

侯宝芹, 童佳佳, 邬梦缘, 等. 基于杭州亚运会重大赛事期间的城市水质提升与保障对策[J]. 净水技术, 2024, 43(3):76-80,186.

HOU B Q, TONG J J, WU M Y, et al. Based on urban water quality improvement and security countermeasures during major events of Hangzhou Asian Games[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):76-80,186.

## 基于杭州亚运会重大赛事期间的城市水质提升与保障对策

侯宝芹\*, 童佳佳, 邬梦缘, 宋丽利, 沈红叶, 戴颖

(杭州萧山供水有限公司, 浙江杭州 311203)

**摘要** 围绕亚运会水质保障提升,文中研究钱塘江原水在高藻、高 pH、咸潮等水质突发情况下的水质情况,分析电导率和氯化物的相关性。同时,采取实验室小试联合生产性试验,线上线下联动监测,从源头到龙头加强水质监测,提出高效可行的水质应急处置方案。结果表明:原水 pH 值 $\geq 7.8$ 时,采用 CO<sub>2</sub> 调节 pH 技术,可有效降低出水 pH 和铝含量;高锰酸钾联合深度水工艺除藻效果较好,藻类去除率达 99.6% 以上;电导率和氯化物有一定的正相关性,当原水电导率大于 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,可作为钱塘江咸潮的预警阈值。此外,采取内外联动、亚运保障点水质专项摸排、对标新国标、提标增项等措施,为第 19 届杭州亚运会的优质供水提供强有力的支持,也为其他地区重大赛事的水质保障提供实践参考。

**关键词** 杭州亚运会 咸潮 藻类 水质提升 保障措施

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)03-0076-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.009

## Based on Urban Water Quality Improvement and Security Countermeasures during Major Events of Hangzhou Asian Games

HOU Baoqin\*, TONG Jiajia, WU Mengyuan, SONG Lili, SHEN Hongye, DAI Ying

(Hangzhou Xiaoshan Water Supply Co., Ltd., Hangzhou 311203, China)

**Abstract** Focusing on the improvement of water quality guarantee during the Asian Games, this paper studied the water quality of raw water of Qiantang River in the event of water quality emergencies such as high algae, high pH and salty tide, analyzed the correlation between conductivity and chloride, adopted laboratory pilot co-production experiments, online and offline linkage monitoring, strengthened water quality monitoring from the source to the head, and proposed efficient and feasible water quality emergency disposal schemes. The results showed that when the pH value of raw water was  $\geq 7.8$ , the pH and aluminum content of effluent could be effectively reduced by using CO<sub>2</sub> to adjust pH. The algae removal efficiency of potassium permanganate combined with deep water were more than 99.6%. There was a positive correlation between the conductivity and chloride. When the conductivity of raw water was greater than 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , it could be used as the early warning threshold of salt tide in Qiantang River. At the same time, the internal and external linkage is taken to ensure the special water quality of the Asian Games, to bid for the new national standard, raise the standard and increase the item, to provide strong support for the quality water supply of the 19th Hangzhou Asian Games in 2022, and to provide practical reference for the water quality assurance of major events in other regions.

**Keywords** Hangzhou Asian Games salt tide algae water quality improvement safeguard measure

水是生命之源、生产之要、生态之基,随着人民生活水平的提高和水质标准的提升,人民群众对饮用水水质越来越关注,要求也越来越高。今年是亚

运会保障年,杭州萧山作为亚运主阵地,涉及亚运会重大赛场、文体中心、酒店、医院共计 32 个,提升水质护杭亚运盛会,是萧山供水的主要使命担当。杭州萧山水源目前有两个,分别为钱塘江、富春江、浦阳江的三江交汇处(三江口),以及富春江取水口,备用水源为湘湖。但是,近年来原水突发事件频发,高 pH、咸潮、藻类对水厂生产运行造成一定压力,如

[收稿日期] 2023-06-27

[通信作者] 侯宝芹(1986—),女,硕士,高级工程师,主要从事水质监测管理及自来水净水效果的研究工作,E-mail: hbq0523@126.com。

何保障亚运重大赛事的供水安全已迫在眉睫。本课程主要针对钱塘江原水凸显问题,如高 pH、高藻、咸潮等,通过实验室小试结合生产性试验,提供切合生产实际的应急处置措施。同时,提高原水突发情况预警及处置能力,瞄准龙头水水质达标,展开水质监测网<sup>[1]</sup>。通过全过程的水质监测预警、线上线下联合三级监测模式等管理措施,加强原水、出厂水、管网水及二次供水的水质监测,严把水质关,提升亚运会期间饮用水安全保障能力和饮用水品质。

