

## 化学

# 新型材料 LiFePO<sub>4</sub> 三维电极处理苯酚废水

卢思名 李天任 李敬伟 张龄月 郭新 李专 刘梦 刘森\*

(吉林大学环境与资源学院环境科学系,长春 130012)

**摘要** 介绍了一种处理苯酚废水的新方法,LiFePO<sub>4</sub>作为三维电极处理实际含酚废水,跟单独用二维电极处理实际含酚废水的效率进行比较。通过表征性实验,结果表明,LiFePO<sub>4</sub>作为三维电极,处理 75 min,三维电极法处理效率为 75.05%,二维电极法为 65.6%,平均比二维电极高出 10%,处理效率有所提高。

**关键词** 磷酸锂铁 三维电极 苯酚

中图法分类号 O657.1; 文献标志码 A

磷酸锂铁是新能源电池的一种充电材料,因为 LiFePO<sub>4</sub>其原料来源广泛、价格便宜(约为钴酸锂的 1/5)、无毒、对环境友好、无吸湿性<sup>[1]</sup>,是一种新兴的极具潜力的锂离子电池正极材料<sup>[2]</sup>,但是由于其低电导率,低电流限制了其大规模的应用,然而三维电极可以增大电导率,增大传质面积,所以把磷酸锂铁进行处理,使其变成三维电极正好弥补了它自身的缺点。探究它作为三维电极处理含酚废水效率,与二维电极做对比,为处理苯酚废水提供了新的思路。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

恒温水浴锅(上海仪器仪表公司)、电子万用炉(北京光明医疗仪器厂)、电极钛板(沈阳长江钛设备厂)、HS6150D 型超声波清洗器(天津市恒奥科技发展有限公司)、磁力加热搅拌器(常州国华电器有限公司)、SX2-4—10 型箱式电阻炉(沪南电路烘箱厂)、磷酸锂铁、乙酸纤维素(国药集团化学试剂有限公司)、TDGC2 型交流接触式调压器、Unico7200 型分光光度计(上海尤尼克仪器有限公司)、红外线快速干燥器(上海跃进医疗器械厂)、WYJ—6020 型直流电源(杭州苹果仪器仪表有限公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 三维电极的制备

对磷酸锂铁粉末进行涂层处理。

2015 年 6 月 11 日收到

第一作者简介:卢思名(1990—),男,汉族,硕士研究生。研究方向:应用电极处理废水。

\*通信作者简介:刘森(1963—),男,汉族,教授,博士生导师。研究方向:环境化学。E-mail: liumiao@jlu.edu.cn。

(1)称量 5 g 醋酸纤维素溶解在 100 mL 的丙酮中,将混合物用磁力搅拌器搅拌,直到纤维素乙酸酯完全溶解在丙酮溶液中<sup>[3]</sup>,然后称取 3 g 磷酸锂铁粉末,投入到溶解完的丙酮溶液中,浸泡 30 min,使醋酸纤维素膜均匀地涂在磷酸锂铁表面上。

(2)附着承载相。用两种方法对磷酸锂铁进行富集。一是通过蒸发丙酮溶液,取剩下的附着在烧杯底部的块状固体,通过碾碎,使其形成粒状的表面带白色光泽的磷酸锂铁颗粒。二是通过涂层的方式,把溶解完的溶液涂抹在纱网上,晾干,再重复涂抹,晾干,重复 20 次,最后得到表面带白色光泽的含磷酸锂铁的纱网,接着把纱网尽量剪碎,形成小正方形,注意不要太碎,防止粉末掉落。

#### 1.2.2 Ti/PbO<sub>2</sub> 电极的制备

根据刘屹、刘森等人<sup>[4,5]</sup>的方法制备 Ti/PbO<sub>2</sub> 电极。

#### 1.2.3 试验方法

(1)取一定质量浓度的苯酚水样 250 mL 放入自制三维电解槽中,投入 1 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为电解质,调节电解电流恒定在 0.4 A,Ti/PbO<sub>2</sub> 作为阳极,石墨作为阴极,极板间距为 1 cm,投入小正方形纱网,用磁力搅拌器搅拌,每隔 15 min 取一次水样测定苯酚浓度。

(2)取一定质量浓度的苯酚水样 250 mL 放入自制的二维电解槽和三维电解槽中(唯一不同是三维电解槽投加三维粒子电极),投入 1 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为电解质,调节电解电流恒定在 0.4 A,Ti/PbO<sub>2</sub> 作为阳极,石墨作为阴极,极板间距为 1 cm,电解过程用磁力搅拌器搅拌,每隔 15 min 取含酚水样进行测样对比分析。

