

# 南水北调东线一期工程水质分析

刘玉年<sup>1</sup>, 万 一<sup>2</sup>, 徐亚东<sup>1</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 淮河水利委员会, 安徽 蚌埠 233001)

**摘要** 南水北调东线第一期工程 90% 的输水河道是利用现有河道. 由于现有河道水环境问题突出, 调水水质的好坏直接影响水资源的使用价值和沿线地区社会经济的发展, 同时也决定调水工程的实际效益. 在分析工程影响区域水污染来源及成因、水环境质量等因素的基础上, 结合国家东线治污规划, 预测调水水质, 探讨东线的保护措施.

**关键词** 南水北调 水环境评价 水质预测 CSTR 模型

**中图分类号** X522 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2005)03-0264-05

南水北调是解决我国北方地区水资源严重短缺问题的重大战略举措, 南水北调东线工程是从江苏省扬州附近的长江下游干流取水, 沿京杭大运河及与其平行的河道向北送水<sup>[1]</sup>, 拟定的供水目标为黄淮海平原东部和山东半岛的城市, 同时为农业和生态环境补水. 南水北调东线一期工程规模为抽江水  $600\text{ m}^3/\text{s}$ <sup>[2]</sup>, 在江苏省江水北调工程的基础上扩大规模并向北延伸, 入东平湖后分两路送水, 一路经穿黄隧洞进入黄河以北输水干线向鲁北地区供水, 另一路向东通过胶东地区输水干线输水到烟台、威海, 以缓解胶东供水矛盾. 由于南水北调东线一期工程 90% 的输水河道利用现有河道, 且水环境问题突出, 调水水质的好坏直接影响水资源的使用价值和沿线地区社会经济的发展, 同时也决定着调水工程的实际效益. 因此, 应对工程影响区域的水环境进行分析与评价, 以确定合理的保护措施.

## 1 污染源分析

调水沿线水污染物的主要来源按空间分布特征可分为点源、面源和内源. 点源主要来自城镇生活污水和工业废水. 面源主要来自降水形成的地表径流冲刷作用下带入水体的污染物, 包括农田化肥、农药, 农村居民生活污水、固体废物, 畜牧养殖产生的污水和废物, 以及水土流失等. 内源主要来自船舶、码头以及湖区渔民排放的污废水和河湖底泥释放的污染物等.

### 1.1 点污染源

在南水北调东线一期工程规划范围内的 78 个城镇, 2000 年废水排放量为 23.82 亿 t, 废水入河量为 16.70 亿 t, 其中输水干线规划区、江苏山东用水规划区、安徽河南规划区废水入河量分别占 50.2%, 8.9%, 40.9%<sup>①</sup>. 2000 年  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放量为 80.35 万 t,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  入河量为 54.49 万 t, 其中输水干线规划区、江苏山东用水规划区、安徽河南规划区  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  入河量分别占 57.3%, 8.5%, 34.2%;  $\text{NH}_3\text{-N}$  排放总量为 9.68 万 t, 年入河量为 6.24 万 t, 其中输水干线规划区、江苏山东用水规划区、安徽河南规划区  $\text{NH}_3\text{-N}$  入河量分别占 45%, 8%, 47% (表 1).

输水干线规划区内, 洺府河、不牢河、大汶河、房亭河、东鱼河、洙赵新河、大运河淮阴段、城郭河、北排

表 1 南水北调东线规划区内各省污染物排放量和入河量统计

Table 1 Statistics of pollutants discharged and amount of pollutants flowing into rivers for each province in planned areas of the South-to-North Water Transfer East Line Project 万 t/a

| 省别 | 排放量     |                          |                        | 入河量     |                          |                        |
|----|---------|--------------------------|------------------------|---------|--------------------------|------------------------|
|    | 废水      | $\text{COD}_{\text{Cr}}$ | $\text{NH}_3\text{-N}$ | 废水      | $\text{COD}_{\text{Cr}}$ | $\text{NH}_3\text{-N}$ |
| 江苏 | 39 600  | 15.61                    | 0.77                   | 30 300  | 11.93                    | 0.56                   |
| 安徽 | 33 400  | 5.89                     | 0.66                   | 28 600  | 5.03                     | 0.56                   |
| 山东 | 96 500  | 35.56                    | 4.17                   | 68 500  | 23.92                    | 2.75                   |
| 河南 | 68 700  | 23.29                    | 4.08                   | 39 600  | 13.61                    | 2.37                   |
| 合计 | 238 200 | 80.35                    | 9.68                   | 167 000 | 54.49                    | 6.24                   |

收稿日期 2004-06-20

作者简介 刘玉年(1966—), 男, 安徽天长人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事水资源规划与保护研究.

