



我国能源化学学科发展的初步探析

刘波¹, 傅强², 包信和², 田中群^{1*}

1. 固体表面物理化学国家重点实验室; 厦门大学化学化工学院; 能源材料化学协同创新中心, 厦门 361005

2. 催化基础国家重点实验室; 中国科学院大连化学物理研究所; 能源材料化学协同创新中心, 大连 116023

*通讯作者, E-mail: zqtian@xmu.edu.cn

收稿日期: 2017-05-19; 接受日期: 2017-09-11; 网络版发表日期: 2017-11-23

国家自然科学基金(编号: L1322008)资助项目

摘要 能源化学是在世界能源需求日益突出的背景下处于发展初步阶段的新兴交叉学科, 主要利用化学的理论和方法来研究能量获取、储存及转换过程的规律, 探索能源新技术的实现途径. 作为能源学科中最主要的二级学科之一, 能源化学是在融合物理化学、材料化学和化学工程等学科知识的基础上而提升形成, 兼具理学、工学相融合大格局的鲜明特色, 是指导能源高效利用和新能源开发的关键学科之一. 能源科学很可能跟随材料科学和环境科学形成壮大的足迹, 成为被学术界、工业界和社会所广泛认可的新兴一级学科, 进而被基本学科指标数据库(Essential Science Indicators, ESI)所收录, 能源化学则有望最早搭建起全面系统的知识框架体系, 成为能源科学二级学科分支中的前行者和领航员. 本文对能源化学学科的内涵及分类、战略地位、规律及特点等进行了梳理和分析, 在明确学科发展目标与学科任务的基础上, 提出了对我国能源化学学科发展的初步建议. 目前需要把握国际尚未建立能源化学学科特别是本科-研究生教育体系的关键时机, 借助高校体制机制改革的东风, 集中全国优势力量, 全面细致地做好顶层设计和学科规划, 编写出国际首套本科生教材, 加快在部分基础好的高校开展试点工作, 力争在国际上引领能源新学科的建立、发展与应用.

关键词 能源化学, 新兴学科, 交叉学科, 能源科学

1 引言

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础, 纵观人类社会发展的历史, 人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替. 能源危机以及由能源问题引发的气候、环境危机是当今人类社会面临的重大挑战^[1]. 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, 而这离不开化学的理论与方法, 以及以化学为核心的多学科交叉和基于化学基础的新型能源材料及能源支撑材料的设计、合成

和应用^[2]. 特别是在能源开发和利用方面, 无论是化石能源的高效清洁利用, 还是太阳能等可再生能源的高效化学转化, 均涉及重要的化学基元反应问题, 都不可避免地依赖于与化学相关的基础研究^[3]. 正是在亟需化学的理论与方法破解能源问题的重大背景之下, 能源化学作为一门新兴学科应运而生. 能源化学顾名思义是能源与化学两个一级学科的交叉, 但事实上, 能源学科迄今未被ESI (Essential Science Indicators)收录为一级学科, 说明其还很不成熟^[4]. 从我国现有的学科划分来看, 能源相关学科及其下属分支属于工科, 主

引用格式: Liu B, Fu Q, Bao X, Tian Z. An analysis of the discipline development of energy chemistry in China. *Sci Sin Chim*, 2018, 48: 1-8, doi: 10.1360/N032017-00083

要与煤电、热电、水电及电网等相关,很狭窄和片面.因此,探析能源化学学科的内涵特点、知识体系、教育模式等很有必要.本文的初衷是引发研究者参与探讨如何科学构建和发展能源化学这一新兴学科.

2 学科内涵

能源化学是能源科学和化学科学这两个主干学科与材料学、工程学、物理学、生物学、环境学、经济学、管理学等多个学科交叉融合,进而形成在能源学科下的一门二级学科.能源化学主要利用化学的理论和方法来研究能量获取、储存、转换及传输过程的规律,探索能源新技术的实现途径.不论是在常规能源的综合利用还是新能源的研究开发中,能源化学均担当重任,为人类社会的可持续发展发挥巨大作用.催化化学、电化学、材料化学、光化学、燃烧化学、理论化学、环境化学和化学工程等学科及其分支学科为能源化学提供了学科基础.依照不同的能源资源利用过程以及对能源体系和过程的支撑作用,能源化学可以划分为碳基能源化学、电能能源化学、太阳能能源化学、热能能源化学及能源物理化学、能源材料化学和能源化学系统工程等多个三级学科(图1).

