

三维电极体系中粒子间的相互影响

汤亚飞¹,尹 蕾^{1*},鲍仁冬²,蔡俊雄³

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074;

2. 中钢集团武汉安全环保研究院,湖北 武汉 430081;

3. 湖北省环境科学研究院,湖北 武汉 430072)

摘 要:为研究多粒子间的相互关系,使研究中的粒子状态更加接近实际体系,实验将多个模拟粒子以串联方式放置在电解槽主极板垂直方向上,分别测定了1~3个1 cm粒子、1 cm粒子+1~3 cm粒子时各粒子的粒子电流和虚拟槽电压。结果表明:在主极板电压相同时,随模拟粒子数量的增加,粒子的电流和两端虚拟槽电压明显减小,粒子之间相互影响较大;充填粒子的加入会减弱原模拟粒子的电化学反应速率,且加入的粒子越大,对原粒子的影响越大;随着粒子粒径的增大,粒子两端虚拟槽电压随之增大,粒子电流也增大,不同大小的粒子串联加入电解槽装置中时,各粒子电流并非等效串联关系。在电化学反应器中,粒子之间受数量、大小、间距等影响明显,粒子充填量存在一个最佳填充比。

关键词:粒子电流;相互影响;三维电极

中图分类号:TQ150.1

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.02.004

0 引言

三维电极在废水处理效率及效果研究方面前人已做了很多工作。与二维电极相比,三维电极电流效率高、处理效果好^[1],已应用于酚水预处理^[2-4]、染料纺织废水^[5-7]等难处理有机废水中。三维电极在宏观上关于废水处理的报道很多^[8-10],但是对于粒子实际的工作状态、工作机理等微观方面的研究报道则相对较少。周定等^[11]提出了复极性三维电极体系的电流模型,认为三维电极体系中在主极板电极产生的电场作用下,充填粒子之间为串联关系,充填粒子群犹如无数个电解槽串联后发生反应,使其处理效率成倍提高,首次提出可用模拟粒子测定粒子电流的方法,但未报道测量结果。罗劭^[12]、鲍仁冬等^[13]用两块小钛电极模拟粒子电极,测定了模拟粒子电流,研究了三维电极粒子电流的测定方法及填充粒子的工作机理。

目前关于三维电极粒子工作状态的研究仅仅停留在单个粒子电极上,为了使研究中的粒子状态更加接近实际体系,本文采用多个模拟粒子电极研究粒子间的相互影响,初步探讨工作机理。

1 实验

本文中实验装置及模拟粒子的制作与文

献[12、13]相同,其中电解槽的尺寸为17.5 cm × 8.5 cm × 9 cm,主极板的尺寸为16.5 cm × 8.3 cm,电解槽装置如图1所示,多个粒子在电解槽主极板垂直方向上以串联方式放置,模拟粒子的固定如图2所示。通过控制模拟粒子两极板间距来改变粒子大小,电解质溶液采用0.01 mol/L的硫酸钠溶液,采用VC97数字式测定仪来测定粒子电流及虚拟槽电压。模拟粒子在发生电化学反应的时候,其两端电势差为其电解提供动力,该动力即为该模拟电解槽的虚拟槽电压。虚拟电解槽在发生电解反应,内部产生电荷移动形成电流,即粒子电流。

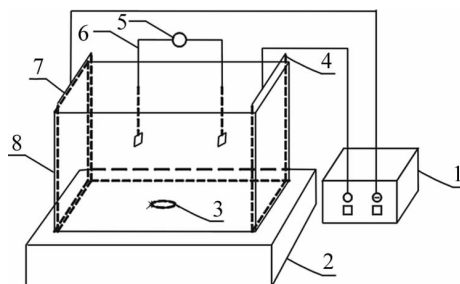


图1 实验装置示意图

Fig.1 Experimental setup

2 结果及讨论

2.1 粒子数量的影响

固定粒子大小为1 cm,分别进行1个、2个和

收稿日期:2013-11-21

基金项目:2008年度湖北省研究与开发项目(2008BCD202)

