



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第4期

Vol.9 No.4

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

4
2015

目次

水污染防治

铁盐与铝盐对腈纶废水生化出水混凝特性的对比	徐进	兰华春	刘锐平	赵元凤	曲久辉(1521)
不同混凝剂处理松花江低温水	刘艳静	徐慧	焦茹媛	段淑璇	朱利军 王东升 段晋明(1527)
碳基材料对污水厂尾水和太湖水体中 CDOM 的吸附特征	冯欣欣	杜尔登	刘翔	郭迎庆	顾礼明 褚腾飞(1534)
聚苯胺修饰电极去除水中高氯酸根	唐荣	张晓	千方群	秦品珠	陈海蓉(1541)
Ca ²⁺ 对生物膜形态结构及其组分的影响	王小芬	韦万兴	张晓霞	周敏	刘盛(1553)
改性纤维素吸附剂的合成及其对铜离子的吸附	罗慧萍	逢勇	徐心彤	徐心彤	徐心彤(1559)
江苏省太湖流域水功能区纳污能力及限制排污总量研究	蒋绍阶	马丹丹	盛贵尚	盛贵尚	盛贵尚(1565)
活性炭涂层电极电容去离子的性能	陈国元	谢菁尧	谢菁尧	谢菁尧	谢菁尧(1571)
铜绿微囊藻胁迫对宽叶香蒲叶片光呼吸特性的影响	李行	孙丙华	李进华	徐彪	姜珊(1579)
轮虫对生物膜处理城市河道污水的优化作用	谢越	孔维芳	韩传红	马万征	周毅 孙晟 汪建飞(1585)
鸡蛋壳废料对水体中 Cr(VI) 的吸附特征与机理	王燕霞	杜兆林	郑彤	王鹏	王鹏(1593)
改性黄麻制备及其对铜离子的吸附	赵斌	王凤贺	包健	纪营雪	段伦超(1599)
Cd ²⁺ 和 Pb ²⁺ 对四环素超声降解性能的影响	毕慧芝	田秉晖	田秉晖	田秉晖	田秉晖(1606)
电吸附活性炭电极制备及电吸附特性	李贺	袁林江	袁林江	袁林江	袁林江(1613)
污水中不同 COD 组分下 A/O 脱氮工艺的反硝化效率	康宏平	孙振亚	刘建永	杨红刚	何小军(1620)
Ag ⁺ -TiO ₂ /AC 复合材料的可见光吸附-光催化协同作用	王玉焕	康新颖	李秀金	姜永海	席北斗 张洁(1625)
纳米铁与微生物联合去除地下水中的 NO ₃ ⁻ -N	刘沙沙	王竞	吕红	柳广飞	范真真 周集体(1631)
<i>Pseudomonas</i> sp. fz 胞外分离物降解四溴双酚 A	李培良	王竞	金若菲	吕红	柳广飞 周集体(1639)
腐植酸强化苯酚厌氧发酵降解	王攀	彭党聪	彭党聪	彭党聪	彭党聪(1645)
预缺氧池配水比对 Johannesburg 工艺脱氮除磷效果的影响	谢静	郝小龙	朱柏霖	朱柏霖	朱柏霖(1651)
大气压等离子体射流对水中铜绿微囊藻的灭活作用	谢实涛	孙南南	张传雷	陈英文	沈树宝(1659)
RuO ₂ -IrO ₂ /Ti 阳极电催化降解偶氮染料甲基橙模拟废水	何莹	舒威	廖筱锋	尤太阳	廖利(1663)
污泥-秸秆基活性炭的制备及其对渗滤液 COD 的吸附	曾丹林	苏敏	刘胜兰	张崎	赵磊 王光辉(1670)
利用高炉瓦斯泥-H ₂ O ₂ 处理硝基苯废水	耿勤	张平	廖柏寒	李科林	陈全超 冉宇光(1675)
生物质炭对溶液中 Cd ²⁺ 的吸附	史兵方	左卫元	全海娟	全海娟	全海娟(1680)
改性膨润土对水体中多环芳烃的吸附	狄军贞	江富	朱志涛	戴男男	戴男男(1687)
玉米芯为碳源固定化硫酸盐还原菌污泥代谢特性	张军	白孝康	李晶晶	宋帮才	杜西刚(1693)
超声协同下镍铁双金属化合物催化降解水溶液中的四氯化碳	朱雷	罗李陈	汪恂	汪恂	汪恂(1698)
Eu 掺杂 ZnO 光催化降解解制药废水	谭万春	谭金叶	周密	王云波	孙士权 聂小保(1703)
UV/Fenton 氧化处理 PVA 溶液	高立祥	边祥成	戴浩	武荣兰	武荣兰(1709)
改性粉煤灰合成沸石对甲基橙的吸附动力学	魏金枝	张少平	胡琴	陈芳妮	陈芳妮(1715)
三维粒子电极处理染料废水的效能及机制	陈坚	袁鹏	李川竹	陶涛	王凯军(1721)
不同诱导条件对结晶产物形貌特征的影响	罗冠	许德超	李小明	杨麒	陈洪波 罗琨 彭波 汪志龙 谢继慈(1727)
碳源对静置/好氧/缺氧 SBR 脱氮除磷性能的影响	黄斌	刘君	马晓冬	丁怡然	孙雯雯 李晓曼 潘学军(1735)
高原城市污水处理厂中 5 种典型有机紫外防晒剂含量及其去除	张琪	戴淑萍	谢冰	谢冰	谢冰(1742)
运行条件及温度对陈垃圾反应器效能的影响及菌群结构分析	王磊	王磊	黄丹曦	王旭东	王旭东(1747)
高岭土对不同污染物微滤过程的影响	程婷	李海松	王敏	买文宁	姚萌(1752)
铁碳微电解/H ₂ O ₂ 耦合类 Fenton 法深度处理制药废水	陈修报	刘洪波	苏彦平	戈贤平	杨健(1757)
背角无齿蚌对养鱼水体的净化效果	蒋新跃	刘玉娇	丛海兵	朱学源	徐思涛(1763)
加压混凝沉淀对蓝藻水处理中消毒副产物的控制	郝婧	高磊	吴春旭	张鸿涛	王玉双 陈兆林 赵鑫(1771)
石油降解菌 <i>Pseudomonas stutzeri</i> TH-31 的分离与降解条件优化	曾丽璇	李伟杰	庄奕洁	简俊超	简俊超(1778)
粉煤灰深度处理低浓度的磷	林慧	高荣杰	冯欣欣	王传秀	王传秀(1783)
沸石负载 Cu ₂ O 光催化剂降解甲基橙	温涛	唐玉斌	陈芳艳	莫冰玉	莫冰玉(1789)
CNTs-CeO ₂ /H ₂ O ₂ 复合光催化氧化体系降解水中酸性橙 II					

