

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.019

# 采用南水北调原水的清河清源净水厂工程设计

王新宇<sup>1</sup>, 卫佳<sup>1</sup>, 杨计强<sup>2</sup>, 邵爽<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 河北省清河县水务局, 河北 清河 054800)

**摘要:** 河北省清河清源净水厂工程采用南水北调长江水置换原来的含氟地下水水源,改善了当地自来水水质,成为当地民心工程。清源净水厂近期处理规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,远期为  $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据原水水质低温低浊、藻类偏高等特点,净水厂采用预臭氧/机械混合/机械絮凝池/平流沉淀池/主臭氧接触池/上向流活性炭吸附池/V型滤池/UV+次氯酸钠消毒工艺。建成后,出水水质远优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)各项指标要求,出水浊度平均值为 0.20 NTU、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  平均值为 1.29 mg/L。

**关键词:** 南水北调原水; 上向流活性炭吸附池; 紫外消毒

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0118-04

## Design of Qinghe Qingyuan Water Purification Plant with Raw Water of South-to-North Water Diversion

WANG Xin-yu<sup>1</sup>, WEI Jia<sup>1</sup>, YANG Ji-qiang<sup>2</sup>, SHAO Shuang<sup>1</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Qinghe County Water Bureau, Qinghe 054800, China)

**Abstract:** The project of Qinghe Qingyuan water purification plant in Hebei Province uses the Yangtze River raw water of South-to-North Water Diversion to replace the original fluorine-containing groundwater source, which improves the local tap water quality and becomes the local popular project. The treatment capacity of Qingyuan water purification plant in the near future is  $50\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $110\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  in the long term. According to the characteristics of raw water quality such as low temperature, low turbidity and high algae, the water purification plant adopted the process of preoxidation, mechanical mixing, mechanical flocculation tank, advection sedimentation tank, ozone contact tank, upward flow activated carbon adsorption tank, V filter, UV and  $\text{NaClO}$  disinfection. After completion, the effluent quality was much better than *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006), and the average turbidity of effluent was 0.20 NTU,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  was 1.29 mg/L.

**Key words:** raw water of South-to-North Water Diversion; upward flow activated carbon adsorption tank; UV disinfection

在清源净水厂工程建成前,河北省清河县生活、生产用水均采用地下水,城区浅层地下水不能饮用,

深层地下水氟化物超标(含氟量为 $2.5\text{ mg/L}$ ,国家饮用水卫生标准限值为 $1\text{ mg/L}$ )。自2017年清源净水厂正式通水后,南水北调的长江水置换了城区原来的高氟地下水作为清河县生产和生活用水主要水源。清源净水厂工程的建设为清河县全面建设小康社会提供了优质水资源,是当地的民心工程。

## 1 水质分析与工艺流程确定

清源净水厂设计规模近期为 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,远期为 $11 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,占地 $7.6\text{ hm}^2$ 。近期以南水北调的长江水为取水水源,为保证供水安全,拟建引黄入冀来水的供水调蓄水库作为本工程近期备用水源;因分配给清河的长江水量不能满足清河县远期需水量,因此远期拟采用长江水与引黄入冀来水联合作为供水水源。

南水北调来水中除了总氮偏高(约 $0.6 \sim 1.28\text{ mg/L}$ )外,其他指标基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类水标准,浊度常年低于 $20\text{ NTU}$ ,藻类含量偏高,最高达 $1\,690 \times 10^4\text{ 个/L}$ 。

引黄入冀来水为本工程近期备用及远期联合供水水源,其水质偶尔会有部分指标偏高,其中总磷( $0.4\text{ mg/L}$ )属地表Ⅴ类水质,高锰酸盐指数( $8.6\text{ mg/L}$ )、汞( $0.000\,19\text{ mg/L}$ )属Ⅳ类水质,其他指标均属Ⅱ、Ⅲ类水质。引黄水源调蓄水库是典型的水库水质,有机物偶尔偏高,且冬季低温低浊,会有高藻暴发可能。

根据以上多水源进水水质分析,采用强化常规处理投加高锰酸钾及原水预臭氧处理+上向流臭氧活性炭与UV消毒联合深度处理工艺应对常规水质及高藻、有机物超标的情况,同时通过合理选择净水构筑物设计参数及采用滤池反冲洗废水回用等措施,应对冬季低温低浊的原水水质情况。

