

司马勤. 大型 UNITANK 工艺污水处理厂提标工程精细化设计[J]. 净水技术, 2025, 44(10): 188–195.

SIMA Q. Refined design for the upgrading project of a large-scale WWTP using UNITANK process[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(10): 188–195.

大型 UNITANK 工艺污水处理厂提标工程精细化设计

司马勤*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 【目的】针对污水处理厂提标改造中普遍存在的生化脱氮效能受限、水力衔接困难及近远期目标协同难等痛点,文章提出切实可行的优化设计方案,为其他类似工程提供参考。【方法】以广东某 20 万 m^3/d 污水处理厂提标工程为例,通过对现状构筑物、进出水水质的分析,有针对性地采取现状构筑物挖潜、新增集约化深度处理构筑物的方式实现近期目标,并兼顾与远期目标的衔接。【结果】UNITANK 生反池工艺脱氮处理能力不足,近期深挖 UNITANK 生反池脱氮能力,通过投加碳源,必要时通过增加填料提高微生物浓度从而提高脱氮和除碳效率,将除磷转移至新增深度处理构筑物来实现。面临前端生反池水位和后端接触消毒池水位均受限的不利条件,通过精细化的水力计算和巧妙地设计参数,很好地实现了新增构筑物的水流顺畅,稳定运行。通过集约化布置和采用节地型“高效沉淀池+精密过滤”组合,近期用地指标仅为 $0.038 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,较国标节约 85%。在平均处理水量超负荷 7.8% 工况下,提标改造工程仍能经济、稳定运行,吨水运行成本仅增加 0.18 元。【结论】污水处理厂提标工程要基于现状条件,通过现状构筑物充分挖潜与新增构筑物强化相结合,经济合理地实现工程目标。

关键词 UNITANK 工艺 集约化 高效沉淀池 精密过滤 精细化设计

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2025)10-0188-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.10.020

Refined Design for the Upgrading Project of a Large-Scale WWTP Using UNITANK Process

SIMA Qin*

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] To address the prevalent challenges in wastewater treatment plant (WWTP) upgrading projects, including limited biochemical nitrogen removal efficiency, hydraulic connection difficulties, and the coordination of short- and long-term goals, this paper aims to propose practical and feasible optimization design schemes that can serve as a reference for other similar projects. [Methods] Taking the upgrading project of a 200 000 m^3/d WWTP in Guangdong as an example, the existing structures and influent and effluent quality are analyzed. Targeted measures are taken to tap the potential of existing structures and add new intensive advanced treatment structures to achieve short-term goals, while also considering the connection with long-term goals. [Results] The nitrogen removal capacity of the UNITANK bio-reactor process is insufficient. To address this problem, the nitrogen removal capacity of the UNITANK bio-reactor tank is further explored in the short term by adding carbon sources and, when necessary, increasing the microbial concentration through the addition of fillers to enhance nitrogen and carbon removal efficiency. Phosphorus removal is transferred to the newly added depth treatment structures. Faced with the adverse conditions of limited water levels in both the front-end bio-reactor tank and the rear-end contact disinfection tank, refined hydraulic calculations and clever selection of design parameters are employed to achieve smooth water flow and stable operation of the newly added structures. Through intensive layout and the adoption of land-saving "high-efficiency sedimentation tank + precision filtration" combinations, the land use indicator in the recent phase is only $0.038 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$, representing an 85% savings compared to national standards. Under operating conditions where the average treated water volume exceed the design capacity by 7.8%, the upgraded project can still operate economically and stably, with the operating cost per ton of water increasing by only 0.18 yuan. [Conclusion] WWTP upgrading projects should be based on existing

[收稿日期] 2025-02-20

[通信作者] 司马勤(1977—),男,高级工程师,主要从事市政给排水设计等工作,E-mail:simaqin@smedi.com。

conditions, combining the full tapping of the potential of existing structures with the reinforcement of new structures to achieve project goals economically and reasonably.

