

蒋才芳. 用地紧张给水厂深度处理工艺改造案例[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 176–180, 196.

JIANG C F. Reconstruction case of advanced treatment for a WTP with limited land use[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 176–180, 196.

用地紧张给水厂深度处理工艺改造案例

蒋才芳*

(广西绿城水务股份有限公司, 广西南宁 530029)

摘 要 砂滤池改造成下向流炭砂滤池和沉淀池后端改造成上向流炭池是水厂土地紧张时生物活性炭深度处理改造的最常用手段。为优化两种改造方式的设计和运行管理,文中调查了国内现有炭砂滤池和沉淀池后端改造炭池的工程案例及技术参数,总结了两者应用时存在的问题,对比了两种工艺的运用特点和各自优缺点。文中建议在土地条件允许情况下,炭砂滤池和上向流炭池上游应设置臭氧接触池。若工艺流程中炭砂滤池后续无超滤膜,则建议砂层厚度 $>1\,000\text{ mm}$,并考虑气水反冲,水冲强度为 $55\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,以满足水厂浑浊度控制要求。若后续存在超滤膜工艺,则砂层厚度可减小,炭层厚度应考虑增加至 $1\,000\text{ mm}$ 以上,并考虑汽水反冲,水冲强度为 $25\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。

关键词 深度处理 用地紧张 炭砂滤池 上向流炭池 滤料厚度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2023)04-0176-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.04.022

Reconstruction Case of Advanced Treatment for a WTP with Limited Land Use

JIANG Caifang*

(Guangxi Nanning Water Co., Ltd., Nanning 530029)

Abstract Reconstruction of sand filter from downflow to upflow carbon tank is the most commonly used means for the advanced treatment of biological activated carbon (BAC) in water treatment plants (WTPs) with limited land use. Engineering cases and technical parameters of the existing WTPs at home are investigated, which include carbon and sand filter or carbon and sand filter transformed from back-end of sedimentation tank. Problems existing in their application are summarized. Application characteristics and advantages and disadvantages of the two processes are compared. It is suggested that if the land conditions permit, ozone contact tank should be set in the upstream process of carbon and sand filter or upward-flow carbon filter. To meet the turbidity control requirements, if there is no ultra filtration (UF) membrane after carbon and sand filter in the process flow, it is suggested that the thickness of sand layer should be more than $1\,000\text{ mm}$, and the air-water backwash which the water impact strength is $55\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ should be considered. If there is UF membrane after carbon and sand filter in the process flow, the thickness of sand layer can be reduced, the thickness of carbon layer should be increased to more than $1\,000\text{ mm}$, and the air-water backwash which the water impact strength is $25\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ should be considered.

Keywords advanced treatment limited land use carbon and sand filter upward-flow carbon filter thickness of filter media

随着我国居民生活水平的提升,同时需要应对原水水质恶化和突发性水质污染,许多新建水厂在建设过程中考虑采用深度处理工艺以降低水中有机物和氨氮的含量,从而产出更高品质的饮用水。臭氧-生物活性炭处理工艺是应用最为广泛的深度处理工艺。不少只具备常规处理的已建水厂也在其预

留或者新征用地内增设臭氧-生物活性炭系统。而部分水厂由于各种原因,既无法征用到新的土地,也无合适的预留用地,甚至拆除厂区办公区域部分建筑也无法腾挪出满足全套臭氧-生物活性炭处理工艺的土地。因此,土地不足的水厂经常会采用以下两种方式:(1)现有砂滤池改造为下向流炭砂滤池;(2)将沉淀池后端改造为上向流炭池,以满足臭氧-生物活性炭深度处理工艺要求。现有研究对以上两种改造方式有一些工程实例报道^[1-9]。臭氧-生物

[收稿日期] 2022-06-08

[通信作者] 蒋才芳(1974—),男,高级工程师,研究方向为水处理技术, E-mail: 279030802@qq.com。

活性炭工艺的主要去除目标是有机物和氨氮,但浑浊度仍为整个净水处理工艺流程中第一控制污染物。用地紧张的水厂采用深度处理工艺有时会为了增加前者的去除率而降低对出水浑浊度的控制。为解决上述问题,本文将对此类改造方式的工艺流程

