

## 矿冶特色环境专业有机化学课程改革与实践

常雁红\*, 汪群慧

北京科技大学环境科学与工程系, 北京 100083

**摘要:** 针对北京科技大学矿冶特色背景下环境专业教学, 结合有机化学课程特点, 从改进教学方法, 提高教学效果; 调整评价标准, 构建多元化考核体系; 融入思政元素, 实现全面育人等方面进行了系统的改革和实践, 旨在激发学生解决矿冶环境污染问题的学习动力, 同时提升他们对有机化学理论的理解和实践能力。

**关键词:** 有机化学; 矿冶; 全面育人

**中图分类号:** G64; O6

## Reform and Practice of Organic Chemistry Curriculum for Environmental Major with a Focus on Mining and Metallurgy

Yanhong Chang\*, Qunhui Wang

Department of Environmental Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

**Abstract:** Combining with the feature of organic chemistry course, this paper presents reform measures in response to the unique mining and metallurgy background of the environmental major at the University of Science and Technology Beijing. The systematic reforms and practices include improving teaching effectiveness through enhanced teaching methods, establishing a diversified assessment system by adjusting evaluation standards, and integrating ideological and political element to achieve comprehensive education. The learning motivation of students on solving the problem of environmental pollution in mining and metallurgy is stimulated, as well as students' understanding and practical ability of organic chemistry theory being achieved at the same time.

**Key Words:** Organic chemistry; Mining and metallurgy; Comprehensive education

化学、生物和力学作为环境专业的三大基础学科, 共同构成了环境学科体系的核心内容。其中, 化学课程中的有机化学与环境专业之间的关系尤为密切。如水中存在着许多我们熟知的有机污染物——稠环芳烃、含酚化合物、抗生素等, 土壤中残留着有机杀虫剂、微塑料等, 大气中有多种挥发性有机物, 这些有机污染物进入生物体内将直接影响其生理机能、免疫系统和神经系统等。有机化学可用于研究这些介质中有机污染物的来源、形成机制、扩散规律、降解方法, 为环境保护提供重要的理论基础和技术支持。因此, 有机化学课程在环境工程专业中占据举足轻重的地位, 同时, 作为主干基础课之一, 它在基础课程与专业课程之间起到承上启下的枢纽作用, 为学生学习后续课程及未来投身环境保护事业奠定了坚实的基础。但是, 如何在教学过程中体现特色, 把基础理论课的知识渗透到实际应用中, 是有机化学课程所要解决的重要问题。

北京科技大学, 素有“钢铁摇篮”之称, 前身是北京钢铁学院, 其采、选、冶等传统学科底蕴

深厚, 优势显著。而矿冶行业是我国经济发展的基础, 矿冶产品影响着人民生活的方方面面, 是整个社会运行所必需的。但是, 矿冶企业在生产过程中难以避免对周边环境产生不利影响, 引起水、空气、土壤等的污染, 对人类的健康和生活造成威胁。而且矿冶行业的环保问题具有专业性明显、情况复杂等特点, 因而, 培养能够适应这一行业特点的环保应用型人才, 既是行业可持续发展的内在需求, 也是国家环保事业的重要任务, 更是北京科技大学环境工程专业人才培养的明确目标<sup>[1]</sup>。目前, 矿冶行业的环境污染与生态破坏问题是一个综合性多学科交叉的大课题, 化学学科在其中起关键作用。而有机化学知识体系与环境学科之间相互交叉与融合的程度, 已成为矿冶行业能够绿色、低碳、可持续发展的重要影响因素。因此, 在有机化学授课过程中, 有效融入矿冶行业污染治理的相关内容, 并充分利用学科交叉的优势, 显得尤为重要。这不仅使学生在有限的时间内灵活地掌握基础有机化学知识, 更能培养出具有合理知识结构和解决实际矿冶领域环境问题的高素质应用型人才, 这也有助于发挥学校传统学科优势, 增强学生就业竞争力。

