

文章编号: 1006-6780(2001)03-0052-04

正交法混凝试验对造纸废水处理的研究

刘士锐¹, 任南琪¹, 朴庸健², 吴忆宁¹, 李建政¹

(1. 哈尔滨工业大学 环境生物技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 哈尔滨排水公司, 黑龙江 哈尔滨 150010)

摘 要: 利用正交试验的方法对造纸废水的混凝处理最佳试验条件进行了研究。通过三种无机混凝剂(PAC、FeSO₄、Al₂(SO₄)₃)和三种有机助凝剂(PAM、D₁、D₂)对造纸废水处理效果的研究, 证实在混凝试验的影响因素中混凝剂的种类、投加量、投加方式都起着重要作用, 断定PAC和PAM具有良好的处理效果。结果表明: 在酸性条件下, 加入PAC120mg/L, 30s后加入1mg/L的PAM, 慢速搅拌24min后, 对造纸废水COD的去除率可以达到50%左右。

关键词: 正交试验; 造纸废水; 混凝剂; 助凝剂; 絮凝; 最佳混凝条件

中图分类号: X703 **文献标识码:** A

Investigation of pulping wastewater treatment by orthogonal process with flocculant

LIU Shi-rui¹, REN Nan-qi¹, PIAO Yong-jian², WU Yi-ning¹, LI Jian-zheng¹

(1. Research Center of Environmental Bio-technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Harbin Drainage Company, Harbin 150010, China)

Abstract: Presents the investigation of the optimal operating parameters of coagulant pulping wastewater treating process with PAC, FeSO₄, Al₂(SO₄)₃ as coagulants and PAM, D₁, D₂ as coagulant aids. Points out that coagulants have an important effect on the treating efficiency and the amount of coagulants and how to put them into the wastewater also play an important role in this process. PAC and PAM can remove 50% COD in the acidic condition when 120mg/L PAC is put into pulping wastewater first, 1mg/L PAM after 30s and miscible liquids agitated for 24min at slow rate.

Key words: orthogonal experiment; pulping wastewater; flocculant; flocculation; optimum flocculation parameter

0 前言

混凝是水处理中最普遍的一种处理方法。混凝反应是一个复杂过程, 经常要涉及多种因素和不同水平, 这些因素中有影响沉淀矾花形成(混合反应)的混凝剂种类、最佳投药量、溶液pH值等, 也有影响矾花增长(絮凝反应)的投药顺序、混合时间、絮凝时间及水流的紊动情况等^[1]。为了使混凝处理更加经济有效, 需对不同因素及其不同水平进行筛选, 以达到最佳的处理效果, 而对因素和水平的选择过程需要对不同因素及其不同水平互相搭配, 进行全面探讨, 不仅试验次数多, 误差也会随之增大。正交试验法是应用科学研究中经常采用的试验手段, 其优点在于能对多种因素和不同水平同时进行考查, 从中筛选出最佳的因素和水平组合。不仅减少了试验次数, 而且提高了试验效率, 使试验结果更科学^[2, 3]。本文利用正交试验的方法就影响造纸废水混凝处理效果的各因素进行了研究, 获得了造纸废水混凝试验的最佳匹配条件。

收稿日期: 2000-09-12

基金项目: 黑龙江省青年基金资助项目

作者简介: 刘士锐(1972-), 男, 哈尔滨工业大学博士生。

1 试验材料和方法

试验采用的混凝剂PAC(聚合氯化铝)、PAM(聚丙烯酰胺)、 FeSO_4 (硫酸亚铁)由哈尔滨市自来水三厂提供,硫酸铝(化学纯), D_1 、 D_2 由中科院刘俊新研究员提供。搅拌器选用DBJ-621型定时变速搅拌机。造纸废水由齐齐哈尔造纸厂的木浆黑液稀释而成。

混凝方法参照文献[4]取1000mL水样装入烧杯中,定位在搅拌机上;把药剂装入搅拌器试剂架的试管中,开动搅拌器,150r/min下高速搅拌1min后加入药剂,持续搅拌1min,30r/min慢速搅拌15min,静沉20min后在上清液的二分之一处取样50mL。测定COD的去除率。

