特稿与约稿

创新驱动化工高等教育内涵式发展*

彭孝军,叶俊伟

(大连理工大学 化工学院,辽宁 大连 116024)

[**摘要**]面向新经济和新产业革命发展需要,在新工科建设背景下,化工高等教育应该主动应变,主动求变,从人才培养理念、人才培养模式、质量保障体系等多个维度打破原有思维的桎梏,以创新驱动自身内涵式发展。化工高等教育应秉承绿色、智能、可持续发展的理念,以学生为中心,以创新能力培养为目标,围绕培养模式、课程体系、师资队伍、教学方法和工程实践训练等方面构建化工人才培养新体系;同时需要学生转变学习观念,教师养成工程实践素养,全行业企业参与人才培养环节,以保障人才培养质量,基于“理念引领、人才培养、质量保障”的改革逻辑迎接未来的发展。

[**关键词**]化工高等教育;新工科;智能化工;创新型人才

Innovation Promoting the Development of Higher Education for Chemical Engineering

Peng Xiaojun, Ye Junwei

(*School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024*)

Abstract: Facing the development needs of new economy and new industrial revolution, considering the education system of "new chemical engineering", the higher education sector needs to break the shackles of the traditional thinking from the aspects of talent training ideal, training model, quality assurance system, and realize innovation driven connotative development. This paper believes that the future of higher education in chemical engineering should adhere to the ideas of green chemical engineering, intelligent chemical engineering and sustainable development, take students as the center and the cultivation of innovation ability as the goal, and build a talent training model around the training model, curriculum system, teachers, teaching methods and practical training, which requires students to change their learning concepts, teachers to improve the engineering practical competences, and the enterprise industries take the responsibility in the talents training process. Based on the reform logic of "ideal leadership, talent training, quality assurance", we will meet the rapid development of the higher education in chemical engineering in the future.

Key words: Higher education in chemical engineering; New chemical engineering; Intelligent chemical engineering; Innovative talent

[**作者简介**]彭孝军(1962-),男,教授,博导,博士,中国科学院院士,院长;叶俊伟(1979-),男,教授,博士,副院长。

[**通信作者**]叶俊伟,E-mail:junweiye@dlut.edu.cn。

*基金项目:辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目和大连理工大学教学改革基金项目。

创新是一个民族发展的不竭动力，是国家综合竞争力的核心所在。目前，以互联网、云计算、人工智能、物联网等为代表的新兴产业催生了新型产业经济，为了占领新一轮科技竞争的高地，各国把提升创新能力上升到国家战略高度。《2018年全球创新指数报告》显示，我国进入全球创新前20强，但是在一些关键科技领域仍然与其他国家存在差距。国家崛起的历史经验表明，从“制造大国”走向“制造强国”“智造强国”的关键在于国家的创新水平。国家创新水平的高低体现在创新型人才的集聚上，只有涌现出大批综合素质突出的创新型人才，“工业 4.0”“互联网＋”“中国制造2025”“一带一路”等一系列举措才能得到支撑。

高等工程教育是一个国家发展水平和发展潜力的重要标志，其与产业发展紧密联系、相互支撑。高等工程教育只有坚持内涵式发展，才能促进以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济的蓬勃发展。2017 年以来，教育部积极推进新工科建设[1]，相继形成了“复旦共识”“天大行动”“北京指南”，这与国家系列战略部署相得益彰，为我国高等工程教育新一轮的革命升级指明了方向。探索实施工程教育人才培养的“新模式”，打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”，建立完善中国特色工程教育的“新体系”，是高等学校面临的重要任务。

我国化工高等教育领域也面临巨大的挑战与机遇，实现化工类专业人才培养的提质升级成为当前重要的课题。总体来说，高校应该发挥化工及相关传统学科的综合优势，主动作为，以引领未来新技术和新产业发展为目标，推动化学化工和其他学科交叉融合和跨界整合，催生新的技术，培育新的工科领域，促进科学教育、人文教育、工程素质、化工专业教育的有机融合，培养基础厚、工程能力强、综合素质高的人才。

