

# 立体生态生物膜工艺在高排放标准污水处理中的应用

杨凡, 邹磊, 王雪

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

**摘要:** 河源城南污水处理厂原采用改良 A<sup>2</sup>/O 组合工艺,出水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,尾水排入新丰江水源,为保护源水水质,将污水厂出水水质标准提升至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准(其中 TN≤15 mg/L)。提标改造采用立体生态生物膜处理组合工艺,系统由连续串联的多级生化反应器组成,该技术属典型的全固定生物膜反应器,兼具活性污泥法和生物膜法的多重优点。工程于 2015 年 6 月完成竣工验收,两年多的运行实践表明,立体生态生物膜工艺运行稳定,处理效果好,生态环境优美,运行成本低。

**关键词:** 污水处理; 改良 A<sup>2</sup>/O; 立体生态生物膜工艺; 类Ⅲ类水质

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)06-0060-05

## Application of Stereoscopic Ecological Biofilm Reactor in Wastewater Treatment Process with High Emission Standard

YANG Fan, ZOU Lei, WANG Xue

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The modified A<sup>2</sup>/O combined process was used in Heyuan Chengnan Wastewater Treatment Plant, the effluent was discharged to the Xinfeng River with the discharge quality as the first class B standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). In order to protect the quality of river water, the treated effluent standard was required to meet quasi class Ⅲ standard of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002). The combination process of stereoscopic ecological biofilm reactor was used in the upgrading project. The system belonged to a typical fully fixed biofilm reactor, which consisted of a series of multi-stage biochemical reactors, and had multiple advantages of activated sludge process and biofilm process. After the project was completed and accepted in June 2015, more than two years of operation practice has shown that the ecological biofilm reactor has stable performance, good treatment effect, beautiful ecological environment, and low operation cost.

**Key words:** wastewater treatment; improved A<sup>2</sup>/O; stereoscopic ecological biofilm reactor process; quasi class Ⅲ standard

### 1 工程概况

河源市区城南污水厂工程总规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期工程规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。尾水排入新丰江水源,为保护源水水质,确保为下游广深及香港地区

提供优质水源,广东省和河源市政府决定将污水厂出水水质标准从《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《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准(其中

TN≤15 mg/L)。针对如此高的排放标准,为减少政府方的风险,采用 BT 模式建设。经过多方案比选<sup>[1]</sup>,最终选用立体生态生物膜处理组合技术,工程于 2015 年 6 月完成竣工验收,目前运行稳定,效果良好。

2 工艺设计

2.1 改造前原厂概况

原出水指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,于 2008 年建成,主要水质指标见表 1。

表 1 改造前设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality before upgrading  
mg · L<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水	150	250	200	25	40	5
出水	20	60	20	8	20	1

污水厂改造前处理工艺流程见图 1。

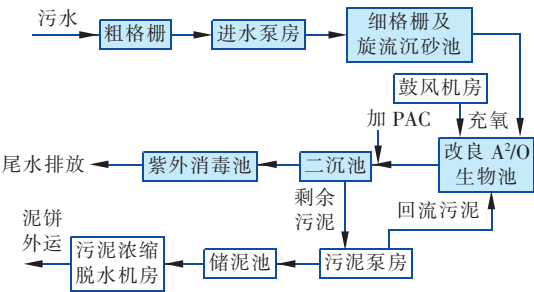


图 1 改造前污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process before upgrading

2.2 提标改造工程方案

2.2.1 提标改造标准

提标改造工程将出水标准由 GB 18918—2002 一级 B 标准提升至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准,因排放水体非封闭性水体,对 TN 按一级 A 标准 TN≤15 mg/L 考核(见表 2)。

表 2 改造工程设计出水水质

Tab. 2 Design effluent quality after upgrading

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
一级 B 标准	20	60	20	8	20	1
提标标准	4	20	5	1.0	15	0.2

根据对比分析,提标改造主要需处理的污染指标为 BOD<sub>5</sub>、COD、NH<sub>3</sub> - N、TP。

2.2.2 改造思路

为节约用地,经过多方案比选后,拟采用的提标改造技术路线为:强化预处理 + 生物处理运行优化及投加填料 + 同步化学除磷 + 深度处理。

① 通过对生物池的改造,在不改变池容的情况下加装固定生物填料,提高反应池的容积负荷,增强生物降解的性能,提高系统的硝化稳定性和反硝化能力<sup>[2]</sup>,进一步提高对污染物的去除效果。

