

科研与开发

连续式泡沫分离法去除废水中 Cr^{3+} 的研究

李志洲

(陕西理工学院化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 采用连续式泡沫分离法分离废水中的 Cr^{3+} 离子。考察了废水的 pH、表面活性剂的加入量、空气流量和反应时间对 Cr^{3+} 的脱除率的影响, 确定最佳的操作工艺条件为混合废水 pH = 6.0、空气流量 350 mL/min、表面活性剂质量浓度为 170 mg/L、反应时间为 30 min, 此时 Cr^{3+} 的脱除率可达 95.31%, 浮选塔排出的残液中 Cr^{3+} 的质量浓度 < 0.5 mg/L, 完全符合排放标准。

关键词: 泡沫分离; Cr^{3+} ; 表面活性剂; 脱除率

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2010)05-0038-03

Treatment of Cr^{3+} -containing wastewater by continuous foam separation process

LI Zhi-zhou

(School of Chemical and Environmental Science, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

Abstract: A continuous foam process is studied for separating Cr^{3+} from wastewater. The factors, such as the wastewater pH, gas flow, surfactant dosage, the reaction time, etc., affecting the Cr^{3+} removal efficiency are investigated. The result shows that under the optimal operating conditions as wastewater pH = 6.0, 350 mL/min of gas flow, 150 mL/L of surfactant dosage, 30 min of reaction time, the Cr^{3+} removal rate can be 95.31%. The transpired Cr^{3+} concentration in residue from flotation column can be less than 0.5 mg/L, which can meet the national discharge standard.

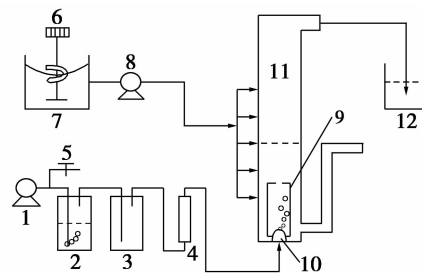
Key words: foam fractionation; Cr^{3+} ; surfactant; removal rate

泡沫分离法又称气浮法, 它是以前气泡作为分离介质来浓集表面活性物质的一种新型分离技术^[1-3], 一般分为间歇式、连续式和多级逆流式等。根据被分离物质的不同, 被浓缩的物质可以是表面活性物质, 也可以是能与表面活性物质相结合的任何物质^[4-7]。近年来重金属对环境的污染愈加严重, 而铬污染是重要因素之一^[2], 国家规定工厂排出废水铬离子质量浓度小于 0.5 mg/L, 生活饮用水中铬离子质量浓度小于 0.05 mg/L^[8]。目前含铬废水的处理方法主要有吸附法、离子交换法、液膜分离法、亚硫酸盐还原法、生物法、铁氧体处理法等^[9-13], 泡沫分离法在处理含铬废水多用于去除 Cr^{6+} , 且多采用间歇操作。笔者采用十二烷基硫酸钠(SDS)为捕集剂, 在连续式分离条件下对含 Cr^{3+} 废水分离过程进行了研究, 探讨了各种操作参数对分离效果的影响。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验采用的实验装置如图 1 所示。连续法处理装置由泡沫分离柱、供气系统、供液系统和泡沫收集器组成。泡沫分离柱为内径 70 mm、高度 1.3 m 的有机玻璃柱, 底部装有气体分散板。



1—气泵; 2—增湿器; 3—缓冲器; 4—流量计; 5—气体流量调节阀;
6—搅拌器; 7—废水槽; 8—蠕动泵; 9—内循环管; 10—气体分布器;
11—浮选塔; 12—泡沫收集器

