

设计经验

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.20.008

北方城市平原区某地表水净水厂工程远期设计

王体明, 郭晓明, 泰佳, 刘超, 郭金鹏
(北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031)

摘要: 在世博会、冬奥会落户以及京津冀协同发展、城乡供水一体化和农村饮水提质增效的背景下,北方某城市平原区兴建了地表水供水工程。该工程总规模 $9\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,分为近、远两期。远期工程在近期工程的基础上实施,净水厂占地约 2.78 hm^2 ,设计规模 $5.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),并结合原水水质,净水厂采用预氧化+气浮+过滤+臭氧活性炭深度处理+紫外联合氯消毒的工艺流程,通水后出水各项指标均稳定达标。

关键词: 净水厂; 地表水; 平原区; 预氧化; 过滤

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)20-0053-07

Long-term Design for a Surface Water Purification Plant in Northern Urban Plain Area

WANG Ti-ming, GUO Xiao-ming, TAI Jia, LIU Chao, GUO Jin-peng
(Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: A surface water supply project was launched in the plain area of a northern city against the backdrop of the World Horticultural Exhibition and the Winter Olympic Games being held in the city, along with the coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei region, the integration of urban and rural water supply systems, and the enhancement of rural drinking water quality and efficiency. The total designed capacity of the project is $9\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and its implementation is divided into two phases: short-term and long-term. The long-term project will be implemented building upon the foundation of the short-term project. The water purification plant spans an area of approximately 2.78 hm^2 and has a designed treatment capacity of $5.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. In accordance with *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2022) and taking into consideration the quality of the raw water, the water purification plant employed a treatment process consisting of pre-oxidation, air flotation, filtration, ozone-activated carbon advanced treatment, and ultraviolet combined with chlorine disinfection. After the system was put into operation, all effluent parameters were stably in compliance with the limit specified in the standard.

Key words: water purification plant; surface water; plain area; pre-oxidation; filtration

1 项目背景

北方某城市平原区位于该市水资源区上游,地表水资源较为丰富,但多年来为保障主城区供水安

全,该平原区通过现有水库等设施长期向其他水库补水,导致其对地表水的开发及利用受到制约,生活和城市建设用水基本以地下水为主,地下水位持

续下降。随着南水北调配套工程的规划和实施,该区已具备利用地表水资源的条件,可实施平原区地表水供水工程。该工程总规模 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分近期(一期)工程和远期(二期)工程,一期规模 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,已建设完成,主要解决该区新城供水缺口问题。随着世园会、冬奥会落户及京津冀协同发展、城乡供水一体化和农村饮水提质增效的新要求,该区供水格局发生重大调整,为彻底解决新城、世园会、北山葡萄产业带[平原区4个乡(镇)、冬奥会]及平原区7个乡(镇)的供水安全问题,并涵养地下水,实施二期工程,包括取水头部工程、原水输水管道工程、净水厂工程和输水管线工程。净水厂位于该区某村镇北侧、一期工程西侧,现状地面高程 $550 \sim 560 \text{ m}$,占地约 2.78 hm^2 ,规模 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 设计水质及工艺流程

2.1 设计水质

工程原水取自该区某地表中型水库,水量充沛可靠。2020年—2024年原水水质监测数据如下:温度为 $0 \sim 26.8^\circ\text{C}$,pH为 $7.68 \sim 8.57$,溶解氧、高锰酸盐指数、COD、氨氮、总氮、总磷、氯化物、硝酸盐、硫酸盐分别为 $8.93 \sim 12.60$ 、 $1.4 \sim 3.2$ 、 $5.0 \sim 14.0$ 、 $0.025 \sim 0.308$ 、 $3.37 \sim 5.94$ 、 $0.01 \sim 0.06$ 、 $12.6 \sim 18.9$ 、 $3.12 \sim 5.52$ 、 $28.0 \sim 39.3 \text{ mg/L}$ 。可知,该水库原水水质较好,除总氮、总磷外,其余指标均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水要求,可作为集中供水水源。