作者简介:汤亚飞(1964-),男,湖北黄梅人,教授,博士,硕士研究生导师。研究方向:环境工程。*通信联系人

3 个粒子的实验,测得不同主极板电压时的粒子电流和两端的虚拟槽电压,结果见图 3 和图 4。

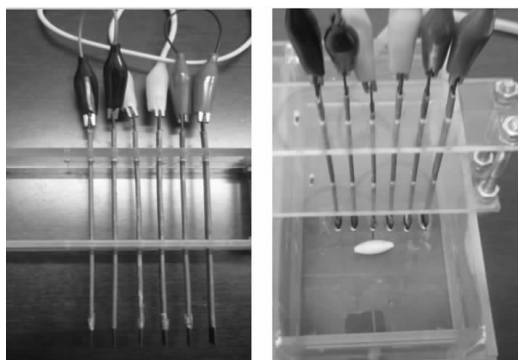


图 2 模拟粒子实物图

Fig. 2 Physical map of the simulated particle electrode and electrolytic cell

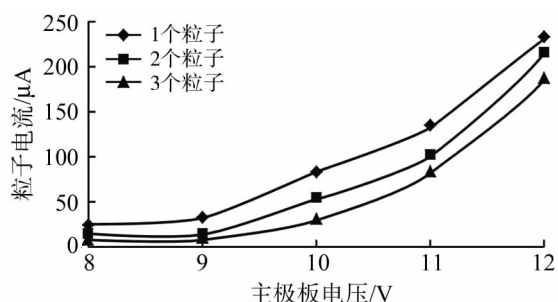


图 3 粒子电流与主极板电压关系

Fig. 3 The particle current and the main plate voltage

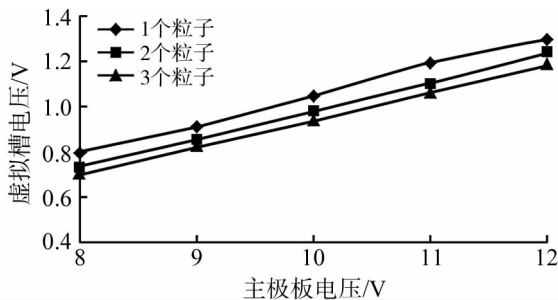


图 4 粒子两端虚拟槽电压与主极板电压关系

Fig. 4 The virtual cell voltage across the particles and the voltage between the main plate

在实验过程中观察到:在控制主极板电压不变的情况下,①加入第 2 个粒子时,粒子 1 表面的气泡明显减少,此时粒子 2 表面气泡较多,反应较激烈.②在加入第 3 个粒子时,粒子 1、粒子 2 表面气泡都减小,粒子 3 表面有较少气泡产生,反应相对较弱。

由图 3、图 4 可知,在主极板电压相同时,随模拟粒子数量的增加,粒子的电流和两端虚拟槽电压明显减小,说明粒子之间相互影响较大.粒子的加入改变了溶液中的电位分布,使得粒子两端电势差降低,粒子电流也随之而减小,充填粒子间存在一定的负影响关系。

2.2 粒子大小的影响

实验采用 3 种粒子组合:1 cm + 1 cm 粒子, 1 cm + 2 cm 粒子, 1 + 3 cm 粒子.测定 1 cm 粒子的电流和两端的虚拟槽电压,结果见图 5 和图 6。

