

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.011

邢台市南水北调召马地表水厂工程设计

常鹏飞¹, 刘兵², 韩燕聪², 曹雪梅¹, 危斌¹, 崔婧¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 2. 呼和浩特市供排水有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 邢台市召马地表水厂是南水北调中线工程的配套项目, 总工程规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中一期规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 预留二期规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 包括新建地表水厂及相应配水管网。水源取自丹江口水库, 水质优良, 净水采用机械混合池→小网格反应池→双层平流沉淀池→V型滤池常规处理+臭氧活性炭滤池深度处理组合工艺, 出厂水采用二氧化氯与紫外线多级屏障消毒, 确保供水水质安全。实际运行效果表明, 各设备设施均运转稳定, 水厂出水水质优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。工程总投资为 70 442 万元, 经营成本为 0.76 元/ m^3 (不包括南水北调水资源费)。

关键词: 小网格反应池; 双层平流沉淀池; V型滤池; 活性炭滤池; 南水北调

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0061-05

Design of Zhaoma Water Treatment Plant of South-to-North Water Transfer Project in Xingtai City

CHANG Peng-fei¹, LIU Bing², HAN Yan-cong², CAO Xue-mei¹, WEI Bin¹, CUI Jing¹

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China; 2. Hohhot Water Supply and Drainage Co. Ltd., Hohhot 010010, China)

Abstract: Zhaoma water treatment plant in Xingtai City is a complementary project of Middle Route Project of South-to-North Water Transfer. The total design capacity is $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The capacity of the first-stage project is $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the capacity of the second-stage project is $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The project includes a new water treatment plant and corresponding distribution pipe network. Water source of the water treatment plant is from Danjiangkou reservoir with excellent water quality. Conventional treatment process of mechanical mixing tank, small grid reaction tank, double layer horizontal-flow sedimentation tank, V-type filter and ozone/GAC advanced treatment process, chlorine dioxide and ultraviolet ray multi-barrier disinfection are used to ensure the safety of water supply. The results showed that all the equipment and facilities ran stably, and the effluent quality of the water plant was better than the requirements of *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749 - 2006). The total investment of the project was 704.42 million yuan, and the operating cost was 0.76 yuan/ m^3 (excluding the water resources fee for the South-to-North Water Transfer).

Key words: small grid reaction tank; double layer horizontal-flow sedimentation tank; V-type filter; activated carbon filter; South-to-North Water Transfer

1 工程概况

邢台市召马地表水厂工程总规模为 35×10^4

m^3/d , 其中一期规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 预留二期规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 是南水北调中线工程的配套项目。

主要工程内容包括净水及配水工程,其中净水工程为新建召马地表水厂1座,水源取自丹江口水库,取水点位于邢台市南水北调中线受水区的南大郭分水口,水厂选址靠近取水点,位于文苑路西侧、学院路北侧区域,出水水质执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。配水工程为召马地表水厂出水干管及相应配水管网,与现有核心区管网互相成环,以满足城区现状及发展的需要。

2 水源水质

本工程水源取自南水北调工程的丹江口水库,原水浊度基本为1~2 NTU, COD_{Mn} 基本为1.76~2.00 mg/L,氨氮为0.03~0.04 mg/L,铁、锰含量均小于0.05 mg/L,藻类含量为 $(40\sim70)\times 10^4$ 个/L,溴化物 <0.05 mg/L,色度均为7度,符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅱ类水标准。但总氮指标偏高,为2~3 mg/L,超过了Ⅴ类水标准,存在富营养化风险;也存在水质突变的现象,如其中一个采样点中, COD_{Mn} 达到5 mg/L,超过了Ⅱ类

水标准,属微污染。此外,考虑到丹江口水库至召马地表水厂取水点经过长距离明渠输水,存在冬季低温低浊、夏季藻类滋生的特点,以及突发污染水质变差的风险。实际运营后,根据建设单位提供的2019年水质资料分析,浊度为2 NTU左右, COD_{Mn} 为2.00 mg/L左右,氨氮 <0.1 mg/L,铁 <0.1 mg/L、锰 <0.05 mg/L,硝酸盐 <1 mg/L,水质优良。

