



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

电化学驱动的水处理多功能耦合技术

Electrochemically Driven Multi-functional Coupling Technology for Water Treatment

汇报人：刘思琪 教授
南京理工大学 环境与生物工程学院
2026.03.22

目 录

1 电化学杀菌技术

2 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

3 电化学耦合臭氧高级氧化技术

4 电化学耦合膜过滤深度处理技术

目 录

1 电化学消毒杀菌技术

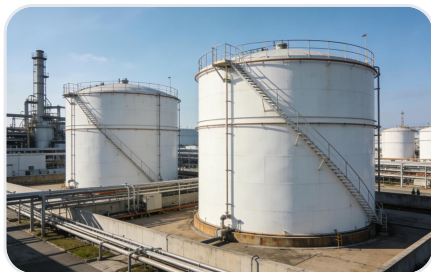
2 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

3 电化学耦合臭氧高级氧化技术

4 电化学耦合膜过滤深度处理技术

1. 电化学消毒杀菌技术

传统消毒的困境与挑战



化学品储运风险

氯气剧毒，次氯酸钠强腐蚀，
运输和储存过程存在极高安全风险

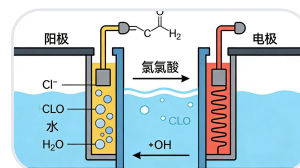
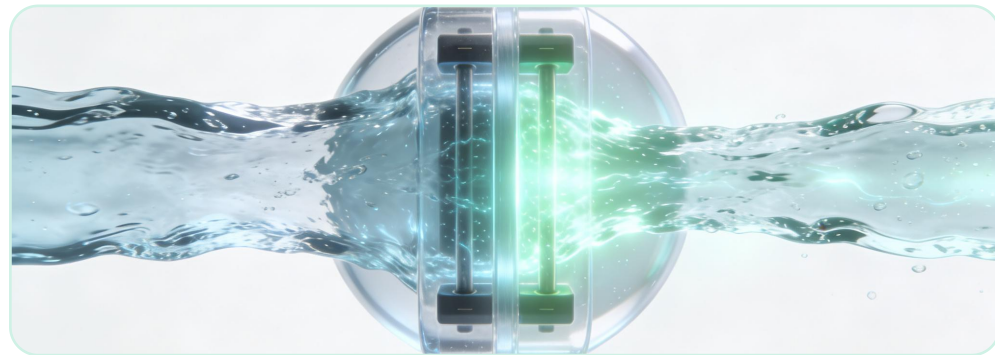


消毒副产物(DBPs)隐忧

氯系消毒剂与有机物反应，生
成三卤甲烷(THMs)等致癌物质

传统方法存在难以回避的安全与健康短板

电化学消毒 (ED): 绿色消毒新路径



工作原理: 原位生成

无需投加化学药剂，即产即用。



本质安全
无储运风险



绿色环保
无二次污染



高效智能
按需消毒

电化学消毒: 开启水安全“绿色消毒”新途径

1.电化学消毒杀菌技术

➤ 电化学杀菌原理



01. 直接氧化



02. 间接氧化
(主流)

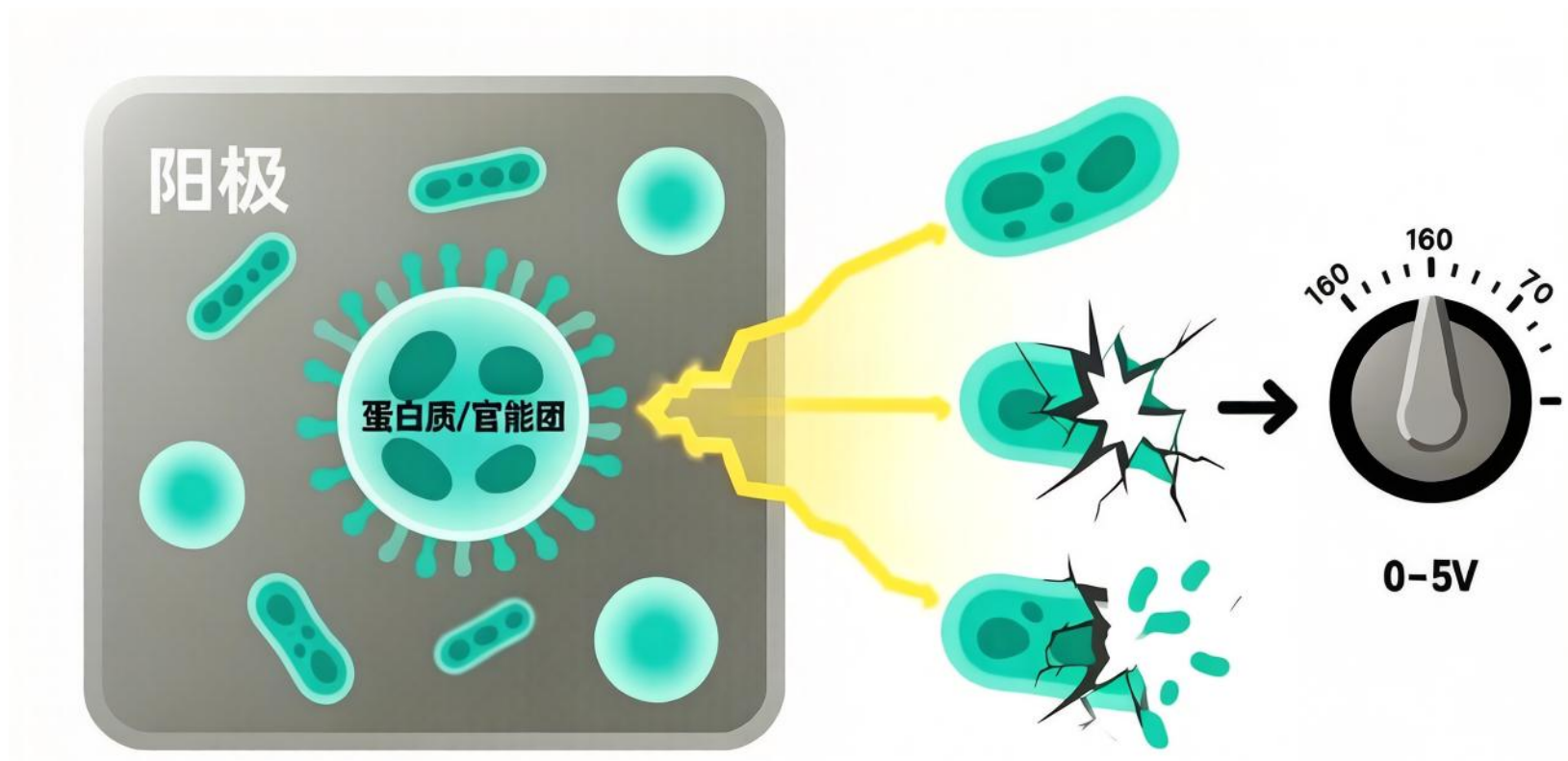


03. 电场自作用

电化学杀菌消毒的原理主要基于三大机制

1.电化学消毒杀菌技术

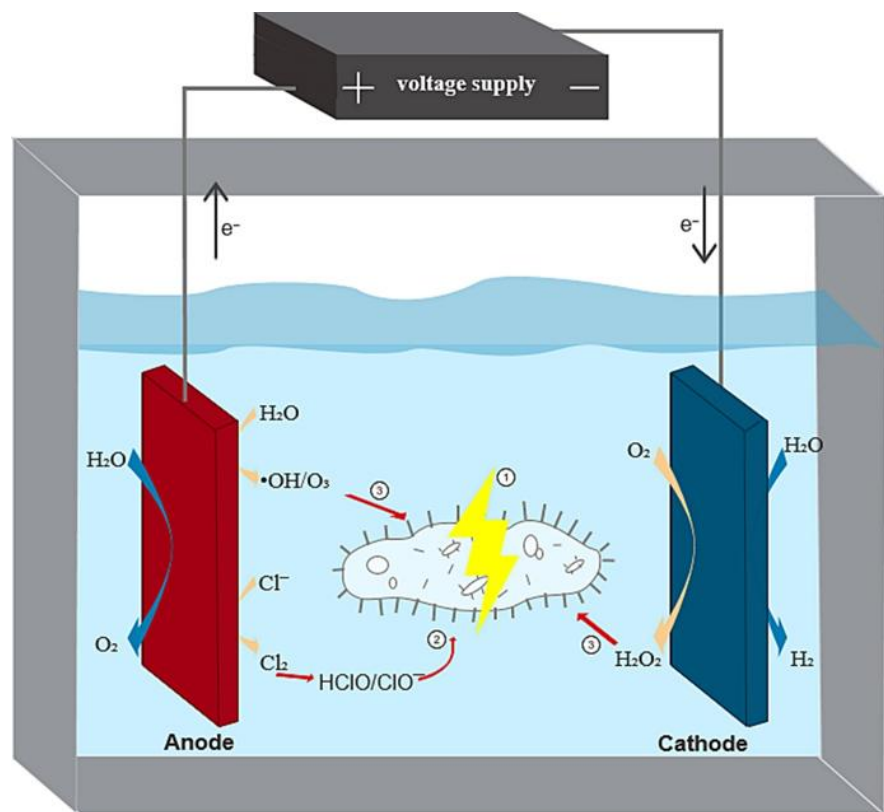
➤ 直接氧化



细菌直接与阳极表面相互作用，促使细胞膜内蛋白质或官能团发生多电子反应，导致细胞结构被“电”解破坏。

1.电化学消毒杀菌技术

➤ 间接氧化（主流途径）



间接氧化是指阳极与溶液中介质反应，原位产生强氧化性的活性中间体，使微生物失活。

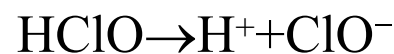
活性氯

优点：

在氯基消毒系统中，其运行电压及对应能耗比依赖 $\text{SO}_4^{\bullet-}$ ($E^0=2.5\text{ V}$) 和 $\bullet\text{OH}$ ($E^0=2.8\text{ V}$) 的系统降低约50%。

缺点：

在含氯系统中，尤其是氯离子浓度高时，长期运行不可避免地会产生消毒副产物 (DBPs)。



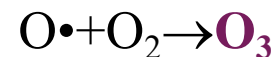
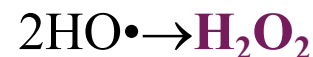
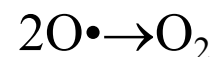
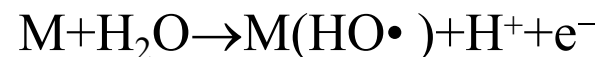
活性氧

