科学地调度河网水流, 尽量提高水体的流动性, 是改善河流水质的一项有效的辅助措施^[1]。

本文利用 MIKE11 模型系统建立了上海市平原感潮河网水动力、水质模型, 并结合水环境治理区划, 对各区划内河流的调水方案进行了数值模拟, 同时分析了综合调水对主要河流水质的影响。

1 全市河网水流、水质调度

1.1 上海市实施河网水流调度的有利条件

上海市属于典型的平原感潮河网地区。平原地区实施河网水流调度, 必须具备 3 个基本条件: 一是较为完善的水利基础设施; 二是相对充足的水量; 三是一定的水位差^[1]。

经过长期的水利工程建设, 上海市建成了 14 个相对独立的水利片, 共有各类水闸 1 826 个, 为科学、合理地调活全市中、小河道水体创造了条件。

长江多年平均过境水量达 9 466 亿 m³, 太湖流域来水量每年为 106.6 亿 m³, 本地水资源量每年为 24.2 亿 m³, 黄浦江每年进潮量为 409 亿 m³, 河道潮差较大, 水位差一般在 1~3 m 之间, 最大潮差可达到 4 m, 这为通过调度提高水体的流动性提供了动力保证。

1.2 河网水流调度原则

在保证防汛、抗旱、航运等水利功能的前提下, 实施上海市河网水流调度, 必须坚持以下原则: 优先改善和保证饮用水源地水质; 充分利用潮汐动力和防止污染扩散; 优先保证黄浦江、苏州河干流水质; 充分利用现有水利设施。

1.3 全市河网分片水流调度方案^①

1.3.1 苏州河水系及嘉宝地区综合调水方案

苏州河吴淞路桥闸, 涨潮关闸挡水, 落潮开闸排水。苏州河沿岸木渎港、彭越浦、新泾港、华漕港、新槎浦、北横沥水闸及淀浦河沿岸南新泾、横沥港、梅陇港水闸, 只引不排。当苏州河、淀浦河水位高于闸内水位时, 开闸引水; 当苏州河、淀浦河水位低于闸内水位时, 关闸挡水。蕴西水闸, 保持关闭状态; 桃浦、东茭泾、龙华港、张家塘水闸, 涨潮关闸挡水, 落潮开闸排水。当龙华港排水不畅, 关闸水位超过 2.8 m 时可开启龙华港翻水泵站排水。蕴东水闸, 落潮一孔排水, 涨潮关闸挡水。墅沟水闸和练祁河水闸, 涨潮开闸引水, 落潮关闸排水。吴淞路桥闸经改造可双向挡水时, 实施西引东排和东引北排相结合的调水方案。东引北排时, 在控制苏州河高

收稿日期 2004-07-09

基金项目 上海市重大攻关项目(04dz12031)

作者简介 卢士强(1976—), 男, 山东临沂人, 工程师, 博士, 主要从事地表水水质、生态模型的开发和应用研究。

① 上海市环境保护局. 上海市水环境治理与保护规划暨“十五”计划, 2001.

水位的前提下,吴淞路桥闸涨潮开闸引水,落潮关闸挡水。

1.3.2 杨树浦港、虹口港水系调度方案

杨树浦港水闸,涨潮开闸引水,落潮关闸挡水。虬江水闸,涨潮关闸挡水,落潮开闸排水,以保证水流沿杨树浦港→东走马塘→虬江方向流动。

虹口港水闸,涨潮开闸引水,落潮关闸排水。西泗塘水闸、郝桥港水闸,涨潮关闸挡水,落潮开闸排水。

1.3.3 浦东新区水流调度方案

该区域调水的目的是控制浦东新区排入黄浦江的污染物总量,保护川杨河东段水源地。闸门调度的基本方案是:川杨河东引西排,从三甲港引水,杨思水闸排水,黄浦江沿岸其他水闸涨潮开闸引水,长江口沿岸其他水闸落潮排水。

1.3.4 杭州湾沿岸地区水流调度方案

黄浦江沿岸水闸,涨潮时开闸引水,落潮时关闸挡水。沿杭州湾水闸,落潮时开闸排水,涨潮时关闸挡水;引排水位按防汛抗旱要求控制。奉贤的金汇港北闸、南沙港、南横泾水闸等,在保证满足防汛水位要求的前提下开闸引水,金汇港南闸、中港水闸等,开闸排水。南汇主要通过大治河引排水。

