

引用格式:王昶,宋慧玲,耿红军,等. 关键新材料创新突破的研究回顾与展望[J]. 资源科学, 2019, 41(2): 207-218. [Wang C, Song H L, Geng H J, et al. Review and prospect of advanced material innovative development[J]. *Resources Science*, 2019, 41(2): 207-218.] DOI :10.18402/resci.2019.02.01

关键新材料创新突破的研究回顾与展望

王 昶^{1,2}, 宋慧玲¹, 耿红军¹, 周依芳¹, 张翠虹¹

(1. 中南大学商学院, 长沙 410083; 2. 自然资源部国土资源战略研究重点实验室, 北京 100812)

摘要:“制造强国梦、材料当先行”。关键新材料是未来高新技术产业发展的基石和先导。本文从关键新材料创新突破的演进规律、技术创新、商业化应用、战略与政策等四个方面梳理了近年来关键新材料创新突破的研究进展。研究表明,产业升级不断对关键新材料创新突破提出新的要求和挑战,而关键新材料的创新突破也会进一步推动产业升级。为此,世界各国都根据本国新材料发展情况纷纷制定关键新材料创新突破战略和政策,争夺科技制高点。然而,关键新材料具有“高技术不确定性”和“高市场不确定性”,这决定了关键新材料创新突破面临“技术创新”和“商业化应用”两大难题。未来需要加强智能制造技术经济范式变革和重点领域智能转型对关键新材料创新突破的影响、关键新材料技术创新突破的实现路径、不同类别关键新材料商业化应用模式的创新以及战略与政策的精准设计等方面的研究。

关键词:关键新材料;创新突破;技术创新;商业化应用;研究回顾;展望

DOI :10.18402/resci.2019.02.01

1 引言

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,也是人类社会发展的先导。新材料的创新发展更涉及当代科技突破、经济飞跃的方方面面^[1]。2015年10月23日,习近平总书记在参观曼彻斯特大学国家石墨烯研究院时指出,“在当前新一轮产业升级和科技革命大背景下,新材料产业必将成为未来高新技术产业发展的基石和先导,对全球经济、科技、环境等各个领域发展产生深刻影响”。为把握新一轮科技革命的历史机遇,抢占科技创新制高点,掌握未来新兴产业发展的主动权,美、日、欧等发达国家和地区的资源争夺焦点逐渐从自然资源端延伸到了材料端,纷纷在关键新材料创新突破方向发力。如美国制定了《先进伙伴制造计划》、《“材料基因组”计划》等重大战略^[2,3];日本出台了《纳米材料计划》、《超级钢铁材料开发计划》等规划^[4];欧盟把关键新

材料视为先进制造业的重要基础,发布了《欧洲关键使能技术战略》等^[5];中国也专门制定了《新材料产业发展指南》、《“十三五”材料领域科技创新专项规划》等^[6,7],力争把中国高技术矿产资源优势转换成材料优势、产业优势。

近年来,学术界也开始越来越关注关键新材料创新突破问题的研究,但现有文献对关键新材料创新突破相关研究动态缺乏综合把握,亟需对其进行系统梳理,进而为我国实现制造强国战略提供重要理论指导。因此,本文将系统回顾关键新材料创新突破的研究进展。首先,深刻揭示产业升级与关键新材料创新突破的演进规律,其次,重点对关键新材料创新突破的两大难题,即技术创新与商业化应用问题的研究进行深入梳理,并回顾总结关键新材料创新突破的国家战略和政策。最后,在对现有文献研究缺口进行分析的基础上,指出未来的研究方向。

收稿日期:2018-11-30,修订日期:2018-12-20

基金项目:国家社会科学基金重大项目(18ZDA061);湖南省软科学重点项目(2017ZK3060);湖南省智库重点委托项目(17ZWB25)。

作者简介:王昶,男,湖南怀化人,教授,博士生导师,主要研究领域为资源战略与政策。E-mail: changw1000@163.com

通讯作者:耿红军, E-mail: 869167106@qq.com

2 产业升级与关键新材料创新突破的演进规律

2.1 产业升级与关键新材料创新突破的演进历程

材料是人类一切社会生活和经济发展的基础性要素。正因为材料对于人类的重要性,人类历史的分期才分别冠以石器时代、铜器时代、铁器时代和硅时代^[8]。材料作为关键资源投入,在历次工业革命中起着重要作用,一次次推动着技术革命的浪潮^[9]。回溯工业革命历程可以发现,每一次产业升级都伴随材料的创新与进步(图1)。第一次工业革命时期,大机器生产取代了手工劳动,生铁作为关键材料投入促进了机械制造、轨道交通的发展;第二次工业革命时期,电气工业、内燃机快速发展,钢铁和复合材料等得到大规模应用;第三次工业革命时期,半导体、高分子材料、高晶硅等材料的应用和发展促进了航天技术、生物工程等产业的发展;到了第三次工业革命后半期,新一代信息技术飞速发展,人类开始由“硅时代”走进“碳时代”。超导材料、纳米材料、石墨烯等前沿新材料将成为衡量一个国家科技进步的重要标志^[10]。

2.2 产业升级与关键新材料创新突破的演进规律

纵观工业化进程,产业升级与关键新材料创新突破演进过程中主要呈现出以下规律:

一方面,产业升级会对关键新材料的性能、需求结构及种类复杂性等方面形成深刻的影响。产业升级不断对已有材料提出新的挑战和要求,从而

倒逼材料性能的改进。如Tu等对硅晶片材料的研究发现,为了提高微电子芯片集成度和信息处理速度,硅材料的性能不断提高^[11]。产业升级也将带动新的材料需求,导致材料需求结构发生巨大变化。例如,航空航天产业的发展要求飞机制造必须实现轻量化,刺激飞机材料不断实现创新发展,飞机主导材料由最初的木质材料变为铝合金材料,之后,复合材料凭借其优异性能,在飞机材料中的消费占比迅速上升,超过了50%,进而成为新的飞机主导材料^[12]。此外,产业升级加快产品更新换代,使得所用材料的复杂性不断提高。如随着计算机行业不断升级换代,Intel电脑芯片所用材料种类也在不断丰富,20世纪80年代芯片只含有11种材料,到21世纪初其材料种类已经超过45种^[13]。

另一方面,关键新材料的创新突破也会推动或制约产业的升级。新材料可以导致颠覆性技术的出现,从而推动产业变革。如白光发光二极管的出现,开辟了照明新纪元,液晶屏替代阴极摄像管,带来了显示革命^[14];但材料瓶颈也可能会严重制约产业的发展。我国航空航天产业在先进复合材料技术创新领域的研究起步较晚,再加上国外一直对我国严密封锁航空复合材料的关键技术,目前我国在航空航天先进复合材料领域大部分仍停留在实验室阶段,严重制约了我国军用、民用飞机的发展^[12]。孙晓霞^[15]、Wang等^[16]学者研究表明,增材制造、智能机器人等新兴产业的发展都将面临材料约束的瓶

