尹澄清, 苏胜利, 张荣斌, 等. 2010 以河网作为城市水源的污染问题和湿地净化[J]. 环境科学学报, 30(8): 1583- 1586
Yin C Q, Su S L, Zhang R B, *et al* 2010 Use of wetland to purify polluted stream network for a city water source[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 30 (8): 1583- 1586

以河网作为城市水源的污染问题和湿地净化

尹澄清[1,*], 苏胜利[2], 张荣斌[3], 王为东[1], 周春东[4], 刘俊新[1], 赵洪涛[1]

1 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085
2 嘉兴市水利局, 嘉兴 314000
3 嘉兴市水利投资有限公司, 嘉兴 314000
4 嘉兴市水利勘察设计院, 嘉兴 314000

收稿日期: 2010-01-02 修回日期: 2010-03-31 录用日期: 2010-05-21

摘要: 杭嘉湖某市地处长江三角洲, 其饮用水水源来自河道水网. 近年来由于上游经济发展迅速, 环境保护相对滞后, 水网水质下降严重. 河道水网具有污染源多, 水动力学条件复杂多变, 控制困难等特点. 为保障供水安全, 该市在新塍塘的水厂进水口前建设了"生态型水质净化湿地系统". 它的总面积为 110 hm^2, 由预处理区、根孔净化区、泵提升和曝气充氧区、深度净化区 (湖系统)组成. 监测结果表明, 该湿地使原水水质显著提高, 其中氨氮去除率达到 32 5%. 同时湿地系统还具有贮存大量原水缓冲水厂供应、提供清新空气、为很多物种提供栖息地等多种生态服务功能.

关键词: 河网; 水源地; 根孔净化; 湿地

文章编号: 0253-2468(2010) 08-1583-04 中图分类号: X522 文献标识码: A

Use of wetland to purify polluted stream network for a city water source

YIN Chengqing[1,*], SU Shengli[2], ZHANG Rongbin[3], WANG Weidong[1], ZHOU Chundong[4], LIU Junxin[1], ZHAO Hongtao[1]

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085
2 Bureau of Water Resources, Jiaxing 314000
3 Water Affairs Investment Co, Jiaxing 314000
4 Water Resources Prospect& Design Institute, Jiaxing 314000

Received 2 January 2010; **received** in revised form 31 March 2010; **accepted** 21 May 2010

Abstract JX City, located in the Yangtze River delta, takes drinking water from a stream network. In recent years, the water quality has declined rapidly because of the economic development in upstream areas. Stream networks have many pollution sources and complicated hydrodynamics that are difficult to control and threaten regional water safety. The JX City built an "ecological water purification wetland" in front of the water plant as the final barrier. The wetland has an area of 110 hm^2, including a pretreatment zone, root-channel purification zone, water level rising and aeration zone, and deep purification zone. The wetland significantly improves water quality, and the removal rate of ammonia nitrogen was 32 5%. This wetland system has other functions of ecological service, such as water storage buffering, urban air refreshing, habitats for wildlife and recreation site for the residents.

Keywords stream network; water source; root channel purification; wetland

1 引言 (Introduction)

近年来, 我国南方河网地区水环境污染和水生态破坏的趋势仍没有得到有效遏制, 水源水质恶化已经成为河网地区众多水厂面临的难题. 饮用水水质安全保障的关键是水源保护和修复. 饮用水源地保护对于减少饮用水处理成本和提高饮用水质量具有至关重要的作用. 为了保护水源地和保障饮用水水质安全, 各国纷纷开展相关的研究 (USEPA, 1999; 郑天柱等, 2001).