## 1 改进教学方法, 提高教学效果

在教学过程中, 教师为完成教学任务、达到教学目标而采用的各种手段, 称为教学方法, 它涉及到教师如何有效地传授知识, 以及如何引导学生积极参与学习。传统教学方法重教师传授, 轻学生主动学习与能力培养, 这也容易使学生感到乏味、倦怠, 甚至产生抵触心理, 难以真正掌握知识并运用到实际中<sup>[2]</sup>。而这些已经成为影响有机化学教学质量的关键问题, 因此, 必须通过改革教学方法, 激起学生主动学习的积极性, 培养他们的自学能力和知识运用能力。使学生既掌握有机化学的基础理论与知识, 又能熟练运用这些基本原理; 既能在矿业、冶金等重点污染行业从事污染防治与节能环保工作, 又具备创新思维, 可以针对环境问题迅速开展研究和处理, 从而培养出兼顾学术及应用型的环保人才。

### 1.1 明确教学目标, 强化学生主体地位

学校的教学工作是有计划、有组织的教学活动, 明确的教学目标是教学成功的前提, 它能有效地引导教学活动, 确保教学质量, 最终达成预期的教学效果。传统的有机化学教学目标主要是让学生掌握基础理论知识, 而根据环境专业的特点, 现在更需要聚焦于培养学生运用有机化学知识解决实际矿冶领域环境问题的能力。这种转变不仅体现了对学生主体地位的强化, 也实现了“以学生为中心”的教育理念。

针对上述教学目标, 根据环境专业涉及到有机化学知识点多、内容广、机理复杂、理论性强等特点, 同时受实际授课学时所限, 本课程教学内容注重“少、精、新”, 并通过矿冶行业有机污染物案例的讲解, 从而实现有机化学、环保应用、矿冶特色的交叉融合。如在环烃的教学过程中, 以芳香烃作为教学重点, 尤其是冶金行业中难降解的焦化废水尤为突出, 焦化废水含有大量稠环芳烃等污染物, 因此, 芳烃的物化性质、反应特点将重点讲解, 包括芳烃的不饱和性、稳定性高、易取代、难加成、难氧化等性质, 这些性质是由于苯环大 $\pi$ 键电子离域造成芳烃非常稳定, 导致稠环芳烃难于降解。此外, 本课程同时将介绍目前实际焦化废水降解方法的最新进展, 如Fenton氧化法、电化学氧化法、高能粒子辐照法等<sup>[3]</sup>。其中最具代表性的Fenton氧化法是通过产生的 $\cdot\text{OH}$ 对水中的稠环芳烃进行氧化分解的(图1)。通过这些方法均可以破坏焦化废水中稠环芳烃的大 $\pi$ 键, 使废水中有机大分子转化为小分子、易生物降解的物质。

对于重点、难点内容, 设计不同的教学方式, 如课程前半段采用引导启发式教学, 使学生了解和掌握有机化合物结构与性质的一般规律, 注重培养学生分析问题的能力。例如在讲解羧酸时, 由于羧基从表面上看, 羧基既含羰基又含羟基, 让同学们分析羧基中的羰基氧与羟基氧如何相互影响, 这样结构与性质是什么关系? 而且由于羧基这种结构, 为什么会导含长链羧酸有机化合物易作为表面活性剂? 通过分析长链有机羧酸的结构, 可以得出这主要是由于其既含有疏水的烃基, 又含有亲水的羧基所导致。在课程后半段采用问题探究式教学, 让学生运用这些规律提出一些降解或治理

矿冶环境中对应的有毒有害物的方法,有意识引导学生运用所学知识,提高学生解决问题的能力。如各种矿山开采运输作业会产生大量的粉尘,而粉尘大多数抑尘剂为表面活性剂,那么羧酸是否合适作为抑尘剂,为什么?

此外,在课堂中还可以通过采用举实例(如实际的选矿过程中捕收剂、起泡剂、抑制剂、絮凝剂等含有的酚、醚、酮、醛、胺等环境污染物)与比较说明(如焦化废水中有芳烃与杂环化合物结构与性质不同)等方法,让同学们真实地感受到矿冶环境问题的解决与有机化学有着密不可分的联系。所以在整个教学过程中,教师作为引导者出现,引导学生对自己观察到的与有机污染物有关的环境问题进行思考,进而激发学生的好奇心,同时鼓励学生质疑,提倡表达观点,让学生成为教学的真正主体。

