

以智能制造作为新质生产力支撑 引领现代化产业体系建设

王文泽

(中国人民大学 经济学院,北京 100872)

摘要:智能制造作为新一轮科技革命和产业变革的重要交汇点,代表了新一代信息技术与先进制造技术深度融合的先进生产方式,展现了制造业的未来形态。通过优化生产效率、重塑生产组织架构及激发技术革新,智能制造实质性地超越了传统制造模式。智能制造在构建现代化产业体系建设中发挥着不可或缺的支撑引领作用,能够有效推动产业智能化、融合化和绿色化进程。因此,需要大力发展智能制造,加快建设现代化产业体系,确保我国产业体系的完整性、先进性和安全性,在国际竞争中赢得战略主动,为实现中国式现代化,加快形成新质生产力提供关键的物质和技术基础。当前,尽管我国在智能制造领域已经取得显著成就,但仍需面对和解决一系列挑战。为此,需要采取有力措施,系统性、战略性地加以解决。

关键词:智能制造;制造业;新质生产力;现代化产业体系;制造强国

中图分类号:F124 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2674(2024)02-105-11

一、引言

人工智能作为新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,已经成为推动全球经济发展的重要驱动力。与此同时,智能制造作为新一轮科技革命和产业变革的重要交汇点,代表了新一代信息技术与先进制造技术深度融合的先进生产方式,展现了制造业的未来形态,是新质生产力的重要载体。2023年5月5日,习近平总书记在主持召开二十届中央财经委员会第一次会议时强调:“加快建设以实体经济为支撑的现代化产业体系,关系我们在未来发展和国际竞争中赢得战略主动。要把握人工智能等新科技革命浪潮,适应人与自然和谐共生的要求,保持并增强产业体系完备和配套能力强的优势,高效集聚全球创新要素,推进产业智能化、绿色化、融合化,建设具有完整性、先进性、安全性的现代化产业体系。”^[1]7月24日,在中共中央政治局会议上,习近平总书记再次强调,“要大力推动现代化产业体系建设,加快培育壮大战略性新兴产业、打造更多支柱产业。要推动数字经济与先进制造业、现代服务业深度融合,促进人工智能安全发展”。^[2]习近平总书记的指示为我国现代化产业体系建设明确了目标要求并提供了根本遵循。尤其值得注意的是,习近平总书记的讲话展现了党中央对实体经济的重视。建设以实体经济为支撑的现代化产业体系,对于推动我国产业升级和经济结构优化,确保经济长期健康稳定增长具有重大意义。

在全球化的大潮中,制造业作为国际产业竞争的核心战场,已经超越了单纯的产品竞争,演变为各

收稿日期:2023-09-26

基金项目:国家社会科学基金重大项目(23&ZD070);中国人民大学2023年度拔尖创新人才培养资助计划项目

作者简介:王文泽,中国人民大学经济学院博士研究生,主要从事马克思主义政治经济学、中国特色社会主义政治经济学研究。

国在前沿技术和创新能力上的深层次角逐。智能制造,作为这场全球竞争的焦点,成为众多国家战略布局的关键。德国的“工业 4.0”、日本的“社会 5.0”、美国的“先进制造业伙伴计划”以及我国的“中国制造 2025”都将智能制造摆在了至关重要的位置。这些战略不仅反映了各国对制造业未来的战略预判,更展现了这些经济体对智能制造的坚定信心与深切期望。以德国为例,德国是拥有世界上最具竞争力的制造业的国家之一。早在 2011 年的汉诺威工业博览会上,德国就提出了“工业 4.0”战略,希望以此在制造业的全球竞争中掌握先机。德国“工业 4.0”战略中有两项内容非常值得关注:一是要将新一代的信息技术融入其传统的高科技战略,保持其制造业在世界的领先地位,使德国成为全球智能制造技术的领先供应者;二是要推动“信息物理系统”(Cyber-Physical System, CPS)、物联网和服务(Internet of Things and Services, IoTS)的集成,着眼于提高生产的效率和灵活性,实现经济增长。^[3]为此,德国政府、银行和大型企业纷纷出资设立基金,对实施“工业 4.0”战略相关的创新型企业给予资金帮扶。截至 2022 年,在“工业 4.0 自主性”和“智能服务世界”两项计划中,德国经济事务和气候行动部就提供了近 1 亿欧元的资金帮扶。^[4]这充分说明了一点:智能制造是制造业发展的必然趋势,只有占领智能制造这一“战略高地”,才能在全球竞争中掌握主动权。对我国而言,亦是如此。建设现代化产业体系必须以稳固繁荣的实体经济为基础,以高度发达的制造业为支撑和引领。

当下,新科技革命浪潮愈发澎湃、国际形势日益复杂,我们必须深刻认识智能制造在现代化产业体系建设过程中的重要地位,并明确其支撑引领现代化产业体系建设的关键作用和政策路径。智能制造所带动的不仅是制造业的变革,更是一场影响深远的产业体系变革。这场变革超越了单纯生产力层面的内容,涉及的是对生产关系的重构。在全面建设社会主义现代化国家新征程上,把握这一轮新科技浪潮战略机遇的关键就在于大力发展智能制造。我们需要挖掘智能制造的巨大潜力,深入理解以智能制造支撑引领现代化产业建设的理论逻辑与政策路径,为实现中国式现代化提供重要动力。这是针对当今经济社会条件所做出的必然判断,更是完成从制造大国到制造强国的跨越、实现中华民族伟大复兴中国梦的必然要求。

二、智能制造塑造当代新质生产力

历史上,制造业的每一次变革都与科学技术的变革相随而行,总是由一系列具有鲜明时代特征的科学技术所主导。科学技术总体上历经了四次根本性变革,即我们所熟知的四次工业革命。^[5]^{3,4}相应地,制造业也历经了从手工制造到机器制造、大规模制造(福特制)、柔性制造(后福特制)再到智能制造的四次革命性变迁。智能制造是制造业的最新形态。那么,智能制造是何时出现?在社会主义制度下,与传统制造相比,智能制造又具有哪些优势呢?