## 1 水质提升目标及现状

### 1.1 杭州亚运会期间的水质提升目标

(1) 针对原水高 pH、高藻、咸潮等凸显问题,优化水厂内部应急净水药剂,如 CO<sub>2</sub> 调节原水 pH 技术、酸化聚合氯化铝(PAC)投加工艺等<sup>[2]</sup>。开展水厂生产性试验,提出原水突发情况时的应急处置方案,保障原水突发情况下的出厂水水质。

(2) 瞄准亚运会场馆龙头水水质,开展从龙头到源头的水质监测网。加强水厂智慧化管理,自动化水处理工艺控制,强化水厂、管网运营管理能力,制定高效可行的亚运水质保障方案,确保亚运会期间供水安全优质。

(3) 对标新国标,开发土臭素、2-甲基异茨醇(2-MIB)等臭味物质监测方法,提升实验室监测能力和水平。针对萧山原水藻嗅水质特征,提出异味处置保障方案,降低居民异味投诉率。

### 1.2 目前水厂的处理工艺流程

目前,萧山水厂中的 A 水厂采用常规水处理工艺流程,其余 3 座水厂均采用臭氧-生物活性炭深度处理工艺流程,工艺流程如图 1~图 2 所示。

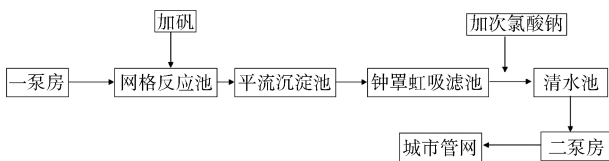


图 1 常规水处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Conventional Water Treatment

## 2 水质提升保障措施

### 2.1 采取调节原水 pH,保障出厂水质

当三江口原水受藻类、高温天气等影响时,pH 会随着季节有较大幅度的波动。当 pH 较高时,混凝效果将受到影响,同时造成出厂铝偏高<sup>[3]</sup>。针对高 pH 问题,在萧山两座水厂采用调节原水 pH 的应

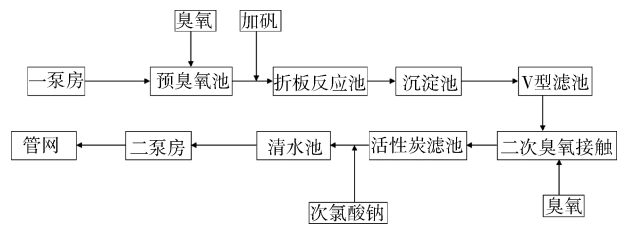


图 2 臭氧-生物活性炭深度处理工艺流程

Fig. 2 Process Flow of Ozone Biological Activated Carbon Advanced Treatment

急措施,其中 A 水厂采用的是常规工艺,在厂内采取 CO<sub>2</sub> 投加装置调节进厂原水 pH,同时强化混凝<sup>[4]</sup>。研究结论如下。(1) CO<sub>2</sub> 注入水产生碳酸是一种环保型酸化剂,调节出水 pH 可操控性强。当连续 4 h(两次人工检测)进厂原水 pH 值  $\geq 7.8$  时,应立即启动 CO<sub>2</sub> 投加设备。高温或高藻期应连续投加,且出厂水不受原水 pH 的波动影响,能够稳定、有效控制水中 pH。(2) CO<sub>2</sub> 调节 pH 控铝的方式,从满足优质供水要求、投加曲线、人工经济成本等综合考虑,相对安全、可靠、效果显著。沉后水目标 pH 值设定为 7.4 较合理,出厂铝质量浓度可控制在 0.1 mg/L 以内,远低于国标限值(0.2 mg/L),保障出水水质安全优质。(3) 从经济性分析,CO<sub>2</sub> 调节酸碱在保证出水浑浊度的情况下,可明显降低水厂混凝剂的投加量,同时也减少了污泥的产生量,降低了制水成本,半年可减少成本 30 万元。

B 水厂采用臭氧-生物活性炭深度处理工艺,采取酸化 PAC 投加工艺,通过人为降低 PAC 的 pH,实现厂内降低原水 pH,解决出厂铝偏高的问题。小试试验采取 4 种不同的絮凝剂,分别为 pH 值为 3.46 的硫酸铝(1号)、pH 值为 2.30 的 PAC(2号)、pH 值为 2.86 的 PAC(3号)、pH 值为 4.20 的 PAC(4号)进行小试试验,小试结果如表 1~表 2 所示。

