

典型集约化污水处理厂工艺设计

——以南京某项目为例

宋璐宁

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 南京大厂污水处理厂新建工程(一期)设计规模 9 万 m^3/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。介绍和分析了大厂污水处理厂工程设计难点, 由此确定一期工程处理的工艺方案选择和设计参数, 确定了改良型 AAO+ 磁混凝沉淀+反硝化深床滤池+污泥深度浓缩脱水的处理工艺。通过工艺选择和组团式布局解决了用地紧张的难题, 利用先进的设备技术保障准 IV 出水达标的可行性。对同类标准工程设计有一定的借鉴意义。

关键词: 污水处理厂; 一级 A; 改良型 AAO 工艺; 反硝化深床滤池; 集约化设计

中图分类号: TU992.03

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0151-05

0 引言

在经济发达城市, 大型污水处理厂设计时会统筹考虑预留远期用地^[1], 而随着国民经济的发展, 土地资源在污水处理设施方案的设计中成为了关键因素, 越来越多的市政设施用地空间被挤压。环保对于污水处理排放标准的要求越来越高, 并且要以最少的占地实现污水处理目标, 是对设计工作提出了更高的要求。

1 工程概况

南京大厂污水处理厂服务于江北新区大厂、葛塘街道, 现状厂区位于干子河与马汉河交界处, 占地面积 13.25 ha。污水厂一期工程于 2010 年竣工, 厂区内细格栅和沉砂池、水解酸化池、氧化沟、高效混凝沉淀池、转盘滤池等构筑物规模为 4.5 万 m^3/d , 其他构(建)筑物土建规模 9 万 m^3/d , 设备规模 4.5 万 m^3/d 。出水采用一级 A 标准, 污水厂实际日平均处理水量 4.2 万 m^3/d , 接近满负荷运行。

根据江北新区最新土地利用规划, 污水厂现状所在位置以及周边均为住宅、商业等用地, 周围地块的拆迁安置房已经开发建设起来, 具体见图 1, 污水处理厂与城市的发展规划存在冲突, 污水厂的运营对周边居民生活影响较大。同时为满足服务范围内

管网建设和经济开发带来的不断增长的污水量, 大厂污水处理厂的规模扩建迫在眉睫。因此项目重新择地, 开展南京大厂污水处理厂新建工程(一期), 一期规模 9 万 m^3/d , 远期总规模 18 万 m^3/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, 设计按准 IV 标准复核。

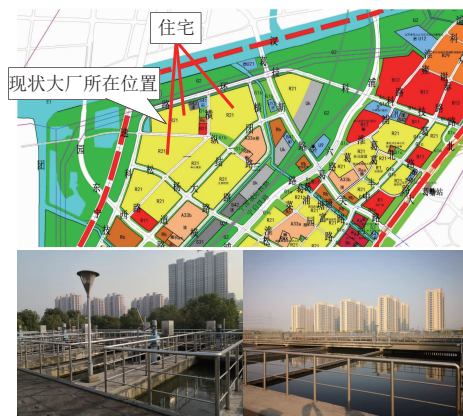


图1 现状大厂周边环境示意图

2 工艺路线

2.1 进水水质分析

现状大厂污水厂已有多年的进出水水质数据, 经过实际数据处理分析, 并统计了南京市其他市政污水处理厂的设计数据, 同时为远期发展预留一定的余量, 确定工程的设计进水水质。对近两年大厂进水水质数据进行统计, 污水厂的进水水质浓度均不高, 实际进水水质与原设计水质相比, 化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD_5)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、悬浮物(SS)、总氮

收稿日期: 2023-02-10

作者简介: 宋璐宁(1989—), 女, 硕士, 工程师, 从事污水处理设计工作。

(TN)和总磷(TP)基本低于原设计值。比对参考南京市其它污水处理厂的实际进水水质,考虑到工程厂外管网系统收集范围内区域的发展及管网完善趋势,对COD和BOD₅和SS取值进行下调,其余不变,确定新建工程设计进水水质如表1所示。

