

引用格式:王昶,耿红军,宋慧玲,等. 智能制造关键新材料创新突破的研究框架与主要议题[J]. 资源科学,2019,41(1):53-62.  
[Wang C, Geng H J, Song H L, et al. Framework and basic issues of promoting development of advanced materials for intelligent manufacturing[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 53-62.] DOI :10.18402/resci.2019.01.06

# 智能制造关键新材料创新突破的研究框架 与主要议题

王 昶<sup>1,2</sup>,耿红军<sup>1</sup>,宋慧玲<sup>1</sup>,孙 桥<sup>1</sup>,卢锋华<sup>1</sup>

(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:**在新一轮科技革命与产业变革的背景下,智能制造成为中国制造业发展的主攻方向。然而,关键新材料发展滞后,成为中国制造业转型升级的硬约束。如何促进智能制造关键新材料创新突破成为中国亟待解决的现实问题。本文从智能制造关键新材料“高技术不确定性”与“高市场不确定性”的两大特征出发,提出智能制造关键新材料的创新突破需紧扣技术创新与商业化应用两大关键问题,未来需加强智能制造关键新材料创新突破的规律及趋势、技术创新突破路径、商业化应用模式以及战略与政策等议题的研究。

**关键词:**智能制造;关键新材料;创新发展;主要议题

DOI :10.18402/resci.2019.01.06

## 1 引言

随着中国经济由高速增长阶段向高质量发展阶段转换,中国制造业“大而不强”现象凸显,出现低端和无效制造产业供给过剩、高端和有效产业供给不足等问题<sup>[1]</sup>,加快制造强国建设,发展智能制造,成为中国工业发展战略的现实选择<sup>[2]</sup>。关键新材料是保障制造产品质量的基本条件,更是中国发展智能制造的重要基石,然而目前中国面临先进基础材料参差不齐,关键战略材料受制于人,前沿新材料技术有待突破的问题<sup>[3]</sup>。据工信部调查,中国智能制造关键新材料32%国内完全空白,52%严重依赖进口。智能制造关键新材料发展滞后,已成为中国制造业迈向中高端的硬约束<sup>[4]</sup>。

中国政府高度重视新材料产业的发展,2010年国务院印发《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》<sup>[5]</sup>,明确将新材料列为战略性新兴产业,并

在《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》<sup>[6]</sup>中提出:到2020年,力争使若干新材料品种进入全球供应链,重大关键材料自给率达到70%以上,初步实现中国从材料大国向材料强国的战略性转变。为此,中国成立了国家新材料产业发展领导小组与国家新材料产业发展专家咨询委员会,专门制定了新材料的战略规划、发展指南、技术路线图等,并将新材料作为工业强基的四大工程之一<sup>[7]</sup>。近年,中国的新材料创新发展已取得了长足的进步。但是,站在保障智能制造强国战略实现的高度来看,智能制造关键新材料的创新突破仍然亟待在理论和实践上做出重大突破<sup>[8]</sup>。

现实问题的紧迫性吸引了大量学者对智能制造关键新材料创新展开研究工作,但现有文献主要集中在制造业转型升级与关键新材料创新的协同演进规律<sup>[9-12]</sup>、关键新材料技术创新的影响因素<sup>[13-15]</sup>

收稿日期:2018-11-29,修订日期:2018-12-15

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);湖南省科技厅项目(2016XK2001)。

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:宋慧玲,E-mail:1511276156@qq.com

以及关键新材料创新的战略与政策等方面<sup>[16-19]</sup>,尚未有学者从整体上回答智能制造关键新材料创新突破的战略与主攻方向。本文从梳理关键新材料的基本内涵与特征出发,揭示智能制造关键新材料创新突破亟需解决的关键问题,明确未来需加强研究的主要议题,旨在为中国新材料产业发展与制造强国建设提供理论与政策支撑。

## 2 智能制造关键新材料的界定

### 2.1 新材料的概念与特征

新材料是指新出现的具有优异性能或特殊功能的材料,或是传统材料改进后性能明显提高或产生新功能的材料。主要包括新型功能材料、高性能结构材料和先进复合材料,其范围随着经济发展、科技进步、产业升级不断发生变化。新材料主要有以下特征:

(1)高技术不确定性。主要体现在新材料本身特殊属性、工艺兼容性、互补产品协同性和技术开发成本等方面<sup>[20]</sup>。

(2)高市场不确定性。主要体现在新材料的经济效应、市场应用、价值链地位与复杂程度等方面<sup>[21,22]</sup>。

Nature Material上的一项关于新材料商业化的研究表明,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,也印证了较高的市场不确定性和技术不确定性对新材料商业化的影响<sup>[23]</sup>(表1)。新材料的这两种高不确定性决定了新材料技术创新与商业化过程比较艰难而复杂,也成为新材料创新突破的两大关键瓶颈。

