



三维电极-电 Fenton 处理毒死蜱废水研究

陈子杨¹, 黄 胜¹, 余 健²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621000;
2. 宜宾学院国际应用技术学部, 四川宜宾 644000)

[摘要] 有机磷农药的长期大量使用会造成土壤、水体等生态环境的污染,进而危害人类健康。作为有机磷农药的代表,毒死蜱使用后在水中的残留时间长、毒性大,被多个国家禁用,而在我国仍有使用。以球形铁碳粒子作为粒子电极,构建三维电极-电 Fenton 体系处理毒死蜱模拟废水,探讨不同操作条件对废水中 COD 和有机磷去除率的影响,采用正交试验探究各因素的影响程度。结果表明:与活性炭纤维、泡沫镍相比,不锈钢作为阴极材料时对废水中的 COD 和有机磷去除效果较好。以不锈钢为阴极,适量 Na_2SO_4 为电解质,在电流密度为 16 mA/cm^2 、极板间距为 5 cm 、铁碳粒子固液比为 600 g/L 、初始 pH 为 3、电解时间为 20 min 的条件下, COD 去除率达 93.7% , 有机磷去除率达 95.9% 。各因素对 COD 和有机磷去除率的贡献程度依次为初始 pH>铁碳固液比>曝气量>电流密度。

[关键词] 毒死蜱; 三维电极; 电 Fenton; 农药废水

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2022)04-0132-06

Study on treatment of chlorpyrifos wastewater by three-dimensional electrode- electro-Fenton process

CHEN Ziyang¹, HUANG Sheng¹, YU Jian²,

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China; 2. Department of International Applied Technology, Yibin University, Yibin 644000, China)

Abstract: The long-term use of organophosphorus pesticide in large quantities has caused the pollution of soil, water bodies and other ecological environment, endangering human health. As a representative of organophosphorus pesticides, chlorpyrifos has been banned in several countries because of its long residual time and high toxicity in water after use, while it is still used in China. A three-dimensional electrode-electro-Fenton system was constructed to treat chlorpyrifos simulated wastewater using spherical iron carbon as particle electrode. The effects of different operating factors on the removal rates of COD and organic phosphorus in the wastewater were investigated by orthogonal experiment. The results showed that stainless steel was more effective in removing COD and organic phosphorus from wastewater when used as cathode material compared with activated carbon fiber and nickel foam. Under the conditions of stainless steel as cathode, Na_2SO_4 as electrolyte, current density of 16 mA/cm^2 , plate spacing of 5 cm , solid-liquid ratio of iron-carbon particles of 600 g/L , initial pH of 3, and electrolysis time of 20 min , the COD removal rate reached 93.7% , and organic phosphorus removal rate reached 95.9% . The contribution of each factor to the COD and organic phosphorus removal followed in the order of initial pH>iron-carbon solid-liquid ratio>aeration rate>current density.

Key words: chlorpyrifos; three-dimensional electrode; electro-Fenton; pesticide wastewater

环境中的有机磷污染主要来源于农药的大量不科学使用,对人类和动物健康造成危害。毒死蜱是一种有机磷农药,具有残留时间长、毒性大的特点。研究无需投加化学药剂且高效清洁的毒死蜱处理方法值得深入探讨^[1]。传统的三维电极-电 Fenton 法

将粒子电极引入电 Fenton 体系中,同时进行电极产生 $\cdot\text{OH}$ 和 Fenton 法产生 $\cdot\text{OH}$ 的过程,通过协同效应提高对有机废水的处理效率^[2]。李亚峰等^[3]在三维电极电 Fenton 法对苯酚废水处理效果的试验研究中,以 3 mm 柱炭为粒子电极,通过投加 FeSO_4 和曝气

生成 H_2O_2 对含酚废水进行处理, COD 去除率可达 80% 以上, 但该方法仍需定量添加 Fe^{2+} 。李刚等^[4]以 Fe 为阳极、C 为阴极, 通过三维电极-电 Fenton 法处理硝基苯废水, 结果表明 Fe-C 极板的效果较好, 但 Fe 会有损耗。冯卓然等^[5]以泡沫镍和泡沫铁作粒子电极对焦化废水进行预处理, COD 去除率达 75.5%, 但出水颜色较深, 铁泥含量及泡沫铁的消耗较高。

