

电化学水处理关键技术开发与工程化应用



汇报人：韩卫清

南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

南京润科环境有限公司

目　录

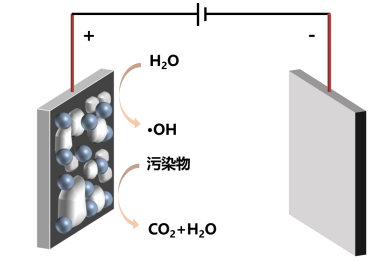
1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
   3.1 高催化功能阳阴极材料研制
   3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

1. 研究背景----电化学水处理技术优势

工业污染防治向资源化利用和健康管控转变，新污染物控制和低碳技术成为重大需求和前沿热点

1894年之前	1912年	1960年	2000年	2020年以后
公共卫生	达标控制	达标控制	提标升级	低碳化
TSS	BOD	COD	TN、TP	碳减排
悬浮性颗粒物	溶解性可降解物	还原性有机物	全部形态的氮磷	污染物转化与利用

电化学技术



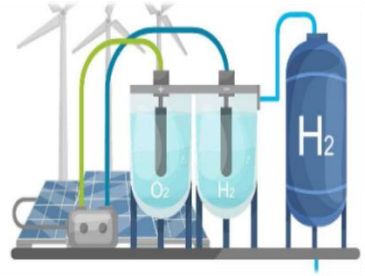
← 污染物高效去除



← 无二次污染



← 低碳节能



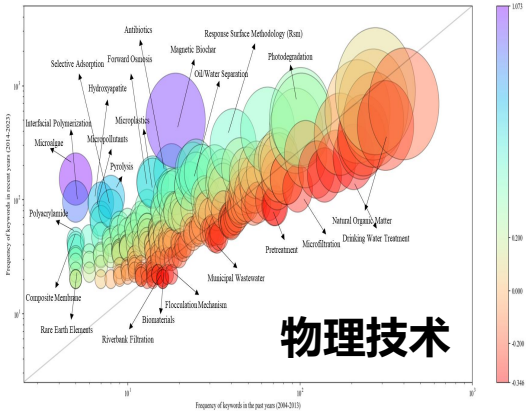
← 资源化回收

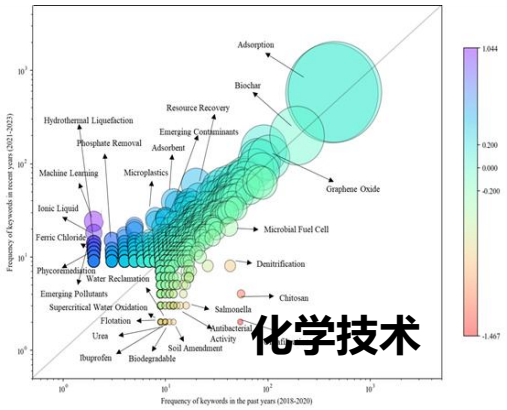
电化学水处理技术具污染物高效去除、环境友好、低碳节能和资源回收的优势和特点
是实现废水碳污协同和风险控制的最有效方法之一

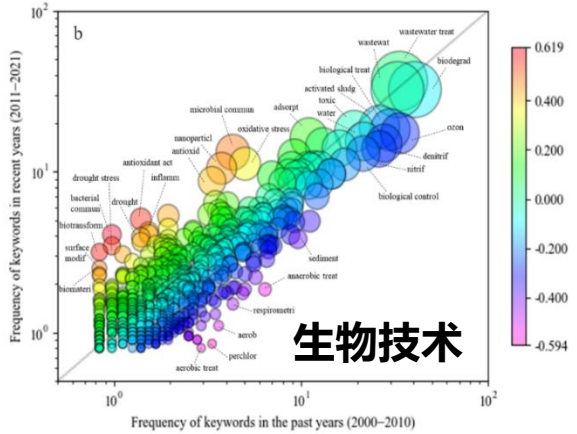
1. 研究背景----电化学水处理技术优势

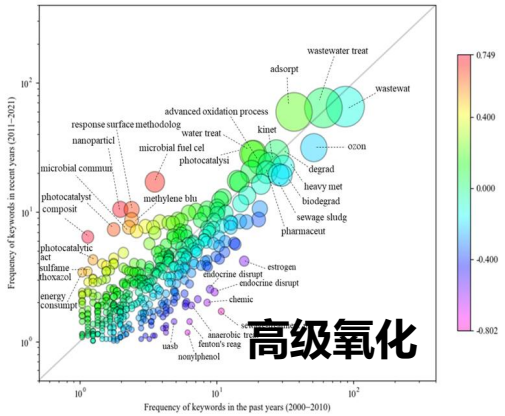
面对行业新难题：高盐、高毒性工业废水向靶向化、清洁化、资源化处理理念转变

技术难点和技术需求：高效、短程、低耗；并突破氧化与还原实现高效耦合









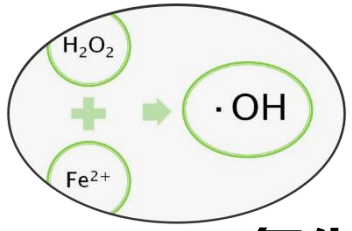
电化学技术是实现废水减污、降碳、水质健康最有效途径之一

电化学技术兼具电子传递、多级活性物种介导的氧化与还原特性
是实现废水碳污协同和风险控制的最有效方法之一

1. 研究背景----电化学水处理技术优势

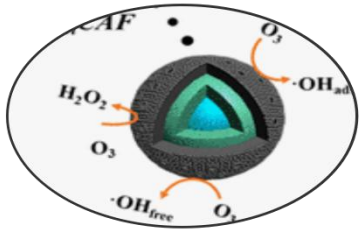
当前技术的局限性不能满足复杂水质环境的使用需求

当前技术



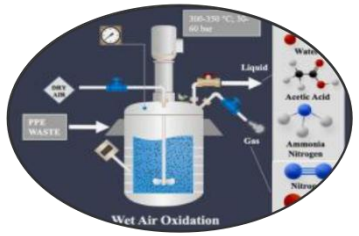
➢ Fenton氧化

自由基淬灭、氧化停滞



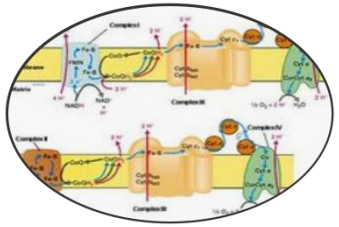
➢ 催化臭氧氧化

催化剂失活



➢ 湿式氧化

盐分影响，效率受限



➢ 生物技术

生物抑制性

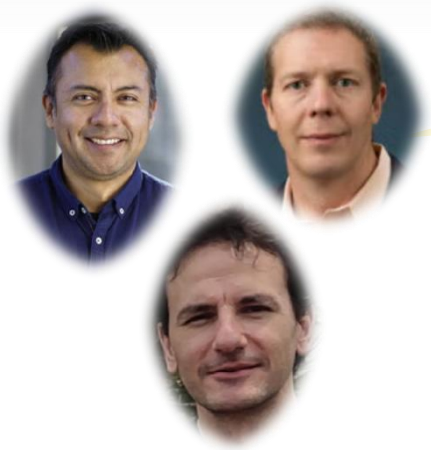
……

……

在复杂废水中的局限性

电化学技术可以实现不同水质背景下的微环境调控，高级氧化可以有效进行，是实现污染物降解的最有效方法之一

1. 研究背景----电化学水处理技术优势



电化学水处理技术可以作为多种传统工艺的替代或强化策略

ACCOUNTS of chemical research
Cite This: Acc. Chem. Res. 2019, 52, 596−604

The Prospect of Electrochemical Technologies Advancing Worldwide Water Treatment

Published as part of the Accounts of Chemical Research special issue "Water for Two Worlds: Urban Communities".

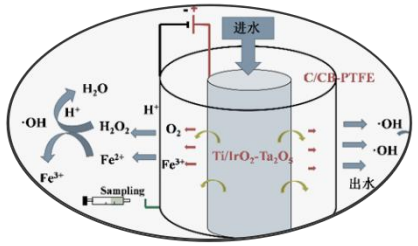
Brian P. Chaplin*

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Current Opinion in Electrochemistry

Editorial overview: Electrochemical technologies for wastewater treatment with a bright future in the forthcoming years to benefit of our society

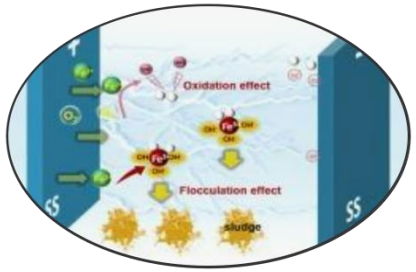
Carlos A. Martínez-Huitle, Ignasi Sirés and

- Fenton氧化 → 电化学氧化



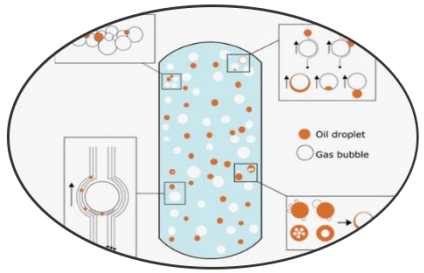
药剂投加减少、铁泥削减

- 絮凝 → 电絮凝



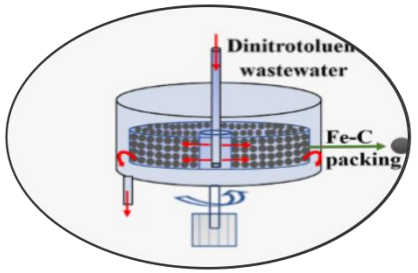
药剂减少、精准控制

- 气浮 → 电气浮



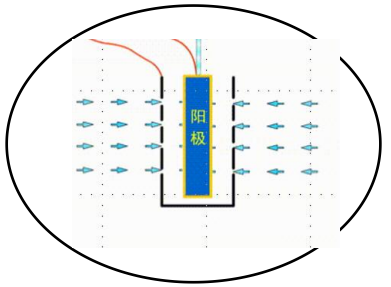
适用性强

- 微电解 → 电还原



不易钝化、无药剂添加

- 膜过滤 → 电膜过滤



通量提升8倍

- ……
- ……

1.项目背景——装备化需求

政策背景





- **工信部发布的《环保装备制造业高质量发展行动计划》指出：**

在工业废水治理领域，重点推广工业废水深度处理及毒性削减装备、低能耗工业废水处理装备

《二十大报告》：“建设美丽中国要着力解决突出环境问题”、《“十四五”环境健康工作规划》、《新污染物治理行动方案》、《环保装备制造业高质量发展行动计划（2022 - 2025年）》、《工业领域碳达峰实施方案》、《减污降碳协同增效实施方案》、环保装备制造业高质量发展行动计划（2022—2025年）

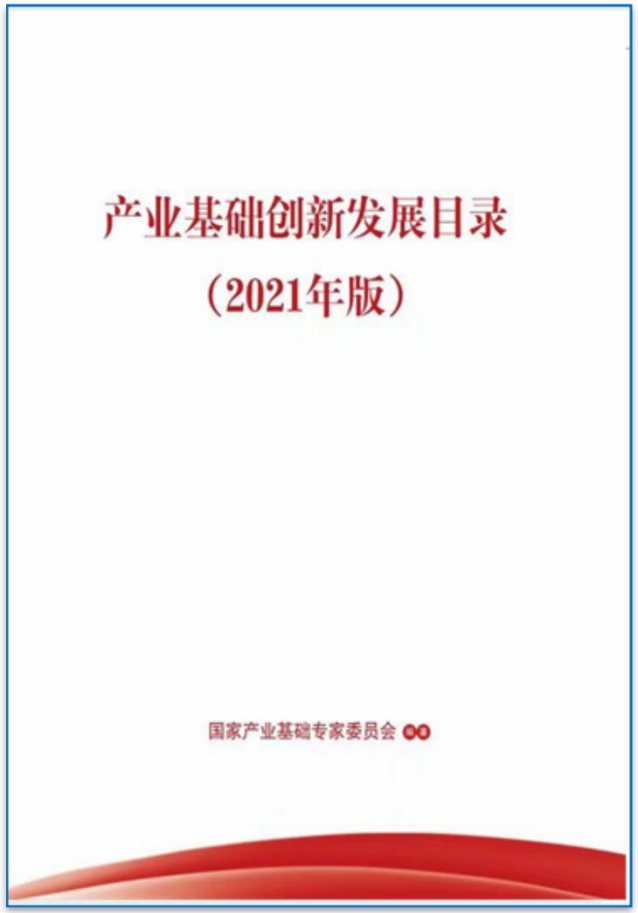




NSFC

1. 项目背景——“五基”发展需求

➢本项目相关技术入选《产业基础创新发展目录（2021 年版）》（简称“五基”发展名录）



基础材料

序号	产品和技术名称
1	超低温 SCR 脱硝专用催化剂
2	高效低能耗 CO_2 捕集吸附剂
3	挥发性有机物（VOCs）低温燃烧催化剂
4	挥发性有机物（VOCs）吸附浓缩分子筛
5	汽车尾气三效催化剂专用高性能铈基储氧材料
6	高炉煤气有机硫（COS）水解催化剂
7	烧结烟气一氧化碳（CO）氧化催化剂
8	柴油车尾气净化专用高性能脱硝小孔分子筛催化材料
9	除尘用高温金属柔性膜材料
10	煤气净化吸附用微晶材料
11	水处理用基于聚乙烯隔膜的高效选择性纳滤膜（PENF）
12	水处理用纳米平板陶瓷膜
13	水处理菌剂
14	水处理用悬浮填料
15	适用于高浓度双氧水制取的阴极催化材料
16	水处理高级氧化高性能长寿命催化剂
17	水处理用高性能絮凝剂

序号	产品和技术名称
18	靶向重金属吸附土壤调理剂
19	城市轨道交通减振用聚氨酯材料

基础制造工艺及装备

序号	产品和技术名称
1	水泥、玻璃行业除尘脱硝一箱化工艺
2	高压损强制风冷结构炉排片制备工艺
3	半导体制程专用超纯高浓度臭氧装置
4	锅炉烟气治理用超高速化学吸收除臭技术
5	高浓度难降解含盐废水深度处理装备
6	水处理用深度脱氮生物过滤装备
7	高热值水冷炉排片加工制造工艺
8	生活垃圾智能分选工艺装备
9	含油污泥热水解+闪蒸处理工艺
10	冶金行业固废综合利用回转窑工艺与装备
11	污泥深度干化与资源化技术与装备
12	钢渣、铬渣、钒钛渣粉磨处理工艺与装备

序号	产品和技术名称
13	黄磷炉气高温干法膜过滤工艺
14	水处理装备模块化标准化智能化制造工艺
15	高盐有机废水电化学调控高级氧化强化处理工艺
16	有机固废好氧发酵智能装备
17	污泥、粪渣一体化干化焚烧设备
18	生活垃圾焚烧飞灰等离子体熔融资源化技术与装备
19	医疗废物等离子体气化熔融无害化处置技术与装备
20	有机污染污染场地电阻加热强化微生物绿色耦合原位修复工艺及装备
21	有机污染污染场地高通量模块化直接热解吸异位修复工艺及装备
22	大宗固废制备功能性材料的关键工艺技术
23	有机涂层钢基废材高效热解再生与保级利用技术及装备
24	废铅酸蓄电池湿法短流程回收处理技术及装备
25	中低温失活 SCR 脱硝催化剂的再生技术及装备
26	有机固体废弃物资源化处置及能源化处理技术及设备
27	基于臭氧法的晶体乙醛酸一水合物制备基础制造工艺

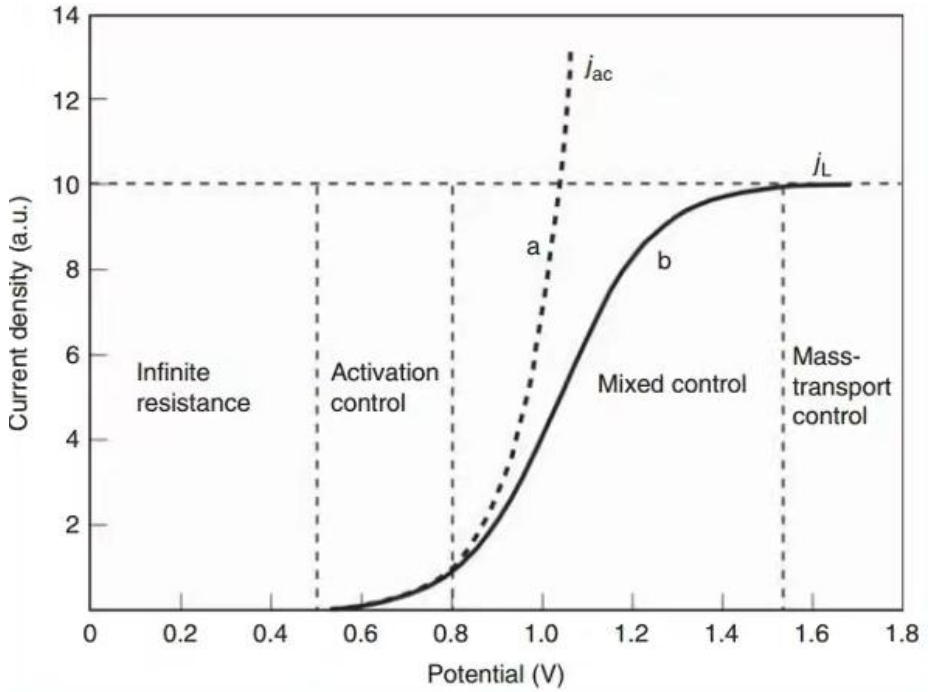
核心材料、设备和工艺技术：“高产双氧水阴极膜材料制备”、“电化学氧化含盐废水预处理设备”和“高盐废水电化学调控高级氧化处理工艺”；列入了重点发展和支持名录

