

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.01.008

南通市引江调水对河网水环境改善效果的模拟

陈建标¹, 钱小娟¹, 朱友银¹, 陈立强²

(1. 江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 226006; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为客观评估南通市引江调水对河网水环境的改善效果, 针对该地区进行了河网概化, 建立了河网水量水质模型。利用该模型进行了各分区的调水水量分配计算, 分析了不同轮次调水对河网COD、NH₃-N浓度的改善效果。计算结果表明: 通州分区和如皋分区在第2轮引水后水质得到明显改善, 如东和海安分区在第4轮引水后水质得到明显改善。研究证实引江调水是一种改善水环境的行之有效方法, 为南通市调水方案实施提供了科学决策依据。

关键词: 引江调水; 水量模型; 水质模型; 置换率; 南通市

中图分类号: X820.6

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2014)01-0038-05

Simulation of improvement of water environment in river network of Nantong City by water diversion from Yangtze River

CHEN Jianbiao¹, QIAN Xiaojuan¹, ZHU Youyin¹, CHEN Liqiang²

(1. Nantong Branch of Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Nantong 226006, China;

2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to objectively evaluate the improvement of the water environment in the river network of Nantong City through water diversion from the Yangtze River, the river network of this region was generalized and water quantity and water quality models were established. The models were used to calculate the distribution of diverted water in sub-areas. The reduction of the COD and NH₃-N concentrations in the river network during different water diversion stages was analyzed. The results show that the water quality of the Tongzhou and Rugao sub-areas improved significantly during the second stage of water diversion, and the water quality of the Rudong and Haian sub-areas improved significantly during the fourth stage of water diversion. This study shows that water diversion from the Yangtze River is an effective way to improve the water environment, and this provides a scientific decision-making basis for the water diversion scheme of Nantong City.

Key words: water diversion from Yangtze River; water quantity model; water quality model; replacement rate; Nantong City

南通市位于江苏省东部, 东抵黄海, 南望长江, 区域内河网密布, 工农业用水主要依靠各级河网输送、提供。近年来随着当地经济社会的快速发展, 工农业及生活点源、面源污染日益增加, 区内河网水环境质量日益下降。此外, 由于南通沿海垦区土壤是由潮间带沉积物沉积形成的, 长期受海洋潮汐的影响导致土壤盐分含量偏高, 淋盐洗碱的土壤改良方式使沿海区域河道含盐度较高。由此带来的水质型缺水、季节性缺水、工程性缺水等诸多问题日趋突出。根据南通市水环境监测资料, 全市水功能区

2010年和2011年的达标率仅为49.7%和54.5%。

调水冲污是河流水环境综合整治的有效措施之一, 国内外对引水改善水环境方面研究已经取得了一些成果。据报道, 国内如福州市通过引水后冲污, 内河黑臭基本消除, 改善了内河水生生态环境与河道景观; 泗洪县城区9条河流水质均为劣V类, 引水措施实施后, 城区河道控制断面水质改善为Ⅲ~Ⅳ类水, 基本满足了泗洪城区河网水环境功能要求^[1]; 温州市区河道纳潮冲污后使塘河水质得到改善, 引水后的塘河水体不论在感官、视觉、嗅觉上均

