

混凝沉淀 + ABR + A/O 工艺处理中成药制药废水

刘媛, 欧阳二明, 王乐乐, 欧阳佳婷, 魏良良
(南昌大学 建筑工程学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 针对中成药制药废水特性,采用混凝沉淀 + ABR + A/O 工艺进行处理,对其进出水质进行长时间监测,结果显示,进水 COD、氨氮、总磷含量分别在 2 370、45、3.1 mg/L 左右,出水相应指标分别稳定在 75、2.8、0.5 mg/L 左右,综合去除率分别达到 96%、93%、83% 以上,满足《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008)。

关键词: 中成药废水; 混凝沉淀; ABR; A/O

中图分类号: TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0097-05

Treatment of Chinese Patent Medicine Wastewater by a Combined Process of Coagulation and Sedimentation, ABR and A/O

LIU Yuan, OUYANG Er-ming, WANG Le-le, OUYANG Jia-ting, WEI Liang-liang
(School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: According to the characteristics of traditional Chinese medicine effluent, a combined process of coagulation and sedimentation, anaerobic baffled reactor and A/O was used to treat the organic wastewater. After monitoring of influent and effluent quality for a long time, the results showed that the removal rates of COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP were 96%, 93% and 83%, respectively, when influent COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP were 2 370 mg/L, 45 mg/L and 3.1 mg/L, respectively. The corresponding effluent COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP were 75 mg/L, 2.8 mg/L and 0.5 mg/L, respectively, which could meet the requirement of *Discharge Standard of Water Pollutants for Pharmaceutical Industry Chinese Traditional Medicine Category* (GB 21906-2008).

Key words: Chinese patent medicine wastewater; coagulation and sedimentation; ABR; A/O process

1 工程概况

中成药制药废水中含有种类繁多的有机污染物,可在相当长的时间内存留于环境中,如不经处理直接排放,将严重污染自然水体^[1]。由于中成药原料及工艺的多样性,排放的废水水质千差万别,且水量变化也很大,以致中药行业排放的废水还没有统一成熟的治理方法。

江西某制药公司主要生产中成药,在制药过程

中有大量的制药残留物及制药中间产物随废水排出。该公司制药生产废水及生活污水的混合废水(100 m³/d),含有较高浓度的 COD、氨氮、SS 等,同时具有一定的酸度。设计废水水质、水量如表 1 所示。处理出水水质需满足《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008)。该工程于 2016 年上半年建设完成,并于当年秋季调试完成后投入使用。

表1 废水水质及排放标准

Tab.1 Wastewater quality and discharge standards

项目	pH 值	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
废水水质	4~5	2 370	45	3.1	275
排放标准	6~9	≤ 100	≤ 15	≤ 1.0	≤ 70

2 工艺流程

针对该废水特性及参考前期工程实例^[2~5],采用混凝沉淀工艺进行预处理,采用 ABR + A/O 工艺进一步处理。

工艺流程如图1所示。

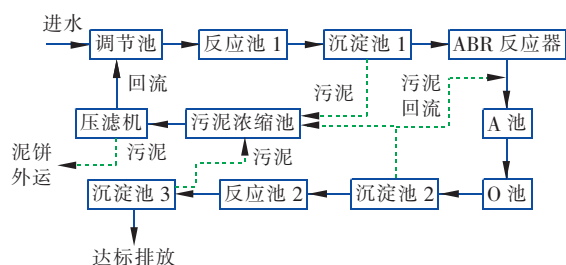


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

由于中成药生产废水具有不均匀性,且呈酸性,因此混合进水在调节池中进行收集,调节池中设自动加碱泵和工业 pH 计,通过加入氢氧化钠控制调节池中的 pH 值为 7.5 左右,采用空气搅拌。加碱泵直接连接加药罐,其启闭由 pH 计自动控制,当水中 pH 值 < 7 时,加碱泵自动开启;当 pH 值 > 8 时加碱泵关闭。由于中成药生产废水中非溶解性悬浮物浓度较高,经调节池调节后,通过管道泵送至反应池 1 中,并在污水提升泵前的管道上分别按 0.2% 和 0.05% 投加 PAC、PAM,水泵叶轮的高速旋转使药剂和废水充分混合、反应,去除大部分 SS。