水厂净水工艺流程:预臭氧/机械混合/机械絮凝池/平流沉淀池/主臭氧接触池/上向流活性炭吸附池/V型滤池/UV+次氯酸钠消毒(见图1)。

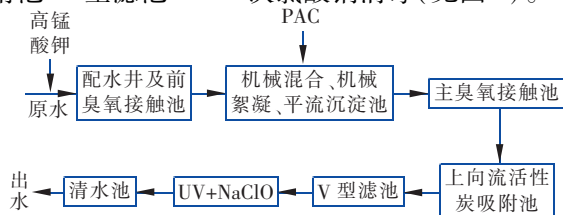


图1 水厂工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of the water purification plant

## 2 工程设计

### 2.1 原水预处理

预处理工艺作为其他工艺的辅助措施,先对超标较多、指标较高物质进行减量或改变其性质,以减轻后续工艺的压力。

生物预处理去除污染物的效果在冬季低温时将明显下降,清河冬季南水北调长江水水温长期低于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,引黄水库水常年低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,不适合采用生物预处理工艺。

根据原水水质,清源净水厂预处理的目标物主要是藻类、微量有机物以及嗅味,主要适用的方式为强氧化处理技术。采用预臭氧方式具有较好的针对性,副产物少,且结合臭氧活性炭深度处理单元设置,制取方便,投加简单。因此确定采用臭氧预氧化作为清源水厂的预处理措施。

清源水厂预臭氧接触池是集配水、稳压、沉砂、预臭氧化等作用于一体的构筑物。设计流量按远期 $1.36\text{ m}^3/\text{s}$ 设计,水力停留时间为 $5\text{ min}$ 。配水井设有臭氧投加射流器、臭氧尾气浓度仪、双向呼吸阀、臭氧尾气破坏器、出水不锈钢配水堰板等,池底设有排砂斗和排砂管,定期重力排砂。

另外在加药间还设置高锰酸钾投加系统,用于去除藻类和应对突发污染。

### 2.2 混合絮凝沉淀池

#### ① 混合絮凝

机械混合和机械絮凝对净水厂进水流量变化的适应性强,能在各种流量条件下取得较好的混合效果,同时能耗较低。清源净水厂工程初期建成投产后期处理水量不能立即达到设计规模,且将来原水水源由引江、引黄联合供水后,水质将发生变化,因此采用适应性强的机械混合和机械絮凝。

混合时间为 $60\text{ s}$ ,混合池共2格。每格设置1台搅拌器,搅拌器配备调速电机,搅拌速度梯度 $G$ 取 $500\text{ s}^{-1}$ 。

垂直轴式机械絮凝总絮凝时间为 $20\text{ min}$ ,分2组,每组3格。絮凝池共分为3档,每档搅拌叶轮所产生的水流速度梯度:第一絮凝区为 $47\text{ s}^{-1}$ ,第二絮凝区为 $27\text{ s}^{-1}$ ,第三絮凝区为 $12\text{ s}^{-1}$ ,平均为 $32\text{ s}^{-1}$ ,絮凝池总 $GT$ 值为 $3.94 \times 10^4$ 。

#### ② 沉淀

采用对原水水质变化适应性和耐冲击负荷能力强、水力条件好、处理效果稳定、运行管理方便、池体

构造简单、稳定成熟的平流沉淀池。

机械混合池、机械絮凝池与平流沉淀池合建。设有2组,沉淀时间为2 h,水平流速为11 mm/s,沉淀池采用指形槽出水,虹吸式吸泥机排泥。考虑到冬季平流池水面可能结冰,在沉淀池内长边设置潜水防冻泵和防冻管,利用压力水流动避免沉淀池顶面冬季结冰。

### 2.3 深度处理工艺

深度处理工艺通常采用臭氧活性炭工艺,一般将臭氧活性炭单元置于常规处理之后,即:混凝沉淀+砂滤池+中间提升泵房+臭氧接触池+活性炭滤池工艺,采用后置活性炭滤池可能有微生物泄漏风险。清河净水厂采用臭氧活性炭单元前置工艺,即:混凝沉淀+臭氧接触池+活性炭滤池+砂滤池+消毒。前置活性炭滤池一般采用上向流池型。