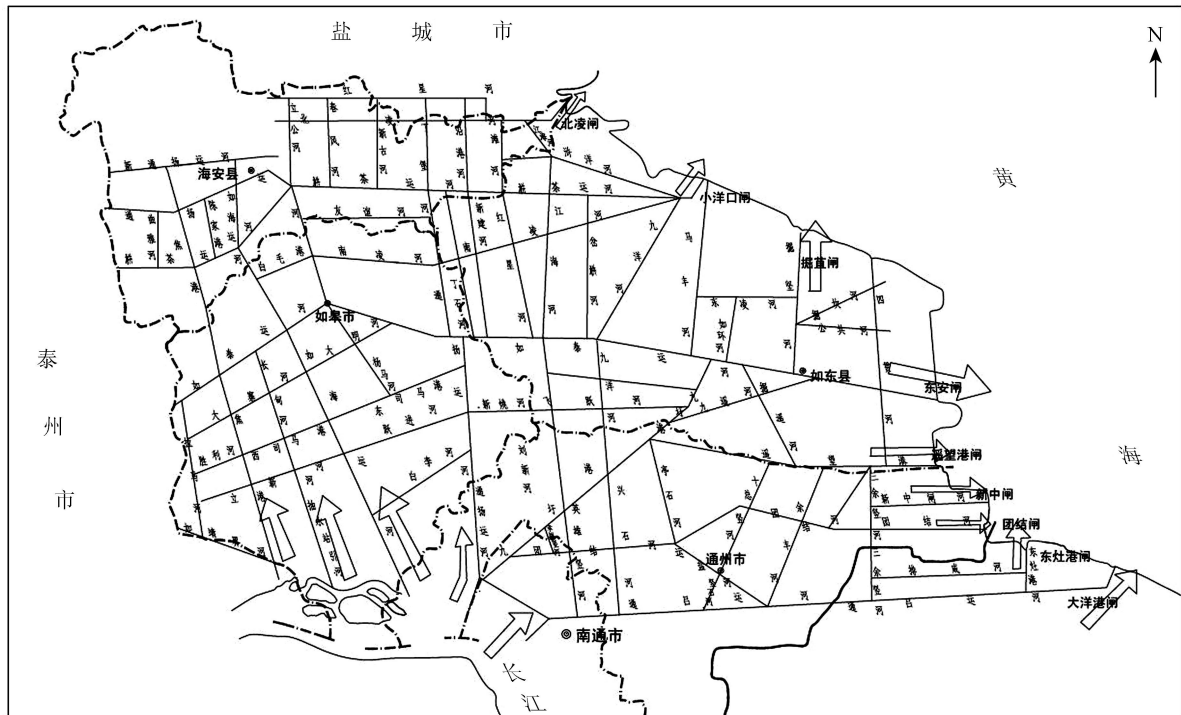


图1 南通市高水系河网概化及引排水口位置

有所改善^[2];上海市虹口港水系利用自然水力条件和现有水利设施,通过合理调度、南引北排、引水冲污等措施,明显改善水系内水质,基本消除黑臭现象^[3];苏州外城河进行引水冲污后径流量加大,使流入外城河的污染物得到自然稀释和降解,增强了水体自净能力,增加了外城河的环境容量^[4]。国外如美国加利福尼亚调水工程、加拿大魁北克调水工程、德国的鲁尔河、俄国的莫斯科河等均尝试了引水修复水环境等措施,且效果良好。

南通市区域水系相对独立,通过水闸等水利设施与长江和外海相通,且潮汐动力强,引江调水具有得天独厚的水文条件。目前长江南通段水质明显优于河网水质,满足调水所需要的水质条件。为此,南通市政府于2011年实施了引江调水方案,利用长江潮差调引长江水以改善河网水环境。为客观评估南通市引江调水对河网水环境的改善效果,笔者通过对南通市高水系河网的概化,对2011年春季调水对河网水量水质的影响进行了模拟研究,为南通市引江调水方案实施提供科学依据。

1 调水方案

1.1 调水研究区域及河网概化

南通市水系相对独立,调水影响区域主要为南通市高水系地区。南通市高水系地区是指南通西部的通南高沙土区、斗南垦区及江海平原区的通吕运河以北的地区^[5],主要包括如皋、海安、通州的大部分地区,如东的全境,以及海门、启东的通吕运河以

北地区,总面积5287 km²,约占南通市总面积的67%。南通市高水系河网概化见图1所示,共概化河段234条、计算断面495个、计算节点152个。

1.2 调水引排水方案

长江南通段为长江近河口段,受海洋潮汐影响,长江南通段为不规则半日潮呈周期性变化,长江的潮汐特性为引水和排水提供了基本的水动力条件,形成自引自排的引江调水循环系统。2011年春季调水实施时间为2—4月,共进行了6轮引水、2轮排水,见图2所示。沿江引水口主要有焦港闸、碾砣港闸、九圩港闸等5个,沿海排水口有大洋港闸、东灶港闸、小洋口闸等9个,具体位置参见图1。

