

童佳佳, 张秋勉, 李纲, 等. 气浮与多种常规工艺联用对低温低浊水的处理效果分析[J]. 净水技术, 2023, 42(4):191–196.

TONG J J, ZHANG Q M, LI G, et al. Effect analysis of combined air flotation and multiple conventional processes on low temperature and low turbidity water Treatment[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4):191–196.

气浮与多种常规工艺联用对低温低浊水的处理效果分析

童佳佳*, 张秋勉, 李 纲, 王恕皆

(杭州萧山供水有限公司, 浙江杭州 311203)

摘 要 针对低温低浊水水厂运行带来的困难, 采用气浮单元与水厂各常规工艺联用, 以得到最佳联用方案。利用萧山南部某水厂冬季低温低浊水, 在水厂配水井、反应池末端、沉淀池中段、沉淀池末段以及砂滤池后端串联中试气浮单元, 比较分析水厂各常规工艺与气浮单元联用后对低温低浊原水的处理效果, 讨论气浮工艺替代水厂常规工艺的可能性。结果表明: 气浮直接处理预氧化后的原水, 浑浊度平均去除率高达约 76.9%; 混凝气浮后, 聚合氯化铝投加量为 5~10 mg/L 时, 浑浊度平均去除率均在 95.0% 以上, 对金属指标也能达到较好的处理效果, 但对有机物指标去除效率较低。这说明气浮单元的微气泡工艺对于黏度大、颗粒物稳定的低温低浊原水或常规工艺过程水处理有独特的优势。水厂应根据原水特点, 将气浮装置设置于不同位置, 保证气浮工艺处理效果。

关键词 低温低浊 水厂 气浮工艺 微气泡 混凝沉淀

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2023)04-0191-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.04.024

Effect Analysis of Combined Air Flotation and Multiple Conventional Processes on Low Temperature and Low Turbidity Water Treatment

TONG Jiajia*, ZHANG Qiumian, LI Gang, WANG Shujie

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

Abstract In order to solve the difficulties for low temperature and low turbidity water treatment and operation of WTPs, the combined air flotation and the conventional processes are considered to obtain the best solution. The air flotation units were connected in series at the water distribution well, the end of the reaction tank, the middle section of the sedimentation tank, the end section of the sedimentation tank and the back end of the sand filter tank, and the low temperature and low turbidity water of a WTP in the south Xiaoshan was used. The treatment effect of each scheme of conventional process combined with air flotation unit was compared and analyzed. The possibility of air flotation process replacing the conventional process of WTPs was discussed. Results showed that the air flotation unit had unique advantages for low temperature and low turbidity raw water with high viscosity and stable particles or water treatment in conventional process. Among them, about 76.9% of the average turbidity removal rate could be achieved by direct air flotation treatment; 95.0% of the average turbidity removal rate could be achieved through the coagulation air flotation process under the dosage of polyaluminium chloride was 5~10 mg/L. Expected treatment effect could also be achieved through air flotation process for metal indices. The removal effect of organic matter was poor through the air flotation process. According to the characteristics of raw water, the WTPs should set the air flotation device in different positions to ensure the effect of air flotation process.

Keywords low temperature and low turbidity water treatment plant (WTP) air flotation process microbubble coagulation and sedimentation

低温低浊原水由于黏度大、胶体颗粒物数量少、

溶解气体多等特点^[1-2], 絮凝反应慢, 生成的絮凝体(矾花)小且不易沉降, 难以处理。大多数水厂一般通过增加絮凝剂投加量来提高混凝效果, 但同时会带来制水成本升高、污泥量增加、滤池过滤周期缩

[收稿日期] 2022-05-05

[通信作者] 童佳佳(1981—), 女, 工程师, 主要从事水处理工艺和水质仪表研究工作, E-mail: 370395762@qq.com。

短、混凝剂残余量升高等问题^[3],给不少水厂的冬季运行带来了很大困扰。

近年来,国内针对低温低浊水处理工艺开展了多方面的研究,通过优选混凝剂、泥渣回流或额外添加助凝剂等传统方法来强化混凝沉淀效果,但效果都不理想,使用助凝剂产生的一些胶体也较为松散,一旦受到外力的冲击就会破碎^[4]。胡澄澄等^[5]通过中试试验表明,针对典型太湖低温低浊原水,混凝气浮工艺单元相较于传统混凝沉淀具有更好的处理效果;包相阁等^[6]在嘉善千岛湖水厂设计了混合-絮凝-气浮工艺处理千岛湖低温低浊原水,具有较好的去浊效果。气浮装置释放大量的微细气泡,与原水加药混凝产生的絮体黏附在一起,使其整体密度小于水的密度,使带气絮体浮至水面,形成浮渣,由刮渣机清除,达到除浊目的^[7]。