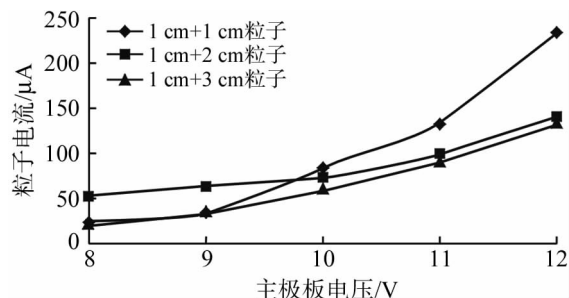


图 5 1 cm 粒子电流与主极板电压关系

Fig. 5 The current of 1 cm particle and the main plate voltage

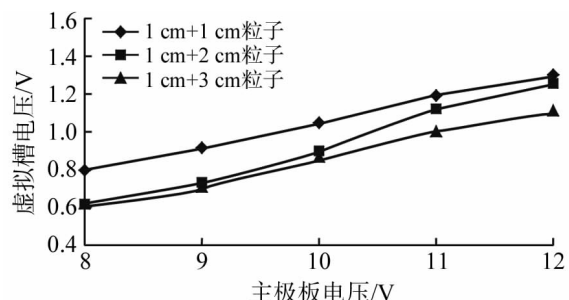


图 6 1 cm 粒子两端虚拟槽电压与主极板电压关系

Fig. 6 The cell voltage across 1 cm particle and the main plate voltage

实验过程中观察到:在主极板电压相同的条件下,①随着与 1 cm 粒子串联放置的粒子粒径的增大,1 cm 粒子表面产生的气泡越少,反应相对减弱.②且根据观察,粒径越大的粒子,表明产生的气泡越多,反应越激烈。

模拟粒子在发生电化学反应的时候,其两端电势差为其电解提供动力,该动力即为该模拟电解槽的虚拟槽电压.由图 6 可以清晰地看出,主极板电压相同时,充填粒子的加入会减弱原模拟粒子的电化学反应速率,且加入的粒子越大,对原粒子的影响越大。

2.3 粒子电流相互关系

实验采用 3 种粒子组合:1 cm 粒子 + 1~3 cm 粒子,测定不同组合中每个粒子的粒子电流及两端虚拟槽电压,结果见图 7 和图 8。

由图分析可知,不同大小的粒子串联加入电解槽装置中时,各粒子电流并非等效串联关系.在同一主极板电压下,随着粒子粒径的增大,粒子两端虚拟槽电压随之增大,粒子电流也增大.粒子数量、大小均会对粒子电流产生一定的影响,综合这些因素可得出结论,在电化学反应器中充填粒子

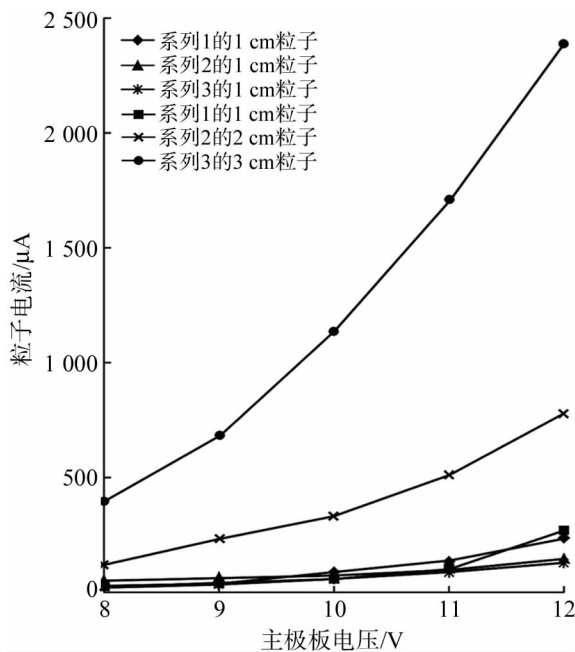


图7 各粒子电流与主极板电压关系

Fig. 7 The current of particles and the main plate voltage

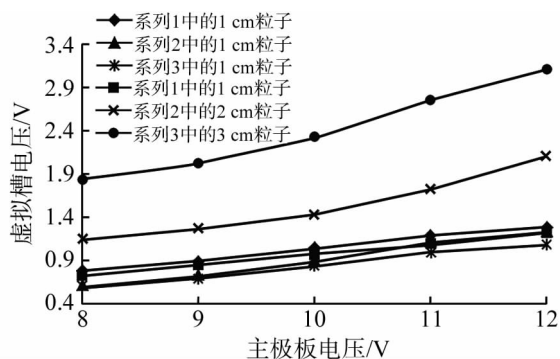


图8 各粒子两端虚拟槽电压与主极板电压关系

Fig. 8 The virtual cell voltage across the particles and the voltage between the main plate