优点：

- 氧化效率是氯的数倍；
- 分解产物主要是水和氧气，无二次污染，特别适用于对出水水质要求极高的场景。

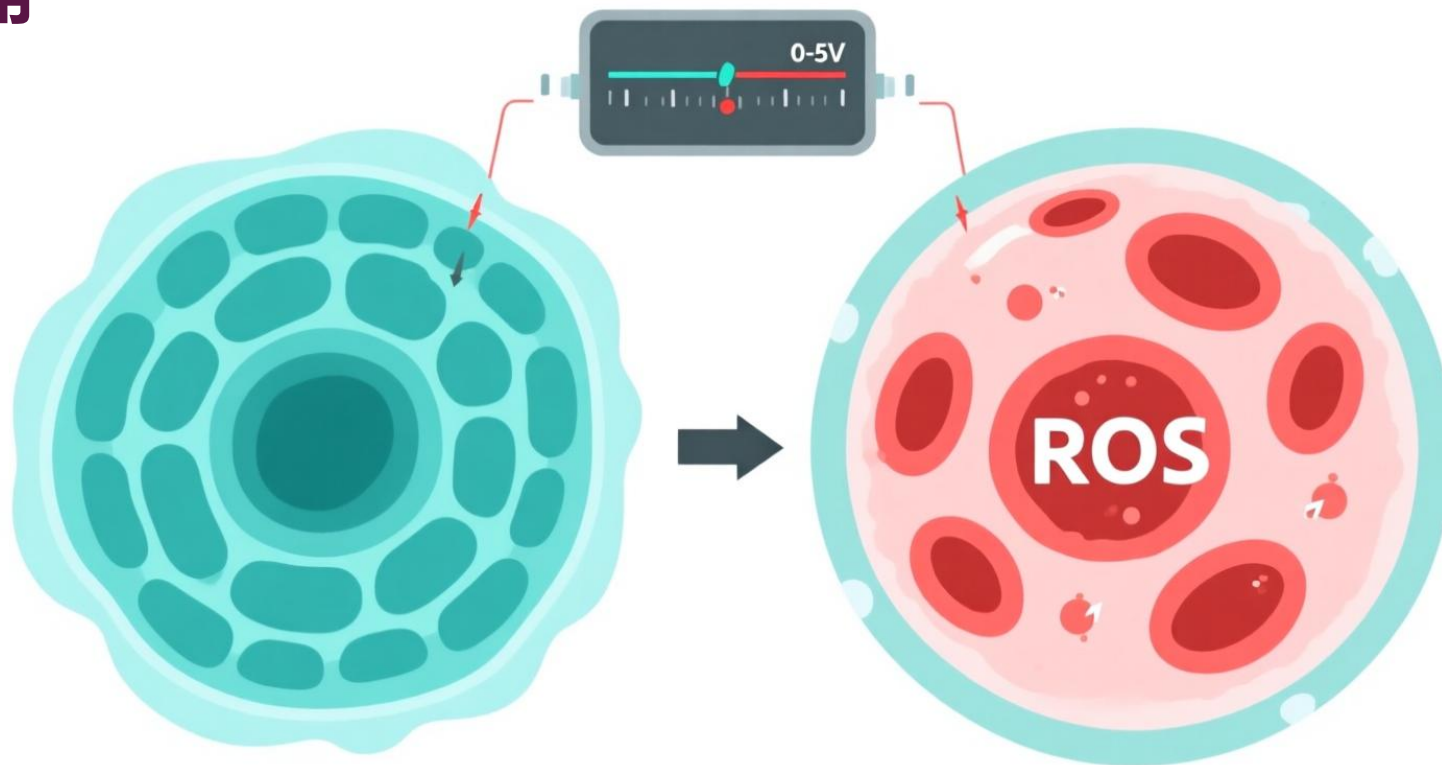
缺点：

- 成本相对较高。设备和技术要求也更高。
- 活性氧在水中分解较快，消毒持久性不如氯。



1.电化学消毒杀菌技术

➤ 电场自作用

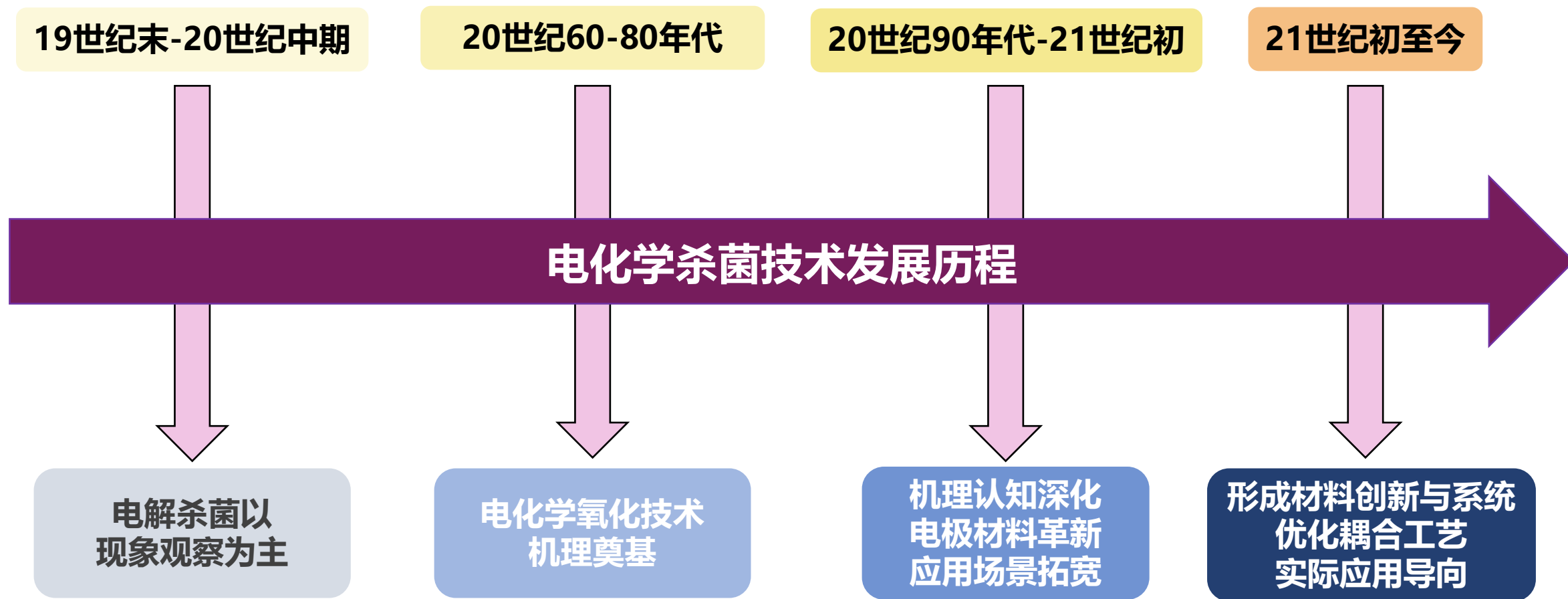


-外加电场影响细胞膜电位，引发不可逆的“电穿孔”效应，使细胞膜形成孔隙，通透性增加，甚至**直接导致细胞死亡**。

-电场会打破细胞内的氧化还原平衡，诱发氧化应激，产生大量内源性活性物质，促使从**内部加速细胞凋亡**。

1.电化学消毒杀菌技术

➤ 技术发展历程



1.电化学消毒杀菌技术

➤ 技术应用

装备	应用场景	技术特点与核心参数	工程实践与数据
eBooster™ 电化学消毒系统	澳大利亚昆士兰州多家区域性医院的饮用水管网（如达尔比医院）	采用周期性极性反转技术，从根本上解决电极结垢问题，实现免维护运行。核心在于其特制的、符合饮用水标准的电极涂层。	在达尔比医院，两台设备以在线式配置安装于进水总管，近两年运行数据显示： 能耗<2 kWh/天 （约0.04 kWh/m³），能自动适应流量波动，持续稳定产生余氯。 相较于传统化学加氯，运营成本降低约50%。
“Encase” 电解消毒剂发生器	泰国11家医院（包括从地区社区卫生中心到区域医疗中心的各种临床环境）	基于燃料电池技术，现场电解生成以次氯酸（HOCl）为主要成分的消毒剂。生成的消毒剂pH值稳定在4–6.5，氧化还原电位高达900–1200 mV。	在新冠疫情期间已在多家医院经过数年实地使用，验证了其在临床环境中的有效性和可靠性。设备通过了AOAC和ASTM E1053-20等严格标准测试，对SARS-CoV-2、RSV、登革热等多种病毒有效。
自供电电解海水析氯杀菌防污系统	海洋环境（如船舶）的防污杀菌	结合风力驱动旋转圆盘摩擦纳米发电机和太阳能电池，构建自供电系统。利用DSA电极电解海水产生有效氯进行杀菌。	实验室测试显示，对铜绿假单胞菌和金黄色葡萄球菌的杀菌率均达到 95%以上 。该设计解决了海洋环境中的能源供应问题，并通过时控开关实现精准操控。
Pd/Ti-TiO ₂ 电极电化学消毒系统	医疗废水处理（青岛大学附属医院二级沉淀池出水）	采用新型钯氧化物涂层钛电极，在低电流密度下快速产生活性氯物种进行杀菌。	在实际医疗废水处理中，20分钟内实现了超过 99.99% 的微生物灭活率，能耗仅为 38.9 Wh/m³ ，远低于传统RuO ₂ –IrO ₂ 电极的161 Wh/m³。
电离过氧化氢灭菌技术	医疗器械低温灭菌	由新华医疗与清华大学联合研发。借助高压电场将7.9%过氧化氢电离，产生高浓度羟基自由基（•OH）进行灭菌。	该技术已实现产业化。所用7.9%过氧化氢不属于危化品，解决了传统灭菌技术中化学品储运的安全和管理难题，并能实现log6级别的灭菌效果。

目 录

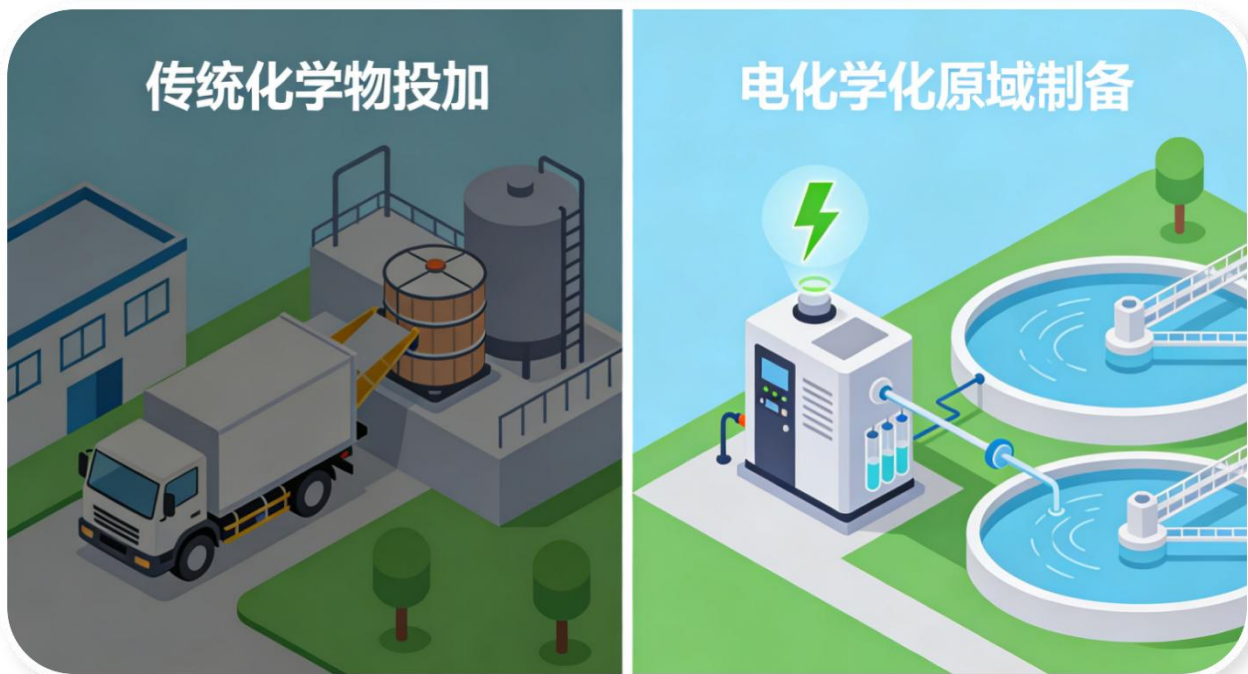
1 电化学消毒杀菌技术

2 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

3 电化学耦合臭氧高级氧化技术

4 电化学耦合膜过滤深度处理技术

2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术



传统模式的困境



- 安全风险：运输储存易泄漏腐蚀
- 计量误差：人工投加精度难控
- 药剂衰减：储存分解增加成本

✧核心优势：“即产即用”

优势

极致安全



精准可控

卓越经济



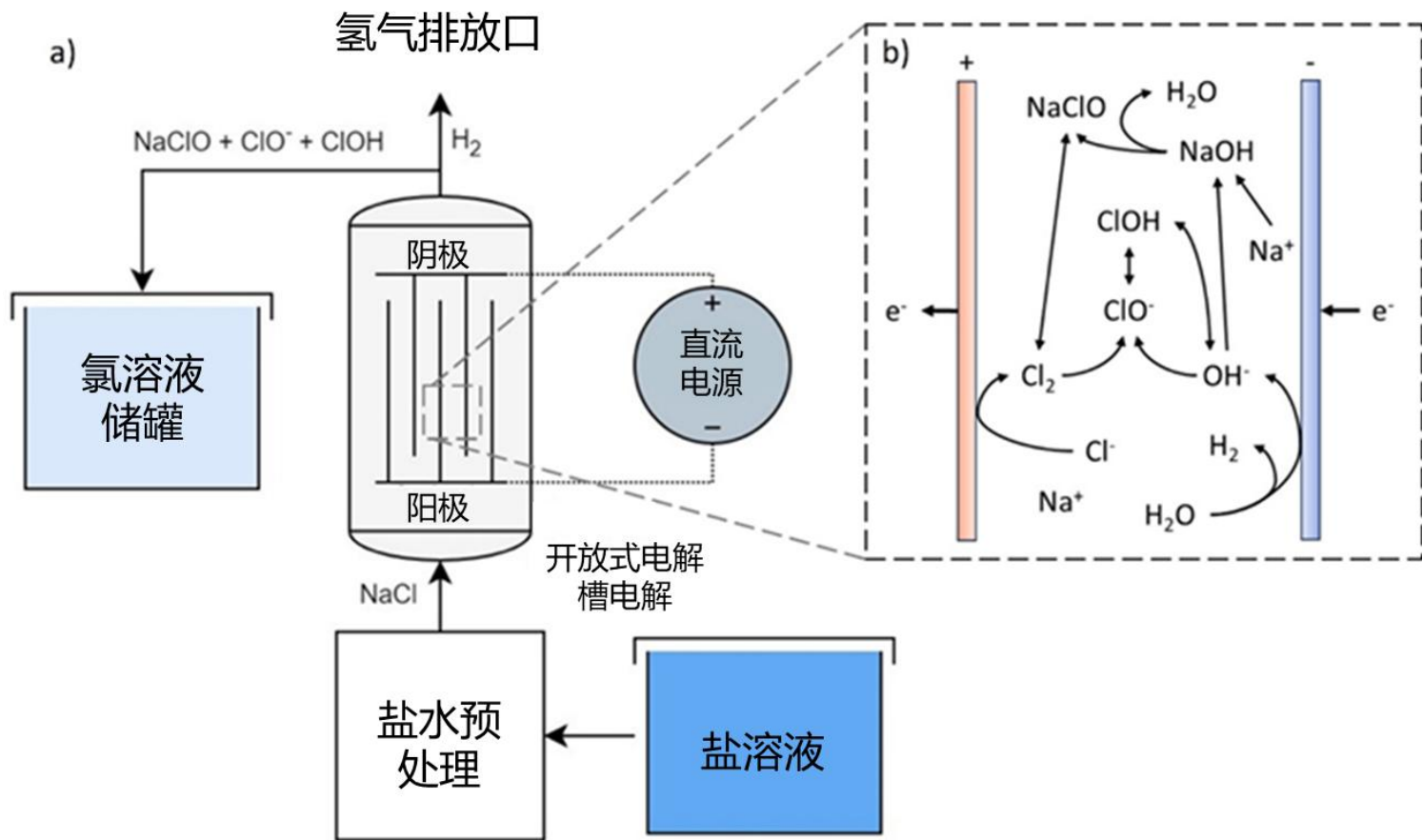
高效

- 极致安全：根除化学品储运风险
- 精准可控：按需生产，拒绝浪费
- 绿色高效：无二次污染，降解彻底

从“化学投加”到“原位制造”——以电生药，按需供给、易于耦合

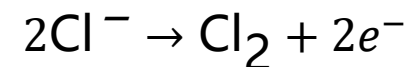
2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

