

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.016

净水厂应对高浊度原水的优化设计

白华清¹, 郑爽¹, 李煜², 陆振飞¹

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 成都兴蓉沱源自来水有限责任公司, 四川 成都 610400)

摘要: 四川金堂新建一座净水厂,总设计规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用常规网格絮凝—平流斜管沉淀—过滤—消毒工艺,并辅以应急处理措施。为保证城市供水的安全可靠,针对主水源北河汛期高浊度原水(高浊度时一般大于3 000 NTU),通过双水源合理调配、在原水输水管道设置沉砂器、采用平流斜管沉淀池等优化设计,实现利用一级混凝沉淀工艺将出水浊度控制在0.3 NTU以下,出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。运行期间,PAC投加量约 $29.04 \text{ g}/\text{m}^3$,加氯量约 $5.83 \text{ g}/\text{m}^3$,千吨水电耗为 $270.83 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

关键词: 净水厂; 高浊度水; 平流斜管沉淀池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0086-05

Optimized Design for High Turbidity Raw Water in Waterworks

BAI Hua-qing¹, ZHENG Shuang¹, LI Yu², LU Zhen-fei¹

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China;
2. Chengdu Xingrongtuoyuan Waterworks Co. Ltd., Chengdu 610400, China)

Abstract: The new water treatment plant in Jintang, Sichuan Province, with a total design scale of $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, the design scale of the first phase project is $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, adopts combined process of conventional grid flocculation, horizontal-flow inclined-tube sedimentation, filtration and disinfection process, supplemented by emergency treatment measures. In order to ensure a safe and reliable water supply in the city, and to deal with the high-turbidity raw water of the main source, Beihe River, during flood season (generally more than 3 000 NTU at high turbidity), the design was based on the rational allocation of dual water sources, the application of a sand setter in the raw water pipeline, and the usage of a horizontal-flow inclined-tube sedimentation tank to optimize the design, which has controlled the effluent turbidity below 0.3 NTU by adopting the first-stage coagulation sedimentation process. The quality of the effluent water could meet the requirements of the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). During operation, the PAC dosage was about $29.04 \text{ g}/\text{m}^3$, the chlorine dosage was about $5.83 \text{ g}/\text{m}^3$, and the power consumption per kiloton water was $270.83 \text{ kW} \cdot \text{h}$.

Key words: waterworks; high-turbidity raw water; horizontal-flow inclined-tube sedimentation tank

金堂县位于成都平原东北部,县境内河流分属于沱江、岷江水系。金堂城区自来水厂于1998年建成投产,采用常规处理工艺,2007年扩建后,规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。随着城市的发展,现状水厂的规模已

经逐渐不能满足城市的用水需求,且存在给水设施分布不均、乡镇饮用水水质较差、供水普及率较低、安全保障率低等情况,迫切需要优质自来水的供应,但现状水厂已经被城市包围,无扩建余地,因此新建

净水厂刻不容缓。

根据原水水质特点,对比出水水质指标,并结合现状水厂运行经验,新建净水厂的处理重点为降低浊度,采用常规网格絮凝—平流斜管沉淀—过滤—消毒工艺处理,辅以应急处理措施,净水厂于2017年2月正式投产。

1 设计水质及规模

1.1 原水水质

本项目主水源为北河,红旗水库作为备用水源。

1.1.1 北河水质

北河属沱江水系,为沱江起点处重要支流,肖玖金等^[1]分析了沱江水质现状与变化趋势(分丰水期、枯水期、平水期和全年),结果表明沱江水质良

好;根据2008年—2012年金堂县北河饮用水水质监测数据,除 BOD_5 、氨氮、总磷、总氮、粪大肠菌群等5项指标能达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类水域标准外,其他指标均能满足Ⅱ类标准要求。枯水期北河氨氮较高,约0.7~0.9 mg/L。

