

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.025

不锈钢净水装置在给水厂全流程工艺中的应用

徐 敬, 李学勤, 陈余星

(净化控股集团股份有限公司, 浙江 台州 317605)

摘 要: 皖北农村地区较多使用地下水,存在铁、锰和氟超标的情况。2019 年安徽省蒙城县启动了第二批农村饮用水安全巩固提升工程,对罗集水厂进行水源置换,取茨淮新河地表水,在罗集水厂扩建 1 座制水车间,设计规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后供到罗集水厂和立仓水厂的清水池。该项目主体采用预臭氧+机械混合+网格絮凝+斜管沉淀+V 型滤池和后臭氧+活性炭砂滤池的净水工艺,为不锈钢净水装置。2020 年 5 月完成调试,目前供水 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水各项指标优于生活饮用水标准,其中浊度平均为 0.172 NTU。

关键词: 给水厂; 全流程工艺; 不锈钢净水装置

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0138-05

Application of Stainless Steel Water Purification Device in the Whole Process of a Waterworks

XU Jing, LI Xue-qin, CHEN Yu-xing

(Jinghua Holding Group Co. Ltd., Taizhou 317605, China)

Abstract: Groundwater is widely used in rural areas of northern Anhui, and there are some cases of excessive iron, manganese and fluorine. The second batch of rural drinking water safety consolidation and upgrading project was launched in 2019 in Mengcheng County, Anhui Province. In Luoji Waterworks, the water source was replaced by surface water from Cihuaixin River, a water treatment workshop was expanded with a design capability of $15\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ and effluent was sent to the clear-water reservoirs for Luoji and Licang Waterworks after treatment. The stainless steel water purification device mainly adopted the process of pre-ozone, mechanical mixing, grid flocculation, inclined pipe settlement, V-type filter and post-ozone, as well as activated carbon sand filter. Commissioning was completed in May 2020. At present, the daily water supply is $11\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, and all the effluent indexes are superior to the standard of drinking water, including turbidity of 0.172 NTU.

Key words: waterworks; whole process; stainless steel water purification device

1 项目概况

近年来,国家高度重视解决农村饮水安全问题,保证农村居民能够方便地获得足量、洁净的生活饮用水。皖北农村地区较多使用地下水,存在铁、锰和氟超标的情况。

2019 年安徽省蒙城县启动了第二批农村饮用水安全巩固提升工程。为了彻底解决罗集镇、立仓

镇及周边共计约 8 万人长期使用氟超标地下水的问题,拟对罗集水厂进行水源置换。原水取自茨淮新河地表水,在罗集水厂扩建 1 座制水车间,处理规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后供到罗集水厂和立仓水厂的清水池。

茨淮新河属于淮河支流,是一条大型人工河道,上游存在一定的污染,并负担航运任务。水质检测

指标见表1,总氮和石油类超标。

表1 原水水质

Tab.1 Raw water quality

项 目	茨淮新河地表水	地表水Ⅲ类标准
浑浊度/NTU	18.6	
色度/度	20	
pH 值	7.92	6~9
耗氧量/(mg·L ⁻¹)	5.83	6
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.869	1.0
总氮/(mg·L ⁻¹)	1.365	1.0
石油类/(mg·L ⁻¹)	1.569	0.05

在选择工艺路线时,设计人员考察了位于本工程取水口上游约10 km的蒙城县第三水厂,其原水同样取自茨淮新河,枯水期水中明显有藻类,肉眼可见,并伴随着泥腥味。该水厂于2018年通水,制水规模 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用预臭氧+机械混合+折板絮凝+平流沉淀+V型滤池+后臭氧+活性炭砂滤池的净水工艺。

考虑到原水水质较差,本着借鉴已运行的成熟工艺的原则,罗集水厂制水工艺路线大致沿用第三水厂工艺,但由于受限于制水车间尺寸(42 m×30 m),本工程设计采用不锈钢净水装置,其中絮凝采用网格,沉淀采用上向流斜管。