表 1 试验原水水质

Tab. 1 Raw Water Quality of Test

检测指标	检测结果
浑浊度/NTU	6.73
pH 值	8.57
色度/度	15
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.121
铝/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.211

表 2 不同种类絮凝剂的混凝试验结果

Tab. 2 Coagulation Experiment Results of Different Kinds of Flocculants

水质指标		投加量				
		20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L	100 mg/L
浑浊度/NTU	1号	6.09	2.52	1.34	1.68	0.988
	2号	2.18	0.736	0.437	0.574	1.11
	3号	2.61	0.87	0.73	0.62	0.95
	4号	3.81	3.10	1.33	0.74	0.57
pH值	1号	7.70	7.26	6.93	6.76	6.48
	2号	7.29	6.98	6.73	6.45	6.16
	3号	7.28	6.99	6.72	6.47	6.21
	4号	8.04	7.85	7.53	7.34	7.08
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	1号	0.067	0.211	0.007	<0.005	<0.005
	2号	0.039	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	3号	0.046	0.011	0.006	<0.005	<0.005
	4号	0.070	0.034	0.008	0.005	0.006
铝/(mg·L <sup>-1</sup> )	1号	0.562	0.350	0.262	0.284	0.322
	2号	0.428	0.164	0.185	0.447	0.393
	3号	0.276	0.224	0.167	0.355	0.458
	4号	0.487	0.408	0.244	0.203	0.269

综上,pH值为2.3的PAC,混凝效果相对较好,当投加量为40 mg/L时,浑浊度由6.73 NTU降低为0.736 NTU,pH值由8.57降低为6.98,沉后水铝质量浓度降低至0.164 mg/L,整体混凝、降pH控铝的效果相比硫酸铝及其他PAC效果较好。

在萧山水源地采取水质水量监测预警系统,针对高藻期产生的异味问题,开展高锰酸钾、活性炭等

多重应急投加措施,保障进厂原水水质稳定达到地表水Ⅱ~Ⅲ类水标准。2022年9月高藻期间,藻类数量为 $1.0 \times 10^6 \sim 2.88 \times 10^7$ 个/L,均值为 $8.22 \times 10^6$ 个/L,优势藻类为蓝藻,属于中富营养至富营养状态。复旦大学曾经研究了藻类和蓝藻及藻毒素浓度间的关系,提出了建立饮用水水源和饮用水中藻类和蓝藻的限值,其研究推荐值如表3所示。

表 3 饮用水源及饮用水中藻细胞的限制

Tab. 3 Limitation of Algal Cells in Raw Water and Drinking Water

水质指标	生活饮用水源		生活饮用水自来水 (藻细胞)/(个·L <sup>-1</sup> )	备注
	藻细胞/(个·L <sup>-1</sup> )	蓝藻/(个·L <sup>-1</sup> )		
安全限制	$2.0 \times 10^4$	$8.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$	长期以含有少量藻的水为饮用水不会对肝脏产生影响的限值
警戒限制	$4.2 \times 10^5$	$2.4 \times 10^5$	$2.1 \times 10^4$	避免饮用水中长期存在低量藻毒素可能产生潜在风险的限值
危险限制	$2.4 \times 10^6$	$5.0 \times 10^5$	$1.2 \times 10^6$	避免饮用水水源中较大量藻细胞释放的毒素产生毒性的限值

由表4可知,水源为三江口原水,头部投加高锰酸钾质量浓度为0.2 mg/L,活性炭为15 mg/L。常规工艺前后加氯量互调,前加氯适当增加为3 mg/L,后加氯为1 mg/L,深度水工艺前加氯为2 mg/L,沉后水余氯控制在0.1 mg/L。深度水工艺

前后臭氧投加量为0.6~1.0 mg/L,PAC投加量为15~20 mg/L,常规工艺水厂藻类去除率为97.3%~98%,深度水工艺水厂藻类去除率为99.6%~100%,如图3所示。

