

城镇给排水工程设计案例专栏

张云,吴斯文. 高效澄清池在某水厂扩建工程中的应用[J]. 净水技术, 2025, 44(3): 171-178.

ZHANG Y, WU S W. Application of high-efficient clarifier in expansion project of a WTP [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(3): 171-178.

高效澄清池在某水厂扩建工程中的应用

张云*, 吴斯文

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010)

摘要 【目的】结合陕西杨凌某水厂二期扩建工程,针对水厂运行中普遍存在的低温低浊水絮凝效果不佳的问题,探索高效澄清池在水厂扩建中的应用。【方法】在陕西杨凌某水厂二期扩建工程中,针对原水低温低浊的特点,对高效澄清池和平流沉淀池进行技术经济综合比较后,二期扩建工程采用旋流气浮澄清池工艺取代一期平流沉淀池工艺。【结果】工程建设及运行结果证明,与平流沉淀池工艺相比,高效澄清池对于低温低浊水具有更好的处理效果,出水浑浊度能稳定保持在 0.3 NTU 以下,同时高效澄清池工艺工程投资比平流沉淀池节省约 20 万元,占地面积仅为平流沉淀池的 1/4,实际运行电费节省 0.004 元/(m³水),药剂费节省 0.01 元/(m³水)。旋流气浮澄清池是在传统澄清池基础上改良的新工艺,气浮作用能将藻类、油污等较轻的絮体先期排除,跌水曝气能让水与氧气充分接触,水中铁、锰充分氧化沉降,能有效地先期去除部分铁、锰。在沉淀区增加旋流装置,有利于泥渣悬浮层的形成,絮体沉降效果更好,对于低温低浊水质絮凝效果明显。【结论】高效澄清池具有占地面积小、工程投资省、运行电费低、药剂费用少等诸多优点。高效澄清池+气水反冲洗滤池的处理工艺能有效解决低温低浊水的处理难题。

关键词 低温低浊 强化常规处理 旋流气浮澄清池 气水反冲洗滤池 气浮工艺 跌水曝气

中图分类号: TU991 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)03-0171-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.03.020

Application of High-Efficient Clarifier in Expansion Project of A WTP

ZHANG Yun*, WU Siwen

(Central & Southem China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract [Objective] Based on the second phase expansion project of a water treatment plant (WTP) in Yangling, Shaanxi Province, this paper explores the application of high-efficiency clarifier in expansion of WTP to address the common problem of poor flocculation effect of low temperature and low turbidity water in operation of WTP. [Methods] In the second phase expansion project of a WTP in Yangling, Shaanxi Province, based on the characteristics of low temperature and low turbidity of raw water, a comprehensive technical and economic comparison is made between the high-efficiency clarifier and the flat flow sedimentation tank. The second phase expansion project adopts the rotary flow air flotation clarification tank process instead of the first phase flat flow sedimentation tank process. [Results] The construction and operation result of the project have shown that compared with the advection sedimentation tank process, the high-efficiency clarifier has better treatment effect on low-temperature and low turbidity water, and the effluent turbidity can be stably maintained below 0.3 NTU. At the same time, the investment of the high-efficiency clarifier process is about 200 000 yuan less than that of the advection sedimentation tank, occupying only 1/4 of the area of the advection sedimentation tank. The actual operating electricity cost is saved by 0.004 yuan/(m³ water), and the chemical cost is saved by 0.01 yuan/(m³ water). The rotating flow air flotation clarification tank is a new process improved on the basis of traditional

[收稿日期] 2024-04-15

[基金项目] 2019 年住房和城乡建设部科学技术计划项目(2019-K-143)

[通信作者] 张云(1974—),男,高级工程师,主要从事市政给水排水工程设计工作, E-mail: 6340413@qq.com。

clarification tanks. The air flotation can remove lighter flocs such as algae and oil stains in advance, and the falling water aeration can fully contact water with oxygen. The iron and manganese in the water are fully oxidized and settled, which can effectively remove some iron and manganese in advance. Adding a swirl device in the sedimentation zone is beneficial for the formation of a suspended layer of sludge, resulting in better floc settling effect and significant flocculation effect for low-temperature and low turbidity water quality.

[**Conclusion**] Efficient clarification tanks have many advantages, such as small footprint, low engineering investment, low operating electricity costs, and low chemical costs. The treatment process of high-efficiency clarifier+air/water backwash filter can effectively solve the problem of treating low-temperature and low turbidity water.