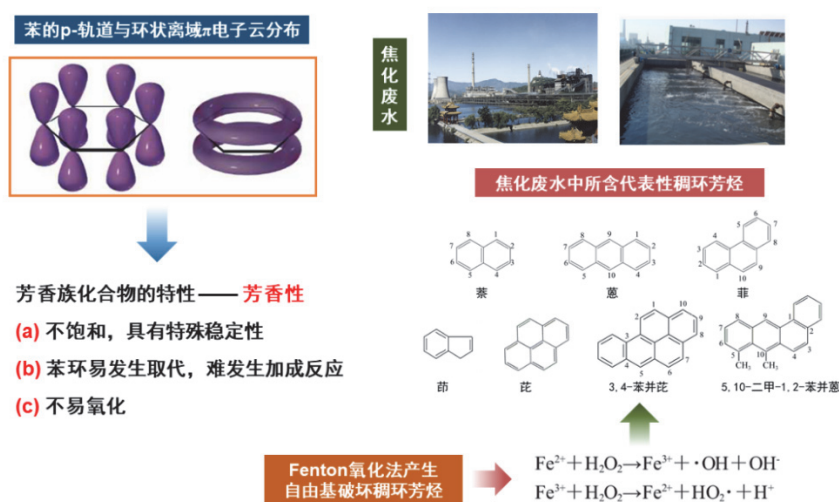


图1 芳香族化合物特征及Fenton氧化法降解焦化废水中所含稠环芳烃

## 1.2 线上线下相结合, 提升教学质量

当前,在信息技术和数字技术的助力下,“互联网+”教育正在深刻地推动高等教育的变革和内涵提升。将课堂教学与信息技术进行有机融合,对突破传统课堂学习的边界和实现高质量教学具有重要意义。

在有机化学课程中,我们面临一个普遍而严峻的问题:学科内容相对枯燥,记忆要求较多,而推理思维相对较少,学生在扮演被动和被迫接受知识的消极角色,因此出现了学生不愿开动脑筋主动学习知识,更不会对现有的知识或者教师的讲解产生质疑的尴尬境地,同时这也容易引起学生的厌烦心理。为了解决此难题,我们采取了线上线下相结合的教学方式,以期引起学生学习兴趣,提高他们的教学参与度。

移动智能手机的普及为线上线下教学提供了便利条件,而雨课堂、微信小程序等智慧教学工具可实现实时互动,极大地提升了教学效果和学生的学习体验。教师可以通过这些工具实时了解学生对知识的掌握程度,根据学生反馈调整教学策略,确保教学内容被学生有效消化吸收。而学生也可以通过这些工具随时表达自己的观点和疑问,与教师和同学进行充分的思考和互动交流,从而更加深入地理解和掌握知识。以雨课堂为例,教师可以通过这一平台将课前预习、课堂问答、教学课件和课后作业有效串联起来,形成一个完整的教学闭环<sup>[4]</sup>。此外,雨课堂的弹幕功能也为课堂氛围的活跃提供了有力支持。学生可以通过发送弹幕表达自己的疑问、观点,与教师和其他同学进行实时互动,营造出一种轻松、愉快的课堂氛围。在整个教学过程中,结合线上线下教学手段,通过课前引导、课中深入、课后拓展等途径,使教师与学生形成合力,提升教学质量(图2)。

