

DOI:10.19834/j.cnki.yjsjy2011.2025.01.08 CSTR:32289.14.yjsjy2011.2025.01.08

能源化学研究型人才协同创新 培养模式的创建与实践

吴智华^{a,b},傅钢^{a,b,c},吴玲玲^c,杨柳^{a,c},任斌^{a,b,c},谢兆雄^{a,b,c},郑南峰^{a,b,c},田中群^{a,b,c}

(厦门大学 a. 能源材料化学协同创新中心; b. 嘉庚创新实验室; c. 化学化工学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 能源化学是利用化学的原理和方法,研究能量获取、储存及转换过程基本规律的学科,是能源科学中的最主要分支之一。在“双碳”目标的大背景下,推进能源化学研究型人才培养具有十分重要的现实意义。面对我国能源化学研究型人才培养的问题和挑战,厦门大学相关单位在协同创新理念的指引下,通过构建层层递进的课程体系,严格把控博士生入学条件,实行导师组制度,组织累积考试、年度考核和例会报告等一系列措施强化人才培养质量管理,形成了本研协同、多学科协同、校内校外协同、国内国外协同和师生协同等多元化的人才培养模式,取得了显著成效,其经验可为其他高校提供参考与借鉴。

关键词: 协同育人模式; 过程培养; 学科、人才、科研三位一体

中图分类号: G643

文献标识码: A

文章编号: 2095-1663(2025)01-0066-07

2020年9月,习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布,中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和^[1]。2020年12月,在气候雄心峰会上,习近平主席宣布,到2030年,中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上,非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右^[2]。2021年9月,《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提出,到2060年,非化石能源消费比重达到80%以上^[3]。能源是国家重大战略需求,能源科学是国际重大科学前沿。“如何及何时替代石油(What Can Replace Cheap Oil-and When?)”是2005年Science

专刊列举的25个最具挑战性的重大科学难题之一^[4]。2021年,在Science专刊新列举的125个科学问题中,有5个与能源直接相关^[5]。能源科学是研究能源在勘探、开采、运输、转化、存储和利用中的基本规律及其应用的科学。提高能源利用效率和实现能源结构多元化是解决能源问题的关键。解决能源问题离不开化学的理论与方法以及以化学为核心的交叉学科和基于化学的新型能源材料、能源支撑材料的应用。一方面,能源的高效利用,特别是传统化石燃料能源体系的高效利用离不开化学;另一方面,化学已成为突破新能源的开发与转化各环节瓶颈的关键学科^[6]。在亟须化学的理论与方法破解能源问题的背景下,如何结合传统优势学科培养能够推动并引领能源化学领域发展的研究型人才,是国

收稿日期: 2024-06-27

作者简介: 吴智华(1989—),女,福建人,厦门大学能源材料化学协同创新中心实验师,嘉庚创新实验室人力资源办公室主任。

郑南峰(1977—),男,福建人,厦门大学化学化工学院教授,嘉庚创新实验室主任,中国科学院院士,通讯作者。

田中群(1955—),男,福建人,厦门大学化学化工学院教授,能源材料化学协同创新中心主任,中国科学院院士,通讯作者。

基金项目: 教育部科技领军人才团队项目“能源化学战略平台建设”(20720220007);福建省创新战略研究项目“面向有组织科研的新型研发机构人才体系研究”(2023R0151)

家的需求和时代的呼唤^[7]。

早在2012年,厦门大学、复旦大学、中国科学技术大学和中国科学院大连化学物理研究所(以下简称“三校一所”)以“2011计划”总体精神为指导,共同建立国家级平台“能源材料化学协同创新中心”(以下简称“iChEM”)。iChEM瞄准三个主攻方向,包括碳资源优化利用、化学储能与转化和太阳能转化化学,并充分协同三校一所的优势资源,以化学为基础,以材料为载体,以能源为目标,通过构建协同创新的新模式和新机制,积极探索高校协同创新发展模式。厦门大学能源化学研究型人才培养以协同创新理念为指引,通过“国家级平台+学院”的多元化支持和激励联动机制,促进不同创新主体之间的合作与整合,以实现知识、资源和行动的最优配置,为学科交叉、协同培养、国际交流等提供稳定的经费支持和优质资源供给,突破我国已有能源化学研究型人才培养存在的问题,构建多维度、跨学科的人才培养体系。经过实践,促进了学科、人才、科研三位一体协同发展,在研究型人才培养方面取得了显著效果。

