

某水厂一期工程工艺设计及集约化布局分析

张 剑

(深圳市环境水务集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要 为满足新国标 GB5749—2022 及深圳地标《生活饮用水水质标准 (DB4403/T 60—2020)》的要求, 某新建水厂采用前臭氧+强化混凝沉淀过滤+臭氧活性炭的全流程工艺, 并对排泥水进行分质处理回用, 处理后污泥含水率 $\leq 50\%$ 。本文主要阐述了该水厂一期工程处理构筑物工艺设计参数, 并对用地条件受限情况下如何通过合理化布局集约节约用地进行了分析, 以期为类似条件下供水厂的设计提供参考。

关键词 预处理; 强化常规处理; 深度处理; 排泥水; 分质处理

中图分类号: TV22

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0103-03

新版《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2022)已于 2023 年 4 月 1 日实施, 水质指标上一版 106 项调整为 97 项, 新增了 2-甲基异莰醇 (2-MIB)、土臭素 (GSM) 等 4 项指标。新国标的实施对水厂工艺设计方面提出了新的要求, 本文以深圳市某水厂一期工程项目为例, 阐述了满足新国标水质要求条件下的水厂主要处理构筑物工艺设计参数, 同时对用地条件受限情况下, 如何通过合理化布局集约节约利用土地进行了分析, 以期对类似条件下供水厂的设计提供参考。

1 项目概况

某新建水厂位于深圳市东部某区, 规划总规模 30 万 m^3/d , 一期工程规模 10 万 m^3/d , 其中深度处理及污泥处理设施按 20 万 m^3/d 建设, 占地面积约 4.4 公顷。为满足新国标 GB5749—2022 及深圳地标《生活饮用水水质标准 (DB4403/T 60—2020)》的要求, 水厂采用前臭氧+强化混凝沉淀过滤+臭氧活性炭的全流程工艺, 并对排泥水进行分质处理回用, 处理后污泥含水率 $\leq 50\%$ 。

2 水厂原水

水厂原水主要由市外东江引水 (东江水源工程) 供给, 根据水质检测数据, 原水高锰酸盐指数较低, 最高为 2.43 mg/L ; 氨指标亦较低, 基本在 0.5 mg/L 以下; 铁、锰存在超标现象, 铁最高达到 0.46 mg/L , 锰达到 0.14 mg/L ; pH 偏中性。另外, 原水在部分月份有泥腥味, 存在嗅味物质污染的情况。原水其他水质指标均达到《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) II 类水体标准。

对照国家新颁布的《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2022) 及深圳地标《生活饮用水水质标准》(DB4403/

T 60—2020) 的要求, 结合原水水质特征, 项目采用“前臭氧+涡流动态混合+折板絮凝平流沉淀+V 型滤池+后臭氧+活性炭滤池”的全流程净水工艺。

3 主要处理设施工艺设计

3.1 前臭氧接触池

前臭氧接触池主要功能是利用臭氧的强氧化性及进水端投加的高锰酸钾联合氧化去除水中附着在悬浮物表面的部分有机物及杀藻, 改善后续混凝效果, 同时避免加氯后消毒副产物的产生^[1-2]。

本工程设置前臭氧接触池 1 座, 分 2 格, 每格设计规模 5 万 m^3/d 。投加臭氧量 1.0 mg/L , 接触时间约 5 min, 臭氧投加采用水泵增压水射器方式, 增压水源取自沉淀池出水。每格接触池前端设置 1 台回转式细格栅, 用以去除原水中大颗粒杂质, 栅条间隙 5 mm, 安装倾角 75°。

3.2 涡轮动态管道混合器

涡轮动态管道混合器的原理是通过管道内涡轮的转动推进, 令水流状态由平流变为紊流, 使药剂与进水迅速混合, 达到充分混匀, 降低药剂用量和运营成本的效果。相比于传统静态混合器及机械搅拌混合, 涡轮动态管道混合器具有效果好, 占地少, 水损小, 电耗、药耗低, 拆卸检修方便等优点。