设计出水水质执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),其中主要控制指标浊度一般情况下不大于 1.0 NTU ,特殊情况下不大于 3.0 NTU 。根据《城市供水行业2010年技术进步发展规划及2020年远景目标》,出厂水浊度一般情况下控制在 0.5 NTU 以下,特殊情况下不大于 1.5 NTU 。因此,该净水厂的设计出水浊度 $\leq 0.5 \text{ NTU}$,保障率为95%。

2.2 工艺流程

该区域水源水质的主要特点包括冬季低温低浊、夏季高藻、存在有机微污染和突发性水质污染风险,其中冬季低温低浊和有机微污染是其最为突出的水质问题,也是进行工艺流程设计需考虑的首要问题,同时夏季高藻、突发污染均是工艺选择中需予以充分关注的因素^[1-2]。故净水厂工艺单元应具备以下功能:①预氧化功能。助凝、杀藻、除嗅,应对水源突发性污染。②强化混凝沉淀功能。强

化低温低浊条件下有机物的去除,强化藻类的去除。③深度处理功能。去除微污染有机物、藻类分泌物和消毒副产物前体物。

结合原水水质及GB 5749—2022要求,采用预氧化+气浮+过滤+臭氧活性炭深度处理+紫外联合氯消毒的工艺流程,具体见图1。

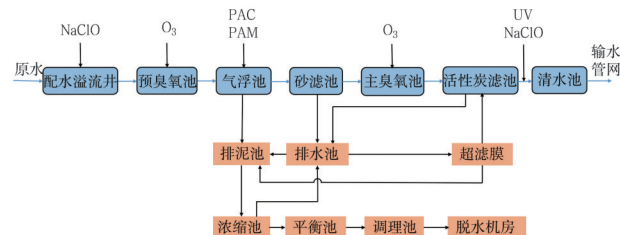


图1 工艺流程

Fig.1 Process flow chart

3 工程设计

3.1 总体布局

该平原区地表水净水厂二期工程为扩建项目,主要建设内容包括生产构筑物及配套连接道路系统,各处理单元通过优化设计厂区道路实现有机衔接。鉴于生产管理区已在一期建成投用,该工程不再进行建设。受场地条件限制,净水厂二期工程选址于现状厂区西侧,与一期工程以山洪沟为界,充分利用厂区北高南低的地形特征,采用自北向南的水处理工艺流程布置方案。污泥处理区位于厂区西南角,通过围墙外道路与现状路网衔接,确保污泥运输便利性。辅助生产设施(包括加药、加氯、臭氧制备、活性炭投加及排水池等)遵循“就近配置、集约布置”的原则进行优化布局。厂区平面布置见图2。

