

前沿科学研究融入环境保护概论课程教学—大气污染及其防治

卞贺^{1,2*}, 张红红¹, 吴树国¹, 张海霞¹, 王芳¹, 张会明¹

1. 山东航空学院, 山东滨州;

2. 曼彻斯特大学, 英国曼彻斯特

摘要: 以前沿科学研究融入《环境保护概论》的课程教学为切入点, 深入探讨了大气污染及其防治教学内容的创新设计。教学设计紧密贴合学校高水平应用型定位, 顺应新工科人才培养趋势, 重点培养学生运用环保知识分析与解决实际问题的能力。教学策略上, 运用案例分析, 结合污染物在大气中的循环转化机制以及污染物去除技术的最新研究, 帮助学生建立多维度的认知架构, 深入理解并掌握大气污染防治的基本原理与策略。同时, 课程通过增强专业理念、点燃学习热情, 并融入思政教育, 着力构建学生的化学核心素养体系。进阶式任务设计有效促进理论与实践的深度融合, 以实现知识内化与高阶思维能力的全面提升。教学实践表明, 该教学设计不仅深化了学生对大气污染防治的认知, 还大幅提高了实际问题的处理能力, 为学生的未来学习、科研创新及职业发展奠定了坚实基础。

关键词: 环境保护概论; 前沿科学研究; 大气污染及其防治; 教学设计

Integration of Frontier Scientific Research into the Teaching of the Introduction to Environmental Protection Course—Air Pollution and Its Prevention and Control

He Bian^{1,2*}, Honghong Zhang¹, Shuguo Wu¹, Haixia Zhang¹, Fang Wang¹, Huiming Zhang¹

1. Shandong University of Aeronautics, Binzhou, Shandong;

2. University of Manchester, Manchester, UK

Abstract: Taking the integration of frontier scientific research into the teaching of the Introduction to Environmental Protection course as a starting point, this paper deeply explores the innovative design of teaching content on air pollution and its prevention. The teaching design closely aligns with the university's positioning as a high-level application-oriented institution, responding to the trend of cultivating New Engineering talents. It focuses on developing students' ability to analyze and solve practical environmental problems using environmental protection knowledge. In terms of teaching strategies, case analysis is employed, combined with the latest research on the cyclic transformation mechanisms of pollutants in the atmosphere and pollutant removal technologies. This helps students establish a multi-dimensional cognitive framework, deeply understand, and master the basic principles

* 通讯作者: 卞贺, 山东航空学院, 副教授, bianhe_2009@sina.com。

and strategies of air pollution control. Additionally, the course integrates Ideological and Political Education (IPE) to build students' chemical core literacy system, while progressive task design effectively promotes the deep integration of theory and practice, achieving comprehensive improvement in knowledge internalization and high-order thinking abilities. Teaching practice shows that this design not only deepens students' understanding of air pollution prevention but also significantly enhances their ability to handle practical problems, laying a solid foundation for their future learning, scientific research innovation, and career development..

Keywords: Introduction to Environmental Protection; Frontier Scientific Research; Air Pollution and Its Prevention and Control; Teaching Design

1 引言

《环境保护概论》作为环境学科基础性核心课程,兼具通识教育属性,已在多所大学实现跨学科的教学模式。我校针对化学工程与工艺专业,将该课程设置为基础工程类,以符合我校建设高水平应用型大学的办学目标,满足新工科背景下的人才培养需求。本课程基于OBE教学理念,建立成果导向的课程结构,着重突出学生的主体性和个人发展,致力于培养学生的核心应用能力。该课程深入讲解化工生产中的环保基础知识、环保措施、三废处理技术以及环境管理制度与标准等,不仅强化了知识点的深度,也注重其广度的拓展,为学生专业知识的构建与延伸提供了坚实的学科基石。由此,基于环保知识转化及工程问题分析技能的提升途径,来推动学生化工学科理论与实践能力的并行进步。本章节以能力提升为目标,采用案例分析方法,结合前沿科研如大气中污染物的循环转化机制及去除技术,设计层次性任务,引导学生深入掌握大气污染防治知识,实现知识的综合运用。此外,该课程巧妙融合教师的科研成果,形成教学科研相长的良性循环,旨在深化学生的专业认知,并有效激发其学习热情,培育学生严谨、务实及创新的化学素养,以此增强学生运用环保理念解决实际问题的能力。