相对于后置的下向流活性炭滤池流程,前置的上向流活性炭吸附池具有以下优点:

① 上向流滤池的膨胀床使得整个活性炭床层都处在微生物活性较高的状态,炭粒略悬浮于上升水流中,水流表面更新更快,炭粒对水中污染物处理能力更强,去除有机物效果更好;

② 由于炭层膨胀活动,微生物与红虫等不易集积在炭层生长而可被水流带出,可以减少出水微生物的影响;

③ 采用上向流活性炭吸附池,使水流至滤池表面路径变长,臭氧与活性炭或水中物质持续反应,将余臭氧消耗至最小,有效控制余臭氧逸出;

④ 水头损失比较小,约为1.0~1.2 m;

⑤ 水冲洗利用滤池进水,仅增加气冲方式,减少水冲洗泵,节约工程投资,降低运行费用;

⑥ 前置上向流活性炭吸附池,后设置砂滤池,可有效避免炭滤池出水浊度升高和微生物泄漏。

### 2.4 滤站设计

主臭氧接触池与活性炭滤池、砂滤池、反冲洗泵房及鼓风机房合建。其中反冲洗泵房及鼓风机房和管廊设于室内,活性炭滤池、砂滤池与主臭氧接触池建在室外。

#### ① 主臭氧接触池

沉淀池出水经主臭氧接触池后进入上向流活性炭吸附池,主臭氧接触池与滤池合建,池顶加盖。接触时间为14 min,分2格,保证水中余臭氧为0.2~0.4 mg/L。臭氧扩散装置采用陶瓷微孔曝气器。

臭氧接触池顶设有臭氧破坏器间,采用加热催化型破坏器去除尾气里残留的臭氧。接触池顶还设置双向呼吸阀和密封人孔等。

#### ② 上向流活性炭吸附池

活性炭滤池采用上向流普通快滤池<sup>[1]</sup>,EBCT(炭床接触时间)为13 min,共4格。活性炭滤料采用灰分高、强度低、过滤性能好的优质煤质压块破碎炭<sup>[2]</sup>,厚度为2.5 m。承托层采用砾石3层级配,厚度为0.45 m。

配水系统为多功能滤管<sup>[3]</sup>,反冲洗前,需要先打开放空阀将滤池内水位降低到0.85 m后再开始气冲,气冲强度为 $55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,气冲持续时间约5 min。气冲完毕后打开进水气动阀,同时开启初滤水排放阀,排放初滤水后,开始正常过滤,反冲洗周期约一周。

#### ③ V型滤池

后置V型滤池与活性炭滤池分别布置在中间管廊的两侧。V型滤池采用下向流均质滤料滤池,石英砂均质滤料有效粒径为 $(0.90 \pm 0.03) \text{ mm}$ ,不均匀系数 $K_{80} < 1.2 \sim 1.40$ ,滤速为7.59 m/h,共5格,配水系统为长柄滤头及整浇滤板,采用气水联合反冲洗,反冲洗周期为24~36 h,气冲洗强度为 $55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,历时0.5~1 min;水冲洗强度为 $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,历时3~5 min。

砂滤池及活性炭滤池的反冲洗废水回收利用,经回流调节池收集后,均匀回流到前端配水井与原水混合,为低温低浊的原水絮凝提供絮核,有利于悬浮物凝聚成大颗粒,经沉淀后去除。反冲洗废水回收利用不但节约了水资源,还可相对减少低温低浊时药剂的投加量。

### 2.5 臭氧发生器间

本工程臭氧发生间土建按远期设计规模 $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,设备按近期安装。臭氧发生系统主要包括臭氧发生器、PSU供电单元、自动化控制系统等<sup>[4]</sup>。近期臭氧投加量为5.6 kg/h,远期为12.3 kg/h。近期采用2台 $4.5 \text{ kgO}_3/(\text{台} \cdot \text{h})$ 的臭氧发生器,投加量大时2台互为软备用,投加量小时1用1备;远期只需增加1台同型号的臭氧发生器,3台互为软备用。气源采用液氧,在臭氧发生器间外设置1套 $10 \text{ m}^3$ 液氧储罐及蒸发器等。

