

文章编号:1674-2869(2011)05-0067-03

三维电极体系中粒子电流的测定方法

罗 劼<sup>1</sup>, 汤亚飞<sup>1\*</sup>, 蔡俊雄<sup>2</sup>, 陈 云<sup>1</sup>  
(1. 武汉工程大学环境与城建学院, 湖北 武汉 430074;  
2. 湖北省环境科学研究院, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:**研究了三维电极体系粒子电流的测定方法,即用两个小极片模拟粒子,借鉴腐蚀微电流的测定,用电化学工作站对粒子电流进行测定.测定时,设定了适当的仪器参数,保证模拟粒子平行于主极板、铅直放置,固定模拟粒子间距、与主极板的间距等,并在搅拌下实验.  
**关键词:**三维电极;粒子电流;腐蚀电流;电化学工作站  
**中图分类号:**TQ150.1      **文献标识码:**A      **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.05.018

0 引 言

三维电极又名粒子电极,它是在传统的二维电解槽间填装粒状或者其它碎屑状电极材料使其成为新的一级(第三极)<sup>[1]</sup>,在工作电极材料表面能发生电化学反应.与传统的二维电极相比,粒子电极由于能够增大溶液与电极的接触面,提高反应器的体积效率,增大物质的传质速率,提高电流效率、电能效率和时空产率<sup>[1-4]</sup>,而被广泛应用于印染废水、焦化废水、电镀废水等难降解有机废水的处理.

在有关的研究中,更多学者致力于三维电极体系在某些污水处理方面工艺条件优化和降解机理方面的研究<sup>[5-9]</sup>,但针对粒子实际工作状态的研究却很少.在三维电极开发利用初期,周定等<sup>[10]</sup>提出了有效槽数、复极率等概念,得出复极性粒子电解槽电流模型,并首次提出可用模拟粒子法测定粒子电流,但未测定粒子电流的数据.在后来的三维电极工作原理的研究中,周集体等<sup>[11]</sup>研究了复极性电解槽中电极电位的分布及其影响因素,谢建治等<sup>[12]</sup>研究了有隔膜的三维电极电极电位的分布规律.粒子电流是粒子成为第三极,发生电化学反应的标志,粒子电流的大小直接影响三维电极的处理效果,是与电流效率、粒子复极化程度、能耗有关的重要因素.但是文献中却未见有关粒子电流测定的报道,粒子电流的测定微观上可应用于三维电极工作原理、电极反应动力学的研究,宏

观上可应用于电流效率、能耗方面的研究,无论在理论研究和实际研究方面都有重要的意义.

1 粒子电流测定方法的设计

1.1 模拟粒子的制作

在三维电极体系中,导电粒子在主电极的电场作用下两端带上正负电荷,分别发生氧化反应和还原反应,粒子两端有电流流过.这个电流就称为粒子电流,但由于电流从粒子内部流过,无法直接测定.本文用一对小平板电极+连接导线来模拟三维粒子电极,测定导线中流过的电流即为粒子电流,示意图见图 1.通过连接电阻、改变小极板的面积或间距、改变极板材料等来研究实际粒子的导电性、粒子大小、粒子材料等因素对粒子电流的影响.

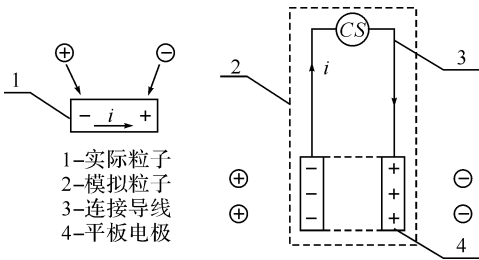


图 1 粒子电极(左)和模拟粒子电极(右)反应示意图  
Fig. 1 Particle electrode (left) and simulation of particle electrode (right) reaction schemes

1.2 粒子电流测定

由于粒子电流数值较小,用电流表难以准确

收稿日期:2011-01-20  
基金项目:2008 年度湖北省研究与开发项目(2008BCD202)  
作者简介:罗 劼(1988-),女,仫佬族,广西河池人,硕士研究生,研究方向:环境工程.  
指导老师:汤亚飞,男,教授,博士,硕士生导师,研究方向:环境工程.\* 通信联系人

测量,本文借鉴腐蚀微电流的测定方法,将小极板接出的导线与电化学工作站相连,测定粒子电流.腐蚀电流是当金属各部分物理、化学性质不均一时,在金属表面会出现了不同的电位区域,使得金属与介质相互作用的电化学反应得以在空间上分隔开,形成类似于原电池的两极区,两极分别进行着氧化反应和还原反应而产生的<sup>[13]</sup>.腐蚀电流实验上通常用电化学工作站测量,粒子电流与腐蚀电流都同为微小电流,故本文考虑使用腐蚀电流的测定仪器进行测量.