水污染防治

响应面方法优化 Fenton 试剂处理甲萘酚废水	王利平	李祥梅	沈肖龙	杜尔登(1797)			
电镀综合废水对 DF 膜的污染	薛勇刚	官 嵩	戴晓虎(1803)				
UV ₂₅₄ 在煤制气废水处理中的指示作用	刘 莹	盛 飞	陈文婷	陈 雪	李向南	于 聪	张宝林(1809)
MnO ₂ /Al ₂ O ₃ 吸附草甘膦及微波紫外耦合降解再生工艺	林永东	孙彦龙	郑 彤	王 鹏(1815)			
羟基磷灰石的制备及其对水中氟离子的吸附	胡家朋	吴代赦	肖丽盈	刘瑞来	饶瑞晔	赖文亮(1823)	
MFC 强化同步短程硝化反硝化工艺的启动	贾璐维	赵剑强	胡 博	赵慧敏	黄 楠(1831)		
CaCl ₂ -PAC 工艺处理酸性高氟废水	杜 敏	宁静恒	杨道武	房文婷	雷 杰	刘 弟(1837)	
轻质非水相流体(柴油)在多孔介质中的垂向运移	朱振慧	高宗军	张晓海	于 晨	韩 克(1842)		
Fe ³⁺ 和 Cu ²⁺ 对饮用水氯消毒副产物三卤甲烷形成的影响	孙 涛	员 建	仝重臣	温海涛(1849)			
水体铯污染的生物效应与修复植物筛选			宋志东	唐永金(1856)			
磁性活性炭的制备及其对水中甲基橙的吸附	莫冰玉	唐玉斌	陈芳艳	温 涛(1863)			
页岩气压裂返排液高效破胶剂的研究			张太亮	郭 威(1869)			
BiVO ₄ 催化剂的离子液体辅助水热合成及其可见光催化活性	祝永强	陈芳艳	陆熠峰	唐玉斌(1875)			
N-甲基咪唑配体络合金属 Cu(I) 催化剂对水中 2,4-二甲氧基溴苯还原脱溴							
.....	姜 浩	李子燕	梁 珊	张洪彬	赵静峰	羊晓东(1881)	
纳米铁催化分解高氯酸盐废水的反应动力学					黄 丹	刘祥莹(1888)	
基于玄武岩纤维载体的生物膜法净化污染河道水体	吴春笃	姜大卫	彭 娇	吴智仁	蒋素英	张 波(1893)	