➤ 技术原理-原位制次氯酸

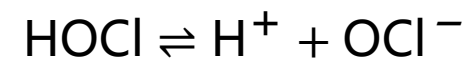
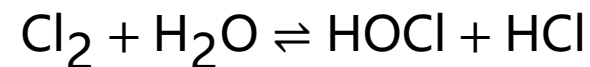


开式电解槽制氯示意图

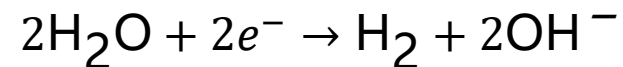
- **阳极**（析氯）：



- **溶液相中：**



- **阴极**（析氢）：



- **副产物**（逐级氧化）：



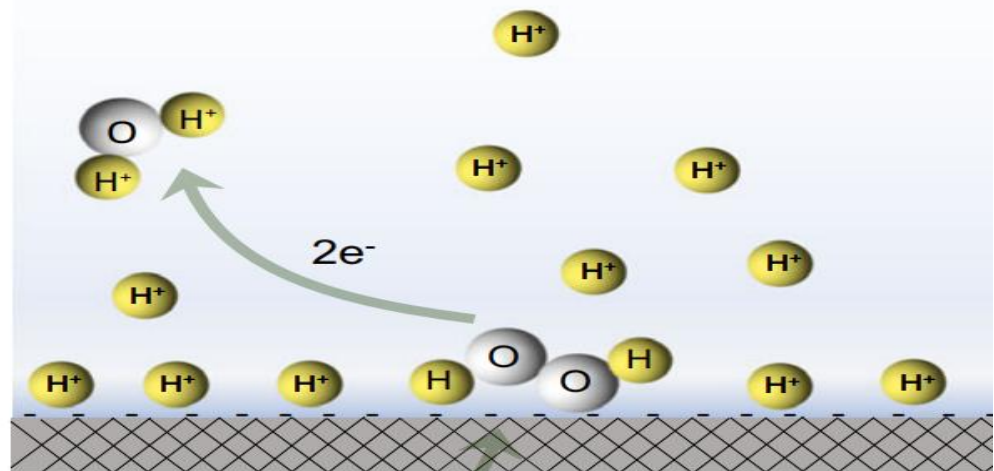
优点：成熟；余氯维持能力强

风险：高电位下副产物；阳极腐蚀；阴极结垢

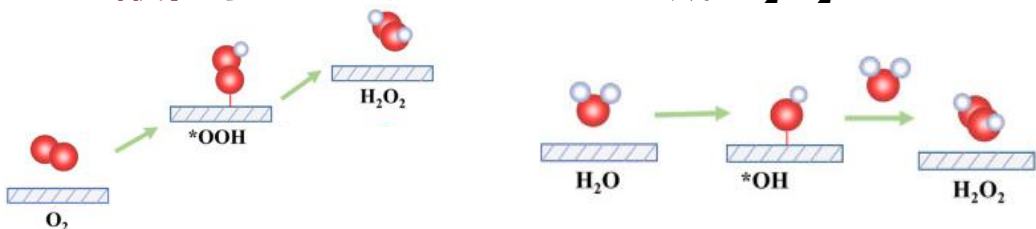
2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

➤ 技术原理-原位制双氧水

High local H^+ concentration



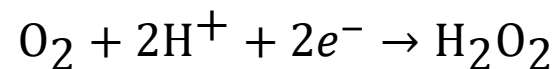
酸性条件下两电子ORR 生成 H_2O_2 示意图



中性或碱性条件下两电子ORR 生成 H_2O_2 示意图

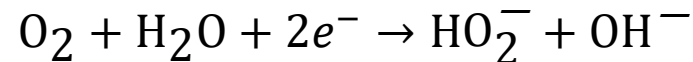
H_2O_2 最常见的原位生成路径是阴极两电子氧还原。

- 在酸性条件下:

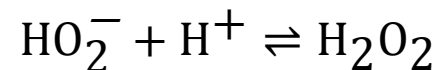


即使具有阳离子屏蔽作用，最终也生成过氧化氢。

- 在中性或碱性条件下:



随后通过酸碱平衡:

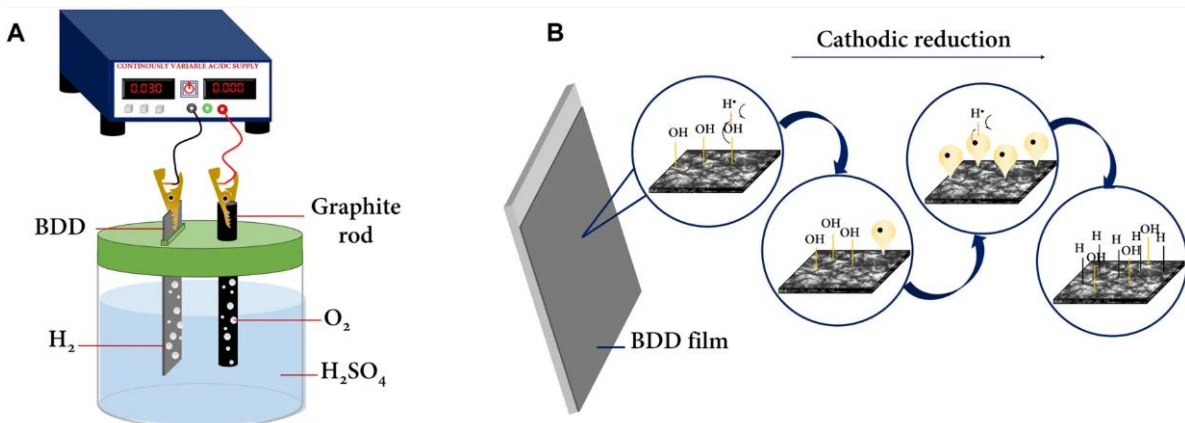


电极材料与界面微环境会影响 H_2O_2 的生成速率和选择性。

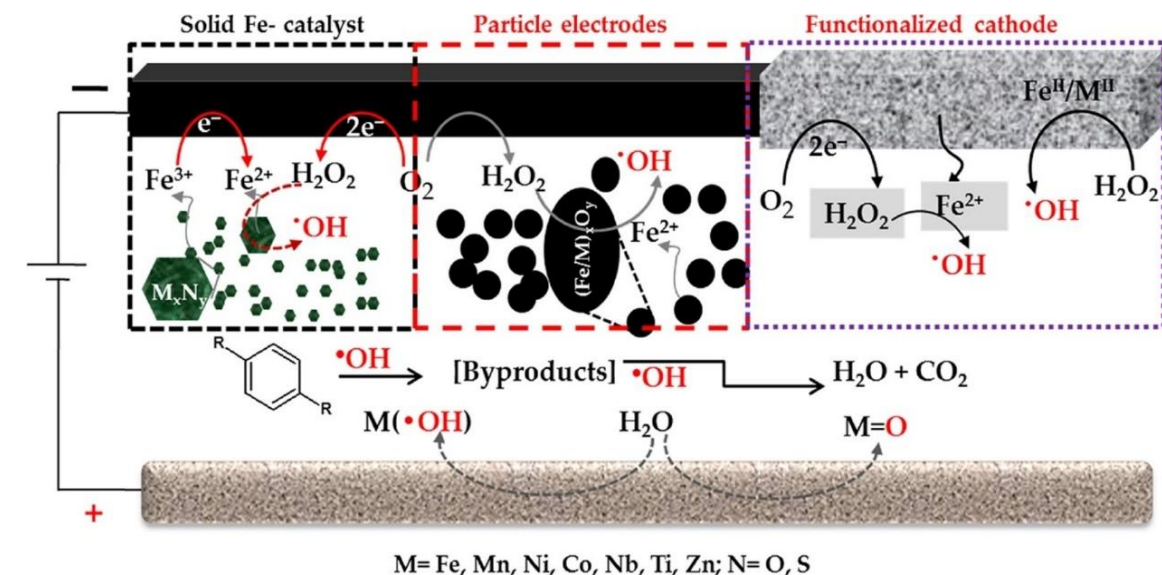
传质 → 超疏水气体扩散电极等新型材料

2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

➤ 技术原理-原位制活性氧



酸性条件下阳极氧化生成·OH机理图



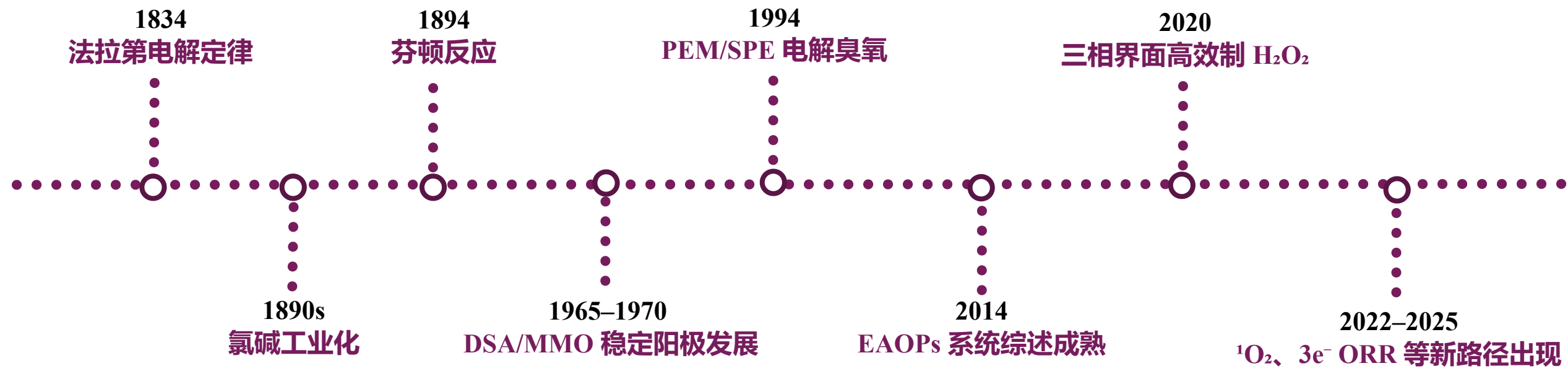
电Fenton生成·OH机理图

羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 是电化学体系中最常见的活性氧物质, 主要通过阳极直接氧化产生或电Fenton间接活化产生。

- **阳极直接氧化:** 根据羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 与阳极之间的相互作用, 电催化阳极可以分为活性电极和非活性电极
 - **活性电极** (IrO_2 、 RuO_2) 对 $\cdot\text{OH}$ 的吸附作用强, 以高价金属氧化物形式为主
 - **非活性电极** (BDD 、 SnO_2 - SbO_2 或 PbO_2) 具有高吸氧电位和对 $\cdot\text{OH}$ 的弱吸附作用, 以游离 $\cdot\text{OH}$ 为主
- **电Fenton** 技术在阴极产生 H_2O_2 , 同时利用外加或阳极溶出的 Fe^{2+} 催化产生 $\cdot\text{OH}$, 且阴极可再生 Fe^{2+} , 形成高效循环。
- **新型3电子路径:** 通过特殊催化剂设计, 使氧气在阴极一步发生“三电子还原”, 直接生成 $\cdot\text{OH}$ 或单线态氧 ($^1\text{O}_2$) 等高活性物种, 跳过了先产 H_2O_2 再活化的步骤, 有望实现更快的氧化动力学。

2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

➤ 技术发展历程



技术分支	核心产物	典型功能	典型场景
次氯酸体系	HOCl/OCl^-	消毒、余氯维持	饮用水、公共卫生、循环冷却
双氧水体系	H_2O_2	AOP前体、氧化	微污染物、工业废水
活性氧体系	$\cdot\text{OH}/^1\text{O}_2$ 等	AOP前体、氧化	难降解有机物处理

