

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.010

基于生态补水的水环境改善效果评价体系

邢梦雅¹,陈 星¹,周 镔²,向 龙¹,金 辉²,朱丽丽²

(1. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098; 2. 常熟市水利局,江苏 常熟 215500)

摘要:在分析生态补水对水环境影响的基础上,从水文、水力、水质角度提出改善效果评价体系,具体的评价指标包括生态补水量系数、重要节点补水效率、换水周期变化率、区域水质改善度;以常熟市生态补水试验为例,分析评估了生态补水对水环境的改善效果。结果表明,该指标体系能够为优化生态补水方案提供定量化基础,同时指导不同连通调水模拟方案间的优选分析。

关键词:水质;水量;水环境;生态补水;评价体系

中图分类号:X171.1 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)01-0064-03

Study on evaluation system of improvement of water environment based on ecological water supplement

XING Mengya¹, CHEN Xing¹, ZHOU E², XIANG Long¹, JIN Hui², ZHU Lili²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098;

2. Changshu Water Affairs Bureau, Changshu 215500, China)

Abstract: On the basis of analyzing the impact of ecological water supplement on water environment, improved evaluation system is proposed from the angle of hydrology, hydraulics and water quality. Specific evaluation indexes include the quantity of ecological water supplement, efficiency of water supplement on important joint, change rate of water exchange cycle and improvement degree of water quality in the district. Taking ecological water supplement experiment in Changshu as the study case, improvement of water environment caused by ecological water supplement was analyzed and evaluated. The results show that: This index system can be a general method to evaluate the effect of ecological water supplement on water environment, and can also be used to select the optimal simulation scheme.

Key words: water quality; water quantity; water environment; ecological water supplement; evaluation system

河湖水系是水资源的载体,是生态环境的重要组成部分,是经济社会发展的重要支撑^[1]。张树军等^[1-2]将生态补水定义为:通过补充受损生态系统缺失的环境因子—水,改善、修复、恢复生态系统结构、功能及自我调节能力,使其继续为人类创造良好的、健康的生存环境,促进人类社会的可持续发展。随着区域经济发展、城市化率逐步提高,有必要在污染源治理基础上增加生态补水措施,通过提高水体流动性,加大水环境容量及自净能力,增强水环境改善效果。

为直观反映生态补水对受水区域的水环境改善

效果,需要构建定量化分析评估生态补水效果的指标体系。本文在分析生态补水对河网水环境影响的基础上,从水文、水力、水质角度提出评价因子:生态补水量系数、重要节点补水效率、换水周期变化率、区域水质改善度,通过对比分析补水前后水系相关指标状况,评价生态补水效果,并为相关方案措施提供调度依据及理论支撑。

1 区域水环境改善效果评价体系

1.1 评价指标选择原则

a. 相对独立性:各项评价指标应相对独立、相

基金项目:国家自然科学基金(51309078,51209071)
作者简介:邢梦雅(1992—),女,硕士研究生,方向为水文学及水资源。E-mail: 455483522@qq.com

对稳定;

b. 代表性:评价指标能从不同角度反映补水措施对生态水质的影响特征,同时具有一定敏感度;

c. 易获取性:评价指标所需基础数据易获取,方便量化,便于分析比较。

1.2 评价指标分析及计算方法

生态补水对水环境影响的过程,可以归纳为以下模式:生态补水—改变受水区及沿程的水文与水力状况—水环境变化,这种模式反映了影响形成的顺序^[3]。在此模式下,水文要素与水力条件两者密不可分,水文要素的变化往往造成水力条件的改变;同样,水力条件的改变也必将对水文要素产生一定影响;而水文要素或水力条件的变化都会引起水环境的相应改变。鉴于这样的因素耦合关系,本文从水文、水力、水质角度提出评价指标,构建用以评价受水区及其沿程水环境改善效果的评价体系。

1.2.1 生态补水量系数 σ

生态补水量系数反映生态补水对受水区水环境水文要素的区域性影响。在预算生态补水量基础上,计算实际补水总量与预算量比值作为生态补水量系数。

补水预算量采用一维水量水质模型计算^[4]。根据质量守恒原理,假设稀释混合段水质浓度均匀,运用浓度达标控制法预算补水总量。当河网中营养盐含量高、河道自净能力差时,取污染物综合衰减系数为0,则补水预算量计算公式为

$$W_0 = \frac{\rho_i - \rho_s}{\rho_s - \rho_0} W_i \tag{1}$$

式中: W_0 为补水预算量, m^3 ; W_i 为第 i 河段初始槽蓄水量, m^3 ; ρ_0 为补水水质为质量浓度, mg/L ; ρ_i 为第 i 河段本底水质质量浓度, mg/L ; ρ_s 为水质标准(Ⅲ类水,以 COD_{Mn} 计), mg/L 。

