

引用格式:张燕,黄俊杰,陈臻.数字经济赋能制造业转型升级:逻辑、案例与路径——基于“技术-经济范式”演化的视角[J].技术经济,2024,43(11):49-59.

ZHANG Yan, HUANG Junjie, CHEN Zhen. Digital economy empowering the transformation and upgrading of manufacturing: Logic, case studies, and pathways: From the perspective of the evolution of “technology-economic paradigm” [J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(11): 49-59.

数字经济赋能制造业转型升级:逻辑、案例与路径

——基于“技术-经济范式”演化的视角

张燕¹,黄俊杰²,陈臻^{3,4}

(1. 广东科学技术职业学院,广州 510640; 2. 暨南大学产业经济研究院,广州 510632;

3. 中国科学院科技战略咨询研究院,北京 100190; 4. 中国科学院大学公共政策与管理学院,北京 100049)

摘要:随着新一轮科技革命和产业变革的深入发展,数字经济与制造业的融合成为推动产业升级的关键力量。其中的理论:“技术-经济范式”是技术创新对宏观、微观经济结构和运作模式重塑后产生的经济格局,它揭示数字经济赋能制造业转型升级历经“技术体系-经济结构-社会制度”的演化过程。美国推行的数字经济相关政策虽有着鲜明特色,政策关注点与他国有所差异,但本质上均是遵循“技术-经济范式”的演化逻辑,围绕数字化顶层设计、数字化技术发展、数字化人才培养与培养、数字化协同创新、数字化生态系统,旨在驱动企业演化、产业演化、经济系统演化,最终实现制造业数字化的转型升级。在中国制造业当前所面临的挑战下,通过数字经济赋能制造业转型,应从加强顶层设计和政策体系、完善技术创新与标准建设、加强数字化人才支撑、全方位推动协同创新、建设制造业企业梯队等方面努力。

关键词:数字经济;制造业转型升级;数字技术

中图分类号: F424 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)11-0049-11

DOI: 10.12404/j.issn.1002-980X.J24031112

一、引言

当今世界正经历百年未有之大变局,新一轮科技革命和产业变革深入发展,数字经济与制造业融合的步伐正在加速。党的二十大报告明确指出“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合,打造具有国际竞争力的数字产业集群。”这为“数字经济赋能制造业转型升级”指明了方向;数字经济赋能制造业转型升级的核心是通过数字化技术的应用重塑制造业产业结构的技术基础、运行模式、组织形态,并依靠数字产业将数字经济延伸于相关产业,引领制造业转型升级。已有关于数字经济赋能制造业、先进制造业转型升级问题的研究集中于三点:第一,推动论。这主要集中于数字技术对降本增效、贸易竞争力、优化客户需求、企业绩效、经济增长的影响(黄宗远等^[1];李碧珍^[2];方慧等^[3];Singh等^[4];吴明涛等^[5])。第二,融合论。数字化技术催生一系列的新业态、新产品、新模式,推动制造业组织、结构的调整和转型(Latulla^[6];周明生和周珺^[7];程惠芳和袁佳煜^[8];朱宏锐^[9];吴超楠等^[10])。第三,变革论。数字技术重塑制造业价值创造和价值获取方式,推动企业间竞争关系转为共生关系(Szalavetz^[11];杨晓霞和冯正强^[12];赵斌和梁树广^[13])。目前,虽然学术界多是从微观主体(企业)、中观(产业)、宏观(经济社会发展)单一方面研究制造业的数字化转型,并未从“技术-经济范式”的角度深层次剖析数字经济的“技术体系-经济结构-社会制度”的协同演化逻辑,以及这种协同演化对企业演化、产业演化、经济演化的驱动作用。

收稿日期:2024-03-11

基金项目:广东省哲学社会科学规划2024年度学科共建项目“数字经济背景下广东制造业企业智能化升级动力系统研究”(GD24XYJ21)

作者简介:张燕,硕士,广东科学技术职业学院管理工程学院副教授,商务专业负责人,研究方向:国际商务、科技创新管理;黄俊杰,暨南大学产业经济研究院博士研究生,研究方向:产业经济;陈臻,中国科学院科技战略咨询研究院博士研究生,研究方向:产业政策与企业社会责任。

中国是全球举足轻重的制造业大国,正朝着建设中国式现代化制造业强国迈进,期间也面临着制造业核心技术薄弱、数字化人才缺乏、基础能力较弱等问题。当务之急是要在新一轮“技术-经济范式”背景下,推动制造业生产链条、产品全生命周期、商业发展生态等全方位数字化转型。作为实体经济重要主体和数字化转型主战场的制造业,是顺应时代潮流、把握时代机遇、构筑国家竞争优势的战略选择。作为全球举足轻重的制造业强国之一,美国提出了制造业数字化战略和计划,试图通过政府引导和支持来积极推进制造业数字化转型发展,促进本国优势先进制造业向世界先进水平迈进。这对于发展中国家推进制造业数字化的转型发展有着十分重要的启示作用。鉴此,本文基于“技术-经济范式”演化的角度,深刻分析数字经济赋能制造业转型升级的理论逻辑、基本路径,然后研究美国数字化赋能制造业转型升级的做法与经验,以期为推动中国从制造大国向制造强国的转变提供经验与借鉴。

二、数字经济赋能制造业转型升级的理论逻辑

(一) 技术-经济范式的演化逻辑及其驱动机制

第一次工业革命发生之后,技术进步对于生产结构、制造模式、生产方式的重大变革才开始发生,第二次工业革命、第三次工业革命的发生快速推进制造业结构调整,至于第四次工业革命,人工智能、机器人等数字技术则引发了“数字化和智能化”的时代,数字化技术进步对制造业结构调整的步伐越来越快。就时间维度而言,历次工业革命中蕴藏着技术进步的周期性规律:前四波技术创新周期的时间是 50 年,而每波技术变革的繁荣期通常是 20 年,衰退期、萧条期、回升期约 10 年(李颖婷和王宁远^[14])。需注意的是,每次技术变革的衰退期、萧条期呈现“缩短”的趋势,而康德拉季耶夫周期总时长亦从刚开始第一波的“63 年”降为第四波的“43 年”。随着数字化、智能化的深入推进,科技创新速度加速变革将逐步成为新常态,可以预测未来的技术周期长度也会越来越短,甚至不同技术周期会出现重合的态势(吴晓波等^[15])。每一次技术革命都会催生一种新的“技术-经济范式”如表 1 所示。