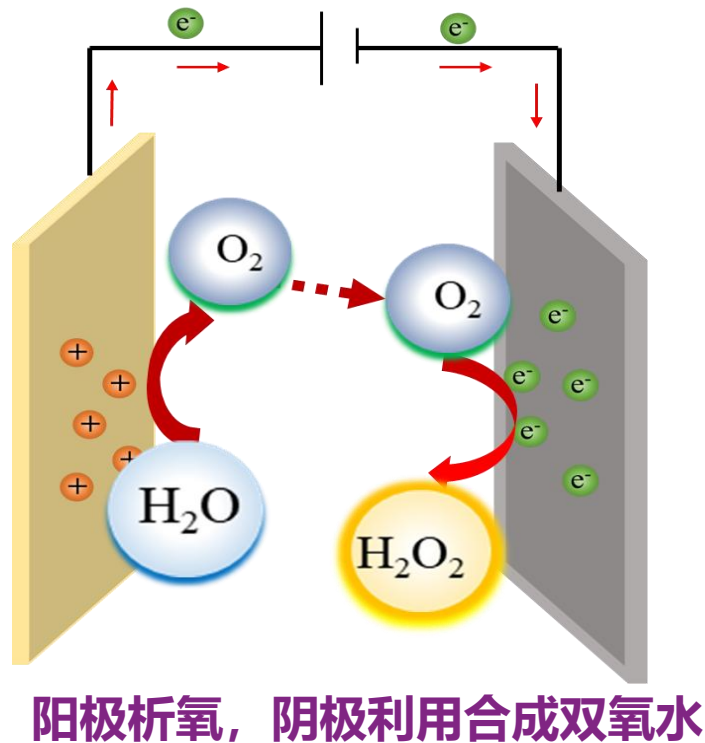
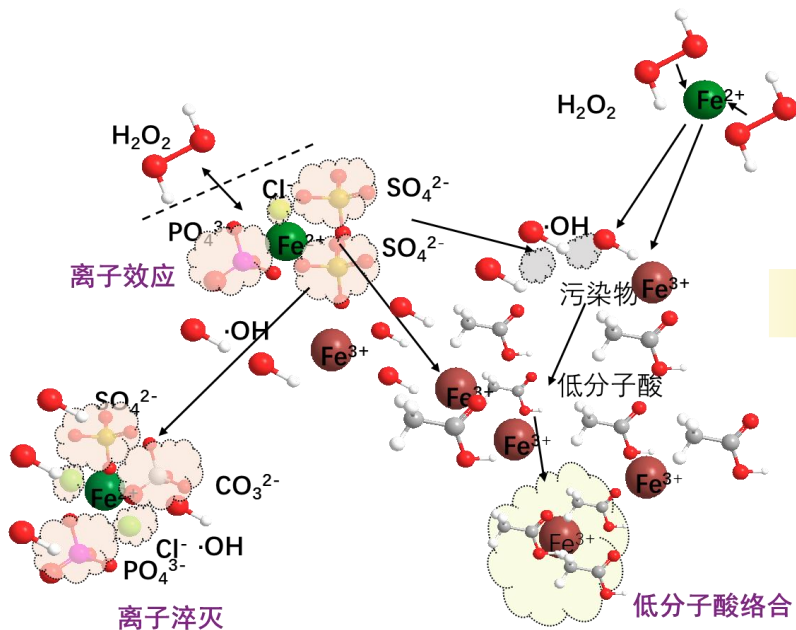
随着时间的推移：材料平台成熟、机理不断深化、工程与合规同步推进

2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

难题

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

解决方法 基于电芬顿和电化学理论，阳极析氧、分子氧超溶导促，阴极利用合成双氧水，实现阴阳极协同、电化学调控离子定向迁移、络合还原



电化学原位制双氧水耦合电芬顿技术



2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

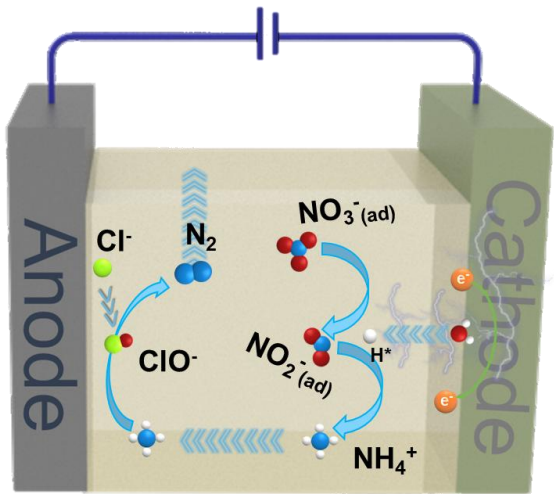
难题

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

H^* 、 $Cl\cdot$ 介导



电化学阴极还原-阳极氯介导耦合技术

应用案例：有机氮废水以环唑类（70 mg/L）为主，总氮含量135 mg/L



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：
奥升德(连云港)功能材料有限公司为全球最早生产尼龙66材料的生产商之一，在1953年开始生产产品，并经过60余年的发展后，产品质量全球领先。但该技术生产过程中产生的一般环己亚胺废水由于高生物毒性、高总氮、高COD等特点，在多年发展中未找到合适的预处

理工艺。在其奥升德总部公司采用稀释方法来降低废水生物毒性，稀释100倍才能保证生物系统的正常运行，需要建立非常庞大的生物系统处理该废水，投资成本和运行成本较高。

奥升德(连云港)功能材料有限公司作为奥升德全资子公司，在徐圩新区建设了奥升德(连云港)功能材料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

学氧化耦合技术”的预处理项目。该预处理技术能够降解环己亚胺废水98%，总氮去除75%，生物系统降低70%投资，毒性物质得到有效转化，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CODcr 1960吨，总氮478.5吨，计碳减排5.6万吨CO₂。

应用单位法定代表人(签名)：应用单位盖章：

应用单位公章：2023年12月11日

2023年12月11日

有机氮脱除率87%，总氮脱除率90%。

电化学脱氮技术先后应用于含氮环唑、三乙胺、二乙胺等生产废水处理10余项工程，实现有机碳源、氮源的定向转化，总氮出水 $\leq 15\text{mg/L}$ ；较电化学氧化速率提升2-5倍，碳排放量减少60%

2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

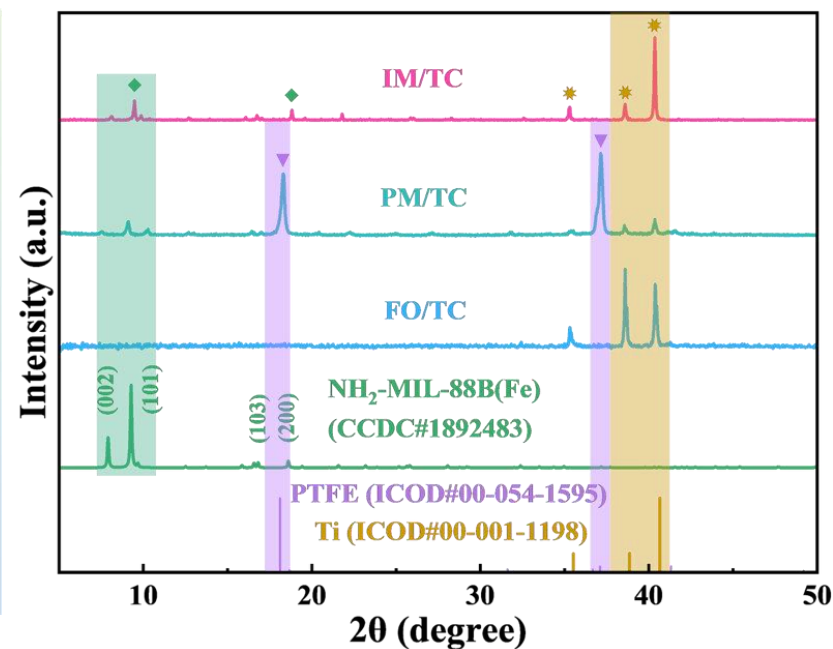
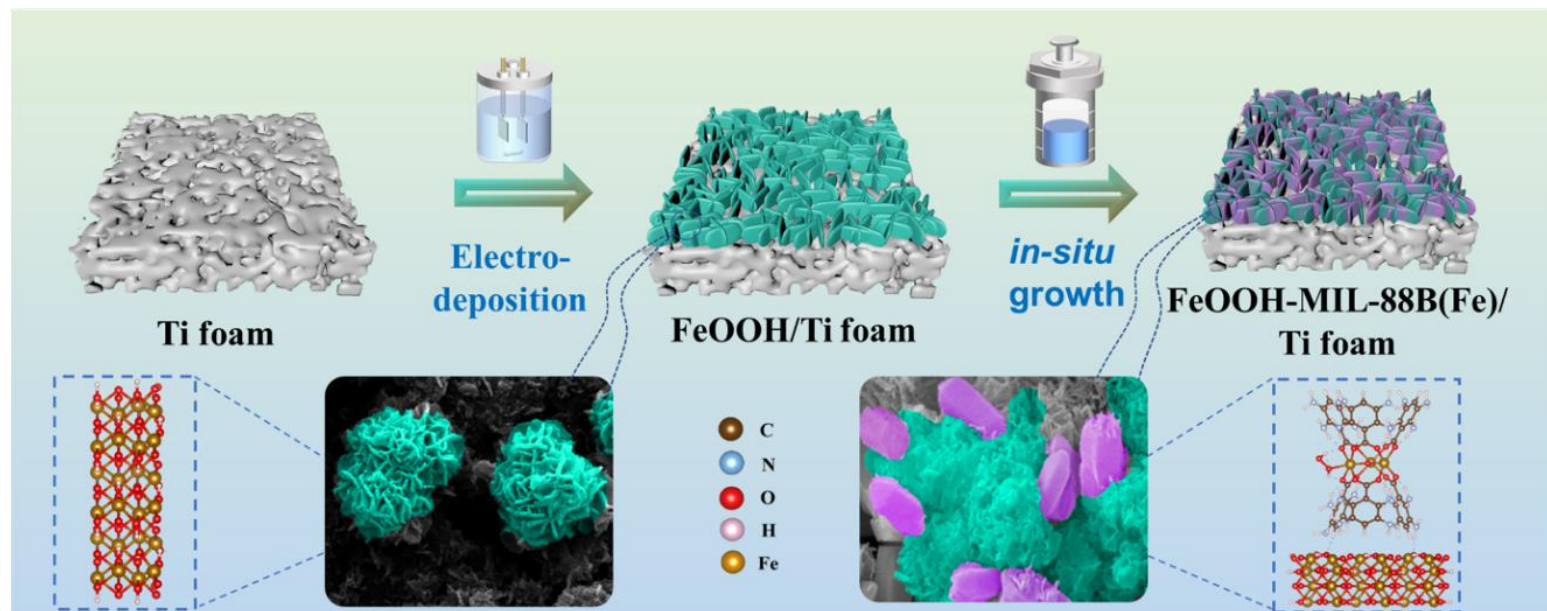
难题

Fe(III)还原速率较慢，双氧水活化效率低

突破

基于MOF材料，在钛基体上成功构建了MOF/FeOOH异质结阴极，强化了Fe(III)还原性能

由于FeOOH和MOF的功函数存在差异，两者接触后自发形成了由FeOOH指向MOF的内建电场，电子被高效、定向地传输给MOF中的Fe活性中心，极大地促进了Fe(III)到Fe(II)的还原过程