1. 科技革命推动智能制造的兴起

在智能制造出现以前,制造业经历了漫长的发展过程。在第一次工业革命爆发以前的较长历史中,制造业曾长期处于手工制造阶段。^[6]在这一阶段中,生产制造完全依靠人们手工操作,不仅效率低而且规模小,每件产品都是定制品或孤品。^[7]^{57,58}直到 18 世纪中期,蒸汽机、内燃机等作为动力机械开始被用于生产制造领域。第一次工业革命随之到来,并推动制造业从手工制造向机器制造转变。在机器制造阶段,机床被发明出来,生产制造一些大尺寸、外形精度高的产品成为可能,同时传统手艺人开始快速减少。制造业各细分领域的生产效率都得到显著提高。不过,此时的生产效率仍然不高而且存在产品同质化的问题。^[7]⁵⁹

到了 19 世纪末 20 世纪初,电力设备与生产线的发明推动了第二次工业革命的来临。美国福特汽车

公司于20世纪初在底特律的郊区建造了世界上第一个使用流水线进行大规模制造的工厂,标志着制造业开始由机器制造全面转向大规模制造(福特制)。电力设备和生产线的特点是适合于生产标准化、大批量的工业产品,但是却很难生产那些生命周期短、设计变化快的产品。^[8]

20世纪60年代,计算机技术与互联网技术走入人们视线并催生了第三次工业革命。这些技术加强了信息的跨空间流动,使传统的机器设备与以电子为基础的电信系统连接,跨部门跨地域的生产变得可行。由此,大规模制造发展到柔性制造阶段(后福特制)。柔性制造集成了手工制造与大规模制造的优点,同时有效避免了手工制造的高成本与大规模制造的同质化问题。但是,尽管柔性制造能够快速响应市场的需求以及产品的多样化和个性化要求,却在很大程度上延续了大规模制造的弊病,即“生产过剩”。“生产过剩”是源于“大工业由于它所使用的工具的性质,不得不经常以愈来愈大的规模进行生产,它不能等待需求。生产走在需求前面,供给强制需求。”^[9]柔性制造没能解决各类工业产品泛滥的问题,同时还对自然生态系统造成了重大破坏。

在20世纪后期的新科技浪潮中,人工智能、物联网、大数据、云计算等技术实现了关键性突破,为第四次工业革命奠定了坚实基础。在这样的技术背景下,受人工智能和其他新兴技术的改造,制造业开始经历一场深刻变革,并逐渐进入智能制造这一新阶段。G·H·谢弗(G. H. Schaffer)是首批研究人工智能与制造业相结合议题的杰出学者。在他看来,随着人工智能等新兴技术进入制造业领域,制造业迎来了美好前景。他指出,得益于人工智能所具备的学习能力、适应能力以及良好的稳健性,制造业企业普遍改良了自身工艺,降低了生产成本并缩短了设计与生产制造的时间。^[10]继谢弗之后,保罗·肯尼斯·怀特(Paul Kenneth Wright)和大卫·亚兰·博恩(David Alan Bourne)在其著作《制造智能》中首次正式提出“智能制造”(Manufacturing Intelligence)这一表述。他们将“智能制造”定义为“一种通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制,建模专家知识和工人技能使智能机器能够在无需人工干预的情况下完成小规模的生产”。^[11]近年来,有关智能制造的讨论更是突破了学术界的圈层,进入到社会各界特别是政策界的视野当中。比如,我国工信部等部门就结合学术界和工业界的深入讨论,为“智能制造”作了更为明确的定义:它是一种基于先进制造技术与新一代信息技术深度融合,贯穿于设计、生产、管理、服务等产品全生命周期,旨在提高制造业质量、效率效益和柔性的先进生产方式。^[12]显然,“智能制造”之所以作为一个全新范畴被提出、被社会各界广泛关注,必然是因为与传统的制造模式存在巨大区别并实现了某些方面的超越,同时展现出某些巨大意义。

2. 智能制造形成现实新质生产力

智能制造是当今全球制造业的“制高点”,能够将尖端的信息技术与先进的制造技术相结合,进而实现对传统制造的深度超越。事实上,这种超越不仅表现在技术方面的超越,更为关键的是智能制造能够对整个制造业进行深度重塑。智能制造推动现代制造业发展主要集中在如下三个方面。

第一,智能制造将变革性的新生产力用于实际生产,实现对生产效率的巨大推升。有学者指出,以人工智能为代表的新技术革命使人的智力“物质化”为强大的生产力量,造就出新的生产力。^[14]智能制造便是将这种“物质化的智力”(即智能化的机器体系)在现实生产中进行应用后的体现。智能化的机器体系不仅延续了传统机器体系能够长时间且不间断运转的特性,还融入了视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等感官能力以及类似人的智能特质。在生产流程中,智能化的机器体系借助于这些能力能够相对独立地完成产品设计、工艺规划、生产调度、质量控制、物流配送、售后服务等环节,显著减少对人工调试与操控的依赖。这使得企业能够对生产过程进行实时监控、精准控制产品质量,并依托智能化的机器体系自动进行设计、规划、仿真和优化,达到对“人、机、料、法、环、测”等要素的精细化、敏捷化和高效化管理。在战略规划、决策拟定等过程中,智能化的机器体系还能够承担起一部分职能,通过对企业内外的数据

