

文章编号: 1008-1542(2007)02-0130-04

聚合氯化铝-聚丙烯酰胺混凝除浊的协同效应

李学翔, 陈跃华, 张 众

(安徽工程科技学院生物化学工程系, 安徽芜湖 241000)

摘 要:通过对芜湖赭山东路村东村上新塘市政合流污水在不同条件下进行的混凝对比试验, 研究聚合氯化铝-聚丙烯酰胺混凝效果影响因子之间的交互效应。由正交试验设计安排水处理剂对原水除浊率影响试验。结果表明:在水处理剂的混凝条件中, 药剂种类和比例的交互作用对浊度处理率有一定程度的协同效应。温度为 20 ℃时, 当用聚合氯化铝-聚丙烯酰胺进行水处理时, pH 值为 7.5~8.4, 1 L 原水投加药剂 80 mg, 组分 $V(\text{PAC}):V(\text{PAM})=8:2$ 时, 混凝效果最优, 除浊效率达到 93.18%。

关键词: 混凝; 浊度; 交互作用; 协同效应; 优化

中图分类号: X784 文献标识码: A

Synergistic effect of PAC-PAM coagulation on turbid remove

LI Xue-xiang, CHEN Yue-hua, ZHANG Zhong

(Department of Biology and Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Wuhu Anhui 241000, China)

Abstract: This paper introduces the contrast coagulation experiment of different coagulation conditions of Wuhu Shangxintang civil waste water, the interaction of the flocculation effect factors is discussed. The result shows that the interaction of the flocculation factors to turbid remove exists certain synergistic effect. When tested at 20 ℃, pH= 7.5~8.4, PAC-PAM co-use disposal of waste water, the total reagent to be added is 80 mg for every liter waste water, and the optimized weight proportion of reagent component is $V(\text{PAC}):V(\text{PAM})=8:2$, the turbid remove efficient being 93.18%.

Key words: coagulation; turbid; interaction; synergistic effect; optimize

卫生和毒理学的协同效应(synergistic effect)属于联合作用的范畴^[1], 统计学的协同效应属于交互作用范畴。在水处理中, 单一的水处理药剂与其他类型的水处理药剂按配比使用被称为水处理药剂的复配。复配实质是利用药剂之间的协同效应实现药剂的复合增效、多功能化、方便操作、降低药剂耗费的一种手段。因此, 当使用 2 种或 2 种以上水处理药剂时, 其协同效应明显优于单一使用水处理剂的效果, 也称为水处理药剂的协同效应。无机和有机药剂在水处理中各具特色, 在生产和环境保护中均占有一席之地, 混凝剂正由低分子向高分子、单一型向复合型、单一功能向多功能转变, 但是目前水处理药剂市场仍以铝系、铁系、铝铁复合类为主。中国 2002—2005 年水处理药剂的生产能力由 10 万 t/a 上升到 15 万 t/a, 产品品种达 100 多种, 总产值上升到约 15 亿元/a, 生产企业也由 100 多家发展到 200 多家, 主要分散在乡镇。企业生产规模小, 有的质量得不到保证, 市场急需高效水处理药剂。为了提高水处理药剂的效果, 首选的方法是研究水处理药剂的复配, 充分利用水处理药剂之间的协同效应; 其次是根据药剂之间的增效机理研制新型复合药剂以达到增效的目的^[2]。Al₂(SO₄)₃ 市场价格约为 500 元/t, 聚合氯化铝(PAC)除浊效果比 Al₂(SO₄)₃ 好, 但 PAC

收稿日期: 2006-09-19; 修回日期: 2006-12-26; 责任编辑: 王海云

基金项目: 安徽省教育厅高等学校青年教师科研基金资助计划(2005jq1070)