### 2.2 智能制造关键新材料的界定

#### 2.2.1 智能制造与新材料的关系

产业升级与新材料创新发展的演化规律表明,智能制造的发展与关键新材料创新突破是相互影响的。一方面,智能制造技术经济范式变革将对关键新材料需求产生重大影响。制造模式、生产范式、制造动力的变革以及新兴技术的出现,将深刻

影响关键新材料的需求种类与结构,重点领域智能转型也会对关键新材料的需求造成新的冲击。《中国制造2025》<sup>[24]</sup>和《智能制造发展规划(2016—2020年)》<sup>[25]</sup>确定了十大重点领域智能转型,它们将对关键新材料需求的种类、规模和结构造成巨大冲击。另一方面,产业发展规律表明,“一代材料、一代器件、一代装备”(图1)。韩国半导体材料的突破性发展助推其在电子信息领域占领了全球竞争的制高点,日本机械制造业长期保持世界先进水平与其精细陶瓷、碳纤维、工程塑料、非晶合金、超级钢铁材料、有机EL材料、镁合金等材料优势密不可分。关键新材料是国家制造业脊梁,是智造强国梦得以实现的基石。

#### 2.2.2 智能制造关键新材料的分类及战略任务

根据《中国制造2025重点领域技术路线图》<sup>[26]</sup>和《新材料产业发展指南》<sup>[27]</sup>,新材料可分为先进基础材料、关键战略材料和前沿新材料三大类。由于这三类材料都有各自的材料特殊性,面临的发展问题存在差异,导致相应的战略任务也不同,如表2所示。

(1)先进基础材料是基础产业升级发展的必须材料,具有量大面广且“一材多用”的特点,其生产工艺、生产规模和应用水平是衡量国家工业基础的重要标志。中国先进基础材料面临总体产能过剩、产品结构不合理、高端应用领域尚不能实现自给等“有材不好用”的问题。未来应以实现稳定供给为目标,实施技术创新赶超战略,加强高端化应用,构筑竞争优势,提升中国先进基础材料的国际竞争力。

(2)关键战略材料是国家重大工程和战略性产业需要的关键保障材料,具有价值高、应用领域关键等特点。中国关键战略材料面临部分核心关键材料受制于人,约一半关键战略材料性能稳定性较差,不敢应用到国防和经济关键领域等“无材可用”

表1 软件、生物技术和新材料企业的商业化时间、成本和不确定性比较<sup>[23]</sup>

Table 1 Commercialization time, costs and uncertainties for software, biotechnology and advanced-materials ventures<sup>[23]</sup>

技术类别	发展时间/年	研发开销/万美元	商业化开销/万美元	技术不确定性	市场不确定性
新材料	5~15	200~2 000	5 000~50 000	高	高
生物科技	10~15	500~1 000	30 000~90 000	非常高	中
软件技术	0~2	0~300	100~1 000	低	中

2019年1月

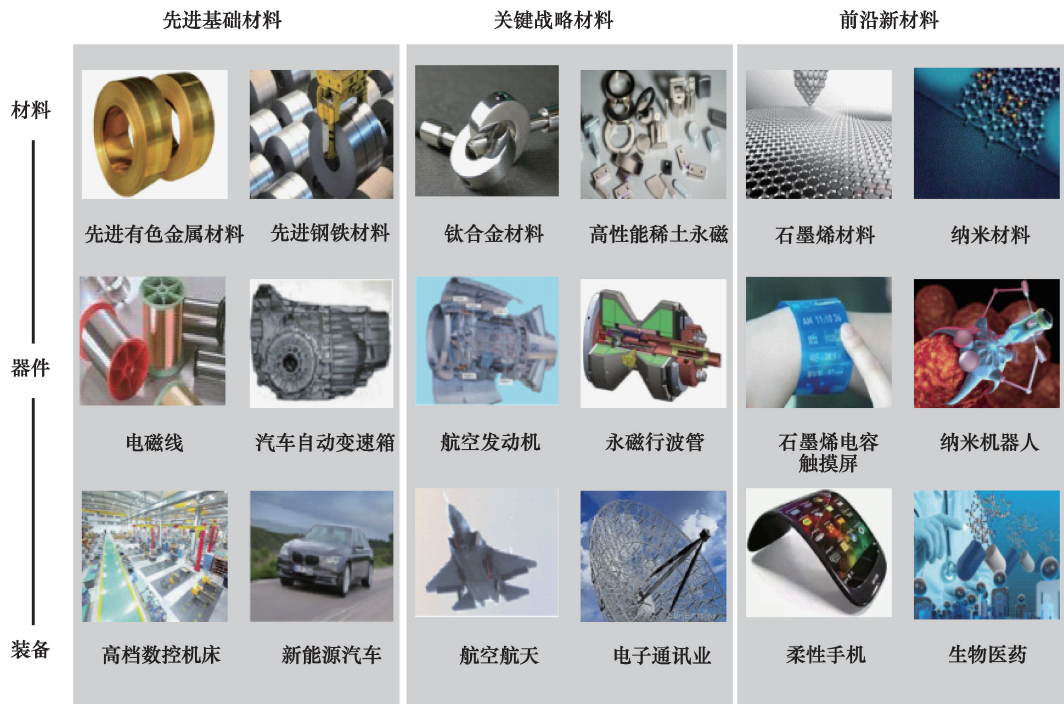


图1 智能制造与关键新材料的关系

Figure 1 The relation between intelligent manufacturing and advanced materials

表2 智能制造关键新材料发展形势及问题

Table 2 Situation and problems of advanced materials for intelligent manufacturing