表1 设计进水水质						单位:mg/L
指标	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
现状大厂进水水质	450	200	300	30	40	4.0
近两年统计值	91.1~316.9	41.8~86.6	59.4~145.7	13.6~28.5	18.8~33.5	1.94~4.05
新建工程进水水质	400	150	250	30	40	4.0

2.2 出水水质分析

根据目前国家对污水处理厂出水水质的统一要求,并参考了目前南京市江北新区排放标准考核要求,确定大厂污水处理厂工程设计出水水质采用《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准^[2],考虑区域水环境发展趋势,为提质增效预留空间,工程设计按照准IV出水控制,如表2。

表2 设计出水水质							单位:mg/L
指标	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	粪大肠菌群 / (个·L ⁻¹)
一级A	50	10	10	5(8)	15	0.5	1 000
准IV	60	6	10	1.5(3)	15	0.3	1 000

注: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。

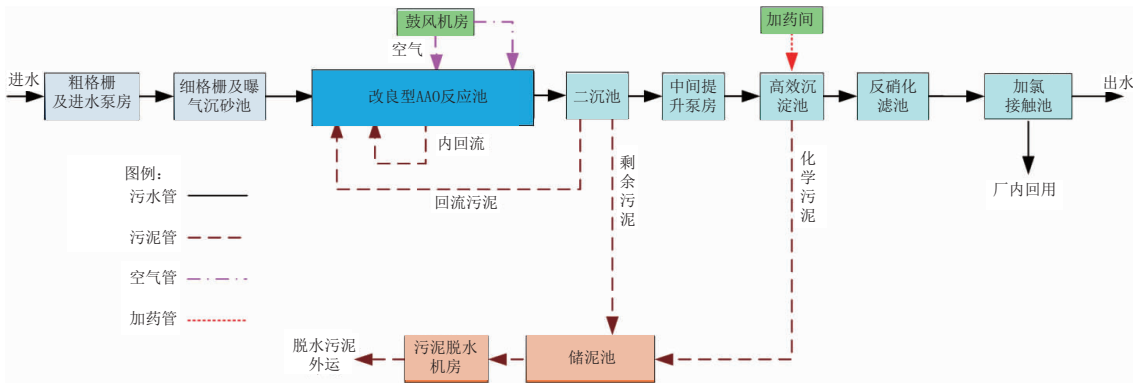


图2 大厂污水处理厂工艺流程图

3 工程设计

根据确定的工艺流程,工程主要建设内容包括:粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、改良型AAO反应池、二沉池、中间提升泵房及高效沉淀池、反硝化深床滤池、鼓风机房、加药间、加氯接触池、储泥池及污泥深度脱水机房间、综合楼、管理用房、门卫等,构筑物单体采用组团模块设计,合建模式。

2.3 工程设计难点

对进出水水质和建设条件进行统计分析,本项目设计和实施主要有以下几个工程难点:(1)污水处理厂用地紧张,周边无扩建条件;(2)进水BOD较低,出水标准高;(3)大跨度超长结构体,管线布置空间紧张,施工困难。

2.4 工艺方案确定

综合考虑工程设计的难点,针对污水进水碳源不足的情况,应先挖掘内部碳源,当内部碳源开发利用之后,出水总氮仍然不能满足要求时,再采取补充外加碳源的措施。通过工艺选型减少占地,紧凑布局,合理分区,优化布局,绿地面积适宜。改良AAO工艺(五段)是基于传统AAO工艺衍生出的先进工艺^[3],后置缺氧段在强化了系统整体脱氮效果的同时,对系统内部碳源进行了有效利用,在C/N较低的情况下可以减少或不进行外部碳源的投加,节省了运行成本,多模式设计可以根据进水水量、水质以及环境条件变化,灵活调整运行模式,保障除磷效果在不同水温水质条件时都能达标。深度处理采用混凝沉淀+过滤工艺^[4],考虑用地条件选择了表面负荷可达到22 m³/m²·h的磁混凝高效沉淀池,占地小、投药量少、有机物去除效率高。反硝化深床滤池兼具去除SS和脱氮除磷能力,抗冲击负荷较强,滤料无需更换,管理维护较简单,能够为更高标准的脱氮要求留有余裕。工艺流程如图2所示。