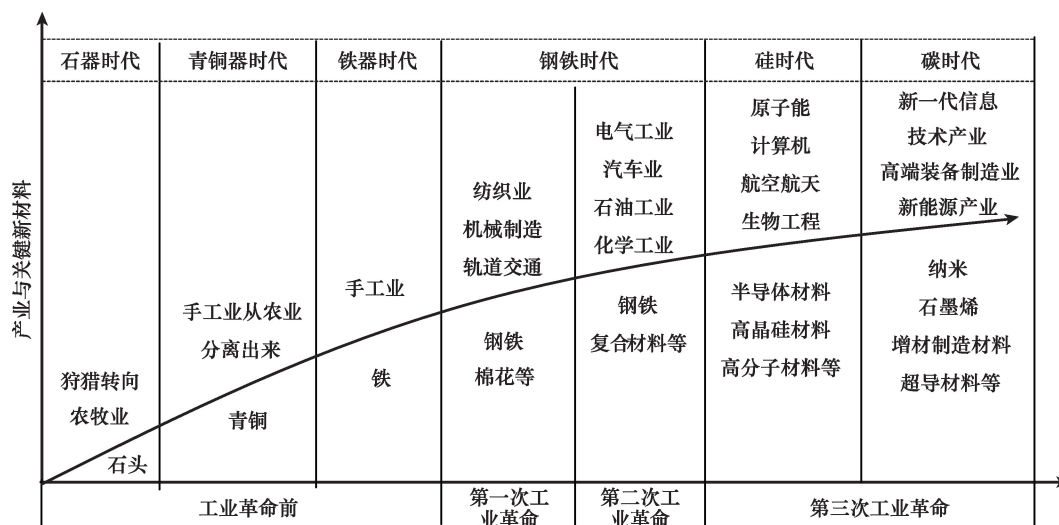


图1 产业升级与材料发展历程

Figure 1 The development process of industrial upgrading and materials

2019年2月

颈。因此,马琳等进一步指出,要理清并重视我国材料行业发展过程中所面临的问题,加快推进关键新材料的技术创新突破,这是尽快实现我国由制造业大国向制造业强国转变的基础^[10]。

3 关键新材料技术创新研究

3.1 关键新材料技术创新水平评价

现有研究主要从技术创新效率、技术创新绩效和技术创新能力三个方面评价关键新材料技术创新水平,但这三个方面的评价范围和侧重点不同。司林波等学者指出,技术创新效率可以最直接地反映静态的、阶段性的技术创新水平^[17]。杨勇等测算了江苏新材料产业的技术创新效率,发现新材料企业整体平均技术创新效率不高,企业间的创新效率差距比较明显^[18]。也有学者进一步提出通过评价技术创新绩效来反映技术创新水平,技术创新绩效是指技术创新活动对企业绩效的影响,技术创新绩效不仅要考核技术创新效率,而且要分析技术创新效率对企业绩效的影响^[19]。近年来,我国高新技术创新绩效提升较快,具有强劲的发展潜力^[20]。胡义东等研究表明,加大研发经费投入力度可以明显提高新材料行业的技术创新绩效^[21]。技术创新能力也常用于描述技术创新水平,Claudio等研究表明,技术创新会积极促进企业盈利能力和竞争力的提升,其中企业盈利能力反映当前静态的技术创新水平,而企业竞争力则反映长期的、动态的技术创新水平^[22]。张胜楠等通过比较发现,我国高新技术创新能力与日本还有一定的差距,其重要原因是研发支出占GDP比例与高科技人才比重较低^[20]。

整体来说,技术创新效率、技术创新绩效、技术创新能力均可从不同层面和程度上代表关键新材料技术创新水平。虽然三者之间存在包含与被包含的关系,但技术创新效率主要侧重于通过技术创新的投入产出比例关系来反映关键新材料技术创新水平,技术创新绩效主要关注关键新材料技术创新所带来的企业绩效,而技术创新能力则同时考核关键新材料技术创新效率和技术创新绩效,进而综合反映关键新材料技术创新水平。

3.2 关键新材料技术创新的影响因素

关键新材料技术创新的影响因素总体而言可以归纳为技术因素、市场因素和政策因素。

(1)技术因素。技术多样性、技术合作网络结

构等技术因素是关键新材料技术创新的重要推动力。技术多元化能够有效促进探索式技术创新和利用式技术创新能力^[23],保持或增加材料技术的多样性,有利于避免被原有技术锁定,并增加材料突破式创新的可能性。Lacerda等通过对第一代、第二代、第三代太阳能光伏技术进行比较,发现技术多样性很好地促进了太阳能光伏技术的扩散,带来意想不到的技术外溢和技术创新^[24]。技术合作网络结构则通过影响新材料创新主体获得知识的难易程度,进一步影响创新主体对新材料创新方式选择。Guan等研究发现,合作网络中的直接联系对利用性创新和探索性创新的影响效应呈现倒U型,而间接联系仅能影响探索性创新^[25]。

(2)市场因素。竞争优势、市场规模、经济周期等市场因素是关键新材料技术创新的重要驱动力。企业或者国家不断实现关键新材料技术创新,有利于其在市场竞争中保持优势地位。Crabbé等研究认为,作为市场和技术的领先者,选择材料技术创新并尝试达到卓越,是保护竞争优势的最好办法^[26]。当市场规模平稳增长时,新材料企业必须通过技术创新,不断提高其市场竞争力,才能在激烈的市场竞争中获得一席之地。霍沫霖等研究表明,德国、英国、日本、美国等发达国家市场规模的平稳扩大都显著地拉动了光伏技术创新的增加^[27]。同时,宏观经济周期也可为后发国家提供新材料技术创新赶超的机会。在经济衰退期间,材料创新先行者遇到发展困难,而后来者则享有低于正常时期的进入成本^[28]。韩国钢铁材料行业的发展表明,当经济周期进入衰退期后,后发国家进行新材料技术并购的经济与政治成本都会降低,这有利于后发国家实现材料创新技术赶超^[29]。

(3)政策因素。国家采取不同政策工具、不同类型政策工具组合都会对新材料技术创新水平产生影响。不同的政策工具对新材料技术创新的影响方式和效果各有不同。Binz等证实了知识、市场准入、财政投资、技术法规等政策工具对中国风电、太阳能光伏和生物质能发电三个产业技术创新的影响存在差异^[30]。同时,不同类型的政策工具组合对新材料技术创新的影响也有所不同。新材料技术创新政策工具组合可以分为需求型、供给型、系统型三大类。Cantner等研究表明,风能材料技术创

新主要受到供给型与系统型政策工具影响,太阳能材料技术主要受需求型政策工具影响^[31]。Costantini等进一步指出,供给型与需求型政策工具都是推动新能源材料技术创新的有效手段^[32]。