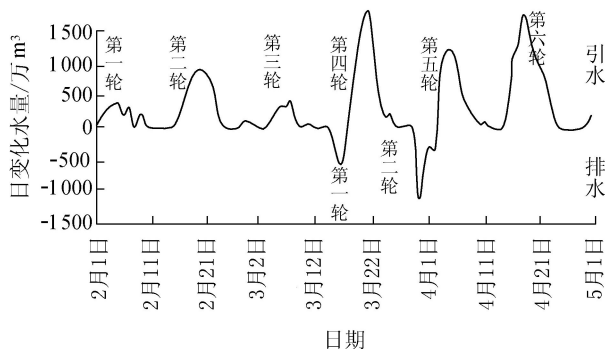


图2 2011年春季调水引排水轮次分布

2 高水系河网水量水质模型的构建

2.1 模型构建

2.1.1 水量模型基本方程

水量计算的微分方程是建立在质量和动量守恒

定律基础上的圣维南方程组,以流量 $Q(x,t)$ 和 水位 $Z(x,t)$ 为未知变量,并补充考虑了漫滩和旁侧入流的完全形式圣维南方程组为

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0$$

式中: Q 为流量; x 为空间坐标; B_w 为考虑主流断面宽度和调蓄宽度的总宽度; Z 为水位; t 为时间坐标; q 为旁侧入流流量; u 为断面平均流速; n 为糙率; A 为过水断面面积; B 为主流断面宽度; R 为水力半径。采用 Preissman 4 点隐式差分格式离散方程组。

2.1.2 水质模型基本方程

一维河流水质控制方程为

$$\frac{\partial(A\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(Q\rho)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(AE_x \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) - AK\rho + S$$

式中: Q 为断面流量, m^3/s ; ρ 为污染物质量浓度, mg/L ; A 为断面面积, m^2 ; E_x 为纵向分散系数, m^2/s ; K 为综合降解系数, $1/\text{s}$; S 为污染源项, $\text{g}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

根据质量守恒定律,对充分混合的节点,可认为与该节点邻近的断面浓度相等,并在各节点处满足以下方程:

$$\sum_{i=1}^n (Q\rho)_{i,j} = \frac{\text{d}(\rho\Omega)_j}{\text{d}t} - S_j$$

式中: j 为节点号, i 为与节点 j 相邻的河道数; Ω 为节点容蓄量,对于非调蓄节点, $\Omega=0$; S_j 为节点污染源排放量。

2.2 模型率定

2.2.1 原型调水试验

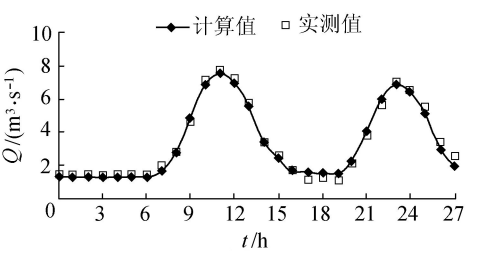
2008 年 4 月在焦港运河河沿线的双楼桥、木勺子桥进行原型调水试验。主要监测项目为水位、流量及水质监测断面的 COD。监测频率为自开闸引水后,每隔 1 h 监测 1 次流量、水位水质。

2.2.2 水量模型参数率定

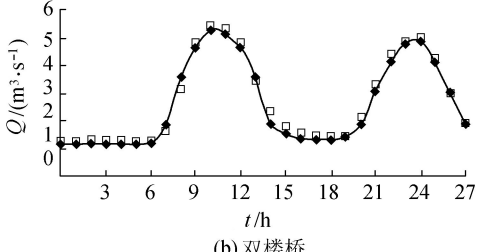
根据 2008 年 4 月的引、排水试验监测成果,对水量、水位模型进行率定。率定后监测断面流量计算值和实测值的对比见图 3,水位计算值和实测值的对比见图 4。率定得到的河道糙率值 n 为 0.015 ~ 0.043。

2.2.3 水质模型参数率定

根据 2008 年 4 月的引、排水实验监测成果,对水质模型进行率定。率定后的各断面水质计算值和实测值的对比结果见图 5。率定得到的降解系数为 $K_{\text{COD}}=0.08 \sim 0.15/\text{d}$ 。