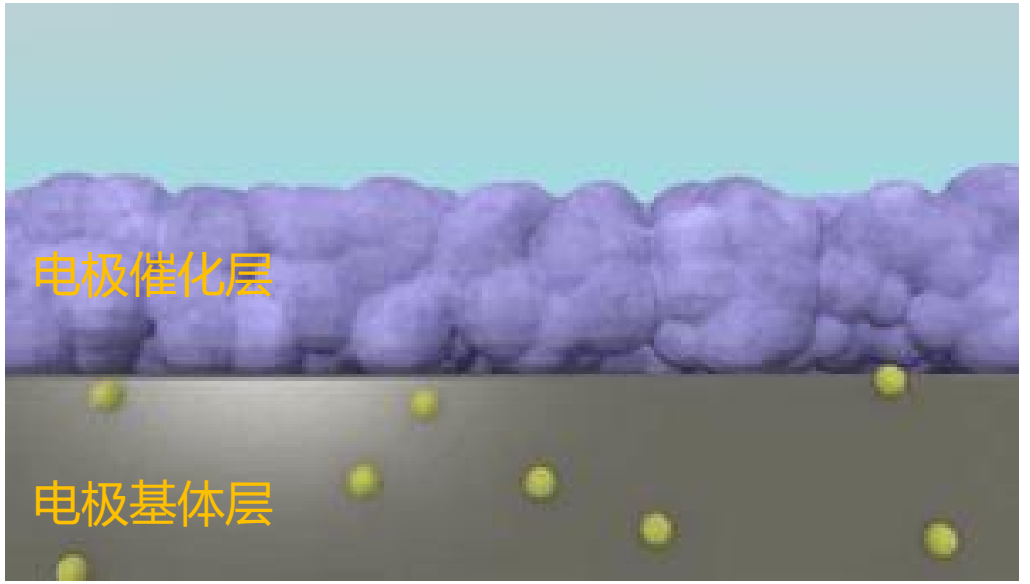
目　录

1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
   3.1 高催化功能阳阴极材料研制
   3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

2.1 电极基体-催化层间电子传递动力学

口 不同电位下的电极电流密度受控因素不同





电极基体与催化层间电子转移示意图

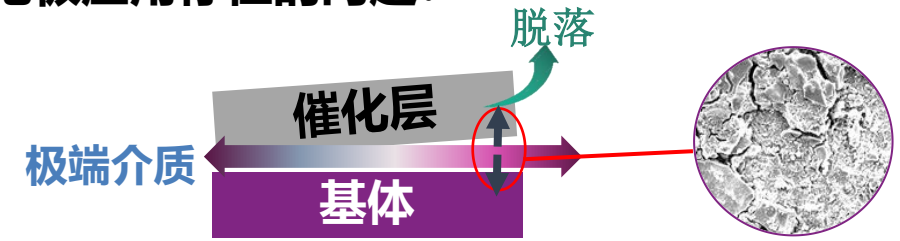
电极应满足的条件：

1、电子传输更快、良好的导电性；

2、更多的电子转移位点和活性位点；

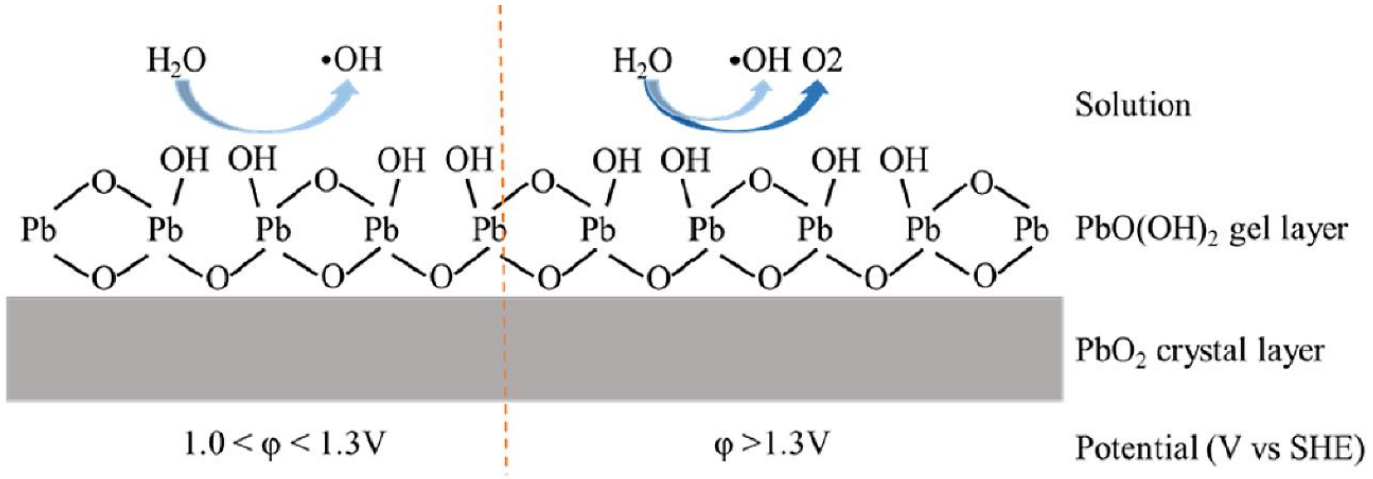
3、最优的中间体吸附和电子转移。

目前电极应用存在的问题：

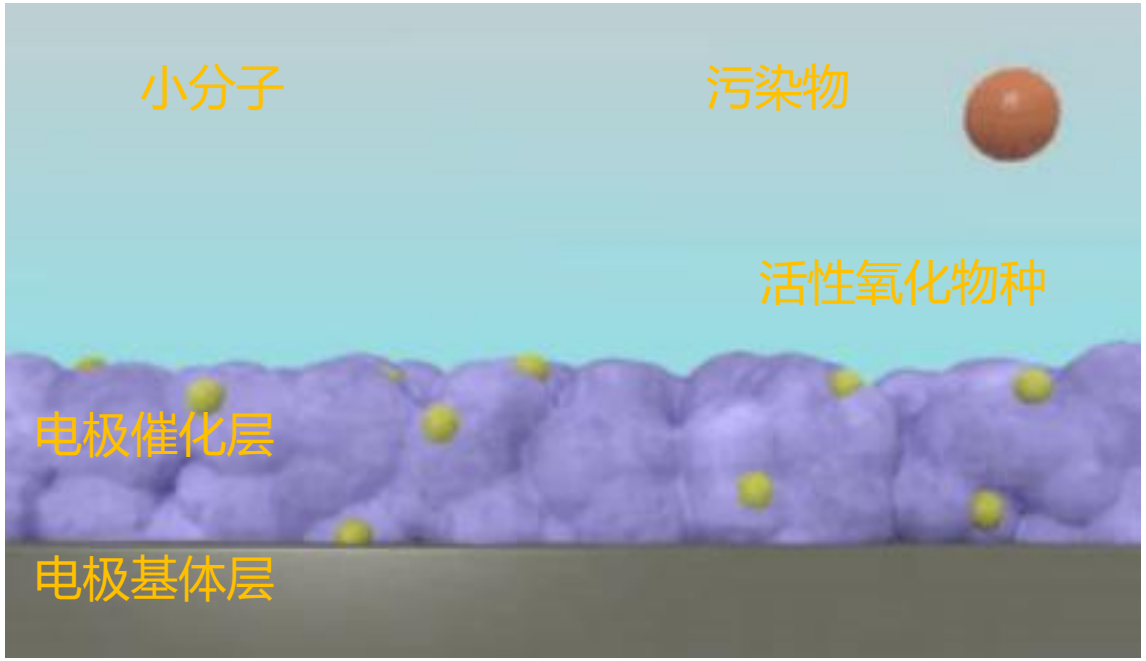


2.2 电极-溶液界面反应动力学

- 电极界面反应：包含**电子催化转化**、以及**多级活性物种介导的氧化与还原反应**



电极界面活性氧化物种(·OH)产生机理



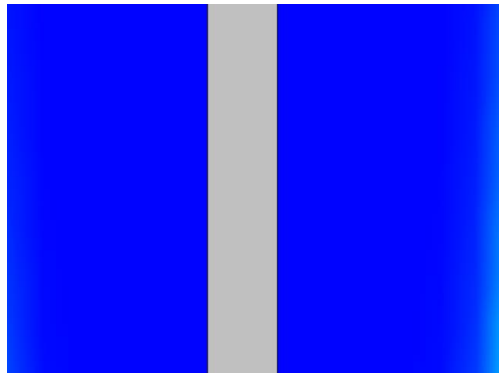
电极界面反应示意图

电化学界面反应中包含电子催化转化、多级活性氧物种介导的调控与增强机理有助于提升和突破电化学反应过程中的催化和转化能力

2.3 电极-污染物的扩散传质动力学

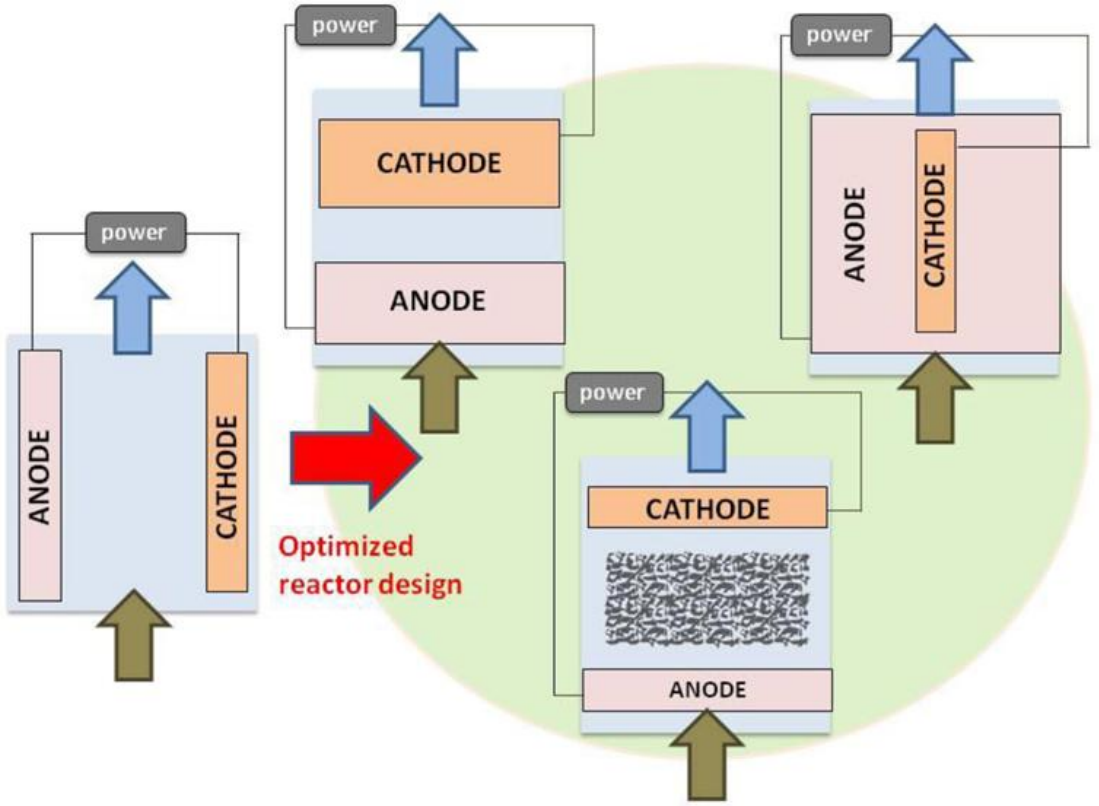
- 电流流动与电解质流动，电极表面存在一层薄薄的停滞边界层，反应效率受到很强的传质限制

平流式



平板电极

停滞边界层厚度造成传质受限



电化学反应器设计优化

尾水中污染物低浓度下的传质受限是造成电化学能耗高的主要因素

二、电化学反应动力学

电化学反应过程主要包括：

①电极基体-催化层之间良好的**电子传递**能力

②电极与溶液**界面**层的较强的**催化反应**

③反应器内溶液与电极反应界面的良好接触性能的**扩散传质能力**

从电化学反应动力学的角度出发，

提出了**电子传递动力学**、**界面反应动力学**和**扩散传质动力学**理论。

4. 技术先进性及取得成果（二）： 关键技术及工程化应用技术鉴定




中国工程院院士 刘文清、吴明红

“发展了**电化学…动力学理论**，…，….。”

——2022年5月10日技术鉴定会

2022年5月10日，江苏省环保学会再次组织鉴定，成立了**刘文清**院士任组长、**吴明红**院士任副组长的鉴定委员会，鉴定委员评价为：“**1.发展了电化学动力学理论，……；**成果创新性强，总体达到了国际先进水平，……”。

鉴　　定　　意　　见

2022 年 5 月 10 日，江苏省环境科学学会在南京组织召开了南京理工大学、南京大学和江苏省环境科学研究院完成的“电化学反应器研制及其在减污降碳工程中的应用”科技成果鉴定会。会议采取线上线下结合的方式，邀请了 7 位专家组成鉴定委员会(名单附后)，与会专家认真听取了技术研发单位的汇报，审阅了相关资料，经过质询和讨论，形成如下鉴定意见：

一、提供的鉴定资料完整、规范，符合鉴定要求。

二、项目围绕电化学技术工程化应用中面临的传质过程受限、稳定性和寿命偏低等瓶颈性问题，构建了新型高稳态电极材料，研制了高效能系列电化学反应器，研究了反应器在多种应用场景的适用性，取得了系统性创新成果，主要创新点如下：

1.发展了电化学扩散传质、界面反应与电子传递动力学理论，建立了新型电极材料的研发和反应器的优化设计新方法；

2. 采用原子渗透、微纳界面调控制备了高稳态纳米钛基-陶瓷复合过渡晶体中间层结构的系列催化电极，显著提升了电极在极端介质中的使用寿命；研发了管式窄通道电催化反应器、电膜协同催化反应器和阴阳极协同反应器，攻克了制约电化学反应器技术规模化应用的“扩散受控”等技术难题；

3. 研究了电化学反应器在合成己二腈/癸二酸、溴资源回收、盐资源回收、恶臭物质水气两相处理和高盐难降解化工废水处理等低碳减污工程应用适用性，为电化学技术的规模化应用奠定了坚实的基础。

三、技术成果在江苏、山东、内蒙古等8个省市及越南、坦桑尼亚等40余项工程化示范中得到成功应用，取得了显著的减污降碳效果，环境效益和社会效益明显。

鉴定委员会一致认为：该成果创新性强，总体达到了国际先进水平，在高稳态电极材料制备与反应器应用方面达到国际领先水平。

鉴定委员会主任：　　副主任：

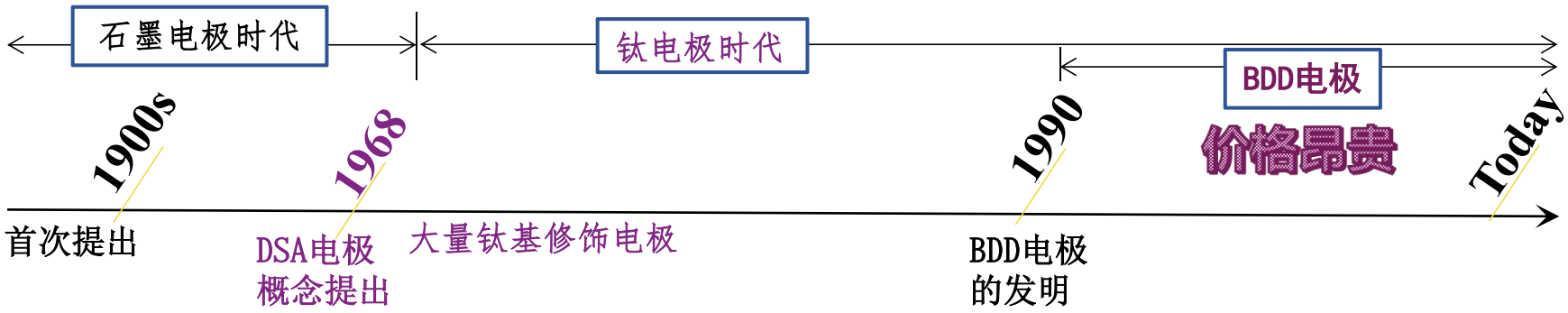
2022 年 5 月 10 日

目　录

1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
   3.1 高催化功能阳阴极材料研制
   3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