一、我国能源化学研究型人才培养存在的问题

2013年厦门大学自主设置“能源化学”二级学科并设立博士点,2013年首创“能源化学”本科方向,2015年获教育部批准为本科专业,填补了国内在自然科学门类中尚未建立能源化学专业的空白。此后,复旦大学、北京化工大学、河南大学等十多所高校增设了能源化学专业。但从整体来看,我国能源化学研究型人才培养体系目前仍处在探索阶段,部分高校沿用的传统研究生培养模式亟待改革,其主要问题是:

(一)依托化学学科无法培养能源化学研究型人才

学科交叉是当前社会发展和科技进步的重要动力。单一学科、单一主体、单一环节的培养方式已不能满足关键核心技术突破的需要。传统化学学科是研究化学反应和物质转化的一门学科,是创造新分子和构建新物质的一种手段,也是和其他学科高度交叉融合的一门中心学科。我国作为能源消费大国,富煤少油,2023年原油对外依存度升至73%,远超国际公认安全红线(50%)^[8],在“双碳”背景下,我国正积极推动能源革命^[9]。针对我国现有能源结构特点和发展趋势,能源化学研究将围绕“化石资源清洁高效利用与耦合替代”“清洁能源互补体系”“能源

化学前沿科学”三条主线开展科学研究布局,推动基础研究与应用研究融合发展^[10]。能源化学是利用化学的理论、方法来研究能量获取、储存、转换及传输过程的规律和探索能源新技术的实现途径的学科,当今能源技术面临的发展瓶颈与众多难题,单靠化学学科已经无法满足发展需求,无法培养满足国家能源战略发展需求的人才。

(二)学科壁垒阻碍能源化学研究型人才创新精神和综合素质培养

从我国高校内部来看,组织机构间界限分明,学科间有着清晰的边界,学科的自然封闭性在人为作用下更加明显,学科壁垒成为研究生广泛摄取知识的鸿沟^[11]。首先,单一学院的师资力量有限,教师水平参差不齐,人才培养只能在单一课题组或者单一方向上进行,无法拓宽学生的学术思维和解决复杂、涉及多学科技术问题的能力;其次,单一学院的经费保障不足,学院经费主要来源于学校,经费量少,开支范围广,无法推进国际联合培养等方式的人才培养体制改革。

(三)培养模式单一无法提高能源化学研究型人才培养质量

研究生培养模式是研究生各培养主体在共同信念下形成的关于研究生人才培养的理念、运行机制和操作方式。已有的能源化学研究生培养模式,普遍存在着培养模式单一、学科协同缺位、质量保障缺失的问题。主要受限于以下几个方面:能源化学是新兴的交叉学科,在研究前沿和学科深度上,科学和技术的不断发展,单一的培养模式可能使一些学生无法接触到最新的研究动态和方法;在协同培养上,能源化学学科学生需深入掌握多个学科的知识 and 技能,这需要系统的教育和训练,而目前研究生教育管理的质量监控与反馈体系不健全^[12];在评估反馈和方向指导上,缺乏系统的评价和反馈机制,学生可能无法及时了解自己的学习效果 and 存在的问题。

二、以协同创新模式培养能源化学研究型人才的必要性

(一)协同创新是落实国家战略的应然之选

2011年4月24日,胡锦涛同志在庆祝清华大学建校100周年大会上发表重要讲话,明确指出要积极推动协同创新,通过体制机制创新和政策项目引导,鼓励高校同科研机构、企业开展深度合作,建立协同创新的战略联盟,促进资源共享,联合开展重大科研项目攻关,在关键领域取得实质性成果。