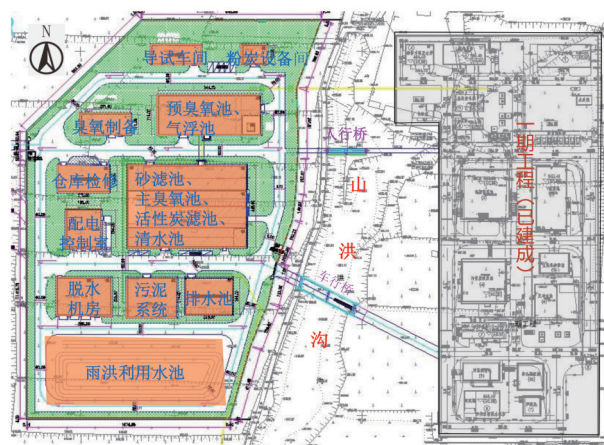


图2 厂区平面布置

Fig.2 Plan layout of the waterworks

3.2 竖向设计

① 地形与高程设计

厂区地势较陡,整体北高南低,地面坡降约

5%。构筑物高程设计综合考虑地形条件和水力特性,确保处理流程实现重力自流,各处理单元通过管道系统实现水力衔接。单体高程见图3。

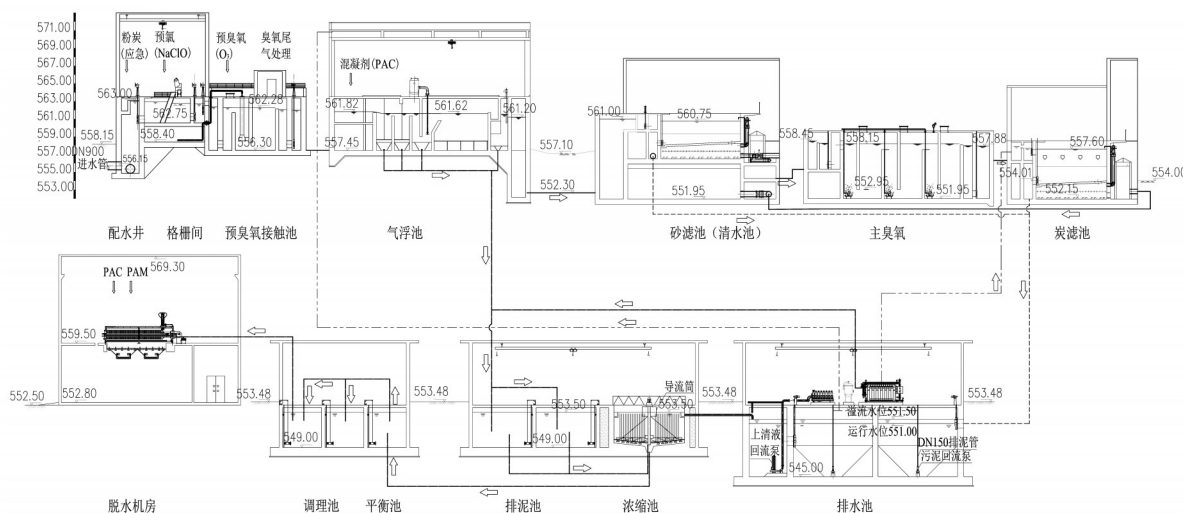


图3 单体高程

Fig.3 Elevation of the unit

② 土方平衡与场地处理

基于地理条件限制,工程采用挖填平衡策略,将开挖土方就地回填。场地处理遵循以下原则:最大限度保持原始地貌特征;通过精细化回填实现地形平顺过渡;建筑物周边场地设置不小于5%的排水坡度;建筑物室外标高控制为高于周边道路0.10~0.15 m。

③ 排水系统设计

场地排水系统采用雨污分流制,雨水经收集后汇入南部景观水池(超过设计容量后溢流至东侧山洪沟),污水输送至南部小型污水处理设施,达标后排入山洪沟。道路系统设计兼顾交通与排水功能,南北向道路保持3%纵坡,东西向道路维持水平。

④ 管线综合设计

各类地下管线设置充分考虑竖向空间关系,确保管线交叉处的安全间距。

通过上述优化设计,最大限度减少土方工程量,降低工程投资。

3.3 工艺设计

① 溢流井、格栅间以及预臭氧接触池

配水溢流井、格栅间及预臭氧接触池联合布置。根据来水压力,原水直接输送至配水溢流井,经格栅间后进入预臭氧接触池。

联合体采用半地下钢筋混凝土结构,平面尺寸

21.3 m×9.8 m,高7.0 m(净空)。配水溢流井设计溢流率100%,格栅栅隙5 mm,过栅流速1.0 m/s。设旋转式固液分离机2台, $B=900$ mm, $b=5$ mm, $N=1.5$ kW, $U=380$ V;设无轴螺旋输送机1套, $B=0.3$ m, $L=7$ m, $N=1.5$ kW, $U=380$ V;设螺旋压榨机1套, $D=300$ mm, $N=1.5$ kW, $U=380$ V;设手电动板闸4台, $B\times H=800$ mm×800 mm, $N=0.55$ kW, $U=380$ V;设手电动可调节堰闸2台, $B\times H=2000$ mm×500 mm, $N=0.75$ kW, $U=380$ V。设预臭氧接触池2格,最大臭氧投加量1 mg/L,臭氧浓度10%,设计接触时间5 min。设DN100负压吸入式水射器2套;设射流扩散器2套;设不锈钢316L手电动板闸2台, $B\times H=800$ mm×800 mm, $N=0.55$ kW, $U=380$ V;设尾气破坏装置2套,1用1备, $N=1.7$ kW, $U=380$ V。

