

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.019

# 广州某污水处理厂提质增效探索与实践

马路遥, 孙伟, 张红要, 李碧清, 霍凯, 江川国,  
张旭恒, 吴锐恒

(广州市净水有限公司, 广东 广州 510627)

**摘要:** 广州市某污水处理厂由于建设年代较早,当时参照《污水综合排放标准》(GB 8978—88)等标准设计,为稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)等新标准要求,通过现状调研、深入挖潜,采取改变AB工艺运行模式、UNITANK+多级AO工艺融合、精细化加药控制提高化学除磷效果、深度处理构筑物扩容等改造措施后,污水处理厂出水水质能够稳定达到新标准要求,处理能力也达到设计值,同时节省了药剂消耗。

**关键词:** 污水处理厂; 提质增效; 挖潜改造; AB工艺; UNITANK工艺; 精细化加药控制

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2024)16-0110-06

## Exploration and Practice on Improving the Quality and Efficiency of a Sewage Treatment Plant in Guangzhou

MA Lu-yao, SUN Wei, ZHANG Hong-yao, LI Bi-qing, HUO Kai,  
JIANG Chuan-guo, ZHANG Xu-heng, WU Rui-heng  
(Guangzhou Sewage Purification Co. Ltd., Guangzhou 510627, China)

**Abstract:** Due to the early construction of a sewage treatment plant in Guangzhou, it was designed with reference to the *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978-88) and other standards. In order to meet the requirements of the new standards such as the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*(GB 18918-2002), through current situation research and in-depth potential exploration, after adopting transformation measures such as changing into operating mode of AB process, integrating the UNITANK and multi-level AO process, refining dosing control to improve chemical phosphorus removal efficiency, and expanding the capacity of deep treatment structures, the effluent quality of the sewage treatment plant can stably meet the requirements of the new standard, and the treatment capacity can reach the design value, while saving chemical consumption.

**Key words:** sewage treatment plant; improving quality and efficiency; potential exploration for transformation; AB process; UNITANK process; refining dosing control

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B110209002); 广州市“岭南英杰工程”人才计划项目(穗人社函〔2019〕928号)

通信作者: 马路遥 E-mail: 570791025@qq.com

1 工程概况

广州市某大型市政污水处理厂占地面积 39 hm<sup>2</sup>,主要负责收集处理北环高速以南、珠江前航道以北的天河区、越秀区大部分区域及白云区小部分地区生活污水,服务面积 83.9 km<sup>2</sup>,服务人口约 253.53 万人,设计处理能力为 120×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,分四期工程建设,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准及广东

省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准两者较严值,尾水自流排入珠江前航道。作为广州中心城区建厂历史较为久远的大型污水处理厂,如何在新标准下、原工艺基础上提升出水水质及处理水量成为亟需解决的问题。

该污水处理厂设计进、出水水质及现行出水标准见表 1。

工艺流程见图 1。

表 1 各期工艺种类及进、出水水质

项目		mg·L <sup>-1</sup>					
Tab.1 Process, influent and effluent quality of each stage		COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TP	NH <sub>3</sub> -N	TN
一期:AB 两段吸附降解生物处理工艺	设计进水		150	180	5	25	
	设计出水		25	25	3.5	10	
二期:UNITANK 工艺	设计进水	250	120	150	4	20	
	设计出水	60	20	20	0.5	10	
三期:改良 A <sup>2</sup> /O 工艺(预缺氧/厌氧/缺氧/好氧)	设计进水	270	140	180	4	25	30
	设计出水	40	20	20	0.5	8	20
四期:改良 A <sup>2</sup> /O 工艺	设计进水	270	160	220	4.5	30	35
	设计出水	40	10	10	0.5	5	15
实际进水水质		215	122	117	2.6	19	24
现执行出水标准		40	10	10	0.5	5	15

