

述评与讨论

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.002

嘉兴饮用水处理技术的发展与回顾

徐 飏¹, 孙海平¹, 张 刚¹, 陈庆华¹, 刘宏远², 朱海涛¹

(1. 嘉兴市水务投资集团有限公司, 浙江 嘉兴 314000; 2. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘 要: 嘉兴市地处杭嘉湖平原, 饮用水水源为地表河网水, 历史上受到严重的污染。回顾了近 40 年来, 随着水源水质的变化和饮用水标准的不断提高, 嘉兴饮用水处理技术的应对措施和发展历程, 总结了从常规处理工艺到生物预处理工艺、深度处理工艺以及水源湿地技术的发展必要性和特点, 尤其是根据科学原理, 以工程技术措施系统解决冬季低温期除氨氮的难题, 为饮用水厂的建设发展提供了一个技术思路。

关键词: 饮用水处理; 常规处理; 生物预处理; 深度处理

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0007-05

Development and Review of Drinking Water Treatment Technology in Jiaxing

XU Biao¹, SUN Hai-ping¹, ZHANG Gang¹, CHEN Qing-hua¹, LIU Hong-yuan²,
ZHU Hai-tao¹

(1. Jiaxing Water Investment Group Co. Ltd., Jiaxing 314000, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Jiaxing City is located in the Hangjiahu Plain. The source of drinking water is the surface river network water, which has suffered severe pollution in history. This paper reviews the solutions and development of drinking water treatment technology in Jiaxing City in the past 40 years with the changes in water quality and continuous improvement of drinking water standards, and summarizes the development necessity and characteristics from the conventional treatment technology to biological pretreatment technology, advanced treatment technology and water source wetland treatment technology. In particular, according to scientific principles, engineering and technical measures have been used to systematically solve the difficulty of removing ammonia nitrogen in the low temperature period in winter, which could provide a technical method for the construction and development of drinking water plants.

Key words: drinking water treatment; conventional treatment; biological pretreatment; advanced treatment

嘉兴地处浙江省东北部, 地势平坦、河网纵横属于杭嘉湖平原腹心地带。20 世纪 80 年代初, 嘉兴

局部地表水尚可作为饮用水水源, 但随着工农业的快速发展和人口的聚集, 使得水源遭受较为严重的

污染,水源水质下降至Ⅳ、Ⅴ类,甚至出现劣Ⅴ类的情况。水环境状况的恶化,使得饮用水源矛盾日益突出,严重制约了嘉兴的经济发展。近年来,水源湿地的应用以及“五水共治”的深入推进,使嘉兴的水环境得到了根本改善,但如何将受污染原水处理成为符合标准的饮用水,一直是嘉兴供水人研究和奋斗的目标。

1 嘉兴饮用水处理技术的发展历程

嘉兴供水人一直面对水源污染的现实问题和供水水质标准越来越严格的双重要求,饮用水处理技术经历了不断的发展和优化。根据其处理工艺的发展,可分为常规处理阶段、生物预处理+强化常规处理阶段、生物预处理+强化常规处理+深度处理阶段和技术提升优化阶段。

① 常规处理阶段^[1]

为了保障嘉兴市居民饮用水安全,20世纪80年代末90年代初建立了石臼漾水厂。水源水取自嘉兴市当时水质最好的新塍塘,设计供水能力为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两期建设,一期工程设计能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,建成于1992年,净水处理工艺流程如图1所示。

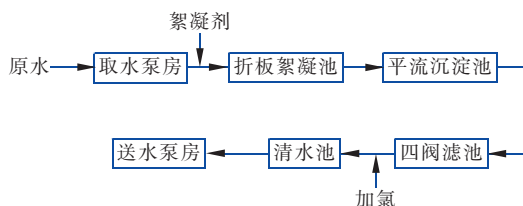


图1 常规处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of conventional treatment process

该净水工艺即传统意义的常规处理工艺,主要是去除原水中的悬浮物、胶体物质和部分大分子有机物,并杀灭水中绝大部分细菌和病毒,以保证饮用水的安全性。出厂水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)要求。