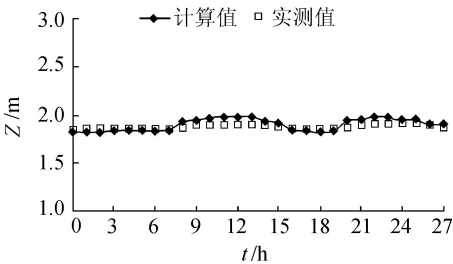


(a) 木勺子桥

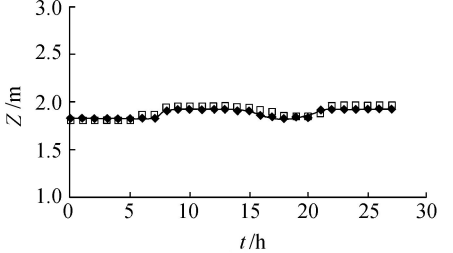


(b) 双楼桥

图 3 流量计算值和实测值对比

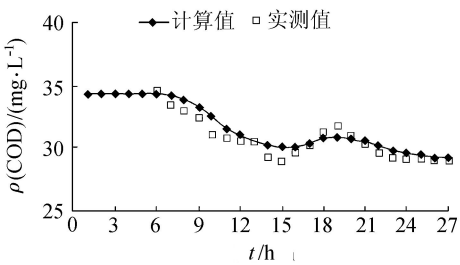


(a) 木勺子桥

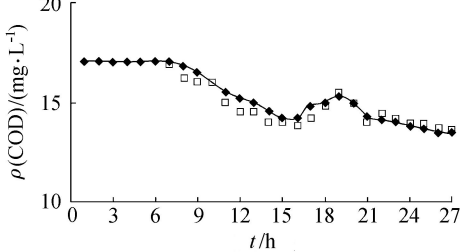


(b) 双楼桥

图 4 水位计算值和实测值对比



(a) 木勺子桥



(b) 双楼桥

图 5 水质计算值和实测值对比

3 南通市引江调水改善河网水环境效果模拟分析

3.1 水量模拟分析

根据行政区划,南通市高水系河网可划分为4个部分,即:如皋分区、海安分区、如东分区和通州分区,其中海门、启东的通吕运河以北地区河网并入通州分区考虑,开展调水水量在四大分区的水量分配研究。由于水量模型只能得到江水与河水混合后的总水量,为了得到江水水量分配,首先利用水质模型计算置换率,总水量乘以置换率得到江水水量。河网内某点处的置换率是指该点处新水量占总水量的比例,其大小反映了水体的置换程度^[6]。根据模型计算结果,2011年春季调水后长江水水量在各分区逐日演变过程见图6所示。在第1轮引水过程中,由于仅开启了九圩港闸和南通闸,所引长江水绝大部分进入通州分区,约占80%,其次进入如皋和如东分区,极少进入海安分区。在第2轮引水过程中,焦港闸、如皋港闸、碾砣港闸、九圩港闸和南通闸全部开启引水,约有44%的江水进入通州分区,进入如皋和如东分区水量约占33%和20%,另有2%进入海安分区。第3轮引水水量较少,仍以进入通州

分区最多,其次为如皋和如东,海安最少。第4轮引水和第一轮排水交叉进行,先排后引,排水初期,通州、如皋、如东分区中排水超过进水,3月18日后,进水量逐渐超过排出的江水量。第5轮引水和第二轮排水交叉进行,先排后引,排水初期,除了海安分区外,通州、如皋、如东分区中排水超过进水,4月3日后,各分区进水量逐渐超过排出的江水量。第6轮引水在各分区的分配为:如皋24%、海安14%、通州37%和如东25%。

3.2 水质模拟分析

利用河网水质模型进行调水改善水质的模拟分析。调水前河网水质背景浓度取2011年1月份平均浓度。根据长江南通段2011年水质监测均值作为调水设计水质。调水设计水文条件为2011年2—4月的调水流量资料。在计算区域内选择了14个代表断面进行水质改善分析,如皋3个、海安4个、如东4个、通州3个,具体位置见图7。

