

郭兆学, 郭慧. 某北方水厂深度处理改造中工艺路线的比选和工程实践[J]. 净水技术, 2022, 41(4):141-148.

GUO Z X, GUO H. Comparison and selection of process routes and engineering practice in advanced treatment and reconstruction in a north WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(4):141-148.



扫我试试?

某北方水厂深度处理改造中工艺路线的比选和工程实践

郭兆学, 郭 慧

(淄博市水务集团有限责任公司, 山东淄博 255000)

摘 要 北方某地区水厂因原水水质存在总氮和硫酸盐等指标超标、出水高锰酸盐指数(COD_{Mn})接近限值等问题, 须增设深度处理工艺以提高供水水质。文中根据北方某水厂及其水源现状, 对纳滤、臭氧活性炭两种深度处理工艺进行详细比选, 最终确定臭氧-活性炭作为该水厂的深度处理工艺, 该工艺技术成熟, 投资与运行成本低, 水耗较少。文中还详细介绍了工艺流程、设计特点、主要设计参数和处理效果。工程实践证明该工艺出水效果稳定, 有机物去除效率高, 出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

关键词 深度处理 臭氧 纳滤 生物活性炭 水厂

中图分类号: TU991 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2022)04-0141-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.04.022

Comparison and Selection of Process Routes and Engineering Practice in Advanced Treatment and Reconstruction in a North WTP

GUO Zhaoxue, GUO Hui

(Zibo Water Affairs Group Co., Ltd., Zibo 255000, China)

Abstract Due to some raw water quality indices, such as total nitrogen and sulphate, exceeding the standard in north China, as well as permanganate index (COD_{Mn}) in effluent is nearly exceeding the standard in water treatment plant (WTP), advanced treatment process is considered necessary in water treatment plant's conversion to improve the effluent water quality. Two advanced treatment processes of nanofiltration and ozone-activated carbon are compared in detail according to the present situation of the water source in north China. Ozone-activated carbon is determined as the advanced treatment process of the WTP, which is mature, lower investment, operation cost and less water consumption. Process flow, designed characteristics, designed parameters and treatment effect are also introduced. It is proved in engineering practice that effluent water quality is stable with high efficiency of organic matter removal, which can meet the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2006).

Keywords advanced treatment ozone nanofiltration(NF) biological activated carbon(BAC) water treatment plant (WTP)

近年来,人们对供水水质的要求日益提高,饮用水安全问题已成为人们关注的焦点之一。诸多水厂为满足用户对水质要求,对滤池后出水进行深度处理,如超滤^[1]、纳滤^[2]、臭氧-活性炭^[3]等。其中,臭氧-活性炭深度处理工艺对铁、锰、臭和味、有机物、氨氮等指标具有良好的去除效果,同时对消毒副产

物也有较好的控制作用^[4],适用于微污染净水水源的处理。南方某水厂采用臭氧-活性炭处理发现有有机物指标明显降低,三卤甲烷前体物的去除率可以达到63.85%^[5]。常州市第一水厂臭氧-活性炭滤池于2018年投入生产,COD_{Mn}含量由1.1 mg/L降至0.55 mg/L,在浊度方面也有很好的去除效果^[6]。目前,全国各地自来水厂均有采用臭氧-活性炭技术作为保障出水水质的深度处理工艺,如上海^[7]、青岛^[8]、苏南^[9-10]等。本文以北方某水厂为

[收稿日期] 2021-06-30

[作者简介] 郭兆学(1973—),男,主要从事给排水运营方面的工作,E-mail:gzx116633@163.com。

例,通过对现有深度处理进行比选,最终确定臭氧-活性炭工艺作为该水厂深度处理,以应对原水水质总氮指标超标、出水耗氧量指标较高等问题,从而改善出水水质,提升水质安全性和稳定性。

1 项目概况

北方某水厂采用常规处理工艺,处理规模为 10 万 m^3/d ,主要流程包括混凝、沉淀、过滤、消毒 4 个过程。常规处理工艺主要作用是去除原水中悬浮物(SS)、胶体和致病微生物,但应对原水水质突变的能力较弱,尤其是当原水中硫酸盐、有机物等指标出现较大幅度波动时,可能会出现水质的安全隐患。在实际生产运行过程中,水厂技术人员采取了很多水质保障措施,如投加臭氧^[11]、粉末活性炭^[12]等,取得了较好的效果,但相应水处理成本升高。因此,

