

## 新工科教育模式下的结构化学课程教学创新探索

罗琼, 徐志广, 许旋\*, 王干全, 彭彬

华南师范大学化学学院, 广州 510006

**摘要:** 在新工科背景下, 华南师范大学结构化学教学团队在新能源材料与器件(工科)专业中开展了结构化学教学的创新探索。课程的教学创新聚焦于如何将结构化学这门传统化学理科课程改造成符合“新工科”教育内涵的专业课, 其目标是构建新的教学模式。该模式以结构化学知识为载体, 旨在培养学生面向未来的科学思维、推理论证和工程实践创新能力。课程考试成绩以及学生对本课程的课堂质量评价均表明本课程得到学生一致认可, 达到令人满意教学效果。

**关键词:** 新工科教育; 结构化学; 课程教学创新; 教学模式

**中图分类号:** G64; O6

## Exploration of Innovative Teaching in Structural Chemistry Course under the Emerging Engineering Education Model

Qiong Luo, Zhiguang Xu, Xuan Xu\*, Ganquan Wang, Bin Peng

School of Chemistry, South China Normal University, Guangzhou 510006, China.

**Abstract:** In light of the emerging engineering education initiative, the Structural Chemistry teaching team at South China Normal University has undertaken innovative approaches to teaching Structural Chemistry within the New Energy Materials and Devices (Engineering) program. This innovation aims to transform Structural Chemistry, a traditional science course, into a specialized course that aligns with the principles of “emerging engineering education”. The objective is to establish a new teaching model that utilizes structural chemistry knowledge as a foundation for fostering students’ scientific thinking, reasoning, and innovative capabilities in engineering practice. Both course examination results and student evaluations of classroom quality demonstrate a high level of recognition and satisfaction with the teaching outcomes.

**Key Words:** Emerging engineering education; Structural chemistry; Course teaching innovation; Teaching model

2017年教育部正式发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》, 指出新工科应将科学与工程、教育与实践、继承与创新、交叉与融合相结合, 是面向多变不定的未来, 培养有牢固理论基础的多元化复合型和创新型卓越人才的新机制和新模式, 是我国工科教育改革的新方向<sup>[1]</sup>。结构化学课程是基于量子力学和量子化学理论等基础, 在原子和分子水平上探讨物质的结构和性质及其之间关系的课程, 是无机、有机和高分子化学及仪器分析等课程的理论基础<sup>[2,3]</sup>, 是大学理科化学专业唯一一门从微观的角度认识化学问题, 也是化学专业课程中唯一一门用演绎法讲授的课程。但是, 在原来

收稿: 2024-07-01; 录用: 2024-09-19; 网络发表: 2024-11-21

\*通讯作者, Email: xuxuan@senu.edu.cn

基金资助: 2023年华南师范大学校级精品一流本科课程及课程思政示范项目

众多院校的工科化学化工类专业本科生的培养计划中并未将结构化学列入修读课程。为了进行新工科教育模式的探索,华南师范大学从2018年开始在新能源材料与器件本科专业(工科、广东省一流专业)面向大学三年级学生开设了结构化学课程,以此作为新工科课程改革的突破口,进行教育理念、教学目的、教学目标、教学方法和评价体系等全方位的深度改革,以期探索出适应新工科强化基础教育,培养高质量新能源材料与器件类工程人才的新路径。新工科的改革对培养化工和材料等工科专业学生的科学素养和创新能力,对当前和未来的产业技术发展都有重要意义<sup>[4]</sup>。

## 1 对传统结构化学课程教育的反思

传统工科教育的主要内容是传授工程科学知识和技术,培养高级工程技术人才。传统工科教育中的缺陷集中突出地表现为忽视人文、社科教育<sup>[5]</sup>,其教育针对工程技术应用,对于基础理论知识的教育只能停留在够用的阶段。结构化学是一门知识内容相对繁杂,需要有足够的数学和物理基础的理论型课程,显然在传统工科教育语境下,结构化学不是一门值得开设的课程。