	先进基础材料	关键战略材料	前沿新材料
定义	发展中国制造业所需的量大面广、关系国计民生以及一些高端装备所需的新材料	对保障中国国防实力、经济社会全局和长远发展有重大引领作用的新材料	新出现或正在发展中的、具有传统材料所不具有的优异性能的材料
种类	主要包括基础零部件用钢、高性能海工用钢等先进钢铁材料, 高强铝合金、高强韧钛合金、镁合金等先进有色金属材料, 高端聚烯烃、特种合成橡胶等先进化工材料, 先进建筑材料、先进轻纺材料等	主要包括高端装备用特种合金, 高性能分离膜材料, 高性能纤维及复合材料, 稀土功能材料, 宽禁带半导体材料和新显示材料以及新型能源材料、生物医用材料等	主要包括石墨烯、金属及高分子增材制造材料, 形状记忆合金、自修复材料、智能仿生与超材料, 液态金属、新型低温超导及低成本高温超导材料等
特点	量大面广, 一材多用	价值高、应用领域关键	集多种优异性能于一体、市场前景巨大
存在问题	有材不好用	无材可用或有材不敢用	无材可用
战略任务	技术赶超 加强高端化应用 构筑竞争优势	技术赶超 实现产业化 构筑生态优势	技术领先 实现技术转化 构筑知识优势

和“有材不敢用”的问题。未来应以提高综合保障能力为目标, 实施技术创新赶超战略, 加强产业化和应用示范, 构筑生态优势。

(3) 前沿新材料是引领先进制造业未来发展, 需要提前布局的新材料, 具有集多种优异性能于一体、市场前景巨大等特点。当前, 前沿新材料研究大多还处于实验室阶段, 面临“无材可用”的问题。

相比基础材料和关键战略材料, 中国许多前沿新材料的基础研究与发达国家处于同一起跑水平, 尤其在超导技术领域还处于国际前沿。因此, 中国前沿新材料的发展潜力和技术优势较为明显, 未来应以积累核心技术专利, 实现部分品种量产为目标, 实施前沿技术领先的创新突破战略, 攻克核心技术瓶颈, 加强技术转化, 构筑知识优势。



2.2.3 智能制造重点领域关键新材料范围界定

考虑到智能制造发展所需的新材料种类较多,《中国制造2025》<sup>[24]</sup>和《智能制造发展规划(2016—2020)》<sup>[25]</sup>提出要聚焦新一代信息技术产业、航空航天装备等十大重点领域的创新发展。因此,未来智能制造关键新材料主要是面向智能制造重点发展领域所需的先进基础材料、关键战略材料和前沿新材料等三大类关键新材料,如表3所示。

3 智能制造关键新材料创新突破的基本问题与研究框架

面对智能制造关键新材料“高技术不确定性与高市场不确定性”两大关键特征,从保障中国智造强国战略目标实现出发,促进智能制造关键新材料创新突破,必须清楚回答以下两大基本问题:

3.1 创新规律与趋势问题

第一个基本问题是如何认清智能制造关键新材料创新突破的规律,把握其创新突破趋势。这将

是研究智能制造关键新材料创新突破的重要理论基础和逻辑起点。

(1)从理论层面认清智能制造与关键新材料的关系。本文认为,应把握产业升级与关键新材料创新突破的协同演进规律,重点考察智能制造发展对关键新材料需求的影响。一方面,必须认识到智能制造技术经济范式的变革,将对关键新材料消费需求产生重大影响:一是制造模式由传统的切削成型向增材制造转变,将刺激3D打印材料的开发与消费;二是生产范式由大规模生产向大规模个性化定制转变,将扩大柔性智能材料的需求;三是智能制造动力由传统化石能源向绿色新能源转变,将带动新能源材料尤其是先进储能材料的需求;四是人工智能、工业互联网、区块链、物联网等技术出现,将激发先进信息材料的需求。另一方面,重点领域智能转型也将会对关键新材料的需求结构造成新的冲击。《中国制造2025》<sup>[24]</sup>、《智能制造发展规划

