

# 宁波市基于污水厂工艺全流程分析及优化运行模式的实践

卢汉清<sup>1</sup>, 张 莺<sup>1</sup>, 沈 浩<sup>1</sup>, 陈明飞<sup>2</sup>, 支丽玲<sup>2</sup>

(1. 宁波市城市排水有限公司, 浙江 宁波 315192; 2. 江南大学 环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:** 在国家对水环境不断重视、排水标准不断提高的背景下,有必要对现有污水处理厂进行详细深入的水质特性和运行现状调研分析,提出有针对性的优化运行和提标改造建议,保证污水厂稳定运行。宁波市城市排水有限公司将污水厂全流程工艺分析工作列入提升污水主业运营水平的管理范畴,对现有三座污水厂进行了工艺全流程分析及优化的实践,详细介绍了 A 厂的实践结果,总结了三座污水厂的共性问题,按照“发现问题—制订研究方案—调试及分析研判—确定解决措施”的工作思路,建立排水公司自主的应对体系和操作流程,在此基础上逐步形成优化运行的“一厂一策”,并探索春、夏、秋、冬等不同季节各污水厂工艺的高效运行模式。

**关键词:** 污水处理厂; 工艺全流程分析; 一厂一策

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0024-08

## Practice on Whole Process Analysis and Optimized Operation Mode of Sewage Treatment Plants in Ningbo

LU Han-qing<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>1</sup>, SHEN Hao<sup>1</sup>, CHEN Ming-fei<sup>2</sup>, ZHI Li-ling<sup>2</sup>

(1. Ningbo Municipal Sewerage Co. Ltd., Ningbo 315192, China; 2. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Under the background of nationally continuous attention to water environment and improvement of drainage standards, it is necessary to provide targeted proposals for optimal operation and upgrading reconstruction based on detailed investigation and analysis on the water quality characteristics and operation status of the existing sewage treatment plants, so as to improve the stable operation of sewage treatment plant. Ningbo Municipal Sewerage Co. Ltd. has included whole process analysis into the management scope of improving main industry operation level and practiced it in the existing three sewage treatment plants. The practical results of plant A were elaborated, and the common problems of the three sewage treatment plants were summarized. According to the working ideas of “identifying problems – developing research plans – analyzing and judging – finding solutions”, the company has set up its own response system and operation process, and gradually formed the “one plant one policy” to explore the efficient operation mode of each sewage treatment plant in different seasons.

**Key words:** sewage treatment plant; whole process analysis; one plant one policy

### 1 工艺全流程分析优化的前期探索

#### 1.1 公司下属污水厂概况

截至 2018 年底,宁波市城市排水有限公司(以下简称市排水公司)下属共有 A、B、C、D、E 五座污

水处理厂,日处理能力为  $86 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,承担着主城区 60% 以上的污水处理任务,总服务面积为 919.14  $\text{km}^2$ 。服务范围内共有市排水公司管辖的上游泵站 54 座,沿线雨污管网约 674 km。

## 1.2 水量及水质的扩容提标要求

目前,市排水公司下属5座污水厂中,有一座污水厂出水水质已在执行特别排放限值要求,其余4厂执行标准分别从二级标准、一级B标准提至一级A标准。随着公司各污水处理厂提标改造、扩容工程的陆续推进,到2020年污水处理厂设计规模将扩大到 $95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,2022年将扩大到 $126 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水指标将提升到浙江省地方标准《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)或更高要求(如特别排放限值等)。

## 1.3 工艺流程分析优化的必要性

经对公司下属污水处理厂2013年—2015三年的工艺综合分析,发现各厂工艺运行上存在诸多共性和个性问题,诸如碳源不足、脱氮效率低、除磷效果不稳定等情况。而当时所掌握的进水水质组分及过程性指标变化情况信息不全,不能准确掌握各厂全过程中的运行问题,进而也难以提出较好的针对性解决方案。

面对出水高标准要求,必须清晰地认识到掌握进水组分及过程变化对提高污水厂精细化运行管理的必要性:①准确掌握污水厂源头的进水水质情况尤为重要,它对组分跟踪分析,以及后续工艺运行管理具有重要指导作用,还可以为污水厂工艺、设备选择及后续的工艺优化调控提供可靠数据支撑;②对过程性数据进行分析,可以更好地掌握主要污染物指标的处理情况,对于提高污水厂稳定运行、出水合格达标具有直接的指导作用。

