

化学“101计划”合成化学实验课程建设

陈洪燕^{1,2,*}, 侯雅君¹, 胡水¹, 韦卓勋², 朱芳¹, 苏成勇^{1,*}

¹中山大学化学学院, 广州 510006

²中山大学教务部, 广州 510275

摘要: 合成化学实验是化学“101计划”12门核心课程之一, 是面向化学及相关专业本科生的一门涵盖从基础合成到中高阶和综合合成的贯通式、全链条实验课程。与传统围绕二级学科分别开设实验课程的教学模式不同, 合成化学实验主要以合成方法为主线对实验知识体系进行重构, 着眼于有机、无机、高分子、超分子物质与应用性材料的合成, 构建完整的化学合成方法学体系。课程内容兼顾基础和前沿, 注重学科的交叉和知识的贯通, 并通过全链条综合实验的设计, 引领学生加强知识与技能的融合, 培养学生的科学思维和创新意识。本文将从课程定位、课程目标、课程设计思路、核心知识体系建设、教材/教案建设、师资团队建设等方面, 简要介绍合成化学实验课程的改革思路及建设情况。

关键词: 化学“101计划”; 合成化学实验; 课程建设

中图分类号: G64; O6

Construction of Synthetic Chemistry Experiment of the Chemistry “101 Plan”

Hongyan Chen^{1,2,*}, Yajun Hou¹, Shui Hu¹, Zhuoxun Wei², Fang Zhu¹, Chengyong Su^{1,*}

¹ School of Chemistry, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China.

² Office of Education Administration, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China.

Abstract: As one of the 12 core courses of the Chemistry “101 Plan”, synthetic chemistry experiment is designed as a through-type, full-chain experimental course for undergraduates majoring in chemistry and related fields, covering topics from basic synthesis to advanced synthesis and comprehensive synthesis. Unlike traditional teaching modes that separate experimental courses by secondary disciplines, this course restructures the experimental knowledge system around synthetic methods. It integrates the synthesis of inorganic, organic, polymeric, supramolecular substances, and applied materials to establish a complete methodology of synthetic chemistry. The course content balances fundamental and cutting-edge experiments, emphasizing interdisciplinary connections and knowledge integration. By designing comprehensive experiments across the full chain—including preparation and synthesis, separation and purification, structure and characterization, reaction and performance, and materials and applications—the course aims to help students strengthen the integration of knowledge and skills, fostering their scientific thinking and innovative consciousness. This article briefly outlines the reform ideas and construction of the synthetic chemistry experiment, addressing aspects such as course orientation, goals, design concepts, core knowledge systems, textbook/lesson plans, and the teaching team.

Key Words: Chemistry “101 Plan”; Synthetic chemistry experiment; Course construction

收稿: 2024-09-26; 录用: 2024-09-30; 网络发表: 2024-09-30

*通讯作者, Emails: chenhy33@mail.sysu.edu.cn (陈洪燕); cecscy@mail.sysu.edu.cn (苏成勇)

基金资助: 高等教育质量保障专项(化学“101计划”专项); 教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX2024-151); 高校教师教学组织和教学发展体系建设研究项目(“101计划”合成化学实验虚拟教研室)

基础学科系列“101计划”是教育部对基础学科本科教育教学改革的一项试点工程，主要以提高人才培养质量为核心，通过核心课程、核心教材、核心师资队伍和核心实践项目等基础要素的建设，牵引教育教学模式的“大改革”，从而培养基础学科拔尖创新人才^[1]。化学是首批“101计划”改革试点工程的九个基础学科领域之一。作为一门关乎国家战略和民生的基础性中心学科，化学在科学技术、国民经济、社会发展与国家安全领域都发挥着重要支撑作用。培养基础知识扎实、创新能力突出、家国情怀深厚的化学拔尖创新人才具有重要意义。