沉淀池 1 出水进入到 ABR 反应器,ABR 中 pH 值需保持在 6.9~7.4,当 pH 值 < 6.9 时,有机负荷过大,可以通过减小有机负荷同时向水中投加纯碱的方法来加以调节;当 pH 值 > 7.4 ,有机负荷偏小^[6],另外 DO 值保持在 0.2~0.5 mg/L 左右。ABR 对冲击负荷适应性强,有效实现了产酸相与产甲烷相的分离^[7],且其作为一级处理工艺能有效去除原水中难降解的大分子有机物,同时,反应器内折流板的阻挡作用为污泥的沉降和截留创造了一个良

好的条件,同时有效去除 SS。废水中的有机氮在厌氧条件下通过厌氧菌的作用转化的氨氮,可使氨氮含量上升;聚磷菌厌氧放磷,总磷含量上升。

ABR 出水流入 A/O 池,运行过程中好氧池需保持 pH 值稳定在 7.5 左右,防止出现酸化现象,保持 $\text{DO} > 4 \text{ mg/L}$ 。在经过 A/O 处理之后,废水中大量有机物被去除,同时 A/O 中的硝化和反硝化作用能去除大量氨氮^[8]。A/O 池中出水进入沉淀池 2,污泥部分回流至 A/O 池的始端,使 A/O 池中微生物含量保持稳定,采用气泵回流的形式,污泥回流量保持在 50% 左右。

沉淀池 2 中出水进入反应池 2,此时进行第二次混凝反应,混凝剂和助凝剂分别采用 PAC 和 PAM,分别按 0.1% 和 0.05% 的投加量投加。沉淀池 3 出水进入污水管网排放。该处理系统中产生的污泥在储泥池收集,随后通过压滤机进行泥水分离,滤液回流至调节池进行处理,泥饼外运处理。为了提高储泥池中污泥的沉降性能,通常在储泥池中加入少量的 PAC 混凝剂。

3 主要构筑物及设计参数

① 调节池。1 座,地下式砖砌结构,开放式,有效容积为 48 m^3 ,HRT 为 11.52 h,池内设有 2 台提升泵(1 用 1 备)和 1 台工业 pH 计,泵流量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 100 kPa,功率为 0.75 kW。

② 反应池 1。1 座,半地上钢筋混凝土结构,地上高度为 3 m,有效容积为 5 m^3 ,HRT 为 1.2 h。

③ 沉淀池 1。1 座,半地上钢筋混凝土结构,地上高度为 3 m,有效容积为 15 m^3 ,HRT 为 3.6 h。

④ ABR 池。1 座,半地上钢筋混凝土结构,有效容积为 120 m^3 ,HRT 为 28.8 h。ABR 反应器设计为 2 个并联的池子,每池分为 4 格,每格上流室宽与下流室宽之比约为 3:1,每个反应室内置半软性填料,有利于产酸菌和厌氧菌的生长,保证充足的微生物量。

⑤ A 池。1 座,半地上钢筋混凝土结构,有效容积为 30 m^3 ,HRT 为 7.2 h。

⑥ O 池。1 座,半地上钢筋混凝土结构,有效容积为 240 m^3 ,水力停留时间为 57.6 h,池内配备 2 台鼓风机(1 用 1 备)和 1 台工业 pH 计。

⑦ 沉淀池 2。1 座,半地上钢筋混凝土结构,地上高度为 3 m,有效容积为 35 m^3 ,HRT 为 8.4 h,沉淀池内设有回流设备。

- ⑧ 反应池 2。1 座,半地上钢筋混凝土结构,地上高度为 3 m,有效容积为 5 m³,水力停留时间为 1.2 h。
- ⑨ 沉淀池 3。1 座,半地上钢筋混凝土结构,有效容积为 15 m³,HRT 为 3.6 h。
- ⑩ 污泥池。1 座,半地上钢筋混凝土结构,有效容积为 15 m³,HRT 为 8.4 h。池内设有螺杆泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.6 \text{ MPa}$, $N = 2.2 \text{ kW}$ 。

4 系统调试及运行结果

4.1 系统调试

ABR 和 A/O 池于 2016 年秋季同时调试。

① ABR 启动运行

ABR 池接种污泥来自当地污水处理厂氧化沟中的脱水污泥,其含水率为 75%,污泥投加量为 0.5 t,稀释后用泵抽送至反应器中。启动初期,进水流量控制在 20%,之后逐步增加到 40%、60% 和 80%,直至达到 100 m³/d,进水 COD 等参数见表 2。