2. 高寿命高催化功能阳极研发背景

电极发展历程



钛电极的催化性能和使用寿命存在矛盾



综合电极性能和经济性，钛基锡锑电极是实用性最强的钛基涂层电极

1 电极的稳定性

氧化物晶相构组
复合渐变渗透

纳米钛陶瓷复合中间层

2 电极的催化性

微纳界面调控

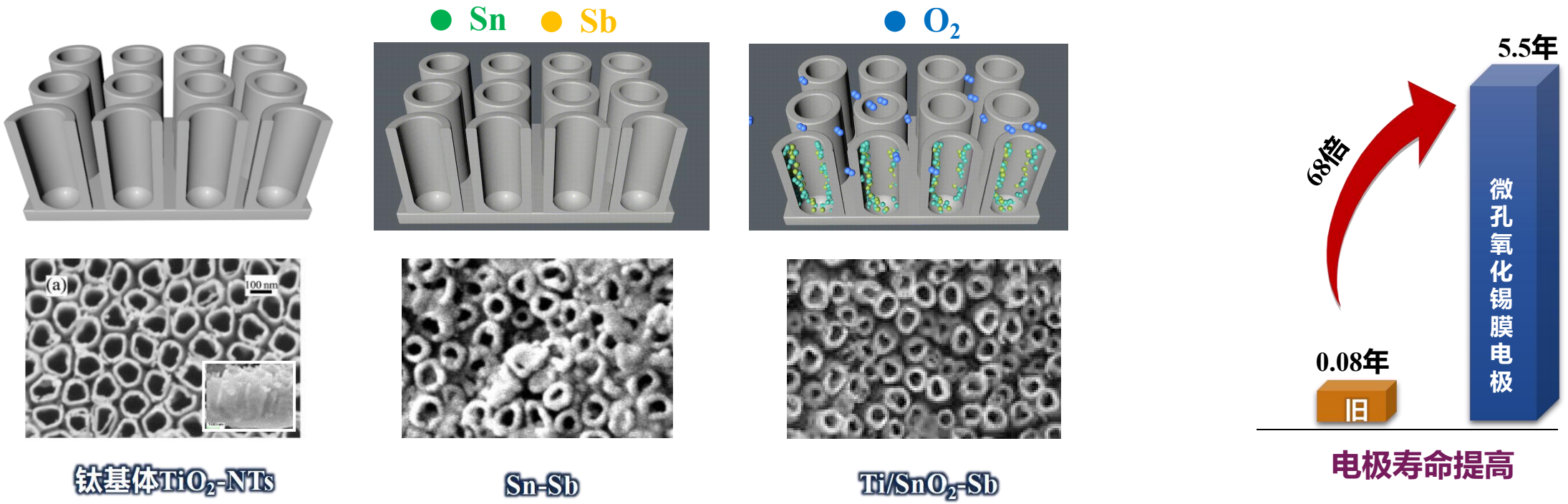
界面多级孔构筑

纳米复合层构建和微纳界面调控，提升电极电子传递能力和界面催化能力

第1.0电极 原子渗透-微纳孔簇界面耦合电极

难题 高盐分、腐蚀性和大工作电流等引起电极结构的畸变，使用寿命受限

突破 基于金属陶瓷复合成相原理，通过高密度**原子嵌入**与诱导**晶格畸变**，制备了高稳定钛基**原子渗透微纳孔簇**界面耦合电极



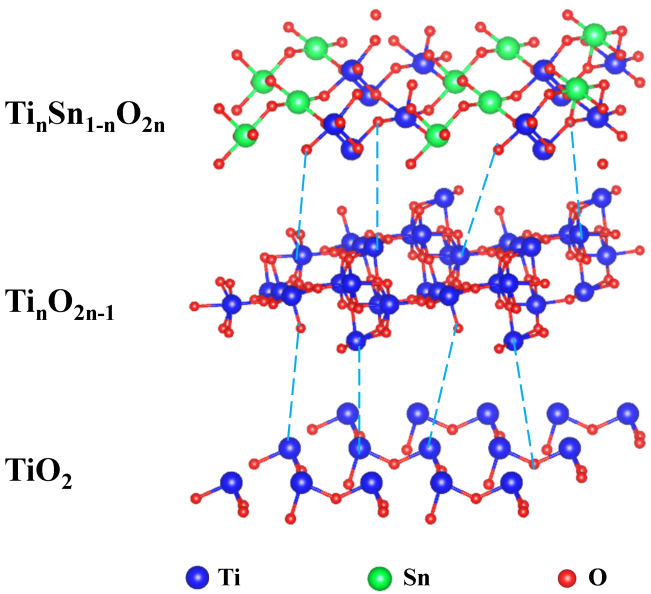
实现：极端介质下电子传递和催化效率协同提升，寿命提高68倍，突破了工业化制备难题

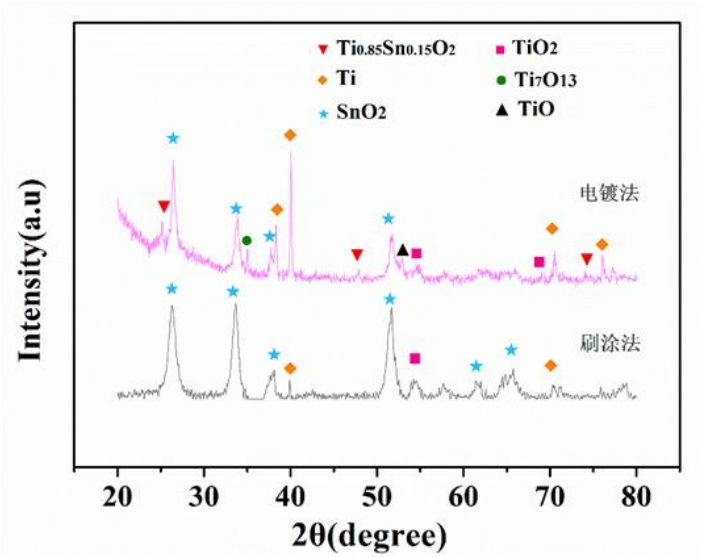
钛基二氧化钛纳米管二氧化锡电极的制备方法ZL201010203133.0
一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法ZL201110444887.X
Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315
Water Research, 2020, 184:116151
钛基纳米二氧化铅的制备方法ZL201310311974.7
一种掺锑二氧化锡-碳纳米管复合吸附性电极及其制备方法ZL201610070194.1
Journal of Electroanalytical Chemistry, 648-2(2010), 119-127.

第1.0电极 原子渗透-微纳孔簇界面耦合电极

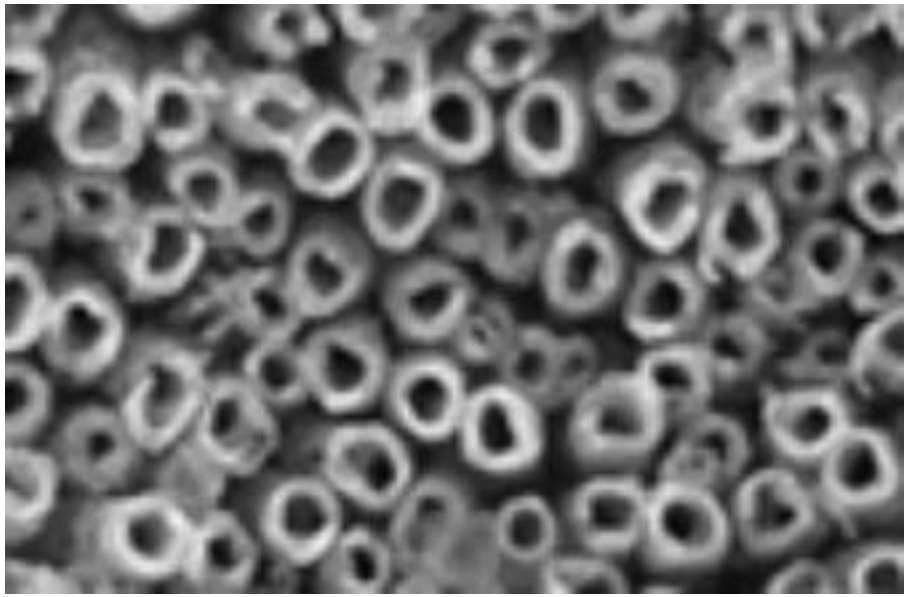
难题 高盐分、腐蚀性和大工作电流等引起电极结构的畸变，使用寿命受限

材料形成 原子渗透活性位点高度分散、微纳孔簇形成限域催化界面





▼复合氧化锡钛



活性位点高度分散

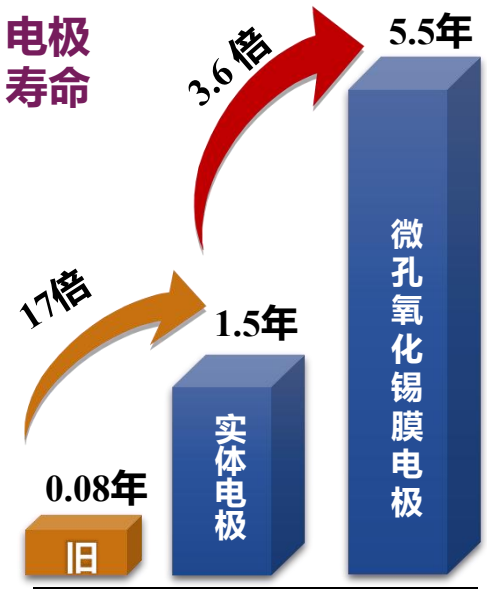
限域催化界面

实现了极端介质下电子传递和催化效率协同提升，且电极寿命提高68倍，突破了工业化制备难题

钛基二氧化钛纳米管二氧化锡电极的制备方法ZL201010203133.0　一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法ZL201110444887.X　Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315　Water Research, 2020, 184:116151

钛基纳米二氧化铅的制备方法ZL201310311974.7　一种掺锑二氧化锡-碳纳米管复合吸附性电极及其制备方法ZL201610070194.1　Journal of Electroanalytical Chemistry, 648-2(2010), 119-127.

2. 高寿命高催化功能电极研发------同行专家评价





Prof. Jelena

西班牙加泰罗尼亚水研究所著名教授，Journal of Hazardous Materials副主编

“纳米嵌入型锡锑电极的催化性能与商用BDD电极相当”

——Chemosphere 253(2020) 126701





中国工程院院士 曲久辉、徐祖信

“成果创新性强，在纳米嵌入型功能电极开发方面达到国际领先水平”

——2021年5月18日技术鉴定会

电极寿命与催化性能显著提高，获得国内外同行专家的高度认可

钛基二氧化钛纳米管二氧化锡电极的制备方法ZL201010203133.0　一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法ZL201110444887.X　Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315　Water Research, 2020, 184:116151

钛基纳米二氧化铅的制备方法ZL201310311974.7　一种掺锑二氧化锡-碳纳米管复合吸附性电极及其制备方法ZL201610070194.1　Journal of Electroanalytical Chemistry, 648-2(2010), 119-127.

目　录

1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
   3.1 高催化功能阳阴极材料研制
   3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

问题提出：

电化学氧化过程中的**实际能量效率低下**：

1. 大都被析氧和发热过程消耗；
2. 以钛基涂层电极为例，其实际阳极电流效率仅有**16%**。

解决思路一：

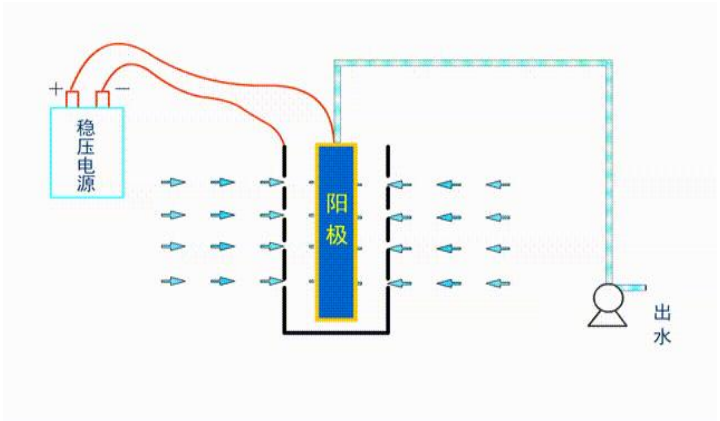
只是因为电化学氧化过程关键限速步骤是扩散过程，即是**扩散控制过程**，需要通过提高**污染物质**与**电极碰撞几率**，实现污染物的高效降解

3. 电化学关键装备---电膜协同管式反应器

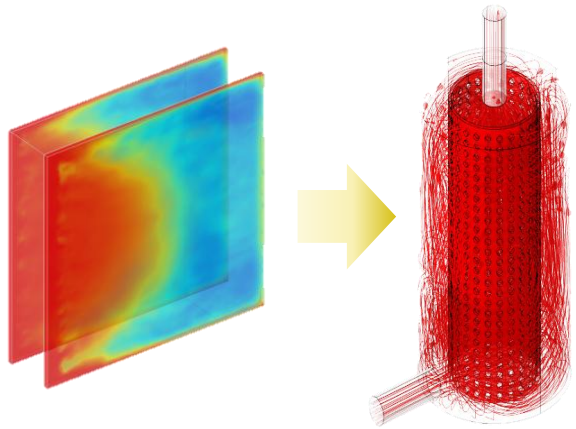
问题 化工尾水盐分高、浓度低、毒性大，当前高级氧化设备对化工尾水的响应不足

解决方法

- 基于膜过滤的流道限定特性，建立电极模块化封装加工方法
- 研制了淹没阵列式管式电催化膜电极装备
- 研制了微/窄通道管式电化学反应器

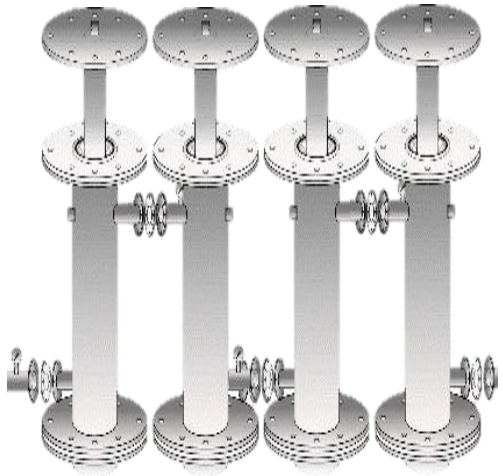


*流态干预与流道限定
(强制水的流动方向，提高污染物与电极接触几率)



*传质增强
(传质效率比平板电极提高5.6~5.8倍)





*示意与实物照片

可以依据水质和水量及其处理效果灵活选配管式膜阴阳极膜组件和数量

实现了模块化生产和组装，使电化学技术深度处理化工尾水设计标准化、操作简易化

一种电镀废水深度处理的双氧化装置及方法ZL202010317581.7
一种降解含难氧化物质废水的方法ZL202010370829.6
一种含氮杂环化合物化工尾水的深度处理装置及其电化学氧化单元ZL201620107076.9
Chemical Engineering Journal, 310-1(2017), 13-21
Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315
Chemical Engineering Journal, 315- 1 (2017), 335-344

三、电极加工组装现场

◆ 装备产品：管式窄通道电化学反应器

成品组装





安装现场





创新点：电化学靶向降解技术，在低的能耗情况下，可有效实现特征污染物和毒性有效削减，提高可生化性

3. 高传质电催化反应器开发------同行专家评价




中国工程院院士 刘文清、吴明红

“在高稳态电极材料制备与反应器应用方面达到国际领先水平。”

——2022年5月10日技术鉴定会





电化学关键技术取得重大突破，获得国内外同行专家的高度认可

钛基二氧化钛纳米管二氧化锡电极的制备方法ZL201010203133.0　一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法ZL201110444887.X　Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315　Water Research, 2020, 184:116151

钛基纳米二氧化铅的制备方法ZL201310311974.7　一种掺锑二氧化锡-碳纳米管复合吸附性电极及其制备方法ZL201610070194.1　Journal of Electroanalytical Chemistry, 648-2(2010), 119-127.

目　录

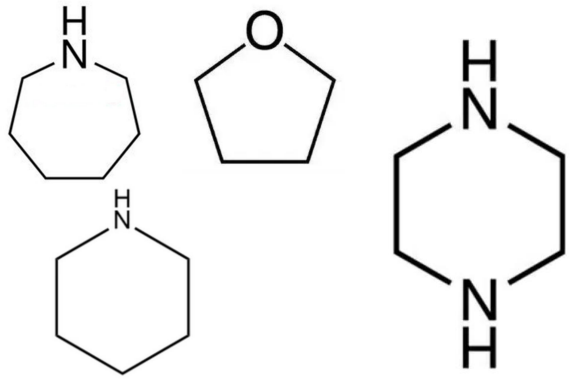
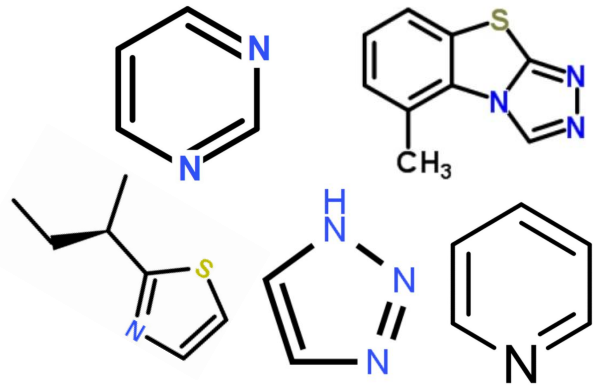
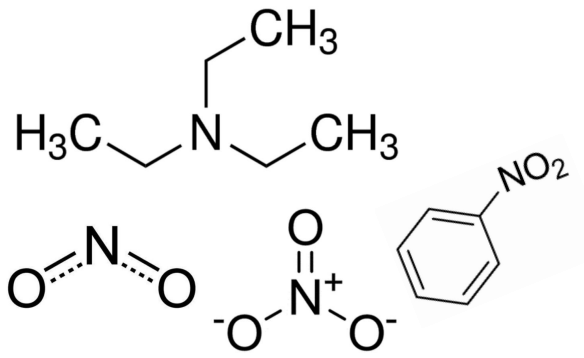
1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
    3.1 高催化功能阳阴极材料研制
    3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

3. 技术构建

场景

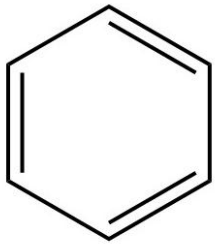
技术

原理

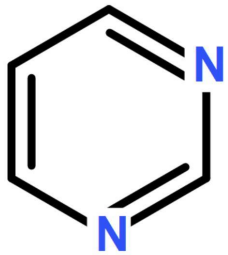
➢ 低分子环烷烃、哌啶等饱和杂环类物质	➢ 嘧啶、环唑等不饱和杂环类物质	➢ 硝基、氯溴等取代有机物、硝态氮、氨氮等无机物质
		
电化学直接氧化-还原技术	**电化学调控-Fenton/O_3耦合技术**	**电化学阴极还原-阳极氯介导耦合技术**
直接e-介导	**·OH介导**	**H*、Cl·介导**

