

工业数字化转型的概念内涵、实践历程和推进路径

邓明亮¹, 吴传清^{2,3,4}

(1. 江西财经大学 数字经济学院, 江西 南昌 330013;

2. 武汉大学 经济与管理学院, 湖北 武汉 430072;

3. 武汉大学 中国发展战略与规划研究院, 湖北 武汉 430072;

4. 武汉大学 区域经济研究中心, 湖北 武汉 430072)

摘要: 数字化转型是工业经济增长的重要动力源泉和发展方向, 是加快培育和发展工业新质生产力的内在要求。聚焦工业数字化转型主题, 本文从概念内涵的辨析出发, 系统梳理国内外相关研究进展和趋势, 总结国内外推进工业数字化转型的实践历程, 并提出推进工业数字化转型的政策举措。历经“以信息化为核心的工业数字化转型阶段”和“以数智化为核心的工业数字化转型阶段”, 中国先后出台一系列政策文件, 已初步建立起支持工业数字化转型的政策体系和工作推进机制。为进一步推进工业数字化转型, 必须坚持“多维度”并进、“点线面”结合、“组合拳”发力、“融合化”发展、“集成式”应用, 加快重点领域转型、促进区域分工合作、强化基础平台支撑、推进生产方式变革、突出技术创新赋能。

关键词: 工业数字化转型; 数字基础设施; 新质生产力; 产业数字化

中图分类号: F427

文献标志码: A

文章编号: 1009-4210-(2025)04-10-16

伴随新一轮科技革命和产业变革加快推进, 数字战略、数据要素、数字技术、数字基础设施深度融入工业生产经营全过程, 数字化转型逐步成为中国工业经济高质量发展“新动力”, 为加快发展工业新质生产力、推进新型工业化带来新机遇新路径。国家数据局发布的《数字中国发展报告(2024年)》数据显示, 2024年中国数字产品制造业企业数量达到 20.82 万家, 重点规模以上工业企业数字化研发设计工具普及率达 84.1%、关键工序数控化率达 66.4%、规上工业企业数字化生产设备普及率达 53.2%, 工业互联网产业增加值规模达 5.01 万亿元。国内外实践探索与理论研究成果能够为理解和推进工业数字化转型提供借鉴, 但由于研究视角、方法和学科背景等差异, 导致现有学术观点和研究结论莫衷一是, 迫切需要深化全面性梳理总结, 形成系统性理论认知, 为更好推进工业数字化转型提供助力。本文聚焦推进工业数字化转型实践探索和研究主线, 在工业数字化转型概念辨析的基础上, 系统梳理国内外工业数字化转型相关研究进展和趋势, 回顾总结国内外推进工业数字化转型的实践历程和战略重点, 并在此基础上提出推进工业数字化转型的对策建议。

一、工业数字化转型的概念内涵

在数字经济快速发展过程中, 产业数字化既是发展数字经济的重要内容, 也是推进产业转型的重要方向。为厘清“工业数字化转型”科学内涵, 本文首先对“数字化”和“数字化转型”相关概念的生成与嬗变进行梳理, 然后从工业产业维度出发, 明确“工业数字化转型”的概念内涵。

(一) “数字化”概念

数字化(Digitalization)概念滥觞于计算机系统的数字化理论^[1], 《现代汉语词典》将其解释为“将文字、图

基金项目: 习近平经济思想研究中心课题研究项目(2025-18)

作者简介: 邓明亮, 博士, 讲师, 从事区域经济、数字经济研究。E-mail: whudml@163.com

引用格式: 邓明亮, 吴传清. 工业数字化转型的概念内涵、实践历程和推进路径[J]. 国土资源科技管理, 2025, 42(4): 10-25.

像、声音等各类信息转换为二进制数字序列形式存储的过程”。伴随计算机和网络信息技术革命不断推进,互联网与经济社会发展深度融合,“数字化”概念被赋予新的内涵,不再局限于计算机系统,被广泛应用于生产生活生态各领域^[2-3]。基于不同学科背景和应用场景,逐步衍生出数据化、计算机化、电子化、多媒体化、数智化、信息化、机械化、电气化、自动化、智能化、网络化、虚拟化、“互联网+”等“数字化”相关概念。“数字化”一词中的“数字”既表示经济社会发展中产生的大数据集合,也表示转换、收集、储存、挖掘和分析大数据集合过程中使用的技术手段;“化”则表示向新形式或新状态转化的过程。总体而言,现有关于数字化内涵的界定主要涉及两类:一是基于计算机技术原理,把“数字化”界定为将各类信息转换为数字信息的直接过程;二是从数字技术的应用领域出发,将“数字化”界定为通过数字信息或数字技术应用,以新模式、新状态创造价值的实际过程^[4]。“数字化”反映了数字技术发展和应用过程中的趋势和状态,应以具体应用场景为基础对“数字化”概念进行界定和解释,本文聚焦工业领域,将“数字化”界定为:数据要素、数字技术、数字装备、数字战略等与工业生产各环节全过程深度融合,改变工业生产理念、生产要素、生产方式的过程。“数字化”相关概念具体如表1所示。

表1 “数字化”相关概念辨析

相关概念	概念内涵
数字化	包括狭义和广义两种内涵,狭义的数字化是指采用计算机技术将模拟信息进行转化,使其能够在计算机设备存储、传输和使用的过程;广义的数字化是指数据要素、数字技术、数字装备、数字战略等与经济社会各领域深度融合,形成新模式、新状态、新理念的过程,如产业数字化、数字校园、数字政府等 ^[1,4-5] 。
数据化	既包括将各类信息转化为数据的过程,也包括数据的存储、分析、应用,是数字化、智能化的基础 ^[6] 。
计算机化	强调经济社会发展过程中对计算机技术和计算机设备的综合利用,如经济学计算机化、计算机化考试 ^[7] 。
电脑化	着重强调应用电脑技术和设备开展生产生活业务的过程,是计算机化在电脑层面的具体体现 ^[8] 。
电子化	在信息内容数字化、计算机化的基础上,以计算机技术和网络通讯技术为基础,采用计算机设备与互联网络完成相关数字化信息的存储、传播、应用等,是信息高效率传播和利用的集中体现,如文档电子化、银行电子化等 ^[9] 。
多媒体化	强调多种在线媒体的技术集成和综合应用,是以计算机技术为基础的传统媒体信息传播技术升级 ^[10] 。
网络化	信息在互联网上的存储和传输,通过局域网或广域网实现信息的跨时间、跨空间传输共享,能够在集中分散信息过程中实现主客体间、主体之间的信息交互 ^[9,11] 。
虚拟化	真实物理载体的抽象化,是数字化、电子化、网络化等各类计算机和通讯技术发展达到一定阶段的产物 ^[9,12] 。
智能化	通过智能机模拟专家系统或人类智慧进行感知、思维和行为的过程,能够实现自感知、判断、学习、决策等 ^[5,11] 。
数智化	数字技术与智能技术的综合应用,通过大规模数据和高阶智能算法打造智能场景,实现提质增效和转型升级 ^[13] 。
信息化	充分利用信息技术,开发利用信息资源,促进信息交流和知识共享,提高经济增长质量,推动经济社会发展转型的历史进程 ^[14] 。
机械化	着重强调生产生活过程中对各类机器设备的大规模使用,如农业机械化、工业机械化 ^[13] 。
电气化	着重强调经济社会发展过程中对电力能源的应用 ^[15] 。
自动化	充分利用各类机器设备和计算机技术,从而协助或者代替人类完成工作、实现目标任务的过程 ^[16] 。
“互联网+”	把互联网的创新成果与经济社会各领域深度融合,推动技术进步、效率提升和组织变革,提升实体经济创新力和生产力,形成更广泛的以互联网为基础设施和创新要素的经济社会发展新形态 ^[17] 。

资料来源:作者整理。

(二)“数字化转型”概念

数字化转型(Digital Transformation)概念中“数字化”是方向、“转”是过程、“型”是目标。“转型”源于生物学中的“进化”和化学中的“构型”概念,表示生物体或物质要素及其结构的重新组合。伴随“转型”概念逐步应用和拓展到不同学科,《现代汉语词典》将“转型”解释为“社会经济结构、文化形态、价值观念等发生转变”。国内外学术界关于数字化转型内涵的界定主要包括两种:一是强调先进数字技术的应用,是数字技术与传统生产生活业务的融合过程;二是在数字技术广泛应用过程中,不断催生出生产生活新业态、新方式、新制造、新服务、新组织的过程^[18]。在“数字化转型”的相似概念中,“数字化改革”强调采