另一方面,受传统的教育理念传道授业解惑的影响,结构化学的教育模式基本上只是教师单向地向学生讲授,课程细致分解,逐项讲述清楚。对每一数学公式都不厌其烦地做详细推导,力求步步为营,着力使学生对每一步数学推导都能理解,跟上教师讲课进度,但是,难以充分调动学生学习的积极性和主动性。加之学生大多缺乏将所学知识对前期课程进行应用实践,也未能很好地发挥其在后续专业课学习中的理论基础作用,更不能与当前的相关科技发展前沿相联系,使他们缺乏自主学习和实践能力的培养,更难以适应新工科培养学生的科学素养和创新精神的教育理念。

## 2 新工科结构化学课程教学创新的总思路

以新工科人才培养内涵为导向<sup>[4,6]</sup>,以结构化学课程教师授课方式和学生学习方式的改革为切入点进行新工科结构化学课程的全面改革,教学创新的总思路如图1所示。首先,基于“新工科”的教育内涵和未来卓越工程师的基本素养,构建多层次思政体系,包括:(1)有利于学生形成学习工科的興趣;(2)有利于增强工科学生的价值感与使命感;(3)有利于培养工科学生在更高的境界上进行更高层次创造性工作的奋进精神。按照这个思政体系,教学团队提出“以讲授结构化学知识为载体,将‘新工科’的教育内涵融入教学过程,培养适应、甚至引领未来工程技术所需求的多元化创新人才”的教学目标,在此基础上打造面向“新工科”未来的结构化学课程教学体系。在具体实践过程中,教学团队将“新工科”的教育内涵凝练为“培养面向未来的科学素养”,将工科专业的结构化学教学目标具体化为“以结构化学知识教学为载体,培养学生的科学素养和创造力”。基于多层次思政体系将属于传统理科课程的结构化学改造成面向“新工科”未来的新结构化学课程。

为了实践图1所示的工科专业结构化学的教学目标总思路,不仅要求结构化学的教学要将结构化学知识要点讲解透彻,还需要将这些知识与无机、有机和分析化学的内容广泛联系,以帮助学生从微观理论思维角度理解上述课程的内容,进而在学习科学知识的同时,培养学生的科学思维和论证推理能力,进一步认识科学的本质<sup>[7]</sup>。因此,不仅教学内容繁杂,对学生数理基础要求高,而且要达到全面提高学生综合素质的目的。教学团队认识到,课程内容多与教学课时严重不足是教师面对的主要矛盾;经过大量实验训练的新能源材料与器件专业(工科)大学三年级学生大多薄弱的数理基础与课程的高数理基础要求是学生面对的主要矛盾;单纯性完成知识传授与培养大学生科学素养和创造力是教和学面对的主要矛盾。因此,教学团队必须解决下述三个基本问题:一是如何在基本概念讲授与数学推理之间取得平衡以激发学生的工科兴趣;二是如何构建结构化学与重大社会现实问题之间的关联以增强工科学生的价值感和使命感;三是如何在结构化学这门成熟的基础课程中发掘面向未来的创新思维方式,以培养工科学生在更高层次上的创新奋进精神,如图2所示。