工艺流程见图1。

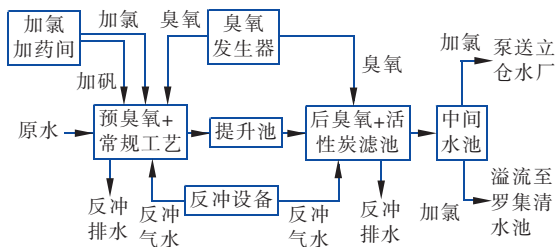


图1 罗集水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process of Luoji waterworks

2 设计方案

罗集水厂原供水方案采用深井泵抽取地下水,经除氟设备出水,加氯后送至清水池,再经二级泵房加压至供水管网。原厂区东西长58.0 m,南北宽51.0 m,已有的建(构)筑物:除氟及加氯间、清水池、二级泵房及配电间、办公室等。本次扩建工程,拟向南扩37.0 m,利用58 m×37 m的空间,设钢结构制水车间1座、臭氧发生间1座、废水池1座,并

对现有的除氟间和加氯间进行改造,设计处理规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计年限50年。厂区平面布置见图2。

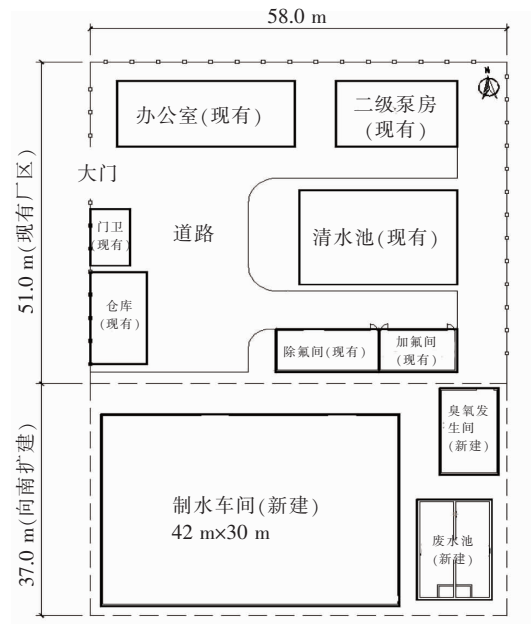


图2 厂区平面布置

Fig.2 Plane layout of waterworks

2.1 制水车间

制水车间为钢结构厂房,平面尺寸42 m×30 m,高9.5 m,包括不锈钢净水装置2台、提升水池和中间水池(合建)1座、反冲洗风机、压缩空气气源、配电控制柜等。制水车间是核心单元,在非常有限的空间内布置从预处理到深度处理全流程工艺的难度较大,必须工艺集成化,主要从以下几个方面进行设计:

① 混凝、沉淀和过滤等常规工艺集成的净水装置已经比较常见,在此基础上将预臭氧接触池沿网格絮凝池宽度方向展开、合建,并将网格絮凝池的第一格改为机械搅拌井。

② 常规设计的后臭氧接触池和炭砂滤池为两部分,本次设计将后臭氧接触池沿炭砂滤池长度方向展开,与炭砂滤池合并建设,进水从接触池中部进入,流向两端,最终汇入炭砂滤池进水总渠。

③ 提升水池和中间水池共壁合建。提升水池停留时间仅为24 min,为了不影响运行可靠性,提升水泵可根据池内液位高低,改变运行频率,配合液位计,实现自控调节,保持液位在设定的区间内浮动。提升水池和中间水池共壁的墙上开溢流孔,互相溢

流,也可提高运行安全性。

中间水池收集炭砂滤池出水并泵送或溢流至清水池,同时又作为反冲水池,中间水池停留时间仅为14 min,为了保证水泵正常工作,中间水池上部设液位计,低液位时不得进行反冲洗,同时自控设定,当需要进行水反冲洗时,送水泵停止工作。

④ 利用净水装置与制水车间的过道,在不影响交通的情况下,布置反冲洗风机、压缩空气气源、配电控制柜等。

2.1.1 不锈钢净水装置(预臭氧+常规工艺)