铁碳颗粒用作三维电极的粒子电极时, 不仅可提供电极的活性位点, 形成 Fe^{2+} ^[6], 还具有不易板结流失、耐损耗等优点, 更稳定耐用^[7]。此外, 三维电极-铁碳微电解法的设备简单、管理方便、处理量大、无二次污染^[7]。笔者采用价廉耐用的球形铁碳填料, 通过阴极曝气生成 H_2O_2 , 无需外加 Fe^{2+} , 构建三维电极-电 Fenton 体系处理毒死蜱模拟废水, 考察了曝气量、电流密度、极板间距、初始 pH、电解时间、铁碳固液比等因素对模拟废水 COD、有机磷去除效果的影响, 通过正交试验分析各因素的影响程度, 得出最佳反应条件。

1 材料与方法

1.1 实验材料

毒死蜱模拟废水的配制: 取质量分数为 45% 的毒死蜱乳油稀释 1 000 倍制成模拟废水, COD 为 1 000~1 500 mg/L, 有机磷质量浓度为 35~40 mg/L。

硫酸、硫酸银、硫酸汞、过硫酸钾、抗坏血酸、钼酸铵、酒石酸锶钾、磷酸二氢钾, 均为分析纯, 成都科隆化学品有限公司; 重铬酸钾, 优级纯, 成都科龙化工试剂厂; 钨钨钛涂层电极、不锈钢电极, 宝鸡中钛金属材料有限公司。

1.2 实验方法

用 1 L 玻璃烧杯作为电解槽, 钨钨钛涂层电极(尺寸 140 mm×50 mm×1 mm)作阳极, 不锈钢作阴极, 极板面积比 1:1, 粒子电极选用 5~10 mm 球形铁碳粒子(炭尔诺催化技术有限公司)。实验装置如图 1 所示。

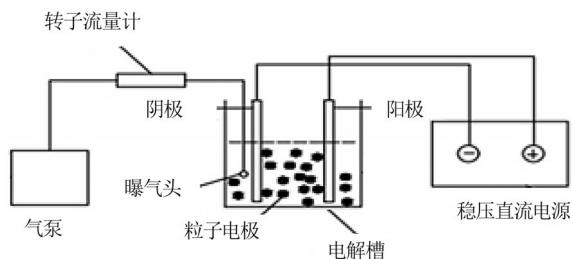


图1 电解装置

Fig. 1 Electrolysis device

球形铁碳粒子使用前置于 pH 为 1 的稀硫酸溶液中浸泡 2 h, 用蒸馏水冲洗干净, 刷掉表面灰分及氧化物后, 浸入模拟废水中 24 h, 以消除铁碳粒子吸附作用的干扰, 再次用蒸馏水冲洗, 置于 105 °C 干燥箱中烘干, 备用。取 700 mL 模拟废水置于电解槽中, 加入适量无水硫酸钠电解质, 接通电源开始计时。反应过程中定时取上清液, 测定 COD 和有机磷含量。

1.3 分析方法

采用快速消解分光光度计法(HJ/T 399—2007)测定 COD; 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989)测定总磷(TP)和无机磷, 二者差值即为有机磷含量; 采用 pH S-320 智能多功能酸度计(成都世纪方舟科技有限公司)测定 pH。

2 结果与讨论

2.1 极板材料选择

分别选用不锈钢、活性碳纤维、泡沫镍作为阴极材料, 在曝气量为 1.5 L/min、电流密度为 16 mA/cm²、极板间距为 5 cm、初始 pH 为 3、铁碳粒子为 600 g/L 的实验条件下, 对比不同极板材料的处理效果, 如图 2 所示。