2 教学分析

2.1 教学内容分析

“大气污染及其防治”作为环境保护概论的

核心章节,旨在深入、系统地阐述大气污染及其防治的全面知识,夯实学生环境保护领域的研究基础。本节课精选大气污染物分类、特性、危害及循环转化机制等内容,并讲解污染物去除的原理与策略,建构知行合一的教学闭环,使学生更好地理解 and 应对大气污染问题。本课程要求学生不仅要全面掌握大气污染防治的基础知识,还需灵活应用并关注化学与环保领域的最新进展。本节课通过巧设梯度问题,成功提升学生的逻辑思维能力。同时,我们引入科研实例,如区域空气质量变化研究、大气污染物转化与去除技术的探索,以此点燃学生的学习激情,培养他们从现实难题入手,深入剖析并有效解决问题的能力。在此过程中,学生将深入理解大气污染防治的原理并加强化学工程思维的训练,为后续学术探索、职业道路铺垫及科研创新夯实理论基础。故而,本节课的主旨是着重于知识的迁移与能力的综合,借助实际工程情境,引导学生运用多学科交融的方法应对错综复杂的环境难题,从而推动其批判思考与实践技能共同提升。

2.2 学情分析

从认知特点来看,经过两年多的专业学习,化工专业三年级学生已完成学科核心课程学习,对专业理论体系有了初步的系统性认知。他们还掌握了文献检索与数据甄别技能,能够利用多种途径独立获取所需的学术资源。已初步具备运用工程原理

解析跨学科复杂工程问题的能力，逻辑思维能力较强，但可能仍缺乏系统性和深度。

从起点水平来看，学生具备化学工程理论素养与规范化实验操作能力，但对环境保护概论课程的了解较为有限。先修课程如化工原理、化学反应工程等为其学习环境知识提供了必要的知识储备，使其对课程内容有一定期待，希望将所学知识与环境保护实践相结合。

在学习习惯和能力方面，部分学生已拥有自主学习的动力及策略性学习能力，能自觉进行预习、复习与知识拓展，在团队协作中表现突出，但仍需个性化指导。学生已初步掌握化工环境问题分析技能与实践操作能力，但在分析深度、实战经验及综合能力上还有提升空间，需进一步加强这些方面的培养。得益于学校推行的学业导师制度，已有不少学生进入实验室，在导师的悉心指导下参与科研项目，逐渐培养了科研实践能力，并显露出学术探索热情。

3 教学目标

知识目标：明确大气污染物的核心定义、分类体系、特性表现及其对环境的潜在危害。

能力目标：基于《环境空气质量标准》，系统分析区域大气环境质量的变化趋势；以含硫物种为研究对象，探究其在大气中的循环与转化机制；通过深入研究大气污染物的催化转化与光催化分解过程，初步搭建起科学探索的逻辑与方法体系，为科研创新奠定坚实的理论基础。

价值目标：依托滨州市城区大气污染物时序数据，深入剖析污染物的浓度变化趋势，从而激发学生对城市环境空气质量的关注，使其深刻理解国家在治理空气污染方面的坚定决心与取得的显著成果。在探索含硫物质在大气中的循环与转化机制时，让学生领略科研的挑战与乐趣，培养其以实证为基础的化学学科素养。同时，结合大气污染治理技术的实际案例，锻炼学生的科学思维能力，引导他们构建科学、全面的问题解决方案，提升其工程意识与经济意识，并加深其对化工专业的认同感和使命感。

