

doi:10.3969/j.issn.1000-9760.2010.06.018

## 超声协助活性炭处理医院含镉废水的正交实验研究\*

杨金玲<sup>1</sup> 公维磊<sup>1</sup> 王长芹<sup>1</sup> 郭强之<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 济宁医学院医学检验学系, 山东 济宁 272067; <sup>2</sup> 中山大学公共卫生学院, 广东 广州 510080)

**摘要** 研究了超声温度、超声时间、吸附时间、pH 值及活性炭负荷比等对含镉废水处理效果的影响。以去除率为考察指标, 依据  $L_{16}(4^4)$  正交表进行实验, 石墨炉原子吸收法测定处理前后溶液中镉含量, 并对测定结果进行直观分析和方差分析。经正交实验优选的条件: 超声温度为 40℃、超声时间 10min, 吸附时间 10min, pH = 6、活性炭负荷比为 667:1。对优选的实验条件进行方法学考察, 各项考察结果均符合要求。结果表明, 该方法切实可行, 具有简单、高效、快速等优点。

**关键词** 超声; 活性炭; 镉; 废水; 正交实验

**中图分类号:** R123.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-9760(2011)03-197-04

### Orthogonal experiment study on the treatment of Cd-containing wastewater by activated carbon with assistance of ultrasonic

YANG Jin-ling, GONG wei-lei, WANG chang-qin, et al

(Department of Medical Laboratory, Jining Medical University, Jining 272067, China)

**Abstract:** The present study investigated the effect of ultrasonic temperature and duration, adsorption duration, pH and load ratio of activated carbon on the treatment of Cd-containing wastewater.  $L_{16}(4^4)$  orthogonal test was adopted. Using removal rate as indicator the content of Cd was measured with graphite furnace atomic absorption spectrometry and Square-error analysis as well as direct analysis on the measurement were carried. The optimal condition of the orthogonal test was as follows: ultrasonic temperature was 40℃; ultrasonic and adsorption lasted for 10min respectively; pH=6; load ratio of activated carbon was 667:1. The results of methodological investigation for the optimum conditions were consistent with the requests. The method proved to be practical, simple, efficient and rapid.

**Key words:** Ultrasound; Activated carbon; Cadmium; Wastewater; Orthogonal test

医院排放的废水成分复杂, 其中镉是牙科治疗、化验、X 光室排放废水中主要污染物之一。目前, 含镉废水处理方法包括化学法、吸附法、离子交换法等。其中化学法适用于高浓度废水, 处理过程繁琐且容易造成二次污染。离子交换法处理效果好、成本高但仅适用于低浓度废水; 吸附法适用范围广且无二次污染, 但镉吸附效率低。近年来, 活性炭因其广谱的吸附作用和廉价的成本而受到广泛重视<sup>[1-2]</sup>。活性炭单独处理含镉废水的去除率一般为 70%~75%<sup>[3]</sup>。活性炭如何与其它技术联合深度处理重金属废水已成为新的研究热点<sup>[4-9]</sup>。由于活性炭是一种良好的吸收声波的介质, 且超声波

产生的空化效应具有简单、高效、无污染等优点, 因此作者将超声波与活性炭联用处理含镉废水, 以去除率为考察指标, 采用正交实验设计优选了处理条件, 以期对医院含镉废水的深度处理提供参考。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 主要仪器与试剂

TAS-990 石墨炉原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); XW-80 漩涡混合仪(海口市其林贝尔仪器制造有限公司); KQ5200E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)。所用玻璃器皿均提前用 10% 硝酸浸泡 24h。

活性炭(分析纯, 莱阳经济技术开发区精细化工厂); 500μg/ml 镉标准贮备溶液(山东省疾病预

\* 山东省高等学校优秀青年教师国内访问学者经费资助项目

防控制中心标准室),临用前以 0.2% 的硝酸稀成浓度为 20 $\mu$ g/ml 镉标准应用液,摇匀,备用。

石墨炉原子吸收法测定镉的检测波长 228.3nm,光谱带宽 0.4nm,负高压 350nm,灯电源 2.0mA,进样体积 10 $\mu$ L。石墨炉升温程序如表 1。

表 1 石墨炉升温程序

升温程序	温度(°C)	升温时间(s)	保持时间(s)	内气流量
干燥	100	5	10	大
灰化	600	5	10	大
原子化	1900	0	3	小
清除	2000	1	2	大

