

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.029

# 微电解 + UASB + 两级 A/O + 絮凝工艺处理医药废水

邓 觅<sup>1</sup>, 余郭龙<sup>2</sup>, 杨二奎<sup>3</sup>, 梁培瑜<sup>1</sup>, 万金保<sup>3</sup>, 吴永明<sup>1</sup>

(1. 江西省科学院, 江西 南昌 330096; 2. 南昌元芝环保科技有限公司, 江西 南昌 330029; 3. 南昌大学 资源环境与化工学院, 江西 南昌 330031)

**摘 要:** 某医药化工厂废水中含有难降解的苯类及其衍生物, 采用微电解 + UASB + 两级 A/O + 絮凝处理工艺, 介绍了工艺选择依据、主要处理流程和去除效果等。运行结果显示, 该工艺对 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS 的去除率分别达到 97.1%、92.4%、88.9%、86.4%, 相应出水水质分别为 280、130、40、95 mg/L, 优于《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 表 4 中三级排放标准, 满足污水处理厂纳管水质要求, 运行费用为 3.45 元/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 医药废水; 微电解; UASB; 两级 A/O; 絮凝

**中图分类号:** TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)24-0155-05

## Pharmaceutical Production Wastewater Treatment by Micro-electrolysis, UASB, Two-stage A/O and Flocculation

DENG Mi<sup>1</sup>, YU Guo-long<sup>2</sup>, YANG Er-kui<sup>3</sup>, LIANG Pei-yu<sup>1</sup>, WAN Jin-bao<sup>3</sup>,  
WU Yong-ming<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 2. Nanchang Yuanzhi Environmental Engineering Co. Ltd., Nanchang 330029, China; 3. School of Resources Environment & Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** A combined process of iron-carbon micro-electrolysis, UASB, two-stage A/O, flocculation was adopted to treat pharmaceutical production wastewater which contains refractory benzene and its derivatives. The process selection basis, the major process flow and removal effect were introduced. The operation result shows that the removal rates of COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N and SS were 97.1%, 92.4%, 88.9%, and 86.4%, respectively, and the corresponding effluent concentrations were 280 mg/L, 130 mg/L, 40 mg/L and 95 mg/L, respectively. The effluent quality are superior to the third level in table 4 of *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 - 1996) and could meet the intake water quality requirements of sewage pipelines, with the operation cost of 3.45 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** pharmaceutical wastewater; micro-electrolysis; UASB; two-stage A/O; flocculation

某医药化工厂主要生产超高纯氨、香兰素、丝素蛋白、美托洛尔、茴香脑等药品, 生产废水来自萃取

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31860154); 江西省重点研发计划资助项目(20192BBGL70045); 江西省科学院博士项目(2018-YYB-21); 江西省科学院协同创新专项(2018-XTPH1-21)

通信作者: 吴永明 E-mail: 7086006@qq.com



斜管沉淀池产生的物化污泥及两级A/O生化处理系统产生的剩余生化污泥在静水压力的作用下排至污泥干化床,经过过滤及阳光照射等自然干化后外运,安全处置。

## 2.2 主要处理设备

### ① 调节池 I

1座,设计规模 $160\text{ m}^3/\text{d}$ ,投加 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 调节pH值至2~3便于后续微电解处理。有效容积为 $60\text{ m}^3$ ,HRT为8.9 h,地下式钢筋混凝土结构,进行防腐处理。人工格栅1套(S304材质),废水提升泵2台(1用1备, $Q=5.5\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=160\text{ kPa}$ , $N=0.75\text{ kW}$ ),浮球液位计1套,转子流量计1套,空气搅拌系统1套。

### ② 微电解池

2座,每座设计规模 $80\text{ m}^3/\text{d}$ ,去除部分COD和 $\text{BOD}_5$ ,同时提高废水的可生化性。有效容积为 $21.6\text{ m}^3$ ,HRT为6.5 h。采用半地上式钢筋混凝土结构。微电解介质10 t(根据废水性质配制,主要含Fe、C、Mn等),均匀布水系统1套,空气搅拌系统1套。