Keywords low temperature and low turbidity enhanced conventional treatment rotating flow air flotation clarifier air/water backwash filter air flotation process drop aeration

净水工艺方案的选择应根据原水水质特点、操作人员的业务水平、用地规模、工程地质、当地习惯和经济条件,进行经济比较后综合确定,旨在以较低的工程投资和较少的运行费用达到设计目的,还应前瞻性地考虑今后水质提升的可能性。陕西杨凌某水厂一期工程建设规模为 5 万 m^3/d ,二期扩建工程规模为 5 万 m^3/d ,设计出厂水水质达到国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),其中浑浊度值 ≤ 0.5 NTU。针对石头河水库低温低浊的原水水质特点,二期扩建采用旋流气浮澄清池工艺取代一期平流沉淀池工艺。旋流气浮澄清池为江苏某公司研发的专利产品,该工艺 2006 年荣获中国国际博览会“最具技术交易潜力奖”、上海优秀发明选拔赛二等奖;2018 年荣获上海优秀发明选拔赛银奖。2019 年,该工艺被纳入水利部编制的《村镇供水工程技术规范》(SL310—2019)和住建部标准定额研究所编制的《给水排水产品系列标准乡村建设应用实施指南》,2021 年 10 月荣获国家级“农业节水科技奖”一等奖。旋流气浮澄清池是在传统澄清池基础上改良的新工艺,气泡减压产生的气浮作用能将有机物、藻类和油污等较轻的絮体先期排除,跌水曝气能让水中铁、锰充分氧化沉降,先期去除部分铁、锰。旋流装置有利于泥渣悬浮层的形成,絮体沉降效果更好,对于低温低浊水质絮凝效果明显。泥渣悬浮层的充分利用,既能提高处理水量,还能确保滤前水质稳定在 0.5~2.0 NTU,减轻滤池负荷,节约反冲洗水耗。

近年来,各类供水安全事故频发。为迅速、准确、有效、安全地应对供水工程中可能出现的各类重大突发事件,确保供水安全,保障区域经济发展和社会稳定,项目制定了相应的供水应急预案。项目以石头河水库为原水,针对水库可能出现的原水污染、

自然灾害等突发事件,结合一期原水水质、运行情况和出水水质,经多方案比选,确定了二期扩建工程“应急预处理+配水井+高效澄清池+气水反冲洗滤池”的常规处理工艺,并预留远期深度处理用地,以满足远期更高品质供水的需求。

1 项目概况

陕西省杨凌农业高新技术产业示范区已建成的某水厂一期工程,水厂规模为 5 万 m^3/d ,原水输水管线规模为 10 万 m^3/d ,输水管线全线总长为 17.87 km,水厂占地面积为 46 802 m^2 。一期工程建成之后运行良好,供水水质满足设计要求。随着片区经济的高速发展,用水量激增,水厂最高日供水量已超出建设规模,水厂超负荷运行。为满足区域用水需求,确保经济发展,项目扩建工程迫在眉睫。二期扩建工程规模为 5 万 m^3/d ,设计出厂水水质达到国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),其中浑浊度 ≤ 0.5 NTU。

水厂一期工程采用传统净水工艺,采用折板絮凝池+平流沉淀池+气水反冲洗滤池的处理工艺。混凝剂采用聚合氯化铝;助凝剂采用益维净,消毒剂为 10%成品次氯酸钠。

根据一期水质检测,水厂原水浑浊度在 3.92 NTU 以内,近年原水浑浊度明显提高,2023 年平均浑浊度为 18.3 NTU,原水水温为 3~19 $^{\circ}\text{C}$ 。滤池平均 24 h 反冲洗 1 次,沉淀池平均每天刮泥 1 次。目前出厂水浑浊度保持在 0.5 NTU 以内。水厂运行至今,出厂水样送检 106 项做水质全分析,均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求。

据统计,水厂一期年平均生产用电为 126 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,平均电耗为 0.142 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^3\text{水})$;年平均药剂费为 540 693 元,平均药剂成本为 0.061 元/ $(\text{m}^3\text{水})$ 。

水厂构筑物应定期检修清洗,水厂一期工程吸水井、反应池、沉淀池和清水池均为单座,无法停产检修,供水水质存在安全隐患。水厂扩建工程新增净水构筑物1组,建成后可在供水低峰时不停产检修和清洗其中1组,确保供水安全。水厂一期工程虽然出厂水质达标,但在原水低温低浊情况下,絮凝效果不佳,矾花在沉淀池沉降不好,增加了滤池的负担。