用数字化手段对不合理部分的革新过程^[19]，“数字化赋能”强调数字化技术实现能力增强或赋予新能力的影响过程和发展目标^[20]，“信息化转型”则重点强调信息技术、软件或系统的应用^[21-22]。与“数字化改革”“数字化赋能”着重强调数字化正向作用不同，“数字化转型”属于中性词，涵盖了数字化转型过程和结果的不确定性。本文将数字化转型界定为：数据要素、数字技术、数字装备、数字战略等与经济社会发展各领域深度融合，同时对生产工艺、生活方式和思想文化等多方面产生系统性影响的过程。“数字化转型”相关概念具体如表 2 所示。

表 2 “数字化转型”相关概念辨析

相关概念	概念内涵
数字化转型	利用新一代信息技术，构建数据的采集、传输、存储、处理和反馈的闭环，打通不同层级与不同行业间的数据壁垒，提高行业整体的运行效率，构建全新的数字经济体系 ^[23] 。
数字化改革	统筹运用数字化技术、数字化思维、数字化认知，把数字化、一体化、现代化贯穿到党的领导和经济、政治、文化、社会、生态文明建设全过程各方面，对治理体制机制、组织架构、方式流程、手段工具进行全方位、系统性重塑的过程 ^[19] 。
数字化赋能	是一个系统工程，从数据化技术融入生产要素开始，逐渐遍历新关键生产要素形成到自然技术、社会技术、思维技术数字化等各种物质要素、技术要素数字化综合作用的过程 ^[20] 。
信息化转型	以信息技术为依托，通过信息化软件或系统应用，促进企业商业模式和业务流程等领域的优化升级，实现企业生产效率提升的过程 ^[21] 。

资料来源：作者整理。

（三）“工业数字化转型”概念

工业数字化转型(Industrial Digital Transformation)是数字化转型在工业经济领域的具体体现，是工业产业与数据要素、数字技术、数字装备、数字战略的深度融合^[24]。在经济、社会、生态等不同领域和区域、产业等不同维度的“数字化转型”具体实践中，先后涌现出企业数字化转型、制造业数字化转型、产业数字化转型、经济数字化转型、社会数字化转型、城市数字化转型、区域数字化转型等相关概念，反映了数字化转型在不同场景的具体应用^[25]。聚焦“工业数字化转型”的内涵界定，现有研究主要涉及四种思路：一是从转型主体出发，认为工业企业微观主体是工业数字化转型的直接执行者，同时还涉及配套企业、产业、园区、集群、市场、社会、国家等宏微观主体^[26]；二是从转型技术出发，提出工业数字化转型过程中采用的技术主要依托于新一代数字技术、信息技术、计算机技术、虚拟现实技术、人工智能技术等^[27]；三是从转型领域出发，工业数字化转型涉及工业生产工艺、工业产品、生产装备等主营业务领域，也涉及工业发展理念、商业模式、企业管理等发展战略领域^[28]；四是从转型效果出发，工业数字化转型成效涉及工业企业生产效率提升、组织结构优化、商业模式重塑等微观效果，也涉及工业产业结构升级、业态更新、效率提升等宏观效果^[21]。工业数字化转型区别于传统发展模式，但并非脱离工业产业发展基础的“另起炉灶”，而是赋予工业产业新的发展目标与内涵。本文将工业数字化转型界定为：数据要素、数字技术、数字装备、数字战略与工业生产全过程深度融合，实现工业产业生产要素、工艺流程、产品质量、营运管理等各方面发生重大变化的过程。“工业数字化转型”相关概念具体如表 3 所示。

表 3 “工业数字化转型”相关概念辨析

相关概念	概念内涵
工业数字化转型	产业数字化的重要组成部分，也是数字经济发展的必然选择，涉及工业产业发展的全过程各环节，能够优化工业企业运营管理、资源配置，促进数字技术和装备的科技创新与集成应用，有助于工业高质量发展 ^[24] 。
企业数字化转型	产业数字化的微观体现，是数字技术等在企业生产运营等具体场景的应用和改造 ^[29] 。
制造业数字化转型	产业数字化转型在制造业层面的具体体现，是工业数字化转型的核心组成部分 ^[30] 。
产业数字化转型	数字经济的重要组成，也是推动数字经济发展的共同选择，能够释放数字技术、数据要素等在产业发展中的放大、叠加、倍增作用，助力产业高质量发展 ^[25] 。
经济数字化转型	经济领域的数字化转型，产业数字化转型是经济数字化转型的重要内容，贯通生产、分配、流通、消费等经济发展各环节，涉及产业、企业、政府、消费者、生产者等各类主体 ^[31-32] 。

表 3 （续）

相关概念	概念内涵
社会数字化转型	社会领域的数字化转型, 主要涉及社会公共服务、社会保障、公众社会参与等内容, 是新一代数字技术“嵌入”社会治理全过程, 促使社会发展制度、各类组织、发展平台、行为主体等全方位转变的过程 ^[33] 。
城市数字化转型	现代数字技术在城市发展层面的综合利用, 涉及城市空间范围内经济社会生态等各个系统的发展和转型, 是区域数字化转型在城市空间的具体体现 ^[34] 。
区域数字化转型	数字化转型在空间区域的具体体现, 是数字信息技术与区域经济社会生态各领域的深度融合。“区域”具有实体和抽象双重属性, 常见的实体概念应用, 主要涉及国家、省域、城市、产业园区、产业集群等空间单元 ^[35] 。

资料来源: 作者整理。

二、工业数字化转型相关研究进展和展望

学术界现有关于“工业数字化转型”的相关研究成果, 主要涉及内涵界定、测算评估、影响效应和驱动因素等话题。在前文对工业数字化转型概念内涵的辨析基础上, 本部分重点从测算评估、影响效应和驱动因素三个方面出发, 梳理总结相关研究进展。

（一）工业数字化转型水平测度

由于研究主题和内涵界定的差异, 现有工业数字化转型水平测度研究的差异集中体现在测度内容、研究对象、方法选择和指标体系 4 个方面(表 4)。

表 4 工业数字化转型水平测度研究分类与特征

研究维度	主要类型	典型代表
测度内容	综合指数	数字化转型水平 ^[36] 、数字化水平 ^[37] 、数字化生产效率 ^[38] 、数字化转型能力 ^[39] 、数字化成熟度等 ^[40] 。
	特定维度指数	智能化水平 ^[41] 、人工智能水平 ^[42] 、信息化水平等 ^[43] 。
研究对象	空间维度	国家、省域、经济区域等宏观层面 ^[44] , 城市等中观层面 ^[45] , 产业园区等微观层面 ^[46] 。
	产业维度	工业企业角度 ^[47] , 工业、制造业、纺织服装产业等工业产业及其细分行业 ^[48] 。
	虚拟变量法	将企业划分为数字化转型企业和未转型企业两类, 进而考察工业数字化转型的影响效应。
方法选择	文本挖掘法	基于工业企业年报数据, 采用数字化转型相关术语词频测度 ^[49] , 也有研究在此基础上采用机器学习、大语言模型等方法对文本内容进一步挖掘分析 ^[50] 。
	单一指标法	采用工业机器人、企业IT投资等单一代表性指标 ^[51] , 衡量工业数字化转型水平。
	综合指标法	在构建评价指标体系基础上, 按权重加总得到综合指数, 指标赋权方法主要包括熵权法、主成分分析法、层次分析法、专家打分法、灰色关联法等。
	投入产出法	基于工业产业投入产出表, 通过生产运营过程中各类要素的投入和最终产出核算 ^[52] 。
	增长核算法	通过生产函数测算数据要素、数字技术、数字装备等新投入带来的产出增加 ^[53] 。
指标体系	问卷调查法	通过问卷设计或实地调研, 获取研究样本相关数据, 进而完成测算 ^[37] 。
	数字技术类	反映转型过程中各类新技术的应用程度, 包括工业数字经济专利拥有量 ^[54] 、工业软件应用水平 ^[45] 、工业企业R&D经费支出、数字化无形资产占比 ^[18] 、数字技术人才投入等具体指标 ^[55] 。
	数字装备类	侧重反映转型过程中改造升级设备系统、数控机床等基础设施的情况, 主要涉及工业机器人安装量 ^[45] 、工业互联网平台应用等具体指标 ^[56] 。
	数字战略类	综合反映工业企业对数字化转型的重视程度和制度安排, 主要涉及工业企业数字化运营管理、数字化项目投资、工业数字化发展政策等具体指标 ^[57] 。
	其他类指标	将新产品销售收入、IPV4地址数、每百人使用计算机数、工业企业固定资产投资等作为数字化转型条件或环境类指标纳入指标体系 ^[58] 。