② 生物预处理^[2]+强化常规处理^[3]阶段

随着嘉兴经济的快速发展,地表水污染问题日益突出。水源水水质指标如 NH_3-N 、溶解性有机物等已劣于Ⅲ类水体,常规净水处理工艺又难以有效去除 NH_3-N 以及溶解性有机污染物,影响出厂水水质。为了适应水环境形势发展和城市发展需求,石臼漾水厂于1995年开始二期扩建工程,采用弹性立体填料生物预处理技术,建成国内首个饮用

水厂生物接触氧化预处理池;同时将四阀滤池改造为气水反冲均质滤料滤池,采取投加高锰酸盐复合药剂等强化常规处理措施,并于1996年6月投入生产。生物预处理+强化常规处理工艺流程如图2所示。

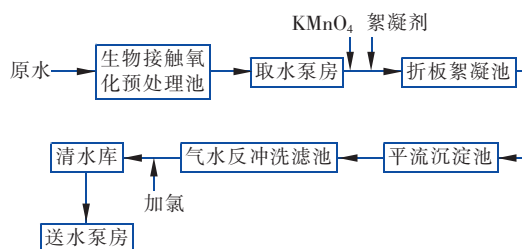


图2 生物预处理+强化常规处理工艺

Fig. 2 Flow chart of biological pretreatment + enhanced conventional treatment process

该工艺在传统工艺功能的基础上,增加了处理 NH_3-N 以及部分溶解性有机物的功能。其中生物接触氧化池主要利用弹性立体填料上生长的微生物的氧化分解及转化功能,以水中有机物(少数以无机物)作为微生物的营养,通过其新陈代谢作用,对水中的有机物、 NH_3-N 等污染物进行初步去除降解,减轻后续处理单元负荷。同时处理工艺中采用投加高锰酸盐复合药剂强化常规处理方法的措施,不仅强化了混凝效果,也有利于有机污染物的去除。滤池中的滤料也改为均质滤料,截污性能明显提升,同时延长了过滤周期,提高了产水量,经济效益明显。出厂水水质达到了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)。

③ 生物预处理+强化常规处理+深度处理阶段

由于嘉兴水环境的持续恶化,使得地表水污染严重。水体水质急剧下降,常年为Ⅳ~Ⅴ类,枯水期甚至劣于Ⅴ类。嘉兴市供水水源多为平原河网过境水,原水中氨氮和有机物含量较高,是典型的污染水源水,若继续沿用原有净水工艺,将导致水厂出水 COD_{Mn} 和氨氮等指标超标。因此,必须全面提升处理工艺技术。

2003年9月,石臼漾水厂通过技术提升,实现了臭氧和活性炭(O_3-BAC)深度处理工艺作为最终保障手段的多级屏障的饮用水处理技术。至此,嘉兴饮用水处理技术已经形成生物预处理+强化常规处理+深度处理^[4]工艺的多级屏障处理技术。这一技术体系在2004年石臼漾水厂现场研讨会上

被与会专家总结为“嘉兴模式”。该技术具体工艺流程如图 3 所示。

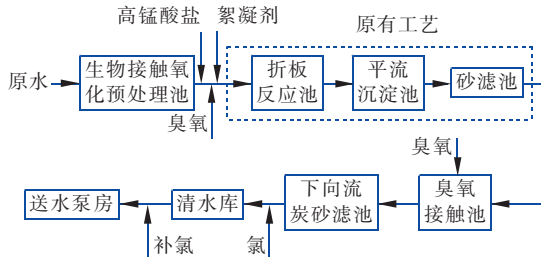


图 3 生物预处理 + 强化常规处理 + 深度处理工艺流程

Fig. 3 Flow chart of biological pretreatment + enhanced conventional treatment + advanced treatment process

该工艺采用 $O_3 - BAC$ 深度工艺,侧重于去除常规工艺难以去除的溶解性小分子有机物,以降低出厂水的 COD_{Mn} 。改造后的水厂出水水质符合卫生部 2001 年颁布的《生活饮用水卫生规范》的要求。石臼漾水厂其后还进行了扩建,采用中置式高密度沉淀池替代传统平流沉淀池。至 2005 年 6 月,石臼漾水厂总规模达到 $25 \times 10^4 m^3/d$,出厂水水质达到《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)。这一阶段,活性炭池均采用下向流。