## 1.4 前期探索取得的初步成果及存在的问题

2016年—2017两年内陆续开展了对公司下属污水处理厂的进水与过程水质化验分析研究工作。通过大量的数据统计、分析与比对,对各厂的进水组分,沿程碳源、脱氮、除磷的变化情况,污泥的脱氮除磷能力有了较为初步的掌握,也为这期间的A厂工程性内部技改提供了决策依据。例如,脱氮通过增加缺氧段停留时间、加大内回流比,2016年5月—12月和2017年5月—12月同期在进水TN平均都为 $27 \text{ mg/L}$ 时,出水TN从平均 $16.7 \text{ mg/L}$ 降低到 $10.5 \text{ mg/L}$ ,去除率从平均38%提高到61%;通过化学辅助除磷,对比2016年与2017年同期TP的去除效率从平均61%提升到71%,出水TP从平均 $1.1 \text{ mg/L}$ 降低到 $0.71 \text{ mg/L}$ ,脱氮除磷效果都有明显提升。与此同时,也发现了两方面需要解决的问题:

一是需加强对试验结果的重现性论证。从化验数据与分析结果看,有个别厂的运行存在相互矛盾的地方,例如厌氧释磷速率与沿程磷酸盐的变化规律不符,反硝化速率与沿程硝态氮变化情况不符等,需要进一步验证试验的重现性及数据的准确性。

二是需对各厂情况进行针对性的分析研判。从生产运行情况来看,目前从出水执行低标准到高标准的要求,各厂的共性问题为碳源不足、污泥浓度过高等,但下一步如何针对各厂的具体情况进行技改和工艺调整,需要大量的分析数据作支撑,加强工艺流程分析,阐明解决各厂存在问题的迫切性和改善的必要性,并把脱氮除磷效率低作为首先要解决的问题,最终制定出针对性的“一厂一策”方案。

## 2 工艺流程分析优化的学习与实践

基于2016年—2017年的工艺流程分析探索,市排水公司有针对性地制订了对A、B、C厂的试验方案设计(D厂已经在执行特别排放限值标准,且运行较为稳定,E厂正在进行转隶交接,相关情况未理顺,因此该两厂暂缓进行),随后用半年多时间平行推进试验方案的实施、数据整理及研判、试验结果的分析。具体工作内容包括:

① 掌握并分析历年进出水数据规律。通过对各厂近3年日进出水水质数据的统计分析,研究有机物、氮、磷等污染物的变化规律,掌握进水水质特征<sup>[1]</sup>和变化规律,同时对污水厂执行的现行标准和提标所要达到要求的难度进行初步分析。

② 开展工艺流程功能测试。通过对整个污水处理流程的沿程布点,分析主要污染物的沿程变化特征,对系统的不同功能区(如厌氧区、缺氧区和好氧区)或不同工艺运行阶段的污染物去除效果进行测试,分析主要污染物指标的沿程变化特征<sup>[2]</sup>,从而分析工艺运行各环节是否处于最佳运行状况,确定优化关键点。

③ 开展活性污泥功能区指标模拟测试。对活性污泥的硝化速率、反硝化速率和潜力、厌氧释磷速率和潜力特性等污泥活性特征进行试验,判断污泥活性组分的脱氮除磷能力,结合工艺参数分析,提出可优化的参数。

④ 开展针对性模拟优化试验。针对各厂情况,制订有针对性的模拟优化方案,适当改变试验条件,探索最佳工艺运行条件,并通过测试结果验证方案的可行性,从而确定有针对性的优化运行措施。

### 3 阶段性试验成果

根据对3座污水处理厂具体开展的工艺流程测试以及模拟试验分析结果,先后完成了各厂的优化运行研究分析报告。

#### 3.1 以A厂为例的全流程分析优化

A厂是宁波市区首座城市污水处理厂,一、二期总设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污泥处理采用浓缩脱水工艺,脱水后的泥饼外运焚烧处置,出水执行二级标准。其中一期规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,于1999年1月投入运行,采用普曝工艺,2017年底开始进行提标改造并于2019年6月底完成,提标改造后将扩容至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 并采用MBR工艺,因为工艺发生改变,因此本轮工作未对一期进行分析研究;二期工程规模为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,于2001年3月投入运行,污水处理采用 $\text{A}^2/\text{O}$ 除磷脱氮工艺,提标改造后将减容至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 并延用 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺,因此本轮的全流程分析优化工作主要针对二期工程来进行。

##### 3.1.1 历史进、出水数据分析

###### ① 进、出水水质历年变化特征分析

根据对2017年12月—2018年7月期间污水厂的进出水数据进行统计分析,出水水质基本满足一级A排放标准,但若按照浙江省地方标准《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)或更高要求(如特别排放限值等),除出水COD、 $\text{BOD}_5$ 、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 略有风险外,TN、TP存在一