资料来源: 作者整理。

一是测度内容方面,现有相关研究主要包括综合型测算和工业数字化转型特定维度测算两种类型。二是研究对象方面,工业数字化转型水平测算主要涉及空间和产业等不同维度,但现有相关研究主要聚焦于微观企业层面,关于城市等空间维度的研究相对较少。三是研究方法方面,现有相关研究主要涉及虚拟变量法、文本挖掘法、单一指标法、综合指标法、投入产出法、增长核算法、问卷调查法等,其中基于工业企业年度报告的文本分析法应用相对广泛,但也因其难以反映工业企业投入和产出的实际水平而存在一定争议。四是指标体系方面,现有研究主要涉及数字技术、数字装备、数字战略三大类,囿于数据要素量化方法和数据可得性的限制,选取数据要素类指标的研究尚不多见,由于工业数字化转型过程集中体现在工业产业生产经营中,从工业产品维度测算工业数字化转型水平的指标同样相对较少。

此外,在工业发展实践过程中,中国工业经济联合会与工信部赛迪研究院发布《工业数字化转型评价综合指数》,提出涉及技术、业务、管理 3 个维度的工业数字化转型评价体系;工业和信息化部发布的《中小企业数字化水平评测指标(2022 年版)》从数字化基础设施、数字化经营、数字化管理、数字化成效 4 个维度构建制造业中小企业数字化水平评测指标体系;四川省经济和信息化厅组织编制的《四川省制造业智能化改造数字化转型评价指标体系总体框架(试行)》,从数字化基础设施、数字化经营、数字化管理、数字化成效 4 个维度出发,提出企业通用版制造业智能化改造数字化转型评价指标体系、中小企业版评价指标体系,并从基础设施构建、两化融合与安全环保、产业生态营造 3 个方面出发构建产业园区版评价指标体系。综合来看,科学测评工业数字化转型水平是国内外相关实践和研究的重要依据,尽管现有研究已进行大量探索,但囿于数据可得性和代表性等因素制约,工业数字化转型测算指标体系尚未形成统一标准,仍需进一步丰富和完善。

(二)工业数字化转型的影响效应

工业数字化转型过程伴随生产要素、生产方式等多个维度的变化,现有关于工业数字化转型影响效应的研究,主要涉及经济发展效应、社会福利效应、生态环境效应 3 个方面(图 1)。

(1)经济发展效应研究。工业数字化转型是生产要素、生产技术、生产设备、要素流动、企业管理等多方面的系统性变革,关于工业数字化转型经济发展效应的研究主要涉及工业发展质量、产业结构、创新发展、国际竞争力等。一是在促进工业产业高质量发展研究中,有研究从工业企业内部管理角度提出,数字化转型能够优化工业企业资源要素投入结构^[59]、提升企业管理组织绩效、促进企业专业化分工^[60]、改善企业客户关系、优化企业供应链^[61]、提升企业价值链;也有研究从生产率角度提出,数字化转型在促进全要素生产率提升的同时,也面临“生产率悖论”“数字鸿沟”等挑战;还有研究从工业产业质量角度提出,数字化转型既能通过规模效应实现工业规模“量”的扩大,还能综合运用数字技术实现工业产品“质”的提升,进而推动工业发展“量质齐升”。二是优化产业结构研究表明,工业数字化转型既能促进传统工业加快转型升级,加快从传统制造向智能制造、从封闭制造向开放制造、从单一制造向服务制造转型,提升高技术制造业、装备制造业、战略性新兴产业等技术密集型产业占比,促进工业结构转型升级;也能通过扩大工业产业发展规模,提升工业产业发展质量^[62],促进产业结构优化升级。三是在促进创新发展研究中,有研究认为工业数字化转型能够有效降低知识门槛,通过提升信息透明度和弱化技术壁垒,有效激发知识溢出效应和学习效应,优化创新资源要素配置,提升工业企业学习能力和创新能力,助推工业企业实现产品、工艺、技术、模式、业态等集成式或突破式创新,实现创新“提质增量”;也有研究认为数字基础设施建设、数据要素投入、数字化装备运营等投入成本增加,对工业创新投入规模和份额产生挤压,不利于工业创新成果产出和效率提升^[63];综合两种情况,有研究提出工业数字化转型对创新的影响并非简单线性特征,创新效应可能因转型阶段而呈现出倒“U”型关系、正“U”型关系、曲线型关系或门槛特征,也可能因工业企业性质、行业类型、空间区域不同而存在差异。四是在增强国际竞争力研究中,有研究从对外贸易角度提出数字化转型有助于促进工业出口产品升级,扩大工业出口贸易规模,降低工业出口风险,提升工业产品出口质量和贸易附加值,进而提高工业产业出口稳定性和韧性;也有研究从全球价值链重构和国际分工地位角度出发,强调数字化转型对系统提升工业全球价值链参与程度和分工地位的积极影响,认为数字

化转型能够显著提升工业国际竞争力^[64]。

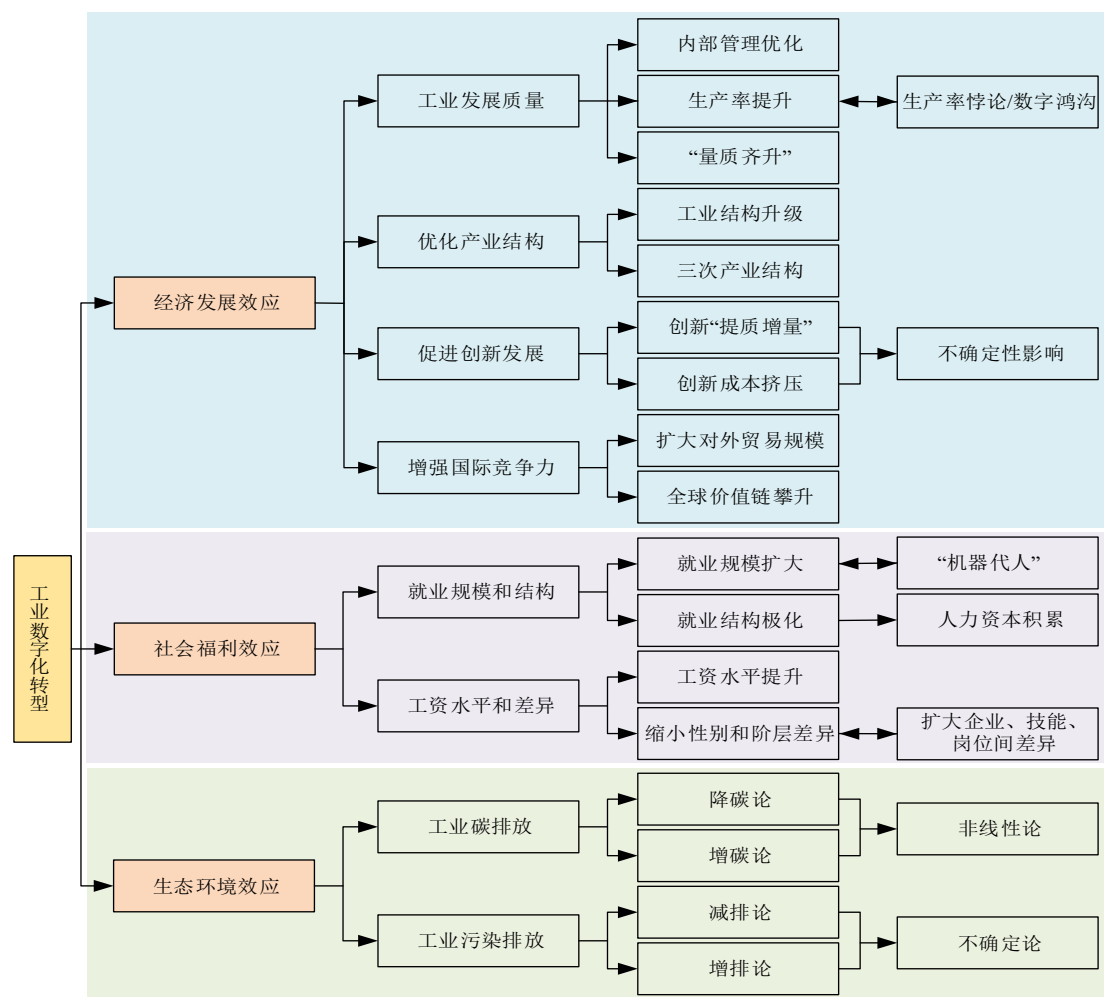


图1 工业数字化转型影响效应研究

(资料来源:作者整理。)