图 1 实验装置图

1.2 实验方法

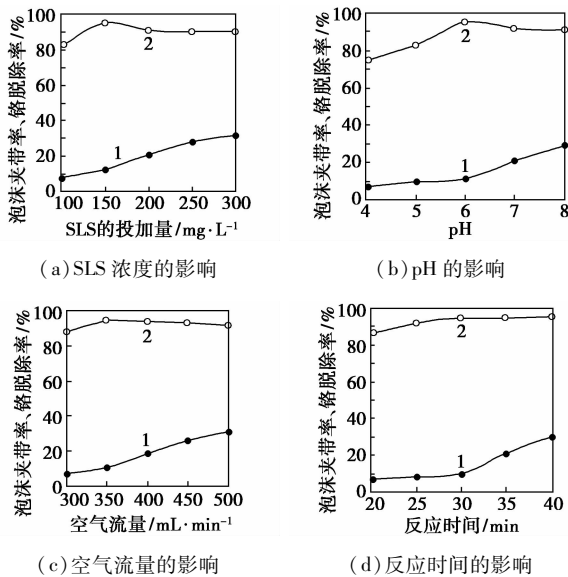
含 Cr^{3+} 废水采用硝酸铬模拟配制, 其质量浓度为 20 mg/L。按照一定比例将混合有阳离子表面活性剂的含 Cr^{3+} 废水用蠕动泵连续送入柱中, 开启气泵, 气体通过流量计及分散板不断流进分离柱中, 保持柱中液位稳定, 气流产生的泡沫通过柱顶部溢出并流入收集器, 并消泡。待操作稳定后, 通过测定柱中液体中 Cr^{3+} 的浓度, 进而确定连续式泡沫分离法的最佳工艺条件。实验所用十二烷基硫酸钠、丙酮、盐酸、氢氧化钠、浓硫酸、磷酸、硝酸、高锰酸钾、尿素、亚硝酸钠、氢氧化铵、二苯碳酰二肼等, 均为分析纯; 重铬酸钾为优级纯。

废水中的Cr³⁺经氧化变为Cr(VI)后,采用二苯碳酰二肼分光光度法测定Cr(VI),进而确定废水中Cr³⁺的浓度^[14];废水中的pH采用酸度计测定。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

(1)表面活性剂加入量:预先在浮选塔中加入Cr³⁺质量浓度为20 mg/L、pH=6的溶液500 mL、浮选时间为30 min、气体流量为400 mL/min,表面活性剂以不同加入量,考察对Cr³⁺的脱除率和泡沫夹带率,结果如图2(a)所示。SLS加入量增大,Cr³⁺的脱除率也随之增大,并且泡沫夹带率也在增大,但当大于150 mg/L时脱除率反而有所下降。所以选择SLS质量浓度为150 mg/L时比较合理。此后实验均在连续流动下进行。



1—泡沫夹带率;2—铬脱除率

图2 单因素实验结果

(2)pH:废水溶液中Cr³⁺质量浓度为20 mg/L、SLS质量浓度为150 mg/L,选择浮选柱中液位为60 cm、废水在浮选柱中的停留时间为30 min、气体流量为400 mL/min,调节混合废水pH,以Cr³⁺的脱除率和泡沫夹带率作为考察目标,结果如图2(b)。当pH=6.0~8.0时,Cr³⁺有较好的分离效果。但pH大于7.0时气泡产生较慢,气泡较大,随着反应的进行夹带了大量的水,可见pH=6.0左右比较适合于鼓泡分离。

(3)空气流量:废水溶液中Cr³⁺质量浓度为20 mg/L、SLS质量浓度为150 mg/L、废水pH=6、浮选柱中液位为60 cm、废水在浮选柱中停留时间为30

min,在不同的气体流量下研究空气流量对分离效果的影响,结果如图2(c)所示。随着气体流量的增大,溶液中铬离子的脱除率增加;但同时由于气体流量的增加,泡沫夹带率也随着增大,而且脱除率有少许下降。故选择气体流量为350 mL/min较为合适。

(4)反应时间(即停留时间):废水溶液中Cr³⁺质量浓度为20 mg/L、SLS质量浓度为150 mg/L、废水pH=6、气体流量为350 mL/min、浮选柱中液位不低于40 cm,通过改变混合废水的流量,使其在浮选柱中停留的时间不同,结果如图2(d)所示。随着反应时间的逐渐延长,溶液中铬离子的脱除率逐渐增大,但泡沫夹带率也逐渐增大;当反应时间大于30 min,溶液的铬离子脱除率几乎不变,而泡沫夹带率陡升。所以选择30 min为合适的反应时间。

