

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202005081

www.dxhx.pku.edu.cn

厚基础、强交叉、重创新：精细化工新工科专业课程体系的构建

王成云*, 张文清, 朱为宏

华东理工大学化学与分子工程学院, 上海 200237

摘要: 在建设高等教育强国、建设创新型国家时代大背景下, 新工科理论研究与实践在全国范围内展开。华东理工大学精细化工新工科专业课程体系依托化学、化工、材料三个国家一流学科, 以理科化学为基础, 强化生命医学、分子工程、功能分子工程、工程基础和精细化工工程等多学科模块交叉融合, 着重推出精细化工专业创新课程模块, 构建了厚基础、强交叉、重创新的新工科专业课程体系, 服务于培养基础厚、工程能力强、综合素质高的本科创新人才, 形成了双一流学科建设背景下的新工科建设“华理模式”。

关键词: 新工科; 课程体系; 创新; 学科交叉; 精细化工

中图分类号: G64; O6

Construction of Curriculum System of Emerging Engineering Education for Fine Chemicals: Thick Foundation, Strong Integration, Emphatical Innovation

Chengyun Wang*, Wenqing Zhang, Weihong Zhu

School of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, P. R. China.

Abstract: In the context of building innovative and higher educational powerful country, the theory research and practice of emerging engineering education (3E) are carried out in China. Depending on the first-class disciplines of chemistry, chemical engineering and materials, the curriculum system of fine chemicals 3E major is constructed in ECUST: thick foundation of scientific chemistry; strong integration of multidisciplinary modules such as biomedical, molecular engineering, functional molecular engineering, engineering foundation and chemical engineering; emphatical innovational curriculum. The system will serve to train talents with thick foundation, strong engineering ability and higher comprehensive quality, thus an ECUST model of 3E construction can be formed in the context of double first-class discipline construction, which may be helpful for other majors to construct 3E courses.

Key Words: Emerging engineering education; Curriculum system; Innovation; Multidisciplinary integration; Fine chemicals

1 引言

当今世界正处于百年未有之大变局, 以信息技术为代表的新一轮科技革命和产业变革浪潮席卷世界, 促使工程教育不断创新, 在世界范围内兴起了“新工科运动”。如麻省理工学院提出“新工程教育转型”(New Engineering Education Transformation, NEET)计划^[1], 斯坦福大学推出“斯坦福-

收稿: 2020-05-29; 录用: 2020-06-22; 网络发表: 2020-07-06

*通讯作者, Emails: zhwqing@ecust.edu.cn; cywang@ecust.edu.cn

基金资助: 华东理工大学本科教改项目“基于 OBE 理念, 优化专业建设, 重构专业课程体系”(JGJ00201001); 教育部新工科研究与实践项目“精细化工与分子工程专业建设与实践”

2025”(Stanford 2025)计划^[2],英国提出“未来工程师”(Tomorrow’s Engineers)计划^[3],日本筑波大学推行“学群再编”制度^[4]等。与此同时,一些发达国家的世界霸权主义和冷战思维阴魂不散,不断在中华民族伟大复兴进程中制造“卡脖子”事件,千方百计阻挠中华民族的崛起。解决卡脖子的尖端核心技术问题只能靠我国自身的人才培养,这给高等教育带来前所未有的机遇和挑战。为加快发展具有引领性的“新工科”专业,改造升级传统工科专业,主动布局未来战略必争领域的人才培养,提升国家硬实力和国际竞争力,在教育部的的主导下新工科工程教育迅速由顶层设计走向具体实施阶段^[5,6]。目前,不少高校在化学化工类新工科建设方面进行了大量有益的探索^[7]。

2 精细化工新工科专业课程建设背景及思路

以精细化工产品为代表的高性能化学产品工程,以分子工程为基础,强调化学品结构的精确定制,在分子尺度上对化工产品性能进行研究,探讨化学品分子结构、分子聚集结构与特定性能的关系,在此基础上设计、制造高性能的新化学产品,满足化工产品的精细化、功能化、专业化、器件化和绿色化。

