

我国智能制造发展实践及突破路径研究

周勇^{1,2}, 赵聃², 刘志迎^{1*}

(1. 中国科学技术大学管理学院, 合肥 230026; 2. 安徽省工业和信息化研究院, 合肥 230001)

摘要: 智能制造成为现代制造发展的必然趋势, 既是“中国制造 2025”的主攻方向, 也是我国制造业由大到强的必由之路。开展关于智能制造突破瓶颈的研究, 对于推动制造业高质量发展、加快工业转型升级具有积极意义, 也是践行“四个面向”的重要举措。本文系统梳理了我国智能制造发展实践, 从智能制造战略布局、项目试点示范、产业集聚区分布、发展阶段研判等维度对其基本特征进行总结, 深入剖析了发展过程中存在的问题。研究发现, 现行的支持智能制造发展的部分标准、政策、技术、人才、财税等已不能适应新时期的发展要求, 在“十四五”时期, 有必要从政策标准、核心技术、支撑要素等方面精准施策, 以推动智能制造高质量发展。具体而言, 应加强顶层设计, 完善政策标准体系; 强化战略布局, 突破关键核心技术; 健全制度保障, 强化关键要素支撑。

关键词: 智能制造; 政策标准; 核心技术; 支撑要素; 突破路径; 高质量发展

中图分类号: F424 **文献标识码:** A

Development Practice and Breakthrough Path of China's Intelligent Manufacturing

Zhou Yong^{1,2}, Zhao Dan², Liu Zhiying^{1*}

(1. School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Anhui Institute of Industry and Information Technology, Hefei 230001, China)

Abstract: Intelligent manufacturing has become the inevitable development trend of modern manufacturing; it is the main direction of the China Manufacturing 2025 plan and the only way for China's manufacturing industry to develop from large to strong. Studying the breakthrough paths of intelligent manufacturing is significant for promoting the high-quality development of China's manufacturing industry and accelerating industrial transformation and upgrading. It is also an important measure to practice the "four orientations". In this article, we study the development practice of intelligent manufacturing in China, and summarize its basic characteristics from the dimensions of strategic layout, pilot demonstration, industrial agglomeration, and determination of development stages. Meanwhile, we investigate the problems existing in the development process. Currently, some of the standards, policies, technologies, talents, finance, and taxation for intelligent manufacturing can no longer meet the development requirements of the new era. Targeted measures focusing on policy standards, core technologies, and supporting elements are required for promoting the high-quality development of intelligent manufacturing during the 14th Five-Year Plan period. Specifically, China should strengthen the top-level design to improve its policy and standards system, optimize strategic layout to achieve breakthroughs in core technologies, and improve the institutional guarantee and support of key elements.

Keywords: intelligent manufacturing; policy standards; core technology; supporting elements; breakthrough path; high-quality development

收稿日期: 2021-08-10; **修回日期:** 2021-09-03

通讯作者: *刘志迎, 中国科学技术大学管理学院教授, 研究方向为产业经济、创新管理; E-mail: liuzhiy@ustc.edu.cn

资助项目: 国家自然科学基金项目 (72072167); 工业和信息化部软课题研究项目 (GXZY20-24); 中国工程科技发展战略安徽研究院咨询研究项目 (2020ZD-4); 安徽省科技创新战略与软科学研究专项项目 (101123728006); 安徽省社会科学重点项目 (AHSKZ2019D005)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展，智能制造成为现代制造发展的必然趋势。“工业4.0”的提出，不仅是智能制造兴盛于21世纪的标志，也是我国全面推进智能制造的重要参照[1]。国家高度重视“中国制造2025”，发布了《中国制造2025》《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》《智能制造发展规划（2016—2020年）》等重大政策文件，明确将智能制造作为制造业发展的主攻方向[2]。在此基础上，中央和地方密集出台了相关配套政策以具体支持智能制造发展，智能制造迈入了新发展阶段。