Keywords UNITANK process intensive high-efficiency sedimentation tank precision filtration refined design

污水处理厂处理排放标准不断升级,提标不可避免。提标工作需要现状污水处理厂的基础上进行,诸多因素受制于现状构筑物^[1]。结合广东某大型污水处理厂提标工程的成功案例,在分析评估现状构筑物的基础上,充分挖潜并精细设计,梳理提标工程设计过程中遇到的问题,提炼总结出设计要点并对运行情况进行分析,以期类似工程提供参考。

1 项目背景

广东某污水处理厂规划总规模为 60 万 m³/d, 现状规模为 40 万 m³/d, 服务范围为 184.90 km², 现状用地面积为 20 hm²。2004 年 9 月一期工程投运, 2010 年 6 月二期工程投运, 设计规模均为 10 万 m³/d。一、二期工程出水水质均执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。三期工程 2015 年 12 月投运, 设计规模为 20 万 m³/d, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准与广东省《水污染物排放限值》(DB44/ 26—2001) 第二时段一级标准的较严格值。

根据相关文件要求,一、二期工程出水水质需要由原来的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准提升至国家一级 A 标准与广东省《水污染物排放限值》(DB44/ 26—2001) 第二时段一级标准的较严格值执行,且出水氨氮指标(年均值) ≤ 1.5 mg/L。

2 提标前污水处理厂现状

2.1 现状工艺流程及设计参数

一期工程采用 UNITANK 工艺,二期工程采用改良 UNITANK 工艺,出水水质均执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准,污泥经脱水、干化至含水率为 40% 以下外运处置,工艺流程如图 1 所示。三期工程采用“厌氧/缺氧/好氧(AAO)生物反应+矩形周进周出二沉池+V 型砂滤池”处理工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准与广东省《水污染物排放限值》(DB44/ 26—2001) 第二时段一级标准的较严格值。本次对一期、二期工程进行提标改造,提升出水水质。

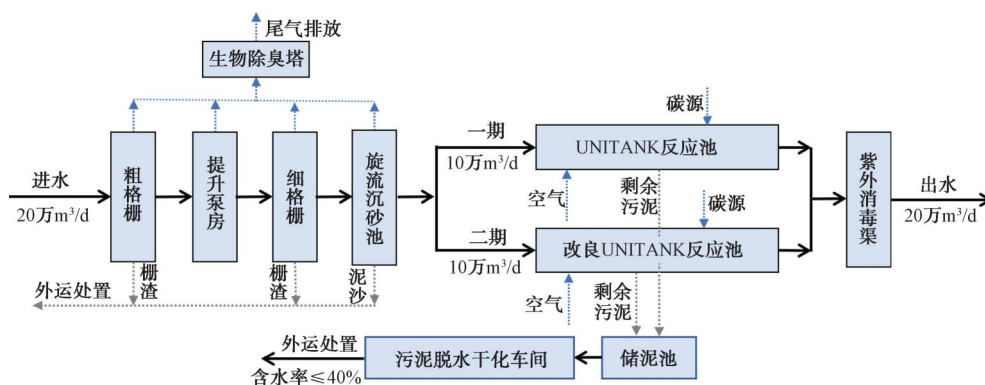


图 1 一期、二期工程提标前工艺流程

Fig. 1 Process Flow before Upgrading for Phase I and Phase II Projects

2.2 提标前运行情况

2017 年 1 月 1 日—2018 年 6 月 30 日,一、二期工程进、出水水质统计如表 1 所示。

提标前,出水 COD、BOD₅、TN、TP、氨氮、SS 指标的瞬时值和平均值均稳定达到并且远优于一级 B 标准,部分指标已经满足提标后标准要求。出水

COD、BOD₅、TN、TP、氨氮、SS 指标的平均值均已满足提标后标准要求,但 6 项主要出水指标的瞬时值达到提标后新标准的累计频率分别为 100%、99.62%、95.2%、79.5%、99.2%、70.3%。在现状进水水质条件下,一、二期出水 COD 瞬时值和出水氨氮年均值稳定达到本次提标改造出水水质要求;出

表 1 提标前污水处理厂进、出水水质(单位:mg/L)

Tab. 1 Influent and Effluent Quality of the WWTP before Upgrading (Unit: mg/L)

项目	进水						出水					
	COD	BOD ₅	TN	TP	氨氮	SS	COD	BOD ₅	TN	TP	氨氮	SS
最大值	457.00	205.00	45.80	15.90	24.90	699.00	38.00	14.50	18.82	0.82	6.90	15.00
最小值	92.00	50.00	14.18	0.95	8.48	80.00	3.00	1.00	4.26	0.09	0.02	3.50
平均值	161.49	79.17	20.90	4.73	14.71	217.75	13.05	3.44	10.12	0.38	1.18	8.84
一级 B 标准	-	-	-	-	-	-	60	20	20	1	8(15)	20
提标后标准	-	-	-	-	-	-	40	10	15	0.5	5(8)	10

