

运行与管理

青岛白沙河水厂臭氧—生物活性炭系统运行调试

张晏晏, 王 晏, 洪景涛, 卢 彪, 赵瑞普
(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 介绍了青岛白沙河水厂臭氧—生物活性炭系统($36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)的调试方案,并利用调试过程中记录的数据对出现的问题进行分析,提出了解决办法,还对今后的设计提出优化建议。调试实践表明,应重点关注臭氧—生物活性炭系统不合格水排放条件、初期出水的 pH 值和各水池水位变化情况。

关键词: 净水厂; 臭氧—生物活性炭系统; 调试运行

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)22-0113-05

Commissioning of O_3/BAC System in Qingdao Baishahe Water Purification Plant

ZHANG Yan-yan, WANG Yan, HONG Jing-tao, LU Biao, ZHAO Rui-pu
(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The commissioning scheme of O_3/BAC system with the capacity of $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ in Qingdao Baishahe water purification plant was introduced. The problems were analyzed with the data recorded in the process. Solutions and optimization suggestions for future design were put forward. The practice showed that unqualified water discharge conditions, pH value of the initial effluent and change of water levels of each tanks should be focused on.

Key words: water purification plant; O_3/BAC system; commissioning and operation

调试是水厂建设投运过程的重要一环。水厂调试由于实践性较强,且多由基层部门完成,只有少数水厂的调试过程和经历得到报道^[1]。调试过程可以实现设计思想、指导净水生产,甚至可用于今后优化设计^[2],因此介绍以南水北调东线水为水源的青岛白沙河水厂的深度处理臭氧—生物活性炭系统的调试过程,以期今后臭氧—生物活性炭系统的调试提供参考。

1 项目背景

青岛白沙河水厂于1989年建成投产,设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地面积约 8.13 hm^2 ,包括原水取水工程、常规处理工程、水处理系统配套设施等。

2018年新建规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理工程,采用臭氧—生物活性炭($36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) + 超滤膜($18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)方案。

2 净水工艺

2.1 工艺流程

该水厂采用预臭氧(新建, $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→常规处理系统(现有)→臭氧—生物活性炭系统(新建, $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→超滤膜(新建, $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→消毒等处理工艺;沉淀池的排泥水、滤池的反冲洗水和深度处理废水经收集后,进入厂区现有和新建的下叠于臭氧制备车间的回用水池进行处理。

工艺流程见图1。

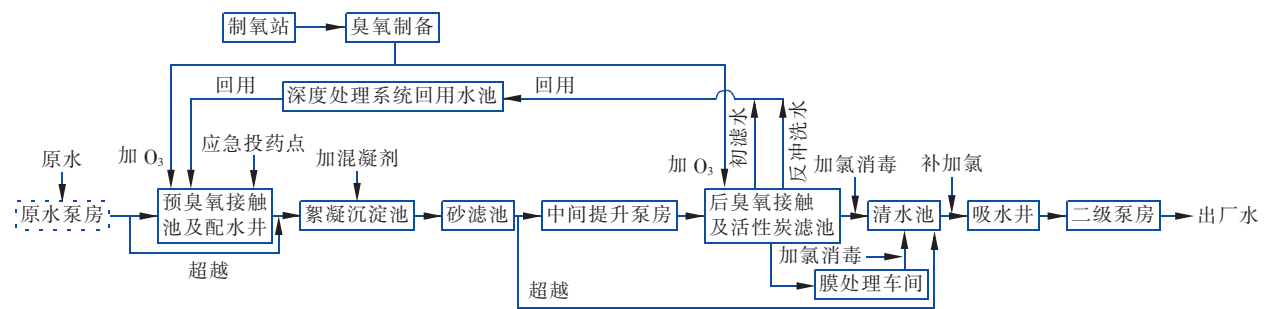


图1 水厂净水工艺流程

Fig. 1 Flow chart of treatment process for the water purification plant

2.2 主要处理单元及设计参数

① 预臭氧接触池

预臭氧接触池设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。1座,分为相互独立的2格。臭氧接触时间为4.80 min。臭氧最大投加率按1.0 mg/L考虑。整个臭氧接触池为全封闭设计。池顶设置压力释放阀和臭氧尾气收集管。

