

技术总结

浙江太湖河网地区饮用水安全保障技术集成与示范

张燕¹, 张富标², 查人光², 朱海涛², 叶萍², 张荣斌², 陈庆华²,
王为东³, 柳景青¹, 刘宏远⁴, 张硕⁵

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058; 2. 嘉兴市水务投资集团有限公司, 浙江 嘉兴 314000; 3. 中国科学院 生态环境研究中心, 北京 100085; 4. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 5. 上海市市政工程设计研究总院 <集团> 有限公司, 上海 200092)

摘要: 针对水源水质受氨氮和有机物污染严重, 冬季低温条件下生物除氨氮效率下降, 以及城乡统筹供水系统乡镇末端管网的水质未能稳定达标等问题, 开展了水源水质改善、提高水处理工艺适应性和高效性、完善输配水系统等从源头到龙头的集成技术体系研究, 将贯泾港湿地(水源)、贯泾港水厂(水处理)、贯泾港水厂供水区管网系统(管网)三者有机地结合, 并进行系统的示范, 解决了全国污染最严重的河网水源水的饮用水水质安全, 实现了示范区 60 万人口的龙头水水质达标。

关键词: 河网; 水源水; 氨氮; 有机物; 组合处理技术; 示范工程

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)07-0042-04

Technologies and Demonstrations of Drinking Water Safety in River Network Region

ZHANG Yan¹, ZHANG Fu-biao², ZHA Ren-guang², ZHU Hai-tao², YE Ping²,
ZHANG Rong-bin², CHEN Qing-hua², WANG Wei-dong³, LIU Jing-qing¹,
LIU Hong-yuan⁴, ZHANG Shuo⁵

(1. College of Civil Engineering & Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Jiaxing Water Investment Group Co. Ltd., Jiaxing 314000, China; 3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 4. College of Civil Engineering & Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 5. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: In Jiaxing plain river network, the source water has been severely polluted by ammonia and organic pollutants, and the removal efficiency of ammonia nitrogen decreases under low temperatures in winter, in addition, in urban and rural integrated water supply system the water quality at rural dead-ends fails to meet the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). Research was carried out on integrated technologies to improve source water quality, to enhance water treatment process adaptability and efficiency, and to perfect water quality in water distribution system. Three demonstration projects

were developed at the source water wetland, the water treatment plant, and the water distribution systems at Guanjiangang. The results demonstrated that the drinking water quality of pipe network in demonstration area had reached GB 5749 – 2006. Therefore, the drinking water safety was ensured in the river network region where water resources were seriously polluted.

Key words: river network; source water; ammonia nitrogen; organic matter; combined treatment process; demonstration project

1 嘉兴水源水质及存在问题

嘉兴平原河网地区水系发达,但是地势平坦,水流缓慢,水体水质污染严重,其主要污染物为有机物和氨氮。虽然“十一五”期间建成了国内最大、技术领先的水源净化湿地(石臼漾湿地),湿地出水主要水质指标可以提高一个级别,但是对有机物、氮、磷的去除率仍亟待提高,尤其是低温期对氨氮的去除率较低(春季、夏季、秋季、冬季对氨氮的去除率分别为31.2%、61.9%、45.1%、11.9%)^[1],湿地出水水质仍然没有达到国家饮用水源Ⅲ类水质标准要求。

同时,通过预处理、常规处理、臭氧-生物活性炭等现有工艺处理后,水厂出水水质基本能够符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),但现有水处理工艺仍然存在预处理池积泥、填料堵塞、水生生物滋生等问题^[2];冬季低温期由于面临着氨氮浓度上升(如图1所示)而生物活性下降等双重压力,嘉兴饮用水深度处理工艺无法保证出厂水氨氮浓度稳定达标。