#### 1.2.4 测定方法

用 4-氨基安替比林直接分光光度法<sup>[6]</sup>测定

苯酚浓度。

## 2 结果和讨论

### 2.1 磷酸锂铁对含酚废水的吸附特性研究

如图 1 所示,可以认为磷酸锂铁自身对苯酚没有吸附能力。

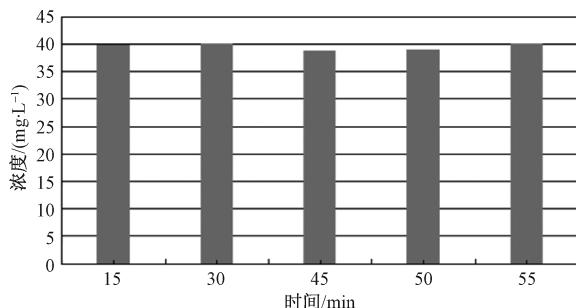


图 1 不同时间磷酸锂铁吸附苯酚的含量变化曲线

Fig. 1 Lithium iron phosphate adsorption of phenol content in different time change curve

### 2.2 二维电极与磷酸锂铁颗粒状三维电极对实际含酚废水的对比分析

如图 2 所示,在 1 h 内,颗粒状磷酸锂铁三维电极处理苯酚的效率比二维电极的高,处理效率是慢慢增大,相差最大的时候发生在 1 h,但是处理效率增大的不明显,1 h 以后,颗粒状三维电极的处理效率开始下降,慢慢不如二维电极的处理效率,这是因为颗粒状的磷酸锂铁三维电极在磁力搅拌器的搅拌下慢慢分解,又变成了粉末状,处理的效率有所下降。

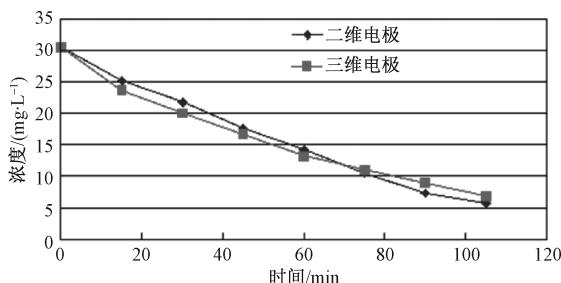


图 2 不同电极苯酚浓度随时间的变化曲线

Fig. 2 Different electrode Phenol concentration along with the change of time curve

### 2.3 二维电极与磷酸锂铁纱网状三维电极对实际含酚废水的对比分析

如图 3 所示,随着时间变化,二维电极与三维电极的苯酚去除率都在增加,三维电极比二维电极增加明显,在 75 min 内,三维电极的去除率平均比二维电极高出 10 个百分点以上,处理效果优于二维电极。

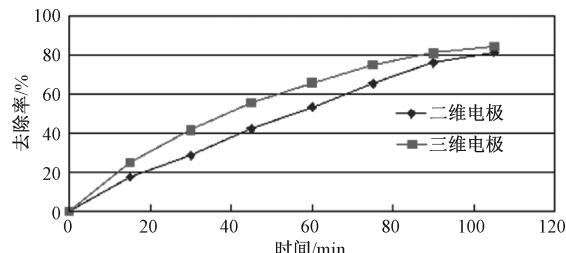


图 3 不同电极苯酚浓度随时间的变化曲线

Fig. 3 Different electrode Phenol concentration along with the change of time curve

## 3 结论

(1) 磷酸锂铁经过涂层处理,能稳定附着在纱网上,在相同的条件下,磷酸锂铁三维电极法对苯酚的去除率比二维电极法对苯酚的去除率高出 10% 以上。

(2) 通过表征性实验证明,磷酸锂铁三维电极法处理效果都比传统二维电极法效果显著。粒子电极在其中主要起到了缩短传质距离,增大电极面积的作用,这是提高苯酚去除率的重要途径。

