

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.010

# 广东某污水厂二期工程集约化设计

唐章程, 杨 坤, 贾建伟, 党晓宏, 姜 琪, 刘蓬博  
(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 陕西 西安 710000)

**摘 要:** 广东某污水处理厂二期工程设计规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用预处理—五段Bardenpho生物池—矩形周进周出二沉池—高效沉淀池—精密过滤器工艺,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标准以及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中的较严值。污泥采用机械浓缩—化学调理—高压板框脱水工艺,将污泥含水率降至60%后外运处置。实际运行表明,出水水质完全达到设计标准。针对用地紧张的问题,合理选择处理工艺,优化单体设计,采用集约化、紧凑型布置,减少占地。在第二级缺氧池同时布置推流器和曝气盘,实现AAOAO和A<sup>2</sup>O两种生物处理模式的切换,灵活应对水质波动。设置精确曝气系统,按需调节和分配曝气量,实现节能降耗。

**关键词:** 集约化设计; 污水处理; 多模式; 精确曝气

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0060-05

## Intensive Design of the Phase II Project of a Sewage Treatment Plant in Guangdong

TANG Zhang-cheng, YANG Kun, JIA Jian-wei, DANG Xiao-hong, JIANG Qi,  
LIU Peng-bo

(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Xi'an 710000, China)

**Abstract:** The design scale of the phase II project of a sewage treatment plant in Guangdong is  $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ . The process consists of pretreatment, five-stage Bardenpho bioreactor, rectangular secondary sedimentation tank with peripheral inflow and outflow, high efficiency settling tank and precision filter. The effluent quality is required to meet first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and the stricter value of first level limit in the second period specified in *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26-2001). The water content of sludge is reduced to 60% after treated by the process of mechanical thickening, chemical conditioning, and high pressure plate and frame dehydration, and then it is transported outside for disposal. The actual operation shows that the effluent quality meets the design discharge standards completely. The design reduces the footprint area by reasonable selection of the treatment technology, optimization of the single structure design and intensive and compact layout of the structures. The submersible water impeller and aeration disk are equipped simultaneously in the second-stage anoxic tank to realize the switching between AAOAO and A<sup>2</sup>O biological treatment modes, and flexibly cope with

基金项目: 住房和城乡建设部研发计划项目(2021-K-111); 中国市政工程西北设计研究院有限公司研究课题(XBSZKY2037)

通信作者: 贾建伟 E-mail: 1441930851@qq.com

water quality fluctuations. The energy saving and consumption reduction is achieved by setting a precise aeration system to adjust and distribute aeration rate according to the need.

**Key words:** intensive design; sewage treatment; multi-mode; precise aeration

广东某污水处理厂一期工程处理规模为 $8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,2020年平均污水处理量约 $9.4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,最高日约 $11.7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,年超负荷率达89%,对污水处理厂进行扩建已刻不容缓。根据现状人口、用水量及增长趋势预测,确定污水厂二期规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。该污水厂总占地面积 $9.97\text{ hm}^2$ ,预留用地 $3.61\text{ hm}^2$ 且紧挨水库堤岸线,不具备征地条件。因此,二期工程只能在预留空地上建设,需要采用集约化、紧凑型布置,以减少建设用地面积。

本工程通过对构筑物进行集约化设计,优化工艺参数,在满足出水水质的前提下,提高污水厂的土地利用效益,满足二期工程的空间需求。

1 设计进、出水水质

参考2016年—2020年污水处理厂一期工程实际进水水质,按照进水保证率95%统计分析,同时考虑到污水厂“提质增效”的逐步推进、纳污管网的进一步完善,设计进水水质在实际水质的基础上要适当考虑安全余量,调整二期工程设计进、出水水质如表1所示。

表1 工程设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	400	170	350	35	40	7
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	40	10	10	5	15	0.5
去除率/%	90.0	94.1	97.1	85.7	62.5	92.9