3 工艺选择

工程主要处理目标为去除浊度、微量有机物、总氮类污染物、致病病毒,控制消毒副产物和改善饮用水口感,以应对突发水体污染。

确定采用的工艺流程如下:机械混合池→小网格反应池→双层平流沉淀池→V型滤池常规处理+臭氧活性炭滤池深度处理组合工艺,排泥水采用重力浓缩+离心脱水处理工艺,出厂水消毒采用二氧化氯与紫外线联合消毒,并设置粉末活性炭投加系统作为应急处理措施。

召马地表水厂工艺流程见图1。

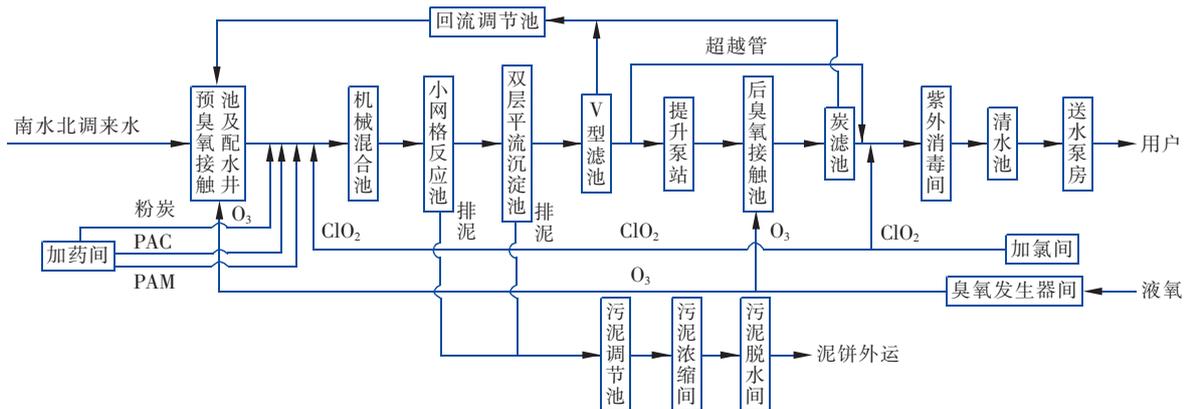


图1 召马地表水厂工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of Zhaoma WTP

该工艺流程特点如下:

① 整个流程各处理单元有机组合、各司其职、步步推进。预臭氧用于改善混凝条件和提高可生化性,混凝沉淀和过滤主要去除水中浊度^[1-3],同时还去除部分大分子有机污染物,臭氧将大分子有机物分解成小分子有机物,利于后续活性炭吸附和生物降解,进一步去除有机物并改善口感^[4]。

② 采用多级屏障消毒策略,确保供水水质安全。处理过程中采用预臭氧和后臭氧杀灭水中的各种病原微生物,出水采用紫外线消毒灭活水中的“两虫”等原生动物,最后投加二氧化氯来保证管网

余氯持续消毒,通过多级消毒取得最佳效果,同时控制消毒副产物形成。

③ 常规处理、深度处理、应急处理等可根据原水水质情况进行组合,灵活运行。当原水水质较好或后续工艺出现事故工况时,砂滤后可超越深度处理直接进入紫外消毒间及清水池。当原水突发水质污染事件时,视严重程度启动预臭氧+常规+应急或常规+深度+应急等组合工艺。

4 总平面集约化设计

召马地表水厂分期建设,均考虑5%的水厂自用水量,一期设计流量为 15.75×10^4 m³/d,预留二

期设计流量为 $21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总设计流量为 $36.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程总占地 14.2 hm^2 ,为了集约利用土地,各构筑物合理选用设计参数,并结合各构筑物的功能特点从平面组合和空间叠合两个方面优化总图布置^[4]。

该工程集约化设计特点如下:

① 混合反应沉淀池的沉淀单元采用自主创新的串联式平流沉淀池,该池型相当于对单个传统平流沉淀池进行上下折叠设计,将传统平流沉淀池长度由 $100 \sim 120 \text{ m}$ 缩减到 $50 \sim 60 \text{ m}$,可节约近 50% 的用地面积。

② 一期砂滤站采用超大过滤面积 V 型滤池,单池过滤面积达到 126 m^2 ,尽量减少池数,并与预留二期砂滤站贴建,共用反冲洗系统,集中紧凑,节省用地,便于管理。