2 造纸废水混凝试验

2.1 无机混凝剂的选择

研究对几种常见的铝盐、铁盐混凝剂(PAC、 FeSO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)及不同使用范围进行了比较试验,同时对絮凝时间的影响情况也进行了比较。根据试验的因素和水平,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验,试验设计见表1。

表1 混凝剂选择的正交试验设计

Table 1 Signal of orthogonal experiment on select coagulant

	混凝剂种类	投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	絮凝反应时间/min	空白列
1	FeSO_4	40	24	1
2	PAC	80	18	2
3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	120	12	3

反应条件除了慢速搅拌时间按表中的参数进行外,其余条件与上述的方法相同。溶液反应pH值未经调节,经测定pH值为8.5。

采用直观分析法,各因素的 R 值显著性见表2。

表2 混凝剂选择的结果分析

Table 2 Analysis of result of orthogonal experiment on select coagulant

	混凝剂种类	投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	絮凝反应时间/min	空白列
R	9.2	11.0	8.8	8.0
显著性	*	**	*	-

“*”为是否显著及显著程度。

通过 R 值显著性的比较发现各因素的先后顺序为

投加量	混凝剂种类	反应时间
主		次

结果分析表明:混凝剂投加量的选择以120mg/L最为适宜,种类选择PAC为佳,絮凝反应时间(慢速搅拌时间)选24min效果最好。在工程设计运行中,因素投加量直接影响工艺的运行费用,絮凝时间与工程投资有关,从上面的试验结果中可以看出,PAC或硫酸铝在投加量为80mg/L,慢速搅拌12min时,COD去除率也都在30%以上,也可以作为有效的试验组合,在不同的试验中可以选用。

2.2 有机助凝剂的选择

有机助凝剂多数是一些链状大分子物质,投加的目的在于利用长链状分子的桥连作用将无机混凝剂形成的絮凝体包围起来,通过进一步的絮凝反应过程,逐渐将颗粒中的水分挤出,这样颗粒的沉降速度加快,从而COD去除率也得到提高,达到最佳混凝处理效果^[4]。本研究选用三种有机助凝剂做了对比,试验结果见表3和表4。

表3 絮凝剂投加的正交试验设计

Table 3 Signal of orthogonal experiment on select flocculate

	PAC投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	有机助凝剂种类	溶液pH值	空白列
1	40	PAM	5.4	1
2	60	D ₁	7.7	2
3	80	D ₂	9.2	3

表中有机助凝剂的投加量均为 1mg/L ，反应条件同上

表4 絮凝剂投加的结果分析

Table 4 Analysis of results of select flocculate

	PAC投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	絮凝剂种类	溶液pH值	空白列
R	3.5	70.8	22.1	9.7
显著性	-	***	**	-

“*”意义同前

本次试验选用的是有重复试验的方差分析，根据显著性R值的比较分析得出各因素的主次关系

有机助凝剂种类	反应pH值	PAC投加量
主		次

其中有机助凝剂选择PAM为佳，此时PAC的投加量以 80mg/L 为宜，反应的最佳pH为5.4。

根据以上试验结果，对造纸废水混凝处理的初步方案确定为：PAC和PAM是首选的两种主要的混凝剂和助凝剂，无机混凝剂的投加量可以确定在 $80\sim 120\text{mg/L}$ 之间。在本试验中考查了pH值在酸性(如pH值5.4)、中性(如pH值7.7)和碱性(如pH值9.2)条件的反应情况，结果表明pH值以酸性为最佳，这一点相同于前人的工作^[9]。本试验中，PAC投加量为 40mg/L ，有机助凝剂选择PAM，pH值为5.4时，反应12min，COD的去除率可以达到46.8%，如果满足上面所述的最佳反应条件(2.1的试验结果)，预计COD的去除率可以超过50%。

3 絮凝反应的优化

无机混凝剂和有机助凝剂的反应条件、投加顺序以及互相间的影响情况都制约着混凝反应的最终结果，本文还就有机、无机混凝剂的投加量、投加顺序及各因素间的交互作用进行了正交试验研究。正交试验方案选择 $L_{18}(2 \times 3^7)$ ，试验设计见表5。通过直观分析法，结果见表6。

表5 $L_{18}(2 \times 3^7)$ 的试验设计Table 5 Design of orthogonal experiment $L_{18}(2 \times 3^7)$