碳基能源化学研究如何将化石燃料、生物质等碳资源得以清洁、高效地转化为载能分子和化学品.碳基能源化学重点发展碳资源优化利用的新方法、新技术与新材料,特别是注重发展非石油化石资源的高效绿色利用技术,是推动我国能源进步的一个重要方向.

电能能源化学研究电能与化学能之间的相互转

化.电能与化学能之间的相互转化是通过各式各样的化学储能器件即电池来完成.电能能源化学涉及电化学、无机化学、纳米化学等学科领域,其发展目标是通过深入揭示电极材料、电解质材料和膜材料之间多尺度荷电界面上的荷质转移机制,进而发展以锂离子电池、锂硫电池、燃料电池、液流电池等为代表的、安全、高效、长寿命的化学储能体系.

太阳能能源化学研究太阳能的化学转化与利用.太阳能的化学转化与利用途径涉及众多复杂的能量转化及物质转移过程,技术提升和成本降低有赖于对这些过程的深入认识以及新材料的发展.因此,如何发展高效且成本低廉的转化与利用技术是太阳能大规模开发和利用的最大挑战,不仅亟需新材料的发展与革新,还需要深入理解太阳能化学利用中复杂的能量转化/物质转移过程以发展新的高效利用技术.

热能能源化学主要研究热能转化利用中的化学反应和材料,特别是中高温条件下的化学行为.由于温度是影响化学反应的重要因素,不仅影响反应速率,且在某些情况下还可以影响反应能否发生及反应进行的程度,使得高温下的化学行为表现出一些新的特征.热能能源化学重点发展的研究方向包括燃烧化学、高温燃料电池和高温电解水蒸气制氢等研究领域.

能源物理化学重点研究能源化学中的表界面问题和理论问题.聚焦能源化学研究中具有重要意义的气-固表界面和液-固表界面体系,以结构、环境和外场对表界面电子态的调控为基础,通过能源、化学、材料、物理等多个学科的交叉融合,探索能源化学中的动态过程及机理,探讨表界面结构和能源转化功能之间的内在本质关系,重点突破能源高效转化涉及的

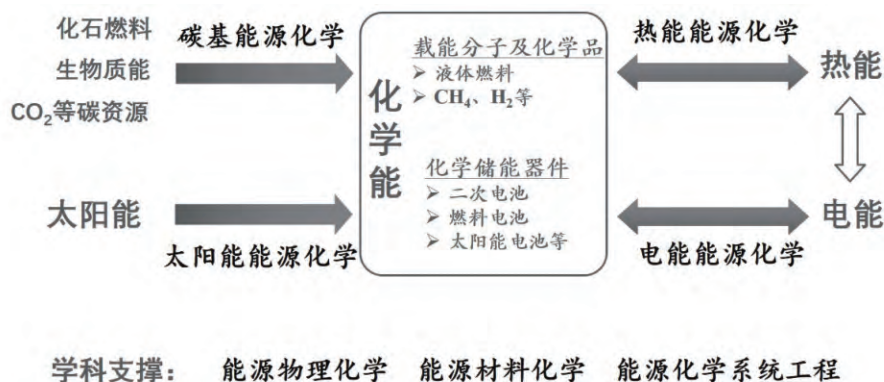


图1 能源化学学科脉络图

催化、电化学、光-电化学等过程中的关键科学问题,建立具有普遍指导意义的能源物理化学相关理论.

能源材料化学研究能源材料的合成与制备及其如何在能源化学过程中实现高效利用. 能源新材料的开发与制备是当前能源材料化学的重点研究方向,针对碳基能源化学和电能能源化学等领域对催化材料、电极材料、电解质材料等能源新材料的重大需求,制备新型的纳米晶材料、二维层状材料、多孔材料以及复合界面材料,并在纳米尺度上对材料结构(尺寸、形貌、表面及界面作用、纳米组装与纳米空间限域等)进行精准调控,以实现能源新材料在能源化学过程中发挥更高效能.

