

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.015

水量调度对内秦淮河水质改善的效应评估

夏琨¹, 王华¹, 秦文浩¹, 钱钧²

(1. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098; 2. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏南京 210098)

摘要: 为了分析论证内秦淮河现状引调水的效果和存在问题, 采用 MIKE11 模型对河网进行概化, 建立了一维河网数学模型。以枯水期为例, 选取 6 个控制断面的氨氮浓度为水质评价指标, 运用验证后的模型对内秦淮河现状引调水的效果进行模拟与计算。结果表明: 现状条件下, 内秦淮河水体污染较严重, 水源地水质和引水流量达不到引水冲污的要求, 需改善水源地水质, 加大引水流量; 每条引调水线路均存在引水盲区, 引水冲污应采取 4 条线路联合引调水的方式。

关键词: 内秦淮河; 水量调度; 引水冲污; 一维河网数学模型; 水质改善效应; 效应评估

中图分类号: X522 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)02-0074-05

Assessment on effects of water quality improvement in Inner Qinhuai River by water dispatching

XIA Kun¹, WANG Hua¹, QIN Wenhao¹, QIAN Jun²

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Water Conservancy Project Management Office of the Qinhuai River in Jiangsu Province, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to analyze the effects and existing problems of water diversion in Inner Qinhuai River, a river network was generalized by MIKE11 model, and a one-dimension mathematical model of the river network was set up. Taking the typical dry season as an example, NH₃-N concentration of six control sections were selected as the assessment index of water quality, and a validated model was applied to simulate and calculate the effects of water diversion. The results show that the Inner Qinhuai River is seriously polluted, and the water quality and the flow of water diversion are not up to the requirements of flushing pollutants, and the water quality in water source area should be improved and the flow of water diversion should be increased. There are blind spots of water diversion in every water diversion line, and we should take 4 lines of diverting water jointly to flush pollutants.

Key words: Inner Qinhuai River; water dispatching; water diversion for flushing pollutants; one-dimension mathematical model of river networks; effects of water quality improvement; effects assessment

随着城市人口的持续增长、城市经济的快速发展和城市化进程的不断推进, 城市内河在人类活动的影响下, 水环境问题日益严重。而为了控制水位和防洪排涝, 较多的闸控设施导致内河的水体循环不畅, 更加剧了水质的恶化。时下, 见效快、效果明显, 在全国范围内应用广泛^[1-2]的城市内河污染治理手段是引水冲污, 即通过引调邻近水域的清水到受污染水体来冲刷稀释水体中污染物的浓度, 以达到快速改善水体水环境的目的。目前, 关于通过引水

冲污改善城市内河水环境的研究较多, 如卢士强等^[3]利用 MIKE11 模型模拟研究了苏州河水系综合调水对黄浦江以及蕴藻浜水质的影响; 卢士强等^[4]利用 MIKE11 建立了上海市平原感潮河网的水动力和水质模型, 模拟和分析了主要调水方案对水质的影响; 刘云华等^[5]对深圳河湾水系的珠江口引水和大鹏湾引水方案进行了研究; 陈志和等^[6]研究了中山市水环境引水调控措施与实施效果; 李梓嘉等^[7]利用 MIKE11 模型模拟分析了各种引水冲污工程调

基金项目: 江苏省水利科技项目(2012015)

作者简介: 夏琨(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水环境保护及数值模拟。E-mail: xk19910523@163.com

控措施对泗洪县城区水系水量水质的影响;童朝锋等^[8]构建了一维河网水动力和水质模型模拟了不同时期不同水源补给以及在不同闸控系统运行调控方式下外秦淮河水质的相应变化情况。上述研究的重点都在达到相应水质目标所需的引水流量和引水后水体水质改善效果的认定上,而基于现状各单线引调水方案下的水质情况和引调水方案,对现状引调水的改善效果和存在问题的研究尚不多见。