河道每年大部分时间的浊度较低^[2],但是汛期(6月—9月)及上游采砂、洗砂活动将导致原水浊度和含沙量升高,浊度高时一般大于3 000 NTU,为非界面沉降高浊度水。根据监测数据,一般情况下北河浊度为30~200 NTU,汛期浊度变化较大(见表1),2018年最高浊度超过8 000 NTU,2019年最高浊度超过14 000 NTU。

表1 2018年、2019年北河原水浊度统计

Tab. 1 Statistics of raw water turbidity in Beihe River in 2018 and 2019

浊度/NTU	≤30	30~100	100~200	200~1 000	1 000~3 000	3 000~5 000	5 000~8 000	>8 000
2018年天数/d	84	194	36	34	10	4	2	1
2019年天数/d	67	200	62	20	8	4	2	2

1.1.2 红旗水库水质

红旗水库位于金堂、广汉、中江三市交界处,为中型水库。

根据红旗水库原水水质检测报告,除总大肠菌群、耐热大肠菌群及浑浊度外,均满足《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020—1993)二级标准和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类水标准限值要求。根据实测资料,水库水浊度较低,基本在10 NTU以下。

1.2 建设规模及出水水质

新建净水厂设计总规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、二期增加 6×10^4

m^3/d ,水厂自用水系数取10%。出厂水水质需符合卫生部2006年发布的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,其中滤后水浊度指标不得高于1.0 NTU。

2 工程设计

2.1 工艺流程

近20年,川渝地区以多砂高浊度水为水源的给水工程,大多采用两级混凝沉淀的工艺流程^[3]。由于主水源北河高浊度的持续时间较短,且高浊度时可混合低浊度的红旗水库水,为节约工程投资并减少占地,本工程设计采用一级混凝沉淀工艺。

净水厂工艺流程具体如图1所示。

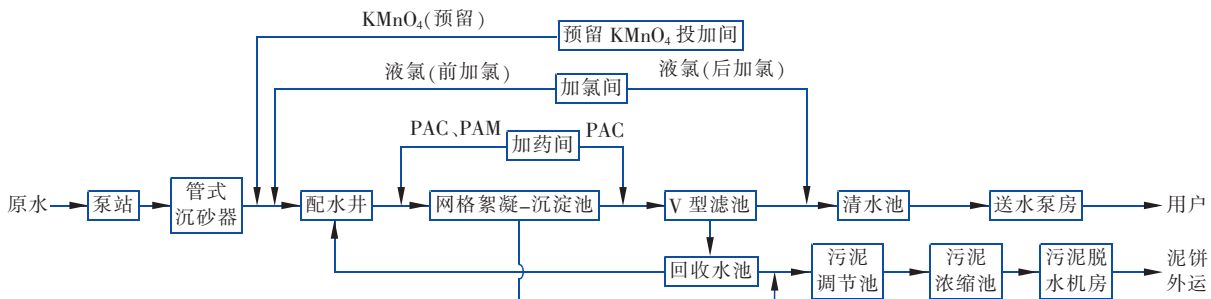


图1 净水厂工艺流程

Fig. 1 Process flow of waterworks

2.2 工程设计

为应对季节性高浊度原水,满足《生活饮用水

卫生标准》(GB 5749—2006)对出水浊度的要求,采用多个措施降低出水浊度。

2.2.1 双水源

以北河为主水源,红旗水库为备用水源,当北河原水浊度严重超标或水量不足时,水源可切换为红旗水库或两水源联合使用;当北河原水水质出现应急事件时,红旗水库作为备用水源可满足水厂需求。单独使用红旗水库水源时,基于进水水质浊度较低,混凝沉淀处理存在一定困难^[4],可将污泥浓缩池中的污泥回流至配水井,利用污泥的接触絮凝性能,保证絮凝效果,提高出水水质。同时净水厂内预留有气浮池用地,当远期红旗水库条件具备时亦可作为水厂的主供水源,届时根据水库水质情况,可增设气浮工艺。