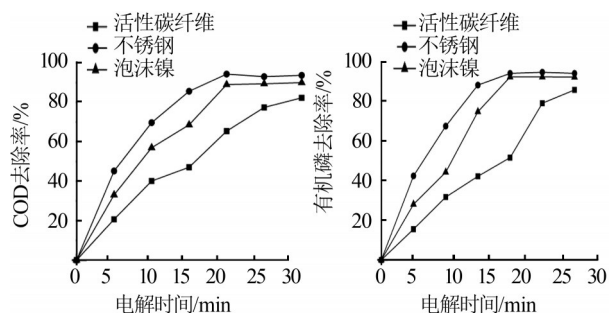


图2 极板材料对去除效果的影响

Fig. 2 Effect of plate material on removal efficiency

由图 2 可见, 相同条件下, 活性碳纤维、不锈钢、泡沫镍对 COD 的去除率分别为 82.3%、93.7%、90%, 有机磷去除率分别为 87.4%、95.9%、94%, 其中不锈钢的处理效果优于泡沫镍和活性碳纤维。分析原因可能在于不锈钢具有良好的析氢电位, 导电性和抗酸性强, 反应生成的 H_2O_2 较其他 2 种材料多, 易于发生 Fenton 反应。电解反应中要求电极材料结构不易变形, 在废水冲刷下保持很高的稳定性、耐腐蚀^[8]。而活性碳纤维在反应过程中有纤维脱落、极易变形的现象, 不适用于电解实验。综上, 选择

不锈钢作为实验阴极。

2.2 铁碳粒子投加量

在不锈钢为阴极、曝气量为 1.5 L/min、电流密度为 16 mA/cm²、极板间距为 5 cm、初始 pH 为 3 的条件下,改变铁碳粒子填充固液比(200、400、600、800、1 000 g/L),考察铁碳粒子投加量对废水处理效果的影响,结果见图 3。

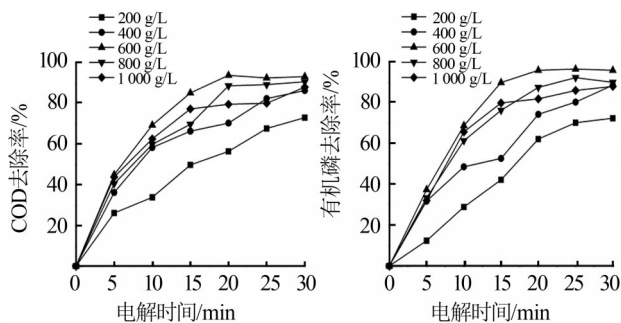


图3 铁碳粒子投加量对去除效果的影响

Fig. 3 Effect of iron to carbon particles dosage on removal efficiency

图3中,铁碳粒子投加量为 600 g/L 时 COD 和有机磷的去除率最佳,反应 25 min 后 COD 去除率稳定达到 93%~95%,有机磷去除率为 95%~97%。铁碳粒子量过少时,析出的 Fe²⁺ 较少,不足以推进 Fenton 反应进行;随着铁碳质量的增加,对废水中有机物的去除速率随之增加,但超过一定范围后去除率反而下降^[9],原因可能是:(1)体系中的 Fe²⁺ 超过一定浓度后会捕捉消耗 ·OH,阻碍反应进程^[3];(2)随着铁碳粒子的加入,工作电极数量增至一定值后短路电流增加,降低反应速率^[10]。因此,铁碳粒子投加量选择 600 g/L。

2.3 曝气量

在不锈钢为阴极、铁碳粒子投加量为 600 g/L、电流密度为 16 mA/cm²、极板间距为 5 cm、初始 pH 为 3 的条件下,设置曝气量为 0.5、1、1.5、2、2.5 L/min,考察曝气量对废水处理效果的影响,结果见图 4。

由图 4 可知,曝气量为 0.5 L/min、反应 30 min 时,COD 和有机磷的去除率达到 90% 以上;曝气量为 1.5 L/min,反应 20 min 时 COD 去除率即可达到 93%,有机磷去除率达到 95%;继续增大曝气量,COD 和有机磷的去除率无明显变化,甚至有下降趋势。分析原因认为,曝气量达到 1.5 L/min 时溶液中的溶解氧已相对稳定^[11],过量曝气可能使溶液中的 Fe²⁺ 变成 Fe³⁺,生成 Fe(OH)₃ 覆盖于铁碳粒子表面,