▲ 泡沫钛基体原位生长NH₂-MIL-88B(Fe)/FeOOH异质结构

构建具有内电子传输通道的无粘结剂型MOF/FeOOH自支撑阴极

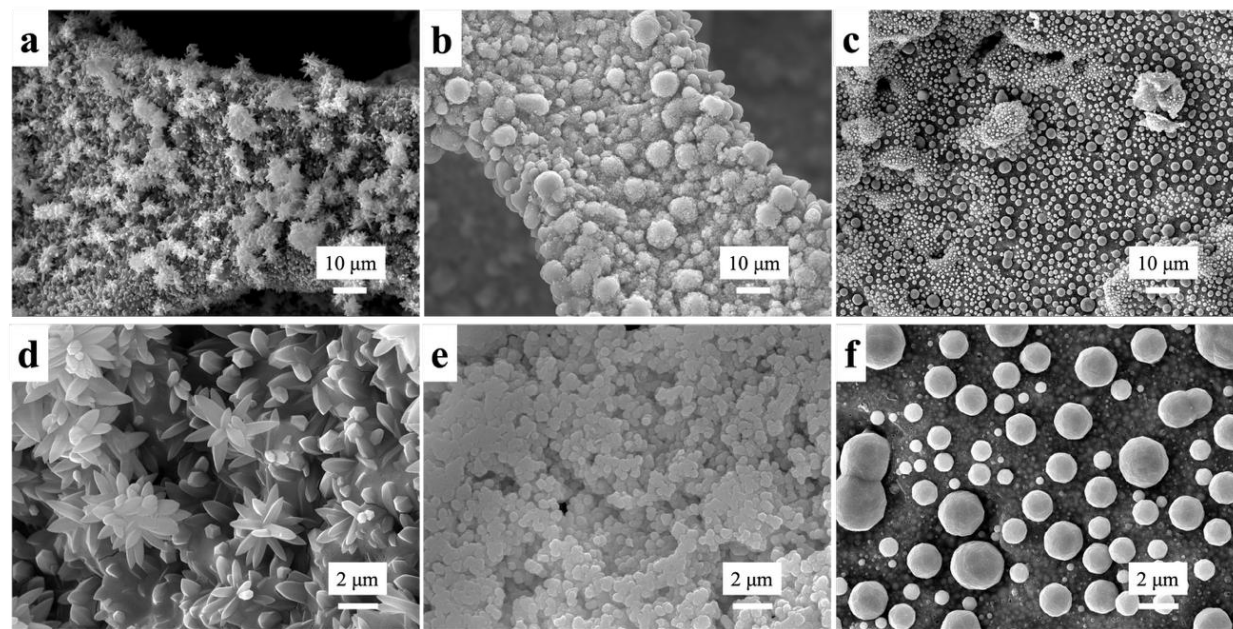
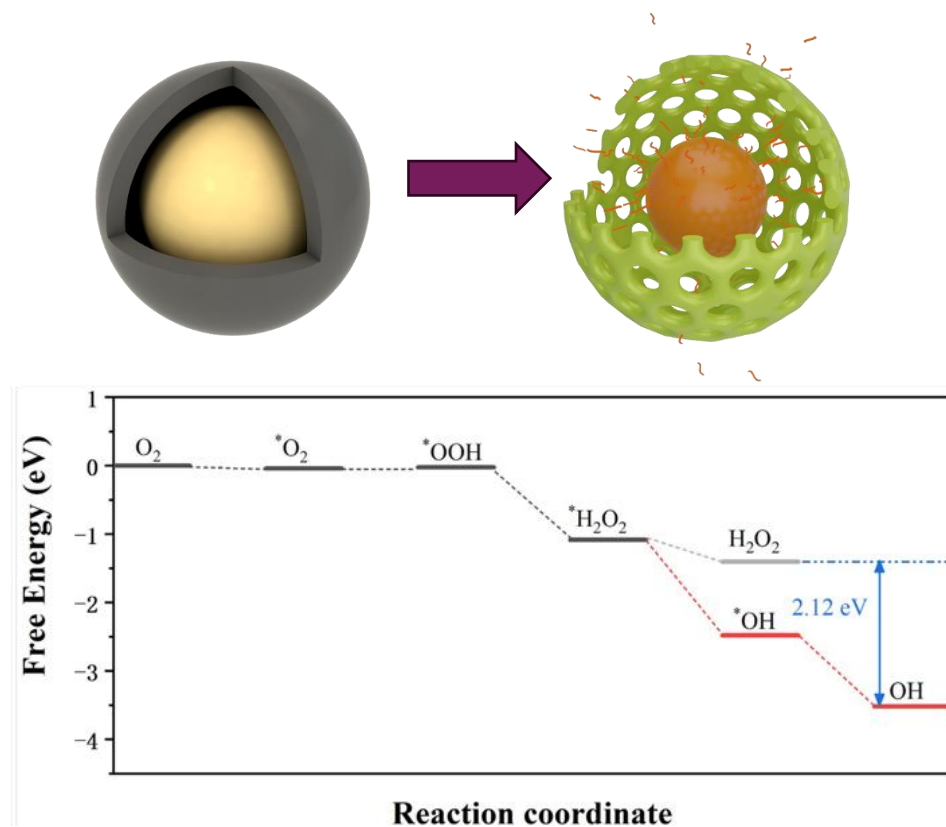
2. 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

难题

3e-ORR路径可以产生更多的 $\cdot\text{OH}$ ，然而阴极副反应干扰严重

突破

基于MOF材料，制备具有3e-ORR的MOF-on-MOF衍生碳铠甲阴极



通过调节材料表面电子结构，优化了中间产物的吸附能，最终实现了从传统的2e⁻—ORR向高效的3e⁻—ORR路径的转变

通过MOF-on-MOF模板衍生与可控氧化刻蚀，构建多孔结构CuCo合金氮掺杂碳铠甲结构

目 录

1 电化学消毒杀菌技术

2 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

3 电化学耦合臭氧高级氧化技术

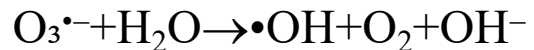
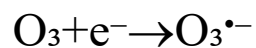
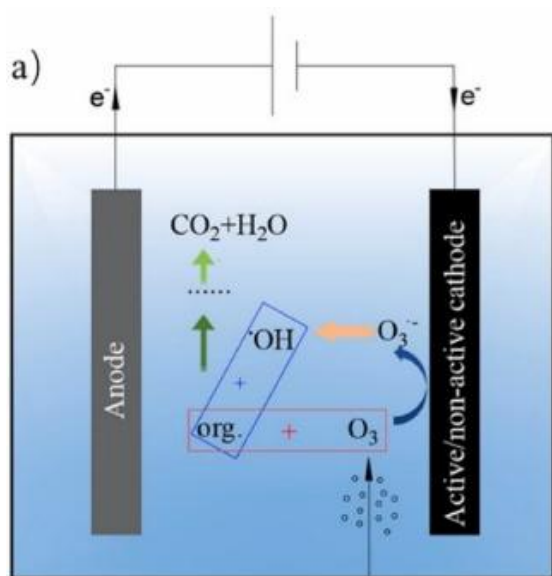
4 电化学耦合膜过滤深度处理技术

3. 电化学耦合臭氧高级氧化技术

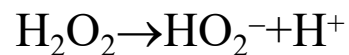
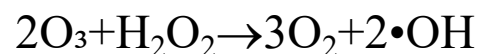
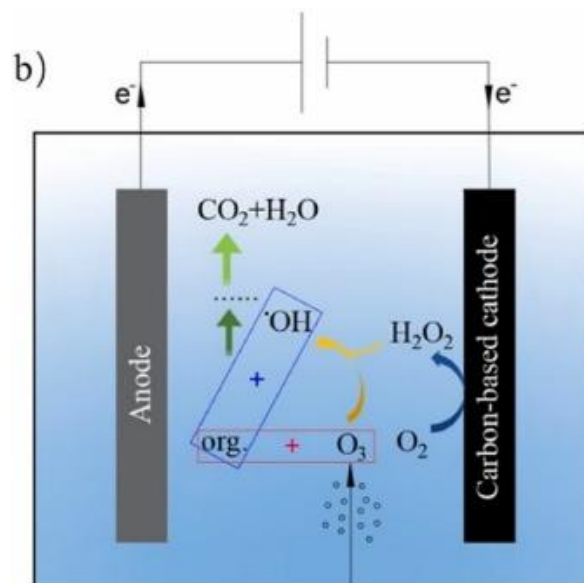
➤ 技术原理

EP工艺是目前研究最深入、应用前景最广阔的臭氧耦合技术之一。

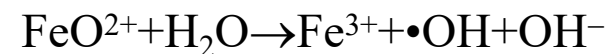
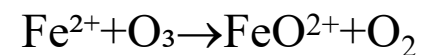
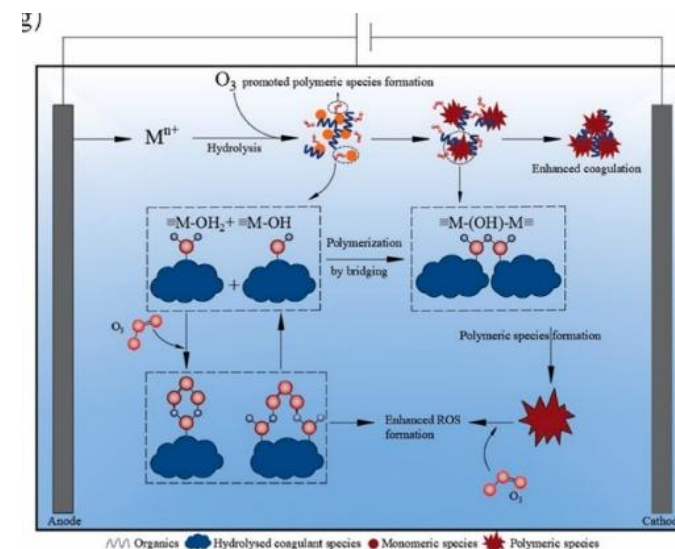
电化学-O₃法(EC-O₃)



电化学过氧化氢-臭氧 (EP) 法



电絮凝-臭氧 (EC-O₃) 法



3. 电化学耦合臭氧高级氧化技术

➤ 技术应用-新污染物去除

方法	最佳反应条件	污染物(mg/L)	去除效率
EC-O ₃	气体流量：0.3 升/分钟;pH7;电流密度：10 mA/cm ²	ATZ (10)	87.7% (6min)
EC-O ₃	臭氧浓度：162mg/L;pH5;电流密度：0.6mA/cm ² ;	双酚 A (50)	97% (40min)
EP	气体浓度：20mg/L;应用电流：200毫安;	Venlafaxine (20)	文拉法辛：100% (3min) TOC: 100% (120min)
EP	气体流量：0.35升/分钟;臭氧浓度：14mg/L;应用电流：100毫安	Thiamethoxam (0.5)	100% (4min)
EP	气体流量：0.2 升/分钟;初始 pH7;臭氧浓度：30mg/L;应用电流：200毫安;	IBU (10)	~ 100% (6min)
EP	气体流量：0.08升/分钟;初始pH值：6.8;臭氧：47mg/L;应用电流：140毫安;	Levetiracetam (43.7)	53.4% (15min)
3D/EP	臭氧浓度：10mg/L;初始 pH10;施加电流：500毫安;支持电解质：0.07M;	Diuron (10)	100% (10 min)
ECO	气体流量：20 mL/min;pH3;臭氧浓度：55 mg/L;应用电流：30 毫安;催化剂 (Fe-N-碳纳米管)：0.1 g/L;	ATZ (20)	ATZ: 100% (20min)

3. 电化学耦合臭氧高级氧化技术

➤ 技术应用-工业污水处理

方法	污水类型	最佳反应条件	污染物浓度 (mg/L)	去除效率
EC+O ₃	由140家大型工厂组成的工业综合体	气体流量：0.23升/分钟; 臭氧浓度：52mg/L;电流密度：24.06 A/m ²	COD (2142)	60% (30 min)
EC-O ₃	酿酒厂工业废水	气体流量：15 升/分钟;初始 pH7; 臭氧供应速率：2克/小时;电流密度：3 A/dm ²	COD (3000)	COD: 95% (5h); 颜色：100% (5小时)
US-EC-O ₃	填埋场渗滤液	气体流量：20 升/分钟;初始 pH7; 臭氧供应速率：3.75克/小时;电流密度：5 A/dm ² ; 100W超声波功率	COD (3000)	COD: 95% (5h); Color: 100% (5小时)
EC-O ₃ -MF	油污水	气体流量：1.5升/分钟; 臭氧供应速率：1.6克/小时;pH9.4;电流密度：60 A/m ²	COD (400.3±19.6)	53.1% (连续流配合 HRT 12 小时)
EC-O ₃	纸板厂污水处理	臭氧供应速率：1克/小时;pH12;电流密度：9.4mA/cm ² ;	COD (7850) Color (612)	COD: 74.7 % (20 min); Color: 97.5 % (20min)
EC-O ₃	填埋场渗滤液	臭氧供应速率：400 毫克/小时;施加电流：100 毫安; 可溶性铁含量：35 mg/L EDTA: Fe=3:1	COD (11387±146.12)	79.7% (3 h)
EC+O ₃	钢铁行业污水处理	臭氧供应速率：1.33 mg/s;电流密度：100 A/m ²	COD (2050) 氰化物 (150)	COD: 94.7% 氰化物：99.8% (臭氧处理 40 分钟+EC 30 分钟)

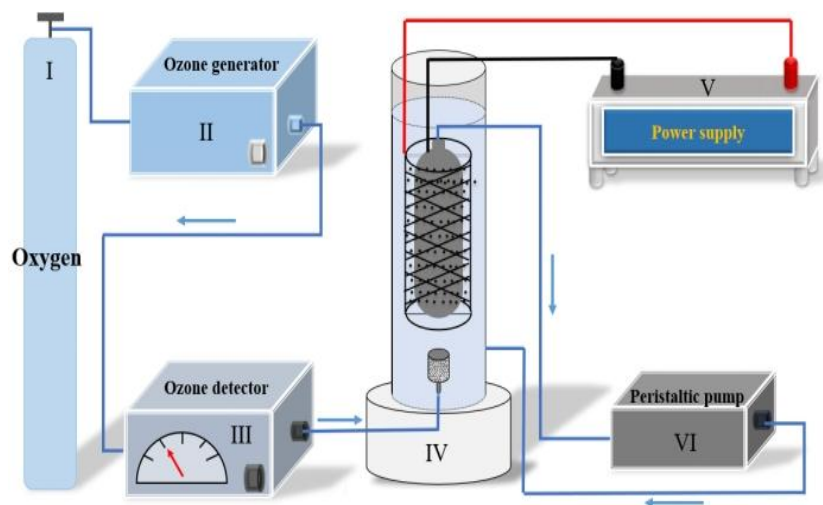
3. 电化学耦合臭氧高级氧化技术

问题

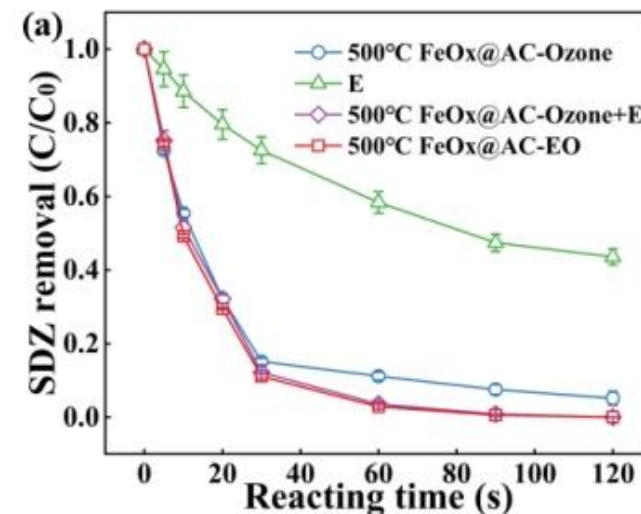
臭氧催化氧化氧利用率低和催化剂失活造成能耗高

解决方法

- 电催化与催化臭氧氧化技术耦合，开发了微通道-流化床一体化反应器，实现了催化界面动态和静态的传质增强



*微通道-流化床一体化反应器



开发了微通道-流化床一体化反应器，氧利用率提高200%，催化效率提升1.2倍，系统能耗降低30%以上，构建了活性氧介导的多级氧化物种，实现了低残留多种污染物的低碳高效去除。