1.3.5 黄浦江中、上游保护区水流调度方案

黄浦江中、上游保护区主要调度方案是增加太浦河来水量。在污水上溯严重的季节,经太湖流域管理局批准开启太浦河水闸,应保证黄浦江上游一定的来水量。淀浦河西水闸,正常水位时敞开,淀东水闸,涨潮时关闭,落潮时根据内河水位控制要求启闭闸门。

2 水文水质模型

流域内降雨径流计算对河网水系的水动力模拟来说是非常重要的。笔者研究利用 MIKE11 的 NAM 模型并结合 GIS 软件开发平台 MapInfo,建立了全市内陆河网地区的降雨径流模型,为河网模型提供了降雨期间的地表径流量^[2]。全市内陆区域共划分为 20 个流域,如图 1 所示。

水动力模型采用 Abbott 六点隐式格式求解一维河流非恒定流方程组。上海市内陆地区流域和河网概化如图 1 所示,共概化河流 226 条、闸门 127 座、泵站 48 座。

针对全市河网有机污染严重的特点(DO ,COD ,BOD ,NH₃-N 等主要水质指标均有超标现象),本研究采用 MIKE11-WQ 模型的 BOD-DO-NH₃-N 耦合模块^[3]。

利用 MapInfo 开发的 GIS 工具,将占 80% 排污总量的 6000 多个直排点源,经统计分析并根据污水排放去向和就近排放的原则,输入到水质模型的边界文件。利用 GIS 模块估算研究范围内的按水利片划分的非点源污染负荷,对各集水区的土地利用、降水量、人口密度和其他污染源资料进行统计分析,然后产生各个集水域的面源污染负荷^[4]。

平原感潮河网的水动力和水质模型的原理和求解方法以及模型的率定验证等参见文献[2~5]。河网水动力模型糙率系数的率定结果为:黄浦江干流为 0.020~0.028;苏州河干流为 0.02~0.06;其他河道取 0.02~0.04^[2]。主要水质参数的模型率定结果如表 1 所示^[3]。

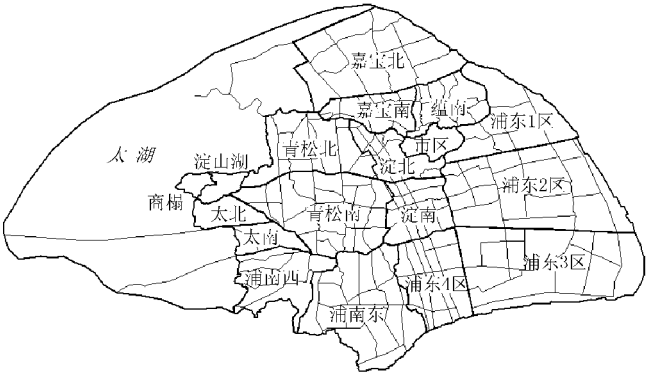


图 1 上海市内陆流域和河网概化
Fig.1 Sketch for inland watersheds and river network

表 1 主要水质参数模型率定和实验研究结果的比较

Table 1 Comparison of main parameters for water quality model obtained by calibration and experiment							
水质模型系数	纵向离散系数	COD 降解系数/d ⁻¹	BOD 降解系数/d ⁻¹	硝化反应速率/d ⁻¹	反硝化反应速率/d ⁻¹	复氧系数/d ⁻¹	底泥耗氧/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)
率定结果	5~15	0.05~0.20	0.10~0.30	0.05~0.10	0.10~0.25	0.1~0.4	1~6
实验结果	5~35	0~0.25	0.05~0.80	0.15~0.57			0.75~5.00

3 水流调度的水质影响分析

综合调水一方面可以从水质相对较好的水源引水,另一方面可以较大幅度地增加调水河流的流量^[6],加大水流流速,进而提高水系的大气复氧能力,增加河流的溶解氧质量浓度^[7]。这对有机污染严重的城市河流来说,显得尤为重要。限于篇幅,本文仅给出综合调水水质影响的分析结果。