2.2.2 管式沉砂器

为应对高浊度原水,解决投产初期低流速致使管道积砂堵塞的问题,降低水厂处理难度,在泵站至水厂的输水管道起端设置管式沉砂器。

2.2.3 平流斜管沉淀池

根据《高浊度水给水设计规范》(CJJ 40—2011),斜管沉淀池用于处理浊度高于5 000 NTU的进水时,池前宜设置平流过渡段,增加的平流段可增强沉淀池的抗冲击能力,进一步降低水平流速,既能起到整流作用,又能降低斜管池内的上升流速^[5];当无参考资料时,平流段与斜管段容积比宜为40%~60%,总停留时间为1.0~2.5 h。研究资料^[6-7]表明,平流沉淀池泥渣大多在前段15 m内自由沉降,有较明确的泥水沉降分界曲线,沉淀效率很高。因此,为加强高浊度期间水处理效果、提高耐冲击负荷,本次设计采用平流斜管沉淀池,平流过渡段共计22 m。

2.3 工程设计参数

2.3.1 北河取水工程

北河取水泵站总设计规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (其中 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 服务现状金堂水厂)。泵站内设置粉末活性炭投加间、变配电间、原水仪表间等构(建)筑物及相关配套设施。

① 取水头部

设计采用箱式取水头部1座,双侧进水,钢筋混凝土材质,规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水流速为0.3 m/s。取水口位于河道中心主流位置,以减少泥沙淤积。

② 取水泵房

取水泵房采用固定式圆形岸边取水构筑物。土建按照 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 一次建成,设备分期安装,预留水泵位置。泵房一期取水规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设置单级双吸离心泵3台(2用1备),大小泵搭配。二期工程新增1台同型号大泵,运行状态为3用1备(备用1台大泵),总取水规模可达 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

③ 粉末活性炭投加间

粉末活性炭为吸附剂,主要作用为应对北河的季节性水质恶化,通过其吸附作用,去除原水中的异色、异味。粉末活性炭投加间内设一体化投加系统1套(含给料机、料仓、真空吸料机、溶解罐、螺旋输送器等),投加螺杆泵2台(1用1备)。

④ 原水输水管道

为节约投资,方便施工,北河取水泵房至水厂原水输水管道采用1根,设计规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,管径DN1 200,单根管道长为0.46 km。

管式沉砂器长7.0 m,管径为DN2 220×20 mm,底部设置4个排砂斗,排砂斗高为1.0 m,上口宽为1.2 m,下底宽为0.4 m,斜坡角度为60°,斗底设DN300排泥管,通过阀门控制排泥,沉砂器顶部配置检修人孔。根据现场实际运行情况,在投产运行初期,排泥斗每两天排泥一次,每次排泥5~7 min可基本解决输水管道积砂问题。

2.3.2 红旗水库取水工程

红旗水库取水工程新建取水竖井一座,采用圆形结构,井径为5.0 m,井深为42.0 m(水上部分5.0 m),取水竖井与水库边道路采用引桥连接。红旗水库原水输水管道已敷设1根,设计输水规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,管径DN900,二期增加1根。

2.3.3 净水厂主要构筑物设计参数

① 网格絮凝

本次一期工程共设絮凝平流斜管沉淀池1座(2格),单座设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸为51.7 m×32.5 m,深为4.65~6.75 m,钢筋混凝土结构。

每格沉淀池絮凝段分为相互独立的2个通道,前端设置混合井1座,混合井平面尺寸为1.3 m×1.3 m,设置机械搅拌混合器1台,变频调速。

网格絮凝段平面尺寸为7.3 m×14.8 m,池深5.85 m。絮凝段分为三段,第一段停留时间为4.9 min, G 值 70 s^{-1} ;第二段停留时间为5.6 min, G 值 44 s^{-1} ;第三段停留时间为5.6 min, G 值 14 s^{-1} ;絮