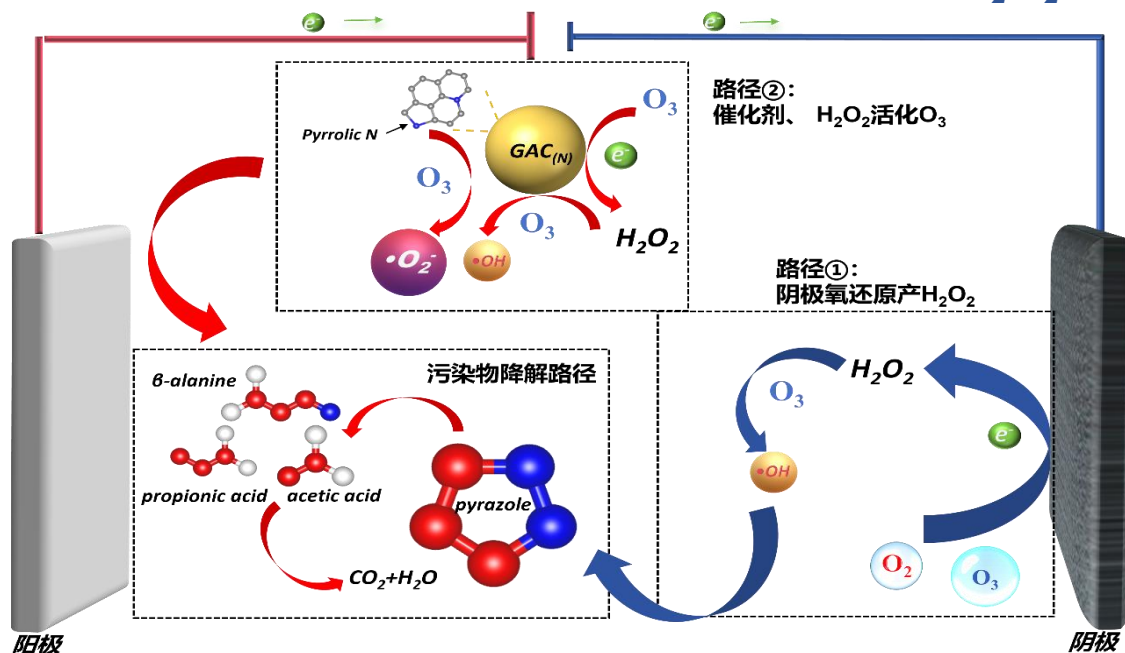
3. 电化学耦合臭氧高级氧化技术

问题

臭氧催化氧化氧利用率低、催化剂失活及其单一活性物种生成对复杂尾水体系针对性不强

解决方法

- 利用管式膜电极，提供外部电子，克服催化剂向 O_3 传递电子所产生的失活问题
- 阳极氧化和阴极利用残留氧合成 H_2O_2



1. 阳极可以实现含氮环烷烃直接氧化，如哌啶、环己亚胺等；
2. 阴极可以实现还原降毒，如含卤化合物、硝基化合物、含有机腈等；
3. 可以实现针对不同残留毒性污染物靶向降解的不同氧介导的活性物种生成：

活性氯——低分子有机氮

单线氧——羧基有机物

羟基自由基——含氮、氧和硫杂环等

构建了一种尾水多种毒性污染物低残留高效靶向降解处理技术

解决臭氧催化氧化中催化剂易失活问题，催化剂寿命提升4倍以上，构建了多级氧介导活性物种生成；实现多种毒性污染物低残留高效靶向降解，急性毒性趋零，遗传毒性脱除90%以上

目 录

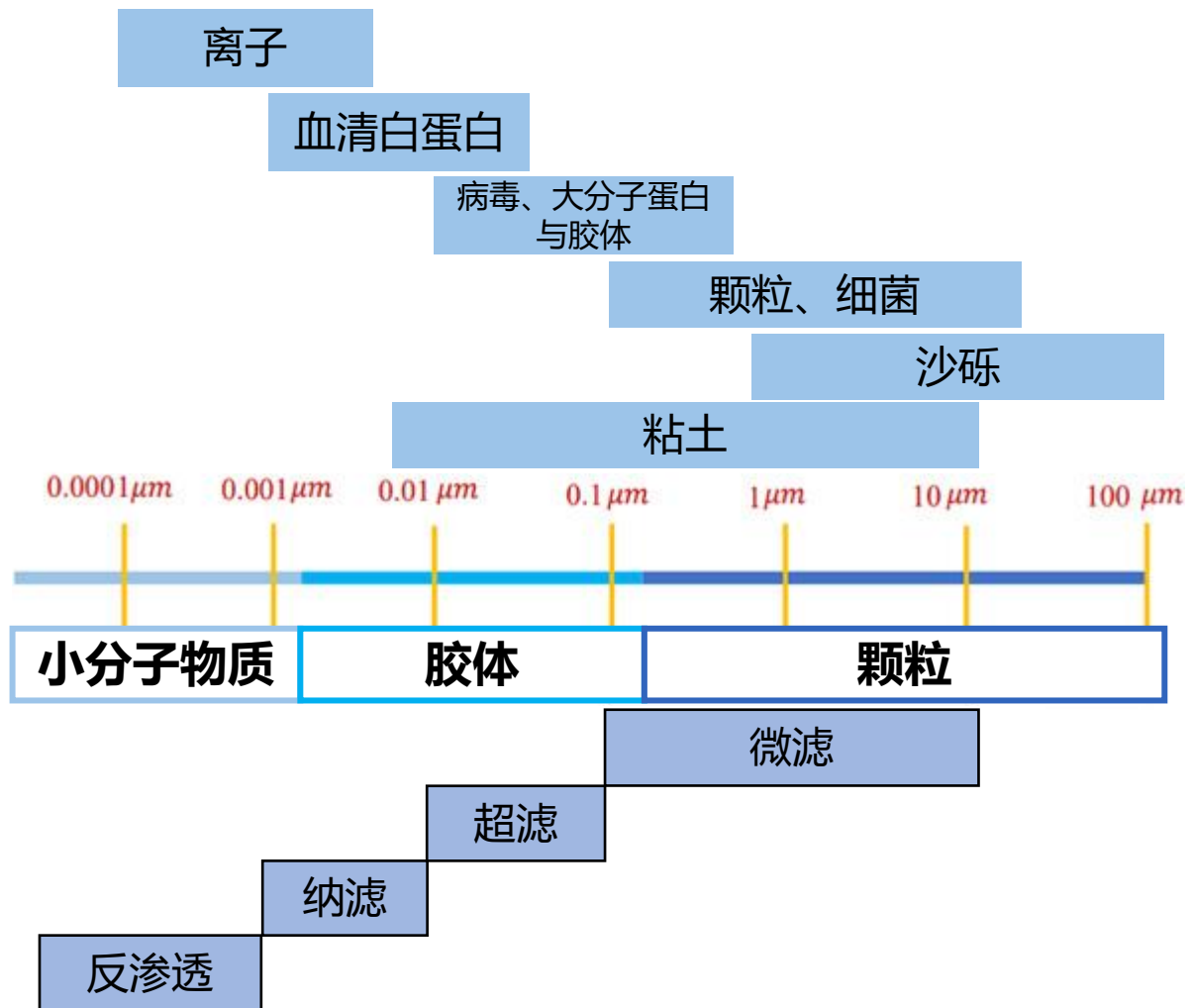
1 电化学消毒杀菌技术

2 电化学原位制次氯酸、双氧水、活性氧技术

3 电化学耦合臭氧高级氧化技术

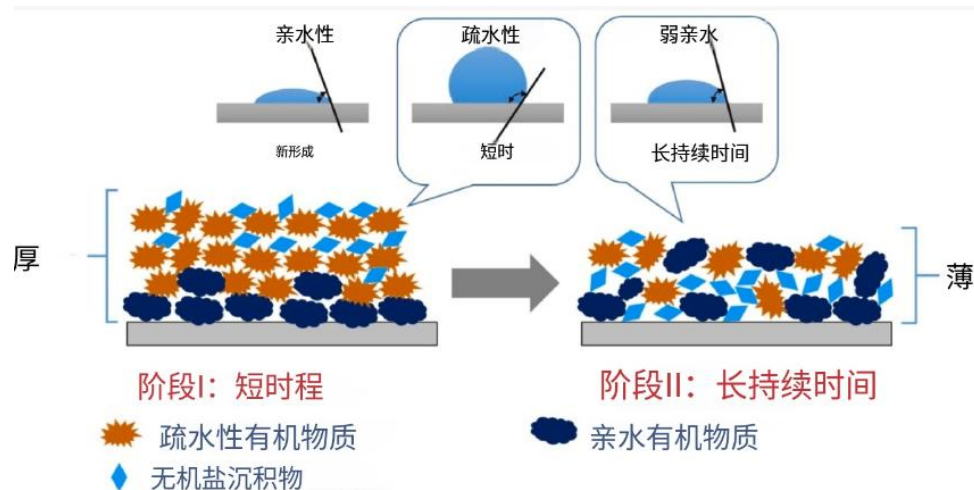
4 电化学耦合膜过滤深度处理技术

4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术



膜过滤技术：具有操作简便、占地面积小、出水水质高和水处理可持续性等优点

膜污染问题



污水中含有的胶体、颗粒、大分子（如蛋白质、多糖）、盐类等物质易于在疏水性膜表面或膜孔道内发生吸附和沉积并**结垢**。
不可逆结垢会导致**膜通量的下降**，降低膜的性能和寿命