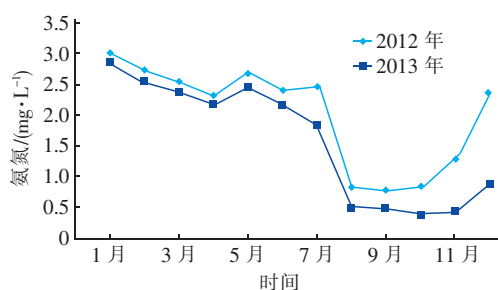


图1 水源水质

Fig. 1 Source water quality

另一方面,嘉兴市城乡一体供水覆盖水平已经达到全国前列,但城乡统筹一体化供水系统尚不完善,乡镇末端管网的水质稳定达标问题依然突出。因此,课题组在“十二五”期间重点研究了冬季低温条件下生物除氨氮效率下降以及城乡统筹供水系统乡镇末端管网水质未能稳定达标等问题,从改善水

源水质、提高水处理工艺技术适应性和高效性、完善输配水系统等多方面入手,进一步完善污染源水生物-生态修复技术,构建互补性强、协同性好的多级屏障污染河网原水安全处理的集成技术体系,建立城乡统筹模式下集约化供水管网水质保障技术体系。通过系统示范,实现示范区60万人口的龙头水水质达标。

2 湿地冬季氨氮强化去除技术

在研究揭示湿地植物床-沟壕系统对氨氮的净化机理的基础上,提出了强化“高效反应区”(净化微生物最多、活性最强的区域)为主的湿地冬季氨氮强化去除技术。强化“高效反应区”的反应活性,使水陆交错带的功能和边缘效应最大化;通过合理水力调控、局部强化曝气、分步进水、强化物理介质等工艺,进一步强化水陆交错带的边缘过滤效应,从而提高对氨氮的去除率。

依托该技术,建成了嘉兴市贯泾港饮用水源湿地生态净化系统示范工程,其占地面积约147 hm²,处理水量为15 × 10⁴ m³/d。提出了贯泾港湿地的提升改进技术并进行了应用,主要包括以下几个方面:①对植物床-沟壕系统结构形态的优化改进。植物床的宽床改窄床,由直形变为弯形,如图2所示。植物床间小沟形态实现蜿蜒曲折化,增加了植物床-沟壕水陆交错带的边界长度,增强了水陆交错带的边缘效应,提高了对氨氮的去除效果。②湿地水力调控的优化改进。提水泵站由系统的中段移至前端,强化系统的跌水充氧和水力调控效率;并增设节制阀,大沟的砾石床卡口改成卡口闸,更加有效地调控植物床-沟壕系统中的水流分配比例,促使更多水流经过根孔植物床,强化水陆交错带的边缘过滤效应。③过滤介质的强化技术。植物床中根孔介质层优化、深度净化区边缘增设砾石床、溢流堰底部增加卵石铺垫,溢流堰处和过渡河段增设石笼,强化曝气增氧能力和生物膜净化功能,提高生物接触氧化功能。湿地冬季氨氮强化去除技术在嘉兴贯泾港水

