

电源波形对电凝聚处理生活污水的影响^{*}

杨 毅^{* *} 金奇庭 刘立忠 刘 伟 蒋 欣

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安, 710055)

摘 要 采用三角形波电源、正弦波电源、全波整流电源进行动态实验, 研究采用不同电源波形和波形频率电源的电凝聚对处理生活污水的影响, 以及对有机污染物的去除特性. 结果表明, 三角形波电源的波形频率为 $50\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时和正弦波电源波形频率为 $16.5\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的处理效果较好. 采用上述三种电源波形的电凝聚主要去除的是悬浮态有机污染物.

关键词 电源波形, 电凝聚, 生活污水.

电凝聚技术是一种广泛地应用于给水和废水的电化学处理方法. 许多研究学者从电凝聚所处理废水的类别和处理效果、影响因素、机理、电源技术的改进^[1, 2]、新型电极的设计^[3-6]等方面对电凝聚技术进行更深入的研究. 进一步扩展电凝聚技术在水处理方面的应用范围, 提高处理效率, 以及节约电能消耗.

本文采用三角波形电源、正弦波电源和全波整流电源, 研究采用不同电源波形和波形频率电源的电凝聚对处理生活污水的影响, 以及对有机物的去除特性.

1 实验部分

1.1 实验用水及水质

实验用水取自西安市某小区生活污水, 水质指标为 pH 值: 6.7—6.8 COD: $320\text{—}450\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, SS $120\text{—}220\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 色度: 200—250倍.

1.2 实验装置

电凝聚实验装置的尺寸为 $100\text{mm}\times 90\text{mm}\times 360\text{mm}$, 有效容积为 3.0L. 原污水从电凝聚装置的底部进入, 经布水区、电极区及气浮区, 从气浮区 $1/2\text{—}2/3$ 处出水. 本研究采用三角波形电源、正弦波电源和全波整流电源, 两极均采用可溶的铝板, 极板表面尺寸为 $85\text{mm}\times 100\text{mm}$, 电极间距为 10mm, 电极单元数为 9.

2 结果与讨论

2.1 电源波形频率的影响

根据实际的实验条件, 选用三角形波电源和正弦波电源, 选择最低频率 $10\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 的电流作为基准, 改变频率以确定最佳工作频率. 实验选择停留时间为 1h, 原水 pH 值不变, 其结果分别见图 1 和图 2.

由图 1 可知, 三角形波电源波形频率改变对处理效果的影响较大. 在电源波形频率为 $10\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 处理效果最低, COD 去除率、SS 去除率和色度去除率分别为 14.2%、19.3% 和 24%. 随着电源波形频率的增加, COD 去除率、色度去除率逐渐增加. SS 去除率在波形频率为 $25\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时较高, 为 45.0%. 相对比较, 波形频率为 $50\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的处理效果较好, COD 去除率、SS 去除率和色度去除率分别为 46.6%、41.6% 和 40%.

由图 2 可知, 随着正弦波电源波形频率的增大, COD 去除率、SS 去除率和色度去除率逐渐升高;

2008 年 9 月 20 日收稿.

^{*} 陕西省科技攻关项目 (2000K13—G10). ^{**} 通讯联系人.

当正弦波电源波形频率大于 $16.5 \text{次} \cdot \text{s}^{-1}$ 后, COD 去除率、SS 去除率有所降低. 相对比较, 波形频率为 $16.5 \text{次} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的处理效果比较好. 在实验范围内, 其 COD 去除率为 $48.8\% - 55.6\%$, 出水 COD 值在 $200 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 左右; SS 去除率为 $32.5\% - 45.5\%$, 出水 SS 值在 $110 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 左右; 色度去除率为 $42.8\% - 51.6\%$.