预臭氧接触段和常规工艺段共壁集成到一个不锈钢箱体内,箱体平面尺寸 $21.05\text{ m} \times 15.30\text{ m}$,高 5.3 m 。由于臭氧的强腐蚀性,预臭氧接触段和常规工艺絮凝前段采用不锈钢316L制造,常规工艺絮凝中后段、斜管沉淀段和V型滤池段从节约成本考虑采用不锈钢304制造。

预臭氧接触段分并列两路,内部设多道隔板,设计最大投加量 1.0 mg/L ,采用射流投加,通过扩散器投入水中。预臭氧接触时间 7.5 min ,分别设置顶部排渣和下部放空管。预臭氧接触段上部安装投加单元、尾气破坏单元等设备^[1]。

常规工艺段设置了机械搅拌、网格絮凝、斜管沉淀和V型滤池,分并列两路,其中V型滤池4组。

机械搅拌井平面尺寸 $0.95\text{ m} \times 0.95\text{ m}$,有效水深 4.2 m ,搅拌时间 42 s ,转速 60 r/min 。

网格絮凝共设置了32格竖井,除最后2格竖井外,其余竖井平面尺寸 $0.95\text{ m} \times 0.95\text{ m}$,分三段,前段和中段放网格,末端不放,总絮凝时间 20.5 min ,总水头损失 40 cm ,GT值 6.9×10^4 。

斜管沉淀区面积 116 m^2 ,清水区液面负荷 $5.66\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,设置孔径 30 mm 、斜长 1.0 m 斜管。采用穿孔排泥管和水力快开排泥阀定时排泥。上部出水采用穿孔集水槽。

V型滤池总过滤面积 95 m^2 ,滤速 6.9 m/h ,强制滤速 9.2 m/h ,滤料厚 1.25 m ,粒径 $0.8 \sim 1.2\text{ mm}$,承托层厚 0.1 m ,粒径 $2 \sim 4\text{ mm}$ 。采用标准的V型滤池形式,每格滤池都设置进水、排水、反冲气、反冲水、清水、排气、初滤水七种阀门。V型滤池采用气水冲洗方式,反冲洗气冲强度 $15\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水冲强度 $3.0\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,单水洗时水冲强度 $6.0\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

不锈钢净水装置(预臭氧+常规工艺)出水经

管道自流至提升水池。

2.1.2 不锈钢净水装置(后臭氧+炭砂滤池)

后臭氧接触段和炭砂滤池共壁集成到一个不锈钢箱体内,箱体平面尺寸 $21.05\text{ m} \times 6.75\text{ m}$,高 6.3 m 。由于臭氧和活性炭的强腐蚀性,整体采用不锈钢316L制造。

后臭氧接触段分并列两路,内部设多道隔板,设计最大投加量 2.0 mg/L ,每路设置3点投加,投加比例 $2:1:1$ 。臭氧气体通过微孔曝气盘曝气,与接触池内的水接触反应。后臭氧接触时间 20 min ,池上部安装了投加单元、尾气破坏单元等设备。

炭砂滤池采用标准的V型滤池结构,分4组,与常规工艺段的砂滤池宽度相同。总过滤面积 81 m^2 ,滤速 8.1 m/h ,强制滤速 10.8 m/h ,上层活性炭滤料厚 2.0 m ,采用 8×30 目压块颗粒破碎炭,下层砂滤料厚 0.6 m , $D_{10}=0.55\text{ mm}$,承托层厚 0.1 m ,粒径 $2 \sim 4\text{ mm}$ 。

炭砂滤池采用单气单水冲洗,气洗强度 $15\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水洗强度 $9\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,定期大水量冲洗强度 $13.5\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

不锈钢净水装置(后臭氧+炭砂滤池)出水经管道自流至中间水池。

2.1.3 提升水池和中间水池

提升水池和中间水池合建,外形尺寸 $22.4\text{ m} \times 6.5\text{ m}$,有效水深 3.2 m ,半地下式,钢筋混凝土结构,中间设置隔墙,隔墙上留有溢流孔,当原水水质较好,不需要经过炭砂滤池时,提升水池可直接溢流至中间水池。