表 2 ABR 启动期间水质参数

Tab. 2 Parameters of water quality during start-up of ABR

时间/d	进水量/ (m ³ · d ⁻¹)	COD			pH 值	MLSS/ (g · L ⁻¹)
		进水/(mg · L ⁻¹)	出水/(mg · L ⁻¹)	去除率/%		
1 ~ 6	20	300	297 ± 5	1	7.6	0.38
7 ~ 12	30	380 ± 23	380 ± 11	-0.08	7.7	0.45
13 ~ 18	40	432 ± 36	410 ± 23	4.93	7.5	0.58
19 ~ 24	50	515 ± 44	452 ± 31	12.21	7.4	1.86
25 ~ 30	60	627 ± 51	383 ± 56	38.78	7.2	4.69
31 ~ 36	70	792 ± 64	423 ± 13	46.50	6.9	6.35
37 ~ 42	80	960 ± 79	457 ± 21	52.39	7.0	6.63
43 ~ 48	90	1 185 ± 97	530 ± 26	55.26	7.1	7.25
49 ~ 54	100	1 468 ± 128	609 ± 48	58.45	7.2	7.48
55 ~ 60	100	1 848 ± 165	717 ± 36	61.20	7.1	8.12

启动前期所需营养物比例按照 C : N : P = (100 ~ 500) : 5 : 1 保持,同时保持废水 pH 值为 6.9 ~ 7.4 左右。碳源采用葡萄糖,氮源采用尿素,磷源采用磷酸三钠,调节 pH 值采用片碱。待 COD 去除率达到 55%,继续稳定运行 10 天左右时,开始满负荷运行。正常运行 2 个月后,反应器内污泥浓度逐渐增大,产气量稳定,同时出水水质稳定,COD 去除率稳定在 60% 左右,标志驯化阶段结束,进入正式运行阶段。

ABR 在启动最初阶段出现相当多的泡沫,属于正常现象,原因可能有温度上升、有机负荷和 pH 值的增加、污泥膨胀等。随着处理系统中污泥浓度的增加,泡沫逐渐退去,对系统运行无影响。

② A/O 池启动运行

A/O 池中的接种污泥取自当地生活污水厂氧化沟中的脱水污泥,污泥用水稀释后当天投加,以避免污泥失活。A/O 池中的脱水污泥投加量为 1.5 t。在接种污泥之后,前三天采用浓度较低的废水培养,不另外进水^[9]。启动期对 COD、氨氮、总磷、SV₃₀ 等进行检测,前期保持废水中 C : N : P 为 100 : 5 : 1,

同时保持废水 pH 值为 7.5 左右。碳源采用葡萄糖,氮源采用尿素,磷源采用磷酸三钠,调节 pH 值采用片碱。系统启动前期每天进、出水各一次,进水浓度为混凝沉淀之后的废水与自来水比例在 1/9 ~ 1/4 之间逐渐升高,时间共两周左右。启动期间保持池中 pH 值稳定在 7.5 左右,好氧池 DO 稳定在 4 mg/L 以上,同时向水中投加营养物质,使 C : N : P 保持在 100 : 5 : 1。15 天之后连续进水,采用混凝后的废水与自来水比例为 1/4 ~ 2/3 的废水进行培养,逐渐提高废水浓度。第 25 天之后,采用混凝出水进行污泥培养,保持水中 pH、DO 等条件的稳定。启动第 33 天之后,对污染物的去除效果较好,好氧池和厌氧池中污泥的活性较好,启动基本完成。

4.2 废水处理效果

在系统稳定运行之后,对 ABR、A/O 池的 DO 及整个系统中的 pH 值进行检测,结果见表 3。主要处理构筑物中的 COD、氨氮和总磷连续 30 天的检测结果见表 4。在系统运行过程中,好氧池中产生大量的气泡,是废水中残留的起泡物质所致,向水中投加消泡剂后不再起泡且对系统运行无影响。

表3 系统运行条件监测

Tab. 3 Monitoring of operation conditions

项目	进水	反应池1	ABR池	厌氧池	好氧池	反应沉淀池2	出水
pH值	5.4±0.3	7.4±0.5	7.1±0.2	7.4±0.4	7.5±0.3	7.5±0.4	7.5±0.3
DO/(mg·L ⁻¹)	—	—	0.3±0.2	0.4±0.2	4.8±0.6	—	—