4 教学重难点及突破方法

4.1 重点

(1)系统解析大气污染物的分类、特点与危害。结合实例，理解近年来滨州市城区主要大气污染物的分布特征、变化趋势。

(2)明确污染物在大气中的循环和转化机理。以甲硫醇为范例，深入分析含硫化合物在大气中的循环转化机制，进而探明大气污染成因。

4.2 难点

(1)实现跨学科知识的综合应用，以工程实践需求为指引，科学筛选大气污染治理技术方案。

(2)理解各种大气污染物去除方法和原理，系统掌握基于科学研究范式的污染治理决策方法。

4.3 突破方法

聚焦大气污染防治，紧密追踪科研新动态，精心设计阶梯式、系统化的任务框架。课前，线上发布学习指南，指导学生自主掌握大气污染治理的基础理论，夯实学科基础。课中，综合运用问题引领、启发式探究和案例教学等多种方法，巧妙结合区域空气质量实时监测、大气污染物转化及去除技术等前沿话题，点燃学生的探索激情。针对进阶任务，精心挑选大气污染物催化转化与光催化降解的权威文献，指导学生从多角度分析问题，提升其逻辑推演能力及科学素养。课后，布置关于石墨烯在治理大气污染方面的文献调研任务，以拓宽知识视野，增强学生的高阶应用能力。通过这些丰富多样的课堂教学活动，实施“实践-认知迭代”的教学模式，以推动知识的深度理解、技能的进阶提升与品格的逐步塑造，从而综合促进学生的全面发展。

5 教学安排

5.1 课前自主学习引导

课程启动前，教师设计并发布结构化预学习指南，旨在引导学生自主学习大气污染防治的相关理论知识。此外，配套提供专业的导学视频资源，以

辅助学生深入理解大气污染的内涵及环境空气质量标准的相关内容。依托该混合式学习途径，学生不仅实现自主学习效能的显著提升，同时为后续系统性研究构建了完整的理论框架。

5.2 课堂教学环节

5.2.1 前测总结——大气污染的概念与环境空气质量标准

在教学启动之前，通过“学习通”平台推出了专门的线上测验，以深入考核学生对大气污染防治知识的基础理解以及对环境空气质量标准的自学成果。根据前期测试数据，深入分析诊断，灵活调整教学策略的知识架构与认知障碍点，以差异化设计提升教学效能，力求实现课堂教学质量的持续优化与升级。

5.2.2 新知探究——大气中主要污染物及危害

首先，深入剖析大气污染物的类别及特性。

大气污染物分为常规污染物和特征污染物。其中，常规污染物指的是在环境空气质量标准中有明确规定的、广泛存在且受到持续监测与控制的污染物。常见种类包括二氧化硫（ SO_2 ）、颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ）、一氧化碳（ CO ）、氮氧化物（ NO_x ）和臭氧（ O_3 ）等。这些污染物主要源自工厂废气、汽车排放及燃煤产生的烟雾，长期接触可诱发呼吸系统疾病和心血管疾病。而特征污染物指的是某些行业或区域在特定生产活动中所产生的典型污染物，因行业和地域不同，污染物的种类也各异，如石油化工行业的VOCs和电镀行业排出的重金属等。其中，重金属存在向土壤-地下水系统迁移的风险，可能经作物富集或饮用水途径进入人体，导致慢性毒害。

然后，进行案例研究——滨州市城区大气污染物浓度的时序分析。

根据教师前期对《滨州市城区增强型植被指数及气象要素对环境空气质量影响因素分析》的研究[1]，列出2016-2022年滨州市城区5种主要污染物浓度的年均值，如下表1所示：