“2011 计划”由此诞生。^[13]“2011 计划”从某种程度上说是以协同创新为引领来提高研究生培养质量的计划。党的十八大以来,习近平总书记高度重视创新驱动发展。党的二十大报告强调,必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力。以习近平同志为核心的党中央始终高度重视科技创新工作。近年来,国家和企业大力发展能源产业,从产业发展的全局思考,必须开展跨学科交叉创新,通过协同创新,培养更多创新复合型人才,从而助力实现若干关键核心和“卡脖子”技术突破,推动能源产业结构转型升级。

(二)协同创新是研究型人才培养模式的理论基础

一个有效的人才培养模式是开放的、动态的系统。“协同创新”的提出最早可以追溯到 1971 年德国学者哈肯(Hermann Haken)的《系统论》。协同是复杂系统本身所固有的自组织能力,是形成系统有序结构的内部作用力,并统一解决了系统从无序转变为有序的过程^[14]。协同要求各子系统为了总目标的实现,将自身的目标规划、运转和发展立足于总系统,服从、服务于总系统^[15]。对于研究型人才培养而言,其培养模式改革是系统化的工程,要想改革得以顺利实施,子系统必须做相应调整。研究生培养模式涉及培养目标、培养过程和培养制度。协同创新要求整个研究生培养中贯彻协同理念,对于能源化学研究生培养而言,要确立交叉型复合型人才的目标,并在培养过程中对整个培养体系进行重新设计,破除刚性的教育管理制度,尤其在评价方法上要增加灵活性。

(三)协同创新是研究生教育健康发展的时代诉求

构建高效的协同培养机制是提高高校研究生教育质量的根本途径和方法。一个有效的人才培养模式,要能够适应外部环境的变化并进行自我调节和优化。研究型人才的培养需要高校与科研院所、行业企业等结合,通过学科交叉与协同培养机制,推动复合型人才培养。对于提升能源化学专业研究生培养质量而言,协同创新可以加强培养目标间的协同,并切实落实多方参与的培养方案。利用多学科交叉的平台,加大面向科学前沿的学科交叉课程和实践课程建设力度,使得学生具有多学科的理论背景和思维方式。纵观国内外,为适应交叉科学迅猛发展的趋势,美、英、日等发达国家将跨学科研究、交叉学科建设作为国家层次的战略,成立专门的管理机构、投入大量的资源予以支持^[16]。我国浙江大学、中国科学技术大学等高校也先后成立了科研平台或研究

院,创造有利的体制机制和保障制度,推进交叉学科研究和人才培养^[17]。

三、协同创新的能源化学研究型人才培养模式创建

在协同创新视域下,研究生培养生态较之传统已发生了显著的变化。如何重构研究生的人才培养模式,使培养模式更好地为能源化学专业人才培养服务成为亟待解决的问题。厦门大学以培养能源化学研究型人才为目标,以“协同创新”为手段,根据“整合优势资源、创建交叉学科、培养急需人才”的思路,提出能源化学研究型人才协同创新培养设计方案。通过优化课程体系、严格遴选机制、实行导师组制度、累积考试、年度考核、例会报告等一系列过程培养措施,形成了本研协同、多学科协同、校内外协同、国内外协同、师生协同等多元化的人才培养模式,解决了能源化学教学体系缺失、能源化学研究型人才培养顶层设计、协同育人模式与机制等问题,为我国能源化学领域研究型人才的培养开辟了一条新路(图 1)。