进行收集、分析与挖掘,提供富有洞察力的、高效精准且灵活的判断。^[15]由此,企业能够显著提升生产效率和产品质量。据我国工业和信息化部统计,截至 2022 年底,我国建成数字化车间、智能工厂近 8000 个。其中,209 个探索了智能化升级,成为具有国际先进水平的智能制造示范工厂,产品研发周期平均缩短了 20.7%,生产效率平均提升了 34.8%,产品不良品率平均下降了 27.4%。^[16]

第二,智能制造改变了传统的生产组织形态,企业能够以更加灵活和便利的方式组织劳动者进行生产。生产组织是人类社会进行物质生产的基础结构,其主要职能是将生产资料与人的劳动以某种方式结合在一起,形成一种有序且效率化的协同。在传统制造模式中,工厂是生产组织的典型代表,具有固定化和层级化的特点,其运转需要遵循一系列标准化的程序。在工厂中,劳动者通常处于较为被动的地位,他们的工作内容和方式往往由企业事先规定并预设。智能制造引领了一种新型的生产组织形态——数字平台。基于数字平台,企业可以实现在全球范围内灵活地调配资源,使生产活动突破时间和空间的限制。企业无需直接雇佣劳动者,而是可以通过数字平台采购劳动服务来开展生产活动。与此同时,劳动者也不必局限在工厂等物理空间中工作,他们可以通过“数字在场”(digital present)在任何时间、任何地点接受并完成工作任务。^[17]例如,通过云制造、远程协作、物联网等技术,设计师、工程师和操作员得以在不同的地理位置进行协作,以远程、在线的方式共同参与产品的设计、生产和测试等工作。数字平台这种新型的生产组织形态不仅改变了劳动者在生产过程中的角色和地位——使劳动者从简单重复的任务执行者转变为根据个人专长和兴趣选择工作的主体,并且促进了劳动者个性化和多样化发展。当然,这对劳动者也提出了更高要求,他们必须不断更新自身的知识和技能,以适应快速变化的技术环境。

第三,智能制造融合应用一系列前沿技术,为制造业的全面升级提供了新机遇。一方面,智能制造在产品的设计、制造等过程中引入高度的灵活性,使制造业的迭代与升级更加便捷。数字孪生(Digital Twin)等技术可以在虚拟数字环境中构建产品和生产线的精确数字副本,从而简化产品的设计和测试等流程。这使得企业能够在不中断实际生产的情况下优化和创新设计,从而缩短产品从设计进入市场所需的时间。随着制造业与服务业的边界日益模糊,实施智能制造的企业向市场提供的不再是简单的产品,而是综合性的解决方案。另一方面,智能制造有望打破传统行业壁垒,实现制造业与其他行业的互联互通,推动制造业的多元化、复合化、综合化。在企业内部,智能制造促进了跨部门、跨团队的数据共享、集成和分析,推动了新技术的研发与应用。企业能够在生产过程中便利地了解并利用来自其他行业的知识。^[18]在行业层面,在开放数据环境的支持下,智能制造不仅有利于传统制造模式固有的技术壁垒的消解,也为跨学科、跨行业的知识流动提供了途径。智能制造带来的高度协同与共享机制能够惠及各个领域,使不同领域的企业和个人成为彼此潜在的合作伙伴。这为制造业以及其他产业的协同、融合甚至是形成高层次的“整体智能”提供了重要机遇。

三、智能制造作为新质生产力促进现代化产业体系建设

近年来,习近平多次就我国智能制造发展与产业升级等相关问题作出指示,充分显示了党中央对这一问题的高度重视与持续关注。2018 年 5 月 28 日,习近平在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上指出,“要以智能制造为主攻方向推动产业技术变革和优化升级,推动制造业产业模式和企业形态根本性转变,以‘鼎新’带动‘革故’,以增量带动存量,促进我国产业迈向全球价值链中高端。”^[19]2023 年 9 月 4 日,习近平在向 2023 中国国际智能产业博览会所致的贺信中指出,“当前,互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等新技术深刻演变,产业数字化、智能化、绿色化转型不断加速,

智能产业、数字经济蓬勃发展,极大改变全球要素资源配置方式、产业发展模式和人民生活方式。”^[20] 2023年9月9日,习近平在黑龙江考察时再次强调,“要以科技创新引领产业全面振兴。要立足现有产业基础,扎实推进先进制造业高质量发展,加快推动传统制造业升级,发挥科技创新的增量器作用,全面提升三次产业,不断优化经济结构、调整产业结构。整合科技创新资源,引领发展战略性新兴产业和未来产业,加快形成新质生产力。”^[21] 习近平的系列指示深刻洞察了当前全球科技和产业的发展趋势,以人工智能为代表的新技术不仅在自身领域内实现了显著进步,而且通过彼此之间的交叉融合为产业的智能化、融合化、绿色化提供了重要机遇。《“十四五”智能制造发展规划》亦明确提到,“智能制造是制造强国建设的主攻方向,其发展程度直接关乎我国制造业质量水平。发展智能制造对于巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用”。^[22] 智能制造在现代化产业体系建设中发挥的关键性支撑引领作用,可以从如下三个维度得到解释。