3.3 关键新材料技术创新的实现路径

根据理论基础的不同,关键新材料技术创新实现路径的选择主要包括两大视角,分别为基于比较优势理论的“要素禀赋说”和基于竞争优势理论的“技术赶超说”。

基于比较优势理论的“要素禀赋说”认为,根据中国要素禀赋的现状,应该选择具有自生能力和适应能力的技术作为主要理论基础,采取随着要素禀赋逐步升级后的“渐进式”技术创新路径^[33]。基于要素禀赋视角的“渐进式”技术创新路径主要是从发达国家处于成熟期的技术起步,先从发达国家获取成熟技术,对之进行消化吸收,并根据自身情况进行改进,获得成功之后,在此基础上再选择依次进入发达国家处于成长期、新兴期的技术领域。“渐进式”技术创新路径主要遵循“技术引进—技术适应性改进—技术创新”的顺序^[34,35]。在技术和市场环境迅速变化的背景下,为了能够在新市场中快速获得利润,借助外部资源、开放创新过程成为新材料企业提升自身创新能力的重要手段^[36]。林杞泽等学者的研究表明,韩国半导体材料技术创新就是沿着获取到吸收,再到改进,最后进入自主创新的实现路径^[37]。

基于竞争优势理论的“技术赶超说”认为,如果长期坚持比较优势,中国与国外发达国家的技术差距将会越来越大。因此,我国应努力促进比较优势向竞争优势转化,在坚持走“渐进式”技术创新路径,实现引进、消化、吸收式创新的同时,也要不断尝试“跨越式”技术创新路径,进而实现自主创新^[38]。其中,“跨越式”技术创新路径是指直接跨越技术引进、消化、吸收阶段,从一开始就从事自主研发,通过直接嵌入于全球价值链高端的方式来实现技术创新的目标^[39],而且只有进行自主研发,中国才能真正摆脱技术依赖,改变技术落后的状态。我国在新能源电池材料技术领域采取“跨越式”技术创新路径,启动“863”电动汽车专项计划布局动力电池的研发,成功实现新能源汽车电池关键技术的大量涌现,并出现了比亚迪、奇瑞等能够与世界顶级汽车

商进行竞争的创新主体^[40]。

4 关键新材料商业化应用研究

4.1 关键新材料商业化的特点及影响因素

新材料商业化是指将新材料技术转化为产品或服务,从实验室推向市场的过程^[41]。“高技术不确定性”和“高市场不确定性”是阻碍新材料商业化的主要影响因素^[42]。高技术不确定性主要体现在新材料本身属性、工艺兼容性、互补产品协同性和技术开发成本等方面^[43,44]。以高密度聚乙烯材料为例,高密度聚乙烯材料拥有更高的耐热性和硬度,一直被认为是低密度聚乙烯材料的最佳替代品,但是难塑造且易开裂的材料属性阻碍了其商业化进程^[45]。

高市场不确定性主要体现在新材料经济效应、市场应用、价值链地位与复杂程度等方面^[46,47]。Bore等对聚碳酸酯材料的研究发现,由于其价值链非常复杂,从而无法快速替代硅玻璃实现商业化^[45]。Lubik等的研究进一步证实,市场应用对新材料商业化至关重要,新材料技术的通用性特征使得其市场范围选择非常广泛,而不同市场具有的生态系统可能会延缓新材料市场化的进程^[46]。Mained等的研究表明,新材料实现商业化的时间和成本与生物科技相近,但是远高于软件技术,从而印证了新材料商业化的高技术不确定性和高市场不确定性^[41]。

4.2 关键新材料商业化应用的过程及策略

长期以来,新材料的创新成果频出,但科研和应用脱节现象突出,如何推动新材料成功实现从研制到应用转化的“惊险一跃”成为学者们关注的重点。基于Phaal等提出的新兴产业发展的“科学-技术-应用-市场”(S-T-A-M)经典模型^[48],学者们通过结合新材料特点对新材料商业化过程展开了研究。屠海令等认为,新材料的全产业链包括研发、设计、生产和应用四个阶段^[1]。也有学者针对某一种具体新材料,探讨了其商业化过程。如Zurutuza等关于石墨烯的研究指出,石墨烯商业化主要围绕研究、应用研究和发展、示范、商业化四步进行^[49]。Xu等针对中国增材制造材料的商业化研究发现,商业化主要遵从“基础研究”、“技术开发”和“商业化运作”(S-T-B)三个阶段^[50]。

为了减少新材料技术和市场不确定性等因素对其商业化的影响,加速商业化进程,学者们主要

从企业和产业两个层面提出新材料商业化策略。在企业层面, Lubik 等人提出新材料商业化的四步走策略: 创建以合作伙伴为中心的业务模式、识别早期市场、展示创新、将目标市场变为互补资产^[51]。之后, 该学者又进一步明确了新材料企业的市场选择, 包括利基市场、多重市场、技术市场和生态系统^[52]; 在产业层面, Rong 提出了采取低水平应用和市场优先序策略来促进新兴技术商业化^[53]。Bodas 等则更关注联盟策略, 提出可以通过大学与产业间的合作联盟实现纳米技术的创新发展^[54]。贺正楚等根据我国新材料产业的发展状况, 进一步提出可以建立政府推动型、学研驱动型和市场导向型三类新材料产业技术创新联盟模式, 促进新材料的商业化^[55]。

4.3 关键新材料应用的商业生态系统

新材料商业化过程的各个阶段都离不开商业生态系统的支持。Moore 首次将商业生态系统定义为基于组织互动的经济联合体^[56]。之后, 其他学者也开始致力于商业生态系统研究, 进一步明确了商业生态系统内部结构特征, 并逐渐形成两大流派^[57]。

一种是联盟关系研究视角。以 Moore^[58]、Iansiti^[59] 等为代表的学者认为, 商业生态系统就是联盟组织网络, 强调传统产业边界的打破、相互依赖关系以及生产生态系统中共生关系的潜力, 立足于探索运用参与者个数、网络密度、参与者中心度等指标衡量生态系统进入和开放性问题。

另一种是生态系统结构研究视角。以 Adner 为代表的学者认为, 从联盟关系视角难以区分生态系统和网络、平台、多方市场等其他相近概念^[57], 因此他们更倾向于将生态系统视为一种结构, 认为生态系统是由多个为了实现价值主张而进行互动的合作者所形成的联盟结构^[60], 这一结构以价值主张为基础, 由活动、参与者、位置和关系四个要素构成^[61]。Maine 等把商业生态系统引入新材料研究领域, 提出高性能材料和纳米材料企业的商业生态系统对高不确定性战略的容忍度和市场获益能力比燃料电池企业高^[62]。Rong 等进一步把商业生态系统理论应用在 3D 打印领域, 提出新材料企业作为 3D 打印产业的重要行动者, 参与构筑了 3D 打印商业生态系统^[63]。

