

磁絮凝技术处理雨水

——采取响应曲面优化实验方法

赵 敏, 康小方

(安徽广播电视大学 合肥市分校, 合肥 230001)

摘 要:以合肥雨水泵站外排雨水为研究对象,利用磁絮凝技术对其进行快速处理,实验采取响应曲面优化实验方法对实验数据进行优化,以 COD、TP 浓度为主要参考指标,采用 Box-Behnken 模型对数据进行分析,得出絮凝剂聚合氯化铝(PAC)、助凝剂聚丙烯酰胺(PAM)及磁粉的最佳投药量及投加顺序。通过实验研究及经济性分析,为磁絮凝应用于实际工程治理提供了依据。

关键词:雨水泵站;外排水;磁絮凝;投药量;响应曲面;优化试验

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1008-6021(2017)02-0145-04

一、引言

在卫生条件较差的城市,分流制雨水泵站的外排水中,含有大量的污染物,直接外排易对受纳水体造成严重影响。因此,对它的研究已成为改善水环境的重要研究内容之一。

结合赵敏^[1]磁絮凝技术处理雨水方法——单因素静态实验研究,本文进一步采用响应曲面优化实验方法研究。该方法是一种最优化方法,它将体系的响应作为一个或多个因素的函数,运用图形技术将这种函数关系显示出来,以供人们凭借直觉的观察来选择实验设计中的最优化条件。

二、实验材料与实验方法

响应曲面优化法(Response Surface Methodology, RSM)是一种利用合理的试验设计方法并通过实验得到一定数据,采用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系,通过对回归方程的分析来寻求最优工艺参数,解决多变量问题的统计方法^[3]。

(一)实验用水及主要试剂

1.实验用水

合肥市雨水泵站外排水。

2.主要药剂

本实验主要药剂为絮凝剂——聚合氯化铝

(PAC),助凝剂——聚丙烯酰胺(PAM)以及磁粉。

(二)响应曲面优化实验方法

实验选取 PAC 投加量(A)、PAM 投加量(B)、磁粉投加量(C)对 COD、TP 的去除影响较为显著的 3 个因素作为独立变量,以 COD、TP 的出水浓度分别作为响应值 Y。采用 Box-Behnken 模型,就药剂投加量对污水处理效果进行三因素三水平,共 17 个试验点的试验设计,其中 12 个为分析点,5 个为零点,析因点为自变量取值在 A、B、C 所构成的三维顶点,零点为区域的中心,其中零点试验重复 5 次,用以估算试验误差。试验因素水平和编码如表 1 所示。每组试验测得的 COD、TP 去除率作为响应面法的响应值,各组试验去除率及每组试验条件如表 2 所示。

表 1 Box-Behnken 试验设计实验因素及水平表

水平	A/PAC (mg/L)	B/PAM (mg/L)	C/磁粉 (mg/L)
-1	150	0	170
0	200	2	200
1	250	4	230

实验用水为泵站前池旱流存水,水质为:COD:154.7mg/L;TP:6.52mg/L。运行条件:快速搅拌 300r/min (2min)、慢速搅拌 60r/min (15min);静沉时间为 20min;水温 T=20.4℃。药剂投加顺序为:磁粉→PAC→PAM。

收稿日期:2016-12-15

作者简介:赵 敏(1963-),女,安徽省合肥人,讲师。研究方向:混凝土结构、水处理施工教学和研究工作。

表 2 实验设计和 COD、TP 浓度的实验值

实验号	A	B	C	COD 浓度 (mg/L)	TP 浓度 (mg/L)
1	0	0	0	48.0	0.39
2	0	-1	-1	48.0	0.46
3	-1	1	0	48.0	0.95
4	0	1	1	44.8	0.46
5	0	0	0	44.8	0.46
6	1	1	0	46.4	0.33
7	-1	-1	0	54.4	0.90
8	0	0	0	44.8	0.47
9	0	0	0	44.8	0.41
10	1	0	1	51.2	0.30
11	0	1	-1	57.6	0.41
12	0	0	0	44.8	0.43
13	1	-1	0	38.4	0.28
14	1	0	-1	51.2	0.19
15	-1	0	-1	48.0	1.05
16	-1	0	1	60.8	0.95
17	0	0	0	44.8	0.46