一、化工高等教育现状

石油和化学工业是化工及相关专业毕业生就业的主要行业。据中国石油和化学工业联合会统计，2018 年我国石油和化工全行业主营业务收入12.4 万亿元，利润总额 8 393.8 亿元，进出口总额7 543.4 亿美元；我国石化业规模以上企业达27 813家，全国以石油和化工为主导产业的工业园区共有 676 家，其中产值超千亿元的超大型园区就有 14 家[2]。但是，石化工业仍然大而不强，石化行业高端制造业和战略性新兴产业占比小于5%。在石化领域，自主创新能力薄弱，原始创新缺乏，工程建设重复严重，产品和工艺过程同质化现象突出。实现自主知识产权的技术创新和核心技术的源头创新，需要依赖创新人才的培养。

目前，我国化工类专业已形成一定规模，包括化学工程与工艺、能源化学工程、化学工程与工业生物工程、资源循环科学与工程、化工安全工程和涂料工程等。全国化工类专业布点数有 490 多个，其中化学工程与工艺专业全国布点数达到380 多个[3]。相应的人才培养虽取得了丰硕成果，但学生的知识体系、创新创业能力、工程实践能力、团队精神、家国情怀等仍存在不足。在传统化工类人才培养方式中，化工高等教育过于注重知识的传授而忽视能力的培养，过于注重本学科知识教育而忽视与其他学科的交叉，过于注重知识的确定性而忽视问题解决的开放性。面对化学工业发展的趋势，以及新经济、新产业、新技术和新模式的发展需要，化工高等教育需要打破原有思维的桎梏，改革传统教育方式，坚持以创新驱动内涵式发展。

二、创新理念引领化工学科发展

《中国制造 2025》提出，要大力推动重点领域突破发展。化学工业的发展需要面向国家和产业需求，从源头上创新，即通过化学方法和化工过程创新，结合理论规律和应用需求进行产品工程的智能制造。化学工程与工艺等专业应该以基础化学、化工为支撑，把新技术、新学科方向融入专业教育范畴。化学工程与技术一级学科建设需要适应、服务及引领新的经济形态，与其他领域进行深度、复杂及系统地交叉融合，这就要求化工学科转变原有的发展观念，“跳出化工”审视化工高等教育。

（一）自我革命，走绿色化工发展之路

化学工业在国民经济发展中占有举足轻重的

地位。1876年，我国第一座水泥厂建成；1905年，我国第一座石油开采炼制企业建成；1923年，味精厂创办；20世纪50年代，炼油装置和石化设备引进；70年代，合成氨和石油化工快速发展……化学工业的发展为国家发展提供了基础化工原料和合成材料，为提升人民生活质量起到了不可或缺的作用。但是目前有相当一部分产品生产工艺落后、原料消耗大、能耗高、污染重。

绿色化工是实现化工行业可持续发展的必然趋势，它将原子经济性和零排放作为发展目标。进入工业社会后，众多发达国家都曾有过工业大发展、环境严重污染、整改防治并行的历程，许多大型化工企业经历了从被迫整改到以环保为指向进行发展创新的转型过程。发展绿色化工就是要在源头、工程、产品全产业链中，利用化学原理使整个合成过程和生产过程对环境友好，发展绿色技术、环境友好技术、环境安全技术或洁净技术，开发绿色化工产品、环境友好产品和环境安全产品，保证过程和终端均为零排放或零污染，实现资源、环境、经济和社会的协调发展。例如硝化过程在化学工业中处于非常重要的基础地位，很多染料中间体的合成涉及硝化和硝基还原，使用的酸、硫化试剂等处理不当会产生环境污染，因而研发新的硝化和还原技术成为解决传统工艺问题的关键。

《石油和化学工业绿色发展六大行动计划(2017—2020年)》中提出，2020年，我国绿色涂料产品比例要达到60%以上，绿色农药制剂产品比例达到70%以上，绿色轮胎产品比例达到50%以上，绿色胶黏剂产品比例达到85%以上，绿色环保型增塑剂产品比例达到40%以上，合成橡胶环保产品比例达到75%以上。为此，化学工业需要进行“自我革命”，摒弃落后技术，大力研发资源回收循环工艺和装置，不断升级生产工艺和流程，采用分子设计技术和产品生命周期全程绿色化控制的策略研发新材料和新产品，这也是绿色化工创新的重点。其中涉及二氧化碳减排和资源化、染料清洁生产技术、新药创制、清洁煤化工、新催化体系、微反应器及化工过程优化等。这就要求化工专业应注重培养学生的绿色化工意识，以增强青年一代对发展绿色化工的使命感和紧迫感。