① 淮河流域水资源保护局. 淮河流域城镇入河污染物监测报告. 2000.

河、卫运河山东段、泗河和东平湖 12 个控制单元 2000 年  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  入河量为 29 万 t(图 1),占输水干线规划区排污总量的 63%<sup>[3]</sup>,是输水干线规划区污染控制重点区。

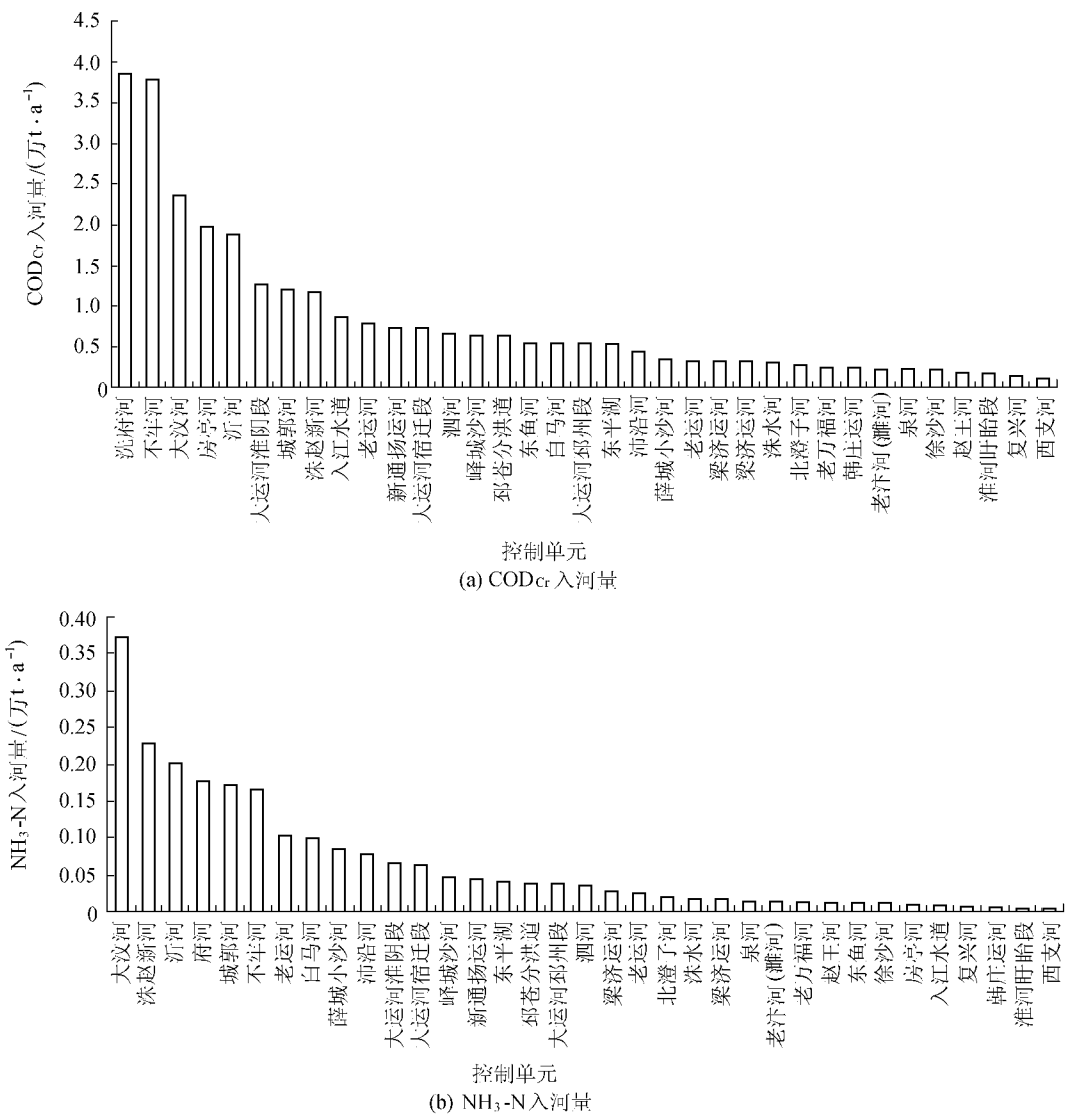


图 1 各控制单元污染物质入河量分布

Fig.1 Distribution of amount of pollutants discharged into rivers for each control unit

