

PTA²O 强化脱氮除磷工艺用于亚龙湾污水处理厂二期工程

王建西

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: 亚龙湾污水处理厂一期工程设计规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2004 年投产, 现已满负荷运行。一期采用 BC-O 生物巢工艺, 该工艺是把特殊设计的纤维填料作为生物巢置于框架内, 放置于曝气生物池中, 作为菌群的固定膜床。二期工程设计规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 前期 $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 于 2018 年底建成投产。因一期生物巢易堵塞, 二期工程采用 PTA²O 强化脱氮除磷工艺, 该工艺在传统 A²O 工艺基础上对曝气、回流、沉淀等进行了改进。将传统的推流式改为环流式布置, 采用可以不停车更换的曝气软管技术, 维护方便; 采用气提大比例回流方式替代水下搅拌器和推进器, 运行节能; 将高效斜管沉淀装置置于曝气池内完成泥水分离, 不采用大型的辐流式沉淀池。PTA²O 工艺占地小、设备少、维护方便、运行节能、效果稳定。实际运行表明, 该工程出水 COD < 20 mg/L, 其他出水水质指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准, 出水用于城市杂用。

关键词: PTA²O 工艺; 生活污水; 强化脱氮除磷

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0048-05

Application of PTA²O Enhanced Nitrogen and Phosphorus Removal Process in Second Phase Project of Yalong Bay Sewage Treatment Plant

WANG Jian-xi

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The design treatment capacity of first phase Yalong Bay sewage treatment plant was $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. It was put into operation in 2004, and it is now running at full load. In the first phase, BC-O biological nest process was adopted, which placed the specially designed fiber packs as biological nests in the framework, in the biological aeration tank, as the fixed biofilm bed of flora. The design treatment capacity of the second phase project was $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the previous period of $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ was completed and put into operation at the end of 2018. Because the first phase of biological nests was easy to be clogged, the second phase of the project used the PTA²O enhanced nitrogen and phosphorus removal process, which improved aeration, reflux, precipitation on the basis of traditional A²O process. In the aspect of sewage flow pattern, the traditional push flow was changed to circular flow arrangement, and the aeration hose which could be replaced without stopping operation was adopted, which was convenient for maintenance. In the aspect of sludge reflux, the air lift-large proportion reflux method was used to replace the underwater agitator and thruster, which contributed to economical energy consumption. In the aspect of precipitation, the highly efficient slant tube sedimentation device was placed in the aeration tank to complete the separation of sludge and water, and the large radiative flow sedimentation tank was not used. PTA²O process had the advantages of small land occupation, less

equipment, convenient maintenance, energy saving and stable effect. The effluent COD of the second phase project was less than 20 mg/L, and other indexes of effluent quality were better than the criteria specified in the first level A of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The effluent could be utilized for urban miscellaneous use.

Key words: PTA²O process; domestic wastewater; enhanced nitrogen and phosphorus removal

1 工程概况

亚龙湾是位于海南最南端的一个半月形海湾,是海南著名风景区之一,这里如诗如画的自然风光、舒适完善的旅游度假设施和独具特色的旅游项目已成为旅游者向往的天堂。

为了有效保护亚龙湾优美的自然环境,2004 年上马一期污水处理工程。一期工程处理规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,投产后污水量从 $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右逐年增多,至 2014 年达到 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,高峰期接近满负荷运行。

一期工程污水处理采用 BC-O 生物巢工艺,设有中格栅及进水泵房、平流沉砂池、BC-O 生物反应巢、二沉池、砂滤池、中水池、污泥浓缩池、匀质池、污泥脱水机房、加药间、鼓风机房等建(构)筑物。

随着新规划旅游项目的陆续建成,预计 2016 年—2020 年将新产生污水量 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,因此二期工程按 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理能力设计,分期实施,前、后期各 $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 设计进、出水水质