3.1 总平面设计

新建工程的预留用地位于旺鑫路以南,园西路以东,宁连西路以西,马汊河以北,呈不规则四边形,红线范围占地面积8.42 hm²。

由于项目用地多边角,总平面布置进行了2个方案的设计比选。方案1采用组团合建式布置(见图3),可完全实现分期建设独立运营。集约化的布置形式便于基坑施工,节省用地的同时实现景观花园式

污水厂设计理念。方案 2 采用常规污水厂布置(见图 4),按照 2 期工程统一布置,辅助用房需要一次性建成,一期土建投资较大,用地布置零散分散,美观性不足,需要近远期联合运行,不利于两期工程的独立管理。因此选择了合建式布置形式。

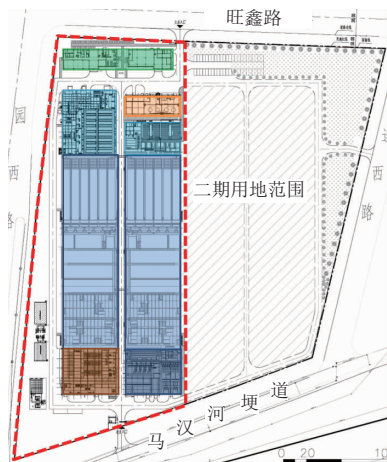


图 3 方案 1- 总平面布置图

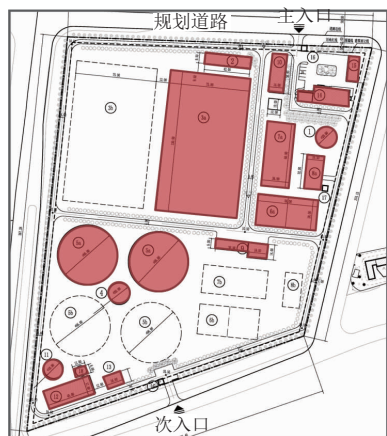


图 4 方案 2- 总平面布置图

东侧为二期预留用地。一期工程用地面积 4.41 hm^2 。处理构筑物根据工艺流程自北向南布置,采用集约化布置,构筑物之间通过渠道连接,在一期用地东北角布置污泥区,生物处理布置在中部地区,在南侧布置深度处理区域,预处理区域位于一期场地西北角。综合考虑后期运营管理以及工程投资等方面,按照近远期结合的原则,本工程中进水泵房及综合楼等附属设施按照 $18 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的规模设计。详细平面布置见图 3。

3.2 污水处理典型构筑物设计

3.2.1 预处理区设计

预处理区包括粗格栅及进水泵房 1 座、细格栅及曝气沉砂池 1 座、鼓风机房及 1# 配电间 1 座,单体合建。进水泵房土建按照远期 $18 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 建设,设备按照一期 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模配置。粗格栅及进水泵房

分为两仓,可实现两期独立运行。格栅井分 2 格,中间设隔墙,可单格使用,设有 2 套钢丝绳牵引格栅除污机,粗格栅渠道前后均设有检修闸门,便与检修。粗格栅及进水泵房以中隔墙分仓,近期使用 1 仓,设变频潜水泵 4 台。中隔墙设溢流孔保障受力安全,设连通口及双向止水闸门,保障远期设备安装条件。

细格栅及曝气沉砂池 1 座 2 池,规模为 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,单池处理规模为 $4.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,尺寸为 $30.25 \times 14.6 \text{ m}$,有效水深 $H=2.75 \text{ m}$ 。细格栅井分 3 格,设 2 台内进式网板格栅除污机满足生产需要,考虑近年来污水厂进水杂质粒径较大且内进式网板格栅容易被布条发丝等缠绕堵塞,设计备用 1 套人工格栅,保障检修工况时的过流量。内进式网板格栅除污机宽 2.0 m ,栅孔直径 5 mm 。格栅前后设闸门作为检修格栅时切断水流用。