要从根本上解决问题,必须加快实施水厂深度处理工艺改造。

该水厂所处地区水源匮乏,水源主要以引黄水为主,引黄水总体符合 III 类水标准,但部分有机物浓度超标。水厂在引黄水源不足时会使用南水北调东线来水作为水厂水源,根据已有文献资料^[13-14],南水北调东线中重要调蓄设施的南四湖和东平湖历年有机物指标中高锰酸盐指数(COD_{Mn})指标较高,有机污染明显,并存在硫酸盐等超标现象。除此之外,为缓解水源紧缺现状,改善公共供水品质,该地区使用海水淡化水作为补充水源。

原水水质部分数据如表 1 所示,出水水质部分数据如表 2 所示。

表 1 原水水质
Tab. 1 Raw Water Quality

检验项目	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	3.32	3.10	3.32	3.05	3.12
总氮(以 N 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	2.20	2.57	2.26	1.25	4.10
氨氮(以 N 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.12	0.14	0.18	0.22	0.34
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	277.00	259.00	228.00	197.00	232.00
浊度/NTU	1.72	0.70	1.49	1.28	1.72
总硬度(以 CaCO_3 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	272	277	356	233	235
溶解性总固体/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	798	698	617	692	586

表 2 出水水质
Tab. 2 Water Quality of Finished Water

检验项目	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	2.26	2.62	2.38	2.60	2.44
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	249.00	249.00	226.00	199.00	236.00
pH 值	8.32	8.24	8.07	7.90	7.94
氨氮(以 N 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.06	0.09	0.16	0.18	0.26
硝酸盐(以 N 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	2.33	1.20	0.83	0.92	1.11
总硬度(以 CaCO_3 计)/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	277	260	128	232	247
溶解性总固体/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	682	711	628	698	590
浊度/NTU	0.41	0.37	0.47	0.37	0.37
臭和味	无	无	无	无	无

由表 1、表 2 可知,水厂原水大部分指标满足《地表水环境质量标准》III 类标准,但硫酸盐和总氮有超标情况。经过水厂处理后,出厂水能够符合

《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,不过原水中 BOD_5 含量较高,臭和味偶有异常,出厂水中 COD_{Mn} 部分时段已接近上限,总硬度和硫酸盐

数值偏高。在南水北调水掺入后,该水厂的常规工艺应对原水水质恶化的能力较弱,存在一定的安全隐患。为了提高供水安全性,需进一步改造现有水厂,增设深度处理以应对原水水质的变化。

2 水厂深度处理方案的比选

2.1 纳滤膜方案

2.1.1 工程方案

本方案纳滤膜系统产水能力按 5.0 万 t/d 设计。为考虑尽可能节约水资源,减少常规处理工艺负担,本方案膜处理回收率目标设定值 $\geq 90\%$ 。针对水厂常规工艺出水水质特征,结合纳滤膜特点,为进一步提高回收率,本方案深度处理工艺采用二级纳滤处理工艺。

2.1.2 工艺流程

本方案采用 5.0 万 t/d 的砂滤池出水进行纳滤处理降低硬度和硫酸盐浓度,再与剩余 5.0 万 t/d 的出水进行勾兑,从而降低供水总硬度和硫酸盐浓度。砂滤池出水经加压后作为一级纳滤自清洗过滤器进水;一级纳滤自清洗过滤器产水进入一级纳滤膜系统,自清洗过滤器反冲洗废水进入废水储罐;一级纳滤膜系统采用 80% 回收率,脱盐率 $>95\%$,纳滤后清水进入清水池,浓水排入浓水池;浓水池内浓水经加压后进入二级纳滤膜系统,二级纳滤采用 $\geq 50\%$ 回收率,脱盐率 $>95\%$,纳滤后清水进入清水池,浓水排放;清水池内纳滤产水与未处理的水混合后,通过水泵加压输送市政管网。工艺流程如图 1 所示。



图 1 纳滤膜深度处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of NF Advanced Treatment