2.2 正交实验结果

根据前述单因素实验结果,为考察因素间的交互作用,实验选择如表1所示的因素水平表,进行L9(3⁴)正交实验,并对实验结果分析,结果如表2、表3所示。可见4个因素的极差大小顺序为:pH > 活性剂浓度 > 空气流量 > 反应时间,最佳工艺条件

表1 正交实验因素水平

因素	A	B	C	D
水平	pH	空气流量/ mL·min ⁻¹	SLS质量浓度/ mg·L ⁻¹	反应时间/ min
1	5.5	330	130	28
2	6.0	350	150	30
3	6.5	370	170	32

表2 直观分析表

序号	A	B	C	D	R/%
1	1	1	1	1	93.37
2	1	2	2	2	94.18
3	1	3	3	3	94.85
4	2	1	2	3	94.8
5	2	2	3	1	95.76
6	2	3	1	2	95.03
7	3	1	3	2	93.72
8	3	2	1	3	93.82
9	3	3	2	1	93.36
K ₁	94.133	93.963	94.073	94.163	
K ₂	95.197	94.587	94.113	94.310	
K ₃	93.633	94.413	94.777	94.490	
R	1.564	0.624	0.704	0.327	

表3 方差分析表

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
pH	3.825	2	73.758	19.000	*
空气流量	0.621	2	3.857	19.000	
活性剂浓度	0.936	2	25.814	19.000	*
反应时间	0.161	2	1.000	19.000	
误差	0.160	2			

为 $A_2B_2C_3D_3$, 即混合废水 pH = 6.0、空气流量 350 mL/min、表面活性剂质量浓度 170 mg/L、反应时间 32 min。由表3可以看出, pH、表面活性剂浓度对实验的影响具有显著性, 而空气流量、反应时间对本实验的影响不具备显著性。所以实验中应着重考虑 pH 和表面活性剂这2个因素。

验证实验: 按优选出来的最佳工艺条件进行3次验证实验, $\bar{R} = 95.81\%$; 结合正交实验方差分析结果, 考虑到如反应时间过大, 泡沫夹带率偏大的问题, 取反应时间为 30 min, 即采用 $A_2B_2C_3D_2$ 重复验证实验, 结果 $\bar{R} = 95.31\%$, 可见两者实验的结果偏差并不大, 且采用 $A_2B_2C_3D_2$ 后, 浮选塔排出的残液中 Cr^{3+} 质量浓度 < 0.5 mg/L, 完全符合排放标准。

3 结语

采用连续式泡沫分离法对模拟废水中 Cr^{3+} 进行脱除, 正交实验结果显示最佳工艺条件为混合废水 pH = 6.0、空气流量 350 mL/min、表面活性剂质量浓度为 170 mg/L、反应时间为 32 min, Cr^{3+} 的脱除率可达 95.81%; 结合正交实验方差分析结果, 考虑到如反应时间过大, 泡沫夹带率偏大的问题, 取反应时间为 30 min, 重复验证实验, 结果脱除率可达 95.31%, 可见两者实验的结果偏差并不大, 且采用 $A_2B_2C_3D_2$ 后, 浮选塔排出的残液中 Cr^{3+} 质量浓度 < 0.5 mg/L, 完全符合排放标准。实验效果良好, 分离