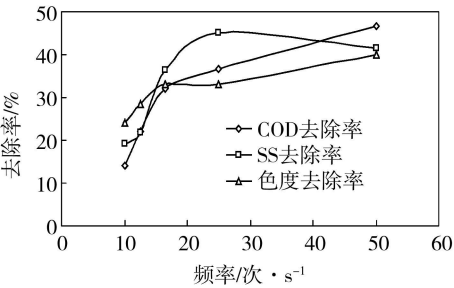


图 1 三角波形频率对处理效果的影响
Fig 1 Effect of the triangle wave frequency

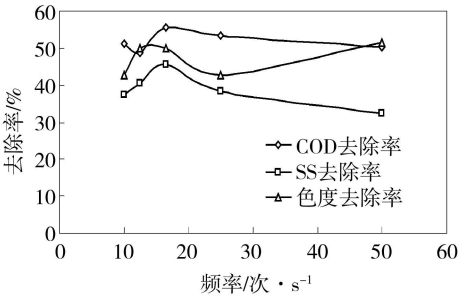


图 2 正弦波频率对处理效果的影响
Fig 2 Effect of the sine wave frequency

2.2 电源波形的影响

在原水 pH 值、停留时间为 60min 的条件下, 进行三角形波电源和全波整流电源对污水处理效果影响的对比动态实验. 三角形波波形频率为 $50 \text{次} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 电流密度对处理效果影响的结果见图 3 电流密度与电能消耗的关系见图 4

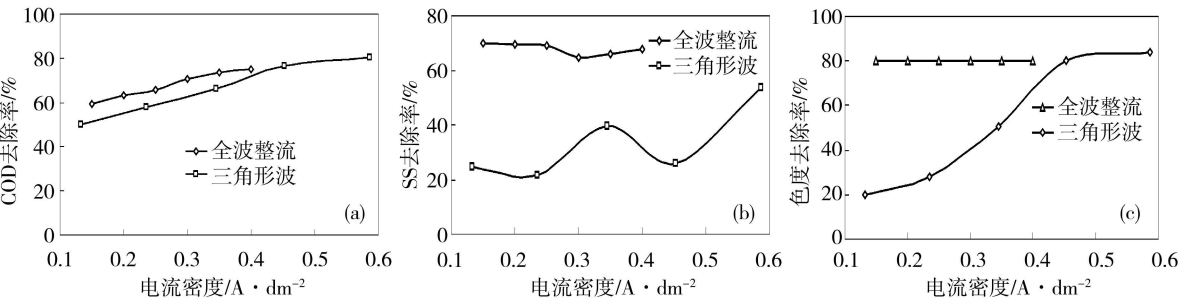


图 3 三角形波电源和全波整流电源的处理效果
(a) COD 去除率曲线; (b) SS 去除率曲线; (c) 色度去除率曲线
Fig 3 Results of the triangle wave power and the full wave rectifier power

由图 3(a)可知, 三角形波电源在其波形频率为 $50 \text{次} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 对生活污水 COD 的处理效果随电流密度变化规律基本与全波整流电源的变化规律相同, 随着电流密度的增大, COD 去除率逐渐增加. 相对比较, 对全波整流电源来说, 随电流密度增大, COD 去除率增加得较缓慢, 而三角形波电源对 COD 去除率却增大得较快. 在电流密度小于 $0.4 \text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$ 时, 全波整流电源对 COD 去除率较高. 由图 3(b)和图 3(c)可知, 全波整流电源对 SS 去除率和色度去除率的影响, 几乎不随电流密度变化; 而三角形波电源对 SS 去除率和色度去除率的影响, 随电流密度增大具有上升的趋势. 在采用三角波形电源的实验过程中观察到, 当电流密度较小时, 溶蚀的铝板上的絮体不能被气浮, 黏附在电极表面, 并发现气泡量较少, 气浮区的混合状态不好, 较多的悬浮物和絮体处在气浮区和出水区, 且产生的浮渣量较少, 固液分离效果较差. 其主要原因是电极

