

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202006021

www.dxxh.pku.edu.cn

“能源化学”本科专业建设建议

朱亚先^{1,§,*}, 徐华龙^{2,§}, 张树永³, 郑南峰¹, 郑兰荪¹¹ 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005² 复旦大学化学系, 上海 200433³ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: “能源化学”专业是教育部2015年批准设立的化学类本科专业。本文结合新工科建设思路, 对“能源化学”专业的培养目标、毕业要求、课程体系、教学内容、师资队伍与教学条件等方面提出了相关建议。

关键词: 新工科; 能源化学; 培养方案; 教学内容

中图分类号: G64; O6

Suggestions on the Development of “Energy Chemistry”

Yaxian Zhu^{1,§,*}, Hualong Xu^{2,§}, Shuyong Zhang³, Nanfeng Zheng¹, Lansun Zheng¹¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.² Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, P. R. China.³ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, P. R. China.

Abstract: “Energy chemistry” was approved as one of the chemistry majors for undergraduate by the Ministry of Education in 2015. Based on the ideas and ways of emerging engineering education, this paper hereby proposed some of constructive suggestions on the training objectives, graduation requirements, curriculum system, teaching contents, teaching staff and conditions for development of “energy chemistry” major.

Key Words: Emerging engineering education; Energy chemistry; Training program; Teaching contents

能源化学主要利用化学的理论和方法来研究能量的获取、储存、转换及传输等过程的规律和探索能源新技术的实现途径^[1]。能源化学专业是教育部2015年12月批准在化学类专业0703目录下新设立的本科专业, 专业代码070305T, 2016年开始招收本科生, 这是我国乃至世界上第一个能源化学理科本科专业。截止到2019年, 共有4所高校申办了“能源化学”本科专业, 目前只有厦门大学建立了较系统的能源化学课程体系。由于专业布点少、建设时间短, 目前我国的能源化学专业建设还处于起步阶段。

由2013–2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会(以下简称化学教指委)主任、厦门大学郑兰荪院士牵头的“基于化学的新工科设置和建设方案研究”项目, 于2018年3月获得教育部首批“新工科”研究与实践项目立项。该项目将能源化学专业建设作为重要内容, 设立了“能源化学”专业建设子课题, 建议将专业建设目标与新工科建设相结合, 按照“新工科”的理念与思路, 促进

收稿: 2020-06-03; 录用: 2020-06-07; 网络发表: 2020-06-08

§共同第一作者

*通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

基金资助: 教育部首批“新工科”研究与实践项目“基于化学的新工科设置和建方案研究”

能源化学专业建设,使其更好地适应国家战略发展需要^[2]。

1 专业设置的重要性

《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出了节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车等七大战略性新兴产业,其中多处涉及到能源。能源是国家急需、同时也是国家高度关注的战略领域,能源科学与技术事关国家经济社会发展的能力和水平,也决定着国家能否长治久安。同时,能源科学也是国际重大科学前沿,“如何及何时替代石油”是 *Science* 专刊列举的未来最具挑战性的重大科学难题之一。

能源问题的核心是能量载体物质的高效转化与利用,其关键学科支撑是化学和化学工程。一方面,传统化石能源高效转化和利用的原理主要以化学为基础,比如催化材料及其表/界面控制、化石能源和生物质的均相/多相高效催化和绿色过程、氢和甲烷等燃料分子的存储和输运、光/电及电/光转化、热/电及电/热转化,以及水的催化裂解等绿色转化及应用等领域,其转化效率的提高等关键问题都体现出化学无法替代的作用;另一方面,化学已经成为突破新能源的开发与转化各环节瓶颈的关键学科,煤、石油、天然气等化石能源,因储量有限并且不能再生,其耗尽只是时间问题。为此,必须开发新能源以满足人类发展对能源越来越高、越来越多的需求。具有重要战略意义的化学新能源的开发(包括太阳能、生物质能、天然气水合物)及次级能源(如氢能和燃料电池等),均需以化学的新思想、新概念和新方法为基础。因此,能源化学面向能源关键技术,以化学的视角、方法和手段,在常规能源的综合利用、新能源的开发、能源转化和利用效率的提高等方面担当重任。