② 气浮池

气浮池包括混凝区、絮凝区、气浮区、压力溶气系统及释放装置,其平面尺寸4.6 m×21.3 m,高5.8 m(净空),分为2座高速气浮池,单座进水流量1250 m³/h,气浮区的上升流速不大于30 mm/s。设电磁流量计、电导液位开关、进出水pH计、悬浮物浓度计、进出水自动取样器、浊度仪各1套;设电磁液位指示器、空气管线配套阀门和仪表、溶气罐配套阀门和压力表、压力饱和溶气罐($V=2$ m³)及不锈钢材质的负压溶气释放系统、高速气浮池特种内装加压水释

放系统、出水电动堰、污泥层自动切割系统、消泡系统、等流量配水堰($\delta=4\text{ mm}$)、DN150循环水电磁流量计各2套;设碳钢防腐高速气浮系统空压罐($V=2\ 000\text{ L}$)和仪表系统空气罐($V=1\ 000\text{ L}$)各1台;设高速气浮系统空压机2台, $Q=95\text{ m}^3/\text{h}$, $H=900\text{ kPa}$;设浮渣排放泵2套, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=1.1\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$;设电动单梁悬挂起重机2套, $G_n=3\text{ t}$, $L_k=7.5\text{ m}$, $P=(2\times 0.8+4.5+0.4)\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$;设增压变频离心泵3套, $Q=135\text{ m}^3/\text{h}$, $H=750\text{ kPa}$, $N=55\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$;设不锈钢混凝搅拌机4台, $N=5.5\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$;设手电动板闸4台, $B\times H=800\text{ mm}\times 800\text{ mm}$, $N=0.55\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$ 。

③ 砂滤池及设备间(含紫外消毒)

砂滤池采用恒水位等速过滤模式,选用均质砂滤料;采用小阻力配水系统,长柄滤头。砂滤池分6格,单格过滤面积 54 m^2 ,平面尺寸 $9\text{ m}\times 6\text{ m}$,单排布置,砂滤池与主臭氧接触池及活性炭滤池共同布置在同一车间内。砂滤池承托层厚 300 mm ,按6层铺设,每层厚 50 mm ,砾石有效粒径 $2\sim 32\text{ mm}$;滤料采用石英砂, $D_{10}=1.0\text{ mm}$, $K_{80}<1.4$;滤层厚 1.20 m ,滤速 7.08 m/h 。

砂滤池采用气水联合反冲洗+表面扫洗,冲洗周期 24 h ,冲洗水来自滤池设备间反冲洗水泵,反冲洗废水排入厂区反冲洗排水池,冲洗压缩空气来自设备间鼓风机。砂滤池反冲洗流程及参数见表1。

表1 砂滤池反冲洗流程及参数

Tab.1 Back-washing process and parameters of sand filter

冲洗程序	冲洗强度/($\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	冲洗时间/min
气冲	15.0	2
气冲+水冲	气 15.0, 水 3.0	4
水冲	6.0	6
表面扫洗	1.8	12

滤池设备间是滤池处理单元的重要配套设施,平面尺寸 $62.13\text{ m}\times 9.75\text{ m}$ 。设备间内配置反冲洗水泵、鼓风机、紫外消毒及厂区生活给水泵等设备,同时还设置变配电室、控制室等。设反冲洗水泵5台, $Q=576\text{ m}^3/\text{h}$, $H=15\text{ kPa}$, $N=55\text{ kW}$;设鼓风机3台,2用1备, $Q=24.3\text{ m}^3/\text{min}$, $H=58.8\text{ kPa}$, $N=45\text{ kW}$;设厂区生活给水泵2台,1用1备, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=465\text{ kPa}$, $N=22\text{ kW}$;设潜污泵2台,分别为 $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=3\text{ kW}$ 和 $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=5.5$

kW 。紫外消毒间为半地下式结构,平面尺寸 $14.75\text{ m}\times 9.75\text{ m}$,设紫外消毒反应器1台,功率 46 kW ,紫外线剂量 $40\text{ mJ}/\text{cm}^2$,紫外线灯管数量根据紫外照射剂量及清水紫外透过率 90% 确定。

