

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.016

## 废塑料造粒洗气废水处理工程实例

马晓伟, 安浩东, 朱乐辉, 黄冬根

(南昌大学资源环境与化工学院 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室,  
江西 南昌 330031)

**摘要:** 废塑料造粒生产过程中的废气采用水吸收作为预处理,会产生高浓度难降解有机废水。先通过气浮去除水中浮油、悬浮物,再经过 Fenton 氧化预处理,提高其可生化性,然后采用 UASB + 接触氧化工艺处理,最后用次氯酸钠去除部分氨氮,其出水水质达到所在工业园区污水厂纳管标准( $\text{COD} \leq 350 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 50 \text{ mg/L}$ 、甲苯  $\leq 0.2 \text{ mg/L}$ )。工程调试运行结果显示,COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  和甲苯平均去除率分别达 96.1%、89.9%、99.8%,在技术上和经济上是可行的。

**关键词:** 塑料造粒洗气废水; 气浮; Fenton; UASB; 生物接触氧化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0090-05

## Project Case of Gas Washing Wastewater Treatment of Waste Plastic Granulation

MA Xiao-wei, AN Hao-dong, ZHU Le-hui, HUANG Dong-gen

(Key Laboratory of Poyang Lake, Ministry of Education, School of Resources Environment & Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** The waste gas in the process of waste plastic granulation uses water absorption as pretreatment, which will produce high concentration of refractory organic wastewater. First, the floating oil and suspended solids in the water are removed by air flotation, next they are pretreated by Fenton oxidation to improve their biochemical performance, then they are treated by UASB and contact oxidation process, and finally part of ammonia nitrogen is removed by sodium hypochlorite. The effluent quality reaches the receiving standard of the sewage plant in the industrial park, i. e.  $\text{COD} \leq 350 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 50 \text{ mg/L}$ , methylbenzene  $\leq 0.2 \text{ mg/L}$ . The results of project commissioning show that the average removal rates of COD,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and methylbenzene are 96.1%, 89.9% and 99.8% respectively, which is feasible in technology and economy.

**Key words:** gas washing wastewater from plastic granulation; air floatation; Fenton; UASB; biological contact oxidation

江西某年产 18 000 t 再生塑料粒子企业采用水浴除尘 + 静电式(等离子)油烟净化器 + UV 高效光解净化器处理废气,产生的废水属于高浓度有机废水,具有水质水量波动大、成分复杂等特点。废水中

COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度高,含有苯系物(以甲苯为主)等难降解有机物<sup>[1-2]</sup>。采用单一的物化或生化处理难以达到排放标准<sup>[3-4]</sup>。采用气浮 + 芬顿 + UASB + 生物接触氧化 + 次氯酸钠氧化工艺处理该企业废

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41967046)

水,出水水质可达到工业园区污水厂纳管标准,即:  
 $\text{COD} \leq 350 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 50 \text{ mg/L}$ ,  $\text{TP} \leq 5 \text{ mg/L}$ ,  
 $\text{pH}$  值为 6.0 ~ 9.0。

## 1 废水水质

该企业主要原料为经清洗过的废塑料袋、纸张表面覆膜等,经过加热熔融、挤出、拉丝、切粒等工序生产塑料粒子。废水主要来自生产车间的水浴除尘工序,含有造粒产生的粉尘和苯系物(以甲苯为主)、氨氮等污染物。废水的平均流量为  $10 \text{ m}^3/\text{d}$ ,废水水质和排放标准见表 1。

表 1 废水水质及排放标准

Tab. 1 Wastewater quality and discharge standard

项 目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	甲苯/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH 值
原水水质	7 500	287	—	48	5.28
排放标准	350	50	5	0.2	6 ~ 9