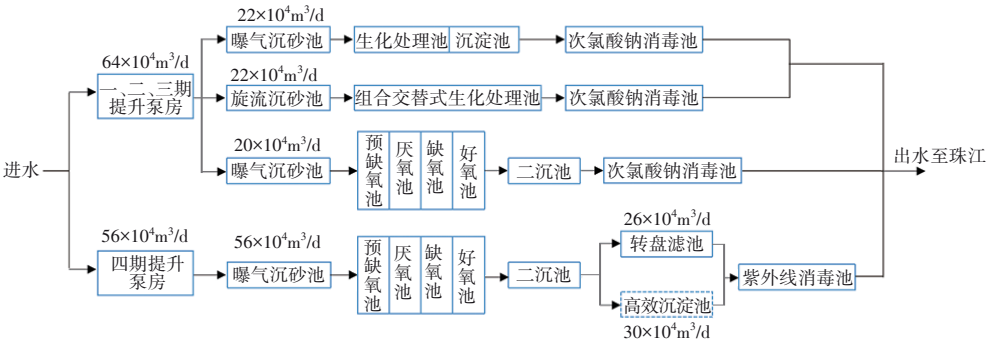


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

2 运行效果及提质增效分析

2.1 出水水质

一、二期设计标准对 TN 均无要求,一期主要通过曝气-吸附工艺实现污染物去除,并未设置厌氧/缺氧功能区。二期采用集约用地型 UNITANK 工艺,不设二沉池,工艺流程可简化为单级 AO 工艺,抗冲击负荷能力较差。自 2018 年起该厂执行国家一级 A 标准。

2015 年—2017 年一、二期出水 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 均可以达到新标准要求;一、二期出水 TN 为 5~20 mg/L,存在个别 TN 浓度超标(新标准为 15 mg/L)的

情况,见表 2。

表 2 出水 TN 浓度及达标率

Tab.2 Effluent TN concentration and compliance rate

项目		2015 年	2016 年	2017 年
一、二期出水 TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	最大值	17.11	16.92	15.77
	最小值	7.47	5.69	5.61
	平均值	12.01	10.42	9.92
达标率/%	当时标准	100	100	100
	一级 A 标准	95.62	97.26	99.73

由表 2 可知,2015 年—2017 年出水 TN 浓度平均值达到一级 A 标准,但总达标率并未实现 100%,

对照新标准,出水稳定达标困难的主要指标是TN,系统脱氮能力存在一定波动性。

## 2.2 处理水量

四期工程原采用转盘式微过滤器作为深度处理工艺,设计满负荷水量为 $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,于2010年底安装调试完毕并投入运行。一直以来,四期设备现状性能与设计相差过大,作为深度处理的转盘过滤器总处理量远未达到设计值,严重制约四期工程处理水量任务的完成。

表3显示了2016年、2017年的总污水处理量和各期污水处理量,一、二、三期污水处理量已达到设计标准,并超负荷运行,水量提升潜能小,而四期负荷率低于45%。唯一深度处理装置——转盘滤池最大处理水量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故未达到该厂 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计值的主要原因是四期深度处理构筑物处理能力受限。

表3 2016年、2017年污水处理量及负荷率

Tab.3 Sewage treatment capacity and loading rate in 2016 and 2017

年份	2016	2017
平均总污水处理量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	107.13	114.12
负荷率/%	89.27	95.10
一、二期污水处理量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	46.82	51.40
一、二期负荷率/%	106.41	116.81
三期污水处理量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	20.62	23.90
三期负荷率/%	103.12	119.48
四期污水处理量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	39.68	38.83
四期负荷率/%	70.86	69.34