(二)自我发展，推进化工与相关学科的交叉融合

化工生产属于过程工业的范畴，涉及品种远远超过一万种，原料、生产方法和产品具有多样性和复杂性。随着新能源、电子信息、大数据等新产业与新经济的涌现，以“三传一反”(即质量传递、能量传递、动量传递和化学反应)为核心的传统化工需要适应新的社会需求。化工高等教育需要推进“三传一反＋X”的新模式，即“化工＋”模式，其中X是待定的、可变的及形成中的要素。从现实需求来说，“化工＋”就是化工与其他学科的交叉融合，这种融合能够为解决复杂且系统的工程问题提供新视角。面对我国科技发展的瓶颈，化工学科要在新产业技术需求背景下，围绕产业链整合需要，冲破自身的学科边界去审视人才培养。

化工是各行各业发展的重要基础之一，“化工＋”的思路可以为解决能源、材料、环境、生命等诸多领域的问题做出贡献。如我国自主制造芯片的难题单纯依靠进口国外的光刻机等先进仪器不能攻克，各个相关研究领域需要交叉融合、团结协作，才能突破技术难题。又如化工行业可为仪器构造研究、光刻胶等材料选择、控制技术等方面的研究提供支持。再如染料及其光化学不仅应用在纺织、能源、信息等领域，而且在生命医疗领域具有潜在的应用价值。大连理工大学精细化工国家重点实验室在“染料比例型荧光探针”的基础上研发了“染料血液细胞分析系统”，实现了血液检验方面的技术突破。

(三)自主创新，推进“化工产品工程”的源头创新

不管是过去所说的“创新是民族进步之魂”，还是如今倡议的“大众创业，万众创新”的理念，都体现了国家科技发展对创新的迫切需求。化学工业领域的创新不仅仅是“过程工程”创新，更重要的是“化工产品工程”创新，后者才能真正体现对化工行业的引领，有力推动高性能化工产品对其他领域的支撑作用，并带动整体产业技术的进步。

在传统模式下，我国工业主要是引进国外的化工产品结构，这些产品的性能已经在应用领域得到了验证。这种“国产化”模式只是通过改进新技术或新方法对产品生产工艺进行改造，使产品以低廉的价格进入市场，并通过价格竞争占领市场的较大份额。这种工艺过程创新对节能降耗、增加就业岗位、提高经济实力无疑具有重大作用，但往往会带来知识产权摩擦、资源消耗大和环境代价高等问题，难以助力行业从“跟跑”到“领跑”的转变。只有产品化学结构创新和工艺过程创新才能引发性能的创新，促使产品更新换代，引领产业发展。

化工产品工程创新是指根据化学理论，研究化学结构与性能规律，设计出满足新功能的化学结构，结合化学方法及化工过程，最终实现化工产品和工艺过程的综合创新。化学产品工程除了要实现化学结构创新外，还需要组分分子协同创新，这就涉及超分子化学、分子识别、分子智能等多方面的创新。传统上，我们习惯于制备高纯产品，尽力把产品做到 99.99% 的纯度。但添加协同组分，可能会得到性能更加优异的产品。如我国出口大量高纯液晶单体化合物，其纯度可以达到国际领先水平，但它们以低廉的价格出口，而国外公司经复配混合再返销中国，产品价格就增长了数倍或数十倍。要实现这种复配协同效应，化工人才需要具有更宽阔的视野、广博的知识和产品应用性能的思维，将化工知识与其他领域的知识进行深入交叉融合，主动服务国家经济建设的其他应用行业，发挥更大的价值。

