

# 混凝预处理洗浴废水中的 LAS

周新华, 林晓艳

(辽宁工程技术大学 建筑工程学院市政工程系, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**以洗浴废水为研究对象, 比较了铝盐、铁盐及有机高分子混凝剂对洗浴废水中的 LAS 去除效果, 筛选出聚合氯化铝(PAC)作为混凝剂处理效果较好, 进而采用单因素试验研究了混凝剂的投加量, 废水的 pH, 静沉时间, 搅拌强度和搅拌时间对 LAS 去除率的影响, 结果表明 PAC 投加量为 45 mg/L, 废水 pH 值为 6.0~8.0, 静沉时间为 15 min, 中速(150 r/min)搅拌 3 min, 慢速(50 r/min)搅拌 10 min 时混凝效果最佳, 对 LAS 的去除率达 44.75%。

**关键词:**洗浴废水; 阴离子表面活性剂; 聚合氯化铝; 混凝剂; 去除率

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2012)S1-0161-04

## Pretreatment of LAS Bathing Wastewater Using Coagulation

ZHOU Xinhua, LIN Xiaoyan

(College of Architecture and Civil Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, P. R. China)

**Abstract:** The experiment took bath wastewater as research object and adopted aluminum, iron and organic macromolecule as coagulants to examine the removal rates of LAS from bathing wastewater. Determined the PAC as the furthest coagulation, and the influenced factors such as the dosage of coagulation, the pH value, the sedimentation time, the stirring speed and stirring time were discussed using a method of one factor experiment, the result showed that the best operating conditions is that the dosage of 45mg/L for PAC, 6.0~8.0 pH, 15min sedimentation time, 150r/min for 3min and 50r/min for 10min, the removal rates of LAS is 45.75%.

**Key words:** bathing wastewater; linear alkylbenzene sulfonate(LAS), polyaluminium chloride(PAC); coagulation; removal rate

洗浴废水是一种可回收再利用的优质中水水源, 并且占城市生活污水量的 30%, 如果能够将其单独收集处理后回用, 不仅可以降低污水处理的难度, 简化处理设备, 降低处理成本, 而且最重要的是可以缓解城市水资源短缺问题。因此洗浴废水的回用处理已成为发展使用中水一项非常具有现实意义的工作<sup>[1]</sup>。洗浴废水具有水源单一(水质指标见表 1)<sup>[2-5]</sup>, 水量相对较大, 污染物浓度较低的特点。然而在这些污染物中以阴离子表面活性剂(LAS)为主要成分的去污剂相对来说是最难去除的<sup>[6-8]</sup>。为了实现洗浴废水的更好回用, 如何有效地去除 LAS 已成为当今洗浴废水回用处理中的一个关键性问题。

针对洗浴废水的性质, 采用生物法与物理化学法结合的方式在理论上可以取得理想的效果<sup>[9-10]</sup>, 而在物化处理中混凝是至关重要的, 混凝剂不仅可以去除吸附在胶体表面上的 LAS, 还可与溶解在水相中的 LAS 形成难溶性的沉淀, 同时, 洗浴废水的水温在冬季也能达到 20℃ 以上, 不仅有利于絮凝体的形成, 而且脱稳凝聚能力较好, 再者, 洗浴废水的 pH 值基本保持在 7.0, 这个范围有利于胶体的形成<sup>[11-13]</sup>。因此, 本试验意在通过比较筛选出对洗浴废水中的 LAS 去除效果较好的混凝剂, 在此基础上, 通过试验进一步研究确定此种混凝剂的最佳运行条件, 为后继组合工艺的的建立提供必要的理论依据。

表 1 洗浴废水主要水质指标

项目	洗浴废水
温度/℃	30~35
色度/CTU	5~15
浊度/NTU	35~120
pH	6.5~7.9
臭味	有油腻臭味
C(COD)/(mg·L <sup>-1</sup> )	90~220
C(BOD <sub>5</sub> )/(mg·L <sup>-1</sup> )	25~60
总大肠杆菌数/(10 个·L <sup>-1</sup> )	0~12
阴离子洗涤剂/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.50~5.0
C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.3~4.5
锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.06~0.08
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.15~0.25
溶解性固体/(mg·L <sup>-1</sup> )	235.0~305.0
硬度/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.71~2.30
细菌总数/(CFU·mL <sup>-1</sup> )	5×10 <sup>3</sup> ~3×10 <sup>4</sup>
C(SS)/(mg·L <sup>-1</sup> )	70.5~260.5