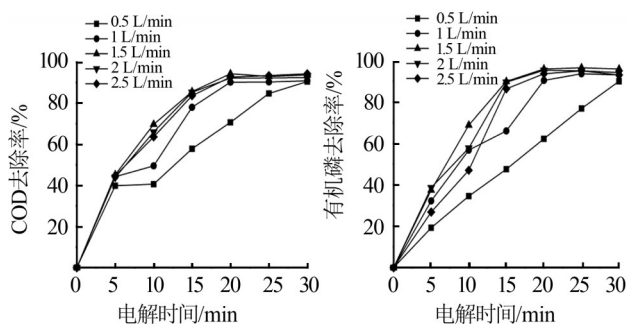


图4 曝气量对去除效果的影响

Fig. 4 Effect of aeration rate on removal efficiency

不利于有机物的氧化降解^[12]。

2.4 电流密度

在不锈钢为阴极、铁碳粒子投加量为 600 g/L、曝气量为 1.5 L/min、极板间距为 5 cm、初始 pH 为 3 的条件下,设置电流密度分别为 8、12、16、20、24 mA/cm²,考察电流密度对废水处理效果的影响,结果见图 5。

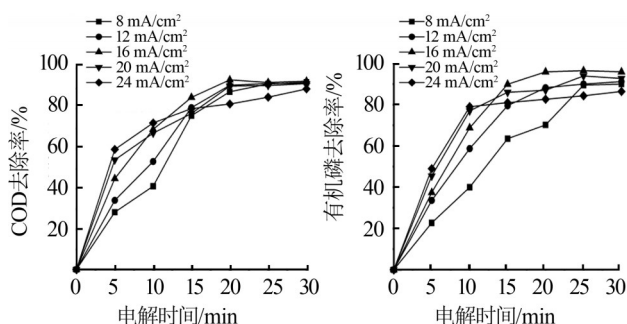


图5 电流密度对去除效果的影响

Fig. 5 Effect of current density on removal efficiency

图5中,电流密度升至 16 mA/cm² 时,COD 去除率最高达到 94.3%,有机磷去除率达到 96.5%。20 min 前,随着电流密度的增加,COD 与有机磷的去除率增加明显,20 min 后二者趋于稳定,超过 16 mA/cm² 后 COD、有机磷的去除率均呈下降趋势。电流密度能反映电子迁移速度,对电化学反应速度有直接影响^[13]。电流密度太小,电极与反应液电子传递速度慢,无法激发活性物质产生,影响反应速率;在一定范围内增大电流有利于 ·OH 产生^[14],但电流密度过大时电极极化现象加剧,发生副反应,反而降低电流效率,并增加电能消耗^[15]。

2.5 极板间距

在不锈钢为阴极、铁碳粒子投加量为 600 g/L、曝气量为 1.5 L/min、电流密度为 16 mA/cm²、初始 pH

为3的条件下,设置极板间距分别为3、4、5、6、7 cm,考察其对废水处理效果的影响。结果显示,极板间距为3 cm时,COD和有机磷的去除率相对较低;极板间距增至5 cm时 COD、有机磷的去除率提高,分别可达93%、95%;随着极板间距的继续增加,COD、有机磷去除率均呈下降趋势,可见间距过大或过小时去除效果均不好。

极板间距影响反应器中电阻的大小,进而影响反应器内电解能耗^[16]。极板间距过小时,电流增大,但溶液浓差极化严重,导致电流效率降低,而此时三维电解体系形成的微电池数量较少,影响 COD 和有机磷的去除效果^[17]。随着极板间距的逐渐加大,电解体系形成的微电池数量增多,去除率明显提高。极板间距过大时,电解槽内虽形成大量微电池,但因传质距离远而导致电阻增大,部分电能浪费在发热和析氧副反应中^[18]。

2.6 初始 pH

在不锈钢为阴极、铁碳粒子投加量为 600 g/L、曝气量为 1.5 L/min、电流密度为 16 mA/cm²、极板间距为 5 cm 的条件下,设置初始 pH 分别为 1、3、5、7、9,考察其对废水处理效果的影响,结果见图 6。