核心问题：膜污染是膜工艺的主要缺点，制约了膜的商业化应用

4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

膜技术瓶颈问题

废水水质复杂，长期运行容易出现膜污染问题



1 解决思路：废水预处理

两级耦合工艺

- 耦合电化学预处理流程，有效去除易结垢物质
- 电化学预处理与膜过滤的协同性研究
- 技术适用性研究

2 解决思路：原位自清洁

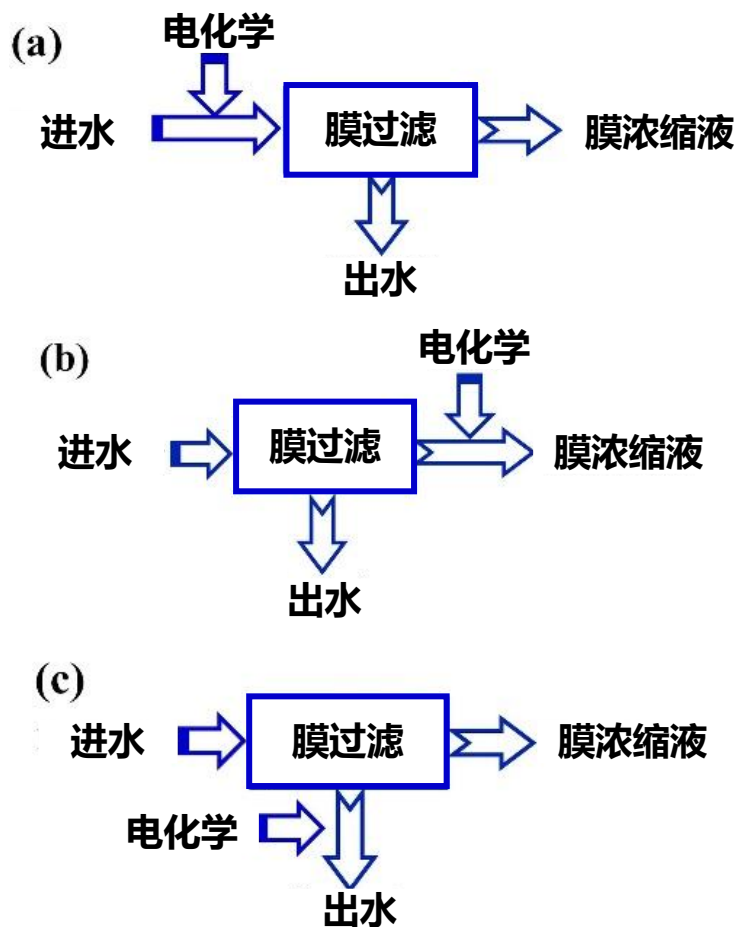
一步耦合工艺

- 将电化学处理与膜过滤技术集成到一个处理单元
- 高催化活性电催化膜材料研发及制备
- 电催化膜材料界面动力学及界面传质研究

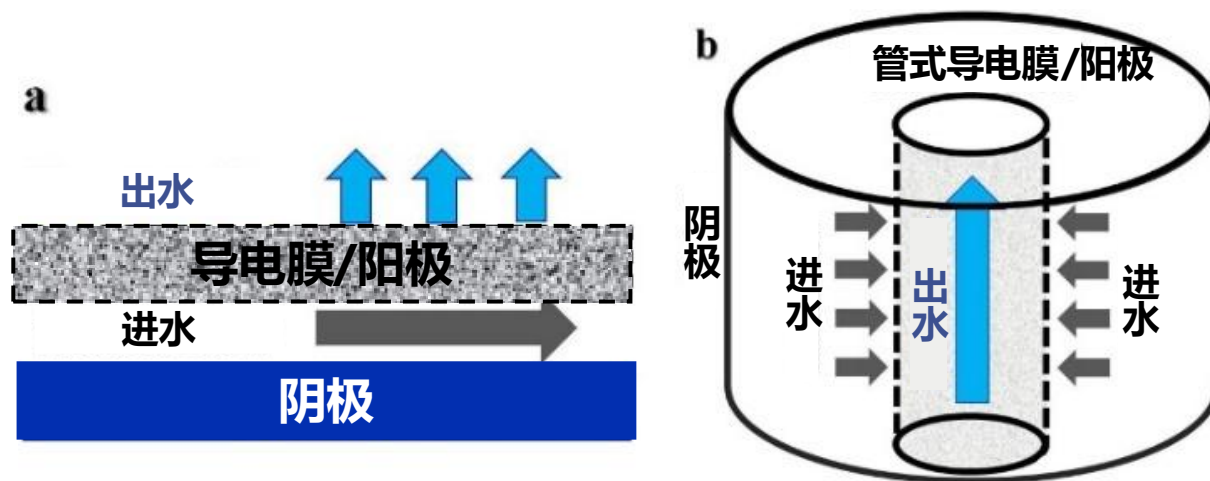
解决方案：膜过滤与电化学技术耦合，可有效提高处理效能

4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

两级耦合工艺



一步耦合工艺



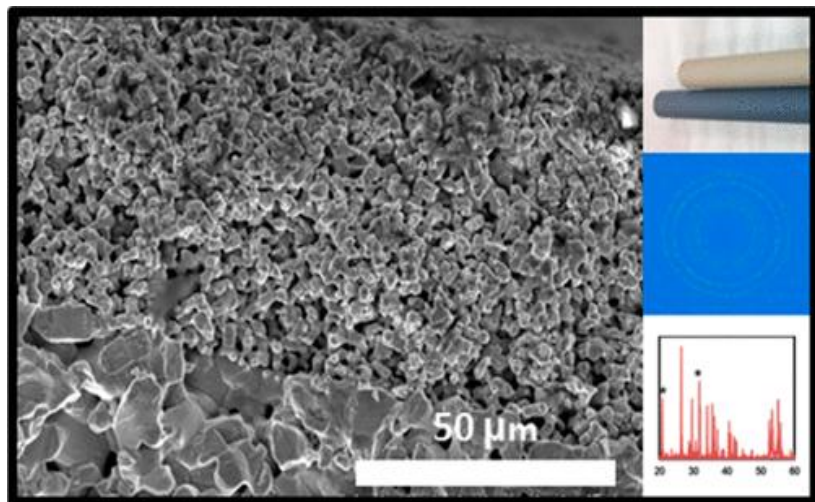
与两级耦合工艺相比，**一步耦合工艺**在污水处理中具有诸多优势：

- 由于电泳和静电相互作用等电动力学效应，在电场辅助下膜分离过程得到增强，从而实现**高渗透通量**和**处理效率**；
- 污染物的原位电化学氧化和电极表面附近的微流扰动**降低了浓差极化和膜污染**，有助于维持高渗透通量并延长膜的使用寿命；

一步耦合工艺相较于两级耦合工艺更具有应用前景

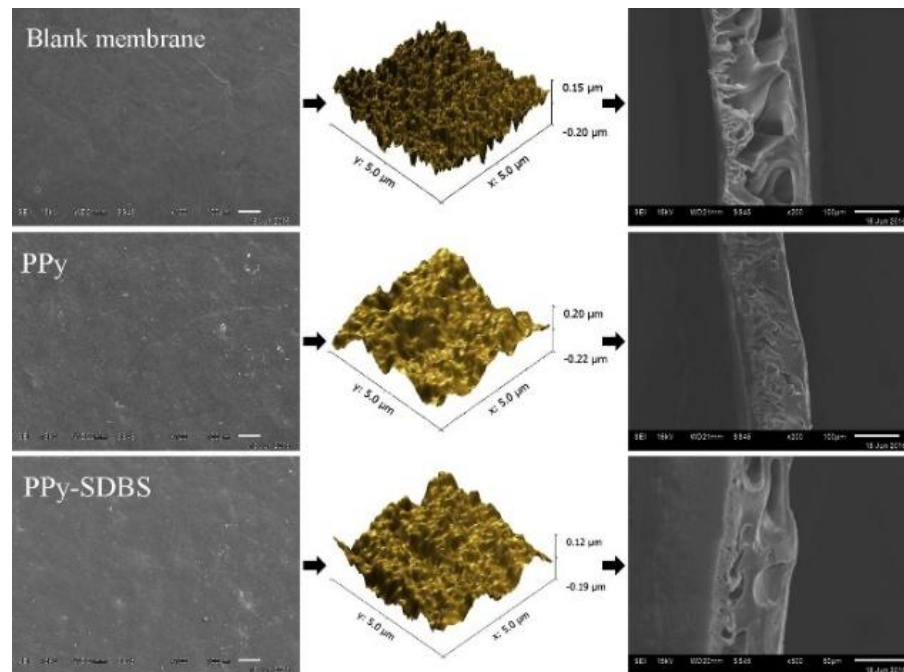
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

电催化膜材料是一步耦合工艺的核心



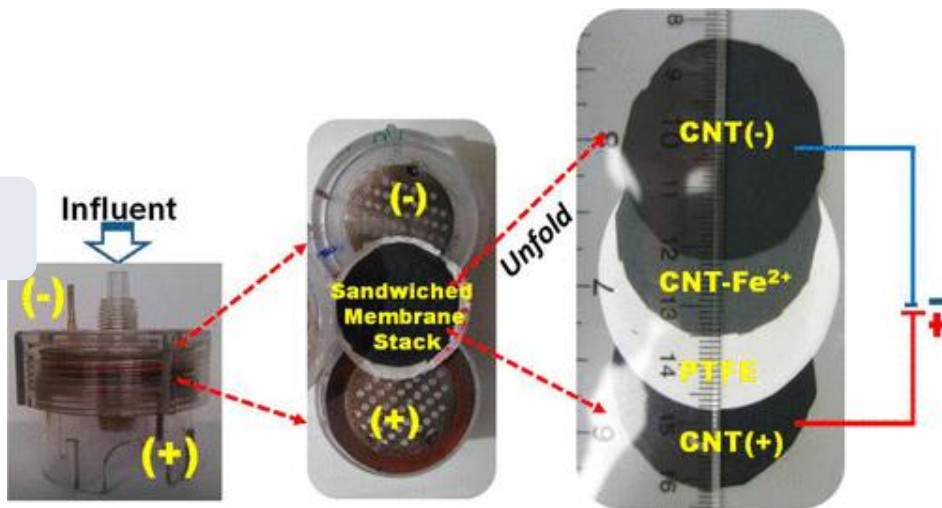
导电金属/ 金属氧化物膜

- ✓ 以亚化学计量比的钛氧化物 $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ ($n \geq 3$) (Magnéli相) 为代表



碳基导电膜

- ✓ 原料成本低
- ✓ 化学稳定性
- ✓ 热稳定性



导电聚合物膜

- ✓ 由一系列交替的碳单键和双键构成的共轭主链的聚合物组成
- ✓ 常见的导电聚合物包括聚吡咯、聚苯胺、聚噻吩和聚乙炔

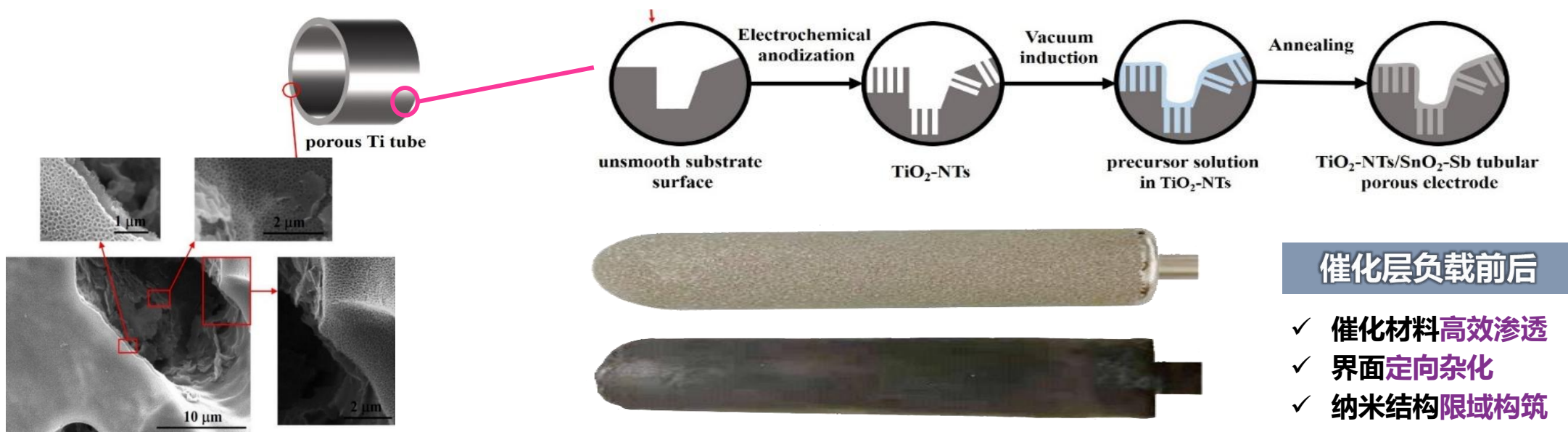
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

难题

低浓度条件下，电极的低活性面积、有限载荷量与低界面传质效率，致使能效偏低

突破

采用分支孔三维成膜和界面微晶缺陷调控技术，制备了系列微孔钛基陶瓷催化膜电极



发明了一种新的穿透式催化膜电极的制备方法

性能参数：活性面积**提高23倍**，内载荷量**提高4.3倍**，析氧电位**提高30%**

ZL201210197233.6

ZL201410529200.6

ZL201610073336.X

ZL202011115517.7

ZL202111035860.5

ZL20210443661.6

ZL 202210443783.5

ZL202210447720.7

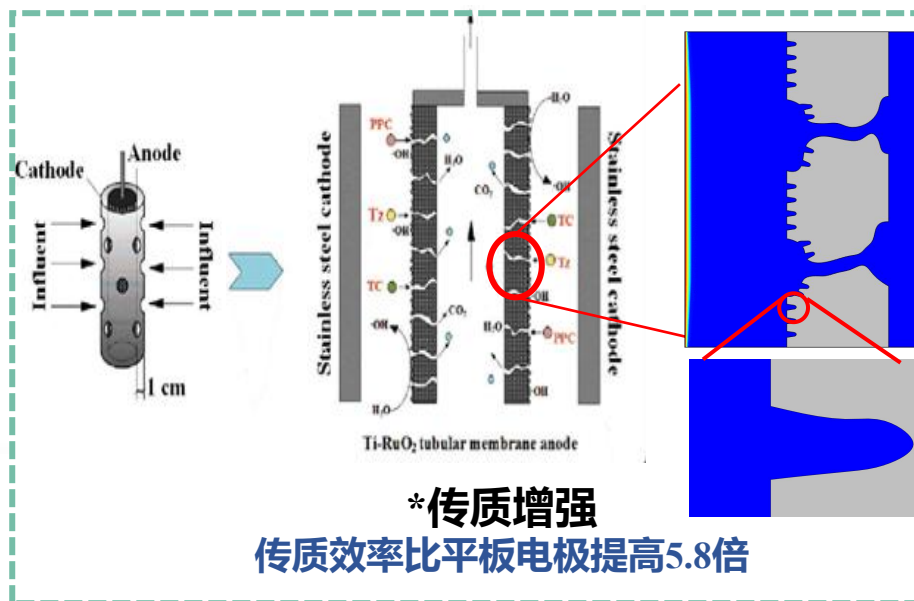
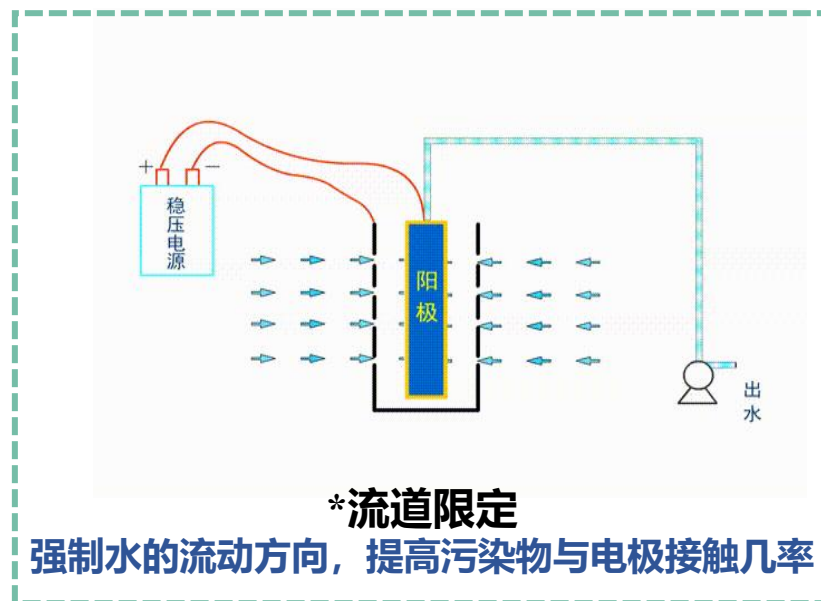
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

