

# “碳中和、碳达峰”背景下以问题提出—解决—归纳为逻辑的本科科教融合教学设计

郭海威<sup>1</sup> 董贝贝<sup>2</sup> 杨帅<sup>1</sup> 王美艳<sup>1</sup>

(1. 河北工业大学能源与环境工程学院, 天津, 300401;

2. 河北工业大学化工学院, 天津, 300401)

**摘要:** 在“碳达峰, 碳中和”背景下, 为使学生深入了解《大气污染控制工程》中二噁英等典型污染物氧化降解研究前沿, 将科教融合引入本科课堂, 提高学生“问题提出—问题解决—总结归纳”能力, 本文设计了氧化降解二噁英类多氯芳烃本科生综合实验。该综合实验实践性强, 且与基础知识联系紧密, 有利于培养学生的提出问题—解决问题能力等综合科研素养。

**关键词:** 碳达峰、碳中和 科教融合 教学设计

DOI: 10.12373/xdhgy.2021.11.3908

我国力争 2030 前实现碳达峰, 2060 前实现碳中和, 加快能源转型、降低污染物排放是实现这一目标策略之一。《大气污染控制工程》的环境工程专业核心课程, 在“碳达峰、碳中和”背景下, 以科教融合为理念, 将教学与科研紧密结合, 进行本科综合实验设计。通过探究性实验来培养学生查阅文献的能力、设计实验的能力及实验操作的能力, 使学生了解大气污染防治领域典型污染物催化氧化的发展前沿, 掌握复合材料的合成方法, 熟悉大型仪器设备的工作原理及使用步骤, 培养学生处理和分析数据的能力。通过该实验, 学生可了解大气污染防治领域典型污染物比如二噁英催化氧化领域的发展前沿, 通过“提出问题”寻找高活性催化材料, “解决问题”掌握复合材料的合成方法, 通过“总结归纳”培养学生处理和分析数据的能力。

《大气污染控制工程》是环境工程专业的一门专业必修课, 也是本专业核心课程。本课程紧密结合大气污染控制工程实践和学科发展前沿, 全面阐述大气污染控制的基本理论、各种控制技术和措施的过程分析及典型控制设备的工艺设计计算, 为分析和解决实际大气污染控制工程问题提供理论和技术支持, 为大气污染控制工程设计、科研及技术管理打下坚实的基础。本综合教学实验立足《大气污染控制工程》课程中热点问题, 紧跟科学前沿, 实验涉及材料合成、表征及催化反应等多方面知识, 通过“问题提出—解决—归纳”逻辑进行培养学生查阅文献、设计实验、操作实验、使用作图软件、分析与讨论数据等能力, 能充分发挥以学生为中心的培养理念。整个实验过程坚持以学生为主, 教师为辅的原则进行。课程授课中, 为了使学生更深入理解污染物去除技术的优缺点, 我们通过“问题提出—问题解决—总结归纳”逻辑引导学生进行思考。

## 一、问题提出

焚烧烟气中二噁英等多氯芳烃具有高毒性、生物积累和潜在的致癌性, 是众所周知的污染物。通过上述讨论, 学生已经了解二噁英的危害, 那么我们该如何将其有效去除呢? 在各种消除技术中, 催化氧化技术被认为是一种有效的消除策略。环境问题的综合实验均涉及催化氧化, 比如高级氧化技术处理水体污染物。然而, 目前综合实验中采用氧化技术处理气态污染物(如氯代芳烃)综合实验非常少。基于此, 本文设计了制备具有富氧空位的催化剂, 并将其用于典型污染物氧化降解。通过引入该综合实验, 既能加深学生对前沿科学研究理论知识的理解, 开阔学生视野, 又能提高学生的综合实践能力, 开发实验创新技能。随后, 教学者提出问题, 我们选用何种催化材料去除污染物呢? 通过该问题提出, 引导学生进行文献调研, 并进行分组讨论。比如, 我们可以选用氧化钨基催化剂氧化降解污染物, 理由如下: 氧化钨被认为是污染物氧化的主要成分或促进剂。然而, 目前的钨氧化物仍存在低温活性差, 矿化能力低、稳定性差、催化性能差的问题, 主要原因是氧化还原性能不足, 氯离子在活性位点富集。一般认为, 氯代芳烃的氧化过程包括三个顺序反应过程: Cl·吸附、芳香环裂解和深度氧化。由于氯的电负性使得它优先吸附于亲电的表面位置[5-7], 因此, 通过引入丰富的氧空位, 可以增强氯代芳烃对钨的氧化。制备富氧空位的氧化钨 WOX, 会有效地增强氧化还原性能和酸位, 从而有利于氯代芳烃的吸附解离, 并使其充分氧化成无害的二氧化碳和水。通过本阶段问题提出, 使学生认识到大气污染控制的严峻性和重要性, 提高学习大气污染控制理论的积极性, 树立解决大气污染复杂工程问题的专业志向。