表3 智能制造重点发展领域所需关键新材料

Table 3 Advanced materials for focus areas of intelligent manufacturing

关键新材料类别	新一代信息技术产业	高档数控机床和机器人	航空航天装备	先进轨道交通装备	节能与新能源汽车	海洋工程装备及高技术船舶	生物医药及高性能医疗器械	电力装备	农机装备
先进基础材料									
先进钢铁材料		√	√	√	√	√		√	√
先进有色金属材料		√	√		√			√	
先进石化材料	√		√	√	√				
先进建筑材料			√		√				
先进轻纺材料					√	√			
关键战略材料									
高端装备用特种合金			√		√	√		√	√
高性能分离膜材料					√	√			
高性能纤维及复合材料			√	√	√	√			
新型能源材料					√				
新一代生物医用材料							√		
电子陶瓷和人工晶体	√							√	
稀土功能材料		√		√	√		√	√	
先进半导体材料	√				√			√	
新型显示材料	√						√		
前沿新材料									
3D打印用材料			√		√		√		
超导材料								√	
智能仿生与超材料	√	√					√		
石墨烯材料	√				√	√			

2019年1月

(2016—2020年)》<sup>[25]</sup>确定了十大重点领域智能转型,它们都将对关键新材料创新突破提出新的要求,如先进轨道交通装备对钢铁材料的强度、寿命、焊接性、耐腐蚀性、止裂性等提出了更高的要求。因此,非常有必要深入研究智能制造发展的趋势与特征,认真考察智能制造技术经济范式的变革和重点领域智能转型对关键新材料的需求结构、种类和规模的影响,为智能制造关键新材料的创新突破提供理论指导。

(2)放眼全球视野,对智能制造关键新材料创新发展的新形势、新趋势进行科学研判,识别中国智能制造关键新材料创新突破的瓶颈,确定其创新突破的方向和重点。从全球形势来看,一是关键新材料的科技创新进入密集活跃期,呈现出“智能化、绿色化、超纯化、量子化、复合化及可设计化”的新趋势<sup>[28]</sup>,对关键新材料技术创新的方向提出了新的要求;二是集成材料计算与计算机技术一体的“材料基因组”技术的出现,加速材料研究和产业化速度,对关键新材料创新方法提出了新挑战;三是高度开放的全球创新网络成为关键新材料研发的一种创新模式,多国联合研发创新的趋势不断增强,单个国家主导地位不断弱化<sup>[29,30]</sup>,关键新材料创新模式面临新变化。同时,近年国际贸易争端加剧,又对国际技术合作形成了阻碍。这些变化趋势对全球关键新材料技术创新方法、模式等带来了巨大挑战;从中国情况来看,材料研究队伍规模已然位列世界首位,专利申请量跃居世界第一,材料领域的国际论文发表数量也居世界前列,但关键新材料依赖进口、受制于人的局面并没有得到根本改变。因此,非常有必要加强研究全球智能制造关键新材料创新格局,研判其创新趋势,同时也要对中美贸易争端有可能产生的影响进行风险评估,以进一步根据中国国情调整其创新突破的重点。

### 3.2 技术创新与商业化问题

第二个基本问题是怎样找准智能制造关键新材料创新突破的战略支点,构建其创新突破的大国方略。这是研究智能制造关键新材料创新突破的重点和落脚点。

关键新材料具有“两种高不确定性”(即高技术不确定性和高市场不确定性)的鲜明特征,决定其

必然会面临“技术创新与商业化应用”两大现实难题。这两大难题构成智能制造关键新材料创新突破的大国方略的核心内容和两大战略支点。

(1)破解技术创新突破的难题,即如何通过嵌入全球创新网络,实现智能制造关键新材料技术创新的重大突破。必须清楚认识到,不同于发达国家的战略任务主要是保持技术领先优势,中国智能制造关键新材料面临“技术创新赶超与前沿技术领先”的双重任务。这是由中国工业化发展阶段所决定的。当前,中国处于工业2.0补课、工业3.0普及、工业4.0示范的阶段。既要解决先进基础材料补短板的问题,还要破解关键战略材料卡脖子的问题,更须把握技术窗口机遇期,实现前沿新材料技术创新领先的问题。因此,中国不能简单套用一条路径来促进关键新材料技术创新突破,应当加强对先进基础材料、关键战略材料、前沿新材料共性与个性问题的研究,识别其阻碍因素,分类设计技术创新突破的实现路径。这将有力提升中国智能制造关键新材料自主创新能力,有助于推进中国智能制造实现从跟跑向并跑、领跑的跨越。

(2)破解商业化应用的难题,即如何推动智能制造关键新材料的商业化应用,把中国高技术矿产资源优势转换成材料优势、产业优势。一方面中国具有高技术矿产资源优势,未来战略性新兴产业发展所需的高技术矿产的60%以上是中国优势矿产。因此,中国应重点提高国内智能制造和高技术产业的整体水平,不断扩大国内关键新材料高端应用领域,刺激关键新材料的研发和投资,进而把中国的资源优势升级为材料优势;另一方面,要重点解决材料生产商与应用商及其相关利益者之间的合作与信任问题,促进关键新材料创新链与产业链的精准对接,跨越科学生态、技术生态和应用生态的鸿沟。归根结底,必须大力提升智能制造关键新材料的国际竞争力,构筑其产业优势。