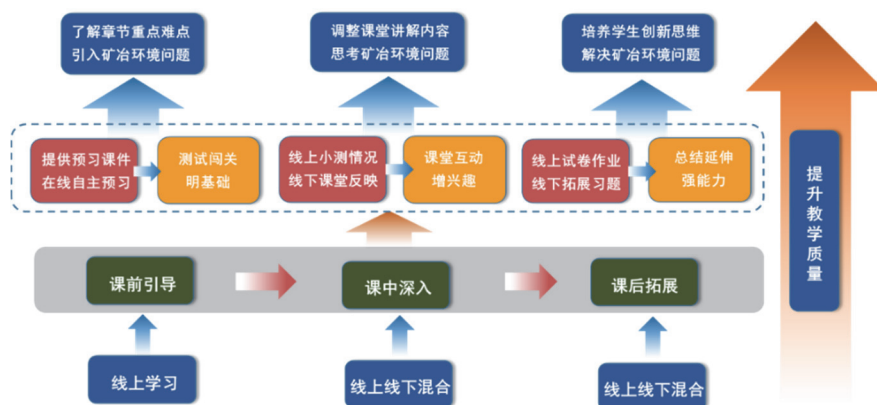


图2 线上线下相结合，提升教学质量

学生课前的有效预习对于保证高水平的教学互动和学习效果十分重要。然而，目前学生预习情况不佳是一个普遍存在的问题，这导致他们在课堂上难以与老师讲授的内容保持同步，影响了学习效果。本课程充分利用雨课堂的辅助功能，设计了课前预习课件，引导他们进行在线自主学习。预习课件的内容包括：1) 明确列出了章节的学习目标和重点、难点，使学生能够有目的地进行预习，避免盲目性，为课堂上的深入学习提前做好准备。2) 预习习题。这些习题以闯关的形式呈现，具有一定的挑战性，能够激发学生的学习兴趣。学生可以通过预习习题发现自己对基本原理、概念的掌握程度，找出自己的薄弱之处。这样，学生在课堂上就能更加有针对性地听讲。3) 引入与本章相关的矿冶环境的一个问题，启发学生去思考，并运用所学有机化学知识寻求答案。为了确保预习课件的有效性，教师提前3天将其推送给学生；同时，利用雨课堂的提醒功能，督促学生按时完成预习任务。

对于成功的课堂教学而言，充分的师生互动、学生的主动学习、及时的学习效果反馈、给定时间的任务完成以及教师明确无误地传递知识理念等至关重要<sup>[5]</sup>。因此，利用雨课堂的智慧教学工具，教师可以实时获取学生课前的预习情况，从而更精确地细化重点和难点知识的讲解，准确地将知识传授给学生。同时，发挥线下课堂教学模式的优势，教师根据同学们现场的反映，结合雨课堂的课堂抢答、课堂小测等功能，可以及时监测教学效果，并利用后台数据迅速发现学生哪些难点掌握得不够好。这样，教师可以依据实际情况和时间，有针对性地调整讲解内容，使学生能够真正掌握所学知识。在讲解过程中，一方面通过问题引导学生共同完成知识学习，整理知识逻辑体系，夯实基础知识；同时，巧妙联系与之相关的矿冶环境问题，引导学生进行思考。这种与实际相结合的教学方法有助于激发学生的探索欲，并使他们更好地理解知识的实际应用价值。另一方面，利用雨课堂的课堂随机点名提问以及开启弹幕等方式，教师可以加强与学生的互动，让学生在课堂上动起来、忙起来、有趣起来，从“低头族”变为“抬头族”，积极参与讨论和思考。这种互动不仅能提升学生的参与度，还有助于教师了解学生掌握知识情况，实现针对性教学。

课后作业无疑是巩固课堂教学内容、提升学生分析解决问题的能力、培养创新思维和探索更高层次学习境界的重要手段。特别是在结合智慧教学工具雨课堂的背景下，课后作业的设计与实施可以更加高效和精准。在每一章内容结束后，教师会总结该章的知识点，并精心编制一套试卷作业，通过雨课堂课后发送给学生，引导学生回顾教学内容、灵活运用所学知识，而且平台实时给出作业完成情况的统计数据，也有助于教师及时了解学生的学习状况。此外，两三章结束后，教师将这些之间相关内容融合在一起，给出与矿冶环境问题相关的有机化合物结构推测、反应机理描述等综合拓展类习题，如常见的选矿废水需要添加絮凝剂聚丙烯酰胺(PAM)，那么酰胺类中的酰基、氨基如何相互影响？絮凝机理与自身电荷、结构是什么关系？PAM本身对环境产生怎样的危害？如何有效解决？此类作业采用传统纸质版模式，交作业后抽取部分学生作业进行“学生互评”，同学们通过这种方式既可以相互学习，相互沟通，同时适当评判他人、接受别人评议，也锻炼了同学们相互取

长补短的能力，起到了单纯教师批改作业所达不到的效果。

### 1.3 加强线下习题课和课后讨论，培养学生创新能力

习题课和课后讨论是课堂教学的一种有效的补充形式。尽管智慧教学工具拓展了讨论与答疑的空间、时间，但无法取代面对面线下习题课和课堂讨论与学生沟通的亲切感、归属感，因此，有机化学课程在每章内容结束后开展线下习题课和课后讨论，这种形式不仅有助于巩固学生的知识，还能提升他们的思维能力和问题解决能力。在习题课上，教师首先会针对学生在作业中普遍存在的问题进行解答，澄清学生的疑惑。然后，针对较难的知识点，教师会进行深入的分析，帮助学生理解其本质和内在逻辑。在此基础上，教师会提出新的问题，这些问题往往具有一定的挑战性和开放性，旨在引起学生的兴趣和思考、探索欲望。例如，比较不同胺的碱性大小的习题，给出正确答案后，让同学们思考：胺含氨基，具有一定的碱性，与除了电子效应外，还有什么因素影响它的碱性？脂肪胺与芳香胺差异通过什么方式体现？对于矿山含重金属废水，是否胺类有机物可以去除重金属，为什么？通过这种习题的进一步延伸，在启迪学生思维、激发学生积极性以及培养学生创新能力上也是一种有效的方式。