② 对磷的去除主要通过化学除磷、沉淀、过滤来实现。投加高效絮凝剂去除 COD、TP、SS 等。

③ 增设过滤装置,进一步提高对 SS、TP 等污染物的去除率。

采用的提标改造工艺流程见图 2。

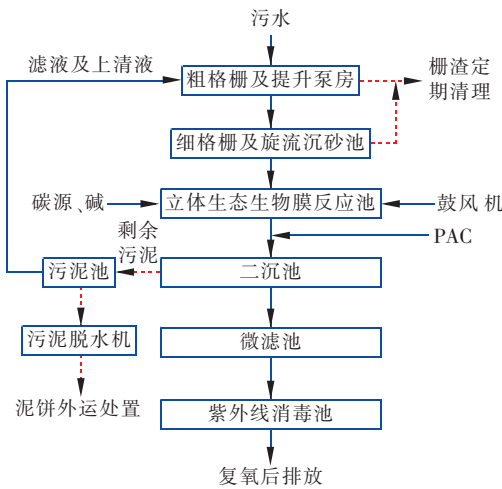


图 2 提标改造后工艺流程

Fig. 2 Process flow chart after upgrading

2.3 提标改造主要设计参数

2.3.1 提标改造构筑物

根据改造思路和工艺流程,对厂区总图进行布置,大部分构筑物在原位改造,仅加药间和微滤池需新增用地约 300 m<sup>2</sup>。

提标改造构筑物见表 3。

表 3 新增和改造构筑物

Tab. 3 New and reconstructed structures

项目	构筑物	主要技术参数	数量/座
新建	微滤池	12 m × 11 m × 4.0 m	1
	紫外线消毒池	12.5 m × 2.5 m × 5.5 m	1
	复氧池	10 m × 10 m × 3.5 m	1
	加药间	11 m × 10 m	1
改造	生物池改造		2
	细格栅	更换设备	2

### 2.3.2 主要工艺设计参数

#### ① 粗格栅间及进水泵房(现有利用)

粗格栅间与进水泵房合建。土建按规模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  一次建成,设备按一期规模  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  安装。目前运行效果良好,满足要求,不予调整。

#### ② 细格栅间及旋流沉砂池(现有利用)

细格栅间与旋流沉砂池合建,一期设一座两斗,平均流量时一斗运行,旱季最大流量时两斗运行。

##### a. 细格栅(更换)

设计过栅流速为  $0.60 \sim 1.0 \text{ m/s}$ ,栅前水深为  $0.7 \text{ m}$ 。为去除大颗粒的悬浮物,避免引起生物池填料的堵塞,本次方案更换细格栅,将栅条间隙由  $6 \text{ mm}$  调整为  $3 \text{ mm}$ 。

##### b. 旋流沉砂池配套设备

旋流沉砂池设沉砂斗2格,每格直径为  $3.3 \text{ m}$ ,池深为  $1.1 \text{ m}$ ,砂斗直径为  $1.5 \text{ m}$ ,砂斗深度为  $1.7 \text{ m}$ 。满足要求,本次改造不予调整。

#### ③ 立体生态生物膜反应池

立体生态生物膜处理系统由连续串联的多级生化反应器组成,该技术属典型的全固定生物膜反应器,兼具活性污泥法和生物膜法的多重优点。

在立体生态生物膜反应器内,通过工程技术措施(包括布设曝气系统、设置仿植物根系生物膜填料、种植挺水植物、安装回流泵及搅拌机等),创造有利于微生物生长繁殖的适宜生活环境,加速微生物的新陈代谢,充分利用反应器内生长的大量微生物,有效氧化分解污水中的各种污染物,并将其转化为稳定的无机物,从而实现除污目的。

改造后生物池剖面示意图3。

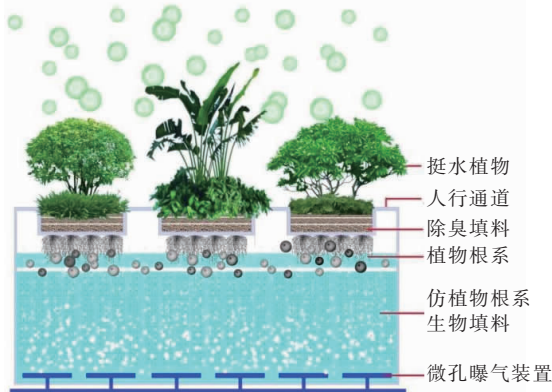


图3 立体生态生物膜反应池剖面

Fig. 3 Cross-section of stereoscopic ecological biofilm reactor

原2组生物池(含兼氧池、厌氧池、好氧池)优化升级后调整为2组立体生态生物膜反应池。每组立体生态生物膜反应器有6个反应池,根据每个池的曝气量不同,形成缺氧和好氧的状态。