目前,国内大多数低温低浊水气浮处理研究还

处于小试和中试阶段,缺少水厂实际应用实例,且与不同常规工艺联用后处理效果的讨论相对较少。本文针对上述研究空白,利用萧山某水厂冬季低温低浊原水,在水厂配水井、反应池末端、沉淀池中段、沉淀池末端以及砂滤池后端串联中试气浮单元,比较分析混凝、沉淀、过滤等传统处理工艺与气浮单元联用后对低温低浊原水的处理效果,讨论气浮工艺完全替代水厂常规工艺,甚至实现全物理不加药饮用水处理工艺的可能性。

1 研究背景与方法

1.1 研究背景

萧山南部某水厂原水取自钱塘江富春江段,供水规模为 15 万 m^3/d ,水厂采用深度处理工艺,工艺流程如图 1 所示。原水在冬季有低温低浊的特点,水厂运行中容易出现絮凝体细、少、难以沉淀的“跑矾”现象,细小矾花穿透滤池,影响出水水质。



图 1 工艺流程图

Fig. 1 Process Flow Chart

试验期间水温为 10~14 $^{\circ}\text{C}$,原水浑浊度在 4~6 NTU,属于全年浑浊度和温度最低的时期。原水藻类计数为 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ 个/L,检出藻类为硅藻和裸

藻,水厂配水井预臭氧投加量在 0.45 mg/L ,反应池 PAC 投加量为 10~12 mg/L 。具体原水水质指标如表 1 所示。

表 1 原水水质指标

Tab. 1 Indices of Raw Water Quality

水样指标	进厂原水	水样指标	进厂原水
浑浊度/NTU	4~6	$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.33~1.64
$\text{TOC}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	2.91~3.23	pH 值	6.7~7.6
藻类/(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	$1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$	臭和味	土霉味 1~2 级
铁/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.05~0.15	锰/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.05

1.2 试验装置

气浮工艺:本试验采用多相混溶(溶气泵)气浮装置,由高速离子气浮反应区、溶气系统、气浮池体以及浮渣收集系统组成,原水或过程水与溶气系统产生正电荷集成微气泡(气泡量与回流比正相关),在气浮反应区充分反应、吸附,均匀分配进入气浮池体,进行固液分离,固液分离的浮渣通过浮渣收集装置收集排放。

气浮参数:设计处理量为 100~200 m^3/h ,气浮

分离区面积为 4.04 m^2 ,微气泡粒径 $<7 \mu\text{m}$,溶气泵回流比为 5%~15%,连续刮渣;本次试验固定处理量为 128 m^3/h ,回流比为 7%。

1.3 研究方法

在水厂配水井、反应池末端、沉淀池中段、沉淀池末端以及砂滤池后端串联中试气浮单元(具体位置如图 2 所示),分别对气浮单元进水、出水以及同期常规工艺段出水的浑浊度、 COD_{Mn} 、氨氮、藻类、pH 等指标进行检测,比较分析混凝、沉淀、过滤等传统