枯水年上游来水少,综合调水对主要河流的影响较平水年大,因此方案研究用典型枯水年的水文、水质资料作为设计条件。

3.1 综合调水对苏州河干流的水质影响分析

苏州河地处太湖流域东缘,穿越上海市区中心,沿线大小支流 59 条,分属 4 个水利控制片(蕴南片、嘉宝北片、淀北片、青松大控制片)现已基本建闸控制。

方案计算时采用的边界水质条件为苏州河上游来水水质指标的平均值,即 $\rho(\text{DO})=4.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=1.5\text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}_5)=6.0\text{ mg/L}$ 。文中给出了 $\rho(\text{DO})$ 和 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 的分析结果。

从图 2 可以看出,枯水年实施“西引东排”可以明显地改善苏州河干流中下游河段(距苏州河口 10~30 km)的水质,调水后,苏州河干流中游河段的溶解氧质量浓度比调水前平均提高约 40%,氨氮质量浓度平均降低约 30%;东引北排“则大大改善了下游河段(距河口 0~15 km)的水质,下游河段的平均氨氮质量浓度由调水前的 7 mg/L 降为调水后的 3 mg/L。

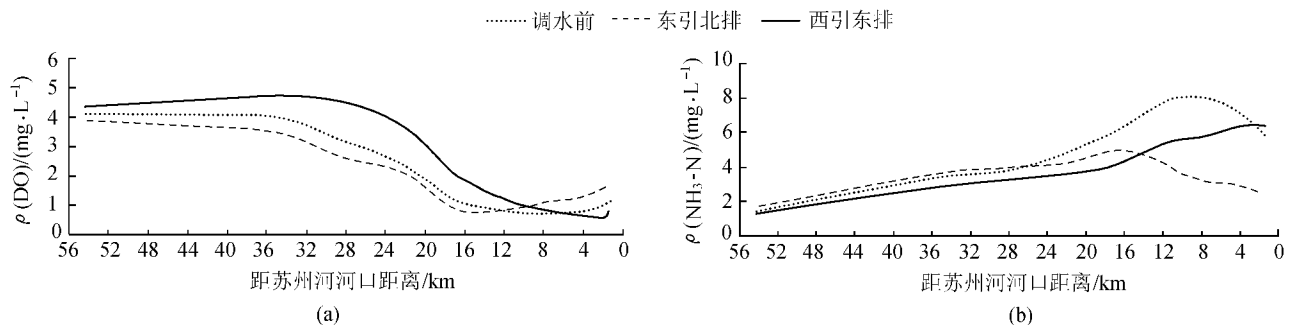


图 2 综合调水对苏州河干流水质的影响

Fig.2 Effects of water diversion on water quality of main stream of Suzhou Creek

3.2 浦东、杭州湾沿岸地区水系调水的水质影响分析

浦东地区可以引水的水源是长江口和黄浦江上游水体,长江口、杭州湾沿岸水质指标的平均值为 $\rho(\text{DO})=7\sim 8\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=0.5\sim 0.8\text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}_5)=1.5\sim 2.5\text{ mg/L}$ 。

从图 3 可以看出,在枯水年条件下,与调水前相比,调水后的溶解氧质量浓度可以提高 30%,氨氮质量浓度可降低 20%。

3.3 苏州河以北中心城及周围地区水系调水的水质影响分析

长江口沿岸水质指标的平均值为 $\rho(\text{DO})=7\sim 8\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=0.5\sim 0.8\text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}_5)=1.5\sim 2.5\text{ mg/L}$ 。

在实施苏州河“东引北排”方案改善北岸支流水质的同时,实施“北引东排”方案,从水质较好的长江引水,增加蕴藻浜以北水系的流量,可以在一定程度上改善蕴藻浜水系的水质(图 4)。从各典型断面的水质指标的平均值来看,在枯水年条件下,与调水前相比,调水后的溶解氧质量浓度可以提高 30%,氨氮质量浓度可降低 15%。