本工程在每格絮凝池进水管上设置 LZ-D-1000 型涡轮动态管道混合器 1 台, 共 2 台, 每台设计规模 5 万 m^3/d , 水头损失 ≤ 0.2 m。

絮凝剂、石灰及粉末活性炭投加于混合器内。本工程选用液态 PAC 作为絮凝剂, 投加量 (10%PAC) 20 ~ 40 mg/L ; 混凝的 pH 调节剂石灰乳投加量 10 ~ 20 mg/L , 调配浓度 1.5%; 粉末活性炭投加量根据应急时水质

决定, 设计为 50 mg/L, 调配浓度 3%。

3.3 折板絮凝平流沉淀池

折板絮凝平流沉淀池设 1 座, 分独立运行的 2 组, 每组设计规模 5 万 m³/d。

絮凝池采用水平流折板形式, 分三段, 总絮凝时间 21.63 min, 其中第一段 5.03 min, 第二段 6.27 min, 第三段 10.33 min。絮凝池平均 G 值 60.63 s⁻¹。

平流沉淀池沉淀时间 2.0 h, 水平流速 12.5 mm/s, 表面负荷 0.58 mm/s, 出水溢流率 ≤ 200 m³/m·d。

3.4 V 型滤池

V 型滤池设 1 座, 分 8 格, 双排布置, 单格过滤面积 98 m², 总设计规模 10 万 m³/d, 设计滤速 7.46 m/h, 强制滤速 8.53 m/h。

滤池石英砂滤料设计厚度 1.2 m, d₁₀=0.9~1.2 mm, K₆₀ < 1.6, 底部设置砾石承托层。

反冲洗采用先气、再气水、最后水冲的方式, 设计单独气冲时, 强度 55.0 m³/m²·h; 气水同时冲时, 气冲强度不变, 水冲强度 7.2 m³/m²·h; 最后进行单水冲, 强度 16.2 m³/m²·h。表面扫洗强度 8.28 m³/m²·h。

为强化过滤效果, 满足滤池出水浊度高标准要求, 在滤池进水设置助滤剂投加, 助滤剂采用 10% 的液态 PAC, 投加量 2~3 mg/L。

3.5 清水池

清水池设计规模 20 万 m³/d, 共设置 2 座清水池, 均叠于常规处理构筑物下方, 调节率 12.67%。

絮凝沉淀池下叠清水池 1 座, 分 2 格, 有效容积 18 667 m³。V 型滤池下叠清水池 1 座, 有效容积 6 678 m³。

本工程采用 10% 的次氯酸钠进行消毒处理, 主加氯量设计为 3 mg/L, 投加于清水池进水总管上; 补加氯量 0.5~1.0 mg/L, 补氯投加于清水池出水总管上。为控制出厂水 pH 值, 提高管网水化学稳定性, 在清水池进水总管设置 NaOH 投加点, 投加量 2.5~3.5 mg/L, 调配浓度 2%。

3.6 后臭氧接触池

后臭氧接触池的功能是将水中难降解的有机污染物转变为易于生物降解及活性炭吸附的物质, 并给活性炭滤池中的好氧微生物提供充足的氧, 提高活性炭滤池吸附降解效果。同时, 后臭氧还有杀死细菌、病毒、病原体, 改善出水口感等作用。

本处理构筑物设计规模 20 万 m³/d, 设 1 座, 分 2 组, 单组设计规模 10 万 m³/d, 接触时间 12 min。设计投加臭氧量 2.0 mg/L, 采用曝气盘微孔曝气。每组接

触池为三阶段接触反应, 各段接触时间分别为第一段 6 min, 第二段 3 min、第三段 3 min; 各段布气量依次为总投加量的 45%~55%、25%~35%、15%~25%。

3.7 生物活性炭滤池

生物活性炭滤池的作用是进一步去除水中氨氮、致突变活性物质、有机物及致臭味物质等^[3-4], 解决以溴酸盐等物质和生物不稳定性为主的臭氧化安全性问题。

本工程生物活性炭滤池设计规模 20 万 m³/d, 设 1 座, 分 10 格, 采用下向流普快滤池池型。单格过滤面积 121.6 m²。设计滤速 8.51 m/h, 强制滤速 9.46 m/h, 空床接触时间 (EBCT) 14.8 min。