当前,以人工智能、区块链、大数据、云计算为主体的数字技术进入“回升期”,并推动生产方式的质变和引发制造业企业向数字化、智能化转型发展的浪潮,数字化和智能化经济(数智经济)、新材料(如纳米技

表 1 历次工业革命的技术—经济范式

比较维度	第一次工业革命	第二次工业革命	第三次工业革命	第四次工业革命
发生时间	18 世纪中期—19 世纪中期	19 世纪 70 年代—20 世纪初	20 世纪四五十年代—21 世纪	21 世纪初开始
标志事件	瓦特蒸汽机投入与使用	电力的发明和广泛应用	原子能、计算机、空间技术和生物工程的发明和应用	工业 4.0
主导技术	蒸汽机	发动机	信息技术	人工智能等新一代信息技术
新兴能源	煤炭	铁、铝、铜等	硅、稀土、信息等	石墨烯、锂、芯片、数据等
关键原材料	英国	英国→欧美	美、德赶超英国	美国→欧洲地区
制造范式	单件小批量制造	大规模生产	小批量定制	大规模定制、智能制造
基础设施	蒸汽机、火车、运河、铁路	汽车、飞机;铁路、高速公路、机场、港口组成的交通网络	数字远程通信网络、互联网;高铁网络、高速物流系统	5G 通信、工业互联网、智能电网
商业组织	工厂	公司	跨国公司大企业	平台企业
主导产业	从棉纺、铁制品、水车等到铁路与铁路设备、蒸汽机、机床等	从电气设备、重型机械重化工、钢制品等到汽车、坦克、飞机等	计算机、互联网、微电子产业从计算机、软件、电信	智能机械、工业机器人、新能源生物医药等
流行名称	蒸汽时代	电气时代	信息时代	智能时代
核心国家	英国	英国→欧美	第一阶段:美、德赶超英国第二阶段:美国→欧洲地区	第一阶段:美国→欧亚地区第二阶段:中国、美国、德国等
核心突破	初步实现工业的规模化、机械化生产;工厂选址更为灵活、生产规模扩大、运输成本下降	工程材料强度精度和耐用性大大提高;解决批量生产过程不连续对生产规模的限制	自动化生产、柔性生产、定制生产,降低能源材料消耗强度,增加能源原材料使用效率	生产、管理、制造等全链条的智能化,提高国民经济运行的数字化、智能化
生产方式	从工厂制、企业家、合伙制到股份制、技工承包制	从职业经理人、“泰罗制”到福特制、科层制	从内部网、局域网、全球网	智能化、数字化、绿色化、网络化集成

注:“→”代表前者发起推广扩散至后者。

术)等新经济可能会开启第六波技术创新周期,如图1所示。这会为全球技术结构、经济结构、制度结构带来相应不确定性,逐步开启一场新的“技术-经济范式”如图2所示。

“范式”一词最早由 Kuhn 和 Hacking^[16] 提出,定义为“某一领域被公认的一套科学概念与方法论的规范准则”。Dosi^[17] 则于 1982 年提出“技术范式”的概念,并认为技术范式是在范式概念的基础上,研究由技术创新带来新机会的技术路线。Perez^[18] 第一次系统阐述了“技术-经济范式”的概念。Freeman 和 Perez^[19] 将弗里曼和佩雷斯共同推动“技术-经济范式”的发展,并认为该范式从微观企业和宏观产业两个视角影响经济变化,之后二人于 1992 年创立一个“微观(企业行为)、中观(产业结构变动)、宏观(经济体系转换)”的分析框架。借鉴以上研究成果,本文将“技术-经济范式”的演化逻辑分为技术体系演化逻辑、经济结构演化逻辑及社会制度演化逻辑三个层面:①技术体系演化逻辑。技术演化往往涵盖一系列的技术创新、选择及扩散的过程,而技术创新过程主要涉及的是新技术陆续形成的过程。在经济活动中,创新过程所造成的一系列技术,在具体实践中会陆续形成差异化的收益且产生相异的适应度,然后适应性相对较高的技术在选择机制的作用下脱颖而出(适应度相对较低的技术很有可能会被舍弃),扩散到产业或经济体之中。②经济结构演化逻辑。新技术体系的导入、拓展能催生新的生产函数,优化经济系统,而经济系统在很大程度上会形成