（四）交叉融合，推动智能化工发展

智能化工包括产品功能的智能化和工艺过程的智能化。人类历经四代材料的发展应用：以天然秸秆、树木与矿物质为代表的天然物被认为是第一代材料，冶炼金属被视为第二代材料，以酚醛树脂等为标志的合成化学物开启了第三代材料，如今科学技术的发展已经催生了第四代智能材料。智能材料因具备传感、信息识别、自我诊断等多重功能而具有巨大的经济价值与发展潜力。以抗肿瘤药物为例，以前的抗肿瘤药物未实现智能化，不具备靶标性，而智能化产品的生产者需要研究肿瘤中高表达性的酶，在此基础上研究如何选择或人工设计分子并使其直接对肿瘤发挥作用，即实现分子的智能化。智能化工还体现为化工在信息记录、光学显示、分子识别、肿瘤早期诊断及光动治疗等前沿领域的应用。

在化工制造产业中，以前的化工产品生产需要经历反应、分离、析出、回收等若干环节，如果相关操作人员出现懈怠、疲劳等状况，就容易导致安全事故的发生。但智能化工会克服这方面的不足，从自动化设计到机器自我控制再到自动化生产，整个流程完全依靠智能机器。

智能化工的发展不仅要求化工人才主动转变观念并提升工程素养，还倒逼着高等教育人才培养模式的改革。

三、构建化工大类人才培养模式

化工高等教育面临着机遇和挑战，如何培养适应未来发展甚至引领行业发展的杰出人才呢？高校应从培养模式、课程体系、教学内容、学生实践、师资队伍等方面着手，重构化工人才培养模式；相关部门应深化教育体制改革，健全立德树人落实机制，建立健全学科专业动态调整机制，扭转不科学的教育评价导向，激发化工高等教育事业发展活力，着重培养创新型、复合型、应用型化工大类专业人才。以下只针对课程建设和学生实践进行讨论。

（一）优化课程体系，建设本硕/本硕博贯通课程

课程是人才培养的核心。传统的课程体系存在本科阶段和硕士阶段的课程重复、不同教育层次的课程封闭、课程不能满足学生发展需要等问题。面对新工科对创新型人才的需求，课程改革需要革除传统课程体系的弊端，贯通本硕博课程体系；按照课程内容的内在联系，从“科学意识、科学知识、学科前沿与交叉”等不同层次设立高度融合的大类基础课程；同时提高课程的高阶性、创新性和挑战度。

首先，学校需要完善本硕博连读的灵活机制。一般情况下，本科人才培养需要 4 年，硕士生培养

需要2～3年，博士生培养需要3～5年。如果本硕博连读学生能够在8年之内取得博士学位，尽早开展创新工作，就能让年轻人赢得思维的灵活性、创造性发挥的黄金时间。

其次，学校要提供丰富的课程资源，以满足学生发展的需要。学生在解决科研难题时，往往要贯通不同课程知识作为支撑，尤其要建立不同课程之间的互动与联系，这不仅有助于解决问题，而且可以激发创新思维。因此，学校提供丰富且优质的课程资源有助于学生根据自己的课题研究方向选择课程，同时有助于激发学生求知探索的热情。

再次，不同课程应该从封闭走向开放。目前我国本科、硕士和博士阶段的课程都“各自为政”，这就不可避免地出现本科课程在硕士阶段重新学习、硕士学过的课程在博士阶段重复出现等问题。这种封闭的课程体系不仅挤占了学生学习新知识的时间，而且不利于学生解决科研难题。因此，课程顶层设计需要打通本硕博课程体系，构建本科生、硕士生和博士生课程相互研修的机制。学校要激励学生进行跨专业课程的研修，促进跨学科之间的交流、渗透与融合，促进不同年级与不同专业学生无障碍地研修多元课程。

最后，学校要注重建设高质量的通识课程。确保学生具备较为完整的知识结构和良好的思维品质是“跳出化工”的先决条件，而这依赖于专业课程和通识课程的互融互通。特别是通识课程，其对于培养具备广博知识、宽阔视野和德智体美并重的人才具有重要作用。现代科学难题的攻克需要不同行业人才的相互交流与合作，合作分享、团队领导等综合素养需要让学生在通识教育的浸润下获得，而通识课程中蕴涵的人文关怀与思想启迪对于立德树人的教育事业有着不可估量的作用。