表 4 藻类去除小试试验

Tab. 4 Bench-Scale Test of Algae Removal

水源	高锰酸钾/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	粉末活性炭	次氯酸钠	前臭氧/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	PAC/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	藻类去除率
三江口	0.2	梯度加至 15 $\text{mg}/\text{L}$	常规工艺水厂前加氯为 3 $\text{mg}/\text{L}$ , 后加氯为 1 $\text{mg}/\text{L}$ ; 深度水工艺前加氯 2 $\text{mg}/\text{L}$ , 沉后 水余氯控制在 0.1 $\text{mg}/\text{L}$ 以内	1.0	15~20	97.3%~98%
富春江	0.2	/	深度水工艺沉后水余氯 0.1 $\text{mg}/\text{L}$	0.6	15~20	99.6%~100%

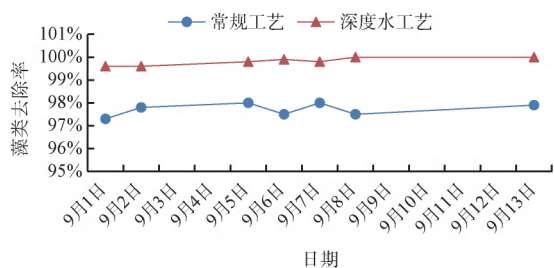


图 3 藻类去除效果趋势

Fig. 3 Trend of Algae Removal Effect

## 2.2 提高原水咸潮预警应对能力

2022 年钱塘江干旱少雨, 各类用水量偏高, 钱塘江上游下泄水量减少, 顶潮拒咸能力减弱。遇上农历初一、十五, 特别是农历十八大潮的时候, 受天文大潮影响, 咸潮上溯至自来水取水口, 应积极采取以下措施减少咸潮的影响。

(1) 萧山供水目前采用双水源供水, 以“钱塘江直供水为主, 湘湖蓄供为辅”双水源供应模式, 针对抗咸新形势, 制定专项应急预案。

(2) 分析电导率与氯化物的相关性, 加密检测三江口、富春江头部、湘湖原水氯化物特征水质, 分析潮汛、原水氯化物、电导率的趋势(图 4), 动态掌握咸潮影响, 提出原水咸潮预警措施。



图 4 电导率和氯化物变化趋势

Fig. 4 Variation Trend in Conductivity and Chloride

当水中电导率值大部分或全部是由氯化物引起时, 如海水倒灌、咸潮引起的大部分离子是氯化物,

电导率可以作为预警。从咸潮电导率统计图 4 可知, 电导率和氯化物之间有一定的对应关系, 电导率为 500~800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 氯化物质量浓度为 100~200  $\text{mg}/\text{L}$ ; 电导率约为 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 氯化物质量浓度约为 250  $\text{mg}/\text{L}$ ; 电导率约为 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 氯化物质量浓度约为 500  $\text{mg}/\text{L}$ ; 钱塘江原水一般电导率在 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下, 超过 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  需加密关注氯化物, 超 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  可以作为预警。氯化物每 1 h 监测一次, 电导率为 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时, 氯化物可能超标, 根据电导率和氯化物的对应关系, 可以很好地预警咸潮, 有效降低咸潮的影响。

(3) 加强与上级主管部门如区环保疾控、上游水司的联动, 分析钱塘江闻家堰段潮汛可能的影响趋势; 联合杭州水务采取增大上游泄洪量, 萧山供水采取错峰减量、错峰抢水、启用湘湖备用水源等调度措施, 提高原水咸潮预警应对能力。

## 2.3 多措并举重点保障亚运水质安全

(1) 内外联动、一点一方案、全面摸排, 保障亚运水质: 确定亚运会场馆和保障宾馆共计 32 个, 主动对接亚运场馆和保障宾馆, 现场踩点并对浑浊度、余氯进行现场监测。制定周密的亚运水质保障方案, 设置采样组、检测组、应急组、后勤组, 不同战线, 同一目标, 多措并举, 全力推进亚运水质保障工作有序开展。

(2) 加强内部管控, 全流程多方位, 保障龙头水质优质: 萧山各水厂加强对水源、过程水及出厂水的监控, 取水泵站化验室、厂级化验室、水质科构成水质三级检测, 同时采用人工采样定期检测与在线仪表实时监测相结合的水质取样检测制度。在亚运会前严格做到动作标准到位, 在亚运会关键时期增加人工采样点, 增加检测项目和检测频率。加强管网水质监测, 每天开园前巡视每个水质取样点和在线检测点, 并取样分析, 做到“定时”“定人”“定车”“定点”, 加强内部质控及监督, 保障水质指标精准