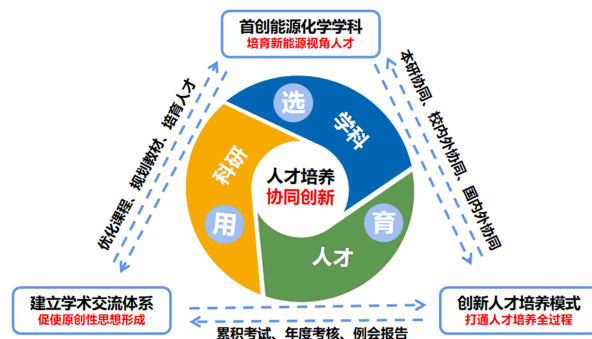


图 1 三位一体协同创新培养模式

(一)创设能源化学学科,培育能源化学人才

1. 理工学科融合,打造课程体系

2013 年,厦门大学在化学主要课程的基础上,对能源化学知识点进行了梳理,并根据学科逻辑顺序和学生知识、能力形成的规律将之组合,创建 12 门能源化学课程群(图 2)。能源化学课程群按照能源基础、能源体系技术和前沿进展三个层次进行构建,注重课程的系统性,将工科课程融入化学中,同时引入经济类课程,全面提高学生的综合知识和解决复杂问题的能力。尤其在《高等能源化学》交叉课程上,汇聚国际国内优势师资,邀请包括诺奖得主、三校一所院士、杰青等高端人才以及宁德时代新能源科技股份有限公司、厦门钨业股份有限公司等能源龙头企业高管在内的优秀教师,讲授前沿进展类课程,通过同步视频系统供三校一所本科生、研究生

共同修读,为学生提供与国际一流学者面对面交流讨论的机会,受益师生千余人。围绕能源科学发展和研究热点开设课程,为能源化学研究型人才培养奠定基础,成功解决能源化学本科与研究生教学体系缺失的问题,引领能源化学专业的发展。



图2 能源化学课程群

2. 凝练知识体系,规划学科教材

从面向国家重大需求、加强能源化学专业建设、培养高层次创新人才的角度出发,规划了由7种核心教材(能源化学导论、能源化学实验、能源催化化学、能源电化学、能源材料化学、太阳能化学、氢能源化学)、4种支撑教材(能源化学理论与计算、能效工程、能源化学工程基础、能源大数据与人工智能)以及10种拓展教材(能源物理化学、电催化、光催化、储能与储氢材料、全球能源市场经济、先进碳能源材料、纳米发电、能源表界面表征技术、碳中和与先进能源技术、生物质能源)构成的能源化学专业教材建设体系。教材是人才培养工作的重要内容,是传播知识、教书育人的重要载体,关系着“培养什么人,怎样培养人,为谁培养人”重要命题的回答与解决。因此,在教材内容方面,需要充分强调学科交叉融合、强调理论与实践结合、强调自然科学与人文社科联动,体现立德树人的根本任务。凝练能源化学相关知识体系,以科研前沿、教学前沿、应用前沿的高关联性,加快科研前沿向教育前沿的转化,有助于培养能够有效服务国家急需、服务社会发展的高素质、高水平、创新型人才。

(二) 依托国家平台资源,创新人才培养模式

1. 严格遴选机制,本研协同培养

*iChEM*以三校一所优秀的师资队伍、富有挑战性的科学研究课题和与国际接轨的奖学金制度,吸引招收国内外优秀本科生。面向全国优秀本科生选拔能源化学专业的博士生,在暑期夏令营期间,通过“个人申请+专业审核+答辩评审”的程序进行面试遴选,根据当年的全国重点高校候选人资质,优中选优,提前确认拟录取直接攻读*iChEM*博士研究生

的本科生6~22人,给予博士生入学第一年6万元/人的奖学金资助。在人才培养机制方面,本研课程贯通、开放共享,以全新的课程体系,深化本硕博一体化改革,打破原本在本科、硕士、博士三阶段可能就读于化学、材料、能源不同学科专业的割裂式培养模式。入选的在读本科生可以立刻进入感兴趣的课题组,参与科研训练或到海外联合培养,接触能源化学领域的科学研究。

