

# Experimental Study on Lead-Containing Waste Water Treatment by Modified Fly Ash

Fanxin Qin<sup>1</sup>, Yu Yang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Guizhou Provincial Key Laboratory for Information System of Mountainous Areas and Protection of Ecological Environment, Guizhou Normal University, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>School of Public Health, Zunyi Medical University, Zunyi Guizhou

Email: qinfanxin@126.com

Received: Jun. 30<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jul. 16<sup>th</sup>, 2016; published: Jul. 19<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

According to the phenomenon of lead exceeds the standard in the environmental water body, acid modified fly ash was used as adsorbent material for purifying waste water containing lead. Effect factors such as particle size, adsorption time, adsorption temperature and pH value on the removal rate of lead were investigated by using a single factor method and orthogonal test method. The magnitude order of the effect of various factors on the removal of lead by fly ash was particle size of fly ash > adsorption temperature = pH value > adsorption time. Under the condition that the fly ash particle size is 200 meshes, the adsorption temperature is 30°C, the adsorption time is 2 hours, and the pH value is 6, the removal rate of lead in waste water was 98.40%. The concentration of Pb<sup>2+</sup> after treatment was lower than that of 0.80 mg/L, and reached the requirement of GB 8978-2002 "waste water comprehensive discharge standard". The adsorption model of Pb<sup>2+</sup> with modified fly ash was in accordance with the Langmuir adsorption model.

## Keywords

Coal Fly Ash, Modified, Waste Water, Removal of Lead

---

# 改性粉煤灰处理含铅废水的试验研究

秦樊鑫<sup>1</sup>, 杨 昱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>贵州师范大学, 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>遵义医学院公共卫生学院, 贵州 遵义

Email: qinfanxin@126.com

收稿日期: 2016年6月30日; 录用日期: 2016年7月16日; 发布日期: 2016年7月19日

## 摘要

针对废水中铅含量超标严重的现象, 选用酸改性粉煤灰作为吸附材料, 对含铅废水进行进化处理。利用单因素和正交试验法考查了改性粉煤灰粒径、吸附时间、吸附温度、体系pH值等因素对铅去除率的影响。结果表明: 1) 各因素对改性粉煤灰除铅影响的大小顺序为: 粉煤灰粒径 > 吸附温度 = 体系pH值 > 吸附时间。2) 在粉煤灰粒径200目、吸附温度为30℃、吸附时间2 h、体系pH = 6的条件下, 废水中铅的去除率达到98.40%, 处理后 $Pb^{2+}$ 的质量浓度低于0.80 mg/L, 达到了GB 8978-2002《污水综合排放标准》的要求。3) 改性粉煤灰对 $Pb^{2+}$ 的吸附符合Langmuir吸附模型。

## 关键词

粉煤灰, 改性, 废水, 去除铅

## 1. 引言

铅是自然界资源丰富和工业中常使用的元素之一。近年来随着工业的发展, 含铅产品的应用逐渐增多, 铅对环境特别是水环境的污染日益严重。由于铅属有毒有害金属, 对含铅废水的处理日益受到重视。目前, 用于处理含铅废水的方法主要有离子交换、化学沉淀、置换和生物吸附等[1]。

粉煤灰是火力发电厂排放的固体废弃物, 含有较多的活性氧化铝和氧化硅等[2]。若将粉煤灰直接放置在露天场中, 会产生扬尘, 污染大气及环境; 若直接排入河流、湖泊中, 会造成河流淤塞, 还会污染水体, 对水生生物造成毒害; 即使进行填埋, 其中的有毒物质仍有可能渗入土壤, 进入环境体系, 最终对生态环境系统和人类健康造成危害[3]。目前, 粉煤灰的利用渠道主要集中在建材、筑路、化工等[4], 在处理含铅废水的应用上鲜有报道。近年来, 杜凤智等[5]利用硫酸、铁矿渣和氯化钠在300℃下对粉煤灰进行改性后, 处理含铅废水, 效果良好。张海军等[6]研究了铅在粉煤灰基沸石上的吸附特性, 考察了粉煤灰基沸石作为处理含铅废水吸附材料的可行性。高玉红等[7]利用碱法对粉煤灰进行改性后处理中性含铅废水, 取得了一定的效果。本文利用硫酸在常温下对粉煤灰进行改性, 将改性后的粉煤灰用来处理含铅废水, 既简化了改性方法, 又提高了对铅的去除率。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料

