

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第5期

Vol.35 No.5

**2014**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究 ..... 唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 乔利平, 王红丽, 周敏, 陈明华, 陈长虹, 王倩, 李贵玲, 李莉, 黄海英, 张钢锋 (1623)

南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析 ..... 薛国强, 朱彬, 王红磊 (1633)

2011年春季沙尘天气影响下上海大气颗粒物及其化学组分的变化特征 ..... 李贵玲, 周敏, 陈长虹, 王红丽, 王倩, 楼晟荣, 乔利平, 唐喜斌, 李莉, 黄海英, 陈明华, 黄成, 张钢锋 (1644)

结合外场观测分析珠三角二次有机气溶胶的数值模拟 ..... 郭晓霜, 司徒淑婷, 王雪梅, 丁翔, 王新明, 闫才青, 李小滢, 郑玫 (1654)

2013年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析 ..... 沈利娟, 李莉, 吕升, 张孝寒, 吴博, 章国骏, 王翥 (1662)

移动监测法测量厦门春秋季节近地面 CO<sub>2</sub> 的时空分布 ..... 李燕丽, 邢振雨, 穆超, 杜可 (1671)

秸秆烟尘和灰烬中元素碳的稳定同位素组成 ..... 刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹, 刘艳 (1680)

连续测量大气·OH的化学电离飞行时间质谱仪的研制 ..... 窦健, 花磊, 侯可勇, 蒋蕾, 谢园园, 赵无垠, 陈平, 王卫国, 田地, 李海洋 (1688)

我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平 ..... 于志勇, 金芬, 李红岩, 安伟, 杨敏 (1694)

巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响 ..... 马孟泉, 张玉超, 钱新, 马荣华, 段洪涛 (1698)

京杭大运河(杭州段)典型断面水生生物多样性调查及其与水环境相关性研究 ..... 陆胤, 许晓路, 张德勇, 王莉, 朱旭妮, 冯凤, 周巧君, 谢鹏 (1708)

合肥市典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价 ..... 李如忠, 刘科峰, 钱靖, 杨继伟, 张翩翩 (1718)

重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算 ..... 潘延安, 雷沛, 张洪, 单保庆, 李杰 (1727)

千岛湖库区及其主要入库河流水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评价 ..... 唐访良, 张明, 徐建芬, 阮东德, 陈峰, 吴志旭, 程新良 (1735)

九龙江流域潜在病原菌污染分析 ..... 侯丽媛, 胡安谊, 马英, 于昌平 (1742)

江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响 ..... 刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 王圣瑞, 曾清如 (1750)

鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征 ..... 简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 陈朴青, 熊建秋, 周雪玲 (1759)

典型岩溶水系统中溶解性有机质的运移特征 ..... 姚昕, 邹胜章, 夏日元, 许丹丹, 姚敏 (1766)

基于扰动分析方法的 AnnAGNPS 模型水文水质参数敏感性分析 ..... 席庆, 李兆富, 罗川 (1773)

混合胁迫条件下蓝藻运动特性研究 ..... 孙秀秀, 丛海兵, 高郑娟, 崔朝杰, 曹倩倩 (1781)

不同波长和强度光照对水体汞还原的影响 ..... 李希嘉, 钟紫旋, 孙荣国, 杨鲲, 王定勇 (1788)

地下水中常见离子对纳米零价铁除 Se(IV) 动力学的影响 ..... 杨文君, 郭迎庆, 杜尔登 (1793)

溴化铍可见光催化降解高效氯氟菊酯的研究 ..... 彭一莱, 赵小蓉, 贾漫珂, 周薇, 黄应平 (1798)

石墨烯基磁性复合材料吸附水中亚甲基蓝的研究 ..... 常青, 江国栋, 胡梦璇, 黄佳, 唐和清 (1804)

电化学氧化 PFOA 阳极材料筛选及其机制研究 ..... 卓琼芳, 邓述波, 许振成, 余刚 (1810)

典型抗生素在中国西南地区某污水处理厂中的行为和归趋 ..... 甘秀梅, 严清, 高旭, 张怡昕, 訾成方, 彭绪亚, 郭劲松 (1817)

颗粒状大孔阴树脂去除有机物以及缓解膜污染的效果与机制 ..... 何欢, 董秉直, 许光红, 闫昭辉 (1824)

石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究 ..... 周贵忠, 王兆丰, 王绚, 李文倩, 李少香 (1832)

靛基氯甲基化聚苯乙烯的制备及废水生化处理应用 ..... 张华雨, 许晴, 牛春梅, 王亚君, 侯正浩, 李绍英, 陈延明, 廉静, 吴士彬, 郭建博 (1838)

FePMo<sub>12</sub> 催化电化学反应降解染料废水的研究 ..... 王栗, 岳琳, 郭建博, 杨景亮, 廉静, 罗晓, 王开红 (1843)

实际污水培养好氧颗粒污泥及其特性研究 ..... 杨淑芳, 张健君, 邹高龙, 杜至力 (1850)

SFBR 中好氧颗粒污泥的培养及特性研究 ..... 龙焙, 杨昌柱, 濮文虹, 杨家宽, 白俊, 王晶, 周玄月, 蒋国盛, 李春阳, 刘福标 (1857)

不同好/厌氧区容积负荷对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响 ..... 尹航, 刘畅, 高辉, 高大文 (1866)

黄原酸化废弃污泥吸附 Cu<sup>2+</sup> 研究 ..... 岑艳, 全向春, 姜晓满 (1871)

轮叶黑藻和穗花狐尾藻对铜的吸收机制研究 ..... 薛培英, 李国新, 赵全利 (1878)

不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能 ..... 黄华, 王雅雄, 唐景春, 朱文英 (1884)

北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究 ..... 李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 陈波, 高琛, 石媛 (1891)

泰州市区重金属污染的藜袋法与路尘法评价研究 ..... 陈勤, 方炎明, 颜赞, 陈步金 (1901)

放牧对呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸温度敏感性的影响 ..... 王旭, 闫瑞瑞, 邓钰, 闫玉春, 辛晓平 (1909)