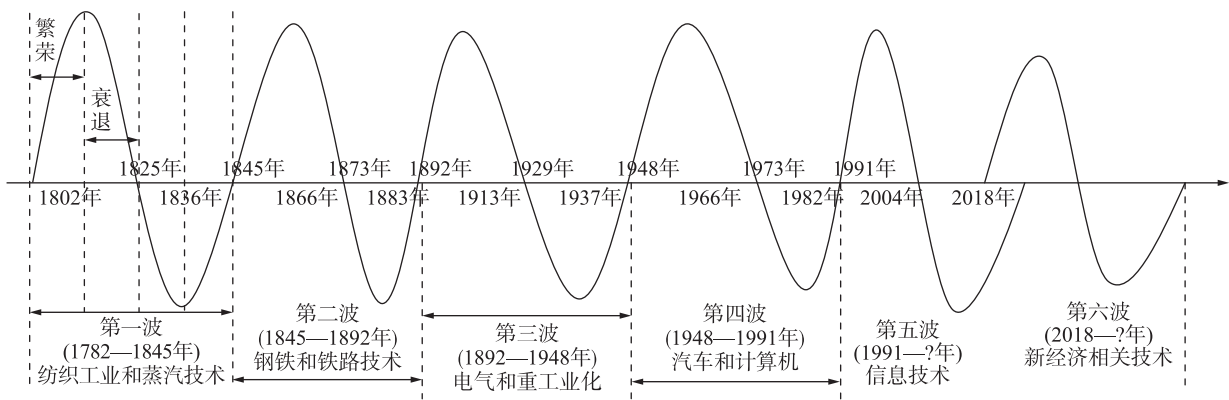


图1 技术创新周期演化

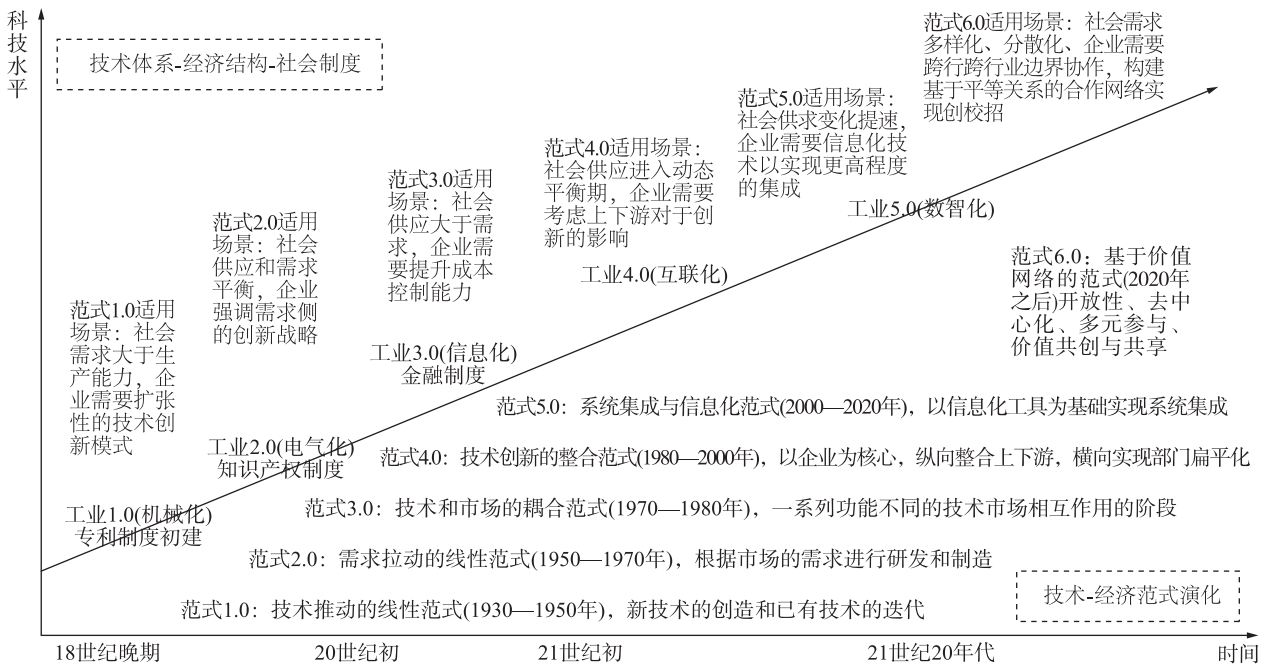


图2 “技术-经济范式”演进下“技术体系-经济结构-社会制度”的协同演变

经济结构的变迁,尤其是互动性较强的经济主体之间的经济结构越是表现出较大的迥异性,创新力量和选择力量就越强大,经济系统的演化增长速度亦会加速。③社会制度演化逻辑。制度作为一种激励与约束机制,可被看成是经济参与主体之间联系、互动产生的一系列规则系统。在基于成本为竞争规则的制度中,相对节约成本的技术会更具竞争力,而在基于质量为竞争规则的制度中,相对优质的技术则会更具竞争力。此外,制度不仅能对经济参与主体的价值观念、偏好演化施加影响,显著影响经济参与主体参与经济活动的热情、成本及收益,并合理构成经济参与主体偏好的相关选择机制,而且在经济增长过程中能借助于对消费者、投资者的成本收益施加影响,对消费者、投资者需求造成影响。

技术、结构、制度的协同演化进一步推动企业演化、产业演化、经济系统演化三个部分:①企业演化。这体现为企业借助于技术、制度创新持续优化生产流程、商业模式,并以此为基础提高生产效率。②产业演化。这分为产业内部演化和产业间演化:产业内部演化在经济增长过程中会紧随技术、结构、制度的协同演化,而后者亦可在很大程度上对企业生产率与效益施加重要的影响,而产业间演化具有非常明显的不同的增长率,进而促使“经济增长过程伴随一系列结构性的演变”,而此演化亦紧随技术、制度、偏好的协同演变。③经济系统演化。一般而言,产业间具有非常明显的迥异化的增长率,这些不同的增长率会促使“经济增长过程伴随一系列结构性、体系性的演变”,而此演变亦紧随技术、结构、制度表现为经济系统的全面演化。

(二)数字经济赋能制造业转型升级的基本路径

数字经济的基本内涵及其演化逻辑,为分析数字经济驱动制造业转型升级提供了新颖的分析思路:数字经济赋能制造业转型升级是指将数字技术运用于制造业企业生产、管理、销售等各环节之中,推动制造业企业生产模式的数字化、智能化发展。数字经济驱动制造业转型升级的过程,在本质上既是数字技术渗透、融合制造业主导技术、产业结构、运行模式的过程,又是一个“技术体系-经济结构-社会制度”的演化过程。数字经济赋能制造业转型升级与“技术-经济范式”之间凸显高度的“耦合性”。两者的共同之处在于:“主导技术体系”的集中突破诱发广泛而深刻的变革,持续优化已有的产业组织、创新模式、制度体系或使之做出适配性调整,催生一系列的新技术、新产业、新模式,并全方位、多领域深度融入传统制造业经济范式之中,引入崭新的生产函数和产业业态,在产生“技术-经济体系”和“社会-制度体系”双向互动耦合的基础上,推动制造业结构转型升级。数字经济驱动制造业转型升级的演化进一步体现“融合→创新→扩散→优化→高质量发展”5个环节的赋能路径:①第一重演化逻辑:惯例、变异及创新的形成。这体现为技术融合和技术创新。当制造业受制于“惯性”的影响,只能在低效率“路径依赖”的旧范式内运行,部分先进的制造业企业会不断搜寻新颖的范式,以提升竞争力。此时,数字经济与制造业融合而形成的新产品、新业态、新商业模式,作为一种影响较大的创新性破坏和引入的新生产函数,逐步渗入原制造业发展之中,且成为一种诱发制造业产业结构系统失稳的“负熵”。②第二重演化逻辑:选择机制、路径创新与遗传。这体现为技术扩散。选择机制主要是立足于“绩效标准”对制造业系统内变异的多样性进行动态性、全方位、复杂性地筛选。数字经济与制造业融合创新,不仅能在很大程度上减少产品成本,而且能极大提高消费者价值,更是能不断提升制造业企业的盈利性。因此,这种“融合创新”能成为制造业系统内诸多变异的主导设计,并引发制造业系统的技术扩散(追随-模仿-传播),且受制于市场机制的作用而逐步形成“动态报酬递增”与“自我强化机制”(遗传机制),进而突破制造业发展期间的停滞“锁定”状态,并陆续进入“创新”路径。③第三重演化逻辑:耗散结构的非平衡演化。这体现为5个环节的最后两个环节,即制造业结构优化与高质量发展。制造业结构变迁、优化在本质上是一种基于“耗散结构”的“渐变与突变”和“微涨落与巨涨落”密切互动、相互融合的过程,更是对原来制造业结构体系稳定性和束缚力的突破^[20]。此时,数字化的制造业在新的制造业耗散结构中陆续成为主导产业,且依靠制造业间技术经济关联,逐步引领“数字制造”向其他产业领域进行渗透和辐射(制造业结构优化效应),推动制造业高质量发展(转型升级)。总之,数字经济赋能制造业转型升级,就是依靠逐步引入数字技术作为创新变量,赋能制造业经济范式从“低能级圈层”跃迁为“高能级圈层”,新制造业经济范式在“高能级圈层”的运作模式、治理体系中呈现高质量发展(转型升级)的态势。数字经济赋能制造业转型升级的路径“赋能路径”既有“渐次递进”,又有“效应传导”,还有“螺旋式上升”,在效应传导期间,正向的“溢出效应”和反向的“回波效应”同时并存,且蕴含演化逻辑。