自2007年起,江苏省秦淮河水利工程管理处开始不定期引长江水冲洗河道,内秦淮河水质有所改善,但水质时好时坏。据对内秦淮河各段水质评价的结果,2012年内秦淮河全年水质总体状况为劣V类标准,远低于IV类水体的功能区划要求。内秦淮河的主要污染物是有机物,表现为典型的城市污水污染特征,主要超标项目有TN、NH₃-N、DO等,其中TN、NH₃-N是超标最为严重的污染指标,超标率在90%以上。笔者针对内秦淮河面临的水环境问题,基于现状水量水质监测资料和引调水方案,建立MIKE11一维河网数学模型,利用验证后的模型模拟现状引水对内秦淮河的水质改善情况。以2012年枯水期(12月、1月和2月)为例,选择秦淮河珍珠桥、竺桥、大中桥、五龙桥、文德桥和仓巷桥6个水质控制断面,选取主要超标因子NH₃-N为评价指标,定量评估现状引水调度方案对内秦淮河的水质改善效果,分析内秦淮河现状引调水存在的问题,并提出相关建议,以期对内秦淮河和类似城市内河水系引水冲污的优化提供借鉴。

1 研究区概况

内秦淮河位于江苏省南京市城南、城东地区,处于北纬32°0′34.16″~32°4′0.07″、东经118°45′25.77″~118°49′42.73″之间,沿途流经秦淮、建邺、白下、玄武4区及鼓楼区的一小部分,主流、支流全长25.2km,汇水面积24.7km²。内秦淮河是主城区秦淮河水系内最重要的景观河道,穿越国家5A级夫子庙旅游风景区,主要功能是承接主城区秦淮河水系的洪水与涝水排入秦淮河干流。内秦淮河主流分为南段、中段、东段及北段,支流包括进香河、珍珠河、九华山沟、香林寺沟、清溪河、玉带河及明御河等。内秦淮河的地形呈东北高西南低,河水流向为自北向南、自东向西^[9]。内秦淮河地理位置及水系见图1。

2 模型构建

充分利用内秦淮河水量水质监测数据和污染源调查资料,对内秦淮河中段、南段、北段、东段、珍珠河、香林寺沟、明御河、玉带河、清溪河等12条河段



图1 内秦淮河地理位置

进行概化,基于MIKE11平台建立一维河网数学模型,并对模型进行验证,以确定主要河道的水量模型参数和水质降解参数。

2.1 水量水质耦合模型

计算水量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,以流量和水位为未知变量,并补充考虑漫滩和旁侧入流的完全形式的圣维南方程组为

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: Q 为流量; x 为沿水流方向空间坐标; B_w 为调蓄宽度,指包括滩地在内的全部河宽; Z 为水位; t 为时间; q 为单位河长旁侧入流流量,入流为正,出流为负; u 为断面平均流速; g 为重力加速度; A 为过水断面面积; B 为主流断面宽度; n 为糙率; R 为水力半径。

对式(1)以普赖斯曼(Preissmann)四点隐式差分格式将其离散,辅以连接条件,形成河道方程,以微段、河段、汉点三级联解的方法求解。

河网对流传输移动问题的河道和河道汉点基本方程为

$$\frac{\partial(A\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(Q\rho)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + S_c - S = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n (Q\rho)_{ij} = (\rho\Omega)_j \left(\frac{dZ}{dt} \right)_j \quad (3)$$

式中: ρ 为水流输送的物质质量浓度; E_x 为纵向分散系数; S_c 为与输送物质质量浓度有关的衰减项, $S_c = K_d A \rho$, K_d 为衰减因子; S 为外部的源汇项; Ω 为河道汉点一节点的水面面积; j 为节点编号; i 为与节点 j 相连接的河道编号。

对时间项采用向前差分、对流项采用上风格式、扩散项采用中心差分格式求解^[10]。

2.2 河网概化

内秦淮河河网可以概化成 8 个节点、12 条河道,河网共 6 个边界,其中 4 个人流流量控制边界,包括作为玄武湖引水口的武庙闸、太平门闸、铜芯管闸,作为外秦淮河引水的象房村三孔闸;2 个出流水位控制边界,即铁窗棂泵站和西水关泵站。内秦淮河河网概化如图 2 所示。

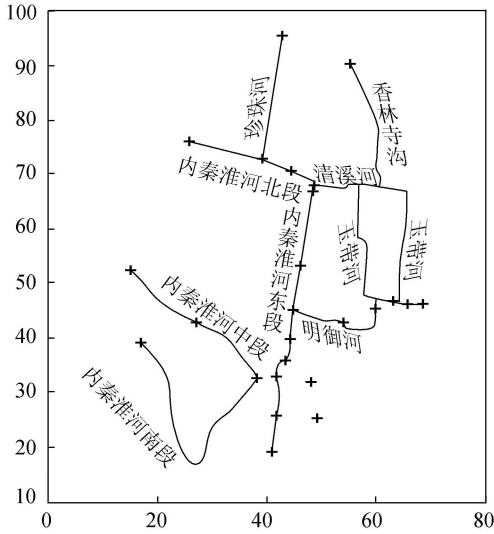


图 2 内秦淮河河网概化图(单位:km)