5 关键新材料创新突破的国家战略与政策研究

5.1 关键新材料创新突破的国家战略研究

为了抢占关键新材料创新突破的制高点, 全球主要国家均制定了相应的新材料发展战略, 并确定了重点发展领域, 如表 1 所示。

从发展战略来看, 在新材料领域处于全面领先的美国, 把新材料列为影响经济繁荣和国家安全的六大类关键技术之首, 并以国防部和航空航天局的大型研究与发展计划为主导方向^[86]; 欧盟、德国和日本作为新材料创新主体的第二梯队, 在经济实力、核心技术、研发能力、市场占有率等多方面占据绝对优势, 采取面向工业需求发展国际先进新材料技术的战略^[87]; 中国、韩国、俄罗斯等新材料技术及产业快速发展, 并将发展新材料产业列为国家战略的重要组成部分, 积极采取重点赶超战略^[88]。

从重点发展领域来看, 世界主要国家均重点布局先进复合材料等关键战略材料以及石墨烯等前沿新材料。中国则在采取赶超和领先战略发展上述两种新材料的同时, 一直也将基础材料的国产化替代升级作为重点任务, 这主要因为中国新材料产业起步较晚, 关键材料保障能力不足, 整体仍处于培育发展阶段。我国政府深刻认识到这一差距, 对新材料产业发展高度重视, 先后将其列入国家高新技术产业、重点战略性新兴产业和《中国制造 2025》十大重点领域^[64], 在国家战略层面进行系统布局。

5.2 关键新材料创新突破的政策研究

5.2.1 关键新材料创新突破的政策工具

世界各国都根据本国实际情况采取了关键新材料创新突破政策, 各国政策工具作用的侧重点存在差异。本文借鉴 Rothwell 和 Zegveld (1985) 学者提出的划分政策工具类别的思想^[89], 关键新材料创新突破政策工具主要可分为供给型、需求型和环境型。其中, 环境型政策工具在欧盟、美国、日本等国家新材料产业政策中应用最多, 其次是供给型政策工具, 而需求型政策工具则应用的比较少^[90]。这些发达国家比较注重利用环境型政策工具为新材料产业发展营造良好的环境, 进而间接促进本国新材料的创新突破。中国政府更侧重于运用管制规划类工具, 并不断推动技术基础设施的建设等, 但对

表1 主要国家有关新材料领域的战略及重点发展领域

Table 1 Strategies and key areas of advanced materials in major countries

主要国家	战略计划	重点发展领域
中国	《中国制造2025》、《新材料产业发展指南》、《“十三五”材料领域科技创新专项规划》、《新材料产业“十三五”发展规划》、《关于加快新材料产业创新发展的指导意见》、《关键材料升级换代工程实施方案》等 ^[6,7,64-67]	①先进基础材料,包括先进钢铁材料、先进有色金属材料、先进化工材料、先进建筑材料等;②关键战略材料,包括高性能纤维及复合材料、稀土功能材料、特种合金等;③前沿新材料,包括石墨烯、金属及高分子增材制造材料、形状记忆合金等
美国	《能源材料网络计划》、《国家纳米技术计划》、《材料基因组计划战略规划》、《先进伙伴制造计划》等 ^[2,3,68,69]	新能源材料、生物与医药材料、环保材料、纳米材料、航空航天材料、材料基因组、宽禁带半导体材料等
欧盟	《欧盟能源技术战略计划》、《能源2020战略》、《欧洲2020战略》、《“地平线2020”计划》等 ^[70-73]	结构材料、光学与光电材料、低碳产业相关材料、信息技术材料、生物材料、石墨烯等
英国	《低碳转型计划》、《英国可再生能源发展路线图》、《英国工业2050》等 ^[74-76]	低碳产业相关材料、高附加值制造业相关材料、生物材料、海洋材料等
德国	《2025高技术战略》、《工业4.0战略》、《材料技术MaTech》、《为工业和社会而进行材料创新WING》等 ^[77-79]	可再生能源材料、生物材料、电动汽车相关材料等
日本	《第五期科学技术基本计划》、《能源基本计划》、《元素战略研究》等 ^[4,80]	纳米材料、电子信息材料、新能源材料、节能环保材料等
韩国	《新增长动力规划及发展战略》、《第五次核能振兴综合计划》、《第四次科学技术基本计划》等 ^[81-83]	显示材料、存储材料、可再生能源材料、信息材料等
俄罗斯	《2030年前能源战略》、《2030年前科学技术发展优先方向》等 ^[84,85]	耐高温材料、宇航材料、新能源材料、节能环保材料、纳米材料、生物材料、医疗和健康材料、信息材料等

经济激励类工具的运用较少,对人才培养、科技研发投入、财税等方面的经济激励还存在不足,同时,中国政府采取的贸易管制手段同其他发达国家相比也较少^[91]。

在政策作用环节研究方面,基于学者 Grubb 提出的产业创新链思想^[92],可将新材料产业的创新链划分为基础研究、应用研究、产业化和市场化四个阶段。作为新材料产业强国的欧盟、美国、欧盟和日本等发达国家都非常重视新材料的创新研发,所以其政策工具明显集中于新材料的基础研究和应用研究阶段,而中国对新材料创新突破的基础研究还比较薄弱,政策工具主要作用在新材料的应用研究和产业化阶段^[91]。因此,未来我国亟需加强对新材料创新突破的基础研究。各项政策工具比较及作用环节见表2。

5.2.2 关键新材料创新突破的政策效果

现有文献直接从整个产业层面评估新材料产业政策效果的研究还比较少,大多数学者主要研究新材料细分产业政策效果评估和相关单项政策工具效果评估两个方面。

从新材料细分产业政策视角来看,石墨烯和纳

米材料政策为当前研究热点。在石墨烯相关政策效果评估方面,现有文献主要基于技术生命周期的视角进行研究,发现石墨烯产业政策在技术生命周期各个阶段的政策效果存在较大差异,政策应根据其技术生命周期的变化而做出调整^[93];有关纳米政策的研究,则多集中于政策对纳米技术影响的探讨,如 Liu 等比较分析了中美两国纳米技术政策对纳米技术创新绩效的影响,研究表明中国纳米技术政策对纳米技术创新绩效的影响远低于美国,主要因为美国制定了纳米领域的专项政策及有完善的管理和评估机制,而中国综合型政策较多、专门针对纳米技术的政策却很少,有待进一步完善^[94]。

从新材料单项政策工具视角来看,政府补助和税收优惠等在特定条件下具有促进效果。梁爽以新材料企业为例,发现政府补助对高技术企业的发展至关重要,但政府补助采用的形式要与高新技术企业的阶段性需求相一致^[95];在新材料税收政策研究方面,李施雨通过对我国现行有关新材料产业发展的税收政策进行梳理,发现现有新材料税收政策管理效率低,降低了新材料税收优惠政策对产业的支持作用^[96]。