可靠。

(3)对标饮用水新国标,提标增项,提升萧山居民饮水满意度;对照新国标,开发土臭氧、2-MIB、乙草胺等新增指标水质指标的检测能力,有序推进实验室资质认定工作。完善管网末梢水质保障工作,及时处理用水水质投诉,预防为主防治结合,减少异味投诉,确保用户龙头水水质安全。

#### 2.4 保障措施前后水质提升情况

采用亚运保障措施后,出厂水水质得到有效提升,通过比较改进前后数据(2022年及2023年1月—8月数据),可以看出,改进前出厂水浑浊度在0.08~0.18 NTU,平均为0.12 NTU;改进后浑浊度为0.08~0.12 NTU,平均值为0.10 NTU,满足浙江省现代化水厂标准要求。出厂水pH值改进前平均为7.60,铝平均质量浓度为0.053 mg/L,改进后出厂pH值平均为7.38,铝平均质量浓度为0.039 mg/L,具体如图5~图6所示。此外,出厂水氯化物质量浓度可控制在30 mg/L左右,藻类及臭和味去除效果明显,出厂水土臭氧、2-MIB质量浓度可控制在5 ng/L以内,出厂水质得到有效提升。

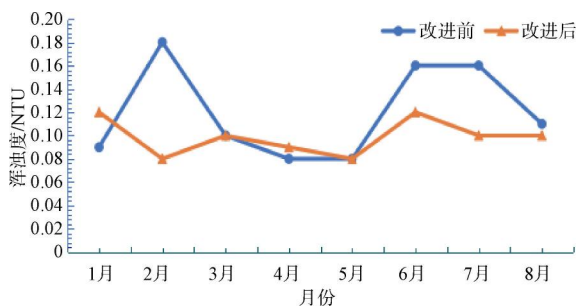


图5 改造前后出厂水浑浊度变化趋势

Fig. 5 Variation Trend of Turbidity in Finished Water before and after Renovation

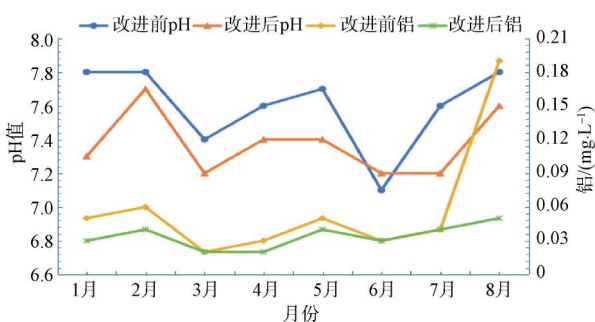


图6 改造前后出厂水pH值和铝变化趋势

Fig. 6 Variation Trend of pH Value and Aluminum in Finished Water before and after Renovation

### 3 结论

(1)采用CO<sub>2</sub>调节pH技术,可有效降低出水pH和铝指标。同时,适当减少混凝剂后,污泥减量,预计全年节省大约30万元,经济效益较明显,可有效解决原水高藻、高pH引起的出水铝超高问题。此外,酸性PAC有较好的控pH和控铝的作用,但盐基度相对偏低,在突发应急时短暂使用有一定的效果,不建议长期投加使用。

(2)萧山现有4座水厂,其中3座采用臭氧-生物活性炭深度水工艺。净水工艺的提升有效保障饮用水水质,进一步促进深度水工艺在企业内的推广应用。同时,拓展供水格局,随着千岛湖配水工程的建成,江南片区将实现富春江水源与千岛湖配水双水源格局,进一步提升饮用水口感。

(3)对标新标准,提升实验室资质能力,精准监测全流程水质,加强臭味指标定量监测以及分析去除效果。监测结果精准指导生产,减少水质投诉,有效提升萧山百姓饮水的幸福感和满意度。

(4)采取提升水源预警处置能力,优化水厂药剂投加。采取过程水、出厂水、亚运保障管网点的水质监控等改进措施后,出厂水浑浊度平均可控制在0.1 NTU以内,铝含量、pH等指标也明显降低。有效保障亚运水质优良,提升萧山饮水品质,助力“办好一个会,提升一座城”的目标。

#### 参考文献

- [1] 王圣,赵欣,姜蕾,等. 对标国际,标准引领—从源头到龙头的高品质饮用水水质安全保障技术与管理[J]. 净水技术, 2023, 42(1): 187-190.  
WANG S, ZHAO X, JIANG L, et al. Benchmarking international, standards lead—High quality drinking water quality safety assurance technology and management from the source to the tap[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1): 187-190.
- [2] 张宇,杨艳玲,于海宽,等. 给水厂铝超标的影响因素与调控措施[J]. 水处理技术, 2021, 47(6): 84-87, 92.  
ZHANG Y, YANG Y L, YU H K, et al. Influencing factors and control measures of excessive aluminum in water supply plant[J]. Water Treatment Technology, 2021, 47(6): 84-87, 92.
- [3] 王一桐,刘俊良,张铁坚. 南水北调中线高碱水成因及其应急处置技术研究[J]. 给水排水, 2021, 57(4): 14-20.