（二）更新知识体系，建设高质量教材，强化教材的应用性与开放性

教材是教师教学的载体，也是学生学习的主要依据。化工类专业人才要具有扎实的理论基础、广博的知识涉猎、敏捷的问题意识等，这就要求化工专业的教材建设不是对以往教学内容的修修补补，而是要打破传统教材的编写思路，拓宽视野，努力提升教材内容的应用性、开放性和国际化。从人才培养目标来看，化工高等教育不仅仅培养会制造化工产品的人才，更需要培养会设计原创性化工产品的高素质人才。因此，新教材要以教会学生设计产品为目标，充分融入化工行业发展的最新元素。如基础化学课程的教材中要融入芯片制造材料的知识，也要加入纳米结构、分子识别、DNA测序试剂、早期肿瘤诊断等前沿研究领域的知识，体现教材内容与现实科研难题的联系，提升内容的应用性。新教材应具有更为宽阔的视野，需要接轨国际科技发展前沿，服务于创新型人才培养，引导教师与学生跟上时代发展的步伐，关注多个学科领域的前沿发展。

（三）强化学生工程实践素养

如今，高校与社会互动的现状是产业需求倒逼学校科研发展，进而倒逼教学改革。要适应这一局面，新时期的化工高等教育需要推进产学研结合的人才培养模式，尤其是要强化学生的工程实践素养。工程实践素养不仅是高等工程教育的内在要求，也是新工科从“技术范式”向“创新工程范式”转型的现实需要。就创新型工程人才的培养而言，高校必须让学生尽早进入实验室，在实验过程中应用书本上学到的理论知识，在产业实践过程中了解行业有待解决的实际问题，在实际问题的解决过程中提升解决问题的能力和批判思维。

基于新一轮科技革命和产业变革，高校要规范实习教学体系，加强条件保障和组织管理，大力推进产学研结合。美国一些顶尖大学非常欢迎学生加入企业的开放性与研究性课题，这有助于学生在理论知识和实践需要的交叉点上产生创新思维的火花。目前，我国学生的工程实践素养培养主要是在实验室的场所中实现的，但是新形势下，学生需要走向行业企业，实践形式也不能局限于现场实习，还应该拓展到办公室实习、志愿者等其他形式。大连理工大学与国内知名企业、研究院及国外大学建立了人才联合培养基地和实习基

地，在产学研科技成果转化方面取得了丰硕成果，并且拟布局深圳、成都、宁波等地，设立精细化工产学研基地。这些举措为教学科研的一体化提供了优质平台，同时为面向产业开展创新创造活动奠定了基础。

四、发挥多元主体的主动性与积极性

培养化工创新型人才是一项多元主体参与的系统工程，高校和企业乃至教师、学生都要积极参与，形成合力，这样才能保障化工高等教育的“成功一跳”。

（一）提升学生工程安全意识，使其转变工程学习观念

学生是学习的主体，而观念是行为的先导。高校要提升学生的工程安全意识并使其转变工程学习观念，以保证化工人才培养质量。新工科建设的前提和基础是“以人为本”，即真正按照工程人才培养规律把学生塑造为未来工程的领导者。目前，化工行业安全事故频发使得化工安全教育迫在眉睫。适应新时代发展的化工人才不仅要具备专业的安全知识，还要拥有过硬的安全事故应对技能。教师在进行课堂讲授和实验教学时，应注重融入化学物品的性能、危险性、防护与应对措施等知识；学校也要组织安全演习实践活动，使学生时刻处于安全意识教育的环境之中。

新型化工人才进入社会后，要有引领行业产业发展的意识。随着新工科教育改革的深入，工科学生必须转变学习观念与方式。化工科学技术的“增生点”植根于化工与其他学科融合的土壤中，学生应该“跳出化工”，主动学习其他学科的知识，重新审视化工与其他工科专业的边界，树立“大工程观”。这对学生的学习方式提出了新的要求，学生不应局限于书本知识和实验技巧的记忆与理解，还应该关注不同学科知识之间的联结与想象，建立工程的“宏思维”。