和参数进行分析和总结。

1 深度处理改造应用现状

1.1 砂滤池改造为炭砂滤池

为了更好地服务于工程设计,本文仅总结处理规模 ≥ 3 万 m^3/d 的水厂工程实例,具体如表 1 所示。

表 1 国内炭砂滤池工程应用实例
Tab. 1 Engineering Cases of Carbon Sand Filter at Home

水厂名称	规模/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	深度处理工艺	上层炭层厚度/mm	下层砂层厚度/mm	反冲洗方式、强度和时间
杭州清泰水厂 ^[1]	30 万	臭氧+炭砂滤池+超滤膜	1 300	550	气水联合冲洗 气: $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, 3 min 水: $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, 10 min
R 水厂 ^[2]	40 万	炭砂滤池+超滤膜	1 300	砂层 500 承托层 250	气水联合冲洗 气: $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, 3 min 水: $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, 10 min
深圳市上南水厂 ^[3-4]	10 万	臭氧+炭砂滤池	1 000	砂层 300 承托层 200	水冲 $4 \sim 15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
北京长辛店给水厂 ^[5]	4.32 万	臭氧+炭砂滤池	1 100	400	水冲 $6 \sim 10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
南水北调受水区某水厂 ^[6]	41 万	臭氧+炭砂滤池	600	1 200	气水联合冲洗
北京郭公庄水厂 ^[7]	100 万	臭氧+炭砂滤池+超滤膜	600	1 200	气水联合冲洗 气: $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 水: $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
佛山市某水厂 ^[8]	3.5 万	炭砂滤池	400	1 200	气水联合冲洗 气: $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 水: $6 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
南水北调配套某净水厂 ^[9]	20 万	臭氧+炭砂滤池+超滤膜	600	1 200	气水联合冲洗

由表 1 可知,砂滤池改造为炭砂滤池的应用实例较多。绝大部分工程案例在炭砂滤池前设置了臭氧接触池,约有 1/2 的工程案例在炭砂滤池后设置了超滤膜系统。炭砂滤池的滤料层+承托层总厚度通常超过 1 500 mm,滤料厚度差距较大,砂层最薄可达 300 mm,较厚的砂层一般为 1 200 mm;炭层厚度为 600~1 300 mm。除了个别案例外,炭砂滤池基本采用了气水联合冲洗形式,气冲前度一般为 $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水冲强度一般为 $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

1.2 沉淀池后端改造为上向流炭池

另一种改造方式——沉淀池后端改造为上向流炭池工艺,在国内的应用不如砂滤池改造为炭砂滤池广泛。目前文献^[10]中仅记载了上海松江二水厂一个工程实例。

上海松江二水厂供水规模为 20 万 m^3/d ,采用臭氧+上向流炭池+砂滤池深度处理工艺。滤料活

性炭厚度为 2 m,由于是上向流滤池,仅采用气冲,强度为 $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

1.3 改造工艺选择

由于沉淀池后端改造为上向流炭池国内的运行经验较少,砂滤池改造为炭砂滤池成为了更多用地紧张水厂深度处理工艺改造的最终选择。

根据后文论述和工程案例的出水水质分析和运行描述可知,在炭砂滤池后续无超滤膜工艺情况下,炭砂滤池浑浊度控制难度更高。反冲强度较难同时满足炭层和砂层的需求,更容易造成跑炭现象;炭砂滤池中的活性炭比起生物活性炭池更容易达到饱和,若前端无臭氧接触池,则这一现象将更为严重。因此,炭砂滤池运行成本更高。

考虑到出水水质的稳定性,在场地条件不允许设置超滤膜且建设工期不紧迫条件下,可以考虑将沉淀池后端改造为上向流炭池作为用地紧张水厂的深度处理改造形式。

2 炭砂滤池应用存在问题及解决方式

2.1 应用存在问题

(1) 冲洗强度难以控制

炭池中的颗粒活性炭由于强度较小,水冲强度太大容易导致碳颗粒破碎,因此,水冲强度取 $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ [约 $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]。而砂滤池中的石英砂需要较大的膨胀率才可以被完全冲洗干净,因此,一般水冲强度较高,取 $55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ [约 $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]。活性炭滤料和石英砂滤料所需冲洗强度的不同会影响炭砂滤池的反冲洗效果。过小的反冲洗强度会导致砂层冲洗不干净,影响后续浑浊度的去除效果;过大的反冲洗强度会导致炭层的破碎和流失,影响后续有机物的去除效果。