基金项目: 浙江省重大项目 (No 2006C13057); 水专项课题 (No 2008ZX07101-006-08); 中科院知识创新工程项目 (No KZCX1-YW-06-02)
Supported by the Key Project of Zhejiang Province(No 2006C13057), the National Water Pollution Control Project(No 2008ZX07101-006-08) and the Key Project of Knowledge Innovation Program of CAS (No KZCX1-YW-06-02)

作者简介: 尹澄清 (1945—), 男, 研究员, E-mail: cqyin@ rcees.ac.cn; * 通讯作者 (责任作者)
Biography: YIN Chengqing(1945—), male, professor, E-mail: cqyin@ rcees.ac.cn; * **Corresponding author**

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

防治水源污染是一项综合性系统工程. 由于影响水源污染的因素甚多, 形成水源污染的机理也十分复杂, 因而必须选用综合控制的途径, 才能收到较好的防治效果. 饮用水源污染控制需在流域尺度和生态系统层次上, 从污染源治理、迁移途径修复、汇过程治理进行全过程系统控制. 湿地是处于陆地和水体之间的过渡地带, 具有很强的净化功能. 在适当的负荷、不超过其自净能力的前提下, 湿地对水质的改善作用明显. 以往研究发现, 湿地对污染物的去除机理主要包括: 物理过滤、化学吸附、土壤基质作用、植物吸收、微生物降解等 (Verhoeven *et al*, 2006; Fisher *et al*, 2004; Fennessy *et al*, 1997). 尹澄清等在白洋淀进行的野外实验结果 (Yin *et al*, 1995) 表明, 湖周边水陆交错带中的芦苇群落和群落间的小沟都能有效地截留陆源营养物质. 苇地和沟壕纵横交错的景观结构极大地增加了水陆交错带的边界长度和有效作用面积, 具有非常强大的缓冲容量和内部稳定性 (Wang *et al*, 2002). 日本的渡良濑水库、美国佛罗里达州的Apopka等都采用湿地作为饮用水源的保护措施 (董哲仁等, 2002; 古滨河, 2005). 如何保障饮用水水质安全, 加强河网“汇”环节的自净能力, 对于保护和修复河网地区水源地有重要意义.

2 杭嘉湖某市河网水源的污染现状与发展 (The pollution status and trend in the river networks of the area)

长江三角洲是我国最发达的经济核心区之一, 区内水网稠密, 淡水资源丰富. 但是, 近几十年来随着该地区经济的高速发展, 地表水环境迅速恶化, 已普遍出现了质量型缺水现象, 严重制约了区域经济的可持续发展. 杭嘉湖某市地处长三角的核心区, 2005年底全市总户籍人口 334万人, 其中市区人口 80万人, 地势平坦, 河网密布, 区域社会经济发展和生态环境治理等在长三角地区具有显著代表性. 为了深入研究平原河网地区水污染规律和应对措施, 我们选择浙江省杭嘉湖某市为对象开展平原河网地区水污染规律和应对措施研究, 以期为河网水源保护和水质改善提供有效的方法.

由于上游客水和自身的污染, 杭嘉湖某市河网地区呈现出典型的水质型缺水现状. 2005年该市水环境监测中心对该市 43条河道、6个湖荡共 79个水环境监测断面进行了评价. 结果表明, 市域评价河长共计 707. 3 km, 其中全年期内符合地表水 III 类标准的河长 6. 8 km, 仅占评价河长的 1. 0%; IV类水河长 71. 7 km, 占评价河长的 10. 1%; V 类河长 119. 7 km, 占评价河长的 16. 9%; 而劣于 V 类水的河长 509. 2 km, 占到评价河长的 72. 0%. 1995~2005年间该市地表水主要水质指标平均值统计情况见图 1. 从图中看出, BOD_5及氨氮污染呈明显上升趋势. 目前该市的水体污染主要以有机污染、氨氮污染为主.