苹果园土壤呼吸的变化及生物和非生物因素的影响 ..... 王蕊, 郭胜利, 刘庆芳, 张彦军, 姜继超, 郭慧敏, 李如剑 (1915)

重庆铁山坪森林土壤汞释放通量的影响因子研究 ..... 王琼, 罗遥, 杜宝玉, 叶芝祥, 段雷 (1922)

上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征 ..... 奚功芳, 周守标, 丁海城, 姚春霞, 孔娟娟 (1928)

不同施氮量下水稻分蘖期光合碳向土壤碳库的输入及其分配的量化研究: <sup>13</sup>C 连续标记法 ..... 谭立敏, 吴昊, 李卉, 周萍, 李科林, 王久荣, 葛体达, 袁红朝, 吴金水 (1933)

污灌区盐分累积对土壤汞吸附行为影响的模拟研究 ..... 郑顺安, 李晓华, 徐志宇 (1939)

石灰干化污泥稳定后土壤中 Pb、Cd 和 Zn 浸出行为的研究 ..... 李翔, 宋云, 刘永兵 (1946)

大连市海产品中短链氯化石蜡的含量与分布研究 ..... 虞俊超, 王宝盛, 王亚韡, 孟梅, 陈茹, 江桂斌 (1955)

应用生物配体模型(BLM)研究辽河与太湖水体中铜对大型溞的急性毒性 ..... 周腾耀, 曹莹, 覃璐玫, 张亚辉, 曾鸿鸣, 闫振广, 刘征涛 (1962)

氧化铜纳米颗粒对水稻幼苗根系代谢毒性的研究 ..... 王淑玲, 张玉喜, 刘汉柱, 辛华 (1968)

吐温 80 对苏云金芽孢杆菌降解三苯基锡的促进机制 ..... 黄捷, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 马嘉雯, 唐立涛, 王惜若 (1974)

牛粪混合液微生物燃料电池长期运行稳定性研究 ..... 焦燕, 张国栋, 赵庆良 (1981)

针铁矿对城市生活垃圾有机组分厌氧发酵的影响 ..... 杨露露, 岳正波, 陈天虎, 王进 (1988)

城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究 ..... 王晓媛, 刘殷华, 汪飞, 黄长缨, 陆峰, 谢冰 (1994)

铈插层黏土负载铁催化剂在 H<sub>2</sub>S 选择性催化氧化过程中催化性能的研究 ..... 孙超, 张鑫, 郝郑平, 窦广玉, 孙春宝 (2002)

脱硫类水滑石衍生复合氧化物不同方法的制备与表征 ..... 祝春蕾, 王海林, 孙春宝 (2010)

固定污染源排气中 PM<sub>2.5</sub> 采样方法综述 ..... 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 李兴华, 段雷, 郝吉明 (2018)

产甲烷微生物研究概况 ..... 李煜珊, 李耀明, 欧阳志云 (2025)

《环境科学》征稿简则(1961) 《环境科学》征订启事(1967) 信息(1643, 1687, 1803, 1837)

# 石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究

周贵忠, 王兆丰, 王绚, 李文倩, 李少香\*

(青岛科技大学环境与安全工程学院, 青岛 266042)

**摘要:** 高盐废水是目前水处理领域的难点, 作为一种新型的除盐技术, 电吸附技术具有众多优点. 本文研究了一种新型碳基复合材料, 石墨-活性炭纤维复合电极, 并考察了其应用于电吸附的影响因素和除盐效果. 在电压为 1.6 V, 停留时间为 60 min, 极板间距为 1 cm 时电吸附装置的除盐效果最优. 用其分别对精制棉黑液和叶绿素铜钠废水进行了处理. 电极对数为 8 对时对经酸析处理后的精制棉黑液的电导率和 COD 的去除率分别达到 58.8% 和 75.6%; 电极对数为 6~8 对时对叶绿素铜钠生产废水的电导率的去除率能超过 50.0%, COD 的去除率约为 13.5%.

**关键词:** 电吸附; 石墨-活性炭纤维复合电极; 含盐废水; 影响因素; 除盐效果

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)05-1832-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.05.028

## Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes

ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, LI Wen-qian, LI Shao-xiang

(College of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

**Abstract:** High salinity wastewater is one of the difficulties in the field of wastewater treatment. As a new desalination technology, electrosorption technology has many advantages. This paper studied a new type of carbon-based electrodes, the graphite and activated carbon fiber composite electrodes. And the influencing factors of electrosorption and its desalination effect were investigated. The electrosorption device had optimal desalination effect when the voltage was 1.6 V, the retention time was 60 min and the plate spacing was 1 cm. The graphite and activated carbon fiber composite electrodes were used to treat the black liquor of refined cotton and sodium copper chlorophyll wastewater to investigate its desalination effect. When the electrodes were used to treat the black liquor of refined cotton after acid treatment, the removal rate of conductivity and COD reached 58.8% and 75.6% respectively when 8 pairs of electrodes were used. And when the electrode was used to treat the sodium copper chlorophyll wastewater, the removal rate of conductivity and COD reached higher than 50.0% and 13.5% respectively when 6-8 pairs of electrodes were used.

**Key words:** electrosorption; graphite and activated carbon fiber composite electrodes; saline wastewater; influence factors; desalination effect

目前含盐废水的物化处理方法主要有热力法除盐、化学法除盐、电-膜法除盐、压力-膜法除盐等几种类型<sup>[1]</sup>. 作为一种新型的除盐技术, 电吸附与传统除盐方法相比有其独特的优势. 电吸附工作过程不需要使用酸、碱, 既降低制水成本, 又环境友好; 且电吸附技术的工作电压低, 在工作过程中不会发生电解反应; 另外, 电吸附技术自动化程度高, 与其他除盐技术相比, 电吸附技术的抗污染能力较强, 可以避免经常性更换核心部件的麻烦<sup>[2-4]</sup>.

