

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.03.029

# 用地受限时全地下污水厂建设方案的思考

徐菁

(无锡市水务集团有限公司, 江苏 无锡 214031)

**摘要:** 无锡市人口和经济的迅猛增长致使某污水处理厂近年来始终满负荷运行,为解决这一隐患,该污水处理厂开展三期扩建工程,建成后近期污水处理规模将由现状的15万 m<sup>3</sup>/d 增至25万 m<sup>3</sup>/d,满足2025年规划的要求。为打造具有鲜明时代特征的现代化污水厂,三期污水厂采用“预处理+AAOA+MBR+气浮+消毒”工艺流程,并辅以多项低碳环保设计理念。将近远期情况相结合,介绍现状污水厂的基本情况、运行工况和三期扩建工程规划,并合理展望未来预留空间的利用。

**关键词:** 全地下污水厂;扩建工程;提标改造

中图分类号: X703

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0120-05

## 0 引言

无锡市某污水处理厂位于无锡城区东南部,主要处理116 km<sup>2</sup>范围内的生活污水。经过两期项目投产施工后污水厂目前总建设规模为15万 m<sup>3</sup>/d,其中一期工程规模5万 m<sup>3</sup>/d,始建于2004年,采用改良AAO生物处理工艺;2008年增设微絮凝深度处理工艺,尾水排放由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B提高到一级A标准。二期扩建规模为10万 m<sup>3</sup>/d,于2010年建成投运,处理工艺和尾水排放标准均和一期相同。2019年水厂进一步提标,出水水质达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)标准。

伴随着无锡市人口的增长、经济总量的提高和排水系统的普及完善,城市污水处理量也逐出增加,现状污水处理厂已满负荷运行。为保障区域污水处理设施安全稳定运行,进一步提升污水处理能力,补齐水环境保护措施的短板,污水处理厂三期扩建工程的建设是重中之重。

## 1 某污水处理厂现状

### 1.1 现状处理水量及水质情况

现状污水处理厂的设计规模为15万 m<sup>3</sup>/d,其中4万 m<sup>3</sup>/d规模的污水经一期提标工程后增设V型滤池深度处理工艺;余下的11万 m<sup>3</sup>/d经二期提标

工程后增设深床滤池工艺,两部分的工艺流程图分别如图1和图2所示。

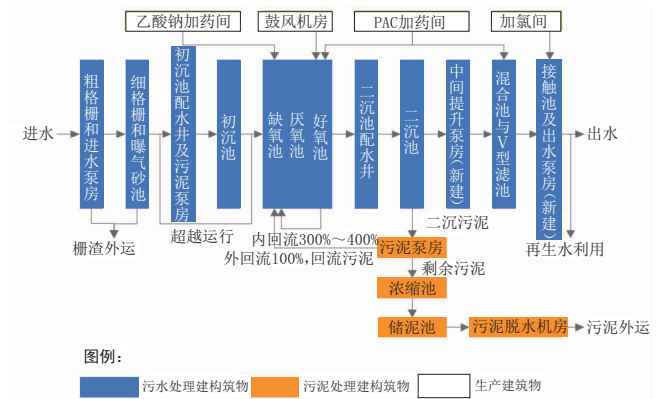


图1 一期提标改造工艺流程框图

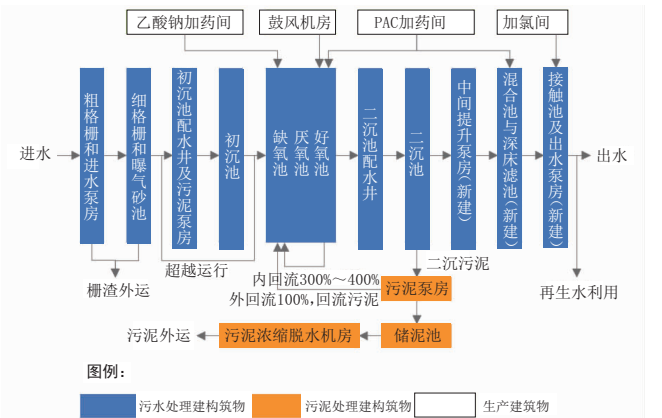


图2 二期提标改造工艺流程框图

研究近期的进水水量如图3所示,进入该污水处理厂的污水量总体呈逐月逐年增加趋势,且已存在超负荷运行工况(红线为设计规模15万 m<sup>3</sup>/d),2021年平均进水量接近16万 m<sup>3</sup>/d,最大日处理量达到17.7万 m<sup>3</sup>/d。