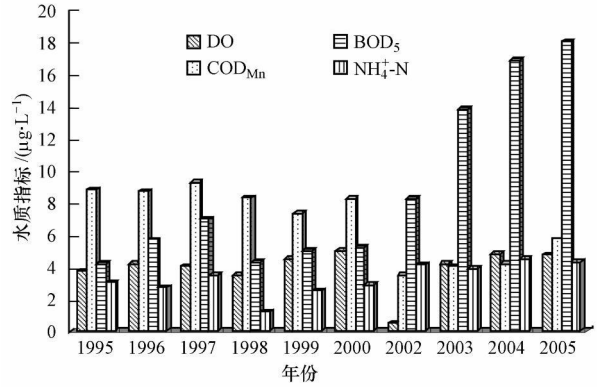

图 1 1995~2005年间杭嘉湖某市的地表水主要水质指标变化

Fig. 1 The concentrations of major water quality indices in the stream network of JX City from 1995 to 2005

杭嘉湖某市饮用水水源地来自河道水网, 石臼漾水厂是该市城区最大的自来水厂, 水源地为新塍塘 (图 2), 新塍塘总体水质为 IV类至劣 V类水, 主要超标因子为色度、浊度、嗅味等感官指标和 COD_{Mn}、氨氮、总磷、总氮、总铁等指标, 水源水质体现为有机物微污染的特征.

我们以杭嘉湖某市河网为例进行调查, 发现河网水源地存在的主要问题有: ①水源地污染来源多, 有机污染加重, 大多数地区没有可代替水源. 河网地区历史上从河道取水. 河网地区河道密集, 污染源多, 水体中的有机污染非常严重. ②河网地区水动力条件多变, 边界不清. 平原河网区地势低洼, 水网纵横交织, 闸坝众多. 受潮汐、闸控和降雨影响, 相当多的河道的流向和流量呈现复杂的非线性. 河网的水动力条件多变, 交换频繁, 流域边界不清, 交叉污染严重, 出现很多隐形污染源. ③河网地区往往成为污染物积累的“汇”, 水质污染严重. 河网地处低洼平原, 泄水能力小, 这些地区经常是流域内颗粒物和污染物质的“汇”区域. 但由于人为活动的破坏, 大量自然湿地损失贻尽, 加上河岸硬质化严重, 使水体自净能力减弱, 水中污染物积累愈加严重.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

据调查, 新塍塘水源地的污染来源有客水污染、本地主要为生活污水和养猪废水, 通过许多小河浜和新塍塘相连, 河底淤泥堆积较厚, 已严重富营养化. 为保障人民身体健康, 杭嘉湖某市政府已经在石臼漾水厂水源地采取了“设闸断航, 实施水立交, 建立新塍塘、北郊河双水源, 设立一、二、三级水源保护区”等整治措施, 取得了一定的成效, 但全年平均为 Ⅳ类水体的问题仍威胁供水安全, 必须采取进一步的保障措施.

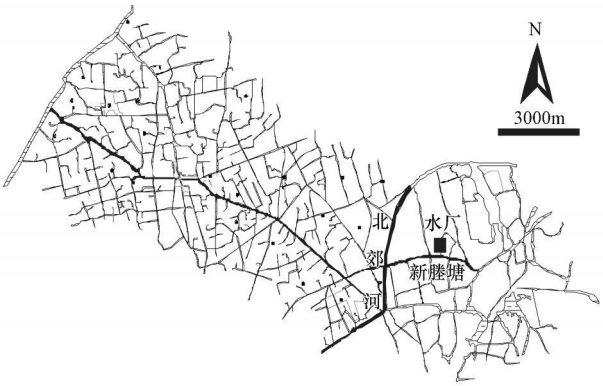

图 2　杭嘉湖 JX市石臼漾水厂水源地

Fig 2　The source stream of Shijiuyang Water Treatment Plant, JX City(The black square is the water plant)

3　生态湿地的设计和工程框架 (The framework of the treatment wetlands)