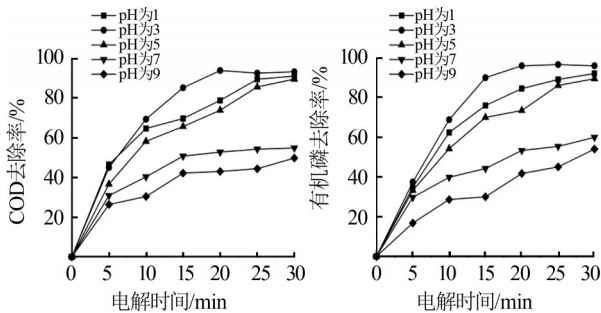


图 6 初始 pH 对去除效果的影响
Fig. 6 Effect of initial pH on removal efficiency

由图 6 可见,pH 对整个反应体系的影响较大。总体而言,pH 呈酸性时废水处理效果较好,COD 和有机磷的去除率均稳定在 90% 以上,其中 pH 为 3 时去除效果最佳;pH 呈中性或碱性时处理效果明显下降。原因可能在于,酸性条件不仅有利于粒子表面 Fe²⁺的生成,还可促进 H₂O₂生成并抑制 H₂O₂的还原,有利于 Fenton 反应发生^[19]。pH 过低时阴极的析氢副反应加剧,H₂O₂产率下降^[20];pH 较高时,Fe³⁺生成氢氧化物絮状体附着在粒子电极表面,影响电催化氧化效果^[21]。

2.7 正交试验结果

固定电解时间为 20 min、极板间距为 5 cm,以初始 pH、曝气量、电流密度、铁碳固液比为变量设计 4 因素 3 水平正交试验[L₉(3⁴)]并进行分析。正交试验因素水平与结果如表 1、表 2 所示。

表 1 因素水平

Table 1 Factor and level of orthogonal experiment				
项目	曝气量(A)/ (L·min ⁻¹)	铁碳固液比(B)/ (g·L ⁻¹)	初始 pH (C)	电流密度(D)/ (mA·cm ⁻²)
1	1	400	1	12
2	1.5	600	3	16
3	2	800	5	20

表 2 试验结果分析

Table 2 Analysis of experimental results						
项目	A	B	C	D	COD 去除率 (α)/%	有机磷去除率 (β)/%
1	12	1	400	1	55.8	47
2	12	1.5	600	3	92.4	90.1
3	12	2	800	5	69.1	65.4
4	16	1	600	5	68.7	65.9
5	16	1.5	800	1	80.1	74.7
6	16	2	400	3	78	74.3
7	20	1	800	3	83	78.9
8	20	1.5	400	5	59.7	54
9	20	2	600	1	76.2	70.7
K _{α1}	217.3	207.5	193.5	212.1		
K _{α2}	226.8	232.2	237.3	253.4		
K _{α3}	218.9	223.3	232.2	197.5		
R _α	3.17	8.23	14.6	18.63		
K _{β1}	202.5	191.8	175.3	192.4		
K _{β2}	214.9	218.8	226.7	243.3		
K _{β3}	203.6	210.4	219	185.3		
R _β	4.13	9	17.13	19.3		

根据表 2 结果可知,各因素对 COD 和有机磷去除率的影响大小顺序均为 DCBA,即初始 pH>铁碳固液比>曝气量>电流密度。根据数理分析结果可得最优试验条件:曝气量 1.5 L/min,电流密度 16 mA/cm²,pH 为 3,铁碳固液比 600 g/L,与单因素实验结果一致。

2.8 反应动力学初探

将电流密度为 16 mA/cm²、极板间距 5 cm、固液比 600 g/L、初始 pH 为 3 条件下得到的 COD 和有机磷在不同时间的降解实验数据按一级反应动力学方程 ln(C₀-C_t)=kt 进行拟合,得到其拟合曲线。其中 COD 降解动力学方程为 y=0.141 5x-0.093 6,反应速率常数为 0.141 5 min⁻¹,拟合系数为 0.990 4;有机磷降解动力学方程为 y=0.162 6x-0.150 3,反应速率常

数为 $0.162\ 6\ \text{min}^{-1}$, 拟合系数为 $0.990\ 7$ 。可见三维电极-电 Fenton 体系对毒死蜱废水中 COD 和有机磷的降解过程均符合 Langmuir-Hinshelwood 一级反应动力学规律。

3 结论

(1) 用活性碳纤维、不锈钢、泡沫镍分别作为阴极材料, 通过三维电极-电 Fenton 体系对毒死蜱模拟废水进行处理, 结果显示不锈钢的处理效果优于活性碳纤维和泡沫镍。反应 $20\ \text{min}$ 时不锈钢对 COD 的去除率高于活性碳纤维、泡沫镍的去除率, 对有机磷的去除率高于活性碳纤维, 与泡沫镍相近, 综合考虑选择不锈钢作为阴极。