定的达标难度,该两项指标的进一步降低是A厂优化运行的关键。

###### ② 进水水质对工艺的影响及达标难度分析

对于要求具有脱氮除磷功能的污水处理厂,氮磷能否很好地被去除在一定程度上取决于污染物比例,一般需要考虑的污染物比例有 $\text{BOD}_5/\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5/\text{TN}$ 、 $\text{BOD}_5/\text{TP}$ 、 $\text{SS}/\text{BOD}_5$ 等,因此统计了A厂2017年12月—2018年7月该系列比值的变化情况,以此来分析污染物的去除难度,结果表明: $\text{BOD}_5/\text{COD}$ 可生化性处于正常水平; $\text{BOD}_5/\text{TN}$ 总体处于较低水平,进水碳源应优先用于脱氮; $\text{BOD}_5/\text{TP}$ 基本能满足生物除磷对碳源的需求。

对于城市污水处理厂而言,其进入生物系统的 $\text{SS}/\text{BOD}_5$ 比值对通过无机沉淀和有机物生成而产生的污泥的比例产生一定的影响,从而影响生物系统有效成分的含量(即 $\text{MLVSS}/\text{MLSS}$ )。除特殊情况外,A厂进水 $\text{SS}/\text{BOD}_5$ 最高值约16.42,最低值约0.56,均值约为2.55,污水悬浮物的比例较高。其中, $\text{SS}/\text{BOD}_5 > 1.2$ 的比例占到73%,无机悬浮固体较多。

##### 3.1.2 进水SS粒径分布

为进一步掌握预处理区对进水SS去除效果提升的可能性,对SS的粒径分布进行了测定,结果见表1。根据SS粒径分布研究该进水中悬浮物的沉降性能,可为之后旋流沉砂池改造提供依据。

表1 A厂二期进水砂粒径分布

Tab.1 Particle size distribution of influent sand in the second stage of A WWTP

%

取样位置	不同粒径范围含砂比例								
	>200 $\mu\text{m}$	150~200 $\mu\text{m}$	50~150 $\mu\text{m}$	25~50 $\mu\text{m}$	10~25 $\mu\text{m}$	5~10 $\mu\text{m}$	1~5 $\mu\text{m}$	<1 $\mu\text{m}$	
A厂	上层	未统计	0.81	14.70	23.93	27.97	13.76	15.42	3.24
	中层	0	0.16	16.92	30.32	28.83	11.70	10.36	1.71
	下层	未统计	1.03	19.95	30.86	28.00	10.24	8.19	1.39

由表1数据可知,该厂进水颗粒粒径呈现出明显的规律性和稳定性。该厂进水颗粒粒径主要集中在1~150  $\mu\text{m}$ 之间,其中10~50  $\mu\text{m}$ 的颗粒物约占58%,50~150  $\mu\text{m}$ 的颗粒物占14.70%~19.95%,大颗粒含量较少。

此外,该厂进水上层颗粒的粒径分布与中层、下层相似,整个池内并未出现明显分层现象。进而表明,沉砂池对小粒径的无机颗粒沉降效果不明显,通过现有旋流沉砂池的技术改造对提升SS去除效果帮助不大。

##### 3.1.3 全流程分析优化小结

###### ① 沿程DO变化情况

各工艺段DO的控制对脱氮除磷的效果起着重要作用,沿程DO变化如图1所示。AAO工艺内厌氧段和缺氧段DO为0.08~0.14 mg/L,但由于厌氧段存在 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,厌氧段并没有较好的厌氧环境,缺氧池中段的DO为0.64 mg/L,没有形成缺氧环境,不利于反硝化反应的进行。好氧段DO为0.7~3.73 mg/L,好氧池末端DO偏高,导致内回流携带大量 $\text{DO}^{[3]}$ ,使得缺氧池中段DO值偏高。

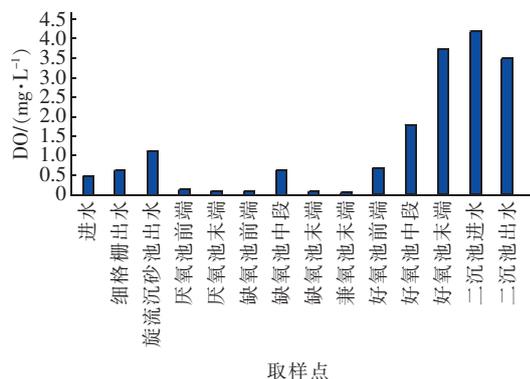


图1 A厂二期沿程DO变化情况

Fig. 1 DO change along the process in the second phase of A WWTP

### ② 沿程COD变化情况

沿程测试的COD变化如图2所示。进水COD为595 mg/L,进水SCOD/COD约为21.7%,含有较多不溶性COD。经细格栅处理后COD降低至243 mg/L,预处理段对颗粒态COD的去除效果明显。厌氧段COD显著下降,结合氮的沿程变化结果,厌氧段和缺氧段均发生了反硝化作用;二沉池出水COD为18 mg/L,能同时达到浙江省地方标准(现有污水厂为40 mg/L)和特别排放限值标准(30 mg/L)要求。