(3)在破解两大现实难题的基础上,构建智能制造关键新材料创新突破的大国方略。中国作为一个大国,不能被别国“卡脖子”,必须要有能力切实维护国家利益与安全。因此,既要立足于自身,提升自主创新能力;又要放眼于全球,通过嵌入全球创新网络和产业价值链,构筑产业优势。在此方

略指引下,建立涵盖财税政策、知识产权保护、产业政策、产业服务体系、贸易政策、资源管理、国家管控的综合性政策体系。这是本研究的最终落脚点。

围绕这两个基本问题,从“理论分析—调查实证—对策设计”三个层次构建智能制造关键新材料创新突破的研究框架,如图2所示。

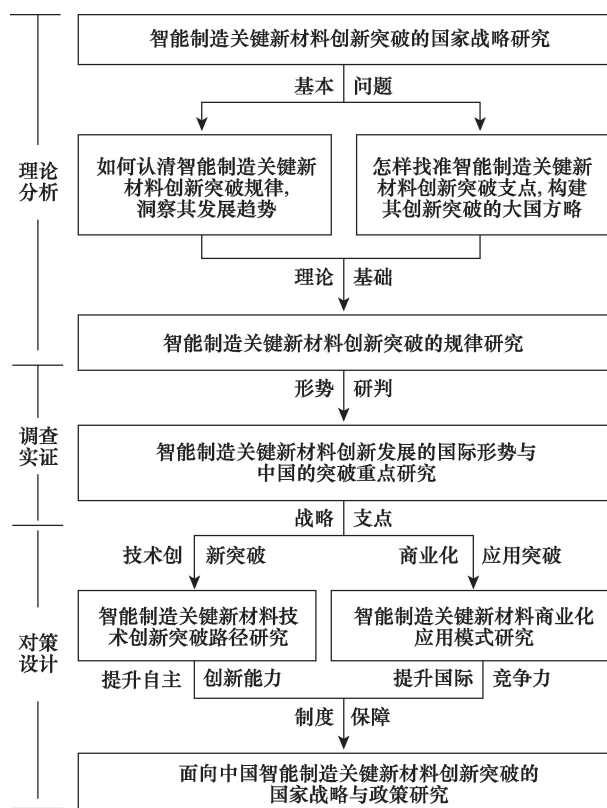


图2 智能制造关键新材料创新突破的研究框架

Figure 2 Research framework of promoting development of advanced materials for intelligent manufacturing

## 4 智能制造关键新材料创新突破的研究议题

### 4.1 智能制造关键新材料创新突破的规律研究

分析智能制造发展对关键新材料创新突破的影响,把握智能制造关键新材料创新突破规律,是研判智能制造关键新材料创新发展趋势,构建智能制造关键新材料创新突破大国方略的理论基础。可重点研究以下问题:

(1)制造业转型升级与新材料创新突破的协同演进规律。全面梳理总结全球制造业转型升级与关键新材料创新突破的协同演进过程与规律,深入

剖析具体产业发展与关键新材料创新突破的演进过程与特征,探索技术创新、市场需求、政策引导等驱动力对制造业转型升级与关键新材料创新突破演进的影响机制。

(2)智能制造发展对关键新材料创新突破的影响。厘清智能制造的内涵及技术特征,考察智能制造的发展趋势,考察智能制造生产技术创新、新兴智能硬件产品大规模个性化定制生产以及智能制造基础设施建设等对关键新材料结构、性能、形态、种类等方面的要求和影响,揭示智能制造发展对关键新材料创新突破的影响规律。

(3)重点领域智能转型对关键新材料需求的冲击效应。构建重点领域智能转型对新材料需求的冲击效应模型,设计重点领域智能转型未来发展情景,模拟分析不同情景下重点领域智能转型对关键新材料需求的冲击影响。

### 4.2 智能制造关键新材料创新发展的国际形势研究

研判全球智能制造关键新材料创新发展的国际形势,预测智能制造关键新材料发展方向,是构建智能制造关键新材料创新突破大国方略的现实基础。可重点研究以下问题:

(1)智能制造关键新材料创新突破的国际格局。从国际科研技术力量、全球供需格局、产业链国际竞争力对智能制造关键新材料创新突破的国际竞争格局全方位扫描,评估典型国家和地区的先基础材料、关键战略材料、前沿新材料产业成熟度,分析智能制造关键新材料技术创新网络的规模、密度、中心性和影响力,科学标定各国在智能制造关键新材料全球创新网络中的位置。