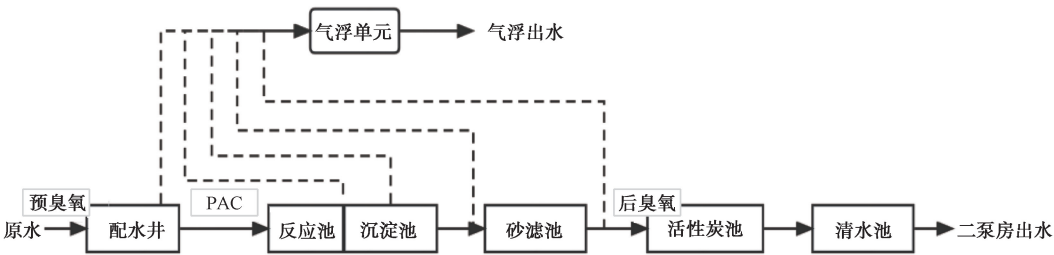


图 2 气浮单元位置

Fig. 2 Location of Air Flotation Unit

处理工艺与气浮单元联用后对低温低浊原水的处理效果。各检测数据均 3 次取样取平均值,检测依据如表 2 所示。

表 2 检测方法依据
Tab. 2 Test Methods and Basis

项目	检测方法依据
浑浊度	散射法福尔马肼标准,《生活饮用水标准检验方法 感官性状和物理指标》(GB/T 5750. 4—2006)
COD _{Mn}	酸性高锰酸钾滴定法测定,《生活饮用水标准检验方法 有机物综合指标》(GB/T 5750. 7—2006)
pH	玻璃电极法,《生活饮用水标准检验方法 感官性状和物理指标》(GB/T 5750. 4—2006)
金属指标	电感耦合等离子体质谱法,《生活饮用水标准检验方法 金属指标》(GB/T 5750. 6—2006)
藻类	离心快速检测法,《EPA Standard Methods 22th》

表 3 串联配水井末端试验结果
Tab. 3 End Test Results of Distribution Wells in Series

水样	浑浊度/ NTU	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	TOC/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	藻类/ (个·L ⁻¹)	臭和味	铁/ (mg·L ⁻¹)	锰/ (mg·L ⁻¹)
预臭氧后原水	5. 71	1. 64	3. 09	7. 51	2×10 ⁵	土霉味 1 级	0. 15	0. 05
气浮出水	1. 32	1. 68	2. 72	7. 40	1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0. 05	<0. 05
沉后水	0. 60	1. 68	2. 94	7. 20	1×10 ⁵	无	<0. 05	<0. 05

2. 2 混凝+气浮

气浮进水取自反应池末端混凝后的原水(水厂 PAC 投加量为 10~12 mg/L),各水质指标如表 4 所示。气浮平均出水浑浊度为 0. 87 NTU,平均去除率约为 84. 8%,COD_{Mn} 去除率约为 21. 3%、TOC 去除率约为 5. 8%,铁、锰、藻类均已低于检出限,串联工艺段沉后水指标中,除浑浊度较气浮出水进一步降低,其余指标基本一致。相较于直接处理原水,气浮单元与混凝工艺联用后,对浑浊度等指标具有更进一步的去除效率。这说明低温低浊原水中污染物在

2 结果与分析

2. 1 预臭氧+气浮

气浮进水取自配水井末端经预臭氧处理后原水,各水质指标如表 3 所示。气浮单元不加 PAC,直接处理预氧化后的原水,浑浊度平均去除率约为 76. 9%。随着大部分浑浊度物质被去除,气浮处理对铁、锰和藻类也有较好的去除效率,这说明低温低浊原水黏度大,绝大部分污染物在水中稳定存在,传统的混凝沉淀工艺需要通过加大投药量使污染物脱稳沉淀。对于气浮工艺,这些稳定存在的污染物通过微气泡黏附,更易于被上浮去除。虽然浑浊度等指标达到了砂滤池对进水水质指标的要求,但气浮直接处理原水的效果与原混凝沉淀工艺出水相比还有差距。能否替代混凝沉淀工艺,需对出水污染物构成、颗粒粒径等物理特性作进一步试验研究。

水厂反应池中与 PAC 混凝后,形成的大部分絮体比重较轻,进入气浮单元后,设备产生的大量微气泡吸附于絮体周围,易上浮形成浮渣。

为进一步验证混凝气浮效果,该试验进水取自配水井末端经预臭氧处理后原水,在气浮单元的反应区内梯度投加(5~15 mg/L)混凝剂 PAC,各水质指标如表 5 所示。在气浮单元反应区内投加 PAC 后,气浮出水浑浊度显著降低,出水藻类均<1×10⁵ 个/L。相较于混凝后再进行气浮处理,混凝与气浮同时作用对浑浊度、藻类等污染物具有更出色的处

表 4 串联反应池末端试验结果

Tab. 4 Test Results at the End of Reaction Tank in Series

水样	浑浊度/ NTU	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	TOC/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	藻类/ (个·L ⁻¹)	臭和味	铁/ (mg·L ⁻¹)	锰/ (mg·L ⁻¹)
预臭氧后原水	5.74	1.64	2.91	7.38	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	0.05	0.05
气浮出水	0.87	1.29	2.74	7.37	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05
沉后水	0.52	1.30	2.57	7.34	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05