也要注意，国际制造业的分工格局正在发生深刻调整，我国制造业内外部发展环境的不确定性、不稳定性因素逐渐增多。随着国际竞争态势趋于激烈、发达国家贸易保护主义抬头，尤其是中美贸易争端的进一步发展，我国制造强国战略遭受了不合理对待，客观上阻碍了我国智能制造的实施进程[3]。进入新时期、面对新形势，我们在应对智能制造发展中存在的问题时保持清醒认识，才能持续推动智能制造高质量发展。为此，本文基于我国智能制造实践的多维度视角，总结基本特征、剖析面临的问题、研判发力重点，以期为我国智能制造中长期发展提供理论参考。

二、我国智能制造的发展实践

（一）战略布局逐渐完善

《智能制造发展规划（2016—2020年）》为我国智能制造的迅速演进提供了有力支撑。随后《高端智能再制造行动计划（2018—2020年）》《国家智能制造标准体系建设指南》（2018年）陆续发布，进一步明确了智能制造的重点方向和发展目标，目前我国智能制造框架已基本形成。全国各地结合区域发展情况，积极推出省级层面的“行动纲要”，如《广东省智能制造发展规划（2015—2025年）》《天津市智能制造专项行动计划》。随着一系列扶持政策的实施，智能制造已成为全国各地推动产业转型升级、建设制造强省的重要途径[4]。

（二）试点示范项目全面覆盖

为深入推动《中国制造2025》，从2015年开始，工业和信息化部在全国范围内启动智能制造试点示范专项行动，重点围绕离散型、流程型、网络协同、大规模个性化定制、远程运维服务5种智能制造模式，对相关企业进行综合评价。截至2020年年底，全国共遴选出305个国家智能制造试点示范项目，涉及92个行业；项目牵头单位多为行业龙头，产业链长、带动性强，分布遍及全国[5]。

2015—2018年，全国智能制造企业试点示范项目个数分别为46、63、97、99，涉及233个企业，远超2015年所定的“十三五”期间培育100个智能制造试点示范项目的规划目标。从地区分布上看，智能制造试点示范项目分布在全国31个省份，集中在长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区。其中，山东、浙江、广东、江苏、安徽5省试点示范项目建设成绩显著，项目数量均不低于18个；海南、吉林、青海、西藏4省份项目最少，项目数量均为1个（见图1）。

（三）四大产业聚集区初步形成

经过40余年的改革开放，我国各地制造业的要素供给发生了翻天覆地的变化。面对劳动力、能源、土地等要素的制约，沿海发达地区对发展智能制造更为迫切。在一系列政策的推动下，大量生产要素向智能制造领域集聚，东部地区智能制造产业率先崛起。整体来看，我国初步形成了各具特色的“3+1”产业聚集区。

环渤海地区的高校、科研院所较为集中，科研实力突出。依托区域资源和人力资源的优势，环渤海地区初步形成了“核心”“两翼”错位发展的产业格局。例如，北京市集聚了人才、科技、资本等各类生产要素，在工业互联网、智能制造服务软件方向形成了突出优势[6]。

长江三角洲既是全国经济发展最活跃、创新能力最强的地区之一，又是我国重要的先进制造业基地。上海、江苏、浙江、安徽三省一市，各扬所长、错位发展，培育了一批优势明显、协同互补的产业集群，智能制造产业发展较为均衡。例如，江苏作为工业强省，充分融合国内外先进工业设计理念，加速打造装备制造“新名片”；安