精细化工的迅速发展催生了一系列高新技术和新兴产业(图 1),呈现传统精细化工产品与功能材料化工前沿并重,并向电子及信息技术新材料、新能源、精准医学、分子探针及靶向治疗、药物缓释、环境催化、国防军工材料等交叉发展,使得精细化工成为当前发展最为迅速、处于国际学术最前沿的新型交叉复合工程学科之一。然而,我国基于分子工程的精细化工的学科交叉复合型技术人才非常缺乏,培养能力严重不足。面对精细化工产品智能制造新的国际产业动态,结合教育部《关于开展新工科研究与实践的通知》文件精神,华东理工大学正式启动“精细化工”新工科专业建设,探索基于分子工程的“精细化工”新兴工科专业教育的新理念和新思路,制定以多学科交叉为特征的培养方案,重组并优化涵盖各学科基础知识的新工科专业的课程体系和教学内容,强化创新创业能力和跨界整合能力培养,为相关新工科建设积累提供理论研究及实践经验。

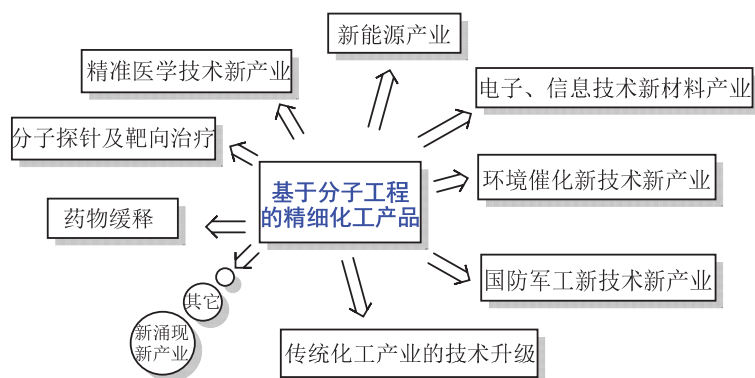


图 1 基于分子工程的精细化工产品催生的部分新技术新兴产业

精细化工曾作为大学本科专业在华东理工大学、天津大学、大连理工大学等许多高校开设过,后因专业目录调整而停办,但仍作为应用化学或者化学工程与工艺专业的一个培养方向继续存在。原有精细化工专业或者专业方向,其课程体系要么化学类基础课程学时不足,难以从分子工程层面上适应精细化工行业发展的新态势和可能出现的新行业;要么与光电磁生物医学等学科交叉融合不足,难以满足当前高新技术发展的新需求。针对前述问题,华东理工大学化学与分子工程学院精细化工系进行了一系列思考与探索,2017年获批教育部新工科研究与实践项目“精细化工与分子工程专业建设与实践”,2018年获批精细化工新工科专业,并于2019年开始招生。在精细化工新工科专业课程体系建设过程中,我们注重夯实化学基础,建设和整合生命医学教育模块、分子工程教育

模块、功能分子工程教育模块、工程基础教育模块和精细化工工程教育模块,强调多学科交叉融合,并开设了精细化工分子工程国际前沿进展课程;建设专业创新教育模块,使创新教育贯穿大学四年。以培养基础厚、工程能力强、富有创新思维和创新能力强的高素质本科人才,助推一流本科专业建设,见图2。

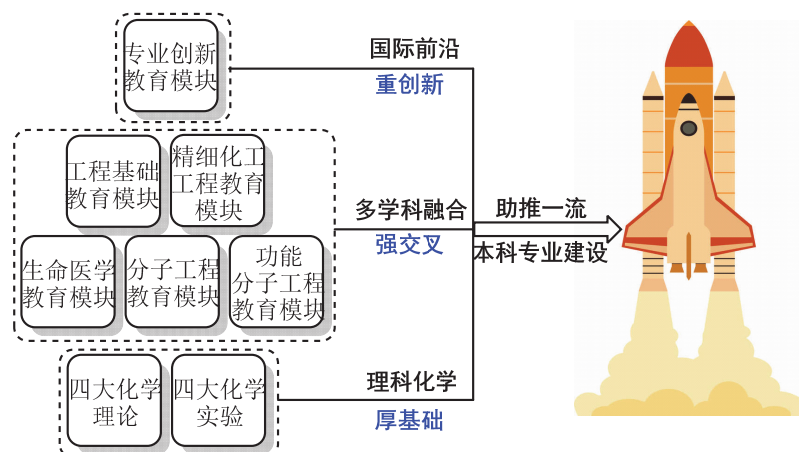


图2 厚基础、强交叉、重创新的新工科专业课程体系助推一流本科专业建设

3 新工科专业化学基础课程体系的构建

精细化工不同于一般意义的化学工程,应该更加强调化学产品工程理念,通过对化学产品的结构调控,开发出高附加值产品,实现化工产品的结构可控、定制、功能化、专用化及其高效制备。要使毕业生能在分子层面上对化工产品进行调控和功能化,势必需要深厚的化学基础,对物质分子有更深层的理解和把握。为此,在学科基础课程方面,我们按理科化学的强度开设理论课和实验课(表1)。其中学分一栏里加号“+”表示开设两学期,如无机化学课程“4+2学分”表示第一学期4学分,第二学期2学分。