粉煤灰采自贵州省贵阳市火力发电厂, 其成分中主要的金属氧化物含量及其他的微量重金属含量见表1 [3]。

### 2.2. 试验仪器与试剂

仪器: WFX-210 原子吸收分光光度计(北京瑞利); 电子天平(瑞士梅特勒-托利多, AL-204); 精密 pH 计(上海虹益仪器仪表有限公司, PHS-3C); 电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司, WG-43)。

试剂: 硫酸, 盐酸, 氢氧化钠均为优级纯; 所用水均为超纯水。实验所用的含铅废水用硝酸铅配置而成, 铅的质量浓度为 50 mg/L。

**Table 1.** Contents of major metal oxides and trace metals oxides in fly ash  
**表 1.** 粉煤灰中主要金属氧化物和微量金属氧化物含量

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
49.90%	29.81%	7.19%	4.47%	3.39%	1.46%	0.83%	0.50%
ZnO*	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	NiO*	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	PbO*	CuO*	CdO*	HgO*
187.50	111.79	56.89	205.23	7.70	17.16	1.02	0.40

注: \*表示金属氧化物的单位为 mg/kg。

### 2.3. 改性粉煤灰的制备

据文献[8]报道, 用 8 mol/L 的硫酸处理粉煤灰, 可以显著增加粉煤灰的吸附能力, 增大饱和吸附容量, 故选用 8 mol/L 的硫酸作为改性剂。取一定量的粉煤灰放入烧杯中, 加入硫酸溶液后浸泡 24 h, 用去离子水冲洗至中性, 过滤后放入烘箱内, 100℃ 恒温干燥 24 h, 期间取出搅拌数次, 以防止干燥结块。

改性原理: 粉煤灰经硫酸处理, 其中的铁、铝、硅均能被很好的溶出, 这些带正电荷的离子, 不仅能中和悬浮胶粒的电位, 并能与非离子表面活性剂形成高分子聚合物, 随着反应的不进行, 聚合物的电位不断增加, 最终使胶体脱稳凝聚。同时, 经酸处理的粉煤灰颗粒表面会形成许多的凹槽和孔洞, 从而增加吸附性能。

### 2.4. 试验方法

按一定的灰 - 水(g/ml)比, 在含铅溶液中加入改性粉煤灰, 调节 pH、温度、吸附时间等, 过滤, 取滤液用原子吸收分光光度计测定 Pb 的浓度并计算去除率  $\eta$ ,  $\eta$  的计算式如下:

$$\eta = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

式中  $\eta$ ——去除率, %;

$C_0$ ——含铅废水中铅的初始质量浓度, mg/L;

$C$ ——粉煤灰吸附后废水中铅的质量浓度, mg/L。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 粉煤灰粒径的选择

取 6 份 100 ml 含铅废水于 250 ml 的锥形瓶中, 分别加入 1.0 g 不同粒径的改性粉煤灰, 调节 pH = 7.0, 静置吸附 2 h, 过滤, 取滤液测定铅的浓度并计算去除率, 结果见图 1。从图 1 可以看出: 改性粉煤灰的粒径对含铅废水的吸附有一定的影响。粒径小于 200 目时, 铅的去除率随着目数的增大而增大。当粒径大于 200 目时, 铅的去除率有所下降。可能是由于粉煤灰的粒径太小, 出现粉煤灰颗粒团聚影响去除效果。