1.2 绘制标准曲线

取不同量的 20 $\mu$ g/ml 镉标准应用液,以 0.2% HNO<sub>3</sub> 定容于 100 ml 容量瓶中,配制成浓度分别为 0, 0.004, 0.008, 0.012, 0.016, 0.020 $\mu$ g/ml 的标准系列。按表 1 所示工作条件,石墨炉原子吸收法测定镉的吸光度,绘制标准曲线,得方程 C=0.00386[A]-0.002,相关系数 r=0.9989。

1.3 水样制备

实验用水样取自济宁市附属医院排污口原水,过滤去除水样中悬浮物,上机测定镉浓度。

1.4 正交实验设计

预实验发现温度、pH 值、时间和活性炭用量对处理效果有较大影响,故以温度、pH 值、时间、活性炭负荷比为影响因素,以 L<sub>16</sub>(4<sup>4</sup>)表安排实验。因素水平见表 2。

表 2 因素和水平

因素	A	B	C	D
水平	温度(°C)	pH 值	时间(min)	活性炭负荷比
1	10	3	60	333.5:1
2	20	4	80	167:1
3	30	5	20	1000:1
4	40	6	40	667:1

注:C 为超声+活性炭处理(1:1)的总时间。

1.5 废水中镉的去除率计算

$$f = (c - c') / c \times 100\%$$

式中, f 为去除率; c 为处理前水样中镉浓度; c' 为处理后水样中镉浓度。

2 结果与讨论

2.1 结果

取废水 100ml,按表 3 先进行超声处理,然后

加入活性炭进行震荡吸附,过滤后上机测定,最后计算镉离子去除率,结果见表 3。

表 3 L<sub>16</sub>(4<sup>4</sup>)正交实验结果

实验号	A	B	C	D	去除率(%)
1	1	1	1	1	28.50
2	1	2	2	2	55.38
3	1	3	3	3	72.25
4	1	4	4	4	75.25
5	2	1	2	4	42.25
6	2	2	3	1	50.13
7	2	3	4	2	36.00
8	2	4	1	3	75.25
9	3	1	3	2	57.75
10	3	2	4	1	65.88
11	3	3	1	4	47.50
12	3	4	2	3	68.88
13	4	1	4	3	71.38
14	4	2	1	2	52.50
15	4	3	2	1	73.75
16	4	4	3	4	76.00
K1	231.38	199.88	203.75	218.26	
K2	203.63	223.89	240.26	201.63	
K3	240.01	229.50	256.13	287.76	
K4	273.63	295.38	248.51	241	
K1'	57.85	49.97	50.94	54.57	
K2'	50.91	55.97	60.07	50.41	
K3'	60.00	57.38	64.03	71.94	
K4'	68.41	73.85	62.13	60.25	
R	17.50	23.88	13.10	21.53	

为直观反映实验结果,以温度、pH 值、时间及活性炭负荷比为横坐标,以去除率为纵坐标绘制因素趋势分析图,如图 1,各因素水平对实验结果的影响大小依次为: A<sub>4</sub> > A<sub>3</sub> > A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub>; B<sub>4</sub> > B<sub>3</sub> > B<sub>2</sub> > B<sub>1</sub>; C<sub>3</sub> > C<sub>4</sub> > C<sub>2</sub> > C<sub>1</sub>; D<sub>3</sub> > D<sub>4</sub> > D<sub>1</sub> > D<sub>2</sub>。

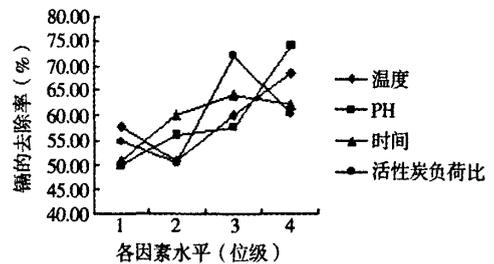


图 1 因素趋势分析图

根据实验结果又进行了方差分析,见表 4。

表 4 方差分析

变异来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
A(温度)	271.0	3	90.34	0.28	>0.05
B(pH 值)	185.7	3	61.89	0.20	>0.05
C(时间)	541.1	3	180.4	0.57	>0.05
D(用量)	1565	3	521.9	1.65	>0.05
误差效应	951.4	3	317.1		
总和	3515	15	234.39		

$$F_{0.05(3,3)} = 9.28$$

从表 4 中可见,  $F_A, F_B, F_C, F_D$  明显小于 F 临界值,而 P 值均大于 0.05,说明初始温度、pH 值、时间对超声波辅助活性炭吸附镉离子的效果影响不大。结合极差分析结果,从降低能耗,节约成本方面考虑,拟定对于超声波辅助活性炭吸附镉离子的实验最佳的超声和吸附条件应为  $A_4 B_4 C_3 D_3$ ,即初始温度为 40℃,pH 值为 6,超声和吸附时间均为 10min,活性炭负荷比 667:1。