对进水中主要物理化学指标进行记录追踪,发现进水BOD<sub>5</sub>的变化趋势与COD变化趋势基本一

收稿日期: 2022-11-16

作者简介: 徐菁(1970—),男,硕士,高级工程师,主要从事给排水规划工作。

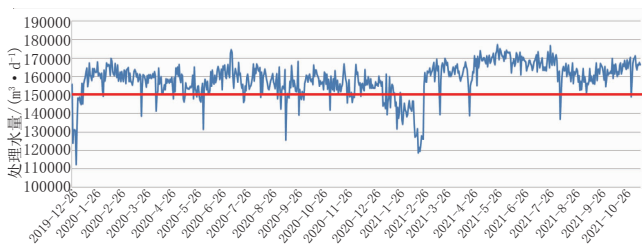


图3 污水处理厂近年水量分析图

致,冬季进水浓度相对较高。进水  $\text{NH}_3\text{-N}$  及 TN 夏季浓度较低,冬季浓度较高,进水 SS 冬季浓度较高,TP 浓度较为稳定,波动较小。由出水水质统计分析(见表1)可知,实际出水水质可稳定达到 DB32/1072—2018 标准的相关限值。

表1 出水水质统计分析

统计项目	污水处理量 / $\text{m}^3$	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
		出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
平均值	157 316	16.29	2.18	5.00	0.33	7.61	0.16
最大值	177 192	40.50	6.56	5.00	2.36	12.20	0.49
最小值	112 282	9.28	1.02	5.00	0.04	1.98	0.04
70%频率	162 360	17.50	2.48	5.00	0.32	8.36	0.20
75%频率	163 169	18.10	2.58	5.00	0.36	8.59	0.21
80%频率	164 536	18.70	2.68	5.00	0.42	8.79	0.23
85%频率	166 188	19.60	2.83	5.00	0.48	9.00	0.24
90%频率	167 902	20.60	3.06	5.00	0.59	9.35	0.26
95%频率	170 946	22.90	3.38	5.00	0.88	9.82	0.29

工艺和混凝过滤工艺能够满足处理达标需求。

### 1.3 三期扩建必要性分析

由以上分析可以看出,现状污水厂出水满足《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)要求,表明处理工艺及相关构筑物能够沿用。然而现状污水厂的设计规模为 15 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,但全年平均处理水量约 16 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,最大已达 17.7 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,导致污水满负荷及超量运行,使污水厂几乎无检修时间,存在污水处理的安全隐患。根据《无锡市排水(污水)专项规划(2010~2020)》、《无锡市排水(污水)专项规划(2018~2035)》(报审中),2025 年该污水处理厂规模应达到 30 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,与现状规模相比也有较大缺口。

因此,为保证区域内污水在今后的发展进程中均能稳妥处理,污水处理厂扩建工程迫在眉睫。

## 2 三期扩建情况及规划

为了缓解现状污水处理厂的生产压力,响应国家现行政策的要求以及太湖湾科创带政策;为了共

### 1.2 运行达标率

从出水 COD 数据可以看出,均值不超过 20  $\text{mg}/\text{L}$ ,且大部分时间维持在 25  $\text{mg}/\text{L}$  以内,这表明进水中不可降解的 COD 占比很小,常规的生化处理可完全降解大部分 COD。从出水 TP 数据可以看出,均值为 0.16  $\text{mg}/\text{L}$ ,大多数情况下都能够稳定在 0.3  $\text{mg}/\text{L}$  以下,说明通过加药沉淀过滤等工序能去除大部分 TP,同时进水中有机磷含量较低。 $\text{NH}_3$  出水稳定维持在 1  $\text{mg}/\text{L}$  以下,说明在供气量足够的前提下,冬季水温对  $\text{NH}_3$  去除效果影响不大。