化学作为一门实验学科，其实验教学尤为重要，特别是有关合成化学的实验教学更是具有举足轻重的地位。这是因为，合成化学是化学学科的基础与核心，是认识世界、创造物质的主要途径和手段。合成化学通过不断创制和开发新物质来推动化学和相关学科的交叉、融合和发展，进而推动社会进步与科技创新^[2]。传统的合成化学相关本科实验教学主要是结合化学二级学科的理论课程，分别开设相应实验课程，如无机合成、有机合成、高分子合成以及综合化学实验。这种课程设置虽然有助于学生理解和掌握各门二级学科的知识，但知识面的覆盖和内容纵深与交叉相对受限；且不同课程涉及的合成方法知识点存在重复现象，缺乏贯通性，因而在推动学生发散思维的养成和对知识点全方位的掌握与运用方面力有不逮、系统性不强。此外，实验课程设置存在明显的学科壁垒，难以适应现今多学科交叉融合、相互促进的发展趋势。另外，部分实验内容较为陈旧，与研究前沿的结合明显不足。对于诸如超分子化学、现代合成方法、新材料、新能源、高通量自动化合成等新兴与快速变革的研究领域，传统的合成化学类实验课程涉猎不足；而作为本世纪最具颠覆性的技术之一，人工智能(Artificial Intelligence, AI)在合成化学领域已崭露头角并展现出巨大的发展潜力，有望带来变革性、颠覆性合成技术的进步^[3]，但相关内容尚未及时引入到本科实验教学中。综上所述，对合成类化学实验课程进行知识体系的改革和建设迫在眉睫。

合成化学实验是化学“101计划”12门核心课程之一。课程体系的设计旨在打破二级学科界限，从化学学科的整体视角、合成化学知识点的全面覆盖出发，构建完整的化学合成方法学体系，内容涵盖无机、有机、高分子、超分子和材料合成的方法学与表征手段，帮助学生厚植合成化学的基础知识和基本技能，进一步践行以科促教、科教融合，将最新科研成果转化融入到教学中，通过“制备与合成-分离与提纯-结构与表征-反应与性能-材料与应用”贯通式、全链条综合性实验的设计，引领学生将合成化学知识融会贯通，培养学生的创新意识和科学素养，为其从事基础化学研究及相关行业工作打下坚实基础。本文将具体介绍合成化学实验课程的建设思路、建设路径和建设进展。

1 合成化学实验课程设计

1.1 课程定位

针对当前高校本科化学实验教学存在的问题，化学“101计划”对实验课程做了较大革新，对课程内容体系进行了重构，按照从基础到综合两个层次，立足于合成化学与化学测量两大学科核心，同时兼顾学科交叉，建设基础化学实验、合成化学实验、化学测量学实验和化学生物学实验4门实验课程。其中，合成化学实验是一门面向化学及相关专业本科生的全新合成类核心实验课程。区别于基础化学实验和化学测量学实验，本课程主要教授无机、有机、高分子、超分子物质与应用性材料的合成方法学和表征手段，夯实合成化学基础知识和基本实验技能。课程内容既注重基础合成实验内容的建设，又强调前沿研究的教学转化，打造从基础合成到中高阶综合合成的贯通式、全链条实验课程。课程强调学科的交叉与融合、前沿与创新、贯通性与系统性，在厚植合成基本知识和实验技能的基础上，侧重培养学生的科学思维和创新意识，引导学生开展科研训练，为本科毕业论文设计和研究生培养打下坚实的基础。

1.2 课程目标

本课程是面向国家重大战略和社会发展需求，为培养化学学科拔尖创新人才而开设的一门全新实验课程。课程从专业基础、科学思维、创新意识三个方面设定课程目标。首先，通过对本课程内

容的学习和实践,使学生掌握无机、有机、高分子、超分子物质和新材料的合成方法和表征手段,构建完整的物质合成方法学体系,在巩固合成方法学理论知识的基础上掌握基本实验技术、提升物质创造能力;其次,通过引导学生综合运用所学基础知识和基本实验技术来分析和解决问题,培养其科学思维和素养,引导其开展科研训练;最后,通过在实验教学中引入合成化学相关领域新方法、新技术、新进展,拓宽学生的研究视野,激发其主观能动性和创造性,培养自主学习能力和创新意识,为从事基础化学研究与相关行业工作打下坚实基础。

1.3 课程设计思路

作为一门全新的实验课程,合成化学实验主要以合成方法为主线进行知识体系的构建。考虑到与基础化学实验、化学测量学实验两门实验课程内容的衔接和边界问题,以及学科交叉、科教融合的时代要求,将课程内容分为三大板块:基础合成化学、进阶合成化学和综合合成化学。其中,基础合成化学和进阶合成化学板块以无机、有机、高分子和超分子物质的合成方法及操作为基本知识点进行实验体系的设计,使学生掌握化学合成的方法和实验技术,构建完整的物质合成方法学体系。综合合成化学板块则以科技前沿和国家重大需求为导向,结合新能源、新材料和新合成技术进行实验体系的系统性设计:主要采用“制备与合成-分离与提纯-结构与表征-反应与性能-材料与应用”全链条实验的设计思路,引领学生打破二级学科界线,将知识融会贯通,提高其综合运用基础知识和基本实验技术的能力,培养其科学思维和创新意识。课程设计兼顾经典实验内容和科研前沿,同时注重学科的交叉、知识的贯通和可推广性,有利于帮助学生厘清合成方法学脉络,强化理论知识的消化与运用,具备系统性化学合成实践能力。同时,引入智能合成化学实验,帮助学生理解并运用人工智能辅助合成化学理念和方法。