3.2.2 改良型 AAO 反应池设计

设计 2 座改良型 A/A/O 反应池,规模为 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,单座处理规模为 $4.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,平面尺寸 $47.5 \times 96.3 \text{ m}$,有效水深厌氧区 9.5 m ,好氧区 8.0 m ,总有效容积为 $71\,250 \text{ m}^3$,总停留时间 19 h ,其中预缺氧区 1.2 h ,厌氧区 1.2 h ,缺氧区 4.7 h ,好氧区 10.1 h ,后置缺氧区 1.3 h ,后置好氧区 0.5 h 。污泥浓度 3.5 g/l ,总泥龄 26.4 d ,硝化段污泥龄 14.7 d ,负荷 $0.097 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

来自曝气沉砂池的污水与二沉池的回流污泥一并进入生物反应池,按顺序通过厌氧段、缺氧段和好氧段,污水内有机物去除并完成硝化反应后接入后缺氧段。此时 COD 大部分已被耗尽,因此硝酸盐还原需要的电子供体主要是由活性污泥的内源呼吸提供。此过程在强化了系统整体的脱氮效果的同时,对系统内部碳源进行了有效利用,在 C/N 较低的情况下可以减少或不进行外部碳源的投加,节省了运行成本,之后污水接入好氧段,吹脱氮气后接入后续二沉池。后置缺氧段同时布置曝气器,可作为好氧段使用,增加整个生反池的灵活性。

3.2.3 反硝化深床滤池设计

工程选择反硝化深床滤池工艺因其抗冲击负荷较强,管理维护较简单,且除了能去除 SS 之外,兼具脱氮除磷的能力,可作为 TN 长达标的保障措施^[5],为更高标准的脱氮要求留有余裕,功能综合而占地较小。

化深床滤池一座 8 格,单格长 24 m ,宽 4.11 m ,总过滤面积 789 m^2 ,8 组运行时平均滤速 4.75 m/h ,8

组运行时高峰滤速 6.18 m/h,检修时 7 组运行高峰滤速 7.06 m/h。加氯接触池及出水泵房与反硝化深床滤池组团合建,尽可能节省用地。

3.3 污泥处理工艺设计

工程污泥处理系统整体为一个单元,包括储泥池、污泥浓缩处理、污泥调理池及污泥深度脱水处理系统。土建按照远期 18 万 m^3/d 建设,设备按照一期 9 万 m^3/d 规模配置。工程总干固体量为 13 573 kg DS/d,平均含水率 99.3%,污泥流量为 1 939 m^3/d ,污泥浓缩系统出泥含水率为 95%,污泥脱水系统出泥含水率为 60%,产泥量 34 m^3/d 。设有储泥池 2 格,叠螺式污泥浓缩机 3 套,调理设备 3 套,超高压油缸压榨机 3 套。脱水机设计工作时间 2 h/批次,每天 4 批次,工作 8 h,远期无需增加设备,通过调整运行时间达到扩建需求。

3.4 除臭系统设计

大厂污水处理厂是一个综合性的污水处理厂,包含水、泥、气的全过程处理。土壤生物滤池法具有处理效果稳定、运行费用低、使用年限久等优点,并可结合厂区绿化整体布置,设计土壤生物滤池法作为污水处理区的除臭工艺。考虑到污泥处理区域臭气浓度较高,采用化学洗涤+生物滤池+高空排放的组合处理作为污泥系统的臭气处理方式。

工程除臭设计参照《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)进行计算。各构筑物除臭量计算如表 3。

表 3 单体除臭风量计算表

序号	名称	数量(座)	臭气量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
1	进水泵房	1	14 864
2	细格栅及曝气沉砂池	1	6 014
3	生反池厌氧段	2	24 344
4	污泥脱水机房	1	34 646
5	储泥池	2	1 919