水厂一期工程最高日供水量达到 5.23 万 m^3 ,已超负荷运行。二期扩建工程新增规模为 $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的净水构筑物,并进行辅助生产构筑物的改扩建,确保二期工程与一期工程有效衔接,二期扩建尽量减少对一期工程正常运营的影响。二期扩建工程新建规模为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的配水井,规模为 $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的高效澄清池和气水反冲洗滤池,新建厂区综合楼,在原水取水口增设应急加药间,以应对原水水质发生突发状况下的应急需求,并预留远期深度处理用地。

2 一期进出水水质分析

2.1 原水水质

根据水厂一期进行的6次原水水质检测报告,其中:4次原水水质评价依据为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类标准(29项);2次原水水质评价依据为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)(35项)。原水水质检验数据大部分为合格,6次检测中不合格项目分别为菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌、浊度、溶解氧、总氮和锌。分析检验结果,原水水质主要有以下特点。

(1)按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),进厂原水水质基本能满足Ⅱ类水体的要求,不达标的项目有溶解氧、总氮和锌3项。6次检测中,总氮4次不达标,溶解氧2次不达标,溶解氧含量基本趋于稳定,锌6次检测仅1次不达标。由此推断,原水存在一定的有机污染。

(2)按《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)中35项常规指标,不达标的项目主要是微生物指标和感官性指标。由此可见,水厂水质净化的主要目标是去除水中微生物污染及浊度。

(3)6次检测数据显示,原水水质中硬度仅为限值的20%左右,其他盐类(包括硫酸盐)的浓度很低,浊度在 3.92 NTU 以内,水温为 $3.6 \sim 18.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

因此可判断,原水属于低浊水,冬季温度偏低。

(4)考虑到水厂未对原水中藻类进行检测,参考与该工程同一水源的陕西省其他自来水厂原水检测数据,夏季藻类较多时,含量为 6000 个/L ,远低于 100 万个/L ,不属于含藻水。据了解,2016年6月石头河管理局在供水明渠段进行了藻类清理工作。

2.2 出水水质

水厂一期工程上年度共对出厂水水质进行了5次检测。其中,3次出厂水质评价(检测月份分别为4、8、12月)依据为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)36项常规指标,2次出厂水质评价(检测月份分别为3、10月)依据为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)106项全指标。从检验结果看,出厂水水质均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求。其中,出厂水浑浊度均在 0.5 NTU 之内,水质优良。

3 净水工艺选择

本次扩建工程设计出厂水水质达到国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),其中浑浊度 $\leq 0.5 \text{ NTU}$ 。净水工艺方案的选择应针对石头河水库的原水水质特点、原水水质污染物种类分析、实际运行的进出水水质、相同水源水厂的净水工艺及参数、操作管理水平、经济条件综合考虑后确定。

3.1 低温低浊度水难处理的原因

城市水厂常规水处理主要通过下述工序来实现:混凝、絮凝、沉淀和过滤。为了取得良好的净水效果,各个处理工艺都应保证相应的条件和工艺参数。研究表明,水温低是低温低浊度水难处理的主要因素。水温越高,絮凝速率越快。水温越低,布朗运动的动能越小,水中胶体微粒越难接近和结合絮凝。试验表明,当水温低于 $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,絮凝速率明显降低,凝聚效果欠佳,水温低是影响絮凝沉淀效果的关键因素。因此,要有效应对低温、低浊度水处理难题,应从提高絮凝速率、增加颗粒碰撞概率、促进絮体形成等方面着手,才能从根本上解决问题。

3.2 低温低浊度水处理方法

由上节分析可知,低温季节时絮凝、沉淀、过滤3个阶段都受影响,但其中主要问题是絮凝速率低,微小胶体颗粒难以接近和结合形成大颗粒絮体,可

从以下 2 方面解决。

一是通过投加助凝剂来加强混凝, 可有效提高水体中颗粒的碰撞几率, 促进水中胶体颗粒生成粗大的絮体, 提高絮凝效果。二是利用泥渣的剩余活性污泥回流, 增加水中颗粒数量, 增大颗粒的碰撞机会, 消除低浑浊度引起的不足, 就是设法将水中微小颗粒变成较大的颗粒或让微粒吸附在大颗粒上, 以便沉淀和分离。

3.3 旋流气浮澄清池工作原理

旋流气浮高效澄清池^[1]具有反应、絮凝、澄清、旋流泥渣过滤的功能, 其构造及工作原理如下。

(1) 构造

旋流气浮澄清池的架构包含高效容积絮凝室、高体积浓度接触絮凝室、活性泥渣循环结团絮凝室、泥水分离室、泥渣浓缩室等部分。其底部泥渣浓缩室为双层构造, 浓缩室与悬浮层间以锥板隔开, 隔板上半部为现浇钢筋混凝土板, 下半部为无毒塑料板。双层室由循环排渣管相连, 实行自动浓缩排渣, 池内斜隔板周边设排气管, 进行浓缩室排气及强制出水, 实现池内自然小循环。池内设有 4 个同心絮凝竖筒, 筒壁采用钢筋混凝土结构及无毒塑料板, 内置的扰流设备为多层无毒塑料构造。高效澄清池构造如图 1 所示。