电吸附技术是以吸附能力较强的导电材料作电极, 在通电的条件下, 水中带电粒子在阴阳两极间受到电场力的作用, 分别向电性相反的电极迁移, 吸附在电极表面, 在双电层内富集<sup>[5-7]</sup>. 最终实现盐与水的分离, 获得净化或淡化的出水.

电吸附除盐的电极必须拥有较大的表面积和良好的导电性能, 如活性炭、活性炭纤维、炭气凝胶、碳纳米管等. 其中碳纳米管和炭气凝胶的除盐性能

好<sup>[8-21]</sup>, 但价格昂贵. 活性炭的吸附能力有限, 活性炭纤维的吸附能力有所提高, 但属于软性材料, 且导电性能稍差, 应用时能耗大, 成型效果差, 将两者混合制作石墨-活性炭纤维复合电极既具有良好的吸附性能, 又改善了活性炭纤维电极导电性能差的缺点.

本研究采用电吸附技术处理含盐废水, 自制石墨-活性炭纤维复合电极, 确定了装置运行的最适参数, 继而对实际含盐废水进行处理研究. 主要研究了不同参数(电压、pH、Cl<sup>-</sup>初始浓度、极板间距)下电吸附装置处理模拟含盐废水的除盐效果, 且考察了电极对实际含盐废水的电吸附除盐效果及对废水可生化性的提高情况.

收稿日期: 2013-09-16; 修订日期: 2013-10-23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC10B04)

作者简介: 周贵忠(1973~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为污水处理与资源化, E-mail: zhougz@qust.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: leeshaoxiang@126.com

## 1 材料与方法

### 1.1 石墨-活性炭纤维复合电极和电吸附除盐装置

选择酚醛树脂为胶黏剂, 电极材料为石墨与活性炭纤维粉末的混合物. 将电极材料与胶黏剂以一定比例混合均匀后压成  $10\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  大小, 成形后放入电炉中, 在  $\text{N}_2$  保护氛围中, 在适宜温度下炭化, 制成石墨-活性炭纤维复合电极.

图 1 为电吸附除盐装置示意图, 对废水进行除盐处理时, 将电极固定在电吸附装置的隔板上, 连接直流电源, 废水从装置的一端进入, 另一端流出. 装置中电极的对数可以随意调整, 废水含盐量较高时可以适当增加电极对数以达到最好的除盐效果.

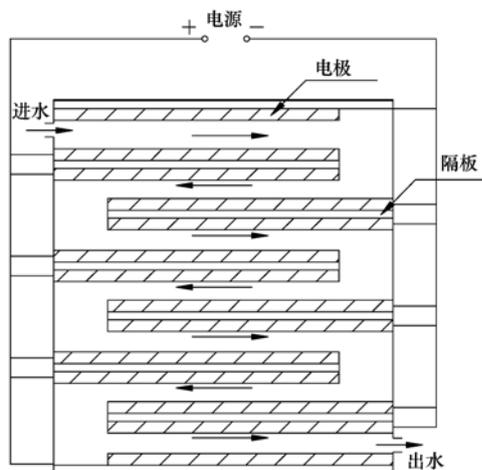


图 1 电吸附除盐装置示意

Fig. 1 Electroadsorption desalination device

### 1.2 实验用水

实验用水分为两部分, 第一部为模拟实验用水, 配置一定  $\text{Cl}^-$  浓度的  $\text{NaCl}$  溶液备用. 第二部分为实际的精制棉黑液和叶绿素铜钠生产废水.

### 1.3 实验内容

#### 1.3.1 石墨-活性炭纤维复合电极的制备

电极材料中石墨与活性炭纤维的质量比为 3:2, 电极材料与胶黏剂的质量比为 4:1. 混合均匀后压成  $10\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  大小, 成形后放入电炉中, 在  $\text{N}_2$  保护氛围中, 在  $850^\circ\text{C}$  下炭化 60 min, 制成石墨-活性炭纤维复合电极. 然后用浓度为  $1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{KOH}$  在  $100^\circ\text{C}$  的条件下处理 3 h.

#### 1.3.2 电吸附运行参数对除盐效果的影响

采用单因素实验的方法研究电压、反应时间、 $\text{Cl}^-$  初始浓度、pH、极板间距对除盐效果的影响. 该部分实验电吸附装置中的电极对数均为一对.

#### 1.3.3 复合电极对实际废水的处理效果

选取两种实际高盐废水, 在电吸附装置的最优运行参数下对其进行处理, 测定处理前后废水的电导率和 COD 的去除率, 并测定电吸附除盐前后废水的耗氧曲线, 研究电吸附除盐对可生化性的影响.

### 1.4 分析检测方法

#### 1.4.1 水质检测

水质 COD、pH、 $\text{Cl}^-$  的检测采用国家标准方法, 其中 COD 采用快速消解分光光度法测量, 所用仪器为 HACH DR 200, DR 2700 型消解仪和检测器. 废水的可生化性用耗氧曲线法测定, 运用荧光溶解氧测定仪 (HACH HQ30D).

#### 1.4.2 石墨-活性炭纤维复合电极材料结构分析

电极中的化学基团用红外光谱 (Infrared Spectroscopy, IR) 分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 KOH 处理前后电极材料的结构特征

图 2 中, 处理后的电极上羟基数量增多, 波数  $1650\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为  $-\text{COOH}$  中的  $\text{C}=\text{O}$  非对称伸缩振动的结果, 波数  $1200\text{ cm}^{-1}$  处的宽吸收峰应为  $-\text{COOR}$  振动所致. 其中羧基和羟基可以增强离子交换反应, 羰基可以加快感应电流反应的电子转移, 所以对氯离子的吸附能力更强<sup>[22]</sup>.