1.2 面污染源

南水北调东线一期工程实施后,黄河以北全部实施清污分流,只有黄河以南存在面污染问题.黄河以南段面源污染问题主要在汛期,主要影响区域为南四湖、东平湖和洪泽湖流域,只要汛初第一场洪水不北调,骆马湖以南输水干线(含洪泽湖)受面源的影响就较小.按照典型的非点源污染负荷模型(包括水文模型、侵蚀模型和污染物迁移转化模型)计算,主要污染物  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放总量约为 10.13 万 t/a,  $\text{NH}_3\text{-N}$  约为 1.43 万 t/a.

1.3 内污染源

南水北调东线工程输水干线是一条重要的航道,根据对输水干线上船舶、码头和湖区渔民所排放的污废水及主要污染物调查结果,充分考虑船舶的数量、种类、行船路径以及单位船舶排放的负荷等因素,进行污染负荷的定量评估:货运船舶(含生活)污废水排放量约为 295.7 万 t/a,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放量为 524.3 t/a, 码头污废水排放量 296.5 万 t/a, 石油类 1037.8 t/a, 渔民生活污水排放量 365 万 t/a,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放量为 730 t/a, 见表 2.

2 水环境质量现状分析

2.1 水质现状

南水北调东线第一期工程规划区域按国家地表水环境质量的 31 项指标进行单因子评价,主要超标

项目为氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、石油类、亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub>-N)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、挥发酚和溶解氧(DO)7 项指标.

表 2 南水北调东线输水干线各区段主要内源污染排放量  
Table 2 Discharged amount of pollutants from main inner pollution sources of each segment along the stem line of the South-to-North Water Transfer East Line Project

| 河段名称     | 货运船舶(含生活)                        |                                               | 码头                               |                                 | 渔民生活                             |                                               |
|----------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
|          | 污水排放量/<br>(万 t·a <sup>-1</sup> ) | COD <sub>C</sub> 排放量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 污水排放量/<br>(万 t·a <sup>-1</sup> ) | 石油类排放量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 污水排放量/<br>(万 t·a <sup>-1</sup> ) | COD <sub>C</sub> 排放量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) |
| 三江营~骆马湖口 | 102.84                           | 157.68                                        | 152.51                           | 533.77                          |                                  |                                               |
| 骆马湖湖区    | 69.97                            | 137.97                                        | 7.16                             | 25.05                           |                                  |                                               |
| 骆马湖~南四湖  | 68.96                            | 128.12                                        | 64.97                            | 227.39                          |                                  |                                               |
| 南四湖湖区    | 44.02                            | 80.81                                         | 47.92                            | 167.72                          | 365                              | 730                                           |
| 梁济运河     | 9.91                             | 19.71                                         | 23.96                            | 83.86                           |                                  |                                               |
| 合 计      | 295.70                           | 524.29                                        | 296.52                           | 1 037.79                        | 365                              | 730                                           |

根据监测资料评价,调水区长江三江营断面(水源地)全年的水质良好,除 NH<sub>3</sub>-N 为Ⅲ类外,其余所有监测指标均达到地表水环境质量Ⅱ类水标准<sup>[4]</sup>. 输水区骆马湖以南,以 NH<sub>3</sub>-N 超标为主. 骆马湖以北至东平湖水质多项超标,为Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类. 海河流域输水沿线水质全部为劣Ⅴ类. 用水区规划控制断面现状水质为Ⅴ类和劣Ⅴ类. 其中小清河柴庄闸污染严重,多项水质指标超过Ⅴ类标准. 江苏泰州槐泗河断面石油类超标. 河南安徽规划区控制断面现状水质为劣Ⅴ类<sup>[5]</sup>.