源湿地生态工程中进行了示范,实现了贯泾港示范湿地对氨氮、有机物的去除率较同期石臼漾湿地分别提高了15%和18%。

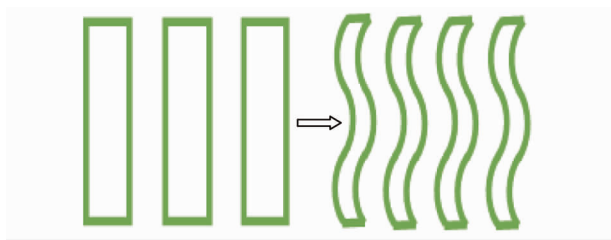


图2 植物床形态优化示意

Fig. 2 Optimization of plant bed morphology

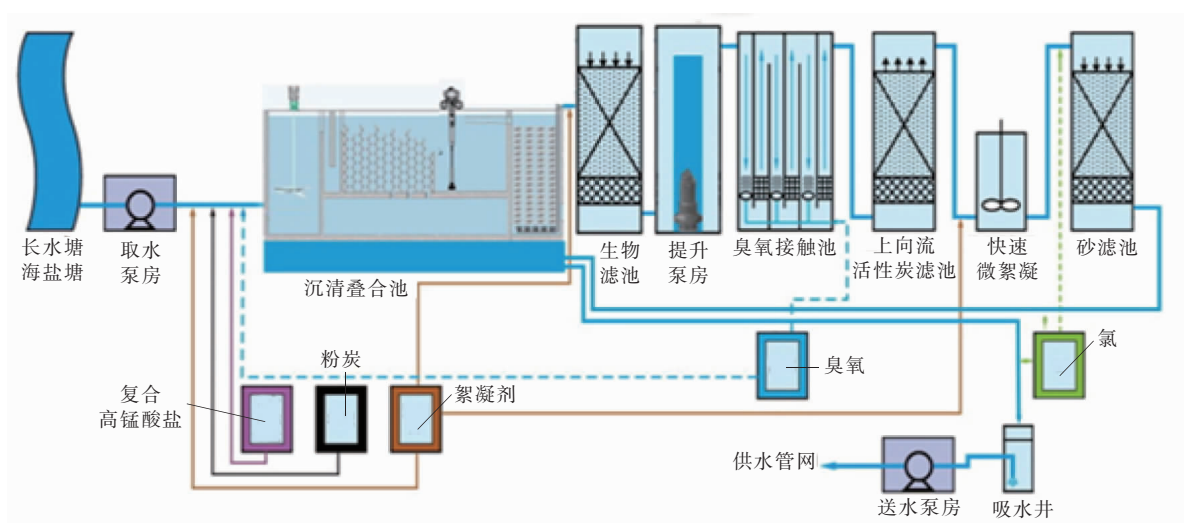


图3 两级过滤和臭氧-生物活性炭结合的新型组合工艺

Fig. 3 Novel combined process of two-stage filtration and ozone-biological activated carbon

针对嘉兴河网水源水受氨氮和有机物污染严重、冬季低温条件下生物除氨氮效率下降、冬季出水氨氮不能稳定达标的难题,提出了河网水源水氨氮多级屏障处理技术。示范工程采用了以接触氧化/生物滤池/生物活性炭/砂滤池为核心的全新组合技术,形成多种载体的生物处理单元组合,提高对氨氮和有机物的去除率。

冬季低温期多级屏障除氨氮技术在嘉兴贯泾港水厂二期进行了示范,建成了针对污染河网水源水的安全处理集成技术示范工程,处理水量为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用了预氧化/机械反应/折板絮凝平流沉淀/接触氧化区-生物滤池/臭氧-生物活性炭/砂滤池工艺流程。实现了同期低温下示范二期工艺生物滤池对氨氮的平均去除率在70%左右,即使原水氨氮浓度高达 2.5 mg/L ,示范工程最终出水氨氮浓度仍能稳定达标(如图4所示)。

3 多级屏障除氨氮技术

针对冬季低温条件下生物除氨氮效率下降的问题,在探明低温下生物除氨氮原理的基础上,提出了生物处理置于常规处理工艺后的两级过滤和臭氧-生物活性炭新型组合工艺(如图3所示),研发了多载体生物除氨氮技术、适宜低温期硝化菌种生长的滤料的筛选技术以及生物滤池的优化运行,首次提出了水温、水质协同预警水源主动切换技术,通过水源的主动切换,强化培养硝化细菌,提高生物滤池抗低温氨氮冲击负荷能力,提高低温期对氨氮的去除效能。