大气污染防治

新型活性焦干法脱硫脱硝脱汞反应塔流场的模拟与优化	张玉歌	李彩亭	李珊红	肖育军	唐 奇(1898)		
基于遗传神经网络模型的空气能见度预测	马楚焱	祖 建	付清盼	罗凌霄(1905)			
水泥分解炉掺烧干污泥对 NO _x 排放的影响			刘定平	黄群亮(1911)			
V ₂ O ₅ 共混制备改性活性焦的脱硫性能及机理	杨丹妮	郝先鹏	刘一天	蒋文举	江 霞(1916)		
烧结烟气氮-Fe(II) NTA 法同时脱硫脱硝	周尽晖	何 翔	钱 兰	秦林波	韩 军(1921)		
300 MW 燃煤锅炉机组超细颗粒聚并器的实验研究	陈冬林	吴 康	米建春	唐 斌	冯 伟	贺善军(1926)	
混合动力轿车城市典型道路排放特性				孙龙林	黄文伟	高谋荣(1931)	
二氧化钛气溶胶颗粒在石英玻璃纤维上的沉积	任川齐	门泉福	史喜成	高晓强	王 磊(1937)		
Mn/GO 复合催化剂催化氧化 NO	段元东	吕 伟	孙秀枝	杨 明	李登新(1943)		

土壤污染防治

苯并三唑在土壤中的吸附特性	戴金娥	毕二平(1950)		
---------------------	-----	-----------	--	--

固体废物处置

污水厂污泥流变特性变化规律	曹秀芹	崔伟莎	杨 平	王 远(1956)				
还原剂添加的矿物聚合物对 Cr(Ⅵ) 的解毒/固化			陈方明	陈洁渝(1963)				
NaOH 预处理对杂交狼尾草厌氧发酵产沼气的的影响	龚舒静	段青松	杨 妹	秦向东(1970)				
钛石膏改性胶结材干化湖泊污泥效果及机理	黄绪泉	严 龙	徐 胜	冯茂达(1977)				
含重金属污泥制砖毒性的浸出	张 瑜	陶梦娜	沈涤清	郑书东	何 奕	应国庆	应健威	施 耀(1984)
微生物强化 MBR 工艺剩余污泥的好氧消化过程								
.....	李再然	宋英豪	贾立敏	王焕升	刘 茹	熊 娅	苏本生(1989)	

环境生物技术

一株耐盐柴油降解菌的分离鉴定及其降解性能	任立松	陈芳艳	唐玉斌(1995)		
黄孢原毛平革菌降解磺胺甲噁唑的影响因素		郭夏丽	朱正威(2002)		

环境监测

太子河水系印染行业重点污染河段优先控制污染物的确定							
.....	张晓孟	李 斌	刘瑞霞	曾 萍	宋永会	杨永哲(2007)	
吹扫捕集-快速气相色谱-质谱联用法测定水中 54 种挥发性有机物			黄旭锋	闫海阔	姚林江	王 林(2014)	
基于动态聚类分析和盲数理论的综合营养状态指数评价模型							
.....	李镇镇	李晓东	李 飞	高智花	严文峰	梁 婕	曾光明(2021)
电镀行业铜、镍、锌产排污系数的核算			朱 佳	张冬逢	高静思	王庆雨	刘研萍(2027)

RuO_2 - IrO_2 /Ti 阳极电催化降解偶氮染料 甲基橙模拟废水

谢实涛 孙南南 张传雷 陈英文* 沈树宝
(南京工业大学生物与制药工程学院, 南京 211816)