2.3 模型参数选择及边界条件选取

2.3.1 模型参数选择

内秦淮河糙率取为 0.022 ~ 0.025,基于水质监测数据计算得到 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的降解系数,鼓楼区取 0.023 ~ 0.025,玄武区取 0.032 ~ 0.034,白下区取

0.033 ~ 0.035,秦淮区取 0.057 ~ 0.058。

2.3.2 模型边界条件选取

根据内秦淮河模型的概化结果,选取 6 个边界断面:武庙闸、太平门闸、铜芯管闸、象房村三孔闸、铁窗棂泵站、西水关泵站。模型的边界条件为以上 6 个边界断面各时段的流量、水位和水质实测值。

2.4 模型验证

2.4.1 水量模型验证

水量模型验证中,选取 2012 年为基准年。基于 2012 年的 6 个边界断面的引调水资料,选取浮桥、竺桥、大中桥、仓巷桥、五龙桥和文德桥 6 个控制断面进行验证,图 3 为 2012 年内秦淮河各断面流量验证结果。结果显示相对误差均在 15% 以内,计算值和实测值基本吻合,表明模型可以用来开展内秦淮河水量的模拟和预测。

2.4.2 水质模型验证

水质模型验证中,选取 2012 年为基准年。基于水质监测数据计算得到 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的降解系数,对浮桥、竺桥、大中桥、仓巷桥和五龙桥 6 个控制断面的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度进行验证。图 4 为 2012 年内秦淮河各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度验证结果。结果表明模拟值和实测值吻合较好,所建模型可用来进行内秦淮河水质的计算和预测。

