

三氯化铁在滇池蓝藻爆发期除藻中的应用研究

宁平¹, 朱易², 徐小军¹

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 广西师范学院环境与城市科学系, 广西 南宁 530001)

摘要: 采用三氯化铁为混凝剂, L₉3⁴ 正交法安排滇池蓝藻爆发期混凝沉降除藻实验。结果表明, 混凝剂种类、水样 pH 值对蓝藻去除率有很大影响。研究确定了混凝法除藻最佳操作条件, 为混凝法去除蓝藻的工业化提供了理论和实际操作依据。

关键词: 滇池; 蓝藻; 爆发期; 混凝法除藻

中图分类号: X13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2001)05-0348-03

Application of Ferric Chloride in Removal of Blue Algae at Algal Eruptive Period in Dianchi Lake

NING Ping¹, ZHU Yi², XU Xiao-jun¹

(1. College of Environmental Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093 China;

2 Department of City and Environmental Science of Guangxi Normal College, Nanning 530001 China)

Abstract: Ferric chloride was used as coagulant agent in treatment of Dianchi Lake in order to remove blue algae during algal eruptive period. To do so, a coagulant sedimentation experiment was arranged with L₉3⁴ orthogonal method. The result showed that the varieties of coagulant agents and pH value of water had great effects on efficiency for the removal of the algae. The best operational parameters to remove blue algae with coagulant sedimentation were optimized. It provided an operational base for industrialization of removal for blue algae with coagulant sedimentation theoretically and practically both.

Keywords: Dianchi Lake; blue algae; eruptive period; removal of algae with coagulant sedimentation

滇池是昆明市的饮用水源地, 发挥着供水、防洪蓄水、纳污、航运、水产养殖、调节气候、观光旅游等多种功能, 在昆明市国民经济的发展中起着重要作用。但近年来大量未经处理的工业废水和生活污水以及面源营养物质大规模地直接排入滇池, 导致严重的水体富营养化, 藻类多、色度高、臭阈值高, 湖水受到污染、湖区生态平衡受到严重破坏、水生生物的多样性衰减。1999 年云南省环境质量状况显示, 全湖水质均劣于 V 类, 属重富营养化, 优势藻蓝藻对饮用水生产的影响及景观破坏严重。滇池分为草海、外海两部分, 1999 年草海总磷年均值超 V 类标准 2.06 倍, 外海总磷超 V 类 0.65 倍, 外海叶绿素 a 上升 5.3%、总磷上升 13.8%, 水质有继续恶化的趋势, 面源污染不可忽视。1999 年 5 月, 昆明市举办世界园艺博览会, 为防止世博会期间滇池水体蓝藻爆发影响景观, 采取了蓝藻控制应急措施工程, 主要为机械过滤除藻, 效果不

佳。目前混凝沉降法已用于处理含蓝藻的生活用水, 若用气浮-混凝沉降法处理城市污水, 蓝藻去除效率可达 85%—95%。2000 年 2 月国家科技部和云南省政府联合向社会进行公开的“滇池蓝藻控制技术”招标中, 滇池蓝藻爆发期去除研究方案中除机械过滤除藻外, 曾提出气浮-混凝法除蓝藻方案, 但在此以前对滇池蓝藻爆发期混凝法去除藻的可行性尚无研究报道, 该方案的可行性有待研究。

1 实验装置及方法

1.1 实验材料及装置

水体富营养化给常规净水工艺造成的主要影响是藻类及其胞外分泌物干扰混凝过程, 使沉淀效果不理想, 进而堵塞或穿透滤池, 使混凝剂、消毒剂用量增加, 提高了水中 THMs 等消毒副产物的含量, 降低水的安全性。然而有关这种影响的研究还不多, 本实验以滇池 5—6 月蓝藻爆发期的滇池水为研究对象, 特对滇池蓝藻爆发期混凝法除藻的可行性进行研究。水样取自滇池海埂训练基地附近水域(蓝藻高浓度区), pH 值 7.9、浊度 95、COD₁₀ 9 mg · L⁻¹、BOD₅ 9.4 mg

