

铁炭微电解技术深度处理印染废水 回归分析研究

刘勇健^{1,2}, 姜兴华², 孙洪泉³, 庄虹¹, 张跃¹

(1.苏州科技学院化学与生物工程学院, 江苏 苏州 215011; 2.苏州科技学院环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215011; 3.苏州科技学院土木工程学院, 江苏 苏州 215011)

摘要: 利用多元线性回归分析对铁炭微电解法深度处理印染废水的试验数据进行研究, 建立了关于进水 pH、H₂O₂ 投加量、铁炭体积比、水力停留时间 4 个变量与 COD 去除率之间的数学模型: $\hat{Y}=66.6553-1.4072x_1-0.0044x_2-2.5654x_3+0.2667x_4$; 确定了该模型置信水平为 95.4% 的置信区间, 并对模型的可靠性进行了研究。

关键词: 铁炭微电解; 深度处理; 印染废水; 回归分析

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2010)05-0063-003

铁炭微电解技术在印染废水深度处理中具有很好的脱色与 COD 去除效果^[1-2]。影响微电解反应对印染废水脱色与 COD 去除效果的主要因素有进水 pH、H₂O₂ 加入量、铁炭体积比、水力停留时间等 4 项指标。本文以铁炭微电解反应深度处理印染废水试验研究为基础, 对试验结果采用多元线性回归分析, 初步建立了以进水 pH、H₂O₂ 加入量、铁炭体积比、水力停留时间为变量的关于 COD 去除率的数学模型, 并验证了该模型的可靠性, 为深入研究其作用机理以及规模化生产应用提供了理论依据。

1 多元线性模型的建立

在实际问题中, 常常会遇到多个变量处于同一问题之中, 它们互相联系、相互制约, 且表现为某种不确定性^[3], 通常称这样的变量之间的关系为相关关系, 多元线性模型是寻求这些变量之间相关关系的数量表达式常用的数学统计方法之一, 多元线性模型一般的表达式为:

$$Y=XB=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_nx_n \quad (n \geq 2) \quad (1)$$

为计算简便, 多元线性模型一般利用矩阵、向量的形式来表达:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times (n+1)} \quad (4)$$

对于 n 元正态线性模型, 有

$$B=(X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

式中: T 表示矩阵或向量的转置, X 为自变量, Y 为因变量, B 为回归系数, m 为观测数据个数, n 为变量个数。

2 试验研究

2.1 数据收集

本研究以进水 pH(x_1)、H₂O₂ 投加量(x_2)、铁炭体积比(x_3)、水力停留时间(x_4)为变量, 设计正交试验, 初步确立了各因素在印染废水深度处理中的最佳水平, 分别为进水 pH 为 2、铁炭体积比 1:1、

收稿日期: 2009-05-21

基金项目: 苏州市社会发展专项 (Z1243); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目 (CX08S_021Z)

作者简介: 刘勇健 (1954—), 男, 教授, 博士, 研究生导师, 研究方向为废水处理技术与开发; E-mail: yjliu1215@yahoo.com.cn

H₂O₂ 投加量 3.2 mL·L⁻¹、水力停留时间 90 min。并进行了单因素试验分析,考察了各个因素对 COD 去除率(y)的影响^[3],试验结果见表 1。

表 1 铁炭微电解深度处理印染废水试验数据

Tab.1 Experimental data of advanced treatment of printing and dyeing wastewater by iron-carbon micro-electrolysis technology

试验序号	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	1	3.2	1	90	76.1
2	2	3.2	1	90	91.5
3	3	3.2	1	90	87.5
4	4	3.2	1	90	83.2
5	5	3.2	1	90	75.8
6	2	3.2	1	60	75.0
7	2	3.2	1	75	87.0
8	2	3.2	1	90	91.5
9	2	3.2	1	105	92.0
10	2	3.2	1	120	92.5
11	2	0	1	90	83.5
12	2	0.8	1	90	84.5
13	2	1.6	1	90	85.3
14	2	2.4	1	90	89.3
15	2	3.2	1	90	91.5
16	2	4	1	90	87.6
17	2	4.8	1	90	86.3
18	2	5.6	1	90	82.0
19	2	3.2	0.33	90	77.3
20	2	3.2	0.5	90	80.4
21	2	3.2	1	90	91.5
22	2	3.2	2	90	82.6
23	2	3.2	3	90	75.4