综上所述,进水中不可生物降解的 COD、TP 占比不高,冬季水温影响不大,现状污水厂采用的 AAO

保太湖丘陵生态绿心,还太湖水体休养生息的时间,污水处理厂启动三期扩建工程。

本次三期工程的主要功能包括:(1)建设规模为土建 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,设备 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ;(2)出水水质标准执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)中一、二级保护区水污染物排放限值的要求和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 排放标准的要求,项目建设按内控出水水质标准日均值  $\text{COD}_{\text{Cr}}\leq 30\text{ mg}/\text{L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1.5\text{ mg}/\text{L}$ 、 $\text{TN}\leq 10\text{ mg}/\text{L}$ ,年均值  $\text{TP}\leq 0.2\text{ mg}/\text{L}$  设计;(3)臭气处理排放速率执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)表 2 的排放标准,其排放浓度参照执行上海市《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/D1025—2016)表 2 中标准,其厂界浓度排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)表 4 二级标准。

### 2.1 扩建用地情况

污水处理厂三期选址位于现状污水厂北侧。现状规划预控预留 8.55  $\text{hm}^2$  土地,但实际上仅约 5.6  $\text{hm}^2$

可供市政使用,剩余土地性质为农用地或河浜,周边为无锡软件园、中国传感网国际创新园、中国移动、中国联通等科技密集型企业。

### 2.2 地下厂建设

本工程要实现 20 万 m<sup>3</sup>/d 的全流程污水处理构筑物布置,但用地仅为 5.6 hm<sup>2</sup>,吨水占地非常紧凑,仅为 0.28 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 污水。为破解用地紧张的困境,需优选高效、节地型工艺和建设形式,因此本工程采用集约化布置全地下式污水厂。

将水厂建在地下有以下诸多优势。

(1) 缩减占用空间:在地下式污水处理厂的设计中,碍于地下空间和投资的限制,构筑物大多比较紧凑,技术方面也尽量采用占地面积小的工艺。此外,地下污水处理厂也无需考虑绿化和隔离带等要求。

(2) 隔绝噪音污染:地下污水处理厂的处理设备

均置于地下,机械设备的噪声和振动对地面建筑和居民生活的影响微乎其微。

(3) 继续周边生态:由于处于地下全封闭空间,因此污水处理厂能够对产生的臭气实现全过程全吸收全处理,保证周边空气中没有超过嗅味阈值的异味。

(4) 节省土地资源:地下式污水处理厂的地表仅有部分辅助建筑物,占用土地资源很少,节省了城市的开阔空间,不会使周围土地贬值,对周边区域的未来发展没有阻碍。同时其上部空间具有较高的利用价值,可作于绿化、公园、运动场等公益产业,也可用于产业办公开发。

### 2.3 工程设计

#### 2.3.1 设计进出水水质

设计进出水水质指标和污泥量分别见表 2 和表 3。

表 2 设计进出水水质主要指标一览表

水质指标	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	粪大肠菌群数/(个·L <sup>-1</sup> )
设计进水水质	500	220	150	40	50	6.0	
设计出水水质	≤ 30	≤ 10	≤ 10	≤ 1.5(3)	10	≤ 0.3	≤ 1 000

(其中 TP 按照 ≤ 0.2 mg/L 年均值控制)

(括号外数值为水温 > 12℃ 时的控制指标,括号内数值为水温 ≤ 12℃ 时的控制指标。)

表 3 污泥量表

项目	数值
剩余污泥干固体量/(kg·d <sup>-1</sup> )	16 000
化学污泥干固体量/(kg·d <sup>-1</sup> )	2 500
总干固体量/(kg·d <sup>-1</sup> )	18 500
污泥流量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	2 300
平均含水率/%	99.2

经论证研究,本次选用稳定、节地的高效处理工艺,即本期污水厂采用“预处理+AAOA+MBR+气浮+消毒”工艺流程。污水处理流如图 4 所示。

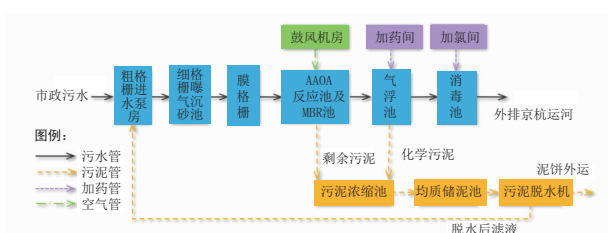


图 4 三期扩建工程工艺流程框图

#### 2.3.2 工艺构筑物设计参数

对于各工艺或构筑物的参数设计,如下所示。

(1) 粗格栅、进水泵房及细格栅

粗格栅井设按设备规模 10 万 m<sup>3</sup>/d, 土建规模 20 万 m<sup>3</sup>/d 设置,设 3 套回转式格栅除污机(配套密封

罩),中间设隔墙,每台格栅宽 1.6 m,栅条净间距 15 mm,倾角为 75°,过栅流速 0.6~1.0 m/s。

细格栅井按土建规模 20 万 m<sup>3</sup>/d, 设备规模 10 万 m<sup>3</sup>/d 设置,设有 3 台内进流细格栅,格栅间设有检修通道。每台格栅渠宽 1.6 m,栅条净间距 5 mm。