2 合成化学实验课程建设

2.1 组织架构建设

合成化学实验课程由中山大学、吉林大学、兰州大学和四川大学4所高校牵头建设,中山大学苏成勇教授为课程负责人,郑兰荪、周其林和张希院士担任课程的指导专家。为高质量推动课程建设,在2023年4月化学“101计划”启动会召开后,即组建了牵头高校工作组,制定工作计划,组织30所化学拔尖学生培养计划2.0基地建设高校的骨干教师开展课程建设。4所牵头高校在课程建设中予以人员、条件、经费和政策方面的大力支持。此外,课程获批教育部第三批虚拟教研室建设试点,来自双一流高校、部属高校、西部和地方高校相关课程的一线教研人员以及出版社人员加入课程教研室,开展跨区域教学研究和课程协同建设工作。依托虚拟教研室,课程主要通过线上/线下推进会、研讨会、师资培训会等多种形式推动课程建设。

2.2 核心知识体系建设

按照课程的定位、教学目标和设计思路,本课程对合成化学的知识体系进行了重构,共包含三大板块,共计18个模块和45个知识点。课程的知识模块关系和知识图谱如图1和图2所示。其中,基础合成化学板块主要教授无机、有机合成的基础方法和基本操作,包含4个模块,分别为溶液合成、外场辅助合成、固相合成以及现代合成方法,共计13个知识点;进阶合成化学板块包含7个模块,分别为合成操作与技术、组装合成、手性合成、多样性与多步骤合成、链式聚合、逐步聚合以及高分子的化学反应,共计16个知识点;综合合成化学板块则围绕催化、材料、生命、环境、能源、信息等科技和应用领域,结合合成化学重要进展和合成技术发展,设置7个模块,包括催化材料、能源材料、光电功能材料、生物医用材料、环境分析材料以及仿生智能材料的合成与性能6个全链条实验模块和1个智能合成模块,共计16个知识点。特别地,基于AI技术在化学合成领域的飞速发展和巨大潜力,创新性地将智能合成引入到本科实验教学体系中。课程建议学分学时为8学分、256学时,其中内容归属于无机合成、有机合成、高分子合成和综合实验部分的内容建议学时为分别不少于72学时、72学时、40学时和72学时,建议开课学期为第3、4、5、7学期(以8学期计)。

