

高盐高有机物腌制废水电磁协同处理方法研究

程 义, 伊学农, 付彩霞, 文世鹏, 孙黄卿

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 以腌渍生产过程中的实际废水为对象, 同时运用电催化氧化、电絮凝和外加磁场的电磁协同方法进行污染物去除效果研究。结果显示, 在相同条件下, 外加相斥磁场的电磁协同方法具有更好的去除效果, 相比未外加磁场的条件, 化学需氧量 COD(chemical oxygen demand)和氨氮的去除效果分别提高了约 20% 和 30%, 能耗降低明显。该方法在一定程度上克服了传统处理方法投资高、运行成本高、运行维护难的缺点, 是一种高盐高有机物腌制废水处理的新方法。证明了电磁协同方法在处理难降解废水方面具有应用前景, 并可减少二次污染。

关键词: 废水处理; 电化学法; 电絮凝; 磁场; 协同处理

中图分类号: X 524 **文献标志码:** A

Electromagnetic Synergistic Treatment of High Salt and High Organic Wastewater

CHENG Yi, YI Xuenong, FU Caixia, WEN Shipeng, SUN Huangqing

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Aiming at the practical wastewater treatment in the process of pickling production, the removal efficiency and energy efficiency of the method were studied by using combinedly the methods of electro catalytic oxidation, electro flocculation and external magnetic field. The results show that under the same conditions, the removal method with the electromagnetic repulsion field synergy is better than that without the magnetic field, by which the COD (chemical oxygen demand) and ammonia nitrogen removal efficiency are increased by 20% and 30% respectively, and the energy consumption is significantly reduced. To a certain extent, the method overcomes the shortcomings of high investment and high operation cost, and improves the operation and maintenance difficulties. It is a quiet suitable and efficient method for treating high salt and high organic wastewater in salt pickling process. The research shows that the electromagnetic synergistic method can be used in the treatment of refractory wastewater, and can reduce the secondary pollution as well.

Keywords: wastewater treatment; electrochemical method; electrocoagulation; magnetic field; synergistic treatment

收稿日期: 2017-05-03

基金项目: 大学生创新创业训练计划(XJ2016160)

第一作者: 程 义(1996-), 男, 本科生. 研究方向: 水处理与优化技术、环境工程. E-mail: 935491669@qq.com

通信作者: 伊学农(1962-), 男, 副教授. 研究方向: 城市污水处理、资源化技术研究. E-mail: jackyixn@126.com

在化工和食品行业中,常常会排放出大量的含高盐高有机物的难降解废水,这些废水中的高含盐量直接影响了有机污染物的处理,使传统生物处理方法无法有效地处理废水中的有机污染物,其他物理化学方法均受到不同程度的影响,处理效果受到影响,运行稳定性差。针对该类废水,传统的处理方法有物化法、高级氧化法、电化学法及生化法等。这些传统的处理方法有的处理效果不稳定,对高浓度的废水处理比较困难,有的工艺复杂、占地面积大、成本高。其中,电化学处理方法虽然适应性比较广泛,但存在耗能大、阳极板易钝化、成本高等问题^[1],这在一定程度上阻碍了电化学方法在工业废水处理中的大规模应用^[2-3]。为解决传统工艺存在的缺陷,急需寻找一类高效、适应性广泛、工艺简单的处理方法来处理难降解废水,以降低环境压力和企业负担。

本文采用电磁协同方法,组合运用了电催化氧化、电絮凝和外加磁场,这是一种可以高效处理难降解高盐高有机物废水的新方法^[4-6]。本文采用电磁协同方法处理实际腌制生产过程中的高盐高有机物腌制废水,探究电磁协同方法的影响因素和可行性,如pH、电场强度、反应时间及磁场方向等因素的影响,确定较佳的运行工艺参数,为提高难降解废水的去除效率、降低能耗提供理论依据。

1 实验

1.1 电磁协同处理难降解废水原理

电磁协同方法集合了电催化氧化、电絮凝和磁场磁化等基本理论和技术,以惰性极板为阴阳极,通过电解反应产生的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)、臭氧、氯气等一系列的氧化剂将大分子难降解物质或有毒物质分解为小分子物质或直接炭化^[7]。同时投加絮凝剂,在电场的作用下,增强絮凝效果,提高水中污染物质的去除效果^[8]。