注:氨氮指标括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标;出水氨氮指标(年均值)≤1.5 mg/L(穗府办函〔2018〕83号),下同。

水氨氮、TN 瞬时值偶尔超标(冬季低温期:12月—次年3月),可通过增强曝气强化硝化作用、投加碳源来强化反硝化脱氮效果;出水 TP 和 SS 指标距本次提标改造目标还有较大差距,是本次提标工作重点。

2.3 工艺评估

一、二期工程均采用 UNITANK 工艺,其主要特点:生物处理一体化布置,占地面积小,无需回流,序批式运行,易于实现工程的自动控制。一期工程 UNITANK 反应池共 4 组,单组规模为 2.5 万 m³/d,总变化系数为 1.3,水力停留时间为 12.8 h,其中反应时间为 8.6 h,沉淀时间为 4.2 h。二期改良 UNITANK 反应池共 4 组,单组规模为 2.5 万 m³/d,总变化系数为 1.3,水力停留时间为 13.3 h,其中反应时间为 8.8 h(含厌氧时间 0.74 h),沉淀时间为 4.5 h。二期工程改良 UNITANK 反应池在进水段专门增加厌氧区,增加污泥回流措施,强化除磷效果,但实际运行效果不佳。主要是在 UNITANK 工艺中,两侧生物反应区轮流作为缺氧区、沉淀区,中间反应区固定作为好氧区,好氧区停留时间进一步缩短(厌氧区也挤占了缺氧区容积)、溶解氧利用不充分,沉淀区后部分污泥回流至厌氧区,这部分回流污泥的溶解氧含量较高,导致聚磷菌无法有效释放磷。从一、二期运行情况看,除磷需借助化学药剂,增加了运行成本。对比三期工程,AAO 生物反应池+二沉池的水力停留时间为 18.3 h,本工程仅通过一、二期工程 UNITANK 反应池挖潜无法满足本次提标的要求,应充分挖掘 UNITANK 反应池的除碳、脱氮功能,把 UNITANK 现有的化学除磷功能转移至后续新增深度处理构筑物中。

3 提标工程设计

3.1 设计进出水水质

提标工程设计进出水水质如表 2 所示。

表 2 设计进出水水质

Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality

指标	单位	进水	出水	处理程度
pH 值	-	6~9	6~9	/
COD	mg/L	160~280	≤40	85.7%
BOD ₅	mg/L	60~140	≤10	92.8%
TN	mg/L	25~35	≤15	57.1%
氨氮	mg/L	17.5~25.0	≤5.0(8.0)	80.0%
TP	mg/L	4.0~6.5	≤0.5	92.3%
SS	mg/L	160~300	≤10	96.7%
粪大肠菌群数	个/L	/	≤1×10 ³	/

3.2 提标改造思路

结合现状构筑物情况及现状出水水质与提标后要求出水水质差距,有针对性地采取处理措施,并结合近远期的发展需要。因此,提标工程的总体思路如下。

①COD、BOD₅ 指标:现状工程生化处理单元基本可以完成有机物的去除,现状出水 COD 瞬时值满足新标准要求,BOD₅ 瞬时值也只有极个别超标,可以通过调整生反池的运行状况实现出水达标。

②SS、TP 指标:本工程增加絮凝-沉淀-过滤的三级工艺处理,保证 TP 和 SS 达标。三级处理工艺采用集成化程度高、技术较为成熟的高效沉淀池+精密过滤工艺^[2-4]。同时,采取生物除磷和后沉淀化学除磷结合,有助于 UNITANK 生反池内碳源有效利用,改善混合液挥发性悬浮固体(MLVSS)与混合液悬浮固体(MLSS)的比例,有助于增强硝化反硝

化效果。

③TN、氨氮指标:目前 UNITANK 池是按照出水水质执行一级 B 标准设计,池体容积(生化反应时间为 8.6~8.8 h)不满足一级 A 标准(常规生化反应时间为 11~14 h)的要求。虽然一、二期工程出水氨氮瞬时值(表 1 中最大值为 6.90 mg/L)不能稳定达标新要求[$\leq 5(8)$ mg/L],但是三期工程出水氨氮较低(2024 年最大值为 1.36 mg/L,年均值为 0.2 mg/L),提标工程实施后一、二、三期工程共用一个排口,现状一、二、三期总出水氨氮的瞬时值能够稳定达新标。提标后,UNITANK 池合理控制硝化作用即可。对于 TN,一方面将化学除磷转移到后续三级处理工艺段完成,必要时(冬季低温期)可在 UNITANK 池投加碳源提高反硝化速率,改善生反池的反硝化脱氮效果;另一方面,响应业主要求及适应出水 TN 指标进一步严格的可能,拟在远期改造中增加反硝化设施,进一步确保 TN 稳定达标。