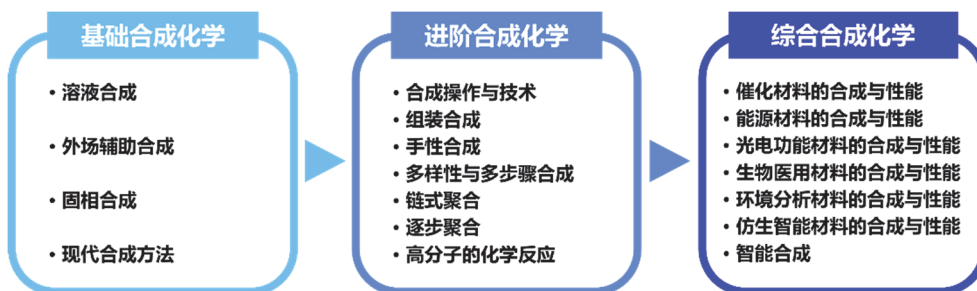


图1 合成化学实验课程板块和知识模块关系图

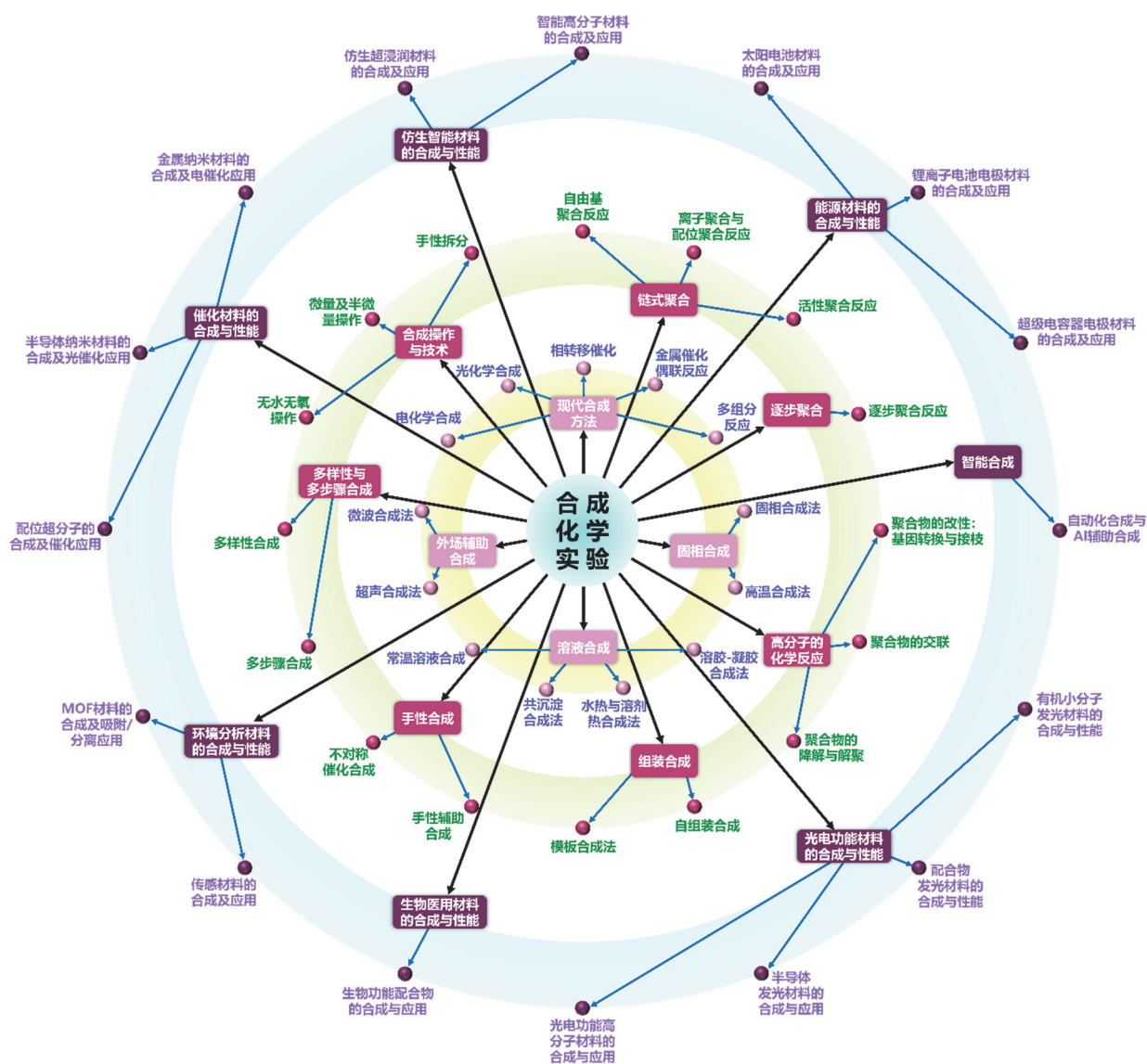


图2 合成化学实验课程知识谱图

2.3 教材/教案建设

本课程充分借鉴国内外相关优秀教材的经验，建设以纸质教材为核心，电子教案、扩展阅读、计算模拟、仿真实验、经典文献等数字化资源为辅助的新形态教材。其中，教材侧重于“教什么”，

注重教学内容(实验项目)的编写,搭建化学合成方法学体系;电子教案则侧重于“怎么教”,对具体的学时、实验教学方式和方法、教学评价等给出建议和参考;而数字化资源则有助于学生深度学习、开阔视野、了解前沿动态、培养科学思维。在教材和教案编写的基础上,对整个课程体系给出开课建议。

课程工作组深入调研了化学拔尖学生培养计划2.0基地建设高校的培养方案和合成类实验课程的开设情况,面向各高校开展实验项目征集、整合和筛选工作。实验项目筛选兼顾经典内容和科研前沿,注意与基础化学实验和化学测量学实验两门实验的衔接和边界,同时注重安全性和可推广性。经专家指导和课程组成员的多轮讨论,每个知识点精心遴选了1-3个实验项目,兼顾基础和高阶,满足不同层次学生对课程创新性、高阶性和挑战性的需求。课程工作组组织相关一线教研人员进行教材的编写工作。教材将在高等教育出版社出版,并采用在副栏中放置二维码等方式链接拓展阅读、虚拟仿真等数字资源,进一步丰富和拓展纸质教材的内容。