### 3.2. 含铅废水中初始铅浓度对铅去除率的影响

按灰 - 水(g/ml)比为 1:100, 分别在 1.0 g 改性粉煤灰中加入 100 ml 不同浓度的含铅溶液, 调节 pH = 7, 静置吸附 2 h, 过滤, 取滤液测定铅浓度并计算去除率。结果表明, 当改性粉煤灰的加入量一定时, 随着溶液中铅浓度的增加, 粉煤灰对其吸附率呈下降的趋势。当铅的初始浓度低于 50 mg/L, 改性粉煤灰对其吸附率在 90% 以上。这主要是由于粉煤灰的吸附容量所限, 在固定的饱和吸附量下, 随着铅浓度的增加, 吸附量逐渐达到饱和, 因而去除率逐渐降低。

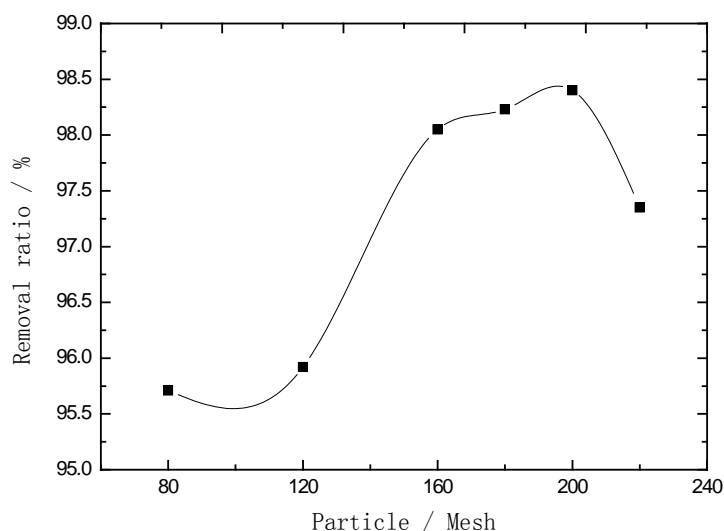


Figure 1. Curve of removal ratio of lead with particle size of fly ash  
图 1. 铅去除率随粉煤灰粒径变化曲线

### 3.3. 吸附温度的选择

按灰 - 水(g/ml)比为 1:100, 将含铅废水 100 ml 移入 6 个锥形瓶中, 调节 pH = 7, 加入 1.0 g 改性粉煤灰, 并分别将 6 个锥形瓶置于 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃下恒温静置吸附 2 h, 过滤, 取滤液测定铅浓度并计算去除率, 结果见图 2。由图 2 可知, 随着温度的增加, 铅的去除率逐渐增加, 在 30℃后铅的去除率增加比较缓慢。其原因可能是粉煤灰吸附过程是吸热过程, 适当的增加温度, 有利于粉煤灰表面活性中心的增加, 从而使铅去除率增加。

### 3.4. 静置吸附时间的选择

按灰 - 水(g/ml)比为 1:100, 将含铅废水调节 pH 为 7, 加入改性粉煤灰, 搅拌均匀后静置, 在不同时间段取上层清夜测定铅的浓度, 结果见图 3。从图 3 中可知: 静置时间超过 2 h 时, 经改性粉煤灰处理后铅去除率达 98% 以上。

### 3.5. 吸附体系 pH 值的选择[3]

按灰 - 水(g/ml)比为 1:100, 在相同体积的溶液中加入相同质量、相同粒径的改性粉煤灰, 用盐酸和氢氧化钠调节 pH 值, 静置 2 h, 过滤, 取滤液测定铅浓度并计算去除率, 结果见图 4。从图 4 中可知, 当体系 pH 为 7 时废水中铅的去除率最高。其原因可能是去除率的高低取决于吸附和沉淀两种因素。pH 较低时, 改性粉煤灰表面带正电荷, 而废水中的铅也以正离子的形式存在, 故改性粉煤灰对废水中铅的吸附有限; pH 过高时, 铅形成的沉淀又会溶解, 从而使废水中的铅含量增加。

### 3.6. 正交试验法确定最佳条件

根据正交试验表的要求, 正交试验选取粉煤灰粒径、静置吸附时间、吸附温度、体系 pH 值作为研究因素, 每个因素确定三个水平。选用  $L_93^4$  正交表。正交表的设计和试验结果见表 2。