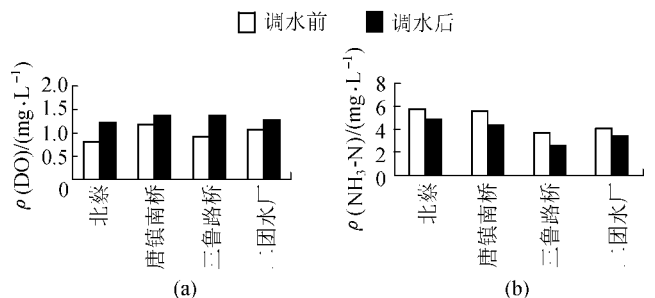


图 3 浦东、杭州湾沿岸地区水系调水的水质影响

Fig.3 Effects of water diversion on water quality of Pudong and Hangzhou Gulf coastal areas

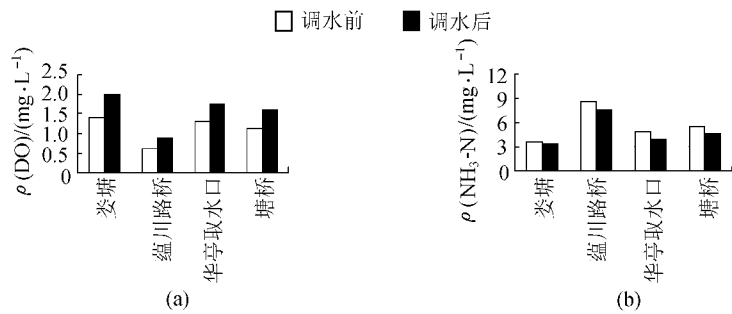


图 4 嘉宝北片水系调水前后的水质变化

Fig.4 Effects of water diversion on water quality of north Jiabao Catchment

3.4 杨树浦港、虹口港水系调水的水质影响分析

杨树浦港、虹口港水系实施‘南引北排’调度方案后,从水质较好的黄浦江干流引水,两水系水质得到明显改善,氨氮质量浓度降低约30%,溶解氧质量浓度提高约50%,如图5所示。

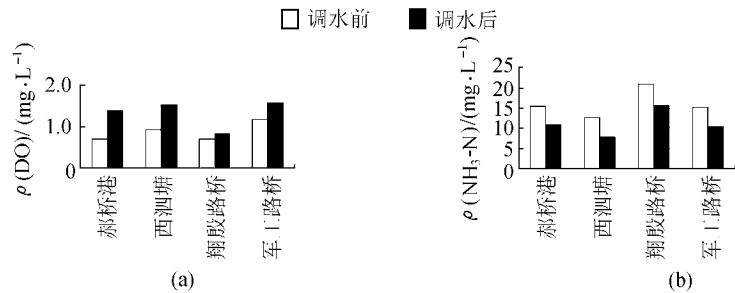


图 5 杨树浦港、虹口港水系调水前后水质变化

Fig.5 Effects of water diversion on water quality of Yangshupu Gang and Hongkou Gang

3.5 苏州河以南中心城及周围地区水系调水的水质影响分析

从水质较好的苏州河干流和黄浦江上游引水,使得中心城水系的水质得到明显改善,氨氮质量浓度降低约30%,溶解氧质量浓度可以提高约35%,如图6所示。

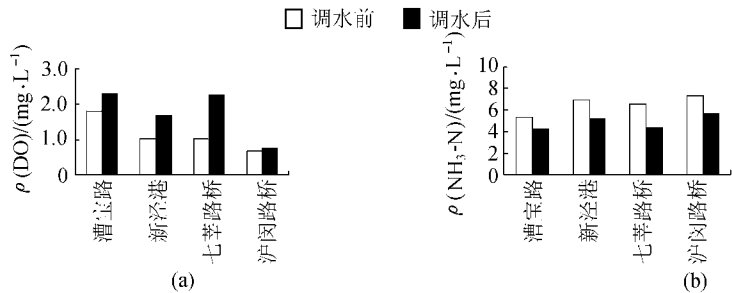


图 6 苏州河以南中心城及周围地区水系调水前后水质变化

Fig.6 Effects of water diversion on water quality of urban area and surrounding regions at south of Suzhou creek

3.6 黄浦江中、上游保护区水流调度的水质影响分析

黄浦江中、上游保护区来水(江浙来水、淀山湖)水质指标的平均值为 $\rho(\text{DO}) = 4 \sim 6.0 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) = 0.5 \sim 2.0 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}_5) = 2.0 \sim 5.0 \text{ mg/L}$ 。