2 总体设计思路与工艺流程

2.1 总体设计思路

二期工程预留用地指标仅 $0.36\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ ,远远低于同等规模污水厂 $0.80\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ 的建设用地控制标准<sup>[1]</sup>,需考虑采用紧凑、节省占地的处理工艺。一期工程采用改良型A<sup>2</sup>O+辐流式二沉池+A-MBR工艺,出水水质可以达到一级A标准,但存在能耗大、清洗更换频率高、膜污染及通量下降导致处理能力衰减的问题。二期工程考虑将主要生化指标(BOD<sub>5</sub>、COD、TN、NH<sub>3</sub>-N)在二级生物处理单元达标去除,后续不再设置针对脱氮的构筑物。同时考虑进水中含有部分工业废水以及当地执行的污

水高排放标准中关于TN限值有进一步提高的可能性,在生物池的选择上要有一定的前瞻性,因此采用脱氮效率较高的五段式Bardenpho工艺。采用水力负荷较高的矩形周进周出二沉池,将生物池、二沉池以及污泥回流泵房组团共壁布置,减少生物反应池和沉淀池之间的道路和绿化用地<sup>[2]</sup>。为实现TP≤0.5 mg/L、SS≤10 mg/L的出水目标,需增加深度处理辅以化学除磷工艺。深度处理采用高效沉淀池+精密过滤器的组合模式:高效沉淀池表面水力负荷及污染物去除率高,且池体紧凑;精密过滤器占地面积小,自动化控制程度高,既保障了出水水质,又解决了征地难、占地少的难题。在消毒工艺的选择上,氯消毒需要满足接触时间≥30 min的要求,无法节省占地,因此采用紫外线消毒。为保证出水粪大肠菌群数稳定达标,采用次氯酸钠辅助消毒。污泥采用空间节省的机械浓缩,化学调理后输送至高压板框脱水系统。

2.2 工艺流程

二期工程工艺流程如图1所示。

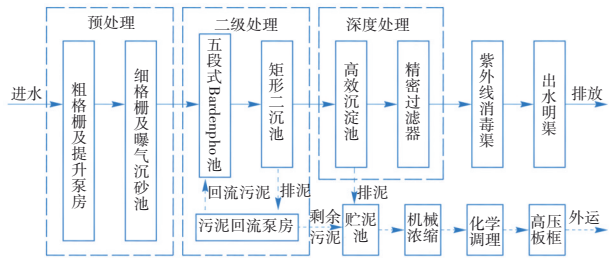


图1 二期工程工艺流程

Fig.1 Process flow of the phase II project

污水经粗格栅去除较大的漂浮物后,通过提升泵房提升至细格栅,进一步去除水中的细小浮渣,再经曝气沉砂池快速分离去除泥砂、栅渣和浮油。预处理后的污水进入五段式Bardenpho池,通过厌氧释磷、反硝化脱氮、好氧曝气过程去除大部分污染物。生物池出水进入二沉池进行泥水分离,上清液进入深度处理单元。在高效沉淀池中投加PAC、PAM等药剂,对SS、TP进行去除。高效沉淀池出水进入精密过滤器进一步强化对SS的去除,精密过滤器出水进入紫外线消毒渠进行消毒处理,出水经计

量后通过明渠排放。

经二沉池泥水分离后,大部分污泥回流至生物池前端,少部分剩余污泥及高效沉淀池排泥进入贮泥池,利用螺杆泵将贮泥池中的污泥输送至污泥脱水系统,将污泥含水率降至 60% 后外运集中处置。