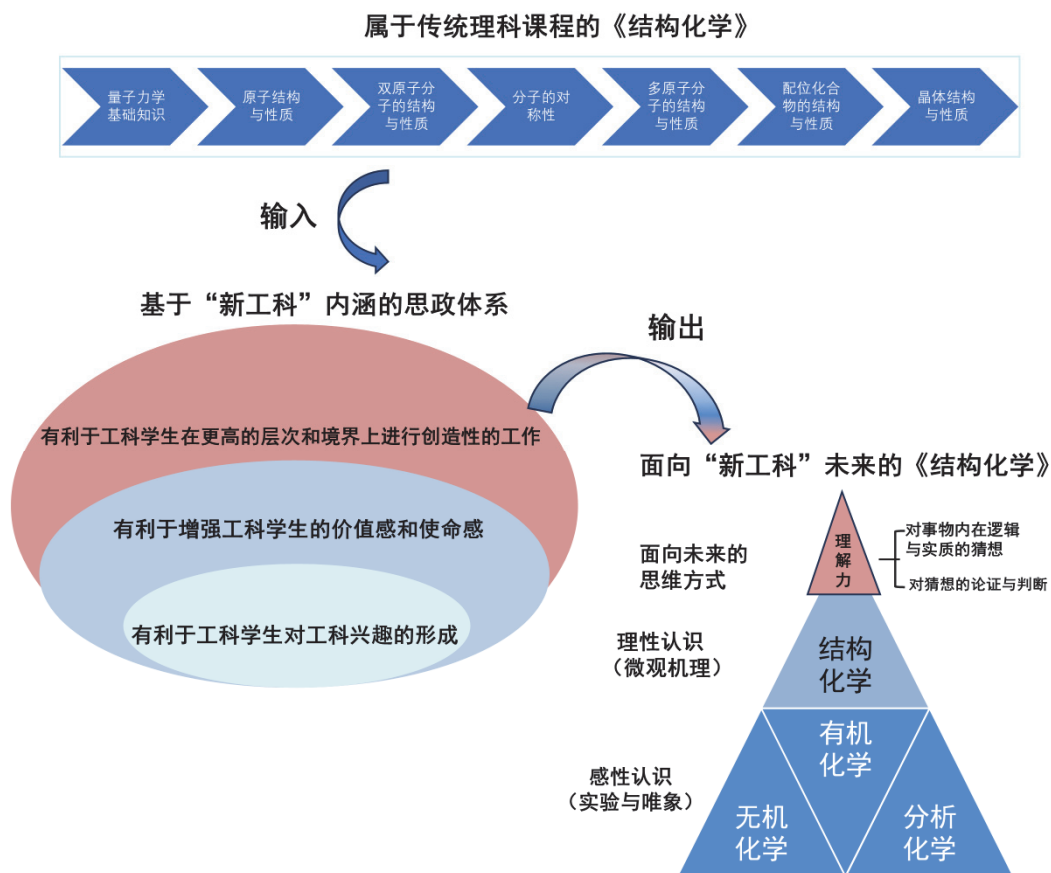


图1 结构化学课程教学创新的总路线图

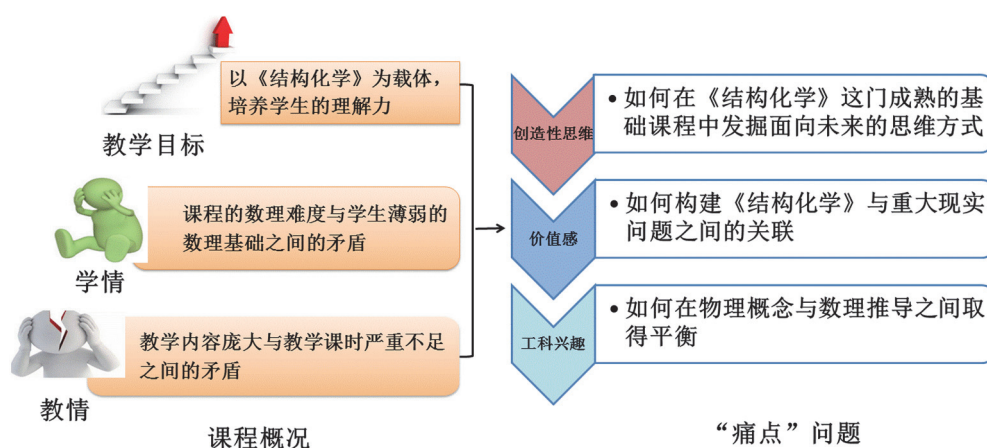


图2 结构化学的课程概况和“痛点”问题

### 3 新工科结构化学课程教学的改革实践

为实现培养能够适应甚至引领未来工程需求的多元化创新人才的目标, 解决“痛点”问题, 教学团队通过转变教学理念、重构教学内容、创新教学方法和革新教学评价来开展课程创新实践。具体措施如下。

### 3.1 转变课程教学理念

在“新工科”工程教育内涵的指引下，教学团队将教学理念从以传授课本知识为目的转变为以传授知识为载体，着力培养学生自主学习能力、科学素养和创新能力。在传授知识的同时着力分析历史上这些知识形成的原因和方式，引导学生用这种方式，在时间轴的未来点上畅想“未来卓越化学工程师”将会遇到什么问题，应该如何去解决。简单地说，通过课程教学的学习，在历史的发展中梳理出发现问题和解决问题的思维方式，以此，帮助学生在确定的课程知识和不确定的未来实践之间建立联系，培养学生的创造性思维。