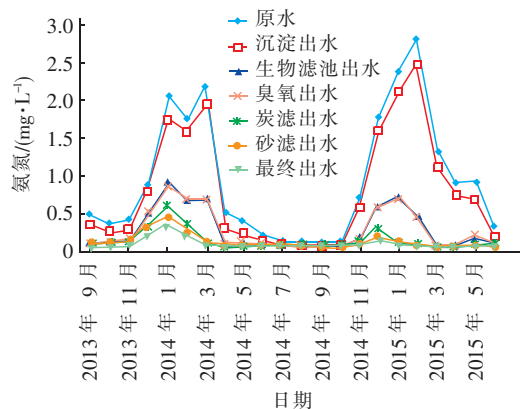


图4 集成技术示范工程对氨氮的去除效果

Fig. 4 Removal of ammonia nitrogen of demonstration project

4 城乡统筹供水管网水质安全保障技术

针对城乡统筹供水管网系统末端用户龙头出水水质不能够稳定达标的问题,开发了基于远传控制

的管网局部水质控制技术(基于水质安全保障的末端管道自控放水技术、管网二次消毒控制技术),设计并开发了管道末端滞留区水体自动排放控制装置和基于成品次氯酸钠在线二次投加系统。同时,研发城乡统筹供水系统综合运行管理平台构建技术,建成了能够实时动态监控供水系统全局状态,能够实现复杂供水系统在线优化调度决策和在线应急决策支持,并且具备初步的预警和系统诊断功能的城乡统筹供水系统运行管理软件综合平台,见图5。

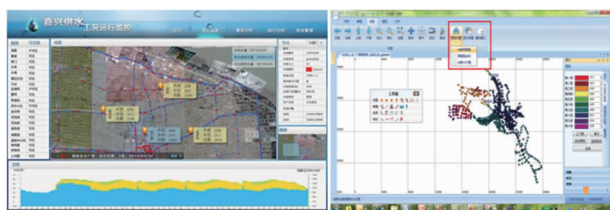


图5 嘉兴市城乡统筹供水系统运行管理平台

Fig.5 Management platform of urban and rural integrated water supply system of Jiaxing City

嘉兴市城乡统筹供水系统运行管理平台示范工程的依托工程是嘉兴市区城乡一体供水管网完善工程,由嘉兴市乡镇供水管网改造工程和嘉兴市城乡一体化二期工程组成。其关键技术包括基于水质安全保障的末端管道自控放水技术、二次加氯系统建设运行优化技术、城乡统筹供水管网改造优化设计技术、城乡统筹供水系统综合运行管理平台构建技术等,通过分区压力管理设施点、压力监测点、流量监测点、二次加压泵站、二次加氯设施点、管道末端自动反冲洗控制点、综合软件平台等的建设,保证了示范区水质明显改善,第三方检测结果表明,管网龙头水水质达标率在95%以上。

5 结论

嘉兴平原河网地区水系发达,但地势平坦,水流缓慢,水体水质污染严重,其主要污染物为有机物和氨氮。虽然“十一五”期间建成了国内最大、技术领

先的水源净化湿地(石臼漾湿地),湿地出水主要水质指标可提高一个级别,但对有机物、氮、磷的去除率仍亟待提高,尤其是低温期氨氮去除率较低。针对这些问题,开展了水源水质改善、提高水处理工艺适应性和高效性、完善输配水系统等从源头到龙头的集成技术体系研究,将贯泾港湿地(水源)、贯泾港水厂(水处理)、贯泾港水厂供水区管网系统(管网)三者有机地结合,并进行系统的示范,解决了全国污染最严重的河网水源水的饮用水水质安全,实现了示范区60万人口的龙头水水质达标。

参考文献:

- [1] 陈庆华,俞新峰,王为东. 石臼漾水源生态湿地工程的水质改善效果[J]. 中国给水排水,2013,29(1):43-48.
- [2] 刘宏远,邢岚英,朱海涛,等. 污染饮用水源预处理技术及其节能运行研究[J]. 中国给水排水,2016,32(13):46-50.



作者简介:张燕(1971-),女,浙江杭州人,博士,教授,研究方向为饮用水安全保障技术。

E-mail: zhangyan@zju.edu.cn

收稿日期:2017-01-13