



# 深度处理城市污水厂出水的试验研究

## Experimental Study on Advanced Treatment of Municipal Wastewater Plant

张聪璐<sup>1</sup> 王会<sup>2</sup> 靳君<sup>2</sup> 史洪微<sup>2</sup>

(1. 东北大学 沈阳 110004); (2. 沈阳环境科学研究院 沈阳 110016)

**摘要** 以 SBR 法处理的城市污水出水地下回灌为目的,研究了混凝深度处理工艺。通过三种药剂选择确定了改性 PAC 为最佳药剂,并分别进行了条件实验和正交实验,确定最佳药量和最佳操作条件。出水中 COD 可达 6~10mg/L 以下,余浊可降至 1.5~4.0NUT。

**关键词** 城市污水 地下回灌 深度处理 混凝

**Abstract** Further wastewater treatment for groundwater recharge, especially processes to effluent of SBR treatment, coagulation-sedimentation were studied. Through experiment, the denatured PAC was selected as the optimal chemical. And also the optimal operating condition and adding quantity of PAC were confirmed. When using this process to treat the secondary effluent of municipal wastewater treatment plant, COD of the effluent could decrease to less than 10mg/L and turbidity could be less than 4.0NUT.

**Key words** Municipal Sewage Groundwater Recharge Advanced Treatment Coagulation

### 1 前言

我国是一个严重缺水的国家,水资源短缺已成为制约我国经济发展的重要因素。深度处理的污水地下回灌被认为是解决水资源短缺的有效途径之一。生化处理后的城市污水,如果将其直接回灌地下,可能会污染地下含水层。这是因为再生水回灌地下,对其水质要求有四项重要指标:病原体、矿物质、重金属、稳定有机物。处理后的城市污水仍含有一定量的有机物、病原体等污染物,其中一部分污染物可通过土壤的自净被去除,而另一部分污染物就会富集在土壤中或直接进入地下含水层,污染地下水,危害人类健康<sup>[1]</sup>。该试验的目的就是探讨深度处理工艺中混凝技术对水质改善的贡献。

### 2 试验部分

#### 2.1 试验方法

本试验以实验室 SBR 中试系统处理后的城市污水为研究对象。城市污水取自沈阳市罗士圈城

市污水排放口。考虑处理后污水浊度较低(典型值为 5~15NUT),使用低分子铝盐或铁盐一般效果不好。这是因为胶体颗粒比较少,难以形成沉降性能良好的絮体,且需要碱剂。而聚铝或聚铁的聚合度大,有很强的聚合能力,一般不需要碱剂,用量比低分子絮凝剂用量少<sup>[2]</sup>。因此试验中采用三种药剂,即 PAC、改性 PAC、PFS,并投加少量 PAM 以改善絮凝效果。研究不同种类的絮凝剂及其操作条件的变化对混凝产生的影响,并通过条件实验和正交实验确定最佳药剂和最佳操作条件。

#### 2.2 试验仪器及实验试剂

仪器:JJ-4 六连搅拌器;WGZ 数字浊度仪;PHS-2C 型精密酸度计。

试剂:聚丙烯酰胺(PAM),分子量 500 万,美国产;聚合氯化铝(PAC),工业用;聚合硫酸铁(PFS),工业用。实验中采用湿投法,PAM 浓度为 0.1%,PAC 为 5%,PFS 为 10%。

#### 2.3 试验原水

本试验原水为实验室 SBR 中试系统的出水,该



SBR 系统处理量为 160L/d。原水水质指标见表 1。

表 1 原水样的主要水质指标

pH 值	COD/mg·L <sup>-1</sup>	浊度/NUT	氨氮/mg·L <sup>-1</sup>
6.5~7.5	10~34	3~12	1.60~14.7

### 3 结果与讨论

#### 3.1 絮凝剂的选择

本研究选用三种絮凝剂分别试验。实验方法是：取四组各含 5 份同一 SBR 出水的水样(500mL)于烧杯中，调节 pH 值至 8.0，在搅拌的条件下加入不同量的 PAC、改性 PAC、PFS，1min 后加入 0.15mg/L 的 PAM。搅拌强度 60r/min，搅拌时间 15min，沉淀时间 20min。测其上清液浊度，结果表明改性 PAC 效果最佳。