此外，针对有机化学中一些学生难以掌握的共性问题，如有机化合物的性质、反应机理、反应条件等，采用课后讨论的形式，加深学生的理解，培养学生科学的、自主学习的方法。如柠檬酸是自然界最常见的三元羧酸，由于羧酸的酸性与取代基所在位置及取代基电子效应密切相关，那么柠檬酸中，羧基、羟基如何相互影响？柠檬酸作为矿业环境重金属污染土壤的绿色修复剂<sup>[6]</sup>，利用了柠檬酸的什么性质，其机理是什么？在讨论过程中，教师运用提问的方式，引导学生进行思考，鼓励他们积极参与讨论和发言，这样不仅能够强化学生在课堂上的主体作用，还能有效激发他们的学习兴趣和热情。同时，通过设置与本次课程重难点相关内容的抢答环节，可以进一步调动学生的积极性，让他们在轻松、和谐的课堂气氛中更好地掌握知识点，从而实现预期的教学目标。当学生从不同角度提出各具特色解决问题的方法时，这种思维碰撞所产生的智慧火花往往能够为课堂带来意想不到的惊喜，也能激发教师的教学热情和创新思维。教师可以从学生的讨论和发言中了解到他们掌握知识的情况，以及他们的思维方式和解题策略。这种反馈有助于教师进一步调整、完善自己的教学手段和方法，更好地培养学生的创新思维与能力。

### 1.4 撰写有机课程论文，培养学生科研素养

为培养学生的科研能力和学术素养，根据矿冶特色环境专业特点，分组布置有机课程论文，如矿井空气中烃类物质分析及危害、采煤过程中含酚废水处理等方法。学生需根据题目网上查阅资料，归纳、总结相关文献内容，并撰写一篇符合主流学术期刊发表标准的综述性文章。这对学生来说是一项具有挑战性的任务，课程论文不仅需要清晰阐明内在机理，还要求严谨地引用相关文献，同时确保字体、格式等细节都符合主流学术期刊规范，字数不少于3000字。课程结束时，学生需通过PPT形式汇报完成的论文。在撰写课程论文的过程中，学生需要在教材中找到与论文题目相关的内容，并通过文献检索收集、整理资料、总结前人成果、并结合自己的理解与思考，给出该领域的研究现状和发展趋势。通过完成这样一篇课程论文，学生不仅能够充分锻炼自己的自学、研究和发现问题能力，还能够对自己所学专业有更为深入和全面的了解。同时，在课程论文完成的整个过程中，小组成员相互协作，培养了学生们的合作精神和团队意识。此外，各小组学生走上讲台，面对其他同学，在PPT中汇报展示全组的成果，这样既锻炼了学生的表述能力，也在与其他同学的互动中，帮助学生对该课题及相应课程内容的理解加深。最终老师对学生的汇报进行点评，提出建议和指导，进一步提升学生的科研素养。

通过上述教学方法，教师角色从课堂的控制者转变为学生学习的促进者，从知识传授者转变为学生自主学习的指导者，从独立的劳动者转变为学习的合作者，从而建立起一种更加平等、和谐的师生关系。这些转变促进了师生互动，加强了沟通交流，激发了学生的学习主动性与探索精神<sup>[1]</sup>。学生在思考和展示中深化了对课堂内容的理解，增强了对有机化学及专业的兴趣，这种兴趣能够激发

学生主动探索未知的领域，不断开拓自己的眼界，使学生综合素质得到有效提升。与此同时，教师根据课程论文的质量，讲解、互动情况给出成绩，作为平时成绩激励性评价的组成部分，也为构建多元化考核体系奠定了基础。