摘 要 以自制 Ti 基 RuO_2 - IrO_2 镀层形稳电极为阳极, 采用电催化氧化处理偶氮染料甲基橙模拟废水。以硫酸钠为支持电解质, 在自然 pH 条件下分别考察了电解时间、电极间距、电流密度和电解质浓度等因素对甲基橙去除率的影响, 并分析其原因。实验结果表明, 在自然 pH、电极间距为 1.0 cm、电流密度为 30.0 mA/cm²、电解质硫酸钠浓度为 20.0 g/L、电解 1.0 h, 甲基橙去除率高达 90.0% 以上。因此, 电催化氧化法作为一种高效、简便的染料废水处理技术, 具有一定的应用潜力。

关键词 电催化氧化 RuO_2 - IrO_2 /Ti 电极 偶氮染料 甲基橙

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)04-1659-04

Treatment of analog azo dyes wastewater methyl orange solution by RuO_2 - IrO_2 /Ti electrode

Xie Shitao Sun Nannan Zhang Chuanlei Chen Yingwen Shen Shubao
(College of Biotechnology and Pharmaceutical Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract Using a home-made stable anode with Ti-base and RuO_2 - IrO_2 -coating, electro-catalytic oxidation was applied to treat analog azo dyes wastewater methyl orange solution. The investigation focused on the effects of electrolysis time, electrode interval, current density and electrolyte concentration on the removal of methyl orange in the electrolytic process. Also, the causes were analyzed. The experiments show that the methyl orange removal rate is up to 90.0% under the condition of natural pH, electrode interval of 1.0 cm, current density of 30.0 mA/cm², electrolyte concentration of 20.0 g/L, electrolysis of 1.0 h. Therefore, as a highly efficient, easy dye wastewater treatment technology, the electro-catalytic oxidation method has certain application potential.

Key words electro-catalytic oxidation; RuO_2 - IrO_2 /Ti electrode; azo dyes; methyl orange

加入 WTO 以来, 我国印染行业出现了前所未有的快速发展局面。印染行业每年向水体环境中排放大量的印染废水, 对环境造成严重污染。偶氮染料应用广泛, 这些染料在还原条件下可生成致癌的芳香胺, 对人体健康具有潜在危害^[1]。印染废水一直以处理难度高、排放量大而成为废水治理工艺研究的重点和难点。目前, 我国对于印染废水的处理工艺还不够稳定, 处理力度也有待将强, 一般很难达到一级排放标准^[2]。因此, 研究开发印染废水处理新技术具有重要意义。

电催化氧化作为一种高级氧化技术 (advanced oxidation processes, AOPs), 由于其相比其他高级氧化技术具有占地面积少, 处理条件相对简单, 不产生二次污染等优势受到研究者的极大关注^[3-5]。荷兰科学家 Beer H. B.^[6] 研制出钛基钌钛涂层阳极并成功将其应用于氯碱工业。随后研究者开始在钛基体上沉淀或涂覆铂族或钌族金属氧化物, 并将其广泛应

用在电化学工业^[7]、电冶金行业^[8]以及污水处理领域^[9,10]。其中, RuO_2 导电性好, 耐腐蚀, 与基体结合牢固, 作为阳极材料被广泛应用于药物废水^[11]、染料废水^[12]等污染物的去除。 IrO_2 为金红石结构, 导电性较 RuO_2 低, 但耐腐蚀性更强, 能在酸性溶液中保持稳定, 作为活性氧化层降解有机物已有报道^[13]。

本研究采用自制的 Ti 基 Ir-Ru 二元氧化物涂层电极催化降解偶氮染料甲基橙模拟废水, 考察自然 pH 条

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目 (21106072); 国家自然科学基金资助项目 (51272105); “十二五” 国家科技支撑计划 (2012BAE01B03-3); 环保公益性行业科研专项 (201309028)

收稿日期: 2014-03-14; **修订日期:** 2014-04-09

作者简介: 谢实涛 (1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事污水处理技术研究工作。E-mail: taoshixie@126.com