3 水量调度改善效果评估

3.1 现状引水调度

内秦淮河的引水水源有北源玄武湖、南源外秦淮河(武定门闸上游)和东源月牙湖,2012 年枯水期

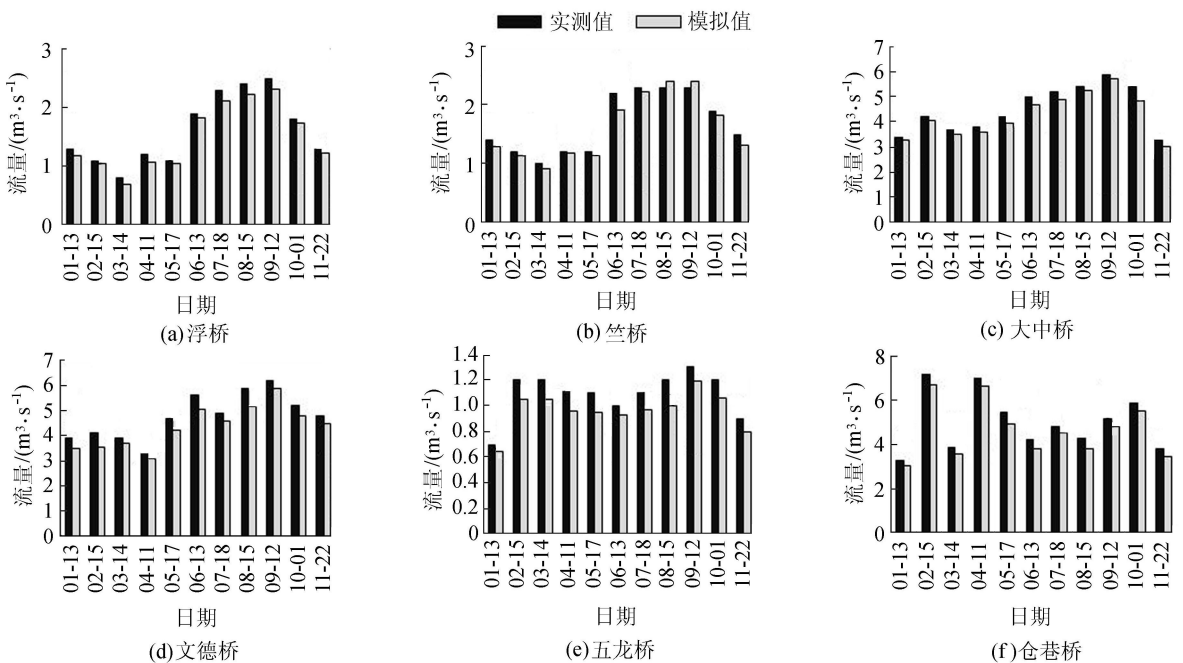


图 3 2012 年内秦淮河各控制断面流量验证结果

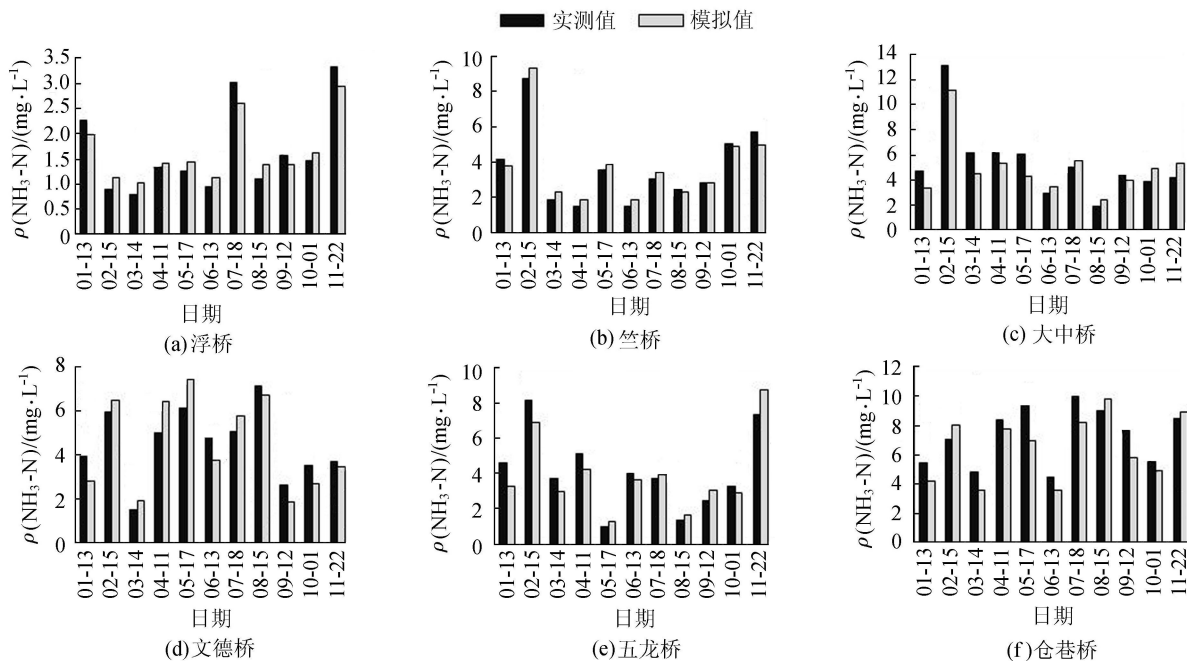


图4 2012年内秦淮河各控制断面 NH₃-N 质量浓度验证结果

3个水源地和6个控制断面的 NH₃-N 的质量浓度情况见表1。现状引调水采取常流量自流方式通过4条线路引水冲洗内秦淮河(具体线路见图5),其中线路一开武庙闸引玄武湖水约 1 m³/s,线路二开太平门闸引玄武湖水约 0.5 m³/s,线路三开象房村三孔闸引外秦淮河水约 2 m³/s,线路四开铜芯管闸引

表1 2012年内秦淮河枯水期水源地和控制断面的 NH₃-N 质量浓度监测值 mg/L

水源地	控制断面					
玄武湖 外秦淮 月牙湖	浮桥	竺桥	五龙桥	大中桥	仓巷桥	文德桥
0.22 3.28 3.32	1.98	5.15	4.37	5.32	4.39	5.26