对表 2 的数据进行分析如下:

- ①  $II_2 > I_1 > III_3$  粉煤灰粒径应选在 2 水平 即 200 目。
- ②  $III_3 > II_2 > I_1$  静置时间应选在 3 水平 即 2 h。

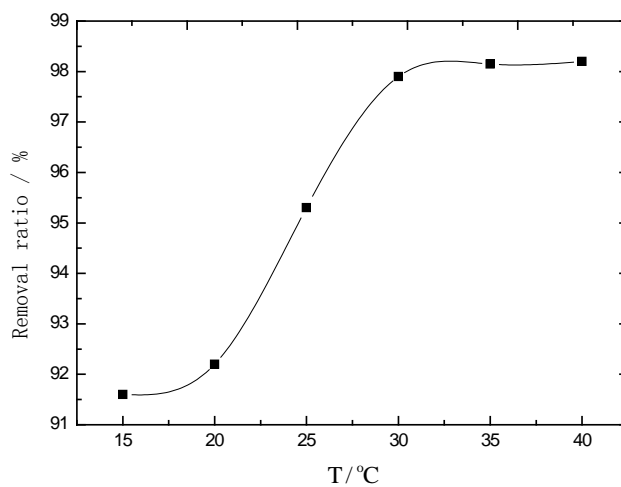


Figure 2. Curve of removal ratio of lead with adsorption temperature  
图 2. 铅去除率随吸附温度变化曲线

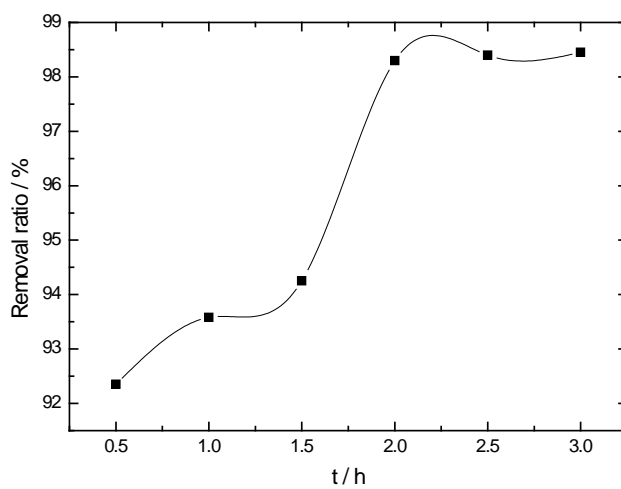


Figure 3. Curve of removal ratio of lead with adsorption time  
图 3. 铅去除率随吸附时间变化曲线

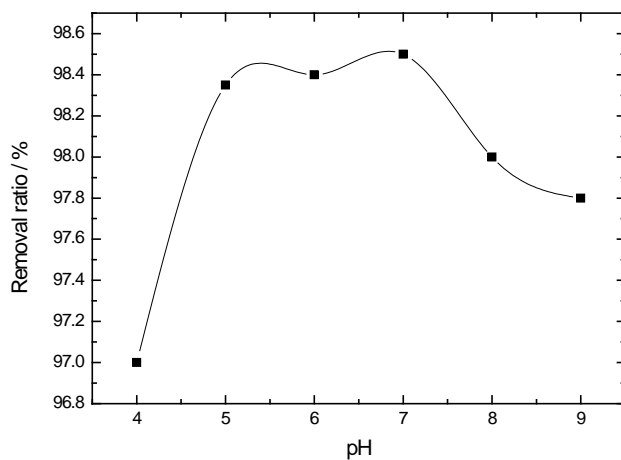


Figure 4. Curve of removal ratio of lead with system pH  
图 4. 铅去除率随 pH 变化曲线

**Table 2. Orthogonal experiment design and experimental results**  
**表 2. 正交试验设计和试验结果**

粉煤灰粒径 (目)	吸附时间 (h)	吸附温度 ℃	pH 值	去除率 (%)
180	1.5	35	7	97.2
180	2.0	25	8	96.3
180	2.5	30	6	98.2
200	1.5	25	6	97.9
200	2.0	30	7	98.4
200	2.5	35	8	98.0
220	1.5	30	8	95.8
220	2.0	25	7	96.7
220	2.5	35	6	96.3
291.7	290.9	290.9	292.4	
294.3	291.4	292.4	292.3	
288.8	292.5	290.1	290.1	T = 874.8
5.5	1.6	2.3	2.3	