④中间提升泵房:本提标工程前端一、二期 UNITANK 生反池出水水位较低值标高为 4.55 m;后端三期加氯接触池前池水位标高为 5.10 m。可见,本提标工程末端构筑物水位高于前端生反池水位标高,需要设中间提升泵。

⑤消毒工艺:现状一、二期工程采用紫外消毒,

三期采用接触加氯消毒池(建设规模为 40 万 m^3/d ,预留一、二期处理能力),提标后一、二、三期均采用加氯接触消毒池。

⑥计量工艺:提标工程在中间提升泵房后设置计量井,用于计量进入三级深度处理的污水量,便于调控加药量等运行参数。现状一、二期工程出水采用计量井计量,三期出水采用巴氏计量槽(土建规模为 60 万 m^3/d ,设备规模为 40 万 m^3/d ,预留一、二期处理能力),提标后一、二、三期出水均采用巴氏计量槽。

⑦污泥处理:本工程产生的剩余污泥通过管道输送至储泥池然后进入后续处理单元,经复核可满足处理要求,无需新增设备。

3.3 提标工艺

3.3.1 提标工艺流程

考虑目前进水水质暂未达到设计水质,为了提高投资效益,升级改造工程分步实施。本次重点挖掘 UNITANK 生反池的除碳和脱氮潜能,新增深度处理构筑物对 UNITANK 生反池出水中的 SS 和 TP 指标进行处理,使其达到出水排放标准;远期待进水污染物浓度较高或出水 TN 指标进一步严格后,增加反硝化生物滤池以及 UNITANK 池内增加填料,确保远期出水水质稳定达标。本次提标工程工艺流程如图 2 所示。

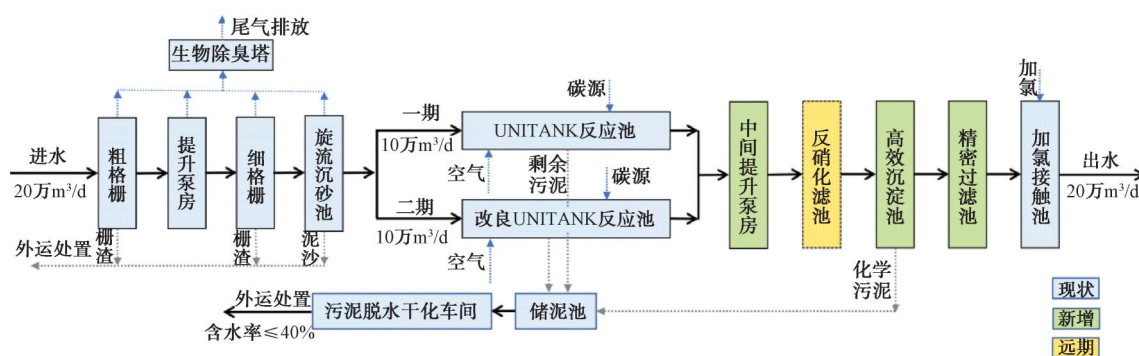


图 2 一、二期工程提标后工艺流程

Fig. 2 Process Flow after Upgrading for Phase I and Phase II Projects

本工程近期新增建构筑物重点用于去除污水中的 TP 和 SS,确保出水稳定达标排放。高效沉淀池内首先投聚合氯化铝(PAC)药剂,与进水中的 SS 和 TP 发生化学混凝反应,生成沉淀物;然后投加聚丙烯酰胺(PAM)助凝剂,可促使沉淀物更加紧密、稳定;污水进入高效沉淀区通过污泥层的拦截过滤和斜板区的沉淀作用,可基本实现 TP 和 SS 去除,

但高效沉淀池出水 SS 可能会发生一定的波动。因此,在高效沉淀池后设置精密过滤池,通过它的过滤保障作用,确保出水水质稳定达标。

3.4 主要构筑物设计

①中间提升泵房(新建)

新建中间提升泵房 1 座,平面长(L) $\times$ 宽(B)= 15.50 m $\times$ 12.20 m,设计规模为 20 万 m^3/d 。设 5 台

潜水轴流泵,变频,4用1备,单台参数:流量(Q)=752 L/s,扬程(H)=7.0 m,功率(P)=90 kW,配套检修葫芦及检修阀门等。

②高效沉淀池(新建)