必定存在着一个最佳比例。众多文献研究结果表明^[14-16],在电化学处理废水时,充填粒子量相比电化学反应器体积而言确实存在一定的最佳比例,在最佳比例下,废水处理效率最高。

3 结 语

a. 在三维电极体系中,粒子间相互影响,随着数量的增加和粒径增大,粒子两端虚拟槽电压降低,粒子电流减小。

b. 在同一体系中,大小不同的粒子串联放置于电解槽装置中时,充填粒子电流间并非等效串联的关系。

c. 在电化学反应器中,粒子之间受数量、大小、间距等影响明显,从理论的角度分析粒子充填量应存在一个最佳填充比。

致 谢

感谢湖北省科技厅对本研究的资金支持!

参考文献:

- [1] 熊英键,范娟,朱锡海. 三维电极电化学水处理技术研究现状及方向[J]. 工业水处理,1998,18(1):5-8.
XIONG Ying-jian, FANG Juan, ZHU Xi-hai. Electrochemical water treatment technology with three-dimensional electrodes status and direction [J]. Industrial Water Treatment, 1998, 18(1): 5-8. (in Chinese)
- [2] Stucki S. Anode performance and application[J]. Appl Electrochem, 1991(21): 99-104.
- [3] 杨昌柱,崔艳萍,濮文虹,等. 用三维电极反应器处理含酚废水的动态实验研究[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(4): 322-325.
YANG Chang-zhu, CUI Yan-ping, PU Wen-hong, et al. The dynamic research of three-dimensional electrodes reactor processing phenol wastewater [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2006, 35 (4): 322-325. (in Chinese)
- [4] 中国科学院大连化学物理研究所. 用电一多相催化反应处理二硝基苯酚工业废水的方法[P]. 中国专利: 1174175 A. 1998-02-05.
Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences. Electricity a heterogeneous catalytic reactions dinitrophenol industrial wastewater treatment methods[P]. Chinese patent: 1174175 A. 1998-02-05. (in Chinese)
- [5] ZHOU Ding, CAI Weimin, WANG Qunhui. A study on the use of bipolar-particles-electrodes in decolorization of dyeing effluents and its principle[J]. Water Sci Tech, 1996, 19(3/4): 391-400.
- [6] 石玲. 三维电极降解印染废水的实验研究及数学模型的建立[D]. 天津: 天津大学, 2006.
SHI Ling. Study on the treatment of dye-wastewater and establishment of mathematics model with three-dimensional electrode reactor[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006. (in Chinese)
- [7] 曹志斌,薛建军. 活性炭三维电极法处理染料废水中的应用[J]. 功能材料, 2007, 38(增刊): 337-339.
CAO Zhi-bin, XUE Jian-jun. Activated carbon dimensional electrode dye wastewater treatment applications[J]. Journal of Functional Materials, 2007, 38 (Suppl): 337-339. (in Chinese)
- [8] 雷利荣,李友明,陈元彩,等. 三维电极电化学法处理桉木 CTMP 制浆废水[J]. 河南化工, 2006, 25(4): 6-8.
LEI Li-rong, LI You-ming, CHEN Yuan-cai, et al. Treatment of eucalyptus CTMP effluent with three dimensional electrode electrochemical process [J].