作者简介: 李学翔(1972-), 男, 山西大同人, 讲师, 硕士, 主要从事污水处理方面的研究。

价格较高,约1500元/t。目前选用 $Al_2(SO_4)_3$ 较为经济,但是达不到PAC的处理效果;并且 $Al_2(SO_4)_3$ 处理废水时会产生大量污泥,PAC和有机聚合物配合处理,与 $Al_2(SO_4)_3$ 相比,能减少20%~80%的污泥量,因污泥量减少而节约的费用远超过PAC和有机聚合物高于 $Al_2(SO_4)_3$ 的价格差,故PAC在废水处理中得到了良好的认可。中国规定饮用水处理使用聚丙烯酰胺(PAM),其中丙烯酰胺的质量分数必须在0.05%以下,与英国的相同^[3]。PAM是用量最大的有机混凝剂,产量占高分子混凝剂的80%,其价格约1万元/t。PAM在各类水处理工程中的使用比例分别是:市政废水处理29%,工业给水处理27%,工业废水处理25%,市政饮用水处理20%。实践证明,在污水处理厂初级沉淀处理中,无机聚电解质与有机混凝剂的混合使用,要比它们各自单独使用效果好^[4],笔者进一步给出PAC与PAM协同效应的统计学理论依据及实际应用价值。

1 试验材料和方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 试验仪器

SC956型六联搅拌机;YZD-1型液体光电浊度仪;pHS-3C酸度计;烧杯(500 mL,10个);移液管(10 mL,1支);温度计。

1.1.2 试验试剂及配制浓度

硫酸铝 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (明矾,质量浓度为10 g/L);聚合氯化铝(PAC,凯米沃特净化剂公司提供,质量浓度为10 g/L);聚合氯化铝铁(PAFC,凯米沃特净化剂公司提供,质量浓度为10 g/L);聚丙烯酰胺(PAM,固体质量分数>85%,相对分子质量>300万,质量浓度为1 g/L);盐酸(HCl,质量分数为10%);氢氧化钠(NaOH,质量分数为10%);原水水质: $t=20\text{ }^\circ\text{C}$,pH值为8.5, $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})=120\text{ mg/L}$,浊度为44 NTU;原水来源:芜湖上新塘(采样时间:2005-05-12)。

1.2 试验方法

1)分别量取250 mL混匀水样,放入10个500 mL烧杯中,置于搅拌器上。

2)PAC与PAM在试管中按不同比例混合,混匀后投加到原水中,并记录。

3)启动搅拌机,快速(150 r/min)搅拌30 s,中速(80 r/min)搅拌2 min,慢速(30 r/min)搅拌3 min,并观察矾花形成过程。

4)停止搅拌,静置30 min,取其上清液测其浊度。

1.3 试验优化设计

混凝试验采用便于应用的单因素轮换的试验方法,能近似达到局部最佳参数组合,但是考虑交互作用时,这种方法却不能找到全局最优参数的满意组合;协同效应正是交互作用的一种特例,故采用有交互作用的正交试验设计方法,找到最优化的混凝因子组合,以寻求复配药剂的最佳因子水平组合,进一步节约药剂消耗量。

1.3.1 由单因素轮换的方法初步优化

1 L原水投加 $\rho(\text{药剂})=140\text{ mg/L}$,测得单独使用PAC,在其质量浓度为140 mg/L时首次取得较佳浊度去除效果,而单独使用PAM处理原水时混凝效果不明显。因此,一般不单独采用PAM进行处理。PAC工作投加质量浓度为10 g/L,而PAM的工作投加质量浓度一般为1 g/L。为了进一步节约药剂消耗量,选取 $\rho(\text{PAC})=120\text{ mg/L}$ 作为考察协同效应的最高浓度。因PAC与PAM工作质量浓度不同,所以PAC与PAM按体积比混合投加,考察其混凝性能。

1.3.2 由正交试验设计方法^[5]进行复配,建立优化模型研究协同效应

该试验在温度为20 $^\circ\text{C}$ 时考察PAC与PAM协同效应,故采用有交互作用的 $L_9(3^4)$ 正交表安排试验。试验设计表见表1。

表1 PAC-PAM交互作用试验设计表
Tab.1 PAC-PAM correlation experiment design

水 平	因 素	
	A	B
	$\rho(\text{总药剂})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	药剂组分 $V(\text{PAC}):V(\text{PAM})$
1	120	9:1
2	100	8:2
3	80	7:3

2 试验数据原始记录(见表2)

表2 PAG-PAM 混凝反应试验设计和浊度去除率
Tab.2 Experiment design of coagulation reaction between PAC and PAM to their turbid remove efficient

试验序号	A		B		剩余浊度/NTU	浊度去除率(Y)/%
	ρ (总药剂)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$V(\text{PAC}) : V(\text{PAM})$	药剂组分			
1	120		9:1		4	90.91
2	100		8:2		3	93.18
3	80		7:3		4	90.91
4	120		8:2		3	93.18
5	100		7:3		5	88.64
6	80		9:1		6	86.36
7	120		7:3		4	90.91
8	100		9:1		5	88.64
9	80		8:2		3	93.18