(2)社会福利效应研究。工业数字化转型过程中的新技术、新设备应用能够对人力资本、劳动力就业、工资收入等社会福利问题产生系列影响,现有研究主要涉及就业规模和结构、工资水平和差距等领域。一是在就业规模和结构影响研究中,有观点认为数字平台、数字技术和新产品新业态创新推广的同时,催生出新的就业渠道、形式和机会,能够对就业规模产生正向促进作用^[65];也有观点提出工业机器人等数字装备应用、新型生产模式加快“机器代人”,就业需求缩减、劳动力成本粘性下降,对就业规模存在负向影响^[66];还有观点从就业结构维度出发,认为数字化转型在通过新技术、新业态、新模式实现就业岗位向技术密集型转变,增加高技能劳动就业规模的同时,传统生产车间改造和生产工艺优化逐步缩减中低等技术技能人才就业需求,进而产生就业极化效应^[67],有助于工人整体素质提升和人力资本的快速积累。二是在工资水平和差异影响研究中,有学者从绝对工资水平出发,认为数字化转型对劳动技能要求提升的同时,也伴随着人力资本、劳动生产率和产品附加值的增加,对绝对工资水平存在正向促进作用;也有研究从相对工资差距角度提出,数字化转型强化了以数字技术掌握能力和水平为基础的工资技能约束,能够缩小工资性别差异和阶层差异,但一定程度上扩大了不同企业、技能和岗位从业人员的工资差异^[68]。

(3)生态环境效应。工业数字化转型伴随能源消耗、技术工艺、生产规模等多方面变革,进而对工业碳排放和工业污染排放产生影响。一是在数字化转型对工业碳排放的影响效应研究中,“降碳论”认为新生产设

备、新技术工艺、新经营理念、新消费习惯的推广应用,既有助于能源资源结构优化和利用效率提升,也有助于工业产业结构和消费结构低碳化转型,进而降低碳排放规模和强度、提升碳生产率^[69]。“增碳论”认为数据存储应用、数字化设备运行过程中的能源消耗和能源需求反弹效应,不利于工业碳排放规模和碳排放强度下降^[70]。“非线性论”认为数字化转型与工业碳排放规模、工业碳排放强度可能呈现出倒“U”型特征,与工业碳生产率则可能表现出“U”型特征,只有当工业数字化转型的降碳效应强于增碳效应之后,数字化转型才能降低工业碳排放规模和强度、提升工业碳生产率,实现工业低碳化发展^[71]。二是在数字化转型对工业污染排放的影响效应研究中,“减排论”认为数字化转型既能通过生产工艺改进和生产设备改造提升资源利用效率,也能通过新型数字化监测系统、处理系统提升工业污染物处理能力,从前端控制、中端利用、末端治理等多环节有效降低工业污染物排放规模和强度^[72]。“增排论”认为数字基础设施建设和工业生产设备改造伴随新污染物和废弃物产生,同时工业生产规模扩大造成污染物排放增加,不利于工业污染物减排;“不确定论”提出数字化转型对工业污染物排放的影响是减排效应与增排效应综合作用的结果,当减排效应大于新增排放时才能在整体上实现工业污染减排目标,同时因工业行业类型和工业污染物类型不同而存在“不确定性”。

此外,也有研究从经济高质量发展、经济增长、地区经济差距、省际产业联动、城市外资流入规模、工业产业链现代化、国内生产网络关联、工业产业韧性、企业市场势力、企业金融化程度、企业价值与竞争优势、地区和行业“同群效应”等角度出发,考察工业数字化转型的影响效应。

(三)工业数字化转型的驱动因素

工业数字化转型是一个系统性工程,受技术、组织、环境等多因素的综合影响,并非单一条件驱动实现,现有相关研究主要从基础设施、技术创新、企业管理、外部环境等方面展开(图2)。一是基础设施方面,有研究从数字网络角度出发提出,移动互联网、物联网等网络技术和工业互联网平台应用能够优化设计、生产、监控、仓储、物流、售后等环节^[73],加快工业数字化转型进程;也有研究认为新基建、工业大数据资源、智能机器人应用有助于促进工业数字生态圈构建、弥合物理空间与网络空间的“鸿沟”^[74],助力工业数字化转型。二是技术创新方面,大数据、5G、区块链技术等颠覆性技术创新和创新能力提升能够为工业数字化转型提供有效支撑,技术柔性化能够在产业转型中发挥正向促进作用。三是企业管理方面,工业企业自身需求和动机是推进数字化转型的内在动力,企业发展战略、企业供应链管理、企业资产管理、企业并购重组等方面的管理方式变革,既是工业数字化转型的典型特征,也是加快转型的重要抓手。四是外部环境方面,市场环境和政策引导既能直接为工业数字化转型提供政策、资金、人才等要素支持,也能够通过引导社会资源要素流向间接影响到工业数字化转型,现有相关研究主要涉及营商环境、政府管理职能、财税金融、产业支持、经济政策确定性等内容^[75]。此外,也有研究从区域发展战略、地区发展差异、FTA战略、对外开放环境、人力资本等方面出发,考察工业数字化转型的外部环境影响因素。

(四)文献述评

总体而言,现有相关研究呈现出以下特征:一是从研究对象来看,关于工业数字化转型的研究聚焦于工业数字化转型的内涵界定、测算评价、影响效应、驱动因素等方面;二是从研究方法来看,现有相关研究主要涉及4种研究方法,量化研究方法主要通过构建指标体系和应用各种量化方法来测算工业数字化转型水平,理论研究方法侧重分析数字化转型的理论机制等,实证检验方法主要运用空间计量模型、中介效应模型、调节效应模型等方法对实证分析影响效应和驱动因素,案例研究方法主要通过具体的案例深入探讨数字化转型在不同区域、不同行业、不同企业层面的具体实践和效果;三是从研究结论来看,现有的研究发现工业数字化转型对经济发展、社会福利、生态环境等方面有显著影响,但存在正反两方面效应。此外,也有研究提出加快工业数字化转型的策略,具体包括政府政策支持、企业战略调整、研发机构技术创新、金融服务配合、消费者行为改变等。

进一步深化工业数字化转型研究,还可从以下几个方面深入挖掘和拓展。一是工业数字化转型的理论基础有待进一步梳理。现有研究多聚焦于定义、特征、影响、政策等层面,尚未形成统一的工业数字化转型理论

内涵和系统性内在机理分析,厘清工业数字化转型的影响效应和推进过程的内在机理,仍需进一步探索。二是工业数字化转型测评方法有待进一步改进。现有研究以文本挖掘法和综合指标法应用居多,但文本词频的客观性、评价指标的代表性、权重确定的科学性等问题不可避免,测算结果说服力和可信度受到制约。此外,现有研究主要从国家、省级、企业等层面展开,从城市层面对工业数字化转型的研究相对较少,城市工业数字化转型测算方法设计和指标选择有待进一步改进和拓展。三是工业数字化转型影响效应的实证检验有待进一步拓展。在影响效应分析过程中,现有研究着重关注数字化过程中的“技术红利”,强调数字化转型的技术创新“补贴效应”,对可能存在的“生产率悖论”“成本效应”“挤出效应”“能源回弹效应”“数字鸿沟”等问题仍需进一步探索;在实证方法选择方面,现有研究多以静态数据或线性模型考察数字化转型的驱动因素和影响效应问题,难以深入刻画数字化转型过程中的动态和非线性影响,如何同时考虑时序上的非线性和空间上的非均衡性,有待进一步拓展。

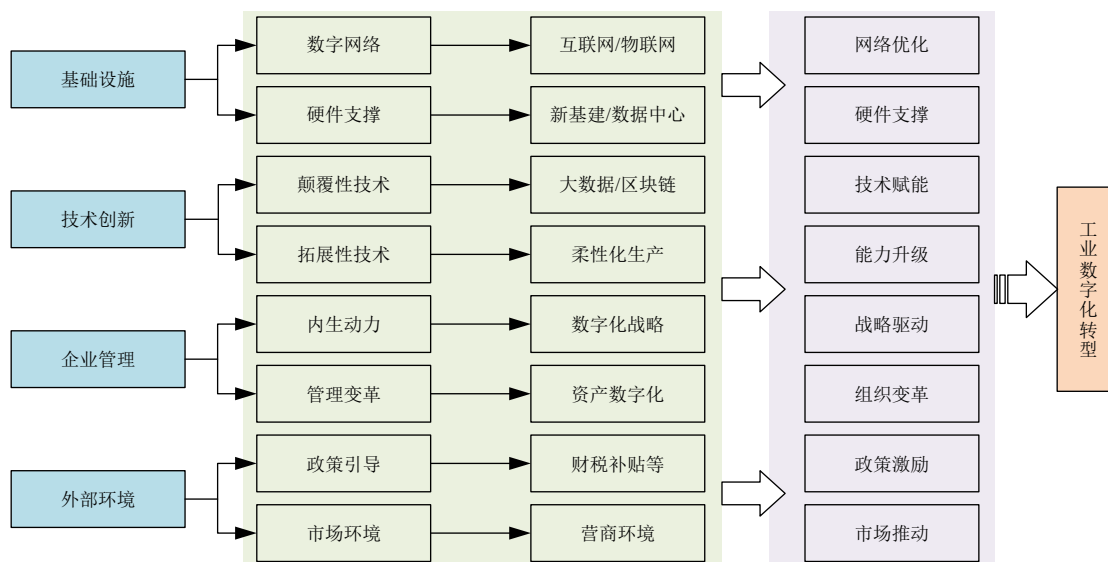


图2 工业数字化转型驱动因素研究

(资料来源:作者整理。)

