

Design Analysis of a Surface Water Plant Project for Water Source Replacement in North China

Yuan Liu¹ Jin Tian¹ Long Chen²

1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300074, China
2. Nantong Jianghai Water Service Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226007, China

Abstract

Under the background of underground water pressure extraction and water source replacement, the construction of a surface water plant project in North China is carried out, and the design points of a short process and compact water plant construction form are discussed. The surface water treatment plant mainly serves the surrounding industrial parks and residential areas, with a design scale of $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, self use water coefficient of 5%. The water quality of the effluent from the water purification plant meets the requirements of the *Sanitary Standards for Drinking Water*, the main process adopts mechanical mixing flocculation inclined tube sedimentation tank immersion ultrafiltration process, and the process design parameters under the designed water quality are analyzed and discussed. This project has good applicability to seasonal water quality changes such as low temperature, low turbidity, and slight pollution in reservoir water, it has strong resistance to impact loads and a high water quality guarantee rate.

Keywords

urban water supply; groundwater exploitation reducing; water source replacement; submerged ultrafiltration membrane; water purification process

华北地区水源置换某地表水厂工程的设计浅析

刘远¹ 田津¹ 陈龙²

1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 中国·天津 300074
2. 南通市江海水务有限公司, 中国·江苏 南通 226007

摘要

在地下水压采和水源置换的背景下, 开展华北地区某地表水厂工程建设工作, 探讨短流程、紧凑型水厂建设形式的设计要点。该地表水厂主要服务于周边的工业园区及居住区, 设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 自用水系数 5%。净水厂出厂水水质符合《生活饮用水卫生标准》的要求, 主体工艺采用机械混合絮凝—斜管沉淀池—浸没式超滤工艺, 对设计水质下的工艺设计参数进行了分析探讨。本工程对水库水低温低浊、微污染等季节性水质变化均有很好的适用性, 抗冲击负荷能力强, 水质保障率高。

关键词

城市供水; 地下水压采; 水源置换; 浸没式超滤; 净水处理工艺

1 引言

华北地区某城市经开区现有市政供水水源为地下水, 水资源单一, 供水区域分散。随着经济社会发展和城市建设推进, 原有地下水水源已经不能满足城市长远发展用水需要。基于地下水压采政策, 水资源的规划和供水设施的建设, 启动本工程的建设工作势在必行。

2 项目概况

近年来, 华北地区地下水开采超标, 累计亏空 1800 亿 m^3 ,

导致产生水位下降、地面沉降、生态退化等一系列环境问题, 严重影响城市供水安全, 为国民经济持续发展带来巨大压力。多部委联合印发的《华北地区地下水超采综合治理行动方案》^[1]和河北省推进华北地下水超采综合治理行动领导小组办公室文件显示, 该地区 2020 年计划压减超采量 9700 万 m^3 , 至 2022 年剩余压采任务 5019 万 m^3 。同时, 该区域现有企业将近 200 家, 在建企业 10 多家, 老企业扩大产能, 新企业开工都存在用水量需求。在地下水压采和水源置换背景下, 为保障居民生活和经济稳定发展, 地表水厂建设势在必行。

华北地区某地表水厂, 设计规模 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 自用水系数 5%, 占地约 40 亩, 场地平坦, 用地较为紧张。本工程主要服务于周边的工业产业园及居住区。采用机械混合絮凝—斜管沉淀池—浸没式超滤—次氯酸钠消毒工艺, 充分发

【作者简介】刘远 (1994–), 女, 蒙古族, 中国河北承德人, 硕士, 工程师, 从事给水处理、污水处理的相关设计研究。

挥浸没式超滤膜系统跨膜压差小,运行能耗低,抗污堵能力强,系统阀门设备配置少,回收率高,膜箱通用性能好等优势^[2]。

本工程将给水处理构筑物集约在一个净水车间内,布置在厂区南侧,地上一层设置操作层及辅助性用房,以满足工艺生产需求。清水池为地埋式,并列布置在净水车间西侧,上层进行覆土景观设计,并用斜坡设计使绿化和厂区建筑景观相互融合。泥处理区布置在厂区东北侧;加药区布置在脱水机房西侧;厂前区的综合楼、门卫布置在厂区的西北侧,成为独立的厂前区域。为方便水厂日后运营需求,在厂区东南侧布置一座业务用房及门卫,满足对外营业需要。