2. 实行导师组制度,共享优质资源

*iChEM*汇聚了国内能源材料化学领域的优势力量,已聘任各类研究人员148名,包括中国科学院院士11名,国家级人才135人,为学生提供一流的导师资源。充分集各家之所长,打破以往由单一导师指导的限制,实行多导师联合培养和课题组轮转交流模式,鼓励学生在高水平课题组轮转后确定导师,也可在确定导师后仍参与轮转,构建了“先泛后专”的金字塔型和“先专再泛”的大树型培养模式。各课题组组会均向能源化学博士生开放,促使不同领域的学术思想碰撞。建设了同步视频系统,学分互认,解决了异地授课、合作科研的时空障碍问题,形成了特色、优势课程共享平台;打破博士生分散在各课题组学习的传统模式,设立“人才集中工作区”,博士后、博士生和准博士生集中学习与工作,促进交流;率先推出“*iChEM*+城市”作为署名方式,实行成果共享。例如,厦门大学在籍学生可以同时选择大连化学物理研究所导师和厦门大学导师,共同署名的博士生科研成果与厦门大学为主培养的博士生毕业要求中的科研成果视为等效。建立海外联合培养模式,提供充足的奖学金,遴选博士生到海外学习实验技术、轮转及参加国际会议等,拓宽学生国际视野。共享优质资源,有效地建立了本研协同、多维度协同、校内校外协同、国内国外协同、师生协同等全方位育人机制。

(三) 严格过程考核培养,提高人才培养质量

1. 实行累积考试,提升学习能力

为增强学生自学能力、全面拓展知识面,为多方向协同打基础,尽早明确科研兴趣,建立“能源化学基础与前沿”累积考试、分流及退出机制,由*iChEM*导师组在笔试前一个月提供可供学生选择阅读的前沿研究方向指导教材或文献;学生利用一个月的时间查找并阅读相关知识和前沿文献;在每月指定的地点和时间参加笔试,通过自主阅读与闭卷笔试,拓展学生在能源材料化学领域的知识面。除寒暑假

外,每位学生每月均有一次笔试考核机会,一年级博士生必须通过 6 次笔试考核方可进入下一个培养环节。未通过者,将取消 *iChEM* 博士生资格,转为普通博士生,退出人才培养计划。考核内容包括能源化学各重要方向电化学(储能、电催化等)、光(电)化学(光催化、太阳能电池等)、催化、合成化学、表征学等方面的基础知识、核心概念和前沿进展(表 1)。通过与与时俱进的考试题目和大量的学术阅读,形成了“知识储备+实践运用”的学习过程,助力学生获取科学前沿知识,激发学术创新潜力。

表 1 部分累积考试题目(各选 2 个方向代表)

序号	研究方向	考试方向
1	材料与化工	“水与电”——水中能量的收集与转化的最新进展
2	材料与化工	甲烷等烷烃活化转化
3	催化化学	单原子催化的基础知识和最新进展
4	催化化学	固-液界面催化的溶剂效应及其表征
5	电化学	全固态电池的发展历史、存在的科学问题及突破方向
6	电化学	锂离子电池基础知识和最新进展
7	高分子化学	Covalent Organic Framework (COF)
8	高分子化学	有机材料的群星闪耀时
9	工业催化	绿色氢能技术现状与发展趋势
10	工业催化	合成气转化为 C ₂ +醇
11	化学工程	离子交换膜在燃料电池中的应用基础和最新进展
12	化学工程	热电材料与热电器件
13	结构化学	染料敏化、pn 结、半导体光电极等光伏相关的拓展基础知识
14	结构化学	钙钛矿薄膜表界面优化与载流子动力学
15	能源化学	碳中和的机遇与发展
16	能源化学	机器学习在能源化学研究中的应用
17	无机化学	二维材料
18	无机化学	磁致冷材料的基础知识和最新进展
19	有机化学	曲面富碳分子合成、性质及进展
20	有机化学	通过有机反应合成碳纳米材料

2. 开展年度考核,形成适度压力

制定 *iChEM* 博士生年度考核制度,实行一年一聘任一考核的制度,为考核优秀的直博生提供优厚的奖学金待遇,同时也建立了博士生退出机制,形成适度压力。采用“英文总结报告+口头汇报答辩”形式,由考核组成员(不少于 7 名专业教师)对参加年度考核的学生进行无记名投票,考核结果分五档:特别优秀、优秀、比普通博士生略强、与普通博士生差不多、比普通博士生差。*iChEM* 成立协同委员