(2) 曝气沉砂池及膜格栅

曝气沉砂池 1 座 4 池(2 池近期运行安装设备,另 2 池设备远期安装),有效水深 H=3.0 m,峰值流量时设停留时间 7.5 min。

膜格栅井按土建规模 20 万 m<sup>3</sup>/d, 设备规模 10 万 m<sup>3</sup>/d 设置,设有 4 台内进流精细格栅,格栅间设有检修通道。每台格栅渠宽 1.6 m,栅条净间距 1 mm。

(3) 生物反应池

生物反应池一座 2 池,每池 2 格,每格处理能力 5 万 m<sup>3</sup>/d,总水力停留时间为 18 h(其中厌氧池停留时间为 1.5 h,缺氧池停留时间为 6 h,好氧池停留时间为 7.5 h,后缺氧池停留时间为 3 h)。本次设备安装于其中 2 格,其中气水比为 6.8 : 1,膜池至好氧池混合液回流比为 400%~530%,好氧池至缺氧池混合液回流比为 300%~450%,后缺氧池至厌氧池混合液回流比为 100%~150%。

(4) 膜池及设备间

膜池按土建规模20万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,设备规模10万 $\text{m}^3/\text{d}$ 设计,建2座4池,共40个膜池,单座膜池含7个膜箱,并预留2个膜箱,膜池气水比为9.5:1。其中膜通量为 $16.5\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ,峰值通量为 $24.7\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

#### (5)气浮池

气浮池进行深度处理,设备规模10万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,土建规模20万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,选用高速离子气浮6套。气浮表面负荷为 $19.3\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ,气浮回流比为8%~12%。

#### (6)鼓风机房

本工程设鼓风机房2座,本次设备安装在其中一座鼓风机房内。

设置生物池曝气用鼓风机4台(3用1备),单台风机风量 $157\text{m}^3/\text{min}$ ,风压 $0.095\text{MPa}$ ,单台功率 $320\text{kW}$ 。

设置膜吹扫用鼓风机4台(3用1备),单台风机风量为 $220\text{m}^3/\text{min}$ ,风压 $0.045\text{MPa}$ ,单台功率 $250\text{kW}$ 。

#### (7)紫外/加氯接触池

本工程设置紫外消毒与加氯消毒联用。土建规模20万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,1座2池。停留时间满足远期高峰流量下30min。

#### (8)综合泵房

本工程设置综合泵房1座,包括尾水提升泵及再生水泵,设备规模10万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,土建规模20万 $\text{m}^3/\text{d}$ 。尾水排放采用潜水离心泵,近期设置4台(3用1备),远期增加3台。再生水回用近期设置3台(2用1备),远期增加2台。

#### (9)事故池

本工程设置事故池1座,有效容积 $4200\text{m}^3$ ,位于1#变电所及曝气沉砂池下部。

#### (10)污泥处理构筑物

污泥处理构筑物包括污泥浓缩池、均质池和污泥脱水机房及污泥料仓。本工程新建污泥浓缩池2座,单座平面直径 $9.55\text{m}$ 。停留时间近期5h,远期2.5h,浓缩后污泥含水率约98%~98.5%。新建均质池1座,总容积约 $930\text{m}^3$ ,设污泥脱水机房及污泥料仓1座。污泥脱水机房安装4套带式浓缩脱水一体机,每台带机处理能力为 $60\text{m}^3/\text{h}$ ,压滤机工作时间为12h,3用1备。本工程拟设置污泥料仓2座,与脱水机房合建。现阶段污泥最大存放时间约为3d(规模达到20万 $\text{m}^3/\text{d}$ 时最大存放时间约为1.5d),单座仓容积为 $145\text{m}^3$ 。

### 3 三期工程设计亮点

在贯彻因地制宜、污水及污泥同步处理、节能减

排、资源利用、和谐排水、提高效率、安全运行、可持续发展和土地节约原则基础上,为将该新城污水处理厂(三期)打造成为具有鲜明时代特征的现代化污水处理工程,本次工程经过多方面收集基础资料,结合工程设计及管理经验,融合创新推出多项设计亮点。