* 通讯联系人, E-mail: ywchen@njtech.edu.cn

件下电解时间、电流密度、电极间距、和电解质浓度等因素对甲基橙去除率的影响,确定最佳反应条件。

1 实验部分

1.1 主要仪器和试剂

仪器:雷磁 PHS-3E 精密 pH 计; PerkinElmer Lambda25 UV/VIS Spectrometer 紫外可见分光光度计;GME-12-16 硅钼棒箱式电阻炉;GZX-9146 MEB 数显鼓风干燥箱;KD-98-11 电子调温万用电炉等。

试剂:甲基橙;无水硫酸钠;氯铈酸;三氯化钨;异丙醇;草酸;无水乙醇等(均为分析纯)。

1.2 阳极制备方法

将尺寸为 60 mm × 70 mm × 2 mm 的钛板表面用砂纸打磨,放入 40% NaOH 溶液清洗表面油污后用去离子水冲洗干净,再放入 10% 草酸溶液中煮沸刻蚀,直到钛板表面出现凹凸不平的灰色麻面为止,最后用去离子水冲洗干净后放入无水乙醇中保存备用。采用高温热分解法制备氧化物涂层。将氯铈酸和三氯化钨按一定比例(摩尔比)分别溶于一定量的异丙醇中,然后再混合均匀,此为活性涂层液。将该涂层液均匀地涂覆在钛基体上,在 95℃ 烘箱内干燥 10 min,待溶剂完全挥发后放入 450℃ 电阻炉中高温热解 15 min,取出空冷至室温。重复涂覆、干燥和高温热解步骤,反复操作 10 次,最后一次在 450℃ 高温热解 1 h,制成的极板表面呈均匀的黑褐色^[14]。

1.3 甲基橙溶液最佳吸收波长的确定

配制浓度为 25.0 mg/L(以下实验均采用该浓度)、自然 pH 为 6.30 的甲基橙溶液,采用 PerkinElmer Lambda25 UV/VIS Spectrometer 紫外可见分光光度计对甲基橙进行全波长扫描,测定不同波长下的吸光度值,以确定最大吸收波长,实验结果见图 1。由图 1 可知,在波长为 469.0 nm 处甲基橙溶液有最大吸光度。

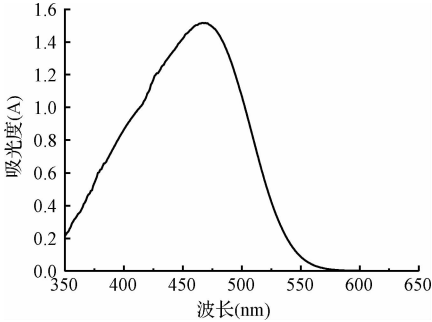


图 1 甲基橙最佳吸收波长的确定

Fig. 1 Optimum absorption wavelength of methyl orange

1.4 甲基橙浓度与吸光值的对应关系

配制浓度分别为 0.0、2.0、4.0、6.0、8.0 和

10.0 mg/L 的甲基橙溶液,分别在最大吸收波长 469.0 nm 处测定其吸光度值。以吸光度值为横坐标、甲基橙浓度为纵坐标绘制标准曲线,结果见图 2。由图 2 可知, $R^2 = 0.99879$,可见甲基橙浓度与吸光度具有较好的线性相关性。

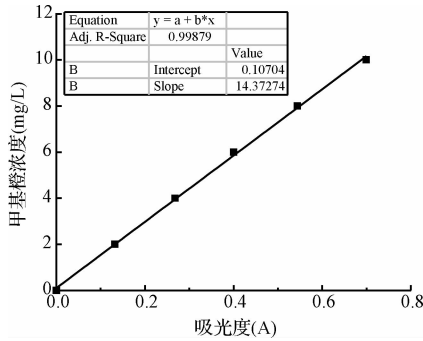


图 2 甲基橙浓度的标准曲线

Fig. 2 Standard curve of methyl orange

1.5 分析方法

甲基橙溶液浓度采用 PerkinElmer Lambda25 UV/VIS Spectrometer 紫外可见分光光度计进行分析测定。通过对甲基橙进行全波长扫描,发现在 469.0 nm 波长处有最大吸收值。在此波长下测定电催化氧化前后水样的吸光度值 A 和 A_0 ,并用 $(A - A_0)/A \times 100\%$ 求得甲基橙的去除率