表4 废水处理系统运行效果

Tab. 4 Performance of wastewater treatment system

mg·L⁻¹

日期	COD					氨氮					总磷				
	进水	ABR进水	A/O进水	反应池2进水	出水	进水	ABR进水	A/O进水	反应池2进水	出水	进水	ABR进水	A/O进水	反应池2进水	出水
8月3日	2 320	1 970	742	119	78	48.5	35.5	35.80	5.2	2.3	3.1	3.0	3.1	0.8	0.5
8月5日	2 245	1 785	674	107	73	32.3	27.8	28.16	4.1	2.4	2.8	2.8	3.2	0.7	0.6
8月7日	2 150	1 605	647	102	71	42.0	35.3	37.80	5.9	2.1	2.8	2.7	3.4	0.7	0.4
8月9日	2 360	2 055	765	148	77	51.8	34.1	34.72	4.7	2.8	3.0	2.8	3.4	0.9	0.7
8月11日	2 350	1 880	735	121	76	51.8	31.9	33.48	4.9	3.1	2.9	2.6	2.9	0.8	0.6
8月13日	2 280	1 830	747	125	74	50.6	30.6	31.40	5.2	2.5	3.1	2.6	2.8	1.1	0.5
8月15日	2 305	1 855	710	113	78	46.9	29.0	30.32	5.1	3.1	3.0	2.8	2.6	0.7	0.4
8月17日	2 405	2 155	748	128	83	35.3	30.2	31.40	5.0	2.4	2.9	2.7	3.4	0.6	0.5
8月19日	2 350	1 950	735	119	76	50.2	37.1	36.96	4.7	2.9	3.4	2.9	3.0	0.4	0.3
8月21日	2 290	1 740	700	105	75	39.0	29.7	30.32	4.8	2.1	2.8	2.6	2.9	0.5	0.4
8月23日	2 180	1 670	638	85	67	41.5	31.5	32.48	4.9	3.2	2.8	2.5	2.7	0.7	0.5
8月25日	2 250	1 810	700	97	72	42.0	29.8	30.32	5.0	3.3	3.0	2.4	2.5	0.8	0.6
8月27日	2 265	1 815	708	109	71	45.1	31.0	30.48	4.8	4.1	3.0	2.8	2.8	0.9	0.7
8月29日	2 235	1 745	686	96	68	46.6	28.5	28.24	3.9	2.9	2.8	2.4	2.6	0.6	0.6
8月31日	2 310	1 960	725	121	75	49.2	34.4	33.72	5.1	3.4	2.8	2.3	2.8	0.7	0.4
9月2日	2 340	2 090	757	136	81	43.8	33.6	33.64	2.8	3.1	3.1	2.9	3.1	0.8	0.5

从运行数据可以看出,整个处理工艺对 COD、氨氮、总磷指标均有较好的去除效果。出水 COD、氨氮、总磷的含量分别为 75、2.8、0.5 mg/L 左右,综合去除率分别达到 96%、93%、83% 以上,出水均优于标准要求。其中,ABR 对 COD 的去除率达到 60% 左右,对 SS 的去除率达到 18% 左右;A/O 对 COD 的去除率达到 84% 左右,对氨氮的去除率达到 85% 左右,对总磷的去除率达到 75% 左右,效果明显,满足《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008)。

5 运行成本

废水处理总量为 100 m³/d,当地工业用电电价为 0.72 元/(kW·h),电耗约为 112 kW·h/d,电费合计 0.8 元/m³;每天需要的药品为 PAC、PAM、片碱、盐酸、葡萄糖等,药剂费为 1.2 元/m³;人工费为 1.6 元/m³,则运行费用合计为 3.6 元/m³。

6 结论

① 采用混凝沉淀+ABR+A/O 工艺对中成药

制药废水进行处理,取得了较好的效果。在系统调试 2 个月左右,生物反应器中污泥驯化完成,系统运行稳定。稳定运行结果显示,对 COD、氨氮的去除率均达到了 90% 以上,对总磷的去除率达到 80% 以上,满足《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008)。