表2 关键新材料创新突破政策工具及作用环节

Table 2 Policy instruments and actions for advanced materials innovation

政策类型	政策工具	新材料政策具体措施	作用环节(S-T-A-M)			
			基础研究	技术应用	产业化	市场化
需求型	政府采购	重点新材料产品优先采购/国防采购合同				√
	价格补贴	新材料产品价格扣除优惠等				√
	贸易政策	调整关键新材料进口关税等				√
环境型	法规管制	新材料产业准入条件/重点新材料产品指导目录/新材料产品认定办法等			√	√
	税收优惠	新材料产业重点研发项目税收减免/新材料高新技术企业所得税优惠/新材料技术交易市场免税等		√	√	√
	财政金融	新材料首次应用保险补偿机制/新材料信贷风险补偿基金/新材料中小微企业融资担保/新材料研发专项基金/新材料产业投资基金/新兴产业创投引导基金/新材料产业技术改造专项资金/新材料产业发展专项资金等		√	√	√
	知识产权保护	新材料领域知识产权公共服务平台/重要新材料专利联盟/新材料产业专利数据公共服务平台等	√	√		
	示范工程	典型材料重点示范应用基地/新材料产业标准化试点示范/新材料产业标准化示范企业和园区/新材料智能制造试点示范/新材料产业基地			√	√
供给型	人才培养	培养新材料专业技术人才/引进新材料领域高层次人才和团队/新材料科研人员科技成果转化收益分配政策等	√	√		
	技术支持	设立新材料企业技术中心/建立新材料产业技术创新战略联盟/新材料应用创新平台等	√	√		
	公共服务	建立新材料服务平台/建立新材料产业统计监测体系等			√	√

6 未来展望

基于现有研究基础,结合未来关键新材料创新突破发展趋势,本文提出应加强对以下领域的研究和重视:

(1)深化对关键新材料创新突破规律的研究。随着新一轮科技革命和产业变革,智能制造技术经济范式面临巨大变革,将对关键新材料的性能、形态、种类等方面产生深刻影响。尤其是智能制造技术的普及应用将推动重点行业智能转型,从而会对关键新材料的需求结构、需求规模等产生新的冲击。未来需要研究智能制造技术发展对关键新材料创新突破的影响,量化分析重点领域智能转型对关键新材料需求结构和需求规模的冲击效应。

(2)加强关键新材料技术创新突破路径的研究。我国所处的工业化发展阶段,决定了我国关键新材料技术创新突破有自身的特点。我国智能制造起步较晚,先进基础材料面临补短板的任务,关键战略材料创新面临“卡脖子”的困境,前沿新材料面临与发达国家同一起跑线竞技的机会。因此,我国关键新材料需要完成“技术创新赶超和前沿技术

领先”的双重任务,这与发达国家主要关注全球技术领先的问题是不一样的。因此,有必要结合中国情景下的关键新材料创新突破问题,加强我国关键新材料技术创新路径的研究。

(3)加强对关键新材料商业化应用模式创新的研究。由于新材料具有“高技术不确定性和高市场不确定性”的特点,其商业化应用过程比一般新兴产业商业化更加复杂和困难。因此,需要紧密结合关键新材料自身的特点,深入研究新材料商业化应用问题。而且智能制造发展涉及的新材料种类很多,先进基础材料、关键战略材料和前沿新材料等不同类别的新材料面临的发展形势和任务不同,需要针对不同类别关键新材料存在的问题,加强其商业化应用模式创新的研究。

(4)加强关键新材料创新突破战略与政策的研究。关键新材料创新突破需要产业生态系统的支持,涉及到如何发挥政府、市场与社会作用以及中央政府和地方政府的分工协作问题。因此,需要科学进行政策设计以充分发挥政府、市场与社会在新材料创新突破中的作用,并协调中央与地方分工协

作问题。此外,受新材料技术创新能力、产业发展水平等多种因素影响,不同类别智能制造关键新材料所处的发展阶段和存在问题不同,需要分类精准制定其发展战略和政策。

7 结论

关键新材料是未来高新技术产业发展的基石和先导。近年来,关键新材料创新突破问题的研究也日趋受到学者们的关注。本文系统梳理了关键新材料创新突破的演进规律、技术创新、商业化应用以及战略与政策等方面的研究进展。研究结果表明,产业升级会对关键新材料创新突破提出新的要求和挑战,而关键新材料的创新突破也会进一步推动产业升级。为此,世界各国都根据本国新材料发展情况制定了关键新材料创新突破战略和政策。现有研究指出,关键新材料具有“高技术不确定性”和“高市场不确定性”,这决定了关键新材料的创新突破面临技术创新和商业化应用两大难题。也为下一步研究指明了方向。未来需要深化智能制造技术经济范式变革和重点领域智能转型对关键新材料创新突破影响规律的研究,关键新材料技术创新突破的实现路径研究,先进基础材料、关键战略材料和前沿新材料等不同类别关键新材料商业化应用模式创新以及战略与政策的精准设计等方面的研究。

参考文献(References):

- [1] 屠海令,张世荣,李腾飞.我国新材料产业发展战略研究[J].中国工程科学,2016,18(4):90-100. [Tu H L, Zhang S R, Li T F. Research on development strategies for China's advanced materials industry [J]. *Engineering Sciences* 2016, 18(4): 90-100.]
- [2] U. S. National Science and Technology Council. Strategy For American Leadership In Advanced Manufacturing [EB/OL]. (2018-10-01)[2018-11-15]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>.
- [3] Ward C H, Warren J A. Materials Genome Initiative: Materials Data[EB/OL]. (2015-01-22)[2018-11-15]. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2015/NIST.IR.8038.pdf>.
- [4] Japan Ministry of Education, Culture, Sports, et al. 科学技术基本計画[EB/OL]. (2016-01-22)[2018-11-15]. http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201701/detail/1388497.htm.
- [5] Brussels. Preparing for Our Future: Developing a Common Strategy for Key Enabling Technologies in the EU[EB/OL]. (2009-09-30)[2018-11-15]. <http://www.doc88.com/p-8116099800667.html>.
- [6] 中国工信部,发改委,科技部,等.新材料产业发展指南[EB/OL]. (2017-01-23)[2018-11-15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5473607/content.html>. [Ministry of Industry and Information Technology, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, et al. Guide to the Development of New Materials Industry[EB/OL]. (2017-01-23)[2018-11-15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5473607/content.html>.]
- [7] 中国科技部.关于印发《“十三五”材料领域科技创新专项规划》的通知[EB/OL]. (2017-04-14)[2018-11-15]. http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170426_132496.htm. [Ministry of Science and Technology. Notice on Printing and Distributing the "Special Plan for Scientific and Technological Innovation in the "13th Five-Year Plan" Materials Field"[EB/OL]. (2017-04-14)[2018-11-15]. http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170426_132496.html.]
- [8] 师昌绪.关于构建我国“新材料产业体系”的思考[J].工程研究-跨学科视野中的工程,2013,5(1):5-11. [Shi C X. Reflections on the construction of China's "new material industry system" [J]. *Journal of Engineering Studies*, 2013, 5(1): 5-11.]
- [9] 贾根良.第三次工业革命与工业智能化[J].中国社会科学,2016,(6):87-107. [Jia G L. The third industrial revolution and industrial intellectualization[J]. *Social Science in China*, 2016, (6): 87-107.]
- [10] 马琳.“中国制造2025”对材料提出新要求[J].新材料产业,2015,(7):11-13. [Ma L. "Made in China 2025" puts new requirements on materials[J]. *Advanced Materials Industry*, 2015, (7): 11-13.]
- [11] Tu H. 450 mm silicon wafers are imperative for Moore's Law but maybe postponed[J]. *Engineering*, 2015, 1(2): 162-163.
- [12] Zhang X, Chen Y, Hu J. Recent advances in the development of aerospace materials[J]. *Progress in Aerospace Sciences*, 2018, 97: 22-34.
- [13] Johnson J, Harper E M, Lifset R, et al. Dining at the periodic table: Metals concentrations as they relate to recycling[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(5): 1759-1765.
- [14] Shubha G N, Tejaswini M L, Lakshmi K P. Advanced material for newer applications[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5(1): 2541-2546.
- [15] 孙晓霞.新材料为机器人产业强体筑基[J].新材料产业,2016,(7):1-4. [Sun X X. New materials for the robot industry[J]. *Advanced Materials Industry*, 2016, (7): 1-4.]
- [16] Zhang C, Wang W, Xi N, et al. Development and future challenges of bio-syncretic robots[J]. *Engineering*, 2018, 4(4): 452-463.