能源化学系统工程主要针对能源化学中的各类工艺过程和系统,利用系统工程的理论、方法与技术解决能量和物质的高效转换、综合利用和互补集成等问题,以实现能源化学系统的最优设计、规划、决策、控制、管理和运营. 能源化学因其化学反应直接或间接实现能量和不同化学物质之间的转换与储存,通过过程集成和过程综合实现节能和科学用能,力争发挥系统的最大效益和功能,是能源化学系统工程探索的焦点.

3 战略地位

建设现代能源体系,应对全球能源危机,在相当程度上依赖于能源领域的科技创新,而科技创新和人才培养离不开相关学科支撑,需要形成和统一能源大大学的框架与知识体系. 有充分的理由预见,在不远的将来,能源科学将跟随材料科学、环境科学建立和壮大的历史足迹,同样成为被学术界、工业界和社会所广泛认可的新的二级学科,并成为ESI收录的学科. 能源化学是能源学科的最主要二级学科之一. 我国的化学学科已进入国际第一方阵,能源化学研究已在国际上占有重要一席之地,因此有望在国际上率先建立起系统的能源化学学科的知识体系. 能源化学也有望成为能源学科的各个二级学科分支发展中的前行者和引航员.

能源化学作为关键的基础学科和知识库,不论是在常规能源的综合利用还是在新能源的研究开发中都扮演着重要的角色,其作用主要体现在以下3个方面.

(1) 传统化石燃料能源体系的高效利用离不开能源化学. 在化石资源开发与利用方面,能源化学在实

现煤炭的高效清洁利用,解决碳氢比可调的技术、新型的煤清洁燃烧技术中的催化燃烧及反应控制问题、煤化工转化过程中产物定向转移控制问题、煤与可再生能源组合应用的过程设计与工艺集成技术和二氧化碳的捕集和储存技术等问题中将起到重要作用. 在石油/天然气的加工和石油/天然气化工工艺中,能源化学为研究相关的新反应、新转化机理、新催化剂、新反应过程提供新的理论与方法,能够系统探讨和提出石油、天然气资源高效开采和利用的新途径.

(2) 能源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和知识库. 在新能源开发和利用方面,新能源的发展一方面依靠新原理来发展新的能源系统,另一方面还必须靠新能源材料的开发与应用,支撑能源系统得以实现,并进一步提高效率,降低成本. 新能源材料的最大特点是在提供能量高效转化与储存的同时,实现清洁生产,即充分利用参与反应的原料原子实现“零排放”,以获得最佳原子经济性. 而新能源材料的组成与结构、合成与加工、性质与现象、使用与性能等都是能源化学为基础出发点^[3].

(3) 能源化学致力于开发清洁高效的能源存储与转换材料,开拓能源存储与转换新体系,提高能量转换效率. 在节能与提高能源效率和开发新型能源器件等方面,通过开发大容量、高功率、低污染、长寿命、高安全性的燃料电池、二次电池,发展电动汽车、替代能源车,构建节油乃至部分替代石油的新一代交通体系. 在电网安全、促进新能源并网方面,发展用于大规模储能和分布式储能的电池体系,助力发展智能电网系统,破解风能、太阳能等可再生能源发电不连续、不稳定、不可控与能源需求连续性之间的矛盾,减小可再生能源发电并网对电网的冲击,提高电网对可再生能源发电的消纳能力.

能源化学领域复杂的关联性迫切需要理工科融合而且包括经济管理学科的大框架和知识系统,呼唤新的教育培养人才的方法、模式和体系.

4 能源化学学科发展规律、特点和趋势

能源化学学科在能源与化学学科的相互作用过程中沉积了深厚的融合基础,在当今能源危机日益临近、环境污染日趋严重的时代背景下应运而生,属于新兴学科. 能源化学学科在发展过程中始终以社会需求为导向,高度重视能源系统和器件的复杂性,注重

发展颠覆性的能源技术,持续支撑能源科技继续向绿色低碳、高效、智能、多元化方向发展.能源化学具有理、工科高度融合的特点,是能源学科的最主要二级学科之一.在全国范围内设置与推广能源化学本科专业,在我国高等教育体系内建立从本科到研究生一体化的能源化学创新人才培养体系和教育模式乃是大势所趋.能源化学顾名思义是能源与化学两个一级学科的交叉.但事实上,能源化学乃至能源学科迄今未被ESI收录,很不成熟.因此很有必要探析其发展规律、特点和趋势.