2.2 铁炭微电解深度处理印染废水模型的建立

观测数据个数为 23,变量个数为 4。因此,建立 COD 去除率与该 4 项因素之间的数学模型:

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_4 \quad (6)$$

式中: b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 为线性回归系数。

2.3 回归系数的确定

对于模型(6),将表 1 中试验数据代入式(5)可得:

$$B = \begin{bmatrix} 66.6553 \\ -1.4072 \\ -0.0044 \\ -2.5654 \\ 0.2667 \end{bmatrix} \quad (7)$$

从而得到铁炭微电解对印染废水 COD 去除率的线性回归方程为:

$$\hat{Y}=66.6553-1.4072x_1-0.0044x_2-2.5654x_3+0.2667x_4 \quad (8)$$

3 模型的置信区间分析

根据线性回归方程式(8)以及表 1 中的试验结果,可以计算得到观测值与线性回归值的绝对误差,

如表 2 所示。

表 2 数学模型回归值与绝对误差

Tab.2 The return value and absolute error of mathematical model

试验序号	观测值 y_i	回归值 Y_i	$ y_i - Y_i $
1	76.1	86.6688	10.5688
2	91.5	85.2616	6.2384
3	87.5	83.8544	3.6456
4	83.2	82.4472	0.7528
5	75.8	81.0400	5.2400
6	75.0	77.2616	2.2616
7	87.0	81.2616	5.7348
8	91.5	85.2616	6.2384
9	92.0	89.2616	2.7384
10	92.5	93.2616	0.7616
11	83.5	85.2750	1.7756
12	84.5	85.2721	0.7721
13	85.3	85.2686	0.0314
14	89.3	85.2651	4.0349
15	91.5	85.2616	6.2384
16	87.6	85.2581	2.3419
17	86.3	85.2546	1.0454
18	82.0	85.2511	3.2511
19	77.3	86.9804	9.6804
20	80.4	86.5433	9.6804
21	91.5	85.2616	6.2384
22	82.6	82.6962	0.0962
23	75.4	80.1309	4.7309

根据回归分析理论的“二 σ 规则”,有 $\hat{Y}-2\sigma < Y_0 < \hat{Y}+2\sigma$;置信水平为 95.4%。

式中: \hat{Y} 为模型回归值, Y_0 为未知样品的真实值, σ 为剩余标准偏差,且

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |y_i - Y_i|^2}{n-2}} \quad (n>2) \quad (9)$$

根据表 2 数据,可知铁炭微电解深度处理印染废水数学模型的剩余标准偏差为 $\sigma=5.0983$ 。所以 Y 的置信区间为:

$$\begin{cases} Y_1 = \hat{Y} + 2\sigma = 76.8519 - 1.4072x_1 - 0.0044x_2 - 2.5654x_3 + 0.2667x_4 \\ Y_2 = \hat{Y} - 2\sigma = 56.4587 - 1.4072x_1 - 0.0044x_2 - 2.5654x_3 + 0.2667x_4 \end{cases}$$

4 验证

选取不参与模型计算的几个观测值以及处理厂实际运行情况(1~5号为实验室观测值,6号为处理厂运行数据)对铁炭微电解深度处理印染废水数学模型进行验证试验。验证试验的观测值与置信区间计算值如表 3 所示。