分析表1中这些数据，可以更好地理解滨州市

城区大气污染物的分布特征、变化趋势及其对环境空气质量的影响，形成污染防治策略的理论支撑。通过引导学生对照《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中的二级标准限值，可以发现如下结论：滨城区空气质量整体向好，其中 SO_2 和 PM 浓度下降趋势明显， NO_2 呈现先上升后下降的趋势，且 SO_2 、 NO_2 、 O_3 均已达标，但 O_3 有上升趋势；到2022年 PM_{10} 也已达标，而 $\text{PM}_{2.5}$ 尚未达标。

表1. 2016-2022年滨州市城区5种污染物浓度的年均值

年份	污染物浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	SO_2	NO_2	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$	O_3
2016	33.2500	33.5833	119.9167	65.1667	97.3333
2017	27.2500	37.6667	115.9167	60.0000	132.5833
2018	21.0833	37.0000	103.8333	54.2500	158.2500
2019	20.0000	39.9167	96.3333	54.9167	155.0000
2020	16.6667	38.3333	86.2500	50.7500	151.8333
2021	15.7500	32.2500	76.2500	41.5000	145.3333
2022	15.1667	28.9167	69.4167	39.1667	155.0000
(GB3095—2012)二级	60	40	70	35	160

同时，结合上述区域治理实践的系统解析，进一步引导学生探索大气污染物的主要源头、性质以及它们对环境 and 人类健康的深远影响。此举旨在将思政教育融入课堂，引导学生关注并思考城市环境质量，感受国家在空气污染治理方面的决心与显著成果，进而理解大气污染治理对经济、环境及社会的综合益处，以及国家秉持的人民至上发展理念和生态文明建设的重任，藉此培育学生成为生态文明建设的实践主体，增强其主动参与环保的积极性。通过专业实践，引领学生践行绿色发展观，促进生态伦理与环保行动的共同进步，为美丽中国建设添砖加瓦，致力于实现人类与自然的和谐共存。

5.2.3 参与式学习——从大气中含硫物种出发，探究污染物在大气中的循环和转化机理

深入了解大气污染物（如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等）如何在大气中发生物理和化学变

化，阐明其通过气-粒转化、光化学反应、聚集效应等过程规律，可为针对性治理措施的提出提供依据。其中，大气中的含硫物种作为一类关键的污染物，对环境空气质量、气候变化甚至生态系统都能产生深远影响。此类含硫物种涵盖二氧化硫、二甲基硫醚、硫化氢、硫酰基自由基、有机硫化物（如甲硫醇、噻吩及其衍生物）以及过氧硫酸自由基等。深入剖析这些含硫物种在大气中的循环与转化机理，对于揭示大气污染的形成机制、制定科学有效的污染控制策略具有至关重要的意义。

基于教师前期的科研实践[2]，构建一个 CH_3SH 与 O_2 按1:1比例存在的场景，并组织学生分组探讨可能发生的基元反应及其产物，以此帮助学生更深入地理解污染物在大气中的转化与循环机制。在小组充分讨论的前提下，根据文献资料（见图1），进行深入剖析。同时，结合势能面计算结果，全面探讨各反应路径的难易，将前沿计算化学知识（如过渡态理论、势能面计算及波函数分析等）引入教学，以此提高学生的科学素养，培养其在复杂环境系统中的建模与决策技能。

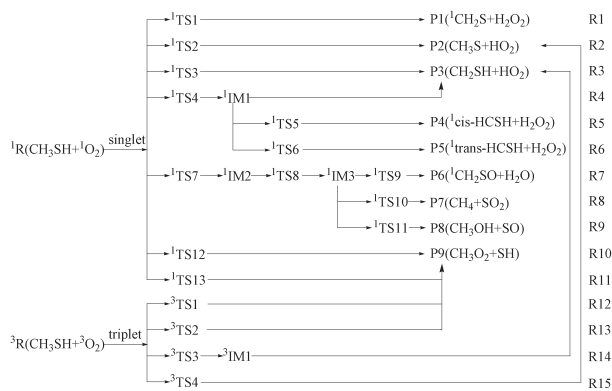


图1. CH_3SH 与 O_2 可能的反应路径

5.2.4 高阶应用，能力提升——探究吸附法去除大气污染物的原理及策略

大气污染物的去除是环境保护和空气质量改善的重要环节。目前，针对不同类型的大气污染物，已发展出多种有效的去除方法。这些方法主要包括物理吸附、化学吸收、催化转化和光催化降解等，