根据水质预测结果,通州分区和如皋分区在第2轮引水后得到明显改善,如东和海安分区在第4轮引水后得到明显改善,各分区代表断面水质均得到一定的改善(图8~9)。

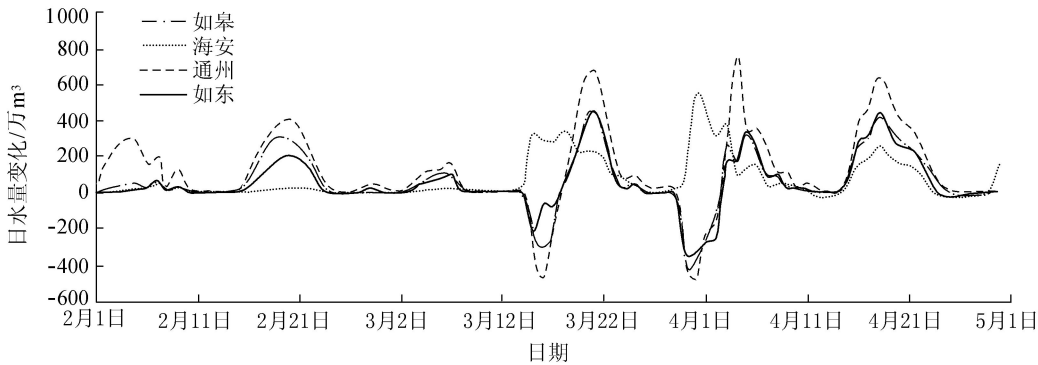


图6 不同河网分区水量逐日演变过程

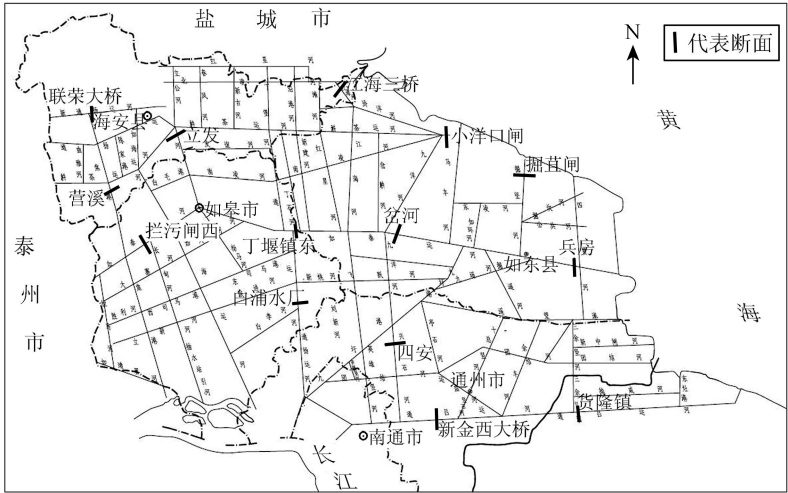


图7 水质代表断面位置

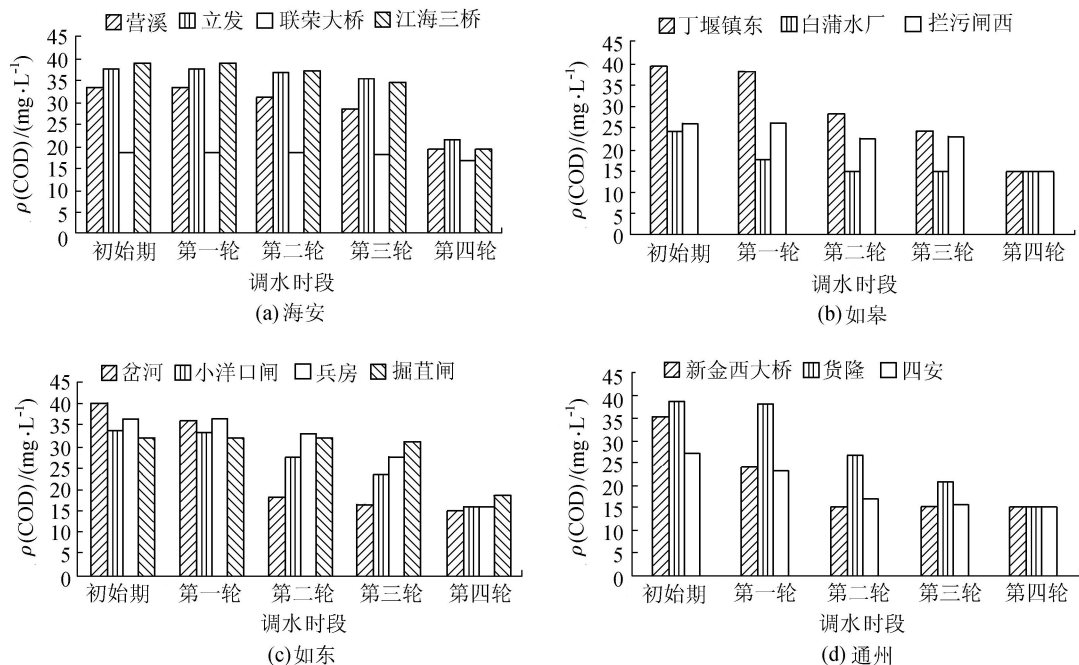


图8 各分区代表断面调水前后 COD 质量浓度对比

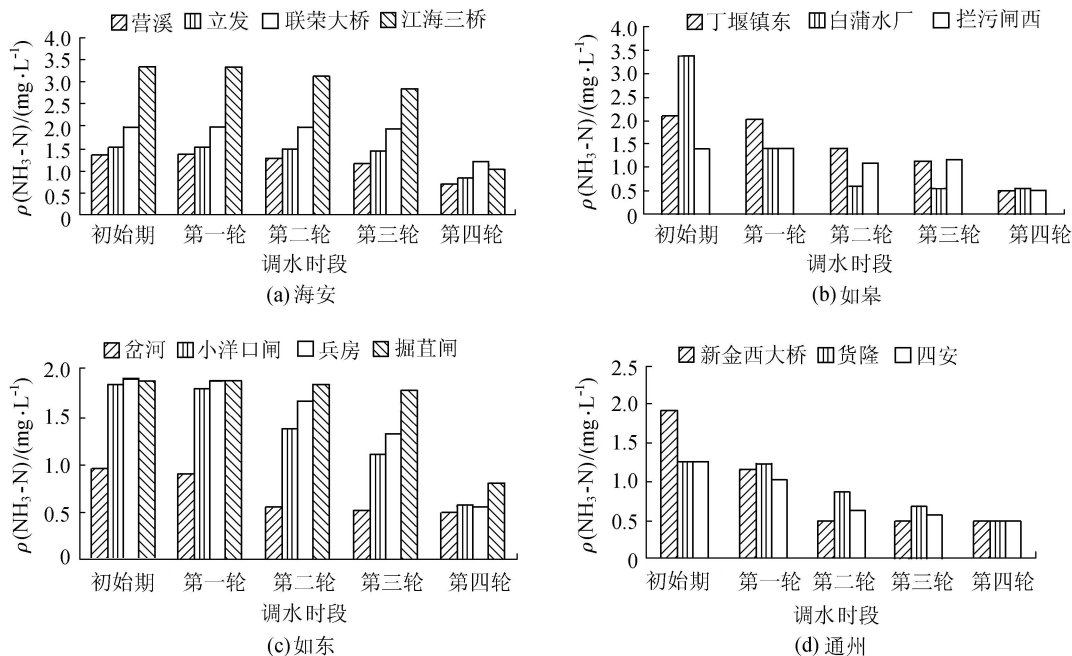


图9 各分区调水前后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度对比

4 结 语

a. 针对南通市高水系地区,进行了河网概化,建立了河网水量水质模型.通过模型率定验证了模型可靠性。

b. 利用水量模型计算江水与河水混合后的总水量,利用水质模型计算置换率,进行各分区的调水水量分配计算.计算结果表明,所调长江水量在调水初期,大部分进入通州区,随着调水轮次的增加,逐渐进入如皋、如东分区,最后进入海安分区。

c. 利用河网水质模型分析了不同轮次调水对河网 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的改善效果.计算结果表明,通过多轮引水后,河网水质得到明显改善。

d. 通过实施南通市引江调水工程,可起到改善河网水质、增加水体环境容量、提高水体自净能力的作用,对南通河网水环境综合改善是有益的,是一种行之有效的方法.本文研究成果为南通市高水系地区的水质改善和水环境保护提供了科学的决策依据,该工作对其他同类型城市引江调水的研究具有一定的借鉴作用。

(下转第 94 页)