4.1 发展规律

(1) 能源化学以强烈的社会需求为导向而建立并发展.妥善解决快速增长的能源需求和日益严峻的资源、环境问题之间的矛盾是人类社会必须面对的重大问题.人类社会对能源化学的需求不仅体现在优化利用传统能源、开发新能源来应对能源危机,而且也体现在从源头上遏制环境污染,坚持可持续发展战略.换言之,能源化学学科是由全球和社会对能源需求所倒逼而建立和发展起来的.当前还处在学科建立的起步阶段,主要应以社会需求为导向,积极适应经济社会发展的需求以及能源产业发展的需求,以科学提升现有能源技术为主.当全面搭建学科框架和形成知识体系之后,则可能进入科学引领未来技术为主的阶段,即更为重视基础研究所引发的颠覆性(变革性)技术,进而拓展学科领地.

(2) 能源资源高效利用是能源化学发展的主要推动力,能源化学是若干能源资源利用过程的先导和源泉,两者紧密相连、相互促进.例如,传统化石燃料的高效利用过程推动了煤化工、石油化工和天然气工业过程中所涉及的化石资源均相/非均相高效催化和绿色过程、催化材料及其表/界面控制等碳基能源化学研究领域的发展;新能源的开发与利用过程推动了太阳能能源化学、电能能源化学等研究领域的发展.另一方面,能源化学相关研究领域的发展和学科知识体系的丰富极大地促进能源资源利用过程更加高效、环保和可持续发展.

(3) 能源化学领域颠覆性(变革性)技术推动能源生产、利用方式发生重大变革.颠覆性技术是指一种另辟蹊径、会对已有传统或主流技术产生颠覆性效果的技术,能够给经济体带来“创造性”变革,造成利润空间转移和产业结构调整,导致传统企业被新兴企

业取代.例如,在能源存储与转化领域,锂离子电池作为一项颠覆性技术突破了传统铅酸、镍氢电池的技术瓶颈,使得智能手机等移动设备的推广普及成为现实.然而,现有锂离子电池技术尚不能满足电动汽车跑得更远、跑得更快、更加安全便捷的需求,因此产业对锂空气电池、全固态电池等颠覆性技术充满期待.由此可见,面对当今能源技术面临的发展瓶颈与众多难题,必须重视发展颠覆性技术.能源学科的建立与发展思路需要建立在当今国际能源结构体系无法承受和满足日益增长的能源需求之上.在新能源开发与利用方面,钙钛矿太阳能电池技术,太阳能光解水和制备光燃料,基于外场增强效应的能源转化和利用新方式等也是值得期待的颠覆性技术.为此,能源、化学、材料甚至管理等多个一级学科的有机交叉方可有效推进颠覆性技术的产生.

4.2 学科特点

(1) 能源化学学科在教学和科研方面必然要有全新的知识结构体系,具有理学、工学相融合大格局的鲜明特色,需要协同物理化学、材料化学和化学工程等学科知识.绝大多数能源化学系统和器件都包含若干复杂的能源化学过程和能源形式转换的固体-固体、固体-液体、固体-气体、液体-液体和液体-气体、固体-液体-气体等各类界面,任一过程和界面都可能成为整个系统和器件高效使用和实用化的瓶颈,其性能的提升乃至突破需要对该体系的全面深刻的认知和理解,依赖于多学科交叉与融合.以质子交换膜燃料电池(PEMFC)系统为例,其实用商业化的瓶颈一直集中在高效价廉的催化剂和膜电极的构建,反应包含固/气/液三相界面分步骤、分层次的传质和传荷过程,涉及纳米-介观-宏观的跨尺度问题,需要电化学、催化化学、材料学、流体力学和纳米科学等跨学科的交叉和融合.燃料电池系统的热管理和水管理,还需要融合工程热物理和化工技术等领域的重要基础知识,开拓出微细通道传热、传质与多相流动等工程热物理前沿领域的重要工程应用.