三、数字经济赋能制造业转型升级的美国经验

伴随新一轮数字化、智能化的变革浪潮,数字化技术对于提升制造业生产效率、提高产品质量、增强创新能力越发重要。美国作为全球首屈一指的制造业强国,将数字化技术作为推动制造业转型升级的重要途径和现代制造业高质量发展的重要组成部分。2008年金融危机以来,美国出台了《振兴美国制造业和创新法案》(2014年11月)、《振兴美国制造业和创新法案》(2014年12月)、《美国制造》(2016年9月)、《先进制造业美国领导力战略》(2018年10月)、《美国科学基金会未来法案》(2021年1月)、《无尽前沿法案》(2021年4月)、《2021年美国创新和竞争法案》(2021年6月)、《2022年芯片与科学法案》(2022年8月)、《美国国家创新路径》(2023年4月)(关键和新兴技术清单)(2024年2月)等一系列贯穿奥巴马、特朗普、拜登执政时期,且与制造业数字化、智能化发展相关的法律法规和政策,形成数字化赋能制造业转型升级的生态体系,使之作为引领美国经济振兴和繁荣的重中之重。这些政策虽关注点有所差异,但本质上均是遵循“技术-经济范式”的演化逻辑,围绕数字化顶层设计、数字化技术发展、人才培养与培养、协同创新、生态系统等,旨在驱动企业演化、产业演化、经济系统演化,最终实现制造业数字化的转型升级。

(一) 注重顶层设计,强化政府全方位政策引领

美国重视数字化赋能制造业转型升级的顶层设计,通过“规模化的公私合作”和“协同化的创新网络”来对数字化赋能制造业转型升级有关的创新活动进行支持:就前者来讲,《振兴美国制造业和创新法案》为推动数字化赋能制造业转型升级,规定每个研究院关注一个重点领域,并通过项目定制和招标的方式,完成共同的利益关注和资源投入。2015—2019年,美国联邦政府与私人投资额由1.04亿美元、2.17亿美元提高为1.33亿美元、3.55亿美元^[21]。《2021年美国创新和竞争法案》紧急拨款570亿美元用于发展芯片、5G网络,而《无尽前沿法案》则要求美国的国家科学基金会在5年内投资1000亿美元,大力发展人工智能、机器人等10个关键技术领域。就后者而言,《振兴美国制造业和创新法案》《国家制造业创新网络》《2021年美国创新和竞争法案》等政策重视“国家制造创新网络”的建设,国家制造创新网络的核心单位是“制造业创新中心”。这些研究中心通常建设在人才、科技、产业、上下游配套等领域凸显优势的地区,负责特定领域“先进制造技术成果的转化和应用”,通过“依托区域资源优势并反哺区域经济”,逐步提升科技创新成果的社会效益和对区域制造业转型发展的带动效应。

(二) 聚焦数字化领域技术发展,重塑制造业供应链

美国不仅重视创新成果转移转化和协同的科技创新机制,而且注重制造数字化领域技术的优化布局。美国国家科学基金会(NSF)、国防高级研究计划局(DARPA)、国防部(DoD)等多个政府机构特别重视数字技术的发展,出台一系列资助计划支持“制造业优先领域数字新技术”的研发和转化。2010年,美国国防部高级研究计划局提出创建“新制造科学”的想法,并于2017年7月推出“电子复兴计划”,进而启动“半导体颠覆性创新之路”。《无尽前沿法案》提出设立“技术理事会”,且授予美国国防部高级研究计划局相应的项目管理权限,而《国家科学基金会未来法案》则要求设立“科学与工程解决方案理事会”,进一步推进“基础研究”转化为新技术和新产品的进度。《振兴美国制造业和创新法案》提出,要积极依托散落于全美的50多个“制造业拓展伙伴中心”,充分依靠派驻员工、共享科研项目等途径,将美国的中小型制造商与美国制造协会提供的数字化技术、资源进行密切结合,推动中小型制造企业的数字化技术改造和迭代升级。同时,《2021年美国创新和竞争法案》《国家科学基金会未来法案》《2022年芯片和科学法案》等也重视公共技术投资、科技体制改革、关键核心数字化技术体系的发展,旨在重塑制造业供应链。

(三) 健全教育与培训体系,培养跨学科人才

数字化赋能制造业的转型升级是一项系统性和长期性的庞大工程,需要大量的跨学科和跨领域的“融合型数字化创新人才”作为支撑。美国的数字经济之所以长期位居全球首位,跟其将人工智能列入财政优先支出事项,给予该领域的庞大投入和数字型人才的培养密不可分。例如,美国从1978—2020年,科技研发项目总预算从39.3亿美元增长至202.9亿美元,而基础研究从13.7亿美元增加为134.8亿美元^[22]。《国家制造业创新网络》将劳动力发展和人才教育看成是满足数字化赋能美国制造业高质量发展的人才需求的