2 结果与讨论

2.1 电解时间对甲基橙去除率的影响

在电解条件为电流密度 30.0 mA/cm²、电极间距 1.0 cm 和硫酸钠浓度为 20.0 g/L 前提下,电催化氧化浓度为 25.0 mg/L 的甲基橙模拟废水,每隔 20 min 取样并测定水样的吸光度,确定最佳反应时间,实验结果图 3 所示。由图 3 可知,随着电解反应的不断进行,甲基橙的去除率也持续升高,在反应的前一个小时内甲基橙去除率增加较快,后一个小时

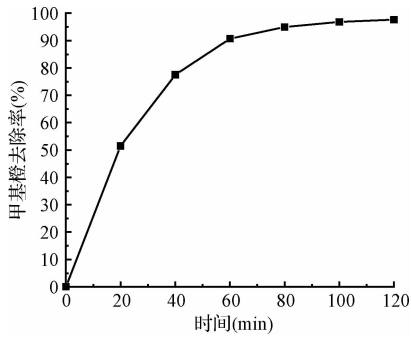


图 3 电解时间对甲基橙去除率的影响

Fig. 3 Effect of electrolysis time on removal efficiency of methyl orange

的升高幅度却很小。反应进行到 1.0 h 时,甲基橙去除率为 90.69%。而当反应进行至 2.0 h,甲基橙去除率仅为 97.64%,增加幅度为 7.6%。因此,考虑到废水的处理效率、电能的消耗和处理效果的平衡,确定最佳反应时间为 1.0 h。

2.2 电流密度对甲基橙去除率的影响

在电解条件为硫酸钠浓度 20.0 g/L,固定电极间距 1.0 cm 前提下,分别在电流密度为 20.0、30.0、40.0 和 50.0 mA/cm² 条件下进行电解实验,每隔 10 min 取样并持续 1.0 h,分析甲基橙去除率与电流密度之间的关系,实验结果如图 4 所示。

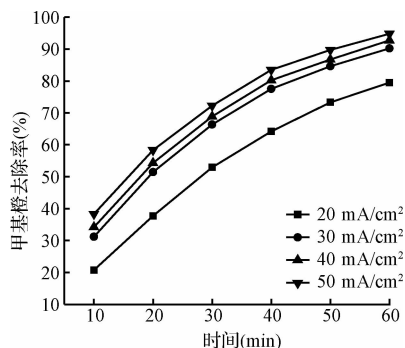


图4 电流密度对甲基橙去除率的影响
Fig. 4 Effect of current density on removal efficiency of methyl orange

由图4可知,随着电流密度的提高,甲基橙去除效率呈加快的趋势。但电流密度从 30.0 mA/cm² 增加至 50.0 mA/cm² 过程中,甲基橙的去除率增加不大。在反应进行到 1 h 时,电流密度为 30.0 mA/cm²,甲基橙去除率为 90.19%,而电流密度为 40.0 和 50.0 mA/cm² 时甲基橙去除率分别为 92.71% 和 94.77%,增幅仅为 2.79% 和 5.07%。根据电催化氧化反应原理,可能是由于:一方面,随着电流密度提高,通过单位极板面积的电流增加,此时会产生更多的·OH等活性物质,有利于电极表面的氧化还原反应的进行,从而使得甲基橙去除率增加;另一方面,电流密度的持续增加,析氧副反应不断加剧使得电流效率降低,从而减弱了甲基橙去除效率。经过综合考虑,确定电流密度的最佳值为 30.0 mA/cm²。

2.3 电极间距对甲基橙去除率的影响

在电解条件为电流密度 30.0 mA/cm²,硫酸钠浓度 20.0 g/L 前提下,依次改变电极间的距离为 1.0、2.0 和 3.0 cm 进行电解实验,每隔 10 min 取样并持续 1.0 h,分析甲基橙的去除率与电极间距之间的关系,实验结果如图 5 所示。