2.2 湖泊富营养化

东线调水工程沿线有洪泽湖、骆马湖、上级湖、下级湖和东平湖 5 个湖泊,处于中~富营养状况. 15 个评价断面中,只有骆马湖的三分场和下级湖的微山湖区平均指数较高,为富营养区,大多数断面总磷浓度不高,是湖泊富营养化的限制因子<sup>[6]</sup>. 就单项而言,洪泽湖蒋坝的总磷含量较高,已达富营养化浓度,但多次监测的叶绿素 a 的值在 1.35~3.96 μg/L 之间,满足地表水水质Ⅱ类标准,其他各因子基本为贫营养或中营养,总氮是洪泽湖富营养化的限制因素.

2.3 底质污染现状

黄河以南湖泊底质的所有重金属铅、铬、镉均为Ⅰ类,个别监测点为汞轻度污染. 黄河以北主要河流底质中大多数断面重金属的含量远低于标准值,少数断面有轻度污染. 另外,为了解河道底泥冲刷对调水水质的可能影响,2000 年 12 月利用蔺家坝闸放水冲刷闸下河道,进行底泥冲刷实验,结果表明底泥对水质的影响较小,冲刷实验时河道各断面 COD<sub>Mn</sub>,DO,NH<sub>3</sub>-N,NO<sub>2</sub>-N,汞和砷 6 个指标均好于Ⅲ类水的水质标准.

3 水质预测

根据南水北调东线第一期工程输水河道与调蓄湖泊自然特征和水流条件的复杂性以及实际基础资料情况<sup>[7]</sup>,在充分认识现状水质和主要污染物的基础上,考虑水质预测的目的是给出不同入河排污量和不同保证率设计调水量条件下水质的沿程变化,并不需要给出每个断面上的水质差异,故选用能够通过河道分段概化来近似实际河段水流条件的 CSTR 模型作为水质预测的数学模型.

3.1 CSTR 模型

CSTR 即 The Continuously-Stirred-Tank-Reactor Model 的简称,可翻译成连续箱式模型. CSTR 模型是一个由若干完全混合的箱形单元串联而成的一维模型,其基本方法是根据研究对象的物理特征,将需要模拟的河道划分成若干连续的河段,认为每一河段内模型参数保持恒定,在每一河段内划分若干箱子,假设每一个箱内的水质是完全混合的,见图 2. 参数采用多年江华北调调水水质资料进行率定.

3.2 水质预测结果

3.2.1 现状排污条件下的水质预测

根据现状入河排污量,用南水北调东线第一期工程的不同保证率(50%,75%,90%)的规划调水量,模拟计算不同保证率水量条件下的水质,模拟结果如图 3 所示. 由图 3(a)可见,在现状排污条件下,3 种保证率水

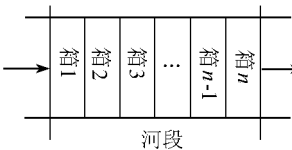


图 2 CSTR 模型示意图  
Fig.2 Sketch of CSTR model

量的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  值在上级湖及以北区域全部超过地表水Ⅲ类水标准,50%和 75% 保证率水量的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  值在上级湖以南区域全部满足地表水Ⅲ类水标准,90% 保证率水量的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  值在上级湖以南的房亭河段略有超标,在东平湖出口达  $10.3 \text{ mg/L}$ . 3 种保证率水量的  $\text{NH}_3\text{-N}$  值在上级湖及以北区域全部超过地表水Ⅲ类水标准;上级湖以南区域,75% 和 90% 保证率水量的  $\text{NH}_3\text{-N}$  值在淮阴段略有超标,见图 3(b). 下级湖以南地区的水质预测结果与江苏省近年江水北调期间实测水质结果基本一致.

3.2.2 在治污工程实施条件下的水质预测

2007 年在实施东线治污规划后,江苏省和山东省的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放总量控制在  $19.7 \text{ 万 t}$  以内,削减率为 61.5%,入输水干线规划区  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放总量控制在  $6.3 \text{ 万 t}$  以内,削减率为 81.2%;  $\text{NH}_3\text{-N}$  排放总量控制在  $1.96 \text{ 万 t}$  以内,削减率为 60.3%,入输水干线规划区  $\text{NH}_3\text{-N}$  排放总量控制在  $0.53 \text{ 万 t}$  以内,削减率为 84%<sup>①</sup>.