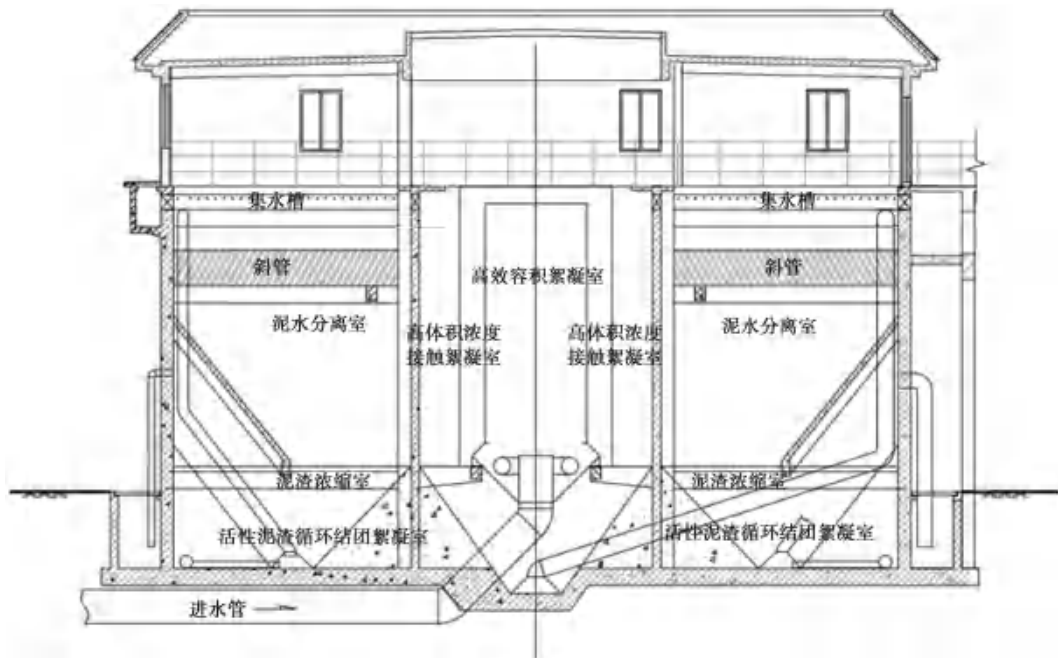


图 1 高效澄清池构造

Fig. 1 Structure of High-Efficient Clarifier

(2) 工作原理

投加混凝剂后的原水经搅拌实现高速均匀混合, 进入渐变流水力状态, 胶体丧失稳定性, 水流通过渐变管进入澄清池内底部的预沉室, 期间大颗粒的悬浮物开始沉淀; 水流历经缓冲过程后进入高效容积网孔絮凝室, 上升水流在网孔扰流装置的作用下, 发生动能转换, 产生大量尺度不一的微涡旋, 颗粒在上升的过程中因惯性效应发生接触和碰撞, 形成密实的絮凝颗粒而沉积; 同时, 水中溶解的气体以及微气泡在减压环境下产生气浮作用, 比重小于水的矾花、有机物及部分藻类经气浮作用得以去除。在气浮过程产生的浮渣汇集至上部排渣槽, 适时排

放。携带有次生粒子的水体进入高体积浓度接触絮凝室, 其间絮体凝聚沉降, 进入排泥区, 经排泥管至排泥渠道。水流进入小循环絮体接触反应室中继续絮凝反应, 随后进入活性泥渣悬浮区进行泥水分离, 部分絮体发生沉降进入沉淀排泥区, 通过排泥管至排泥渠, 另一部分絮体在斜管沉降区与经斜管泥水分离后的泥渣在循环回流的摩擦和挤压作用下, 形成结团絮凝体沉积下来, 从而实现泥水分离。半成品清水由集水总渠排入滤池进行过滤。泥渣悬浮层能确保滤前水浑浊度稳定为 0.5~2.0 NTU, 有效减轻滤池负荷, 节约反冲洗水耗。旋流气浮澄清池是一种反应、絮凝、沉淀池综合性池型, 适用于处理各