由图5可知,极板之间的距离越小,甲基橙的去除效果越好。反应进行至 1 h 时,电极间距为 1.0 cm 时甲基橙去除率达到 90.12%,而电极间距为

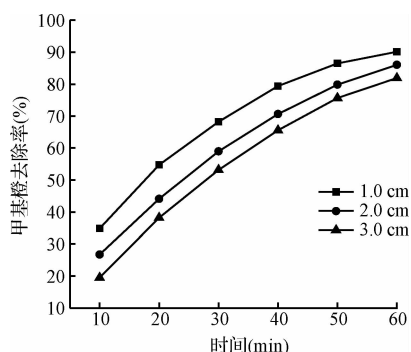


图5 电极间距对甲基橙去除率的影响
Fig. 5 Effect of electrode interval on removal efficiency of methyl orange

2.0 和 3.0 cm 时甲基橙去除率仅为 86.01% 和 81.91%。这是因为极板间的距离决定了电解槽内部电场强度的大小,极板间距越小,溶液相与极板间的电位差越大。同时极板间距越小,传质距离也越小,传质阻力也降低,进而强化了传质效果。由于受设备的限制,极板间距最小只能为 1.0 cm。同时文献[15]表明,极板间距过小不仅影响操作的稳定性还会增加反应器的加工难度。综上所述,本研究确定的最佳极板间距为 1.0 cm。

2.4 电解质浓度对甲基橙去除率的影响

在电解条件为电流密度 30.0 mA/cm²,极板间距 1.0 cm 前提下,依次改变支持电解质浓度为 5.0、10.0、20.0 和 30.0 g/L 进行电解实验,每隔 10 min 取样并持续 1.0 h,分析甲基橙去除率与电解质浓度之间的关系,实验结果如图 6 所示。

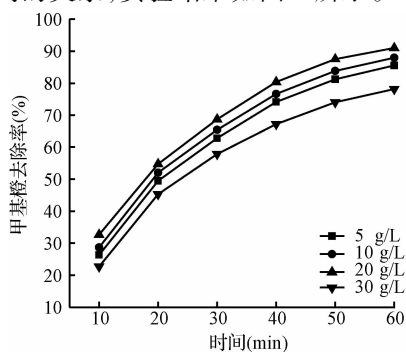


图6 电解质浓度对甲基橙去除率的影响
Fig. 6 Effect of electrolyte concentration on removal efficiency of methyl orange

由图6可知,在电解质浓度从 5.0 g/L 增加至 20.0 g/L 时,甲基橙的去除率也随之增加,但增加幅度不高。当电解质浓度从 20 g/L 增加至 30 g/L 时,甲基橙的去除率反而降低。反应进行至 1 h 时,电解质浓度为 20.0 g/L 时甲基橙去除率为 91.02%,而此时电解质浓度为 5.0、10.0 和 30.0 g/L

L 时甲基橙去除率分别为 85.54%、87.96% 和 78.14%。文献[16]分析得到以下主要原因:一方面当电解质浓度增大时,单位体积内离子数目增加,溶液的电导率增加,电解所需时间较短,故效率提高;另一方面,随着离子浓度增加其离子间的静电引力也随之增加,离子运动不自由使得电导率降低。硫酸钠是强电解质,在其浓度为 20.0 g/L 时,离子浓度与静电引力相互作用达到平衡,此时电导率最大,电解效率较高,甲基橙降解效率也较高。因此,本实验确定最佳硫酸钠浓度为 20.0 g/L。

3 结论

自制的 $\text{RuO}_2\text{-IrO}_2/\text{Ti}$ 电极对甲基橙有很好的脱色降解作用。实验过程中,甲基橙的降解率随着时间的增加明显升高,但反应一段时间后,降解率随时间变化趋于平缓,考虑到处理效果和节能原则,选择处理时间为 1.0 h。随着电流密度的增大,甲基橙的降解率随之提高,但从处理效果和副反应的角度考虑,选择的电流密度为 30.0 mA/cm^2 。极板间距决定了电解槽内电场强度的大小,极板间距越小,传质距离短、阻力小,强化了传质效果,所以选择极板间距为 1.0 cm。电解质的浓度同样对实验效果产生影响,电解质浓度过小,系统电阻越大、电导率也越低,甲基橙的降解率也较低;电解质浓度过大,离子之间的静电引力也越大,使得离子运动受限从而导致电导率降低,甲基橙降解率也降低,因此,本实验选择的电解质浓度为 20.0 g/L。在以上实验条件下,模拟废水中甲基橙的去除率高达 90% 以上。