凝区总反应时间为 16.1 min, GT 值 4.1×10^4 。

② 平流斜管沉淀池

平流过渡沉淀段平面尺寸为 $22.0 \text{ m} \times 14.8 \text{ m}$, 池深 4.65 m。

斜管沉淀区平面尺寸为 $19.5 \text{ m} \times 14.8 \text{ m}$, 池深 4.65 m, 液面负荷为 $5.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。斜管安装角度 60° , 长 1.0 m; 采用液压往复式池底刮排泥一体机, 对平流区和斜管区进行刮排泥。共 4 套(每格 2 套), 单套 $N = 7.5 \text{ kW}$, 每套共 5 根排泥管, 每套单管排泥量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{h}$, 单管耗气量为 $15 \text{ L}/\text{min}$ 。

③ V 型滤池

设 V 型砂滤池 1 座, 单座设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 单格滤池有效面积为 85.4 m^2 , 单格池平面尺寸为 $12.2 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$ 。设计滤速为 $7.7 \text{ m}/\text{h}$, 一格检修时强制滤速为 $10.2 \text{ m}/\text{h}$ 。

V 型滤池设计进水浊度 $\leq 2 \text{ NTU}$; 出水浊度 $\leq 0.6 \text{ NTU}$; 反冲周期为 $24 \sim 48 \text{ h}$; 过滤水头为 24 kPa ; 滤料层厚度为 1.2 m ; 滤料粒径 $d_{10} = 0.90 \text{ mm}$, $K_{80} < 1.4$ 。

④ 加药间

加药间设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 尺寸为 $10.50 \text{ m} \times 19.20 \text{ m} \times 5.70 \text{ m}$, 框架结构。

絮凝剂采用碱式氯化铝, 最大投加量为 $40 \text{ mg}/\text{L}$ (液体商品), 投加浓度为 3.3% , 采用计量泵投加。计量泵 5 台, 其中 3 台(2 用 1 备)投加至沉淀池混合池, 2 台(1 用 1 备)投加至滤池进水管。助凝剂采用聚丙烯酰胺, 最大投加量为 $0.5 \text{ mg}/\text{L}$, 采用固体粉末溶解后投加, 初次稀释浓度为 0.5% , 投加浓度 0.1% , 投加至絮凝区混合池。设置螺杆泵 3 台(2 用 1 备)。

⑤ 加氯间

采用液氯消毒, 加氯间设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。由氯库、加氯间、液氯吸收间、控制配电室等组成, 同时预留加氨间、氨库、蒸发器间。采用柜式自动控制真空加氯机, 前加氯 2 台(1 用 1 备), 设计前加氯投加量为 $0.3 \sim 5.0 \text{ mg}/\text{L}$, 季节性投加, 投加点位于配水井; 后加氯 2 台(1 用 1 备), 设计滤后水投加量为 $0.5 \sim 2.0 \text{ mg}/\text{L}$, 带自动控制器及复合环信号传送器, 投加点位于滤池出水管。

3 运行效果

根据水厂投产以来的运行数据, 当北河原水浊度超过 $10\,000 \text{ NTU}$ 时, 根据具体浊度按比例混合红

旗水库的原水, 使水厂的进水浊度低于 $10\,000 \text{ NTU}$, 网格絮凝—平流斜管沉淀池后浊度约 1.5 NTU , 滤后水浊度约 $0.21 \sim 0.35 \text{ NTU}$, 出厂水浊度约 $0.12 \sim 0.30 \text{ NTU}$ 。2018 年、2019 年 6 月—9 月水厂出水浊度情况见图 2。