根据污水厂总平面图布局,并考虑经济成本,设置 3 套除臭系统。1# 土壤生物滤池风量为表 3 中序号 1+序号 2,共计 20 878 m^3/h ,取整为 21 000 m^3/h ,滤池面积 156 m^2 ,深度 1.5 m,停留时间 40 s。2# 土壤生物滤池风量 24 344,取整为 25 000 m^3/h ,滤池面积 186 m^2 ,深度 1.5 m,停留时间 40 s。3# 除臭装置风量为表 3 中序号 4+序号 5,共计 36 565 m^3/h ,取整 37 000 m^3/h ,停留时间设计为化学洗涤 5 s,生物滤池 40 s。

4 工程先进性

(1)出水高标准,技术攻坚战。采用改良 AAO 反应池工艺,可充分利用污水内部碳源强化脱氮,减少外部碳源投加量,可多模式运行,抗负荷能力强。

(2)麻雀虽小,五脏俱全,节约土地资源。在用地极其紧张的基础条件下,完美容纳水处理构筑物及配套附属设施,做到生产生活功能分区明确,采用全对称式集约化布局,强化空间美感,统筹规划近远期布局,形成一期和二期完全对称式的集装箱矩形布置,同时一期以厂中道路为中轴线,形成两侧分组完全对称式布置。用地指标仅为 0.47 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,远低于国家城市污水处理工程项目建设标准 1.10~1.35 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

(3)先进技术利生产。积极采用市场先进创新的技术,例如精确曝气、加药控制系统,有效的调节曝气、加药量,起到节约能耗和药耗的作用。将潜式超声除藻技术用于二沉池和高效沉淀池,有效控制藻类生长现象。利用基坑开挖的渣土、淤泥等,制作新型路液固化土替代道路传统基层,施工周期短,节约人工机械成本,全封闭式搅拌无扬尘,对环境污染小,可置换约 400 t 碳排放指标,节约近 5 000 t 砂石,工法已列入江苏省节能减排目录。

(4)集约化污水处理构筑物设缝技术。通过计算及以现场施工为基础,优化了构筑物完全缝的布置间距,降低了完全缝位置处渗漏的可能性。

5 运行效果

大厂污水处理厂一期工程自投产以来,运行效果较好,目前厂内检测指标有如下 6 种,分别为 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、 BOD_5 和 SS,本文统计了 2021 至 2022 年的出水水质情况,具体见图 5。由于仪表问题, BOD_5 和 SS 两种指标仅回收了 2022 年的数据。

污水厂累计处理污水量 37 902 277 m^3 ,最高日污水处理量 92 322 m^3/d ,已经超过设计规模,大厂污水处理厂目前已完全能够满负荷运行。而且各项指标出水水质 100%达到设计出水标准,运行效果非常好,目前尾水全部排放至妫婁河河道。各项机械设备和自控仪表均运行良好,运行至今未出现过停用或故障情况。