1.3 实验材料和装置

电解槽:自制有机玻璃电解槽,尺寸 17.5 cm×8.5 cm×6 cm;  
主电极:钉铍钛板阳极,尺寸 16.5 cm×8.3 cm;不锈钢板阴极,尺寸 16.5 cm×8.3 cm;  
模拟粒子电极:将钛板加工成带柄正方形的形状(如图 2 所示),正方形的尺寸为 1 cm×1 cm,用阻燃热收缩套管密封后下端蜡封,两两组合使用.

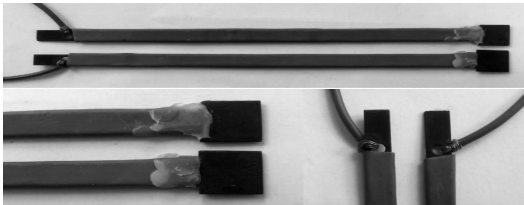


图 2 模拟粒子电极

Fig. 2 Simulation of particle electrode

电化学工作站(CS300);直流稳压电源(KXN-3030D);恒温磁力搅拌器(85-2);分析纯硫酸钠(天津市科密欧化学试剂有限公司),实验装置图如图 3 所示.

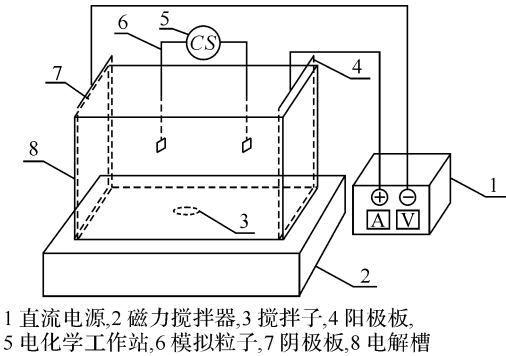


图 3 实验装置图

Fig. 3 Experimental equipment

2 实验结果

2.1 稳定性

一些仪器参数,如电流量程、采样频率、滤波器电容等会影响实验数据的稳定性,通过设定适

当的仪器参数可以降低环境噪声的干扰.  
由于电流量程切换的一瞬间会产生噪声,因此建议在测定某一槽电压下的粒子电流时,应根据粒子电流的大小选择“手动设定”固定电流量程.当测定需要变化电压时,应尽量只升不降,并选择“自动切换”和“仅增大”,使仪器根据电流大小自动切换但只增大不减少.在测定时采样频率太高会使得读数波动较大,造成读数未稳定的假象,经过反复实验,在测定频率为 2 Hz 较为理想.打开滤波器可有利于数据的稳定,滤波器电容为 22、100、470、2.2 nF 时,6~13 V 各个电压下,在电容为 100 pF 时数据较为稳定,其中外电压为 10 V 时实验数据如图 4 所示.此外,还应用法拉第箱(屏蔽箱)将实验装置罩住并接地,关闭环境干扰源,如大功率电源、计算机监视器、荧光灯等,以确保测定的数据真实、准确、稳定.

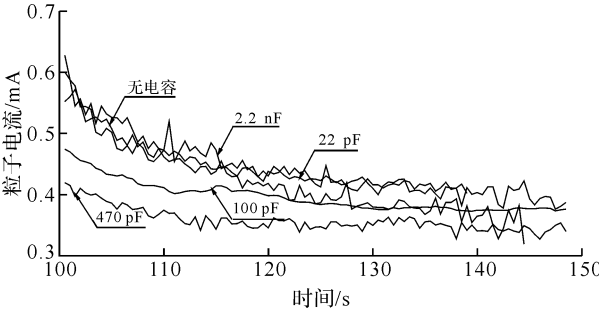


图 4 滤波器电容的影响

Fig. 4 The effect of filter capacitance

2.2 重现性

是否平行于主极板、是否铅直放置、模拟粒子与主极板的间距、位于水下的高度、粒子间距、模拟粒子的表面状态会对实验结果的重现性有一定的影响,其中粒子间距影响最大.

在不同的粒子间距条件下( $B=0.5、1.0、1.5、2.0、2.5$  cm),槽电压对粒子电流的影响见图 5.