在授课过程中, 教学者引导学生思考如何提出问题及给出

解决方案,通过引导学生进行前沿文献调研激发学生对前沿研究领域的兴趣,培养学生综合技能。

## 二、问题解决

课堂授课中,我们已经知道选用何种材料,那么我们如何得知其是否能够去除污染物呢?本节课课程引入研究实例,形象给大家展示如何开展科学研究。综合实验所涉及药品为:99.8% 纯度  $\text{WO}_3$ 、99% 纯度  $\text{WCl}_6$ 、乙醇 (AR) 购自天津丰川化学试剂有限公司。其中  $\text{WO}_x$  通过以下过程制备:在乙醇中加入一定量的  $\text{WCl}_6$ ,搅拌三十分钟,然后将反应混合物转移到聚四氟乙烯热压釜中加热,冷却至室温后过滤得到粗蓝色产物。最后,将制备的样品在真空干燥得到  $\text{WO}_x$ 。教学中自制教学设备,用来将制备的  $\text{WO}_x$  和  $\text{WO}_3$  催化氧化污染物,污染物转化通过气相色谱分析。我们观察到在任何给定的温度下, $\text{WO}_x$  都表现出比  $\text{WO}_3$  更好的催化性能。例如,在污染物 50% 的转化率下,采用  $\text{WO}_3$  温度高于  $400^\circ\text{C}$ ,而  $\text{WO}_x$  的温度低于  $350^\circ\text{C}$ ,这是为什么呢?为解决上述疑问,带领学生对两种材料反应性能差异进行解释。首先利用扫描电镜对制备的  $\text{WO}_x$  和工业  $\text{WO}_3$  的形貌进行分析。可以观察到  $\text{WO}_3$  是由随机大小的颗粒堆积而成, $\text{WO}_x$  是由层状团簇组成且呈现出疏松多孔结构,有利于吸附和进一步催化氧化。另外也研究了材料表面化学基团对催化活性影响。结合催化氧化转化率结果, $\text{WO}_x$  表现出最高催化活性,说明催化剂的形貌和表面基团对催化剂的催化作用起着重要作用。通过以上实验过程,使学生理解气态污染物控制的基本原理及其方法,能够结合案例说明气态污染物净化设备的工艺特点,并能够进行典型气态污染物控制系统的设计和工艺计算。

## 三、问题归纳

在现代高等教育的核心理念下,科教融合是支撑培养应用创新型人才的内在要求,而综合创新实验是培养化学专业人才的一门重要课程。本综合化学实验立足《大气污染控制工程》课程中热点问题,紧跟科学前沿,实验涉及材料合成、表征及催化反应等多方面知识,有利于培养学生各方面的能力,包括查阅文献、设计实验、操作实验、使用作图软件、分析与讨论数据等,能充分发挥以学生为中心的培养理念,整个实验过程坚持以学生为主,教师为辅的原则进行。在“碳中和、碳达峰”背景下,教学过程通过“问题提出”采用改良的水热法制备了高催化活性的  $\text{WO}_x$  催化剂,通过引导学生“解决问题”能力,学生发现该催化剂具丰富的氧空位以及大量的酸性位点,进而“归纳总结”有效关联材料催化活

性与物理化学性能。

该教学过程将教师的最新科研成果转化为综合实验教学,力促科教融合,充分发挥学生的主动性,全方位培养学生实验技能、科学素养和解决实际问题的能力,为今后独立工作、设计实验、从事科研等奠定坚实的基础。

## 参考文献:

- [1] 陈洁,沙琦波.基于核心素养的初中科学课堂活动开发——以“食物的消化和吸收”为例[J].宁波教育学院学报,2021,23(06):132-135.
- [2] 康晓丽.大统战工作格局构建的现实问题与路径探索:以厦门市为例[J].上海市社会主义学院学报,2021(06):32-38.
- [3] 王少洪.碳达峰目标下我国能源转型的现状、挑战与突破[J].价格理论与实践,2021(08):82-86+172.
- [4] 袁伯若,程虎.垃圾焚烧烟气超低排放全流程工艺选择[J].有色冶金节能,2021,37(05):1-4+12.
- [5] 张东.加强结构不良问题的教学,提高学生发现和提出问题的能力——一道期末试题引发的思考[J].中学数学杂志,2016(02):19-21.
- [6] 孙铮,孙媛,王茜,张开立,程晓馨,马景昕,刘铭,刘晓宇,张朋.探索细胞生物学综合性实验课促进科研与教学的紧密结合[J].中国细胞生物学学报,2016,38(06):715-720.
- [7] 吴严洁.离子交换法制备微纤复合  $\text{Cu-ZSM-5}$  分子筛膜催化剂及其对苯酚湿式催化氧化性能研究[D].华南理工大学,2020.
- [8] 王鹤瑾,曹蕾,何明召.问题式学习对学生问题解决能力的影响——基于国内外34项研究的元分析[J].开放教育研究,2021,27(05):91-98.
- [9] 李修善.阿式肠杆菌和萎缩芽孢杆菌扫描电镜样品制备观察和分析[J].曲阜师范大学学报(自然科学版),2016,42(01):102-104.
- [10] 吕佳佳,张勇,戴余军,江芹,魏帅润喆,蔡树龙,殷晓.响应面优化提取向日葵列当中苯乙醇苷的工艺研究[J].湖北工程学院学报,2021,41(06):5-11.