能源化学是由多学科交叉融合形成的。作为一个新兴的交叉领域,急需一批具有扎实的化学基础、跨学科、复合型的研究与应用人才。然而,2015年以前国际上尚未有系统的能源化学学科体系,教育部学科分类目录的自然科学门类中亦未设立能源化学学科,更没有系统的理科能源化学专业人才培养体系,现有的化学与化工等专业也无法满足相关人才培养的要求。因此,设置能源化学专业,以新工科的视角建设和完善能源化学专业的人才培养方案,培养一大批致力于能源化学研究、开发、应用等方面的人才,抢占能源科技和能源安全的制高点非常必要且十分迫切。

2 能源化学专业人才培养建议

2.1 培养目标与毕业要求

能源化学专业培养具有高度的社会责任感,良好的科学与文化素养,较好地掌握化学与能源基础知识、基本理论和基本技能,掌握传统能源和化学新能源高效转化和利用的原理和技术,具有创新意识和实践能力,能够在能源化学及相关学科领域从事科学研究、技术开发、科技管理和教育教学等工作的人才。

毕业生应达到如下要求:

(1) 具有坚实的化学基础,熟练掌握化学与能源交叉领域的基础知识、基本理论和基本技能,掌握传统能源(如碳资源化学)和化学新能源高效转化与利用的原理和技术,了解能源化学的知识体系和发展动态;

(2) 掌握本专业所需的数学、物理学等学科的基本知识;

(3) 能够运用计算机和信息技术获取、分析和处理能源化学及相关学科的信息和资料,掌握必要的计算机模拟与控制技术;

(4) 能够综合运用化学及相关学科的基本原理和方法,对本专业领域复杂问题进行综合分析和研究,包括设计实验、对实验现象进行观察、记录、分析并得到合理有效的结论;

(5) 具有国际视野和跨文化沟通交流能力,能够与国内外同行和社会公众就能源化学及相关领域的现象和问题采用书面或者口头的方式进行有效的沟通和交流;

(6) 具有安全意识、环保意识,了解能源化学及相关学科领域的政策和法规,遵守学术道德、职

业道德和职业规范;

(7) 具有人文素养、科学精神和社会责任感,具有大局观、统筹观和可持续发展理念,能以综合的视角分析、研究能源化学及相关学科领域的问题;

(8) 具有自主学习能力和终身学习意识,具有一定的创新意识和实践能力,能够适应社会的发展;

(9) 具有团队意识,能够与团队成员和谐相处,协作共事,并作为成员或领导者在团队活动中发挥积极作用。

2.2 培养规格

学制: 四年

授予学位: 理学学士

参考总学分: 总学分以140–160学分为宜,包含课堂教学及各类实践教学环节。各高等学校可根据具体情况做适当调整。

2.3 教学内容

通识类知识与学科基础知识按照《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3]执行,建议适当提高数学与物理学的要求,特别是与能源化学相关的数理方法。

2.3.1 理论教学内容

能源化学专业是从化学专业孕育、延伸和拓展出来的专业,教学内容须在化学“三基”的基础上,强化从化学的角度阐述传统能源的转化和利用、能源化学材料的合成与表征、化学新能源的开发和转化及高效利用等。同时须注重能源系统优化、能源体系高效构建、可持续发展等。

(1) 化学基础知识

参照《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3]执行。需要加强的内容为:热化学、电化学、光化学、催化化学、电催化、光催化、固体化学、化学工程基础、纳米结构与纳米材料。

(2) 能源材料

能源材料的晶体结构与电子结构、能源材料的表征方法与技术、能源材料的缺陷化学、材料热力学及其相变、能源材料的电子和离子输运、能源材料的合成

(3) 碳资源高效转化与利用

化石碳资源转化与利用(煤、石油、甲烷、合成气、二氧化碳、甲醇、乙醇等)、生物质碳资源转化(纤维素、木质素、半纤维素等)

