

污水处理厂扩建工程设计及运行实例

王兴斌

(中国恩菲工程技术有限公司,北京市 100038)

摘要:北方某城市污水处理厂设计总规模 $18.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中扩建工程设计规模 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。根据进水水质和排放要求,设计采用“初沉池—多级AO生化池—高速气浮池—反硝化深床滤池”工艺。介绍了扩建工程的工艺流程、主要构筑物设计参数、设计特点,并对运行效果进行分析。实际运行数据表明,出水各项指标均能稳定达标,COD、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP平均去除率分别达到88.90%、96.24%、97.31%、78.00%、92.87%。

关键词:污水处理厂;扩建工程;工艺流程;设计参数;运行效果

中图分类号: X703

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0157-03

0 引言

北方某城市污水处理一期工程设计规模为 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A排放标准。

2018年启动了污水厂的扩建工程,设计规模 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2021年6月开始投入运行。本文分析了在工程占地有限的条件下,扩建工程工艺的选择,并对设计特点和运行效果进行说明。

1 规模和水质分析

1.1 设计规模

2017年污水厂处理水量为 $9.5 \times 10^4 \sim 13.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,保证率85%时水量为 $12.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,高于设计规模的21%,污水厂已超负荷运行。通过污水量预测分析,确定了本次扩建工程的设计规模为 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.2 进出水水质

对污水厂2017年的运行情况进行分析,保证率在85%和90%时进水指标见表1,结合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)标准,确定污水厂的设计进水水质。扩建工程设计进出水水质见表1。

收稿日期:2023-02-14

作者简介:王兴斌(1984—),男,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程设计工作。

表1 进出水水质

单位:mg/L

参数	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₃ -N	TN	TP
85%保证率	251	452	440	45	66	7.2
90%保证率	260	546	520	47	69	8.0
GB/T 31962	350	500	400	45	70	8
设计进水	260	500	400	45	65	8
设计出水	10	50	10	5(8)	15	0.5

2 工艺设计

2.1 污水厂用地现状

经现场调研,厂区用地红线面积为168 498 m^2 ,一期工程已使用面积131 122 m^2 ,本次扩建工程可用面积仅37 376 m^2 ,且厂区周边没有扩建用地条件。根据《城市污水处理工程项目建设标准》,8万 m^3/d 规模的污水厂二级处理工艺用地控制指标为 $1.08 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,深度处理工艺用地控制指标为 $0.32 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,总用地控制面积为112 000 m^2 。扩建工程可用面积远小于用地控制指标。因此,扩建工程设计时需考虑节省占地、集约化布置。

2.2 处理工艺选择

经比选分析,扩建工程采用“初沉池—多级AO生化池—高速气浮池—反硝化深床滤池”处理工艺,流程如图1所示。

扩建工程包含一级处理、二级处理和三级处理等单元构筑物。

由于设计进水SS较高,在生化池前设置了初沉池,采用沉淀效率高、结构紧凑的斜管沉淀池。该沉

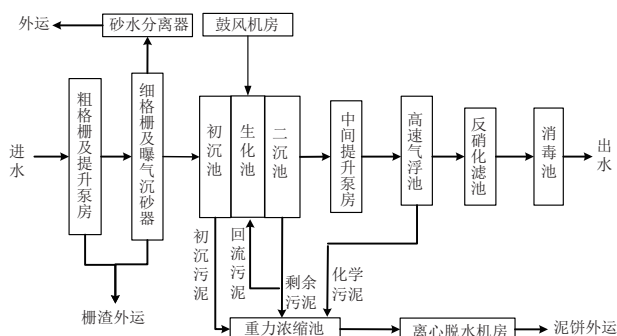


图1 扩建工程工艺流程

淀池池体结构和高密度沉淀池类似,表面负荷为 $6\sim 12\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,与传统沉淀池相比,可节省约 $2/3$ 的占地。

二级处理采用多级AO生化工艺,流程图如图2所示,污泥回流至预缺氧区可降低硝酸盐对厌氧区生物除磷的不利影响。好氧区后设置了二段缺氧区和好氧区,进水和混合液回流采用多点布置,可根据进水水质的变化调整运行方式^[1-3]。