② 混凝沉淀、ABR 及 A/O 对处理系统的稳定运行起着非常重要的作用,对该中成药废水的处理效果比较明显。混凝沉淀不仅去除了大量 SS,也去除了许多非溶解性的 COD,其对 COD 和 SS 去除率分别为 18% 和 82% 左右;ABR 对 COD 有很好的去除效果,同时截留了废水中 SS,对进水水质波动也有一定的缓冲作用,其对 COD 和 SS 的去除率分别为 60% 和 18% 左右;A/O 脱氮除磷效果良好,对 COD 的去除率达到 84% 左右,对氨氮的去除率达到 85% 左右,对总磷的去除率达到 75% 左右。

参考文献:

[1] 胡翔宇. 水解酸化+A/O+混凝沉淀工艺处理中成药

- 废水的研究[D]. 南昌:南昌大学,2014.
- Hu Xiangyu. Study of the Combination of Hydrolysis Acidification + A/O + Coagulation Sedimentation Treating the Chinese Patent Medicine Wastewater[D]. Nanchang: Nanchang University,2014(in Chinese).
- [2] 杨德龙,朱乐辉,张晓东,等. 两级 A/O + 絮凝沉淀工艺处理中成药废水实例[J]. 水处理技术,2013,39(5):115-118.
- Yang Delong,Zhu Lehui,Zhang Xiaodong,*et al.* Two-level A/O + coagulation sedimentation process for treatment of traditional Chinese patent medicine wastewater[J]. Technology of Water Treatment,2013,39(5):115-118(in Chinese).
- [3] 王白杨,胡翔宇,欧阳二明,等. 水解酸化 + A/O + 混凝沉淀工艺处理中成药废水工程实例[J]. 水处理技术,2014,40(8):115-117.
- Wang Baiyang,Hu Xiangyu,Ouyang Erming,*et al.* Treatment of Chinese patent medicine wastewater by hydrolysis acidification + A/O + coagulating sedimentation process[J]. Technology of Water Treatment,2014,40(8):115-117(in Chinese).
- [4] 蒋旭华,朱乐辉. EGSB + A/O + BAF 法处理某中成药废水的工程实例[J]. 工业水处理,2014,34(4):82-83.
- Jiang Xuhua,Zhu Lehui. Project case of the treatment of Chinese patent medicine wastewater by EGSB + A/O + BAF method[J]. Industrial Water Treatment,2014,34(4):82-83(in Chinese).
- [5] 王白杨,龚小明,陈利. 混凝预处理 + UASB + ABR + A/O + 气浮工艺处理原料药废水[J]. 水处理技术,2011,37(2):121-123.
- Wang Baiyang,Gong Xiaoming,Chen Li. Treating API wastewater by combined process coagulation pretreatment and UASB and ABR and aerobic reactor[J]. Technology of Water Treatment,2011,37(2):121-123(in Chinese).
- [6] 邱波,郭静,邵敏,等. ABR 反应器处理制药废水的启动运行[J]. 中国给水排水,2000,16(8):42-44.
- Qiu Bo,Guo Jing,Shao Min,*et al.* Start-up and operation of pharmaceutical wastewater treatment by ABR reactor[J]. China Water & Wastewater,2000,16(8):42-44(in Chinese).
- [7] 唐海,王军刚. 混凝预处理/ABR/SBR 工艺处理米粉废水[J]. 中国给水排水,2013,29(8):84-86.
- Tang Hai,Wang Jungang. Treatment of rice flour wastewater by coagulation pretreatment/ABR/SBR process[J]. China Water & Wastewater,2013,29(8):84-86(in Chinese).
- [8] 王白杨,常娥,欧阳二明,等. IC + A/O + BIOFOR 处理高浓度有机废水工程实例[J]. 环境工程,2011,29(6):36-38.
- Wang Baiyang,Chang E,Ouyang Erming,*et al.* Application of IC + A/O + BIOFOR process in treatment of high concentration organic wastewater[J]. Environmental Engineering,2011,29(6):36-38(in Chinese).
- [9] 王白杨,苏怀星. IC + 两级 A/O 工艺处理中成药制药有机废水[J]. 水处理技术,2012,38(5):122-124.
- Wang Baiyang,Su Huaixing. IC + two A/O process treat Chinese traditional medicine wastewater[J]. Technology of Water Treatment,2012,38(5):122-124(in Chinese).



作者简介:刘媛(1993-),女,广西北海人,硕士研究生,主要研究方向为水处理技术。

E-mail:827423860@qq.com

收稿日期:2017-03-03