## 2.3 除磷剂投加情况

该污水处理厂各期除磷加药系统均采用经验法,主要由工艺调度人员根据出水TP浓度决定增减药量,而人为控制除磷剂投加易导致药剂系统存在滞后性,药耗不易控制。

以三期工程为例,2019年全年消耗除磷剂3 406 t,单位TP去除量的药剂消耗量达到15.3 t,为全厂各期单耗最高,可见对药剂系统的改造迫在眉睫。

## 2.4 小结

该污水处理厂由于一、二期工艺建设较早,设计标准对TN无要求,一、二期出水TN不能稳定达到新标准要求,药剂投加系统不智能,三期药耗大;四期深度处理能力的限制导致不能达到设计处理负

荷。针对以上问题,采取调整运行模式、调整曝气量营造缺氧环境等措施增强一期脱氮效能<sup>[1]</sup>;采用多级AO工艺融合二期工艺增强系统脱氮除磷性能<sup>[2]</sup>;引入精准加药系统,降低三期除磷剂药耗;将用于初雨处理的高效沉淀池改作四期深度处理装置<sup>[3]</sup>,提高四期处理能力。

## 3 优化运行措施

### 3.1 改变AB工艺运行模式

该厂一期AB段原设计采用串联运行模式,对 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果较好,去除率均可达到93%以上;TN去除效果差,2015年—2017年达标率对标新标准并未实现100%,且A段污染物负荷高,易产生臭气影响厂区环境。

为解决以上问题,通过开启超越A池阀门、关闭超越B池阀门,使AB段实现并联运行,如图2所示。A、B池的进水量分别控制在1 200、8 000  $\text{m}^3/\text{h}$ 左右,其中A级反应池的停留时间从0.6 h延长至4.6 h。

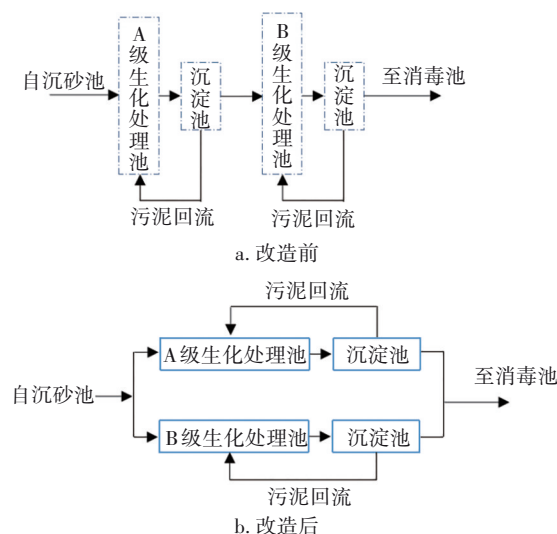


图2 一期改造前后的工艺流程

Fig.2 Flow chart of phase I before and after renovation

此外,关闭A、B段曝气池好氧部分初段的曝气头(2组曝气头),控制A、B级反应池前端的溶解氧浓度低于0.5 mg/L,以创造短程硝化反硝化运行环境来增强生物脱氮除磷效果,提高污染物去除率。AB工艺改造后,出水TN由11.08 mg/L降至7 mg/L以下,COD由14.14 mg/L降至9 mg/L以下(见图3),出水水质能稳定达到一级A标准及广东省地标较严值。

AB工艺设计参数见表4。

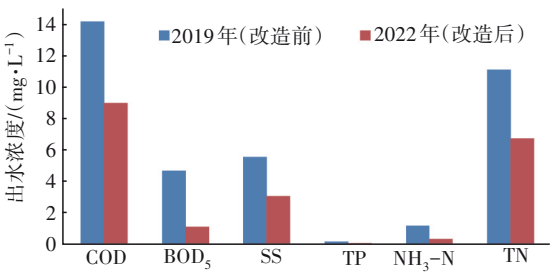


图3 一期出水水质变化

Fig.3 Changes of effluent quality of phase I

表4 AB工艺参数

Tab.4 AB process parameters

工艺参数	设计值		改造后值	
	A池	B池	A池	B池
BOD <sub>5</sub> 负荷/(kgBOD <sub>5</sub> ·kg <sup>-1</sup> MLSS·d <sup>-1</sup> )	1~2	0.15~0.3	0.26	0.25
曝气池停留时间/h	0.6	4	4.6	4.6
DO/(mg·L)	0.5~1.0	1~2	1~2	1~2
MLSS/(g·L <sup>-1</sup> )	2~3	2~3	2.5~3.5	2.5~3.5
回流比/%	50~70	50~100	50~70	50~100