### ③ 絮凝反应池 I

2座,每座设计规模 $80\text{ m}^3/\text{d}$ ,向该反应池加入NaOH调整废水pH值至中性后再加入PAC和PAM,使之产生絮凝体以促进沉淀反应。有效容积为 $4\text{ m}^3$ ,HRT为1.2 h。采用半地上式钢筋混凝土结构。加药泵4台(3用1备,投加NaOH、PAC、PAM, $Q=28\text{ L/h}$ , $N=40\text{ W}$ ),pH计1台,搅拌机2台(竖立式,不锈钢桨叶,转速 $=65\text{ r/min}$ , $N=0.37\text{ kW}$ ),溶加药系统3套( $N=0.37\text{ kW}$ )。

### ④ 斜管沉淀池<sup>[8]</sup>

2座,每座设计规模 $80\text{ m}^3/\text{d}$ ,有效容积为 $16\text{ m}^3$ ,表面负荷为 $0.43\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。采用半地上式钢筋混凝土结构。 $\varnothing 80\text{ mm}$ 斜管填料和支架各 $8\text{ m}^3$ ,三角出水堰 $8\text{ m}$ ,静压排泥系统1套。

### ⑤ 调节池 II

1座,设计规模 $160\text{ m}^3/\text{d}$ ,主要用于回流UASB出水及缓冲水质、水量。有效容积为 $180\text{ m}^3$ ,HRT为27 h,地下式钢筋混凝土结构。污水提升泵2台(1用1备, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=300\text{ kPa}$ , $N=3.0\text{ kW}$ ),转子流量计1套。

### ⑥ UASB反应池

2座,每座设计规模 $80\text{ m}^3/\text{d}$ ,通过水解酸化作用去除大部分有机污染物<sup>[9]</sup>,COD去除效率约

80%,同时提高其可生化性,减轻对好氧生化工艺的处理负荷。有效容积为 $200\text{ m}^3$ ,HRT为2.5 d,容积负荷为 $2.56\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。半地上式钢筋混凝土结构。设布水系统1套( $25\text{ m}^2$ ,不锈钢),回流污泥均布系统1套( $25\text{ m}^2$ ,不锈钢),三相分离器(双层布置,碳钢+环氧树脂防腐, $50\text{ m}^2$ )1套,水封系统1套,沼气人工点火系统1套,pH计1台。

### ⑦ UASB沉淀池

2座,每座设计规模 $80\text{ m}^3/\text{d}$ ,去除UASB处理后废水中的部分悬浮物质及回流部分厌氧污泥<sup>[10]</sup>。有效容积为 $25\text{ m}^3$ ,表面负荷为 $0.4\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。半地上式钢筋混凝土结构。中心导流筒1个;三角出水堰 $20\text{ m}$ ;污泥回流泵2台(1用1备), $Q=11\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=280\text{ kPa}$ , $N=2.2\text{ kW}$ ,时间继电器1套。

### ⑧ 预曝气池

2座,每座设计规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,通过曝气使废水中含氧量增加便于后期的生化处理。有效容积为 $16.8\text{ m}^3$ ,HRT为4.0 h,地上式钢筋混凝土结构。预曝气系统1套,罗茨鼓风机2台(1用1备), $Q=2.66\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=39.2\text{ kPa}$ , $N=4.0\text{ kW}$ 。

### ⑨ 两级A/O系统

2座,每座设计规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,地上式钢筋混凝土结构。废水中的有机物在兼氧微生物和好氧微生物的交替作用下分解去除;同时,在(亚)硝化细菌和反硝化细菌的共同作用下实现对废水中 $\text{NH}_3-\text{N}$ 的去除。 $\varnothing 160\text{ mm}$ 组合填料 $247\text{ m}^3$ ,填料支架 $247\text{ m}^3$ ;穿孔曝气系统2套,DN215微孔曝气盘及附件150套,曝气盘保护装置2套。

#### a. 兼氧池 1

2座,每座有效容积为 $40\text{ m}^3$ ,HRT为9.6 h,DO为 $0.3\sim 0.7\text{ mg/L}$ ,地上式钢筋混凝土结构。

#### b. 好氧池 1

2座,每座有效容积为 $70\text{ m}^3$ ,HRT为16.8 h,DO为 $2\sim 4\text{ mg/L}$ ,容积负荷 $0.39\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,地上式钢筋混凝土结构。

