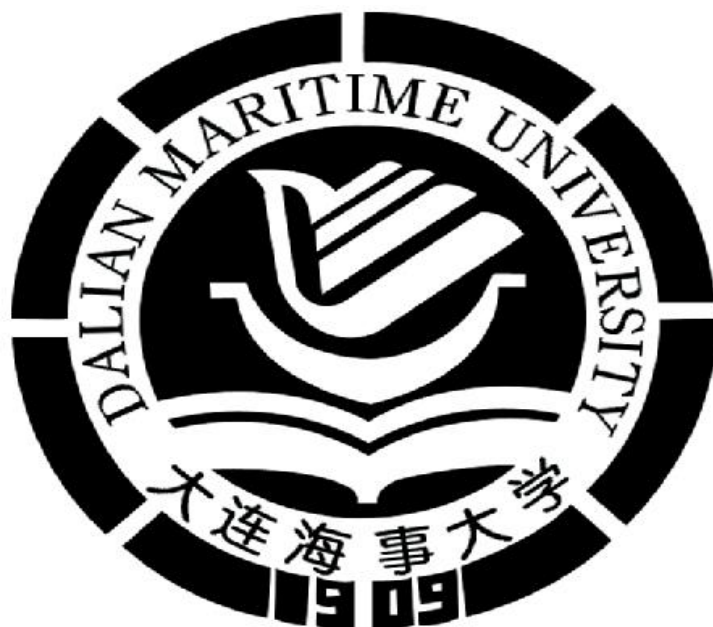


大连海事大学毕业论文开题报告



论文题目： $g\text{-C}_3\text{N}_4\text{-Zn}_2\text{SnO}_4$ 半导体复合纳米材料制备及光催化降解新污染物的研究

学院：环境科学与工程专业

专业：环境工程

年级、班：2021 级环境工程 1 班

学生姓名：黄智聪

指导教师：张锦

报告时间：2025 年 3 月 15 日

一、选题背景及意义

随着工业化和城市化进程的加快，水体中有机污染物的治理已成为全球性难题。光催化技术因其绿色环保、高效和可循环利用的特性，被视为解决这一问题的理想途径。然而，传统光催化材料存在光生载流子复合速率快、对强光源依赖性强等问题，严重限制了其在自然光照条件下的实际应用。

本论文聚焦于开发一种弱光响应的新型复合光催化剂，通过 $g-C_3N_4$ 与 Zn_2SnO_4 的异质结构建及氧空位缺陷工程，实现光催化性能的显著提升。研究旨在解决以下关键问题：

- 弱光条件下光催化活性不足：**传统光催化剂需依赖高强度紫外或可见光，而自然光（尤其是冬季弱光）难以满足其能量需求。
- 电荷分离效率低：**单一材料的光生电子-空穴对易复合，导致氧化还原反应效率降低。
- 多污染物协同降解能力有限：**现有研究多针对单一污染物，难以应对实际水体中多种污染物共存的复杂场景。

本研究的科学意义在于通过氧空位与 S 型异质结的协同效应，突破弱光条件对光催化性能的限制，为开发高效、稳定的自然光驱动催化剂提供理论支持；实际意义则体现在为水体污染治理提供低成本、可规模化应用的技术方案，助力“双碳”目标的实现。

二、文献综述

近年来，光催化材料的研究主要集中在以下方向：

1. $g-C_3N_4$ 与 Zn_2SnO_4 的单独研究

$g-C_3N_4$ ：因其 2.7 eV 的窄带隙和可见光响应特性被广泛研究，但其光生载流子复合率高（Chen et al., 2020）。

Zn_2SnO_4 ：作为宽禁带半导体（3.2 eV），具有高导电性和稳定性，但光吸收范围受限（Amani-Ghadim et al., 2023）。

2. 异质结与缺陷工程的协同作用

异质结设计：S 型异质结通过内部电场促进电荷分离，同时保留强氧化还原

能力（Fu et al., 2019）。

氧空位工程：氧空位可拓宽光吸收范围并作为活性位点，提升载流子迁移率（Yu et al., 2022）。

3. 当前研究的不足

- ① 弱光条件下的性能优化机制尚不明确；
- ② 多污染物协同降解的系统研究较少；
- ③ 异质结界面电荷转移路径缺乏理论验证。

三、研究内容

本研究拟从材料设计、性能优化及机理探究三方面展开：

1. 材料合成与表征

- ① 采用两步水热法制备 $g\text{-C}_3\text{N}_4\text{-Zn}_2\text{SnO}_4$ 复合材料，调控 Zn_2SnO_4 负载量（10%~40%）。
- ② 通过 XRD、TEM、XPS 等手段分析材料晶体结构、形貌及元素化学状态。