最终,浓盐尾水量为 5 000 m³/d。根据水厂出厂水水质指标平均值推算尾水中主要指标含量, COD_{Mn} 含量为 22.5 mg/L,硫酸盐含量为 2 500.00 mg/L。

2.1.3 出水水质

5.0 万 t/d 的常规处理出水经纳滤系统处理后,与另外 5.0 万 t/d 的砂滤池出水进行兑水,出水水质如表 3 所示。

表 3 方案一出水水质指标

Tab. 3 Treated Water Quality Indices of Scheme One

检测项目	水厂值	检测项目	水厂值
浑浊度/NTU	<0.1	三卤甲烷/(mg·L ⁻¹)	~0.2
总碱度/(mg·L ⁻¹)	99.1	硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	~150.00
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	~1.0	/(mg·L ⁻¹)	
pH 值	8.42	总硬度(以 CaCO ₃ 计)	<150
电导率/(μS·cm ⁻¹)	~600	/(mg·L ⁻¹)	

2.1.4 工程投资和运行成本

本方案工程投资估算费用约为 1.2 亿元,制水成本约为 1.250 元/t,可变成本约为 0.900 元/t。按

照 1:1 兑水均摊后,制水成本约为 0.625 元/t,可变成本约为 0.450 元/t。

2.1.5 工艺优点及存在问题

该处理工艺可以有效降低总硬度和硫酸盐硬度,且对有机物的去除具有一定效果,用于本工程中去除硫酸盐是合适的,且受原水含盐量波动影响较小。

但是浓盐尾水溶解性无机盐和有机物含量较高,且该部分浓盐水无法进行回用,处置需做分析。由于水损耗量较大,水厂如要继续保证原设计规模,仍需提高进水流量。另外,膜处理工艺工作压力高,耗电量大,初步估算膜综合车间用电量约为 1 200 kW·h,需对现有水厂电源进行扩容。

2.2 臭氧-活性炭方案

2.2.1 工程方案

本方案深度处理工艺采用臭氧-生物活性炭方案。海水淡化水通过泵站输送到水厂内的沉淀池,与水厂水一同进入臭氧接触池和活性炭接触滤池进行处理。

根据海水淡化水应急工程的水量分配,分配到

该水厂的水量为 2.0 万 t/d, 可以作为水厂的部分水源。海水淡化水能满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[15] 的要求, 产品水水质尤其是溶解性指标显著优于地表水源给水厂出厂水质, 如表 4 所示。

表 4 海水淡化水水质
Tab. 4 Water Quality of Desalinated Water

项目	检测值
pH 值(25 ℃)	7.12
电导率(25 ℃)/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	570
氯离子(Cl^-)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	161
总硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	12
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)	3.70
COD_{Mn} /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.61
SS/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	<5
浑浊度/NTU	0.37

由表 4 可知, 在输水管网中的海水淡化水总硬度较低, 仅为 12 mg/L (以 CaCO_3 计), SO_4^{2-} 含量较低, 仅为 3.70 mg/L , Cl^- 含量偏高, 为 161 mg/L 。

将原水和海水淡化水以 8:2 (原水为 8.0 万 t/d, 海水淡化水为 2.0 万 t/d) 进行掺混, 掺混后的主要水质推算如下 (现状原水按照 90% 保证率下的水质指标推算), 如表 5 所示。

表 5 水质分析

Tab. 5 Water Quality Analysis

检测项目	掺混后的原水指标
浑浊度/NTU	~3.0
总碱度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	95.0
COD_{Mn} /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~3.5
pH 值	8.10
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计) /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~248.00 (按现状原水为 300.00 mg/L)
总硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~272

海水淡化水的优点是硫酸盐含量较低, 和硫酸盐含量较高的原水掺混后, 可以降低原水中总硫酸盐浓度。

根据应急工程的方案设计, 海水淡化水进入水厂后, 预留有两个接口, 一个进入反应沉淀池, 另一个接口进入清水池, 根据海水淡化水的水质情况进行切换。当进厂海水淡化水水质较差时进入反应沉淀池, 当其能满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 标准要求时, 直接进入清水池。