二期工程厂址位于一期工程东北侧,项目占地 0.68 hm^2 。污水处理厂出水排入亚溪河,流经青梅港红树林自然保护区,最终排入亚龙湾。

青梅港红树林保护区属于重要生态敏感地区,红树林主要分布在亚溪河入海处,面积约有 100 hm^2 ,主要由榄李群落、角果木群落组成。

根据三亚市水环境功能区划,亚溪河水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类标准。根据《海南省近岸海域环境功能区划》,亚龙湾近岸海水执行《海水水质标准》(GB 3097—1997)中的第一类标准。

由于以上原因,结合亚溪河现状水质 COD 本底浓度为 30 mg/L ,政府部门对亚龙湾污水处理厂排放水质提出了更为严格的要求,要求出水 COD 排放达到地表水Ⅲ类标准,即小于 20 mg/L 。

环境监测部门经长期监测发现,在污水流入亚溪河线路附近湿地的红树林长势明显比远处的旺

盛,这种现象说明红树林的生长需要一定的营养成分,即污水处理厂废水中的氮、磷等营养元素在一定条件下对红树林的生长是有利的。经环保部门计算,按一级 A 排放标准, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 初始浓度(充分混合断面浓度)为 $1.033\,9 \text{ mg/L}$,经过河流稀释后, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度随距离的增加逐渐递减。尾水排放口至下游 3 km 之间的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度相对于亚溪河 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 本底浓度 1.0 mg/L 变化不大,因此对亚溪河及亚龙湾水质影响不大。基于以上原因,政府部门要求氮、磷及其他排放指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 排放标准。

综上,设计进水水质参照一期工程,设计出水水质除 $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$ 外,其他指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准(见表 1)。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ - N	TP
进水	400	150	150	40	30	5
出水	20	10	10	15	5	0.5

3 工艺方案

本项目的关键在于出水 COD 能否稳定达到 20 mg/L 以下。COD 排放小于 20 mg/L 的标准在国内不多见。北京市地方标准(DB 11/890—2012)规定:新(改、扩)建城镇污水处理厂,排入北京市Ⅱ、Ⅲ类水体的,COD 排放执行小于 20 mg/L 的标准,排入北京市Ⅳ、Ⅴ类水体的,COD 排放执行小于 30 mg/L 的标准。北京市为达到排放标准一般采用 BAF + O₃ + DNBF 工艺或 MBR + O₃ 工艺。北京高碑店污水处理厂提标改造工程^[1],要求出水 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5 \leq 6 \text{ mg/L}$,氨氮 $\leq 1 \text{ mg/L}$,总氮 $\leq 10 \text{ mg/L}$,总磷 $\leq 0.3 \text{ mg/L}$,即采用 A²/O(填料) + DNBF + 膜过滤 + O₃ 工艺。

本项目一期工程采用 BC-O 生物巢工艺。

BC-O 生物巢工艺是把特殊设计的纤维填料作为生物巢置于框架内,放置于曝气生物池中,作为菌群的固定膜床。膜的表面为好氧层,而巢的内部则为厌氧层。微生物菌群在好氧层和厌氧层不断穿插交替,裂变增殖,分解水中有机质。该工艺初期效果较好,随着运行时间的延长,污水中的杂质积聚于填料中难以脱落和清除,给运行管理造成不便。

一期工程多年进水 COD 在 171~334 mg/L 之间,平均值为 241 mg/L。出水 COD 在 14.1~23.7 mg/L 之间,平均值为 18.4 mg/L,大部分情况下可稳定达到 20 mg/L 以下。

综合一期工程运行情况并借鉴福州、桂林类似工程案例^[2-4],笔者在制定工艺方案时认为:本项目进水为生活污水,碳氮比合适,且污水常年温度合适,易于生化处理,不必采用 BAF、DNBF、MBR、O₃ 等运行费用比较昂贵的工艺即可保证出水达标排放。鉴于一期工程使用填料存在的问题,根据业主意见,二期扩建工程生化处理不再采用填料。

PTA²O 工艺是对传统 A²O 工艺的改进工艺,工艺改变主要为以下两个方面:改传统的推流式布置加机械搅拌为环流式布置,以大流量气提作为循环的动力;硝化液以及污泥的回流均采用气提方式。