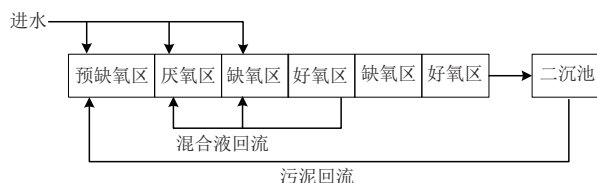


图2 多级AO工艺流程

深度处理包含高速气浮池和反硝化深床滤池。高速气浮池集混凝、絮凝和气浮于一体,与高密度沉淀池比较,具有絮凝时间短、占地面积小的优点。反硝化深床滤池兼具过滤和脱氮功能,目前已广泛应用于污水厂的深度处理^[4-5]。

污泥经重力浓缩池和离心脱水处理后,含水率不大于80%,泥饼外运处置。

3 主要建(构)筑物设计参数

3.1 一级处理单元

(1)粗格栅和提升泵房1座,安装钢丝绳牵引格栅除污机2台,格栅宽1600 mm,格栅间隙20 mm,安装角度 75° 。提升泵房设4台潜水排污泵,流量 $1\,445\text{ m}^3/\text{h}$,扬程20 m。

(2)细格栅及曝气沉砂池1座,回转式格栅除污机2台,格栅宽度2200 mm,间隙5 mm,配套无轴螺旋输送机1台。曝气沉砂池分2格,有效水深3.5 m,停留时间5 min,配套吸砂机和砂水分离器。

3.2 初沉池和二级处理单元

扩建工程的初沉池、生化池和二沉池采取组合布置形式,实现了集约化,减少占地面积。

(1)初沉池1座2格,包含配水渠、澄清池、污泥泵房及浮渣排放系统。澄清区设斜管及支撑件,表面负荷 $11.9\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,每组配套中心驱动刮泥机1套,直径15 m,污泥泵房设排泥泵3台,流量 $150\text{ m}^3/\text{h}$,扬程7 m,污泥排至新建的污泥浓缩池,浮渣经渣水分离器分离。初沉池出水渠直接和生化池进水分配井相连。

(2)生化池1座2格,总有效容积 $70\,000\text{ m}^3$,设计水深7.5 m,总水力停留时间21 h。好氧区设管式微孔曝气器,单管设计供气量 $11\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。缺氧区和厌氧池设潜水搅拌机。混合液回流泵设于一段好氧区末端,设计最大混合液回流比300%,混合液回流至厌氧池和一段缺氧池,单格混合液回流泵4台,流量 $1\,667\text{ m}^3/\text{h}$,扬程1.2 m。

(3)平流式沉淀池1座8格,单格尺寸 $70\text{ m}\times 8.5\text{ m}$,有效水深4.0 m,平均表面负荷 $0.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设桁车式刮泥机4台,污泥渠和生化池相连,设外回流泵6台,流量 $833\text{ m}^3/\text{h}$,扬程3 m,最大污泥回流比100%。剩余污泥泵3台,流量 $150\text{ m}^3/\text{h}$,扬程20 m。

3.3 深度处理单元

(1)高速气浮池3组,包括混合区、絮凝区和气浮区。混合时间4.6 min,絮凝时间7.8 min,气浮区表面水力负荷 $11.4\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

混合区设置机械搅拌器,絮凝区采用水力絮凝,气浮池表面浮渣经链条式刮泥机收集后排至污泥浓缩池,出水通过底部穿孔板收集。

(2)反硝化深床滤池1座6格,平均滤速为 $4.9\text{ m}/\text{h}$,单格反冲洗时强制滤速 $5.88\text{ m}/\text{h}$ 。反冲洗设备用房设3台反冲洗水泵,流量 $970\text{ m}^3/\text{h}$,扬程10 m。设3台风反洗风机,风量 $82\text{ m}^3/\text{min}$,风压70 kPa。