三、国内外工业数字化转型实践历程

伴随工业化进入中后期,数字化转型成为工业发展的新机遇新赛道新主题,同时也面临技术支撑、数据安全等新挑战新要求,为抢占工业数字化转型先机、增强工业发展国际竞争力,各国相继制定出台了系列推进工业领域数字化转型的政策。

(一)工业数字化转型的国际实践

聚焦工业数字化转型,美德英日等发达国家相继制定各类政策,强调数字化转型是工业发展的“新动力”,通过各类支持政策增强工业核心竞争力,构筑工业发展国际竞争新优势。

(1)美国工业数字化转型实践探索。为支持工业数字化转型,美国先后出台《先进制造业伙伴计划》(2011)、《国家制造业创新网络计划》(2012)、《美国先进制造业国家战略计划》(2012)、《关键与新兴技术国家战略》(2018)、《关键和新兴技术清单》(2020)、《无尽前沿法案》(2021)、《2022 国家先进制造业战略》(2022)等一系列工业数字化转型政策举措和战略规划,历经信息化、制造业数字化、数字化转型3个阶段,形成了包括政府宏观政策引领、国家科创园等技术支持、企业联盟配合实施的数字化转型机制,加快了工业数字化发展进程。与此同时,美国通过成立工业互联网联盟(IIC, 2021年更名为工业物联网联盟)、国际电信联盟、国

际标准化组织、美国电气与电子工程师学会、数字贸易工作组等组织,通过一系列工业数字化转型制度引领全球工业数字化转型标准制定,抢占全球工业数字化转型制高点。

(2)德国工业数字化转型实践探索。以“工业 4.0”为核心,德国先后出台《高技术战略 2020》(2010)、《高技术战略 2025》(2014)、《数字战略 2025》(2016)、《工业战略 2030》(2019)、《人工智能战略(修订版)》(2019)、《德国新数字化战略》(2021)等系列政策,不断完善工业数字化转型方案,为推进工业数字化转型提供良好的政策环境。在德国工业数字化转型过程中,通过建立工业产业联盟、工业 4.0 指导委员会、IT 安全协调委员会、德国标准化协会、德国电工电子与数字技术标准化委员会、德国电气电子制造商协会、德国机械制造商协会、德国工程师协会、德国电气工程师协会等组织,协同建立工业数字化转型标准体系,加快工业生产组织结构和生产流程变革,促进工业数字化转型。

(3)英国工业数字化转型实践探索。在新一轮产业变革与科技革命多重压力下,英国政府出台《数字英国》(2009)、《英国数字战略》(2017),将数字化转型上升到国家战略层面,以政府政策为引领,构建数字化转型生态系统。聚焦产业数字化转型,英国先后发布《产业战略:打造适合未来的英国》(2017)、《产业战略:人工智能领域行动》(2018),强调人工智能技术在产业发展中的创新研发与集成应用,支持人工智能创新中心和数字化企业建立,促进工业数字化转型,推进工业产业结构转型升级。

(4)日本工业数字化转型实践探索。为推进工业数字化转型,日本先后出台《“互联产业”东京倡议 2017》(2017)、《通过数据促进价值创造的数据管理方法和架构》(2018)、《数字治理守则》(2018)、《制造业白皮书 2020》(2020)、《科学与技术基本计划(第六版)》(2021)、《半导体数字产业战略》(2021)、《制造业白皮书 2022》(2022)等系列政策文件,制定了 e-Japan(2001)、u-Japan(2004)、i-Japan(2009)、超智能社会 5.0(2016)等数字化转型发展战略计划,支持科技创新和应用,营造良好的数字化转型发展环境。在工业数字化转型战略实施过程中,日本先后成立 IT 战略总部、数字治理部长会议、数字厅、日本价值链促进会(IVI)等政府组织和行业协会,不断优化工业数字化转型路线图、扫清工业数字化转型过程中的制度障碍,助力工业数字化转型。

与此同时,其他国家也对工业数字化转型进行了系列探索,如欧盟委员会先后启动《数字化单一市场战略》(2015)、《产业数字化新规划》(2016)、《欧洲数据战略》(2020)、《欧洲工业战略》(2020),引导欧盟工业数字化转型;法国公布《利用数字技术促进工业转型的方案》(2018)的同时,启动“工业版图计划”,强调利用创新要素促进工业产业迭代;韩国先后发布《第四期科学技术基本计划(2018—2022)》(2018)、《基于数字的产业创新发展战略》(2020)等发展战略和计划,支持人工智能产业发展;俄罗斯相继发布《2017—2030 年俄罗斯信息社会发展战略》(2017)、《俄罗斯联邦数字经济规划》(2017)、《2024 年前俄罗斯联邦发展国家目标和战略任务》(2018)等战略规划,制定了智能制造、机器人等发展目标和计划;新加坡提出“智慧国 2025”和“服务与数字经济蓝图”等发展计划,明确了能源化工、航空等行业转型举措和发展目标;此外,印度、越南、印度尼西亚等发展中国家相继提出“印度制造计划”“第四次工业革命国家战略草案”“印度尼西亚工业 4.0”等工业数字化转型战略。由此可见,以数字化转型促进工业产业转型升级,被世界各国广泛认可和关注,工业数字化转型的国际实践和探索,为中国工业数字化转型研究和实践提供了有益参考和借鉴。

(二)工业数字化转型的中国道路

为促进工业数字化发展,中国先后出台一系列政策文件,初步建立起支持工业数字化转型的顶层政策体系和工作推进机制。

(1)以信息化为核心的工业数字化转型阶段(—2014 年)。从“实现社会主义工业化”到“新型工业化”目标的设立和探索,中国工业化的数字化转型方向在实践和探索中逐步明确(图 3)。中国早期工业数字化转型以信息化为核心,以工业化和信息化融合为主要方向。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年规划纲要》(2001)和党的十六大报告(2002)均明确提出要“以信息化带动工业化”,通过推进计算机、网络技术在工业生产经营过程中的广泛应用,实现工业生产力跨越式发展;《中华人民共和国国民经济和社会发

展第十一个五年规划纲要》(2006)提出要“积极推进信息化”,党的十七大报告(2007)提出要“大力推进信息化与工业化融合”,将“两化融合”确定为新型工业化发展的重要方向;《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》(2011)和党的十八大报告(2012)均明确提出“推动信息化和工业化深度融合”,从“以信息化带动工业化”到“推进信息化与工业化融合”,再到“信息化和工业化深度融合”,以信息化为核心的工业数字化转型不断向纵深推进。在历次中国共产党全国代表大会报告、国民经济和社会发展五年规划(计划)顶层设计指引下,中共中央办公厅、国务院、国家发展和改革委员会、工业和信息化部等部门先后出台《国民经济和社会发展第十个五年计划信息化发展重点专项规划》(2002)、《2006—2020年国家信息化发展战略》(2006)、《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》(2006)、《国民经济和社会发展信息化“十一五”规划》(2007)、《关于加快推进信息化与工业化深度融合的若干意见》(2011)、《工业转型升级规划(2011—2015年)》(2011)、《信息化和工业化深度融合专项行动计划(2013—2018年)》(2013)等发展战略和规划,指导信息化和工业化融合发展。聚焦工业产业具体行业、产品,《信息产业科技发展“十一五”规划和2020年中长期规划纲要》(2006)、《电子基础材料和关键元器件“十一五”专项规划》(2008)、《电子专用设备和仪器“十一五”专项规划》(2008)、《集成电路产业“十一五”专项规划》(2008)、《信息技术改造提升传统产业“十一五”专项规划》(2008)、《集成电路产业“十二五”发展规划》(2011)、《电子信息制造业“十二五”发展规划》(2012)、《智能制造科技发展“十二五”专项规划》(2012)、《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》(2012)、《国家集成电路产业发展推进纲要》(2014)等系列专项规划,将信息技术、信息产业与传统制造业的深度融合作为工业数字化转型的突破方向,奠定了中国工业数字化转型的基础。此外,国务院等部门还出台《“宽带中国”战略及实施方案》(2013)等文件,支持数字基础设施建设,助力工业数字化转型。以信息化为核心的工业数字化转型阶段,是对传统工业发展模式的深刻变革,为中国工业数字化转型奠定了坚实基础,对中国新型工业化道路产生了深远影响。