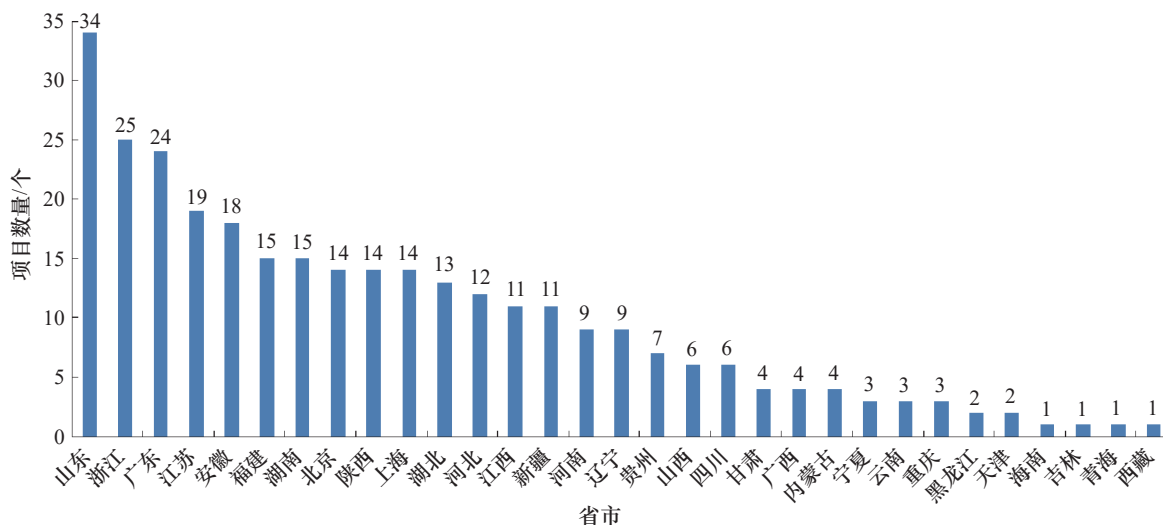


图1 我国智能制造试点示范项目分布（2015—2018年）

徽作为新兴工业大省，依托“中国声谷”集聚了科大讯飞股份有限公司、安徽华米信息科技有限公司等近千家特色企业，积极打造世界一流的“人工智能”基地。

珠江三角洲（珠三角）地区是我国重要的制造业基地，在促进制造业智能化转型方面具有先发优势。近年来，珠三角地区深入推动自动化、信息化融合发展，涌现出了一批知名的智能制造企业，同时吸引国内外行业龙头企业在本地设立分支机构 [7]。例如，广州市基于制造业传统优势，建立机器人与智能装备产业发展核心区；深圳市立足产业比较优势，寻求错位发展，围绕可穿戴设备打造创新服务基地。

中西部地区包括湖北、陕西、四川等主要省份，智能制造仍处于自动化层次，发展水平整体落后于东部地区。“十三五”时期以来，中西部地区抢抓历史发展机遇，依托华中科技大学、中国科学院西安光学精密机械研究所等高校和科研院所，一方面着力打造以激光产业为代表的高端产业，另一方面加快发展特色鲜明的关键核心零部件产业。中西部地区智能制造产业正处于加速崛起阶段。

（四）综合能力处于初级阶段

经过5年的快速发展，我国智能制造积累了必要经验，取得了良好效果。然而，尽管全国制造企业智能制造能力仍在提升，但整体处于初级阶段（2020年，中国电子技术标准化研究院完成了全国

智能制造能力评估，对象涉及12 000多家智能制造企业）[8]；75%的企业尚处于智能制造成熟度一级，14%的企业处于二级，6%的企业处于三级，只有5%的企业处于成熟度高的四级和五级。

从行业门类的成熟度来看，离散型制造较流程型制造略高。离散型制造行业的产品通常由多个零部件加工后装配而成，加工程序互相离散且不连续；汽车、电器等离散型制造行业在数字化向网络化、智能化转型过程中开展了大量探索和实践，智能化成熟度较高。流程型制造如炼油、水泥等传统行业，在流程化管理方面有较好基础，但智能化提升相对缓慢。图2给出了我国智能制造成熟度居前10位的细分行业分布情况。

三、我国智能制造发展面临的问题

（一）政策标准体系建设问题

推动智能制造发展离不开政策的支持与引导。建立完善的政策体系，既有利于营造支持智能制造创新发展的良好环境，也有利于引导传统企业借助智能制造技术实施转型升级。我国围绕促进智能制造发展出台的一系列政策措施，尽管取得了初步成效，但与预期目标相比仍有一定差距。

一是产业政策不协调。智能制造是一个复杂性、系统性的工程，涉及产业链长，通常跨越多个产业。当前，我国智能制造的发展重点是智能制造技术、智能制造装备、智能生产3个方面，但缺乏对智能