(下转第186页)

表 4 提标改造后四期工程出水水质  
Tab. 4 Effluent Quality for Phase IV of Project after Upgrading and Reconstruction

指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	氨氮	TP
出水指标最低值/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.10	1.01	5.00	3.24	0.08	0.03
出水指标最高值/(mg·L <sup>-1</sup> )	26.80	4.55	5.00	10.00	0.88	0.18
出水指标平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	15.85	1.59	5.00	6.83	0.23	0.06

#### 4 工程投资及增加成本

项目总投资约为 50 957 万元,一类工程费为 43 052 万元。运行成本中增加了电耗、药剂消耗和定员数量等。本工程进行提标改造后吨水经营成本合计 1.1 元。

#### 5 结论

本提标改造工程建设,属于江苏省太湖流域较早成功提标的大型污水处理厂之一。工程设计中能先行开展全面深入调研,充分分析厂内现状情况,对现有构筑物等深度挖潜利用,在有限的用地条件下选择因地制宜的工艺路线,保障出水达标的同时也做到了用地集约、低碳节能、安全环保。

工程特点如下。

(1)提标改造设计前,建议先行开展现状污水处理厂能效评估与优化运行措施研究,系统梳理厂区运行水质水量、设备设施状况、工艺运行能力等问题,为改造工程设计及工程实施提供技术支撑。

(2)提标改造工程在提升水质的同时,需对厂内现有处理构筑物等进行核算分析评估,充分挖潜。若有用地则尽量同步开展污水处理能力水量的提升改造,以满足运行整体要求,实现设计处理水量和高排放标准出水水质的双提标处理实效。

(3)技术路线多样性优选。本次提标改造工程,因地制宜地采用了改良 Bardenpho 工艺+高效沉淀池+深床滤池、Bardenpho 工艺+气浮池+深床滤池等多样性技术路线,并结合项目自身特点在设计细节处创新创优,通过有针对性开展增容提标、设备设

施更新等全方位提标改造工作,运行至今,出水稳定达标。

(4)深度协同、不停产改造。项目本底复杂,现状工艺系统改造、管线切改,电气系统改造及切换,均在几乎不停产的条件下进行。与运营单位深度沟通改造实施方案,各专业在协同匹配建设进度的基础上优化设计。

#### 参考文献

- [ 1 ] 李激,王燕,罗国兵,等. 城镇污水处理厂一级 A 标准运行评估与再提标重难点分析[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 1-12.
- LI J, WANG Y, LUO G B, et al. Operation evaluation of urban sewage treatment plants implementing grade I-A standard and analysis on emphasis and difficulties in upgrading the standard [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 1-12.
- [ 2 ] 李家驹,郑兴灿,李鹏峰,等. 基于新地方标准的城镇污水处理厂提标调研方案[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 13-18.
- LI J J, ZHENG X C, LI P F, et al. Research scheme and problems identification of urban sewage treatment plants based on new local standard [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 13-18.
- [ 3 ] 金涛,刘晓静,马文明,等. 更严格排放标准下低温条件的某新建污水处理厂工程设计与运行[J]. 净水技术, 2023, 42(9): 168-175.
- JIN T, LIU X J, MA W M, et al. Engineering design and operation of a newly-built WWTP under stricter discharge standard at low temperature [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 168-175.

(上接第 80 页)

WANG Y T, LIU J L, ZHANG T J. Study on the causes of high alkali water in the middle route of south-to-north water diversion project and its emergency treatment technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(4): 14-20.

- [ 4 ] 贺晓娟,袁本松,黄保平,等. 高 pH 湖泊水处理中残余铝的

影响因素及控制措施[J]. 净水技术, 2019, 38(3): 51-55.

HE X J, YUAN B S, HUANG B P, et al. Influence factors and control measures of residual aluminium in treatment of high pH value lake water [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(3): 51-55.