难题

尾水盐分高、浓度低、毒性大，当前电催化设备对尾水残留痕量污染物的响应不足

突破

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



***实物运行照片**

发明了管式电膜耦合催化反应器，实现了电化学组件自组装

管式电催化膜反应器**传质效率**比板式电极反应器**提升了5.8倍**，**氧化效率提升2倍**

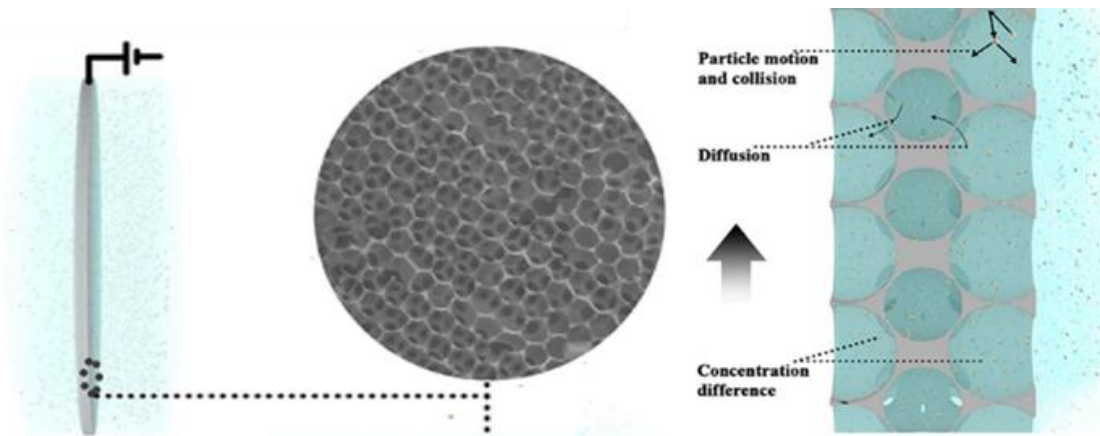
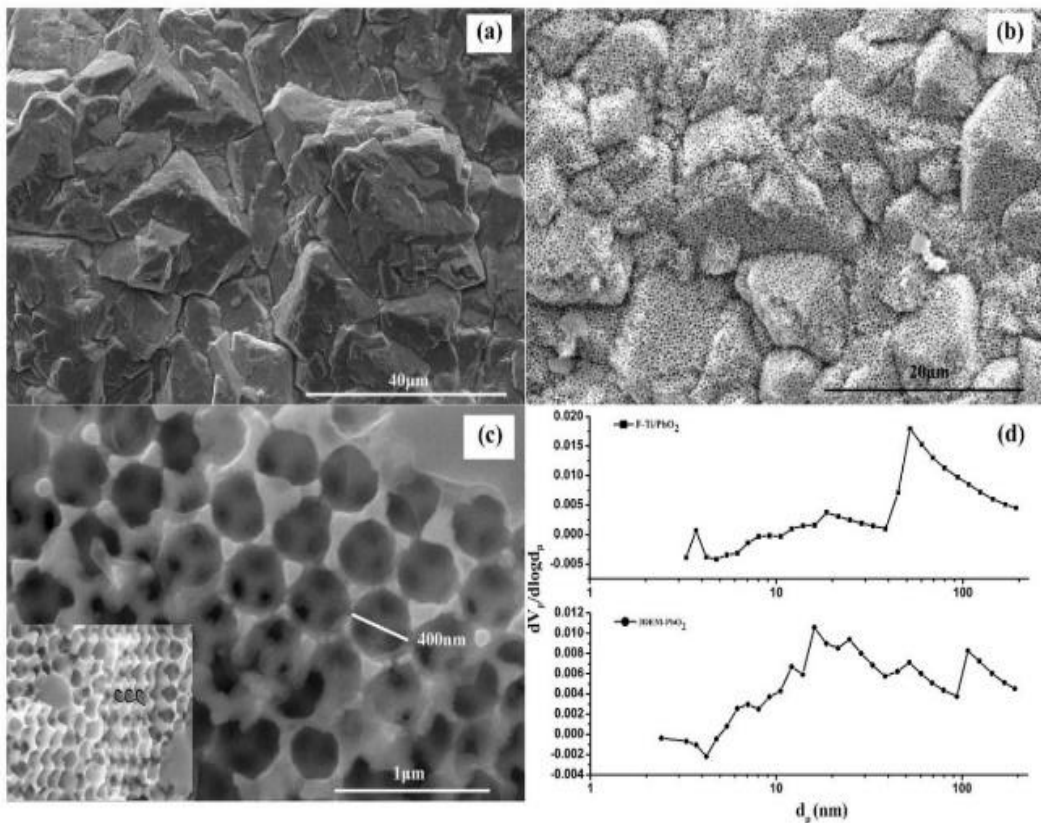
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

难题

单一孔道结构无法同时具备微米级高传质和纳米级高催化特性

解决方法

- 基于费克定律和限域催化理论，结合分支孔三维成膜和界面微晶缺陷调控技术，采用模板自组装-电沉积方法，制备了三维二氧化铅催化材料



▲ 多级孔3D-PbO₂结构示意图

参数	2D-PbO ₂	3D-PbO ₂
电极比表面积BET	1.25 m ² ·g ⁻¹	38.89 m ² ·g ⁻¹ (31倍)
孔结构	纳米孔、介孔 (裂隙造成)	纳米孔、介孔和大孔 (多孔结构)
析氧电位OEP	1.75 V	1.9 V
·OH产量	12.7 μM	19.3 μM (1.5倍)

实现了大孔，介孔和纳米孔的多级构筑，比表面积增加30倍，·OH产量提升50%

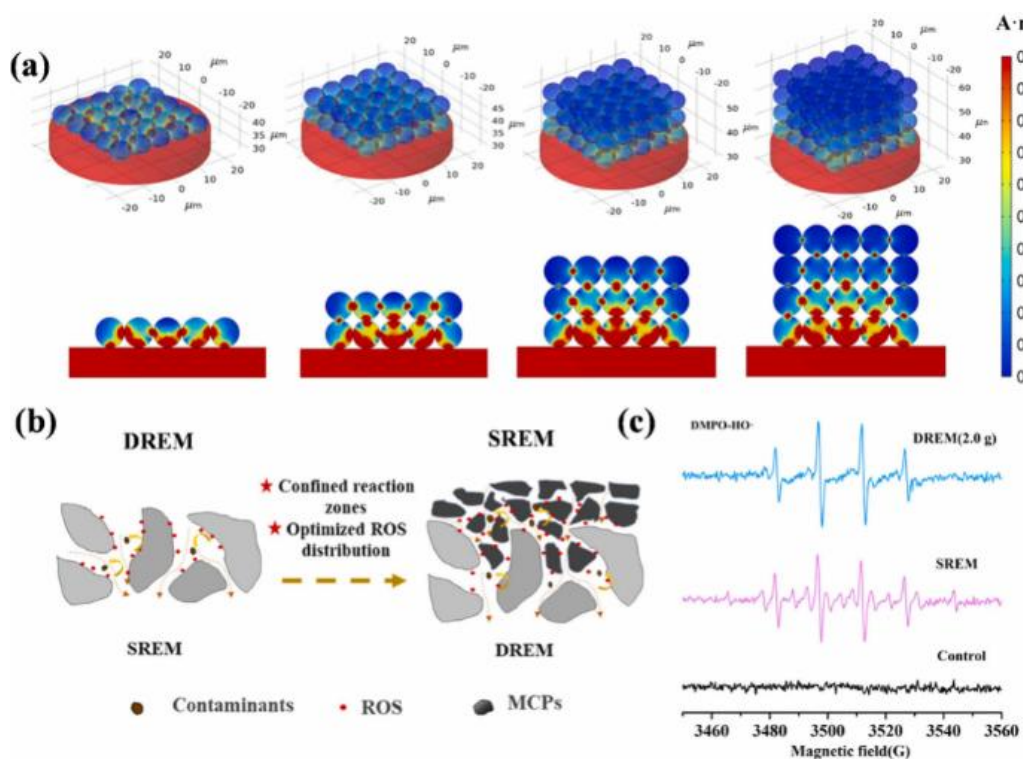
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

难题

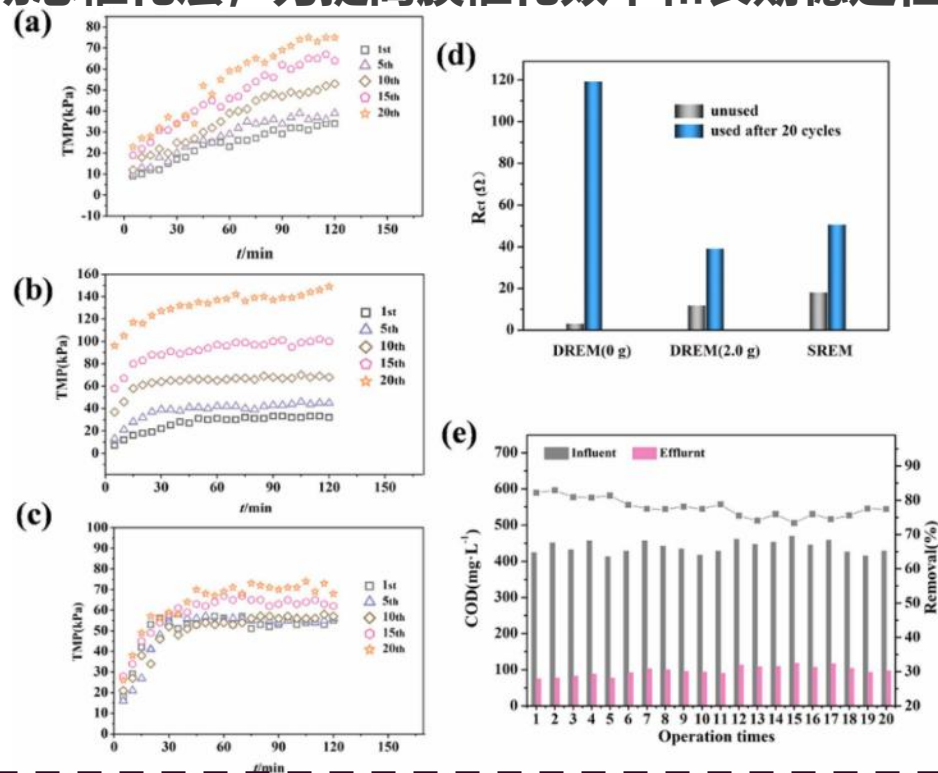
恶劣水质下电催化膜的稳定性和防污性能无法满足生产需求

解决方法

- 受动态膜技术的启发，创建了基于磁性 $\text{SnO}_2\text{-Sb}$ 颗粒预涂动态催化层，为提高膜催化效率和长期稳定性开辟了一条新途径



在动态膜系统中，污染物在流通模式下可以很容易地进入内部活性位点以增强传质



将此动态膜用于垃圾渗滤液生化尾水的处理，跨膜压力变化以及阻抗测试表明，其在恶劣的水质下表现出较高的稳定性和突出的防污性能

表层因污染失活时，可通过简单的水力反洗和磁回收进行更新，而基膜性能不变

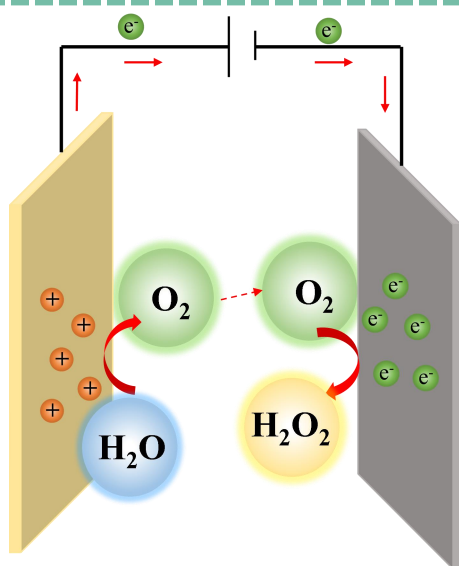
4. 电化学耦合膜过滤深度处理技术

难题

单一阳极氧化电流效率低，阴极利用产生 H_2O_2 存在充氧利用率低和能耗高的问题

突破

阳极析氧在微通道内超溶，导促至阴极利用原位产生 H_2O_2



双氧水产生



➤ 在导促型分子氧超溶叠膜/微通道电芬顿催化体系中，阳极可以为阴极提供足够的氧，并提出了阳极OER和阴极ORR协同的电催化氧循环过程

发明了电化学体系阴阳极的协同催化，催化效率提升6.5倍

谢 谢!