电子教案是化学“101计划”的重点任务之一,也是一个重要特色。本课程电子教案的编写重点关注实用性和可推广性。考虑到合成类实验的开课时长,采用模块化、单元化、组合性原则设计实验,给出教学建议和参考PPT课件。每个实验按照合成、表征、性能、应用等设计模块,各模块给出建议学时;组合模块设计单元实验,每个单元实验半天内(< 6学时)可完成;进而组合单元实验(6N)形成完整的实验项目;各高校可根据培养层次和需求、自身实验条件以及具体学时选择实验项目和实验单元。本课程电子教案集将在高等教育出版社出版,进行推广和试用,为推动合成化学实验课程的教学改革与创新实践提供支持。

2.4 AI赋能合成化学实验教学探索

利用AI赋能化学学科“教”与“学”,有助于实施个性化教学,提升教学质量,帮助学生了解科研前沿,开拓视野,对于拔尖创新人才的培养至关重要。目前对于AI赋能高校化学教学的探索主要集中于理论课程,探索AI赋能实验教学的教育新场景和新方案十分必要。本课程创新性地将智能合成内容引入到课程教学中,引导学生了解科研前沿,掌握AI辅助化学合成的方法,培养科学思维 and 创新能力。此外,课程组组织开展了基于大语言模型的合成化学实验教学研究,探索构建适合于合成化学实验教学的AI平台及其应用的教学场景(包括课程设计、AI助教等),实现合成化学实验课程教学模式的革新,为AI赋能化学实验课程教学提供参考和经验。

2.5 师资队伍建设

合成化学实验课程主要以建设一流课程、教材/教案为载体,通过教学研究、教学培训、课堂提升、教学研讨等多种形式交流研讨、互鉴互学,切实提升教师的教育教学水平,培育一支一流师资队伍。课程组积极组织成员参加教学改革研究,在中山大学校级质量工程项目、教育部实验教学和教学实验室建设研究项目、高校教师教学组织和教学发展体系建设研究项目等均有立项。此外,基于阶段性建设成果,于2024年8月19-22日在兰州举办化学“101计划”合成化学实验课程建设研讨和培训会,来自全国29所高校的60多位教师与会交流,使合成化学实验内容改革理念共识进一步凝聚,对课程、教材、教案和核心师资队伍的建设、改革和创新起到了积极的推动作用。

为进一步提高教材、教案的编写质量,改善课堂教学质量,课程组在化学拔尖学生培养计划2.0基地建设高校间组织开展课堂提升工作,促进教师间课堂教学实践的交流,改善教学内容和教学方式,引导教师注重教学研究。按就近原则将30所高校划分为4大片区,分别由4所牵头高校负责,每个大区设置1名负责人,征集课堂观察的实验项目、课堂观察教师,每周开展实验课的现场观察和线上观察活动。听课专家注重课堂学生的反馈和观察,并在课程结束后与授课教师交流,指导课堂教学方式和教学效果的改进。2024年春季学期共组织线上及线下课堂提升活动21场,共50余名教师参与,回收听课记录表49份。

3 结语

合成化学实验是面向化学及相关专业拔尖人才培养的一门涵盖基础合成、中高阶合成和综合合

成的核心实验课程。课程突破传统二级学科壁垒，重构合成化学知识体系，内容兼顾基础和前沿，从专业基础、科学思维和创新意识三个维度引导学生夯实合成化学实验基础知识和实验技能，强化知识的融合和运用，培养其科学素养和综合素质。目前已开展课程、教材、教师、教法等核心要素的改革和探索，以期实现合成化学实验课程教学内容、教学模式、教学评价等方面的革新，进而提升教学质量，达到提升化学学科拔尖创新人才培养质量的目标。

参 考 文 献

- [1] 基础学科系列“101计划”工作推进会暨计算机“101计划”成果交流会召开. [2024-07-30].
http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/moe_1485/202404/t20240419_1126372.html
- [2] 中国科学院. 中国学科发展战略·合成化学. 北京: 科学出版社, 2016.
- [3] Hong, X.; Yang, Q.; Liao, K. B.; Pei, J. F.; Chen, M.; Mo, F. Y.; Lu, H.; Zhang, W.-B.; Zhou, H. S.; Chen, J. X.; *et al. Sci. China. Chem.* **2024**, 67, 2461.