

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.015

河北省某南水北调水源高品质饮用水厂工程设计

王伟静¹, 曹雪梅²

(1. 邢台水业集团有限公司, 河北 邢台 054000; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘要: 河北省某高品质饮用水厂远期总规模为 $35\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 现状规模为 $19\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 其中一期规模为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 应急扩容规模为 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。水源为南水北调中线干渠和本地水库, 具有夏季高浊高藻和冬季低温低浊的水质特点, 水厂采用混凝沉淀过滤强化常规处理+臭氧活性炭深度处理的组合处理及紫外线与二氧化氯联合消毒工艺。项目总投资为80 200万元, 经营成本为0.65元/ m^3 (不包括水资源费)。实际运行表明, 水厂出水浊度 $\leq 0.30\text{ NTU}$, $\text{COD}_{\text{Mn}}\leq 2.0\text{ mg/L}$, 水质优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求, 且更进一步达到了《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的高品质饮用水要求。

关键词: 高品质供水; 集成化净水设备; V型滤池; 活性炭滤池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0089-05

Design of a High-quality Drinking Water Plant with Source Water from South-to-North Water Diversion Project in Hebei Province

WANG Wei-jing¹, CAO Xue-mei²

(1. Xingtai Water Industry Group Co. Ltd., Xingtai 054000, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: The total long-term scale of a high-quality drinking water plant in Hebei Province is $35\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the current scale is $19\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, of which the scale of phase I project is $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the emergency expansion scale is $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. The water sources are the main canal of the middle route of the South-to-North Water Diversion Project and the local reservoirs, which has the characteristics of high turbidity and high algae in summer and low temperature and low turbidity in winter. The waterworks adopts the combined treatment process consisting of enhanced conventional treatment process (coagulation, precipitation, filtration), ozone-activated carbon advanced treatment and combined disinfection process consisting of ultraviolet and chlorine dioxide disinfection. The total investment of the project is 802.00 million yuan, and the operating cost is 0.65 yuan/ m^3 (excluding the water resources charge). The turbidity in effluent from the waterworks is less than 0.30 NTU, the COD_{Mn} is less than 2.0 mg/L, and the water quality is better than the requirements specified in *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2006), and further meets the high-quality drinking water requirements specified in *Water Quality Standards for Fine Drinking Water* (CJ 94—2005).

Key words: high-quality water supply; integrative water purification equipment; V-type filter; activated carbon filter

1 工程概况

河北省某高品质饮用水厂远期总规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中一期规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于2018年1月正式运行。2021年5月以来, 由于需水量增长且政策要求压缩地下水厂开采量, 故该水厂进行了应急扩容, 工程规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于2022年5月建成试运行。目前该水厂一期工程和应急扩容工程已融为一体, 现状规模达到 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 自用水系数取1.08, 设计流量为 $8\,550 \text{ m}^3/\text{h}$ 。水厂主水源取自南水北调中线干渠, 备用水源取自本地水库, 出水水质在满足国家标准的基础上, 更进一步达到了《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005) 的高品质饮用水要求。

2 水源分析

该水厂主水源取自南水北调中线干渠。中线干渠全长1432 km, 多年平均调水量为 $95 \times 10^8 \text{ m}^3$, 属于以明渠为主的特大型人工调水系统工程^[1]。本地水库为应急备用水源, 是一座深水型水库。两个水源的原水水质见表1。可见, 南水北调中线干渠原水夏季具有高浊的特点, 还存在藻类暴发的情况, 以蓝藻和绿藻为主^[1], 有机物含量较低, 冬季具有低温低浊的特点。本地水库原水水质具有清洁稳定的特点, 有机物含量较低, 冬季存在低温低浊的情况, 总氮偏高, 但主要以硝酸盐氮的形式存在, 磷含

量偏低, 总氮含量是磷的数百倍到上千倍, 有效抑制了水体富营养化^[2]。主水源和备用水源原水水质除总氮外均符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 中的Ⅱ类水质标准。