1. 智能制造推动产业智能化

放眼全球,经济强国往往与其强大的制造业实力相伴随。通过发展智能制造来提升国家科技创新能力与应用能力,促进传统制造业向先进制造业的转型,引领国家产业体系的智能化,是迎接新科技革命浪潮的必然选择。

一方面,智能制造在带动制造业升级过程中,能够将新技术进行跨行业传导,助推其他产业智能化。制造业是我国国民经济的主导产业、是实体经济的主体。在众多产业中,制造业在技术创新方面展现出最卓越的活力,其科技成果最为丰硕且产生的技术溢出与带动效应最为显著。率先实现智能制造的企业不仅能够在自身发展中获得竞争优势,还能够通过产业链带动其他行业朝着智能化的方向迈进。其动力在于,智能制造客观上推动了制造业生产效率的提升和生产成本的降低,为其他产业提供了直接的示范作用和间接的激励作用。有数据显示,截至2022年7月,通过智能化改造,我国110家智能制造示范工厂的生产效率平均提升32%,资源综合利用率平均提升22%,产品研发周期平均缩短28%,运营成本平均下降19%。^[23] 此外,数字平台也为智能制造推动制造业升级提供了重要助力。数字平台使得供应商、制造商、分销商和消费者能够实时交流互动,打破信息壁垒,促进知识和资源共享,加速创新与学习。非制造业企业也能通过接入数字平台,获取先进技术和市场信息,从而加速自身的智能化转型。

另一方面,智能制造依赖于持续的技术创新和大量高科技人才的支持,在客观上引领了人才培养的现代化。人才是推动产业智能化的宝贵战略资源。尽管有观点认为,“人工智能是人类的最后一项发明”。^[24] 但是,智能制造不过是使那些低技能、低附加值、重复性高的工作岗位消失了,并没有削弱人才在制造业中的关键作用。对于那些技能要求高、附加值大、创新要求高的岗位而言,现代化人才的深度参与显得尤为重要。实际上,智能技术的发展并非以完全取代人类为最终目标,而是旨在通过与人类的互补协作,构建一种人机协同关系,共同应对和完成多样化的复杂任务。正如马特·里德利(Matt Ridley)所言,机器智能发展的最大用武之地绝对不是在“机器之内”。^[25] 在智能制造过程中,这种协同体现为机器与人的高效合作以及跨设备的数据共享和即时互联。智能制造带来的机器与人的协同关系不仅带来了新的就业机会,同时也对劳动者自身提出了更严格的要求,比如需要具备卓越的数字技能、精湛的专业技能、广博的“默会知识”、跨领域的知识结构和创新思维,以及良好的人际交往与沟通能力等。进一步来讲,智能制造对现代化人才的需求也将有力促使国家人才培养体系向更高水平变革。

2. 智能制造推动产业融合化

2021年10月19日,习近平在中共中央政治局第三十四次集体学习时指出,“数字经济具有高创新性、强渗透性、广覆盖性,不仅是新的经济增长点,而且是改造提升传统产业的支点,可以成为构建现代化经济体系的重要引擎。”^[26] 智能制造通过数字经济赋能实体经济,推动实体经济与数字经济的深度融

合,为产业模式和商业模式的革新提供动力。实体经济与数字经济的深度融合主要体现在两个关键维度:产业数字化与数字产业化。智能制造在这两个维度上发挥了重要引领作用,为制造业乃至整个现代化产业体系建设开拓了良好前景。

一方面,智能制造通过将物理世界与数字世界相联通,实现数字世界对物理世界的赋能与改造,构筑了一个虚拟与实体相融合的新生产模式,进一步推动了产业数字化的进程。智能制造在推进产业数字化方面发挥了两方面关键作用:其一,它使市场能够更有效地适应和满足个性化需求;其二,它依托于大数据分析,能够重构供给结构,实现企业生产和运营的精益化。具体而言,智能制造通过数字世界对物理世界进行实时监控、分析和优化,颠覆了人工控制的、依赖纯粹物理操作的生产过程。这不仅是将物理世界与数字世界进行简单映射,更是在两者之间建立起一套高效的通信与协同机制。这一机制能够帮助企业实时采集、分析与处理海量数据,促进运营、管理、营销等各环节深度融合。生产和消费曾经是两个截然不同且互相分割的领域,智能制造使二者的界限变得模糊。消费者的消费行为变成了企业进行生产所需的“原材料”。企业通过收集和分析消费者的消费行为和反馈信息,能够构建详细的用户画像。这种用户画像使企业能够准确地理解并预测消费者的行为模式、消费偏好和潜在需求。基于这些深入的洞察,企业可以设计和生产出更加精准、个性化的产品和服务,从而更好地满足消费者的具体需求和期望。生产不再单纯地依赖物理流程和地理位置,而是更加地依赖数据流和信息流。

另一方面,智能制造是前沿技术集中应用于制造业领域的体现,为构建数字经济与实体经济相融的产业业态提供了助力,能够有效推进数字产业化。具体来说,智能制造的普及和应用促进了工业互联网、工业软件、工业大数据、工业机器人等技术的快速进步,建构并发展了诸如计算机通信和其他电子设备制造业、电信广播电视和卫星传输服务、互联网和相关服务、软件和信息技术服务业等^[27]具有融合性特征的产业业态。这种具有融合性特征产业业态的出现标志着传统产业组织向更加复杂、多元且互联的新型产业组织转向。这种转变也使得拥有融合性产业的国家在全球产业链中的地位得到调整,逐渐向技术创新型国家转变,在国际竞争中获得更多的主动权。从长远角度看,传统的上中下游全球产业链模式会被打破,取而代之的是一个更加复杂的、网络式的产业链形态,其中网络的各节点涉及不同国家的不同产业与不同领域的交叉融合。这种网络式的全球产业链有利于促进信息和资源的快速流动与高效配置,为那些拥有融合性产业的国家创造更多的创新机会和更广阔的市场空间。