② 深度处理综合池

a. 中间提升泵房、鼓风机房及反冲洗水泵房

中间提升泵房与鼓风机房及反冲洗水泵房合建,设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。泵房内设立式斜流泵6台,4用2备,单泵流量为 $5\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为110 kPa。每台水泵均配有变频调速装置。

鼓风机房内设鼓风机3台,2用1备,每台鼓风机风量为 $4\,500 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为40 kPa,均变频。反冲洗泵房内设卧式离心泵3台,2用1备,单泵流量为 $2\,025 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为115 kPa,每台水泵配有变频调速装置。

b. 后臭氧接触池及活性炭滤池

后臭氧接触池设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两排沿清水渠两侧布置。臭氧最大投加量为1.5 mg/L,总接触时间为12 min。整个后臭氧接触池为全封闭设计。池顶部设压力释放阀,臭氧尾气收集管接至尾气处理装置处理。

活性炭滤池共设10格,双排布置,单格滤池面积为 162.3 m^2 ,设计滤速为 9.7 m/h ,空床停留时间为12.67 min。采用颗粒活性炭滤料,滤料厚度为2.05 m。

③ 臭氧制备车间叠合回用水池

臭氧制备车间设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设臭氧发生器4套,3套常用,每台发生器正常供气量为 11.7 kg/h 。

设置空压系统提供空气气源。设空压机组,空压机附设储气罐、过滤器等设备。

回用水池叠合于臭氧车间下,用以接纳炭滤池反冲洗水及初滤水,总有效容积为 $1\,500 \text{ m}^3$,分为可以独立运行的2格,内设4台潜水泵,2用2备,单泵 $Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 175 \text{ kPa}$ 。

在臭氧制备车间西侧设置制氧站1座,为户外设置。

④ 超滤膜处理车间

膜处理设施包括进水系统(进水提升泵、保安过滤器及总管)、过滤系统(膜组件及膜组)、物理和化学清洗系统、排水系统、出水系统(总管及堰)、完整性检测系统、自动控制系统和供电系统。膜处理系统设计回收率为99.5%。正常设计温度为 10°C ,即在水温 10°C 时,产水规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

超滤进水通过给水泵进入孔径为0.1 mm的自清洗过滤器后,再进入公共配水母管道,通过流量控制阀进入各个处理膜组。膜系统有11个膜组,每列配有216个膜组件。产水量为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,膜组件平均净通量为 $54.36 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

2.3 平面及管道布局

新建构筑物主要包括预臭氧接触池、臭氧车间(下叠回用水池)及制氧站、深度处理综合池。

深度处理综合池独自设在清水池的东侧,将现有的管理楼、生产调度楼、食堂等附属建筑物拆除。臭氧车间(下叠回用水池)及制氧站放置在清水池的北侧,深度处理综合池的反冲洗水、初滤排放水就近排放至回用水池后,经增压泵送至预臭氧接触池回用。

预臭氧接触池设在高架桥的北侧空地上,超滤膜车间设在砂滤池的北侧,即现有机修车间及仓库拆除后的场地。

3 系统调试方案

3.1 调试前提

① 调试前主体构筑物土建条件验收合格并清理干净,无人员滞留。

② 所有涉及通水设备安装调试完毕,并保证供电正常,处于随时准备开机状态。

③ 生产所用的药品,如臭氧、氧气、混凝剂、消毒剂等供应充足。

④ 各设备的单机调试基本完成。

⑤ 参与系统调试人员全部到位,相关设备技术人员均已到场。

⑥ 准备好必要的设备,如便携式浊度仪、便携式pH仪、必要的通信设备和排水设施,如排水泵。

3.2 方案设计

深度处理系统分为臭氧—生物活性炭和超滤膜系统,臭氧制备和发生投加系统、超滤膜系统内部的安装调试由厂商统一完成。本次调试仅针对臭氧—生物活性炭系统和超滤膜系统外部进水管网。调试期间仍要保证水厂正常运行供水。