表1 原水水质

Tab.1 Raw water quality

项 目	南水北调中线原水	本地水库原水
pH	7.5~8.4	7.5~8.8
温度/℃	5.1~34.3	3.7~27.6
浊度/NTU	1.4~220	1.0~32.5
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	1.9~3.2	1.4~2.8
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.02~0.05	0.05~0.28
总氮/(mg·L ⁻¹)	0.16~1.70	3.68~6.18
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.01~0.02	≤0.02
藻类/(个·L ⁻¹)	≤2 500×10 ⁴	

3 处理工艺及主要特点

一期净水处理工艺为“预臭氧接触池→机械混合池→网格絮凝池→平流沉淀池→V型滤池→后臭氧接触池→颗粒活性炭滤池→紫外线及二氧化氯联合消毒”。应急扩容工程利用现有堆场, 因占地非常紧张且要求见效快, 净水处理采用“机械混合池→网格絮凝池→斜管沉淀池→无阀滤池→二氧化氯消毒”的集成化常规净水处理设备。排泥水处理采用“重力浓缩+板框压滤”工艺, 并设置粉末活性炭应急投加系统。具体工艺流程见图1。

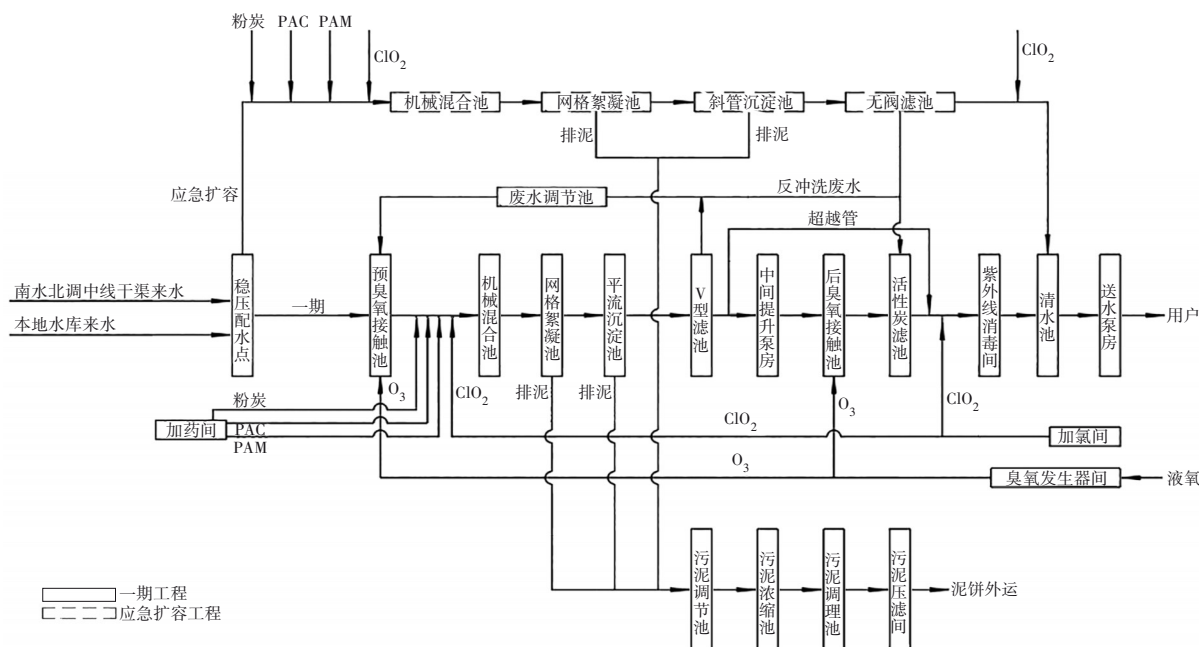


图1 水厂工艺流程

Fig.1 Process flow chart of the waterworks

该水厂平面布置见图2。按功能分为生产区和厂前区两部分,厂前区布置在厂区东南侧,一期生产区布置在厂区西侧,应急净水间布置在加氯加药间北侧的原堆场处,厂区东侧为远期预留。总体布置集约优化,流畅合理。



图2 水厂鸟瞰图

Fig.2 Aerial view of the waterworks

该水厂工艺特点如下:

① 兼顾不同水源水质。南水北调中线干渠属于水质良好但波动较大的开放性人工渠道,本地水库属于水质优良且稳定的封闭型水库,两水源水质差别较大,采用强化常规处理+深度处理的组合工艺兼顾了两种水源的特点,同时考虑了两种水源在切换和混合时的水质变化对处理工艺的影响。