依据污染物特性，构建活性物种介导的电化学还原氧化技术

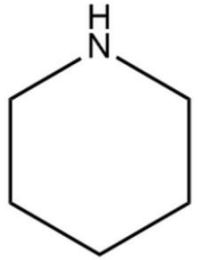
3. 技术构建——氮的引入电子云收缩



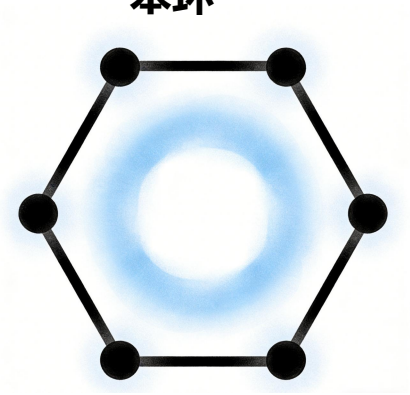
苯环



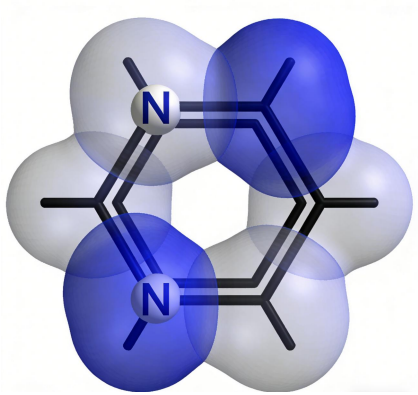
嘧啶环



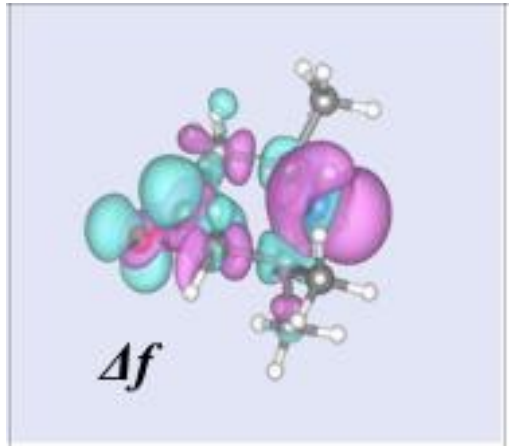
哌啶环



6个共轭电子



6个共轭电子（氮原子中心电子云密度强，碳位点缺电子）



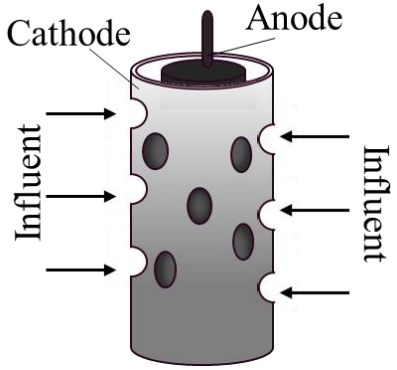
0个共轭电子

氮原子的引入电子云收缩形成高密度分布中心，且随着共轭电子的减少，导致热力学和化学稳定性稳定性增强，活化能较高

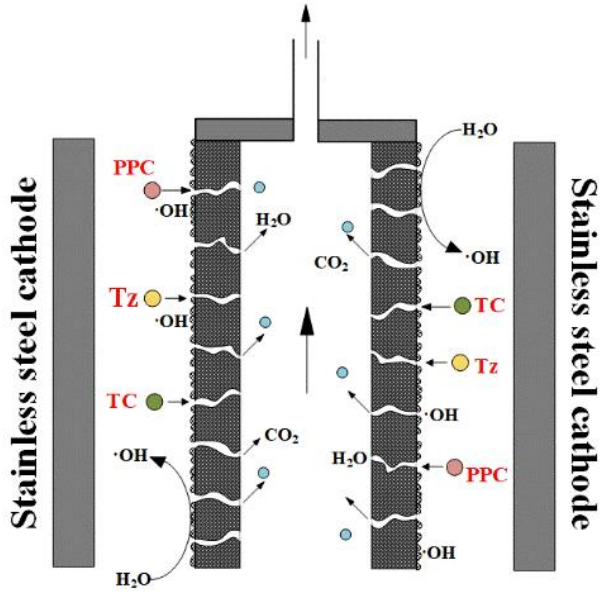
3.1 e⁻介导的电化学直接氧化技术

难题 环己亚胺、哌啶、四氢呋喃等有机物电子云区域分布较为均匀，自由基进攻位点少，难以降解

突破 基于管式电催化膜过滤深度处理关键技术，精准控制污染物降解与定向转化

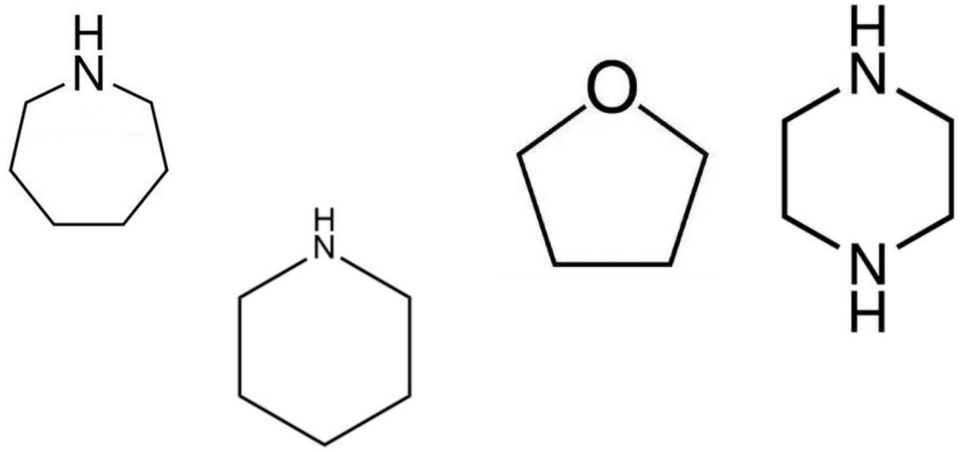


管式膜电极示意图



电化学直接氧化技术原理图

- 低分子环烷烃、哌啶等饱和杂环类物质



实现了环烷烃、四氢呋喃、哌啶类等饱和环状有机物有效开环，有机碳源转化率达95%以上

Desalination 592 (2024) 118088

Separation and Purification Technology 331 (2024) 125724

Chemosphere 351 (2024) 141226

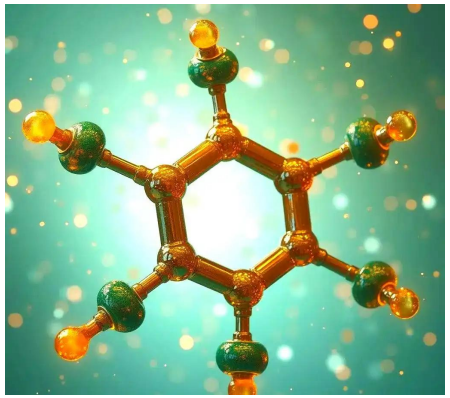
3.1 e^-介导的电化学直接氧化技术

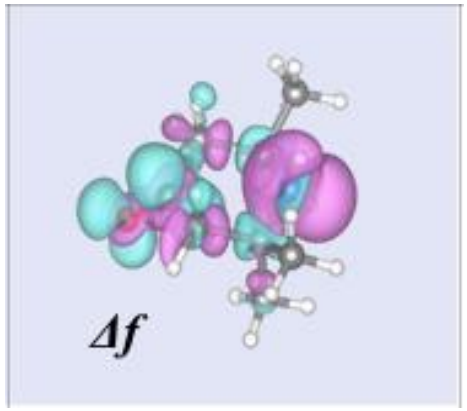
难题 环己亚胺、哌啶、四氢呋喃等有机物电子云区域分布较为均匀，自由基进攻位点少，难以降解

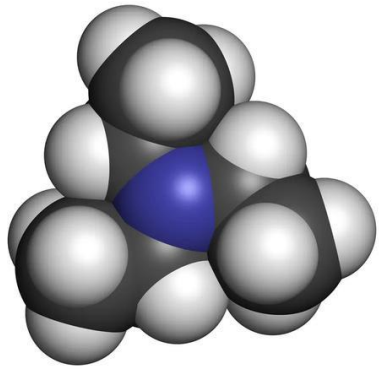
突破 基于管式电催化膜过滤深度处理关键技术，精准控制污染物降解与定向转化

理论与技术

- 基于管式膜电极流道限定特性，构筑过滤型反应器，增加有效碰撞面积，提高电化学反应效率，实现直接电子介导，持续降解难开环污染物以及污染物定向转化







苯环、哌啶、三乙胺的电子云分布

实现了环烷烃、哌啶类等饱和环状有机物有效开环降解，有机碳源转化率达95%以上

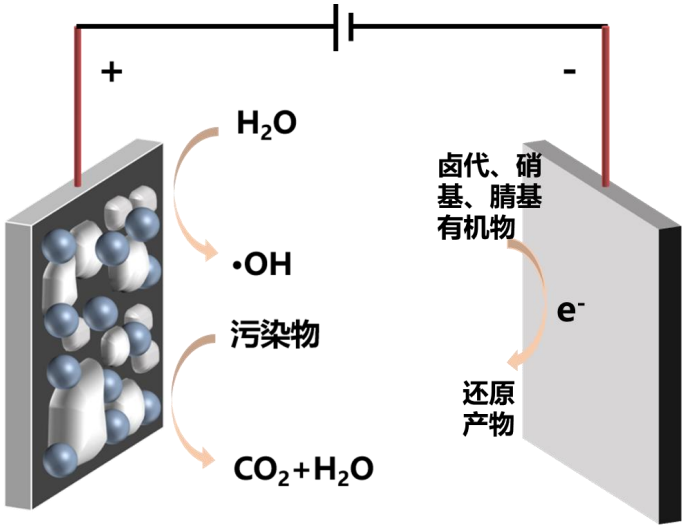
Desalination 592 (2024) 118088

Separation and Purification Technology 331 (2024) 125724

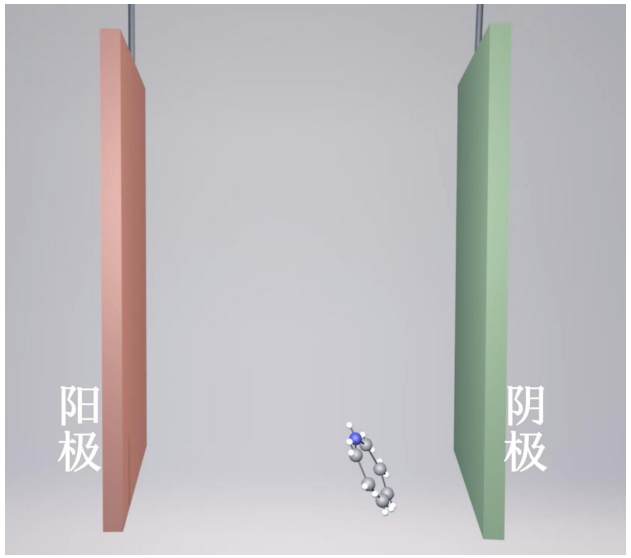
Chemosphere 351 (2024) 141226

3.2 e^-介导的电化学直接氧化-还原技术

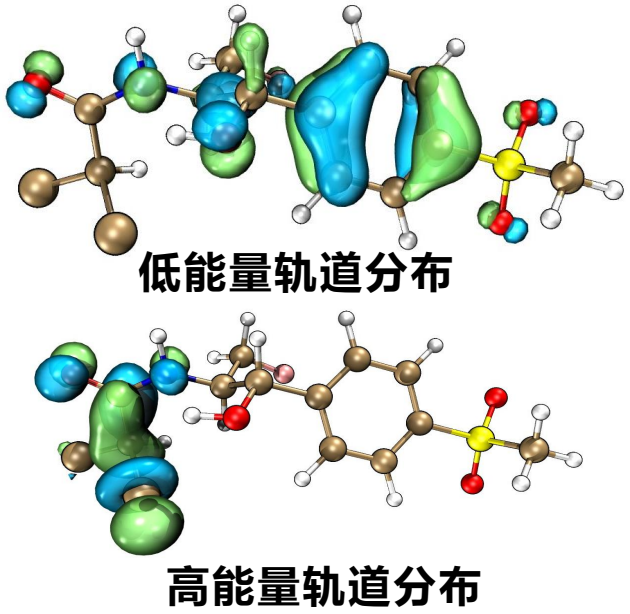
难题	氟苯尼考等含卤素有机物，卤素吸电子能力强，电子云分布发生偏移，能量高，需要还原与氧化同步进行，降低轨道能量
突破	基于管式电催化膜过滤深度处理关键技术，精准控制污染物降解与定向转化