考虑到白沙河水厂的对外供应和实际排水条件,调试水量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。即启动一台 $5\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 轴流泵、一侧臭氧接触池、5格活性炭滤池。通水前,确认砂滤池至深度处理综合池阀门全部关闭。缓慢开启一侧砂滤池至炭滤池的阀门,中间提升泵房吸水井内水位升至最低启泵水位时,调整频率至流量约为 $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,同时观察水位变化,随时调整阀门开度,直至水位稳定。

观察通水后臭氧接触池水位,当池体快要充满时,切换阀门至另一侧后臭氧接触池进水,打开放空管上阀门,将本侧后臭氧接触池内水放空。当另一侧后臭氧接触池基本充满(必要时可打开放空管),且本侧后臭氧接触池放空完成时,关闭放空阀门,切换阀门至本侧后臭氧接触池进水,进行活性炭滤池清洗。打开另一侧放空管上阀门,将后臭氧接触池内水放空。

确认活性炭滤池开启一侧5格滤池的进水阀、初滤阀、排气阀全开,清水出水阀、反冲水阀、反冲气阀、排水阀关闭。另一侧滤格阀门全部关闭。调试初期采用初滤水阀过滤排水,并维持该工况1~2d,直至初滤水浊度 $\leq 3.0 \text{ NTU}$ 、pH值 ≤ 8.70 。本侧滤池过滤完成后,切换至另一侧滤池,继续重复上述动作。

反冲洗水泵吸水井进水。反冲洗水泵手动进水阀、出水阀打开;待出水总渠水位具备反冲洗条件,进入反冲洗准备状态,每格滤池轮流冲洗。在1#~10#滤格连续轮流反冲洗,直至滤池出水浊度 $< 0.3 \text{ NTU}$,具备并网条件,炭滤池后开始加氯,砂滤池出水加氯开始减少。逐步关闭砂滤池出水阀门,同时根据1#提升泵吸水井水位,提高中间提升泵频率,直至一台水泵频率达到80%,即可开启第二台水泵,直至水位稳定,再重复上述步骤,直到所有水泵开启。

3.3 不合格水的排放

由于调试初期新建生产系统将产生大量的不合格水,该部分水的内部消耗考虑两种可能:进入厂区生产系统和进入厂区雨水系统。

回用水池内共有4台水泵,每台潜水泵的扬程为 175 kPa 时,流量为 $350 \text{ m}^3/\text{h}$;扬程为 110 kPa 时,流量为 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当出水全部排入沉淀池前混合井时,所有水泵开启,总水量可达到 $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。厂区管网收集的雨水全部进入现有排泥水系统,由潜水泵提升至相邻水厂的浓缩池,处理能力仅为 $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

根据以上情况,调试产生的不合格水应考虑大部分回用至厂区生产系统,小部分进入厂区雨水系统。因此,拟临时敷设一根接入沉淀池混合井的DN600回用水管,保证在预臭氧系统调试运行前,不合格水仍能进入厂区生产系统。

4 调试遇到的问题及启示

4.1 炭滤池调试初期出水pH值偏高

有研究表明,在运行初期活性炭滤池出水的pH值不稳定,在8.0~9.0区间呈现波动性下降趋势,未完全稳定达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中 $\text{pH}=6.5\sim 8.5$ 的规定^[3]。

单侧炭滤池pH值和浊度的变化曲线如图2所示。由图2可知,调试期间pH值和浊度变化趋势基本一致,过滤期间两组数据均随时间的推移而下降,反冲洗过后pH值和浊度均有反弹。其中pH值下降十分缓慢,即使在调试进水6d后,pH值仅从9.4降至8.49,且反冲洗过后pH值的反弹比较明显。鉴于pH值的升高伴随着 $[\text{OH}^-]$ 浓度呈指数级增加,可见反冲洗对炭滤池出水水质影响较大,二期炭滤池调试初期出水pH值的确可能存在偏高现象。