1. COD 去除分析

(1) 模型建立及显著性分析

由 Box-Behenken 实验数据, 利用 Design Expert 软件对数据进行回归分析:

表 3 回归模型方差分析(COD)

来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值	R ²
模型	9	371.76	41.31	2.88	0.09	0.787 2
A	1	72.00	72.00	5.02	0.06	
B	1	8.00	8.00	0.56	0.48	
C	1	0.00	0.00	0.00	1.00	
AB	1	51.84	51.84	3.61	0.10	
AC	1	40.96	40.96	2.85	0.14	
BC	1	40.96	40.96	2.85	0.14	
A ²	1	28.46	28.46	1.98	0.20	
B ²	1	1.52	1.52	0.11	0.75	
C ²	1	122.78	122.78	8.55	0.02	
残差	7	100.48	14.35			
失拟项	4	0.00	0.00			

COD 去除率实验值与预测值的比较见图 1(左下角到右上角表示浓度逐渐升高)。

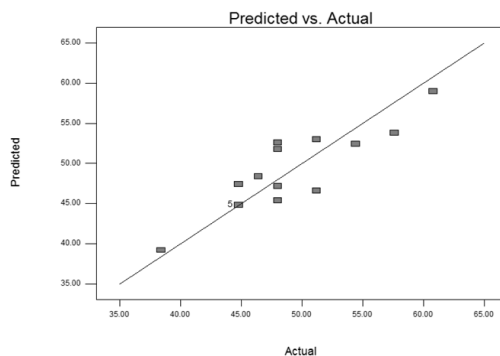
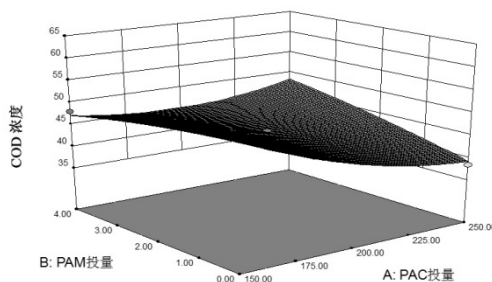


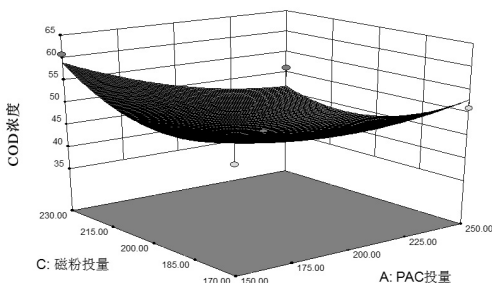
图 1 COD 去除率的实验值与预测值的比较

(2) 等高线分析

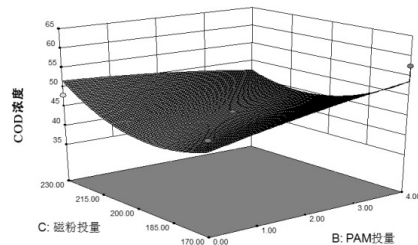
响应面法的图形是特定的响应面对应因素 A、B、C 构成的一个三维空间在二维平面上的等高图, 各变量取值的不同而对 COD 去除所造成的影响能通过等高线图和相应的三维响应面图所表示出来, 结果如图 2 所示(COD)。



a. PAM 投加量和 PAC 投加量



b. 磁粉投加量和 PAC 投加量



c. 磁粉投加量和 PAM 投加量

图 2 各因素之间相互作用的响应面及等高线图(COD)

由于AB、AC、BC的P值大于0.05(见表3),因此PAC投加量与PAM投加量、PAC投加量与磁粉投加量、PAM投加量与磁粉投加量之间的相互作用对COD的去除率的影响不显著。从表3中A、B、C的P值可见,PAC投加量对COD的去除率有着较显著的影响,而PAM及磁粉的投加量对COD的去除率的影响则不太明显。由图2中a、b可知,随着PAC投加量的增加,COD的出水浓度逐渐降低。由图2中a、b、c可知,由于PAM自身为有机高分子聚合物,随着它的投加量的增加,水中残余的少量PAM反而会使出水COD上升;随着磁粉投加量的增加,COD去除率呈现先下降后上升的趋势,多余的磁粉会影响絮体的结构,影响絮体的沉降,导致絮凝效果变差。