稳定。实际废水中其他金属离子的影响以及反应模型有待于研究。

参考文献

- [1] 董红星, 裴键, 刘剑. 泡沫分离法的现状与研究进展[J]. 化工时刊, 2004, 18(5): 20-22.
- [2] 娇彩山, 丁岩. 泡沫分离法处理含 Cr^{6+} 废水[J]. 化工环保, 2008, 28(1): 20-23.
- [3] Okamoto Y. Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers[M]. New York: Marcel Dicker Inc., 2001: 173-184.
- [3] 董红星, 李占双, 李凯峰, 等. 泡沫分离法除去污水中十二烷基苯磺酸钠的研究[J]. 应用科技, 2003, 30(3): 48-50.
- [4] 张晓龙, 吴兆亮, 郑辉杰, 等. 泡沫分离法处理结晶紫染料废水的工艺[J]. 过程工程学报, 2008, 8(6): 1116-1119.
- [5] 李新涛, 吴兆亮, 郑辉杰, 等. 泡沫分离法处理甲基橙染料废水工艺[J]. 化学工程, 2009, 37(4): 60-63.
- [6] Maruyama H, Suzuki A, Seki H. Adsorption of watersoluble proteins onto bubbles in continuous foam separation[J]. Colloid Interface Sci, 2000, 9(3): 76-83.
- [7] 殷钢, 周蕊, 李琛等. 糖-蛋白质混合体系泡沫分离过程研究[J]. 化学工程, 2000, 28(6): 34-37.
- [8] 中国疾病预防控制中心. GB 5749—1985 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [9] 赵玉华, 王成雨, 李洋洋, 等. 硫酸亚铁处理含 $Cr(VI)$ 废水实验研究[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2008, 24(6): 1043-1045.
- [10] 任钟旗, 刘君腾, 张卫东, 等. 中空纤维更新液膜技术处理含铬废水[J]. 电镀与涂饰, 2006, 25(11): 49-51.
- [11] 秦巧燕, 贾陈忠, 周秀丽. 活化煤研石对含铬废水的吸附处理研究[J]. 工业安全与环保, 2007, 33(6): 23-25.
- [12] 唐树和, 徐芳, 王京平. 离子交换法处理含 $Cr(VI)$ 废水的研究[J]. 应用化工, 2007, 36(1): 22-24.
- [13] 来风习, 王九思, 王明权, 等. 超声波-铁氧体法处理含铬废水的实验研究[J]. 兰州交通大学学报: 自然科学版, 2006, 25(3): 66-69.
- [14] 北京市环境监测中心. GB 7466—1987 水质-总铬的测定[S]. 北京: 中国环境出版社, 1987. ■

诺凡赛尔公司推出 NOVAGUARD® 9275 汽车车身防护膜

诺凡赛尔公司是表面防护膜领域的世界领先公司。最近该公司向市场推出 NOVAGUARD® 9275 防护膜。这是一种白色的高性能防护膜, 厚度为 60 μm , 其设计目的是为了在汽车的装配、运输和贮存过程中保护汽车车身, 使其免受外部的伤害(酸雨, 鸟粪, 擦伤, 等等)。

NOVAGUARD® 9275 防护膜可以在世界各地对室外气候具有长达 9 个月的防护作用, 在销售时为卷材, 长度为 200 m, 宽度可以从 30 mm 到 2 500 mm 不等。

诺凡赛尔公司坚定地承诺执行可持续发展的政策, 从而设计和制造了以聚烯烃膜和一种无溶剂的粘合剂为基础的 NOVAGUARD® 9275 防护膜。在 NOVAGUARD® 9275 防护膜的生产过

程中所使用的所有包装材料和卷轴都是可以重复利用的。因此, NOVAGUARD® 9275 防护膜是一种尊重环境的产品。

NOVAGUARD® 9275 防护膜可以提供有效而经济的表面防护: ①开始时粘接力最大, 可以使经过防护的汽车立刻启运。②防护膜在很多类型的漆面上都有很好的粘合力。③在运输的过程中防护膜不会开胶。④在全世界各地的室外环境性能都可以达到 9 个月的时间。⑤在环境保护方面有重大优势。⑥本防护膜为无溶剂产品。⑦卷材优化包装, 可以降低包装材料的回收成本。⑧采用经过专门设计的工具, 可以帮助操作人员和使用者在器物的表面上施敷防护膜。(张玉涛)