（二）提升师资队伍工程素质，鼓励教师深入实践

教师队伍建设是实现高等教育内涵式发展的基础工作。目前“工程教育”与“工程”有些偏离，很大原因是教师群体的工程经验不足，科研趋向基础研究。只有教师对本学科工程发展动向有着敏锐的“嗅觉”，才能为进一步深入教材、课程与学生头脑奠定基础。我国部分工科教师沿着“从高校到高校”的路径成长，深入行业企业实际的机会少，这不仅限制了教师的学科视野，而且不利于创新型人才的培养。在产学研结合的背景下，学校要鼓励教师深入企业生产一线，鼓励教师进行跨行业的交流与实践。如化工专业的教师可以深入芯片制造企业，了解芯片产品创新、产品制造流程创新、原材料创新等方面面临的技术困难，立足化工，去其他行业实践平台探索化工更大的价值所在，这对于拓展教师和学生的思维及提升学生的工程专业素养具有重要作用，也有助于提升师生分析并解决复杂工程问题的能力。

“要给学生一杯水，教师须有一桶水”，教师工程素质的“一桶水”是提升学生实践能力的来源。教师要转变工程实践观念，帮助学生树立“实践出真知”的工程理念，通过理论联系实际，帮助学生拓宽视野、活跃思维。

（三）呼吁企业承担社会责任，参与人才培养环节

单从学校层面培养学生扎实的专业基础和良好的综合素质还不够，因为化工人才实践创新素质的提升离不开他们在行业企业实践平台上的锻炼。目前企业基于安全考虑及技术保密等原因，接纳学生实习的积极性不高。那么如何让企业承担起培养人才的社会责任？一方面，学校和企业要基于“互利共赢”的原则，加强交流与合作，学校教师可以为企业提供先进技术、科研成果转化与人员培训等方面的支持，而企业则可以为师生提供学习、研究的机会和平台；另一方面，工程教育协会、学会等专门行业组织应倡议地区企业支持学生认识实习或者实践训练，呼吁政府为积极承担人才培养社会责任的企业提供申报政府奖励、经费项目的优先权或者减免税收等优惠，使之成为保障师生深入企业行业学习实践知识的有效举措。校企双方找到合作的平衡点，就可以推进产学研的深入结合。

五、小结

化工学科有着科学和工程的双重魅力，化工

行业正面临巨大的变革机遇和挑战。面向新经济和新产业革命发展需要，化工高等教育应从发展理念、人才培养模式、课程建设、师资队伍及质量保障措施等方面进行改革和创新。随着新工科建设从理念到实践，工程教育不再只是传授技术知识，更需要引导学生树立家国情怀，关注能源、环境、健康等全球性社会问题，并培养学生解决重大工程问题的综合能力。化工高等教育要沿着“理念引领、人才培养、质量保障”的逻辑，保护学生创新的原动力，真正培养引领行业发展的领军人才，实现内涵式发展。

（文字编辑：李丽妍）

参考文献：

［1］教育部高教司.“新工科”建设行动路线[Z]. 2017-04-08.

［2］祝昉. 中国石油和化学工业经济运行分析[J].当代石油化工，2019，27(3)：1-6.

［3］张凤宝，夏淑倩，李寿生.问“产业需求”和“技术发展”，开展化工类专业新工科建设[J].高等工程教育研究，2017(6)：14-17，32.

下期论文摘要预报

可持续发展背景下绿色工程教育的理念与实践探索

辛　忠[1]，何佳雯[2]，周　玲[2]

（华东理工大学 1.化工学院，2.高等教育研究所，上海 200237）

［**摘要**］绿色工程教育理念是高等工程教育实现可持续发展的必由之路。当今，一些国际知名高校以可持续发展理念为基本改革原则，形成了各具特色的绿色工程教育发展模式。国内方面，华东理工大学积极推动传统工科专业的绿色转型与升级，通过建立绿色科研基地、创新绿色工程人才培养模式及研究与应用绿色工程教学案例库等举措，积极探索将绿色发展理念全面融入工程教育，以期培养具有绿色工程素养的 GI^3 新型工程人才。

［**关键词**］绿色发展；可持续发展；绿色工程教育；人才培养