(2) 三维电极-电 Fenton 体系的最佳实验条件: 不锈钢为阴极、电流密度 $16\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 、极板间距 $5\ \text{cm}$ 、铁碳粒子固液比 $600\ \text{g}/\text{L}$ 、初始 pH 为 3、电解时间 $20\ \text{min}$ 。在此条件下 COD 去除率可达 93.7% , 有机磷去除率达 95.9% 。通过正交试验可知, 采用三维电极-电 Fenton 体系处理毒死蜱模拟废水, 各因素对 COD 和有机磷去除率的影响程度依次为初始 pH > 铁碳粒子固液比 > 曝气量 > 电流密度。

(3) 在最佳实验条件下进行初步反应动力学研究, 结果表明, 该体系对毒死蜱模拟废水 COD 和有机磷的降解过程符合 Langmuir-Hinshelwood 一级反应动力学规律。

参考文献

- [1] 王臻. 电催化-电絮凝降解毒死蜱废水的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
WANG Can. Research on the treatment of chlorpyrifos wastewater by electro-catalysis & electric flocculation [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016.
- [2] 孙浩. 三维电极-电 Fenton 法处理酚醛模拟废水实验研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2012.
SUN Hao. Experimental study on phenol and formaldehyde wastewater by three-dimensional electrode-electro-Fenton method [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2012.
- [3] 李亚峰, 张策, 单连斌, 等. 三维电极电 Fenton 法对苯酚废水处理效果实验研究[J]. 环境工程, 2020, 38(9): 1-5.
LI Yafeng, ZHANG Ce, SHAN Lianbin, et al. Experimental study on treatment of phenol wastewater by three-dimensional electrode Fenton method [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(9): 1-5.
- [4] 李刚, 于佳辉, 陈巍. 不同电极下三维电极电-Fenton 法处理硝基苯废水的试验研究[J]. 建筑与预算, 2019(6): 88-92.
- LI Gang, YU Jiahui, CHEN Wei. Experimental study on the treatment of nitrobenzene wastewater by three-dimensional electrode electro-Fenton method under different electrodes [J]. Construction and Budget, 2019(6): 88-92.
- [5] 冯卓然, 程平统, 窦波林, 等. 泡沫镍三维电极电芬顿法预处理焦化废水效能研究[J]. 给水排水, 2020, 56(S2): 114-119.
FENG Zhuoran, CHENG Pingtong, DOU Bolin, et al. Study on pretreatment of coking wastewater by three-dimensional electrode-Fenton with foam-nickel-electrode [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(S2): 114-119.
- [6] WANG Zhaoyang, QI Jingyao, FENG Yan, et al. Fabrication and electrocatalytic performance of a novel particle electrode [J]. Catalysis Communications, 2014, 46: 165-168.
- [7] 杨怡. 三维电极耦合铁碳微电解处理高浓度难降解有机废水[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
YANG Yi. The research on the treatment of concentrated and hard-decompose organic wastewater by three-dimensional electrode coupling iron-carbon micro electrolysis [D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.
- [8] 汤培伟. 三维电极法处理含氮尾水的实验研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
TANG Peiwei. Experimental research on removal of nitrogen-containing wastewater by three-dimensional electrode process [D]. Guangzhou: Jinan University, 2020.
- [9] 刘济嘉. 三维电极-电芬顿耦合法处理石油采出水的试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
LIU Jijia. Research on the treatment of oil produced water by three dimensional electrode-electric Fenton coupling method [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.
- [10] 孙玲芳, 喻泽斌, 陈颖, 等. 矿化垃圾床+三维电极/电 Fenton 法处理老龄垃圾渗滤液[J]. 环境工程学报, 2013, 7(10): 3972-3978.
SUN Lingfang, YU Zebin, CHEN Ying, et al. Treatment of aged-landfill leachate by aged-refuse-based bioreactor and three dimensional electrode electro-Fenton process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(10): 3972-3978.
- [11] 盛怡. 复极性负载型三维粒子电极降解苯酚废水的研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
SHENG Yi. The study on the degradation of aqueous phenol by supported bipolar three-dimension particle electrodes [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.
- [12] 于晓明子. 三维电极电-Fenton 法处理苯胺废水的试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
YU Xiaomingzi. Experimental study on aniline wastewater treatment by three-dimensional electrode electro-Fenton [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2019.
- [13] 李晓慧. 钢渣粒子三维电极电芬顿法降解染料的试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
LI Xiaohui. Experimental study on degradation of dye by steel slag