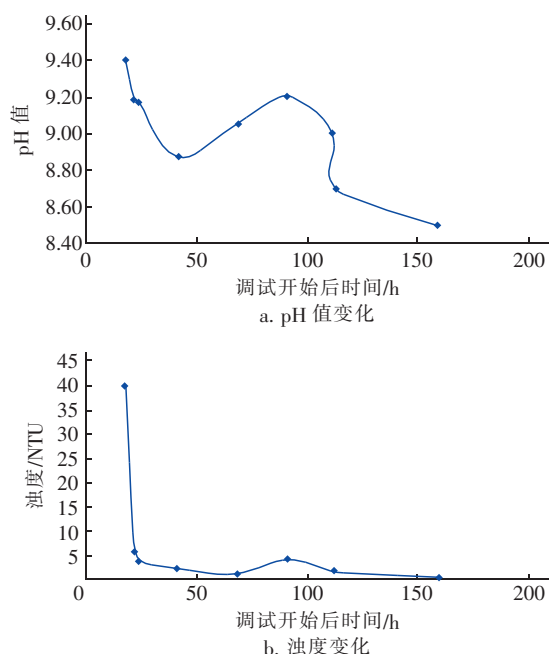


图2 单侧炭滤池 pH 值和浊度变化曲线

Fig. 2 Change curve of pH and turbidity in the unilateral filter

调试期间浊度在通水后 17~24 h 之间,其数值从 40 NTU 降至 5.78 NTU,虽在反冲洗后也有反弹,但基本在 5 NTU 以下。浊度在通水 6 d 后达到了 0.2 NTU,远低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定的 1 NTU 标准。

4.2 不合格水的排放量受限

以调试前几天最高出厂水 pH 值为依据,推测最终混合出水的 pH 值如表 1 所示。

表1 调试不合格水与沉淀池原水混合计算的 pH 值

Tab. 1 Calculation of pH parameters of raw water in sedimentation tanks mixed with unqualified water

沉淀池总流量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	9	9	9	9	9	9
调试水量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	5	5	5	5	5	5
原水水量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	4	5	5	5	5	5
原水 pH 值 (估算)	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
废水 pH 值	9.40	9.00	8.60	8.50	8.40	8.30
沉淀池出水 pH 值	9.16	8.79	8.44	8.36	8.29	8.21

由于不合格水进入厂区现有排泥水系统的水量受限(仅为 $400 \text{ m}^3/\text{d}$),大部分不合格水通过回用水池的潜水泵进入常规处理系统单组沉淀池(处理规

模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。调试初期运行水量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水量较单组沉淀池处理规模大,且调试不合格水 pH 值较高,并充满活性炭碎屑,其水量和水质均对原有生产系统产生一定的不利影响。

若调试初期大量不合格水进入沉淀池,会导致原水 pH 值升高,影响混凝和处理效果;当调试不合格水 pH 值 < 8.6 时,沉淀池混合进水 pH 值基本能满足小于 8.5 的要求,从而保证后续砂滤池出水 pH 值的稳定性。

在实际调试过程中,不合格水 pH 值下降至 8.6 需要相当长的时间,为解决上述问题,加快调试进程,本次调试采取如下措施:

- ① 减少不合格水的排放量;
- ② 减少前加氯的投加量;
- ③ 改用酸性更强的混凝剂,如 FeCl_3 。

通过采取上述措施,在不合格排放水量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,沉淀池水量为 $6.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 FeCl_3 混凝剂,前加氯为 1 mg/L 等条件下,调试 17 h 后沉淀池出水水质如图 3 所示。

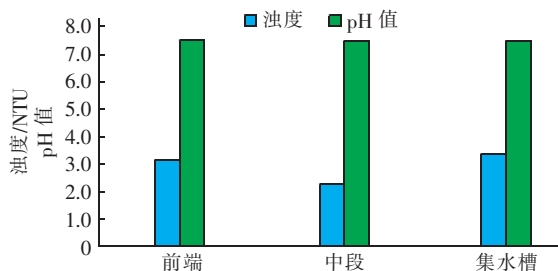


图3 沉淀池混入不合格水后各部分水质

Fig. 3 Parameters of raw water in sedimentation tanks mixed with unqualified water

由图 3 可知,沉淀池各部分出水 pH 值维持在 7.5 左右,浊度也未因为碱性不合格水的排放而升高。可见上述措施对 pH 值的控制效果较好,最终砂滤池出水浊度可维持在 0.5 NTU 以下,与未调试时期出水水质保持一致。