2.2.2 工艺流程

根据工程方案, 水厂深度处理工艺流程为: 砂滤池出水进入中间提升泵房, 经提升后进入臭氧-活性炭滤池, 经过臭氧-生物活性炭处理后进入清水池, 经现有清水泵房增压后进入管网。工艺流程如图 2 所示。

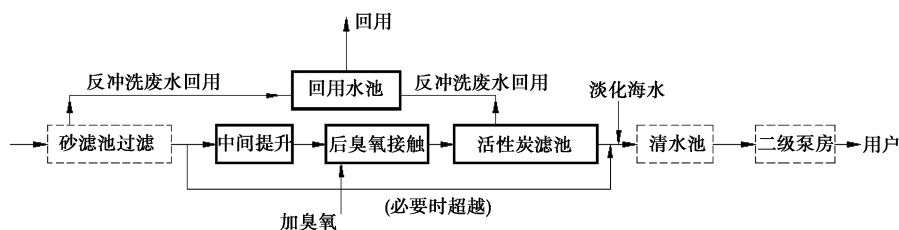


图 2 臭氧-活性炭深度处理工艺流程

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

2.2.3 出水水质

方案二出水水质指标如表 6 所示。

2.2.4 工程投资和运行成本

本方案工程投资估算费用约为 8 000 万元, 制水成本约为 0.230 元/t, 可变成本约为 0.160 元/t。

2.2.5 工艺优点及存在问题

工艺针对微污染原水, 臭氧-活性炭工艺可以

表 6 方案二出水水质指标

Tab. 6 Water Quality of Effluent of Scheme Two

检测项目	出厂水	检测项目	出厂水
浑浊度/NTU	~0.12	三卤甲烷/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~0.35
总碱度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~90	硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~225.00
COD_{Mn} /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	~1.80	总硬度(以 CaCO_3 计)/	~250
pH 值	~8.0	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	

有效地降解水体中的有机物质,在一定程度上可以去除部分氨氮,经过臭氧-活性炭工艺可以提高出水口感,能够有效解决臭和味的问题。

活性炭滤池的反冲洗废水进入回用水池后可输送至絮凝池前段进行回用,减少水耗。

臭氧-活性炭工艺对浑浊度、有机物有很好的去除效果,但是对水中的无机盐去除效果有限,目前结合应急工程与海水淡化水进行掺兑,可以解决无机盐超标问题。但远期来看,当海水淡化厂的海水淡化水只能满足其周围区域用水而不能向水厂供水时,仍然存在无机盐超标的风险。

2.3 方案对比

根据以上对方案特点的分析,结合方案经济指标,两个方案的经济技术综合比较如表 7 所示。

表 7 方案综合比较

Tab. 7 Comprehensive Comparison of Schemes

项目	纳滤膜处理方案	臭氧-生物活性炭+海水淡化水掺混
产能/(万 t·d ⁻¹)	5.0	10.0
出水总量/(万 t·d ⁻¹)	10.0	10.0
投资/亿元	1.2	0.8
成本/(元·t ⁻¹)	0.625(均摊后)	0.230
可变成本/(元·t ⁻¹)	0.450(均摊后)	0.160
出水水质	较优	优
系统管理的复杂性	复杂	简单
水资源的开发利用	存在 5 000 m ³ /d 的水耗	无水耗,水资源开发利用性好
尾水处置的难易性	浓盐水,难度高	全部回用
水厂用地要求	无新征地	无新征地

按照水厂出厂水水质推算,两个方案出水水质

均能满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。从出水的各项指标分析来看,方案一中纳滤膜因其强大的去离子能力,出厂水的各项指标均优于标准值,溶解性无机物得到进一步去除,出水水质好、保证率高。但纳滤膜生产系统复杂,管理维护工作量大,初期投资和制水成本都较高,并且会产生一定量的浓盐水,尾水处置难度大、成本高。方案二臭氧-生物活性炭+海水勾兑在解决水体有机微污染、臭和味、口感等问题方面具有优势,该工艺技术成熟,管理经验丰富,投资和运行成本低,另外采用与海水淡化水的勾兑方案也能有效降低无机盐问题。对于溴酸盐问题,相同地区相同原水的水厂深度处理运行经验表明,控制臭氧的投加量可以控制溴酸盐的生成,当前臭氧投加量为 1 mg/L、后臭氧投加量控制在 1 mg/L 时,出水溴酸盐的含量会稳定在 0.005 mg/L 以下,低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的 0.01 mg/L。因此,本次深度处理初步考虑选用方案二,即将臭氧-生物活性炭+海水淡化水勾兑的深度处理工艺作为推荐方案。