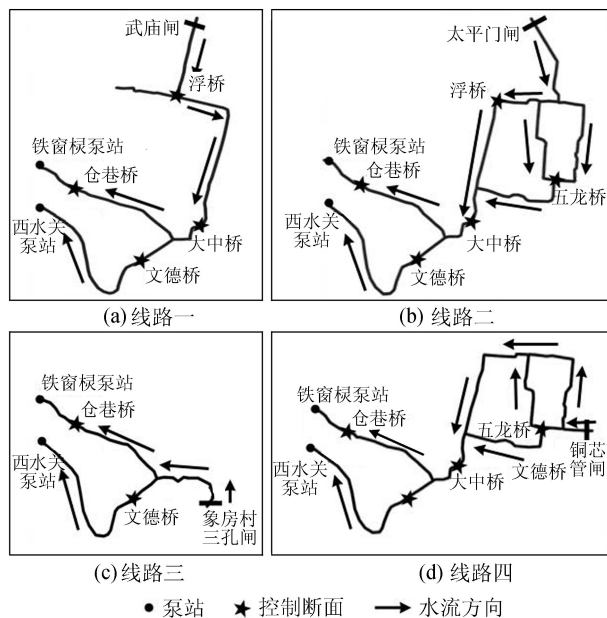


图5 2012年内秦淮河现状引水调度线路

月牙湖水约 0.5 m³/s,4条线路均从铁窗棧泵站和西水关泵站出水。

3.2 效果分析

运用所建一维河网数学模型,根据引调水实际工况中武庙闸、太平门闸、象房村三孔闸和铜芯管闸的引水流量,分别模拟和计算了枯水期4条线路现状引调水流量下 NH₃-N 质量浓度的变化情况,具体计算结果见图6。

NH₃-N 的 IV 类标准为 1.5 mg/L, V 类标准为 2.0 mg/L,根据图6的结果对引调水的改善效应进行评估与分析,结果表明:①在枯水期水源地现状引水水质和流量的条件下,内秦淮河流域的 NH₃-N 质量浓度仍处于劣 V 类,运高于其水环境功能要求。主要原因有:内秦淮河污染较为严重,入河污染负荷较大;现状引调水流量较小,引清治污能力有限,已不能满足现状水质改善的要求;水源地均是间接引长江水冲洗内秦淮河,长江水中 NH₃-N 等的质量浓度本来就偏高,水源地的 NH₃-N 指标除玄武湖较好外,外秦淮河和月牙湖的均为劣 V 类,达不到水环境功能要求。②4条引调水线路分别存在改善区域和引水盲区。其中线路一的引调水对浮桥和大中桥断面的改善效果较为明显,NH₃-N 质量浓度分别降低 19% 和 12%,引水盲区为竺桥和大中桥断面所在的城东水系;线路二的引调水对竺桥断面的改善效果较为明显,NH₃-N 质量浓度降低 11%,引水盲区为浮桥断面所在的珍珠河和内秦淮河北段;线路三的引调水对仓巷桥和文德桥断面所在的内秦淮河中段和南段的改善效果较为明显,NH₃-N 质量浓度分别

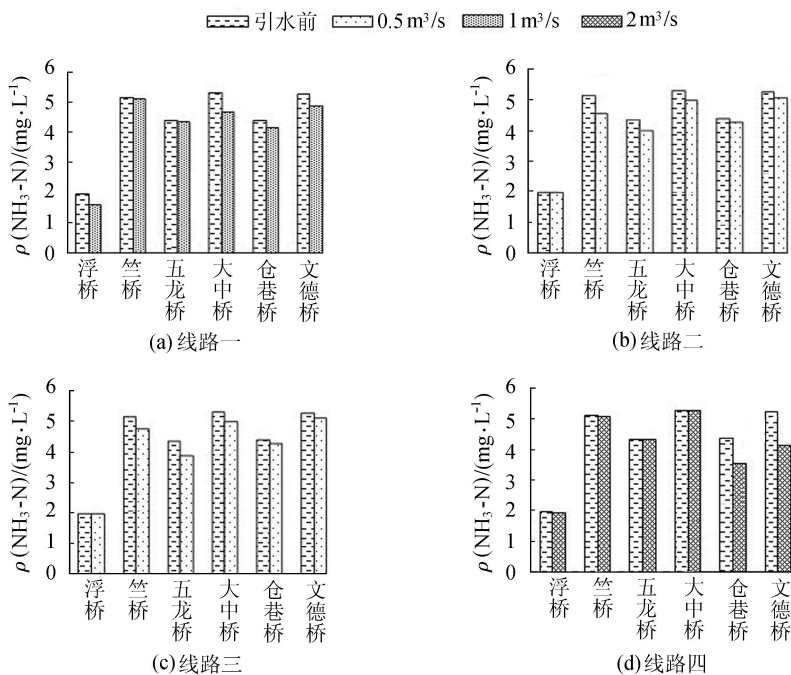


图6 2012年内秦淮河各线路现状引水流量下 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度变化情况