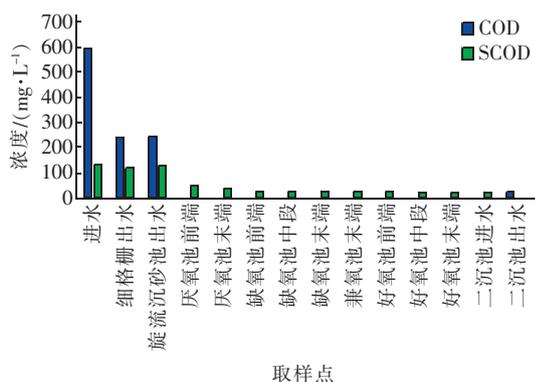


图2 A厂二期沿程COD变化情况

Fig. 2 COD change along the process in the second phase of A WWTP

### ③ 沿程氮变化情况

A厂二期沿程氮含量变化情况见图3。由图3可知,A厂二期进水STN较高(56.7 mg/L),进水TN绝大部分为溶解性TN,且STN中主要成分为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。经分析,硝态氮在厌氧和缺氧池均发生了反硝化作用<sup>[4]</sup>。此外,COD值与出水相近,表明在缺氧段生物可利用碳源已基本消耗完,如需进一步

提高硝态氮去除率,需外加碳源。

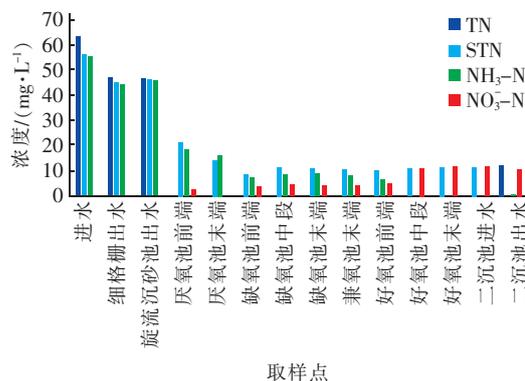


图3 A厂二期沿程氮含量变化情况

Fig. 3 Nitrogen content change along the process in the second phase of A WWTP

$\text{NH}_3\text{-N}$ 主要在好氧池内被去除。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 完全转化为硝态氮,好氧池末端的硝态氮含量远高于缺氧池末端的硝态氮含量,可以增大内回流并投加碳源以提高硝态氮的去除效率; $\text{NH}_3\text{-N}$ 于好氧池中段被完全去除,表明当前的DO控制在较高的水平,可以考虑在氨氮完全转化为硝态氮的前提下,逐步降低好氧池的DO,这样既能降低能耗又可以减小内回流携带的DO对反硝化的影响。出水TN为11.1 mg/L,可满足浙江省地方标准(现有污水厂为12 mg/L),不能达到特别排放限值标准(10 mg/L),如需进一步降低出水TN,可外加碳源或增设反硝化滤池单元强化去除效果。

### ④ 沿程磷变化情况

A厂二期沿程磷含量变化情况见图4。由图4可知,进水TP浓度偏高,为5.38 mg/L(一般城市污水处理厂进水TP为2~4 mg/L)。进水STP/TP约为66%,进水中的不溶性的TP含量较高,而不溶性的TP可被预处理单元拦截沉淀,减小生物段压力,可溶性TP成分中基本为 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ,表明有机磷含量低,常规化学除磷能有效将其去除。经分析,厌氧段无明显的厌氧释磷现象,同时由于二期活性污泥有较好的厌氧释磷能力,因此全流程未发现明显的厌氧释磷现象。其主要原因是外回流携带的大量硝态氮发生反硝化作用大量消耗进水中的可利用碳源,导致厌氧释磷过程的可利用碳源不足。好氧池出水STP为0.30 mg/L,经二沉池后出水TP为0.23 mg/L,均可达到浙江省地方标准和特别排放限值的要求( $\text{TP} \leq 0.3 \text{ mg/L}$ )。

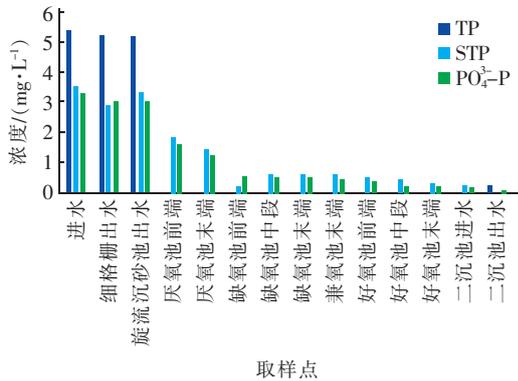


图 4 A 厂二期沿程 TP、STP 和  $PO_4^{3-}-P$  变化情况

Fig. 4 TP, STP and  $PO_4^{3-}-P$  change along the process in the second phase of A WWTP