活性炭采用煤质柱状炭, 有效粒径为 1.5 mm, 厚度 2.1 m。炭层底部设置 0.5 m 厚石英砂垫层^[5], 强化出水浊度控制, 且降低微生物泄漏风险, 确保生物安全性, 石英砂粒径 d₁₀=0.6~1.0 mm, K₆₀ ≤ 1.4。

活性炭滤池采用长柄滤头配水配气, 气、水两阶段反冲洗, 先气冲洗, 设计强度 55 m³/m²·h; 再水冲洗, 设计强度 43.2 m³/m²·h, 设计反冲洗周期为 3 d。为防止生物泄漏, 每格滤池出水堰处设置 1 套 200 目不锈钢拦截滤网。

3.8 臭氧发生间

臭氧发生间设于后臭氧接触池顶部, 前臭氧投加量 0.5~1.0 mg/L, 后臭氧投加量 1.0~2.0 mg/L。综合考虑本项目用地条件、安全要求等因素, 本工程采用了空气源臭氧发生器, 设置 4 台, 3 用 1 备, 单台制备能力 10 kg/h。

3.9 排泥水处理设施

本工程排泥水采用分质处理并回用, 活性炭滤池反冲洗废水、V 型滤池初滤水进入回收水池后直接回用, V 型滤池反冲洗废水经过预浓缩处理后上清液回用, 预浓缩底泥和絮凝沉淀池排泥水经过浓缩脱水干化后, 含水率小于等于 50%, 泥饼外运填埋处置。

3.9.1 预浓缩池下叠回收水池及排水池

预浓缩池设计为不锈钢斜板浓缩池, 设 1 座, 分 2 格, 单格面积 64 m², 设计液面负荷 1.09 m³/m²·h, 固体通量 1.09 kg/m²·h。

预浓缩池下部叠建回收水池和排水池, 回收水池设置 1 座, 分 2 格, 总有效容积 1 269 m³, 回用水量最大回流量为水厂设计水量的 5%。排水池设置 1 座, 分 2 格, 总有效容积 1 523 m³。

3.9.2 浓缩池下叠排泥池

浓缩池设计为不锈钢斜板浓缩池, 设 1 座, 分 2 格,

单格面积 121 m², 设计液面负荷 1.65 m³/m²·h, 固体通量 6.61 kg/m²·h。

浓缩池根据时间周期定期排泥。每格浓缩池排泥管上设置 1 个污泥浓度计, 当污泥浓度达到设定限值以下 % 时, 关闭排泥阀, 停止排泥。

浓缩池下部叠建排泥池, 用作排泥水量的调节, 设 1 座, 分 2 格, 总有效容积 1 880 m³。

3.9.3 污泥脱水干化车间

本工程要求污泥处理后含水率 ≤ 50%, 设计采用“离心脱水 + 低温带式干化”的处理工艺, 设计处理干泥量 11.4 tDs/d, 本工程设 2 台脱水离心机, 一用一备, 单机处理能力 35 m³/h, 每天运行 16 h。离心脱水机进泥含水率不大于 98%, 经脱水后污泥含水率 ≤ 80%, 随后输送至污泥低温干化机进行深度脱水处理, 深度脱水处理后污泥含水率可达 50% 以下。

本工程设污泥低温干化装置 2 台, 单台去水量 1.35 t/h。污泥干化机利用除湿热泵原理, 热风循环冷凝除湿烘干脱水后的湿污泥, 供热方式为除湿热泵。污泥加药采用 PAM, 最大投加量 4.0 kg/t 干泥, PAM 调配浓度为 0.2% ~ 0.5%, 在线稀释浓度为 0.1%。