主要工程量:拆除原有的玻璃钢盖板和混凝土顶板;拆除除臭风管;拆除搅拌机和回流泵;拆除部分隔墙、导流墙,重新调整水流向;新增植物支架、填料、回流泵等;更换曝气管。

设计参数:反应池分2组,每组6个,共12个;总停留时间为  $10.5 \text{ h}$ (平均流量);反应池总有效容积为  $13\,200 \text{ m}^3$ ;有效水深为  $5.0 \text{ m}$ ;设计水温为  $18 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;污泥龄为  $40 \text{ d}$ ;填料容积负荷为  $0.48 \text{ kg-BOD}_5/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$ ;总凯氏氮填料容积负荷为  $0.13 \text{ kgTKN}/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$ ;混合液回流比为  $100\% \sim 200\%$ ;剩余污泥总量为  $1\,800 \text{ kg/d}$ ;最大总供气量为  $7\,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ;植物支架面积为  $1\,176 \text{ m}^2$ ;生物填料面积为  $80\,000 \text{ m}^2$ ;除磷药剂为碱式氯化铝,投加量为  $20 \text{ mg/L}$ 。

附属设备:新增橡胶膜微孔曝气管共  $1\,400$  根( $40$  根备用),每根微孔曝气器供气量为  $5.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。新增混合液回流泵2台(流量为  $1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为  $6 \text{ kPa}$ ,功率为  $5 \text{ kW}$ )。新增溶解氧在线监控仪4台,每组反应池2台。新增人工生物填料  $80\,000 \text{ m}^2$ ,立式布置(见图4)。



图4 生物填料布置

Fig. 4 Layout of biological carrier

新增植物及除臭系统1套:面积为  $1\,176 \text{ m}^2$ ,配备强化自动喷淋系统和植物固定系统(见图5)。气速  $\leq 4 \text{ m/h}$ 。填料厚度为  $0.2 \sim 0.4 \text{ m}$ 。植物支架形式:现浇混凝土框架+不锈钢网架+塑料网格+除臭填料+挺水植物。巧妙利用种植的挺水植物构建内置除臭系统,使处理系统释放的恶臭气体和反应产生的  $\text{CO}_2$  被有效净化,减少碳排放。





图5 水生植物布置

Fig. 5 Layout of aquatic plants

## ④ 鼓风机(现有利用)

现状3台(2用1备)风机保留利用,单台风量为 $65 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ,风压为 $60 \text{ kPa}$ ,功率为 $100 \text{ kW}$ 。

## ⑤ 二沉池、配水排泥井及污泥回流泵房(现有利用)

保留利用现状2座 $\varnothing 34 \text{ m}$ 辐流式中进周出二沉池,最大时表面水力负荷为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

现状配水排泥井及污泥回流泵房由内井外井组合形成,内圈为 $\varnothing 3 \text{ m}$ 配水井,外圈为 $\varnothing 9.8 \text{ m}$ 排泥井,配水井井深为 $6.7 \text{ m}$ ,污泥井井深为 $5.05 \text{ m}$ 。根据工艺改造,污泥量减少,因此利用现状的配套回流及剩余污泥设备可满足要求。

## ⑥ 微滤池(新增)

新增1座微滤池,进行进一步的泥水分离。尺寸为 $12 \text{ m} \times 11 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 。附属设备微滤机1套,处理能力为 $1800 \text{ m}^3/\text{h}$ ,滤盘直径为 $3 \text{ m}$ ,设计滤速 $\leq 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,滤孔直径为 $10 \mu\text{m}$ ,反冲洗周期为 $1 \text{ h}$ (视水质情况而定)。

配套反冲洗水泵2台(1用1备),流量为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为 $100 \text{ kPa}$ ,功率为 $2.2 \text{ kW}$ 。通过反冲洗泵抽取滤后水进行反冲洗,冲洗后废水排至厂区污水系统。

## ⑦ 紫外线消毒池(重建)

现有紫外线消毒池及设备已停用,原本考虑对现状紫外线消毒设施进行改造,位置不变,但由于水力高程的变化,需对现状紫外线消毒池的池深加深 $3.5 \text{ m}$ ,平面尺寸按 $12.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ 不变,并对设备进行更换,设5个排架,60支紫外线灯管,紫外线剂量不低于 $20 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。

## ⑧ 复氧池(新增)

新增1座复氧池,尺寸为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 。

对微滤后出水曝气充氧,提高出水溶解氧浓度。停留时间为 $10 \text{ min}$ (最大流量时)。

附属设备:鼓风机(安装在加药间内)2台(1用1备),风量为 $5.23 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ,风压为 $34.3 \text{ kPa}$ ,功率为 $5.5 \text{ kW}$ ,橡胶膜微孔曝气管共60根。

## ⑨ 储泥池及污泥浓缩脱水间(现有利用)

现状储泥池(均化池)1座,分两格,每格储泥池的净空平面尺寸为 $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ ,高度为 $3 \text{ m}$ 。每格池内设1台 $D3000 \text{ mm}$ 搅拌机。