磁场对于废水的电化学和电絮凝具有强化作用,在外加磁场电解时,磁场的方向和电场方向垂直,废水中的离子和有机物集团同时受到电场力和洛伦磁力的作用,由于电场力和洛伦磁力方向不同,使离子和有机物集团不再沿着单一方向运动,其运动轨迹复杂化,这增加了离子与离子、离子与有机物集团之间碰撞的机会^[9],从而加

强了电化学和电絮凝的效果,使浓差极化降低,电解液的电导率增加,进而减少了电解液欧姆电阻造成的电能损耗,提高了处理的效果,辅助电场处理废水^[10-11]。

1.2 实验装置

实验装置由电极板(钎、钛极板)、永磁铁、进出水系统、曝气系统、电解槽及直流电源等主体组成。阴、阳两极板均为100 mm×100 mm的网状电极,其中,阴极为钛极板,阳极为钎极板,电极工作电流由恒流直流电源提供。磁场产生装置采用矩形永磁铁。永磁铁以架子固定在电解槽外侧,形成相斥、相吸磁场,使废水处于磁化状态,辅助电场处理废水。永磁铁产生的磁场效果平面图如图1所示。

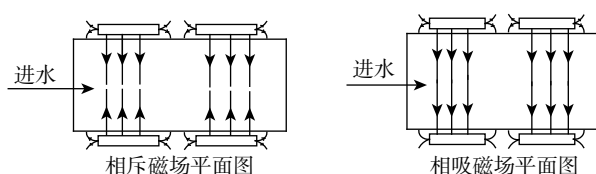


图1 磁场效果平面图

Fig.1 Plane map of the magnetic field effect

处理废水为桐乡市某榨菜有限公司的生产废水,废水的化学需氧量COD为63 100 mg/L,含盐量为15%。

1.3 实验方法

在相同条件下,相比于传统电处理废水方法,外加相斥磁场的电磁协同方法具有更好的去除效果。研究pH、电场强度、反应时间和磁场方向对处理效果的影响。将实验分成单因素实验和正交实验两大组。

a. 单因素实验。采用桐乡市某榨菜有限公司的生产废水,投加 Fe^{2+} ,将电流、pH、反应时间和磁场方向这4个实验因素组成7个单因素实验组。

b. 正交试验。采用桐乡市某榨菜有限公司的生产废水,投加 Fe^{2+} ,将电流、pH、反应时间和磁场方向这4个实验因素组成9个正交试验组,如表1所示。进行电磁协同处理高盐高有机物污水实验。

1.4 水质分析指标及方法

每组实验所得样品都进行COD、氨氮含量、总溶解固体TDS(total dissolved solids)和总有机碳TOC(total organic carbon)的测量。

废水COD采用国标GB/T 11914—89化学需

氧量测定, 废水氨氮含量采用纳氏试剂分光光度计法测量, 废水 TDS 采用 BECSCAN 系列防水笔型多参数 TDS 计测定, 废水 TOC 采用 analytik jena TOC 测定仪测定。

表 1 正交试验列表
Tab.1 Orthogonal test list

序号	电流/A	pH	反应时间/min	磁场方向
1	6	4	30	相吸
2	6	6	60	相斥
3	6	8	120	无
4	9	4	60	无
5	9	6	120	相吸
6	9	8	30	相斥
7	12	4	120	相斥
8	12	6	30	无
9	12	18	60	相吸

2 实验数据统计及分析

2.1 pH 对 COD 和氨氮去除率的影响

由图 2 和图 3 可以看出, 在相同的电流下, pH 越接近中性, 在相同反应时间里 COD 的去除效果越好; 然而, pH 越接近 8, 在相同的反应时间里氨氮的去除效果越好。因此, 为了能同时有效去除 COD 和氨氮的含量, 可以在中性条件下处理。

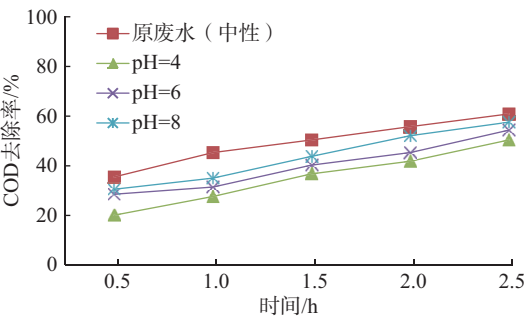


图 2 pH 对 COD 去除率的影响 (电流 6 A)
Fig.2 Effect of pH on the removal rate of COD (current 6 A)