(3)消毒池1座,设紫外消毒器2套,消毒池出水排至厂区已有的巴氏计量槽,与一期工程的出水合并计量和排放。

3.4 污泥处理单元

(1)重力浓缩池2座,接纳初沉污泥、剩余污泥及化学污泥。浓缩池直径15 m,有效水深3.8 m。每座安装中心传动浓缩刮泥机1台。

(2)脱水机房平面尺寸 $28\text{ m}\times 18\text{ m}$,设离心脱水机4台,单台进泥量 $40\sim 80\text{ m}^3/\text{h}$;污泥进料螺杆泵4台,单台流量 $40\sim 80\text{ m}^3/\text{h}$,扬程20 m;脱水后污泥螺杆泵4台,单台流量 $10\text{ m}^3/\text{h}$,扬程16 m。

3.5 除臭系统

生物除臭系统1套,处理量 $20\,000\text{ m}^3/\text{h}$,采用生

物过滤除臭工艺,对粗格栅、细格栅、沉砂池、浓缩池和脱水机产生的臭气进行收集和处理,臭气经过滤池中微生物填料层时被吸附降解成无害的小分子物质^[6]。处理后,尾气达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》废气排放最高允许浓度(GB 18918—2002)中二级标准。

3.6 其他建(构)筑物

(1)中间提升泵房,为满足尾水排放的水力要求,在高速气浮池前设提升泵房 1 座,泵房设潜水泵 4 台,单台流量 1 445 m³/h,扬程 10 m。

(2)鼓风机房 1 座,设离心鼓风机 4 台,单台风量 120 m³/min,风压 8.5 m。

(3)加药间 1 座,设置碳源、PAC、PAM 和次氯酸钠加药系统。

4 工程设计特点

(1)选择占地面积小、处理效率高的“多级 AO—高速气浮池—反硝化深床滤池”工艺。高速气浮池可去除二沉池出水中 SS 和 TP,反硝化深床滤池同时

具有脱氮和过滤功能。

(2)总图布置上根据功能分区优化构筑物选型,将初沉池、生化池和二沉池组合设计,极大节约了占地面积。

(3)多级 AO 生化池可根据进水水质变化灵活调整厌氧区、缺氧区等进水点流量,实现高效脱氮除磷。

(4)在生化池一段缺氧区、二段缺氧区、深床滤池均设置碳源加药点,在生化池出水口、高速气浮池进水口均设计除磷药剂投加点,保证脱氮除磷效果。

(5)合理设计超越管线,根据水质水量和运行情况灵活选择工艺路线,降低运行成本。比如进水悬浮物浓度较低(SS≤250 mg/L)时,可超越初沉池;二沉池出水水质好时,可超越高速气浮池。

5 运行效果

扩建工程于 2020 年 6 月投入试运行,对 2021 年全年实际进出水水质进行统计分析,污水处理厂进出水主要水质指标见表 2。

表 2 实际运行进出水水质

单位:mg/L

指标	进水水质					出水水质				
	COD	SS	NH ₃ -N	TN	TP	COD	SS	NH ₃ -N	TN	TP
90%	453	374	74.68	89.6	8.02	43	9	2.62	14.2	0.44
85%	415	267	70.95	81.2	5.31	41	9	2.24	13.9	0.41
80%	380	235	63.65	78.6	4.76	39	9	1.7	13.6	0.38
75%	368	211	53.24	72.6	4.13	39	9	1.37	13.5	0.35
70%	343	184	48.6	67.1	3.76	38	8	1.2	13.2	0.34
65%	327	166	44.08	58	3.53	37	8	1.03	13.2	0.33
60%	311	150	40.92	53.92	3.36	37	8	0.94	12.8	0.32
50%	274	132	35.48	49.99	3.12	35	8	0.81	12.7	0.3
最大值	850	1 125	103.82	132.2	25	48	10	4.49	14.8	0.49
最小值	138	78	22.82	28.48	2.07	20	4	0.31	9.27	0.18
平均值	307.41	195.24	43.40	57.08	4.34	34.13	7.34	1.17	12.56	0.31

由表 2 可知,污水处理厂进水各项指标波动性较大,85%保证率下进水 NH₃-N、TN 浓度为 70.95 mg/L 和 81.2 mg/L,远高于设计进水水质。COD、SS、NH₃-N、TN、TP 平均去除率分别达到 88.90%、96.24%、97.31%、78.00%、92.87%。出水各项指标均满足排放要求。