## 2 小试及废水处理工艺流程

### 2.1 混凝气浮试验

由于原水中含有悬浮物和浮油类物质,采用混凝气浮对原水进行预处理。在  $\text{pH}$  值为 7.0 ~ 8.0 条件下,通过在气浮池加入 PAC 和 PAM(加药量为 PAC 的 1%) 去除原水中部分污染物,因废水中悬浮污染物多为有机物, COD 指标可反映污染物去除效果,故选取 COD 作为考察指标。试验结果见表 2。

表 2 混凝气浮去除原水中污染物试验

Tab. 2 Experiment of removing pollutants in wastewater by coagulation and air flotation

PAC 加药量/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	50	100	200	300	400	500
PAM 加药量/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
COD 去除率/%	10.9	23.6	31.6	44.7	49.4	60.2

根据试验结果,考虑加药对工程运行费用以及 PAC、PAM 加药量对后续生化系统的影响,运行过程中 PAC 投加量为  $200 \text{ mg/L}$ 、PAM 为  $2 \text{ mg/L}$ 。

### 2.2 反应 pH 值对芬顿氧化效果影响小试

由于该企业废水的有机物含量高,含有苯系物等难降解成分,为了达到处理要求,采用芬顿氧化<sup>[5]</sup>对调节池废水进行预处理。取 1 L 废水,加入  $1.0 \text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和  $1.0 \text{ mL H}_2\text{O}_2$  (含量 30%), 改变反应 pH 值,搅拌 2 h,调节 pH 值为 7.0 ~ 8.0 后静置 30 min 以使水中  $\text{Fe}^{3+}$  充分水解并沉淀,其

COD 去除率如表 3 所示。

表 3 反应 pH 值对芬顿氧化效果影响试验

Tab. 3 Effect of reaction pH on Fenton oxidation

反应 pH 值	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
COD 去除率/%	44.6	39.2	43.3	47.7	45.2	31.5

根据试验结果,当 pH 值为 5.0 ~ 6.0 时 COD 去除率最高,氧化效果最好,故在此 pH 值范围内探究芬顿加药量对氧化效果的影响。

### 2.3 加药量对芬顿氧化效果影响小试

取 1 L 废水,在 pH 值为 5.0 ~ 6.0 的条件下,采用控制变量法,加入  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,搅拌 2 h,调节 pH 值为 7.0 ~ 8.0 后静置 30 min,其 COD 去除率如表 4、5 所示。

表 4  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  投加量对芬顿氧化效果影响试验

Tab. 4 Experiment on the Fenton oxidation effect of

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dosage

加药量	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{g}$	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5
	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{mL}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
COD 去除率/%		31.5	36.3	34.2	46.3	31.2	29.4

表 5  $\text{H}_2\text{O}_2$  投加量对芬顿氧化效果影响试验

Tab. 5 Experiment on the Fenton oxidation effect of  $\text{H}_2\text{O}_2$

dosage

加药量	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{g}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{mL}$	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
COD 去除率/%		30.1	41.2	49.6	53.3	52.7	48.7

根据试验结果,当 1 L 废水加药量为  $1.0 \text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和  $1.5 \text{ mL H}_2\text{O}_2$  时,氧化效果最佳。

综合以上试验结果,考虑处理成本以及后续生化工艺处理能力,运行过程中反应 pH 值控制在 5.0 ~ 6.0,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  投加量为  $1.0 \text{ g/L}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  投加量为  $1.5 \text{ mL/L}$ 。

### 2.4 工艺流程确定

综合上述试验,针对该厂洗气产生的废水中含有大量悬浮物和难分解有机物的特点,先经过气浮调节 pH 值至 7.0 ~ 8.0,再加入 PAC、PAM 去除悬浮物和浮油,保证后续处理单元和水泵的正常运行。

气浮出水进入调节池调节水量,再由提升泵送入芬顿氧化池,调节废水 pH 值为 5.0 ~ 6.0,加入硫酸亚铁和双氧水进行氧化,破坏废水中难降解物质结构。废水进入混凝沉淀池,将 pH 值调节到 8.0 左右,同时加入 PAC、PAM 进一步去除悬浮物和  $\text{Fe}^{3+}$ ,混凝沉淀出水进入中间池。因原水中不含磷元素,按生物段所需要的营养比在中间池加入磷酸