### 3.1.4 AAO 工艺功能区指标模拟试验及优化模拟

#### ① 硝化速率

该厂二期活性污泥硝化速率较高[正常情况下为  $4 \sim 6 \text{ mgNO}_3^- - \text{N}/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ ], 结合该厂二期 AAO 工艺好氧段(水力停留时间为 7 h)的 MLVSS 为  $2000 \text{ mg/L}$ , 经核算好氧段可去除  $70.14 \text{ mg/L}$  的氨氮, 目前该厂进水氨氮浓度为  $55.8 \text{ mg/L}$  左右, 说明能够满足目前的脱氮要求。

表 2 A 厂二期缺氧池反硝化速率及潜力试验结果

Tab. 2 Test results of denitrification rate and potential of anoxic tank in the second stage of A WWTP

项 目		反硝化速率/ ( $\text{mgNO}_3^- - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \text{VSS} \cdot \text{h}^{-1}$ )	反应时间/ min	MLVSS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	MLSS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	MLVSS/MLSS
缺氧池	第一段	23.09	120	2 150	4 960	0.43
	第二段	2.16				
	第三段	1.42				
反硝化潜力试验 (投加乙酸钠液体为碳源)		17.47	60	2 445	5 370	0.46
反硝化潜力试验 (投加乙酸钠粉末为碳源)		20.8	120	1 775	3 915	0.45

在反硝化潜力试验中, 分别加入  $5 \text{ mL}$  乙酸钠液体 ( $\text{COD} = 104.38 \text{ mg/L}$ ) 和  $2 \text{ g}$  三水合乙酸钠 ( $\text{COD} = 111.5 \text{ mg/L}$ ), 测得反硝化潜力第一段均较高, 说明二期活性污泥反硝化速率和反硝化潜力都较高。反硝化速率试验中, 前  $4 \text{ min}$  内已完成了易降解碳源反硝化过程。同时该期活性污泥利用乙酸钠液体和乙酸钠粉末为碳源的反硝化潜力均较快, 因此当 TN 较高且其中主要成分为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  时, 可投加乙酸钠强化反硝化效果。

#### ③ 厌氧释磷速率及潜力

二期活性污泥厌氧释磷潜力试验结果见图 6。

#### ② 反硝化速率及潜力

考察了二期生化池污泥反硝化速率, 结果如图 5 所示。

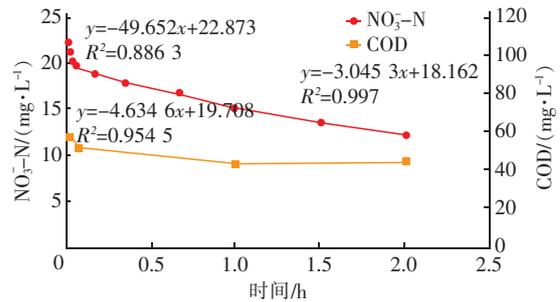


图 5 A 厂二期生化池污泥反硝化速率

Fig. 5 Denitrification rate of biochemical tank sludge in the second phase of A WWTP

由图 5 可知, 在  $2 \text{ h}$  反应时间内, 二期生化池活性污泥反硝化分为三段<sup>[5]</sup>: 第一段利用进水中的易降解碳源进行反硝化; 第二段利用剩余碳源, 反硝化速率下降明显; 第三段利用微生物内源碳源进行反硝化。COD 的下降趋势与反硝化速率相同, 反硝化速率越快, 碳源消耗速率越高, COD 浓度降低幅度越大。A 厂二期缺氧池反硝化速率及潜力试验结果见表 2。

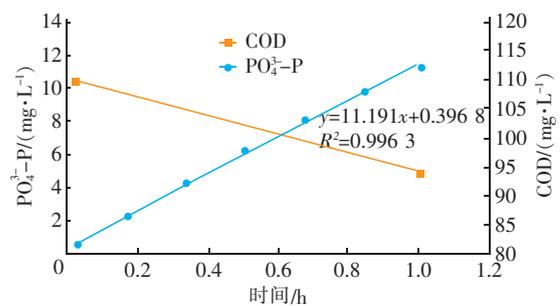


图 6 A 厂二期活性污泥厌氧释磷潜力

Fig. 6 Anaerobic phosphorus release potential of sludge in the second phase of A WWTP