### 3.2 重构教学内容

基于“新工科”的教学理念，本课程教学内容创新主要是：(1) 坚持培养以“知其所以然”的科学求真意识和实践精神；(2) 探究不同领域理论与概念之间的联系，建构跨学科概念；(3) 观察社会中的重大问题，构建“问题空间”，并思考如何通过科学技术去解决，以此培养学生的社会责任感；(4) 激发学生面向未来的思维方式和辩证推理，培养学生的科学素养和创新能力；如图3所示。根据本教学创新的新工科教学内涵，将重构结构化学课程的教学内容和教学目标如图4所示。特别要强调“组成单元，组成单元之间相互作用与‘结构和性质’这一人类探索宇宙的逻辑链和跨学科概念”。

具体而言，结构化学可分为两大部分，其一是量子力学和量子化学等理论知识，其应突出批判性思维和创新意识，即未来工程师的视野不只是体现在专业知识上，而是体现在构建“发现问题、分析问题和解决问题”的所谓构建“问题空间”的能力上。其二是理论知识在化学中的应用，其重在培养学生的分析与组合、比较与分类、抽象与概括等科学思维方法和发散性思维。其中根据体系的尺度分成的小分子和大分子结构与性质的关系两部分，用以培养学生审视科学规律应用边界问题的思维以及迁移能力，进一步提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。同时，通过反复强调不同物质的结构决定了物质的性质，反之，物质的性质也反映出物质的结构，使学生掌握结构和性能(功能)这一跨学科概念。特别地，我们将新能源材料与器件的设计、生产、应用以及回收等全链条过程中与相关结构化学知识进行关联，紧紧围绕新能源材料与器件专业来设计问题。图5给出了一些相关问题的案例。

### 3.3 教学方法的改革

在教学理念转变下，教学内容重构后，根据不同教学内容采用多种教学方法。对于基本概念的教学由教师主导采用问题导向式教学法；对于基本理论教学采用教师主导的模型化教学法；对于数学推导这部分内容的教学由学生主导，教师辅导通过线上教学资源自学和学生分组共同学习推导；对于小分子和大分子结构与性质的关系这部分教学内容采用教师与学生分别主导，教师在课堂上用案例法讲解知识点，学生课后分组讨论知识点在前沿问题上的应用。