水平	A 无机混凝剂/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	B PAM投加量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	A×B	C (投加方式)	A×C	B×C	A×B×C	D (空白列)
1	PAC (60)	0.5	1	1	1	1	1	1
2	硫酸铝 (80)	1.0	2	2	2	2	2	2
3	-	1.5	3	3	3	3	3	3

投加方式：“1”为两种药剂同时投加，“2”为先加入无机混凝剂30s后再加入有机助凝剂，“3”为先加入有机助凝剂30s后再加入无机混凝剂。表中A×B，A×C，B×C，A×B×C分别表示各因素间的交互作用。

表6 $L_{18}(2 \times 3^7)$ 的试验结果分析Table 6 Result of experiment $L_{18}(2 \times 3^7)$

	A	B	A×B	C	A×C	B×C	A×B×C	D
R	10.3	2.7	3.47	6.67	4.54	1.27	1.5	3.02
显著性	**	-	*	**	*	-	-	-

分析 $A \times C$ 和 $A \times B$ 的交互作用, $A \times C$ 关系见表7, $A \times B$ 关系见表8。因为 $B \times C$ 和 $A \times B \times C$ 组合的 R 值低于误差列(D 列),所以其交互作用没有进行分析。

表7 $A \times C$ 交互作用的显著性Table 7 Interaction of $A \times C$

	A_1	A_2
C_1	A_1C_1 (10.1)	A_2C_1 (0.8)
C_2	A_1C_2 (12.8)	A_2C_2 (3.3)
C_3	A_1C_3 (1.5)	A_2C_3 (0.3)

表8 $A \times B$ 交互作用的显著性Table 8 Interaction of $A \times B$

	A_1	A_2
B_1	A_1B_1 (10.2)	A_2B_1 (0.5)
B_2	A_1B_2 (16.6)	A_2B_2 (11.3)
B_3	A_1B_3 (3.2)	A_2B_3 (1.2)

从表7, 8的分析得出, $A \times C$ 的最佳组合是 A_1C_2 , $A \times B$ 的最佳组合是 A_1B_2 。

表明各因素的主次关系为:

A	C	$A_1 \times C_2$	$A_1 \times B_2$	B 、 $A \times B \times C$ 、 $B \times C$
主				次

无论从单个因素还是交互作用分析结果都表明, 无机混凝剂和投加方式在造纸废水的混凝反应中起主要作用, 其中无机混凝剂选择PAC, 投加方式选用“2”, 即先投加无机混凝剂后再加入助凝剂, PAM投加量选择1mg/L。

4 结论

1. 选择正确的正交试验方案, 对试验因素、水平以及各因素、水平的有效范围的正确选择, 将决定试验结果的准确程度以及结果的应用范围。

2. 从以上的研究中, 得到造纸废水混凝反应的最佳条件:

无机混凝剂选择PAC。试验结果表明, 在一定范围内随着PAC投加量的增加, COD去除率也随之增加, 本试验给出PAC投加量的有效范围为80~120mg/L。有机助凝剂选择PAM, 投加量为1mg/L, 快速搅拌混合时间为1min, 慢速搅拌絮凝时间为24min, 投加方式是加入无机混凝剂30s后加入有机助凝剂, 反应的pH值为酸性(pH值5左右)。

3. 影响铝盐混凝反应各因素主次关系为

无机混凝剂种类	无机混凝剂投加量	有机助凝剂种类	投加方式	反应时间	溶液pH值
主				次	

4. 用正交法进行研究, 能够得到不同因素对试验结果的影响情况和最佳范围, 基本可以满足一般工程设计的需要。但对于某些因素如PAC投加量和pH值的精确定量还需进一步研究才能确定。

参 考 文 献:

- [1] 陈元彩, 肖锦, 詹怀宇. 絮凝法对造纸漂白废水的研究[J]. 中国造纸学报, 1999, (14): 68-72.
- [2] 正交试验编写组. 正交试验法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1976.
- [3] 李燕城. 水处理试验技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [4] 蔡康煜. 水的混凝及絮凝杯罐试验方法的研究[J]. 化学清洗, 1998, (14): 1-7.
- [5] 冯利, 汤鸿霄. 铝盐最佳混凝形态及最佳pH值范围的研究[J]. 环境化学, 1998, 17(32): 163-169.