2019年2月

- [17] 司林波. 国内外装备制造业技术创新研究述评[J]. 经济问题探索, 2016, (8): 177-184. [Si L B. A review of researches on technology innovation of equipment manufacturing industry at home and abroad[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2016, (8): 177-184.]
- [18] 杨勇, 朱乾, 王志杰. 江苏新材料企业技术创新效率的实证分析[J]. 现代管理科学, 2013, (8): 61-63. [Yang Y, Zhu G, Wang Z J. An empirical analysis of the technological innovation efficiency of Jiangsu new materials enterprises[J]. *Modern Management Science*, 2013, (8): 61-63.]
- [19] Cruz-Cázares C, Bayona-Sáez C, García-Marco T. You cannot manage right what you cannot measure well: Technological innovation efficiency[J]. *Research Policy*, 2013, 42(6): 1239-1250.
- [20] 张胜楠. 中日高新技术创新能力与创新绩效比较及借鉴研究[J]. 经济体制改革, 2017, (2): 171-175. [Zhang S N. The comparison and reference of the new and high technology innovation ability and innovation performance of Chinese and Japanese[J]. *Reform of Economic System*, 2017, (2): 171-175.]
- [21] 胡义东, 仲伟俊. 高新技术企业技术创新绩效影响因素的实证研究[J]. 中国科技论坛, 2011, (4): 80-85. [Hu Y D, Zhong W J. The factors affecting the technological innovation of high-tech enterprises [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2011, (4): 80-85.]
- [22] Cozza C, Malerba F, Mancusi M L, et al. Innovation, profitability and growth in medium and high-tech manufacturing industries: Evidence from Italy[J]. *Applied Economics*, 2012, 44(15): 1963-1976.
- [23] 张庆奎, 施建军, 刘春林, 等. 技术多元化、行业竞争互动与二元创新能力[J]. 外国经济与管理, 2018, 40(9): 71-83. [Zhang Q L, Shi J J, Liu C L, et al. Technological diversification, industrial competitive interaction and ambidextrous innovative competences [J]. *Foreign Economics & Management*, 2018, 40(9): 71-83.]
- [24] Lacerda J S, Jeroen C J M, Bergh V D. Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54: 331-340.
- [25] Guan J C, Liu N. Exploitative and exploratory innovations in knowledge network and collaboration network: A patent analysis in the technological field of nano-energy[J]. *Research Policy*, 2015, 45(1): 97-112.
- [26] Crabbé A, Jacobs R, Van Hoof V, et al. Transition towards sustainable material innovation: Evidence and evaluation of the Flemish case[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 56: 63-72.
- [27] 霍沫霖, 张希良, 王仲颖. 光伏市场拉动研发创新的国际研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 138-144. [Huo M L, Zhang X L, Wang Z Y. Cross-country studies on demand pull in photovoltaic sector[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(9): 138-144.]
- [28] Mathews J A. Strategy and the crystal cycle[J]. *California Management Review*, 2004, 47(2): 6-32.
- [29] Lee K, Malerba F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems[J]. *Research Policy*, 2017, 46(2): 338-351.
- [30] Binz C, Truffer B. Global innovation systems—a conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts[J]. *Research Policy*, 2017, 46(7): 1284-1298.
- [31] Cantner U, Graf H, Herrmann J, et al. Inventor networks in renewable energies: The influence of the policy mix in Germany[J]. *Research Policy*, 2016, 45(6): 1165-1184.
- [32] Costantini V, Crespi F, Palma A. Characterizing the policy mix and its impact on eco-innovation: A patent analysis of energy-efficient technologies[J]. *Research Policy*, 2017, 46(4): 799-819.
- [33] 林毅夫, 张鹏飞. 适宜技术、技术选择和发展中国的经济增长[J]. 经济学(季刊), 2006, 5(3): 985-1006. [Lin Y F, Zhang P F. Appropriate technology, technology choice and economic growth in developing countries [J]. *China Economic Quarterly*, 2006, 5(3): 985-1006.]
- [34] Kim L. limitation to Innovation: The Dynamics of Korea Technological Learning[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [35] 刘建新, 王毅, 吴贵生, 等. 后发国家产业技术追赶模式新探: 单路径、双路径与多路径[J]. 科学学与科学技术管理, 2011, 32(11): 93-99. [Liu J X, Wang Y, Wu G S, et al. A new perspective on industry technological catch-up modes of later-developing countries: single-pathway, dual-pathway, and multi-pathway[J]. *Science of Science and Management of S. & T*, 2011, 32(11): 93-99.]
- [36] 赵放, 曾国屏. 多重视角下的创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014, 32(12): 1781-1788. [Zhao F, Zeng G P. Innovation ecosystem under multiple perspectives[J]. *Studies in Science of Science*, 2014, 32(12): 1781-1788.]
- [37] 林杞泽, 陈松. 三星电子公司半导体技术发展过程[J]. 中国科技论坛, 1999, (1): 58-61. [Lin Y Z, Chen S. Samsung electronics corporation's semiconductor technology development process[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 1999, (1): 58-61.]
- [38] 左大培. 绕过比较优势“陷阱”, 以技术立国[J]. 绿叶, 2009, (8): 51-56. [Zuo D P. Bypassing the comparative advantage "trap" to establish the country with technology[J]. *Green Leaf*, 2009, (8): 51-56.]
- [39] 高旭东. 技术创新能力培养: 特定的培养顺序还是有效的R&D[J]. 科学学与科学技术管理, 2005, 26(6): 64-68. [Gao X D. Technological capability development: follow the right sequence or do the right R&D[J]. *Science of Science and Management of S. & T*, 2005, 26(6): 64-68.]
- [40] 武建龙, 王宏起. 战略性新兴产业突破性技术创新路径研究—基于模块化视角[J]. 科学学研究, 2014, 32(4): 508-518. [Wu J L, Wang H Q. Research on radical technology innovation paths of