表 5 串联配水井末端试验结果

Tab. 5 Test Results of Distribution Well End in Series

水样	浑浊度/ NTU	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	TOC/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	藻类/ (个·L ⁻¹)	臭和味	铁/ (mg·L ⁻¹)	锰/ (mg·L ⁻¹)
预臭氧后原水	5.28	1.48	3.08	7.12	6×10 ⁵	土霉味 1 级	0.15	0.05
沉后水	0.49	1.27	2.76	7.12	2×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05
气浮出水([PAC]=5 mg/L)	0.19	1.18	2.71	7.06	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05
气浮出水([PAC]=10 mg/L)	0.22	1.21	2.87	6.86	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05
气浮出水([PAC]=15 mg/L)	0.28	1.44	2.71	7.31	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05

理效果,同时出水水质也明显优于同期沉后水。这可能是因为混凝初期,气浮装置产生的微气泡大量溶解于水中,水中污染物架桥、吸附、网捕等同时作用,更易形成密度较低的絮体。

图 3 是投加不同浓度 PAC 对浑浊度去除效果的比较。由图 3 可知,投加量为 5 mg/L 时,浑浊度去除率上升到 96.0% 左右,之后随着投加量的上升,浑浊度去除率基本保持稳定。对于有机物指标,以 COD_{Mn} 为例,投加量同样在 5 mg/L 时最佳,随着 PAC 投加量的上升,气浮出水中各指标去除率反而降低,这说明相较于充分混凝后的紧实絮体,团聚松散、比重更轻的“未成熟”絮体更容易被上浮除去。

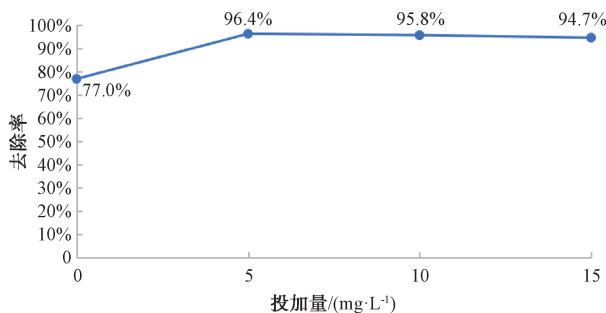


图 3 不同 PAC 投加量浑浊度去除效果

Fig. 3 Effect of Different PAC Dosage on Turbidity Removal

2.3 沉淀+气浮

气浮进水分别取自沉淀池中段和后段的过程水(其中,气浮出水 1 为中段与气浮处理后出水,气浮

出水 2 为后段气浮处理后出水),沉淀池中段与后段试验期间原水平均浑浊度分别为 4.82 NTU 和 5.12 NTU,各水质指标如表 6 所示。结果表明,气浮工艺对沉淀池中段和后段过程水均有进一步的处理效果,平均出水浑浊度分别为 0.48 NTU 和 0.36 NTU,均低于同期沉后水浑浊度,沉淀与气浮联用的平均去除率分别约达 90.0%和 93.0%,同时,对铁、锰等指标均有微弱的去除效果。这说明低温低浊下,受黏度增大、混凝效果减弱等因素影响,相当数量的污染物以及絮体很难通过沉淀去除。本试验从侧面说明在水厂面临极低浑浊度原水时,可使用气浮装置可替代沉淀池。

2.4 过滤+气浮

气浮进水取自砂滤池末端的滤后水,各水质指标如表 7 所示。从滤后水浑浊度可以看出,低温低浊时期,未沉淀去除的污染物穿透砂滤池的现象十分明显,此时砂滤池对沉后水浑浊度的去除率仅为 78.9%,远低于砂滤池正常情况下的过滤效率。并且滤后水经过气浮处理后浑浊度进一步降低,气浮工艺对滤后水中的一部分污染物仍有去除效果,这说明该工艺对絮体的尺寸要求不高,对那些不易沉淀且低于砂滤池过滤精度的细小颗粒具有更好的去除效果。从 COD_{Mn} 及 TOC 数据来看,气浮工艺对 COD_{Mn} 去除率约为 8.0%,对 TOC 去除率为-4.8%,可见气浮装置对于有机物指标去除效率较为一般。