输水干线规划区 38 个单元,有 20 个控制单元实现污水零排入. 问题比较突出的南四湖,其未实现零排入的控制单元每年尚余  $2.0 \text{ 万 t}$  的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  入湖,小于  $2.9 \text{ 万 t}$  的容许纳污量,出南四湖的水质完全满足Ⅲ类水水质标准. 东平湖每年尚余  $1.0 \text{ 万 t}$  的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  入湖,小于  $1.8 \text{ 万 t}$  的容许纳污量,也不会影响过黄河和到山东半岛的水质.

采用第一期规模不同保证率的规划调水量,污染源用治污项目实施后的入河量利用 CSTR 模型进行预测,结果表明 输水干线  $\text{DO}$ ,  $\text{COD}$  基本达到Ⅲ类水水质标准,  $\text{NH}_3\text{-N}$  在上级湖、梁济运河和柳长河略超Ⅲ类水水质标准( $1.0 \text{ mg/L}$ ). 第一期工程出东平湖的水基本符合Ⅲ类水水质标准要求. 由于黄河以北实施清污分流,无污染物进入输水河道,输水水质可以得到保障.

4 结 论

- a. 根据现状污染源评价结果,影响南水北调东线输水干线水质的因素是有机污染,主要超标项目为  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$ . 根据现状水环境评价结果,输水沿线骆马湖以南水质基本符合Ⅲ类水水质标准,骆马湖以北水质逐步恶化,黄河以北输水沿线水质全部为劣Ⅴ类,污染严重.
- b. 在现状排污条件下,调水水质预测结果表明,上级湖及以北区域全部调水水质超过地表水Ⅲ类水水质标准. 按照《南水北调东线工程治污规划》要求,在治污工程实施条件下对调水水质进行预测结果显示,除上级湖、梁济运河的  $\text{NH}_3\text{-N}$  略超Ⅲ类水水质标准外,其余输水干线调水水质预测满足Ⅲ类水体的水质要求.
- c. 江苏省徐州不牢河及房亭河段、山东省南四湖上级湖至东平湖段污染物排放量大,水质污染严重,应为南水北调东线工程重点治理区域. 因此,必须按照《南水北调东线工程治污规划》要求,优先落实治污措施,对城镇点源污染、农业面源污染、船舶航运线源污染以及底泥、水产养殖等内源污染进行统一防治,特别是要

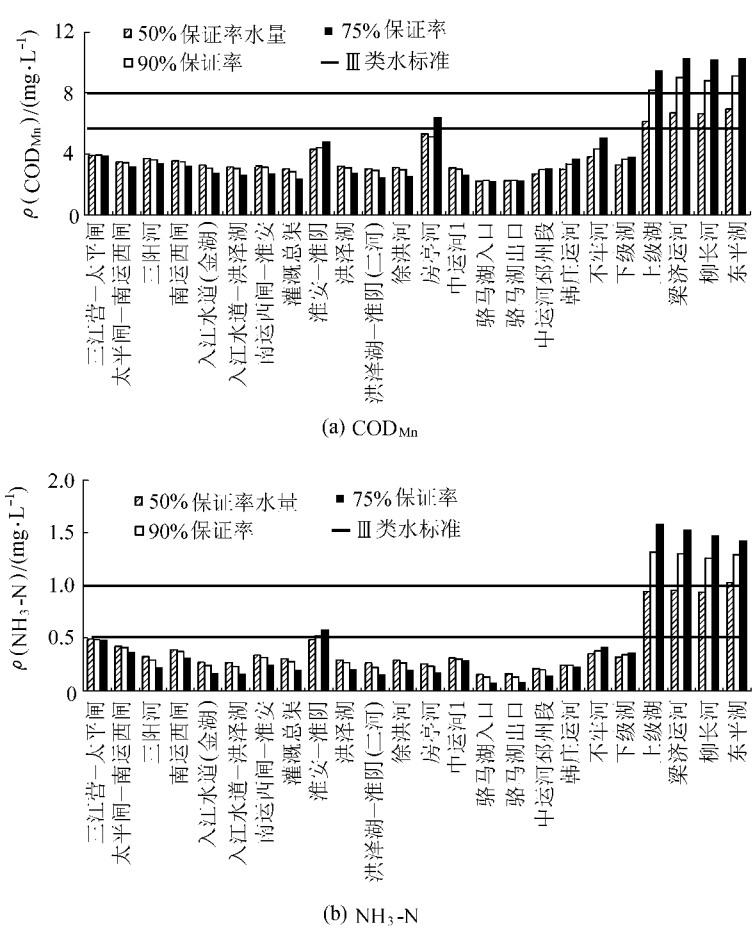


图 3 不同保证率调水量条件下污染物质的沿程分布  
Fig.3 Pollutant distribution along the line under different rates of guarantee for water transfer

① 中国环境科学研究院,淮河流域水资源保护局.南水北调东线工程治污规划.2001.