由表 3 的验证结果,根据数学模型置信区间分析可知,试验观测值均在置信区间内,说明该模型具

表3 验证试验
Tab.3 Verification test

试验序号	x_1	x_2	x_3	x_4	y	Y_1	Y_2
1	3	3.2	2	75	75.4	87.48792	67.09472
2	2	1.6	3	15	50.6	70.33476	49.94156
3	1	3.2	1	50	68.1	86.20022	65.80702
4	2	0.8	2	45	77.4	80.90468	60.51140
5	2	2.4	0.5	90	80.3	96.74724	76.35404
6	3	1.6	1	30	74.3	78.05886	57.66556

有较好的可靠性。

5 结论

应用多元线性回归分析原理建立的 COD 去除率与 pH、 H_2O_2 投加量、铁炭体积比、水力停留时间 4 个因素之间的多元回归方程:

$$\hat{Y}=66.6553-1.4072x_1-0.0044x_2-2.5654x_3+0.2667x_4$$

能够客观反映 COD 去除率与 4 个因素之间的线性规律。

参与模型计算的 4 个自变量、23 个真实值均在置信水平为 95.4% 的置信区间内, 此外验证了 5 个没有参与模型计算的样品以及处理厂实际运行的状况, 其真实值也都在置信区间内, 说明该数学模型具有较好的可靠性。

利用数学模型分析的方法对铁炭微电解深度处理印染废水规律进行研究, 并对未知的因素水平的真实值进行估计, 指导工艺设计, 是研究铁炭微电解技术过程中的一个新的尝试, 具有一定的创新性。

参考文献:

- [1] 梁耀开, 王汉道, 秦文淑. 碳微电解法处理印染废水的试验研究[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2003, 2(3): 19-21.
- [2] 李川, 夏洁, 王玉峰. 微电解处理对染料废水脱色的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(1): 87-88.
- [3] 上海财经大学应用数学系. 概率论与数理统计[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2004: 207-218.
- [4] 姜兴华, 刘勇健, 金亮基. 铁炭微电解-Fenton 试剂联合氧化深度处理印染废水的研究[J]. 应用化工, 2008, 39(7): 1074-1075.

REGRESSION ANALYSIS ON IRON-CARBON MICRO-ELECTROLYSIS TECHNOLOGY USED IN ADVANCED TREATMENT OF PRINTING AND DYEING WASTEWATER

Liu Yongjian^{1,2}, Jiang Xinghua², Sun Hongquan³, Zhuang Hong¹, Zhang Yue¹

(1. Department of Chemical and Biological Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, China;

2. Department of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, China;

3. Department of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, China)

Abstract: The experimental data of advanced treatment of printing and dyeing wastewater by iron-carbon micro-electrolysis technology was studied by multiple linear regression analysis. Mathematical model about COD removal efficiency containing four variables of pH value, H_2O_2 addition, volume ratio of iron to carbon, hydraulic retention time was established:

$$\hat{Y}=66.6553-1.4072x_1-0.0044x_2-2.5654x_3+0.2667x_4;$$

and the confidence interval of the model was determined on confidence level of 95.4%. The reliability of the model was also studied.

Keywords: iron-carbon micro-electrolysis; advanced treatment; printing and dyeing wastewater; regression analysis

简讯

纳尔科推出脱汞新技术, 积极回应美国国会和环境保护署的脱汞新标准出台计划

Predict Hg™ 是纳尔科推出的一项新技术, 可以帮助电厂进行汞排放建模, 模拟不同的脱汞方法, 并预测脱汞后的汞含量。基于 Predict Hg 方案, 纳尔科工作人员从客户的烟气脱硫 (FGD) 废水中采集水样, 并将水样送往纳尔科创新中心。创新中心通过分析和评估各种脱汞方案, 确定可达到的脱汞效率, 并对各种潜在化学、操作和机械方法的效果和成本进行分析。

纳尔科 Predict Hg 是纳尔科金属去除技术中的新增方案, 功能强大, 包括燃煤燃烧前脱汞、燃烧中脱汞和燃烧后烟气脱汞技术、二次排放控制技术及其他各种专利处理技术。