为解决杭嘉湖某市的饮用水水源水质问题, 该市政府积极采取各项措施保护和恢复水源地生态系统, 除控制污染源外, 还决定结合市区城市绿地建设, 开展新塍塘生态型水质净化湿地系统 (下面简称生态湿地)建设. 新塍塘水源治理工程位于市区西北角, 规划总面积 5. 59 km^2, 包括周边农村生活污水处理, 疏浚受污染河道底泥, 水源地缓冲带建设等. 其中生态湿地工程面积 110hm^2. 本生态湿地工程的技术支撑单位是中国科学院生态环境研究中心, 由嘉兴市水利局牵头完成了项目的前期技术论证. 工程设计主要由嘉兴市水利水电勘察设计研究院完成, 由嘉兴市水利投资有限公司负责工程的建设和运行.

生态湿地工程的总体思路是: 在石臼漾自来水厂进水口前建设由 4个功能区组成的“新塍塘生态型水质净化湿地系统”, 对水源地进行大规模的生态修复, 创建生态型水源地. 这 4个功能区块分别为: 1. 预处理区, 2 湿地根孔生态净化区, 3. 泵提升和曝气充氧区, 4. 深度净化区 (湖系统). 第 5个为高新技术应用区, 其方案先进行试验, 待成熟后再在工程区实施. 工程的平面布置如图 3所示. 生态湿地工程的流程为: 新塍塘原水→ 1. 预处理区→ 2 湿地根孔生态净化西区→ 3. 泵提升和曝气充氧区→ 2 湿地根孔生态净化东区→ 4. 深度净化区→引水渠→水厂取水. 各区块的主要功能如下.

1. 预处理区: 结构主要是沉沙池, 功能是泥沙沉降, 对整个系统缓冲, 兼顾景观美化; 2. 湿地根孔生态净化区: 主要由沟濠和植物床湿地构成, 水通过人工根孔和自然根孔在水位波动驱动下流动. 本区提供了大规模的水土流动接触场所, 其氧化-还原的交替环境为微生物降解创造条件. 湿地土壤中的根孔是水流动的高速通道. 水和污染物通过湿地根孔时和土壤、植物根及根区微生物发生作用, 产生截留作用. 根孔区的主要净水原理为: 植物吸收、微生物降解、土壤物理吸附、化学分解, 还兼顾景观美化. 3. 泵提升和曝气充氧区: 用水泵将原水提高到设定高程, 然后跌水曝气充氧, 提高原水的溶解氧, 并使水位周期性上下波动改变氧化还原状态, 为进

图 3　杭嘉湖某市新塍塘生态湿地工程平面图 (1. 预处理区→ 2 湿地根孔生态净化西区→ 3. 泵提升和曝气充氧区→ 2 湿地根孔生态净化东区→ 4. 深度净化区)

Fig 3　A diagram of the Xinshengtang ecowetland at JX City. Its flow chart is: raw water from Xinshengtang to 1. pretreatment zone to 2. root channel purification zone to 3. water level rising and aeration zone to 4. deep purification zone to stream to water plant

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

一步净化创造条件; 4 深度净化区:结构是一个人工湖,其功能有次生颗粒物沉降、存储水 (110×10^4 t)、动物滤食净化及景观. 净化后的原水经引水渠进入自来水厂.

4 生态湿地的初步运行效果 (The primary results of the wetland treatment)

新塍塘水源治理生态湿地工程于 2007年 1月开工建设, 2008年 7月大部分建成,投入试运行. 2009年 4月工程全部建成, 6月正式投入运行. 由自来水厂逐日对进出生态湿地的水质进行了分析,进出水断面各有 1个监测点. 结果表明,生态湿地投入运行后,原水水质提高明显. 表 1对 2008年 8月至 2009年 7月共 12个月的运行数据进行了总结,其监测浓度为数据的日平均值,污染物去除率为每月进出水平均浓度的差除以进水浓度然后取平均值.