3. 智能制造推动产业绿色化

所谓产业绿色化,强调的是产业的节能低碳和包容性发展。智能制造通过将新一代信息通信、生物、新材料、新能源等技术与先进制造技术融合,减少能源消耗与碳排放,推动生产方式的绿色化转型,为制造业以及其他产业的绿色发展提供重要历史机遇。

第一,智能制造能够将降碳减污的管理融入生产全过程。哥伦比亚大学地球研究所所长杰弗里·萨克斯(Jeffrey Sachs)等学者将推进智能制造列为实现联合国可持续发展目标(The Sustainable Development Goals, SDGs)和《巴黎协定》(Paris Agreement on Climate Change)的六项关键措施之一。^[28]他们指出,智能制造技术在各产业的引入会极大降低对自然生态系统的监测和保护的难度,为全社会在降低能源消耗、减少碳排放以及构建环境友好的经济模式等提供支持。其路径主要分为两个方面:一方面,数字孪生能够帮助企业搭建起制造流程的虚拟数字副本,使企业能够在模拟环境中进行多种策略的尝试,以实现经营效益、能源消耗和碳排放等方面的最佳平衡,为绿色电价、环保执法、节能监察等政策的实施提供有效助力。有报道显示,目前,采用智能制造的企业已经能够实现对废气、废水、固废、噪声等污染源全天候智能监控与管理。^[29]另一方面,智能制造技术可以预测并识别设备可能出现的故障与性能下降,在合适的时机提醒工人进行维护或更换部件,确保设备的持续运行和生产流程的连续性。这不仅节

约了设备维护成本,还大大减少了因设备突发故障导致的生产中断和资源浪费。随着智能制造从制造业辐射拓展至其他产业,绿色的生产方式也将得到全面推广。

第二,智能制造能够提高各类资源的利用效率。一方面,随着能源管理系统等技术的成熟,智能制造能够对能源进行实时监测、分析、控制和优化,通过对能源的精准调度和动态平衡,实现能源的低碳化、分布化和优化配置,在提高能源利用效率的同时,减少能源的浪费和损耗。例如,智能电网能够实现电力系统的智能化和互动化,通过大规模可再生能源并网发电技术、分布式发电和微电网技术,引入清洁能源并减少对常规化石能源的消耗。此外,智能电网还能够通过超高压输电等手段提高能源输送效率,减少中间过程的损耗,实现传输环节的低碳化,提高电力的供应和质量。^[30]另一方面,随着智能制造的普及,大量开放、共享的数字平台在全球范围内快速涌现。这些平台极大促进了生产数据在社会范围内的共享,为各类企业之间的协同合作提供了有力支撑。例如,企业可以与供应商、客户和其他合作伙伴实时交流,并一起参与到产品的研发、生产和销售等流程之中。在这种基于共享数据的决策框架下,企业能够作出更加理性和合理的判断,有效缓解由于信息不对称导致的生产过剩、库存积压等问题,进而减少资源的无效攫取和浪费。

四、智能制造支撑引领建设现代化产业体系的路径选择

目前,我国已经成为世界第一制造大国,拥有超大规模的统一大市场、丰富的人力资源和完整的工业体系。这些优势为我国的智能制造发展奠定了坚实基础,推动智能制造取得了显著进步。《“十四五”智能制造发展规划》指出,我国智能制造装备市场满足率超过 50%,主营业务收入超 10 亿元的系统解决方案供应商达 40 余家。^[22]同时,我国还构建了国际先行的标准体系,发布一系列国家标准,并且牵头制定了若干国际标准。另据我国工业和信息化部数据,截至 2022 年,全国工业企业关键工序数控化率和数字化研发设计工具普及率分别达到 58.6%、77.0%。^[31]然而,我国智能制造也面临着技术创新能力不足、专业人才欠缺、标准化不足、基础设施有待完善等一系列问题。为此,必须采取有力措施,系统性、战略性地加以解决。

1. 加强顶层设计与战略规划

要坚决贯彻以习近平总书记为核心的党中央针对建设现代化产业体系和发展智能制造的指示精神,着力落实好我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领《中国制造 2025》制定的目标,“力争通过三个十年的努力,到新中国成立一百年时,把我国建设成为引领世界制造业发展的制造强国”;^[32]“坚持走中国特色新型工业化道路,以促进制造业创新发展为主题,以提质增效为中心,以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向,以满足经济社会发展和国防建设对重大技术装备的需求为目标,强化工业基础能力,提高综合集成水平,完善多层次多类型人才培养体系,促进产业转型升级,培育有中国特色的制造文化,实现制造业由大变强的历史跨越”。^[32]需要充分发挥我们的制度优势,用好政策“指挥棒”的引导和保障功能,及时出台以智能制造支撑引领现代化产业体系建设的相关政策文件,促进以制造业为代表的各类产业高质量发展。同时,在新发展阶段,需要全面贯彻新发展理念,深化改革开放,统筹经济发展和经济安全二者的关系,以新一代信息技术与先进制造技术深度融合为主线,深入实施智能制造工程,专注于提升创新能力、供给能力、支撑能力和应用水平。通过加快构建智能制造的发展生态,持续推进制造业向智能化、融合化、绿色化转型,从而为制造业高质量发展、数字经济发展、制造强国建设以及国际竞争力的提升奠定坚实基础。