“优先事项”,其不仅重视通过积极利用“国家制造日”的一系列公共活动,持续提升民众对制造业的正面形象,而且不断增加对社区学院(职业学校)的投入,使之用于先进制造人才的培养。美国充分依靠推行职业和技术教育计划、技能培训、学徒制,推进“社区学院”与“产业界”的密切互动、合作甚至结盟,健全“先进制造人才资格证书”体系发展,并以此培养更多的从事高技能制造业工业的人才,最终为数字型人才进行技术赋能,确保工人和工作人员均可获得平等的使用人工智能的机会。为增强数字经济相关的劳动力素质,21世纪以来,美国颁布了一系列 STEM(科学、技术、工程、数学学科英文首字母的缩写)教育的科技政策(图3),逐步产生相对健全的 STEM 教育体系。《无尽前沿法案》更是增加了科学、技术、工程、数学教育的经费投入,且授予美国商务部和其他联邦部门及机构协调构建“区域技术中心”的权利,把“人才”与“发展关键技术的创新性工作和商业机会”进行密切相连。《无尽前沿法案》和《维护美国人工智能领域领导地位》提出要在美国国家科学基金会成立“首席多元化官”,增加理工科教育投入,将人工智能技术纳入教学计划和课程体系。设立“本科生奖学金”“行业培训项目”“研究生奖学金和实习计划”及“博士后研究项目”,旨在加速新技术由“实验室”逐步向市场转移,且不断增强理工科人才的培养能力。为不断健全社会培训体系、发展社会培训力量及提高全面数字素养和技能,《国家科学基金会未来法案》和《未来 20 年美国人工智能研究路线图》规定,要资助多学科研究中心,以推动科技成果转化,还要塑造全方位的人工智能人才培养体系,而《2021 年美国创新和竞争法案》更是将计算科学纳入中小学教育的课程培养体系。

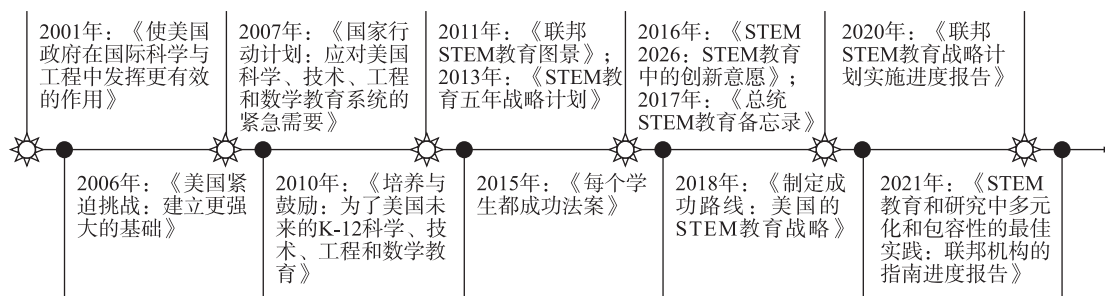


图 3 21 世纪以来美国代表性 STEM 教育科技政策

(四) 高效推进国际合作,开展数字化协同创新

美国在 2007—2010 年,通过“技术创新计划”开展数字化产学研合作及其成果转化,通过积极出台“国家宽带计划”和“释放无线宽带革命”,全方位、多维度开展协同创新。面对中国在 5G、工业互联网、人工智能领域的强劲竞争优势,美国以意识形态为纽带,加强联盟研发合作。自 2018 年以来,美国依靠联合研发、政府采购、研发补贴等方式,加速推进“多样化技术路线”的研发、建设大规模宽带网络、培育开源光通信技术,企图削弱甚至颠覆中国在 5G、工业互联网、千兆光网等在全球具有明显领先优势的信息数字技术方面的优势。2021 年 9 月,“美国-欧盟贸易和技术委员会”提出通过加强政策协调沟通、完善工作机制、成立 10 个工作组等方式,高效开展在人工智能、物联网等先进技术方面的密切合作。2022 年 5 月,美韩两国发表联合声明,致力于共同在半导体、材料、零部件、设备等方面开展投资。2022 年 5 月底,美日印澳四国通过《关键技术供应链原则共同声明》,开展半导体及其相关核心技术的合作,而美日两国更是于 2022 年 6 月宣布未来 5 年内在日本建立“新一代半导体生产基地”。2023 年 8 月,美国在“创新超越 5G”计划下启动 6G 系统的研发,并探索数字化的关键技术创新生态,为数字化技术在先进制造业领域运作提供更优质的技术环境。2024 年 2 月,美国出台《关键和新兴技术清单》,强调联合盟友和合作伙伴推动人工智能、通信和网络技术、半导体等数字化技术发展。

(五) 扶持中小企业发展,重塑数字化生态系统

由于先进制造业具有“见效周期长”和“产业协同度难”的特点,加之中小型企业往往实力较弱和缺乏技术、资金等一系列因素,因此,美国往往通过知识共享、技术融合、资源共用等方式帮助中小型企业发展,进而重塑美国的工业生态系统。《美国先进制造领先战略》重视中小企业的发展,注重通过开放生产设施、共

用专用设备、开展技术咨询等方式,帮助中小企业应对全球竞争,并以此为基础与制造业数字化相连接,进而塑造工业数字化的生态系统。美国十分重视提高中小企业在“先进制造创新网络”中的话语权和参与度,有效彰显其发展活力,而各研究所也会主动创造一系列的便利条件,协助新创的中小企业,使之科技成果在短期内实现商业化。美国国家科学基金会资助中小型企业数字化新技术研发、转化的项目不仅通过“小企业技术转让计划”为具有创新理念的小公司提供资金,而且通过“小企业创新研究”和“小企业技术转让”为小企业提供与市场相关的强化培训,为具有市场前景的创新理念商业化提供充分的准备。2019年,美国各研究所与产业界、学术界合作项目为561项,项目数量、会员分别比2015年增长300%、140%。2012—2021年,美国政府建设了多个“创新中心”(表2),以推动制造业的数字化转型升级。《美国先进制造领先战略》支持中小型制造企业与大量的供应商、高校、国家实验室、制造业研究所等各种类型的机构保持密切关系,从而保证其能及时获得相应的数字化技术、专业知识。《无尽前沿法案》重视通过“扩大制造业拓展伙伴计