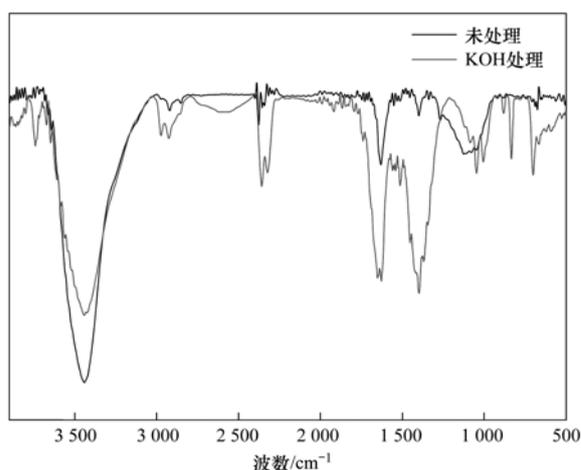


图 2 未处理与碱处理电极的红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectrogram of electrodes unmodified and modified by KOH

### 2.2 运行参数对电吸附处理效果的影响

图 3(a) 为不同电压条件下  $\text{Cl}^-$  去除率随时间的变化曲线, 可以看出, 在反应时间为 60 min 时吸附基本达到平衡, 选取 60 min 为最佳处理时间.

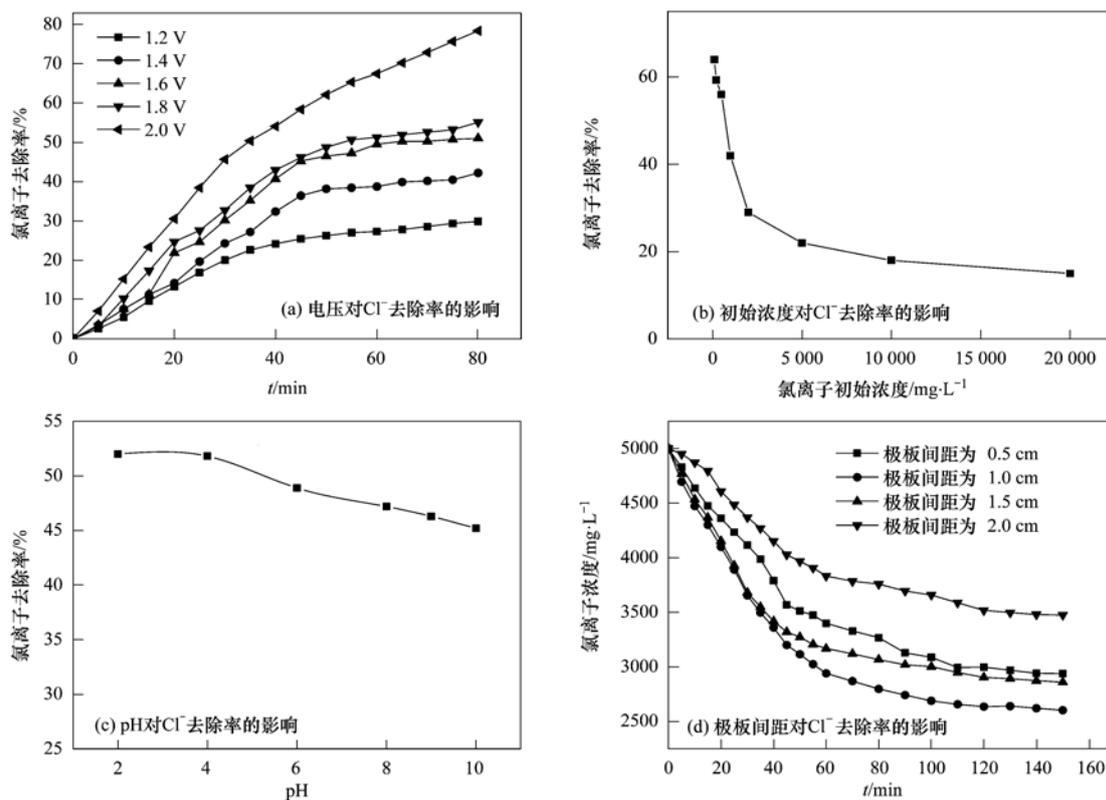


图3 运行参数对电吸附处理效果的影响

Fig. 3 Influence of operation parameters on the electrosorption treatment

$\text{Cl}^-$  在电压较小时去除率较低,随着电压的升高去除率明显增大;在电压 1.6 V 时去除率已经较高;1.6 ~ 1.8 V 时去除率虽还在升高,但幅度不大。1.2 ~ 1.6 V 时,随着电压增大,去除率显著增大,即电极的吸附量增多。这是由于双电层对电解质离子的静电吸附是一个物理变化,电极置于溶液中时,电极和溶液界面即产生双电层。给电极加上一定的电势差,界面双电层被进一步强化,电极表面由自由电子形成的电荷密度增大,就必然从溶液中吸附更多的电解质离子以中和这一过程。电压超过 1.8 V 时, $\text{Cl}^-$  开始电解<sup>[23]</sup>,所以随着电压的升高, $\text{Cl}^-$  去除率以更大的幅度增大。最适合电吸附的电压为 1.6 ~ 1.8 V,从节约能源角度考虑,选择 1.6 V 为最适工作电压。

图 3(b) 为  $\text{Cl}^-$  初始浓度对其去除率的影响,可以看出, $\text{Cl}^-$  初始浓度较低(0 ~ 1 000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 时, $\text{Cl}^-$  去除率随溶液初始浓度的增加逐渐降低, $\text{Cl}^-$  浓度为 2 000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的模拟废水经电吸附处理后  $\text{Cl}^-$  去除率能达到 30%;  $\text{Cl}^-$  浓度为 20 000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时, $\text{Cl}^-$  去除率能达到 15%。

pH 对  $\text{Cl}^-$  去除率的影响见图 3(c),在 pH 较低

时, $\text{Cl}^-$  的去除率稍高,但整体的变化不大。这是因为在 pH 较低时,活性炭纤维表面带的正电荷数量较多,电极表面的静电斥力相对较大,随着 pH 的升高,电极表面的静电斥力减小,所以吸附量升高<sup>[24]</sup>。在实际废水中常含有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等在碱性条件下形成沉淀的离子,形成的沉淀会阻塞电极的微孔结构,附着在电极表面,影响电极双电层的产生,降低除盐效率。若废水中含有此类离子,要先将 pH 调为中性或偏酸性再将废水通入电吸附装置进行除盐处理。