表5 UNITANK工艺运行时段的调整

Tab.5 Adjustment of UNITANK process operating period

min

项目		第一主反应段						第二主反应段						
原工艺	时间	120	60		30		30	120	60		30		30	
	A池	进水曝气	进水搅拌		曝气加药		冲洗	出水						出水静止
	B池	曝气			进水搅拌			曝气			进水搅拌			
	C池	出水					出水静止	进水曝气	进水搅拌		曝气加药		冲洗	
现工艺	时间	10	30	120	20	30	30	10	30	120	20	30	30	
	A池	进水曝气	进水搅拌	进水曝气	进水搅拌	曝气加药	冲洗	出水						出水静止
	B池	曝气			进水搅拌			曝气			进水搅拌			
	C池	出水					出水/静止	进水曝气	进水搅拌	进水曝气	进水搅拌	曝气加药	冲洗	

3.3 精细化加药控制提高化学除磷效果

该厂三期原设计出水TP标准为磷酸盐低于0.5 mg/L,为提高系统抗冲击负荷能力,将原先老旧螺杆泵加药系统改造为智能硫酸铝精准投加控制系统:首先升级隔膜泵为药泵,改造加药管道实现分线投加,并在每一条管线上增设流量计实现分线加药精准化;其次,在好氧池末段增设磷酸盐分析仪收集数据,利用进水TP负荷、出水TP浓度及生化池磷酸盐浓度3项指标对加药量进行正负联合反馈调节,并建立科学数字模型,系统拟合计算得出所需的参考加药量,实现加药泵、加药流量自动调节。

2019年—2022年进水TP为2~3 mg/L。三期精准加药系统改造完成后,生化池出水TP由0.21 mg/L降至0.12 mg/L,出水TP由0.19 mg/L降至0.1 mg/L,降低了47%。系统TP去除率较改造前(2019年)上

3.2 “UNITANK+多级AO”工艺融合

二期UNITANK工艺水力流程介于完全混合式与推流式之间,在不改变池容的条件下,可通过改变运行时段设置(关闭曝气,开启搅拌)营造多级厌氧/缺氧/好氧环境,提高脱氮效能。

运行程序调整见表5。

上一周期沉淀下来的污泥经曝气搅拌后与进水迅速混合,而且短时曝气不会使生化池DO立即升高,不会对后续进水搅拌的厌/缺氧条件形成造成太大影响。

多级AO(缺氧-好氧)流程与原工艺流程单级AO相比,提升了碳源利用率,新增内回流强化了系统反硝化效果<sup>[4-5]</sup>。工艺改造后,出水TN浓度进一步降低,出水TN由11.08 mg/L降至6.72 mg/L,TN去除率上升20%;BOD<sub>5</sub>由4.68 mg/L降至1.16 mg/L,各水质指标均能稳定达到国家一级A标准及广东省地标较严值。

升2%(见图4)。此外,硫酸铝使用量呈下降趋势,2022年硫酸铝使用量为1 931 t,较2018年下降1 474 t,节约除磷药剂费53.8万元(单价为365元/t)。