表2 美国制造业数字化转型相关的代表性创新中心

机构名称	牵头机构	技术领域	建立机构	总部位置	建立时间	联邦/非联邦 投资情况 (亿美元)	计划投 资时间 (年)	会员 数量 (家)
美国制造—国家增材 制造创新中心 (America Makes)	美国国防制造与 加工中心	增材制造	美国 国防部	俄亥俄州扬 斯敦	2021年8月	656.8	5	220
美国数字制造与设计 创新中心(MxD)	美国伊利诺伊大 学芝加哥分校	数字制造与设计、 制造业网络安全	美国 国防部	伊利诺伊州 芝加哥	2014年2月	83/10.6	5	325
美国轻型材料创新中 心(LFT)	美国轻质材料制 造创新研究所	轻金属制造	美国 国防部	密歇根州底 特律	2014年2月	7/7.8	5	104
美国先进复合材料制 造创新中心(IACMI)	美国田纳西大学 研究基金会	纤维增强聚合物 复合材料制造	美国 能源部	田纳西州、 诺克斯维尔	2015年6月	7/17.8	5	154
美国集成光子制造创 新中心 (AIMPhotomics)	美国纽约州立大 学研究基金会	集成光子制造	美国 国防部	纽约州罗切 斯特	2015年7月	1150.2	5	99
美国柔性混合电子制 造创新中心 (NextFlex)	美国 FlexTech 联盟	薄型柔性电子设 备和传感器制造	美国 国防部	加利福尼亚 州圣何塞	2015年8月	759.6	5	93
美国清洁能源智能制 造创新中心(CESMI)	美国加州大学洛 杉矶分校	智能制造	美国 能源部	加利福尼亚 州洛杉矶	2016年12月	7/7	5	102
美国先进可再生生物 组织创新中心 (BioFabUSA)	美国先进再生制 造研究所	生物合成与制造	美国 国防部	新罕布什尔 州曼彻斯特	2017年2月	8/21.4	5	103
美国先进机器人制造 创新中心(ARM)	美国卡内基·梅 隆大学	变革型机器人 制造	美国 国防部	宾夕法尼亚 州匹兹堡	2017年1月	8/173	5	170
美国国家生物制药制 造创新中心(NIMBL)	美国特拉华大学	生物制药	美国 商务部	特拉华州纽 瓦克	2017年3月	712.9	5	69
美国节能减排创新中 心(REMADE)	美国可持续制造 创新联盟	清洁能源和减少 碳排放的可持续 制造	美国 能源部	纽约州西亨 丽埃塔	2017年5月	7/7	5	75
美国网络安全制造创 新研究所(CyMamII)	美国卡内基·梅 隆大学	网络能源安全	美国 能源部	得克萨斯州 圣安东尼奥	2020年11月	7/4.1	5	26
美国生物工业制造和 设计生态系统 (BioMADE)	美国 国防部	工业生物技术	美国 国防部	明尼苏达州 圣保罗	2020年11月	8.8/18	5	101

划”“供应链弹性计划”“增加科研基础设施投入和构建各类创新中心”^[23]等方式,推动联邦机构之间及其与涵盖中小型企业在内的“非政府合作伙伴”的创新合作。“制造业拓展伙伴计划”包括制造拓展合作伙伴、位于美国全部50个州和波多黎各的51个制造业拓展伙伴中心、385个服务点及1400多名专家^[24]。

四、中国数字经济赋能制造业转型升级的路径

基于新一轮“技术-经济范式”的数字经济能优化经济运作机制、重构产业组织形式及产业发展方式,通过应用于制造业生产、运营、管理、营销等环节,与制造业全要素、全产业链、全价值链深度融合,驱动产业链供应链体系、结构实现根本性转变。这逐步被视为制造业实现质量、效率、动力变革和经济发展放大、叠加、倍增效应的关键突破口,同时也是推进中国式现代化建设的新动能、新引擎。美国数字经济赋能制造业转型升级涉及数字化的政策设计、数字技术发展、数字化的协同创新、数字化人才的培训与培养、数字化生态的构建等方面,这给予中国制造业数字化的转型升级带领深刻启示。

(一) 加强顶层设计和政策体系

尝试将分散于发展和改革、工业和信息化、科技、商业等部门的相关政策进行高效整合,且以此为基础塑造基于行业监管部门为主导、基于企业为主体的高质量创新政策体系。不断健全不同管理部门间的协调机制,使之相互补充、彼此促进,进而协同推动中央、地方、企业间的力量聚焦。坚持把数字化技术视为重要的发展前提和重振动力,根据新型研发机构高质量建设的要求,以国家和省级重点实验室为依托,逐步创新管理运作、人才培育、成果转化、激励评价等相关发展机制。要按照不同地区资源禀赋、产业技术优势的差异,因地制宜地布局制造业数字化的发展,以严格防止同质化、恶性化的竞争。从产业融合系统的视角,多领域、多方面对智能制造进行前瞻性、系统性规划,并辅之于有关的支持性、协同性配套政策,最终逐步形成覆盖制造业数字化产业链全生命周期的一整套政策体系。构建科学、多元、量化的考核评估体系,选择委托、联合、跨主体等多样化的评估方式,且以此为基础明确基于“尊重创新规律”与“产业发展规律”和“阶段性考核”与“周期性考核”,加速科技成果转移转化相关考核的完整性、客观性以及科学性,最终促进数字技术与制造业相融合。出台针对先进制造业的财政、税收激励,合理规划制造业产业链布局,进一步明晰产业发展方向,不断提升制造业整体效率和协同能力。逐步强化政策支持与机制设计的有机统一,制定企业、产业生命周期发展的相关规划,全力塑造分层次、分阶段、递进式的数字产业培育推进体系。

(二) 完善技术创新与标准建设

当前,发达国家普遍追踪数字经济全球前沿技术,重视人工智能、5G/6G、量子计算等关键核心技术的发展,纷纷制定相关的产业规划和政策,优化数字经济赋能制造业技术的技术规划、标准建设及应用布局。中国要结合区域特色,顶层统筹不同地区的数字化转型标准化工作,精准梳理与制造业关键核心技术和行业数字化技术有关的领域,全力聚焦数字技术关键领域、战略前沿及技术制高点,高效协调各方制造业数字化转型的标准化需求,进一步细分数字化的制造业政策和行业数字化的技术标准,以及系统梳理“卡脖子”技术清单。不断健全“政产学研”数字技术协同创新体系,开展一系列重大数字科技项目联合攻关,加快推进“卡脖子”技术合作研发,打造产业创新生态。积极抢占新一轮数字化关键核心技术的制高点,加大数字科技的研发投入,精准划定不同领域需要攻坚的重点,探索产业数字化技术标准体系,健全工业互联网标识体系,高质量建设工业互联网大数据中心、超算中心,为数字技术赋能制造业转型升级奠定基础。围绕制造业“短长板”和“补短板”,逐步夯实支撑体系,积极塑造竞争优势,深层次拓展增长空间。紧紧抓住制造业数字化、智能化、绿色化发展的趋势,充分权衡不同产业的实际,进一步促进智能化改造、绿色化转型及工业大数据平台建设,塑造多层次的制造业数字化体系、引进绿色制造工艺和关键核心技术装备。针对制造业发展的痛点、堵点、难点,多层次集成产业资源和创新机制模式。紧抓国内市场崛起、需求提升的发展机遇,进而强化适应需求、引致需求、创造需求的产品开发和创新水平,不断提升产品研发设计、增值水平能力。