极板间距对  $\text{Cl}^-$  去除的影响如图 3(d),可以看出,极板间距为 1 cm 时对  $\text{Cl}^-$  的去除效果最好。这是由于电极间的距离越小,所形成的双电层厚度越大,带电离子迁至双电层的距离变短。但是由于电极的间距过短会阻碍水流流动,还有可能使电极发生短路,增大能耗;另外极板间距太小时正负离子的分界不明显,淡水区很小,所以出水的离子含量下降少;而极板间距太大时,电极间离子扩散距离长,湍流度小,离子到达双电层并被其吸附的时间长,且电极对距离较远的离子作用力很小,不能将其吸附到表面。综上,选择 1 cm 为最佳的极板间距。

### 2.3 石墨-活性炭纤维复合电极对实际废水的处理效果

分别在电吸附装置中装入 1、2、4、6、8、10 对电极,将精制棉黑液的酸析出水<sup>[25]</sup>通入装置,在最优的电吸附条件下进行处理,所得出水的电导率、COD 及其去除率的结果见图 4、5。从中可以看出,随着电极数量的增加,出水电导率和 COD 都有所降低,但是降低幅度逐渐减缓,在电极对数增加到 8 对时,对废水的电导率和 COD 去除率分别达到 58.8% 和 75.6%,这主要是因为精制棉黑液中有很大一部分带电的有机分子,这部分分子能够在通电的条件下向电极移动,被吸附在电极表面,从而降低废水的 COD。电极对数继续增加对去除率的提高很小。综合考虑处理成本、效果等,处理精制棉黑液时电吸附装置中的电极对数为 8 对时较合适。

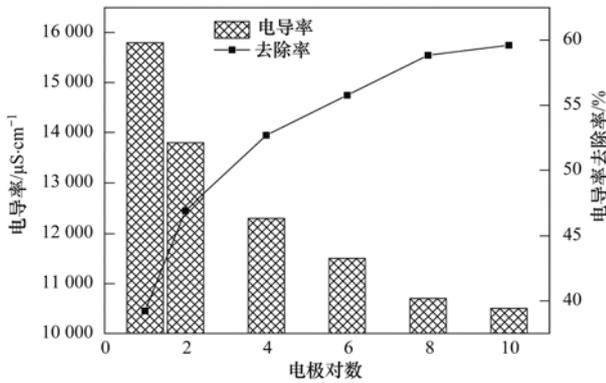


图 4 电极数量对精制棉黑液电导率去除的影响

Fig. 4 Conductivity removal of refined cotton wastewater

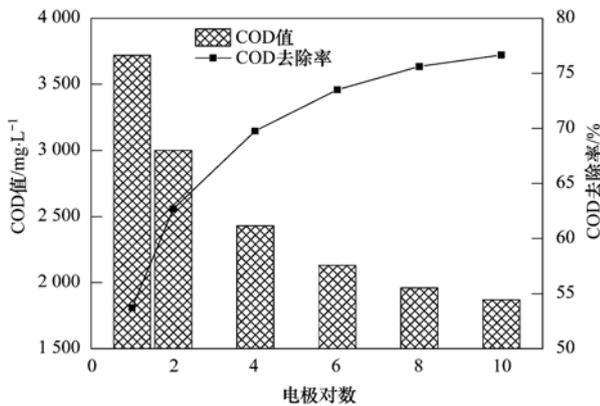


图 5 电极数量对精制棉黑液 COD 去除的影响

Fig. 5 COD removal of refined cotton wastewater

如图 6、图 7 所示,将叶绿素铜钠生产废水通入电吸附装置,分别在电吸附装置中装入 1、2、4、6、8、10 对电极,在最优的电吸附条件下进行处理,得到出水的电导率、COD 及其去除率的结果。可以看出,在电极对数增加到 6~8 对时,对废水电导率的

去除率达到较高的水平,对叶绿素铜钠废水 COD 的去除较少,这是由于废水中带电有机分子的含量较少,综合考虑处理成本、处理效果等方面,处理精制棉黑液时电吸附装置中的电极对数为 6~8 对时较合适。

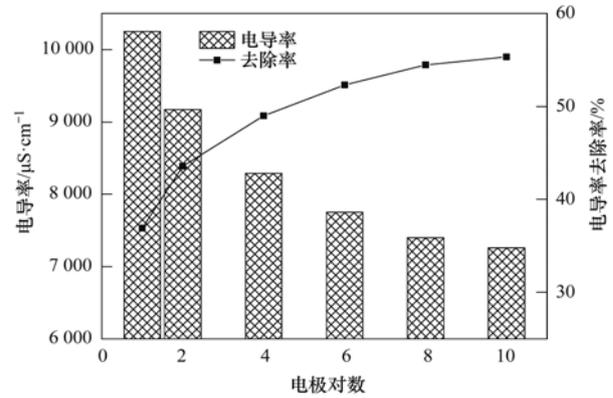


图 6 电极数量对叶绿素铜钠生产废水电导率去除的影响

Fig. 6 Conductivity removal of sodium copper chlorophyll wastewater

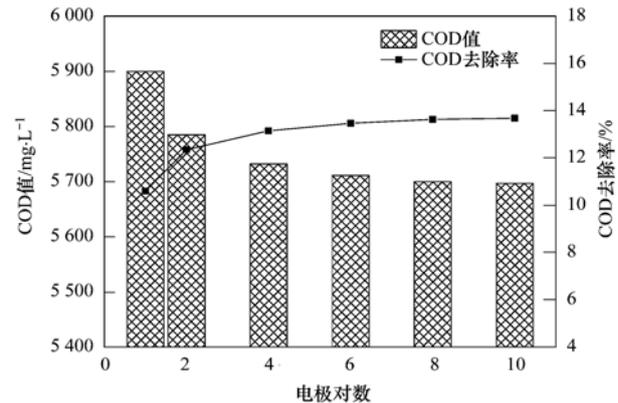


图 7 电极数量对叶绿素铜钠生产废水 COD 去除的影响

Fig. 7 COD removal of sodium copper chlorophyll wastewater

本实验通过测定活性污泥的呼吸速度来考察电吸附后废水的可生化性。实验结果见图 8。从中可以看出,活性污泥与电吸附处理前的废水接触,微生物的耗氧速率只比内源呼吸曲线稍快,而活性污泥与电吸附处理后的废水混合时,微生物的耗氧速率极快。这主要是因为经过电吸附处理后,废水中的盐度得到了很大的降低,而盐度是抑制微生物生长的很重要的因素;另外,电吸附去除了废水中部分难降解的大分子物质或者对微生物的生长有抑制作用的物质,也使微生物的耗氧速率加快。