3 设计进出水水质及工艺流程

地表水源为邱庄水库,邱庄水库是一座集防洪、城市供水与农业灌溉供水等综合开发利用的大(Ⅱ)型水利枢纽工程,承担着区域防洪、城市生活生产、农业灌溉的供水任务^[3]。邱庄水库水质为地表Ⅲ类水体标准,水质优良,可以作为饮用水源。本工程处理工艺充分考虑水源水质特点,既能应对低温低浊,又能应对可能出现的季节性指标波动,保证出水在不同进水情况下均可满足《生活饮用水卫生标准》出水要求。

为了节省水资源以及消除生产废水排放对环境的污染,本工程工艺流程除考虑常规工艺进行净水处理外,还考虑对超滤膜池反冲洗排水进行生产废水回收。

本工程的工艺流程如图1所示。

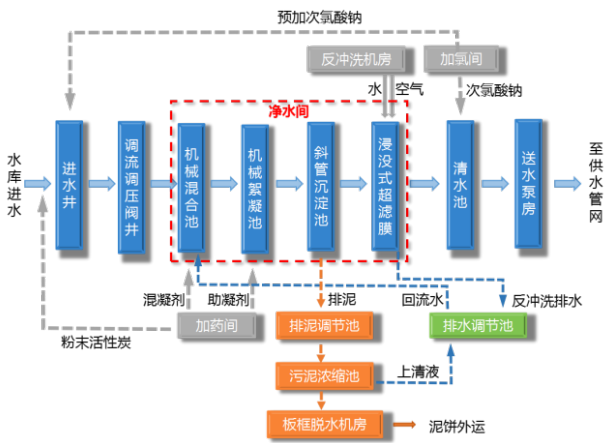


图1 工艺流程框图

4 主要设计参数

随着水体中耗氧量、微量有机物、藻类、消毒副产物、致病微生物等污染问题日益凸显,将常规处理工艺、深度处理工艺与安全消毒技术相结合,有利于实现更高的净水厂出厂水水质目标。

4.1 进水预处理单元

为应对突发水质波动,进厂管设置粉末活性炭、预加氯投加设备;进水设置电动调流调压阀井,保证进水量水压稳定。

4.2 常规处理单元

采用机械混合—机械絮凝—斜管沉淀池工艺。

①混合池2座,设计峰值停留时间52.7s,速度梯度 $G=707s^{-1}$,有效水深4.0m,单格有效尺寸 $2.0m \times 2.0m$ 。搅拌器采用高效金属叶轮,材料为不锈钢。搅拌器配备调速电机,单台电机功率为4kW,混合均匀度大于90%。

②絮凝池分为2个系列,单个系列分为2组,每组絮凝池分为三级絮凝区,单格平面尺寸为 $4.0m \times 4.0m$,采用垂直轴机械搅拌器。每座池絮凝时间20.5min,平面尺寸 $12.60m \times 8.30m$,平均有效水深3.90m。絮凝分为三档,每档搅拌叶轮形成水流的速度梯度不同,第一絮凝区速度梯度 $G_1=50\sim 70s^{-1}$,第二絮凝区速度梯度 $G_2=25\sim 40s^{-1}$,第三絮凝区速度梯度 $G_3=15\sim 20s^{-1}$,平均速度梯度 $G=20\sim 60s^{-1}$,絮凝池总GT值 $4.9\sim 10.0 \times 10^4$ 。

③沉淀池采用斜管沉淀池2座,与絮凝池对应合建。单座沉淀池沉淀区液面负荷 $6.9m^3/(m^2 \cdot h)$,平均有效水深4.20m,单组池平面尺寸 $17.5m \times 15.0m$ 。池体为方形钢筋混凝土结构,采用中心驱动刮泥机,在池的四角和池底抹成圆形。在池中设置斜管,斜管倾斜角度为60度,斜管为正六边形,内切圆直径为35mm,斜长为1m。斜管区总长度为11.1m,单排宽度6.5m,斜管上部的清水区高度为1.2m,斜管内的水力停留时间为7.2min。沉淀池采用不锈钢集水槽集水,集水槽为淹没孔口出流。沉淀后泥水被刮入设在沉淀池中心的泥斗中,用排泥管排出池外,排泥管管径DN200。