(2)智能制造关键新材料创新突破的国际趋势。分类构建先进基础材料、关键战略材料、前沿新材料技术专利数据库,建立基于专利地图的智能制造关键新材料技术创新趋势分析模型,预测先进基础材料、关键战略材料、前沿新材料技术发展轨迹,明确技术创新前沿领域、创新重点区域和机构、主要创新方法以及创新生态环境等。

(3)中国智能制造关键新材料创新发展现状调查与突破重点。深入调查中国智能制造关键新材料创新发展现状,找出存在的问题和原因,并结合中国产业发展现实基础,明确中国智能制造关键新



2019年1月

材料创新发展的机遇与挑战,揭示中国智能制造关键新材料创新突破的重点领域和前瞻方向。

#### 4.3 中美贸易摩擦背景下的智能制造关键新材料供应风险评估

中美贸易摩擦对中国高端材料进口、高科技企业投资、科研发展等多方面带来不利影响,加大了智能制造关键新材料的供应风险。因此,亟需评估中国智能制造关键新材料供应风险,客观认识供应安全态势。需重点研究以下内容:

(1)构建中美贸易摩擦对智能制造关键新材料供应安全影响的“压力(Pressure)-状态(State)-响应(Response)”模型,解构中美贸易摩擦对智能制造关键新材料供应风险的影响机制。

(2)揭示中美贸易摩擦对智能制造关键新材料供应安全影响机理,构建智能制造关键供应风险的PSR多准则风险评估指标体系。

(3)运用PSR指标体系对先进基础材料、关键战略材料、前沿新材料的供应风险进行评估,并以新形势下关键预期信息的改变为诱因,针对不同情景进行实验仿真,对未来中国智能制造关键新材料供应风险态势的变动轨迹进行仿真预测。

#### 4.4 智能制造关键新材料技术创新突破路径研究

智能制造关键新材料创新突破的核心是技术创新。科学设计智能制造关键新材料技术创新突破的路径,提升智能制造关键新材料自主创新能力,是撬动智能制造关键新材料创新突破的第一大战略支点。可重点研究以下问题:

(1)智能制造关键新材料技术创新机理。揭示技术创新突破路径选择的作用机制,评估不同路径对创新绩效的影响,把握时机选择与全球创新网络中心度对创新绩效的调节作用,为智能制造关键新材料技术创新突破路径设计提供理论基础。

(2)研究先进基础材料与关键战略材料创新赶超的背景、原因、主要阻碍因素,归纳赶超路径与策略。在此基础上,设计中国智能制造关键新材料技术创新突破的“中心赶超”和“边缘赶超”路径,并构建支撑条件与赶超策略。

(3)分析智能制造前沿新材料面临的初始条件及创新驱动动力,识别智能制造关键新材料前沿技术领先的障碍因素,总结归纳其领先路径与策略。在

此基础上,设计中国智能制造关键新材料“探索式”与“利用式”技术领先路径,提出前沿技术领先的策略。

#### 4.5 智能制造关键新材料商业化应用模式研究

激活和释放下游行业对关键新材料的有效需求,推进关键新材料的商业化进程,是促进实现智能制造关键新材料创新突破的第二大战略支点。可重点研究以下问题:

(1)智能制造关键新材料商业化应用突破的机理。刻画智能制造关键新材料商业化的过程,识别商业化应用突破的内部驱动因素,揭示关键新材料商业化应用突破的影响机制,构建智能制造关键新材料商业化应用突破的机理模型。

(2)先进基础材料商业化应用模式及其国际竞争力提升策略。分析先进基础材料创新主体、智能制造厂商及其相关利益者的行为目标和方式,设计促进相关利益者互利共生的激励机制;揭示先进基础材料高端商业化应用的实现过程和构筑竞争优势的战略行动,提出中国先进基础材料国际竞争力提升的策略。

(3)关键战略材料商业化应用模式及其国际竞争力提升策略。研究科研机构、材料生产企业、智能制造厂商等相关利益者的行为目标和行为方式,设计以科研机构、材料生产企业、军工、航天制造厂商等为重点对象的互利共生激励机制;揭示关键战略材料产业化的实现过程和构筑生态优势的战略行动,提出中国关键战略材料国际竞争力提升的策略。

(4)前沿新材料商业化应用模式及其国际竞争力提升策略。研究大学或研究机构、政府、金融机构、创新组织、企业等相关利益者的行为目标和行为方式,设计以科研机构、技术转化机构、科技管理及风险投资机构为重点对象的互利共生激励机制;揭示前沿新材料核心技术突破与技术转化的实现过程和构筑知识优势的战略行动,提出中国前沿新材料国际竞争力提升的策略。

#### 4.6 面向中国智能制造的关键新材料创新突破战略与政策研究

围绕智能制造关键新材料技术创新和商业化应用两大战略支点,构建中国关键新材料创新突破

的总体战略框架和政策支撑体系,这是研究的最终落脚点。可重点研究以下问题:

(1)关键新材料创新的政策机制。构建中国情境下关键新材料创新突破的“中央-地方”双层级政策组合理论,解析“政策组合-创新能力-产业优势”的政策作用机制,提出中国情境下政策组合及政策机制理论。

(2)中国智能制造关键新材料政策的演变及效果评价。分析政策演变的主要特征及影响因素,深度解析关键新材料政策演变的内在逻辑、动力机制及未来趋势;定量评价现行政策的实施效果,对政策组合设计、政策执行过程等政策相关主要问题进行深度剖析,准确把握关键新材料创新政策的影响效果及实施中的问题障碍。

(3)智能制造关键新材料创新突破的国际经验与启示。从政策意图、主要目标、重点领域、政策工具组合、政策制定机构等方面横向国际比较和纵向历史分析,为中国政策体系优化设计提供国际经验借鉴。

(4)中国智能制造关键新材料创新突破的战略及政策。从“中央-地方”两个层级构建关键新材料创新突破战略的总体框架,分层分类设计中国智能制造关键新材料实现创新突破的战略行动路线图及其所需的政策体系。

## 5 结语

关键新材料是保障制造产品质量的最基本条件,更是发展智能制造的重要基石。但新材料具有的“高技术不确定性”与“高市场不确定性”两大特征,决定关键新材料创新突破过程中面临“技术创新”与“商业化应用”两大现实难题。本文从回答“如何认清智能制造关键新材料创新突破规律,把握其创新突破的趋势”、“怎样找准智能制造关键新材料创新突破的战略支点,构建其创新突破的大国方略”两大基本问题出发,构建智能制造关键新材料创新突破的研究框架,明确智能制造关键新材料创新突破的思路、方向与战略支点,提出未来需加强智能制造关键新材料创新突破的规律及趋势、技术创新突破路径、商业化应用模式以及战略与政策等议题的研究。这些研究将为新材料产业发展与

中国智造强国建设提供理论与政策支持。

## 参考文献(References):

- [1] 黄群慧. 改革开放40年中国的产业发展与工业化进程[J]. 中国工业经济, 2018, (9): 5-23. [Huang Q H. China's industrial development and industrialization process during the 40 years of reform and opening-up[J]. *China Industrial Economics*, 2018, (9): 5-23. ]
- [2] Li L. China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4. 0" [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 135: 66-74.
- [3] 马琳, 商龚平. “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, Shang G P. "Made in China 2025" puts forward new requirements for materials[J]. *Advanced Materials Industry*, 2015, (7): 11-13. ]
- [4] Zhong R Y, Xu X, Klotz E, et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4. 0: a review[J]. *Engineering*, 2017, 3(5): 616-630.
- [5] 中国国务院. 关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定 [EB/OL]. (2010-10-18) [2018-11-15]. [http://www.gov.cn/zwqk/2010-10/18/content\\_1724848.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2010-10/18/content_1724848.htm). [The State Council. Decision on Accelerating the Cultivation and Development of Strategic Emerging Industries [EB/OL]. (2010-10-18) [2018-11-15]. [http://www.gov.cn/zwqk/2010-10/18/content\\_1724848.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2010-10/18/content_1724848.htm). ]
- [6] 中国国务院. 十三五国家战略性新兴产业发展规划 [EB/OL]. (2016-12-20) [2018-11-15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146392/c5426719/content.html>. [The State Council. China's 13th Five-year Plan for the Development of Strategic Emerging Industries [EB/OL]. (2016-12-20) [2018-11-15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146392/c5426719/content.html>. ]
- [7] 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. ]
- [8] Pierce R S, Falzon B G. Simulating resin infusion through textile reinforcement materials for the manufacture of complex composite structures [J]. *Engineering*, 2017, 3(5): 596-607.
- [9] 师昌绪. 关于构建我国“新材料产业体系”的思考[J]. 工程研究, 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. ]
- [10] 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): 87-106. [Jia G L. The third industrial revolution and industrial intelligence [J]. *Social Sciences in China*, 2016, (6): 87-106. ]
- [11] Jan F. Mobilizing innovation for sustainability transitions: a comment on transformative innovation policy [J]. *Research Policy*,