## 2.2 讨论

**2.2.1 影响因素分析** 实验表明,温度提高有利于活性炭吸附镉离子,可能是由于温度提高时分子布朗运动加剧,但温度过高时,在声波负压半周期内会使水沸腾而减小空化产生的高压,同时空化泡会立即充满水汽而降低空化产生的高温,因而降低吸附效率<sup>[4]</sup>,同时,溶液温度较高时,液相吸附热虽然较小,但是由于分子热运动加剧,也会破坏吸附平衡<sup>[5]</sup>。因此本实验过程选择温度为 40℃。

活性炭表面各类含氧基团如-CHO,-OH,-COOH,-C=O 通常是活性炭吸附的活性中心。pH 值很小时,溶液中存在大量  $H^+$ ,活性炭表面的含氧基团与  $H^+$  结合,改变了活性炭表面的亲和性<sup>[6]</sup>,此时,活性炭的有效活性中心被  $H^+$  占据,镉离子没有充分被吸附。随溶液 pH 值升高,与活性炭表面活性基团结合的  $H^+$  脱离,使得大量的活性中心暴露,镉离子被有效吸附。但随 pH 值继续增大,溶液中的  $OH^-$  可能与镉离子结合,故 pH 值选择 6。

随时间增加,在超声作用下,溶液中游离态镉离子增多,活性炭吸附量增加,直到达到吸附平衡,时间对处理效果的影响变小。因此,最佳超声和吸附时间均为 10min。

在吸附过程中,随活性炭用量增加,溶液中被吸附离子浓度降低<sup>[7-8]</sup>,镉离子去除率增加,但当吸

附与解吸达到平衡时,再增加活性炭的用量,对镉离子的去除率影响很小,因此,选择活性炭负荷比为 667:1。

**2.2.2 验证实验和对照实验** 由于本实验所选最佳条件不在正交表中,故选取该条件又进行了验证实验,结果见表 5。

表 5 验证实验

镉的浓度 (ng/ml)	1	2	3	4	5	6
处理前	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
处理后	0.93	0.89	0.92	0.90	0.93	0.92
去除率 (%)	84.5	85.2	84.7	85.0	84.5	84.7

以实验所得的最佳温度、时间、pH 值及活性炭用量,不进行超声处理,只进行活性炭吸附 20min 做对照实验,结果见表 6。

表 6 对照实验

镉的浓度 (ng/ml)	1	2	3	4	5	6
处理前	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
处理后	1.30	1.28	1.22	1.27	1.28	1.27
去除率 (%)	79.4	81.2	79.7	78.9	81.2	78.9

$$t_{0.05/2,6} = 2.45$$

将对照试验结果与最佳条件下的验证试验结果进行显著性检验,得  $t=4.16$ ,大于临界值  $t_{0.05/2,6} = 2.45$ ,差别有统计学意义。

## 2.3 精密度的考查

取同一水样连续进样 11 次,测定溶液中镉离子的浓度,得出相对标准偏差为 2.01%,表明精密度良好。

## 2.4 回收率试验

采用加样回收法,精确量取 6 份 100ml 京杭运河济宁段原水,分别加入一定量镉标准溶液,配制一定浓度的样品溶液,用上述最佳实验条件处理后测定 6 次,计算平均回收率为 98.7%,表明回收率良好。

## 3 结论

超声波协助活性炭处理含镉废水时,温度为 40℃,pH 值为 6,超声和吸附时间均为 10min,活性炭负荷比 667:1 时处理效果最好,且通过对照实验说明超声波对活性炭处理医院废水中的镉离子有明显促进作用。该方法切实可行,具有简单、高效、快速等优点,可望在医院废水处理方面推广应用。  
(下转第 202 页)

应我国社会发展,又满足广大人民群众健康需求的高素质护理队伍,最大限度地调动护士的工作热情,发挥其潜能,促进护士职业与医疗事业的共同发展,是护理管理者面临的一个重要课题。要吸纳更多的优秀人才从事护士职业,应为护士提供职业成长和发展空间,发展空间的大小是能否留住优秀专业人才的重要影响因素<sup>[5]</sup>。