降低18%和21%,引水盲区为浮桥、竺桥、五龙桥和大中桥断面所在的河段;线路四的引调水对五龙桥的改善效果较为明显, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度降低11%,引水盲区为浮桥断面所在的珍珠河和内秦淮河北段。③对仓巷桥和文德桥断面所在的重污染区,北源和东源冲洗路径过长,引调水对接近水源地河段的冲洗效果较好,对文德桥和仓巷桥断面的水质改善效果则不明显,而南源冲洗路径短,引调水对仓巷桥和文德桥断面水质改善效果最好, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度降低幅度可达20%左右。

4 结论与建议

a. 现状引调水条件下,引水流量不能满足需求。各线路引水冲污对内秦淮河水质的改善效果不明显,内秦淮河流域水质仍为劣V类,需加大引调水流量;4条引水线路分别存在其引水改善效果较好区域和引水盲区,引水冲污应采用4条线路联合引调水的方式;基于现状引调水的不合理之处,应进一步研究改善秦淮河流域的水量水质优化调控方案。

b. 引水水源地的水质需改善。水源地的水质对引水工程改善内秦淮河水环境有着至关重要的作用。干净、可持续利用的水源是实施引水工程的首要前提条件,故需加大对水源地水环境的治理。当前内秦淮河引水水源有北源玄武湖、南源外秦淮河和东源月牙湖,这些水源地均受到不同程度的污染,尤其月牙湖接纳了周边娱乐场所和私人养殖所产生的污水,使得本线路引水冲污效果不明显。

c. 其他整治措施力度需加大。内秦淮河流域

水体污染较严重,入河污染负荷较大,截污是内秦淮河整治的根本性措施,只有从源头上减少和控制污染物入河,才能保证内秦淮河的水质有改善的可能。引水冲污工程能缓解内秦淮河水质恶化,但治标不治本,且排出的污水会成为外秦淮河的负担,故在引调清水的同时要实施其他整治措施,如截污、疏浚、曝气复氧、生态修复等,内秦淮河水环境的整治效果才会更理想。

参考文献:

- [1] 徐贵泉,褚君达. 上海市引清调水改善水环境探讨[J]. 水资源保护, 2001(3): 26-30. (XU Guiquan, CHU Junda. Water environment improvement by clean water diversion in Shanghai City [J]. Water Resources Protection, 2001(3): 26-30. (in Chinese))
- [2] 王超,王臻,张磊,等. 平原河网区调水改善水环境试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2005, 33(2): 136-138. (WANG Chao, WEI Zhen, ZHANG Lei, et al. Experimental study on improvement of water environment by water diversion in plain river networks [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(2): 136-138. (in Chinese))
- [3] 卢士强,徐祖信,林卫青. 综合调水对苏州河周边水系水质影响的数值模拟[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(6): 473-475. (LU Shiqiang, XU Zuxin, LIN Weiqing. Numerical simulation of effect of Suzhou Creek flow augmentation on water quality of its ambient rivers [J]. Environmental Pollution & Control, 2005, 27(6): 473-475. (in Chinese))

(下转第110页)

Advances in Sciences and Technology of Water Resources, 2010,30(5):19-23. (in Chinese))

- [4] 隋涛,刘娟娟.滨州市滨城区雨水利用分析[J].水资源保护,2012,28(1):85-88.(SUI Tao, LIU Juanjuan. Analysis of rainwater utilization in Bincheng District of Binzhou City [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1):85-88. (in Chinese))
- [5] 金彦兆,卢书超.雨水利用农业灌溉工程评价方法及效果评价[J].水利经济,2008,26(6):34-36.(JIN Yanzhao, LU Shuchao. Evaluation method and effect

evaluation on agricultural irrigation engineering of rainwater utilization [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2008,26(6):34-36. (in Chinese))