电化学直接氧化-还原技术原理图



环己亚胺还原氧化开环示意图



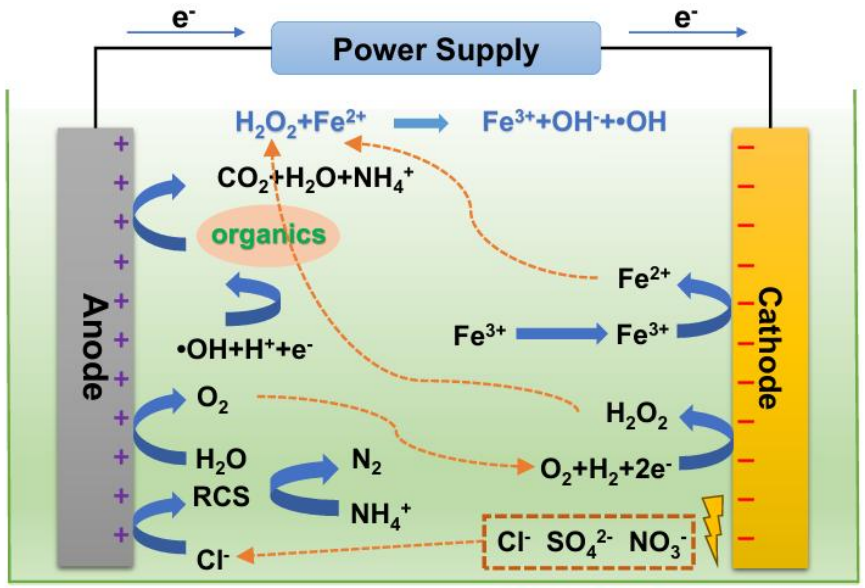
氟苯尼考的能量轨道分布

实现了氟苯尼考等含卤素抗生素残留的有效脱毒和转化，保障后续生化系统的稳定运行

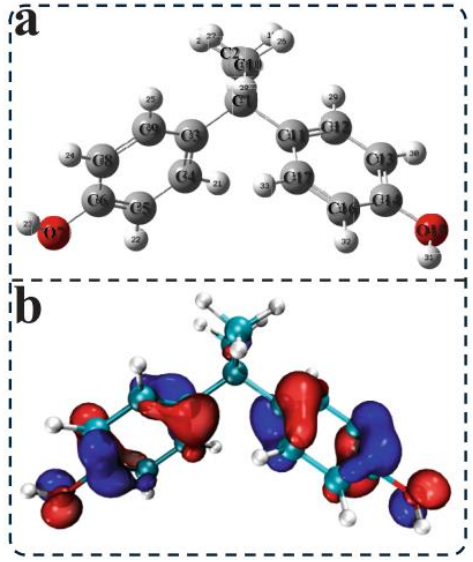
3.3 ·OH介导的电化学调控

难题 不饱和烷烃和杂环等富电子区域位点较多，易受自由基进攻开环降解，但阳极氧化产·OH能力有限

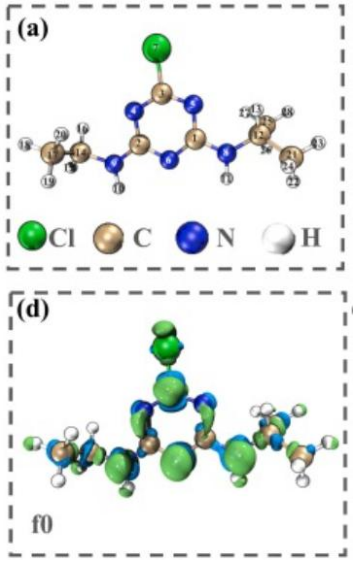
突破 采用电化学调控芬顿耦合技术，提高·OH生产及氧化效率



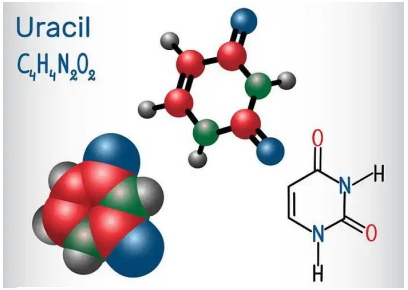
电化学调控-芬顿耦合技术原理图

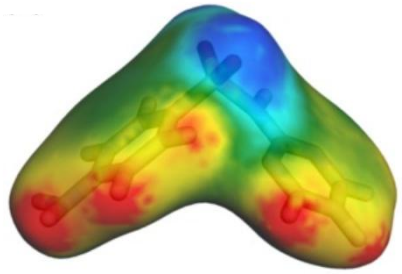


双酚A



阿特拉津（三嗪氮杂环）





磺胺嘧啶

实现嘧啶、环唑、唑啉等多种毒性污染物的高效特异性转化、实现的高效靶向降解为低分子有机酸，急性毒性趋零，提高了碳转化和有效利用，显著降低碳排放量

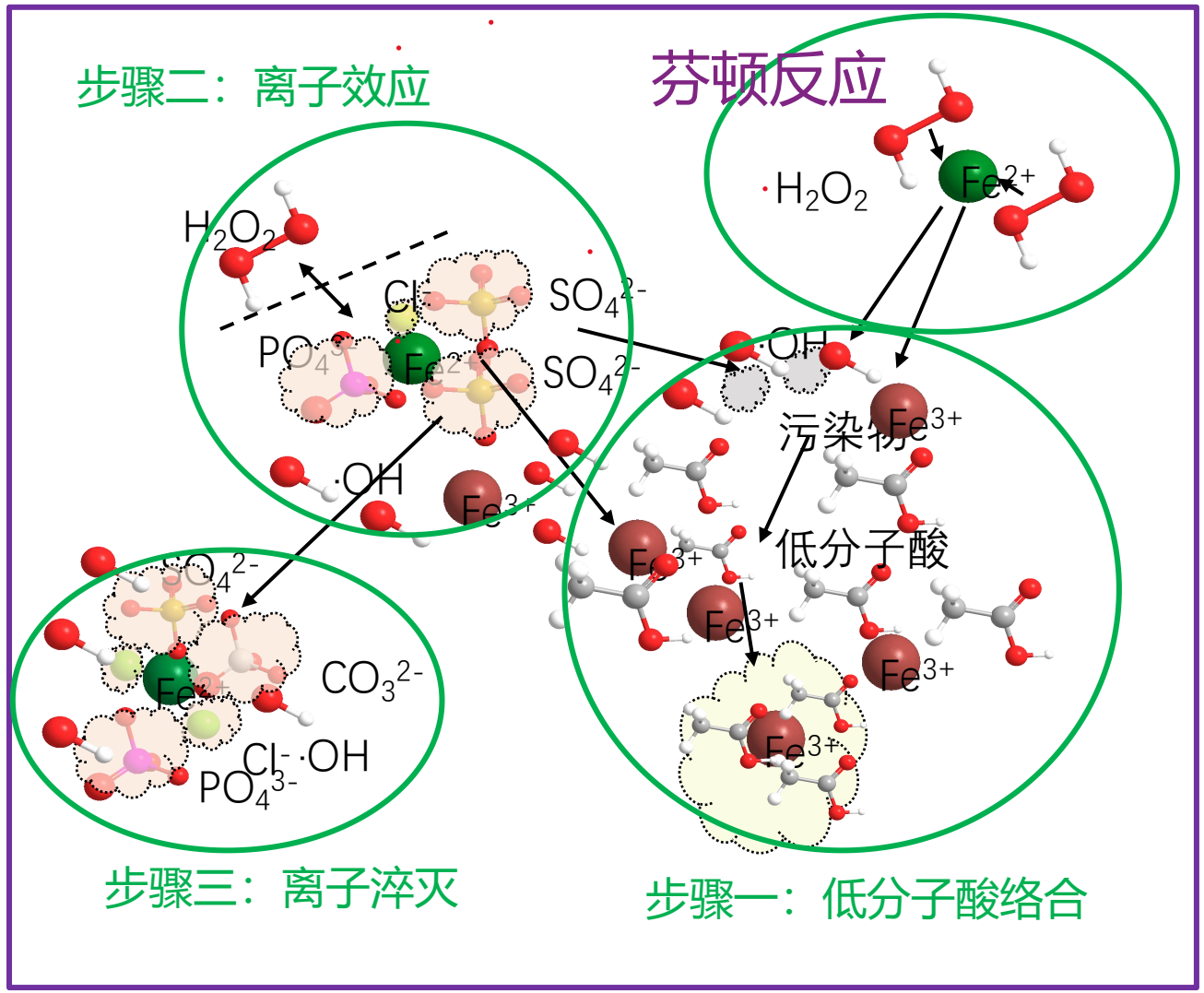
Applied Catalysis B: Environment and Energy 365 (2025) 124988

Separation and Purification Technology 360 (2025) 130855

Applied Catalysis B: Environment and Energy 362 (2025) 124770

Environmental Research 232 (2023) 116243

3.3 ·OH介导的电化学调控（以Fenton氧化为例分析停滞原因）



步骤一：低分子酸络合

Fenton反应过程中三价铁离子与低分子酸形成稳定络合物，加剧了有机物去除难度

步骤二：离子效应，氧化停滞

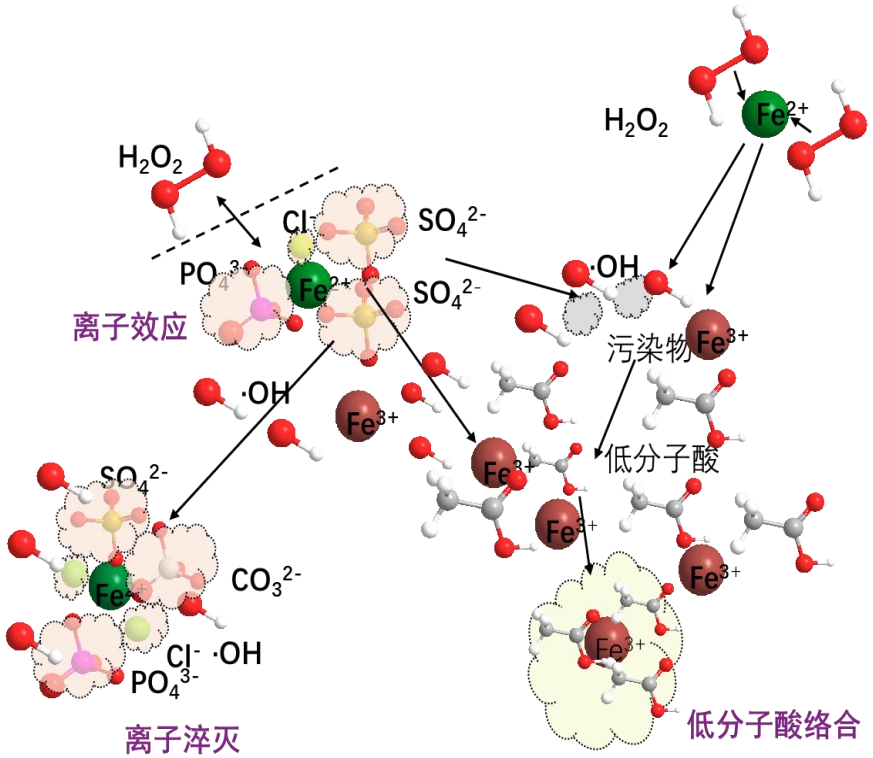
化工废水Fenton体系中存在大量复杂阴离子，会结合阳离子形成大分子团或是吸附有机物形成胶体颗粒，阻碍双氧水与二价铁离子接触碰撞

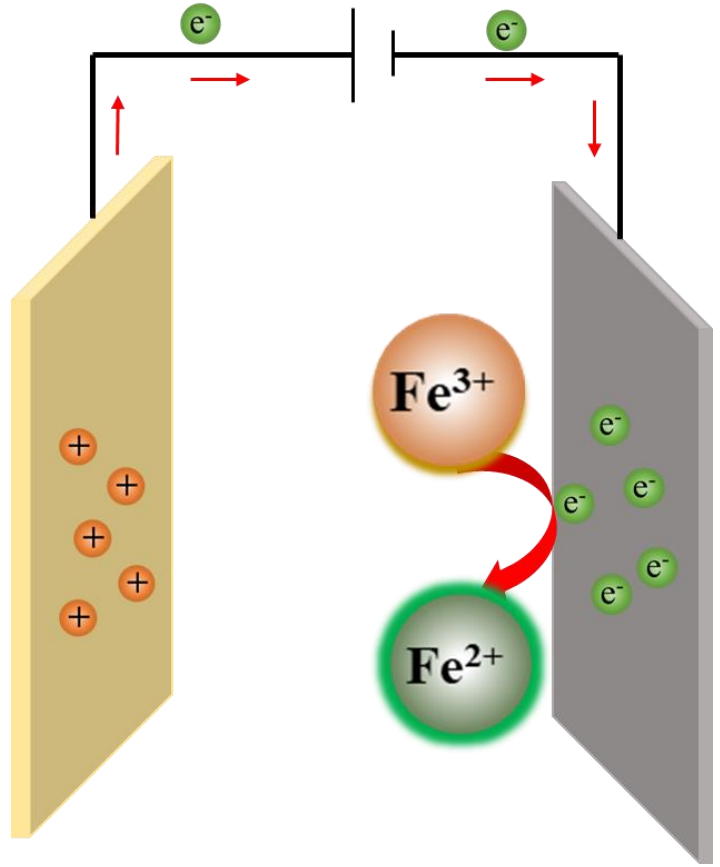
步骤三：阴离子淬灭，反应无效

化工废水成分复杂，各种离子通常共存于反应体系中，造成对羟基自由基的淬灭，消耗自由基

3.3 ·OH介导的电化学调控（以Fenton氧化为例分析停滞原因）

解决方法一：Fe^{3+}阴极还原Fe^{2+}，催化剂循环利用





传统芬顿

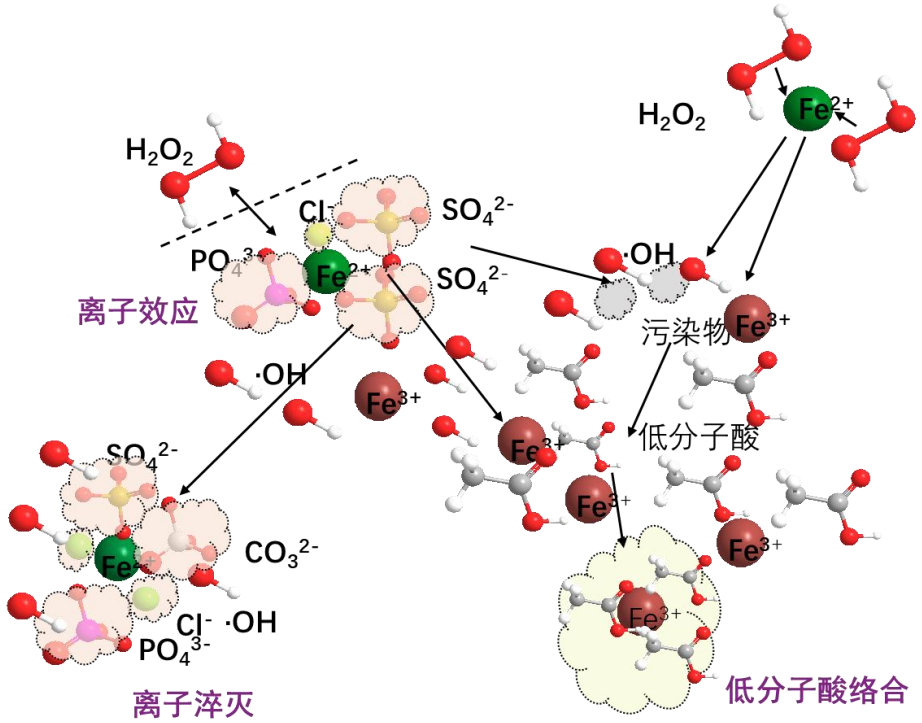
电化学调控

零价铁还原-芬顿氧化一体化反应装置及利用其处理硝基芳香族化合物废水的方法ZL201410775614.7

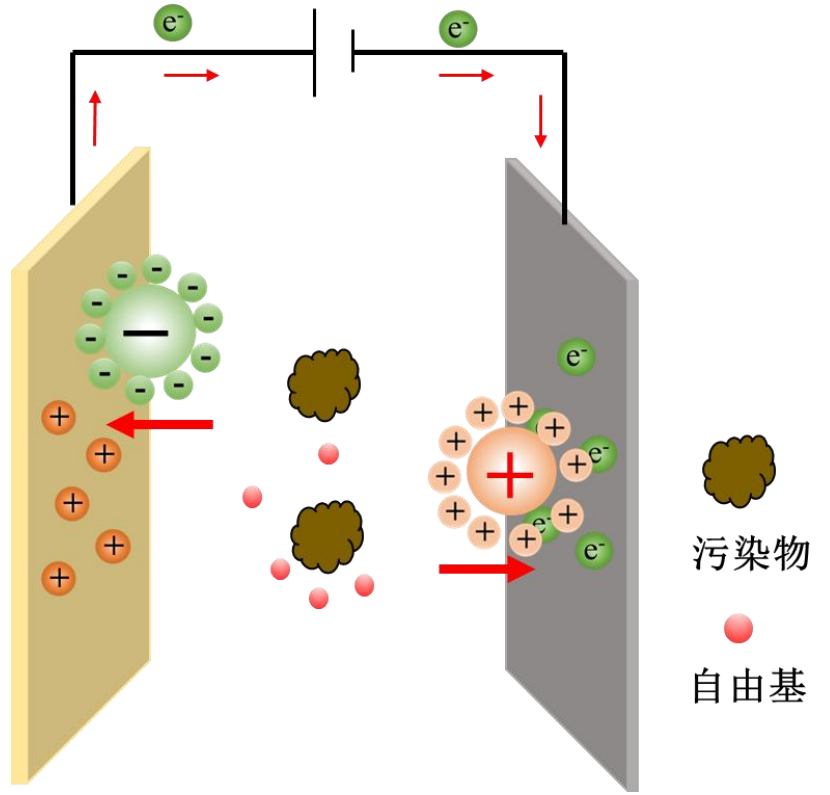
Electrochimica Acta, 189(2016), 1-8

3.3 ·OH介导的电化学调控（以Fenton氧化为例分析停滞原因）

解决方法一：阴离子定向迁移，阻止离子效应和自由基淬灭



传统芬顿



电化学调控离子定向迁移

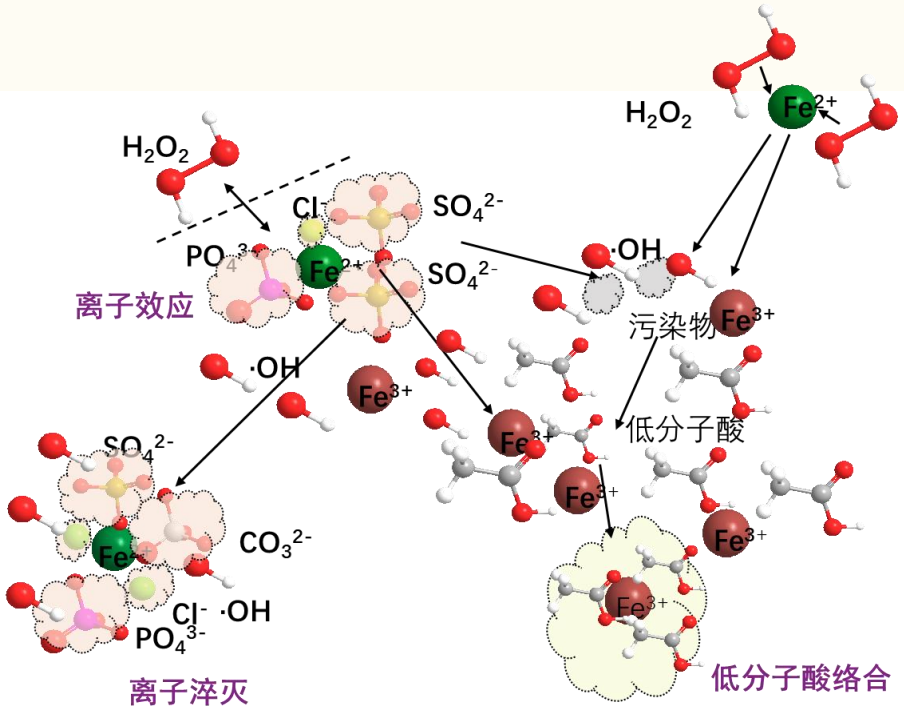
技术效果：解决了芬顿氧化停滞和电化学氧化效率低的问题；促进铁的循环利用，有效控制了离子效应发生，实现了阴阳极协同，铁泥产生量降低80%，氧化效率提升50~70%；在温和条件下实现COD可持续降解，可达70~90% 以上

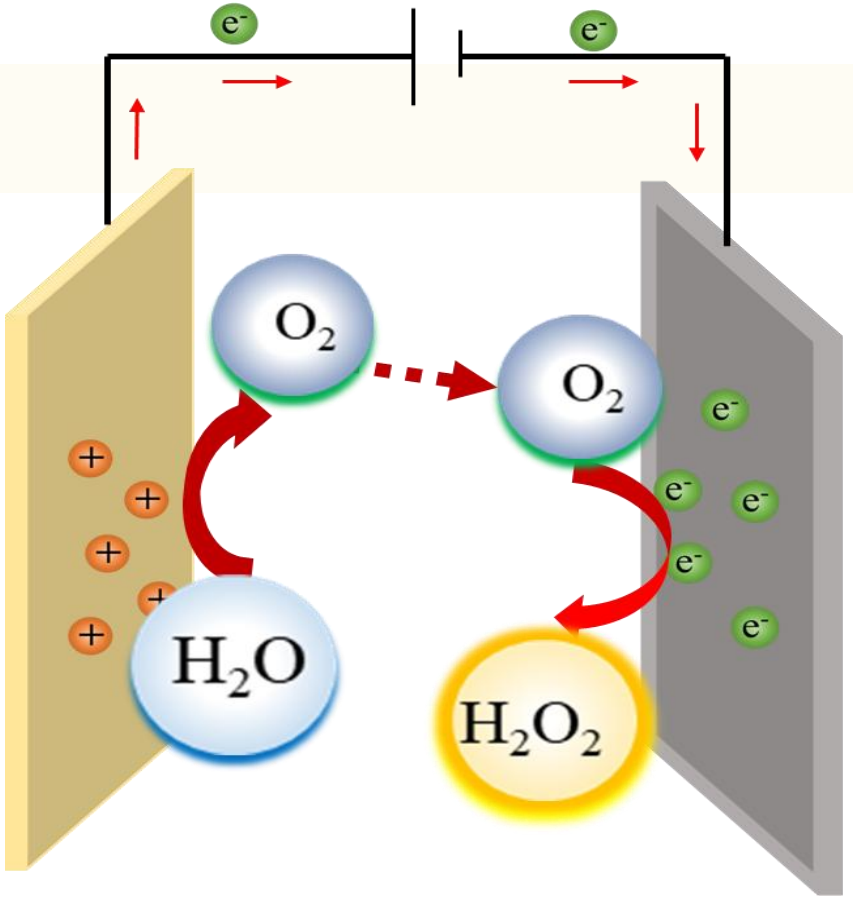
一种用于化工废水高效处理的电催化芬顿氧化-电化学氧化耦合工艺及其装置ZL202010084018.X

Water Research, 2016, 88: 257-265.