截至目前南京大厂污水处理厂新建工程(一期)项目已获得 2022 年全国建设水平评价设计类别二等奖,获南京市优秀工程设计奖一等奖,获 2022 年

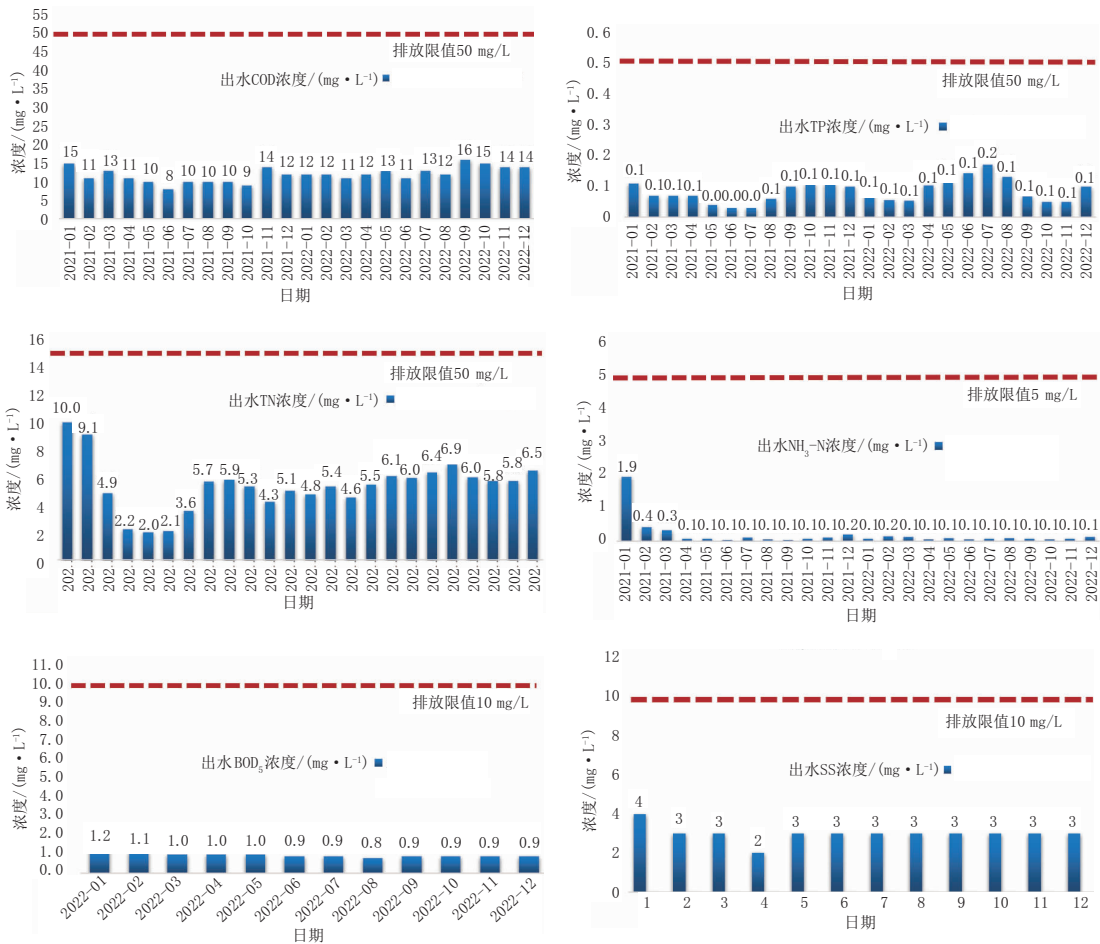


图5 运行出水水质图

江苏省城乡建设系统优秀勘察设计奖市政公用工程设计三等奖,通过 2022 年度市政工程最高质量水平评价。

6 结 语

(1)城市污水处理是一项系统性的工程,从污水厂的运行情况分析,污水的汇流和处理受到管网系统的制约。加快城市污水管网、污水厂进厂管道及厂外泵站的建设,污水处理厂方能充分发挥其效用。

(2)用地条件受限时可将地下污水处理厂的布置方式应用于地上污水处理厂,即流程模块化组团,形成集约式布局,最大限度地节省土地资源,响应碳排放理念。同时要统筹考虑远期工程预留用地布置的合理性。

(3)应从施工和运行角度考虑问题并反哺设计方案,在工艺的选择和总体布局上保障施工的合理性,细节设计体现以人为本的理念,以运行的安全、通道便捷、环境舒适为最终目标完善设计方案。

参考文献:

[1] 张辰,张欣,杜炯.上海市白龙港污水处理厂改造工程设计[J].给水排水,2008,34(4):16-19.
[2] GB 18918—2002,城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
[3] 刘连清,王知远.长三角地区某污水处理厂提标扩建工程工艺设计[J].净水技术,2020,39(3):43-47,63.
[4] 高陆令.江边污水处理厂二期扩建及升级改造工程设计方案[J].净水技术,2012,31(2):88-93.
[5] 胡香,张辉,许光远,等.反硝化深床滤池深度脱氮效果研究[J].中国给水排水,2017,33(21):13-17,24.