二期生化池活性污泥的释磷速率为  $7.38 \text{ mgPO}_4^{3-} - \text{P}/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$  [正常的释磷速率应为  $5 \sim 10 \text{ mgPO}_4^{3-} - \text{P}/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ ], 释磷潜力为  $5.97 \text{ mgPO}_4^{3-} - \text{P}/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ , 厌氧释磷能力较好。由图6可知, 泥水混合液初始 COD 为  $110 \text{ mg/L}$ , 反应  $60 \text{ min}$  后 COD 为  $94 \text{ mg/L}$ , 每释放  $1 \text{ mg/L}$  磷酸盐需要消耗  $1.48 \text{ mg/L}$  的 COD。

#### ④ 除磷药剂比选

项目组对 A 厂进行了最佳除磷药剂(聚合氯化铝、聚合硫酸铁、聚合氯化铝铁和高效除磷药剂)最佳投加量的探究试验<sup>[6]</sup>, 结果见图7。

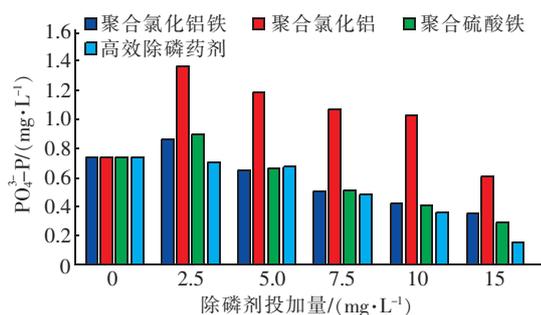


图7 A厂除磷药剂比选结果

Fig.7 Result comparison of different phosphorus removal agents in A WWTP

由图7可知:

a. 在相同投加量下除磷药剂的效果排序为: 高效除磷药剂 > 聚合硫酸铁 > 聚合氯化铝铁 > 聚合氯化铝。

b. 高效除磷药剂有效浓度为  $7.5 \text{ mg/L}$ , 聚合氯化铝铁和聚合硫酸铁有效浓度均为  $10 \text{ mg/L}$  时,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  浓度可分别降低至  $0.485$ 、 $0.425$  和  $0.42 \text{ mg/L}$ , 能够达到一级 A 标准, 而后增加药剂投量时  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  浓度进一步降低。

c. 每多降低  $0.1 \text{ mg/L}$  的  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  与需多增加的高效除磷药剂呈曲线关系(见图8), 出水磷酸盐从  $0.5 \text{ mg/L}$  (一级 A 标准)降低至  $0.3 \text{ mg/L}$  (浙江省地标或特别排放限值), 理论上需多增加  $3.5 \text{ mg/L}$  的投加量。

d. 从经济性角度来看, 由于高效除磷药剂的价格为聚合氯化铝铁的 3 倍左右, 且考虑到 pH 值的影响(见图9), 高效除磷药剂每多投加  $1 \text{ mg/L}$ , pH 值会降低  $0.036$ , 因此除磷药剂的选用应综合多方因素考虑。

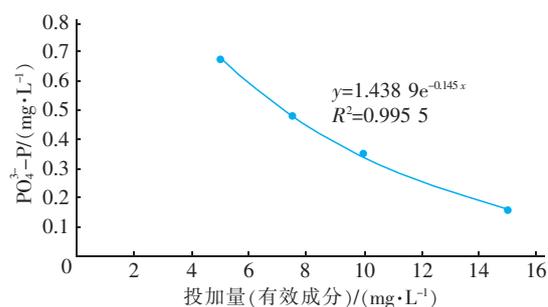


图8 A厂高效除磷药剂投加量与出水磷酸盐浓度的关系

Fig.8 Relationship between dosage of high-efficiency phosphorus removal agent and phosphate concentration of effluent in A WWTP

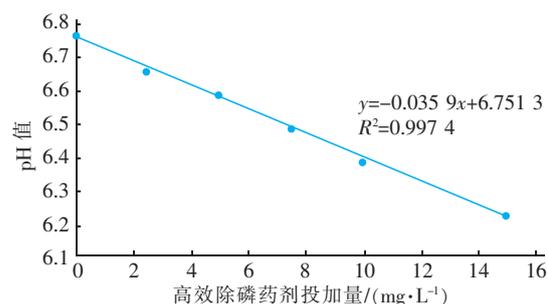


图9 A厂高效除磷药剂投加量与pH值的关系

Fig.9 Relationship between dosage of high-efficiency phosphorus removal agent and pH value in A WWTP