但上述方案中,水质是在有海水淡化水进行掺混的时候进行推算的,而引海水淡化水只是应急工程,当远期海水淡化水只能满足附近的供水需求而不能向该水厂进行供水时,原水中无机盐仍然偏高。如果没有新的海水淡化水进入,只依靠臭氧-活性炭系统不能有效降低无机盐,仍需要考虑降低无机盐的措施,因此,本设计预留处理能力为 3.0 万 t/d 的纳滤系统。

3 工程设计

本工程采用臭氧-活性炭+海水勾兑的方案处理作为深度处理的主工艺。工艺流程如图 3 所示。

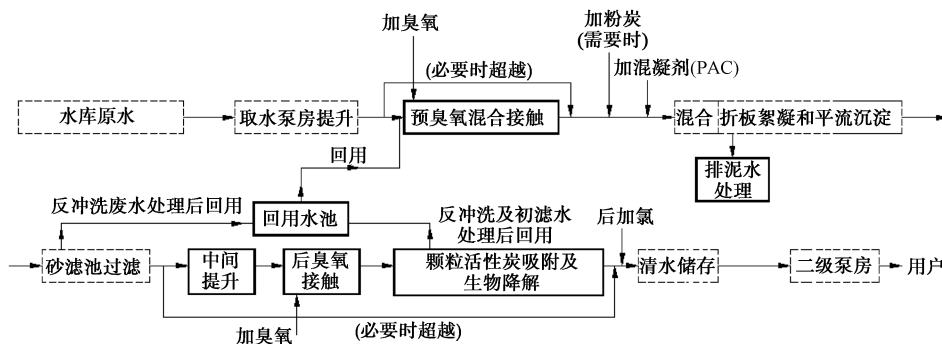


图 3 工艺流程图

Fig. 3 Process Flow Chart

3.1 预臭氧接触混合器

由于目前水库低水位运行,引起原水藻类、臭和味的增加,因此,根据水厂实际条件,拟利用厂内原水管内原水停留时间较长的特点,初步考虑在原水进厂后设置预臭氧投加点,采用臭氧注射泵进行管道投加。

在厂区原水总管阀门后增加不锈钢管道混合器,将臭氧和进水混合。厂区内原水管总长为360 m,按10.0万 m^3/d 的进水计算,在管道内停留时间为8.0 min,在管道内停留时间为4.0 min,满足预臭氧的消毒时间要求。考虑到臭氧对钢管有腐蚀作用,对进水总管在臭氧投加后的200 m管道进行防腐处理,采用氟碳涂料喷涂防腐。

3.2 深度处理综合池

中间提升泵房、后臭氧接触池、生物活性炭滤池反冲洗泵房合建,平面尺寸为31.00 m \times 70.00 m。

3.2.1 中间提升泵房、鼓风机房及反冲洗水泵房

中间提升泵房、鼓风机房及反冲洗水泵房合建,设计规模为10.0万 m^3/d 。

提升泵房用于提升滤后水至后臭氧接触池,泵房内设立式斜流泵3台,2用1备,单泵流量为2125 m^3/h ,扬程为9.0 m,配套电机功率为90 kW。

鼓风机房内设鼓风机3台,2用1备,每台鼓风机风量为1925 m^3/h ,扬程为4.0 m,配套电机功率为75 kW。

反冲洗采用水泵直接从活性炭滤池后出水引水冲洗,反冲洗泵房内设卧式离心泵3台,2用1备,单泵流量为875 m^3/h ,扬程为10.5 m,配套电机功率为37 kW,每台水泵配有变频调速装置,以适应气温变化引起的炭滤池冲洗强度的改变。