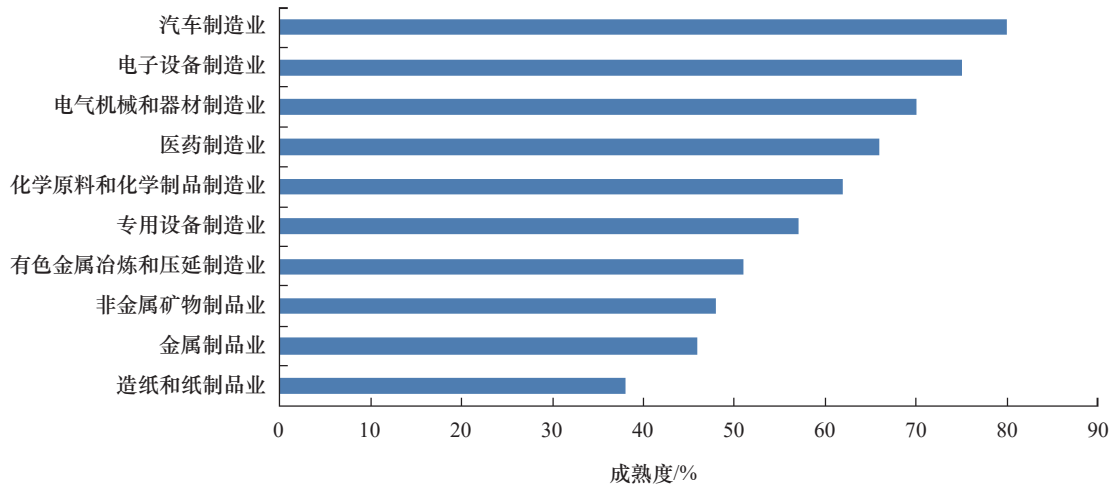


图2 智能制造行业成熟度前10位（2020年）

产品设计、智能管理、智能服务等方面的关注，政策覆盖面尚需扩大。虽然多个管理部门均已出台支持智能制造产业发展的政策，如国家发展和改革委员会制定了新一代信息技术、高端制造等新兴产业战略规划，工业和信息化部主导了制造业创新体系及政策，科学技术部负责科技创新政策，商务部牵头成立了智能制造产业国际合作委员会，但相关部门对不同环节、不同产业的侧重点关注各异，不易形成统一、完整、协调的政策体系，势必会影响政策的整体功能和实施效果。

二是标准体系不完善。行业标准是智能制造创新的驱动力，也是工业强国、行业巨头抢占产业竞争制高点的重要手段。长期以来，我国处于全球产业价值链的低端位置，在世界工业制造标准领域中的话语权和影响力较弱。例如，我国物联网应用标准不健全导致了设备不兼容，许多企业内部不同的信息系统无法集成，企业间跨平台、跨系统集成应用时不能实现无缝对接，有时甚至需要企业重新建立平台或系统。此外，主要发达国家均已完成智能制造顶层框架设计 [9]，如德国工业 4.0 的 RAMI4.0、美国工业物联网的 IIRA1.8 等。我国在 2016 年曾推出《工业互联网体系架构 V1.0》，但与制造强国相比，因更顶层的系统架构框架缺乏导致发布架构过于具体而不易扩展。

（二）关键核心技术问题

作为世界最大的制造业国家，我国拥有基本完整的工业体系，但智能制造发展处于初级阶段，关

键核心技术与世界制造强国相比依然差距明显。

一是关键基础能力不强。基础研究是引领创新发展的源头，对促进智能制造高质量发展起着极为重要的作用。近年来，我国持续保持基础研究投入力度，但原始创新能力仍显薄弱，基础研究短板依旧突出。国内企业的核心技术与世界先进技术相比差距未能缩小，一些核心零部件（如测控装置、仪器仪表、传感器、高端数控系统等）仍依赖进口。与此同时，智能制造涉及的国产基础材料结构不合理，低端供给过剩、高端供应不足，“有材不好用”问题突出；关键战略性材料受制于人，性能稳定性较差，无法应用到重要领域的重大装备中；前沿新材料有待突破，较多处于实验室研究阶段而难以开展应用转化。“十三五”时期，我国关键新材料进口率高达 86%，自给率仅为 14%；国产工业机器人关键零部件相比世界先进水平仍落后 5~10 年 [10]。