- particles three-dimensional electro-Fenton method [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2020.
- [14] 余婕,马红竹,何文妍,等. 三维电极体系对SDBS模拟生活污水的电催化降解[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(10): 126-130.
- YU Jie, MA Hongzhu, HE Wenyan, et al. Electrocatalytic degradation of SDBS surfactants in simulated domestic sewage with three-dimensional electrode system [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(10): 126-130.
- [15] WEI Lingyong, GUO Shaohui, YAN Guangxu, et al. Electrochemical pretreatment of heavy oil refinery wastewater using a three-dimensional electrode reactor [J]. Electrochimica Acta, 2010, 55(28): 8615-8620.
- [16] 班福忱. 三维电极-Fenton试剂法处理苯酚废水的试验研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- BAN Fuchen. Study on the treatment of phenol wastewater by three-dimensional electrode-Fenton reagent method [D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.
- [17] WANG Liqun, YANG Qi, WANG Dongbo, et al. Advanced landfill leachate treatment using iron-carbon microelectrolysis-Fenton process: Process optimization and column experiments [J]. Journal of Hazardous Materials, 2016, 318: 460-467.
- [18] 姜智超, 杨国超, 刘孟. 电化学氧化法处理四氧化三锰生产废水中的氨氮[J]. 工业水处理, 2020, 40(3): 23-26.
- JIANG Zhichao, YANG Guochao, LIU Meng. Electrochemical oxidation treatment of ammonia nitrogen wastewater from Mn_3O_4 production process [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(3): 23-26.
- [19] 徐斌, 张书陵, 高月香, 等. 石墨烯三维电极-电Fenton系统降解甲基橙[J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4385-4394.
- XU Bin, ZHANG Shuling, GAO Yuexiang, et al. Degradation of methyl orange by graphene three-dimensional electrode-electro-Fenton system [J]. China Environmental Science, 2020, 40(10): 4385-4394.
- [20] 唐聪, 陈泉源, 吕璠璠, 等. 三维电极电Fenton氧化法处理染料废水[J]. 化工环保, 2019, 39(1): 28-33.
- TANG Cong, CHEN Quanyuan, LÜ Fanfan, et al. Treatment of dye wastewater by electro-Fenton oxidation process with three-dimensional electrode [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2019, 39(1): 28-33.
- [21] THIRUGNANASAMBANDHAM K, SIVAKUMAR V, MARAN J P. Response surface modelling and optimization of treatment of meat industry wastewater using electrochemical treatment method [J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2015, 46: 160-167.
- [作者简介] 陈子杨(1997—), 硕士。电话: 18981183479, E-mail: 954477499@qq.com。通讯作者: 黄胜, 博士, 副教授。电话 13890160587, E-mail: 310702031@qq.com。
- [收稿日期] 2022-03-08(修改稿)

• 国内外水处理技术信息 •

一种焦化蒸氨废水的处理方法及所用非均相芬顿催化剂——张传兵, 郭丽娟, 王慧芳, 等. CN 114177934A

本发明提供了一种焦化蒸氨废水的处理方法及所用非均相芬顿催化剂, 所述催化剂的制备方法包括如下步骤: (1) 将磷酸氢二钾改性沸石浸入金属盐溶液中, 搅拌 1~2 h 后形成混合液; (2) 混合液在常温静置 18~36 h, 完成浸渍; (3) 100~120 °C 下烘干, 在氮气保护条件下 300~450 °C 煅烧 3~5 h, 冷却至室温。本发明的催化剂催化活

性高、反应速率快、产泥量低, 并且, 沸石载体通过磷酸氢二钾的改性, 具备更好的稳定性和循环性能。另外, 本发明提供的焦化蒸氨废水的处理方法, 依靠同时进行的均相和非均相芬顿反应的协同作用, 去除废水中难以生物降解的有机物, 提高废水的可生化性。