2. 提高技术创新能力

2022 年 5 月,习近平在《求是》杂志发表重要文章,指出我国技术创新能力还存在一些问题,“我国

原始创新能力还不强,创新体系整体效能还不高,科技创新资源整合还不够,科技创新力量布局有待优化,科技投入产出效益较低,科技人才队伍结构有待优化,科技评价体系还不适应科技发展要求,科技生态需要进一步完善。”^[33]事实上,对于科学技术研发的投入不足会导致技术创新的滞后,进而阻碍我国智能制造的发展进程。2011 年至 2022 年,在全球范围内,智能制造行业专利申请数量前五名的申请人均来自发达国家,其中 2 家来自美国、2 家来自韩国、1 家来自德国,分别是高通股份有限公司、LG 电子株式会社、西门子公司、洛克威尔自动控制技术股份有限公司和三星电子株式会社。我国在高端生产设备制造、工业软件、传感器智能化等关键领域不得不依赖于进口。这种依赖性使我国在关键时刻有可能会面临技术供应中断的风险,这很有可能影响到制造业乃至其他各类产业的健康发展。另外,我国的前沿技术应用存在短板,大多数企业仍然处于智能化转型的初级阶段。中国电子技术标准化研究院制定了智能制造能力成熟度模型(China Manufacturing Maturity Model, CMMM)用于考察企业的智能制造能力水平和实施成效,并依据人员、技术、资源和制造四个要素的实际水平将成熟度划分为从一级(最低)到五级(最高)共五个等级。截至 2022 年,我国 31% 的企业仍然处于一级及以下水平,达到四级以上的制造企业占比不足 10%。^[34]

要通过增加研发投入,加强基础研究和原始创新。根据国际经验,一个国家的技术创新能力与其对科技研发的投入总体上呈现正相关关系。经济合作与发展组织(OECD)的数据进一步印证了这一事实:研发投入占 GDP 较高比例的国家往往在全球创新指数排名中往往更为靠前。^[35]增加研发投入不仅可以促进新技术的研发和新产品的诞生,有助于将前沿技术转化为实际的生产力,还可以吸引更多人才加入,从而进一步提升国家的科技创新能力。《“十四五”智能制造发展规划》提到,要加强国家重大科技项目、国家重点研发计划等对智能制造领域的支持。要发挥国家产融合作平台作用,引导金融机构为企业智能化改造提供中长期贷款支持,开发符合智能制造特点的供应链金融、融资租赁等金融产品。鼓励符合条件的企业通过股权、债权等方式开展直接融资。^[22]在此基础上,我们应当进一步明确政策导向,加大投资力度,鼓励引导社会资本更多地进入以智能制造为代表的先进制造业,统筹传统产业的升级改造与新兴产业的培育发展。同时,需要重点加快推进 5G、工业互联网、新材料、新能源汽车等技术领域的发展,以此推动制造业更快地实现向智能化、融合化和绿色化转型。

3. 培养高技能人才

习近平总书记曾在多个场合强调,人才是第一资源。在当今全球化和第四次工业革命的背景下,这一观点显得尤为重要。我国虽然拥有庞大的人口红利,但是在高技能人才特别是智能制造的专家和领军人物方面仍存在短板。我国高技能人才仅占技能劳动者的 30%,相对于我国的就业和经济发展需求而言规模尚且不足,同时总量与发达国家相比也有较大差距。^[36]据我国人力资源和社会保障部预测,到 2025 年,我国智能制造人才需求将达到 900 万人,人才缺口预计会达到 450 万人。^[37]高技能人才存在缺口会严重限制我国的智能制造发展,尤其是高层次的研发、设计、管理和服务人才。具体而言,一方面高技能人才短缺会限制我国智能制造关键技术的研发能力。如果没有足够的专家和研究团队对前沿技术进行深入研究和开发,前沿科技领域很可能会被一些发达国家拉开差距。另一方面,高技能人才不仅是智能制造相关技术研发的主力,也是技术转化和应用的关键。缺乏高技能人才意味着即使国家拥有某些技术,也难以将其转化为市场需要的产品和服务。更进一步,如果国家长期存在高技能人才短缺的情况,那么经济社会发展都会迎来诸多不确定性和挑战。

要通过构建与现代化产业体系相适应的人才培养机制,解决高技能人才短缺的问题。高技能人才具备前沿的技术知识和创新能力,站在国际前沿,引领科技创新,是支撑我国智能制造发展的重要力量,因此要把培育高技能人才作为重中之重。为确保高技能人才的稳定供给,需要在教育和培训体系中进行

行深度整合和创新。《“十四五”智能制造发展规划》提出,要深化新工科建设,在智能制造领域建设一批现代产业学院和特色化示范性软件学院,优化学科专业和课程体系设置,加快高端人才培养。^[22]在遵照《“十四五”智能制造发展规划》的基础上,还要督促高等院校、研究机构与产业界建立紧密伙伴关系,共同开展技术研发、人才培训和实践应用,加速前沿技术的转化和应用,同时培养人才的创新能力和实践经验。同时,还要与国际顶尖的学术和研究机构加强合作。例如,与国际顶尖的学术和研究机构联合开展学术交流、合作研究和人才培养等。这不仅能够为我国引进国外先进技术和管理经验,还能为我国研究者和各产业从业者提供更为广阔的发展平台。