现状污泥浓缩脱水间土建按 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建设,设备按一期 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装。设计剩余污泥干质量为 $2.8 \text{ t}/\text{d}$ ,设成套离心浓缩脱水机(含进泥泵)两套(1用1备),单套处理规模为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,主电机功率为 $45 \text{ kW}$ ,污泥提升泵功率为 $11 \text{ kW}$ 。

提标改造后,污泥量减少约 $30\%$ ,经复核脱水设备每天运行约 $8 \text{ h}$ 。

## ⑩ 生物除臭装置(2套现有利用,停用1套)

利用现有预处理区和污泥区生物除臭装置,各设有除臭量为 $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的生物除臭装置一套。立体生态生化池具备生态除臭功能,因此生化区原有的生物除臭装置停用。

## ⑪ 除磷药剂投加系统(新建)

新建加药间及储药间1座,面积为 $110 \text{ m}^2$ 。加药设备:溶药设备1套,加药设备2套。

## ⑫ 水生植物设计

选用精心筛选的适宜河源气候特点的挺水类水生植物,植物固定于生化池上部的植物网格上,其根部生长在水中。所选择的水生植物均具有以下几个特点:容易成活;喜温和阳光;能利用污水中的氮、磷;根系较长,超过 $1 \text{ m}$ ,最长达 $1.5 \text{ m}$ ;能开花、花期较长、气味芳香。

## ⑬ 其他附属建筑物

现状附属建筑物可满足使用要求,本次方案不予调整。

## 3 运行效果

提标改造工程于2014年6月建成投产,2015年1月广东省环境监测中心站实施连续监测,于2015年3月出具合格监测报告,2015年6月完成竣工验收,系统已进入稳定运行阶段。监测结果显示,出水主要指标达到《地表水环境质量标准》类Ⅲ类标准(其中 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg}/\text{L}$ )。

具体进、出水水质见表4。

表 4 污水厂系统运行结果

Tab. 4 Operation results of wastewater treatment plant

项目	进水/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	出水/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	去除率/%	出水标准/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
BOD <sub>5</sub>	100 ~ 160	2 ~ 4	90 ~ 98	4
COD	180 ~ 300	10 ~ 18	90 ~ 97	20
SS	100 ~ 150	3 ~ 5	96 ~ 99	5
TN	25 ~ 40	5 ~ 10	60 ~ 80	15
NH <sub>3</sub> - N	15 ~ 25	0.3 ~ 0.9	94 ~ 97	1.0
TP	3 ~ 10	0.1 ~ 0.2	93 ~ 99	0.2

改造后现场实景见图 6。



图 6 立体生态生物膜工艺实景照片

Fig. 6 Pictures of stereoscopic ecological biofilm process

4 技术经济指标

本次提标改造主要技术经济指标见表 5(以  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  计)。

表 5 主要技术经济指标

Tab. 5 Main technical and economic indexes

项 目	指标	项目	指标
总投资/万元	6 080	单位增加总成本/ (元·m <sup>-3</sup> )	0.41
年增加总成本/万元	448.95		
年增加运行成本/万元	153.5	单位增加运行成本/ (元·m <sup>-3</sup> )	0.14
年增加电费/万元	23.0	单位水量增加电耗/ (kW·h·m <sup>-3</sup> )	0.03
工程费用/万元	4 580		
注：改造工艺虽增加流程,但取消了生化池推进器和生化区除臭系统,故电耗增加较少。			

5 结论

① 采用立体生态生物膜组合工艺处理市政污水,主要污染指标能稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准(其中  $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ )。

② 该处理工艺具有抗冲击负荷能力强、处理

效果稳定、出水水质好、污泥产量低、景观环境优美、改造费用适中、运行费用低等特点,适用于用地面积紧张、排放标准高及对厂区环境要求高的工程项目。

参考文献:

[1] 刘亦凡,陈涛,李军. 中国城镇污水处理厂提标改造工艺及运行案例[J]. 中国给水排水,2016,32(16):36-41.  
Liu Yifan, Chen Tao, Li Jun. Process analysis of upgrading and reconstruction of municipal wastewater treatment plants in China[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16):36-41 (in Chinese).  
[2] 江苏省住房和城乡建设厅. 江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.  
Bureau of Housing and Urban - Rural Development of Jiangsu Province. Technical Guide for the Construction of Urban Sewage Treatment Plant in Taihu Basin of Jiangsu Province [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010 (in Chinese).



作者简介:杨凡(1981-),男,湖北天门人,工程硕士,高级工程师,研究方向为市政给水污水处理、流域综合治理,获国家级设计奖2项、省级咨询和设计奖8项,国家知识产权局实用新型专利3项。

E-mail:36630761@qq.com

收稿日期:2017-08-15