种浑浊度的原水,能加强接触絮凝效果,降低药耗。

(3) 自动排泥系统

池内泥渣浑浊度界面可实现定时自动取样测量,系统采用了先进的微处理器和双向可控硅光电耦合传感器,达到设定的排放浓度标准时,信号系统提示启动排泥阀,先期排除顶部的浮渣,池底的泥渣经虹吸管予以清除,泥浆浑浊度达到设定指标后,信号提示控制系统自动停止排泥。

(4) 自动冲洗斜管系统

原水中氮磷等营养物质浓度较高时,容易造成原水富营养化,斜管表面易黏附胶体,日积月累可能引起斜管阻塞。该技术应用了“自动冲洗斜管仪表”,当检测到絮体在斜管上积累,程序会先关闭原水取水泵静止一段时间,打开滤池进水电动阀,排水至斜管以下后,关闭滤池进水电动阀,打开斜管冲洗电动阀和底部排泥阀,开始冲洗斜管并排除池底泥浆,斜管冲洗干净后关闭该阀并开启原水取水泵。该系统取代了人工水枪冲洗斜管的工作,延长了斜管的使用寿命,减少了耗水量和减轻了劳动强度。

与普通高效澄清池相比,旋流气浮高效澄清池具有如下优点:工程投资省、处理效率高、占地面积小;出水平均浑浊度低于 0.5 NTU,出水水质好;具有曝气和旋流沉砂的功能,氨氮去除率可达 60%~90%、化学需氧量(COD_{Mn})去除率可达 30%~60%,铁、锰去除率高;适用性强(适用于低温低浑浊度水、高温高浑浊度水及汛期突发性高浑浊度水);运行成本低;全水力自控运行,控制设备少、故障率低、维修费用少;工人劳动强度低(1 天 3 班,1 班 2 人,合计 6 人);使用寿命长达 50 年,无需停水防腐;池顶加盖封闭式设计,可防寒、防风、防尘、防藻类滋生,更安全卫生;自动化程度高,水厂根据清水池水位控制取水流量,根据供水压力控制供水泵运行,取水、供水变频控制,联动运行。

3.4 工艺比选

水厂一期采用平流沉淀池工艺,二期扩建选择高效澄清池^[2]和平流沉淀池 2 种工艺进行比较。从工程内容、占地面积、优缺点、工程费用、运行成本及回收期内的内部收益率等方面对 2 个工艺方案进行对比^[3],工艺比较如表 1 所示。

表 1 “折板反应池+平流沉淀池”与“高效澄清池”工艺对比

Tab. 1 Comparison of "Folded Plate Reactor+Horizontal Sedimentation Tank" and "High-Efficient Clarifier" Processes

项目	折板反应池+平流沉淀池	配水井+高效澄清池
工程内容	1 座 2 组,单组平面尺寸为 94.4 m×10.45 m 高为 3.7~5.0 m	配水井 1 座,尺寸为 9 m×5 m,高为 11.5 m 澄清池 2 座,单座外径为 17.7 m,高为 9 m
占地面积/m ²	1 974	492
优点	耐冲击性能好,能适应水量和水质的变化,适用于大中型水厂;运行管理方便;与一期预留厂区管道衔接顺畅	对水量和水质变化的适应性好,尤其对低温低浊水质絮凝效果佳;池体加盖,可减少阳光照射、防冻、利于安防,原水低温低浊时絮凝效果较好;可实现自动排泥和冲洗斜管;占地面积小,仅为平流沉淀池的 1/4,节省厂区用地;不用投加助凝剂,节省常年运行药费
缺点	占地面积较大; 池体较长,需要设伸缩缝,若施工质量不高容易造成漏水; 原水低温低浊时,一期絮凝效果不理想,二期需要对池体进行改进; 若为保温给池体加盖,工程造价高	池内水头损失增加约为 0.6 m;为保证一、二期进水均匀,需增设一座配水井,还需要改造一期工程相关的管道; 与一期工艺不同,运行管理人员数量增多,自控系统增加; 斜管需要定期更换,增加运行维护费用
单体投资费用/元	设备及安装:320 万 土建:550 万 合计:870 万	设备及安装:507 万 土建:343 万 合计:850 万
药剂费/(元·m ⁻³)	0.061	0.041
电费/(元·m ⁻³)	0.142	0.132
全部投资回收期/年(所得税前)	12.07	11.84
全部投资内部收益率(所得税前)	7.75%	8.03%

经表 1 对比可知,2 种工艺均对水量和水质变化的适应性好,折板反应池+平流沉淀池属于成熟的净水工艺,配水井+高效澄清池是在传统澄清池基础上改良的新工艺,对于低温低浊水质絮凝效果明显。从 2 种工艺的一次性投资费用看,高效澄清池比折板反应池+平流沉淀池节省约 20 万元。