6 经济效益分析

扩建工程设计规模 8.0 × 10⁴ m³/d,工程总投资约 2.8 亿元,吨水投资约 3 500 元/m³。污水处

理直接运行成本约 0.80 元/m³,其中运行电耗 0.58 kW·h/m³,电费 0.32 元/m³;药剂费为 0.43 元/m³;人工费为 0.05 元/m³。

7 结 语

北方某城市污水处理厂扩建工程规模 8.0 × 10⁴ m³/d,采用“多级 AO 生化池—高速气浮池—反硝化深床滤池”处理工艺。运行结果表明,出水各项指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 排放标准要求。设计采用集约

(下转第 168 页)

定“高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺,同步设置超越反硝化深床滤池的管线,在污水厂建成早期,如进水水质偏低,则进行超越。

(4)尾水二次提升过桥,解决尾水二次污染问题,提供中水回用。仙洲岛地处韩江引用水源地,水源地不允许新增排污口,尾水直接排放方式不可行,而污水管又不能上桥^[4]。因此,将污水处理标准设定在能满足中水回用的需求,将尾水(中水)提升后,通过中水管道过潮州大桥后排放至中心城区劣Ⅴ类河涌,作为河涌补水。此外,在中水管上设置取水阀门,供市政杂用。

(5)选择合适的管材,防止管道拉伸断裂隐患。考虑到桥梁根据行车、季节变化存在震动、热胀冷缩等情况,在桥梁段中水管管材采用PE管,并在管道过桥梁伸缩缝两侧各加装可曲挠橡胶接头,防止管道和桥梁的不均匀变化引起管道拉伸断裂。

4 结 语

饮用水源地的污水处理应综合考虑治理效果、工程投资、施工影响等各方面的要求及条件。本文结

合韩江水源地的江心洲的工程实例,经对比研究论证,确定采用“就地处理+中水回用”技术方案。

仙洲岛污水处理厂及配套管网工程于2021年6月完成竣工验收,并稳定运营超过一年半,运行效果良好,出水水质稳定达标。建成后每年可截流大量的污染物,大幅度削减了仙洲岛排入韩江的水污染负荷,对保障韩江饮用水竹竿山断面水质安全具有重要意义,同时提供中水补河涌及市政杂用,环境、社会效益显著。

参考文献:

- [1] 吴海斌.韩江流域无机氮污染特征分析和负荷估算方法[J].广东水利水电,2017(9):14-19.
- [2] 陈泽榕.韩江流域监测断面水质特征分析及优化方法[J].广东化工,2022,49(22):119-121.
- [3] 上官宗光,金凯.水源地水质污染富营养化情况分析 & 控制措施研究[J].环境科学与管理,2022,47(6):66-71.
- [4] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [5] 杨凡.半地下式和全地下式污水处理厂布置形式分类浅析[J].中国市政工程,2017,195(6):42-45.
- [6] 于跃,李渊博.A2O氧化沟-混凝沉淀-反硝化深床滤池工艺在大型经开区污水处理中的应用[J].工业用水与废水,2016,47(3):62-69.

~~~~~  
(上接第159页)

化理念,将初沉池、生化池、二沉池合建,项目实际用地指标为 $0.47\text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ,远低于《城市污水处理工程项目建设标准》中控制指标。

### 参考文献:

- [1] 刘玉莎.市政污水处理厂高标准出水处理工程设计[J].工业用水与废水,2019,50(5):81-83.
- [2] 姚伟涛,肖社明,张永祥.多级AO组合工艺运行优化与氮磷深度控制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.

- [3] 李伟,卢东昱,陈永玲,等.北京市某污水厂基于准地表Ⅲ类水体出水标准的工程实践[J].中国给水排水,2017,33(2):56-60.
- [4] 孙素银,孔韡.经济技术开发区污水处理厂扩建工程实例[J].工业用水与废水,2021,52(3):53-57.
- [5] 赵楠,王慰,王润芳,等.反硝化生物滤池同化除磷性能研究[J].给水排水,2022,48(1):33-38.
- [6] 吴见平,靳紫恒,长英夫,等.污水处理厂生物除臭技术及其应用进展[J].化工进展,2021,40(5):2774-2783.