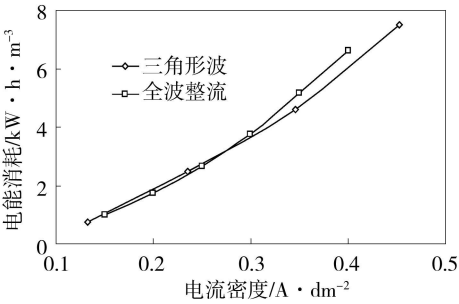


图 4 电流密度与电能消耗的关系
Fig 4 Relationship between electric current density and energy consumption

极性改变频繁，而在极性转换期间，铝电极的电流效率会急剧下降，产生的 Al^{3+} 离子和 H^{+} 离子量急剧减少，影响 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 絮体的形成及 H_2 产量，可溶性铝板上产生的絮体不能与极板分离，当电极极性改变时，产生的 H_2 被絮体阻碍，不利于 H_2 的扩散，影响气泡的大小和气浮效果，以至影响处理效果。

由图 4 可知，在相同原水 pH 值、停留时间和电流密度条件下，当电流密度小于 $0.3\text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$ 时，采用三角形波电源和全波整流电源所消耗电能相差不多；当电流密度大于 $0.3\text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$ 时，采用三角形波电源比采用全波整流电源所消耗电能少。据文献分析^[1]，由于在三角形波的脉冲电源作用下，电极附近出现双扩散层模型，相对于全波整流电源作用的电凝聚下的单稳态扩散层的液相传质，三角形波脉冲电源下的液相传质能减少扩散层中浓度差极化，从而降低能耗。

2.3 有机污染物的去除特性

城市污水中的有机污染物质按其物理形态，可将其分为溶解态、胶体态、超胶体态和悬浮态^[7]。溶解态所占比例为 31.2%，胶体态所占比例为 11.8%，超胶体态所占比例为 25%，悬浮态所占比例为 32%^[7-8]。并且不同尺寸的物质在水中表现出不同的性质，是各种污水处理工艺效率的决定性因素。

为了方便研究有机污染物去除特性与其物理状态的关系，用 TCOD 表示 COD 总量（即悬浮态 COD 和溶解态 COD 之和），SCOD 表示悬浮态 COD，DCOD 表示溶解态 COD。在原水 pH 值、停留时间为 60min 的条件下，利用三角形波电源、全波整流电源和正弦波电源进行电凝聚处理生活污水的动态实验，研究其对有机污染物的去除特性，其结果分别见表 1、表 2 和表 3。

表 1 三角形波电源对有机污染物的去除特性

Table 1 Removal characteristics of organic pollutants by the triangle-wave power

电流密度 / $\text{A}\cdot\text{dm}^{-2}$	TCOD 去除率 /%	SCOD 去除率 /%	DCOD 去除率 /%
0.13	50.1	50.9	49.3
0.24	57.6	61.0	53.5
0.35	66.1	72.6	58.1
0.45	76.2	77.0	75.3
0.59	80.2	83.8	75.8

表 2 全波整流电源对有机污染物的去除特性

Table 2 Removal characteristics of organic pollutants by the full-wave rectifier power

电流密度 / $\text{A}\cdot\text{dm}^{-2}$	TCOD 去除率 /%	SCOD 去除率 /%	DCOD 去除率 /%
0.15	59.3	79.5	40.9
0.2	63.4	85.1	43.6
0.25	65.8	88.7	45.0
0.3	70.4	78.8	62.8
0.35	73.3	81.1	66.3
0.4	75.2	87.2	64.4

表 3 正弦波电源对有机污染物的去除特性

Table 3 Removal characteristics of organic pollutants by the sine wave power

频率 / $\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$	TCOD 去除率 /%	SCOD 去除率 /%	DCOD 去除率 /%
10	51.1	66.7	24.1
12.5	48.8	64.2	22.2
16.5	55.6	67.7	34.8
25	53.6	67.4	29.6
50	50.3	65.9	23.2