1.2.2 重要节点补水效率 η

重要节点补水效率 η 反映生态补水对沿程水环境水文要素的影响状况。计算河网中重要节点补水过程中平均流量分配比,分析流量分配状况及原因,针对关键河网位置采取相应工程与非工程措施,保障受水区生态补水效率。公式为

$$\eta = \frac{q}{Q} \tag{2}$$

式中: q 为节点沿补水路径平均分流流量, m^3/s ; Q 为受水区补水总流量平均值, m^3/s 。

1.2.3 换水周期变化率 θ

换水周期是指水体交换更新一次所需时间^[5],生态补水为区域河网带来清洁流动水源,使得换水周期缩短,河网水力连通性提高,水体自净能力加

强。从水力条件上反映生态补水对受水区水环境的作用情况。换水周期变化率 θ 的计算公式为

$$\theta = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100\% \tag{3}$$

式中: T_0 为生态补水前河道(湖泊)换水周期, h ; T_1 为补水后河道(湖泊)换水周期, h 。

1.2.4 区域水质改善度 q

区域水质改善度 q 是从水质角度综合反映生态补水对整个受水区水环境改善效果的一项指标,它是指生态补水区域内河流、湖泊水质得到改善的河长、面积占区域内总河长、总湖泊面积的比例^[6],具体计算公式为

$$q = \frac{L_0(A_0)}{L(A)} \tag{4}$$

式中: $L_0(A_0)$ 为生态补水后水质改善的河段长度或湖泊面积, m 或 m^2 ; $L(A)$ 为区域河段总长度或湖泊总面积, m 或 m^2 。

2 案例应用

2.1 区域概况

常熟市位于长江流域下游,区域内河网密集,湖荡密布。常熟市主城区约 $60 km^2$,北至花板塘,南至张家港河,西至望虞河,东至东环河,共有河道 172 条,其中骨干河道 28 条(图 1)。主城区通江河道海洋泾水质达Ⅲ类,是常熟城区的补水通道,城区内河网现状水环境容量小,水体自净能力较差,部分流经主城区河道水质较差。常熟市河网闸泵建设完善,有条件在污染源治理基础上,通过闸泵联合调控,对城区水系进行生态补水,加强河网水动力,增大河网环境容量^[7]。

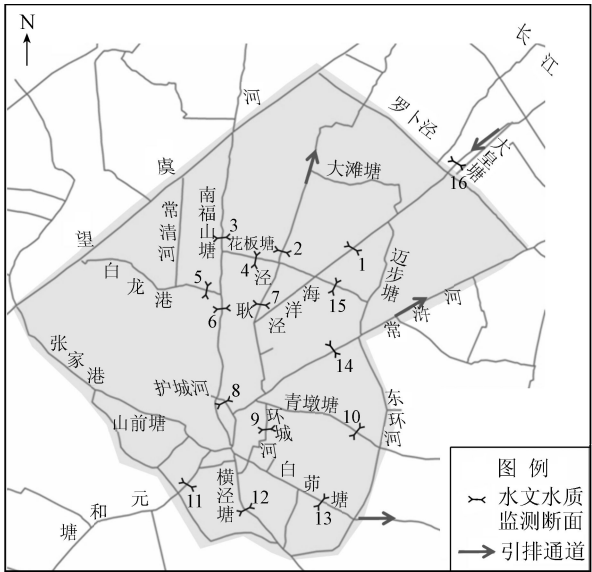


图 1 常熟城区骨干河网监测断面布设情况

2.2 生态补水试验

生态补水试验于 2014 年 5 月 14 日 8:00—23:00 时进行,9:00—16:00 时通过海洋泾泵站、海洋泾闸从长江引水,分耿泾、南福山塘两支进入城区,18:00—21:00 时以常浒河、耿泾、白茆塘为主要通道进行排水。如图 1 所示,共设置 16 个监测断面,监测项目包括水文(水位、流量)及水质(TP、TN、NH₃-N、COD_{Mn}):

a. 水文数据:8:00—22:00,1—16 号断面每间隔 30 min 监测一次,共 29 个测次数据;

b. 水质数据:8:00 及 10:00—22:00,1—16 号断面每间隔 2 h 监测一次,共 8 个测次数据。

2.3 水环境改善效果评价及分析

主要河段指标状况见表 1。生态补水量系数为 0.83,实际补水量为 106 万 m³,预算补水量为 128 万 m³;重要节点对城区有效补水效率平均值为 33.4%,个别河段分流现象较严重,城区外沿程河道如大皇塘、罗卜泾等分流占 31.8%,城区内如南福山塘、耿泾分流达 22.7%(图 2);河网换水周期变化率达 62.6%,提升幅度显著,表明现有生态补水方案能够有效改善受水区域水体流动性。区域水质改善度为 38.5%,城区局部河网仍存在水流往复现象,水质改善水平有待提高。建议进一步通过水利工程控制水流方向,提高城区补水效率,同时可以加大补水水量,将生态补水量系数控制在 0.8~1.2 范围内。