表 6 串联沉淀池试验结果
Tab. 6 Test Results of Sedimentation Tank in Series

水样	浑浊度/ NTU	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	TOC/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	藻类/ (个·L ⁻¹)	臭和味	铁/ (mg·L ⁻¹)	锰/ (mg·L ⁻¹)
预臭氧后原水(中段)	4.82	1.35	2.98	7.51	4×10 ⁵	土霉味 1 级	0.15	0.05
沉淀池中段	0.73	0.96	2.69	7.52	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	0.15	<0.05
气浮出水 1	0.48	0.88	2.85	7.53	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	0.05	<0.05
预臭氧后原水(后段)	5.12	1.33	3.05	7.58	4×10 ⁵	土霉味 1 级	0.15	0.05
沉淀池后段	0.52	0.96	2.63	7.61	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	0.15	<0.05
气浮出水 2	0.36	0.92	2.32	7.64	<1×10 ⁵	土霉味 1 级	<0.05	<0.05

表 7 串联砂滤池末端试验结果
Tab. 7 Test Results of Sand Filter Tank End in Series

水样	浑浊度/ NTU	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	TOC/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)
预臭氧后原水	5.26	1.38	0.05	7.57	3.07	0.06	1.34
沉后水	0.38	1.08	<0.05	7.92	2.67	0.03	1.55
砂滤水	0.08	0.88	<0.05	7.65	2.50	0.02	1.33
气浮出水	0.05	0.81	<0.05	7.66	2.62	0.02	1.38

3 结论

(1)气浮单元直接处理预氧化后的原水,浑浊度平均去除率高达约 76.9%,相较于传统的混凝沉淀工艺,具有无需加药、物理处理等优势,但能否完全替代,需对出水污染物构成、颗粒粒径等物理特性作进一步试验研究。

(2)相较于先混凝后气浮,混凝气浮同时作用具有更出色的处理效果,且较低的 PAC 投加量也有很高的浑浊度去除率(5~10 mg/L 时,去除率均在 95.0%以上)。这可能是因为混凝初期,气浮工艺的微气泡与混凝工艺的架桥、吸附、网捕同时作用,更易形成密度较低的絮体,进而上浮除去。

(3)气浮工艺对沉淀中段、后段过程水也有更进一步的去除作用,浑浊度平均去除率在 90.0%以上,同时对铁、锰等指标均有微弱的去除效果。这说明低温低浊下,受黏度增大、混凝效果减弱等因素影响,相当数量的污染物以及絮体很难通过沉淀去除。相较于加长构筑物长度获得更长的沉淀时间,气浮工艺具有更出色的去除效率。

(4)气浮工艺对砂滤滤后水中的污染物仍有进一步去除效果,这说明该工艺对絮体的尺寸要求不高,对那些不易沉淀且低于砂滤池过滤精度的细小颗粒具有更好的去除效果,但对于 TOC、总磷、总氮

等有机物指标去除效率较为一般。

综上,气浮单元的微气泡工艺对于黏度大、颗粒物稳定的低温低浊原水或常规工艺过程水处理有独特的优势,特别对浑浊度、铁锰等金属指标均有较好的处理效果,但对有机物指标的去除效率较低。

从本次中试效果看,可根据原水特点,将气浮装置设置于不同位置:对于原水水质稳定的水厂,可将气浮装置设置于配水井后端,通过少量投加 PAC,混凝、气浮同时作用,提升出水水质;对于水质波动较大的原水,应将气浮装置设置于沉淀池中段,常规工艺与气浮联用,保证对高浊原水处理效果的同时,提升低温低浊时期沉淀池出水水质。

参考文献

- [1] 王静超,马军,王静海.气浮净水技术在给水处理中的应用及研究概况[J].工业水处理,2004,24(7):9-11.
WANG J C, MA J, WANG J H. Survey and application of flotation to water treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2004, 24(7): 9-11.
- [2] 霍明听,刘馨远.低温低浊水质特性的分析[J].中国给水排水,1998,14(6):33-34.
HUO M X, LIU X Y. Analysis of low temperature and low turbidity water quality characteristics [J]. China Water & Wastewater, 1998, 14(6): 33-34.
- [3] 李风亭,陶孝平,高燕,等.聚合氯化铝的生产技术与研究