如图2所示。物理吸附法利用吸附剂如活性炭、分子筛等对污染物进行吸附，适用于去除挥发性有机物和某些气态污染物。化学吸收法则是通过化学反应将污染物转化为无害或低毒物质，如利用碱液吸收二氧化硫。催化转化法利用催化剂加速污染物的转化过程，例如氮氧化物在催化剂作用下转化为氮气和氧气。光催化降解法则利用光催化剂在光照条件下分解有机污染物，生成二氧化碳和水等无害物质。

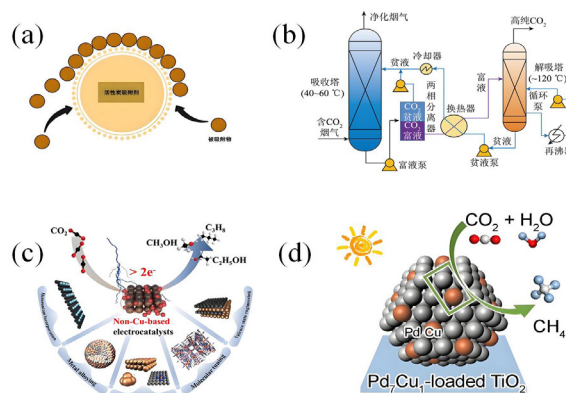


图2. 大气污染物的去除方法。(a) 物理吸附，(b) 化学吸收，(c) 催化转化[3]，(d) 光催化降解[4]

设置小组讨论问题：根据图2所列出的大气污染物的去除方法，分组讨论大家对哪种去除方法感兴趣，了解多少，针对其中的原理开展讨论。如果有同学跟随学业导师做过相关课题，可具体讨论做了哪些工作。

设置进阶问题：(1)以应用为导向，如何合理选择大气污染物的去除方法。选择合适的大气污染物去除方法，需综合考虑应用场景、污染物特性（例如 SO_2 、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、VOCs等，其物理化学性质差异需采用针对性技术）、技术成熟度、经济成本、法规要求（需满足当地及国家排放标准）和工程可行性（包括运行维护）。只有系统评估这些因素，才能建立科学全面的问题解决框架，并培养学生的工程和经济意识。(2)如何从科研的角度，解决大气污染物的去除问题。要求学生深入阅读图2所涉及的催化转化、光催化降解等领域的前沿文献，掌握其中的科学研究方法，如实验设计、数据采集与分析、模型验证等，为学生未来开展相

关研究打下坚实基础。同时,教师结合自身在分子筛氧化脱硫、氮化碳基催化剂还原 CO_2 等方面的丰富科研实践经验[5,6],深入剖析大气污染物去除的通用研究方法,并与学生展开讨论。通过分享实验设计、数据解析、问题解决等环节,引导学生理解理论与实践的紧密结合,激发其科研兴趣,培养科学思维、创新能力和严谨的科研态度,为未来学生在大气污染治理领域的研究奠定坚实基础。

5.2.5 总结升华,布置作业——石墨烯材料文献调研报告

与活性炭相比,石墨烯片在污染吸附能力方面表现优异。石墨烯片可以与光催化、电催化等技术相结合,从而开发出更加高效的大气污染治理技术。基于石墨烯片的优异性能,未来有望开发出更多新型的吸附材料,如石墨烯复合材料、石墨烯纳米结构材料等,进一步提高其在大气污染治理中的应用效果和范围。基于此,教师在课后布置一项关于石墨烯材料的文献调研报告作为小组作业,旨在让学生亲身体验科学研究的挑战与乐趣,进而培养严谨、求实、创新的化学学科素养。通过这一任务,学生们将深入挖掘石墨烯材料在大气污染治理领域的最新研究进展、应用前景及潜在问题,锻炼他们文献检索、信息筛选、数据分析及团队协作的能力。在完成报告的过程中,学生们将感受到科学探索的艰辛与成就感,培养他们对化学学科的热爱和追求,为未来成为优秀的化学科研人才打下坚实基础。