二氢钾。

随后废水进入生化处理阶段,首先进入 UASB 反应器,利用厌氧菌分解大部分有机物,并排出沼气。再进入生物接触氧化池进行好氧处理,进一步去除废水中 COD 和氨氮,其出水在沉淀池进行泥水分离。沉淀池出水进入除氮池,加入次氯酸钠去除氨氮,保证出水氨氮达标。气浮浮渣经脱水后回用,芬顿反应产生的污泥经脱水后作为危废暂存,后委托有资质单位处理,生化污泥经脱水后委托环卫部门处置。废水处理工艺流程见图 1。

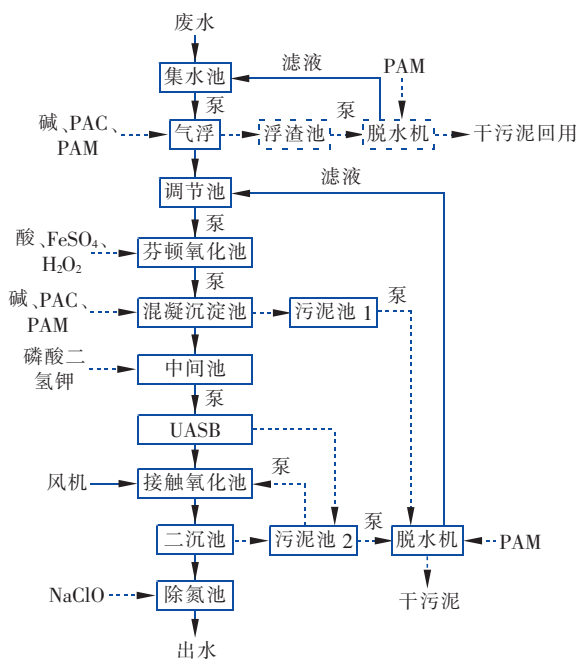


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

### 3 主要构筑物及设备参数

① 集水池。1座,钢混结构,有效容积  $72 \text{ m}^3$ 。配套潜污提升泵2台( $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 100 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ ),1用1备,设回流调节阀。

② 气浮机。10套,碳钢防腐,尺寸  $4.6 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 。溶气罐1台,尺寸  $D400 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$ ;空压机1台,排气量  $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$ ,工作压力  $0.7 \text{ MPa}$ ,  $N = 4.0 \text{ kW}$ ;循环泵1台,  $Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 150 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.37 \text{ kW}$ 。加药装置3套(带搅拌器,  $N = 0.55 \text{ kW}$ , 转速  $= 60 \text{ r/min}$ )。

③ 调节池。1座,钢混结构,有效容积  $240 \text{ m}^3$ 。配套提升泵2台( $Q = 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 100 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.37 \text{ kW}$ ),1用1备,设回流调节阀。

④ 芬顿氧化池。2座,钢混结构,尺寸  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$ ,反应时间  $2 \text{ h}$ 。配套提升泵2台( $Q = 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 100 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.37 \text{ kW}$ ),1用1备,设回流调节阀。氧化池设搅拌器2台(转速  $= 50 \text{ r/min}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ ),加药装置1套(带搅拌器,  $N = 0.75 \text{ kW}$ , 转速  $= 50 \text{ r/min}$ )。

⑤ 混凝池。1套,碳钢防腐,有效容积  $0.288 \text{ m}^3$ ,水力停留时间  $20 \text{ min}$ 。配套设备:搅拌装置1套,  $N = 0.75 \text{ kW}$ 。加药装置3套(带搅拌器,  $N = 0.75 \text{ kW}$ , 转速  $= 1390 \text{ r/min}$ )。