表 1 主要河段指标状况

河段名	水质改善河段	换水周期变化率/%	重要节点有效补水率/%
张家港河		40.0	
常浒河	✓	79.0	
白茆塘	✓	63.0	
南福山塘		72.0	1.60
耿 泾		79.0	38.50
海洋泾	✓	62.0	61.00
青墩塘		63.0	
环城河	✓	63.0	
护城河	✓	62.0	
白龙港		61.0	
花板塘		45.0	32.30

3 结 论

a. 在分析生态补水对受水区水环境影响的基础上,从水文、水力、水质角度提出了评价指标体系,并应用于常熟市城区进行实例评价,分析了生态补水方案对水环境的改善效果,为优化生态补水方案提供理论依据。

b. 指标体系亦可用作不同生态补水模拟方案间的对比分析,选择水环境改善效果佳、经济合理者作为实际应用方案^[8]。

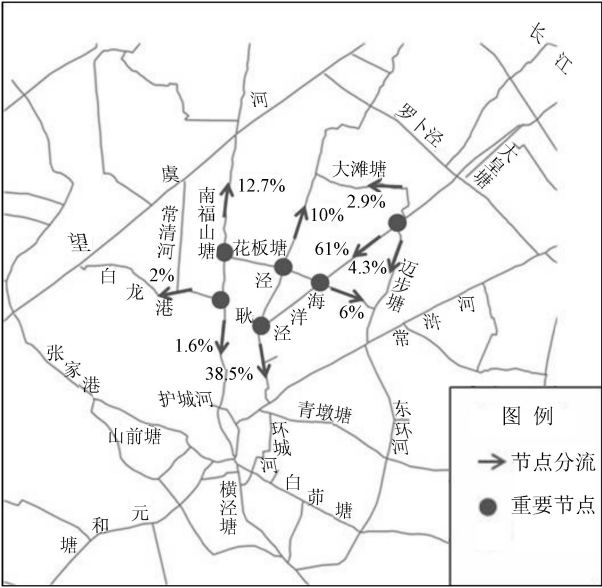


图 2 重要节点分流情况

c. 我国生态补水实践日益增多,评价生态补水方案对河道及周边环境影响变得更加重要,本文仅分析了原型试验中河网生态补水对河流水量、水环境的影响,下一步将结合构建评价体系,通过水量水质耦合模型分析最优补水量与调度方案。

参考文献:

[1] 张树军,赵峰,罗陶露,等.生态补水综合效益评价指标体系建立[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,9(5):9-16. (ZHANG Shujun, ZHAO Feng, LUO Taolu, et al. Establishment of comprehensive benefit assessment indicator system on artificial recharge for ecological restoration[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008,9(5):9-16. (in Chinese))

[2] 李玮,褚俊英,秦大庸,等.基于补水配置情景的河流水质及环境容量研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2012,10(3):813-819. (LI Wei, ZHU Junying, QIN Dayong, et al. The simulation of water quality and water environment capacity of Fen River based on the scenarios of ecological water supplement[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012,10(3):813-819. (in Chinese))

[3] 郭潇,方国华,章哲恺,等.跨流域调水生态环境影响评价指标体系研究[J].水利学报,2008,39(9):1125-1130. (GUO Xiao, FANG Guohua, ZHANG Zhekai, et al. Index system of eco-environment impact assessment for inter-basin water transfer [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,39(9):1125-1130. (in Chinese))

[4] 罗鸿兵,罗麟,黄鹄,等.深圳市新圳河生态补水研究及应用[C]//中国水利学会.2009年全国城市水利学术研讨会暨工作年会论文集.深圳:中国水利学会,2009.

(下转第 85 页)

[17] DHI (Danish Hydraulic Institute). MIKE 11: a modeling system for rivers and channels-reference manual [R]. Copenhagen, B Denmark: DHI, 2009.