(4) 电化学储能及转化

电化学储能装置的原理及结构和特性、化学电源(一次电池、二次电池、液流电池)、燃料电池、电化学电容器、新一代电化学储能体系(固态电池、锂-硫电池、金属-空气电池等)

(5) 太阳能转化及利用

太阳能热化学原理与技术、太阳能电池原理与技术、太阳能燃料原理与技术

(6) 氢能

氢气的生成、氢气的储存、氢气的利用

(7) 能源体系(系统和器件)的高效构建、能源系统优化

(8) 能源化学领域的新概念、新理论和新方法

(9) 现代信息技术与过程控制

结合能源化学特点,适当引入云计算、大数据、移动互联、人工智能等新一代信息技术以及过程工程的先进系统和集散控制系统等相关知识点。

2.3.2 实验教学内容

(1) 基本实验

按照《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3]执行。主要包含:实验室安全与环保、物质的合成与分离等相关基本操作与方法、物质的定性与定量分析表征技术、基本物理量与物理化学参数的测

定等。建议加强“经典化工单元设备与操作”。

(2) 专业实验

能源材料的合成及其表征、催化剂性能评价和表征、电化学储能器件的制作和性能评价、太阳能电池的制作和性能评价、能源化学材料性能模拟仿真、能源过程工程和系统集成

2.4 课程体系

能源化学专业课程体系应以化学为基础、以能源化学为方向、将新工科建设理念融入到课程体系之中,符合社会重大需求和学科发展亟需。

课程体系构建的总体要求可参照《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3],即:理论课以700—900学时为宜,其中选修课原则上不少于160学时;各类实践教学环节所占比例不少于25%,化学和能源化学实验总学时不少于432学时,其中综合性和研究性实验学时不少于总实验学时的20%。课程的具体名称、教学内容、教学要求及相应的学时、学分等,由各专业建设点根据学校要求自主确定。

建议能源化学专业理论课程体系按照化学基础课程、能源化学基础课程、能源化学专业课程、能源化学前沿研究等四个层次构建,适当将工科的相关课程融入其中,注重能源化学的系统性。

能源化学的实验课程体系应在化学基本操作、制备、分析、表征的基础上,结合能源化学教学内容设置,构建“基础实验—能源化学综合实验—研究性实验”等多层次实验教学体系,并增加设计、开发实验环节,增加虚拟仿真实验内容。

创新创业训练与实习是实践教学的重要环节,应以“项目驱动”等多种方式组织学生参加与能源化学相关的科研训练、项目设计;并通过校内实践、校外实习相结合等多种途径完成实训、实习等理论与实践相结合的教学过程,使学生接受应用研究、技术开发以及科技管理的初步训练。

2.5 师资队伍与教学条件

师资队伍建设是专业建设的根本。除符合《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3]专业师资队伍要求外,应通过引进、培养、聘请、学科共享等方式强化能源化学、能源工程、新能源等方面的师资队伍建设,同时加强数学、物理学、计算机科学、大数据、云计算等方面的师资建设,从企业或研究所引进具有工程经历的教师,增加双师型教学队伍,满足人才培养和课程建设的需要。