高效澄清池将絮凝、沉淀集成在 1 座池体内,其主要优点是大大节省了占地面积,总占地面积约为折板反应池+平流沉淀池的 1/4。由于厂区征地已完成,节省出的用地可用于其他用途。同时因为池体体积小,对池体进行了全加盖,可以更好地应对冬季低温对絮凝效果的影响,同时也有利于生产安全。若对折板反应池+平流沉淀池也加盖,则土建费用将会大大增加。

另外,在运行成本方面,高效澄清池无需投加助凝剂,常年运行的药剂费节省约 0.02 元/(m^3 水)。同时,高效澄清池采用了虹吸排泥,常年运行电费约

节省 0.01 元/(m^3 水)。

但高效澄清池的池体构造较折板反应池+平流沉淀池复杂,同时厂内的自控采用 2 套系统,增加了运行管理的难度。另外,高效澄清池采用了斜管沉淀,斜管需要定期冲洗和更换,增加了今后运行维护费用。

根据以上各方面因素综合比较,高效澄清池+气水反冲洗滤池的处理工艺技术成熟,效果稳定,特别是对于低温低浑浊度原水具有良好的处理效果,耐冲击负荷能力强,能适应原水水质和水量的变化,且在总投资和运行费用方面也有优势,故二期工程常规处理工艺推荐采用应急预处理+配水井+高效澄清池+气水反冲洗滤池工艺。