(2)以数智化为核心的工业数字化转型阶段(2015年—至今)。2015年,中国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领《中国制造2025》(2015)印发实施,强调将“智能制造”作为工业化信息化深度融合的主攻方向,明确提出“促进制造业数字化网络化智能化”,标志着中国工业数字化转型进入以数智化为核心的新阶段。聚焦智能制造工程实施,《智能制造发展规划(2016—2020)》(2016)、《智能制造工程实施指南(2016—2020年)》(2016)、《高端智能再制造行动计划(2018—2020)》(2017)、《新一代人工智能发展规划》(2017)、《“十四五”智能制造发展规划》(2021)、《“十四五”机器人产业发展规划》(2021)等发展规划相继出台,明确了智能制造的主要方向和重点任务;围绕信息化和工业化深度融合,《国家信息化发展战略纲要》(2016)、《信息化和工业化融合发展规划(2016—2020年)》(2016)、《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》(2021)、《“十四五”国家信息化规划》(2021)等规划制定实施,对新阶段推进信息化和工业化深度融合的目标和举措进行了系统部署。关于互联网在工业领域的应用,国务院等部门先后出台《促进大数据发展行动纲要》(2015)、《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》(2015)、《关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》(2016)、《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》(2016)、《大数据产业发展规划(2016—2020年)》(2016)、《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》(2017)、《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》(2020)、《“工业互联网+危化安全生产”试点建设方案》(2021)、《“十四五”大数据产业发展规划》(2021)、《工业领域数据安全能力提升实施方案(2024—2026)》(2024)等政策文件,支持互联网创新成果在工业领域的深度应用。“十四五”时期,《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》(2021)明确提出“推动产业数字化转型”,《“十四五”数字经济发展规划》(2021)要求“纵深推进工业数字化转型”,明确了“十四五”时期中国工业数字化转型的方向;在工业细分行业数字化转型方面,工业和信息化部等部门还出台了《原材料工业数字化转型工作方案(2024—2026年)》(2024)、《石化化工行业数字化转型实施指南》(2024)、《电力装备制造业数字化转型实施方案》(2024)、《轻工业数字化转型实施方案》(2025)、《纺织工业数字化转型实施方案》(2025)等政策文本。此外,工业和信息化部联合国家市场监督管理总局等部门先后出台《国家智能制造标准体系建设指南》(2015年

版、2018 年版、2021 版)、《工业互联网综合标准化体系建设指南》(2019)、《中小企业数字化转型指南》(2022)、《制造业企业数字化转型实施指南》(2025)、《信息化和工业化融合 数字化转型 价值效益参考模型》(GB/T 23011-2022)、《信息化和工业化融合管理体系 供应链数字化管理指南》(GB/T 23050-2022)等规范标准和工作指南,细化了工业数字化转型的方案和标准。从《中国制造 2025》(2015)提出“促进制造业数字化网络化智能化”发展,到党的十九大报告(2017)强调“推进互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”,再到党的二十大报告(2022)进一步明确“促进数字经济和实体经济深度融合”,中国工业数字化转型政策支撑体系逐步建立健全,路径方向和工作重点进一步明确细化,中国工业数字化转型向纵深发展。中国工业数字化转型阶段划分具体如图 4 所示。

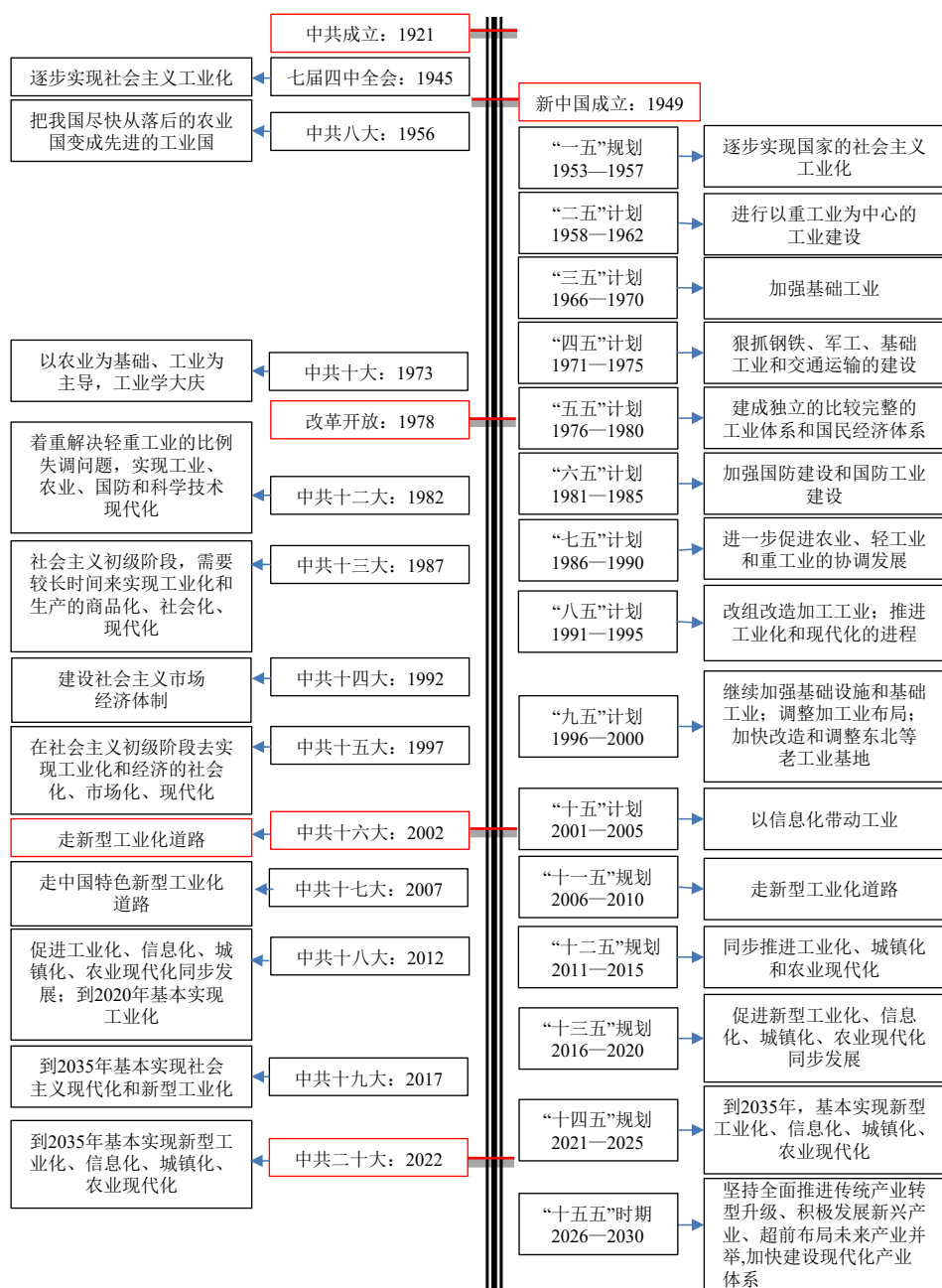


图 3 中国共产党对工业化道路的探索

(注: 根据人民网(<http://www.people.cn/>)相关资料绘制。)

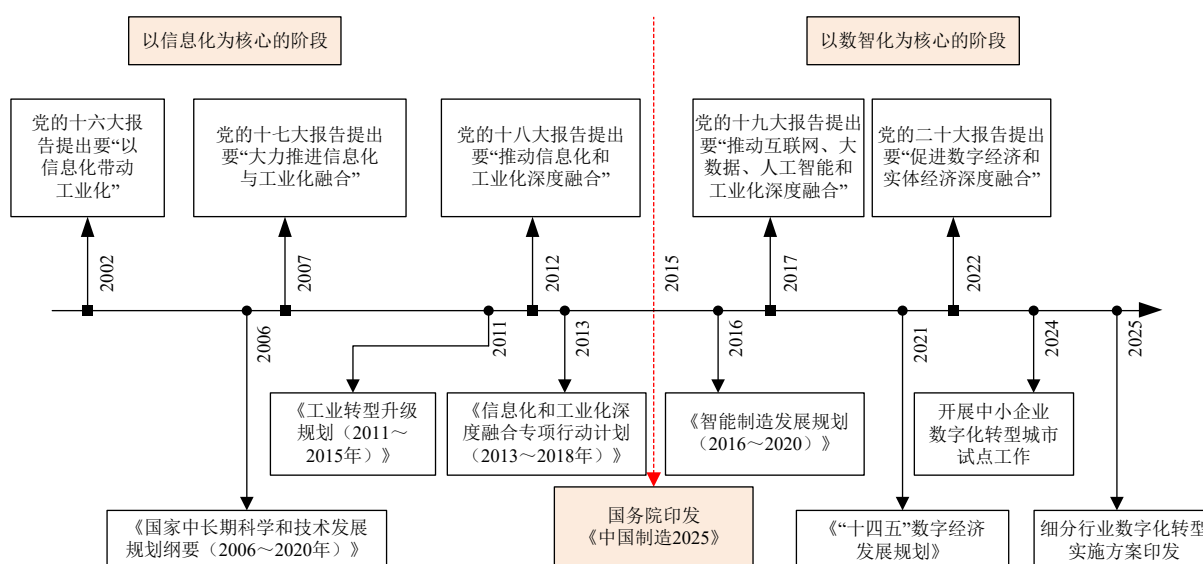


图4 中国工业数字化转型阶段划分示意

(注: 资料为作者根据工业数字化转型相关政策文件整理绘制。)