新建高效沉淀池4座,两两对称布置,2座的平面为 $L \times B = 63.1 \text{ m} \times 17.60 \text{ m}$,设计规模为20万 m^3/d 。每座包括1格快速混合池、1格絮凝池和1格沉淀浓缩池。单座沉淀池设计参数: $Q = 2\,083 \text{ m}^3/\text{h}$ (高峰流量为2708 m^3/h),单格快速混合池有效容积为70.65 m^3 ,混合反应时间为2.03 min(高峰流量时该值为1.57 min),单格絮凝池有效容积为374.4 m^3 ,混合反应时间为10.78 min(高峰流量时该值为8.29 min);沉淀浓缩池直径为16 m,表面水力负荷为10.37 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ [高峰流量时该值为13.48 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]^[2-5]。

③精密过滤池(新建)

新建精密过滤池1座,平面为 $L \times B = 27.60 \text{ m} \times 21.10 \text{ m}$,设计规模为20万 m^3/d 。共设置8套过滤器^[6](7用1备),单台处理能力为32500万 m^3/d , $P = (0.75 + 0.04) \text{ kW}$ 。每套包含28片聚酯尼龙过滤转盘及配套设施,滤布平均网孔直径为15 μm 。

④UNITANK池(内部改造)

本次通过在缺氧区投加碳源,强化UNITANK池的脱氮效率。

⑤加氯加药间(增加设备)

本次改造不增加药剂储罐,仅增加投加设备。

PAC(质量分数为10%)最大投加量为14.31 m^3/d ,利用现状设备增加管线投加。PAM最大投加量为160 kg/d ,NaClO(质量分数为10%)最大投加量为20.0 m^3/d 。

PAM制备及投加装置2套,系统能力为8 kg/h (制备质量分数为0.2%),含在线稀释和投加泵等。PAM投加泵6台(4用2备),单泵参数: $Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 40 \text{ m}$, $P = 1.1 \text{ kW}$ 。增压泵3台(2用1备),单泵参数: $Q = 55 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 45 \text{ m}$, $P = 6 \text{ kW}$ 。

次氯酸钠投加计量泵4套(3用1备),变频,单泵参数: $Q = 100 \sim 500 \text{ L}/\text{h}$, $H = 40 \text{ m}$, $P = 0.55 \text{ kW}$ 。

⑥碳源投加间

新建碳源投加间1座,平面 $L \times B = 10.75 \text{ m} \times 7.00 \text{ m}$ 。乙酸钠最大投加量(有效成分为25%)为21.80 m^3/d 。碳源储罐2套,单座容积为25 m^3 ,配套搅拌机 $P = 1.5 \text{ kW}$ 。碳源投加隔膜计量泵5台,4用1备,单泵参数: $Q = 500 \text{ L}/\text{h}$, $H = 40 \text{ m}$, $P = 0.55 \text{ kW}$ 。

3.5 本次提标工程平面布置

本提标工程主要新建构筑物为中间提升泵房、高效沉淀池和精密过滤池,采用集中布置形式,位于现状一期UNITANK生反池与西侧围墙间绿化用地,如图3所示。本工程近期、远期深度处理用地面积分别为7500、11150 m^2 ,用地指标为0.038、0.056 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,远低于《城市污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022)用地控制标准的0.25 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,节地效益显著。