二是集成电路“短板”明显。我国集成电路产业起步晚、底子薄，面对日益激烈的国际市场竞争，未来发展面临严峻挑战。长期以来，国内半导体企业在技术研发上采取跟随策略，原始创新动力和研发投入均不足，导致产品从低端市场向中高端市场切入困难，品牌效应及产品美誉度提升缓慢。与此同时，国内集成电路产业链的上下游协同不足，以大企业为龙头、中小企业为支撑、企业联盟为依托的合理分工体系，具有国际竞争力的产业生态系统等，均亟待形成。到目前为止，全国没有 1 家能够高效整合产业链中的软件、硬件、应用服务等各个

环节的超强半导体企业。此外，“缺芯”问题日益凸显，受中美贸易争端的冲击，国产芯片的制造和产业应用趋紧，不利于我国工业和消费电子企业的市场规模拓展。鉴于集成电路制造技术及设备的高度复杂性，我国在光刻机、高端离子注入机、光刻胶等方向的自主攻关难度较大，短期内行业发展受制于人的局面不易改变。

三是工业软件相对薄弱。工业软件是信息化与工业化的“融合剂”，广泛应用于智能制造各环节。我国工业软件行业具有一定的技术研发和服务支持能力，但目前仍然难以摆脱底子薄、应用难的发展困境。① 供需结合不紧密。国产工业软件多为标准化通用型产品，在产品定制、新产品开发方面缺乏经验积淀，满足复杂多变的工业实际业务与特定场景需求能力不足。② 企业竞争力不强。国内工业软件企业普遍规模小、竞争力弱；国产工业软件集中在业务管理类等门槛较低的类型，主要以中低端管理软件（企业资源计划、供应链管理等）为主，而研发设计类软件（计算机辅助设计、计算机辅助工程等）、工程软件（制造执行控制、数据采集与监视控制等）等中高端软件较多依赖进口，工业数据“空心化”问题较为突出。③ 产业价值链不完善。由于市场环境不成熟、关键技术存在差距等原因，我国工业软件产业链缺少高技术、高附加值的增值服务供应商；在工业大数据平台、工业整体数字解决方案等新兴产业环节，我国尚未进行战略规划与精准布局。

（三）关键支撑要素问题

智能制造的发展是由多类支撑要素共同作用、综合推动的结果。支撑要素应适应新时期智能制造快速发展的需求，而我国在此方面存在诸多问题，致使跨越式发展较为艰巨。

一是人才保障面临制约。相对于传统制造业而言，智能制造领域对高素质人才的需求更加迫切，需要知识面广、技能性强的复合型人才。目前，我国智能制造人才数量和质量均严重欠缺，加之人才培养滞后，难以满足新时期智能制造发展的需求。人力资源和社会保障部统计，2020年我国智能制造领域的人才需求为750万人，而缺口为300万人；到2025年，人才缺口预计达到450万人[11]。

二是创新投入面临制约。虽然我国创新投入持

续保持增长态势，2020年全社会研发投入总额占国内生产总值（GDP）的比重提高至2.4%，但与发达国家相比仍有明显差距。整体来看，龙头企业研发投入比例偏低，对行业智能化改造的带动引领性不强；中小企业受资金、技术、人才等因素制约，在成本高、风险大的研发创新方面意愿不强。

三是大数据应用面临制约。工业大数据驱动是赋予“智能”制造的核心要素，大数据嵌入制造体系开启了“数据驱动”模式，丰富了制造思维、改善了生产流程、优化了决策机制。目前，我国智能制造大数据应用层次整体偏低，主要反映在以下两方面。① 大数据采集不充分、不深入。例如，“十三五”时期我国企业设备的数字化率达到50%，但完成设备联网、开展数据采集的仅为23%，数据采集的完整性、有效性得不到充分保障[12]；部分企业忽视了数据开发的重要性，大量数据被束之高阁，数据价值无法及时充分转化。② 大数据保护法律不完善，消费者和企业的信息安全面临严峻挑战。从消费者角度来看，随着用户直连制造（C2M）模式逐渐成为主流，消费者与企业间将产生大量的交互数据；这些数据一旦泄露，不法分子可能利用大数据分析形成“用户画像”，对消费者进行“精准”营销甚至定向诈骗。从企业角度来看，随着制造业资产与设备的数字化、网络化、智能化，企业策略、产品设计、知识产权数据等均是潜在泄露源，极易成为受攻击对象。