④ 主臭氧接触池

主臭氧接触池1座,平面尺寸 $15.80\text{ m}\times 4.56\text{ m}$,分为独立的2格,有效水深 6.25 m ,采用密封式矩形钢筋混凝土池,内设导流墙。设曝气设备2套,分3段以曝气盘布气方式曝气。臭氧接触时间 12 min ,投加量 $0\sim 1.0\text{ mg/L}$ 。池顶安装2套(1用1备)尾气破坏设备,尾气通过尾气收集管收集,在尾气破坏设备内经加热分解为氧气,而后排放至大气。

⑤ 活性炭滤池

活性炭滤池分6格,单格过滤面积 48 m^2 ,平面尺寸 $8\text{ m}\times 6\text{ m}$,单排布置,滤速 8.3 m/h ,接触时间 14.45 min 。活性炭滤池承托层与砂滤池承托层参数一致;滤料层分2层,上层为活性炭层,层高 2 m ,下层为石英砂层,层高 0.3 m 。采用颗粒活性炭,粒径 $8\sim 30\text{ 目}$,不均匀系数 1.4 ,水浸湿颗粒密度 $\leq 1.4\text{ g}/\text{cm}^3$ 。活性炭比表面积 $>1\ 000\text{ m}^2/\text{g}$;碘值 $\geq 1\ 050\text{ mg/g}$,亚甲基蓝值在 200 mg/g 左右;机械强度在 90% 以上,具有较好的抗磨损能力。

活性炭滤池反冲洗采用气水联合反冲洗+大量水冲洗,冲洗周期 72 h ,冲洗水来自滤池设备间反冲洗水泵,利用炭池滤后水进行反冲洗,反冲洗废水排入厂区反冲洗排水池。活性炭滤池反冲洗流程及参数见表2。

表2 活性炭滤池反冲洗流程及参数

Tab.2 Back-washing process and parameters of activated carbon filter

冲洗程序	冲洗强度/($\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	冲洗时间/min
气冲	15	5
水冲	6	6
大水量冲洗	18	10

⑥ 清水池

清水池分2格,总有效容积 $2\ 366.6\text{ m}^3$ 。池内设导流墙,池顶设通气帽,每格设溢流口,溢流量 100% ,设超声波液位计2台。

⑦ 加药间

加药间内混凝剂投加系统包括储药池、加药泵,投加点共2个,设于气浮池的混凝区。混凝剂最大投加量 40 mg/L ,浓度 $2\%\sim 5\%$;储药池 $V=18\text{ m}^3$,储药

时间7 d。设耐腐蚀卸料泵(NaClO)2台, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$, $H=55\text{ kPa}$, $N=1.1\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$;设数字计量泵2台, $Q=375\text{ L/h}$, $H=0.8\text{ MPa}$, $N=0.75\text{ kW}$, $U=380\text{ V}$ 。

⑧ 加氯间

加氯间加氯量为 40.0 mg/L ,其中预加氯 10.0 mg/L ,主加氯 30.0 mg/L 。设次氯酸钠储罐($V=10\text{ m}^3$)2个;设加氯隔膜计量泵4台,2台 $Q=63\text{ L/h}$ 、 $H=0.5\text{ MPa}$,2台 $Q=160\text{ L/h}$ 、 $H=0.2\text{ MPa}$ 。

⑨ 臭氧设备间

臭氧设备间的臭氧系统由气源、发生系统、内循环冷却水系统、空气处理系统、投加系统、臭氧接触池、尾气破坏系统和控制系统8部分组成。臭氧最大投加量 2.5 mg/L ,其中预臭氧 1.0 mg/L ,主臭氧 1.5 mg/L 。臭氧制备的氧源为空气,臭氧制备量 5.0 kg/h ;设臭氧发生器3台,2用1备,单台制备量 2.5 kg/h ;臭氧浓度10%。

⑩ 排水池

砂滤池和炭滤池的反冲洗废水及初滤水均排至排水池,该池底部设泥斗。经沉淀处理后,上清液溢流至收集池,由潜污泵提升至超滤膜系统进行深度处理,最终回流至炭滤池。沉淀污泥通过排泥泵输送至排泥池。