## 1 试验部分

### 1.1 试验水样、试剂及仪器

为避免实际水样的成分波动对结果产生影响, 试验用水

模拟辽宁工程技术大学学生浴池洗浴废水自行配制,其中 LAS 的浓度为 2 mg/L。

聚合氯化铝 PAC, 聚合硫酸铁 PFS, 氯化铁  $\text{FeCl}_3$ , 硫酸铝  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  均为分析纯, 来自沈阳市华东试剂厂, 氯仿  $\text{CHCl}_3$ , 浓硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 氢氧化钠  $\text{NaOH}$ , 直链烷基磺酸钠 LAS, 亚甲蓝, 一水磷酸二氢钠  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 酚酞, 乙醇  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 。

MY3000-6 智能型混凝试验搅拌机, 16C14NOA. 507072 721 分光光度计, PHS-3C pH 计, HZ-9811K 双速恒温摇床, HG101-2A 电热鼓风干燥箱, TG-328A 电子天平。

## 1.2 分析测定方法

LAS 的测定采用亚甲蓝分光光度法<sup>[14]</sup>。取 5 个分液漏斗, 分别加入 96、92、88、84、80 mL 水, 然后分别移入 4、8、12、16、20 mL 的 10.0 mg/L LAS 标准储备液, 摇匀, 用氯仿重复萃取, 最后将萃取的氯仿层倒入厚度 1 cm 比色皿, 在  $\lambda = 652 \text{ nm}$ , 以氯仿为参比溶液, 测定样品的吸光度值 A。以 LAS 浓度为横坐标, 以吸光值为纵坐标绘制 LAS 标准曲线 (见图 1)。

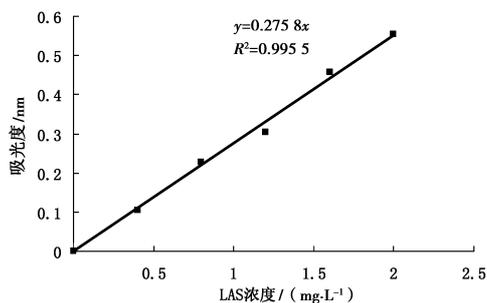


图 1 LAS 标准曲线

## 1.3 混凝剂的筛选试验方案

目前常用的混凝剂分为有机高分子混凝剂和无机混凝剂<sup>[15]</sup>。有机高分子混凝剂易于形成大的絮凝体有利于沉降, 但只有在无机盐存在时效果才更好, 而多种混凝剂连用会使投加顺序复杂, 造成混凝条件要求过高<sup>[16-19]</sup>。因此本试验预在无机混凝剂氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铝 (PAC)、聚合硫酸铁 (PAS) 中进行筛选。

## 1.4 较好混凝剂最佳试验条件确定

确定出相对较好的混凝剂后, 主要从混凝剂的投加量、废水的 pH、静沉时间、搅拌强度和搅拌时间这 4 个因素考察混凝剂对 LAS 去除率的影响, 从而确定出最佳的的混凝条件。

# 2 试验结果与分析

## 2.1 混凝剂的筛选结果与分析

在六联搅拌机的试验杯中每次分别加入混凝剂 20、40、60、80、100 mg, 然后加入 1 L 自配水样, 中速 (150 r/min) 搅拌 3 min, 慢速 (50 r/min) 搅拌 10 min, 搅拌停止后静置沉淀 15 min, 用注射器抽取上清液测 LAS 浓度。比较在相同的投加量下混凝剂对洗浴废水中 LAS 的去除效果。

由图 2 可知, 4 种混凝剂对 LAS 是有一定的去除效果, 并且以聚合氯化铝为混凝剂时对 LAS 去除效果最佳。当 PAC 投加量由 40 mg 提高到 60 mg 时, 去除率由 44.85% 变化为 45.60%。同时在试验中发现加入铝盐混凝剂时, 形成灰白色的絮凝体, 并且 PAC 形成的絮凝体较大, 沉淀速度较快, 而铁盐则形成黄色的絮凝体, 上清液也会略带黄色, 因此结合处理效果及经济因素考虑本试验采用聚合氯化铝作为混凝剂。