3.2.2 后臭氧接触池及生物活性炭滤池

后臭氧接触池设计规模为10.0万 m^3/d ,分为可独立运行的2座,每座设计规模为5.0万 m^3/d 。臭氧最大投加量为2.0 mg/L,平均加注量为1.5 mg/L,总接触时间为12 min,设3个阶段,按4:4:4的时间比例设置。臭氧曝气装置采用微气泡曝气头形式,设置于接触池底部。整个后臭氧接触池为全封闭设计。池顶部设正负压释放阀,设不锈钢人孔盖板以及臭氧尾气收集管,臭氧尾气收集管接至尾气破坏装置处理。

生物活性炭滤池设计规模为10.0万 m^3/d ,6格

滤池双排布置,单格滤池面积为69.69 m^2 ,滤速为10.46 m/h,空床停留时间为12.9 min。活性炭滤池为全封闭设计,在池顶设置观察透气窗。

活性炭滤池滤料采用颗粒活性炭,滤料厚度为2.25 m,采用8 \times 30粒度(相当于2.38 \times 0.60 mm),堆积密度为0.35~0.55 g/ cm^3 ,不均匀系数 K_{80} 为1.9~2.0,下层采用粗砂支承层,厚度为0.25 m,粒径为1~2 mm。采用短柄滤头方式配水,反冲洗方式为单独气冲加单独水冲洗方式,气冲强度为55 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,水冲洗强度为25 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。活性炭滤池设计冲洗周期为5~7 d。

此外,滤池管廊内设电动单梁悬挂式起重机1台,起重量为5 t。

3.3 臭氧制备车间及氧气站

臭氧制备车间设计规模为10.0万 m^3/d 。臭氧制备系统包括设置臭氧发生系统、供电单元、尾气破坏系统、冷却水系统、空压系统、MCC、PLC及变压器等。

设臭氧发生器2套,均为常用,每台发生器正常供气量为6.56 kg/h。利用臭氧发生器不同浓度产气量不同的特性,采用软备用,事故时单台臭氧发生最大制备能力为8.75 kg/h,满足事故时水厂臭氧投加量。设置尾气破坏装置2套,1用1备,用于收集和分解后臭氧的尾气。尾气破坏装置设置于管廊内。

进入臭氧发生器的氧气应配入适量的氮气,因此,设置空压系统提供空气气源。设空压机组2套,1用1备,每台空压机风量为54 m^3/h ,工作压力为700~900 kPa,空压机附设储气罐、过滤器等设备。

在臭氧制备车间南侧设置氧气站1座,为户外设置,占地面积约为108 m^2 。

液氧系统主要设备包括15 m^3 的液氧储罐2台,汽化器2台。

4 运行效果

水厂采用臭氧-生物活性炭工艺为该厂深度处理工艺后,水厂出水水质如表8所示。

臭氧-生物活性炭工艺在改善水的色度、去除氨氮和有机物等指标方面具有更好的效果,同时,可以提高出厂水的口感,改善臭和味。由该水厂1年的运行数据可知,出厂水色度均低于5度,远低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定的

表 8 出水水质数据
Tab. 8 Water Quality of Finished Water

月份	硝酸盐 (以 N 计) /(mg·L ⁻¹)	硫酸盐 (以 SO ₄ ²⁻ 计) /(mg·L ⁻¹)	溶解性 总固体 /(mg·L ⁻¹)	总硬度 (以 CaCO ₃ 计) /(mg·L ⁻¹)	COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	氨氮 (以 N 计) /(mg·L ⁻¹)	色度/度	臭和味
1 月	0.64	199.00	527	261	1.82	0.23	≤5	无
2 月	0.54	178.00	533	271	2.07	0.14	≤5	无
3 月	7.30	177.00	540	271	2.07	0.20	≤5	无
4 月	1.50	179.00	571	275	1.92	0.11	≤5	无
5 月	1.00	147.00	594	285	2.11	0.21	≤5	无
6 月	1.71	179.00	608	281	1.77	0.31	≤5	无
7 月	1.92	195.00	579	277	1.54	0.40	≤5	无
8 月	0.92	111.00	365	211	1.78	0.41	≤5	无
9 月	1.62	160.00	553	265	1.98	0.12	≤5	无
10 月	1.03	158.00	573	281	1.87	0.12	≤5	无
11 月	1.10	170.00	577	281	1.66	0.07	≤5	无
12 月	1.14	160.00	574	273	1.68	0.10	≤5	无