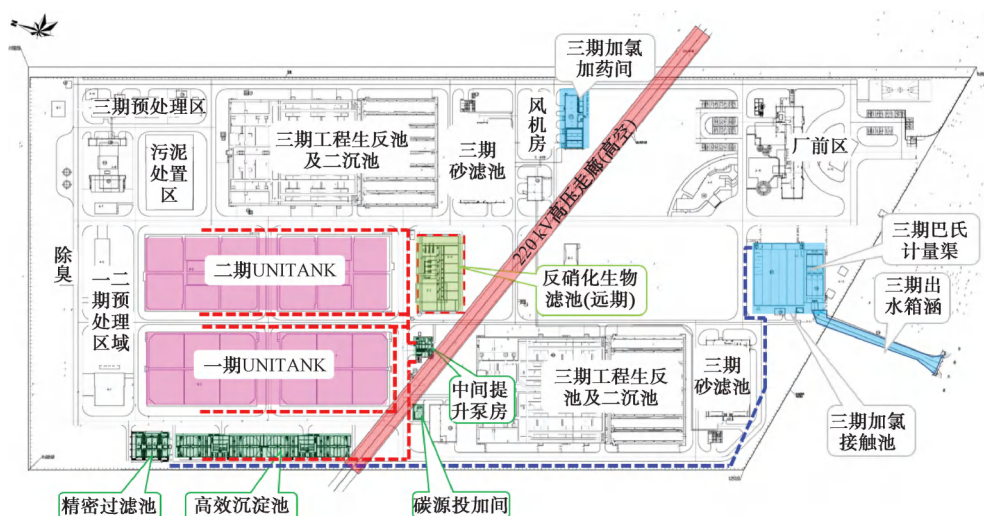


图3 一、二期工程提标工程平面布置

Fig. 3 Plan Layout of Upgrading Projects for Phase I and Phase II

4 设计经验

4.1 针对重点目标污染物采取节地经济工艺

现状一、二期工程出水 COD、BOD₅、TN、氨氮指标瞬时值和平均值基本达到提标后新标准要求,出水 TP、SS 指标(平均达提标后新标准的累计频率不足 80%)是本次提标改造重点。深度处理采用高效沉淀池+过滤器工艺,通过投加絮凝剂沉淀以及滤网/布的拦截和筛滤作用,可有效去除污水中的 TP、SS,技术成熟可靠、占地面积小,综合投资低。

4.2 基于现状选择近远期目标高效衔接工艺

针对进水污染物浓度较低,充分挖掘现状 UNITANK 生反池的潜能,重点发挥 UNITANK 生反池的除碳、脱氮效能。近期改造内容:1) 将提标前在生反池加药进行化学除磷的需求转移至后续深度处理单元(高效沉淀池+过滤),消除生反池化学除磷对污泥性状的不利影响;2) 生反池增加碳源投加,解决缺氧区反硝化阶段碳源不足的问题,提升生物脱氮效能。远期改造内容:随着进水水质变浓以及出水水质要求进一步提高(尤其是 TN 指标),本次一并考虑了可以与近期工程措施高效衔接的远期

工程措施,主要是生反池增加填料提升微生物浓度,进一步强化生物除碳和脱氮作用以及增加反硝化生物滤池实现深度脱氮^[7-9]。

4.3 厂内统筹实现提标进水不停产接驳

提标改造过程中保障现状污水处理厂不停产稳定运行是十分必要的。本工程一、二、三期工程设计规模分别为 10 万、10 万、20 万 m³/d,峰值变化系数均为 1.3。2016 年 6 月—2018 年 6 月,污水处理厂污水总量基本维持在 30 万 m³/d 左右,最大值为 37.22 万 m³/d。因此,可以通过在平均流量或者低谷流量时对水量进行重新调配,实现施工期间不停产。本工程不停产接驳实施方案包括:1) 新建、改建的构筑物施工完毕且完成联动调试,具备进水条件;2) 通过进水汇流井的调配,水量低谷时使二、三期工程满负荷运行承担污水处理任务,一期工程短暂停水安装接驳阀门 a、b,阀门 a 打开可以在调试期间按原出水标准运行,阀门 b 打开可以对提标工程进行调试,正常运行时阀门 a 关闭阀门 b 打开;3) 按照步骤 2 完成二期工程的接驳工程,如图 4 所示。

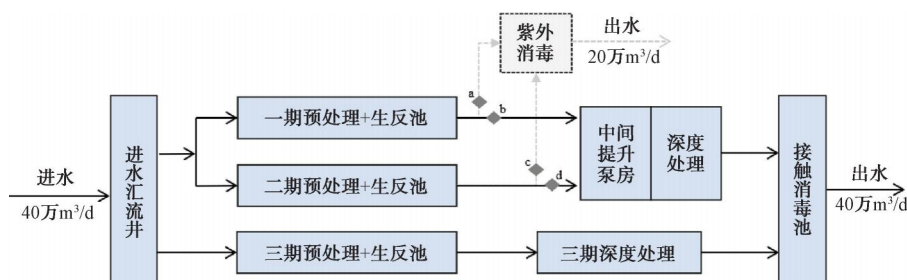


图 4 一期、二期工程提标工程接驳改造

Fig. 4 Connection and Retrofit for Upgrading Projects of Phase I and Phase II

4.4 前、后端构筑物受限条件下精准水力计算

本提标改造工程,前端受制于一、二期现状生反池出水水位,末端受制于现状接触消毒池,水力计算尤为重要。一期生反池出水水位为 4.76 m,二期生反池出水水位为 4.55 m,扣除沿程和局部水头损失后,达到中间提升泵房集水坑的液位为 3.65 m(两者较低值),以此作为提升泵房运行常液位,既可以保护水泵,也不浪费水头。同时,以一、二、三期工程全部通过接触消毒池的流量计算接触消毒池前端进水区液位为 5.10 m,此液位比三期工程单独运行时的 5.00 m 高出 0.10 m,本工程投产后要及时复核三期工程运行液位,避免共用构筑物液位的变化导