表 1 杭嘉湖某市新塍塘生态湿地运行初期 (2008年 8月至 2009年 7月)对原水中污染物的去除率

Table 1 The pollutant removal rates by the wetland in the first performance period from Aug 2008 to July 2009

污染物名称 Pollutants	进水平均浓度 Inlet conc	出水平均浓度 Outlet conc	污染物去除率 Removal rates
浊度 Turbidity	41.10	27.00	34.6%
氨氮 NH_4-N	1.26	0.85	32.5%
COD_{Mn}	6.04	5.57	7.8%
总锰 TotalMn	0.27	0.20	25.7%
总铁 Total Fe	1.43	0.82	42.7%
总氮 TotalN	4.23	3.52	15.1%
总磷 TotalP	0.42	0.31	24.6%

注: 浊度单位是 NTU, 其余为 mg L^{-1}.

在城市当中修建的湿地,具有多方面的生态服务功能. 它不但净化了河水,提高了水质,而且湿地中存有的大量原水为水厂提供了抗风险能力;并且这大片绿地能够清新空气,改善城市生态环境;湿地中有各种各样的动植物,形成了有别于城市其它地域的和谐生态系统. 随着这片湿地系统的逐渐成熟,它必将发挥出更强的功能.

5 结论 (Conclusion)

1)南方许多饮用水水源地来自河道水网. 河道水网具有污染源多,水动力学条件复杂多变,控制困难的特点. 河道水网型水源地的污染威胁着区域供水安全.

2)杭嘉湖某市新塍塘生态湿地的运行效果表明,该湿地系统能够有效改善受污染河道水网的水质,并可贮存原水,为水厂提供了缓冲. 同时,该湿地系统能够清新空气,并成为大量动植物物种的栖息地,具有多方面的生态服务功能.

责任作者简介: 尹澄清 (1945—),中国科学院生态环境研究中心研究员,博士生导师. 美国纽约州立大学博士 (1985年). 长期从事面源污染控制和湿地恢复及生态型水源地的构建技术研究. 1995年获得琵琶湖国际生态学奖,是国家级有突出贡献专家. 在国内外发表研究论文 170余篇,专著多部.

参考文献 (References):

董哲仁, 刘蒨, 曾向辉. 2002 受污染水体的生物-生态修复技术 [J]. 水利水电技术, 33(2): 1—4

Dong Z R, Liu Q, Zeng X H. 2002 The bio and eco-restoration technologies for polluted waters [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 33(2): 1—4(in Chinese)

Fennessy M S, Cronk J K. 1997 The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate[J]. Critical Review in Environmental Science and Technology, 27: 285—317

Fisher J, Acreman M C. 2004 Wetland nutrient removal: a review of the evidence[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 8(4): 673—685

古滨河. 2005. 美国 Apopka湖的富营养化及其生态恢复 [J]. 湖泊科学, 17(1): 1—8

Gu B H. 2005. The eutrophication and restoration of Apopka Lake of U. S. [J]. Lake Science, 17(1): 1—8(in Chinese)

USEPA. 1999 Protecting Drinking Water Sources[R]. EPA 810-F-99-015 Washington D C: USEPA

Verhoeven J T A, Arheimer B, Yin C Q, *et al* 2006. Regional and global concerns over wetlands and water quality[J]. TRENDS in Ecology and Evolution, 21(2): 96—103

Wang W D, Wang D L, Yin C Q. 2002. A field study on the hydrochemistry of land/Inland water ecotones with reed domination [J]. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 30(2-3): 117—127

Yin C Q, Lan Z W. 1995 The nutrient retention by ecotone wetlands and their modification for Baiyangdian Lake Restoration[J]. Water Science and Technology, 32(3): 159—167

郑天柱, 倪深海, 熊远明, 等. 2001. 城市水源污染的预防和生态治理综述[J]. 水资源保护, (4): 16—19

Zheng T Z, Ni T H, Xiong Y M, *et al*. 2001. The prevent and eco-treatment of source water pollution for urban areas: a review [J]. Water Resource Protection, (4): 16—19(in Chinese)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net