(3) 用磷酸锂铁纱网状粒子电极比粒状磷酸铁锂电极的处理效率要高。

## 参 考 文 献

- 唐致远,邱瑞玲,腾国鹏,等. 锂离子电池正极材料 LiFePO<sub>4</sub> 的研究进展. 化工进展,2008;27(1):995—1000  
Tang Zhiyuan, Qiu Ruiling, Teng peng, et al. Research progress of LiFePO<sub>4</sub> cathode material for lithium ion batteries. Journal of Chemical in Dustry Development, 2008; 27 ( 1 ) : 995—1000
- 唐开枚,陈立宝,林晓园,等. 锂离子电池正极材料纳米 LiFePO<sub>4</sub>. 微纳电子技术,2009;46(2):84—90  
Tang Kaimei, Chen Libao, Lin Xiaoyuan, et al. Nano-sized LiFePO<sub>4</sub> as anode material in lithium ion battery. Journal of Micro-nano Electronic Technology, 2009;46—48 ( 2 ) : 84—90
- 程琳,李亚峰,班福忱,等. 三维电极法处理苯酚废水的试验研究. 化工技术与开发,2009;38(7):46—49  
Cheng Lin, Li Yafeng, Ban Fuchen, et al. Research of using three dimensioal electrode treat Phenol wastewater. Chemical Technology and Development, 2009;38 ( 7 ) : 46—49
- 刘屹,于萌,刘昊,等. 碳纳米管修饰石墨电极处理硝基苯废水. 科学技术与工程,2014;14(18):140—142  
Liu Yi, Yu Meng, Liu Hao, et al. Liu Miao carbon nanotube modified graphite electrode nitrobenzene wastewater treatment. Science Technology and Engineering, 2014,14 ( 18 ) : 140—142
- 刘淼,王丽,吴迪,等. 不同涂层的二氧化铅电极催化性能的比较. 吉林大学学报(地球科学版),2006;(Z1):133—137  
Liu Miao, Wang Li, Wu Di, et al. Lead dioxide money into the comparative performance of different electrode catalyst coatings. Journal of Jilin University ( Earth Science Edition ), 2006; ( Z1 ) :133—137

(下转第 101 页)

- the pathological electrocardiograph signals. Beijing Biological Medical Engineering, 2012;31(5):474—477
- 16 邹 鸣,高 庸,等.脑电信号的多重分形去趋势波动分析.北京生物医学工程, 2013;32(3):226—229
- Zou M, Gao Y, Wang X M, et al. Multifractal detrended fluctuation analysis on electroencephalography. Beijing Biological Medical Engineering, 2013;32(3):226—229

## Multifractal Detrended Fluctuation Analysis upon Modulation of Non-classical Receptive Field in Rat's Primary Visual Cortex

HU Yue<sup>1</sup>, LIU Xiao-fang<sup>1</sup>, ZHU Yan-wen<sup>2</sup>

(School of Electrical and Information Engineering of Henan University of Urban Construction<sup>1</sup>, Pingdingshan 467000, P. R. China;

School of Electrical Engineering of Zhengzhou University<sup>2</sup>, Zhengzhou 450001, P. R. China)

**[Abstract]** The surrounding modulation of neurons by non-classical receptive field (nCRF) in primary visual cortex (V1) is hypothesized to be the basis of visual feature integration and figure-ground segregation. Multifractal detrended fluctuation analysis method was used to analyze the nonlinear dynamic characteristics of neuronal response under the modulation of nCRF, as well as the relationship between multifractal characteristics of neuronal response with their inhibition strengths modulated by nCRF. The results showed that the neuronal response to different visual stimuli presented multifractal. The width of multifractal singular spectrums  $\Delta\alpha$  could discriminate different modulation conditions effectively, and was also positively correlated with the inhibition strengths of nCRF. Those results suggested that the modulation of nCRF produced much complex response, which helped to carry more information.

**[Key words]** non-classical receptive field primary visual cortex multifractal characteristics detrended fluctuation

(上接第 96 页)

- 6 杨昌柱,崔艳萍,黄 健,等. 三维电极反应器氧化降解苯酚. 化工进展, 2006;25(5):551—556

Yang Changzhu, Cui Yanping, Huang Jian, et al. Three dimensional

electrode reactor oxidating and degrading Phenol wastewater. Chemical Progress, 2006;25(5):551—556

## The New Application of LiFePO<sub>4</sub> Three-dimensional Electrode that Processing the Phenol Wastewater

LU Si-ming, LI Tian-ren, LI Jing-wei, ZHANG Ling-yue, GUO Xin, LI Zhuan, LIU Meng, LIU Miao\*

(School of Environmental Science and Resource, Jilin University, Changchun 130012, P. R. China)

**[Abstract]** a new method was introduced to improve the removal rate of phenol wastewater. LiFePO<sub>4</sub> as three-dimensional electrode, comparing with the removal rate of phenol wastewater, while processing the phenol wastewater. The results showed that using the LiFePO<sub>4</sub> three-dimensional electrode removing the phenol wastewater, the removal rate of phenol wastewater is higher 10 percent than using the two-dimensional electrode in the 75 minutes.

**[Key words]** Lithium iron phosphate three-dimensional electrode phenol wastewater