混合池、絮凝池和沉淀池为组合式构筑物,合建在一起。沉淀池出水至超滤池,并设置超越渠道,当沉淀池出水能满足出水要求时,对其进行超越运行,以节约处理成本。

4.3 深度处理单元

采用浸没式超滤工艺。超滤膜车间包括膜池、管廊、反冲洗设备间、化学清洗间、废水中和池及配电控制室等,和混合絮凝沉淀池一起建于一座净水车间内。净水间总平面尺寸为 $68.2m \times 49.2m$ 。

设计产水量 $5 \times 10^4 m^3/d$,共设膜池6个,分为2排,每池中放置膜箱8个,系统产水率为95%。所用超滤膜单池过滤面积 $16800m^2$,设计膜通量 $21.7L/(m^2 \cdot h)$,单膜池尺寸 $6.3m \times 5.4m$,有效水深4.0m,水反洗强度 $80L/(m^2 \cdot h)$,水反洗历时2.5min,反冲洗周期1~3h,气冲强度 $2m^3/(支组件 \cdot h)$ 。超滤系统既可抽真空虹吸出水,又可以泵抽出水。每池设1台变频水泵,单泵流量 $450m^3/h$,扬程10m,功率22kW。为节省电耗,本工程运行优先采用虹吸出水,在低温等膜通量下降的情况下开启抽吸泵。

膜池反冲洗水泵、鼓风机、化学清洗间设在车间的西侧。反冲洗采用水泵直接冲洗,反冲洗水泵共2台,1用1备,单泵流量 $1176m^3/h$,扬程15m,功率75kW。鼓风机2台,1用1备,单台流量 $32m^3/min$,风压50kPa,功率45kW。

4.4 清水池

总容积为 $10000m^3$,为水厂设计规模的20%。设置2座,单座平面尺寸为 $44m \times 32m$,有效水深3.5m。清水池结构

为地下式钢筋混凝土结构，设计水位高出地面 0.20m。

4.5 送水泵房

送水泵房将清水池的水送往配水管网，土建规模按管网平差结果、压力供水范围设计。送水泵房为半地下式，泵房前设有 23.0m×3.5m 的吸水井。泵后设有电动蝶阀、活塞平衡式水泵控制阀、手动蝶阀。泵房内设有排水泵和起吊设备。

设备安装按高日高时水量确定，时变化系数采用 1.5。水泵控制阀工作状态下的水头损失不大于 0.50m，意外断电时水锤峰值不大于正常工作压力的 1.3 倍。大泵 3 台，2 用 1 备，均变频，单台水泵流量 937m³/h，扬程 48m，功率 200kW；小泵 3 台，2 用 1 备，均变频，单台水泵流量 625m³/h，扬程 62m，功率 200kW。

4.6 综合加药单元

药剂种类包括氯化铝、铁盐、PAM、次氯酸钠和粉末活性炭。

①混凝剂采用液体氯化铝及铁盐。氯化铝最大设计投加量 30mg/L，原液浓度 10%，投加浓度 7.5%，每天调制药剂次数 1 次。铁盐最大设计投加量 10mg/L，原液浓度 10%，投加浓度 5%。混凝剂经溶液池稀释后的药剂用隔膜计量泵投加至混合池进水管。根据厂区水质实时情况，选取合适的混凝剂进行投加。助凝剂采用 PAM，投加量 0.5mg/L，制备浓度 0.1%，投加浓度 0.02%，工程投加点设在絮凝池第一级絮凝的出口段。②水厂设前加氯（进厂水加氯）、后加氯（滤后加氯）及补氯（清水池后）三处加氯。前加氯点设在进厂管上，次氯酸钠液体（有效氯 10%）20mg/L，日投氯量为 1050kg/d；后加氯点设在清水池进水管上，液体次氯酸钠（有效氯 10%）20mg/L，日投氯量为 1000kg/d；补氯点设在清水池出水管上，次氯酸钠液体（有效氯 10%）10mg/L，日投氯量为 500kg/d。