- 进展[J]. 无机盐工业, 2004, 36(6): 4-6, 9.
- LI F T, TAO X P, GAO Y, et al. The preparation and recent research progress of polyaluminium chloride [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2004, 36(6): 4-6, 9.
- [4] 李松. 关于低温低浊地表水处理技术的思考[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(32): 243-243.
- LI S. Consideration on the treatment technology of low temperature and low turbidity surface water [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2015(32): 243-243.
- [5] 胡澄澄, 高乃云, 楚文海. 沉淀与气浮工艺单元处理太湖原水效果比较[J]. 给水排水, 2010, 36(2): 13-17.
- HU C C, GAO N Y, CHU W H. Comparison of the treatment effects between sedimentation and dissolved air flocculation for the Taihu Lake raw water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(2): 13-17.
- [6] 包相闻, 蔡一润. 气浮工艺在低温、低浊原水处理中的应用——以嘉善千岛湖水厂为例[J]. 科学技术创新, 2022(13): 129-131.
- BAO X W, CAI Y R. The application of DAF process in low temperature and low turbidity raw water treatment: Taking the engineering design of Jiashan Qiandao Lake water as an example [J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(13): 129-131.
- [7] 孟兴智, 张仟, 谢承友, 等. 气浮法水处理工艺应用现状[J]. 盐科学与化工, 2021, 50(6): 1-3.
- MENG X Z, ZHANG L, XIE C Y, et al. Status of applied on water treatment process by air flotation method [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2021, 50(6): 1-3.
-
- (上接第 180 页)
- [4] 黄孟斌, 王长平, 张毅, 等. 老旧水厂炭砂滤池改造及运行效果[J]. 净水技术, 2019, 38(4): 31-34, 53.
- HUANG M B, WANG C P, ZHANG Y, et al. Performance of reconstruction and operation for carbon and sand filters in old and aging water treatment plants [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(4): 31-34, 53.
- [5] 张艳亭. V 型炭砂滤池运行中存在问题及解决措施分析[J]. 给水排水, 2016(s1): 9-11.
- ZHANG Y T. Analysis of problems and solutions in operation of V-shaped carbon sand filter [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016(s1): 9-11.
- [6] 韩梅, 曹新垠, 王敏, 等. 南水北调受水区某水厂炭砂滤池运行特性及生物安全性研究[J]. 给水排水, 2018(9): 19-24.
- HAN M, CAO X K, WANG M, et al. Research on the operation characteristics and bio-safety of a carbon-sand filter in a water plant in the water receiving area of South-to-North Water Transfer Project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018(9): 19-24.
- [7] 饶磊. 浅谈郭公庄水厂的工艺设计及优化[J]. 给水排水, 2015(4): 10-13.
- RAO L. Discussion on process design and optimization of Guogongzhuang water plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015(4): 10-13.
- [8] 邓俊杰, 劳志雄, 陈明良, 等. 强化老旧水厂常规处理工艺优化提升出水水质[J]. 中国给水排水, 2021, 37(2): 85-89.
- DENG J J, LAO Z X, CHEN M L, et al. Optimizing and improving effluent quality by strengthening conventional water treatment process in an aging waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(2): 85-89.
- [9] 罗丁, 杨力, 方帷韬, 等. 风景区半地下净水厂工艺设计方案探讨[J]. 给水排水, 2021, 47(4): 28-32.
- LUO D, YANG L, FANG W T, et al. Discussion on process design of semi-underground water treatment plant in scenic spot [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(4): 28-32.
- [10] 张磊, 洪景涛, 万兰玉, 等. 上海松江二水厂的深度处理改造及运行效果[J]. 中国给水排水, 2012, 28(6): 81-85, 89.
- ZHANG L, HONG J T, WAN Y L, et al. Advanced treatment reconstruction and operation effect of songjiang second waterworks in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(6): 81-85, 89.
- [11] 黄孟斌, 王长平, 邵志昌, 等. 村镇水厂工艺升级改造及运行效果[J]. 水处理技术, 2018(9): 40-42.
- HUANG M B, WANG C P, SHAO Z C, et al. Process reconstruction and operation efficiency of the village water plant [J]. Technology of Water Treatment, 2018(9): 40-42.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 室外给水设计标准: GB 50013—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration of Market Supervision and Administration. Standard for design of outdoor water supply engineering: GB 50013—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [13] 镇祥华, 李露, 万年红, 等. 给水厂炭砂滤池设计参数探讨[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 81-85.
- ZHEN X H, LI L, WAN N H, et al. Discussion on design parameters of carbon-sand filter in waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 81-85.
- [14] 郭敬华, 刘衍波, 李世俊, 等. 济南鹊华水厂技改工程设计与施工[J]. 中国给水排水, 2012, 28(6): 51-53, 57.
- GUO J H, LIU Y B, LI S J, et al. Design and construction of technical transformation project of Jinan Quehua waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(6): 51-53, 57.