3.3 ·OH介导的电化学调控（以Fenton氧化为例分析停滞原因）

解决方法三：分子氧超溶导促，阴极利用，双氧水产生





传统芬顿

电化学调控

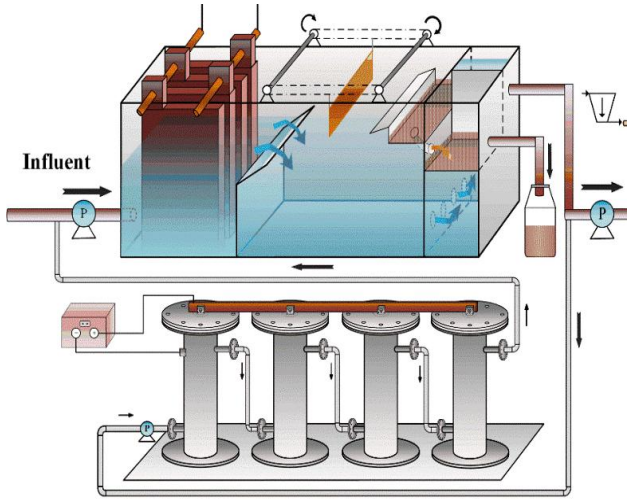
管式电极-介质阻挡低温等离子耦合联用装置ZL201711358316.8

3.3 ·OH介导的电化学调控（形成电化学调控-芬顿耦合技术）

问题 高盐高污染化工废水，存在离子效应和自由基淬灭的现象，造成高级氧化能耗升高，甚至反应停滞

高浓度化工废水
预处理“能手”

解决方法 • 基于电芬顿和电化学理论，电化学调控离子定向迁移、络合及还原，实现污染物持续降解





1. 阳极析氧，超溶促导阴极ORR产生H_2O_2，实现**协同降解**
2. **Fe^{3+}阴极**还原**Fe^{2+}，催化剂循环利用**
3. 阴离子定向迁移，阻止**离子效应**和**淬灭发生**

发布团体标准

《废水处理技术规范 电芬顿氧化法》

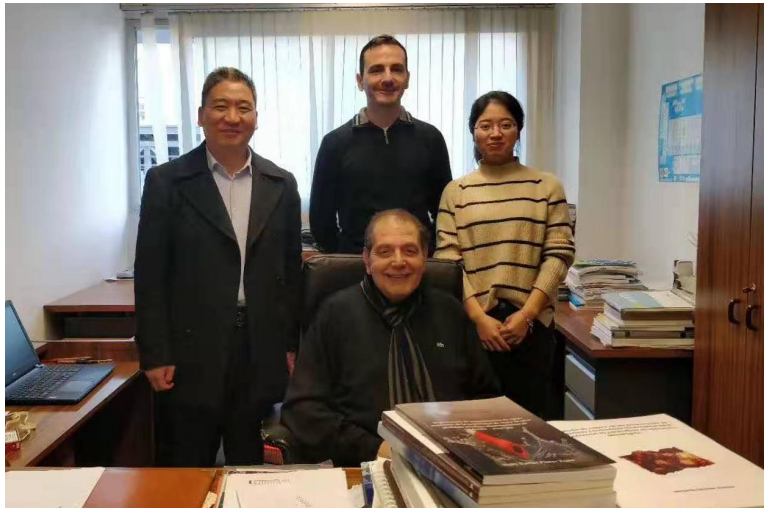
发明了一种在温和条件下实现污染物持续降解的高级氧化方法

COD去除率70%以上，H_2O_2 : COD=0.5~0.7，比传统芬顿提升2~5倍；产泥量降低80%；运行费用降低2/3

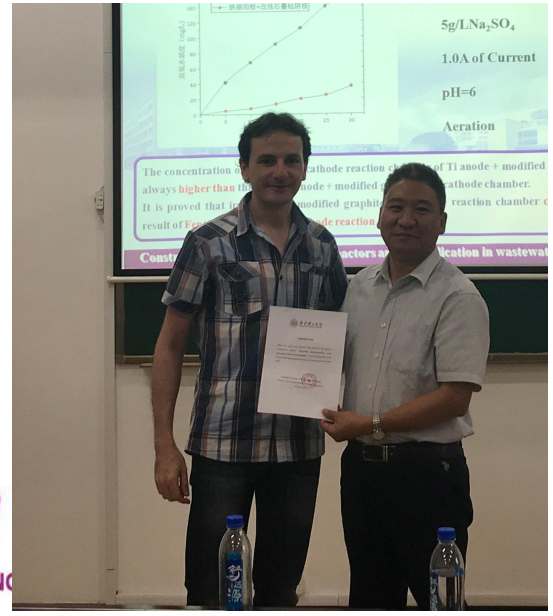
一种用于化工废水高效处理的电催化芬顿氧化-电化学氧化耦合工艺及其装置ZL202010084018.X

零价铁还原-芬顿氧化一体化反应装置及利用其处理硝基芳香族化合物废水的方法ZL201410775614.7

Electrochimica Acta, 189(2016), 1-8



2019年春在巴塞罗那合影



巴塞罗那大学 Enric Brillas 和Ignasi Sires

Enric Brillas

电化学水处理技术泰斗级教授，首创电芬顿技术等电化学催化技术，H指数64，担任Chemosphere副主编和JHM，ACB编委。

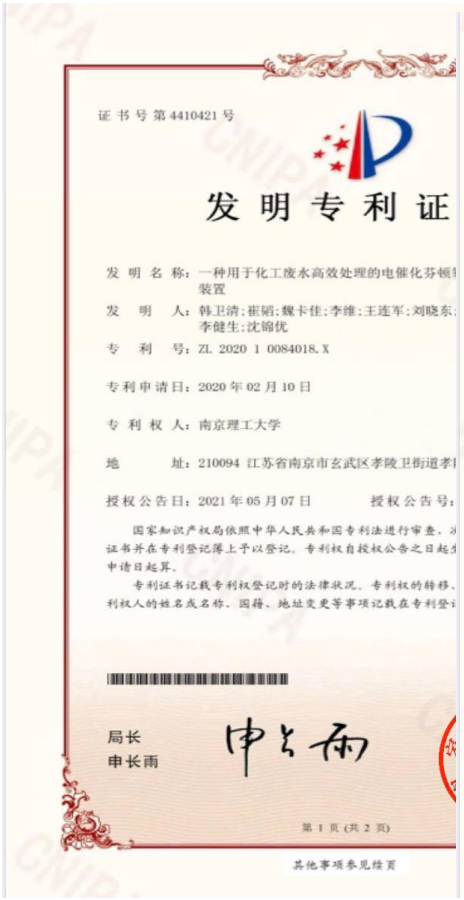
Ignasi Sires

研究方向为环境电化学，材料学，光催化技术等。近年来，参与及主编专著8部，在Chem. Rev., Appl. Catal. B: Environ., Environ. Sci. Technol. 及 Water Res. 等SCI期刊上发表论文125篇，ESI高被引论文20篇，H指数42。

2018-2019年徐安琳由国家公派联合培养建立沟通，并合作发表论文3篇。

3.3 ·OH介导的电化学调控（形成电化学调控-芬顿耦合技术）

五项核心专利技术


证书号第4410421号

发明专利证

发明名称：一种用于化工废水高效处理的电催化芬顿[illegible]装置

发明人：韩卫清；崔韬；魏卡佳；李维；王连军；刘晓东；李健生；沈锦优

专利号：ZL 2020 1 0084018.X

专利申请日：2020年02月10日

专利权人：南京理工大学

地址：210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫街道孝[illegible]

授权公告日：2021年05月07日　　授权公告号：

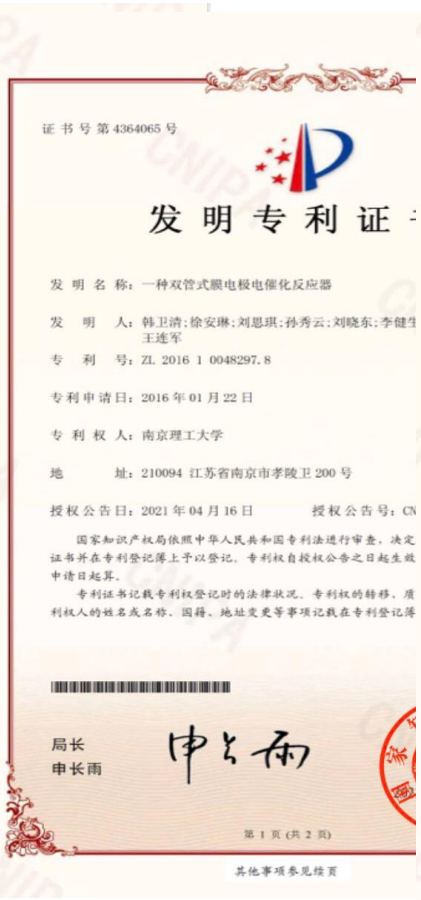
国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定[illegible]证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第1页(共2页)

其他事项参见续页


证书号第4364065号

发明专利证[illegible]

发明名称：一种双管式膜电极电催化反应器

发明人：韩卫清；徐安琳；刘思琪；孙秀云；刘晓东；李健生；王连军

专利号：ZL 2016 1 0048297.8

专利申请日：2016年01月22日

专利权人：南京理工大学

地址：210094 江苏省南京市孝陵卫200号

授权公告日：2021年04月16日　　授权公告号：CN

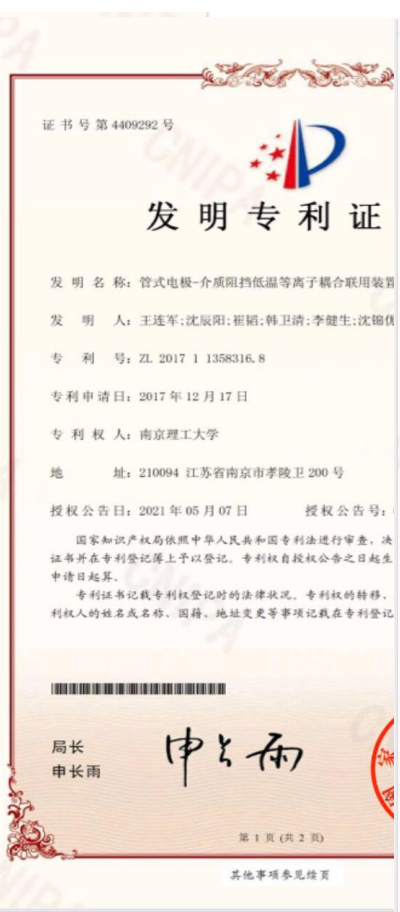
国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定[illegible]证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第1页(共2页)

其他事项参见续页


证书号第4409292号

发明专利证

发明名称：管式电极-介质阻挡低温等离子耦合联用装置

发明人：王连军；沈辰阳；崔韬；韩卫清；李健生；沈锦优

专利号：ZL 2017 1 1358316.8

专利申请日：2017年12月17日

专利权人：南京理工大学

地址：210094 江苏省南京市孝陵卫200号

授权公告日：2021年05月07日　　授权公告号：

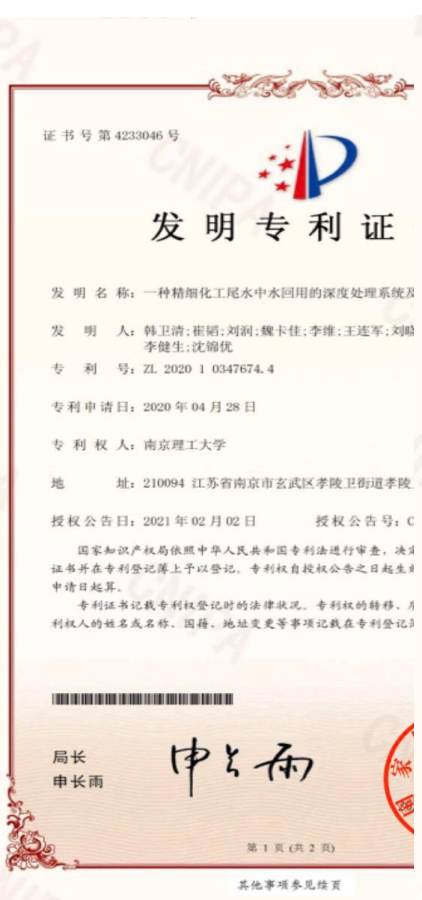
国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定[illegible]证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第1页(共2页)

其他事项参见续页


证书号第4233046号

发明专利证

发明名称：一种精细化工尾水中水回用的深度处理系统及[illegible]

发明人：韩卫清；崔韬；刘润；魏卡佳；李维；王连军；刘晓[illegible]李健生；沈锦优

专利号：ZL 2020 1 0347674.4

专利申请日：2020年04月28日

专利权人：南京理工大学

地址：210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫街道孝陵[illegible]

授权公告日：2021年02月02日　　授权公告号：C

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定[illegible]证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

第1页(共2页)

其他事项参见续页


证书号第4821600号

发明专利证书

发明名称：一种实现非均相芬顿氧化过程中自由基靶向氧化的装置及方法

发明人：魏卡佳；黄芳；韩卫清；刘润；戴君诚；刘思琪

专利号：ZL 2021 1 0348081.4

专利申请日：2021年03月31日

专利权人：南京理工大学；南京华工创新环境研究院有限公司

地址：210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫街道孝陵卫街200号

授权公告日：2021年11月30日　　授权公告号：CN 113060819 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

2021年11月30日

第1页(共2页)

其他事项参见续页

一种用于化工废水高效处理的电催化芬顿氧化-电化学氧化耦合工艺及其装置（ZL202010084018.X）

一种双管式膜电极电催化反应器（ZL 106995229A）

管式电极-介质阻挡低温等离子耦合联用装置（ZL108083395A）

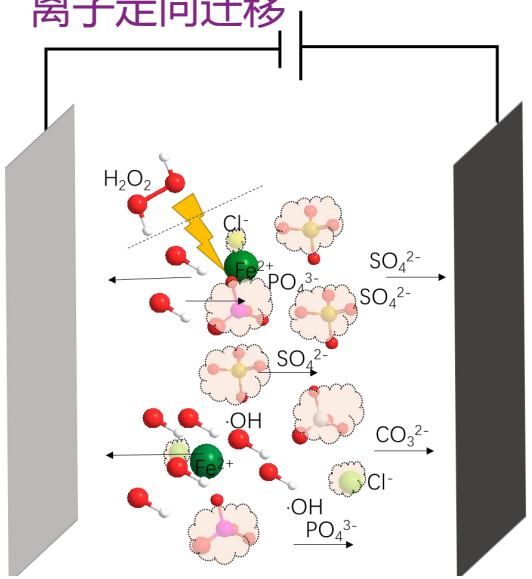
一种精细化工尾水中水回用的深度处理系统及方法（ZL202010347674.4 ）

一种实现非均相芬顿氧化过程中自由基靶向氧化的装置及方法（ZL202110348081.4）

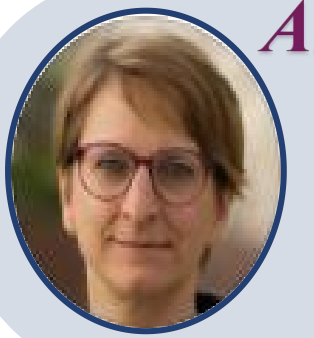
3.3 ·OH介导的电化学调控（形成电化学调控-芬顿耦合技术）

同行专家评价

离子定向迁移



阻止离子效应和淬灭发生



Anett Georgi *德国 Helmholtz环境研究中心知名教授、环境领域权威学者*

“电催化Fenton-电化学氧化耦合技术是当前唯一可实现有机物持续降解的可靠技术，具有引领作用”

——SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 67 (2019)187-193

电化学关键技术取得重大突破，获得国内外同行专家的高度认可

钛基二氧化钛纳米管二氧化锡电极的制备方法ZL201010203133.0　一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法ZL201110444887.X　Journal of Hazardous Materials 151 (2008) 306–315　Water Research, 2020, 184:116151

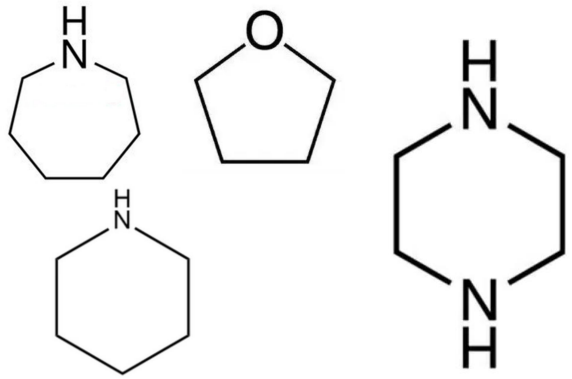
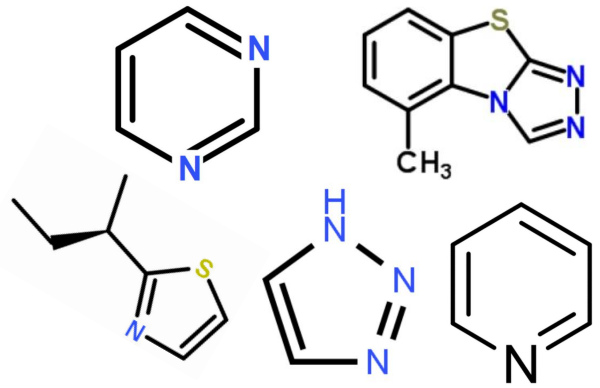
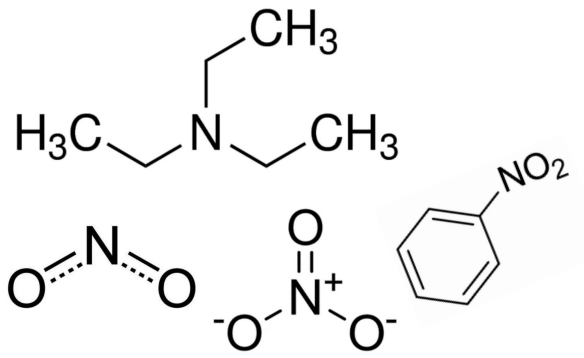
钛基纳米二氧化铅的制备方法ZL201310311974.7　一种掺锑二氧化锡-碳纳米管复合吸附性电极及其制备方法ZL201610070194.1　Journal of Electroanalytical Chemistry, 648-2(2010), 119-127.