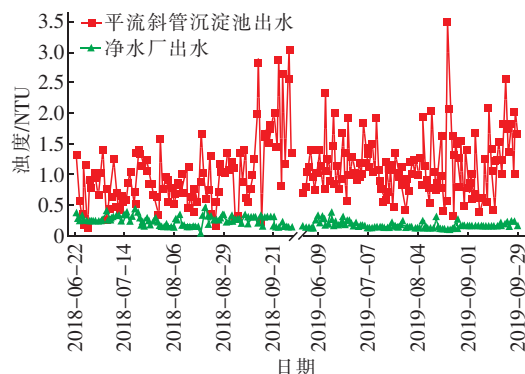


图2 平流斜管沉淀池及水厂出水浊度

Fig.2 Effluent turbidity of the sedimentation tank and waterworks

4 主要技术经济指标

净水厂总(一期、二期)用地面积约 5.13 hm^2 。工程总投资为 $13\,560.19$ 万元, 工程费用为 $9\,015.65$ 万元。

2019 年净水厂取水量约 $2\,000 \sim 2\,300 \text{ m}^3/\text{h}$, PAC 投加量约 $29.04 \text{ g}/\text{m}^3$, 加氯量约 $5.83 \text{ g}/\text{m}^3$, 千吨水电耗为 $270.83 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

5 结语

金堂县某净水厂采用常规网格絮凝—平流斜管沉淀—过滤—消毒常规处理工艺, 通过混合低浊度水库水, 降低高浊度期间净水厂的进水浊度; 经过平流斜管沉淀池, 浊度降至 1.5 NTU 左右, 出水水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求, 浊度控制在 0.3 NTU 以下, 从而实现了采用一级混凝沉淀工艺应对主水源的高浊度期间的安全供水, 取得了显著的经济、社会和环境效益。

参考文献:

- [1] 肖玖金, 李旭东, 王红磊, 等. 沱江水质现状评价与变化趋势分析[J]. 中国给水排水, 2010, 26(22): 119—121.
Xiao Jiu Jin, Li Xu Dong, Wang Hong Lei, et al. Evaluation of water quality in Tuojiang River and analysis on its variation trend[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(22): 119—121 (in Chinese).

- [2] 熊易华. 长江上游江河水浊度特性分析[J]. 西南给排水, 2011, 33(3): 1-6.
Xiong Yihua. Analysis of river turbidity characteristics in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Southwest Water & Wastewater, 2011, 33(3): 1-6 (in Chinese).
- [3] 熊易华. 长江上游高浊度水给水工程设计运行调研[J]. 西南给排水, 2010, 32(3): 1-3.
Xiong Yihua. Investigation on design and operation of high turbidity water supply project in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Southwest Water & Wastewater, 2010, 32(3): 1-3 (in Chinese).
- [4] 赵松. 低浊度净水厂运行现状分析与建议[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
Zhao Song. Low Turbidity Water Treatment Plants Operation Situation Analysis and Recommendations[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013 (in Chinese).
- [5] 吴东升, 崔红军, 何秀秀, 等. 改进型斜管沉淀池在水厂改造中的实际应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(4): 68-71, 76.
Wu Dongsheng, Cui Hongjun, He Xiuxiu, et al. Practical application of improved inclined-tube sedimentation tank in waterworks reconstruction[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(4): 68-71, 76 (in Chinese).
- [6] 史春海, 马小蕾, 王海梅, 等. 前置平流段全断面配水斜管沉淀工艺在曲江水厂技改工程中的应用[J]. 给水排水, 2010, 36(12): 22-24.
Shi Chunhai, Ma Xiaolei, Wang Haimei, et al. Application

of front horizontal flow whole section water distribution tube settler in Qujiang water treatment plant technological transformation project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(12): 22-24 (in Chinese).

- [7] 史春海, 王海梅, 孔令勇. 复合沉淀池[P]. 中国专利: CN201791404U, 2011-04-13.
Shi Chunhai, Wang Haimei, Kong Lingyong. Composite Sedimentation Tank [P]. Chinese Patent: CN201791404U, 2011-04-13 (in Chinese).



作者简介: 白华清(1975-), 男, 安徽宣城人, 本科, 高级工程师, 注册咨询(投资)工程师, 注册公用设备(给水排水)工程师, 主要从事市政给排水工程、生态环境保护、综合管廊等方面设计工作, 多次荣获省部级勘察设计奖。

E-mail: 499695851@qq.com

收稿日期: 2019-12-06

节水优先、空间均衡、
系统治理、两手发力