#### 3.2 改性 PAC 絮凝的单条件实验

3.2.1 pH 值的影响 取同一 SBR 出水 5 份(各 500mL)，用调节不同 pH 值，均加入 20mg/L 的改性 PAC 和 0.15mg/L 的 PAM，以 60r/min 的强度搅拌 15min，沉淀 20min，测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。结果见表 2。

表 2 不同 pH 值的混凝效果

pH 值	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
7.5 未调	1.9	64.8	7.75	26.9
8.0	1.9	64.8	8.22	22.6
8.5	2.3	57.4	9.04	14.7
9.0	2.9	46.3	9.55	9.9
9.5	6.5	—	8.95	15.6

注：原水水质 浊度=5.4NUT；COD<sub>Mn</sub>=10.6mg/L

由表 2 数据可知，随着 pH 值的增加，混凝效果逐渐下降。在 pH 值小于 8.5 时有良好的去除效果。而未调节 pH 值的效果最佳。因此试验选择原水直接混凝。

3.2.2 改性 PAC 药量的影响 取同一 SBR 出水 5 份(各 500mL)，加入不同量 PAC 和 0.15mg/L 的 PAM，以 60r/min 的强度搅拌 15min，沉淀 20min，测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。结果见表 3。

表 3 不同 PAC 药量的混凝效果

药量/mg·L <sup>-1</sup>	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
10	3.4	48.5	7.10	7.2
15	2.7	59.1	6.69	12.5
20	2.0	69.7	6.05	20.9
25	2.0	69.7	6.20	19.0
30	1.9	71.2	6.95	9.2

注：原水水质 浊度=6.6NUT；COD<sub>Mn</sub>=7.65mg/L

试验中发现，随着 PAC 药量的增加，浊度、

COD<sub>Mn</sub> 的去除逐渐增大，当达到最佳药量(20mg/L)后去除率又降低。过量加入，产生再稳现象，使混凝效果变差<sup>[3]</sup>。

3.2.3 PAM 药量的影响 取同一 SBR 出水 5 份(各 500mL)，均加入 20mg/L 的 PAC 和不同量 PAM，以 60r/min 的强度搅拌 15min，沉淀 20min，测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。试验结果见表 4。

表 4 不同 PAM 药量的混凝效果

药量/mg·L <sup>-1</sup>	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
0.15	0.16	70.4	7.71	27.3
0.30	2.0	63.0	7.95	25.0
0.45	2.2	59.3	8.12	23.4
0.60	2.5	53.7	8.32	21.5
0.75	3.0	44.4	9.20	13.2

注：原水水质 浊度=5.4NUT；COD<sub>Mn</sub>=10.6mg·L<sup>-1</sup>

PAM 的加入是起到助凝作用。试验中 PAM 的加入量有最佳值，即 0.15mg/L。过量加入，胶体产生再稳现象，混凝效果不好。

3.2.4 搅拌时间和搅拌强度的影响 取同一 SBR 出水两组，每组 5 份(各 500mL)。第一组：均加入 20mg/L 的 PAC 和 0.15mg/L 的 PAM，以 60r/min 的强度搅拌不同时间，沉淀 20min，测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。第二组：均加入 20mg/L 的 PAC 和 0.15mg/L 的 PAM，以不同的强度搅拌 15min，沉淀 20min，测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。试验结果见表 5 和表 6。

表 5 不同搅拌时间的混凝效果

时间/min	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
5	5.5	43.9	5.95	35.0
10	3.9	60.2	5.55	39.3
15	2.4	75.5	5.30	42.1
20	2.5	74.5	6.12	33.1
25	2.5	74.5	6.05	33.9

注：原水水质 浊度=9.8NUT；COD<sub>Mn</sub>=9.15mg/L

表 6 不同搅拌强度混凝效果

强度注/r·min <sup>-1</sup>	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
60	2.4	61.7	7.48	13.4
90	2.2	67.6	6.60	23.6
120	2.2	67.6	7.97	7.75
150	2.2	67.6	6.85	20.7
180	2.3	66.2	7.10	17.8