### 3.1.5 建议

① 二期工程在提标改造设计中, 预处理单元重点考虑有效去除 SS, 保证沉砂池的正常去除效果。

② 由于进水 TN 波动较大, 且进水 TN 中的主要成分为氨氮, 应在进水处安装氨氮在线监测仪, 根据进水氨氮值及时调整工艺。目前 A 厂二期出水 TN 基本稳定在  $11 \sim 12 \text{ mg/L}$ , 若 TN 超标且主要成分为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , 可在不影响缺氧池 DO 的条件下增大内回流比, 若增大内回流比后缺氧池  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  无法完全去除, 则外加碳源或增设反硝化滤池单元强化  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的去除效果, 以保证 TN 达标排放。

③ 虽然本次全流程测试时出水 TP 为  $0.23 \text{ mg/L}$ , 达到了类地表 IV 类水标准, 但是根据历史数据分析可知, TP 存在一定的达标难度。为保证出水 TP 达标, 应在二沉池末端安装磷酸盐在线监测仪, 可以根据磷酸盐含量及时调整除磷药剂的投加量。

## 3.2 A、B、C 三座污水厂共性问题总结

### 3.2.1 进水碳源方面

在保持现阶段出水 TN 值的情况下, 均存在碳

源在缺氧池前段被耗尽的情况。若要进一步降低出水 TN, 在进水碳源不足的情况下需外加辅助碳源。表 3 为各厂每降低 1 mg/L 的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  需要投加的两种碳源量比较。

表 3 各厂外加碳源投加量比较

Tab. 3 Comparison of carbon sources dosage in different

项 目	WWTPs	
	乙酸钠	葡萄糖
A 厂二期	5.2	—
B 厂一期	3.89	8.33
B 厂二期	6.32	7.14
C 厂一期	4~5	—
C 厂二期		—

### 3.2.2 进水 SS 去除效果方面

3 座污水厂进水中均含有较多无机颗粒, 进水  $\text{SS}/\text{BOD}_5 > 1.2$  情况比较常见, 对系统的长期运行有不利影响。旋流沉砂池、曝气沉砂池对进水 SS 的去除效果较差, 由粒径分析可知, 进水颗粒粒径主要集中在 1~150  $\mu\text{m}$  之间, 并不是沉砂池最佳的去除粒径范围, 需要考虑工程性改造。

### 3.2.3 脱氮效果方面

3 座污水厂进水 TN 成分相差无几, 且无过多的难生物降解的氮化合物, 均可从生物脱氮中得到去除。同时, 3 座污水厂在厌、缺氧段都有不同程度的脱氮反应, 当工艺异常时, 可以将缺氧段末端硝态氮值的变化, 作为对内回流调节或碳源投加的判断依据。各污水厂反硝化速率和潜力比较见表 4。

表 4 各污水厂反硝化速率和潜力比较

Tab. 4 Comparison of denitrification rates and potentials in different WWTPs

项 目	反硝化速率	反硝化潜力		标准值
		$\text{mgNO}_3^- - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \text{VSS} \cdot \text{h}^{-1}$		
A 厂二期	23	17 (乙酸钠液体)、20.79 (乙酸钠粉末)		5~10
B 厂一期	0.21	5.49 (乙酸钠)、1.06 (葡萄糖)		
B 厂二期	0.38	3.94 (乙酸钠)、0.56 (葡萄糖)		
C 厂一期	2.57	4.10 (乙酸钠)		
C 厂二期	4.94	3.32 (乙酸钠)		

### 3.2.4 除磷效果方面

3 座污水厂进水中溶解性 TP 含量各不相同, 颗粒性部分主要通过物理处理去除, 且  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  占 STP 的主要部分。若生物除磷效果不佳, 也可通过

化学除磷辅助去除。

本次试验还发现, 各厂只要生化池厌氧段含有硝态氮, 生物除磷将很难进行, 必须要有快速的优质碳源存在才能进行有效的生物除磷<sup>[7]</sup>。各污水厂厌氧释磷速率和潜力比较见表 5。

表 5 各污水厂厌氧释磷速率和潜力比较

Tab. 5 Comparison of anaerobic phosphorus release rates and potentials in different WWTPs

项 目	$\text{mgPO}_4^{3-} - \text{P} \cdot \text{g}^{-1} \text{VSS} \cdot \text{h}^{-1}$		标准值
	厌氧释磷速率	厌氧释磷潜力	
A 厂二期	7.38	5.96	5~10
B 厂一期	0.047	4.83	
B 厂二期	0.16	6.6	
C 厂一期	0.0014	0.3884	
C 厂二期	0.006	0.5351	

### 3.2.5 污泥泥性方面

从 3 座污水厂活性污泥功能区指标模拟测试结果看, A 厂活性污泥的硝化速率、反硝化速率和潜力、厌氧释磷速率和潜力等特性均表明其脱氮除磷能力相对较强, 但各厂均存在污泥浓度过高、污泥负荷低、泥龄过长、污泥活性低的问题, 因此需要逐步调理泥性, 提升脱氮除磷的能力。