2.TP去除分析

(1)模型建立及显著性分析

由Box-Behenken实验数据,利用Design Expert软件对数据进行回归分析:

表4 回归模型方差分析(TP)

来源	自由度	平方和	均方	F	P	R ²
模型	9	1.10	0.12	68.16	<0.0001	0.9887
A	1	0.95	0.95	527.48	<0.0001	
B	1	1.8E-3	1.8E-3	1.00	0.35	
C	1	1.3E-5	1.3E-5	7.0E-3	0.94	
AB	1	0.00	0.00	0.00	1.00	
AC	1	0.01	0.01	6.15	0.04	
BC	1	3.6E-3	3.6E-3	2.01	0.20	
A ²	1	0.14	0.14	76.76	<0.0001	
B ²	1	5.8E-4	5.8E-4	0.32	0.59	
C ²	1	7.6E-5	7.6E-5	0.04	0.08	
残差	7	0.01	1.8E-3			
失拟项	3	0.01	3.3E-3	5.30	0.07	

TP去除率的实验值与预测值的比较见图3(左下角到右上角表示浓度逐渐升高):

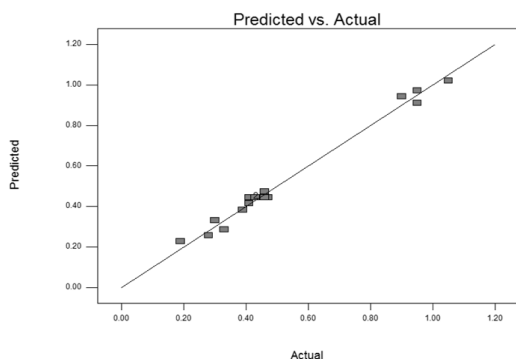


图3 TP去除率的实验值与预测值的比较

(2)等高线分析

各试验因素对去除率的影响做直观的分析比较,对三个因素每两个因素进行响应面分析,如图4。

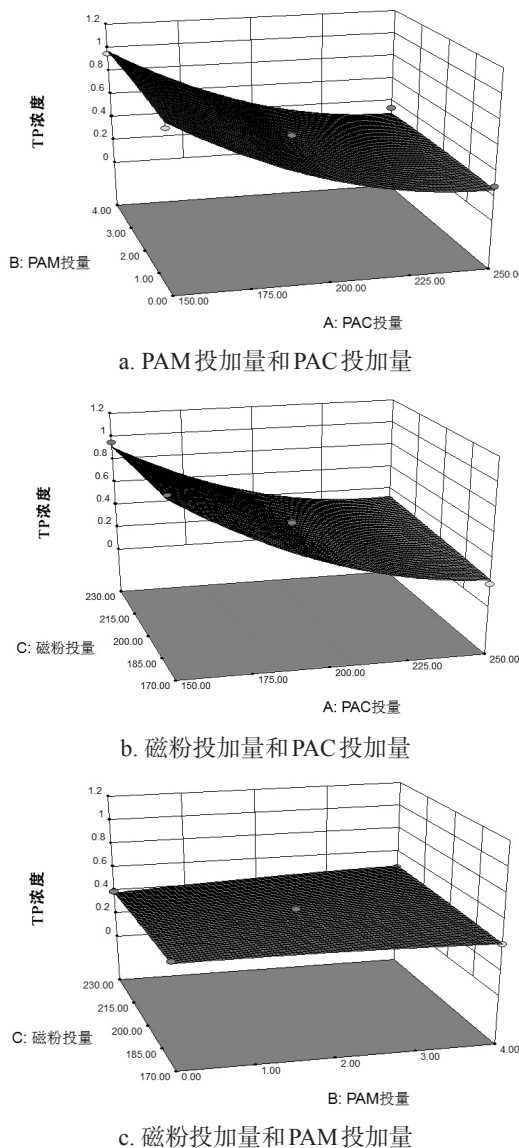


图4 各因素之间相互作用的响应面及等高线图(TP)