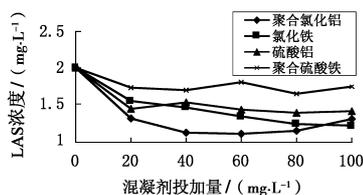


图 2 不同混凝剂对 LAS 去除率的影响

## 2.2 PAC 最佳混凝条件结果与分析

### 2.2.1 PAC 投加量对 LAS 去除率的影响

在混凝剂的筛选中可以看到, 当投加量由 40 mg 提高到 60 mg 时, 对 LAS 去除效果并不明显, 因此在试验中投加量选择了 10、30、35、40、45、50、70、80、90、200 mg 分别进行试验, 然后加入 1 L 自配水样, 中速 (150 r/min) 搅拌 3 min, 慢速 (50 r/min) 搅拌 10 min, 搅拌停止后静置 15 min, 用注射器抽取上清液测定 LAS 浓度。

从图 3 可以看出, 初始阶段 LAS 的去除率随着 PAC 投加量的增加迅速提高, 当 PAC 增加到 45 mg/L 时, 去除率达 49.35%。继续增加, 曲线趋于平缓, LAS 去除率变化不大。当投加量增加到 200 mg/L 时, LAS 的去除率仅为 27.23%。这主要因为 LAS 是典型的两亲性物质, 在洗浴废水中的浓度较低, 主要以分散和胶体表面吸附两种形式存在。而 PAC 的主要成分是铝的低聚物和中聚物, 投入水中后, 不经过水解, 就可直接生成聚合物羟铝配离子, 进而形成具有较高正电荷的高聚羟铝配离子, 通过静电引力吸附污染物胶粒表面上, 根据 DLVO 理论可知, 这必然导致双电子层压缩变薄并保持电中性, 致使胶体颗粒脱稳絮凝, 同时, 各种带不同正电荷的羟铝配离子中和了胶体本身所带的部分电荷, 减少了颗粒间的排斥力, 促进了颗粒的聚集沉淀, 因此在“压缩双电子层”和“吸附-电中和”的双重作用下, LAS 伴随着胶体颗粒的沉降得到了去除。但当 PAC 投加过量时, 胶粒表面易被高分子包裹起来, 阻碍了胶体的接触而不能聚集, 废水会出现“再稳”现象。

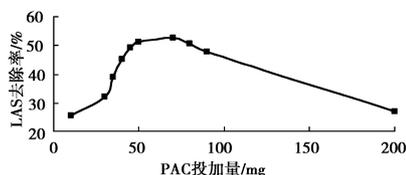


图 3 PAC 投加量对 LAS 去除率的影响曲线

### 2.2.2 pH 对 LAS 去除率的影响

在六联搅拌机的试验杯中加入 1L 自配水样,用浓度为 1 mol/L 的氢氧化钠和 0.5 mol/L 硫酸调节水样的 pH 值,使之位于 4、5、6、8、9、10 左右,加入 45 mg 的 PAC,中速(150 r/min)搅拌 3 min,慢速(50 r/min)搅拌 10 min,搅拌停止后静沉 15 min,用注射器抽取上清液测 LAS 去除效果。

由图 4 可以看出,当 pH 值 6.0~8.0 的范围内,LAS 去除率达到最高值 45%,而 pH 值在此基础上下降或上升时,LAS 去除率均下降。这主要是因为 pH 是影响混凝效果的重要因素,虽然 PAC 最佳混凝 pH 范围较宽,但过低或过高的 pH 会影响 PAC 的水解产物,对混凝效果不利。而对于 LAS 中的磺酸基(-SO<sub>3</sub>)极性较大,即使在中性或弱酸性环境中仍能发生电离作用,因此 pH 的变化对于 LAS 来说影响不大。鉴于洗浴废水的 pH 值为 6.5~7.9 之间呈弱碱性,因此在混凝处理过程中不需调节洗浴废水的 pH 值而直接进行混凝。