表2 主要构(建)筑物设计参数

**Tab.2 Design parameters of main structures and buildings**

项目	设计参数
粗格栅及提升泵房	20 mm 三索钢丝绳牵引式格栅除污机 2 台, 倾角 75°; 潜污泵近期 4 台, 变频, 远期增加 2 台
细格栅及曝气沉砂池	5 mm 循环网板式格栅 2 台, 倾角 75°; 曝气沉砂池 HRT=5.8 min
五段 Bardenpho 池	2 座 4 组, 总停留时间为 15.2 h, 其中厌氧区 1.6 h、第一缺氧区 4.0 h、第一好氧区 7.0 h、第二缺氧区 1.6 h、第二好氧区 1.0 h; 污泥浓度 4.0 g/L, 污泥回流比 100%, 硝化液回流比 100%~300%, 水深 8.5 m
矩形周进周出二沉池	2 座 12 组, 最大时表面负荷为 1.29 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h), 平均时表面负荷为 0.86 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)
污泥回流泵房	轴流泵(回流污泥)近期 3 用 2 备, 远期增加 1 台; 潜污泵(剩余污泥)2 用 1 库备
高效沉淀池	1 座 2 格, 快混池 HRT=83 s, 絮凝池 HRT=14.6 min; 沉淀池斜管区最大时负荷为 15.3 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)
精密过滤器	处理能力分别为 3×10 <sup>4</sup> 、2×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 的设备近期各 2 套, 远期增加 1 套处理能力为 3×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 的设备
紫外线消毒渠	紫外消毒设备紫外穿透率≥65%, 有效紫外剂量≥20 mJ/cm <sup>2</sup>
鼓风机房及变配电室	近期鼓风量 360 m <sup>3</sup> /min, 升压 H=98 kPa, 磁悬浮离心鼓风机近期 3 用 1 备(变频), 远期增加 2 台
污泥调理池及综合处理车间	近期绝干污泥 15 t/d, 远期 20 t/d, 板框压滤机过滤面积 600 m <sup>2</sup> , 近期 2 用 1 备, 远期 3 用
加药间及机修间	10%PAC 溶液投加量 49 mg/L, PAM 投加量 1 mg/L, 10% 乙酸钠投加量 40 mg/L(根据进水水质调整); 10%NaClO 投加量 20 mg/L(紫外线消毒渠末端)

### 3.2 总平面布置

考虑减少占地和施工便利性,二期工程总体布置如图2所示。

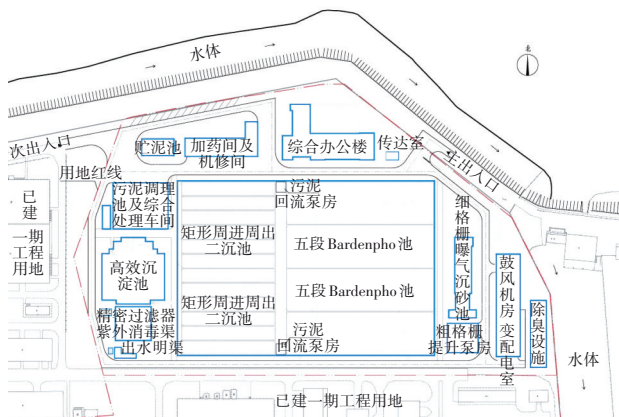


图2 总平面布置

**Fig.2 General layout**

#### 4 工程设计经验

#### 4.1 集约化设计,解决用地局限

### 4.1.1 优化单体设计参数

生物池有效水深一般采用4~6 m,受场地限制,需要增加水深以达到节约空间的目的。水深主要影响曝气效率和鼓风机能耗<sup>[3]</sup>。张勇<sup>[3]</sup>在不同水深

### 3 工程设计

### 3.1 主要单体设计

二期工程处理规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 土建一次建成, 近期按照  $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模安装设备。主要单体工艺设计参数见表 2。

条件下测试了鼓风机的动力效率,发现当水深大于9 m或小于4.6 m时,鼓风机动力效率处于非高效区。统筹考虑鼓风机功率和生物池平面占地,生物池设计水深采用8.5 m,比普通水深的生物池节省占地面积约42%。

为保证泥水分离效果,一般将二沉池表面负荷取  $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  左右,若采用辐流式则需要布置 4 座  $\varnothing 45 \text{ m}$  的二沉池,同时各二沉池之间需要预留道路和绿化用地。因此,设计采用表面水力负荷可以达到  $1.2 \sim 1.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  的矩形周进周出二沉池,利用其共壁和紧凑特性,较辐流式二沉池节省占地约 30%~40%。

#### 4.1.2 集约化、紧凑型布置

将性质相同、功能相近、流程相连的功能单元进行集成化设计:将精密过滤器和紫外线消毒渠合建;构建污泥综合处理车间,将调理池、机械浓缩、高压板框压榨机整合,不仅节省占地,也减小了物料输送距离。将五段式 Bardenpho 池、周进周出二沉池和污泥回流泵房进行组合,采用共壁紧凑布置方式(见图 3),吨水用地指标仅为  $0.36 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。生物池总宽度与矩形二沉池总宽度保持一致,考虑现状施工水平及刮泥机设备运行状态等方面,矩形