根据城市发展规划,嘉兴市贯泾港水厂开始投资建设。其中一期供水能力为 $15 \times 10^4 m^3/d$,沿用石臼漾水厂的工艺体系,以生物预处理 + 强化常规 + 深度处理为主要技术路线。具体工艺流程见图 4。

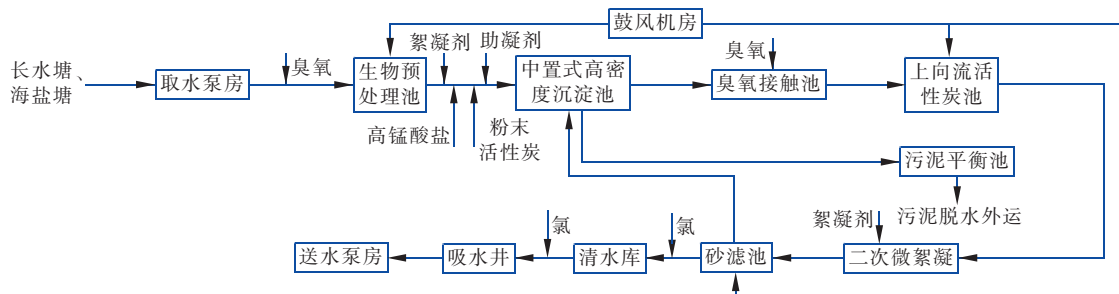


图 4 贯泾港水厂一期工艺流程

Fig. 4 Flow chart of phase I process in Guanjinggang waterworks

从贯泾港水厂一期工程开始,活性炭池转为上向流方式运行,更有利于有机物的去除,同时活性炭池的工作周期可延长至一个月以上;工程中还设置了粉末活性炭应急投加系统(石臼漾水厂同期也增设了粉末活性炭应急投加系统);砂滤池前增加了二次微絮凝工艺。但中置式高密度沉淀池在使用中存在循环污泥浓度低、工作负荷低等问题,在后续优化运行管理中进行了技术改造^[5]。

④ 技术提升优化阶段

2000 年以后,嘉兴市对全市域水环境采取了一系列的改善和保护措施,但是水源水质并未得到明显改善。与此同时水厂还要应对水质标准的提升:a.《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)较之前标准由 35 项增加至 106 项;b. 2008 年,浙江省城市水业协会颁布了《城市供水现代化水厂评价标准实施细则》(2008 年版);2013 年,该标准进一步提升为《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》(2013 版),其中浊度指标由国家标准的 1 NTU 提升为 0.1 NTU,其他 15 项指标也有不同程度的提高。这些标

准的实施直接促使嘉兴饮用水处理技术不断提升、更新和优化。2009 年 6 月,石臼漾水源湿地投入运行,极大地提升了石臼漾水厂水源水水质。

经过多年的优化运行和技术积累,同时借助国家重大水专项课题的研究机遇,贯泾港水厂二期工艺($15 \times 10^4 m^3/d$)进行了全面提升和系统设计,具体工艺详见图 5。

贯泾港水厂二期工艺也同时配建贯泾港水源湿地,该湿地的运行以及嘉兴市“五水共治”不断推进,使贯泾港水厂进水水质不断提升,常年维持在Ⅳ类标准,并有进一步改善的趋势。贯泾港水厂还将水源湿地纳入水厂工艺运行范围,设置了湿地水源和长水塘水源相互切换的双水源系统,并利用这一功能,实现了与传统意义上向水质较好水源切换不同的“双水源水温水质预警主动切换技术”。研究表明^[6],不同水温条件下,去除 $NH_3 - N$ 的亚硝化和硝化细菌种属不同;根据这一原理,在每年秋冬交替时节水温降至 $10^\circ C$ 左右时,贯泾港水厂主动将水源切换至 $NH_3 - N$ 浓度较高的水源,协助完成图 5 中生

物滤池与水温相适应的亚硝化和硝化细菌的培养,待菌种培养任务完成后,再将水源切换至 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度更低的水源,从系统上解决了长期困扰水厂的冬季低温期 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除问题。“双水源水温水质预警主动切换技术”正在申请专利。