由于AB、BC的P值大于0.05(见表4),PAC投加量与PAM投加量、PAM投加量与磁粉投加量之间的相互作用对TP的去除率的影响不显著。而PAC投加量与磁粉投加量之间则存在相互作用,共同影响着磁性复合絮体对TP的吸附作用。从图4中a、b可见,随着PAC投加量的增加,TP去除率呈明显上升的趋势,而从c曲面的形状可见,TP的去除率随PAM及磁粉单独投加量变化趋势很不明显。由此可见,水中磷的去除主要由磷与PAC的化学反应决定。

3.最佳投药量的确定

通过 Optimization Numedal Solution, 设定 TP、COD 出水浓度变化范围分别 0.19~1.00mg/L 和 38.4~70.0mg/L, 通过软件可得, 14 组最优解, 最佳组水平为: 1, -1, 0, 最佳解为 PAC: 250mg/L, PAM: 0 mg/L, 磁粉: 197mg/L, 预测 TP 出水浓度为 0.25mg/L, COD 出水浓度为 39.2mg/L。

三、主要结论

(一) 在单因素静态实验研究基础上, 对投药量进行响应面分析, 对投药量进一步进行优化。

(二) 针对 COD 及 TP 的最佳去除效果, 采用 Box-Behnken 模型, 确定药剂的最佳投药量: PAC: 250mg/L, PAM: 0mg/L, 磁粉: 197mg/L, 预测 TP 出水浓度为 0.25mg/L, COD 出水浓度为 39.2mg/L。

参考文献:

- [1] 赵敏. 磁絮凝技术处理雨水方法: 单因素静态实验研究[J]. 安徽建筑, 2016(6): 141, 145-146.
- [2] 赵红花, 王九思. 用磁絮凝法处理城市污水的试验研究[J]. 兰州铁道学院学报, 2002, 21(3): 79-82.
- [3] PRASANNAKUMAR B R, REGUPATHI I, MURUGESAN T. An Optimization Study on Microwave Irradiated Decomposition of Phenol in the Presence of H₂O₂ [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2009, 84(1): 83-91.
- [4] 黄启荣, 魏槐槐. 磁絮凝与磁分离技术的应用现状与前景[J]. 给水排水, 2010, 36(7): 150-152.
- [5] 贾亮, 李真, 贾绍义. 磁化技术在工业水处理中的应用[J]. 化学工业与工程, 2006, 23(1): 59-64.
- [6] 赵红花, 王九思. 用磁絮凝法处理城市污水的试验研究[J]. 兰州铁道学院学报, 2002, 21(3): 79-82.
- [7] 黄自力, 肖松文, 胡岳华, 等. 城市污水磁化絮凝-高梯度磁分离除磷研究[J]. 矿冶工程, 2003, 23(5): 24-26.
- [8] 曹勇锋, 张朝升, 张可方, 等. 采用微絮凝/大梯度磁滤工艺处理珠江水的研究[J]. 中国给水排水, 2010(23): 55-57.
- [9] 郑必胜, 郭祁远, 李琳, 等. 应用高梯度磁分离技术处理糖蜜酒精废水[J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 252-255.
- [10] 梅光泉. 重金属废水的危害及治理[J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(4): 54-56.

Rainwater Treatment Based on Magnetic Flocculation Technology

—The Experimental Method of Response Surface Optimization

ZHAO Min, KANG Xiao-fang

(Hefei Branch, Anhui Radio and TV University, Hefei 230001, China)

Abstract: The paper takes the drainage of a rainfall pumping station in Hefei as the research object, employs the magnetic flocculation technology for fast processing, and adopts the response surface optimization method to optimize the experimental data. Meanwhile using COD and TP concentration as the main reference index, the paper analyzes the experimental data based on the Box-Behnken model. The results show that the optimal feeding amount and feeding order of flocculant polyaluminium chloride(PAC), the coagulant aid polyacrylamide (PAM) and magnetic particle. Besides, the pilot study and economic analysis provide the basis for applying of the magnetic flocculation to the practical engineering treatment.

Key words: rainfall pumping station; drainage; magnetic flocculation; feeding amount; response surface; optimization test

[责任编辑 李潜生]