- LCA approach[J]. Journal of Water Supply Research and Technology-AQUA, 2002,51(4):217-227.
- [7] FOLEY J, de HAAS D, HARTLEY K, et al. Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems[J]. Water Res, 2010,44(5):1654-1666.
- [8] ZHAO Y, WANG S, NIELSEN C P, et al. Establishment of a database of emission factors for atmospheric pollutants from Chinese coal-fired power plants[J]. Atmospheric Environment, 2010,44(12):1515-1523.
- [9] ZHAO Y, WANG S, DUAN L, et al. Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China: current status and future prediction[J]. Atmospheric Environment, 2008,42(36):8442-8452.
- [10] COMMISSION E, CENTER D J R. Institute for Environment and Sustainability LCA Tools, Services and Data [EB/OL]. [2012-08-12]. <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vlm>.
- [11] LEI Y, ZHANG Q, NIELSEN C, et al. An inventory of primary air pollutants and CO₂ emissions from cement production in China, 1990—2020[J]. Atmospheric Environment, 2011,45(1):147-154.
- [12] GUO Z C, FU Z X. Current situation of energy consumption and measures taken for energy saving in the iron and steel industry in China[J]. Energy, 2010,35(11):4356-4360.
- [13] WANG C, HU X, CHEN M L, et al. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants[J]. J Hazard Mater, 2005,119(1/3):245-249.
- [14] HE K, HUO H, ZHANG Q, et al. Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: current status, future trends, and policy implications[J]. Energy Policy, 2005,33(12):1499-1507.
- [15] YANG J X, NIELSEN P H. Chinese life cycle impact assessment factors[J]. J Environ Sci (China), 2001,13(2):205-209.
- [16] LI X, ZHU Y, ZHANG Z. An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes[J]. Building and Environment, 2010,45(3):766-775.
- [17] DUAN N, LIU X D, DAI J, et al. Evaluating the environmental impacts of an urban wetland park based on emergy accounting and life cycle assessment: a case study in Beijing[J]. Ecological Modelling, 2011,222(2):351-359.

(收稿日期:2013-01-25 编辑:彭桃英)

(上接第 42 页)

参考文献:

- [1] 李梓嘉,董增川,樊孔明,等. MIKE11 模型在泗洪县城城区河网引水冲污工程中的应用[J]. 水电能源科学, 2012,30(8):100-103. (LI Zijia, DONG Zengchuan, FANG Kongming, et al. Application of MIKE11 model in water diversion and flushing pollutants of urban river network in Sihong City[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(8):100-103. (in Chinese))
- [2] 王玉铜,陈才明,曾广恩. 温州市区河道纳潮冲污试验分析[J]. 浙江水利科技, 2009(4):17-19. (WANG Yutong, CHEN Caiming, ZENG Guanggen. Wenzhou City river tidal flush out pollutants test analysis[J]. Zhejiang Water Conservancy Science and Technology, 2009(4):17-19. (in Chinese))
- [3] 李巍,朱杰,陈瑞方,等. 虹口港水系引水冲污方案研究[J]. 水利规划, 1998(3):34-38. (LI Wei, ZHU Jie, CHEN Ruifang. Research on water environmental improvement scheme of water system in Hongkou Port through water diversion[J]. Water Resources Planning, 1998(3):34-38. (in Chinese))
- [4] 薛朝霞,汪翔,阮晓红,等. 引水冲污治理苏州的水环境[J]. 中国给水排水, 2002, 18(10):33-35. (XUE Zhaoxia, WANG Hui, RUAN Xiaohong, et al. Research on water environmental improvement scheme of water system in Suzhou area through water diversion[J]. China's water supply and drainage, 2002, 18(10):33-35. (in Chinese))
- [5] 沈建,陈建标,肖玉兵. 南通市高水系引江调水水质改善分析与方案优化[J]. 人民长江, 2012, 43(10):72-74. (SHEN Jian, CHEN Jianbiao, XIAO Yubin. Analysis on water quality improvement effect of water system in Nantong by water diversion from Yangtze River and scheme optimization[J]. Yangtze River, 2012, 43(10):72-74. (in Chinese))
- [6] 华祖林,顾莉,刘晓东. 调水对改善浅水型湖泊水体的置换率研究[J]. 水资源保护, 2009, 25(1):9-13, 17. (HUA Zhulin, GU Li, LIU Xiaodong. Improving water exchange rate of shallow lakes through water diversion works[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(1):9-13, 17. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-09 编辑:高渭文)