#### 参考文献:

[1] 楼建华. 护理人员专业能力晋阶项目的实施与评价[J]. 上

(上接第 199 页)

#### 参考文献:

- [1] 李玉文,郭军,尤铁学. 重金属废水处理工艺的研究[J]. 内蒙古科技与经济,2008,11:78-80.
- [2] 戴芳天. 活性炭在环境保护方面的应用[J]. 东北林业大学学报,2003,31(2):48-49.
- [3] 孙巍,晏乃强,贾金平. 载浸活性炭去除烟气中的单质汞[J]. 中国环境科学,2006,26(3):257-261.
- [4] Barrado E, Prieto F, Medina J, et al. Purification of cadmium wastewater; characterization and electrochemical behaviour of cadmium-bearing ferrites. *Química Analítica*, 2001, 20(1):47-53.
- [5] Carmen G. Cadmium and copper removal by a granular acti-

海护理,2006,6(5):11-12.

- [2] 陈长蓉,陈春萍,赵泰山,等. 护士工作-家庭冲突现状的调查研究[J]. 中华护理杂志,2010,45(7):629-631.
- [3] 王丽,赵海燕,张新庆. 10 省市护士工作满意度状况及其影响因素的调查研究[J]. 中华护理教育,2010,7(12):560-562.
- [4] 周勇霞,李玉燕,李云,等. 弹性排班对儿科 ICU 护士身心健康影响的研究[J]. 中国实用护理杂志. 2005,21(1A):68-69.
- [5] 马真. 继续职业发展的国际标准[J]. 医学教育,2003,(5):52-53.

(收稿日期 2011-05-15)

vated carbon in laboratory column systems. *Separation Science and Technology*, 2000(7):1039-1041.

- [6] Kuh S E. Removal characteristics of Cadmium ion by waste egg shell. *Environmental Technology*, 2001(21):883-886.
- [7] Özdemir G, Ceyhan N, Öztürk T, et al. Biosorption of chromium (VI) cadmium (II) and copper (II) by *Pantoea* sp TEM. *Chemical Engineering Journal*, 2004, 102(3):249-253.
- [8] Enhanced coagulation: Us requirements and abroad view[J]. *Water Science & Technology*, 2009, 40(9):63-70.
- [9] Vasudevan P, Padmavathy V, Dhingra S C. Kinetics of biosorption of cadmium on Baker's yeast. *Bioresearch Technology*, 2003, 89(3):281-287.

(收稿日期 2011-03-11)

• 读者 • 作者 • 编者 •

## 《济宁医学院学报》60 年校庆约稿启事

亲爱的校友们,2012 年 10 月,我们的母校——济宁医学院将迎来她的 60 华诞。在 60 年校庆到来之际,学校将开展一系列庆祝活动,以志纪念。为配合校庆活动,学校决定在《济宁医学院学报》2012 年第 1 期始开辟“校友医学学术论坛”专栏。主旨在于集中展示济医学子博学至善、不断进取,在医学研究领域所取得的骄人成绩和丰硕成果。专栏拟连续登载优秀校友的医学学术文章,尤其是有省部级以上基金资助的、有最新研究成果的医学学术论文。专刊将作为校庆献礼之一,赠送给每一位参加校庆的校友,与诸位校友共享。我们真诚地邀请您为专栏赐稿,共贺母校 60 岁生日!

《济宁医学院学报》是由新闻出版署批准,山东省教育厅主管,济宁医学院主办的国内外公开发行的学术性期刊。创刊于 1978 年。本刊已被《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国学术期刊》、《中国知网》、《万方数据数字化期刊群》等全文收录。主要栏目设置:基础医学、临床医学、公共卫生、护理、医学教育、方法·技术、调查报告等。

来稿字数不限,最好不超过 8000 字。为了突出专栏特色,增进了解,专栏文章将刊发作者简介,来稿请附上个人简介(100—200 字,含毕业时间、现职情况、研究方向等)、电子照片一张,并请附上邮寄地址(以便邮寄样刊)。

来稿请寄:山东省济宁市北湖新区荷花路 16 号,邮编 272067

电子邮箱:jyxbbjb0909@163.com

联系电话:0537-3616266

学报编辑部

2011 年 6 月 7 日