- [6] 王情,张广录,王晓磊,等.中国北方城市雨水资源利用探讨[J].水资源保护,2009,25(4):86-89.(WANG Qing, ZHANG Guanlu, WANG Xiaolei, et al. Investigation on utilization of rainwater resources in Northern China cities [J]. Water Resources Protection, 2009,25(4):86-89. (in Chinese))

(收稿日期:2014-09-21 编辑:彭桃英)

(上接第78页)

- [4] 卢士强,徐祖信,罗海林,等.上海市主要河流调水方案的水质影响分析[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(1):32-36.(LU Shiqiang, XU Zuxin, LUO Hailin, et al. Influence of water diversion schemes on water quality of Shanghai river networks [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2006,34(1):32-36. (in Chinese))
- [5] 刘云华,董增川,李朝方,等.深圳河流水系水质改善引调水工程[J].水资源保护,2008,24(3):31-34.(LIU Yunhua, DONG Zengchuan, LI Chaofang, et al. Water diversion project for the improvement of water quality in Shenzhen River-Bay system [J]. Water Resources Protection,2008,24(3):31-34. (in Chinese))
- [6] 陈志和,陈晓宏,杜建,等.河网地区水环境引水调控及其效果预测[J].水资源保护,2012,28(3):16-21.(CHEN Zhi he, CHEN Xiaohong, DU Jian, et al. Water diversion and regulation of water environment and effect forecast in river network region [J]. Water Resources Protection,2012,28(3):16-21. (in Chinese))
- [7] 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, FAN Kongming, et al. Application of MIKE11 model in water diversion and flushing pollutant of urban river network in Sihong City [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(8):100-103. (in Chinese))

- [8] 童朝锋,岳亮亮,郝嘉凌,等.南京市外秦淮河水质模拟及引调水效果[J].水资源保护,2012,28(6):49-54.(TONG Chaofeng, YUE Liangliang, HAO Jialing, et al. Water quality simulation and water diversion effect analysis of external Qinhuai River in Nanjing [J]. Water Resources Protection,2012,28(6):49-54. (in Chinese))
- [9] 南京市地方志编纂委员会.南京环境保护志[M].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [10] 李曦,逢勇.江阴城区水环境数学模型建立及应用[J].水资源保护,2009,25(2):38-41.(LI Xi, PANG Yong. Application of water environment numerical model in Jiangyin City [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(2):38-41. (in Chinese))

(收稿日期:2014-05-06 编辑:彭桃英)

(上接第102页)

- [5] 刘晓星.跨流域生态补偿要闯几道“关”?[N].中国环境报,2012-02-03(08).
- [6] 徐艳.淮河流域水污染治理政策研究[D].合肥:安徽大学,2012.
- [7] 麻智辉,李小玉.流域生态补偿的难点与途径[J].福州大学学报:哲学社会科学版,2012(6):63-68.(MA Zhihui, LI Xiaoyu. The difficulties and way of the river

basin ecological compensation [J]. Journal of Fuzhou University: Philosophy and Social Sciences Edition, 2012(6):63-68. (in Chinese))

- [8] 张明波.跨省流域生态补偿机制研究[D].西安:西北农林科技大学,2013.
- [9] 刘萍.东江流域水源保护区生态补偿机制研究[D].济南:山东大学,2013.

(收稿日期:2014-08-31 编辑:高渭文)

(上接第106页)

- [10] 冯平,刘伟,罗莎.雨水资源的利用及其实验[J].天津大学学报,2006,39(3):269-272.(FENG Ping, LIU Wei, LUO Sha. Utilization of rainwater resources and its experiment [J]. Journal of Tianjin University, 2006, 39(3):269-272. (in Chinese))
- [11] 李贺,李田,于学珍.上海市屋面雨水回用处理技术研究[J].环境科学与技术,2006,29(3):97-98.(LI He, LI Tian, YU Xuezhen. Reuse and treatment of roof runoff

in Shanghai [J]. Environmental Science and Technology, 2006,29(3):97-98. (in Chinese))

- [12] 曹秀芹,车武.城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J].给水排水,2002,28(1):13-15.(CAO Xiuqin, CHE Wu. Analysis of roof rainwater collection and utilization system of city design [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(1):13-15. (in Chinese))

(收稿日期:2014-04-10 编辑:高渭文)