收稿日期: 2000-10-31

基金项目: 云南省人才基金项目(9850)

作者简介: 宁平(1958—), 男, 山西太原人, 德国 KL 大学环境工程博士、博士后, 昆明理工大学环境科学与工程学院院长, 教授。

L⁻¹。取样时间为 2000 年 5 月 31 日。实验主要装置为 DBJ-621 型六联定时搅拌机、浊度计、PHS-2 型酸度计。可选的混凝剂有 7 种,分别为三氯化铁(FC,浓度 10%)、精制硫酸铝(AS,浓度 10%)、聚合氯化铝(PAC,浓度 10%)、聚合硫酸铁(PFS,浓度 10%)、聚合硫酸铝(PAS,浓度 10%)、阳离子型 PAM(分子量几十万,浓度 0.5%)和阴离子型 PAM(分子量 850 万,浓度 0.5%)。pH 值采用氢氧化钠(10%)和硫酸(10%)调节。

1.2 测定方法

混凝法除藻的可行性取决于混凝剂对高浓度蓝藻水的混凝处理是否有效。比较三氯化铁、精制硫酸铝、聚合氯化铝、聚合硫酸铁、聚合硫酸铝、阳离子型 PAM 和阴离子型 PAM 7 种混凝剂,取 7 个 1 000 mL 的烧杯,分别加入 1 000 mL 的水样,调节 pH 到 6,投加相同量的混凝剂,快速搅拌 1 min,转速为 150 r·min⁻¹,然后慢速搅拌 15 min,转速为 50 r·min⁻¹,最后静止沉淀 20 min,再进行相同的两组实验,一组保持原水 pH 值 7.9;另一组调节 pH 值为 9,效果依次为三氯化铁>精制硫酸铝>聚合氯化铝>聚合硫酸铝>阳离子型 PAM>阴离子型 PAM,其中三氯化铁去除滇池蓝藻效果最佳。实验结果表明三氯化铁混凝效果最好。确定三氯化铁为最佳混凝剂后,采用四因素、三水平正交实验法测定三氯化铁混凝除藻的最佳操作条件。

2 实验结果及分析

考虑到将气浮-混凝沉降法应用于滇池蓝藻除藻的技术要求,实验选用三氯化铁投加量、pH 值、搅拌强度和搅拌时间作为操作参数,以浊度、铁含量作为控制指标,采取三个水平进行正交实验,以求得混凝沉降法除藻的最佳工艺条件。

2.1 实验安排

采用 L₉3⁴ 正交表安排正交实验,实验中采用的各因素和相应的水平见表 1。实验方案见表 2。

2.2 实验结果分析

表 1 正交实验因素—水平表				
Table1 L ₉ 3 ⁴ orthogonal test factors—horizontal table				
	A	B	C	D
因素	三氯化铁用量	pH 值	搅拌强度	搅拌时间
	/mg·L ⁻¹		/r·min ⁻¹	/min
水平 1	50	6	30	10
水平 2	30	7.9	50	15
水平 3	40	9	70	20

注:沉淀时间 20 min。

表 2 实验方案表				
Table 2 Design of test in the present investigation				
试验号	A	B	C	D
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

对净化水浊度、铁含量两个检测指标进行极差(R)、方差分析,并作因素和指标关系图。极差分析将各因素对指标影响程度大小排列,排出因素的主次顺序。因素和指标关系图可直观地看出每个因素的指标随水平改变的情况。方差分析可判断各因素的影响程度、显著性。实验极差分析结果见表 3。因素与浊度指标关系图、因素与铁含量指标关系图分别见图 1、图 2。