4 厂区平面及流程

厂区平面根据现状构筑物以及预留用地进行布置,并预留远期深度处理空间。厂区平面布置如图 2 所示,净水工艺流程如图 3 所示。

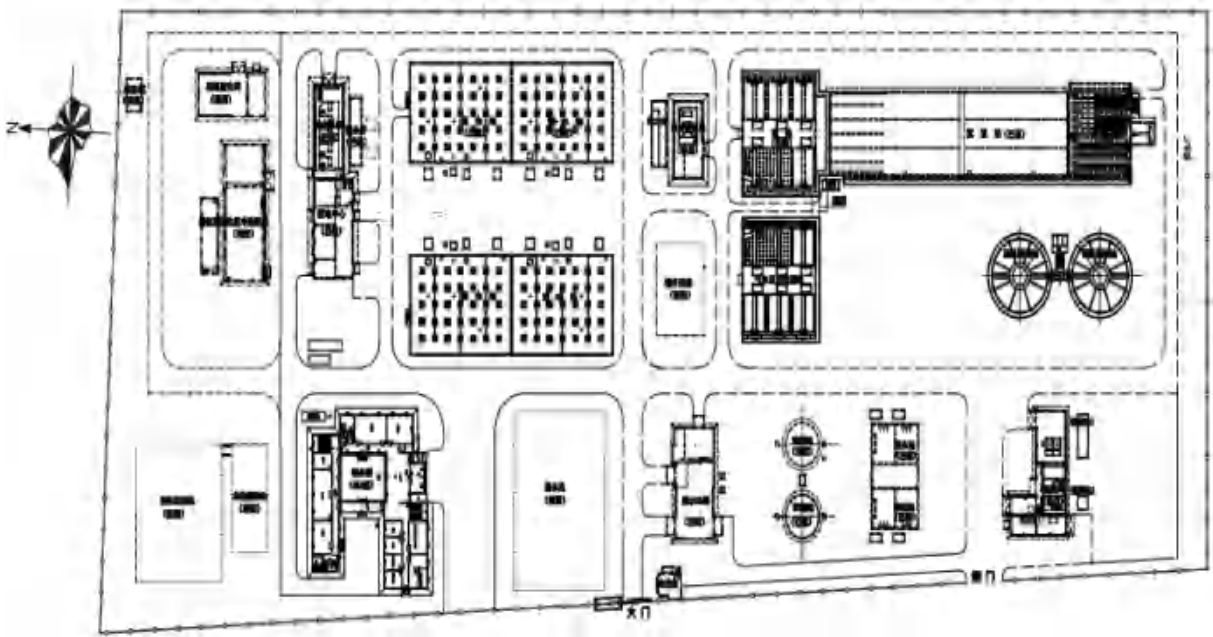


图 2 厂区平面布置

Fig. 2 Layout Plan of WTP

5 主要设计参数

扩建工程新建高效澄清池、气水反冲洗滤池和清水池,规模为 5 万 m^3/d ,均为 2 座或 2 组,便于检修和维护。主要设计参数如表 2 和表 3 所示。

(1) 高效澄清池

规模为 5 万 m^3/d ,分为 2 座。主要设计参数如表 2 所示。

(2) 气水反冲洗滤池

扩建工程设均粒滤料气水反冲洗滤池 1 座,分 2 组,设计参数如表 3 所示。

反冲洗总历时 12 min,分为气冲、单独水冲、气水同时冲洗和表面扫洗 4 个阶段。

正常过滤时滤池反冲洗周期为 24~36 h。气水反冲洗滤池共分 6 格,按双排布置,每排 3 格,中间

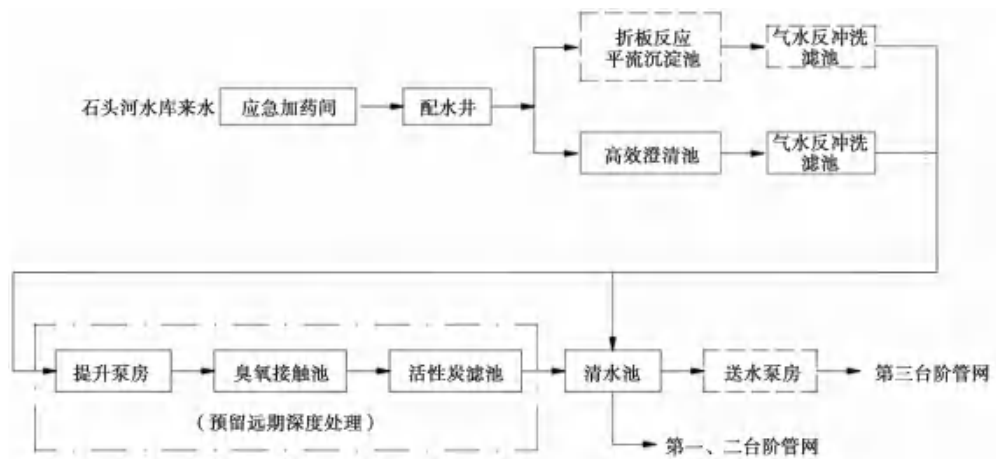


图 3 净水工艺流程

Fig. 3 Process Flow of Water Purification

表 2 高效澄清池设计参数
Tab. 2 Design Parameters of High-Efficient Clarifier

项目	数值
设计水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	1 150
池体内径/m	17.1
池体高度/m	9
表面负荷/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	5.3
絮凝第一阶段停留时间/min	1.74
絮凝第二阶段停留时间/min	3.92
絮凝第三阶段停留时间/min	9.17
总絮凝时间/min	14.83

表 3 气水反冲洗滤池设计参数
Tab. 3 Design Parameters of Air/Water Backwash Filter

项目	数值
设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	2 187.5
设计滤速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	7
强制滤速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	8.4
总过滤面积/ m^2	313
单池面积/ m^2	52.15
气冲强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	15
气水同时冲洗时水冲强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	3
单独水冲洗强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	6
表面扫洗强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	2.2
冲洗历时/min	12

布置管廊,管廊操作管理条件较好。滤池滤料为石英砂均质滤料,粒径为 0.9~1.2 mm,滤层厚度为 1.40 m。承托层厚度为 50 mm。水深为 1.25 m。

配水配气系统采用均匀布置的长柄滤头。滤池平面尺寸为 29.60 m×23.10 m,池深为 4.3 m。采用气动调节阀控制滤池恒水位运行。二期滤池单格面积与一期相同,反冲洗时错开时间,可与一期滤池共用反冲洗设备,节省工程投资。

根据一期运行经验,二期工程拟在滤池进水渠道上增加 2 个叠梁闸。当滤池进水气动闸板检修时,无需全部停产。另外,一期滤池管廊上方设有中控室,为方便今后生产管理,拟在一、二期滤池之间设置连廊。

(3) 清水池

为保证清水池清洗时不中断供水,二期建设 2 座清水池,单座平面尺寸为 31.80 m×23.80 m。池深为 5.45 m,有效水深为 5.0 m,有效调节容积约为 7 130 m^3 ,占二期最高日供水量的 14.3%。

(4) 应急加药间

近 20 年来,无锡太湖水源水污染事件、广东东江镉污染事件、兰州自来水苯污染事件等水污染事故频发,对城市造成了极大的影响。为应对原水可能存在的突发状况,确保区域供水安全,根据项目科研专家评审意见,在原水取水口设置应急加药间。内设高锰酸钾投加间和活性炭投加间。投加系统设计参数如表 4 所示。

6 运行情况

水厂二期扩建投产后,运行状况良好。近年来,原水浑浊度呈增长趋势,根据进出水水质检测报告,2023 年原水平均浑浊度为 18.3 NTU,最高浑浊度出现在 9 月,为 29.6 NTU,最低浑浊度出现在