### 3 结论

(1) 用 KOH 处理后的电极上的羰基和羧基增多。

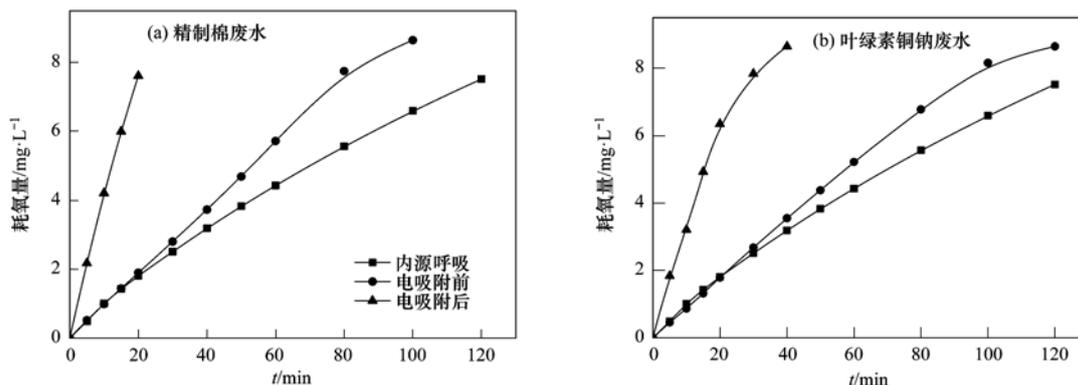


图 8 精制棉废水和叶绿素铜钠废水的耗氧曲线图

Fig. 8 Oxygen consumption curve of refined cotton wastewater and sodium copper chlorophyll wastewater

(2) 石墨-活性炭纤维复合电极电吸附的最优工作条件为电压 1.6 V, 停留时间为 60 min, 极板间距为 1 cm.

(3) 在处理经酸析处理后的精制棉黑液时, 电极对数为 8 对时能达到较好的处理效果, 对废水电导率和 COD 的去除率分别达到 58.8% 和 75.6%; 处理叶绿素铜钠生产废水时, 电极对数为 6~8 对时能取得较好的处理效果, 此时对电导率的去除率能超过 50.0%, 对 COD 的去除率约为 13.5%. 同时, 通过对应活性污泥呼吸速率测试表明, 所处理废水的生化性得到大幅度提高.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 崔玉川. 水的除盐方法与工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008. 11-12.
- [ 2 ] Farmer J C, Fix D V, Mack G V, *et al.* Capacitive deionization of NaCl and NaNO<sub>3</sub> solutions with carbon Aerogel electrodes [J]. *Journal of The Electrochemical Society*, 1996, **143**(1): 159-169.
- [ 3 ] Farmer J C. Method and apparatus for capacitive deionization and electrochemical purification and regeneration of electrodes [P]. U. S. : US5954937 A, 1995-5-19.
- [ 4 ] Farmer J C. Method and apparatus for capacitive deionization and electrochemical purification and regeneration of electrodes [P]. U. S. : US5425858, 1994-05-20.
- [ 5 ] Johnson A M, Newman J. Desalting by means of porous carbon electrodes [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1971, **118**(3): 510-517.
- [ 6 ] Johnson A M, Newman J. Chemical industry and engineering progress [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1978, **125**: 867-880.
- [ 7 ] Soffer A, Folman M. The electrical double layer of high surface porous carbon electrode [J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 1972, **38**(1): 25-43.
- [ 8 ] Alfarra A, Frackowiak E, Béguin F. Mechanism of lithium electroadsorption by activated carbons [J]. *Electrochimica Acta*, 2002, **47**(10): 1545-1553.
- [ 9 ] Afkhami A. Adsorption and electroadsorption of nitrate and nitrite on high-area carbon cloth: an approach to purification of water and waste-water samples [J]. *Carbon*, 2003, **41**(6): 1320-1322.
- [ 10 ] Jannakoudakis A D, Jannakoudakis P D, Pagalos N, *et al.* Preparation and catalytic efficiency of mixed noble metal catalysts on electrochemically activated carbon fibre supports [J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1993, **23**(11): 1162-1168.
- [ 11 ] Kim C. Electrochemical characterization of electrospun activated carbon nanofibres as an electrode in supercapacitors [J]. *Journal of Power Sources*, 2005, **142**(1-2): 382-388.
- [ 12 ] Ishikawa M, Sakamoto A, Monta M, *et al.* Effect of treatment of activated carbon fiber cloth electrodes with cold plasma upon performance of electric double-layer capacitors [J]. *Journal of Power Sources*, 1996, **60**(2): 233-238.
- [ 13 ] Ahn H J, Lee H J, Jeong Y, *et al.* Nanostructured carbon cloth electrode for desalination from aqueous solutions [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2007, **449-451**: 841-845.
- [ 14 ] Farmer J C, Fix D V, Mack G V. Capacitive deionization with carbon aerogel electrodes: carbonate, sulfate, and phosphate [C]. *International SAMPE Technical Conference*, 1995, **27**(2): 294-304.
- [ 15 ] Farmer J C, Fix D V, Mack G V, *et al.* Capacitive deionization of NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub> solutions with carbon aerogel electrodes [J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1996, **26**(10): 1007-1018.
- [ 16 ] Rasines G, Lavela P, Macías C, *et al.* Electrochemical response of carbon aerogel electrodes in saline water [J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2012, **671**: 92-98.
- [ 17 ] Ryoo M W, Seo G. Improvement in capacitive deionization function of activated carbon cloth by titania modification [J]. *Water Research*, 2003, **37**(7): 1527-1534.
- [ 18 ] Yang C M, Choi W H, Na B K, *et al.* Capacitive deionization of NaCl solution with carbon aerogel-silica gel composite electrodes [J]. *Desalination*, 2005, **174**(2): 124-133.
- [ 19 ] Ahn H J, Lee J H, Jeong Y, *et al.* Nanostructured carbon cloth electrode for desalination from aqueous solutions [J]. *Materials Science and Engineering*, 2007, **449-451**: 841-845.