## 4 操作手册的制定

为进一步巩固污水处理厂工艺全流程优化运营分析成果, 推进每年污水处理厂全流程测试分析工作模式的常态化, 通过归纳、提炼, 制定了适用于市排水公司的标准化工作流程, 编写了《污水处理厂工艺全流程运行问题诊断及优化研究操作手册》(以下简称《操作手册》) 并已下发执行, 从而构建了宁波市排水公司自主的应对分析体系和操作流程。该手册内容包括总则、范围及职责、分析目的、取样统一性、化验统一性、数据处理、分析及调整方案、执行及反馈、附件等 9 大部分, 规范了各阶段的操作流程, 要求通过定期和不定期的化验及分析研究, 反馈需调整的运行参数, 进而给出较有建设性的指导意见。

## 5 下一步工作计划

① 切实做好《操作手册》的贯彻落实工作, 组织开展技能培训学习, 按照“发现问题—制订研究方案—调试及分析研判—确定解决措施”的工作思路, 提高相关人员对该厂工艺运行的分析和诊断能力, 并以《操作手册》为基础, 加强对污水厂工艺分

析及调整的指导。

② 加强各污水厂对进水和出水水质成分的监测,掌握水质特性,重点关注过程指标和非常规指标监测(如硝态氮、磷酸盐以及反映活性污泥功能菌群活性的硝化速率、反硝化速率和释磷速率等),根据测试结果反映的问题,结合活性污泥生长环境需求和污染物去除原理提出工艺调控措施,使运行和管理更加精细化。

③ 按照每年定期的季节性监测要求,探索形成春、夏、秋、冬等不同季节条件下各污水厂工艺的高效运行模式,制定和完善具有针对性且可操作性较强的“一厂一策”。

#### 参考文献:

- [1] 张玲玲,陈立,郭兴芳,等. 南北方污水处理厂进水水质特性分析[J]. 给水排水,2012,38(1):45-49.  
Zhang Lingling, Chen Li, Guo Xingfang, *et al.* Analysis of influent water quality characteristics of south and north sewage treatment plants [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(1): 45-49 (in Chinese).
- [2] 高兴东,孙艳峰,谭周亮,等. 城市污水处理厂工艺流程脱氮除磷效果诊断及优化[J]. 绵阳师范学院学报, 2018, 37(5): 35-41.  
Gao Xingdong, Sun Yanfeng, Tan Zhouliang, *et al.* Problem diagnosis for nitrogen removal at a WWTP [J]. Journal of Mianyang Teachers' College, 2018, 37(5): 35-41 (in Chinese).
- [3] 孙永利,李鹏峰,隋克俭,等. 内回流混合液 DO 对缺氧池脱氮的影响及控制方法[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 81-84.  
Sun Yongli, Li Pengfeng, Sui Kejian, *et al.* Impact of dissolved oxygen in internal reflux mixture on nitrogen removal in anoxic tank and its control measures [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21): 81-84 (in Chinese).
- [4] 许洲. 特大型污水处理厂沿程氮分布规律研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 77-80.  
Xu Zhou. Study on regularity of nitrogen distribution along treatment process in a super-sized wastewater

treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21): 77-80 (in Chinese).

- [5] 马勇,彭永臻. A/O 生物脱氮工艺的反硝化动力学试验[J]. 中国环境科学, 2006, 26(4): 464-468.  
Ma Yong, Peng Yongzhen. Denitrification dynamics for A/O biological nitrogen removal technology [J]. China Environmental Science, 2006, 26(4): 464-468 (in Chinese).
- [6] 念东,王佳伟,刘立超,等. 城市污水处理厂化学除磷效果及运行成本研究[J]. 给水排水, 2008, 34(5): 7-10.  
Nian Dong, Wang Jiawei, Liu Lichao, *et al.* Research on efficiency and operating cost of chemical phosphorus removal [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(5): 7-10 (in Chinese).
- [7] 陈嵘,刘茵,李俊炎. 西安市某污水处理厂 A<sup>2</sup>/O 工艺除磷效果分析[J]. 环境工程学报, 2016, 10(12): 7093-7098.  
Chen Rong, Liu Yin, Li Junyan. Analysis on removal of phosphorus in a wastewater treatment plant employing A<sup>2</sup>/O process in Xi'an, China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(12): 7093-7098 (in Chinese).



作者简介:卢汉清(1965-),男,广西南宁人,大学本科,教授级高级工程师,主要从事供排水工程建设、运营、标准化管理和标准编制等工作。

E-mail: 1303438194@qq.com

收稿日期:2019-05-23