2. 光催化性能评估

- ① 测试可见光及自然光（夏季 800 lux、冬季 350 lux）下对四环素（TC）、亚甲基蓝（MB）和双酚 A（BPA）的降解效率。
- ② 通过动力学模型（准一级反应）计算表观速率常数。

3. 机理研究

- ① 结合 DFT 计算与 ESR 表征，阐明氧空位浓度与异质结界面电场对电荷转移路径的影响。
- ② 通过自由基捕获实验明确活性物种（ $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{OH}$ 等）的主导作用。

四、研究方法

1. 实验方法

- ① 材料合成： $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 通过三聚氰胺热聚合法制备； Zn_2SnO_4 采用水热法合成，并通过调节 pH 值控制形貌。
- ② 表征技术：XRD 分析晶相，HRTEM 观察界面结构，XPS 验证元素价态及

电子转移，PL 光谱评估载流子分离效率。

2. 理论计算

基于 Device Studio 平台进行 DFT 计算，模拟 g-C₃N₄ 与 Zn₂SnO₄ 的能带结构及功能函数差异。

3. 数据分析

使用 Origin 软件拟合动力学曲线，对比不同条件下 kapp 值。

五、论文写作提纲

第一章 绪论

- 1.1 研究背景与意义
- 1.2 光催化技术研究现状
- 1.3 研究内容与技术路线

第二章 实验部分

- 2.1 材料与试剂
- 2.2 催化剂合成方法
- 2.3 表征与测试技术

第三章 结果与讨论

- 3.1 材料结构与形貌分析
- 3.2 光催化性能评估
- 3.3 氧空位与异质结协同机制

第四章 结论与展望

- 4.1 主要结论
- 4.2 创新点
- 4.3 未来研究方向

六、参考文献

- [1] 陈强, 杨伟, 朱杰, 等。增强可见光光催化活性的 $g-C_3N_4$ 修饰 ZrO_{2-x} 纳米管异质结构用于盐酸四环素降解[J]. 危险化学品, 2020, 384: 121275.
- [2] 阿曼尼-加迪姆 AR, 阿雷菲-奥斯库伊 S, 卡里米 A, 等。基于 Nd 掺杂 Zn_2SnO_4 半导体和碳材料的可见光驱动光催化剂制备[J]. 合金与化合物杂志, 2023, 934: 167203.
- [3] 付杰, 徐强, 劳杰, 等。超薄二维/二维 $WO_3/g-C_3N_4$ 阶跃式制氢光催化剂[J]. 环境催化 B 辑: 环境科学, 2019, 243: 556-565.
- [4] 余立清, 赵永红, 王辉, 等。表面氧空位形成对 Zn_2SnO_4 可见光降解双酚 A 的影响: 过硫酸盐的调控作用[J]. 危险化学品, 2022, 426: 127828.
- [5] 刘冬, 姜磊, 陈栋, 等。S 型 $CuFe_2O_4/ZnIn_2S_4$ 异质结光催化自芬顿降解环丙沙星: 机理洞察、降解路径与 DFT 计算[J]. 化工学报, 2024, 482: 148935.
- [6] 王艳峰, 冯华, 邓云瑞, 等。溶剂热法生长 Zn_2SnO_4 用于高效染料敏化太阳能电池[J]. 稀有金属, 2022, 41: 942-950.
- [7] 李欣, 熊俊, 高翔, 等。新型 BP/BiOBr S 型纳米异质结用于增强可见光四环素去除与产氧活性[J]. 危险化学品, 2020, 387: 121690.
- [8] 徐飞, 孟珂, 程波, 等。自组装 $TiO_2/CsPbBr_3$ 杂化体系的独特 S 型异质结用于 CO_2 光还原[J]. 自然通讯, 2020, 11: 4613.
- [9] 贾涛, 孙超, 史宁, 等。高效氧空位缺陷工程增强 SnO_{2-x} 超细纳米晶可见光催化性能[J]. 纳米材料, 2022, 12(3): 456.
- [10] 陈欢武, 黎氏明德, 阮文平, 等。一锅法合成 S 型 $MoS_2/g-C_3N_4$ 异质结作为可见光光催化剂[J]. 科学报告, 2021, 11: 14787.