4.3 提升泵房吸水井水位变化

由于臭氧—生物活性炭系统调试期间需维持全厂的正常运行,因此调试水量可能并不充足。为保证调试平稳,在提升泵房设计时应考虑足够的吸水井调节容积和深度,保证水位高于启泵水位,且变化幅度较小。另外调试时应尽可能保证在清水池水位较高时进行。图 4 是臭氧—生物活性炭池进水阀门开启后,提升泵房吸水井水位变化情况。

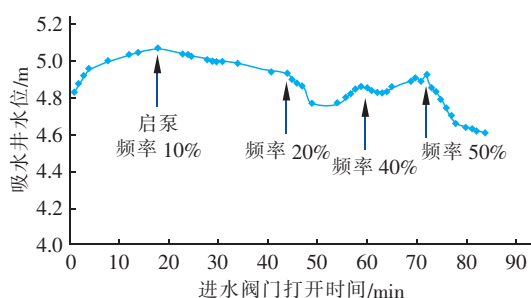


图4 吸水井水位变化

Fig. 4 Change of water level in suction wells

由图4可知,当阀门开启后18 min吸水井水位达到5.07 m,之后水泵在低频条件下开启,水位下降又回升但变化幅度较小,60 min内不超过0.2 m,随后每次调高提升泵频率,水位都会波动,虽水泵频率越高,水位变化幅度越大,但变化幅度基本维持在10%。可见该工程提升泵房吸水井调节容积充足。

4.4 承压水池及管道井的设置

该深度处理工程为老厂改建工程,深度处理系统进、出水管均在原厂区敷设,管位紧张,为避让原有构筑物,管道曲折较多、水损较大,为保证活性炭池正常进出水,提升泵扬程及炭滤池出水渠水位均较高,因此,部分出水管自由水位高于地面2 m左右。为保证厂区美观,管道井均高于地面0.3~0.5 m左右,根据自由水位需求,其顶板及人孔均做承压设计。在调试过程中,上述部分承压人孔未完全密封,导致压力井盖存在一定的漏水现象。调试过程也是检查土建和设备施工的过程,经及时维修,压力井盖漏水现象得到解决。

5 结论

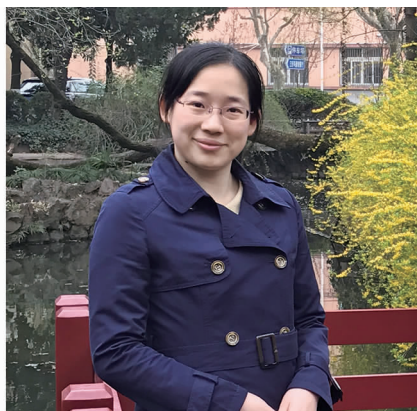
① 调试前应作好调试方案,尤其应明确不合格水的排放途径。

② 炭滤池初期出水pH值较高,应考虑其回用至沉淀池后对原有生产系统的冲击负荷。必要时可考虑更换混凝剂和预处理方式,并及时调整调试水量。

③ 调试期间应密切关注各水池的水位变化情况,防止水位变化幅度和速度过大。

参考文献:

- [1] 代荣,王鑫,许阳,等. 杭州清泰水厂膜滤系统调试及试运行[J]. 给水排水,2014,40(6):21-24.
Dai Rong, Wang Xin, Xu Yang, et al. Configuration and operation of the membrane filter system in Qingtai Water Treatment Plant in Hangzhou[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(6): 21-24 (in Chinese).
- [2] 崔福义,张海龙. 地表水处理工艺控制参数的优化运行调试[J]. 中国给水排水,2006,22(4):92-94.
Cui Fuyi, Zhang Hailong. Optimal operation and commissioning of control parameters for surface water treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(4): 92-94 (in Chinese).
- [3] 陆纳新,袁君. 某水厂扩建工程调试方案的制定与实施[J]. 给水排水,2015,41(12):14-19.
Lu Naxin, Yuan Jun. Scheduling and execution of debugging plan of a water treatment plant upgrading project[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(12): 14-19 (in Chinese).



作者简介:张晏晏(1989-),女,江苏海门人,硕士,工程师,主要从事给排水设计工作。

E-mail: zyy_121@163.com

收稿日期:2019-02-12