应用案例中的北京长辛店给水厂在运行过程中已经发现较为严重的滤料流失和冲洗强度难以控制等问题,最后通过采取大量的运行管理措施才得以解决。

(2) 浑浊度去除效果下降

活性炭对浑浊度去除能力十分有限,若炭砂滤池砂层厚度不够,且运行过程中出现了反冲洗问题,由于炭层的再生条件一般,砂层很容易被穿透。后续如果没有砂滤池或超滤膜等进一步去除浑浊度的设施,出水浑浊度很难得到保障。因此,不少工程运行实例表明砂滤池改造成炭砂滤池后,浑浊度的去除能力有所下降^[11]。

(3) 活性炭吸附能力的提前饱和

由于炭砂滤池进水大部分为沉淀池出水,有机物含量较传统前置有砂滤池的炭池的进水有机物浓度高,其有机物的去除压力更大,炭砂滤池的活性炭滤料吸附能力较易提前饱和。若炭砂滤池前端无臭氧接触池工艺,则活性炭滤料吸附能力饱和和速度更快。因此,通常炭砂滤池的活性炭更换周期会远低于一般财务计算期(5年),运行费用和制水成本都会较高。

2.2 设计参数优化

炭砂滤池使用过程中使用的问题,在设计过程中可以从以下几个方面进行优化,使炭砂滤池更有效地去除有机物和浑浊度,从而减少运行管理的难度。

(1) 工艺流程

根据表1总结可知,炭砂滤池通常应用于混凝

沉淀之后,通常有以下3种深度处理流程:1) 臭氧+炭砂滤池;2) 臭氧+炭砂滤池+超滤膜;3) 单独的炭砂滤池。后续无超滤膜的炭砂滤池工艺,浑浊度仅靠炭砂滤池本身去除,容易造成浑浊度穿透。而炭砂滤池前端无臭氧接触池,活性炭再生性较差,容易吸附能力容易饱和。因此,应首先采用具有更高的浑浊度和有机物去除能力的工艺。

(2) 技术参数

若最终因为条件限制,采用臭氧+炭砂滤池或者单独的炭砂滤池工艺,则浑浊度是炭砂滤池的首要控制指标。应尽可能保证炭砂滤池中石英砂的厚度 $>1\,000 \text{ mm}$ 。反冲洗强度也应首先满足石英砂的冲洗要求,建议采用气水联合冲洗的反冲洗形式,水冲强度考虑约为 $55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ [约 $15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$],并在实际的运行过程中调整和优化。

若工艺采用臭氧+炭砂滤池+超滤膜工艺,炭砂滤池首要目标污染物可以为有机物,砂层的厚度可以减小至 500 mm ,活性炭层的厚度可增加至 $1\,000 \text{ mm}$ 以上。反冲洗强度可先满足活性炭的冲洗要求,并采用气水联合冲洗的反冲洗形式。水冲强度考虑为 $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ [约 $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]左右,还需密切关注活性炭的跑炭率及吸附能力。当原有老旧滤池深度不足时,炭层厚度至少需要满足 6 min 空床接触时间^[12],需改造滤池的深度至少满足炭砂层反冲洗膨胀率为 35% 的要求^[13]。

由于当时经济条件限制,许多老旧滤池滤料层厚度仅为 700 mm 、承托层厚度仅为 400 mm ,原有的土建池体深度不能满足上述滤料厚度及反冲洗膨胀率要求。若水厂依旧采用炭砂滤池作为深度处理改造工艺,则需要对土建进行改造以增加滤池高度,或者在不影响城市供水安全情况下,重建新的炭砂滤池以保证炭砂滤池的深度要求。

3 沉淀池后端改造应用存在问题及解决方式

沉淀池后端改造炭池由于采用上向流的炭池形式,一般不需要水冲^[14],反冲洗设备较为简单,且后续处理工艺为常规处理工艺中的砂滤池,因此,沉淀池后端改造炭池并不存在水冲强度、浑浊度处理能力等问题。工艺流程方面建议在沉淀池前端设置后臭氧接触池,以利于活性炭的再生。

由于后端用于炭池的改造,沉淀区长度会缩减,

导致出水水质下降,确定采用此工艺前应做好现有沉淀池各区域浑浊度测定工作,以保证即使沉淀池长度减小,出水的浑浊度仍能达到 1 NTU 以下,使炭池中活性炭长时间保持吸附能力。