表1 四大化学理论课程及实验课程设置

理论课		实验课	
化工类传统工科	精细化工新工科	化工类传统工科	精细化工新工科
无机化学(4学分)	无机化学(4+2学分)	无机化学实验(1学分)	无机化学实验(2学分)
有机化学(4学分)	有机化学(4+2学分)	有机化学实验(1学分)	有机化学实验(2+1学分)
分析化学(2学分)	分析化学(2学分)	分析化学实验(1学分)	分析化学实验(1.5+1学分)
物理化学(4学分)	物理化学(3+3学分)	物理化学实验(1学分)	物理化学实验(1.5学分)

化学在很多技术和产业的形成和发展中发挥着基础性作用,是现代社会产业结构建立和升级的最主要推动力。按照理科化学的强度来开设精细化工新工科专业的化学类基础课程及其实验课程,可以避免以往化工类传统工科的化学类基础课程及其实验课课时偏少的问题,保证学生既能系统学习化学类基本原理又能学习相关学科方向最新动态。通过加强学生科学素养培养,拓展学生的学科视野,可以提升其研究能力、应用开发能力和技术推广能力,使学生在后期学习其他知识模块后形成复合型的知识和能力结构,能够更好地以化学的观点和方法去观察、思考 and 解决重大基础性、挑战性问题,从应用需求出发研究发现新原理、新方法、新物质、新材料,形成新产业。一方面可以解决化学新技术的应用转化问题,另一方面又为解决能源、材料、生命、医学、环境等学科领域的

重大技术难题提供突破口^[8]。

4 新工科专业跨学科交叉融合的专业课程体系的构建

世界范围内的精细化工行业发展日新月异。出于对精细化工行业发展态势的理解和洞察,我们进行了一些思考和探索,在制定精细化工新工科专业课程体系时,建设了生命医学教育模块、分子工程教育模块、功能分子工程教育模块、工程基础教育模块和精细化工工程教育模块,开展多学科交叉融合培养。

4.1 分子工程教育模块

以分子工程为基础,强调化学品结构的精确定制,有针对性地通过分子设计,运用一系列成熟的甚至新的反应方法,优化工艺路线,开发和生产高附加值、高性能的精细化工产品,确保成本合理、能资源再生和环境友好,实现“人、产品和生态环境”的和谐发展。为此,须使学生在分子层面上理解精细化工产品,培养学生的分子工程思维。要形成分子的工程概念,对物质分子的分离、分析和鉴定至关重要,在课程上设置了仪器分析、波谱学导论、分离分析化学等相关课程;其次,开设高等有机化学、有机化学反应机理、高分子化学等课程,提升学生对物质分子的反应、设计和构造等相关内容的理解和拓展能力,见表2。

4.2 生命医学教育模块

借鉴和运用化学的科学方法,从原子和分子水平上理解和研究各种生命现象成为当前化学、化工、生命医学交叉融合的最前沿学科。当前,世界范围内的精细化工产品已发展到与生物、医药紧密结合,形成了多学科交叉融合状态。精细化工一个很重要的方向是精准医学化工产品,涉及DNA测序、疾病诊断、定位、靶向给药和精准治疗等等。为此,我们考虑在精细化工新工科课程体系中建设生命医学教育模块,开设生物化学、细胞生物学、生物医用材料、药物化学、制剂工程等课程,强调学科交叉,培养化学、化工、生物医药复合型人才,为进一步开发精准医学类精细化工产品及其相关研究打下良好基础,见表2。