15 度。硝酸盐和氨氮质量浓度分别满足低于 10.00 mg/L 和 0.5 mg/L 的国标要求,其中,硝酸盐质量浓度在多数时间段低于 2.00 mg/L。COD_{Mn} 质量浓度也均低于国标规定的 3 mg/L。这是因为臭氧的氧化作用可以破坏有机物结构,降低色度,增加水质的可生化性。同时在氧化的过程中,臭氧也起到了充氧的作用,提高了活性炭表面微生物去除有机物的能力,大大延长了活性炭的再生周期^[16]。

5 结论

根据水厂目前存在的水源水质的问题,本文比较了纳滤、臭氧-活性炭+海淡水掺混两个深度处理方案,通过分析不同工况下深度处理的出水水质情况,进行技术经济比较,最终确定了臭氧-活性炭工艺作为该水厂的深度处理工艺,该工艺优点如下:

- (1) 臭氧-活性炭技术成熟,投资与运行成本低;
- (2) 臭氧-活性炭技术在处理有机物方面具有一定优势,且出水臭和味、口感等方面效果较好;
- (3) 相比于膜处理工艺,臭氧-活性炭工艺水耗低,反冲洗水经回用水池后进入预臭氧接触池前端,可全部回用,无需排放至污水系统,水资源开发利用性好。

此外,本文工程设计为沿海缺水城市提供了海水淡化+臭氧-活性炭出水掺混的思路,臭氧-活性炭深度处理工艺可以有效降低水中有机物,对提升出

水口感有明显作用。与海水淡化水混掺可降低原出水中总硬度、硫酸盐浓度,同时,该运行方式减少对水库水的需求,缓解水库长期低水位运行导致水库水水质变差的问题,可以作为其他水厂的参考依据。

参考文献

- [1] 肖茂亮,毛庆礼. 超滤膜系统在净水厂深度处理工艺中的应用[J]. 通用机械, 2020(6): 12-14.
- [2] 刘丹阳,赵尔卓,仲丽娟,等. 低压纳滤膜用于微污染地表水深度处理的中试研究[J]. 给水排水, 2019, 55(4): 15-23.
- [3] 刘连清. 臭氧-生物活性炭工艺在江苏某水厂提标扩建中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(7): 18-23.
- [4] KNOPP G, PRASSE C, TERNES T A, et al. Elimination of micropollutants and transformation products from a wastewater treatment plant effluent through pilot scale ozonation followed by various activated carbon and biological filters [J]. Water Research, 2016, 10(2): 580-592.
- [5] 张晓娜,何嘉莉,陈卓华,等. 南方某水厂臭氧/活性炭深度处理工艺运行效果[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 43-46.
- [6] 任中佳. 常州第一水厂臭氧活性炭深度处理改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(18): 69-72.
- [7] 黄锋,王双菊. 金山一水厂深度处理工艺水质效果评价[J]. 净水技术, 2016, 35(s1): 56-59.
- [8] 张晏晏,王晏,洪景涛,等. 青岛白沙河水厂臭氧-生物活性炭系统运行调试[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 113-117.

- [9] 钱文明. 肖山水厂臭氧-活性炭深度处理工艺试验研究及工程设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [10] 夏星宇, 徐乐中. 苏南某水厂深度处理稳定运行效能分析研究[J]. 广东化工, 2019, 46(9): 48-49.
- [11] 颜丙乾. 臭氧在自来水厂深度处理中的设计与应用[J]. 环境与发展, 2019(7): 248-249.
- [12] 梅胜权, 陆晓东, 申甄华. 煤基活性炭在饮用水处理中的应用现状及发展趋势[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(s1): 76-79.
- [13] 王明玮, 张漫婷. 东线工程对水源地与南四湖生态环境的影响[J]. 科技风, 2020(12): 125-126.
- [14] 王滨勇, 刘楠, 童力. 南四湖流域硫酸盐来源及管控措施分析[J]. 曲阜师范大学学报, 2021, 47(2): 119-123.
- [15] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 侯宝芹, 韩卫, 倪杭娟. 臭氧活性炭深度处理工艺机理及其净水效果研究[J]. 城镇供水, 2018(5): 21-25.