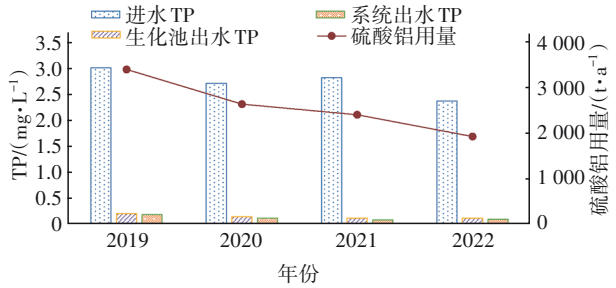


图4 TP浓度及硫酸铝用量

Fig.4 TP concentration and aluminium sulfate consumption

2019年—2022年,该厂三期单位TP去除量的药剂消耗量依次为15.3、13.5、11.7、11.8 t/TP。





污水处理量。污水处理量从2018年(改造前)年均 $116.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增至2022年的 $124.55 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (见表9),四期污水处理量上升 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,同时,系统水位逐年降低。

表9 近5年污水处理厂的运行水位、污水处理量、负荷率

Tab.9 Operating water level, sewage treatment capacity, and load rate of the WWTP in the past five years

年份	2018	2019	2020	2021	2022
年均污水处理量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	116.57	117.52	121.82	120.63	124.55
负荷率/%	97.14	97.93	101.52	100.53	103.79
四期年均污水处理量/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	38.33	45.71	53.15	54.14	59.29
四期负荷率/%	68.45	81.63	94.91	96.68	105.88
渠箱水位/m	2.13	1.85	1.46	1.37	1.12

该污水处理厂处理水量屡创新高,四期年均处理水量超过设计标准 $3.29 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,解决了广州市中心城区污水量日益增大的城市发展问题,进一步控低了管网水位。

## 5 结论

广州市某大型污水处理厂未新建土建设施,基于优化运行管理措施来满足现行水质标准,并提升污水处理水量。实施改变AB工艺运行模式、“UNITANK+多级AO”工艺融合、精细化加药控制、深度处理设施挖潜改造等措施后,出水水质稳步提升,出水COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP和TN浓度分别为9.07、0.24、0.11、6.24 mg/L,稳定达到新排放标准,部分指标优于地表水Ⅱ类水质标准,污水处理量提升了 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,节约除磷剂成本约53.8万元/a。

## 参考文献:

- [1] 陈静. 猪粪厌氧消化液的短程硝化反硝化脱氮研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2019.
- CHEN Jing. Biological Nitrogen Removal from Anaerobically Digested Effluent of Swine Manure by Using Short-cut Nitrification and Denitrification Process

[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2019(in Chinese).

- [2] 周合喜,张金松,张庆珮,等. 多级AO工艺在某高排放标准污水厂的优化探讨[J]. 中国给水排水,2022,38(20):8-13.
- ZHOU Hexi, ZHANG Jinsong, ZHANG Qingpei, et al. Discussion on optimization of multi-stage AO process in a wastewater treatment plant under high discharge standards [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(20):8-13(in Chinese).
- [3] 陈皓,顾雪锋. Phoredox+高效沉淀组合池用于集约型污水处理厂工程设计[J]. 给水排水,2022,48(S1):145-148.
- CHEN Hao, GU Xuefeng. Design of intensive WTP with Phoredox and high-density sedimentation combined tank [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1):145-148(in Chinese).
- [4] 董洋,汪德金,余波. 多级AO工艺用于全地下式北京碧水污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2018,34(2):59-62.
- DONG Yang, WANG Dejin, YU Bo. Application of multi-stage AO process in the upgrading and reforming project in underground Beijing Bishui wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2):59-62(in Chinese).
- [5] 王舜和,李朦,郭淑琴. 张贵庄污水处理厂分段进水多级AO工艺的设计与运行[J]. 中国给水排水,2018,34(12):53-56.
- WANG Shunhe, LI Meng, GUO Shuqin. Design and operation for the step-feed multi-stage AO process in Tianjin Zhangguizhuang wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12):53-56(in Chinese).

作者简介:马路遥(1995-),女,广东广州人,硕士,工程师,主要研究方向为污水运营管理。

E-mail:570791025@qq.com

收稿日期:2023-06-25

修回日期:2023-09-12

(编辑:衣春敏)