教学条件除符合《化学类专业本科教学质量国家标准》^[3]相关要求外,须增加与能源化学实验相关的教学仪器设备,至少建立1个相对稳定的校外实习基地。

2.6 专业人才培养质量保障体系

专业建设中要注重建立人才培养质量保障体系,如教学过程质量监控机制、毕业生跟踪反馈机制、专业持续改进机制等,形成“定期监测—定期反馈—持续改进”螺旋式上升的闭环。

3 专业建设中应关注的问题

3.1 人才培养模式

能源化学专业是以强烈的社会需求为导向建立并发展的^[1],因此专业的人才培养目标要紧密结合国家战略与社会经济发展。建议各专业建设点在本文提出的总体框架的基础上,充分调研和研究,制定具有本校特色的能源化学专业人才培养目标。具体应体现在以下几个方面:服务国家战略和地方经济社会发展需要,适应学科和行业发展的需求;面向未来能源化学的发展,突出人才培养的前瞻性和引领性;体现“厚基础、宽方向”的人才培养模式;结合自身的地域特色与办学定位,突出本校培养特色。各专业建设点应围绕培养目标制订毕业要求,细化人才培养目标的内涵,体现知识、能力、道德、情感、态度等全面育人的理念,并积极探索本科生—研究生一体化的培养模式。

3.2 突破传统学科限制,促进多学科融合,加大校企合作

能源化学是面向新技术和新产业发展的学科,具有多学科交叉融合的特征,因此在能源化学专业建设中要注重跨学科、综合化。一方面要校内多学科协同,如化学、能源、材料、物理、信息技术和过程工程等,共建校内育人平台,开设学科交叉课程;另一方面,要加大与相关企业和用人单

位合作育人的力度,完善校外企业实践平台,构建产学研结合的教学体系,健全校内外协同育人机制,培养学生的大局观、统筹观和实践能力。

3.3 以新工科的理念构建课程体系、设计教学内容

能源化学具有理学、工学相融合大格局的鲜明特色^[1],具有“新工科”的引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性等几个特征^[4]。因此,在能源化学人才培养方案的设计上,要根据培养目标和毕业要求,结合“新工科”的特征,构建符合国家能源发展战略和学生本身发展需要的课程体系,支撑毕业要求的达成。建议已有的专业建设点结合“新工科”理念对课程体系进行改造,新增设的专业点要结合“新工科”思路 and 角度进行课程体系构建。

教学内容应强化化学基础,充分发挥化学在创造新原理、新方法、新材料和解决能源基础科学问题方面的优势,把化学知识聚焦于解决新型能源载体、新型储能装置的开发和高效制备、现有能源的高效转化和有效利用等方面。

课程体系的构建要注重“四融合”:将化学基础知识与能源结构、能源材料、能源储存与转化原理和技术相融合;将理科的理论及前沿探索研究与工科设计实践课程以及能源新技术开发相融合;将能源专业知识与系统集成、过程优化、信息技术、人工智能等相融合;将基础课程的“厚”、专业必修课程的“精”和选修课程的“广”相融合。

3.4 教育教学方式与管理方式

应建立柔性的教学管理机制,加大学生自主空间,改革教学方法和考核方式;在知识传授的过程中,注重传授学科的基本研究思路和研究方法,培养学生的科学素养、批判性思维;改变传统的教学方式,采取翻转课堂、线上线下相结合的混合式教学模式,增强课堂吸引力;提高课程的高阶性与挑战度,设置以问题为中心、以设计为主线的课程,在课程中增加研究、探索模块,培养学生综合解决问题的能力;倡导研究性学习,多布置探究性的课下作业和需要团队合作完成的大作业,加强知识应用能力的拓展,并在此过程中使学生产生更大的疑惑、激发更大的热情,从而主动学习、主动实践,提高创新意识与创新能力。

4 结语

本文仅对能源化学本科专业的建设提出了框架性建议,各专业建设点应结合“新工科”理念,根据自身办学定位和人才培养目标,细化毕业要求、课程体系、教学内容、课程目标等,形成系统、完整的专业人才培养方案,使能源化学专业建设更好地面向未来,培养出一大批致力于能源化学研究、开发、应用的高素质人才,服务于国家能源战略发展,满足社会需求。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委,中国科学院. 中国学科发展战略. 北京: 科学出版社, 2018.
- [2] 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.
- [3] 2013-2017年教育部化学类专业教学指导委员会. 普通高等学校化学类专业教学质量国家标准. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [4] 林健. 清华大学教育研究, 2017, 38 (2), 26.