综上所述,设计推荐采用 PTA²O 工艺,流程见图 1。PTA²O 生化池平面布置见图 2。

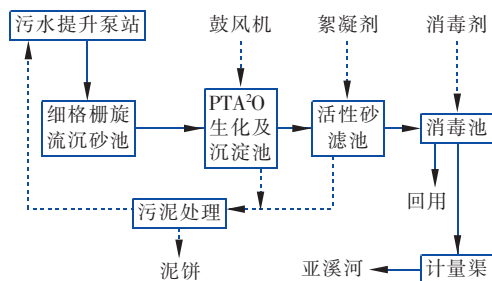


图1 工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

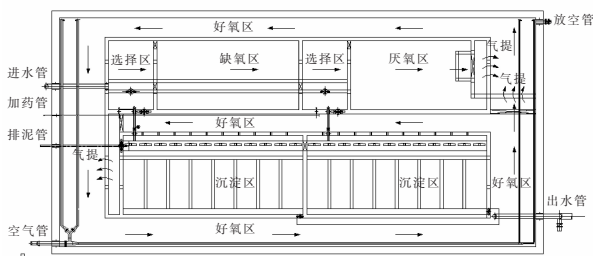


图2 PTA²O 生化池平面布置

Fig.2 Plane layout of PTA²O biological reaction tank

PTA²O 工艺在设备使用方面的改进如下:目前国内现有 A²O 工艺存在曝气设备易堵、易损、更换难问题,PTA²O 工艺采用可以不停车更换的软管曝气系统;针对国内现有 A²O 工艺需大量机械搅拌器、推流器、内外回流泵、刮泥机等动力设备,事故率高的问题,PTA²O 工艺省去搅拌器、推流器、回流泵、刮泥机等设备,仅使用曝气鼓风机的空气作为动力,实现搅拌、推流、回流、排泥等功能,水下无任何动力设备,可降低日常维护维修及事故率;PTA²O 工艺将可以反冲洗的高效斜管沉淀池作为二沉池置于生物池内,上部实现固液分离,下部依然实现曝气和污泥回流,省去了单独的二沉池及其连接管路。

4 构筑物设计参数及设备配置

① 粗格栅及进水泵房(原有)

利用原一期设施,换大泵。经核算,泵池容积够用。

设计流量为一、二期全部污水量。 $Q=2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.47$ 。其中一期工程 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 二期工程 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 在细格栅及旋流沉砂池后分流。主要设备:潜水污水泵 4 套(3 用 1 备,全变频), $Q=510 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=260 \text{ kPa}$, 功率为 50 kW。

② 细格栅及旋流沉砂池

一期工程没有细格栅,造成生物巢积聚杂物过多,难以清除。因此细格栅及旋流沉砂池土建按规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计。

细格栅:渠道 2 条,设 2 道细格栅,根据时间间隔或格栅前后水位差自动启闭,并与无轴螺旋输送机联动,完成栅渣的收集、输送和装箱。污水经旋流沉砂池去除较大粒径砂砾后进入生化池。

细格栅渠为钢筋混凝土结构,单渠尺寸为宽 1.0 m × 深 1.5 m。主要设备:圆孔板回转细格栅 2 套, 1.3 kW, 格栅宽度 $B=0.8 \text{ m}$, 栅条间隙为 5 mm, 栅条倾角 $\alpha=70^\circ$, 栅前水深为 1~1.3 m, 最大水位差 $\Delta h_{\max}=500 \text{ mm}$, 过栅流速为 0.75 m/s, 材质为不锈钢;螺旋输送机 1 套, $D=300 \text{ mm}$, $L=3.0 \text{ m}$, $N=1.5 \text{ kW}$;螺旋压榨机 1 套, $D=300 \text{ mm}$, $N=2.2 \text{ kW}$ 。

旋流沉砂池 1 座 2 池,设计流量为 $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$, 池径为 3.05 m, 有效水深为 3.0 m;搅拌器 2 台, 0.75 kW;砂水分离器 2 台, 0.37 kW;罗茨风机 2 台, $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$, 70 kPa, 3.7 kW。