③ 一期炭滤站采用节地省水、不易跑料的翻板滤池,与预留二期炭滤站贴建,共用反冲洗系统,集中优化,便于管理。

④ 紫外消毒间与清水池合建,加氯系统、PAC 和 PAM 加药系统、活性炭投加系统等合建,污泥浓缩、储池、脱水机房等合建,最大限度对各构筑物进行平面组合,集约优化。

5 净水处理构筑物设计

5.1 预臭氧接触池及配水井

预臭氧接触池与配水井合建,按一期规模设计,采用密闭结构,投加臭氧预氧化,分为两格,预臭氧最大设计投加量为 1.5 mg/L ,总接触时间为 5 min 。

5.2 混合反应沉淀池

按一期规模设计,共 1 座,分为两组。

混合采用机械搅拌,混合时间为 53.4 s ,混合均匀度 $> 90\%$ 。

反应采用小孔眼网格反应池,由上、下翻越的多格竖井组合而成,并沿流程在竖井内设置不同层数的小孔眼格网。反应全程分 3 段,各段空塔流速依次为 0.14 、 0.12 、 0.10 m/s ,过栅流速依次为 0.23 、 0.20 、 0.17 m/s ,总停留时间为 22 min 。每格内装小孔眼网格箱 1 个。反应池设穿孔排泥管,用于排泥及放空,反应池定期排泥至污泥调节池。

沉淀采用串联式双层平流式沉淀池,单组尺寸为 $63.2 \text{ m} \times 22.3 \text{ m} \times 6.8 \text{ m}$,其中上、下层有效水深分别为 3.5 m 和 3.0 m ,中间隔板厚 0.3 m ,上、下层水平流速分别为 12.2 和 13.8 mm/s ,总停留时间

为 2.8 h 。下层进水采用栅孔配水,过孔流速为 0.08 m/s ,上层出水采用集水槽集水,溢流率为 $130 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$ 。单组池上层设置 1 套虹吸吸泥机,上层污泥通过吸泥管排至两侧集泥渠,下层设置 1 套液压往复刮泥机,连续刮泥至顶端集泥坑下层集泥坑内,污泥通过排泥管重力排至污泥调节池^[5]。

5.3 砂滤站

砂滤站按一期规模设计,共 1 座,由 V 型滤池和辅间组成,辅间包括值班室、变配电室、反冲洗泵房及鼓风机房等。总平面尺寸为 $62.4 \text{ m} \times 46 \text{ m}$ 。

砂滤站内双排对称布置 8 组 V 型滤池,单池过滤面积达 126 m^2 ,滤速为 6.8 m/h 。采用单层石英砂均质滤料,有效粒径 $d_{10} = (0.9 \pm 0.03) \text{ mm}$,不均匀系数 $K_{80} < 1.4$,滤料层厚 1.4 m ,承托层采用砾石,粒径为 $2 \sim 4 \text{ mm}$,厚 0.1 m ,配水系统采用整体滤板及长柄滤头,总高 1.2 m 。

滤池反冲洗方式为气水反冲洗加表面扫洗,气冲、水冲及表面扫洗设计强度分别为 55 、 15 及 $6.8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ^[5]。反冲洗时间约为 $10 \sim 15 \text{ min}$,反冲洗周期 $24 \sim 36 \text{ h}$ 。

5.4 中间提升泵房及后臭氧接触池

中间提升泵房设潜水混流泵 6 套(4 用 2 备),均变频,单台 $Q = 1\,640 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 60 \text{ kPa}$ 。

后臭氧接触池采用密闭结构,分两格,设计臭氧最大投加量为 2.5 mg/L ,总接触时间为 14.4 min 。

5.5 活性炭滤站

活性炭滤站按一期规模设计,共 1 座,由活性炭翻板滤池和辅间组成,辅间包括值班室、变配电室、反冲洗泵房及鼓风机房等。总平面尺寸为 $60.5 \text{ m} \times 44 \text{ m}$ 。

活性炭滤站双排对称布置 10 个翻板滤池,单池过滤面积达 90 m^2 ,滤速为 7.7 m/h 。炭滤池采用活性炭和石英砂双层滤料,柱状活性炭滤料厚 2.0 m ,接触时间 15.6 min ;石英砂滤料粒径 $0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$,厚 0.5 m ;承托层采用砾石,粒径为 $8 \sim 12 \text{ mm}$ 和 $3 \sim 5.6 \text{ mm}$ 两种,总厚 0.4 m ^[2]。