2019年1月

- 2018, (7): 1–9.
- [12] 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. The new materials build the foundation for the strong body of the robot industry [J]. *Advanced Materials Industry*, 2016, (7): 1–4. ]
- [13] Negro S O, Hekkert M P, Smits R E. Stimulating renewable energy technologies by innovation policy[J]. *Science and Public Policy*, 2008, 35(6): 403–416.
- [14] Lee K, Ki J H. Rise of latecomers and catch-up cycles in the world steel industry [J]. *Research Policy*, 2017, 46(2): 365–375.
- [15] Binz C, Truffer B. Global innovation systems—a conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts [J]. *Research Policy*, 2017, 46(7): 1284–1298.
- [16] 屠海令, 李腾飞, 马飞. 我国关键基础材料发展现状及展望[J]. 中国工程科学, 2017, 19(3): 125–135. [Tu H L, Li T F, Ma F. The development status and prospect of China's critical basic materials [J]. *Engineering Sciences*, 2017, 19(3): 125–135. ]
- [17] 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. Evolution and enlightenment of science and technology policy of new material industry in the United States [J]. *Advanced Materials Industry*, 2014, (3): 29–32. ]
- [18] 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. Research on international new materials policy [J]. *Materials China*, 2015, 34(4): 326–329. ]
- [19] Li H X, Si H. Control for intelligent manufacturing: a multiscale challenge [J]. *Engineering*, 2017, 3(5): 608–615.
- [20] Park S. The puzzle of graphene commercialization [J]. *Nature Reviews Materials*, 2016, DOI: 10. 1038/natrevmats. 2016. 85.
- [21] Lubik S, Garnsey E, Minshall T. Evolving Toward an Ecosystem Perspective: Market Strategies for Science-Based Ventures[C]. University of Cambridge Centre for Technology Management Working Paper Series, 2013.
- [22] 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.
- [23] Maine E, Seegopaul P. Accelerating advanced-materials commercialization [J]. *Nature Materials*, 2016, 15(5): 487–491.
- [24] 中国国务院. 中国制造 2025 [EB/OL]. (2015–05–08)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n973401/n1234620/n1234622/c4409653/content.html>. [The State Council. Made in China 2015[EB/OL]. (2015–05–08) [2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n973401/n1234620/n1234622/c4409653/content.html>. ]
- [25] 中国工信部和财政部. 智能制造发展规划(2016–2020年)[EB/OL]. (2016–12–08) [2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757018/c5406111/content.html>. [Ministry of Industry and Information Technology and Ministry of Finance. Intelligent Manufacturing Development Planning (2016–2020) [EB/OL]. (2016–12–08)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757018/c5406111/content.html>. ]
- [26] 中国国家制造强国建设战略咨询委员. 中国制造 2025 重点领域技术路线图[EB/OL]. (2015–09–30)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n973401/n1234620/n1234630/n1234633/c4324030/content.html>. [China National Manufacturing Power Construction Strategy Advisory Committee. Made in China 2025 Technology Roadmap For Key Areas [EB/OL]. (2015–09–30)[2018–11–15]. <http://www.miit.gov.cn/n973401/n1234620/n1234630/n1234633/c4324030/content.html>. ]
- [27] 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>. ]
- [28] 汪晓春, 李京文, 金碚. 新材料产业现状与发展前景[M]. 广州: 广东经济出版社, 2015. [Wang X C, Li J W, Jin P. Present Situation and Development Prospect of New Material Industry[M]. Guangzhou: Guangdong Economic Press, 2015. ]
- [29] Guan J, 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*, 2016, 45 (1): 97–112.
- [30] De Noni I, Orsi L, Belussi F. The role of collaborative networks in supporting the innovation performances of lagging-behind European regions [J]. *Research Policy*, 2018, 47(1): 1–13.

# Framework and basic issues of promoting development of advanced materials for intelligent manufacturing

WANG Chang<sup>1,2</sup>, GENG Hongjun<sup>1</sup>, SONG Huiling<sup>1</sup>, SUN Qiao<sup>1</sup>, LU Fenghua<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** With the next science and technology revolution and the industrial transformation background, intelligent manufacturing has become the mainly focused development trend of China's manufacturing industry. However, the lagging development of advanced materials has restricted China's manufacturing industry structure adjustment and upgrading transition process. It has recently become an urgent concern to promoting development of advanced materials for intelligent manufacturing. Previous studies mainly focused on the innovation evolution, technological innovation, commercialization, national policies of advanced materials; little attention was paid to the identification of the strategy and development direction of advanced materials for intelligent manufacturing. Based on advanced materials intrinsic characteristics of technology uncertainty and market uncertainty, this study argues that the development of advanced materials is determined by its technological innovation capacity and commercial capability. Thus, to promote the breakthrough development of advanced materials for intelligent manufacturing, we should clearly characterize the following basic problems: "how to recognize the law of innovation of advanced materials for intelligent manufacturing and grasp the trend of advanced materials innovation " and "how to identify the strategic intervention link of promoting breakthrough development of advanced materials for intelligent manufacturing and construct the national strategy system of promoting breakthrough development of advanced materials for intelligent manufacturing." According to the two basic problems, we suggest that future research on advanced materials for intelligent manufacturing should focus on development rules and trend, technological innovation breakthrough path, commercialization mode, strategies and policies. This study can provides a theoretical and policy support for the industrial development of China's advanced materials and realization of the strategic goal of manufacturing power.

**Key words:** intelligent manufacturing; advanced materials; innovation development; basic issues