#### 3.1 融合双碳设计理念,打造低碳型污水处理厂

三期工程主体工艺为AAOA+MBR,设置二段缺氧区充分利用污水中内碳源,减少外碳源药耗;采用精确曝气系统、智能加药系统,精确控制曝气量和加药量,降低能耗药耗;采用智能照明、智能通风系统,适时适度运行照明、通风设备,降低能耗;优选高效节能的风机、水泵形式,提高能源利用效率,较常规全地下MBR厂节能约15%。

#### 3.2 引进智能巡检系统,打造智慧型污水处理厂

高青等人的研究表明巡检机器人能够根据预设的程序,携带一系列检测拍摄设备按既定的路线巡检,提高现场部分缺陷信息的采集效率<sup>[1]</sup>。三期工程采用智能巡检机器人系统,对生物反应池内部运行情况进行巡查监视,降低人员巡视风险。采用无人机巡视系统,对操作层大空间进行个性化巡查。结合视频监控系統,可实现全厂无死角巡检监控,实现提高人员安全性和运行安全性的双赢局面。

#### 3.3 利用数字孪生平台,打造仿真型污水处理厂

应用数字孪生平台,即将“实体空间”和“虚拟呈现”相融合,采集“实体空间”生产制造过程中的实时数据,在“虚拟呈现”环境中集成展示,使虚拟环境中的生产仿真与现实中的生产无缝融合,提高现实生产水平。将污水厂日常运行管理大数据汇入数字孪生平台,协同智能管理手段能够大幅提升管理沟通效率,提供合作密切、高效赋能的办公环境。后期辅以BIM打造预测性维护平台,降低劳动强度,节约运营维护费用<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 BIM全生命周期应用,打造数字型污水处理厂

将BIM技术应用于工程全周期:设计阶段应用BIM进行碰撞检测,减少错漏碰缺,降低造价超限风险;施工阶段应用BIM平台,实施掌握工程进度、成本支出,指导施工作业,降低施工过程中风险;运维阶段结合数字孪生平台,将建成交付的污水厂以三维方式展示给运维人员,并将设备、管路和检测仪表数据融合到三维模型中进行动态展示,供运维人员操作,真正打造一个数字型污水处理厂。

#### 4 地上空间利用的思考

根据规划预测,远期水量将增长至 50 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 远期将有 20~25 万  $\text{m}^3/\text{d}$  污水处理能力缺口。规划用地未预留远期扩建用地,增长的水量需要在现状厂区及本次新增用地内统一解决。现状一二期采用全地上建设形式,工艺选用 AAO+ 深度处理,无法通过技术改造实现大幅增容,故今后需将现状污水厂(一二期)拆除,选用更高效、更集约的布置形式。本次三期扩建用地为 5.6  $\text{hm}^2$ ,因为全地下方案中整个箱体位于厂区地坪以下,上部可预留出较大空间用于开发。本次厂前区占地仅 1.8  $\text{hm}^2$ ,空出了 3.8  $\text{hm}^2$  可用于产业开发,地上布置图如图 5 所示。



图 5 三期扩建工程地上布置图

结构在地下箱体设计时,预留了地上建筑物的荷载。地下箱体综合泵房预留了地上产业办公所需的水源热泵供水系统。进排风井、进出通道与今后产业办公建筑的布置相协调,与今后建筑布置融合。为合理利用后续可开发的面积,以区域综合开发为载体,采取产业链延伸、联合经营、组合开发等方式,推动收益性差的生态环境治理项目与收益较好的关联产业有效融合,充分发掘地上部分的经济潜力。

#### 5 结语

该水厂三期污水厂工艺选择稳定高效,能充分满足近远期规划的需求。作为全地下式污水厂,其运用多项新型管理运维技术践行低碳理念,同时地下建设的形式可通过规整附属建筑物后,腾退出地上部分大量空间,用于产业开发,切实保障居民利益,给其他地下污水厂建设提供了宝贵的工程经验。

#### 参考文献:

- [1] 高青,冯李军,张鹏.智能巡检机器人的研究[J].电气时代,2012,365(4):74-76.
- [2] 郑猛.数字孪生的智慧建筑系统平台设计[J].智能建筑与智慧城市,2022,304(3):140-142.

---

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)