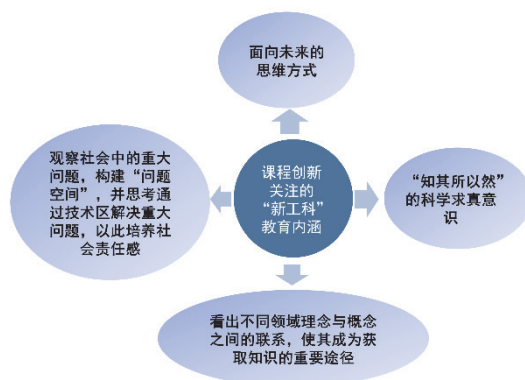


图3 本教学创新凝练的四个具体的“新工科”教育内涵

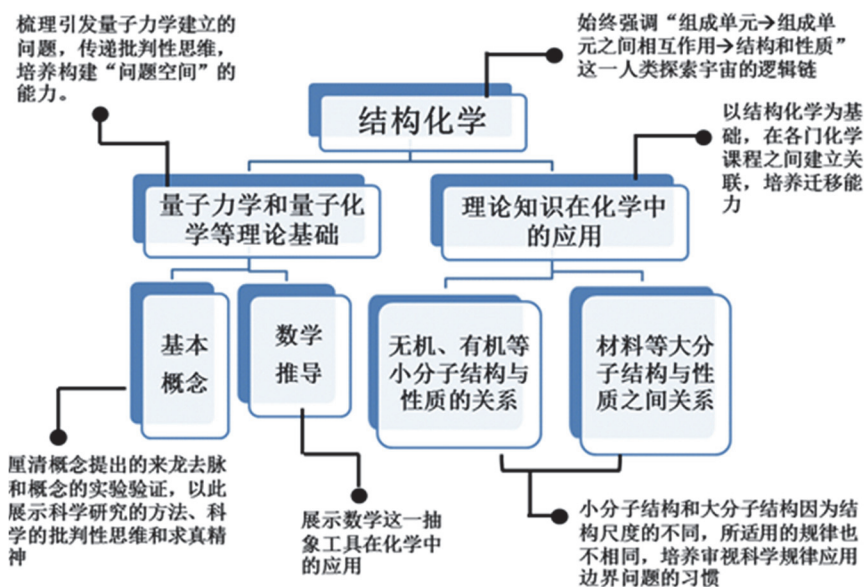


图4 基于图3列出的“新工科”教育内涵重构教学内容以及每部分教学内容的教学目标

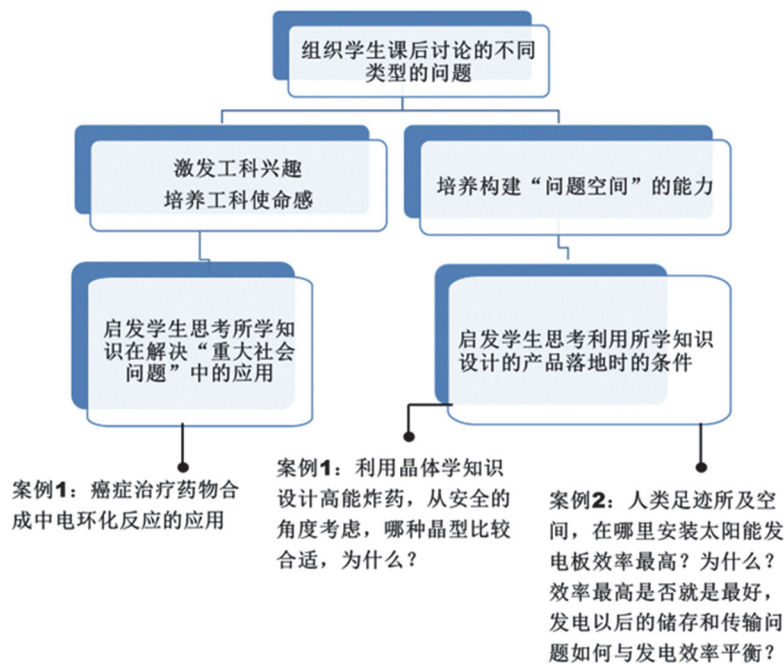


图5 用问题法组织学生课后讨论

以上教学方法的设计目的是，引导学生注重物理概念和基础理论的图像，避免学生在课堂上只关注复杂的数学推导。这既能够把数学推导占据的大量课堂教学时间释放出来，又能够避免数理基础薄弱的同学在课堂上陷入困境，从而解决了图2中提及的教情和学情中的矛盾，同时解决了课时不足的难题。通过师生互动达到以学生学习知识为载体，培养学生科学素养，自主学习和创新精神的目的。

为了帮助学生理解基本概念，培养面向未来的思维方式，我们的问题导向法是构建苏格拉底式环环相扣的问题串提问法，以此来组织课堂教学。例如，如图6所示，我们通过苏格拉底式的环环相

扣的问题串提问法<sup>[8]</sup>，从伽利略界定的“科学研究的对象只能是可观察的事物”出发，设计环环相扣的问题，自然而然地从观察的角度定量地给出了“微观”的定义。