二沉池单格长度宜小于 60 m,宽度一般不超过 12 m。因此,在设计中既要考虑生物池和二沉池的平面整体性,又要考虑各自相对的独立设计<sup>[2]</sup>。此外,还要重点考虑合建之后带来的各组二沉池进水端配水均匀性的问题。以本工程为例,在生物池出水口处设置一道竖向进水渠,出水下翻后再进入水平流布置的配水总渠,利用二沉池进水前端的矩形堰实现均匀配水。

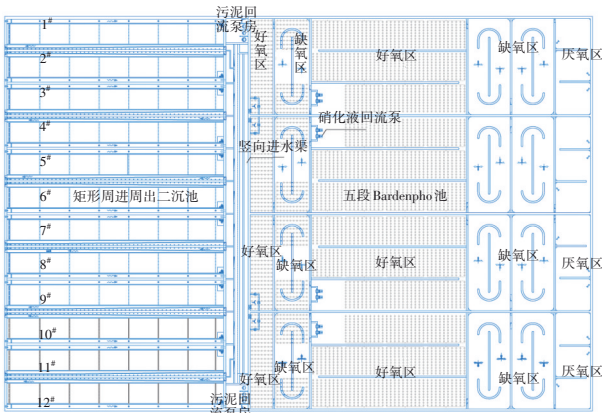


图3 生物反应池、二沉池及污泥回流泵房组合布置  
Fig.3 Combined layout of biological reaction tank, secondary sedimentation tank and sludge reflux pump room

4.2 多模式生物处理,提高运行灵活性

二期工程存在部分工业企业废水纳入的情况,导致进水水质存在一定波动性。为提高生物反应池运行的灵活性和抗冲击能力,在第二缺氧池中同时布置推流器和微孔曝气盘,可实现不同水质条件下AAOAO和A<sup>2</sup>O两种生物处理工艺的切换,提高操作的灵活性。当进水TN较低时,缺氧段利用原水中的碳源进行反硝化反应,第二缺氧池通过曝气进行好氧处理,生物池启动A<sup>2</sup>O处理模式,减少能耗。当进水TN较高时,采用五段式Bardenpho,形成两级AO串联,强化反硝化脱氮功能。为提高五段式Bardenpho池的碳源利用率,采用分段进水模式,污水按照90%和10%的配水比,分段进入厌氧池和第二缺氧池,充分利用污水碳源优先反硝化脱氮,提高总氮去除率。在运营过程中,可根据水质波动情况利用下开式调节堰门灵活调整配水比例。

4.3 设置精确曝气,全面节能降耗

曝气系统是污水生化处理的核心,其能耗约占污水厂总能耗的1/2以上,因此优化曝气系统具有

实际意义,是污水厂实现低成本运行的关键<sup>[4]</sup>。设置精确曝气系统,根据溶解氧测定值的变化趋势和溶解氧的目标控制值计算各曝气控制区的需气量,自动控制鼓风机和空气调节阀,按需调节并分配曝气量,精确控制溶解氧的测量值在(目标值±0.5)mg/L范围内的同时,实现活性污泥系统的高效稳定运行。在好氧池末端设置在线氨氮分析仪进行负荷评估,根据实时监测的氨氮数据,对好氧池前端、中端和后端的溶解氧设定值优化调节,在氨氮稳定达标的同时防止过度曝气,提高反硝化效率,实现节能降耗。表3为运行调试期间手动控制模式和精确曝气自动控制模式下的运行效果。可以看出,在传统的手动控制模式下,好氧池溶解氧为3.0~5.0mg/L,波动范围较大;采用精确曝气自控模式后,气水比降低20%左右,溶解氧被严格控制在设定值附近,变化较为平稳,且出水NH<sub>3</sub>-N也明显低于传统手动模式。

表3 2种曝气控制模式下的运行效果

Tab.3 Operation effect under two aeration control modes

项目	流量/ (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	进水 NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	出水 NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	溶解氧/ (mg·L <sup>-1</sup> )	气水 比	单位污染物 (NH <sub>3</sub> -N)曝气量/ (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> )
手动 控制	2.9~ 3.2	19.4~ 22.3	0.8~1.8	3.0~5.0	4.5~ 5.0	232.6~255.7
自动 控制	2.9~ 3.2	19.5~ 24.1	0.3~0.6	1.5~2.0	3.5~ 4.0	168.1~186.2