(三) 数字化赋能工业绿色发展的顶层设计和地方响应

与此同时,工业数字化转型过程造成的新的能源消耗、碳排放、污染排放等问题同样不可忽视,在工业数字化转型过程中确保工业绿色发展不退,是世界各国工业数字化转型过程中必须关注和解决的议题。早期的探索着重强调工业数字化与绿色化的融合协同发展,《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》(2021)提出深入实施“智能制造和绿色制造工程”,强调推进制造业“高端化智能化绿色化”发展;国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》(2021)中指出,要在工业领域推进“数字化智能化绿色化”融合发展;中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(2021)则聚焦互联网、大数据、人工智能、5G通信等具体技术,强调数字技术与绿色低碳产业深度融合。部分政策文件直接提出利用数字化赋能工业绿色发展,《“十四五”国家信息化规划》(2021)提出要“加速信息技术赋能社会各领域节能减排”;《“十四五”工业绿色发展规划》(2021)强调新一代信息技术在生产制造过程中的集成应用,要求加快生产方式数字化转型,“赋能绿色制造”;《工业领域碳达峰实施方案》(2022)明确提出“以数字化智能化赋能绿色化”;《工业能效提升行动计划》(2022)、《工业水效提升行动计划》(2022)从数字化管理等角度出发,强调数字技术在工业能效、水效提升过程中的赋能作用;《数字化助力消费品工业“三品”行动方案(2022—2025年)》(2022)强调“以数字化为抓手”,推动数字化理念、数字化技术在工业研发设计、生产制造、经营管理、公共服务等关键环节和各类场景的集成应用。

在数字化赋能工业绿色发展国家顶层设计指导下,各地方政府积极响应,如河南省颁布实施《河南省加快数字化转型推动制造业高端化智能化绿色化发展行动计划(2023—2025年)》(2023)、安徽省出台《以数字化转型推动制造业高端化智能化绿色化发展实施方案(2023—2025年)》(2023)和《支持以数字化转型推动制造业高端化智能化绿色化发展若干政策》(2023),不断探索数字化在工业绿色发展过程中的作用和应用场景。综合来看,国有企业、大型企业是工业数字化绿色化“双协同”转型的主体,工业互联网平台在数字化赋能工业绿色发展过程中发挥了关键载体作用,中国数字化赋能工业绿色发展的政策环境正不断优化,但仍然面临产业基础薄弱、治理能力不足、中小企业进展缓慢等不足和约束,工业数字化绿色化协同转型发展的政策体系有待进一步完善。

四、推进工业数字化转型的路径选择

数字化转型既是新型工业化的典型特征,也是加快推进工业高质量发展的重要方向。立足工业数字化转

型的内涵界定，参考国内外关于工业数字化转型的理论研究和实践探索，以深入推进工业数字化转型为目标，本文提出如下政策建议(图 5)。

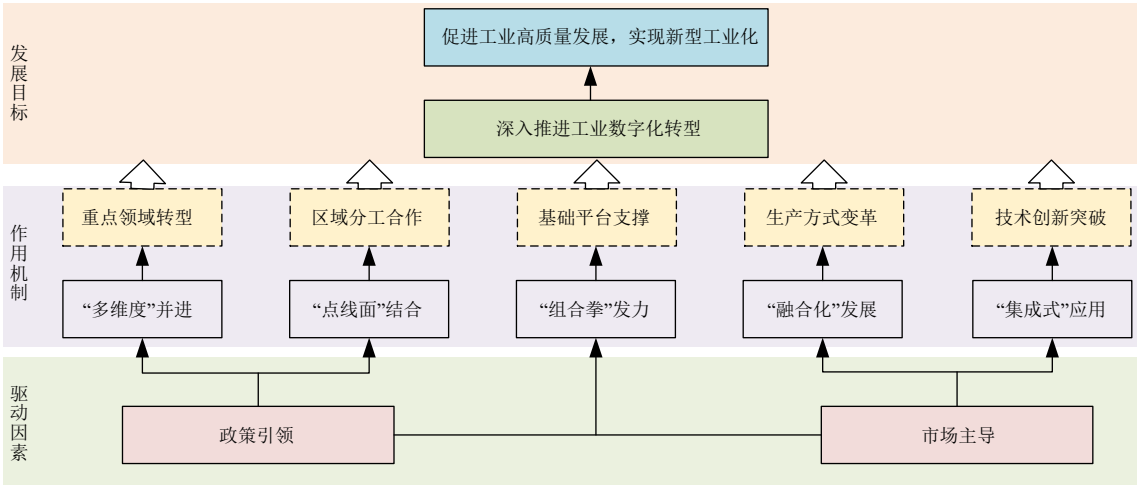


图 5 推进工业数字化转型的路径选择机制
(注：资料为作者根据政策建议整理绘制。)

（一）“多维度”并进，加快重点领域转型

在推进工业数字化转型过程中，应坚持工业数字化转型“多维度”并进，加快重点领域转型。一方面，要推进工业系统性数字化转型，从数据要素、数字技术、数字装备、数字战略等重点领域出发，提升工业数字化转型能力和水平；另一方面，要加强数字化转型在工业高质量发展重点领域的影响作用，充分发挥数据要素、数字技术、数字装备、数字战略等新优势新作用，精准化赋能工业高质量发展重点内容和关键环节，实现工业经济高质量发展。

（二）“点线面”结合，促进区域分工合作

各区域间工业经济发展存在广泛关联和互动，不同区域工业数字化转型水平呈现出显著空间异质性特征，也存在显著空间溢出效应。因此，在协同推进城市工业数字化转型过程中，应加强不同空间的“点线面”结合，促进区域分工合作。一是要优化全国工业空间布局，基于主体功能区定位、经济战略区域划分，促进工业产业布局 and 有序转移，加强国家级、区域级工业数字化基础设施合理布局，避免“跟风式”盲目扩建和低效发展，在全国层面提升数字化转型对工业高质量发展的赋能效应；二是要突出经济区域战略重点，立足“四大板块”、京津冀、长江经济带、长三角、黄河流域、粤港澳等经济区域划分和战略重点，加强战略区域对接与协同，科学制定不同区域和城市工业数字化转型战略定位，明确工业产业分工和重点方向，以数字化转型促进区域工业高质量发展；三是要促进城市内部高效运转，在加快融入国家发展战略和城市群、都市圈发展战略的同时，各城市应以经济开发区、产业园区等工业集聚区为重点，激发城市内部各类主体活力，整合各类资源要素，形成工业数字化转型发展合力，增强工业数字化转型能力。

（三）“组合拳”发力，强化基础平台支撑

基础平台建设是工业数字化转型的重要内容，在促进工业数字化转型过程中，应注重各类软硬件环境“组合拳”发力，强化基础平台支撑。一是推进工业数字基础设施建设，在工业互联网平台、各级工业数据存储分析中心、智能化工业生产装备等数字基础设施建设过程中，加强新能源、新技术投入应用，注重能源资源配置优化、效率改进，提升工业数字化技术设施建设和运维低碳化清洁化水平；二是完善工业高质量发展外部环境，强化工业数字化转型发展基础设施、金融支持、人才储备、研发支撑、环境监管、公共服务等软硬件外部环境，营造良好的工业数字化转型外部环境，充分激发数字化转型的正向积极影响。

(四)“融合化”发展,推进生产方式变革

生产方式变革既是工业数字化转型的集中体现,也是数字化转型赋能工业高质量发展的重要途径,推进工业数字化转型过程中应加强“融合化”发展,加快生产方式变革。一是要优化要素投入和组合,结合工业数字化发展要求和目标,加强工业生产软硬件基础设施建设、优化能源资源要素投入和组合,促进数智融合供应链提升,着力提升资源利用效率;二是要加强过程迭代和升级,充分利用数字化生产技术和方法,推进工业生产设备改造、生产工艺迭代、生产过程防控,着力培育全生命周期工业数字化转型解决方案供应商,在工业生产过程中提升数字化智能化水平;三是要促进产品增智,在支持工业产品创新研发、提升工业产品智能化元素含量的同时,加强工业产品数字化供需对接,促进智能工业产品市场推广,提升数字智能工业产品有效供给能力。