4.3 功能分子工程教育模块

传统意义上的精细化工,最初都来源于经典的染料化学化工。近些年来,在全世界范围内,染料的研究和发展正经历着一场重大的变革。利用特定染料分子的光吸收、光发射、光致极化、光电活性、磁学效应、化学或光化学活性、生物活性等特性应用于信息存储、信息显示、喷墨打印、微电子、太阳能电池材料、非线性光学材料、精准医学等高新技术领域,从而形成了功能性色素交叉学科方向,推动了精细化工多学科的交叉融合。而功能性色素各项优异性能的理论根源都主要在于染料分子的电子结构,取决于这些染料分子层面上的各种原子的排列组合。在分子尺度上对这些新

表2 分子工程、生命医学、功能分子工程、工程基础等教育模块课程设置

分子工程教育模块	生命医学教育模块	功能分子工程教育模块	工程基础教育模块
仪器分析(必修)	生物化学(必修)	精细化学品化学(必修)	电工学(必修)
波谱学导论(必修)	细胞生物学(选修)	有机功能材料化学(必修)	电工学实验(必修)
分离分析化学(必修)	生物医用材料(选修)	光电材料理论基础(必修)	化工原理(上)(必修)
高等有机化学(选修)	药物化学(选修)	光催化导论(选修)	化工原理(下)(必修)
有机化学反应机理(选修)	制剂工程(选修)	光催化原理与应用(选修)	化工原理实验(上)(必修)
高分子化学(选修)		功能高分子材料(选修)	化工原理实验(下)(必修)
		助剂化学(选修)	化工制图(必修)
			化工原理课程设计(必修)
			工程基本制造技能训练(必修)

型功能分子的设计、研究和生产形成了精细化工新工科的内涵之一。在课程体系方面建立了功能分子工程教育模块,设置了精细化学品化学、有机功能材料、光电材料理论基础、光催化导论、光化学原理与应用、功能高分子材料和助剂化学等课程,见表2。

4.4 工程基础教育模块

当前,在全球范围内,一些理工科大学的工程教育不同程度存在着以理科教育的方式培养工程师的现象,工科学生的实践动手能力有待提高。我国高等教育受考核方式的影响,工科教师唯论文思维有一定的市场。与此同时,工科教师缺乏工程背景,或长期与工业企业脱钩。这些问题的存在促使我们对新工科建设进行了一系列的思考和探索。

精细化工新工科建设借助华东理工大学的工科尤其是国内化工翘楚的优势,通过整合原有的工程基础课程和工程实验教学资源,配备校内优秀师资,聘请校外企事业单位技术人员以及优秀校友,完善多主体协同育人机制,创新工科人才培养模式,建立新的课程设计和实训体系,强化工程基础教育,培养学生综合工程能力。为此,精细化工新工科建设有工程基础教育模块,设置了电工学、电工学实验、化工原理、化工原理实验、化工制图、化工原理课程设计、工程基本制造技能训练等课程,见表2。

4.5 精细化工工程教育模块

精细化工产品种类繁多,各类精细化学品的制造技术却有显著共性。随着新工科建设从理念到实践,精细化工新工科教育应该主动应变、主动求变,着力培养学生精细化工工程化思维理念,注重反应方法、反应工程设计、智能建造、智能操作能力的学习和训练。打通化学、化工、自动控制、计算机等学科专业,强化多学科交叉融合,培养兼具工程制造和科学发现能力的卓越工程人才。同时,注重培养学生的绿色精细化工意识,从源头、工程、产品全产业链中,发展绿色技术、环境友好技术、环境安全技术或洁净技术,实现人与环境、经济和社会的协调发展。为此,精细化工新工科课程体系建设有精细化工工程教育模块,主要设置精细化工反应工程、精细化工工程与设备、精细有机合成方法与工艺学、精细化工安全与环保、精细化工专业实验(I)(II)、化工自动化仪表、计算机化工应用等课程,见表3。

表3 精细化工工程、专业创新等教育模块课程设置

精细化工工程教育模块	专业创新教育模块
精细化工反应工程(必修)	科学训练(I)(必修)
精细化工工程与设备(必修)	科学训练(II)(必修)
精细有机合成方法与工艺学(必修)	精细化工分子工程前沿进展(限选)
精细化工安全与环保(必修)	精细化工专业英语(限选)
精细化工专业实验(I)(必修)	文献检索(限选)
精细化工专业实验(II)(必修)	毕业论文毕业设计(必修)
化工自动化仪表(选修)	
计算机化工应用(选修)	