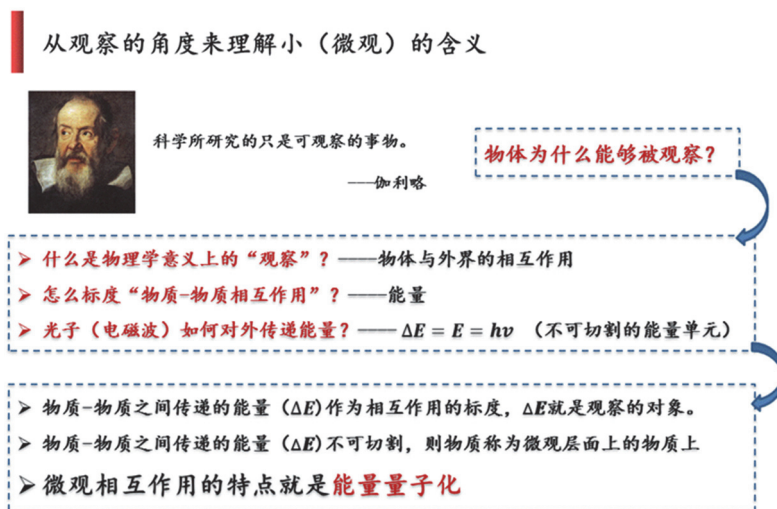


图6 苏格拉底式的环环相扣问题串提问导向教学法示例

另一方面，我们也通过提出问题来组织学生的课后讨论。如图5所示，用于学生课后讨论的问题主要分为两类。一类是，启发学生关注重大社会问题，请他们尝试利用科学前沿文献去寻找相关知识点在解决这些问题中的应用。这样做的目的是培养学生的工科兴趣，让他们发现所学即能所用，并培养他们的使命感和责任感。另一类是，让工科学生思考利用所学知识设计的产品生产时需要考虑的条件。这类问题有助于工科学生在多个维度思考问题，帮助学生建立学科交叉和融合的意识以及构建“问题空间”的能力，培养工程实践创新能力和社会意识，有利于培养学生在更高的层次和境界上进行创造性工作的能力。

### 3.4 多维度的教学评价体系

为了对教学内容和教学方法改革进行评估，教学团队建立了多维度的过程性考核和评价体系(图7)。对教师的教学，除了通常的教学团队相互听课评价外，并请学生通过定期给授课教师打分进行评价和学生分组讨论给教师提出建设性意见进行评价。对学生的学习，采用多维度计分，主要包括：

(1) 对下一节课相关开放性问题的课预习效果的自我评价(10%)，主要自查学生的自主学习能力和科学迁移能力；

(2) 对教师给定题目的分组讨论的小组同学评价(10%)，主要考查学生论证推理能力和科学伦理及社会意识；

(3) 对课程专题或文献自学的教师评价(10%)，主要考查学生的分析和综合以及抽象与总结能力；

(4) 对中期末闭卷考试试卷的教师评价(70%)，主要考查学生对课程知识的掌握程度和解决问题的能力的应用实践能力。如此综合评价教师教学和学生的学习成绩。

### 3.5 融合信息技术教学

结构化学教学团队除了组织课堂教学外还融合了信息技术，在2018年获批新工科结构化学在线开放课程平台，并且实施结构化学线上线下混合教学项目<sup>[9]</sup>。内容包括：课程的难点和重点的小视频、在线讨论室、每一章节小测试题、作业点评和留言板等，通过这些环节进一步加强教师与学生在教与学上的互动。有益于适时真实地反映学生的学习动态和方便学生对教学意见的反馈，更及时地改进教学工作。

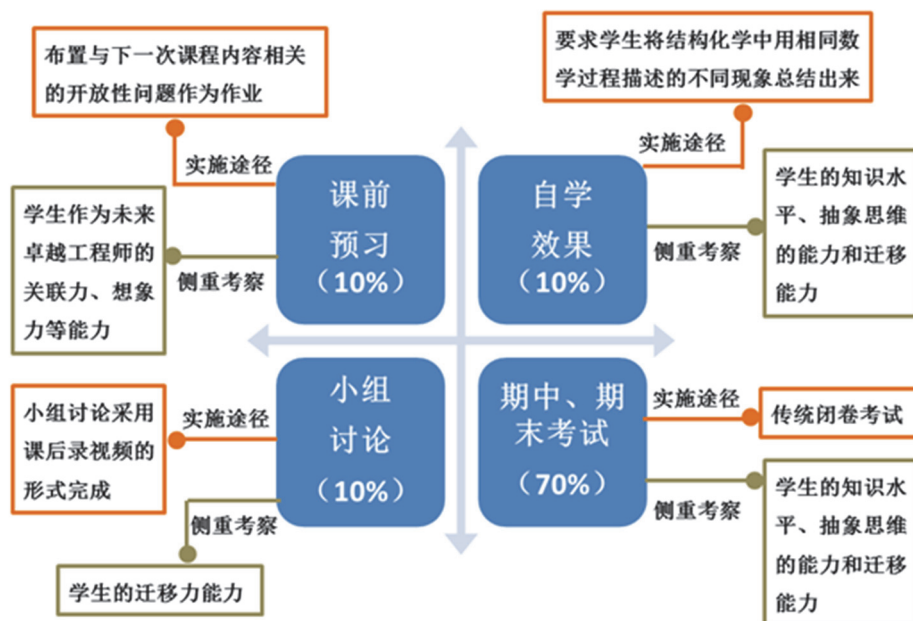


图7 过程性考核各个模块的实施途径和侧重考察点

### 3.6 教学实例——以“晶体的点阵理论”为例

这里以课程中第七章“晶体的点阵结构和晶体的性质”的第一节——晶体的点阵理论为例，介绍本课程如何进行新工科教育模式下的教学。该节课主要讲述晶体的点阵理论和晶胞的定义、分类和应用。相应的教学目标和内容见表1。