突出截污导流、污水资源化工程措施,以保护南水北调调水水质,保障输水干线及供水区的工农业生产和居民生活用水安全。

d. 由于在治污规划实施后,南四湖上级湖和梁济运河  $\text{NH}_3\text{-N}$  指标仍超标,因此,该区域应进一步削减污染排放总量,重点解决工业结构性污染问题和城镇污水处理厂建设问题。该区域 23 个城镇工业主要是以农副产品为原料的加工业,工业污染问题结构性问题突出,造纸、味精、柠檬酸、酒精、皮革等行业占工业污染负荷的 80% 以上,基本上是高耗水、高污染行业,废水处理难度大,成本高。解决该问题的关键在于优化产业结构,要严格控制发展造纸、酿造、皮革等高耗水、重污染型企业。大力发展绿色经济,发展循环经济,把污染控制在源头。污水处理厂作为防治水污染,改善水环境的重要手段,在水污染防治中起着举足轻重的作用。因此,该区域的 23 个城镇必须建设污水处理厂,增加脱磷脱氮工艺,控制  $\text{NH}_3\text{-N}$  出水浓度,同时制定一整套完善的监督管理和运行机制,确保建成的污水处理厂能正常运行。

e. 加强对南四湖、东平湖等调蓄湖泊面污染源的治理,寻求治理面源污染的良策,指导农民科学合理地使用农药、化肥,积极推广生态农业。建立水污染防治的生物保护体系,在山区丘陵开展水土保持,在河湖岸边开展植树造林,建立绿色长廊,在水环境中营建水生维管束植物保护带,以增加吸收分解有机污染物的能力,最终达到输水沿线水生生物的多样性之目的,实现人与自然的和谐。

f. 建立南水北调东线工程供水水质安全保障监测预警预报系统,制定应急预案,加强地表水水质监测及入河污染物总量控制系统,加强污染事故应急处理系统及信息系统建设等,及时反映水质水量情况,为严格执法提供及时、准确和公正的数据。

#### 参考文献:

- [1] 汪斌,程绪水. 治污先行 建设南水北调东线清水廊道[J]. 水资源保护,2002,18(1): 15—19.
- [2] 王庆,陈吉余. 淮河流域综合治理与南水北调(东线)工程[J]. 长江流域资源与环境,1998,7(4): 378—383.
- [3] 于伟东. 2000 年南水北调东线水质研究[J]. 海河水利,1995,(2): 38—41.
- [4] 刘德文,何杉. 南水北调东线(黄河以北)水质预测及保护对策研究[J]. 水资源保护,1995,11(2): 6—12.
- [5] 庞煜,龙腾锐,尘峰. 南水北调东线山东段沿线水污染现状调查与分析[J]. 给水排水,2002,28(8): 18—21.
- [6] 万一. 南水北调东线湖泊湿地保护探讨[J]. 河海大学学报(自然科学版),2002,30(增刊): 14—19.
- [7] 陈冬青,孟凡朋,陈岩. 南水北调东线工程山东段水质保证的措施探讨[J]. 山东环境,2002,109: 28—30.

## Water quality analysis for the first stage of South-to-North Water Transfer East Line Project

LIU Yu-nian<sup>1</sup>, WAN Yi<sup>2</sup>, XU Ya-dong<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Huaihe River Water Resources Commission, Bengbu 233001, China)

**Abstract** Ninety per cent of conveyance channels in the first stage of the South-to-North Water Transfer East Line Project take use of the currently existing river channels. Owing to the conspicuous water environment problem, the quality of water transfer is closely related to the value of water resources and social economy development along the line of the project, and is also a determinant factor to the benefit of the project. Based on an analysis of the sources of water pollution and the quality of water environment in the affected areas of the project, the quality of water transfer was predicted according to the national planning for pollution remediation along the east line of the project, and some measures for water environment protection were discussed.

**Key words** :South-to-North Water Transfer; water environment evaluation; water quality prediction; Continuously-Stirred-Tank-Reactor (CSTR) model