炭滤池采用气水反冲洗方式,采用“面包管”中阻力配水大阻力配气系统。气冲、水冲设计强度分别为 54 、 $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 。反冲洗时间约为 $10 \sim 15 \text{ min}$,反冲洗周期 $3 \sim 6 \text{ d}$ 。

5.6 紫外线消毒间及清水池

紫外线消毒间与清水池合建,按一期规模设计,

共1座。

采用管道式紫外线消毒系统,紫外线剂量 ≥ 40 mJ/cm^2 。清水池扣除0.5 h消毒接触容积后有效调节容积为24 378 m^3 ,约占设计规模的16%。

5.7 送水泵房

送水泵房土建按总规模设计,设备按一期规模安装,时变化系数取1.3,其中高区送水量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设双吸离心泵机组3台(2用1备),单台 $Q=680 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=560 \text{ kPa}$, $N=160 \text{ kW}$,均变频;低区送水量为 $12.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设双吸离心泵机组4台(3用1备),单台 $Q=2\ 260 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=360 \text{ kPa}$, $N=300 \text{ kW}$,均变频;预留二期5台水泵位置。

5.8 液氧储罐及臭氧发生器间

臭氧发生器间土建按总规模设计,设备按一期规模安装,臭氧设计最大投加量为4 mg/L ,其中预臭氧最大投加量为1.5 mg/L ,后臭氧最大投加量为2.5 mg/L 。一期设置3台产量为14.6 kg/h 的臭氧发生器(2用1备),预留二期2台臭氧发生器位置。

气源采用液氧,一期室外安装液氧储罐2个,预留二期2个,单个容积均为20 m^3 。

5.9 加氯加药及活性炭投加间

土建按总规模设计,设备按一期规模安装,平面尺寸为58 m \times 18 m+18 m \times 30 m,内设二氧化氯制备投加系统、液体PAC投加系统、PAM投加系统、活性炭投加系统。

二氧化氯最大投加量前加氯为2 mg 有效氯/L,后加氯为2 mg 有效氯/L。加氯间内设置前加氯发生器3台(2用1备),预留二期前加氯发生器5台(4用1备)位置,均投加至混合池的进水管道上;设置后加氯发生器3台(2用1备),预留二期后加氯发生器3台(2用1备)位置,均投加至紫外消毒后清水池的进水管道上。

混凝剂采用液态PAC,湿式投加,最大投加量为30 mg/L ,药液浓度为30%,投加浓度为10%。加药间内设置储药罐3个,预留二期4个储药罐位置;溶药罐3个,预留二期4个溶药罐位置;加药泵3台(2用1备),预留二期6台(4用2备)加药泵泵位,均投加至混合池的进水管道上。

助凝剂采用固体聚丙烯酰胺(PAM),最大投加量为0.2 mg/L ,配制浓度0.2%,稀释浓度0.1%。加药间内设置PAM药剂制备装置1台,预留二期1台制备装置位置;加药泵3台(2用1备),预留二期

6台(4用2备)加药泵泵位,均投加至混合池内。

粉末活性炭采用干式投加法,最大投加量为45 mg/L ,投加至混合池的进水管道上。

5.10 回流调节池

滤池反冲洗排水排入回流调节池,经回流泵加压均匀回流到配水井。回流调节池按总规模设计,平面尺寸为24 m \times 15 m,有效水深为4.0 m,有效容积为1 440 m^3 。池内设3台潜水离心泵(2用1备),单泵 $Q=720 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=160 \text{ kPa}$ 。

6 排泥水处理构筑物设计

经计算,总干泥量为11 tDS/d ,其中一期设计干泥量为4.7 tDS/d 。沉淀池排泥水含水率按99.7%计,则总湿污泥量为3 667 t/d 。

6.1 污泥调节池

反应沉淀池的排泥水排入污泥调节池,经加压后均匀输送至污泥浓缩池。污泥调节池按总规模设计,平面尺寸为36 m \times 12 m,有效水深为4.2 m,有效容积为1 814 m^3 。分两格,单格内设3台潜水离心泵(2用1备),单泵 $Q=180 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$ 。

6.2 污泥浓缩池及排泥泵房

污泥浓缩池2座,按总规模设计,采用重力式浓缩池,设计固体通量采用18 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,浓缩池直径为20 m,有效水深为4.5 m。在两座浓缩池中间设置排泥泵房。