- [20] Lee J B, Park K K, Yoon S W *et al.* Desalination performance of a carbon-based composite electrode [J]. *Desalination*, 2009, **237**(1-3): 155-161.
- [21] Chang L M, Duan X Y, Liu W. Preparation and electrosorption desalination performance of activated carbon electrode with titania [J]. *Desalination*, 2011, **270**(1-3): 285-290.
- [22] Tsutsumi K, Matsushima Y, Matsuoto A. Surface heterogeneity of modified active carbons [J]. *Langmuir*, 1993, **9**(10): 2665-2669.
- [23] 朱文涛. 物理化学(下)[M]. 清华大学出版社, 1995. 102-115.
- [24] Ayranci E, Duman O. Adsorption behaviors of some phenolic compounds onto high specific area activated carbon cloth [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, **124**(1-3): 125-132.
- [25] 唐艳. 木材蒸煮废水处理工艺的实验研究[D]. 上海: 东华大学, 2008.

## 关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

## CONTENTS

Emission Factors and PM Chemical Composition Study of Biomass Burning in the Yangtze River Delta Region .....	TANG Xi-bin, HUANG Cheng, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1623)
Size Distributions and Source Apportionment of Soluble Ions in Aerosol in Nanjing .....	XUE Guo-qiang, ZHU Bin, WANG Hong-lei (1633)
Characteristics of Particulate Matters and Its Chemical Compositions During the Dust Episodes in Shanghai in Spring, 2011 .....	LI Gui-ling, ZHOU Min, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (1644)
Numerical Modeling Analysis of Secondary Organic Aerosol (SOA) Combined with the Ground-based Measurements in the Pearl River Delta Region .....	GUO Xiao-shuang, SITU Shu-ping, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (1654)
Observation of a Photochemical Event in Jiaying During Summer 2013 .....	SHEN Li-juan, LI Li, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (1662)
Spatial and Temporal Variations of Near Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> with Mobile Measurements in Fall and Spring in Xiamen, China .....	LI Yan-li, XING Zhen-yu, MU Chao, <i>et al.</i> (1671)
Isotope Compositions of Elemental Carbon in the Smoke and Ash from Crop Straw Combustion .....	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (1680)
Development of a Chemical Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer for Continuous Measurements of Atmospheric Hydroxyl Radical .....	DOU Jian, HUA Lei, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (1688)
Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities .....	YU Zhi-yong, JIN Fen, LI Hong-yan, <i>et al.</i> (1694)
Vertical Distribution of Water Quality and Its Influence on Underwater Light Field in Lake Chaohu .....	MA Meng-xiao, ZHANG Yu-chao, QIAN Xin, <i>et al.</i> (1698)
Correlation Between Aquatic Plant Diversity and Water Environment in the Typical Sites of Hangzhou Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal .....	LU Yin, XU Xiao-lu, ZHANG De-yong, <i>et al.</i> (1708)
Nitrogen and Phosphate Pollution Characteristics and Eutrophication Evaluation for Typical Urban Landscape Waters in Hefei City .....	LI Ru-zhong, LIU Ke-feng, QIAN Jing, <i>et al.</i> (1718)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Sediments and Estimation of the Nutrients Fluxes in Longjinghu Lake, Chongqing City, During the Initial Impoundment Period .....	PAN Yan-an, LEI Pei, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1727)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in the Water of Lake Qiandao and Its Major Input Rivers .....	TANG Fang-liang, ZHANG Ming, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (1735)
Distribution of Potential Pathogenic Bacteria in the Jiulong River Watershed .....	HOU Li-yuan, HU An-yi, Ma Ying, <i>et al.</i> (1742)
Influence of the River-lake Relation Change on the Distribution of Heavy Metal and Ecological Risk Assessment in the Surface Sediment of Poyang Lake .....	LIU Wan-qing, NI Zhao-kui, WU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1750)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Heavy Metals Pollution in the Water, Soil and Sediments Environment of the Lean River-Poyang Lake Wetland .....	JIAN Min-fei, LI Ling-yu, XU Peng-fei, <i>et al.</i> (1759)
Dissolved Organic Matter (DOM) Dynamics in Karst Aquifer Systems .....	YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, XIA Ri-yuan, <i>et al.</i> (1766)
Sensitivity Analysis of AnnAGNPS Model's Hydrology and Water Quality Parameters Based on the Perturbation Analysis Method .....	XI Qing, LI Zhao-fu, LUO Chuan (1773)
Movement Characteristics of <i>Cyanobacteria</i> Under Stress of Water-Lifting Aeration .....	SUN Xiu-xiu, CONG Hai-bing, GAO Zheng-juan, <i>et al.</i> (1781)
Influence of Light Wavelength and Intensity on the Reduction of Divalent Mercury in Aquatic System .....	LI Xi-jia, ZHONG Zi-xuan, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (1788)
Dynamic Effects of Commonly Co-Existing Anions on the Removal of Selenite from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron .....	YANG Wen-jun, GUO Ying-qing, DU Er-deng (1793)
BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light .....	PENG Yi-zhu, ZHAO Xiao-rong, JIA Man-ke, <i>et al.</i> (1798)
Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Magnetic Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Graphene Oxide Nanoparticles .....	CHANG Qing, JIANG Guo-dong, HU Meng-xuan, <i>et al.</i> (1804)