排水池系统分为2个系列,1用1备,由板闸启闭实现进出水的控制。每个系列包含2格排水池,其容积之和可满足单格炭滤池或砂滤池反冲洗废水及初滤水排放需要。每格排水池长 9 m ,设计水深 2.5 m ,泥斗长 2 m ,高 3.5 m ,单格排水池有效容积 202.50 m^3 ,泥斗容积 120.17 m^3 ,排水池总有效容积 405.00 m^3 。设排水泵3台,2用1备, $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$, $H=500\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$;设排泥泵4台,2用2备, $Q=2.37\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $N=1.5\text{ kW}$ 。

⑪ 超滤膜系统

排水池上清液经加压后输送至超滤前自清洗过滤器,一方面去除水中粒径 $>100\text{ }\mu\text{m}$ 的悬浮颗粒,另一方面保护超滤膜元件端口不会因大颗粒物质摩擦而损坏。经过滤后的带压水进入超滤膜组件,由于超滤膜本身的特性,大部分细菌、藻类、胶体物质和微小的颗粒物质被截留在膜表面,TSS及胶体物质基本得以去除,而水及水溶性物质透过膜孔,水质得到净化。过滤一定时间后,膜表面会沉积一层污染物,需对膜元件进行反洗。反冲洗系统以超滤产水为反洗水源,由高压反洗泵提升加压后,通

过超滤产水管输送至膜系统。在压力作用下,反洗水流有效清除膜表面污染物,使膜通量得到恢复。因水中含有多重细菌、有机物、无机物等,仅用清水反洗并不能完全恢复膜通量,故在过滤一定时间后需对膜元件进行化学加强反洗,即在反洗时加入化学药品,通过化学药剂彻底去除膜表面污染物。

超滤膜系统设自清洗过滤器设备2套,1用1备,单套设计流量 $150\text{ m}^3/\text{h}$,设计孔径 $100\text{ }\mu\text{m}$;设膜主机设备2套,单套 $Q=1\text{ }800\text{ m}^3/\text{d}$;设反冲洗水泵3台,2用1备, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=220\text{ kPa}$, $N=11\text{ kW}$,反冲洗时间 38 s ,化学加强反冲洗周期 25.4 h 。

⑫ 污泥处理系统

污泥处理系统包括排泥池、污泥浓缩池、污泥平衡池、脱水机房、污泥加药系统。设计污泥量约 3.48 t/d ,进泥含水率约99.5%,脱水后污泥含水率达60%。设板框压滤机2套,1用1备,过滤面积 200 m^2 ,单套功率 22 kW ,处理能力 $200\text{ m}^3/\text{d}$;设压榨泵2台,1用1备, $Q=6\text{ m}^3/\text{h}$, $H=1\text{ }610\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$;设清洗泵1台, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$, $H=5\text{ }000\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$ 。

3.4 结构设计

① 建筑物

臭氧制备间、粉炭投加间、导试车间、门卫室、仓库及机修间、加氯加药间为钢筋混凝土框架结构,钢筋混凝土柱下独立基础;配电室及控制室、污泥脱水机房为钢筋混凝土框架结构,钢筋混凝土筏板基础;预处理组团设备间、滤池组团设备间、排泥系统设备间、超滤膜车间为钢筋混凝土框(排)架结构,筏板基础,柱底位于钢筋混凝土结构内。

② 构筑物

净水厂构筑物为现浇钢筋混凝土池体结构或箱型结构,钢筋混凝土整体底板。构筑物基础大部分采用大开挖施工设计,排水池开挖采用喷锚支护措施。构筑物有水格间内抹 2 mm 厚的聚氨酯防水涂料(饮用水标准),外贴马赛克瓷砖;无水格间外墙内壁及部分外壁设水泥基渗透结晶防水涂料防渗,外抹内墙涂料。池体地上部分外壁设保温层。