### 2.6 紫外线(UV)消毒工艺

在炭滤池出水至清水池的管道上设有紫外线



UV消毒设施,并在清水池前端及出厂水管上投加少次氯酸钠维持配水管网内的余氯。

采用紫外线与次氯酸钠联用工艺,紫外线消毒能够有效杀灭臭氧生物活性炭工艺出水中泄漏的微生物、细菌和病毒,提高出水的安全性,同时与次氯酸钠联合,又可以维持配水管网内的余氯。紫外线消毒广谱性好,不会产生“三致”消毒副产物,并且可以降低次氯酸钠投加量,并控制“两虫”和耐氯微生物及活性炭后微生物超标。

紫外消毒间与清水池合建,在活性炭滤池至清水池进水管上设有紫外线消毒反应器。采用中压紫外灯,减少了灯管的使用数量及设备尺寸。紫外线消毒系统包括紫外消毒反应器腔体、清洗系统及电控柜等。紫外穿透率 $>90\%$ ,最少紫外剂量需求为 $40\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。采用1台DN600 316 L不锈钢反应器。每台反应器内设灯管6支,每台反应器上设光强探头1支。在紫外线消毒反应器旁建有超越管及相应的阀门。

当地具有长期供应食品级次氯酸钠消毒药剂的生产厂,因此本工程采用产品液体次氯酸钠与紫外线联合消毒。在滤后水清水池进水管和出厂水总管线上补充投加次氯酸钠。

滤后加次氯酸钠按 $1\text{ mg}/\text{L}$ 设计,出厂水补次氯酸钠按 $0.5\text{ mg}/\text{L}$ 设计。清水池进水管投加次氯酸钠和出厂补次氯酸钠均采用复合环控制,根据流量信号及余氯信号反馈自动调节计量泵的投加量。

### 3 运行效果

清源净水厂自2017年正式通水以来,出水水质远优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)各项指标要求,其中出水浊度最高值为 $0.35\text{ NTU}$ ,平均值为 $0.20\text{ NTU}$ ; $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 最高值为 $1.42\text{ mg}/\text{L}$ ,平均值为 $1.29\text{ mg}/\text{L}$ 。

工程总投资约9 900万元,满负荷运行成本约 $1.2\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 4 结语

河北省清河清源净水厂工程近期处理规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,远期为 $11\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用南水北调长江水置换原来的含氟地下水水源,改善了当地自来水水质。运行表明,采用预臭氧/机械混合/机械絮凝池/平流沉淀池/主臭氧接触池/上向流活性炭吸附池/V型滤池/UV+次氯酸钠消毒工艺去除藻类和应对低温低浊水是有效的。

### 参考文献:

- [1] 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 Jinghua, Liu Yanbo, Li Shijun, *et al.* Design and construction of technical transformation project of Jinan Quehua Waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2012,28(6):51-53,57(in Chinese).
- [2] 康雅,韩海燕,沈磊,等. 自来水厂深度处理改造中活性炭的比选试验研究[J]. 中国给水排水,2013,29(3):51-53.  
Kang Ya, Han Haiyan, Shen Lei, *et al.* Selection of activated carbon for advanced treatment in a water treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2013,29(3):51-53(in Chinese).
- [3] 梅志刚,孙彦,韩砚萍. 德州市第四净水厂工艺设计经验[J]. 中国给水排水,2013,29(14):53-55.  
Mei Zhigang, Sun Yan, Han Yanping. Introduction to process design of Dezhou Fourth Waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(14): 53-55(in Chinese).
- [4] 夏汀. 淮安经济开发区水厂臭氧生物活性炭深度处理工艺设计[J]. 中国给水排水,2011,27(16):64-66.  
Xia Ting. Design of ozonation/BAC advanced treatment process in waterworks in Huaian economic development area[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(16): 64-66(in Chinese).



作者简介:王新宇(1971—),男,天津人,本科,工程师,从事市政工程、房建工程设计工作。

E-mail:810619986@qq.com

收稿日期:2020-01-07