(2) 能源化学领域的多数前沿研究正在向系统集成的方向发展,实现系统集成的关键在于能源化学各领域之间以及能源化学和其他学科之间的协同增效,需借助集成和过程革新,寻求将多种能源综合互补、高效利用的有效途径与方法.例如,煤与天然气共炼制液体燃料和化学品(煤-气共炼)是煤化工领域非常

值得期待的颠覆性技术,然而,仅依靠传统的煤化工催化已被证明难以实现煤-气共炼过程,其发展方向是集成催化化学、光化学、电化学和纳米科学等手段,寻求联用方法以突破其技术瓶颈.又如,风能/太阳能-生物质基低碳混合能源系统需要集成太阳能能源化学、电能能源化学、碳基能源化学的数个研究方向,通过能源系统的相互耦合,不仅可以生产电力、输出燃料和化学品等,还能实现系统的CO₂负排放,达到CO₂减排与资源化的目的.

(3) 能源化学的科学研究、学科发展、人才培养特别需要强调大局和统筹观,必须以系统论的方法,以可持续发展的理念,以全局、历史、开放和关联的视角去分析和研究能源和能源化学问题.还需要结合我国实际,统筹考虑能源发展与经济、社会、环境、外交等方面的关系;统筹考虑满足能源需求、保护生态环境与增强国际竞争力的关系;统筹考虑我国能源资源的特点与分布和开发与利用的关系;统筹考虑煤、水、电、油、气、核等各种能源之间的关系;统筹考虑化石能源与非化石能源、传统能源与新能源之间的关系;统筹考虑能源开发、输送、消费等各个环节之间的关系^[5].能源化学领域很有必要将各个分离的科学研究和人才队伍等集成到紧密关联、统一和协调的大科学系统之中.

4.3 发展趋势

(1) 能源化学学科的新概念、新方法、新理论将不断涌现,支撑世界能源科技继续向绿色低碳、高效、智能、多元化方向发展,引领能源生产和消费革命不断深化.

(2) 前沿性探索研究和能源新技术开发的结合将更加紧密.能源化学越来越重视并参与能源科技全产业链的创新,与能源相关领域的渗透与综合使能源化学有机会在更大的框架和系统中得以发展.

(3) 能源化学将形成完善和统一的学科框架与知识体系,理工科一体化的新模式将在探索和发展中逐步形成,并得到学生、学校乃至整个社会的认可,并推动我国在高等教育体系内推广能源化学本科专业,建立从本科到研究生一体化的能源化学创新人才培养体系和教育模式.

5 学科发展目标与任务

能源化学学科以“满足国家能源战略需求,引领国

际能源化学学科”为发展目标,主导推进ESI (Essential Science Indicators)将能源科学收录为一级学科,并将能源化学列为主要的二级学科之一.立足我国能源化学科技现状、从国家能源战略需求和学科发展需要出发,争取在5~10年内建设比较完善的能源化学学科体系和人才培养体系,持续为国家培育能源化学创新和创业人才;建立一支高水平的研究队伍,汇聚培养能源化学领军人才,成为国际能源化学研究和教学的学术高地;突破能源化学领域若干基础科学问题和关键技术,抢占国际能源化学科学研究和核心技术开发的战略制高点;建成一批先进的能源化学的科研平台及大科学装置,为解决制约我国经济发展的能源重大关键问题奠定科学基础,并为相关的能源高新技术和产业的发展提供科学支撑.

针对学科发展目标,能源化学具体的学科任务有如下3点.

(1) 构建能源化学的新学科框架与知识体系.从我国现有的学科划分来看,能源相关学科及其下属分支属于工科,仅与煤电、热电、水电及电网等相关,很不全面.因此,需要在学科的知识体系、方法体系和学科体制等方面进行创新,全面建成能源化学学科.具体来讲,能源化学以现有的催化化学、电化学、材料化学、光化学、燃烧化学、理论化学、环境化学和化学工程等作为主要学科基础.如何强化上述多学科的交叉融合进而将能源化学提升为新兴学科的任务十分艰巨.需要针对碳基能源优化利用、能源的化学存储与转化、太阳能高效利用等研究领域中的重大科学问题,形成碳基能源化学、电能能源化学、太阳能能源化学、热能能源化学及能源物理化学、能源材料化学以及能源化学系统工程等三级学科为代表的、较为完善的能源化学科学体系.