(三) 加强数字化人才支撑

强化要素支撑是提升技术创新能力和产业竞争力,进而降低产业发展风险的核心。人才可被视为数字化赋能制造业转型升级的源头,而推进人才队伍的建设被视为数字化赋能制造业转型升级的关键。不断优

化人才供给体系,面向全球精准招聘高精尖人才、青年人才、潜力人才,有效探索人才的柔性引进机制,尽力吸引海外的高层次人才回归。尝试建设国家级、省部级智能制造人才库,注重吸引和储备5G、物联网、人机协同、人工智能等关键核心领域的人才。结合中国新工科和新文科建设,全力促进不同层次高等院校、职业院校的数字化学科建设,以期为制造业企业培养相应的专业化人才。进一步增加高端人才引进专项项目,不断健全人才优惠的补贴政策,逐步吸纳越来越多的创新型人才参与制造业数字化发展。积极支持高等院校成立与数字制造、智能制造相关的学科专业,尝试构建高等院校、职业学院、工厂“三位一体”的职业教育体系,发展复合型、高端化人才及高素质产业工人。推进高等院校、高等研究机构与数字制造企业塑造相对密切的合作机制,促进产学研用的深层次互动和融合,充分确保人才的能力结构与企业的实际需要高度吻合。按照社会发展需要培养专业化人才,并进行相应的前沿实用新型技术创新,逐步提高技术创新水平和产业竞争优势。不断巩固技术、技能的人才优势,积极与新技术推广、应用需求相适应,不断强化教育与产业的统筹融合,合理引导高校与企业的产教融合,根据发展需求建设相应的高等院校,不断健全凸显高水平、高技术、高技能人才的教育、培训体系,且以此为基础塑造高素质的人才队伍。

(四) 全方位推动协同创新

围绕制造业“短长板”和“补短板”,逐步夯实支撑体系,积极塑造竞争优势,深层次拓展增长空间,并在此基础上塑造多层次的制造业数字化体系、引进绿色制造工艺和关键核心技术装备。针对制造业发展的痛点、堵点、难点,不断提升产品研发设计、增值水平能力,多层次集成产业资源和创新机制模式。高效衔接数字制造业化和制造业数字化进程,使之相互促进和相互协同,推动数字化工业园区、技术平台间的互联互通,逐步提高信息交流和数据服务能力。全力打造数字政府服务平台,通过制度、技术创新推进政务系统深度整合,并在此基础上优化各级政府的“网络支撑系统”,最终为高质量实现科学决策、有效治理、全面监管奠定坚实基础。以科技成果转化为核心,推动产业链与创新链协同互促,大力支持成果转化中介服务,深度嵌入产业链与创新链,使之逐步成为创新供给与需求对接的“润滑剂”。通过对项目动态、精准的评估筛选,提升科技成果与市场需求间的吻合度,增强产学研合作效率,引领制造业数字化、智能化的发展。引导数字技术对制造业的深度渗透和转化应用,在制造业领域推广高效、便捷的工业软件解决方案,塑造全生命周期的数字孪生系统。基于城市群、都市圈、创新型城市、国家级自主创新示范区等为载体,培育产业链链主企业、关键核心技术攻关平台,推动“传统的单一化技术研发”转为“全链条式社会创新网络”。充分彰显创新主体在数字化技术研发、数字化生产、产品推广等环节的重要职能,通过多方参与、资源分享、利益共享理念赋能产业链,探索数字经济赋能制造业转型升级的跨区域多主体协同机制。

(五) 建设制造业企业梯队

塑造一大批凸显高品质核心竞争优势、数字资源集成能力及拥有行业话语权的制造业数字化“龙头企业”。这些具有全球竞争力和产业生态主导力的“龙头企业”,不仅能全方位带动大量的“专精特新”企业和制造业科技型中小企业,而且能吸引众多数字化科研机构,促进数字化中介、金融机构、法律等各种类型专业服务机构集聚化和高质量化发展。精准挑选制造业龙头骨干企业,全力促进有关政策向优势、品牌项目倾斜,致力于培育彰显全球竞争优势的“巨无霸”制造业数字化龙头企业,有效整合国内创新资源,推动数字化关键核心技术攻关,并以此构筑创新有力、协作互补、创新协同、集约高效和促进要素资源高频流动、高效配置、高能增值的制造业企业生态集群。大力深化全球数字化创新合作交流,科学引导,因类施策,支持国内制造业企业在海外建设全球创新平台,有效配置全球创新资源,高质量建设不同类型的数字化科技孵化器、加速器及推广器。主动彰显龙头企业、产业集群的带动功能,推进装备、电子、信息等各类制造业的配套协作水平,并在此基础上大幅度增强整机与零部件、装备与系统软件、制造业与增值服务的融合能力,激发现代产业体系的“耦合效应”和“循环效应”。营造大中小企业融通创新的数字化生态,合理评估大中小企业制造业全链条的数字化转型态势,强化“上云用数赋智”等数字化、智能化转型试点示范,逐步提高“三率”(关键装备数控化率、装备综合利用率、生产效率),最终产生数字技术供给的“正反馈循环”,促进制造业实现数字化高质量发展。