## 2 调整评价标准，构建多元化评价考核体系

课程评价考核作为大学生学业考核的重要组成部分，是衡量教学质量和学生能力的关键因素。健全的过程考核评价机制，不仅能检测学生的学习效果，还可以激励学生主动参与到教学任务中，也是促进学生学习的一种手段<sup>[7]</sup>。传统的考评体系由平时成绩和期末闭卷考试的卷面成绩构成，平时成绩的打分依据为课堂出勤率和课后习题作业，并未关注学生在学习全过程中如课堂互动、课堂讨论的参与度，课程论文的完成情况，以及线上学习这些过程性表现。此外，由于课程最终成绩主要根据期末试卷成绩，导致学生常出现临时突击，只会死记硬背的应试习惯。尽管部分学生因此获得了好成绩，但这无法全面展现学生是否真正掌握有机化学机理及解决实际问题的能力。

结合有机化学课程的实际教学，本课程建立了涵盖全过程的多元化评价考核体系，以更客观、更全面地评估学生的学习效果。因此，本课程将平时成绩调整为50分，主要包括课堂小测(10分)、在线学习(10分)、考勤及作业(10分)、课程论文(10分)、课堂互动(10分)。其中，课堂小测、在线学习、考勤及作业为过程性评价；课程论文、课堂互动为激励性评价，评价指标见图3。课堂小测有助于教师及时了解学生知识的掌握程度，以便随时调整课堂讲解内容。在线学习则督促学生课前预习与课后巩固，并通过学习拓展资料丰富学生知识面。课堂互动能活跃气氛，激发学生热情，加分机制更能激励学生主动参与讨论及课堂提问、抢答，提升学生学习积极性<sup>[8]</sup>。如上所述，课程论文考查学生查阅文献、归纳、总结、思考、运用所学知识解决实际问题及讲解表述、互动等能力。期末考试为终结性评价，总成绩为50分(卷面分值100分，乘以系数0.5)，试题结合环境专业矿冶特色，除了必要掌握的内容，主要包括有机化合物的命名、类似化合物的鉴别、合成规定的目标有机分子等；考试内容也包含了作为环境专业学生毕业后从事如处理矿冶等环境中的废弃物所需有关有机化学基础理论知识的拓展题(图3)。考试成绩一定程度上既反映学生对基础知识的掌握状况，也体现其运用知识解决实际问题的能力。通过成绩，教师也可了解学生情况，进而调整授课内容及方式，提升教学效果。

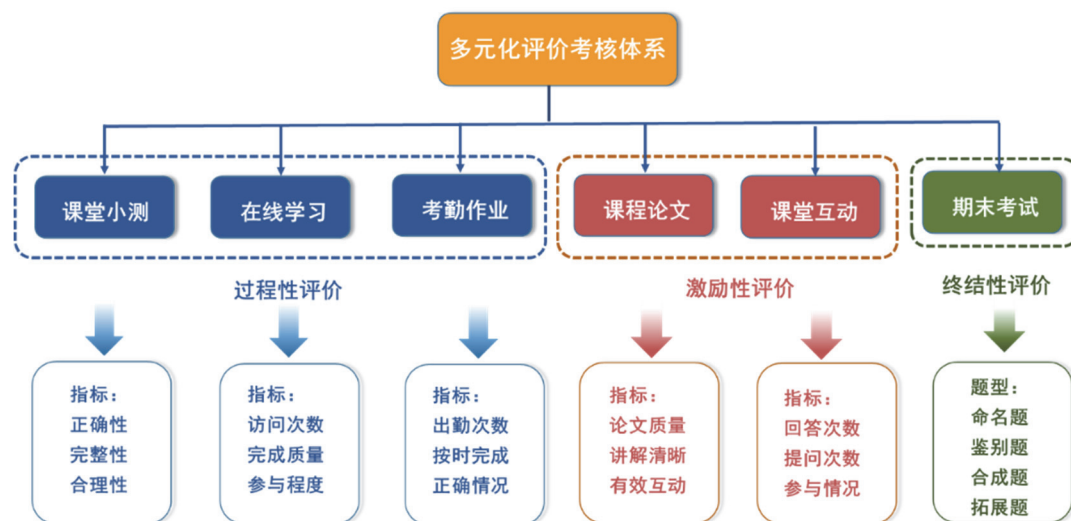


图3 构建多元化评价考核体系

## 3 融入思政元素，实现全面育人

习近平总书记强调，立德树人应成为高校工作的核心任务，思想政治工作需贯穿于教育教学的

始终, 实现全面、全方位的育人目标。作为环境专业的必修基础课程, 有机化学在大二年级下学期开设, 是学科平台课程之一。鉴于其开设时间较早, 结合环境专业、矿冶特色及有机化学的课程性质, 培养学生的环保意识和责任感, 使他们在掌握专业知识的同时, 也能深刻认识到保护环境的重要性, 肩负起应有的社会责任<sup>[9]</sup>。