2.2 电流密度和时间对 COD 和氨氮去除率的影响

由图 4 和图 5 可以看出, 电流大小和反应时间对处理效果影响较大。COD 和氨氮的去除率都随着电流的增大而增大。对于废水中的 COD 含量, 在 2.5 h 内, 反应时间越长, 去除率越高。对于废水中的氨氮含量, 在 2 h 之内, 去除率随着反应时间的增加而增大, 而去除速率随反应时间的

增加而降低。2 h 以后, 由于水中的氨氮含量很低, 使得电解的去除速率也降到很低, 此时继续电解对氨氮的去除效果不明显。

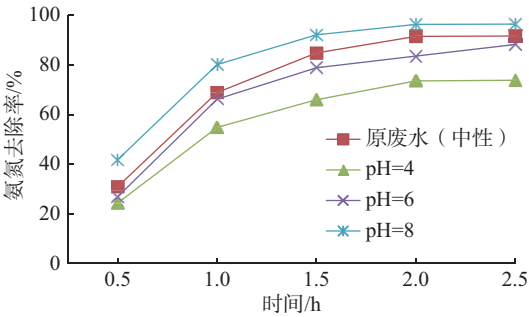


图 3 pH 对氨氮去除率的影响 (电流 6 A)
Fig.3 Effect of pH on the removal rate of ammonia nitrogen (current 6 A)

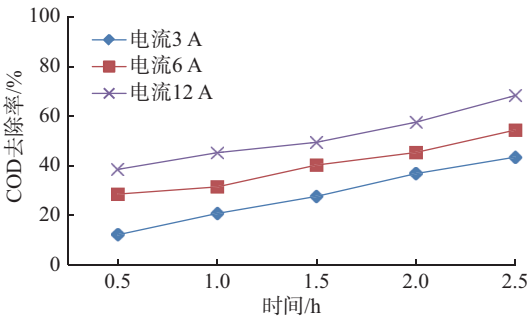


图 4 电流大小对 COD 去除率的影响 (pH 中性)
Fig.4 Effect of current size on the COD removal rate (pH neutral)

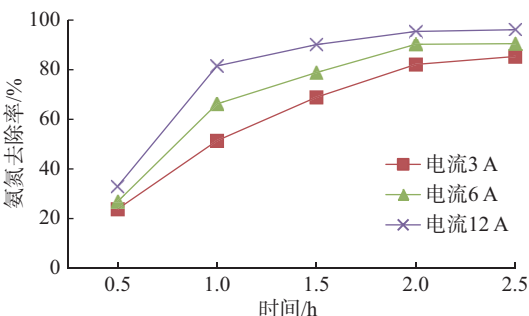


图 5 电流大小对氨氮去除率的影响 (pH 中性)
Fig.5 Effect of current size on the removal rate of ammonia nitrogen (pH neutral)

2.3 正交试验中电流、pH、反应时间和磁场方向的影响分析

电流因素 1, 2, 3 分别对应 6, 9, 12 A, pH 因素 1, 2, 3 分别对应 4, 6, 8, 反应时间因素 1, 2, 3 分别对应 30, 60, 120 min, 磁场方向因素 1, 2, 3 分别对应相吸、相斥、无。

从表 2(见下页)可以看出, 在 4 个因素中, 首先, 反应时间对 COD 去除率影响最大, 时间越长, 去除率越高; 其次, 磁场方向, 在磁场方向

为相斥时, COD 的去除效果更好; 再次, 电流大小, 电流越大, 相同时间里 COD 去除率越高; 其次, pH, pH 越接近中性, 相同时间里 COD 去除率越高。在相同条件下, 磁场方向为相斥比无磁场的 COD 去除效果提高了约 20%。

表 2 正交试验 COD 去除率条件直观分析

Tab.2 Intuitionistic analysis of the condition of the COD removal rate in orthogonal tests

序号	电流/A	pH	反应时间/min	磁场方向
因素 1	51.653	50.953	47.733	54.690
因素 2	53.957	57.230	51.603	60.493
因素 3	59.220	56.647	65.493	49.647
极值	7.567	6.277	17.760	10.846