3 试验数据分析

对试验数据进行正交分析,结果见表3。

表3 正交试验数据处理表

Tab.3 Orthogonal tentative data processing

试验序号	A		B		A×B	B×A
	ρ (总药剂)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$V(\text{PAC}) : V(\text{PAM})$	药剂组分			
1	1		1		1	1
4	1		2		2	2
7	1		3		3	3
8	2		1		2	3
2	2		2		3	1
5	2		3		1	2
6	3		1		3	2
9	3		2		1	3
3	3		3		2	1
K	275.001		265.911		272.730	275.001
	270.459		279.540		272.730	268.179
	270.450		270.459		270.450	272.730
k	91.667		88.637		90.910	91.667
	90.153		93.180		90.910	89.393
	90.150		90.153		90.150	90.910
R	1.517		4.543		0.760	2.274
Q	73 972.27		73 999.78		73 968.84	73 975.73
S	4.59		32.10		1.16	8.05

根据表3中的结果进行方差分析。 $P = \frac{1}{n}(\sum_{j=1}^n Y_j)^2 = 73\ 967.68$, $Q_j = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r K_{ij}^2$, 每一水平重复的次数 $r = n/s = 9/3 = 3$, $S_j = Q_j - P$, 交互作用的方差平方和为 $S_{AB} = S(3) + S(4) = 1.16 + 8.05 = 9.21$ 。误差 e 的平方和 $S_e = S_A + S_B = 4.59 + 32.10 = 36.69$ 。这样,方差分析应该考虑交互作用 AB, 方差分析的结果见表4。

表4 方差分析

Tab.4 Variance analysis

来源	平方和	自由度	均方	F 值
A	$S(1) = 4.590$	2	2.295	0.250
B	$S(2) = 32.103$	2	16.05	1.750
AB	$S(3) + S(4) = 9.21$	4	2.303	0.251
误差 e	36.69	4	9.173	

查 F 分布表知, $F_{0.05}(2, 4) = 6.94$, $F_{0.05}(4, 4) = 6.39$, 即 $F_A < F_{0.05}(2, 4)$, $F_B < F_{0.05}(2, 4)$, $F_{AB} < F_{0.05}(4, 4)$, 所以 A, B 及其交互作用 AB 对方差的影响无显著性差异, AB 对试验误差的影响程度仅次于 B 的影响。

可按照前面所述的各因素、水平的选取原则^[6], 依据 A, B 两因素交互作用的结果, 选其平均产率高的水平作为最优操作条件。由表2可知, 从节省 PAC 的用量的角度考虑, 使用药剂配方 $V(\text{PAC}) : V(\text{PAM}) = 8 : 2$ 可保持 93.18% 的处理率, 而 PAC+ PAM 总耗用量减少, 故因素 A 与 B 的水平组合选择 A3B2 最佳。图1 响应曲面可以将分析结果更加直观地显示出来。

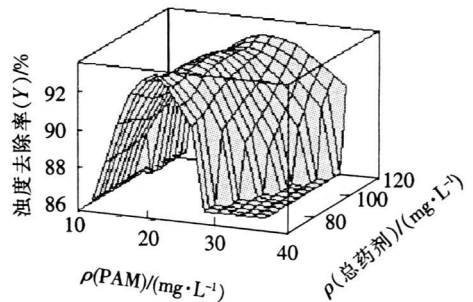


图1 浊度去除率与总药剂和 PAM 的质量浓度的响应曲面

Fig.1 Surface plot of the turbid remove efficient vs. the total dosage and PAM dosage

药剂 PAC 单独处理与 PAC+ PAM 最佳协同效应对原水 pH 值的适应能力见表5。

表 5 PAC 单独处理与 PAC+ PAM 最佳协同效应时对原水 pH 值的适应能力

Tab. 5 PAC process and the PAC+ PAM best coordination effect to original water pH adapt ability

原水 pH 值	3.0	4.0	5.0	6.0	7.5	8.0	8.5	9.5	10.0	11.0
剩余浊度/ PAC	21	15	11	8	6	5	5	10	18	26
NTU PAC+ PAM	20	12	6	4	3	3	4	5	8	16