5 新工科专业创新课程体系的构建

创新是民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。当前,国家对科技创新和创新人才培养的需求比以往更加迫切。在这个大背景下,精细化工领域创新人才的培养显得非常紧迫,急切需要具有创新思维和创新能力的精细化工英才,他们能根据基础化学理论,研究物质化学结构与其性能的内在规律,在此基础上设计出具有特定功能的新化学结构,同时根据需要探索新化学结构物质分子之间或与其他物质分子之间的聚集结构,实现多组分分子协同创新,结合化学方法用工程化思维

解决化工过程, 最终实现精细化工产品和工艺过程的综合创新, 从而实现对化学化工行业的引领, 推动高性能精细化工产品对其他行业领域的支撑作用, 带动国家整体产业技术的进步。

要实现上述人才的培养, 必须要有国际视野, 要具有能利用行业领域专业语言及其工具来了解和洞察国际学术前沿的能力, 以及成体系的科学训练。为此, 精细化工新工科建有专业创新教育模块, 见表 3, 在低年级时开设科学训练(I), 给学生介绍科学研究方法, 对学生进行初步的科学训练, 提高工科学生科学素养。在高年级时开设精细化工专业英语、文献检索、精细化工分子工程前沿进展、科学训练(II), 以及毕业论文(毕业设计)。其中精细化工分子工程前沿进展由中国科学院院士田禾教授牵头, 邀请学校科研名师开设专题讲座, 就精细化工某一个研究方向领域的前沿进展, 结合自身的最新科研成果, 为学生作一个全方位的介绍, 真正做到科研反哺教学, 把精细化工最前沿的创新动态展现在学生的面前, 在学生心中培育创新的种子和萌芽, 从而达到激发学生兴趣、促进深度学习目的。“科学训练(II)”通过教师有目的预设具有工业应用背景的微课题, 也可以由学生根据自己的兴趣自选课题实施大学生创新创业训练计划项目, 在专业教师课题组或者学校国家实验教学示范中心, 独立开展课题导向的科学研究训练计划, 旨在鼓励学生开展系列科研实践, 按照学生兴趣自主选择, 填写科研课题的任务书, 并按照任务书的要求进行文献调研、设计实验方案, 在实验中着重分析问题以及解决问题能力的养成, 自主完成科学研究训练。这种基于项目的主动学习, 能极大地调动学生的学习积极性, 服务于创新意识和创新能力的培养^[9]。

6 结语

在教育部新工科研究与实践项目和华东理工大学本科教改项目支持下, 华东理工大学启动了精细化工新工科专业建设, 重构了专业课程体系。项目总结了原有精细化工学科方向的不足之处, 分析了精细化工行业发展的新态势, 认为精细化工新工科专业课程体系建设应该从分子工程层面出发, 强调精细化工产品工程理念, 面向新经济和新产业革命发展需要。精细化工新工科专业课程体系建设依托学校化学、化工、材料三个国家一流学科, 以理科化学为基础, 强化生命医学、分子工程、功能分子工程、工程基础和化工工程等多学科模块交叉融合, 着重推出精细化工专业创新课程模块, 构建了厚基础、强交叉、重创新的新工科专业课程体系, 整合知识传授、创新思维创新能力培养、国际视野提升, 服务于培养基础厚、工程能力强、综合素质高的本科创新人才, 助推一流本科专业建设, 形成了双一流学科建设背景下的新型工科建设“华理模式”。

参 考 文 献

- [1] Graham, R. The global state of the art in engineering education. MIT School of Engineering. [2020-05-18]. <https://jwel.mit.edu/assets/document/global-state-art-engineering-education>.
- [2] Stanford 2025. [2019-11-30]. <http://www.stanford2025.com/#intro>.
- [3] Jackson, P. *Engineer* **2014**, 296 (7855), 18.
- [4] 学群·学类(学士课程)一览. [2019-11-05]. <http://www.tsukuba.ac.jp/organization/colleges/>.
- [5] 吴爱华, 杨秋波, 郝杰. 高等工程教育研究, **2019**, No. 1, 1.
- [6] 吴岩. 高等工程教育研究, **2020**, No. 2, 1.
- [7] 彭孝军, 叶俊伟. 化工高等教育, **2020**, No. 1, 1.
- [8] 张树永, 朱亚先, 霍冀川, 宋丽娟, 徐华龙, 郑兰荪. 大学化学, **2020**, 35 (10), 6.
- [9] 张文清, 夏玮, 徐志珍. 化工高等教育, **2017**, No. 4, 34.