如在第一章绪论中, 介绍有机化学的发展史可知, 自工业革命以来, 新型有机化合物极大地推动了人类文明与国民经济的发展。然而, 这些化合物在使用过程中产生的“三废”(废液、废渣、废气)问题日益凸显, 严重制约了经济与社会的可持续发展。绿色化学作为化学科学的新阶段, 旨在实现环境无害与可持续发展, 是保护环境、确保人类社会持续进步的有效途径。

在教学过程中, 结合矿冶行业的环境污染物及“三废”处理工艺实例, 说明只有不断创新, 大力发展绿色化学, 才能推动绿色矿山、绿色冶金, 全面提升生态文明, 促进人与自然和谐共生。如黄药(烃基黄原酸盐)通过分子中所含硫易于与金属形成金属-硫键, 因其便宜、捕收能力强、效果好, 被广泛应用于硫化矿浮选过程中。但是黄药是一种有毒物质, 若未经降解直接排放, 会严重损害人体神经系统。所以, 只有开发环境友好型的高效催化剂降解含黄药选矿废水, 才能实现矿冶产业、经济发展和环境保护多方共赢。而研究表明, 高效、绿色、无毒的负载型光催化剂 $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ , 通过产生 $\text{HO}\cdot$ 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 两种活性物种, 可以氧化黄药, 使C—C键、C—S键断裂, 进而使其降解<sup>[10]</sup>。由此可见, 通过创新, 我们可以实现矿冶环境的绿色发展, 达到“既要金山银山, 也要绿水青山”的目的。

将创新精神、绿色化学理念、可持续科学发展观和生态文明建设思想深度融入有机化学教学的每一环节, 使学生深刻体会到保护生态、解决矿冶环境问题与有机化学紧密相连。这不仅能激发学生学有机化学的热情, 还能增强学生对本专业的热爱与自豪感。同时也说明作为环境专业的学子, 可以利用有机化学知识守护祖国的青山绿水, 为子孙后代留下美丽宜居家园的同时, 实现中华民族伟大复兴的中国梦<sup>[9]</sup>。

#### 4 结语

矿冶特色环境专业有机化学教学改革是一项持久的任务, 需要师生的共同努力。这就要求教师的教學理念不断更新, 做到与时俱进, 充分体现环境学科与北京科技大学优势学科——矿冶工程的交叉与融合, 进而通过改进教学方法, 调整评价标准, 融入思政元素方面的改革措施, 最终使学习内容充满趣味, 学生动起来、忙起来, 课堂活起来, 提升课程的挑战度和创新性, 以及专业自豪感, 同时也践行社会主义核心价值观; 并在探索改进中不断提高有机化学课程的教学质量, 使学生能够全面掌握有机化学知识, 为培养具有合理知识结构和解决实际矿冶领域环境问题能力的高素质应用型人才奠定坚实基础。

#### 参 考 文 献

- [1] 宋娜, 马晓宇, 高明, 吴川福, 王晓娜, 汪群慧. 大学化学, 2023, 38 (3), 88.
- [2] 夏晓红. 大学化学, 2022, 37 (4), 2109055.
- [3] 王晋枝. 山西冶金, 2023, 46 (10), 91.
- [4] 王娜娜, 孙慧, 宋刚. 大学化学, 2022, 37 (4), 2109011.
- [5] 芦昌盛, 马海凤. 大学化学, 2018, 33 (11), 86.
- [6] Ke, X.; Zhang, F. J.; Zhou, Y.; Zhang, H. J.; Guo, G. L.; Tian, Y. *Chemosphere* 2020, 255, 126690.
- [7] 陈雯雯, 刘志凌. 云南化工, 2023, 50 (11), 166.
- [8] 张文会, 雷传文, 潘博文, 周英. 大学化学, 2023, 38 (5), 101.
- [9] 常雁红, 施春红, 周晓琴, 陈月芳. 中国冶金教育, 2022, No. 2, 83.
- [10] 刘林峰.  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ 光催化剂及其复合材料光催化降解黄药的研究[硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.