② 整个流程各处理单元有机组合、分工协作。经预臭氧和前加氯氧化、混凝沉淀过滤除浊、后臭氧再氧化、颗粒活性炭吸附和生物降解微量有机物和氨氮、后加氯消毒,层层推进^[3],最终达到高品质饮用水水质要求,保证供水安全,并改善口感。

③ 运行中,根据不同水源原水水质情况,采用适宜的工艺段和投加不同的组合药剂,灵活应对^[4]。当原水水质优良或深度处理工艺出现事故工况时,砂滤出水超越深度处理直接进入清水池,采用投加PAC、PAM、前加氯、后加氯等措施;当原水水质良好时,砂滤出水与深度处理出水可在保证出水达标的前提下按适当比例进行勾兑;当南水北调中线干渠原水发生藻类或水质污染突发事件时,一期系统启动全流程处理,应急扩容系统切换到本地水源生产运行,并启动投加粉末活性炭。

④ 水厂集约化布置。设计采用高效集约化工艺及组合技术、单体集约化叠合及组合设计、紧凑的总图布置等措施,如应急扩容采用集成化净水技术与设备,仅利用原堆场完成 4×10^4 m³/d供水规模扩容,占地省、见效快;一期沉淀池采用双层折叠

式平流沉淀池,比传统平流沉淀池节省约一半的占地面积。

4 主要处理构(建)筑物设计

4.1 预臭氧接触池及反应沉淀池

按一期 15×10^4 m³/d规模设计。针对冬季低温低浊和夏季高藻的问题,采用预臭氧、预加氯及粉末活性炭等预处理工艺^[5],延长反应沉淀停留时间等强化混凝沉淀工艺。预臭氧接触池分为两格,最大投加量为1.5 mg/L,接触时间为5 min。混合采用机械搅拌,混合时间为54 s;反应采用网格反应,分为三段反应,停留时间为22 min;沉淀采用折叠式平流沉淀池,进水采用配水栅配水,过栅流速为0.08 m/s,沉淀池停留时间为2.8 h,水平流速为12 mm/s,出水采用指形集水槽,上层采用虹吸刮泥机,下层采用往复刮泥机,每天排泥3次,当进水浊度较高时,可以连续排泥。

4.2 砂滤站、后臭氧接触池及活性炭滤站

按一期 15×10^4 m³/d规模设计。为了进一步去除浊度和有机物、改善口感、去除异味、应对各类新污染物等,适当降低滤速强化过滤并采用臭氧生物活性炭工艺^[6]。砂滤采用气水联合冲洗的整体滤板V型滤池,8组滤池双排布置,总过滤面积为1 008 m²,正常滤速为6.8 m/h,强制滤速为7.8 m/h^[7]。常规处理出水进入提升泵池,经潜水轴流泵提升后进入深度处理单元,后臭氧接触池分为两格,每格接触池分为3段,最大投加量2.5 mg/L,总接触时间为15 min。炭滤采用气水联合冲洗的翻板滤池,布水布气系统采用拱形穿孔管,10组滤池双排布置,总过滤面积为900 m²,正常滤速为7.6 m/h,强制滤速为8.5 m/h。

4.3 应急净水间

按应急扩容 4×10^4 m³/d规模设计,受占地紧张、工期短、见效快的诸多条件限制,采用集成化净水技术与设备。采用机械混合,混合时间为26 s,经搅拌混合后由环形溢流堰溢流至4个面积相等的配水通道,分别进入4组对应的不锈钢集成化净水装置。单组装置采用网格反应,分为三段反应,停留时间为20 min;采用斜管沉淀池,斜管区上升流速为1.55 mm/s。采用重力式无阀滤池,单组净水装置设置2格滤池,总过滤面积为230 m²,正常滤速为7.8 m/h,水力控制自动冲洗,水冲强度12~15 L/(m²·s),