(上接第 80 页)

标准,表明 AAO 生物处理系统及反硝化深床滤池具有较好的抗冲击负荷能力。该厂的运行管理经验对于采用 AAO+深度处理工艺的大型污水处理厂提标改造具有借鉴意义。

(4)针对提标改造后除磷药剂投加、滤床堵塞、季节性藻类问题,适当采取工程技术性改善措施,可节能降耗、降低运行成本。

参考文献

- [1] 张双, 杨仁凯, 陈贵生, 等. 高效沉淀池与滤布滤池组合工艺在某污水处理厂提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(2): 26-31, 49.
- [2] 曾木海. 污水处理厂污水深度处理工艺综述与案例分析[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 75-80, 102.
- [3] 白海梅, 李明杰. 上海市竹园第一、第二污水处理厂提标改造工程案例[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 41-45, 50.
- [4] 江霜英, 王雨. 上海市竹园第一污水处理厂升级改造工程[J]. 给水排水, 2008, 34(6): 37-39.
- [5] 刘颖, 张朝辉, 张焕胜, 等. 污水可生化性及其影响因素研究[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(6): 1029-1032.
- [6] 刘永淞. 污水可生化性评价[J]. 中国给水排水, 1995, 11(5): 36-38.
- [7] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 5版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [8] 邓荣森. 氧化沟污水处理理论与技术[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [9] 温沁雪, 王官胜, 陈志强, 等. 聚合铝铁强化 AAO 系统脱氮除磷研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(6): 945-948.
- [10] 李炜炜, 吴国防, 丁云松, 等. 城市污水厂化学除磷投药点后移的生产性试验[J]. 中国给水排水, 2010, 26(10): 107-109.
- [11] 姚杰. 上海主城区污水处理厂能力提升需求研究[J]. 给水排水, 2020, 46(3): 82-87.
- [12] 王社平, 李立军, 程晓波, 等. 改良型 AAO 工艺处理城市污水的实际效果分析[J]. 中国给水排水, 2014, 30(19): 76-79.
- [13] 计建洪. AAO 生化法+物化法污水处理厂运行效果分析[J]. 水处理技术, 2019, 45(11): 132-134, 138.
- [14] 金虎子, 王韬, 杨永哲, 等. 西安市污水处理厂改良 AAO 工艺的运行效果分析[J]. 中国给水排水, 2008, 24(22): 86-89.
- [15] 李子富, 云玉攀, 曾灏, 等. 城市污水处理厂化学强化生物除磷的试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(12): 3070-3077.
- [16] 贾玉柱, 赵月来, 刘成钰, 等. P-RTC 化学除磷智能实时控制系统在污水厂的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 87-90.
- [17] 庞洪涛, 薛晓飞, 邱勇, 等. 城市污水化学除磷优化控制技术及其工程应用[J]. 中国给水排水, 2014, 30(23): 16-18.
- [18] 马伟芳, 郭浩, 姜杰, 等. 城市污水厂化学除磷精确控制技术研究及工程示范[J]. 中国给水排水, 2014, 30(5): 92-95.
- [19] 刘秀红, 甘一萍, 李鑫玮, 等. 污水再生回用过程中反硝化滤池的实时过程控制与工程应用[C]. 广州: 全国水处理化学大会, 2014.
- [20] 贾超, 许国仁. 生物滤池沿程生物量与反冲洗污泥的研究[J]. 工业水处理, 2015, 35(12): 40-43.
- [21] 王春, 张龙, 戚雷强, 等. 城市给水系统藻类污染及控制措施探讨[J]. 净水技术, 2020, 39(s2): 7-11.
- [22] 高静思, 朱佳, 董文艺. 光照对我国常见藻类的影响机制及其应用[J]. 环境工程, 2019, 37(5): 111-116.
- [23] 陈其伟, 孙一兵, 许光眉, 等. 基于物联网的太阳能农村污水处理技术应用[J]. 水处理技术, 2015, 41(6): 116-118, 122.
- [24] 蒋微微. 太阳能在农村生活污水中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(s1): 194-196.