由表 1 三角形波电源对有机污染物的去除特性可知，TCOD 去除率为 50.1%—80.2%，SCOD 去

除率为 50.9%—83.8%，DCOD去除率为 49.3%—75.8%。从 TCOD、DCOD、SCOD 去除效果可知，在同一电流密度下，其数值相差不大，但相对比较，SCOD 去除效果最高，TCOD 次之，DCOD 最低。所以，采用三角形波电源的电凝聚主要去除的是 SCOD。

由表 2 可知，全波整流电源在原水 pH 值、停留时间为 60min、电流密度为 $0.15\text{A}\cdot\text{dm}^{-2}$ — $0.4\text{A}\cdot\text{dm}^{-2}$ 的条件下，对 TCOD、SCOD、DCOD 去除率分别为 59.3%—75.2%，78.8%—88.7%，40.9%—66.3%。采用全波整流电源的电凝聚主要去除的也是 SCOD。

由表 3 可知，在正弦波电源波形频率范围内，TCOD 去除率为 48.8%—55.6%，SCOD 去除率为 64.2%—67.7%，DCOD 去除率为 22.2%—34.8%。由此可知，正弦波电源对 TCOD 去除率、SCOD 去除率和 DCOD 去除率的顺序为：SCOD 去除率 > TCOD 去除率 > DCOD 去除率。SCOD 去除率几乎为 DCOD 去除率的 2 倍以上。这说明，采用正弦波电源的电凝聚主要去除的是 SCOD，即主要去除的是悬浮态的有机污染物，而对溶解态有机污染物的去除率较低。

3 结论

通过不同电源波形的波形频率实验，发现三角波形电源的波形频率为 $50\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的处理效果较好，正弦波电源波形频率为 $16.5\text{次}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的处理效果较好。采用三角形波电源、正弦波电源和全波整流电源的电凝聚主要去除的是悬浮态有机污染物，对溶解态有机污染物有一定的去除率，但相对较低。从而证明有机污染物的存在状态与去除特性是密切相关的。

参 考 文 献

[1] 李冬黎, 何湘宁, 形变功率脉冲电源作用下印染废水处理研究 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2005, 39 (6) : 887—890
[2] 陈彬, 李彦旭, 朱又春等. 脉冲电源电凝聚处理厨房废水的研究 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30 (1) : 33—36
[3] 董晓丹, 王恩德, 王晨煜, 用电凝聚装置去除废水中重金属离子 [J]. 安全与环境学报, 2002, 2 (1) : 24—27
[4] 何晓莉, 王志盈, 袁林江, 管式电凝聚法处理印染废水 COD 的特性研究 [J]. 给水排水, 2000, 26 (5) : 33—35
[5] 李长海, 导流电凝聚法脱除印染废水色度的研究 [J]. 化工环保, 1999, 19 (5) : 264—267
[6] 陈依兰, 杨晓松, 刘峰彪等, 转动式电凝聚破乳技术在金属加工乳化液处理中的应用 [J]. 有色金属, 2004, 56 (4) : 136—138
[7] Levine A D, Tchobanoglous G, Asano T. Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater Treatment and Reuse Complications [J]. J.WPCF, 1985, 57 (7) : 805—816
[8] 朱宝霞, 李久义, 栾兆坤, 城市污水混凝强化一级处理的机理探讨 [J]. 给水排水, 2001, 27 (7) : 10—14

THE EFFECT OF POWER WAVEFORM ON DOMESTIC SEWAGE
TREATMENT BY ELECTROCOAGULATION

YANG Yi JIN Qiting LIU Lirzhong LIU Wei JIANG Xin

(School of Environmental& Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture& Technology, Xi'an, 710055, China)

ABSTRACT

Dynamic experiments of domestic sewage treated by electrocoagulation process with triangle-wave power, sine wave power and fullwave rectifier power, which had the different power waveform and waveform frequency, were studied. And the removal characteristics of organic pollutants were studied. The results showed that treatment effects were better when the waveform frequency of triangle-wave power was 50 times per second and when the waveform frequency of sine wave power was 16.5 times per second. The suspended organic pollutants were mainly removed by electrocoagulations with the above power waveform.

Keywords power waveform, electrocoagulation, domestic sewage