浓缩污泥由排泥泵房内污泥转子泵抽送至污泥储池,污泥转子泵2台(1用1备),预留二期1台位置,单泵 $Q=75 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$ 。

在污泥浓缩过程中需投加絮凝剂,采用PAM,投加量为0.2 mg/L ,投加浓度为0.1%,投加点设在浓缩池的进泥管上。

6.3 污泥储池及脱水机房

浓缩池出泥含水率按97.5%计,每天浓缩后的污泥量为440 t/d 。污泥储池有效容积按一天泥量计,取440 t 。

污泥脱水采用离心脱水,一期选用2台离心脱水机(1用1备),并预留二期1台位置,单台脱水机的能力 $\geq 18.5 \text{ m}^3/\text{h}$,460 kgDS/h 。脱水后泥饼含水率 $< 80\%$ 。

脱水机进泥泵采用转子泵2台(1用1备),预留二期1台位置,单泵 $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$ 。

污泥在脱水前需先投加PAM絮凝剂,设计投加量为5 kg/tDS ,投加浓度为0.1%,设置2台加药泵

(1用1备),预留二期1台位置。

污泥浓缩池及排泥泵房与污泥储池及脱水机房合建,总平面尺寸为76.7 m×24 m。

7 运行效果

召马地表水厂一期工程自2017年3年建成运行以来,水量稳步增长,原水水质优良,大部分时间按超越深度处理运行,工艺、电气、自控等设备设施均稳定运转,根据建设单位提供的2019年水质资料,出水浊度平均为0.22 NTU, COD_{Mn}平均为1.39 mg/L,处于国内领先水平,且其他各项出水水质指标均优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),实现了预定的工程目标。

8 主要技术经济指标

该工程包括地表水厂和配水管网两部分,项目总投资为70 442万元,其中工程直接费用为46 468万元,地表水厂和配套管网分别为26 412万元和20 056万元。召马地表水厂运行以来,实际经营成本为0.76元/m³(不包括南水北调水资源费)。

9 结语

邢台市召马地表水厂是南水北调中线工程的配套项目,总工程规模为35×10⁴ m³/d,其中一期规模为15×10⁴ m³/d,预留二期规模为20×10⁴ m³/d,水源取自丹江口水库。净水处理工艺采用常规处理+臭氧活性炭滤池深度处理组合工艺,出厂水消毒采用二氧化氯与紫外线多级屏障消毒,出水水质稳定达标。该工程为国内同类工程提供了一个很好的范例。

参考文献:

- [1] 冯成军. 安徽肥东县大型水厂扩建工程工艺设计[J]. 中国给水排水,2019,35(22):41-44.

FENG Chengjun. Design of expansion project of Anhui Feidong large-scale waterworks [J]. China Water & Wastewater,2019,35(22):41-44(in Chinese).

- [2] 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.
REN Zhongjia. Reconstruction design of Changzhou No. 1 waterworks for ozone/activated carbon advanced treatment [J]. China Water & Wastewater,2018,34(18):69-72(in Chinese).
- [3] 吴艳华,杨墨,刘泰铃,等. 给水厂针对低浊高藻原水的工程实践[J]. 给水排水,2018,44(10):11-15.
WU Yanhua, YANG Mo, LIU Tailing, et al. Engineering practice of water supply plant for low turbidity and algae-laden raw water treatment [J]. Water & Wastewater Engineering,2018,44(10):11-15(in Chinese).
- [4] 张东波,徐海燕,邬亦俊,等. 新型现代化大型净水厂工程设计[J]. 给水排水,2017,43(8):9-13.
ZHANG Dongbo, XU Haiyan, WU Yijun, et al. Engineering design of new type modernized large-scale water treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering,2017,43(8):9-13(in Chinese).
- [5] 马锦生,陈金荣,吴凡松,等. 大连市三道沟净水厂工程设计[J]. 中国给水排水,2012,28(12):42-45.
MA Jinsheng, CHEN Jinrong, WU Fansong, et al. Project design of Sandaogou water treatment plant in Dalian City [J]. China Water & Wastewater,2012,28(12):42-45(in Chinese).

作者简介:常鹏飞(1982-),男,陕西米脂人,本科,高级工程师,主要从事市政给排水工程设计工作。

E-mail:122700492@qq.com

收稿日期:2020-02-19

修回日期:2020-03-16

(编辑:孔红春)

幸福生活靠奋斗,美丽河湖靠呵护