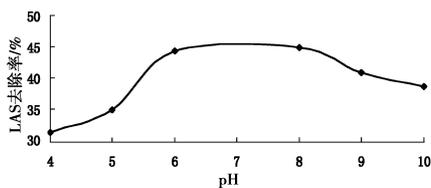


图 4 pH 对 LAS 去除率的影响曲线

### 2.2.3 静沉时间对 LAS 去除率的影响

在六联搅拌机的试验杯中加入 1 L 自配水样,加入 45 mg 的 PAC,中速(150 r/min)搅拌 3 min,慢速(50 r/min)搅拌 10 min,搅拌停止后静置 5,10,15,20,25,30 min,用注射器抽取上清液测定 LAS 浓度。

由图 5 看出,沉淀时间在 5~15 min 时,LAS 去除率上升得较为显著,而到 15min 以后曲线几乎趋向平缓,LAS 去除率逐渐无明显变化,由此可知混凝后水样静沉 15 min 已足够,延长静置时间对 LAS 的去除率影响意义不大。

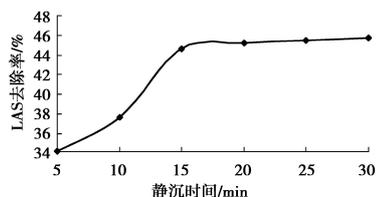


图 5 静沉时间对 LAS 去除率的影响曲线

### 2.2.4 搅拌速度和搅拌时间对 LAS 去除率的影响

在六联搅拌机的试验杯中加入 1 L 自配水样并进行编号,加入 45 mg 的 PAC,分别以快速、中速、慢速的不同组合搅拌不同时间,搅拌停止后静沉 15 min,用注射器抽取上清液测 LAS 浓度。结果见表 2。

分析表 2 结果可知,当采用快速与慢速组合搅拌时,对 LAS 去除率相对较低,这是因为高速搅拌强度过大,使原本形成的矾花难以凝聚,同时也会将已形成的絮凝体打碎,当采用中速与慢速组合搅拌时,对 LAS 去除效果较好,但增加慢速搅拌时间,对去除率的影响不大,这说明混凝剂扩散到水中反应速度非常快;对于单纯使用慢速搅拌,去除效果相对较差,这主要由于慢速搅拌使混凝剂与污染物不能充分接触,影响了絮凝体的形成。综合上述分析,中速(150 r/min)搅拌 3 min,慢速(50 r/min)搅拌 10 min 的效果较佳。

表 2 不同搅拌速度和搅拌时间的 LAS 去除率

水力条件编号	快速搅拌		中速搅拌		慢速搅拌		LAS 去除率/%
	搅拌转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	搅拌时间/ min	搅拌转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	搅拌时间/ min	搅拌转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	搅拌时间/ min	
1	300	0.5	—	—	50	5	39.53
2	300	0.5	—	—	50	10	39.46
3	—	—	150	3	50	10	44.75
4	—	—	150	3	50	20	44.78
5	—	—	150	6	50	10	45.03
6	—	—	—	—	50	20	39.40

## 3 结 语

洗浴废水作为优质的的中水水源,处理后回用是具有现实的经济意义。从洗浴废水自身性质和混凝剂的处理效果及经济性出发,用混凝法处理洗浴废水是可行的。通过以 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>,PAC,FeCl<sub>3</sub> 和 PFS 为混凝剂的试验,结果表明混凝沉淀对 LAS 具有一定的去除效果。在相同水质条件选

用 PAC 混凝预处理洗浴废水中的 LAS 效果较好。单因素试验结果表明,PAC 混凝预处理洗浴废水中的 LAS 最佳条件:投加量为 45 mg/L,废水 pH 值在 6.0~8.0 的范围内,静沉时间为 15 min,中速(150 r/min)搅拌 3 min,慢速(50 r/min)搅拌 10 min,对 LAS 去除率为 44.75%。洗浴废水污染程度较轻,应考虑将其深度处理,以达到洗浴用水标准,实现废水就地回用。