3.5 消防、抗震设计

净水厂厂区内各建(构)筑物防火设计按《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014,2018版)以及相关国家及地方规范、规定执行,建筑防火等级为二级。不同构件均满足耐火极限要求:外墙及内墙耐火极限 $\geq 0.50\text{ h}$,柱耐火极限 $\geq 2.50\text{ h}$,梁耐火极限 $\geq$

1.50 h,钢筋混凝土楼板、屋面板耐火极限 ≥ 1.00 h。消防采用室内消火栓及磷酸铵盐手提式干粉灭火器相结合的方式,同时室外设置地下式消火栓。室内消火栓用水量按40 L/s考虑,室外消火栓用水量按15 L/s考虑。

根据《建筑抗震设计标准》(GB/T 50011—2010, 2024版),该净水厂厂区场地抗震设防烈度为8度。抗震设计均按照GB/T 50011—2010、《构筑物抗震设计规范》(GB 50191—2012)及《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》(GB 50032—2003)中相关内容执行。

3.6 防洪、山洪沟设计

根据该区发布的《新城规划》,新城防洪标准为100年一遇,《城市防洪工程设计规范》(GB/T 50805—2012)要求工程防洪设计标准不低于该地区城市设防标准及防洪标准,统筹考虑上下游、干支流关系及净水厂情况,净水厂防洪标准为100年一遇,山洪沟防洪标准为10年一遇。

因该地区无洪峰流量等相关资料,设计洪水根据设计暴雨强度间接推求。该地区多年最大24 h雨量均值为85 mm,雨量变差系数 $C_v=0.75$,取偏态系数 $C_s=3.5C_v$,则10、20、50、100年一遇设计雨量分别为163、213、281、333 mm。结合山洪沟背山区洪水分区的流域特性,分别采用经验公式法、推理公式法以及改进推理公式法对洪峰流量进行计算,考虑山洪沟流域面积较小,最终采用改进推理公式法,山洪沟断面10、20、50、100年重现期的洪峰流量分别为10、16、22、26 m^3/s 。根据上述推求结果并结合现场实际情况,参照《水力计算手册》中天然河道糙率表,对山洪沟河道综合糙率进行分段赋值(分3段,综合糙率分别为0.025、0.035和0.030)计算,该

山洪沟10、20、50、100年一遇洪水水面线分别为533.50~576.14、533.74~576.24、533.90~576.29、534.06~576.35 m。

为保证防洪沟及净水厂安全,结合相关河道治理经验^[3-9],对该工程东侧、一期工程西侧厂区段山洪沟进行整治护砌。河道整治护砌基本维持现状断面,尽量减少占地和填挖方工作,上开口宽11.0~30.0 m,两岸设计边坡比1:1;设计河底高程546.25~560.00 m,设计纵坡4.30%~6.28%。河底采用0.5 m厚的预制混凝土石笼护砌,单个尺寸1.0 m $\times$ 1.0 m $\times$ 0.5 m,交叉设置,石笼内下部填充碎石,表层回填黏土;两岸边坡采用1.0 m厚的阶梯式预制混凝土石笼护砌,单个尺寸1.0 m $\times$ 1.0 m $\times$ 0.5 m,下面2层石笼内填充碎石,其他石笼内回填黏土。

3.7 景观设计

在厂区南侧修建人工湖,湖区内布置园路、凉亭、花架、挡墙及休息坐凳,园路采用花岗石碎拼等硬质景观,同时根据空间需要搭配丰富的软质景观,即乔灌木的复层种植,同时在树种上选择季节性乔木(垂柳、国槐、法桐、元宝枫、银杏等)和常绿乔木(榉树、锦带花、连翘等)进行搭配。

园区内水景可调节湿度和温度,对生态环境的改善有着重要作用,其中搭配水生植物(睡莲、荷花、黄菖蒲),既可以丰富水景,还可以净化水质。

4 运行效果及经济分析

该净水厂于2021年7月开工,2024年4月建设完成。经近半年的试运行调试,出水水质达标且稳定后,该净水厂正式投运,目前运行良好。试运行期间实际进水量为1 000 m^3/d ,近期实际进水量为 5×10^4 m^3/d ,两个阶段各项出水指标均达标。实际进、出水水质见表3。