参考文献

- [1] 刘妙丽,李强林.偶氮染料的禁用与环保型酸性染料的研究进展.西南民族大学学报(自然科学版),2007,33(3):554-557
Liu M. L., Li Q. L. Ban of azobenzol-dyes and research development of ecological acid dyes. Journal of Southwest University for Nationalities(Natural Science Edition), 2007, 33(3): 554-557 (in Chinese)
- [2] 毛艳梅,奚旦立,杨晓波.印染废水深度处理技术及回用的现状和发展.印染,2005,(8):46-48
Mao Y. M., Xi D. L., Yang X. B. Present situation and prospects of the advanced treatment and reuse of dyeing wastewater. Dyeing & Finishing, 2005, (8): 46-48 (in Chinese)
- [3] Gattrell D., Kirk D. W. A study of electrode passivation during aqueous phenol electrolysis. Journal of the Electrochemical Society, 1993, 140(4): 903-911
- [4] Comninellis C. Electrocatalysis in the electrochemical conversion/combustion of organic pollutants for waste water treatment. Electrochimica Acta, 1994, 39(11-12): 1857-1862
- [5] Iniesta J., Miehand P. A., Panizza M., et al. Electrochemical oxidation of phenol at boron-doped diamond electrode. Electrochimica Acta, 2001, 46(23): 3573-3578
- [6] Beer H. B. The invention and industrial development of metal anodes. Journal of the Electrochemical Society, 1980, 127(8): 303C-307C
- [7] 肖凯军,王新,郭丹丹,等.电催化氧化法制备葡萄糖酸钠的研究.食品科技,2009,34(3):235-239
Xiao K. J., Wang X., Guo D. D., et al. Preparation of sodium gluconate by multiphase electrochemical oxidation. Food Science and Technology, 2009, 34(3): 235-239 (in Chinese)
- [8] 黄永昌.钛基金属氧化物电极.腐蚀与防护,1999,20(5):251
- [9] 李森,冯传平,胡伟武,等. $\text{Ti/RuO}_2\text{-Pt}$ 电极电化学降解苯酚废水研究.环境科学与技术,2008,31(8):84-86,89
Li M., Feng C. P., Hu W. W., et al. Electrochemical degradation of phenol with $\text{Ti/RuO}_2\text{-Pt}$ anode. Environmental Science & Technology, 2008, 31(8): 84-86, 89 (in Chinese)
- [10] Martínez C. A., Barillas E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods; A general review. Applied Catalysis B: Environmental, 2009, 87(3-4): 105-145
- [11] FaridaYunus. R., Zheng Yuming, Nanayakkara K. G. N., et al. Electrochemical Removal of Rhodamine 6G by Using RuO_2 Coated Ti DSA. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2009, 48(16): 7466-7473
- [12] Babu B. R., Venkatesan P., Kanimozhi R., et al. Removal of pharmaceuticals from wastewater by electrochemical oxidation using cylindrical flow reactor and optimization of treatment conditions. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2009, 44(10): 985-994
- [13] Tahar N. B., Savall A. Electrochemical removal of phenol in alkaline solution. Contribution of the anodic polymerization on different electrode materials. Electrochimica Acta, 2009, 54(21): 4809-4816
- [14] 刘文武,涂学炎,王伟,等.两种 DSA 电极的制备及其对有机废水降解的电催化性能.环境化学,2007,26(2):152-156
Liu W. W., Tu X. Y., Wang W., et al. Preparation and evaluation on the electrocatalytic characteristics of two kinds of DSA electrodes. Environmental Chemistry, 2007, 26(2): 152-156 (in Chinese)
- [15] 景长勇,楼静,廉冬青,等.电化学法降解苯酚废水的实验研究.工业安全与环保,2010,36(2):16-17,23
Jing C. Y., Lou J., Lian D. Q., et al. The electric catalysis oxidization treatment of phenol in wastewater. Industrial Safety and Environmental Protection, 2010, 36(2): 16-17, 23 (in Chinese)
- [16] 钟耀,王建中,娄红波,等.含酚模拟废水电催化氧化实验研究.节水灌溉,2008,(9):18-20
Zhong Y., Wang J. Z., Lou H. B., et al. Experimental study on phenol-containing simulation wastewater treatment by electro-catalytic oxidation method. Water Saving Irrigation, 2008, (9): 18-20 (in Chinese)