⑥ 沉淀池。1座,碳钢防腐,有效水深  $2.2 \text{ m}$ ,有效容积  $2.15 \text{ m}^3$ 。配套中心筒一个。

⑦ 中间池。1座,钢混结构,有效容积  $15 \text{ m}^3$ ,水力停留时间  $36 \text{ h}$ 。配套潜污泵2台( $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 140 \text{ kPa}$ ,  $N = 1.1 \text{ kW}$ ),1用1备,设回流调节阀。

⑧ UASB。1座,钢混结构,有效容积  $30.87 \text{ m}^3$ ,水力停留时间  $72 \text{ h}$ 。主要配套设备:进水加热与温控系统1套,布水器1套,三相分离器1套,出水堰1套。

⑨ 接触氧化池。1座,碳钢防腐,有效容积  $4.5 \text{ m}^3$ ,水力停留时间  $9 \text{ h}$ ,污泥浓度约  $2500 \text{ mg/L}$ ,污泥回流比  $50\% \sim 100\%$ ,  $\text{DO}$  为  $3 \sim 5 \text{ mg/L}$ ,气水比  $30:1$ 。配套设备:塑料纤维组合填料1套,规格为  $\varnothing 150 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ ,密度  $2.8 \text{ kg/m}^3$ ,比表面积  $28.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,填料高度  $1.85 \text{ m}$ ,填充比例约  $77.1\%$ ;回转式风机2台,1用1备,流量  $0.25 \text{ m}^3/\text{min}$ ,升压  $29.42 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.37 \text{ kW}$ 。

⑩ 二沉池。1座,碳钢防腐,有效容积  $2.1 \text{ m}^3$ 。

⑪ 除氮池。1座。碳钢防腐,有效容积  $0.5 \text{ m}^3$ ,水力停留时间  $1.2 \text{ h}$ 。主要配套设备:搅拌装置1套( $N = 0.75 \text{ kW}$ , 转速  $= 60 \text{ r/min}$ );次氯酸钠加药装置1套。

⑫ 污泥池。2座,砖混,尺寸  $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 。主要配套设备:污泥泵2台( $Q = 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 220 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ );叠螺机1台,绝干污泥处理量  $24 \sim 40 \text{ kg/h}$ ,功率  $1.11 \text{ kW}$ ;加药装置1套(带搅拌器,  $N = 1.1 \text{ kW}$ , 转速  $= 60 \text{ r/min}$ )。

### 4 调试运行

#### 4.1 预处理

根据小试和现场调试结果,气浮阶段投加 PAC

200 mg/L、PAM 2 mg/L。调试过程中 COD 去除率约为 30%。芬顿氧化预处理调试时,最终调节 pH 值为 5.0 ~ 6.0,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  最佳加药量为 1.0 kg/m<sup>3</sup>, 30% 含量的  $\text{H}_2\text{O}_2$  最佳加药量为 1.5 L/m<sup>3</sup>, 搅拌反应 2 h, 与混凝沉淀联动调试, 最终 COD 去除率约为 49.5%, 氨氮去除率为 26.7%, 达到设计处理效果。

#### 4.2 UASB

UASB 有效容积为 30 m<sup>3</sup>, 投加当地城市污水处理厂脱水生化污泥 10 m<sup>3</sup>, 进水 COD 启动负荷为 0.25 ~ 0.5 kg/(m<sup>3</sup> · d)。上升流速约 0.1 m/h, 污泥浓度约为 35 g/L, 运行 COD 容积负荷约为 1.0 kg/(m<sup>3</sup> · d)。由于调试启动在冬季, 通过加热控制进水温度为 30 ~ 35 ℃。进水 pH 值控制在 6.8 ~ 7.2。因原水中不含磷, 为保证生化段微生物所需的代谢营养元素, 厌氧段按 C : N : P = 500 : 5 : 1 的比例投加磷元素, 好氧段按照 C : N : P = 100 : 5 : 1