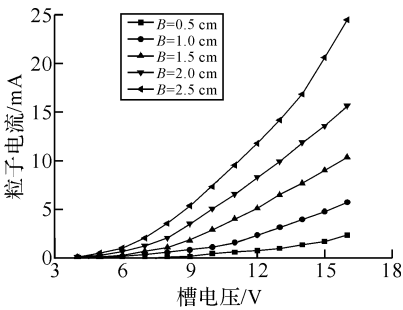


图 5 粒子间距的影响

Fig. 5 The effect of simulant particle spacing

由图 5 可以看出粒子间距对粒子电流有很大的影响,在同一电压下粒子间距越大粒子电流越大.在测定时,应尤其注意保证在固定的粒子间距

下测定,同时应保持粒子铅直并相互平行、位于固定的水深、与主极板间距一致并平行、在每次使用前用蒸馏水和丙酮超声波清洗小电极,以保证相同实验条件下数据的重现性。

2.3 平衡时间

搅拌可减少浓差极化,有利于溶液传质均匀,有利于读数的稳定。如图 6 所示,搅拌所测定的数值高于不搅拌,搅拌数据稳定的时间少于不搅拌,但随着槽电压的增大数值和时间的差距都越来越小。因此,在测定时应保证实验都在搅拌的条件下进行。本文使用的搅拌器转速为 600 r/min。

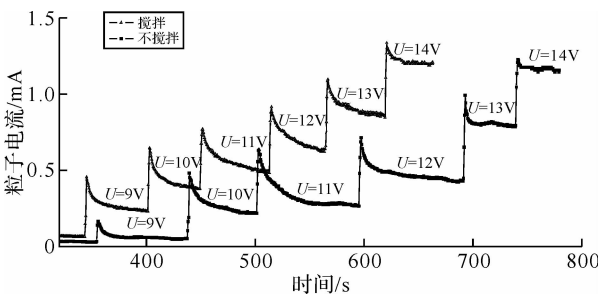


图 6 搅拌对实验结果的影响  
Fig.6 The effect of stirring

3 结 语

a. 通过实验证明,本文研究建立的粒子电流的测定方法在技术上是可行的,可应用于粒子电极体系工作原理与工艺选择的研究中。

b. 测定粒子电流时,应设定适当的仪器参数,保证模拟粒子平行于主极板、铅直放置,固定模拟粒子间距、与主极板的间距等,并在搅拌下实验。

参考文献:

[1] 于季红. 三维电极法处理苯酚废水影响因素研究[J]. 环境保护科学, 2010, 36(2): 53 - 56.  
[2] 孔彬, 杨蕾. 三维电极法处理难降解有机废水的研究进展[J]. 科技信息, 2009, 31: 321 - 322.  
[3] Xiong Ya, He Chun, KARLSSON H T, et al.

Performance of three-phase three-dimensional electrode reactor for the reduction of COD in simulated wastewater containing phenol [J]. Chemosphere, 2003, 50(1): 131 - 136.  
[4] FOCKEY E, VANLIERDE A. Coupling of anodic and cathodic reactions for phenol electro-oxidation using three-dimensional electrodes [J]. Water Research, 2002, 36(1): 4169 - 4175.  
[5] Li Fan, Fenglin Yang, Weishen Yang. Performance of the decolorization of an azo dye with bipolar packed bed cell [J]. Separation and Purification Technology, 2004, 34: 89 - 96.  
[6] Ventura A, Jacruet G, Bermond A, et al. Electrochemical generation of Fenton's reagent; Application to atrazine degradation [J]. Water Research, 2002(36): 3517 - 3522.  
[7] Shen Z, Wang W, Jia J, et al. Catalytically assisted electrochemical oxidation of dye red B [J]. Water Environ Res, 2002(74): 117 - 121.  
[8] Fockeey E, Van lierde A. Coupling of anodic and cathodic reaction for phenol electro-oxidation using three-dimensional electrodes [J]. Water Research, 2002, 36(16): 4169 - 4175.  
[9] Wang C T, Hu J L, Chou W L, et al. Removal of color from real dyeing wastewater by Electro-Fenton technology using a three-dimensional graphite cathode [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152(2): 601 - 606.  
[10] 周定, 汪群慧. 复极性粒子群电极作用原理的研究——有效槽数与粒子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.  
[11] 周集体, 杨松, 艾尼瓦尔, 等. 复极性固定床电解槽中粒子电极感应电位研究[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(6): 27 - 29.  
[12] 张书廷, 杜惟玮, 谢建治. 极板材料对三维电极反应器中电极电位分布形式的影响[J]. 天津大学学报, 2004, 37(9): 753 - 758.  
[13] 郭鹤桐, 覃奇贤. 电化学教程[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000: 345.

(下转第 73 页)