四是金融财税供给面临制约。金融财税政策应与国家战略协同，以为产业高质量发展提供有力保障。当前，我国支持智能制造产业发展的金融财税政策主要存在以下两个短板。① 企业获取资金支持难度大。银行贷款仍是企业融资的主要来源，但整体上银行利率偏高，符合智能制造企业特征的金融产品偏少。② 与新时期智能制造发展相比，现存的部分财税金融政策滞后，已不适应时代发展需求，应适时完善。例如，当前设立线上孵化器、开展智能产品协同设计的企业日益增多，但因科技孵化器优惠政策要求提供给孵化企业使用的场地面积应在75%及以上，造成线上设计平台无法享受优惠政策[13]；在线故障诊断、远程运维等客户服务方式成为智能制造的发展趋势，然而依然无法享受与工业用电、用水、用气、用热等同价的优惠待遇。

四、我国智能制造突破路径

(一) 加强顶层设计, 完善政策标准体系

智能制造是推进制造强国战略的主攻方向, 应完善产业支持政策, 强化政策引导机制, 推动重大战略落实。

一是拓宽政策覆盖空间。从智能制造微笑曲线、发达国家发展经验来看, 智能管理、智能服务是智能制造产业链高附加值所在。在国际智能制造竞争进入白热化的今天, 我国应该借鉴发达国家的成功经验, 基于智能制造产业融合系统观的视角, 从多个领域加以前瞻规划并配套政策支持, 尽快完善覆盖智能制造产业链全生命周期的政策体系。

二是健全创新政策体系。智能制造跨越多个领域、行业, 通常涉及多个管理部门。建议整合分散在发展和改革、工业和信息化、科学技术、商务等部门的创新引导功能, 构建以行业监管部门为主导、以企业为主体的创新政策体系。同时, 完善各管理部门之间的协调机制, 促使中央、地方、企业之间形成合力; 根据不同地区资源禀赋的不同、产业技术优势的差异, 合理布局智能制造产业发展, 避免同质化及恶性竞争。

三是完善标准体系。推动智能制造体系架构、技术实现、应用结构等方面的标准制定, 鼓励装备制造、通信设备、工业自动化、工业软件开发与集成等方向的企业、科研院所, 共同参与标准顶层设计, 有效解决标准的开放性和兼容性问题。依据《国家智能制造标准体系建设指南》, 建立标准体系动态更新机制, 完善符合产业发展需求、具有先进高效特征的智能制造标准体系。

(二) 强化战略布局, 突破关键核心技术

“十四五”时期, 我国实现智能制造高质量发展的首要任务是突破关键核心技术的瓶颈制约。

一是打牢产业基础。以产业链为主线, 着力加强面向工业“五基”(基础材料、基础零部件、基础工艺、基础设备、基础软件)的自主研制开发, 不断提升智能制造关键基础能力。积极布局战略性新兴产业, 抢占智能制造技术创新高地, 如加大基础性、颠覆性技术研究投入力度, 在认知科学、神经计算、人工智能、仿生制造等智能科学基础研究方向上不断深化, 推动制造技术、信息技术在智能

制造中深度融合发展。

二是加强战略布局。聚焦关键核心技术, 通过政策引导、市场牵引, 带动技术和产业迭代升级。例如, 在光刻机国产化、光刻胶等“卡脖子”方向开展战略性安排, 以“揭榜挂帅”方式集中国家高端资源, 尽快突破一批关键核心技术, 真正解决“芯痛”等突出问题。发挥重大工程项目的突破带动作用, 推动科研院所、高校、企业面向瓶颈技术协同攻关, 促进产业链、创新链的上下游联动合作。发挥龙头企业的竞争力优势, 联合国内外高校、跨国公司及科研机构, 形成优势互补、利益共享的“产学研用”合作机制, 建立产业创新平台、科研创新联盟。