4. 加快建设智能制造标准化

智能制造的标准化工作不仅是发展智能制造的基础,更是推动制造业整体升级的关键。完善的标准体系能够实现智能制造的硬件与软件有效集成,对于技术、产品、服务、管理等具有至关重要的规范和指导作用,同时能够提升产品质量和生产安全。世界各国普遍重视智能制造的标准化工作,如德国就把智能制造的标准化工作列为“工业 4.0”战略的首要任务,并且近年来连续发布了五版的“标准化路线图”。^[38]我国工业和信息化部与国家标准化委员会也先后出台了 2015、2018、2021 三个版本的《国家智能制造标准体系建设指南》,对我国智能制造的标准化工作进行具体部署和详细指导。然而,我国智能制造的标准化工作还存在许多待解决的问题,如纺织、石化、建材等领域的应用标准体系还不完善,行业应用标准研制进展还比较缓慢,智能制造应用试点缺乏多样性和广泛性,国家、行业、团体标准协调配套的标准群尚未建立,对国际标准化合作的参与有待加强等。

为确保我国智能制造的可持续发展,需要积极参与和推动与智能制造相关的标准制定,确保这些标准的科学性、前瞻性和实用性。要根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《国家标准化发展纲要》的指导思想,按照《国家智能制造标准体系建设指南》对国家智能制造标准体系的整体规划,加强顶层设计,增加标准有效供给,强化标准应用实施,统筹推进国内国际标准化工作,持续完善国家智能制造标准体系,建设各细分行业智能制造标准体系等。要认真落实《中国制造 2025》《“十四五”智能制造发展规划》等文件对我国标准体系和标准化管理体系改革提出的要求,“组织实施制造业标准化提升计划,在智能制造等重点领域开展综合标准化工作。”^[32]¹⁶“加快基础共性和关键技术标准制修订,加强现有标准的优化与协同,在智能装备、智能工厂等方面推动形成国家标准、行业标准、团体标准、企业标准相互协调、互为补充的标准群。”^[22]尤其重要的是,我们要确保结合各行业特点,有针对性地制定相关标准。对于已经制定的标准,应当加大推广力度,通过各种培训和宣传活动,提高企业和社会对智能制造标准的认知和应用。同时,我们还要加强与国际标准化组织(International Standardization Organization, ISO)的深度合作,学习和借鉴国际上的先进经验和做法,确保我国的智能制造标准能够与国际接轨与互通。

5. 加强基础设施建设

智能制造基础设施是智能制造发展的重要支撑,涵盖了人工智能、数据中心和云计算资源、信息与通讯网络、传感器与控制系统、自动化设备与机器人、安全防护系统等不同领域。这些基础设施不仅为智能制造提供数据处理分析、信息传输交互、实时监控调度、保护隐私数据等核心功能,更是确保其高效稳定运行的必要条件。近年来,我国智能制造基础设施建设取得了一定成绩。截至 2022 年底,我国移动通信基站总数达 1083 万个,光缆线路总长度达 5958 万公里,固定互联网宽带接入用户总数达 5.9 亿户,5G 移动电话用户达 5.61 亿户。^[39]同时,各级政府和相关部门也积极出台了一些行动计划,旨在加速基础设施建设,例如《物联网新型基础设施建设三年行动计划(2021—2023 年)》《贵州省新型基础设施建设三年行动方案(2022—2024 年)》《广东省推进新型基础设施建设三年实施方案(2020—2022 年)》

等。然而,面对前沿技术的快速进步和新型基础设施的持续涌现,我国在智能制造基础设施方面仍存在不少短板。尤其是部分基础设施的建设周期长、技术融合协同难度大、投资成本高,超出了单一企业的承受范围,这成为制约我国智能制造发展的一大挑战。

为此,我们需要充分发挥我国国家制度和治理体系的巨大优势,集中力量,加大对智能制造基础设施的政策支持与资金投入。要对传统基础设施进行智能化、数字化改造,使之适应智能制造的高标准和多元化场景需求。《“十四五”智能制造发展规划》指出,我们要瞄准智能制造发展趋势,健全完善计量、标准、信息基础设施、安全保障等发展基础,着力构建完备可靠、先进适用、安全自主的支撑体系。^[22]同时,《“十四五”数字经济发展规划》也强调要构建高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施。^[40]在这两个规划的基础上,我们还应进一步关注工业互联网、物联网、5G、千兆光网等先进基础设施的大规模和快速化部署,这些基础设施不仅能显著提高生产效率,还能为企业提供稳定、高速的数据传输服务。我们还应加强工业数据中心、智能计算中心等算力基础设施的建设,为企业提供强大的数据处理和分析能力,同时也为科研机构的创新研发提供重要的技术支持。当然,我们也要重视社会效益和环境效益,在推进建设基础设施的过程中,要保证这些基础设施满足集约高效、节能降耗、智能绿色、生态环保等方面要求。