- strategic emerging industries: from the perspective of modularization [J]. *Studies in Science of Science*, 2014, 32(4): 508–518.]
- [41] Maine E, Seegopaul P. Accelerating advanced-materials commercialization[J]. *Nature Materials*, 2016, 15(5): 487–491.
- [42] Harms R, Marinaks Y, Walsh S T. Lean startup for materials ventures and other science-based ventures: Under what conditions is it useful?[J]. *Translational Materials Research*, 2015, DOI: 10.1088/2053-1613/2/3/035001.
- [43] Chen C J. Influences of technological attributes and environmental factors on technology commercialization[J]. *Journal of Business Ethics*, 2011, 104(4): 525–535.
- [44] Park S. The puzzle of graphene commercialization[J]. *Nature Reviews Materials*, 2016, DOI: 10.1038/natrevmats. 2016. 85.
- [45] Boren M, Chan V, Musso C. The Path to Improved Returns in Materials Commercialization[EB/OL]. (2012–08)[2018–11–15]. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-path-to-improved-returns-in-materials-commercialization>.
- [46] Lubik S, Garnsey E. Early business model evolution in science-based ventures: The case of advanced materials[J]. *Long Range Planning*, 2016, 49(3): 393–408.
- [47] Cao C, Appelbaum R P, Parker R. “Research is high and the market is far away”: Commercialization of nanotechnology in China [J]. *Technology in Society*, 2013, 35(1): 55–64.
- [48] Phaal R, O’Sullivan E, Farrukh C, et al. A framework for mapping industrial emergence[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2009, 78(2): 217–230.
- [49] Zurutuza A, Marinelli C. Challenges and opportunities in graphene commercialization[J]. *Nature Nanotechnology*, 2014, 9(10): 730–734.
- [50] Xu G, Wu Y, Minshall T, et al. Exploring innovation ecosystems across science, technology, and business: A case of 3D printing in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, 136: 208–221.
- [51] Lubik S J. The commercialization of advanced material technologies by university spin-outs[J]. *SSRN Electronic Journal*, 2008, 10: 1–43.
- [52] Lubik S, Garnsey E, Minshall T. Evolving toward an Ecosystem Perspective: Market Strategies for Science-Based Ventures[C]. *Barcelona: DRUID*. 2013.
- [53] Rong K, Shi Y, Shang T, et al. Organizing business ecosystems in emerging electric vehicle industry: Structure, mechanism, and integrated configuration[J]. *Energy Policy*, 2017, 107: 234–247.
- [54] Freitas I M B, Marques R A, Silva E M P. University-industry collaboration and innovation in emergent and mature industries in new industrialized countries[J]. *Research Policy*, 2013, 42(2): 443–453.
- [55] 贺正楚, 潘红玉, 张蜜. 新材料产业技术创新联盟模式研究[J]. *财经理论与实践*, 2015, (2): 128–132. [He Z C, Pan H Y, Zhang M. Research on technology innovation of new materials industry based on technology innovation alliance [J]. *The Theory and Practice of Finance and Economics*, 2015, (2): 128–132.]
- [56] Moore J F. Predators and prey: A new ecology of competition[J]. *Harvard Business Review*, 1993, 71(3): 75–86.
- [57] Adner R, Kapoor R. Innovation ecosystems and the pace of substitution: Re-examining technology S-curves[J]. *Strategic Management Journal*, 2016, 37(4): 625–648.
- [58] Moore J F. The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems[M]. *New York: Harper Business*, 1996.
- [59] Iansiti M, Levien R. Strategy as ecology[J]. *Harvard Business Review*, 2004, 34(3): 68–78.
- [60] 陈春花, 刘祯. 水样组织: 一个新的组织概念[J]. *外国经济与管理*, 2017, 39(7): 3–14. [Chen C H, Liu W. Water-form organization: A new organizational concept[J]. *Foreign Economics and Management*, 2017, 39(7): 3–14.]
- [61] Sun Q, Wang C, Zuo L S, et al. Digital empowerment in a WEEE collection business ecosystem: A comparative study of two typical cases in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 184: 414–422.
- [62] Maine E, Lubik S, Garnsey E. Value creation strategies for science-based business: A study of advanced materials ventures[J]. *Innovation*, 2013, 15(1): 35–51.
- [63] Rong K, Patton D, Chen W. Business models dynamics and business ecosystems in the emerging 3D printing industry[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2018, 134: 234–245.
- [64] 中国国务院. 中国制造 2025[EB/OL]. (2015–05–08)[2018–11–15]. http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/wzly/zcfg/201505/t20150520_692449.html. [The State Council. Made in China 2015[EB/OL]. (2015–05–08)[2018–11–15]. http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/wzly/zcfg/201505/t20150520_692449.html.]
- [65] 工信部. 新材料产业“十二五”发展规划发布[EB/OL]. (2012–01–04)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1146562/n1146650/c3074286/content.html>. [Ministry of Industry and Information Technology. The New Material Industry "12th Five-Year" Development Plan Released[EB/OL]. (2012–01–04)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1146562/n1146650/c3074286/content.html>.]
- [66] 工信部, 发改委, 科技部, 等. 关于加快新材料产业创新发展的指导意见[EB/OL]. (2016–02–14)[2018–11–15]. <http://www.ynetc.gov.cn/Item/13009.aspx>. [Ministry of Industry and Information Technology, National Development and Reform Commission, Ministry of finance, Ministry of Science and Technology, et al. Guiding Opinions on Accelerating the Innovation and Development of New Materials Industry [EB/OL]. (2016–02–14)[2018–11–15]. <http://www.ynetc.gov.cn/Item/13009.aspx>.]
- [67] 发改委, 财政部, 工信部. 关于印发关键材料升级换代工程实施