#### c. 兼氧池 2

2座,每座有效容积为 $40\text{ m}^3$ ,HRT为9.6 h,DO为 $0.3\sim 0.7\text{ mg/L}$ ,地上式钢筋混凝土结构。

#### d. 好氧池 2

2座,每座有效容积为 $80\text{ m}^3$ ,HRT为19.2 h,DO为 $2\sim 4\text{ mg/L}$ ,容积负荷 $0.23\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,地上式钢筋混凝土结构。

## ⑩ 絮凝反应池Ⅱ

2座,每座设计规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,向絮凝反应池中加入PAC和PAM产生絮凝体,以促进沉淀反应过程。有效容积为 $9.5\text{ m}^3$ ,HRT为2.3 h,地上式钢筋混凝土结构。空气搅拌系统2套,溶加药系统2套(投加PAC和PAM),加药泵2台( $Q=0\sim 48\text{ L/h}$ , $N=40\text{ W}$ ),静压排泥系统1套,中心导流筒1个,三角出水堰12 m。

## ⑪ 二沉池

2座,每座设计规模 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,有助于实现对絮凝池最后出水的高效固液分离。有效容积 $18\text{ m}^3$ ,表面负荷为 $0.47\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,地上式钢筋混凝土结构。

## ⑫ 污泥干化床

1座,外排污泥通过重力沉降和过滤,降低污泥含水率,同时借助阳光使污泥进一步脱水干化<sup>[11]</sup>。有效容积为 $12\text{ m}^3$ ,地上式砖混结构。污泥收集系统、污泥过滤系统和废水收集系统各1套。

## 3 工艺调试

该工程设备安装、调试完成后投入运行,稳定运行后连续取样分析,结果显示,该类医药生产废水经该套系统处理后,其最终出水COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS分别可达280、130、40、95 mg/L,明显优于《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的三级标准,并达到了可直排园区污水处理厂管网的水质要求。各主要处理单元的水质情况见表2。

表2 各主要构筑物的处理效果

Tab.2 Treatment effect of the main structures

主要处理单元		监测指标			
		COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	SS
格栅井	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	9 600	1 710	360	700
	去除率/%	1.6	1.2	2.8	7.1
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	9 450	1 690	350	650
调节池	去除率/%	2.1	0.6	5.7	4.6
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	9 250	1 680	330	620
微电解系统	去除率/%	10.3	4.2	15.2	3.2
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	8 300	1 610	280	600
斜管沉淀池	去除率/%	6.6	5.6	12.5	56.7
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	7 750	1 520	245	260
UASB反应/沉淀池	去除率/%	80.6	62.5	6.1	19.2
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	1 500	570	230	210
预曝气池	去除率/%	21.3	19.3	10.9	16.7
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	1 180	460	205	175

续表2 (Continued)

主要处理单元		监测指标			
		COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	SS
一级A/O	去除率/%	50.8	47.8	43.9	8.6
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	580	240	115	160
二级A/O	去除率/%	44.8	39.6	39.1	12.5
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	320	145	70	140
絮凝池+二沉池	去除率/%	12.5	10.3	35.7	32.1
	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	280	130	40	95
总去除率/%		97.1	92.4	88.9	86.4
排放标准/(mg·L <sup>-1</sup> )		500	300	50	400

## 4 技术经济分析

该工程稳定运行后,其主要费用包括电费和药剂费(不含人工费用)。总装机容量为50.0 kW,废水处理量为 $200\text{ m}^3/\text{d}$ ,电耗为 $320\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{d}$ ,电价以 $0.9\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 计,电费为 $1.44\text{ 元}/\text{m}^3$ ;H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaOH、PAC和PAM的价格分别按5 200、410、2 300和23 500元/t计,则费用分别为0.17、0.48、1.0、0.36元/m<sup>3</sup>,正常情况下药剂费为2.01元/m<sup>3</sup>,运行费用合计3.45元/m<sup>3</sup>。

## 5 结论

针对含有大量环类有机物的高浓度、可生化性差的难降解医药生产废水,采用微电解+UASB+两级A/O+絮凝为主体的耦合工艺进行处理,最终对COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS的去除率分别可达97.1%、92.4%、88.9%、86.4%,对应出水浓度分别为280、130、40、95 mg/L,均优于《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准,达到园区污水处理厂进水水质要求。实际运行的电费和药剂费(不包含人工费用)为3.45元/m<sup>3</sup>。