③ PTA²O 生化池:

PTA²O 生化池 2 座,近期 1 座 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$, 预留

远期 1 座(5 000 m³/d)位置。

PTA²O 生化池系生化反应池与二沉池的合建式构筑物。其中生化池部分与传统 A²O 工艺相同,由厌氧池、缺氧池、好氧池三部分组成,二沉池置于好氧池内。PTA²O 采用可以不停车更换的曝气软管技术,污泥的内、外回流均采用气提方式实现。主要设计参数如下:

生化池设计停留时间:厌氧区 2.5 h,好氧区 12.7 h,缺氧区 4.0 h,污泥浓度为 4 g/L,设计污泥龄为 18 d,污泥回流比为 200%,硝化液回流比为 300%,池有效水深为 6 m。

二沉池:采用带反冲洗的上向流斜管沉淀池,总水深为 6 m,沉淀区面积为 134 m²,表面水力负荷为 1.56 m³/(m²·h)。

生化池设备材料:Ø65 mm 聚氨酯曝气管 2 400 m,不锈钢喇叭式气提装置 20 套,Ø80 mm 乙丙共聚斜管 135 m²,斜管空气冲洗装置 1 套,DO 仪 1 套。

PTA²O 生化沉淀池净尺寸为 18.8 m×39.3 m,池深为 6.85 m。

④ 活性砂滤池

流量按一期 1.5×10⁴ m³/d 及二期 5 000 m³/d 共 2×10⁴ m³/d 设计,共 22 座池。另预留二期 5 000 m³/d 位置。总尺寸为 26.6 m×10.8 m。压缩空气动力系统放置在鼓风机房内。

⑤ 接触消毒池

接触消毒池 1 座,钢筋混凝土结构,3 条廊道。净尺寸为 12 m×6.4 m×3.5 m,有效水深为 3.0 m,有效容积为 230 m³,设计停留时间为 60 min。消毒剂采用次氯酸钠,投加量为 7 mg/L,共计 35 kg/d。出水进入一期中水回用水池。剩余经由一期计量渠排入亚溪河。

⑥ 鼓风机房

鼓风机房内设鼓风机,向生物反应池供气,保障生物池内生物降解所需的氧量,同时设空压机向活性砂滤池提供压缩空气。

主要设备:空气悬浮鼓风机(变频调节)近期 2 台(1 用 1 备),远期增加一台,流量为 30 m³/min,风压为 69 kPa,功率为 37 kW;空气压缩机 2 台(1 用 1 备),流量为 5.4 m³/min,0.8 MPa,30 kW;压缩空气储气罐 1 台,容积为 1.5 m³,工作压力为 1.0 MPa;冷干机 1 台,处理气量为 6.9 m³/min,功率为 1.5 kW;精密过滤器 2 个,处理气量为 6.8 m³/min,工作

压力为 1.0 MPa。

⑦ 加药间

加药间内设置絮凝剂投加装置,投加在活性砂滤池前混凝处。设置醋酸钠投加装置,在原生碳氮比较低、碳源不足时使用。

PAC 加药量按 40 mg/L 设计,共计 200 kg/d,投加浓度为 10%。主要设备:PAC 溶液池搅拌器 2 台,2×2.2 kW;PAC 计量泵 2 台(1 用 1 备),100 L/h,功率为 2.2 kW。

醋酸钠投加量按 74 mg/L 计,共计 370 kg/d,主要设备:醋酸钠溶液池搅拌器 2 台,2×2.2 kW;醋酸钠计量泵 2 台(1 用 1 备),100 L/h,功率为 2.2 kW。

⑧ 加氯间

次氯酸钠加药量最大按 10 mg/L 设计,共计 50 kg/d,投加浓度为 10%。主要设备:次氯酸钠发生器近期 1 台,2 kg/h,10 kW,远期增加 1 台;次氯酸钠计量泵 2 台(1 用 1 备),315 L/h,功率为 0.5 kW。次氯酸钠储液罐 2 个,容积为 2 m³/个。