Selection of Electrochemical Anodic Materials for PFOA Degradation and Its Mechanism .....	ZHUO Qiong-fang, DENG Shu-bo, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (1810)
Occurrence and Fate of Typical Antibiotics in a Wastewater Treatment Plant in Southwest China .....	GAN Xiu-mei, YAN Qing, GAO Xu, <i>et al.</i> (1817)
Effects and Mechanism on Removing Organics and Reduction of Membrane Fouling Using Granular Macro-Porous Anion Exchange Resin in Drinking Water Treatment .....	HE Huan, DONG Bing-zhi, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (1824)
Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes .....	ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, <i>et al.</i> (1832)
Preparation and Application of the Quinonyl Chloromethylation Polystyrene in Biological Treatment of Wastewater .....	ZHANG Hua-yu, XU Qing, NIU Chun-mei, <i>et al.</i> (1838)
Enhanced Electro-Catalytic Oxidation of Dye Wastewater with FePMo <sub>12</sub> Adopted Catalyst .....	WANG Li, YUE Lin, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (1843)
Formation and Characterization of Aerobic Granules in a Pilot-scale Reactor for Real Wastewater Treatment .....	YANG Shu-fang, ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, <i>et al.</i> (1850)
Research on Cultivation of Aerobic Granular Sludge and Its Characteristics in Sequencing Fed Batch Reactor .....	LONG Bei, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1857)
Effect of Different Volume Loading of Aerobic/Anaerobic Zone on Nitrogen and Phosphorus Removal by Biofilm and Granular Sludge Coupling Process .....	YIN Hang, LIU Chang, GAO Hui, <i>et al.</i> (1866)
Adsorption of Cu <sup>2+</sup> by Xanthate-Functionalized Waste Sludge .....	CEN Yan, QUAN Xiang-chun, JIANG Xiao-man (1871)
Mechanisms of Copper Uptake by Submerged Plant <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle and <i>Myriophyllum spicatum</i> L. ....	XUE Pei-ying, LI Guo-xin, ZHAO Quan-li (1878)
Properties of Maize Stalk Biochar Produced Under Different Pyrolysis Temperatures and Its Sorption Capability to Naphthalene .....	HUANG Hua, WANG Ya-xiong, TANG Jing-chun, <i>et al.</i> (1884)
Beijing Common Green Tree Leaves' Accumulation Capacity for Heavy Metals .....	LI Shao-ming, KONG Ling-wei, LI Shao-wei, <i>et al.</i> (1891)
Assessment of Heavy Metal Contamination by Moss-bag Method and Road-dust Method for Taizhou Urban Area .....	CHEN Qin, FANG Yan-ming, YAN Yun, <i>et al.</i> (1901)
Effect of Grazing on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Hulunber Meadow Steppe .....	WANG Xu, YAN Rui-rui, DENG Yu, <i>et al.</i> (1909)
Variation Characteristic in Soil Respiration of Apple Orchard and Its Biotic and Abiotic Influencing Factors .....	WANG Rui, GUO Sheng-li, LIU Qing-fang, <i>et al.</i> (1915)
Influencing Factors of Mercury Emission Flux from Forest Soil at Tieshanping, Chongqing .....	WANG Qiong, LUO Yao, DU Bao-yu, <i>et al.</i> (1922)
Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs .....	XI Gong-fang, ZHOU Shou-biao, DING Hai-cheng, <i>et al.</i> (1928)
Input and Distribution of Rice Photosynthesized Carbon in the Tillering Stage Under Different Nitrogen Application Following Continuous <sup>13</sup> C Labeling .....	TAN Li-min, WU Hao, LI Hui, <i>et al.</i> (1933)
Simulation Study on the Effect of Salinity on the Adsorption Behavior of Mercury in Wastewater-Irrigated Area .....	ZHENG Shun-an, LI Xiao-hua, XU Zhi-yu (1939)
Leaching Behavior of Pb, Cd and Zn from Soil Stabilized by Lime Stabilized Sludge .....	LI Xiang, SONG Yun, LIU Yong-bing (1946)
Levels and Distribution of Short Chain Chlorinated Paraffins in Seafood from Dalian, China .....	YU Jun-chao, WANG Thanh, WANG Ya-wei, <i>et al.</i> (1955)
Application of Biotic Ligand Model for the Acute Toxicity of Copper to <i>Daphnia magna</i> in Water of Liaohe River and Taihu Lake .....	ZHOU Teng-yao, CAO ying, QIN Lu-mei, <i>et al.</i> (1962)
Phytotoxicity of Copper Oxide Nanoparticles to Metabolic Activity in the Roots of Rice .....	WANG Shu-ling, ZHANG Yu-xi, LIU Han-zhu, <i>et al.</i> (1968)
Enhancing Effect of Tween 80 on Degradation of Triphenyltin by <i>Bacillus thuringiensis</i> .....	HUANG Jie, YE Jin-shao, YIN Hua, <i>et al.</i> (1974)
Long-term Performance of Microbial Fuel Cell Using Manure as Substrate .....	JIAO Yan, ZHANG Guo-dong, ZHAO Qing-liang (1981)
Influence of Goethite on Anaerobic Fermentation of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW) .....	YANG Lu-lu, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (1988)
Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process .....	WANG Xiao-yuan, LIU Yin-hua, WANG Fei, <i>et al.</i> (1994)
Selective Catalytic Oxidation of H <sub>2</sub> S over Supported Fe Catalysts on CeO <sub>2</sub> -Intercalated Laponite Clay .....	SUN Chao, ZHANG Xin, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (2002)
Preparation by Different Methods and Characterization of Desulfurization Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites .....	ZHU Chun-lei, WANG Hai-lin, SUN Chun-bao (2010)
Sampling Methods for PM <sub>2.5</sub> from Stationary Sources: a Review .....	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2018)
A Research Overview of Methanogens .....	LI Yu-shan, LI Yao-ming, OUYANG Zhi-yun (2025)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年5月15日 35卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 5 May 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行