## 参考文献:

- [1] 陈璐,曾韬,李竹,等. 臭氧化技术在高浓度有机废水处理中的应用研究[J]. 环境工程,2014,32(增刊): 121-124,187.  
Chen Lu, Zeng Tao, Li Zhu, et al. Application of ozonation technology in high concentration organic wastewater treatment[J]. Environmental Engineering, 2014,32(S1): 121-124,187(in Chinese).
- [2] 陈前,陈建. 强化铁碳微电解处理含苯系物制药废水[J]. 江苏农业科学,2016,44(3): 339-341.  
Chen Qian, Chen Jian. Enhanced iron-carbon microelectrolysis treatment of benzene-containing pharmaceutical wastewater[J]. Jiangsu Agricultural



- Sciences,2016,44(3):339-341(in Chinese).
- [3] 黄满红,李咏梅,顾国维. 生活污水典型有机污染物与ASMs模型水质特性参数相关性研究[J]. 环境科学,2009,30(5):1499-1501.
- Huang Manhong, Li Yongmei, Gu Guowei. Relationship between typical organic matters in domestic wastewater and water characteristic parameters in activated sludge models[J]. Environmental Science, 2009, 30(5): 1499-1501(in Chinese).
- [4] 王琼,庞雪玲,史彦伟,等. 改良A<sup>2</sup>/O工艺处理生活污水的脱氮除磷效果[J]. 中国给水排水,2018,34(23):100-104.
- Wang Qiong, Pang Xueling, Shi Yanwei, et al. Nitrogen and phosphorus removal in domestic sewage by modified A<sup>2</sup>/O process[J]. China Water & Wastewater,2018,34(23):100-104(in Chinese).
- [5] Xie Y W, Chen L J, Liu R. Oxidation of AOX and organic compounds in pharmaceutical wastewater in RSM-optimized-Fenton system[J]. Chemosphere, 2016,155:217-224.
- [6] 梁凯. 生物处理技术在高浓度有机废水处理中的研究进展[J]. 工业水处理,2011,31(10):1-5.
- Liang Kai. Research progress and development of biological treatment on high-concentration organic wastewater treatment[J]. Industrial Water Treatment, 2011,31(10):1-5(in Chinese).
- [7] 沙昊雷,王艳芳,於建明. 物化/水解/接触氧化工艺处理医药化工废水[J]. 中国给水排水,2008,24(12):62-65.
- Sha Haolei, Wang Yanfang, Yu Jianming. Treatment of pharmaceutical and chemical wastewater by physicochemical/hydrolysis/contact oxidation process[J]. China Water & Wastewater,2008,24(12):62-65(in Chinese).
- [8] 万金保,付煜,刘峰,等. 微电解/芬顿/水解/接触氧化/混凝处理制药废水[J]. 中国给水排水,2019,35(2):109-113.
- Wan Jinbao, Fu Yu, Liu Feng, et al. Treatment of pharmaceutical wastewater by micro-electrolysis/Fenton/hydrolysis acidification/biological contact oxidation/coagulation process[J]. China Water & Wastewater,2019,35(2):109-113(in Chinese).
- [9] 吴东升,崔红军,何秀秀,等. 改进型斜管沉淀池在水厂改造中的实际应用[J]. 中国给水排水,2016,32(4):68-71,76.
- Wu Dongsheng, Cui Hongjun, He Xiuxiu, et al. Practical application of improved inclined-tube sedimentation tank in waterworks reconstruction[J]. China Water & Wastewater,2016,32(4):68-71,76(in Chinese).
- [10] 万金保,余晓玲,邓冕,等. 水解酸化-EGSB-生物接触氧化组合工艺处理制药废水[J]. 中国给水排水,2018,34(14):97-100.
- Wan Jinbao, Yu Xiaoling, Deng Mi, et al. Treatment of pharmaceutical wastewater by a combined process of hydrolytic acidification, EGSB and biological contact oxidation[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14):97-100(in Chinese).
- [11] 郭淑琴,孙孝然. 几种国外城市污水处理厂污泥干化技术及设备介绍[J]. 给水排水,2004,30(6):34-37.
- Guo Shuqin, Sun Xiaoran. Introduction of sludge drying technology and equipment in several foreign urban sewage treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering,2004,30(6):34-37(in Chinese).



作者简介:邓冕(1989- ),男,江西赣州人,博士,助理研究员,主要从事废水治理与资源化利用研究。

E-mail:dmi190816@163.com

收稿日期:2019-09-10