表3 实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality

项目	浊度/NTU	高锰酸盐指数/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氯化物/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	硝酸盐/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	硫酸盐/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	铝/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	铁/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
试运行	进水	1.6	2.9	0.06	17.7	6.7	42.9	0.008
	出水	0.2	1.7	<0.02	19.1	5.8	34.8	0.058
正式运行	进水	1.7	3.1	0.07	17.4	6.7	42.3	0.008
	出水	0.2	1.6	<0.02	19.0	5.8	34.6	0.056

该地表水净水厂工程单位经营成本约3.97元/ m^3 ,单位供水成本约5.43元/ m^3 ,全厂供水能耗约0.24 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。

5 结语

北方城市平原区某地表水供水工程建成后,该区的供水格局由以地下水为主转变为地表水和地

下水联合调度及优化配置,地下水长期超采的现状将逐步得到改善,对涵养地下水具有重要意义,同时进一步提高供水能力,有效缓解供水紧张的局面,为该地区的发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 肖丹,南军,范雅倩,等.某自来水厂应对水源藻类突发污染的运行探索与实践[J].中国给水排水,2024,40(3):9-14.
XIAO Dan, NAN Jun, FAN Yaqian, *et al.* Exploration and practice of a waterworks to deal with sudden algae pollution in water source [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(3): 9-14 (in Chinese).
- [2] 李佩琪,黄廷林,燕军乐,等.高效去除低温低浊度地表水中有机物中试研究[J].中国给水排水,2023,39(13):47-53.
LI Peiqi, HUANG Tinglin, YAN Junle, *et al.* Pilot study on efficient removal of organic matters in low-turbidity surface water at low temperature [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(13): 47-53 (in Chinese).
- [3] 刘向荣,彭艺艺,余润生,等.柳州竹鹅溪河道综合整治工程设计[J].中国给水排水,2010,26(4):38-41.
LIU Xiangrong, PENG Yiyi, YU Runsheng, *et al.* Design of comprehensive control engineering of Zhu'xi River in Liuzhou City [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(4): 38-41 (in Chinese).
- [4] 袁以美,郑明权,周代荣,等.某重点山洪沟防治措施及经济效益分析[J].水利水电技术,2017,48(6):124-127.
YUAN Yimei, ZHENG Mingquan, ZHOU Dairong, *et al.* Analysis on prevention measure for a key torrent gully and its economic benefit [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(6): 124-127 (in Chinese).
- [5] 张志彤.山洪灾害防治措施与成效[J].水利水电技

术,2016,47(1):1-5,11.

ZHANG Zhitong. Mountain torrent disaster prevention and control measures and their effects [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(1): 1-5, 11 (in Chinese).

- [6] 李瑞成,邱宏俊.深圳市新桥河水环境综合治理工程设计[J].中国给水排水,2020,36(16):95-100.
LI Ruicheng, QIU Hongjun. Ecological comprehensive restoration project design of Xinqiao River in Shenzhen City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 95-100 (in Chinese).
- [7] 鲍智敏.辽宁省东部山区性河流灾害防治措施的设计与研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018:27-55.
BAO Zhimin. Research and Design on Prevention and Control Measures for Mountainous River Disasters in Eastern of Liaoning Province [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018: 27-55 (in Chinese).
- [8] 胡诗文.山洪沟防洪治理典型工程措施研究[D].南昌:南昌大学,2014:26-45.
HU Shiwen. The Study of Typical Engineering Measures Regarding Mountain Torrent Ditch Flood Management [D]. Nanchang: Nanchang University, 2014: 26-45 (in Chinese).
- [9] 周智文.重庆山洪沟治理优先度评价及防治措施体系研究[D].北京:北京林业大学,2017:39-44.
ZHOU Zhiwen. Studies on Mountain Torrent Ditch Governance Priority Evaluation and Control Measures System in Chongqing [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017: 39-44 (in Chinese).

作者简介:王体明(1984-),男,河南周口人,在职研究生,工程师,主要研究方向为城市供水管理、智慧水务。

E-mail:jinpeng666@sina.cn

收稿日期:2025-02-14

修回日期:2025-04-11

(编辑:沈靖怡)