(2) 加快建立从本科生到研究生一体化的教育模式与培养体系.目前能源化学的科技产业人员基本上是在本科生阶段进入化学专业或材料专业,之后考上能源化学研究生或直接进入有关企业部门,这种本科教育与研究生培养相互割裂的培育模式已难以适应新形势下能源化学领域对创新人才的需求.因此,要积极推动将能源化学学科进入本科生学位授予和人才培养学科目录,推动在条件成熟的高等院校增设能源化学本科专业,并按照能源化学特定的培养目标,切实推行“宽方向、厚基础”的培育模式.鉴于国内外

尚无能源化学的本科教材,要下大气力制定教学大纲和课程体系,特别是编写一套高水平的教材,并建立与之相适应的教学模式、管理制度和评估方式,系统培养理工科贯通的能源化学专业人才.力争在人才培养、学科建设和科学研究等方面抢占国际战略制高点,为实现能源领域新一轮跨越式发展提供坚实的科技支撑和丰富的人才资源.

(3) 持续在能源化学领域开展原创性、引领性的科学研究与技术创新.一方面,鼓励科技工作者在能源化学领域积极开展自由探索,充分发挥科学家的想象力和创造力,发展能源化学新概念、新方法、新理论,从源头上保障科技创新,形成一批前沿性的核心技术和方法学理论,有效带动学科整体水平;另一方面,面向国家重大战略需求,建设一批技术创新类、科学研究类、基础支撑类的能源化学研究平台.利用平台汇聚能源化学领军人才和培养后备人才;利用平台开展大量原始创新工作,引导科技工作者重点解决碳基能源优化利用、能源的化学存储与转化、太阳能高效利用等研究领域中的关键科学与技术问题,保障和促进社会经济的可持续发展,进而良性反馈,进一步推动能源化学学科的健康发展.

6 学科发展建议

(1) 要抓住国际尚未建立能源化学学科特别是本科-研究生教育体系的良机,借助高校体制机制改革的“东风”,在教育部等国家部门的领导下,集中全国的优势力量,群策群力,全面细致做好顶层设计和学科规划,进而抓紧在部分基础好的高校开展试点工作,加快全面推进引领国际新学科发展的步伐.

(2) 加强能源化学学科建设和人才培养的高度和力度,特别要针对理科与工科融合的特点,以编写高水平的本科教材为突破口,学以致用,走向国际.加强高校、科研院所间的合作教学和实习科研,邀请能源工业界和政府机构人员在高校开展讲座.引导推动人才培养链与产业链、创新链有机衔接,积极且扎实地在教育和培养人才模式上创新.

(3) 建议设立能源化学专项基金或能源化学重点专项.以期集中有限资金集中突破重大关键科学问题,持续支持我国能源化学前沿创新研究,特别鼓励相关的颠覆性(变革性)研究,以使我国的能源化学科研与

技术全面进入国际第一方阵.

(4) 加强政府管理部门、研究出资主体及研究机构之间的统筹协调.优化基础研究项目、人才、基地,自由探索性研究和定向性研究的经费配置.在加强竞争性项目经费投入的同时,加大对人才和基础研究、公益类科研机构持续且稳定的支持力度.在能源领域布局一批能源研究的国家级平台(如国家实验室),尤其是能源化学前沿创新平台,使基础研究、高技术开发、成果产业化能形成有机的链条,体现基础研究和学科建设成果对创新型国家的支撑作用.

(5) 鼓励跨学科交叉研究、重视发展能源化学领域颠覆性技术.建议采取多样化的科研组织方式,推动多学科交叉研究.在项目的组织形式上既要鼓励科学家自由选题,开展探索性研究,更要根据国际科学发展的动态和我国实际情况,通过国家相关的资助机构,加强系统设计,围绕总体目标开展系统性研究.强化基础和学科交叉已成为培育颠覆性技术的重要趋势,建议凝聚优势力量,重点针对能量获取、储存、转换及传输过程中的重要科学问题,进行能源颠覆性技术研究.

(6) 促进能源化学科技成果转化和技术转移,完善能源化学产业链.技术转移是推进能源产业发展的重要方式和有效途径,为加快能源改革进程、提升能源自主保障能力,必须高度重视能源技术转移工作.通过新模式培养的人才,具有相应的支持推进全产业链协同创新和联合攻关,系统解决能源化学工程化和产业化的关键问题,加速形成能源新兴产业集群.