冲洗时间为4~7 min,采用高精度滤头滤板组合装置,单一均质滤料。应急净水间出水不经过深度处理直接进入清水池。

4.4 紫外线消毒间及清水池

为应对“两虫”危害并降低消毒副产物,一期采用紫外线与二氧化氯组合安全消毒技术^[8]。紫外线有效剂量 $\geq 40 \text{ mJ/cm}^2$,应急扩容出水不经过紫外线消毒,只采用二氧化氯消毒。清水池总有效容积为 $29\,800 \text{ m}^3$,占设计流量的14.5%。

4.5 送水泵房

按 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 总规模进行土建设计,按现状 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模进行设备安装,时变化系数取1.3。主城区采用分区供水,其中高区供水量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设卧式离心泵3台(2用1备),均变频;低区供水量为 $16.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设卧式离心泵6台(4用2备),均变频,并预留远期泵位。

4.6 综合加药间

按 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 总规模进行土建设计,按现状 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模进行设备安装。加氯采用二氧化氯,两处投加,进水前最大投加量 2 mg/L 、平均投加量 1 mg/L ,滤后最大投加量 2 mg/L 、平均投加量 1 mg/L 。絮凝剂采用液体聚合氯化铝,进水前投加,投加浓度10%,最大投加量 30 mg/L ,平均投加量 15 mg/L 。助凝剂采用阴离子型聚丙烯酰胺,进水前投加,投加浓度0.1%,最大投加量 0.2 mg/L ,平均投加量 0.1 mg/L 。应急投加采用干式粉末活性炭,最大投加量 30 mg/L 。

4.7 污泥处理系统

污泥处理系统包括污泥调节池、污泥浓缩池、污泥调理池及污泥压滤间等。按 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 总规模进行土建设计,按现状 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模进行设备安装,经计算,总规模时干泥量为 8.16 tDS/d ,其中现状规模设计干泥量为 4.43 tDS/d 。

污泥调节池1座,总有效容积 $1\,440 \text{ m}^3$,分2格,每格安装排泥泵2台(1用1备)、潜水搅拌机1台。

重力式污泥浓缩池2座,浓缩污泥提升泵房1座,污泥浓缩池以污泥提升泵房为中心对称布置。设计固体通量为 $13 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,浓缩池直径为 20 m ,有效水深为 4 m 。

浓缩后污泥由提升泵房内的污泥螺杆泵输送至污泥调理池,总有效容积 240 m^3 ,分2格,每格安装1台混合搅拌机。

污泥采用板框脱水,设板框脱水机2台,单台脱水机过滤面积 200 m^2 。污泥在脱水前投加液体聚合氯化铝和阳离子型聚丙烯酰胺进行调理,脱水后泥饼含水率 $\leq 60\%$,泥饼输送到污泥料仓储存并外运。

5 运行管理、运行效果及经济分析

5.1 运行管理

在水质检测管理方面,在全厂每个净水处理段和污泥处理段设置了与工艺流程相适应的仪表检测系统,实时传送到现场计算机和中控室,实行三级水质检测体系,水厂化验室日检水质指标原水11项和出厂水13项,公司化验室月检水质指标原水29项和出厂水40项,每年两次水质全分析,确保100%出水达标。

在调度监控方面,在供水公司调度中心建立了一套供水调度监控系统,将该水厂和全市其他水厂、取水、输水、配水等整个供水系统集中管理,实时采集、分析和管理各子系统运行数据,实现了取水、制水、供水水量的动态平衡。

在设备运行操作与巡检管理方面,建立设备台账,采用一级日巡检、二级周巡检、三级月巡检,准确把握设备运行状态,设备保养维修采用计划、应急、临时三种工单制,及时发现异常情况并及时处理,保证设备安全经济运行。

在运行人员管理方面,操作人员实行全员持证上岗,定期开展培训教育,建成一个高素质运行管理团队。

在厂区环境安全管理方面,实行生活区和生产区围墙分隔,严格执行进出生产区人员和物资管理制度、绿化及卫生保洁制度,定期检查,保证水厂环境优美和安全运行。

5.2 运行效果及经济分析

该水厂正式投运以来,水量稳步增长,夏季用水高峰期接近满负荷运行,原水以南水北调中线干渠进水为主,最高处理水量达到 $16.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,各设备设施均运转平稳正常,2022年出水浊度基本稳定在 $0.08 \sim 0.30 \text{ NTU}$,平均值为 0.13 NTU ; COD_{Mn} 基本稳定在 $0.9 \sim 2.0 \text{ mg/L}$,平均值为 1.3 mg/L ;氨氮基本稳定在 $0.02 \sim 0.05 \text{ mg/L}$,平均值为 0.03 mg/L ,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),主要指标更进一步达到了《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的高品质饮用