4.4 必要的超越措施,实现精细化运营

为满足运营单位对污水厂精细化、低成本运行的要求,需对处理单元设置合理的超越。根据二级处理出水情况灵活控制运行工艺段,共设置2处超越:当二沉池出水TP满足要求时,可超越高效沉淀池直接进入精密过滤器,减少药剂投加量;当高效沉淀池出水SS及TP满足要求时,可超越精密过滤器直接进入紫外线消毒渠处理。

5 运行效果

二期工程于2022年6月完成调试并正式投入运行,实际进水量接近3.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。表4为2022年8月—2023年1月中旬的实际进、出水水质。可以看出,除进水COD、BOD<sub>5</sub>和SS局部高值超过设计值外,其余指标均低于设计值,出水各项指标均达到设计标准。在偶发的水质波动情况下,出水水质

也能稳定达标,显示出极强的耐污染负荷冲击能力。

表4 实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目		COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	最大值	414.6	215.2	518	29.8	35.7	6.37
	最小值	162.0	58.7	108	8.9	18.6	2.25
	平均值	276.9	131.9	232	21.7	26.8	4.40
出水	最大值	30.3	7.8	8	1.4	13.7	0.39
	最小值	6.0	2.1	1	0.2	3.4	0.04
	平均值	17.1	4.7	5	0.4	9.1	0.18

## 6 结论

① 针对二期工程建设用地紧张的难题,通过优化工艺参数,合理解构构筑物平面布局,在提高出水水质、方便运营的同时达到了减少占地的目的,单位处理水量用地指标仅为 $0.36\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ ,体现了高效、集约的设计理念。

② 通过在第二缺氧池同时设置搅拌装置和曝气系统,实现了AAOAO和A<sup>2</sup>O两种生物处理模式的切换,提高了生物池运行的灵活性和抗冲击能力,减少能耗。

③ 设置精确曝气系统,按需分配和调节曝气量,实现活性污泥系统的高效稳定运行,保证污染物达标的同时又防止过度曝气,实现节能降耗。

④ 二期工程的建设实现了污水终端处理系统与日益增加的污水量之间的平衡,运行实践证明,系统脱氮除磷效果显著,耐污染负荷冲击能力强,出水水质稳定,各项指标均满足设计要求,具有一定的环境效益和社会效益。

## 参考文献:

[1] 李树苑,刘海燕.《城市污水处理工程项目建设标准》

修订主要内容解读[J]. 给水排水, 2022, 48(12): 155-161.

LI Shuyuan, LIU Haiyan. Interpretation of the main revision contents of *Standard for Construction of Municipal Wastewater Treatment Project* [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 48(12): 155-161 (in Chinese).

[2] 王彬. 污水处理厂生物反应设施集约化设计探讨[J]. 中国给水排水, 2018, 34(10): 61-65.

WANG Bin. Discussion on the intensive design of biological reaction facilities in wastewater treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(10): 61-65 (in Chinese).

[3] 张勇. 中高海拔地区污水厂曝气池经济水深选择与研究[J]. 水科学与工程, 2022(4): 79-81.

ZHANG Yong. Selection and research of economic water depth for aeration tank of sewage plant in middle and high altitude area [J]. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2022(4): 79-81 (in Chinese).

[4] 姚斌,杨立峰,蔡芝斌,等. 基于节能的精确曝气系统在绍兴污水厂的应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(23): 146-149.

YAO Bin, YANG Lifeng, CAI Zhibin, et al. Application of air distribution and control system based on energy-saving in Shaoxing sewage treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(23): 146-149 (in Chinese).

作者简介:唐章程(1993- ),男,山东临沂人,硕士,工程师,主要从事市政给排水工程设计与关键技术研究工作。

E-mail: sdtangzhch@163.com

收稿日期:2023-02-07

修回日期:2023-03-19

(编辑:沈靖怡)

落实绿色发展理念,全面推行河长制