三是发展工业软件。针对我国工业软件产业的发展实际与薄弱环节, 出台财政税收、人才培养、知识产权保护、产业服务体系、软件贸易等方面的扶持政策, 加快推动我国工业软件体系化发展。支持工业软件企业以联盟、论坛等形式, 与制造业企业建立技术交流与需求平台, 共同开发工业软件, 不断提升产品定制和二次开发能力。加强新型工业软件研发和推广, 加快第五代移动通信(5G)应用软件开发与服务平台建设, 提升我国 5G 创新应用层次和水平。

(三) 健全制度保障, 强化关键要素支撑

智能制造发展离不开要素支撑保障, 应积极推进体制机制创新, 为破除智能制造高质量发展障碍保驾护航。

一是优化人才供给结构。面向全球开展精准“招才”, 积极探索“柔性”引才方式, 吸引海外高端人才回流。构建国家及省级智能制造科研人才专家库, 重点储备 5G 物联、人机协同、人工智能、智能传感与精密制造等关键领域人才。分层次推动高等学校、职业学校的智能制造学科建设, 为企业、科研院所培养更多的专业人才。

二是完善创新驱动体系。在各级政府高度重视智能制造创新战略意义的同时, 稳步提高研发投入的 GDP 占比。整合“产学研用”要素资源, 持续开展科技创新合作与交流, 打破行业间、企业间的创新壁垒, 推进区域和产业链上下游的协同创新。培育智能制造协同创新基地, 支持各类企业建立创新中心、技术中心、工业设计中心等研发平台, 推

围重大科技创新项目、科技攻关项目落地实施。围绕重点方向，及时开展智能制造试点项目示范与推广，凸显龙头企业的行业创新引领作用。

三是实施大数据驱动战略。针对制造业大数据采集、加工、存储、分析各环节，建立覆盖大数据全生命周期的管理体系；优化统计手段、分析方法、回溯机制，努力实现制造业大数据采集“全覆盖”、过程“全监控”、质量“零缺陷”。运用大数据挖掘前沿技术，对制造业大数据进行深度分析，开发满足市场需求的关键应用和产品。引导社会资本投入，成立大数据经纪公司、大数据科技公司，为制造业大数据的转化应用提供咨询、评价、转让、维权等专业服务。进一步完善相关法律保障制度，明确制造业大数据的发展重点和战略目标，强化数据收集、处理的隐私保护；在保障应用的前提下合理限制用户数据分析与结果共享方式的范围，建立并完善涵盖事前、事中、事后风险的防控体系。加强对个人与企业信息滥用、盗用、侵用的惩罚力度，为制造企业利用互联网、大数据、云计算技术开展智能制造应用、改造、升级提供法律保障。

四是强化财税金融支撑。① 强化财政支持力度。加大对智能制造企业项目的直接财政支持，引导地方政府与智能制造企业在资本、技术等方面展开深度合作，构筑我国智能制造产业生态系统。② 实施税收优惠政策。将智能制造模式创新纳入企业增值税抵扣范围，让智能制造企业合理享受政策红利；针对智能制造领域出现的新经济，应规范税收制度，落实税收优惠政策，保障智能制造新模式、新业态的健康发展。③ 创新金融产品。鼓励金融机构在依法合规的前提下增设符合智能制造特征及需求的产品与业务，促进智能制造模式革新和应用推广；支持风险资本、天使资金等投资智能制造企业，缓解企业在参与市场竞争、保持发展壮大过程中面临的资金制约。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: August 10, 2021; **Revised date:** September 3, 2021

Corresponding author: Liu Zhiying is a professor from the School of Management, University of Science and Technology of China. His major research field is industrial economy, innovation management. E-mail:

liuzhiy@ustc.edu.cn

Funding project: National Natural Science Foundation of China (72072167); Ministry of Industry and Information Technology Soft Research Project (GXZY20-24); Consulting and research of Anhui Research Institute of China Engineering Science and Technology Development Strategy Project (2020ZD-4); Anhui Province Science and Technology Innovation Strategy and Soft Science Research Special Project (101123728006); Anhui Province Social Science Key Project (AHSKZ2019D005)