从表 3 可以看出, 对氨氮去除率影响由大到小分别为: 反应时间、电流大小、磁场方向、pH。反应时间、电流大小、磁场方向和 pH 对氨氮去除率的影响规律, 和对 COD 去除率的影响规律相同, 在相同条件下, 磁场方向为相斥比无磁场的氨氮去除效果提高了约 30%。

表 3 正交试验氨氮去除率条件直观分析

Tab.3 Intuitionistic analysis on the condition of the ammonia nitrogen removal rate in orthogonal tests

序号	电流/A	pH	反应时间/min	磁场方向
因素 1	60.997	64.020	43.790	86.333
因素 2	70.690	82.983	77.080	67.243
因素 3	87.797	72.480	98.613	65.907
极值	26.800	18.963	54.823	20.426

2.4 最优组合参数的确定

通过单因素实验和正交实验得出: 在磁场相斥、pH 为 7, 电流为 12 A、时间为 2 h 时, 去除率较高且运行成本较佳。相比于不外加磁场, 外加相斥磁场的 COD 和氨氮去除效果分别提高了约 20% 和 30%。

为了进一步了解电磁协同装置的经济性能, 需要从不同进水流量所对应的能耗数据变化来分析。电磁协同装置处理的水量越小, 污染物去除效率越高, 即电极表面和污水的接触时间越长, 处理效果越好, 但同时能耗也越大。由于磁场范围的限制, 电解槽的面积不宜过大, 以防磁场强度不足^[12]。

3 结 论

相比于普通电化学方法, 采用电磁协同方法

处理高盐高有机物腌制废水的 COD 和氨氮去除效果分别提高了约 20% 和 30%, 且电能的使用效率得到了提高, 进而降低了运行成本。磁场的加入不仅增加了有机物的去除效率, 而且可以使水磁化, 改变水的结构、硬度与黏度, 这相当于对进水进行了预处理。相比以往传统的电催化氧化处理废水方法, 电磁协同方法不仅降低了设备对进水的要求, 而且可以减少投加药剂的使用量以节约运行成本。对电磁协同处理方法的研究可以为实际工程设计和运行提供一定的理论依据。

电磁协同处理废水技术对进水有机物浓度、水量等要求低, 受进水水质影响波动小, 可应用于高盐高有机物废水, 应用范围广泛; 电磁协同装置操作管理简单、节省劳动力, 且可以避免由于人工加药不规范而引起的不良后果。但是, 由于磁场范围的限制, 电解槽不宜过大, 因此, 电磁协同处理技术适用于一些中小型的废水处理。

参考文献:

- [1] 陈银生, 张新胜, 戴迎春, 等. 电化学——21 世纪的绿色化学和热门学科[J]. 江苏化工, 2002, 30(3): 11-15.
- [2] 陈运轩, 卢寿慈. 高盐废水电化学处理试验研究[J]. 武汉钢铁学院学报, 1995(1): 7-13.
- [3] 司银平, 张震. 电化学催化氧化降解含酚废水的研究进展[J]. 化学研究, 2009, 20(4): 98-102.
- [4] 马伟, 萧锦, 郭丽燕. 磁场效应在水处理中的作用与研究[J]. 工业水处理, 1997, 17(6): 1-3.
- [5] 汪涛, 张典典, 王志强, 等. 磁场强化技术在污水处理中的研究进展[J]. 现代化工, 2017, 37(7): 29-31.
- [6] 陈平, 刘明伟, 任彦中, 等. 磁场技术在工业废水处理中的应用进展[J]. 当代化工, 2016, 45(9): 2207-2209.
- [7] 施国键, 乔俊莲, 郑广宏, 等. 电化学氧化处理生物难降解有机废水的研究进展[J]. 化工环保, 2009, 29(4): 326-330.
- [8] 李炳焕, 黄艳娥, 刘会媛. 电化学催化降解水中有机污染物的研究进展[J]. 环境工程学报, 2002, 3(2): 23-27.
- [9] 杨昌柱, 王敏, 濮文虹. 磁技术在废水处理中的应用[J]. 化工环保, 2004, 24(6): 412-415.
- [10] 杨英福. 磁场超声复合式电絮凝水处理技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [11] 梅建辉. 磁场协同交变脉冲电化学法处理印染废水的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [12] 杨怀杰, 李永水. 电化学氧化法处理高盐低 COD 污水研究[J]. 油气田环境保护, 2011, 21(6): 13-17.

(编辑: 石 瑛)