的比例投加磷元素, 根据运行情况在中间池投加磷酸二氢钾。每天监测进、出水 COD 浓度, 当去除率达到 50% 后增加进水负荷, 直至达到预设要求。经 2 个月调试完成, COD 去除率达到 77.5% 以上。

#### 4.3 接触氧化

接触氧化池有效容积 4.5 m<sup>3</sup>, 停留时间约为 10 h。接种城市污水处理厂污泥 0.5 m<sup>3</sup>, 加入稀释后污水, COD 浓度约为 980 mg/L。开启风机曝气, 闷曝 2 ~ 3 d 后, 观察池中污泥由黑色变为黄色, 随后每天更换池中一半的废水, 一周后组合填料上出现生物膜, 开始连续进出水, 并每天监测进、出水 COD 浓度, 直至达到出水要求。接触氧化池 COD 最终去除率为 51.8%, 氨氮去除率约为 69.0%。

#### 4.4 运行效果

该项目从调试启动到稳定运行历时 3 个月, 出水水质达到工业园区污水处理厂纳管标准。系统稳定后水质数据如表 6 所示。

表 6 各工艺单元运行效果

Tab. 6 Operation effect of each process unit

项 目	pH 值	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )	甲苯/ (mg · L <sup>-1</sup> )
集水池	5.0 ~ 6.0	7 014 ~ 7 502	222 ~ 287	—	40.20 ~ 47.34
气浮 - 调节池	7.0 ~ 8.0	5 072 ~ 5 380	189 ~ 213	—	4.78 ~ 5.25
芬顿 - 混凝沉淀池	5.0 ~ 8.0	2 560 ~ 3 405	134 ~ 156	—	1.26 ~ 1.54
厌氧池	6.5 ~ 7.5	495 ~ 686	130 ~ 145	3.3 ~ 5.4	0.42 ~ 0.47
接触氧化池 - 二沉池	6.5 ~ 7.5	295 ~ 330	42 ~ 63	2.5 ~ 2.8	0.10 ~ 0.14
除氮池	6.5 ~ 7.5	292 ~ 335	29 ~ 39	2.4 ~ 2.7	0.09 ~ 0.12
排放标准	6.0 ~ 9.0	350	50	5	0.2

由表 6 可知, 该工艺对 COD 的去除率为 96.1%、氨氮去除率为 89.9%、甲苯去除率为 99.8%, 出水水质满足排放要求。

#### 5 经济效益

该工程总投资约 40 万元, 其中设备和安装费占 80%, 工艺设计费和调试费占 20%。按工程处理水量为 10 m<sup>3</sup>/d 计算, 日常运行成本约为 15.58 元/m<sup>3</sup>, 其中电费 6.30 元/m<sup>3</sup>、药剂费 4.28 元/m<sup>3</sup>、人工费 5.0 元/m<sup>3</sup>, 不含设备折旧费和污泥处置费。

#### 6 结论

实践表明, 采用气浮 + 芬顿氧化 + 混凝沉淀 + UASB + 接触氧化 + 次氯酸钠氧化组合工艺处理高浓度、高氨氮废塑料造粒洗气废水, 运行效果良好。其中气浮工艺减轻了后续生化处理的运行负荷, 芬

顿氧化去除部分难降解污染物, UASB 厌氧工艺去除了大量污染物并进一步提高废水可生化性, 有利于好氧阶段的处理, 整体处理效果 COD 去除率为 96.1%, 氨氮去除率为 89.9%, 甲苯去除率为 99.8%, 出水水质满足园区纳管标准, 可为同类塑料造粒洗气废水处理项目提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 黄均国. 废塑料再生过程中的“三废”治理技术[J]. 资源再生, 2009(1): 52 - 54.  
HUANG Junguo. The three wastes treatment technology on recycling of waste plastics[J]. Resource Recycling, 2009(1): 52 - 54 (in Chinese).
- [2] 陈振坤. 废塑料再生利用过程中对环境的影响分析

(下转第 98 页)