二期工艺的另一个显著特点是取消了生物预处理技术(见图5),采取先除浊再除污染物的技术路线,避免了工程中常见的生物预处理池“夏季微生

物过度生长、冬季微生物活性急剧下降”的问题。后置的生物滤池除完成生物除氨氮作用外,出水浊度均在 1 NTU 以下,有效控制了水中的颗粒物浓度,减轻了后续 $\text{O}_3 - \text{BAC}$ 的负荷。工艺中,还采用了管理上更为成熟的平流沉淀池取代中置式高密度沉淀池;砂滤池采用二次微絮凝技术和滤池低强度反洗技术^[7]相结合,控制出水浊度和颗粒数,同时反冲洗节水可达 20%。

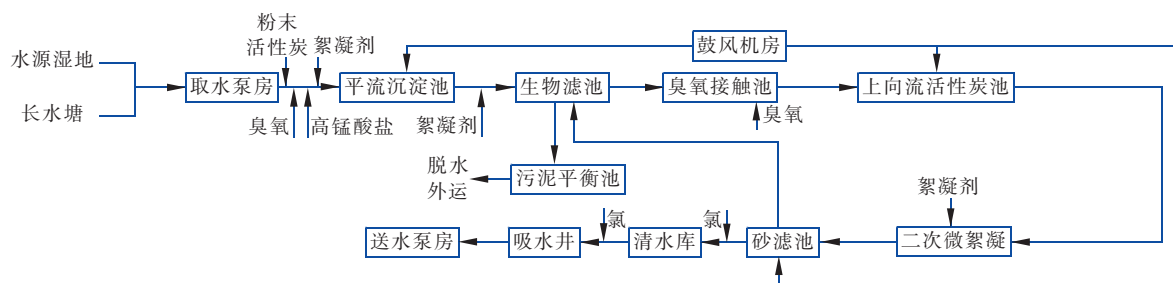


图5 贯泾港水厂二期工艺流程

Fig.5 Flow chart of phase II process in Guanjinggang waterworks

通过优化运行,贯泾港水厂出厂水水质不仅达到了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),还达到了更为严格的《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》(2013版);其中出厂水浊度 $< 0.1 \text{ NTU}$, $2 \mu\text{m}$ 以上的颗粒数 $< 30 \text{ 个/mL}$,有效控制了微生物风险,保障了城市供水水质的安全。

2 “嘉兴模式+”的讨论

贯泾港水厂二期工艺是多年工程经验和理论研究的成果,从流程图上看,工艺偏长,但从工艺内在的逻辑性分析可以看出其主要的技术思路。

① “先除浊再除氨氮”的技术思路,结合双水源的技术思路解决了冬季低温期除 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的技术难题。同时解决了生物预处理技术冬季微生物活性低及生物量少,而夏季微生物过度繁殖的问题。

② 采用二次微絮凝技术和滤池低强度反洗技术^[7],滤池反冲洗节水达 20%。

③ 采用传统有效的技术措施,例如平流沉淀池,使水厂运行更为稳定、易于管理。

④ 采用 $\text{O}_3 - \text{BAC}$ 深度处理工艺,尤其是上向流技术,提高了有机物的去除效果,同时将运行周期提高到一个月以上,降低了反冲洗能耗。

⑤ 贯泾港水厂的运行优化管理中,坚持“系统优化优先,单体构筑物优化服从系统”指导思想,从而使多级屏障的技术特点得到充分体现。

近几年的工作实践表明,嘉兴市在饮用水技术方面的不断创新和进取应对了水源水质变化和饮用水标准的提升,保证了城镇用水需求。“嘉兴模式”也由特色鲜明的技术体系转变成为“工程应用成熟技术成果+完善优化现有工艺体系+预研新技术”三同时的“嘉兴模式+”技术管理体系。“嘉兴模式+”的水处理技术和运行管理体系不仅仅是挖掘现有工艺潜力、应用研究成果提升完善现有工艺,更在其对未来技术的研究开放性,未雨绸缪跟踪和研发新型工程技术是“嘉兴模式+”不断前进的内涵。