参考文献

- [1] 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): 96–127.
- [2] 周济. 智能制造——“中国制造2025”的主攻方向 [J]. *中国机械工程*, 2015, 26(17): 2273–2284.
Zhou J. Intelligent manufacturing: Main direction of “Made in China 2025” [J]. *China Mechanical Engineering*, 2015, 26(17): 2273–2284.
- [3] 肖亚庆. 奋力谱写制造强国和网络强国建设新篇章 [J]. *中国信息化*, 2021 (5): 5–7.
Xiao Y Q. Strive to write a new chapter in the construction of a manufacturing power and a network power [J]. *China Informatization*, 2021 (5): 5–7.
- [4] 杨志波. 我国智能制造发展趋势及政策支持体系研究 [J]. *中州学刊*, 2017 (5): 31–36.
Yang Z B. The development trend of China’s intelligent manufacturing and its policy support system [J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2017 (5): 31–36.
- [5] 钟志华, 臧冀原, 延建林, 等. 智能制造推动我国制造业全面创新升级 [J]. *中国工程科学*, 2020, 22(6): 136–142.
Zhong Z H, Zang J Y, Yan J L, et al. Intelligent manufacturing promotes the comprehensive upgrading and innovative growth of China’s manufacturing industry [J]. *Strategic Study of CAE*, 2020, 22(6): 136–142.
- [6] “新一代人工智能引领下的智能制造研究”课题组. 中国智能制造发展战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2018, 20(4): 1–8.
The Research Group for Research on Intelligent Manufacturing Development Strategy. Research on intelligent manufacturing development strategy in China [J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(4): 1–8.
- [7] 陈旭升, 梁颖. 双元驱动下智能制造发展路径——基于本土制造企业的多案例研究 [J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(10): 71–80.
Chen X S, Liang Y. The development path of intelligent manufacturing by ambidexterity: Multi-case study based on local manufacturing enterprises [J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2020, 37(10): 71–80.
- [8] 刘梦娟. 智能制造能力等级评价工作问答 [J]. *质量与认证*, 2021 (2): 88–89.
Liu M J. Q & A on intelligent manufacturing capability level evaluation [J]. *China Quality Certification*, 2021 (2): 88–89.
- [9] 闫纪红, 李柏林. 智能制造研究热点及趋势分析 [J]. *科学通报*, 2020, 65(8): 684–694.
Yan J H, Li B L. Research hotspots and tendency of intelligent

- manufacturing [J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(8): 684–694.
- [10] 陈劲, 阳镇, 朱子钦. “十四五”时期“卡脖子”技术的破解: 识别框架、战略转向与突破路径 [J]. 改革, 2020 (12): 5–15.
Chen J, Yang Z, Zhu Z Q. The solution of “neck sticking” technology during the 14th Five-Year Plan Period: Identification framework, strategic change and breakthrough path [J]. Reform, 2020 (12): 5–15.
- [11] 人民网. 智能制造工程技术人员等新职业发布 为智能制造输送人才“顶梁柱” [EB/OL]. (2020-04-28)[2021-08-01]. http://www.mohrss.gov.cn/SYrlzyhshbzb/dongtaixinwen/buneyaowen/202004/t20200429_366846.html.
People’s Daily. Release of new careers such as intelligent manufacturing engineering and technical personnel, conveying “top pillar” talents for intelligent manufacturing [EB/OL]. (2020-04-28)[2021-08-01]. http://www.mohrss.gov.cn/SYrlzyhshbzb/dongtaixinwen/buneyaowen/202004/t20200429_366846.html.
- [12] 中国电子技术标准化研究院. 智能制造发展指数报告 (2020) [R]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2021.
China Electronics Standardization Institute. Intelligent manufacturing development index report (2020) [R]. Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2021.
- [13] 国家税务总局. 财政部 税务总局 科技部 教育部关于科技企业孵化器 大学科技园和众创空间税收政策的通知 [EB/OL]. (2018-11-01)[2021-08-01]. <http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810755/c3855604/content.html>.
State Taxation Administration. Notice of Ministry of Finance of the People’s republic of China, State Taxation Administration, Ministry of Science and Technology of the People’s republic of China, Ministry of Education of the People’s republic of China on the tax policy of science and technology business incubator, university science and technology park, and maker space [EB/OL]. (2018-11-01)[2021-08-01]. <http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810755/c3855604/content.html>.