- Henan chemical industry, 2006, 25 (4): 6-8. (in Chinese)
- [9] Wang Bo, Kong Wuping, Ma Hongzhu. Electrochemical treatment of paper mill wastewater using three-dimensional electrodes with Ti/Co/SnO₂-Sb₂O₃ anode[J]. Hazardous Materials, 2007, 146(1-2): 295-301.
- [10] 吴丹, 史启才, 周集体. 三相流化床电极反应器深度处理制浆废水[J]. 电化学, 2006, 12(4): 412-415.
WU Dan, SHI Qi-cai, ZHOU Ji-ti. Deep treatment of pulping wastewater using three phase fluidized bed electrode reactor [J]. Electrochemistry, 2006, 12(4): 412-415. (in Chinese)
- [11] 周定, 汪群慧, 蔡伟民, 等. 复极性粒子群电极作用原理的研究——有效槽数与三维电极上反应电流的测定方法及其应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1985(6): 1-3.
ZHOU Ding, WANG Qun-hui, CAI Wei-ming, et al. Study on bipolar electrodes swarm action principle: effective number of slots and three-dimensional electrode reaction current measurement method and its application [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 1985(6): 1-3. (in Chinese)
- [12] 罗劼, 汤亚飞, 蔡俊雄. 三维电极体系中粒子电流测定方法[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(5): 67-69.
LUO Jie, TANG Ya-fei, CAI Jun-xiong. Study on determination of particle currents in three-dimensional electrode system [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33(5): 67-69. (in Chinese)
- [13] 汤亚飞, 鲍仁冬, 程姗. 三维电极体系中填充粒子的工作机理[J]. 武汉工程大学学报, 2012, 34(9): 59-61.
TANG Ya-fei, BAO Ren-dong, CHENG Shan. Working principle of filling particle in the three-dimensional electrode system [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2012, 34(9): 59-61. (in Chinese)
- [14] 谢建治, 李博文, 张书廷, 等. 三维电极体系工作机理探讨[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(2): 109-110.
XIE Jian-zhi, LI Bo-wen, ZHANG Shu-ting, et al. Study on the working principium of three-dimension electrode system [J]. Journal of Agricultural University of Heibei, 2005, 28(2): 109-110. (in Chinese)
- [15] 王英. 三维电极—电 Fenton 法处理印染废水的实验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
WANG Ying. The experimental study of dyeing wastewater with three-dimensional electrode and electro-Fenton method[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009. (in Chinese)
- [16] 陈武, 艾俊哲, 李凡修, 等. 电化学反应器——三维电极中粒子电极应用研究[J]. 荆州师范学院学报: 自然科学版, 2002, 5(25): 76-78.
CHEN Wu, AI Jun-zhe, LI Fan-xiu et al. Electrochemical reactor: study on the application of the particle electrode in the three-dimensional electrode [J]. Journal of Jingzhou Teachers College: Natural Science, 2002, 5(25): 76-78. (in Chinese)

Interaction between particles in three-dimensional electrode system

TANG Ya-fei¹, YIN Lei¹, BAO Ren-dong², CAI Jun-xiong³

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Sinosteel Corporation Wuhan Safety & Environmental Protection Research Institute, Wuhan 430081, China;

3. Hubei Academy of Environmental Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Aimed at studying the relationship between multi-particles and making the particles in the state closer to the actual system in the three-dimensional electrode system, multiple analog particles were placed in the vertical direction of two main plates, and the particle currents and the virtual slot voltages were determined when there were 1-3 cm particles or 1 cm+1-3 cm particles respectively. The results show that the particle currents and the virtual slot voltages are reduced significantly with the increasing number of simulated particles in the same main plate voltage, in which the particles are affected by each other greatly; the electrochemical reaction rate of the original analog particles is weakened by the new filling particles, and as the size of the filling particles is larger, the impact will be greater; both the virtual cell voltage and the particle current are reduced with the increasing of the number and the size of the filling particles in the three-dimensional electrode system, and the particle currents between different sizes are non-equivalent when a series of different size particles are added to the electrolytic cell unit. The particles are affected each other obviously by the number, size and spacing of the particles, and the filling volume of the particles exists an optimum filling ratio in the electrochemical reactor.

Key words: particle current; interrelation; three-dimensional electrode

本文编辑: 龚晓宁