2019年2月

- 方案的通知[EB/OL]. (2014-10-23)[2018-11-15]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201410/20141031_635673.html. [National Development and Reform Commission, Ministry of finance, Ministry of Industry and Information Technology. Notice on Printing and Distributing the Implementation Plan of Key Materials Upgrade Project[EB/OL]. (2014-10-23)[2018-11-15]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201410/20141031_635673.html.]
- [68] U. S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Energy Materials Network [EB/OL]. (2018-01)[2018-11-15]. <https://www.energy.gov/eere/energy-materials-network/energy-materials-network>.
- [69] U. S. National Science and Technology Council. National Nanotechnology Initiative: Leading Next Industrial Revolution[EB/OL]. (2000-01-21)[2018-11-15]. https://clintonwhitehouse4.archives.gov/WH/New/html/20000121_4.html.
- [70] European Union. Strategic Energy Technology Plan[EB/OL]. (2017-12-12)[2018-11-15]. <https://publications.europa.eu/portal2012-portal/html/downloadHandler.jsp?identifier=771918e8-d3ee-11e7-a5b9-01aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=>.
- [71] European Commission. Energy 2020: A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy [R]. Brussels: European Commission, 2010.
- [72] European Commission. Europe 2020: The European Union Strategy for Growth and Employment[EB/OL]. (2016-12-05)[2018-11-15]. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8d8026dc-d7d7-4d04-8896-e13ef636ae6b/language-en/format-HTML/source-83047741>.
- [73] European Commission. Horizon 2020[EB/OL]. (2017-03-24)[2018-11-15]. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0ff3a333-d8cd-11e7-a506-01aa75ed71a1/language-et/format-HTML/source-83057882>.
- [74] Department of Energy & Climate Change. The UK Low Carbon Transition Plan. National Strategy for Climate and Energy[EB/OL]. (2009-07-15)[2018-11-15]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/228752/9780108508394.pdf.
- [75] Department of Energy & Climate Change. The UK Renewable Energy Strategy [EB/OL]. (2009-07-15)[2018-11-15]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/228866/7686.pdf.
- [76] Department for Business Innovation & Skills, Government Office for Science. Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK[EB/OL]. (2013-10-30)[2018-11-15]. <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-manufacturing/future-of-manufacturing-a-new-era-of-opportunity-and-challenge-for-the-uk-summary-report>.
- [77] Bundesregierung. Forschung und Innovation für die Menschen Die Hightech-Strategie 2025[EB/OL]. (2018-09-05)[2018-11-15]. <https://www.hightech-strategie.de/files/HTS2025.pdf>.
- [78] Federal Government. Leap forward into a New Industrial World [EB/OL]. (2017-04-21)[2018-11-15]. <https://www.bundesregierung.de/breg-en/search/leap-forward-into-a-new-industrial-world-318646>.
- [79] Bundesministerium für Bildung und Forschung. Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING[EB/OL]. (2003-10-01)[2018-11-15]. https://www.bmbf.de/pub/rahmenprogramm_wing.pdf.
- [80] Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan. エネルギー基本計画[EB/OL]. (2018-07)[2018-11-15]http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf.
- [81] National Science and Technology Commission. 신성장동력 비전 및 발전 전략[EB/OL]. (2009-01-21)[2018-11-15]http://www.now.go.kr/common/FileDown.do?atchFileId=FILE_00000000000768&fileSeq=0.
- [82] Ministry of Science and ICT. 제5차 원자력연구개발 5개년 계획 [EB/OL]. (2017-06-23)[2018-11-15]. <https://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=mssw11211&artId=1348273>.
- [83] Ministry of Science and ICT. 제4차 과학기술기초계획(2018~2022)[EB/OL]. (2018-04-24)[2018-11-15]. <https://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=mssw11211&artId=1381118>.
- [84] Russian Government. Implementation of the Energy Strategy to 2030 and Seven Other Issues [EB/OL]. (2013-10-30)[2018-11-15]. <http://government.ru/en/news/7876/>.
- [85] Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Dmitry Medvedev Approves Ministry of Education and Science Forecast of National Science and Technological Development up to 2030[EB/OL]. (2014-01-20)[2018-11-15]. <http://government.ru/en/news/9800/>.
- [86] 蔡柏奇, 曾昆. 美国新材料产业科技政策演变及启示[J]. 新材料产业, 2014, (3): 29-32. [Cai B Q, Zeng K. The evolution of American science and technology policy in new materials industry and its enlightenment [J]. *Advanced Materials Industry*, 2014, (3): 29-32.]
- [87] 朱宏康, 谷宾, 刘书惠. 国际新材料政策与计划研究[J]. 中国材料进展, 2015, 34(4): 326-329. [Zhu H K, Gu B, Liu S H. International policies & programs on R & D of advanced materials[J]. *Materials China*, 2015, 34(4): 326-329.]
- [88] 黄文辉. 深圳市新材料产业政策研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017. [Huang W H. Research on the material industrial policy in Shenzhen[D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.]
- [89] Rothwell R, Zegveld W. Industrial Innovation and Public Policy: Preparing for the 1980s and the 1990s[M]. London: Frances Pinter, 1981.
- [90] Li J, Wang L. Research on the policy of new material industry de-

- velopment from the perspective of policy instruments[J]. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2017, 8(3): 201–206.
- [91] 汪苹, 高灵芝, 费钟琳. 基于内容分析法的中国新材料产业政策工具研究[J]. 现代化工, 2018, 38(10): 6–11. [Wang P, Gao L Z, Fei Z L. Study on China's policy tool for advanced material industry based on content analysis[J]. *Modern Chemical Industry*, 2018, 38(10): 6–11.]
- [92] Grubb M. Technology innovation and climate change policy: An overview of issues and options[J]. *Keio Economic Studies*, 2004, 41 (2): 103–132.
- [93] 张雯钰. 石墨烯产业政策变迁-基于技术生命周期的考量[D]. 南京: 南京工业大学, 2016. [Zhang W Y. Research on the development of graphene industrial policy: Based on the Consideration of Technology Life Cycle [D]. Nanjing: Nanjing Tech University, 2016.]
- [94] Liu N, Guan J C. Policy and innovation: Nanoenergy technology in the USA and China[J]. *Energy Policy*, 2016, 91: 220–232.
- [95] 梁爽. 政府补助对高新技术企业发展的影响研究: 以新材料企业H为例[D]. 济南: 山东大学, 2015. [Liang S. Impact of government subsidies on High-tech enterprises: in case of a new material Enterprise H[D]. Jinan: Shandong University, 2015.]
- [96] 李施雨. 促进新材料产业发展的税收政策[D]. 大连: 东北财经大学, 2013. [Li S Y. The research of tax policy for promoting the New Materials Industry [D]. Dalian: Dongbei University of Finance and Economics, 2013.]

Review and prospect of advanced material innovative development

WANG Chang^{1,2}, SONG Huiling¹, GENG Hongjun¹, ZHOU Yifang¹, ZHANG Cuihong¹

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Key Laboratory of Strategic Studies, Ministry of Natural Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: Advanced materials are the cornerstone and precursor of the future development of high-tech industries. This paper provides a systemic review about the innovation evolution, technological innovation, commercialization, national strategies, and policies of advanced materials. It indicates that industrial upgrading has continuously put forward new requirements and challenges for advanced materials. The advanced materials innovation will further promote industrial upgrading. Therefore, different strategies and policy tools for the material innovation are adopted by countries or regions depending on their national circumstances. However, advanced material is highly uncertain in technology and market, demonstrating that it will face two problems of technological innovation and commercialization. Based on these findings and the development of advanced materials, future study in advanced materials innovation should focus mainly on the following four areas: (1) the in-depth study on the impact of intelligent manufacturing technology economic paradigm change and key areas of intelligent transformation on advanced materials innovation. (2) the emphasis study on the paths design for advanced materials technology innovation under special circumstances in China. (3) the in-depth study on the innovation of commercialization models of different kinds of advanced materials. And (4) the in-depth study on the advanced materials policy design on the synergy between government, market and society.

Key words: advanced materials; innovation and breakthrough; technological innovation; commercialization; review; prospects