上向流炭池会有一定程度的跑炭现象,一般认为这与炭池的池体形式有关,但水厂经过长期经验总结,合理的运行方式可以有效减少跑炭现象。那么上向流炭池的跑炭现象可能与池体自身缺陷无关,而与炭滤料选择、炭面上水深度和上升流速等有关。

4 两种应用方式的对比

(1)两种工艺对于前端沉淀池的去除率都有较高的要求。一般要求沉淀池出水浑浊度在 1 NTU 以下,否则炭池吸附能力会过早饱和,如后续没有去除浑浊度的工艺,会导致出水水质浑浊度不满足水质标准要求。改造后,混凝剂投加种类、投加量都需要通过调试和长期运行经验确定,工艺对于水厂运行管理的要求较高。两种工艺的活性炭跑炭率都较高,但原因不同。炭砂滤池通常是由于设计的反冲洗强度太强引起,而沉淀池后端改造炭池的跑炭现

象则可能与上向流炭池炭滤料选择、炭面上水深度和上升流速等因素有关。

(2)沉淀池后端改造炭池的反冲洗效果更好,有利于活性炭的再生,且其后设置的砂滤池对于浑浊度和生物截留都有较好的效果。因此,在后续没有膜处理工艺的情况下,沉淀池后端改造成炭池的深度处理工艺出水水质一般要好于炭砂滤池,且稳定性更高。

(3)沉淀池后端改造炭池存在较大的土建改造内容,因此,改造时间较长,需合理安排工期,以保证水厂的出水能力和城市的正常用水。而炭砂滤池的土建改造内容相对较少,工期短,对水厂生产的影响也较小。

5 工程实例

5.1 砂滤池改造为炭砂滤池

(1)项目概况及工艺流程

华东地区 J 水厂供水规模为 30 万 m^3/d ,改造前采用常规处理工艺,可利用生产区域土地面积约为 43 000 m^2 。改造后深度处理工艺流程如图 1 所示。第一部分工程费用约为 12 000 万元。

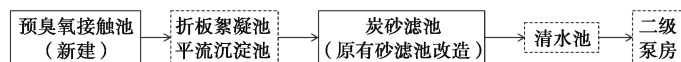


图 1 J 水厂深度处理工艺流程图

Fig. 1 Advanced Treatment Process of WTP J

(2)进水水质

水厂水质总体良好,基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 II 类水标准。其中高锰酸盐指数(COD_{Mn})最高值为 5.4 mg/L ,最低值为 1.4 mg/L ,常年在 1.4 mg/L 左右。氨氮最高值为 0.52 mg/L ,最低值为未检出,常年在 0.1 mg/L 以下。浑浊度最高值为 70 NTU,最低值为 8 NTU,常年在 30 NTU 左右。

(3)设计参数

深度处理改造设置预臭氧接触池 4 座,臭氧投加量按 0.5~1.0 mg/L 调节,接触时间为 4.2 min。

炭砂滤池 2 座,单座设计流量为 15 万 m^3/d ,分 12 格,单格滤池面积为 73.5 m^2 ,滤速为 7.8 m/s 。上层为颗粒活性炭,厚度为 900 mm;下层为石英砂,厚度为 600 mm。单独气水反冲,气冲强度为 14.5 $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,冲洗时间为 3 min,水冲强度为 15 $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,冲洗时间为 3 min。

(4)改造结果及出水水质对比

水厂投入运行时间为半年左右,改造前后其出水水质对比如表 2 所示。

表 2 J 水厂改造前后出厂水水质
Tab. 2 Effluent Quality before and after Reconstruction of WTP J

项目	$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	浑浊度/NTU
改造前平均值	1.5	<0.20	0.45
改造后平均值	1.0	<0.20	0.45

由表 2 可知,浑浊度及其他指标改造前后差别不大, COD_{Mn} 下降明显,但主要是由于运行初期活性炭吸附能力强。此外,虽然不排除运行时间较短,水厂管理未完全适应新系统的可能,但炭砂滤池确实存在跑炭现象。

