

UED 技术在制药废水处理中的应用

一、制药废水来源

制药工业是我国水污染物排放重点行业，污染物排放严重危害水环境安全，是群众反映的焦点问题之一，也是各级环保部门监管的重点。目前根据出台的《制药工业水污染物排放标准》，把制药工业废水按照种类分为六类：发酵类、化学合成类、提取类、中药类、生物工程类、混装制剂类。各类废水的来源与水质特征如下表所示。

制药工业废水分类表

制药废水类型	废水来源	水质特征
发酵类	源于发酵、过滤、萃取结晶，提炼、精制等过程	废水成分复杂，含各种有机溶剂和硫酸盐，高COD、高氨氮与TN、高色度，可生化性差
化学合成类	用化学合成方法生产药物和制药中间体时产生的废水	废水水质水量变化大，pH变化大，污染物种类多，成分复杂，可生化性差，含有难降解物质和有抑菌作用的抗生素，有毒性、色度高
提取类	从母液中提取药物后残留的废滤液、废母液和溶剂回收残液等	废水成分复杂，水质水量变化大，pH波动范围较大
中药类	产生于生产车间的洗泡蒸煮药材、冲洗、制剂等过程	有机污染物含量高，成分复杂，难于沉淀，色度高，可生化性好，水质水量变化大
生物工程类	以动物脏器为原料培养或提取菌苗血浆和血清抗生素及胰岛素胃酶等产生的废水	废水成分复杂，COD、SS含量高，水质变化大并且存在难生物降解且有抑菌作用的抗生素
混装制剂类	来源于洗瓶过程中产生的清洗废水、生产设备冲洗水和厂房地面冲洗水	水质较简单，属于中低含量有机废水

二、制药废水特点

总体而言，制药废水具备如下特点：

- 1、浓度高、毒性高、盐度高、变化复杂，简称“三高一杂”。
- 2、浓度主要来自于溶剂，而难度往往来自微量的生物毒性成分。
- 3、水量可能具有批次性、周期性、爆发性、意外性，简称“不好说”。
- 4、环境工程的一般经验并不能完全适用于成分各有特点的制药废水。
- 5、废水中电子供体和强电子受体往往不均衡，“厌氧”很难效果好。
- 6、较多惰性物质的存在使得深度处理难度较大，慎用 B/C 比的概念。

三、制药废水常用处理工艺

制药废水处理技术可归纳为以下几种：物化处理、化学处理、生化处理以及多种方法的组合处理等。物化法主要有混凝沉淀法、气浮法、吸附法、电解法和膜分离法；化学法主要有铁内电解法、臭氧氧化法和 Fenton 试剂法；生化法主要有序批式活性污泥法(SBR)、普通活性污泥法、生物接触氧化法、上流式厌氧污泥床法(UASB)等。但上述单一处理方法的效果不好，出水水质不稳定，通常采用多种工艺联合处理，才能保证稳定的处理效果。

四、UED 设备

1、UED 设备简介

UED(Ultimate Electrocatalytic Decomposer)是目前已知最先进、处理能力最强的清洁环保氧化技术，它采用 FCD 电极(功能导电金刚厂)为阳极，在接通低压电(<12V)情况下，可瞬间产生大量强氧化性物质如羟基自由基(OH·)等，将各类复杂的有机分子快速分解并最终转化为无害的 CO₂ 和 H₂O，其反应速率较常规高级氧化技术(AOPs)提高 3-5 倍，且对有机分子的分解更为彻底，是去除高难废水中 COD、TOC、氨氮等指标的最佳工艺选择。

2、FCD 复合薄膜电极

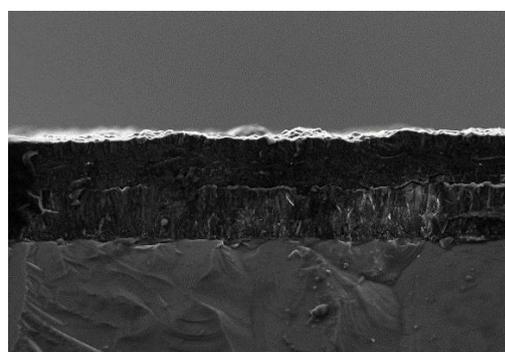
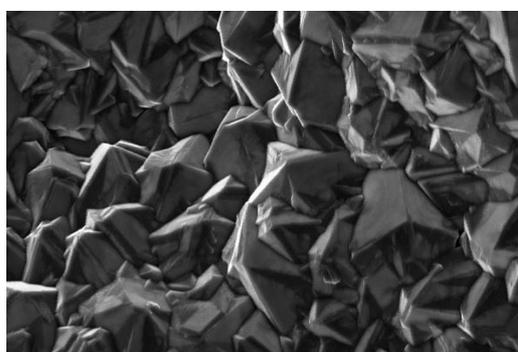
功能导电金刚石电极(FCD)有着电势窗宽、析氧电位高、稳定性好、无重金属污染风险等优势，是目前市场应用最优秀的电催化材料之一。通过与多元碳材料进行复合，利用各材料的协同效应，能大幅优化 FCD 电催化性能。FCD 材料能快速通过将水分子分解产生羟基自由基(·OH)、臭氧(O₃)、双氧水(H₂O₂)等强氧化物质，从而高效降解有机污染物，达到快速净化水、空气消毒、除臭等目的。