3 关于水质提升的进一步思考

嘉兴市目前供水水质已经达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),但面对人民群众对水质不断提升的需求,嘉兴市水务投资集团有限公司计划在水源、处理工艺、管网等方面全面提升。

① 在水源方面,进行嘉兴市域外引水。2015年以来,嘉兴市积极谋划参与千岛湖引水工程,力图彻底解决水源问题,但由于引水水量有限,不能完全满足城镇所需水量;嘉兴市目前正在进行“太湖引水”的可行性论证。

② 在提升工艺方面,研究有针对性的水处理技术。嘉兴市供水水质进一步提升的限制性参数是高锰酸盐指数,目前已有的生物处理技术以及臭氧活性炭技术难以有效去除浓度已经较低的有机物;

贯泾港水厂正在国家重大水专项支持下进行低盐截留率的纳滤系统技术研究。

③ 在供水管网方面,研究实施“大分质”供水、多水源供水策略。工业企业与居民生活、居民公厕等对用水水质要求不同,考虑到居民家庭内部分质供水对管网改造所需的巨大费用以及潜在风险,嘉兴市水务投资集团正在论证“工业企业单独供水、居民优质供水”的“大分质”策略。面对多水源供水的必然形势,相关运行技术也在国家重大水专项支持下有序进行。

4 结语

嘉兴饮用水处理技术的发展是为了去除水源水中的特征污染物逐渐发展前进的,从单一的“除浊”目标到“除有机物、除氨氮”多目标的处理体系,从简单的物化技术到生物、物化和化学技术等多级屏障技术,保障了供水水质,这也是国内饮用水处理技术发展的一个缩影。“嘉兴模式+”更是从应对水质标准到主动提升水质的理念提升。

参考文献:

- [1] 蔡广强,张金松,刘丽君,等. 常规处理工艺对有机物及三氯乙醛生成潜能的去除[J]. 中国给水排水,2017,33(19):46-50,54.
CAI Guangqiang, ZHANG Jinsong, LIU Lijun, *et al.* Removal of organic matter and chloral hydrate formation potential by conventional treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(19):46-50, 54(in Chinese).
- [2] 刘宏远,陶娟娟,朱海涛,等. 反粒度生物滤池初滤水浊度控制研究[J]. 中国给水排水,2018,34(11):56-60.
LIU Hongyuan, TAO Juanjuan, ZHU Haitao, *et al.* Turbidity control in initial effluent of reverse grain biological filter[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(11):56-60(in Chinese).
- [3] 张定昌,邓志光,李国洪. 强化常规水处理工艺的设计应用案例分析[J]. 中国给水排水,2013,29(20):35-38.
ZHANG Dingchang, DENG Zhiguang, LI Guohong. Design and application of enhanced conventional water treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(20):35-38(in Chinese).
- [4] 俞洋,凌源,朴庸健,等. O_3 /BEAC工艺去除低温水中氨氮的中试研究[J]. 中国给水排水,2018,34(9):33-37.
YU Yang, LING Yuan, PIAO Yongjian, *et al.* Ammonia nitrogen removal of drinking water at low temperature by O_3 -BEAC process[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(9):33-37(in Chinese).
- [5] 朱海涛,周晓龙,刘宏远,等. 中置式高密度沉淀池的改造与优化运行[J]. 中国给水排水,2014,30(4):95-99.
ZHU Haitao, ZHOU Xiaolong, LIU Hongyuan, *et al.* Modification and optimization operation of intermediate high-density sedimentation tank[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(4):95-99(in Chinese).
- [6] LIU H Y, ZHU L Y, TIAN X H, *et al.* Seasonal variation of bacterial community in biological aerated filter for ammonia removal in drinking water treatment[J]. Water Research, 2017, 123:668-677.
- [7] LIU H Y, ZHA R G, ZHANG Y, *et al.* A new strategy for start-up and filter backwash for ultra-low turbidity water treatment[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2017, 26(4):2771-2777.

作者简介:徐颺(1968-),男,浙江嘉兴人,大学本科,高级经济师,嘉兴市水务投资集团有限公司副总经理,主要从事水厂管理工作。

E-mail:lhzyy@qq.com

收稿日期:2019-12-16

修回日期:2019-12-23

(编辑:丁彩娟)