5.2 沉淀池后端改造为上向流炭池

(1)项目概况及工艺流程

华中地区 X 水厂供水规模为 18 万 m^3/d ,可利用

生产区域土地面积约为 22 000 m², 其最终深度处理工艺流程如图 2 所示。第一部分工程费用约为 5 000 万元。

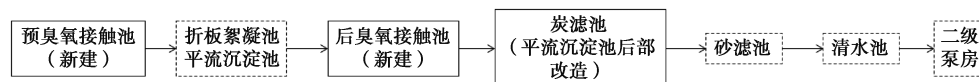


图 2 X 水厂深度处理工艺流程

Fig. 2 Process Flow of Advanced Treatment of WTP X

(2) 进水水质

水厂原水属于微污染水源, 其中 COD_{Mn} 质量浓度最高值为 8.00 mg/L, 最低值为 3.63 mg/L, 常年在 5.00 mg/L 左右。氨氮质量浓度最高值为 2.56 mg/L, 最低值为 0.02 mg/L, 常年在 0.30 mg/L 以下。浑浊度最高值为 11.4 NTU, 最低值为 4.1 NTU, 常年在 10.0 NTU 左右。

(3) 设计参数

深度处理改造设置预臭氧接触池 1 座, 臭氧投加量按 1.0 mg/L 调节, 接触时间为 2.8 min。

采用臭氧+上向流炭池+砂滤池深度处理工艺。将原沉淀池后部改造为活性炭池, 共设置活性炭池 3 座, 每座规模为 6 万 m³/d, 每座滤池分为 4 格, 过滤面积约为 55 m², 设计滤速为 11.77 m/h, 空床停留时间为 12 min, 活性炭滤料厚度为 2.35 m。

反冲洗方式为单独气冲加单独水冲洗方式, 气冲强度为 15 L/(s·m²), 水冲洗强度为 7 L/(s·m²)。冲洗周期约为一周一次。

(4) 改造结果及出水水质对比

水厂投入运行时间为 3 年左右, 随后更换水源, 改造前后水源不变, 期间其出水水质对比如表 3 所示。

表 3 X 水厂改造前后出厂水水质

Tab. 3 Effluent Water Quality before and after Reconstruction of WTP X

项目	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	氨氮 / (mg·L ⁻¹)	浑浊度 / NTU
改造前平均值	2.60	0.24	0.40
改造后 最高值	1.98	0.10	0.55
最低值	1.15	<0.02	0.05
平均值	1.52	0.06	0.20

由表 3 可知, COD_{Mn} 和氨氮浓度下降明显, 平均值下降幅度分别可达 41.5% 和 75%, 由于运行时间较长, 可以排除初期活性炭吸附能力的原因。浑浊度也有显著减小, 降幅可达 0.35 NTU, 改造后的平均值仅为改造前出厂水的 1/2。

6 结论

(1) 砂滤池改造成下向流炭砂滤池和将沉淀池后端改造成上向流炭池是现今土地紧张的水厂臭氧+生物活性炭深度处理改造的最常用手段。目前炭砂滤池改造工程案例较多, 而沉淀池后端改造炭池工程案例较少。

(2) 炭砂滤池改造存在冲洗强度难以控制、浑浊度去除效果下降等问题, 而沉淀池后端改造炭池则不存在这种问题。

(3) 前端沉淀池浑浊度控制不佳, 或者无臭氧接触池, 两者均会发生活性炭过早饱和现象, 因此, 建议在上游增加臭氧接触池。两者都存在跑炭问题, 但原因不同。

(4) 炭砂滤池应根据下游流程是否存在超滤膜设施, 确定炭层和砂层的厚度及反冲洗水冲强度。

(5) 沉淀池后端改造炭池的深度处理出水水质一般要优于炭砂滤池, 且稳定性更高。但沉淀池后端改造炭池土建工程量较大, 改造时间长, 需合理安排工期以保证水厂的正常生产。

参考文献

- [1] 赵晖, 王如华. 臭氧活性炭与膜过滤联用技术在清泰水厂工艺升级改造中的应用[J]. 净水技术, 2012(4): 13-18.
ZHAO H, WANG R H. Joint technological processes of ozone activated carbon and membrane filtration for upgrading and rehabilitation in Qingtai waterworks [J]. Water Purification Technology, 2012(4): 13-18.
- [2] 刘前军, 周胜昔. 超滤膜组合工艺在大型净水厂扩建工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8): 65-68.
LIU Q J, ZHOU S X. Application of the combined UF membrane units in large-scale waterworks extension project [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 65-68.
- [3] 邵志昌, 王长平, 黄孟斌, 等. 老旧水厂深度处理改造工程实践[J]. 中国给水排水, 2018, 34(2): 88-92.
SHAO Z C, WANG C P, HUANG M B, et al. Reconstruction practice of advanced treatment process in an aging waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2): 88-92.

(下转第 196 页)

- 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.