⑨ 污泥处理

一期工程污泥处理设计参数较实际情况大,带式污泥脱水机能力富余较大(按每天两班共 16 h 可脱水 30 t),而实际污泥量较少(一个月约 20 t),故二期工程不再新增设备。

⑩ 除臭设计

本工程地处一类区,因此厂界废气应执行一级标准并进行除臭设计。

需除臭的构筑物包括一期粗格栅及进水泵房、平流沉砂池、污泥浓缩池、污泥脱水机房以及二期工程细格栅、旋流沉砂池。

本项目规模较小,又属于局部除臭,设计采用高能离子除臭。设高能离子发生器 4 台,0.05 kW/台;排风机 1 台, $Q=4\ 800\text{ m}^3/\text{h}$, $P=1.3\text{ kPa}$, $N=4\text{ kW}$;送风机 1 台, $Q=2\ 500\text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.8\text{ kPa}$, $N=1.5\text{ kW}$ 。

5 调试及运行效果

二期工程于 2018 年 12 月 20 日通水调试。前 3 天进水负荷控制在 30%~50%,之后增至设计水量 5 000 m³/d 调试。2019 年 1 月 8 日调试成功,出水水质达到排放标准。

2019 年 1 月 22 日,建设单位委托第三方机构对出水水质进行检测,结果见表 2。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

mg · L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	氨氮	总氮	总磷	悬浮物	动植物油	石油类
进水	408	150	31.1	34.1	4.5			
出水	18	6.6	0.27	2.38	0.12	8	0.06	0.06
标准	20	10	5	15	0.5	10	1.0	1.0

6 效益分析

本项目投资按规模为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计,工程总投资为 4 600 万元,其中第一部分投资为 3 280 万元,吨水投资为 4 600 元。项目设计装机容量为 436.02 kW。由于试运行期间出水达标后未再投加醋酸钠,按不投加醋酸钠计,本项目运行功率不大于 283.52 kW,单位电耗约为 $0.40 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。

7 结论

本项目的工程实践证明,只要条件合适,采用 PTA²O 工艺能够保证出水 COD 达到地表水Ⅲ类标准,其他出水指标优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准,处理效果稳定,运行成本低廉。

参考文献:

- [1] 冯凯. 北京高碑店再生水处理厂升级改造工艺方案设计[J]. 给水排水,2012,38(12):35-39.
Feng Kai. Upgrading and reconstruction process design for the Gaobeidian reclaimed water treatment plant in Beijing City[J]. Water & Wastewater Engineering,2012,38(12):35-39(in Chinese).
- [2] 赵国志. 福州市洋里污水处理厂一、二期工程的设计及运行[J]. 中国给水排水,2010,26(2):31-36,41.
Zhao Guozhi. Design and operation of first-phase and second-phase projects of Fuzhou Yangli wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater,2010,26

(2):31-36,41(in Chinese).

- [3] 魏建文,魏玮,王敦球,等. 桂林市七里店城镇污水处理厂的提标节能改造实践[J]. 中国给水排水,2012,28(24):78-82.
Wei Jianwen, Wei Wei, Wang Dunqiu, et al. Upgrading and reconstruction of Qilidian sewage treatment plant in Guilin[J]. China Water & Wastewater,2012,28(24):78-82(in Chinese).
- [4] 沈晓铃,李大成,孔建明,等. A²O 工艺在污水处理厂一级 A 提标改造中的应用[J]. 中国给水排水,2011,27(8):44-46,51.
Shen Xiaoling, Li Dacheng, Kong Jianming, et al. Application of A²O process to upgrading and reconstruction of WWTP for first level A criteria[J]. China Water & Wastewater,2011,27(8):44-46,51(in Chinese).



作者简介:王建西(1964—),男,河南洛阳人,大学本科,高级工程师,从事给排水工程设计 30 余年,获省部级优秀设计一、二、三等奖和优秀设计咨询奖数项。

E-mail:13752517662@163.com

收稿日期:2019-02-21