提升水池接收常规工艺砂滤池的出水并提升至后臭氧接触池,内设提升潜水泵3台,单泵流量 $330\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 80 kPa ,变频控制。

中间水池接收炭砂滤池出水,同时也是反冲洗水池。在正常运行工况下,炭砂滤池处理能力为 $1.5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,其中 7500 m^3 通过送水泵送至立仓水厂的清水池,另外 7500 m^3 可自流至罗集水厂的清水池。

中间水池内设置5台水泵,其中3台作为反冲洗水泵,单泵流量 $325\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 110 kPa ,变频,砂滤池和炭砂滤池可通过调节水泵运行频率,共用3台水泵进行反冲洗。另外2台作为送水泵,单泵流量 $320\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 300 kPa ,变频,负责将中间水池的水送至立仓水厂清水池。

中间水池上部设有自流管,多余的水可自流至罗集水厂清水池。

2.1.4 其他设备

反冲风机2台,单台风量 $21.5 \text{ m}^3/\text{min}$,出口压力 60 kPa ,变频,可通过调节风机运行频率,砂滤池和炭砂滤池共用反冲风机。

压缩空气气源1套,包含2台空压机、1台储气罐等。

配电和控制柜若干,包括泵和风机配电柜、净水装置的控制柜等。

制水车间平面布置见图3。

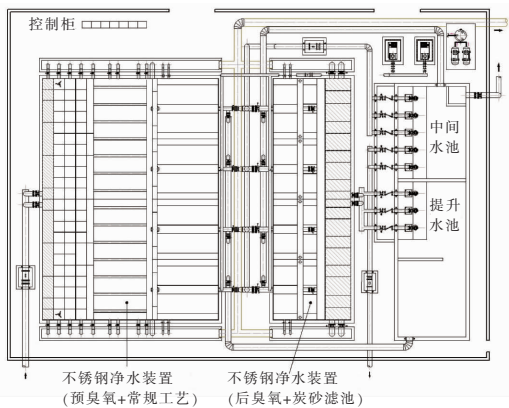


图3 制水车间平面布置

Fig.3 Plane layout of water treatment workshop

2.2 臭氧发生间和废水池

臭氧发生间为钢结构厂房,平面尺寸 $13.5 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$,高 5.4 m 。内包含臭氧发生器2套,单套最大产量 2.5 kg/h ,采用现场空气制氧的方式,配套制氧系统和循环水冷却系统。

废水池接收反冲洗废水和排泥水,平面尺寸 $16.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$,有效水深 3.5 m ,分2格,有效容积 530 m^3 。每次排水后,静置 1 h ,然后开启抽取上清液的水泵外排,下部积泥定时人工清理。

2.3 除氯间和加氯间改造

拆除原除氯间设备,改造为加药加氯间。

加药采用成品聚合氯化铝溶液,原液浓度 10% ,稀释到 5% 投加。设 6 m^3 的储药桶2个,隔膜计量泵3台(2用1备),单泵流量 50 L/h ,两点投加,分别投加在2座搅拌井内。

加氯采用成品次氯酸钠溶液,设 6 m^3 的储药桶2个,稀释至 5% 浓度后储存并投加,隔膜计量泵6台(4用2备),单泵流量 50 L/h 。加氯设4点,分别

为前加氯两点(2座搅拌井)、后加氯两点(至罗集清水池前和至立仓水厂清水池管道上)。

原加氯间采用二氧化氯发生器现场制备,本次工程拆除原设备,改造为高低压配电间。

3 施工和调试

本工程于2019年11月初开始施工,2020年1月中旬完成不锈钢净水装置主体和相关主要设备的安装,并手动通水,由于疫情原因,5月底完成自控调试,稳定实现自控运行。施工现场见图4。



图4 施工现场

Fig.4 Image of construction site

4 运行情况

截至2020年11月,该处理系统已稳定运行近6个月,进水量稳定在 $480 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右,经历了丰水期和枯水期,原水最高浊度 92 NTU ,最低浊度 16 NTU ,正常一般为 $30 \sim 50 \text{ NTU}$ 。砂滤出水稳定小于 0.3 NTU ,炭砂滤池出水稳定小于 0.2 NTU 。出水水质见表2。