表1 “晶体的点阵理论”的教学目标和内容

项目	内容
教学目标	知识目标 掌握晶体点阵理论 能力目标 1) 帮助学生建立系统性、准确性和普遍性科学的思维方式，改变基于日常经验的直觉思维方式 2) 认识科学是以可观察现象为基础，用系统的方法对知识的追求，对可观察现象的理解 创新目标 1) 让学生理解结构是有尺度的 2) 让学生理解科学随时准备放弃现存体系而接受经过严格检验的、更加广博精深的新体系 3) 渗透思政元素，提高学生辩证思维模式
教学内容	1) 教学基本内容：晶体的基本物理性质、晶体结构的周期性和点阵的认识 2) 教学重点：点阵理论和晶胞 3) 教学难点：点阵理论

课前，我们要求学生在砺儒云课堂进行预习，要求同学们预先观看平台上的视频，并初步理解相应的概念，并结合专业知识思考晶体在工科化学材料上的应用。

在课堂上，首先介绍晶体的基本概念，引入晶体的两个看起来矛盾的物理性质，通过合理解释相互矛盾的物理性质提出点阵理论。以苏格拉底式的环环相扣的问题串提问法，在课中三连问：点阵如何连接起来？二维情况下是什么结构？三维情况下是什么结构？激发学生的多维思考分析能力。为避免学生在课堂上复杂的数学推导，引导学生注重物理概念和基础理论的图像，课堂中讨论“为什么平面点阵或空间点阵要选择并置的平行四边形或者平行六面体来表示？”这例子巧妙调和教情和学情中的矛盾，从数学推导的教学转换为面向未来的思维方式和辩证推理的教学。

另外, 以制备石墨烯材料的实验为例子, 讲述晶体在工科科研课题中的应用, 培养工科学子更高层次的创造性思维, 引起学生的高度关注。课后布置学生进行课后讨论题: 水的晶胞属于什么布拉维格子? 图中每个点代表什么? 二维冰的结构如何? 并且阐述北大等研究团队在*Nature*发文首次在实验上证实了二维冰的存在。请学生尝试利用科学前沿文献去寻找相关知识点在解决这些问题中的应用。

本案例充分体现新工科教学模式, 以传授结构化学知识为载体, 重点培养学生面向未来的科学思维、推理论证和工程实践创新能力。课前学生在砺儒云课堂平台进行预习和话题讨论; 课堂中将结构化学的原理与工科材料类相关应用充分结合进行教学; 课后的讨论题, 进一步巩固课堂讲授的知识, 培养学生学科交叉和融合的意识以及构建“问题空间”的能力, 工程实践创新能力和社会意识。

#### 4 结语

结构化学教学团队基于“新工科”教育内涵, 将结构化学这门传统理科课程改造为一门适合面向新能源材料与器件(工科)专业的专业必修课程。在改革和实践过程中, 探索出以结构化学知识为载体, 旨在培养学生面向未来的科学思维、推理论证和工程实践创新能力的教学模式, 使得工科学子在学习之后能够具备从原子、分子水平上理解新材料、新能源、新器件体系的视野。当然, 这些工作仅仅是新工科结构化学课程教学创新的初步探索, 我们将在总结经验教训的基础上继续进行教学创新实践。

#### 参 考 文 献

- [1] 阚风云, 陈彬. 中国科学报, 2017-03-14 (第6版).
- [2] 周公度, 段连运. 结构化学基础. 第5版. 北京: 北京大学出版社
- [3] 李炳瑞. 结构化学. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [4] 李培根. 国家教育行政学院学报, 2015, No. 1, 3.
- [5] 谈鸿奎, 宋志华. 黑龙江高教研究, 1998, No. 1, 29.
- [6] 李培根. 高等工程教育研究, 2017, No. 4, 1
- [7] R. P. 费曼. 什么是科学? //发现的乐趣. 张郁乎, 译. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2005.
- [8] 卢风. 自然辩证法研究, 2003, 19 (1), 6.
- [9] 徐志广, 许旋, 罗琼, 王干全, 彭彬. 大学化学, 2024, 39 (6), 195.