参考文献

- [1] 加快建设以实体经济为支撑的现代化产业体系 以人口高质量发展支撑中国式现代化[N]. 人民日报,2023-05-06(001).
- [2] 中共中央政治局召开会议 分析研究当前经济形势和经济工作 中共中央总书记习近平主持会议[N]. 人民日报,2023-07-25(001).
- [3] European Commission. Digital Transformation Monitor Germany: Industrie 4.0[R]. Brussels:European Commission,2017.
- [4] Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. Industrie 4.0[EB/OL]. (2022-05-01)[2023-11-07]. <https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>.
- [5] 克劳斯·施瓦布. 第四次工业革命:转型的力量[M]. 李菁,译. 北京:中信出版社,2016.
- [6] 查尔斯·辛格. 技术史:第1卷[M]. 王前等,译. 上海:上海科技教育出版社,2004.
- [7] 彼得·马什. 新工业革命[M]. 赛迪研究院专家组,译. 北京:中信出版社,2013.
- [8] Diebold J. Automation:The Advent of the Automatic Factory[M]. New York:American Management Associations,1952:59.
- [9] 马克思恩格斯全集:第4卷[M]. 北京:人民出版社,1958:109.
- [10] Schaffer G H. Artificial Intelligence:A Tool for Smart Manufacturing[J]. New York:American Machinist and Automated Manufacturing,1986,130(8):83.
- [11] Wright P K, Bourne D A. Manufacturing Intelligence[M]. Boston:Addison-Wesley,1988:100-102.
- [12] 工业和信息化部,国家标准化管理委员会. 国家智能制造标准体系建设指南(2021版)[EB/OL]. (2021-11-17)[2023-11-07]. <http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/09/5659548/files/e0a926f4bc584e1d801f1f24ea0d624e.pdf>.
- [13] 马克思恩格斯文集:第5卷[M]. 北京:人民出版社,2009.
- [14] 童天湘. 论智能革命——高技术发展的社会影响[J]. 中国社会科学,1988(6):3-17.
- [15] Wang J,Xu C,Zhang J,et al. Big Data Analytics for Intelligent Manufacturing Systems:A Review[J]. Dearborn:Journal of Manufacturing Systems,2022,62:738-752.
- [16] 国务院新闻办. 国务院新闻办就2023年上半年工业和信息化发展情况举行发布会[EB/OL]. (2023-07-19)[2023-11-04]. https://www.gov.cn/lianbo/fabu/202307/content_6893280.htm.
- [17] 蓝江. 5G、数字在场与万物互联——通信技术变革的哲学效应[J]. 探索与争鸣,2019(9):37-40.
- [18] Gao J,Nee A Y C. An Overview of Manufacturing Knowledge Sharing in the Product Development Process[J]. London:Pro-

- ceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2018, 232(13): 2253 – 2263.
- [19] 习近平. 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话[N]. 人民日报, 2018 – 05 – 29 (002).
- [20] 习近平向 2023 中国国际智能产业博览会致贺信[N]. 人民日报, 2023 – 09 – 05(001).
- [21] 牢牢把握在国家发展大局中的战略定位奋力 开创黑龙江高质量发展新局面[N]. 人民日报, 2023 – 09 – 09(001).
- [22] “十四五”智能制造发展规划[EB/OL]. (2021 – 12 – 28) [2023 – 11 – 07]. <http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/28/5664996/files/a22270cdb0504e518a7630fa318dbcd8.pdf>.
- [23] 何立峰. 关于数字经济发展情况的报告——2022 年 10 月 28 日在第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十七次会议上[EB/OL]. (2022 – 11 – 16) [2023 – 11 – 07]. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/hlf/lddt/202211/t20221116_1341446_ext.html.
- [24] 詹姆斯·巴拉特. 我们最后的发明: 人工智能与人类时代的终结[M]. 阎佳, 译. 北京: 电子工业出版社, 2016: vii – xii.
- [25] 约翰·布罗克曼. 如何思考会思考的机器[M]. 黄宏锋等, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2015: 44 – 45.
- [26] 把握数字经济发展趋势和规律推动我国数字经济健康发展[N]. 人民日报, 2021 – 10 – 20(001).
- [27] 宋旭光, 何佳佳, 左马华青. 数字产业化赋能实体经济发展: 机制与路径[J]. 改革, 2022(6): 76 – 90.
- [28] Sachs J D, Schmidt – Traub G, Mazzucato M, et al. Six Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals[J]. London: Nature Sustainability, 2019, 2(9): 805 – 814.
- [29] 智能制造生态体系不断发展制造业转型正当时[N]. 通信信息报, 2022 – 11 – 30(004).
- [30] 曾鸣, 吕春泉, 田廓等. 智能电网对低碳电力系统的支撑作用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 6 – 10.
- [31] 工信部: 我国新型工业化步伐显著加快[N]. 光明日报, 2023 – 03 – 02(008).
- [32] 中国制造 2025[M]. 北京: 人民出版社, 2015.
- [33] 习近平. 加快建设科技强国, 实现高水平科技自立自强[J]. 求是, 2022(9): 4 – 15.
- [34] 中国电子技术标准化研究院. 智能制造成熟度指数报告(2022)[R]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2023.
- [35] OECD. Gross Domestic Spending on R&D[EB/OL]. (2023 – 11 – 01) [2023 – 11 – 07]. <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>.
- [36] 提升技能促进高质量充分就业[N]. 人民日报, 2022 – 10 – 28(018).
- [37] 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, 2021.
- [38] Standardization Council Industrie 4.0. German Standardization Roadmap Industrie 4.0[EB/OL]. (2023 – 04 – 19) [2023 – 11 – 07]. <https://www.sci40.com/english/german-standardisation-roadmap/>.
- [39] 工业和信息化部. 2022 年通信业统计公报[EB/OL]. (2023 – 02 – 02) [2023 – 11 – 07]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/02/content_5739680.htm?eqid=f1980c9900002b9b000000056459bf36.
- [40] “十四五”数字经济发展规划[EB/OL]. (2022 – 03 – 25) [2023 – 11 – 07]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxxgh/202203/t20220325_1320207.html.

责任编辑: 孙立冰