黄浦江中、上游保护区实施调水方案后,水系的水质得到明显改善,氨氮质量浓度降低约45%,溶解氧质量浓度可以提高约70%,如图7所示。

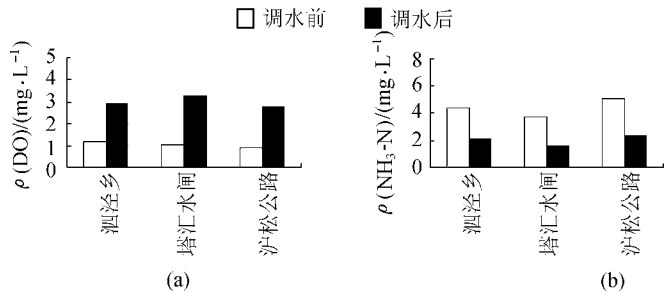


图 7 黄浦江中上游保护区调水的水质影响

Fig.7 Effects of water diversion on water quality of water source protection area on middle and upper Huangpujiang River

4 结 论

利用上海市平原感潮河网的水动力、水质

模型,进行了河网水流调度对水质影响的数值模拟分析.结果表明:在枯水年条件下,实施综合调水方案可以在不同程度上改善相应区域水系的水质,即苏州河综合调水可以改善黄浦江干流中游河段的水质,而对黄浦江上游松浦大桥取水口水质基本没有影响;东引北排调水可以改善苏州河以北中心城区的水质;从水质较好的长江引水,则会改善嘉宝北片水系的水质.通过水利工程的合理、科学调度运行,骨干河流的水质可以得到一定程度的改善,部分河段的水质甚至可以提高1~2个水质等级.苏州河调水试验结果也表明,综合调水对改善苏州河干流水质有明显效果^[8].

当然,频繁的闸门调度以及大量水利工程的兴建可能会造成能源过度消耗、工程安全隐患以及对周边环境产生一些潜在的负面影响,这些在调水实施过程中应予以足够重视.

参考文献:

- [1] 徐祖信.河流污染治理技术理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003:498-545.
- [2] 徐祖信,卢士强.平原感潮河网水动力模型研究与应用[J].水动力学研究与进展,2003,18(2):176-181.
- [3] 徐祖信,卢士强.平原感潮河网水质模型研究与应用[J].水动力学研究与进展,2003,18(2):182-188.
- [4] XU Zu-xin, LU Shi-qiang. Study on hydrodynamic model for tidal plain river-networks[J]. Journal of Hydrodynamics Ser B, 2003, 15(2): 64-70.
- [5] 徐祖信.河流污染治理规划理论与实践[M].北京:中国环境科学出版社,2003:316-342.
- [6] 徐祖信,卢士强.苏州河综合调水的流量计算分析[J].上海环境科学,2003(增刊):36-38.
- [7] 徐祖信,卢士强,刘立坤.综合调水对苏州河溶解氧影响作用的数值分析[J].上海环境科学,2003(增刊):39-42.
- [8] 徐祖信,罗海林,屠鹤鸣.苏州河调水对水质的改善作用分析[J].上海环境科学,2003(增刊):43-46.

Influence of water diversion schemes on water quality of Shanghai river networks

LU Shi-qiang¹, XU Zu-xin², LUO Hai-lin², LIN Wei-qing¹

(1. *Environment Planning and Standard Institute, Shanghai Academy of Environmental Science, Shanghai 200233, China;*

2. *Shanghai Environmental Protection Bureau, Shanghai 200001, China*)

Abstract In consideration of the characteristics of the plain tidal river network in Shanghai City, an analysis was made of the current situation of water flow and water quality dispatching among the river network. A hydrodynamic model and a water quality model were developed for the tidal river network of Shanghai City by use of MIKE11, and the models were applied to simulation and analysis of the influences of water diversion schemes for main rivers on water quality of the river network. The result shows that the water quality of main rivers can be improved to a certain degree by scientific operation of hydraulic projects, and in some river sections, the water quality can be improved by 1-2 levels.

Key words Shanghai City; plain river network; mathematic model; water diversion scheme; influence on water quality