## 参考文献:

- [1] 李玉标, 田春艳. 学校洗浴废水处理方法概述[J]. 吉林化工学院学报, 2008, 28(3): 45-47.
- [2] 何乐萍. 洗浴废水复合 SBR 法制备中水的试验研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2007.
- [3] 崔福义, 任刚, 安全. 混凝法处理洗浴废水的试验研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2004, 20(1): 69-73.
- [4] 曹文平, 胡红伟. 混凝工艺预处理洗衣废水的试验研究[J]. 河南城建学院学报, 2009, 18(4): 36-38.
- [5] 崔福义, 杨海燕, 马放. 洗浴废水循环再利用技术的探讨和分析[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(5): 67-71.
- [6] 张乐群, 陈学民, 王忠锋. 海绵铁处理洗浴废水中 LAS 的静态试验研究[J]. 兰州交通大学学报: 自然科学版, 2005, 24(4): 59-66.
- [7] Pagano M, Lopez A, Volpe A. Metal oxidation of nonionic surfactants by fenton and  $H_2O_2/UV$  processes[J]. Environmental Technology, 2008, 29(4): 423-433.
- [8] Conrad A, Cadoret A, Corteel P, et al. Adsorption/desorption of linear alkylbenzene sulfonate(LAS) and azoproteins by/from activated sludge flocs[J]. Chemosphere, 2006, 62(1): 53-60.
- [9] 崔励, 王雅娜. 表面活性剂废水处理研究现状与展望[J]. 工业水处理, 2008, 28(2): 9-11.
- [10] 姜波. 表面活性剂废水处理技术的研究进展[J]. 黑龙江环境通报, 2010, 34(1): 72-75.
- [11] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 罗领先, 吴俊峰. 洗浴废水处理及回用实例[J]. 节水灌溉, 2010(3): 33-35.
- [13] 张自杰. 排水工程(下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [14] GB 7494—87 水质阴离子表面活性剂的测定亚甲基分光光度法[S].
- [15] 李圭白, 张杰. 水质工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [16] Yan M, Wang D, Qu J, et al. Relative importance of hydrolyzed Al(III) species (Ala, Alb, and Alc) during coagulation with polyaluminum chloride: A case study with the typical micro-polluted source waters[J]. J Colloid Interf Sci, 2007, 31(6): 482-489.
- [17] Solomentseva I, Barany S, Gregory J. The effect of mixing on stability and break-up of aggregates formed from aluminum sulfate hydrolysis products[J]. Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects, 2007, 298(1/2): 34-41.
- [18] 宋永会. 新型高效聚合铝硅复合混凝剂的研制和应用[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 1999: 77-83.
- [19] Zhang P, Wu Z, Zhang G, et al. Coagulation and characteristics of polyaluminium chlorides PAC-Al30 on humic acid removal from water[J]. Sep Purif Technol, 2008(63): 642-647.

(编辑 王维朗)

(上接第 154 页)

- [14] 郭兵. 梁柱端板连接节点的滞回性能的实验研究[J]. 建筑结构学报, 2002, 23(3): 8-13.
- [15] Munoz-Garcia E, Davison B, Tyas A. An Analysis of the Response of Structural Bolts Subjected to Rapid Rates of Loading [C]. In: Eurosteel Conference on Steel and Composite Structures, 2005.
- [16] 童根树. 钢结构设计方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 119-125.
- [17] 舒兴平, 胡习兵. T 型钢半刚性连接节点的承载力分析[J]. 钢结构, 2005, 20(5): 35-40.
- [18] 戴绍斌, 黄俊, 朱健. 钢框架 T 型钢连接节点的受力性能研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(9): 90-93.
- [19] 宋晓光, 申成军, 郭兵. 钢框架梁柱 T 型钢连接滞回性能的研究[J]. 建筑钢结构进展, 2008, 10(4): 18-25.
- [20] Munoz-Garcia E, Davison B, Tyas A. Structural integrity of steel connections subjected to rapid rates of loading [C]. In: Proceedings of the 2005 Structures Congress and the 2005 Forensic Engineering Symposium. New York, 2005.
- [21] GSA. General Services Administration, Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects. 2003.
- [22] GB50017—2003 钢结构设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [23] Powell G. Progressive collapse: Case studies using nonlinear analysis [C]. Proceedings of the 2005 structures congress and the 2005 forensic engineering symposium (ASCE). New York, 2005, 12-24.
- [24] 何庆锋. 钢筋混凝土框架结构抗倒塌性能试验研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009, 75-76.

(编辑 王维朗)