3. 技术构建

场景

技术

原理

➢ 低分子环烷烃、哌啶等饱和杂环类物质	➢ 嘧啶、环唑等不饱和杂环类物质	➢ 硝基、氯溴等取代有机物、硝态氮、氨氮等无机物质
		
电化学直接氧化-还原技术	**电化学调控-Fenton/O_3耦合技术**	**电化学阴极还原-阳极氯介导耦合技术**
直接e-介导	**·OH介导**	**H*、Cl·介导**

依据污染物特性，构建活性物种介导的电化学还原氧化技术

4. 技术先进性及取得成果情况 关键技术及工程化应用技术鉴定





鉴　　定　　意　　见

2024 年 10 月 4 日，中国化工环保协会在江苏宜兴组织召开了南京理工大学和南京大学等单位完成的“化工废水电催化全过程毒性控制关键技术、成套装备及产业化应用”科技成果鉴定会。鉴定委员会专家（名单附后）听取了完成单位所作的成果汇报，并审查了相关资料，经质询和讨论，形成如下鉴定意见：

一、鉴定材料完整、规范，符合鉴定要求。

二、项目围绕电化学技术在高盐、高毒性等复杂化工废水处理过程中面临的电极稳定性差、反应器传质受限等瓶颈性问题，研制并开发了系列高效稳定催化电极与高传质反应器，实现了产业化应用。主要创新点如下：

1. 发明了界面耦合增效功能电极，实现在复杂介质下的高效电子传递，提升了电极稳定性；

2. 创制了微通道/电膜耦合/阴阳极协同反应器，解决了传质控制难题，实现了装备化；

3. 针对毒性污染物转化历程，开发了电化学直接氧化还原、电化学-芬顿/臭氧高效耦合和氯自由基介导-阴极协同等系列关键技术，实现了低成本减污控毒。

三、该成果已获授权中国发明专利47件、美国/日本等国际发明专利10件，制定国际标准2项。

四、技术成果在8省市及越南等55项工程中成功应用，所研制的电极材料和反应器销售至西班牙、土耳其和阿根廷等13个国家和地区，创建了化工废水减污控毒新范式，取得了显著的经济效益和环境社会效益。

鉴定委员会认为：该成果总体达到国际领先水平。

2024年10月4日，中国化工环保协会联组织鉴定，成立了曲久辉院士任组长、陈坚院士任副组长的鉴定委员会，鉴定委员会给予高度评价，评价为“创建了化工废水减污控毒新模式… 该成果总体达到国际领先水平。”

化工行业环保技术成果鉴定会会议委员会名单

序号	鉴定会职务	姓　名	工　作　单　位	现从事专业	职 称 职 务	签　名
1	主　任	曲久辉	中国科学院生态环境研究中心/清华大学	环境工程	院士	
2	副主任	陈　坚	江南大学	发酵与轻工生物技术	院士	
3	委　员	曹宏斌	中国科学院过程工程研究所	工业有毒有害污染物全过程控制	杰青/研究员	
4	委　员	邹小波	江苏大学	多技术融合食品检测	副校长/长江学者	
5	委　员	金万勤	南京工业大学	化学工程	主任/教授	
6	委　员	王开春	中蓝连海设计研究院有限公司	环境工程	部长/研究员	
7	委　员	刘广兵	江苏省环境科学研究院	环境工程	所长/研究员	

目　录

1. 项目背景
2. 动力学理论建立
3. 电极材料和装备开发
   3.1 高催化功能阳阴极材料研制
   3.2 高传质反应器开发
4. 电催化水处理技术开发
5. 典型应用案例
6. 总结和建议

4.1 电化学调控芬顿/O_3 ·OH介导的耦合技术 工程应用案例

典型工程实例——沙漠“芒硝湖”整治

“腾格里过去污染很厉害，附近省份向沙漠里倒污水，我为这个问题专门作出批示，要求停止污染，加强治理。”

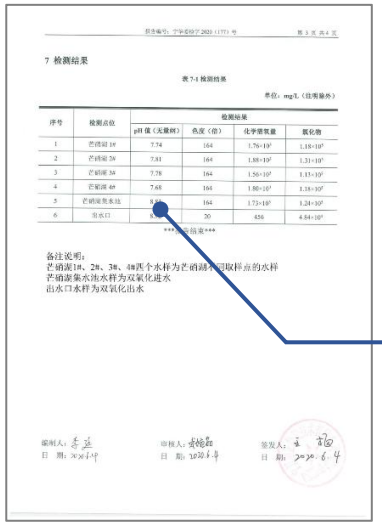
——习近平总书记在十三届全国人大二次会议内蒙古代表团审议时的谈话



难题 6家化工企业长期将废水排放至沙漠，汇集到芒硝采集废坑塘(“芒硝湖”),湖水盐分达到饱和，COD高达2000-5000mg/L



现场运行图



7 检测结果

表 7-1 检测结果

序号	检测点位	检测结果			
		pH 值（无量纲）	色度（倍）	化学需氧量	氯化物
1	芒硝湖 1#	7.74	164	1.76×10^3	1.16×10^3
2	芒硝湖 2#	7.81	164	1.88×10^3	1.31×10^3
3	芒硝湖 3#	7.78	164	1.56×10^3	1.13×10^3
4	芒硝湖 4#	7.68	164	1.80×10^3	1.18×10^3
5	芒硝湖集水池	7.74	164	1.73×10^3	1.24×10^3
6	出水口	7.51	50	456	4.84×10^2

备注说明：
芒硝湖1#、2#、3#、4#四个水样为芒硝湖4个采取样点的水样
芒硝湖集水池水样为双氧化进水
出水口水样为双氧化出水

编制人：
日 期：
审核人：
日 期：
签发人：
日 期：

电催化芬顿-电化学氧化耦合技术处理效果

水样批次	COD（mg/L）		去除率（%）
	进水	出水	
09.29	1611	80	95.03
10.02	1867.2	91.2	95.11
10.04	1843	84.7	95.40

处理效果

在中试的基础上，开发区采购了一台设备，经处理后COD和色度达到了周围水体的水平，吨水处理费用17元（传统芬顿氧化达300元）。

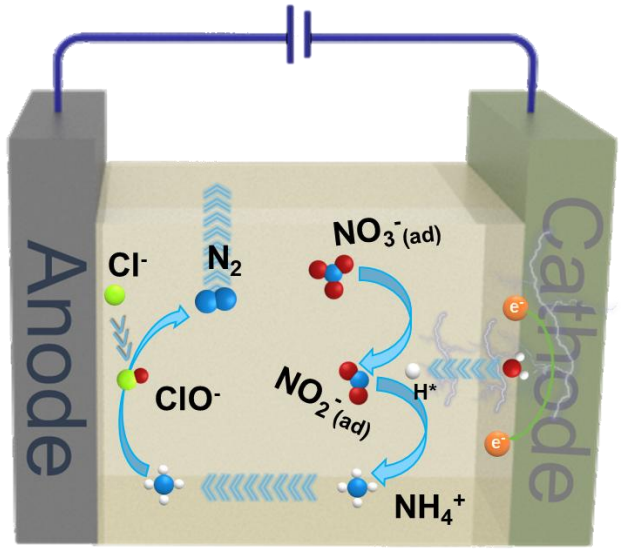
4.2 “活性氯” 介导的电化学氮脱除技术

难题 单一活性物种无法实现低分子有机氮及总氮的有效脱除

突破 通过构建电化学阳极氧化氯自由基生产-阴极改性硝态氮还原技术，实现总氮脱除

理论与技术

- 电解质调控阳极产生Cl•，实现有机碳源、氮源的定向转化及氮源去除
- 阴极改性产生H*，实现氟苯尼考、硝基苯、硝态氮等物质的还原





实现有机碳源、氮源的定向转化，总氮出水≤15mg/L；较电化学氧化速率提升2-5倍，碳排放量减少60%

ZL201610174088.8 ZL201810652255.4 ZL202011046985.3 ZL202010370829.6 ZL202010347674.4 ZL202010946764.5 ZL202110684747.3
US11787717B2 US11513109B2 US10233013B2
US9902637B2 US9090489B2 US11753319B2

《Evaluation methods for industrial wastewater treatment and reuse processes. ISO 23043:2021》
《Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse. ISO 23044:2020》

4.3 发明了电化学调控氯自由基-阴极还原氮脱除技术 工程应用案例

场景 低分子有机氮脱除

难题 江苏激素研究所有限公司废水有机氮以环唑类为主（70 mg/L），去除难度大
总氮含量135 mg/L，脱除困难

技术 采用电化学调控氯自由基-阴极还原氮脱除技术，实现电化学氧化-还原协同脱氮



应用证明

应用单位	方洋水务有限公司	
项目名称	方洋水务有限公司奥升德尼龙66废水“电化学直接氧化、电催化芬顿-电化学氧化耦合技术”预处理工程项目	
单位注册地址	连云港市徐圩新区徐圩大道66号	
应用起止时间	2021年7月至今	
经济效益（万元）		
自 然 年	新增销售额	新增利税
2021	54259	6152
2022	63102	7415
2023	45961	5681
累 计	165063	19248

所列经济效益的有关说明及计算依据：
该技术的运用保障了企业的正常生产运行，是企业生产的必要条件，企业的近三年新增利税计算为该技术产生的间接经济效益。

具体应用情况：
美国奥升德公司作为全球[illegible]产品，在历[illegible]己亚胺废水由于高[illegible]理工艺，在其美国奥升德[illegible]证生物系统的正常运行，需要[illegible]本较高。
奥升德(连云港)功能材料有[illegible]基地，并将所有生产废水不经[illegible]600m³，进水 COD_{cr} 9000mg/L，[illegible]司寻求多家预处理技术后，确定[illegible]-电化学氧化耦合技术”的预处理技术，该预处理技术能够将环己亚胺去除 98%，总氮去除 75%，生物系统降低 70%投资，毒性物质得到有效的转化，经过预处理后，可无需配水直接进入生物系统处理，大幅减少生物系统建设规模。年减排 COD_{cr} 1960 吨，总氮 478.5 吨，计碳减排放 5.6 万吨 CO_2。

应用单位法定代表人签名：[illegible]　　应用单位财务章：
应用单位盖章：
2023年12月1日　　2023年12月1日

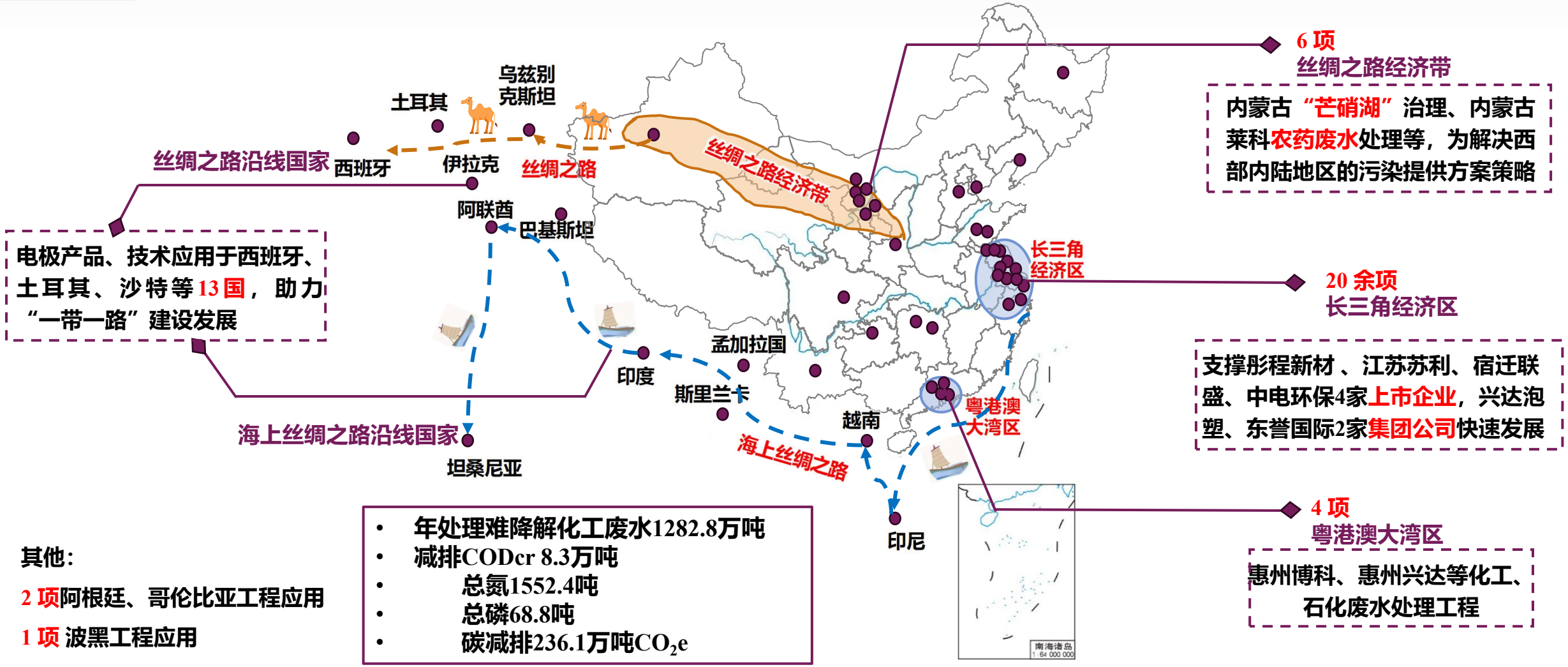
激素厂

有机氮脱除率87%，总氮脱除率90%。

电化学脱氮技术先后在江苏省农药研究所、山东海化、泰州百力等公司实施应用于**含氮环唑、三乙胺、二乙胺**等生产废水处理的10余项工程，有效去除废水中的低分子有机氮及总氮

推广应用及经济效益

近3年销售额145.6亿元，直接经济效益6.3亿元，间接23.4亿元



6 项
丝绸之路经济带

内蒙古“芒硝湖”治理、内蒙古莱科农药废水处理等，为解决西部内陆地区的污染提供方案策略

20 余项
长三角经济区

支撑彤程新材 、江苏苏利、宿迁联盛、中电环保4家上市企业，兴达泡塑、东誉国际2家集团公司快速发展

4 项
粤港澳大湾区

惠州博科、惠州兴达等化工、石化废水处理工程

- 年处理难降解化工废水1282.8万吨
- 减排CODcr 8.3万吨
- 总氮1552.4吨
- 总磷68.8吨
- 碳减排236.1万吨CO_2e

其他：

2 项阿根廷、哥伦比亚工程应用

1 项 波黑工程应用

本项成果共形成2类8种电极、3套关键设备、4项关键技术，并在全国8省市及西班牙、印度、阿联酋、土耳其、坦桑尼亚、越南等55项污水处理工程中得到应用

目　录

1. 项目背景
2. 基于电化学氧化剂生成的过程控制
3. 基于电化学反应动力学理论的电极材料和装备开发
3.1电化学反应动力学理论
3.2 高催化功能阳阴极材料研制
3.3 高传质反应器开发4. 电催化水处理技术开发
5. 技术拓展
6. 总结和建议

6.1 形成“学产研”新范式新模式

热点问题 科学研究与技术开发及工程应用严重脱节

科学研发团队以科学与技术创新为主

任务：以科学与技术创新为主，在催化材料开发和机理理论创新

团队和研发情况：近100名博士硕士在20年内开展了电化学水处理理论及技术研究，形成系列标准和专利



工程应用团队以技术应用与工程化为主

任务：以解决难降解污染物靶向降解为目的，实现工程化应用

团队和研发情况：依托新型研发机构“南京华工创新环境研究院”和学科性公司“南京润科环境有限公司”，承担省科技转化和省双碳项目，实施完成55项工程





四、技术先进性及取得成果情况

成果

授权发明专利38件，其中授权美国/欧洲专利5件；发布标准3件，其中国家标准1件

电极与催化材料

- 一种钛基掺锡二氧化铅电极的制备方法 ZL201110444887.X
- 钛基纳米二氧化铅的制备方法 ZL201310311974.7
- 一种钛基体二氧化铅多孔管式膜电极、制备及应用 ZL201410529200.6
- 一种三维复合孔道掺锑二氧化锡电极及其制备方法和应用，ZL201610293557.8
- 石墨基板式二氧化钌涂层碳纳米过滤电极及其制备方法 ZL201710333990.4
- 一种多孔钛基亚氧化钛纳米管二氧化铅电极的制备与应用 ZL202011187201.9
- Titanium sub-oxide/ruthenium oxide composite electrode and preparation method and application thereof. US2020/0208282A1
- 一种具有动态SnO_2-Sb催化层的膜电极、制备方法及应用 ZL202111035860.5

核心专利

电极 ZL201010203133.0

反应器 ZL202011115517.7

技术 US11787717B2

- 材料设备聚焦
- 毒性控制引领
- 技术应用发展

工艺与装置延伸

- 一种高效嵌套式电化学氧化多层管式反应器. ZL 201611134417.2
- 一种含氮杂环化合物化工尾水的深度处理装置及其组合工艺. ZL201610073336.X
- 一种双管式膜电极电催化反应器. ZL 201610048297.8
- 一种实现非均相芬顿氧化过程中自由基靶向氧化的装置及方法. ZL202110348081.4
- 一种有机合成工业含盐废水中废盐的回收方法. ZL201610174088.8
- 一种非均相芬顿耦合管式膜电极用于处理有机废水的方法. ZL202110713863.3
- Biological toxicity test method for evaluating the ecological safety of advanced oxidation processes. US11513109B2
- Method for intensification of advanced biological nitrogen removal and reduction of endocrine disrupting toxicity. US11753319B2

标准

《Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse. ISO 23044:2020》、《Evaluation methods for industrial wastewater treatment and reuse processes. ISO 23043:2021》、《工业废盐综合毒性评估技术指南 T/CAQI 365-2023》、《废水处理技术规范 电芬顿氧化法 T/CPCIF 0272-2023》

相关授权发明专利 **38件**

电极与材料开发 **19件**

电化学反应器与装备 **10件**

技术应用及毒性评价 **9件**

国家/团体标准 **3项**

四、技术先进性及取得成果情况

取得成果

- 本项目授权发明专利55件，其中授权美国/日本专利10件



关键词：“电化学钛电极”or“管式电极”or“电芬顿”水处理

数据来源：德温特全球专利检索数据库，2023.12.26

6. 技术成果总结

取得成果

- 申报了电化学相关的发明专利58件，其中PCT(美国)专利6件、授权发明专利38件，美国专利2件，实用新型专利5件
- 开发了2类电极，形成3套设备
- 开发5项关键技术
- 获得立项国家系列标准6项，主持完成和发布了国家标准《工业废水电化学处理技术规范 第一部分：总则》和团体标准《废水处理技术规范 电芬顿氧化法》、《废盐毒性评价技术规范及标准》



代表作

【1】Effects of fulvic acids on the electrochemical reactions and mass transfer properties of organic cation toluidine blue: Results of measurements by the method of rotating ring-disc electrode[J]. *Water Research*, 2020, 184:116151.