会,针对年度考核结果,根据各等级所占的比例分数,将全体考核学生分为优、良、中、差,根据考核结果给予不同等级(11 万~12 万元/年、9 万~10 万元/年、7 万~8 万元/年、6 万元/年)的奖学金支持,按月发放。同时也建立了 *iChEM* 博士生退出机制,形成适度压力,不合格的学生其奖学金将被降档甚至取消,有连续 2 次年度考核结果不合格的,取消其 *iChEM* 博士学位申请资格,转为普通研究生。同时形成特色的例会报告制度,*iChEM* 博士生选择与自己研究领域不直接相关的主题,须做不少于 1 次的专题综述报告(不能用现成的综述文献),每周例会邀请相关领域的青年教师参加,构建个人汇报、集体交流、专家指导的学术交流机制。多元化师生交流促进学生知识面拓展,锻炼了学生的独立思考、批判性思维、科研、写作等能力,为高层次能源化学专业人才培养提供制度保证。

四、协同创新的能源化学研究型人才培养模式的应用成效

厦门大学能源化学协同创新人才培养模式自 2013 年运行以来,依托 *iChEM* 平台,坚持以高标准严格遴选若干名优秀本科生进入 *iChEM* 博士生培养进程,在选才、育才、用才方面取得了丰硕的成果,荣获 2017 年福建省教学成果奖特等奖和 2018 年国家教学成果奖二等奖。人才培养的具体成效主要体现在以下两个方面:

(一)人才培养模式满意度稳步提升

为深入了解厦门大学多元协同的能源化学研究型人才培养模式的应用成效,本文通过问卷形式调研 2013—2017 级的博士毕业生,共发放问卷 67 份,回收问卷 53 份(回收率 79%)。问卷调查结果显示,毕业生对各个培养模块的满意度均超过 50%。86.8%的博士生认为在本科大三阶段获得直博生资格,进行本研协同培养,提前参与研究生课程和研究活动对学术发展有帮助(图 3a)。相比正常升学的学生,提前 1 年完成研究生课程,确保了博士一年级就开始全部投入科研。92.45%的博士生认为奖学金制度起到了很好的激励作用(图 3b)。在 *iChEM* 博士专项计划推出后,原计划出国留学的部分博士生均放弃了出国计划,与此同时还吸引了浙江大学、北京航空航天大学等大学的优秀学生保研至厦门大学;71.7%的博士生认为实行多导师制度有助于学术发展(图 3c),打破了单一高校培养的体制机制限制,让厦门大学的研究生同时有机

会到复旦大学、中国科学技术大学和中国科学院大连化学物理研究所进行合作研究,充分利用多家优势资源。58.49%的博士生认为海外联合培养模式为他们提供了更广阔的国际视野和学术交流机会(图 3d)。81.13%的博士生认为实行累积

考试制度有助于拓宽学术领域,实时了解学术进展(图 3e)。81.13%的博士生认为年度考核制度连续 5 年可获得专家组的指导建议,相比普通博士生只有中期考核多了更多压力和机会,从而起到了促进其全面发展的作用(图 3f)。