致前端运行不顺畅。基于前后端液位的精准计算和合理设置,再结合本次选用深度处理构筑物的水头损失,进一步选择提升泵的扬程及新增构筑物高程。

4.5 一、二、三期工程共用排口

本工程改造完成后,厂区共用现状三期排放口,原一、二期较低排放要求的排口停止使用。结合现状三期工程运行较为稳定,实际出水水质显著优于设计出水水质,因此,一、二期工程因为前端 UNITANK 生反池的限制,部分污染物的去除需要较高的成本,可以充分利用三期工程实际出水水质与设计出水水质之间的差值,在一定程度上节约运行成本,确保一、二、三期工程混合后出水水质稳定达

标即可。

4.6 厂区上空横穿高压线限制

按照电力保护相关要求,220 kV 架空高压线下方不得布置建构筑物,并且还有垂直距离和净空距离要求。本工程实施前,构筑物布置按照高压线迁改进行设计。但设计过程中高压线迁改工作受阻,导致需要重新布置构筑物,耽误了一定的设计周期,且导致用地碎片化,后期预留用地使用效率大打折扣。因此,应提前予以规划和迁改,缩短设计周期和提高土地利用效率。

5 运行效果

5.1 进、出水水质

本工程于 2020 年开始调试、试运行并分批进行竣工验收,自 2021 年稳定运行至今,出水达标。由于设计过程充分考虑接驳等要求,在实施过程中一直正常生产,短时接驳也未对污水处理厂运行造成不良影响。2021 年 1 月 1 日—2024 年 7 月 31 日,

一、二期工程平均运行水量为 21.55 万 m^3/d ,即使在适量超负荷(超负荷 7.8%)运行条件下,提标改造工程仍稳定运行,一、二、三期工程混合出水水质稳定达标,如表 3 所示。出水水质稳定达标的主要原因如下:1)进水水质改变。随着管网提质增效工作的推进,进水 BOD_5 、TN 和氨氮质量浓度有显著提升,有充足的内碳源实现生物脱氮,且 TP 浓度下降,减小了除磷的压力;2)运行方式改变。随着一、二期提标工程新增构筑物用于去除 TP 和 SS,生反池不再受制于化学除磷对生化系统污泥性能的影响,有利于生物脱氮的实现;3)一、二、三期出水混合。三期工程出水远优于一、二期工程提标改造后出水,可以减小一、二期工程的压力。以 2024 年为例,一、二期工程提标改造后生反池出水 TN、氨氮和 TP 年均质量浓度分别为 10.51、1.87 mg/L 和 0.31 mg/L ,三期工程生反池出水 TN、氨氮和 TP 年均质量浓度分别为 6.25、0.20 mg/L 和 0.20 mg/L 。

表 3 提标后污水处理厂进、出水水质

Tab. 3 Influent and Effluent Quality of the WWTP after Upgrading

项目	水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	进水/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)						出水/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)					
		COD	BOD	TN	TP	氨氮	SS	COD	BOD_5	TN	TP	氨氮	SS
最大值	261 667	341	193	40.00	5.06	39.00	1 010.00	29	9	14.80	0.49	3.63	9.00
最小值	135 337	48	28	5.43	0.57	2.86	30.00	2	1	2.75	0.05	0.04	2.00
平均值	215 491	168	97	25.21	2.52	22.68	181.21	12	5	8.73	0.25	0.80	3.83
提标后标准	—	—	—	—	—	—	—	40	10	15.00	0.50	5.0(8.0)	10.00

5.2 投资及运行成本

提标工程预算审核建安费为 8 673.65 万元,折合投资为 433 元/(m^3 污水),属于较为节省投资的工程^[10]。按照设计测算新增部分药耗电耗成本约为 0.36 元/(m^3 污水),但实际运行新增成本约为 0.20 元/(m^3 污水)。实际运行成本低于测算成本的主要原因:1)随着片区污水管网的完善,进厂有机物浓度有所提升,导致碳源投加量减少;2)一、二期工程出水与三期工程共用排口,且三期工程实际出水水质优于设计标准,一、二期工程实际出水的部分指标可以适当高于设计标准,确保排口处混合出水水质满足设计标准要求即可,可以节省部分费用。