FCD 材料具备高硬度、耐腐蚀、耐磨损、高导热等性能，在机械、电子、

光学、生物以及水处理领域具有广阔的开发应用场景。

金刚石材料具有极高的硬度、导热性、耐磨性和化学稳定性，广泛应用于工业、电子、国防等领域，是不可替代的重要战略资源。开发功能导电金刚石 FCD 材料是一项具有挑战性的技术，目前主要掌握在少数发达国家，如美国、日本、德国等。我公司在国内率先打破国外垄断，掌握 FCD 薄膜界面生长控制机制，自主研发出高性能薄膜级 FCD 多晶体生长系统装备，从而实现功能型金刚石产业自主可控的关键技术突破。

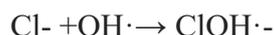
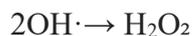
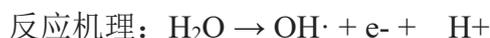
公司以提高 FCD 薄膜的生长速率和质量，制备大尺寸高质量的多晶 FCD，突破薄膜级 FCD 材料的规模化生产，实现 FCD 薄膜材料在机械、电子、光学、生物和环保领域的延伸应用。



- 基材：硅（标准）、钨、陶瓷
- 厚度： $> 8\mu\text{m}$ （可定制）
- 最高电流密度： $1\text{A}/\text{cm}^2$
- 形状：平板、网络状、圆柱状、多孔状
- 单片最大尺寸：硅基- $500\times 300\text{mm}^2$ 金属基-自由焊接

3、反应机理

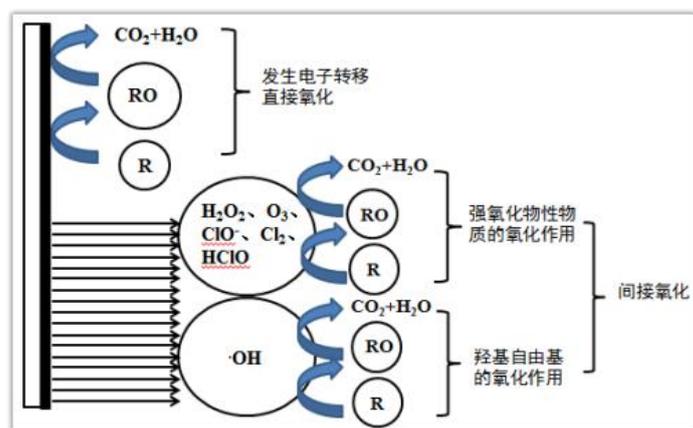
UED 电催化氧化技术降解有机物的途径包括直接氧化和间接氧化。直接氧化是通过有机污染物吸附在阳极表面以电子转移形式实现有机物的氧化去除，有机物可直接转变成 CO_2 和 H_2O 。间接氧化是通过在阳极表面间接产生自由基等活性中间产物或高氧化性的高价态金属氧化物来实现有机污染物的氧化去除。



降解污染物方式:

(1) 直接氧化: 污染物在电极表面直接被氧化。

(2) 间接氧化: 通过电化学反应生成具有强氧化性的中间产物, 来间接氧化降解污染物。



机理示意图

4、设备优势

(1) 广谱

普遍适用于各行业高难度废水处理, 且能耐受极端的原水条件(如高盐、高生物毒性、高浓度)。

(2) 高效

超强的催化氧化分解能力, 极短时间内实现有机分子的破坏、断链反应。

(3) 灵活

源头处理、预处理、达标保障, 可与常规工艺无缝衔接。

(4) 清洁

只需用电, 无二次污染, 常温常压运行。

(5) 便捷

标准模块装备，无需土建及其他构筑物，生产、安装、维护极度便捷。

五、UED 设备在制药废水处理中的应用

采用 UED 设备对典型制药企业的生产废水进行了处理，结果如下表所示。

表 1 某企业医药废水处理效果表

反应时间(h)	COD(mg/L)
0	2275
1	1445.25
2	574.5
3	339.25

该医药废水中主要含吡啶、吗啉等有机溶剂，废水含盐量高，生物毒性大，常规工艺很难处理达标，采用 UED 设备进行处理，反应时间不到 3h，原水 COD 即由 2275mg/L 降低至 500mg/L 以下，去除率达到 85%以上，达标后排入工业园区综合污水处理系统。

表 2 某企业医药废水处理效果表

反应时间(h)	COD(mg/L)
0	42750
12	29000
24	2375
32	67

表 2 为某制药企业产生的 DMF(二甲基甲酰胺)废水，处理量 10m³/d，原水 COD 浓度很高，且可生化性极差，采用 UED 设备进行处理，反应 32 小时后达到 100mg/L 以下水平，表明该设备对 DMF 类型废水具有良好的去除能力。