表 4 应急投加系统设计参数
Tab. 4 Design Parameters of Emergency Dosing System

项目	规模/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	投加量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	投加质量分数	投料设备及规格
高锰酸钾投加系统	10 万	0.5~2.5	4%	隔膜计量泵 2 台,单台投加量为 650 L/h,压力为 0.3 MPa
活性炭投加系统	10 万	15~25	5%~10%	干粉投加机 1 台,规格为 100 kg/h

11 月,为 13.52 NTU,出厂水平均浑浊度为 0.22 NTU,出厂水其余水质指标均 100% 达标。水厂二期药耗与电耗均比一期省,一、二期具体能耗对比如表 5 所示。

表 5 2 期工程能耗对比
Tab. 5 Comparison of Energy Consumption between Two Phases of the Project

能耗参数	一期工程	二期扩建工程
平均药耗/($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.061	0.051
平均电耗/($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.142	0.138

7 主要结论

(1)与平流沉淀池相比,高效澄清池具有占地面积小、工程投资省、运行电费低、药剂费用少等诸多优点。

(2)旋流气浮澄清池是在传统澄清池基础上改良的新工艺,对于低温低浑浊度水质絮凝效果明显。

(3)对原水应急投加高锰酸钾和活性炭,能有

效应对突发状况引起的短时原水水质恶化状况。

参考文献

- [1] 刁小莉,袁吕贵,周晓良,等.旋流气浮澄清池; 202021441680.8[P]. 2021-04-23.
DIAO X L, YUAN L G, ZHOU X L, et al. Spiral flow air flotation clarification tank; 202021441680.8[P]. 2021-04-23.
- [2] 胡坤,李龙伟,车爱伟,等.高效澄清池及 V 型滤池在孟加拉国大型水厂的应用[J].中国给水排水,2022,38(6):72-75.
HU K, LI L W, CHE A W, et al. Application of high efficiency clarifier and V-type filter in a large-scale water supply plant in Bangladesh[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6):72-75.
- [3] 司徒菲,胡新立,黄智,等.高标准强化常规处理工艺在桂林市某水厂二期工程中的应用[J].净水技术,2022,41(6):149-155.
SITU F, HU X L, HUANG Z, et al. Application of high standard enhanced conventional treatment process in the second phase project of a WTP in Guilin City [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6):149-155.
- [28] 周玲玲,张永吉,孙丽华,等.铁盐和铝盐混凝对水中天然有机物的去除特性研究[J].环境科学,2008(5):1187-1191.
ZHOU L L, ZHANG Y J, SUN L H, et al. Characteristic of natural organic matter removal by ferric and aluminium coagulation [J]. Environmental Science, 2008(5):1187-1191.
- [29] 何晨,何丁,陈春茂,等.傅里叶变换离子回旋共振质谱在溶解性有机质组成分析中的应用[J].中国科学:地球科学,2022,52(12):2323-2341.
HE C, HE D, CHEN C M, et al. Application of fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry in molecular characterization of dissolved organic matter[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2022, 52(12):2323-2341.
- [30] 石彦丽.城市污水处理过程中溶解性有机物的分级表征[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
SHI Y L. Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter in the wastewater treatment process[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2014.
- [31] 姚宇.污水厂出水溶解性有机物的分子量分级表征及自然光解特性[D].西安:西安建筑科技大学,2020.
YAO Y. Molecular weight classification and natural photolysis characteristics of dissolved organic matter in sewage[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.
- [32] 许航,温昕,王月婷,等.基于 FT-ICR MS 分析水处理中 DOM 分子特性的演变[J].中国给水排水,2021,37(7):34-41.
XU H, WEN X, WANG Y T, et al. Evolution of dissolved organic matter molecular properties analyzed by FT-ICR MS in water treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7):34-41.
- [33] 杨锐,李宇杰,刘洁,等.不同絮凝剂对生活污水处理中溶解性有机物的影响[J].水处理技术,2022,48(5):90-94.
YANG R, LI N J, LIU J, et al. Influence of different flocculants on dissolved organic matter in domestic sewage treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(5):90-94.
- [34] LIU H, LIU B, GAO Y, et al. Insight into control mechanism of polymeric ferric titanium composite coagulant on membrane fouling: Role of natural organic matters [J]. Separation and Purification Technology, 2023, 322:124255. DOI: 10.1016/j.seppur.2023.124255.
- [35] ZHANG S, CAO J, ZHENG Y, et al. Insight into coagulation/flocculation mechanisms on microalgae harvesting by ferric chloride and polyacrylamide in different growth phases [J]. Bioresource Technology, 2024, 393:130082. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.130082.