(六) 完善数字化治理和服务体系

构建数字经济与制造业转型升级深度融合的工作机构,逐步健全“统筹调度”机制和“督导评价”机制,明晰各部门之间的分工和协作,塑造紧密互动、一体联动、高效互补、协同平衡的数字化服务保障、数字化协同发展、数字化人才评价及数字化对外交流合作机制。聚焦“制度创新”和“机制完善”,不断提高政府服务的数字化质量与水平,构建服务制造业数字化转型发展的“问题直通车、联络直通车、政策直通车”制度。加速完善数字化服务体系,创新数字化服务模式,增强宏观政策效能,逐步培育、壮大市场主体。完善市场化配置机制,大力优化数字化营商环境,高效激发企业家的数字化创新潜能,充分吸引、集聚数字化发展要素,推动生产要素商品化、要素价格市场化、要素配置竞争化格局的形成,为制造业数字化转型的形成、发展提供优良的市场环境^[25]。充分依托“综合实力强”和“管理水平高”的制造业集群,构建全覆盖、特色化、标准化、专业化、集成化的数字化创新服务体系,强力塑造集“产品技术研发”“产业化”“安全评价”于一体的发展生态。不断深化制造业数字化的交流合作,通过积极参与“一带一路”,实施一批全球数字化合作专项,扩大全球数字化贸易,使制造业企业能更好地完成数字化转型。

参考文献

- [1] 黄宗远,王凤阳,阳太林. 数字化赋能从传统制造业发展的机制与效应分析[J]. 改革, 2023(4): 23-32.
- [2] 李碧珍. 数字化如何助推体育用品制造业企业实现价值共创——基于安踏集团数字化转型的研究[J]. 福建师范大学(哲学社会科学版), 2024(2): 56-71.
- [3] 方慧,王琛,张宪宝,等. 中国制造业数字化对贸易竞争力的影响研究[J]. 经济与管理评论, 2024(2): 110-122.
- [4] SINGH S, SHARMA M, DHIR S. Modeling the effects of digital transformation in indian manufacturing industry[J]. Technology in Society, 2021, 67: 101763.
- [5] 吴明涛,李冰,张彦明,等. 数字化转型、智力资本与制造业企业财务绩效[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2024(1): 27-37.
- [6] LATULLA M. Organizational re-design for business model innovation while exploiting digital technologies: Single case study of an energy company[J]. International Journal of Innovation and Technology Management, 2021(2): 204002.
- [7] 周明生,周珺. 建设制造强国背景下先进制造业技术与产业发展现状与创新路径[J]. 科技导报, 2023(5): 69-77.
- [8] 程惠芳,袁佳煜. 数字技术与内需主导型全球价值链分工: 理论逻辑与经验证据[J]. 浙江社会科学, 2024(3): 54-68.
- [9] 朱宏锐. 数字技术、服务业升级与地区经济高质量发展[J]. 东北财经大学学报, 2024(2): 26-37.
- [10] 吴超楠,袁野,陈燕华,等. 数字技术创新链与产业链的融合升级研究——以新一代人工智能为例[J]. 科学管理研究, 2024(1): 74-84.
- [11] SZALAVETZ A. Digital transformation-enabling factory economy actors' entrepreneurial integration in global value chains? [J]. Post-Communist Economies, 2020, 32(6): 771-792.
- [12] 杨晓霞,冯正强. 人工智能与中国制造业全球价值链嵌入——基于工业机器人应用的证据[J]. 技术经济与管理研究, 2024(2): 153-158.
- [13] 赵斌,梁树广. 中国双向 FDI 协调发展与制造业价值量攀升[J]. 统计与决策, 2024(2): 117-122.
- [14] 李颖婷,王宇远. 数字经济对产业转型升级影响的国际比较[J]. 国际金融, 2023(5): 44-56.
- [15] 吴晓波,林福鑫,李思涵,等. 穿越周期: 工业 5.0 与第六代创新管理范式[J]. 清华管理评论, 2023(1): 82-89.
- [16] KUHN T S, HACKING I. The structure of scientific revolutions[M]. Chicago: The University of Chicago Press, 2012.
- [17] DOSI G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change [J]. Research Policy, 1982(11): 147-162.
- [18] PEREZ C. Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems[J]. Futures, 1983, 15(5): 357-375.
- [19] FREEMAN C, PEREZ C. Structural crises of adjustment: Business cycles[M]. Francis: Francis Printer, 1988.
- [20] 严伟. 数字经济赋能旅游业高质量发展的演化机理及政策协同[J]. 社会科学家, 2023(1): 42-48.
- [21] 孙毅,罗穆雄. 美国智能制造的发展及启示[J]. 中国科学院院刊, 2021(11): 1316-1325.
- [22] 董洁,李群. 美国科技创新体系对中国创新发展的启示[J]. 技术经济与管理研究, 2019(8): 26-31.
- [23] NATIONAL SCIENCE & TECHNOLOGY COUNCIL. Strategy for american leadership in advanced manufacturing[J/OL]. (2018-10-18) [2021-07-16]. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>.
- [24] CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. The manufacturing extension partnership program[J/OL]. (2019-09-09) [2020-07-16]. <https://fas.org/sqp/crs/misc/R44308.pdf>.
- [25] 唐要家,唐春晖. 数字化的理论逻辑、国际经验与中国政策[J]. 经济学家, 2023(10): 88-97.

Digital Economy Empowering the Transformation and Upgrading of Manufacturing: Logic, Case Studies, and Pathways: From the Perspective of the Evolution of “Technology-Economic Paradigm”

Zhang Yan¹, Huang Junjie², Chen Zhen^{3,4}

(1. Guangdong Polytechnic of Science and Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Institute of Industrial Economics Jinan University, Guangzhou 510632, China;

3. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

4. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As the new round of technological revolution and industrial transformation deepens, the integration of the digital economy and manufacturing has become a key force in driving industrial upgrading. The theoretical framework known as the “techno-economic paradigm” refers to the economic patterns that emerge after technological innovation reshapes the macro and microeconomic structures and operational models. It reveals the evolutionary process through which the digital economy empowers the transformation and upgrading of manufacturing, spanning the stages of “technological system-economic structure-social institution.” Although the focus of U. S. policies related to the digital economy may differ, they essentially adhere to the evolutionary logic of the “Techno-Economic Paradigm.” These policies revolve around digital top-level design, digital technology development, digital talent training and cultivation, digital collaborative innovation, and the digital ecosystem. The ultimate goal is to drive the evolution of enterprises, industries, and economic systems, thereby achieving the digital transformation and upgrading of the manufacturing sector. In light of the current challenges faced by China’s manufacturing industry, efforts to empower manufacturing transformation through the digital economy should focus on strengthening top-level design and policy frameworks, enhancing technological innovation and standards development, bolstering digital talent support, promoting collaborative innovation in all aspects, and building a hierarchy of manufacturing enterprises.

Keywords: digital economy; transformation and upgrading of manufacturing; digital technology