表2 出水水质

Tab.2 Effluent quality

项 目	中间水池取样	生活饮用水标准
浑浊度/NTU	0.172	1
色度/度	5	15
pH 值	7.68	6.5~8.5
耗氧量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.76	3
氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.07	0.5
总氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.27	0.5
石油类/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.10	0.5

前加氯、加药和后加氯按流量比例投加,根据原水和出水情况人工修正。目前设定前加氯 1.2 mg/L ,加药 8 mg/L ,后加氯 1.0 mg/L 。

絮凝沉淀池排泥和预臭氧接触池排渣设定1

次/d,持续 60 s,原水浊度高时,人工在上位机设定增加排泥一次。

砂滤池反洗周期 24 h,设定气洗 2 min,气水洗 6 min,单水洗 6 min。

炭砂滤池反洗周期 7 d,设定气洗 3 min,水洗 8 min,每次冲洗完毕,开启初滤水阀排水 10 min 后,再开启滤后清水阀。

臭氧投加与否和投加量视原水情况人工判断,一般优先开启后臭氧,以保证炭砂滤池的生物活性^[2]。

另外,夏季高温时,制水车间内温度高,氯挥发加快,导致车间内氯味加大,因此后续在车间顶部增加了换气扇,气味问题有一定的改善。

5 结语

面对微污染的原水,在相当紧凑的扩建用地上,建设了 1 座制水车间,设计规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,制水主体构筑物为不锈钢制作,采用预处理、常规处理和深度处理的全流程工艺,实现全自控运行。该项目总投资 3 650 万元,造价 2 430 元/ m^3 。不锈钢净水装置的应用实现了工艺的高度集成化,极大节约了占地面积和施工时间。

目前供水量稳定在 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,制水

车间出水浊度稳定在 0.2 NTU 以下。

由于制水车间为封闭结构,建议以后类似项目,设计时考虑加强换气功能,避免车间内因湿度大、温度高和氯味重,给巡检人员带来不适感。

参考文献:

- [1] 张晏晏. 给水厂预臭氧接触池设计计算[J]. 中国给水排水,2017,33(10):74-77.
ZHANG Yanyan. Design and calculation of pre-ozonation contact tanks in waterworks [J]. China Water & Wastewater,2017,33(10):74-77(in Chinese).
- [2] 顾一峰. 上海 M 水厂深度处理改造工程设计及运行[J]. 给水排水,2015,41(增刊):139-142.
GU Yifeng. Design and operation of advanced purification reconstruction in Shanghai M water treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering,2015,41(S):139-142(in Chinese).

作者简介:徐敬(1980-),男,浙江玉环人,大学本科,工程师,从事水处理工程设计及产品研发工作。

E-mail:65064185@qq.com

收稿日期:2020-11-28

修回日期:2020-12-05

(编辑:衣春敏)

(上接第 137 页)

Wastewater,2018,34(6):120-122(in Chinese).

- [2] 安关峰,刘添俊,张洪彬. 排水管道结构修复内衬壁厚

的计算方法及应用[J]. 特种结构,2014,31(1):91-95,99.
AN Guanfeng, LIU Tianjun, ZHANG Hongbin. Calculation method and application of the thickness of the inner lining in the repair of drainage pipeline structure [J]. Special Structures,2014,31(1):91-95,99(in Chinese).

- [3] 肖倩,项立新,杨明轩,等. 非开挖技术在深圳市排水管道修复中的选择与应用[J]. 给水排水,2019,45(1):116-120.

XIAO Qian, XIANG Lixin, YANG Mingxuan, et al. The selection and application of trenchless technology in sewer pipeline rehabilitation in Shenzhen [J]. Water & Wastewater Engineering,2019,45(1):116-120(in Chinese).

作者简介:刘琳(1976-),女,江西吉安人,硕士,副教授,现主要从事建筑结构、新型材料、土木工程

E-mail:565178272@qq.com

收稿日期:2020-02-17

修回日期:2020-03-05

(编辑:衣春敏)