水要求^[9],实现了工程预期目标。

该工程包括取水、输水、净水、配水等内容,项目总投资为80 200万元,经营成本为0.65元/m³(不包括水资源费)。

6 结语

该水厂原水来自南水北调中线干渠和本地水库,具有夏季高浊高藻和冬季低温低浊的水质特点,工程采用混凝沉淀过滤强化常规处理+臭氧活性炭深度处理的组合工艺,在水质、水量、水压、运行管理等方面均达到了设计预期目标,出水水质达到了《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的高品质饮用水要求,该工程可为国内高品质饮用水厂的设计和运行提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 张春梅,朱宇轩,宋高飞,等. 南水北调中线干渠浮游植物群落时空格局及其决定因子[J]. 湖泊科学, 2021, 33(3): 675-686.
ZHANG Chunmei, ZHU Yuxuan, SONG Gaofei, *et al.* Spatiotemporal pattern of phytoplankton community structure and its determining factors in the channel of the middle route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(3): 675-686 (in Chinese).
- [2] 王振强,刘春广,乔光建. 氮、磷循环特征对水体富营养化影响分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(6): 82-85, 97.
WANG Zhenqiang, LIU Chunguang, QIAO Guangjian. Effect of nitrogen and phosphorus cycling characteristic on eutrophication of water body [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(6): 82-85, 97 (in Chinese).
- [3] 魏旭,陈燕波,邱明,等. 雄安新区大型高品质给水厂设计[J]. 给水排水, 2022, 48(5): 6-11.
WEI Xu, CHEN Yanbo, QIU Ming, *et al.* Design of the large-scale high-quality drinking water plant in the start-up area of Xiong'an New Area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(5): 6-11 (in Chinese).
- [4] 张东波,徐海燕,鄢亦俊,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] 甄帅,周川,董红,等. 北京市南水北调水源水厂应对藻类高发期的预处理设计[J]. 供水技术, 2019, 13(1): 39-42.
ZHEN Shuai, ZHOU Chuan, DONG Hong, *et al.* Pretreatment process of waterworks of Beijing with South-to-North Diversion water source during high-algae period [J]. Water Technology, 2019, 13(1): 39-42 (in Chinese).
- [6] 沈恺乐,邓慧萍,沈冠杰. 浙江省某水厂臭氧活性炭深度处理工艺运行效果分析[J]. 给水排水, 2021, 47(7): 26-31.
SHEN Kaile, DENG Huiping, SHEN Guanjie. Operation effect analysis of ozone biological activated carbon advanced treatment process in a water plant in Zhejiang Province [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(7): 26-31 (in Chinese).
- [7] 吴艳华,张明,镇祥华,等. 珠海某绿色高品质饮用水厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 88-92.
WU Yanhua, ZHANG Ming, ZHEN Xianghua, *et al.* Design of a green and high-quality waterworks in Zhuhai [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 88-92 (in Chinese).
- [8] 高雪,杨唯艺,雷培树. 饮用水紫外线组合消毒技术发展现状[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 52-55.
GAO Xue, YANG Weiye, LEI Peishu. Development status of the combined ultraviolet disinfection technology in drinking water [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 52-55 (in Chinese).
- [9] 陈燕波,潘名宾,司徒菲,等. 基于饮用水安全优质保障的全流程水厂设计思考[J]. 净水技术, 2022, 41(7): 1-6, 26.
CHEN Yanbo, PAN Mingbin, SITU Fei, *et al.* Consideration on the design of whole-process waterworks based the safety and quality guarantee of drinking water [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7): 1-6, 26 (in Chinese).

作者简介:王伟静(1970—),女,河北邢台人,本科,给排水高级工程师,邢台水业集团设计公司副总工程师,从事给水排水工程设计工作。

E-mail: 15203195301@163.com

收稿日期:2023-04-17

修回日期:2023-06-05

(编辑:孔红春)