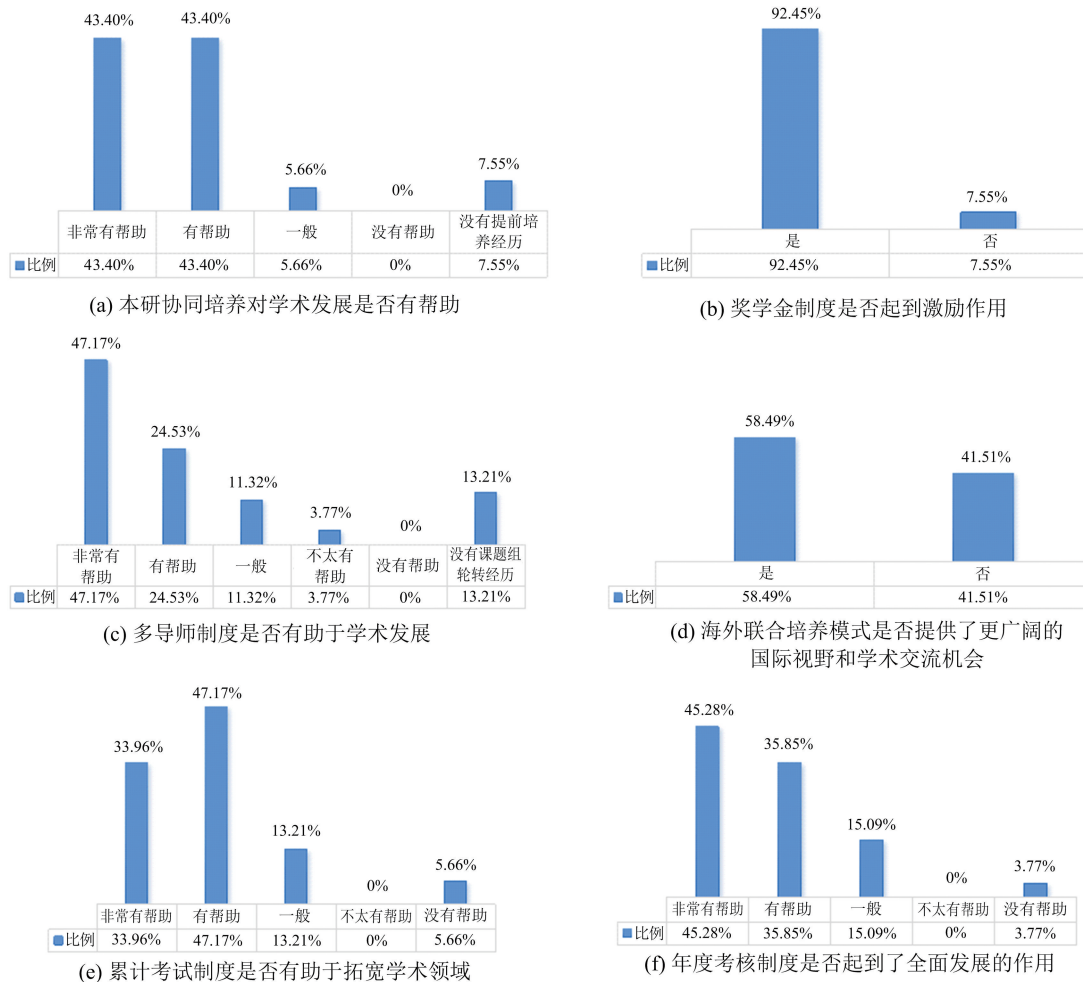


图 3 博士毕业生对协同创新培养模式的反馈

(二) 人才培养取得扎实成效

厦门大学多元协同的能源化学研究型人才培养模式有效提高了研究生的科研素质。学生在博士期间以第一作者或共同第一作者发表论文/专利共 217 篇(项),其中《科学》《自然》3 篇,《科学》《自然》子刊 29 篇,《德国应用化学》4 篇,《美国化学会志》22 篇。从职业取向来看,问卷调查结果显示,77.4%的博士生在高校科研机构从事科研工作,17%的博士生在企业从事研发工作,5.6%的博士生在政府部门从事科技管理工作。一些学生到北京大学、厦门大学、哈尔滨工业大学等校任教授、副教授,或以洪堡学者等身份出国。

特别值得一提的是,2013 级博士生林楷强(现任厦

门大学教授)迄今已发表 SCI 论文 30 余篇,以第一和通讯作者(含共同)在 Nature Nanotechnology, Nature Physics, Nature Photonics, Nature Communications 等国际重要期刊发表论文 10 余篇,不仅在 30 周岁获评国家级海外青年人才,而且成为德国物理学会华特-肖特基奖最年轻的获得者。

五、结语

协同创新机制不仅能提升高校的创新能力,也有利于创新人才培养。能源化学研究型人才的培养是多种因素影响下的一个复杂过程,也是一个需要多方面紧密协作的长期过程。总体来看,厦门大学

能源化学研究型人才协同创新培养模式的创建与实践模式,得到了博士研究生和社会的广泛认可和充分肯定,提高了学校研究生人才培养质量,为现有能源化学人才培养模式的研究和探索作出了有益补充,同时也可其他高校相关专业人才培养提供有益参考。

参考文献:

- [1] 寇江泽,刘温馨. 落实“双碳”行动 建设美丽中国[N]. 人民日报,2024-04-28(002).
- [2] 新华社. 为2020年后全球气候治理提出中国方案——外交部、生态环境部解读系列重大气候政策[EB/OL]. (2020-12-16). https://www.gov.cn/xinwen/2020-12/16/content_5569702.htm.
- [3] 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报,2021(31):33-38.
- [4] Kerr R A, Service R F. What Can Replace Cheap Oil—and When?[J]. Science, 2005, 309(5731):101.
- [5] Alaina G. Levine. 125 Questions: Exploration and Discovery[EB/OL]. (2021-05-14)[2024-06-27]. <https://www.science.org/content/resource/125-questions-exploration-and-discovery>.
- [6] 刘波,傅强,包信和,等. 我国能源化学学科发展的初步探析[J]. 中国科学:化学,2018,48(1):1-8.
- [7] 傅钢,郑南峰,任斌,等. 厦门大学能源化学专业的创建与实践[J]. 大学化学,2020,35(10):59-64.
- [8] 21世纪经济报道. 中石油经研院:国内成品油需求将渐进式复苏,天然气需求恢复较快增长[EB/OL]. (2023-03-28). <https://www.21jingji.com/article/20230328/herald/efe389e0af1dbd7fa15e980b716b8002.html>.
- [9] Mallapaty S. How China Could be Carbon Neutral by Mid-century[J]. Nature, 2020, 586(7830):482-483.
- [10] 国家自然科学基金委员会,中国科学院. 中国学科发展战略·能源化学[M]. 北京:科学出版社,2018.
- [11] 黄正夫,易连云. 协同创新视野下研究生培养模式的转换[J]. 学位与研究生教育,2014(4):7-10.
- [12] 左崇良. 专业学位研究生教育的质量保障及制度优化研究[J]. 北京教育(高教),2021:8-14.
- [13] 姚晓丹. “2011计划”,协同创新第一步[N]. 光明日报,2012-05-16(016).
- [14] 邵云飞,曾勇,汪腊梅. 高校协同创新视角下的复合创新型人才培养模式探索:以电子科技大学为例[J]. 电子科技大学学报(社科版),2017,19(1):15-19.
- [15] 陈相芬. “一带一路”背景下高职院校协同创新人才培养模式研究[J]. 中国职业技术教育,2016(4):42-45.
- [16] 郑文涛. “双一流”背景下的高校交叉学科建设研究[J]. 首都师范大学学报(社会科学版),2018(1):160-166.
- [17] 石磊,崔佳玉,胡杨林,等. 打造学科交叉国际育人平台推动化学学科原始创新:吉林大学未来科学国际合作联合实验室[J]. 化学教育(中英文),2022,43(14):65-68.

Development and Implementation of a Collaborative Innovation Training Model for Research-oriented Talents in Energy Chemistry

WU Zhihua^{a,b}, FU Gang^{a,b,c}, WU Lingling^c, YANG Liu^{a,c}, REN Bin^{a,b,c},
XIE Zhaoxiong^{a,b,c}, ZHENG Nanfeng^{a,b,c}, TIAN Zhongqun^{a,b,c}

(a. Collaborative Innovation Center of Chemistry for Energy Materials; b. IKKEM;
c. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: Energy chemistry is the study of the basic laws of energy acquisition, storage and conversion processes using chemical principles and methods. It is one of the most important branches of energy science. Under the background of “dual carbon goals”, promoting the cultivation of energy chemistry research talents is of great practical significance. Facing the challenges in cultivating research talents in energy chemistry, relevant units at Xiamen University have developed a diversified talent training model under the guidance of collaborative innovation concept. Through establishing a progressive curriculum system, implementing strict doctoral admission criteria, adopting a supervisor group system, and strengthening quality management through cumulative examinations, annual assessments and regular research meetings, the university has formed a collaborative model integrating undergraduate and graduate education, multiple disciplines, on-campus and off-campus resources, domestic and international cooperation, and teacher-student interaction. This model has achieved significant results and can provide valuable reference for other universities.

Keywords: collaborative education model; process-oriented training; integration of discipline, talent, and research