4 集约化布局分析

根据《深圳市城市规划标准与准则》(2018)(下称“深标”), 建设 10 万 m³/d 常规及预处理和 20 万 m³/d 深度处理及污泥处理用地标准约为 5.15 公顷, 本工程用地面积 4.4 公顷, 比深标指标减少约 14.5%, 主要在厂区平面上进行了集约化布局。设计措施有以下几点:

1. 充分利用原水水头, 结合厂区西高东低原始地形地势, 工艺流程在高程上按地形地势倾向布置, 减少开挖土方量, 降低投资。同时深度处理可不设置中间提升泵房, 节约了用地。

2. 构筑物组团化布置, 本工程在平面布局上形成两大组团, 一是深度处理组团, 布置构(建)筑物有: 砂滤池、后臭氧及活性炭滤池、臭氧发生间、反冲泵房和配电站; 二是污泥处理组团, 布置构(建)筑物有: 回收水池、排水池、预浓缩池、排泥池、浓缩池、平衡池及污泥脱水干化车间。构筑物组团既节约了用地, 又缩短了构筑物间连接管(渠)道长度, 减少了水头损失, 降低了能耗。

3. 多座构(建)筑物采用上下叠建形式, 充分利用竖向空间达到功能要求。本工程设置的 2 座清水池均采用叠建形式, 一座叠建于絮凝沉淀池下方, 一座

叠建于 V 型滤池下方。污泥处理构筑物也主要采用叠建形式集约节约用地, 预浓缩池下方叠建排水池, 浓缩池下方叠建排泥池, 回收水池、预浓缩下叠排水池、浓缩池下叠排泥池在结构上均采用共壁设计, 大大节省了占地面积。

另外, 臭氧发生间建于后臭氧接触池上方、配电站建于反冲泵房上方, 在 V 型滤池中间管廊上方设置厂区中控室。

5 结论

1. 某水厂采用“前臭氧预处理 + 强化常规处理 + 臭氧生物活性炭深度处理”工艺路线, 其出水水质满足新国标 GB5749—2022 及深圳地标 DB4403/T 60—2020 的要求, 可直接饮用。

2. 预处理前臭氧接触时间 5 min, 臭氧投加量 0.5 ~ 1.0 mg/L。

3. 强化常规处理设计为涡轮动态混合、折板絮凝平流沉淀及 V 型砂滤, 并投加助滤剂 PAC 强化滤池浊度去除。水平流折板絮凝, 分三段, 总絮凝时间 21.63 min; 平流沉淀池沉淀时间 2.0 h, 表面水力负荷 0.58 mm/s。V 型滤池滤速 7.46 m/h, 助滤剂投加量 2 ~ 3 mg/L。

4. 深度处理后臭氧接触时间 12 min, 臭氧投加量 1.0 ~ 2.0 mg/L; 活性炭滤池滤速 8.51 m/h, 空床接触时间 (EBCT) 14.8 min。

5. 本工程对排泥水进行分质处理并回用, 污泥处理后含水率要求 ≤ 50%。

6. 在厂区用地极为受限的条件下, 本工程通过充分利用原水水头和地形地势条件, 构(建)筑物组团化布置、上下层叠建等方式, 实现了集约化布局, 用地指标比深标减少约 14.5%。

参考文献:

- [1] 姚昊, 许航, 温昕, 等. 预臭氧氧化对混凝沉淀过程中有机物去除的影响 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(07): 33-42.
- [2] 李旭枫, 周瑶, 常晶, 等. 预处理及深度处理技术强化天津某水厂净水工艺 [J]. 中国给水排水, 2024(03): 46-52.
- [3] 张贤芳, 杨悦. 生物活性炭工艺的研究进展 [J]. 安徽建筑, 2023(03): 92-93, 105.
- [4] 张晓娜, 何嘉莉, 陈卓华, 等. 南方某水厂臭氧 / 活性炭深度处理工艺运行效果 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(01): 43-46.
- [5] 范志强, 窦茵, 陈洪斌. 生物活性炭砂垫层对饮用水生物安全性控制的研究与应用 [J]. 净水技术, 2022, 41(02): 16-23.