由极差分析可知,在三氯化铁用量(A)、pH 值(B)、搅拌强度(C)、搅拌时间(D)四个因素中,两指标浊度、铁含量四因素的极差值均为 B>A>C>D;从因素与指标关系图的图 1、图 2 可直观看出各因素水平改变时指标的变化情况,A、B、C、D 四因素最佳水平分别为 1、1、2、1,因此,以浊度、铁含量两项指标来衡量,该正交实验的最佳操作条件是 A1B1C2D1,即三氯化铁用量 50 mg·L⁻¹、pH 值 6、搅拌强度 50 r·min⁻¹、搅拌时间 10 min。方差分析结果见表 4。

由方差分析可知,各因素影响作用分别为三氯化铁用量——显著、pH 值——极显著、搅拌强度——显著、搅拌时间——不显著,pH 值影响极显著。

3 结论

3.1 本研究表明混凝法对滇池蓝藻爆发期除藻处理是完全可行的。调节水样 pH 值为 6、三氯化铁用量为

表 3 实验极差分析表								
Table 3 Statistical results from test results								
	A		B		C		D	
	1	2	1	2	1	2	1	2
k _{t1}	13.1	0.436	6.0	0.252	25.9	1.049	19.5	0.669
k _{2j}	24.7	1.036	25.8	0.826	17.2	0.611	21.3	0.916
k _{3j}	23.2	0.819	29.1	1.214	17.9	0.632	20.1	0.707
R	11.5	0.600	23.1	0.962	8.7	0.437	1.8	0.247
比较	R 指标 1: B>A>C>D;指标 2: B>A>C>D							

注:出水指标 1—浊度(NTU);2—铁含量(mg·L⁻¹)。

图 1 因素与浊度指标关系图

Figure 1 Relationship between various factors and cloudiness

图 2 因素与铁含量指标关系图

Figure 2 Relationship between various factors and contents of iron

表 4 实验方差分析表

Table 4 Variance analysis for experimental results

方差来源	平方和 (Si)		均方 (Si/ fi)		F(均方 / Se)		显著性	
	1	2	1	2	1	2	1	2
A	235.9	0.554	118.0	0.277	46.42	5.24	显著	显著
B	934.8	1.405	467.4	0.703	183.93	13.28	极显著	极显著
C	139.2	0.366	69.6	0.183	27.39	3.45	显著	显著
D	5.1	0.106	2.5	0.053	1.00	1.00	不显著	不显著
$F_{\alpha}^a: F_{0.01}(2, 2) = 99.01$		$F_{0.05}(2, 2) = 19.0$		$F_{0.10}(2, 2) = 9.0$		$F_{0.25}(2, 2) = 3.0$		

注:出水指标 1—浊度(NTU); 2—铁含量(mg·L⁻¹)。

50 mg·L⁻¹ 时, 净化水浊度最低达到 3.6, 铁含量最低为 0.114 mg·L⁻¹, pH 值 5.95, 蓝藻去除率达到 95%, 出水达到地面水Ⅱ类标准。

3.2 由极差、方差、因素与指标关系图可以看出, 混凝实验上清液的浊度与残余铁含量的变化较为相似, 根据这两项检测指标所作的直观分析、方差分析结果基本吻合, 实际应用中可任选其中一项为控制指标。

3.3 在水样 pH 值 6—9 的实验范围内, 随 pH 增加蓝藻去除率降低, 增加混凝剂用量除藻效果不如调节 pH 明显, 因此混凝效果的关键是控制好水样 pH

值。pH 值调至 6 时, 浊度指标合计值为 7.8, 蓝藻去除率达 90%, 蓝藻去除效果明显, 且生成的絮体颗粒大, 利于气浮—混凝工艺除藻。

参考文献:

[1] 苏玉萍, 等. 活性染料印染废水混凝脱色研究[J]. 上海环境科学, 1999, 18(2): 88—90.
[2] 王占生, 等. 微污染源饮用水处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 179—182.
[3] 金良超, 等. 正交设计与多指标分析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988.