7 结语

目前,我国能源化学的发展已经从跟随国际的发展到了并行的阶段.在煤化工、能源转化与存储等能源化学领域,我国科学家均取得了一系列重大且突破性的科技成果,甚至在一些方向上逐渐成为领跑者.未来10~20年将是能源化学飞速发展的黄金时期,我国能源化学学科应做好顶层设计和发展规划,持续支持和推进能源化学的学科建设和前沿创新研究,形成培养能源化学有用人才的科学模式,建成本科-研究生学科课程和推进科学普及工作.有理由相信,通过不断改进提升学科知识体系和教育培养人才的模式,我国能源化学学科有望成为在国际引领的优势学科.

致谢 本文是在国家自然科学基金委员会-中科院学科发展战略研究项目“能源化学学科发展战略研究”的成果基础上和教育部2011计划能源材料化学协同创新中心(iChEM)大力支持下撰写完成的,我们在此衷心感谢项目组成员万立骏、赵东元、谢毅、张华民、陈军、刘会洲、刘昌俊、庄林、齐飞、王野、郑南峰、刘海超、郭玉国、张凡、熊宇杰、李先锋、程俊、郑永红等为项目及本文所做出的贡献. 特别感谢厦门大学化学化工学院和能源学院及iChEM的众多教师自2015年向教育部申报能源化学本科专业的过程中特别是获批后开设九个专业课程的辛勤付出与重要贡献.

参考文献

- 1 国家自然科学基金委员会, 中国科学院. 未来10年中国学科发展战略: 能源科学. 北京: 科学出版社, 2012
- 2 Chu S, Majumdar A. *Nature*, 2012, 488: 294–303
- 3 陈军, 陶占良. 能源化学. 北京: 化学工业出版社, 2014
- 4 Kirshenbaum SR, Webber ME. *Nature*, 2011, 478: 37
- 5 刘振亚. 中国电力与能源. 北京: 中国电力出版社, 2012

An analysis of the discipline development of energy chemistry in China

Bo Liu¹, Qiang Fu², Xinhe Bao², Zhongqun Tian^{1*}

¹ State Key Laboratory of Physical Chemistry of Solid Surfaces; College of Chemistry and Chemical Engineering; Collaborative Innovation Center of Chemistry for Energy Materials (iChEM), Xiamen University, Xiamen 361005, China

² State Key Laboratory of Catalysis; Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences; Collaborative Innovation Center of Chemistry for Energy Materials (iChEM), Dalian 116023, China

*Corresponding author (email: zqtian@xmu.edu.cn)

Abstract: Energy Chemistry is a new interdisciplinary field of science that has arisen out of necessity to address the demands of the growing global energy crisis. This new field utilizes modern chemistry theories and methods to develop innovative and efficient energy technology and optimize energy harvesting, energy storage, and energy conversion methods. As one of Energy Science's most important secondary disciplines, Energy Chemistry has ties to a number of scientific fields, including Physical Chemistry, Material Chemistry and Chemical Engineering. The way in which it integrates the disciplines of science and engineering is also quite unique and innovative, and has proven key in advancing the efficient utilization of energy as well as the development of new energy. Energy Science is likely to follow in the footsteps of Materials Science and Environmental Science, which have already become widely recognized in academia, industry, and society as first-class disciplines. It also has great potential to be included by ESI (Essential Science Indicators). Energy chemistry as a discipline hopes to construct the first comprehensive knowledge framework for Energy Science, and become the field's leading secondary discipline. In this paper, we analyze the field of Energy Chemistry as a whole, including its limits, strategic potential, and characteristics. In order to clarify development goals and development strategy, this paper puts forward several suggestions concerning further development of Energy Chemistry. The discipline of Energy Chemistry is still in its infancy and does not yet have an established standard in many respects. We must take advantage of the institutional reforms currently being implemented to carefully steer the development of this new field. This means implementing top-level strategic planning, preparing the first set of Energy Chemistry textbooks, expediting vital research and experiments at partner universities, instigating the establishment of new energy sciences across the nation, and developing real-world applications for new energy technology.

Keywords: energy chemistry, emerging discipline, interdiscipline, energy science

doi: 10.1360/N032017-00083