6 结论

本提标工程在 UNITANK 生反池处理工艺的基础上,深度挖掘生反池的除碳和脱氮效能,深度处理采用技术成熟、运行稳定的“高效沉淀池+精密过

滤”工艺,在实际平均运行规模超负荷 7.8%的情况下,出水水质全面达标以及优于提标后出水水质要求。通过集约化布置和选用节地型工艺,近期深度处理用地指标仅为 0.038 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,远期增加反硝化滤池后深度处理用地指标仅为 0.056 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,分别为国家建设用地标准[0.25 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$]的 15%和 22%,节约宝贵土地资源。通过精细化的水力计算和巧妙的接驳改造设计,在前、后端构筑物水位标高受限的情况下合理设计处理构筑物,且项目实施过程中污水处理厂仍稳定运行,未出现减产停产现象,成效显著。

参考文献

- [1] 沈振中. 现状污水处理厂改扩建工程设计优化要点[J]. 净水技术, 2025, 44(1): 178-184.
SHEN Z Z. Design and optimization key points for reconstruction and expansion project of existing WWTP[J]. Water Purification

- Technology, 2025, 44(1): 178–184.
- [2] 张双, 杨仁凯, 陈贵生, 等. 高效沉淀池与滤布滤池组合工艺在某污水处理厂提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(2): 26–31, 49.
- ZHANG S, YANG R K, CHEN G S, et al. Application of combined processes of high-efficiency sedimentation tank and cloth media filter for upgrading and reconstruction project of a WWTP[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(2): 26–31, 49.
- [3] 高宗仁, 孙腾. 日照市某地下式污水处理厂设计[J]. 净水技术, 2022, 41(11): 160–167.
- GAO Z R, SUN T. Design of an underground WWTP in Rizhao City[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 160–167.
- [4] 魏金豹. AAO+高效沉淀池+滤布滤池工艺在污水处理厂提标中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(6): 183–191.
- WEI J B. Application of AAO + high-efficiency sedimentation tank + cloth media filter processes in WWTP upgrading project [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(6): 183–191.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Standard for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021.
- [6] 姚雨, 刘丽, 尹华升, 等. 高效沉淀+精密过滤工艺用于污水处理厂提标改造工程[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 112–117, 130.
- YAO Y, LIU L, YIN H S, et al. Application of high efficient sedimentation fine filtration process in WWTP upgrading project [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(5): 112–117, 130.
- [7] 张晶瑶. 某污水处理厂进水水质分析与扩建升级改造工艺方案[J]. 净水技术, 2024, 43(6): 135–144.
- ZHANG J Y. Analysis of influent water quality and process scheme of expansion, upgrading and reconstruction project of a WWTP [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6): 135–144.
- [8] 刘金星, 胡邦, 程明涛. 紧凑用地的污水处理厂工艺设计[J]. 中国给水排水, 2024, 40(22): 58–62.
- LIU J X, HU B, CHENG M T. Process design of wastewater treatment plant under land constraint [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(22): 58–62.
- [9] 龚晓露. 大型污水处理厂集约式多段 AAO 低耗工艺设计[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 162–168.
- GONG X L. Design of integrated multi-stage AAO process with low consumption for large WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 162–168.
- [10] 黄兴. 武汉汉西污水处理厂提标工程设计与运行[J]. 中国给水排水, 2024, 40(20): 53–58.
- HUANG X. Design and operation of Wuhan Hanxi WWTP upgrading project [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(20): 53–58.

(上接第 54 页)

- [8] CRITTENDEN J C, TRUSSELL R R, HAND D W, et al. Water treatment: Principles and design[M]. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- [9] BRAFBY J. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment[M]. London: IWA Publishing, 2016.
- [10] REN Y M, ALHAJERI M S, LUO J W, et al. A tutorial review of neural network modelling approaches for model predictive control[J]. Computers & Chemical Engineering, 2022, 165, 107956. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2022.107956.
- [11] GRIFFITH K A, ANDREWS R C. The application of artificial neural networks for the optimization of coagulant dosage [J]. Water Supply, 2011, 11(5): 605–611.
- [12] KINGMA D P, BA J. Adam: A method for stochastic optimization[C]. San Diego: Proceedings the 3rd International Conference for Learning Representations, 2015.