6 课后研学

基于前述任务,小组深入调研石墨烯材料在大气污染治理领域的最新科研成果,全面了解石墨烯在吸附、催化等方面的应用潜力。随后,小组需撰写详尽的调研报告,并上传至课程平台,供师生共同交流学习。课后,师生继续利用线上平台进行深入讨论,进一步深化对石墨烯材料在大气污染治理中作用机制的理解,同时提升学生的科研能力和学术素养。

7 教学评价及反馈

(1)教学分析:教学内容契合学生认知水平,选材得当。

(2)教学目标:多数学生能掌握大气污染概念、空气质量标准、污染物分类及转化机理,并能根据应用场景选择合适治理方法。

(3)教学方法:采用问题驱动教学,激发学习热情,提升学生主动学习、思辨和分析能力。运用启发探究手段,突破教学重点,帮助学生掌握复杂知识规律,形成解决问题的有效思路。

(4)教学特色:教学设计中,以大气污染及其防治的科研热点为出发点,突出专业特色,激发学习兴趣,彰显课程重要性。

8 结论

综上所述,本研究通过将前沿科学研究融入《环境保护概论》课程教学,特别是针对大气污染及其防治的内容进行了创新设计,取得了显著成效。教学设计设置了课前自主学习引导、课堂教学环节、课后研学以及教学评价及反馈等多个环节,融合问题驱动、启发探究与案例教学等多元策略,融入区域空气质量动态监测、大气污染物循环转化机理及去除技术等热点,激发学生的探究热情。精选大气污染物的催化转化与光催化降解相关的科研文献资料,引导学生深度剖析和解决问题,锻炼逻辑思维能力,培育科学素养。教学实践证实,该教学设计有效促进了学生对大气污染及其防治的深入理解,显著提高了其解决实际问题的能力,为学生未来学习、职业发展及科研创新奠定了坚实基础。

致谢

本文由以下基金项目资助:山东航空学院教学研究项目(BYJYYB202122, BZXYSYXM202301, BYYJG202208),山东航空学院科研基金项目(2023Y19)。

参考文献

[1] 张宇辰,卞贺,张会,等.滨州市城区增强型植被指数及气

- 象要素对环境空气质量影响因素分析. 山东航空学院学报, 2024, 41(06), 121-128.
- [2] Bian, H., Xu, B., Zhang, H., et al. (2019) Theoretical study on the atmospheric reaction of CH_3SH with O_2 . *International Journal of Quantum Chemistry*, 119(5), e25822.
- [3] Yu, H., Wu, H., Chow, Y.L., et al. (2024) Revolutionizing electrochemical CO_2 reduction to deeply reduced products on non-Cu-based electrocatalysts. *Energy & Environmental Science*, 17(15), 5336-5364.
- [4] Long, R., Li, Y., Liu, Y., et al. (2017) Isolation of Cu atoms in Pd lattice: forming highly selective sites for photocatalytic conversion of CO_2 to CH_4 . *Journal of the American Chemical Society*, 139(12), 4486-4492.
- [5] Zhang, H., Bian, H., Wang, F., et al. (2023) Enhanced photocatalytic reduction of CO_2 over pg - C_3N_4 -supported TiO_2 nanoparticles with Ag modification. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 674, 131989.
- [6] Bian, H., Zhang, H., Li, D., et al. (2020) Insight into the oxidative desulfurization mechanism of aromatic sulfur compounds over Ti - MWW zeolite: a computational study. *Microporous and Mesoporous Materials*, 294, 109837.