③  $\text{II}_2 > \text{I}_1 > \text{III}_3$  实验温度应选在 2 水平 即  $30^\circ\text{C}$

④  $\text{I}_1 > \text{II}_2 > \text{III}_3$  pH 应选在 1 水平 即  $\text{pH} = 6$

通过极差分析可知各因素主次关系依次为: 粉煤灰的粒径 > 实验温度 = pH > 静置时间。其中, 粉煤灰粒径为主要因素。因此, 要想得到更高的除铅率, 应首先考虑粒径的大小。综上, 改性粉煤灰除铅的最佳条件为: 粉煤灰粒径为 200 目, 静置时间 2 h, pH = 6, 吸附温度为  $30^\circ\text{C}$ 。对铅的去除率最高可达 98.4%, 即处理后的溶液中铅质量浓度低至  $0.80 \text{ mg/L}$ , 达到《国家污水综合排放标准》的允许值。

### 3.7. 吸附等温线[6]

对本次试验结果用 Langmuir 方程和 Freundlich 方程进行回归, 发现试验数据与 Langmuir 方程符合性较好, 即改性粉煤灰对铅的吸附符合 Langmuir 模型, 说明改性粉煤灰对铅的吸附应是以化学吸附为主。

Langmuir 吸附等温方程可表示为:  $\frac{ce}{qe} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} \times ce$ , 其中  $qe$ : 平衡吸附量,  $\text{mg/g}$ ;  $ce$ : 平衡质量浓度,

$\text{mg/L}$ ,  $a$ 、 $b$  为与吸附有关的常数。对试验数据进行回归, 所得方程为:  $y = 0.1623x + 0.261$ , 相关系数为 0.999。

## 4. 结论

- 1) 改性粉煤灰对溶液中铅的吸附符合 Langmuir 吸附模型, 主要通过化学吸附作用去除溶液中铅。
- 2) 影响铅去除率的因素中主次关系为: 粉煤灰的粒径 > 实验温度 = pH > 静置时间。
- 3) 除铅最佳条件为: 粉煤灰粒径 200 目、吸附时间 2 h、pH = 6、吸附温度为  $30^\circ\text{C}$ 。

## 基金项目

国家自然科学基金(21467005)。

## 参考文献 (References)

- [1] 李富华, 吕文英, 刘国光, 等. 电絮凝/膜过滤技术处理含铅废水的研究[J]. 电镀与环保, 2015, 35(2): 47-49.
- [2] 贾小宁, 孔秀琴, 张庆芳. 改性粉煤灰的制备及其对分散蓝的吸附[J]. 化工环保, 2012, 32(3): 273-276.
- [3] 朱静, 吴丰昌. 改性粉煤灰在处理镉<sup>2+</sup>选矿<sup>+</sup>废水中的应用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 361-367.
- [4] 李乃霞, 韩飞. 粉煤灰的应用研究进展[J]. 广东化工, 2014, 41(5): 101-102.
- [5] 杜凤智, 魏利滨. 应用改性粉煤灰处理含铅废水的研究[J]. 唐山学院学报, 2013, 26(3): 55-57.
- [6] 张海军, 谭洪涛, 罗洁, 等. 粉煤灰基沸石对 Pb<sup>2+</sup>的吸附动力学与热力学[J]. 非金属矿, 2016, 39(2): 40-44.
- [7] 高玉红, 辛景, 梁亚男, 等. 改性粉煤灰吸附处理含铅废水试验研究[J]. 湿法冶金, 2015, 34(2): 157-160.
- [8] 靳朋勃. 粉煤灰沸石化及其处理废水的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2007.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>