试验结果显示, 当 PAC 与 PAM 混合处理水样时, 与 PAC 单独处理水样时相比, 扩大了对 pH 值的适应范围。在 pH 值低于 4.0 时, 处理效果下降, 而在 pH 值高于 10 的碱性环境下浊度处理效果显著下降。

4 费用分析

为了进一步分析该研究的实际应用意义, 对在不同方案下处理 1 m^3 原水的药剂费用进行了计算, 结果见图 2。

由图 2 可知, 6 号、8 号和 9 号试验方案药剂费用较低, 处理 1 m^3 原水的药剂费用分别约为 0.188 元、0.235 元和 0.256 元; 在浊度去除率方面, $V(\text{PAC}) : V(\text{PAM}) = 8 : 2$ 时处理效果最好, 在总药剂质量浓度为 80 mg/L (9 号试验)、 100 mg/L (2 号试验) 和 120 mg/L (4 号试验) 时浊度去除率均为 93.18%, 说明在 $V(\text{PAC}) : V(\text{PAM}) = 8 : 2$ 时, 继续加大总药剂质量浓度对浊度去除率没有提高。因此, 在实际选择方案时, 综合考虑经济与处理效率 2 个方面的因素应优先选择 9 号方案。

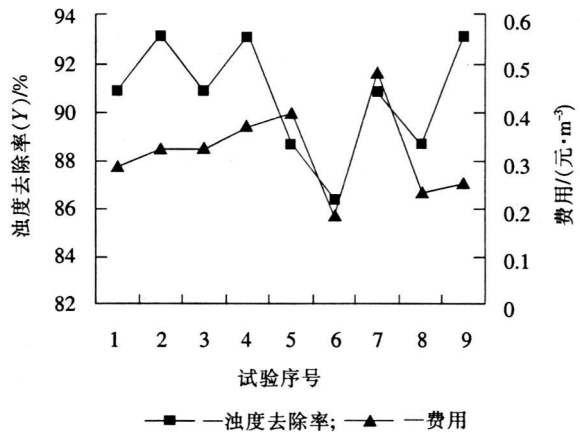


图 2 费用分析

Fig. 2 Expense analysis chart

5 结 语

1) 温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 当用聚合氯化铝-聚丙烯酰胺对芜湖上新塘市政合流污水进行浊度去除处理时, pH 值为 7.5~8.4, 投加总药剂质量浓度为 80 mg/L , 最优水平组合 $V(\text{PAC}) : V(\text{PAM}) = 8 : 2$ 时, 可发挥最大程度的协同效应, 去除效率达到 93.18%, 且处理费用较低, 仅为 0.256 元/m^3 。

2) 在分子水平上解释协同效应: 水中的聚合氯化铝 (PAC) 水解成多核聚合羟基络离子与污水中悬浮胶体发生电中和、吸附、卷扫作用; 有机高分子混凝剂 PAM 通过其链状分子的吸附架桥网捕作用, 能有效提高絮粒尺寸, 絮体颗粒直径要比单一投加 PAC 形成的颗粒直径大 3~5 倍^[7-9]。

3) 由于 pH 值的适应性较宽, 可在适应能力范围内任意选取, 所以应根据实际情况选择较易实现的操作水平。

参考文献:

- [1] 董智敏. 有害因素联合作用评价[J]. 职业与健康, 2006, 22(12): 885-887.
- [2] 陆柱, 蔡兰坤, 陈中兴, 等. 水处理药剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 3-5.
- [3] 郑淳之, 梅建. 水处理剂和工业循环冷却水系统分析方法[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002. 3-5.
- [4] 郑书忠. 水处理药剂及其应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003. 118-120.
- [5] 郑少华, 姜奉华. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. 117.
- [6] 杜显云, 范彬, 范荣桂, 等. 生活污水正交混凝沉淀实验研究[J]. 能源环境保护, 2006, 20(2): 36-39.
- [7] 张素凤, 张安龙, 王志杰, 等. 表面活性剂的协同作用在造纸毛毯洗涤中的应用[J]. 中国造纸学报, 2006, 21(2): 55-58.
- [8] 徐海宏, 李满. PAC 与 PAM 复合絮凝剂处理矿井水的研究[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(4): 83-85.
- [9] 陈琼婵, 张冰如, 李凤亭. 聚天冬氨酸与其它阻垢分散剂的协同效应[J]. 工业用水与废水, 2006, 37(2): 69-72.