4.7 应急处理单元

考虑到原水可能出现突发性水源污染事件，为保障城市供水安全，针对突发性水质恶化以去除色、嗅、味等，本工程在水厂进厂管道上建设粉末活性炭投加系统，作为临时应急措施进行水质控制。活性炭比重 0.5g/cm³，活性炭粒度 200 目，投加量 5~30mg/L；料仓内储存药量为 10.5t，约 10d 投加量。投加方式采用高速射流技术，将配制、混合、投加三个过程集成为一体连续投加工工艺。投加点为进厂管线前端，按突发水污染情况进行投加。

4.8 排泥水处理单元

主要包括排泥调节池、排水调节池、污泥浓缩池。沉淀池排泥水进行浓缩处理，污泥浓缩后的上清液回收利用，超滤膜池反冲洗废水回收利用。

①排泥池，有效容积 115.2m³，平面尺寸 8m×6m，有效水深 2.4m。设置潜水泵 3 台，2 用 1 备（最大负荷下），单泵流量 20~30m³/h，扬程 12m，功率 3kW，潜水泵变频调速运行。②排水池接纳超滤膜池反冲洗排水及浓缩池上清液。排水调节池的容积 248m³，平面尺寸 10m×8m，有效水深 3.1m，设置潜水泵 3 台，2 用 1 备（最大负荷下），

单泵流量 90m³/h，扬程 12m，功率 5.5kW，变频调速运行。

③污泥浓缩池：采用固体接触式重力污泥浓缩池，共设置 2 座，设计干泥量 2.2（t/d），浓缩前污泥含水率 99.6%，浓缩后污泥含水率 97%~98%，湿污泥量 1355m³/d，固体通量 0.66kgDS/（m²·h）。污泥浓缩池单池平面尺寸 9m×9m，有效水深 3.8m。浓缩池吸泥泵为偏心螺杆泵 3 台，2 台工作，1 台备用，单泵流量 15m³/h，扬程 20m，功率 4kW；脱水机进泥泵 2 台，单泵流量 30m³/h，扬程 20m，功率 7.5kW。

4.9 污泥脱水单元

浓缩污泥经机械脱水后，泥饼的含固率达到 40% 以上，泥饼外运处理。脱水设备采用高压弹性板框压滤机。污泥浓缩池出泥含水率按 97%~98% 计，每天需脱水的湿泥量为 68~102m³/d，泥饼体积 5.1m³/d（含固率 40%）。脱水机工作总时间按 16h，每天的工作周期数为 8，压滤机一个循环批次的设计时间为 2h，选用 2 台压滤机，单台过滤面积 120m²，脱水后的泥饼含固率在 40% 以上。

5 实际运行效果

本工程于 2023 年 12 月联合调试完成，2024 年 1 月试运行。调试阶段各项出水指标均达到了出水标准。对投产以来的进出水水质变化情况进行统计分析，各出水指标均能稳定达到出水标准。

本工程的水质存在以下特点：①水库水存在冬季低温低浊水质特点，通过混凝剂、助凝剂及搅拌叶轮调节速度梯度可满足出水要求。②膜处理出水水质稳定，在常温和较低的压力下进行，不需要加药，组分中一般不发生相变，整体能耗低，进一步保障饮用水生物安全性。③超滤前投加粉末活性炭，把药剂对水中低分子有机物的吸附作用和超滤膜对大分子有机物即细菌等病原微生物的筛分作用很好地结合，可以大大提高有机物的去除率，减缓膜污染。但投加量较大，活性炭难以回收，治水成本会提高。

基于以上进水水质情况，应通过控制加药量、调节混凝沉淀效果、优化废水回用系统等措施，在保证出水的稳定达标的同时，减少能耗和药耗。

6 结语

①本工程的处理工艺对水库水低温低浊、微污染等季节性水质变化均有很好的适用性，抗冲击负荷能力强、水质保障率高。

②本工程用地紧张，采用短流程紧凑型布置，在满足出水要求的同时，最大限度地控制投运后的运行成本，实现水源置换阶段维护成本的合理性。

参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部.华北地区地下水超采综合治理行动方案[R].2019.
- [2] 郑志民,芮旻.压力式和浸没式超滤膜在市政水厂应用差异分析[J].给水排水,2021,47(2):10-14.
- [3] 谷媛媛.生态修复技术在水库水源地保护中的应用[J].河北水利,2021(10):16-17.