[18] 陈美丹,姚琪,徐爱兰. WASP 水质模型及其研究进展 [J]. 水利科技与经济, 2006, 12 (7): 420-426. (CHEN Meidan, YAO Qi, XU Ailan. WASP water quality model and its advance in research [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2006, 12 (7): 420-426. (in Chinese))

[19] KANNEL P R, LEE S, LEE Y S, et al. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal [J]. Ecological Modelling, 2007, 202 (3): 503-517.

[20] 刘夏明,李俊清,豆小敏,等. EFDC 模型在河口水环境模拟中的应用及进展 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (增刊 1): 136-140. (LIU Xiaming, LI Junqing, DOU Xiaomin, et al. The Application and advance of environmental fluid dynamics code (EFDC) in estuarine water environment [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34 (Sup1): 136-140. (in Chinese))

[21] 黄琳煜,聂秋月,周全,等. 基于 MIKE11 的白莲泾区域水量水质模型研究 [J]. 水电能源科学, 2011, 29 (8): 21-24. (HUANG Linyu, NIE Qiuyue, ZHOU Quan, et al. Study of water quantity and water quality model of Bailianjing Region based on MIKE11 [J]. Water Resources and Power, 2011, 29 (8): 21-24. (in Chinese))

[22] DOULGERIS C, GEORGIOU P, PAPADIMOS D, et al. Ecosystem approach to water resources management using the MIKE11 modeling system in the Strymonas River and Lake Kerkini [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 94 (1): 132-143.

[23] 钱海平,张海平,于敏,等. 平原感潮河网水环境模型研究 [J]. 中国给水排水, 2013, 29 (3): 61-65. (QIAN Haiping, ZHANG Haiping, YU Min, et al. Water environment model for plain tidal river network [J]. China Water & Waste Water, 2013, 29 (3): 61-65. (in Chinese))

[24] 曾剑,楼越平,程杭平. 温瑞塘河河网水质模型研究 [J]. 浙江水利科技, 2006 (1): 41-43. (ZENG Jian, LOU Yueping, CHENG Hangping. Research on water quality model of Wenruitang River network [J]. Zhejiang Hydraulics, 2006 (1): 41-43. (in Chinese))

[25] 姜欣,许士国,练建军,等. 北方河流动态水环境容量分析与计算 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29 (4): 409-414. (JIANG Xin, XU Shiguo, LIAN Jianjun, et al. Analysis and calculation of dynamic water environmental capacity of rivers in north China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2013, 29 (4): 409-414. (in Chinese))

(收稿日期: 2015 - 01 - 24 编辑: 熊水斌)

(上接第 66 页)

[5] 张永勇,王中根,夏军,等. 基于水循环过程的水量水质联合评价 [J]. 自然资源学报, 2009, 24 (7): 1308-1314. (ZHANG Yongyong, WANG Zhonggen, XIA Jun, et al. An integrated assessment method of water quality and quantity based on water cycle process simulation [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24 (7): 1308-1314. (in Chinese))

[6] 周丹平. 应对水质型缺水问题的调水工程综合效益评估 [D]. 上海: 同济大学, 2008.

[7] 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 Zhihe, 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))

[8] 胡昊,董增川,李梓嘉,等. 平原区水系连通实践与思考 [J]. 农村水利水电, 2013 (1): 41-44. (HU Hao, DONG Zengchuan, LI Zijia, et al. Practice and consideration of river network on the plain area [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013 (1): 41-44. (in Chinese))

(收稿日期: 2015 - 04 - 23 编辑: 徐 娟)

(上接第 74 页)

[5] 涂向阳,林素彬,吴小明,等. 城市近郊蓄滞洪区非洪水期调度运行管理研究: 以治理深圳河第四期工程为例 [J]. 广东水利水电, 2014 (3): 25-30. (TU Xiangyang, LIN Subin, WU Xiaoming, et al. Operation and management research on flood detention region located in suburban during non-flood period: a case study of phase IV training projects for Shenzhen River Guangdong [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2014 (3): 25-30. (in Chinese))

[6] 吴兴祥. 现代城市水利规划中的若干问题分析: 以扬州市为例 [J]. 中国水运, 2014, 14 (6): 206-207. (WU Xingxiang. Analysis of some problems in modern urban water conservancy planning: a case study of Yangzhou [J]. China Water Transport, 2014, 14 (6): 206-207. (in Chinese))

[7] 张悦. 关于城市暴雨内涝灾害的若干问题和对策 [J]. 中国给水排水, 2010, 26 (16): 41-42. (ZHANG Yue. Some problems and solutions on urban storm water logging disaster [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26 (16): 41-42. (in Chinese))

[8] DB 11/685—2013 雨水控制与利用工程设计规范 [S]. (收稿日期: 2015 - 08 - 16 编辑: 彭桃英)