【2】Efficient nitro reduction and dechlorination of 2,4-dinitrochlorobenzene through the integration of bioelectrochemical system into upflow anaerobic sludge blanket: A comprehensive study. *Water Research*, 2016, 88: 257-265.

【3】Role of molecular structure on bioelectrochemical reduction of mononitrophenols from wastewater. *Water Research*, 2013, 47: 5511-5519.

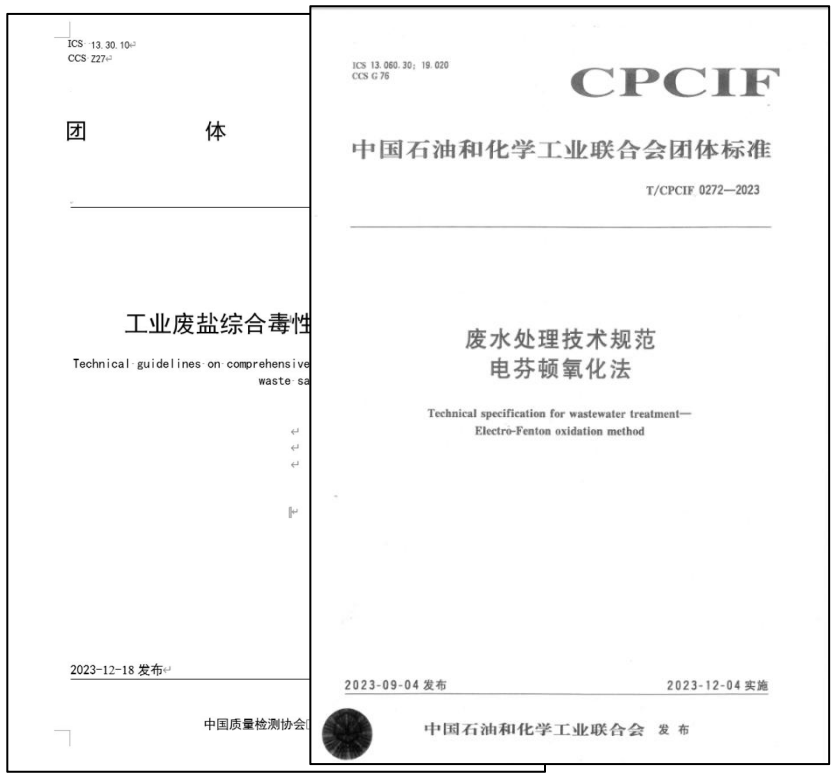
【4】Fabrication and characterization of TiO_2-NTs based hollow carbon fibers/carbon film composite electrode with NiO_x decorated for capacitive application[J].*Journal of Power Sources*, Volume 318, 2016, Pages 57-65.

【5】A phenolic resin-assisted strategy for MOF-derived hierarchical Co/N-doped carbon rhombic dodecahedra for electrocatalysis. *Journal of Materials Chemistry A*, 2019, 7, 5173-5178

6、技术先进性　关键技术与应用成果推动标准制定

团标《废水处理技术规范 电芬顿氧化法》

团标《工业废盐综合毒性测试技术指南》



ICS 13.30.10
CCS Z27

团　　体

工业废盐综合毒性

Technical guidelines on comprehensive
waste sa

2023-12-18 发布

中国质量检测协会

ICS 13.060.30；19.020
CCS G 76

CPCIF

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF 0272—2023

废水处理技术规范
电芬顿氧化法

Technical specification for wastewater treatment—
Electro-Fenton oxidation method

2023-09-04 发布　　2023-12-04 实施

中国石油和化学工业联合会　发布

国标《工业废水电化学处理技术规范 第一部分：总则》



中华人民共和国国家标准
公　　告

2025 年第 6 号

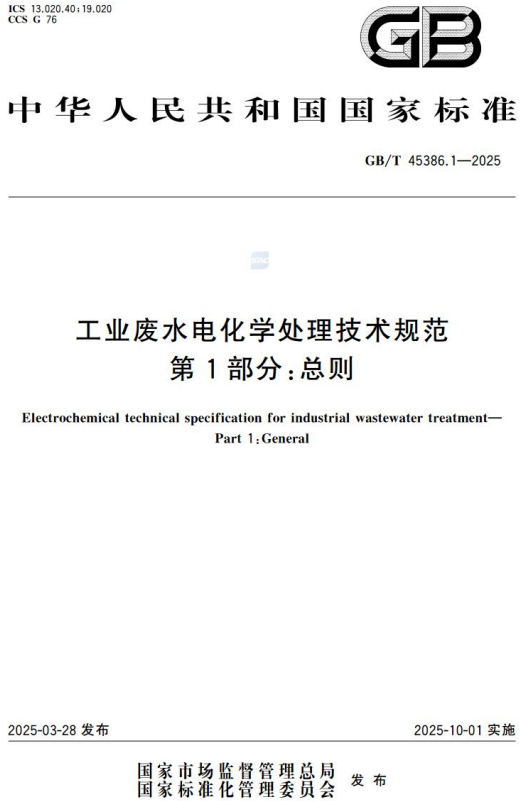
关于批准发布《普通螺纹 基本尺寸》等
216 项推荐性国家标准的公告

国家市场监督管理总局（国家标准化管理委员会）批准《普通螺纹 基本尺寸》等 216 项推荐性国家标准，现予以公告。

国家市场监督管理总局　　国家标准化管理委员会

2025 年 3 月 28 日

— 1 —



ICS 13.020.40；19.020
CCS G 76

GB

中华人民共和国国家标准

GB/T 45386.1—2025

工业废水电化学处理技术规范
第 1 部分：总则

Electrochemical technical specification for industrial wastewater treatment—
Part 1：General

2025-03-28 发布　　2025-10-01 实施

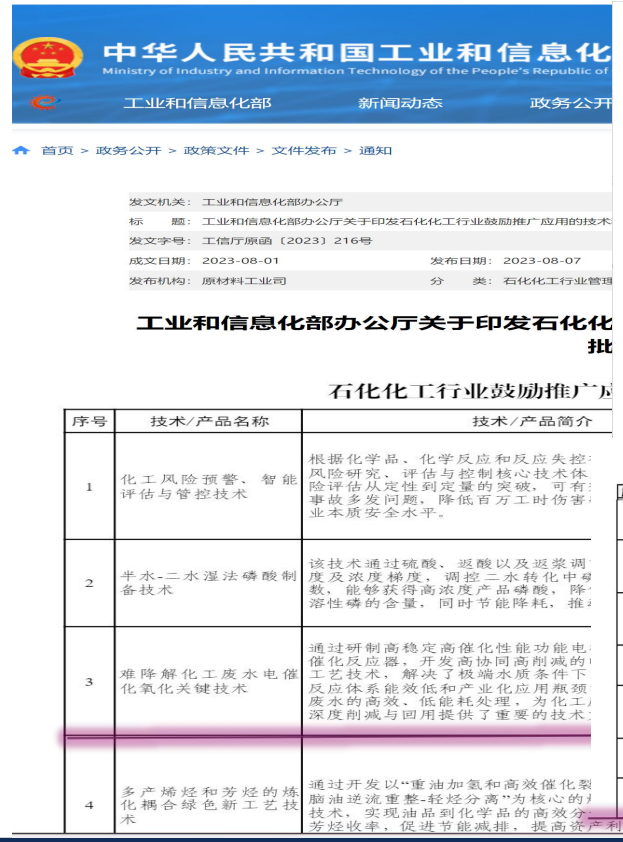
国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

发布标准4项，牵头完成编写国家第一个“电化学水处理技术规范”　《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：通则》

6、技术先进性　行业推荐

➢本项目相关技术入选《产业基础创新发展目录（2021 年版）》（简称“五基”发展名录）、工信部“石化化工行业鼓励推广技术和产品”和“第一批先进适用技术名单”



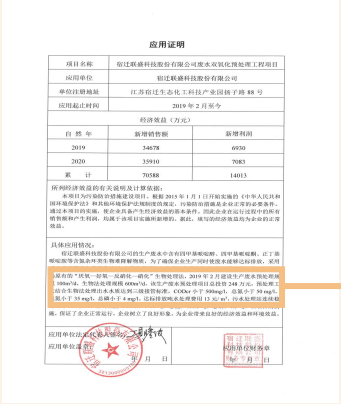




关键核心材料、装备和工艺技术列入了“五基”发展名录、关键技术与装备入选工信部“2023年度推广技术和产品”和“第一批先进适用技术名单（111项）”

四、技术先进性 应用客户及同行专家评价

宿迁联 603065.SH



应用证明

项目名称	宿迁联盛科技股份有限公司废水双氧化预处理工程项目
应用单位	宿迁联盛科技股份有限公司
单位注册地址	江苏宿迁生态化工科技产业园扬子路 88 号
应用起止时间	2019 年 2 月至今
经济效益（万元）	

自 然 年	新增销售额	新增利润
2019	34678	6930
2020	35910	7083
累 计	70588	14013

所列经济效益的有关说明及计算依据：

本项目为污染防治措施建设项目，根据 2015 年 1 月 1 日开始实施的《中华人民共和国环境保护法》和其他环境保护法规的有关规定，污染防治措施是企业正常的必要条件，通过本项目的实施，使企业具备产生经济效益的基本条件，因此企业在运行过程中的所有销售额和产生利润，均属于由项目实施所新增的。据此，填写的经济效益均为企业的正常效益。

具体应用情况：

宿迁联盛科技股份有限公司的生产废水中含有四甲基哌啶醇，因甲基哌啶醇、正丁基哌啶酮等含氮杂环物质难降解物质，为了确保企业生产同时使废水能够达标排放，采用

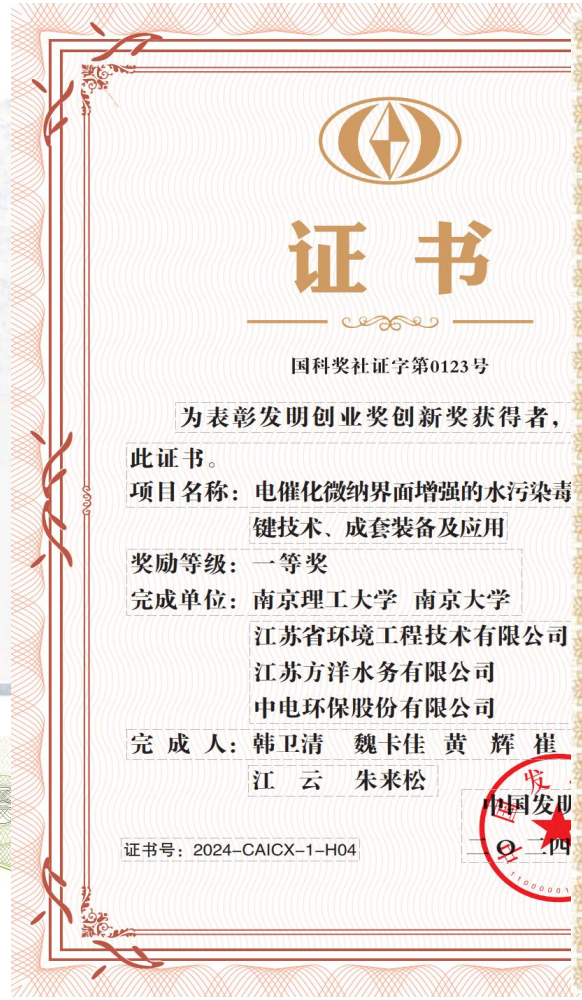
两套有效容积为 1000m³ 的一级 A/O 生物处理池，设计处理规模 6000m³/d，设计污水处理量为 250 吨/小时，设计进水 COD≤5000mg/L，设计出水 COD≤500mg/L，设计进水 TN≤70mg/L，设计出水 TN≤35mg/L，设计进水 NH3-N≤50mg/L，设计出水 NH3-N≤5mg/L，设计进水 TP≤4mg/L，设计出水 TP≤1mg/L，设计进水 SS≤200mg/L，设计出水 SS≤35mg/L，设计进水 BOD5≤2000mg/L，设计出水 BOD5≤20mg/L，设计进水 pH 6-9，设计出水 pH 6-9，设计进水 色度≤500 倍，设计出水 色度≤50 倍，设计进水 氨氮≤50mg/L，设计出水 氨氮≤5mg/L，设计进水 总磷≤4mg/L，设计出水 总磷≤1mg/L，设计进水 总氮≤70mg/L，设计出水 总氮≤35mg/L，设计进水 悬浮物≤200mg/L，设计出水 悬浮物≤35mg/L，设计进水 生化需氧量≤2000mg/L，设计出水 生化需氧量

6. 电催化氧化相关技术获得“2021年度中石化联合会科技进步一等奖”

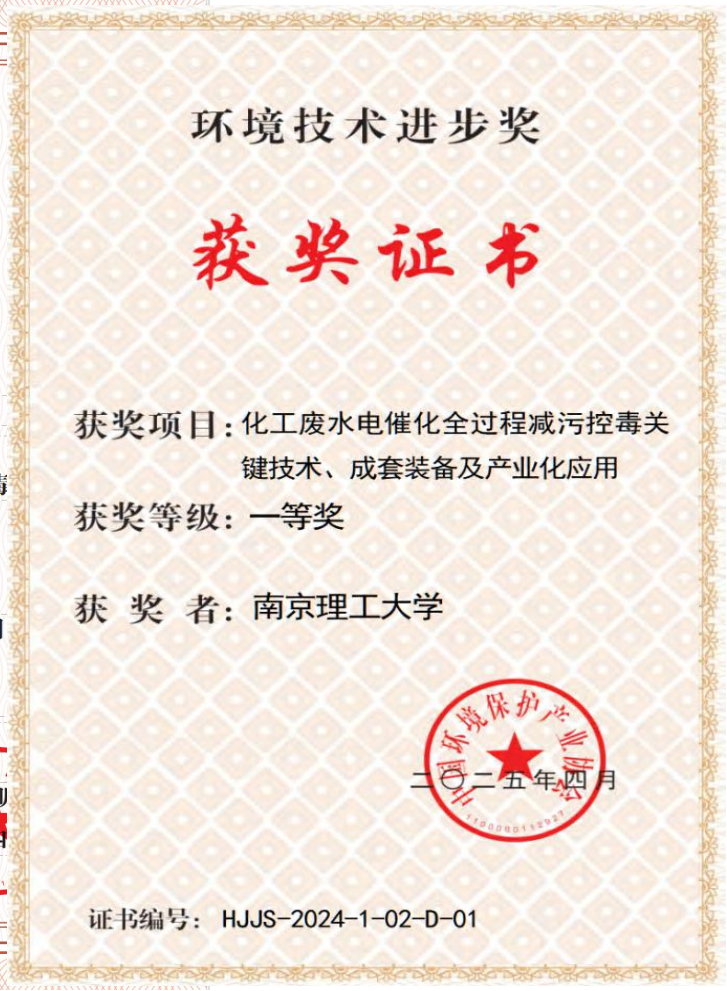
核心专利获得“2022年度中国石油和化学工业专利金奖”



2021年度中石化联合会科技进步一等奖　　2023年度中国专利优秀奖



2022年度中国石油和化学工业专利金奖　　2024年度发明创业奖创新奖一等奖



2024年度环保技术进步奖一等奖

6. 总结与结论

- **理论：** 电极材料优化优选、电极界面结构优化和电化学反应动力学研究，是降低电化学处理过程中能耗的核心；

- **材料：** 根据水中污染物选择不同的阳极和阴极材料；

- **反应器：** 高效电化学过程不仅仅是电极材料研制、合理反应器开发和匹配是降低能耗研究重点和主要方向；

★电化学可以实现污染物选择性靶向降解，是实现低碳处理的最有效方法之一

南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY



感谢各位同仁

敬请批评指正！

南京润科环境有限公司
ADD：江苏省南京市江宁开发区隐龙路粤浦科技16栋
CONTACT：韩卫清