注：原水水质 浊度=6.8NUT；COD<sub>Mn</sub>=8.6mg/L

试验结果表明，搅拌时间和搅拌强度对混凝效果影响很大。当搅拌时间为 15min 时效果最好。搅拌时间过长，矾花被破坏，达不到良好的混凝效



果。最佳的搅拌强度是 90r/min。搅拌强度低,不能形成沉淀性能良好的矾花。搅拌强度过大会打碎矾花不利于混凝。

3.2.5 沉淀时间的影响 取同一 SBR 出水 5 份(各 500mL),均加入 20mg/L 的 PAC 和 0.15 mg/L 的 PAM,以 90r/min 的强度搅拌 15min,沉淀不同时间后测其上清液浊度、COD<sub>Mn</sub>。试验结果见表 7。

表 7 不同沉淀时间的混凝效果

时间/min	浊度/NUT	去除率/%	COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
10	2.8	71.4	6.77	15.9
15	2.2	77.6	6.10	24.2
20	2.2	77.6	6.15	23.6
25	2.2	77.6	6.18	23.2
30	2.2	77.6	6.15	23.6

注:原水水质 浊度=9.8NUT;COD<sub>Mn</sub>=8.05mg/L

试验结果表明沉淀时间对混凝效果影响不大。当沉淀时间达到 15min 后,基本混凝效果趋于稳定,因此沉淀 15min 就可以了。

### 3.3 正交实验

3.3.1 因素水平的确定 根据条件试验的结果,

表 9 正交实验

水平	因素				COD <sub>Mn</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	去除率/%
	A	B	C	D		
1	15	0.15	10	90	6.95	23.6
2	15	0.30	15	120	6.91	24.1
3	15	0.45	20	150	6.70	26.4
4	20	0.15	12	150	6.21	31.8
5	20	0.30	20	90	6.87	24.5
6	20	0.45	10	120	6.90	24.2
7	25	0.15	20	120	6.59	27.6
8	25	0.30	10	150	6.38	29.9
9	25	0.45	15	90	6.21	31.8
K <sub>1</sub>	74.1	83.0	77.7	79.9		
K <sub>2</sub>	80.5	78.5	86.7	75.9		
K <sub>3</sub>	89.3	82.4	76.3	88.1		
R	5.1	1.5	3.5	4.1		

3.3.3 验证试验 取不同周期的 SBR 出水进行混凝,验证最佳的试验条件。混凝效果见表 10。

表 10 最佳条件的混凝效果

	浊度/NUT	COD/mg·L <sup>-1</sup>	氨氮/mg·L <sup>-1</sup>
原水	3.0~10.0	7.8~12.5	1.45~5.40
混凝出水	1.5~2.2	5.6~7.2	未检出~0.80

结果表明在最佳条件下,混凝处理能进一步有效的降低浊度,去除 COD,且对氨氮也有较好的效果,混凝后的出水水质良好。

## 4 结论

(1)PAC+PAM 对城市污水厂出水有较好的

选定四因素三水平进行试验,因素水平见表 8。

表 8 因素水平

水平	因素			
	A	B	C	D
1	15	0.15	10	90
2	20	0.30	15	120
3	25	0.45	20	150

其中:A—PAC 的加药量(mg/L);

B—PAM 的加药量(mg/L);

C—搅拌时间(min);

D—搅拌强度(r/min)。

3.3.2 正交实验 正交实验通过考察 COD<sub>Mn</sub> 来确定最佳条件。过程中采用的 SBR 出水 COD<sub>Mn</sub> 为 9.10mg/L。分别用 9 份 500mL 水样按正交表进行试验。结果见表 9。

通过极差分析可以得出如下结论:①在四个因素中,影响混凝效果各因素的主次关系为:改性 PAC 加药量→搅拌强度→搅拌时间→PAM 加药量。②最佳试验条件:PAC 投药 25mg/L,PAM 投药 0.15mg/L,搅拌时间 15min,搅拌强度 150r/min,沉淀时间 15min。

净化效果。具有投药少,絮体体积小,沉降效果好。

(2)混凝是污水深度处理的关键过程。适宜的混凝剂,良好的混凝效果,对后续过滤、吸附等起到了保护作用,从而达到减小回用及回灌地下产生污染的目的。

(3)经混凝后的出水 COD 可达 10mg/L 以下。浊度值降至 5.0NUT 以下。

### 参考文献

- 周彤. 污水回用决策与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
- 汤利华等. 浊度和色度的混凝去除机理与混凝剂的选择[J], 净水技术,1996(2):1~3.
- 肖艳波等. 混凝法处理油田污水的试验研究[J], 环境污染治理技术与设备,2003,4(5):24~29.