(五)“集成式”应用,突出技术创新赋能

数字技术应用推广是促进工业数字化转型的核心动力,应深化数字化技术的“集成式”应用,突出技术创新赋能。一是要支持关键技术协同攻关,在工业发展技术创新研发过程中,支持工业数字化转型共性技术创新攻关;二是要加快发展重大技术装备,促进集成式装备研发生产和应用推广,在工业高质量发展过程中实现数字化改造综合考量和协同优化;三是要促进重大场景应用落地,聚焦生产车间、生产线、企业工厂、园区、产业集群等不同应用场景,系统性研究策划数字化技术应用推广方案,降低转型成本和风险,提升工业数字化转型精准度。

参考文献:

- [1] 蔡曙山.论数字化[J].中国社会科学,2001(4):33-42.
- [2] 王核成,王思惟,刘人怀.企业数字化成熟度模型研究[J].管理评论,2021(12):152-162.
- [3] Ng I C L, Wakenshaw S Y L. The Internet-of-Things: Review and Research Directions[J]. International Journal of Research in Marketing, 2017(1):3-21.
- [4] 曹裕,李想,胡韩莉,等.数字化如何推动制造企业绿色转型?——资源编排理论视角下的探索性案例研究[J].管理世界,2023(3):96-112.
- [5] 徐宗本.数字化 网络化 智能化 把握新一代信息技术的聚焦点[N].人民日报,2019-03-01(9).
- [6] 彭兰.数字化与数据化:数字时代生存的一体两面[J].人民论坛,2023(17):42-47.
- [7] 李拉亚.经济学计算机化研究进展[J].经济动态,2014(1):130-137.
- [8] 欧阳电平,谢涌,黄旭,等.我国企业电脑化管理的现状与对策——企业电脑化管理的调查分析[J].武汉大学学报(人文社会科学版),2000(3):304-308.
- [9] 姚媛.数字化、电子化、网络化和虚拟化名词的本质概念及应用[J].大学图书馆学报,2009(5):13-17.
- [10] 沈燕,任晓健.多媒体技术在电子商务中的应用[J].情报理论与实践,2004(2):215-218.
- [11] 刘少杰.从实践出发认识网络化、数字化和智能化[J].社会科学研究,2022(2):66-71.
- [12] 蔡曙山.论虚拟化[J].浙江社会科学,2006(4):111-121.
- [13] 刘启雷,赵威,苏锦旗,等.基于数智化转型的制造业“双碳”发展:逻辑、路径与政策[J].科学管理研究,2023(3):79-88.
- [14] 国务院信息化工作办公室政策规划组.国家信息化发展战略学习读本[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [15] 王永清,陈辉,朱越.中国省域电气化水平与绿色全要素生产率实证研究——电价水平与电力生产结构的调节效应[J].苏州大学学报(哲学社会科学版),2023(6):121-134.
- [16] 孙乐强.自动化生产与劳动价值论的“悖论”:马克思的解决路径[J].山东社会科学,2023(11):86-94.
- [17] 国务院.国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见[M].北京:人民出版社,2015:1-2.
- [18] 杨彦欣,高敏雪.企业数字化转型:概念内涵、统计测度技术路线和改进思路[J].统计研究,2024(3):62-73.
- [19] 张日波,钱姝凡.数字化改革的路径选择:一个内生公共物品的超边际分析框架[J].浙江社会科学,2023(7):13-22.
- [20] 黄宗远,王凤阳,阳太林.数字化赋能传统制造业发展的机制与效应分析[J].改革,2023(6):40-53.
- [21] 李载驰,吕铁.数字化转型:文献述评与研究展望[J].学习与探索,2021(12):130-138.
- [22] 吴传清,邓明亮.信息化水平促进中国全要素碳生产率增长的路径研究[J].中国软科学,2023(4):177-188.
- [23] 国务院发展研究中心课题组.传统产业数字化转型的模式和路径[R].北京:国务院发展研究中心,2018.
- [24] 胡海波,毛纯兵,周洁.中国工业数字化转型的演变逻辑与未来展望[J].管理学报,2023(4):112-126.

- [25] 肖旭, 戚聿东. 产业数字化转型的价值维度与理论逻辑[J]. 改革, 2019(8): 61-70.
- [26] 唐浩丹, 蒋殿春. 数字并购与企业数字化转型: 内涵、事实与经验[J]. 经济学家, 2021(4): 22-29.
- [27] Sebastian I M, Ross J W, Beath C, et al. How Big Old Companies Navigate Digital Transformation[J]. Mis Quarterly Executive, 2017(3): 197-213.
- [28] 李晓华. 制造业数字化转型与价值创造能力提升[J]. 改革, 2022(11): 24-36.
- [29] 吴非, 胡慧芷, 林慧妍, 等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界, 2021(7): 130-144.
- [30] 刘九如. 制造业数字化转型的本质、路径、存在误区及政策建议[J]. 产业经济评论, 2023(1): 5-15.
- [31] 陈晓红, 李杨扬, 宋丽洁, 等. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界, 2022(2): 208-224.
- [32] 孔晓瑞, 向书坚, 罗胜. 中国经济数字化转型的量化评估、区域差异及动态演进[J]. 经济问题探索, 2023(4): 25-37.
- [33] 刘密霞. 数字化转型推进国家治理现代化研究——以数字中国建设为例[J]. 行政管理改革, 2022(9): 13-20.
- [34] 楚天骄. 城市数字化转型的逻辑起点与实施框架——以上海为例[J]. 世界地理研究, 2024(1): 107-118.
- [35] 张辽, 岑洁. 数字普惠金融如何影响区域数字化转型?[J]. 西安财经大学学报, 2023(4): 35-50.
- [36] 何子龙, 盛新宇. 中德制造业数字化转型水平比较及对中国的政策启示[J]. 经济体制改革, 2022(5): 160-166.
- [37] 姜卫民, 郑琼洁, 曹劲松. 区域制造业数字化转型评价体系的建构与应用[J]. 南京大学学报(哲学·人文科学·社会科学), 2023(6): 127-137.
- [38] 李钊阳, 阳国亮. 泛粤港澳大湾区制造业数字化生产效率时空分异及驱动力研究[J]. 统计与信息论坛, 2023(8): 67-77.
- [39] 温馨, 陈俊洪, 殷艳娜. 基于序参量-TOPSIS 法的制造业数字化转型能力评价与调优[J]. 科技进步与对策, 2023(18): 50-60.
- [40] 王瑞, 董明, 侯文皓. 制造型企业数字化成熟度评价模型及方法研究[J]. 科技管理研究, 2019(19): 57-64.
- [41] 吕祥, 路驰, 杨水利. 数字赋能制造业智能化水平的影响研究——技术创新能力的中介效应[J]. 科学学与科学技术管理, 2024(7): 149-166.
- [42] 高志刚, 田丰, 韩延玲. 人工智能对中国区域经济高质量发展影响的理论机理与实证分析——以工业机器人为例[J]. 科技管理研究, 2023(7): 182-192.
- [43] 闫超栋, 马静, 李俊鹏. 信息化是否促进了中国工业转型升级?——基于省际和门限特征的实证分析[J]. 南京财经大学学报, 2022(3): 98-108.
- [44] 赵晓斐. 制造业数字化与省际产业联动[J]. 当代财经, 2024(3): 111-123.
- [45] 田毕飞, 李彤. 中国城市工业数字化能否促进 FDI 流入[J]. 国际经贸探索, 2022(12): 69-84.
- [46] 杨思远, 王康. 数字技术能提升企业业绩吗?——来自中关村海淀科技园的微观证据[J]. 科研管理, 2023(1): 26-36.
- [47] 严子淳, 王伟楠, 王凯, 等. 数字化转型能够提升企业投资效率吗?——来自制造业上市公司的证据[J]. 管理评论, 2023(12): 20-30.
- [48] 刘众. 工业互联网赋能传统产业数字化转型的市场化逻辑与实现路径——以纺织服装产业为例[J]. 科技管理研究, 2023(8): 144-150.
- [49] 赵宸宇, 王文春, 李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率[J]. 财贸经济, 2021(7): 114-129.
- [50] 金星晔, 左从江, 方明月, 等. 企业数字化转型的测度难题: 基于大语言模型的新方法与新发现[J]. 经济研究, 2024(3): 34-53.
- [51] 王磊, 肖倩, 邓芳芳. 人工智能对中国制造业创新的影响研究——来自工业机器人应用的证据[J]. 财经论坛, 2023(9): 14-24.
- [52] 党琳, 李雪松, 申烁. 制造业行业数字化转型与其出口技术复杂度提升[J]. 国际贸易问题, 2021(6): 32-47.
- [53] 陆洋, 王超贤. 数字化转型量化评估研究的比较分析与最新进展[J]. 科技进步与对策, 2021(9): 152-160.
- [54] 罗佳, 张蛟蛟, 李科. 数字技术创新如何驱动制造业企业全要素生产率?——来自上市公司专利数据的证据[J]. 财经研究, 2023(2): 95-109.
- [55] 杨红, 李依梦, 陈银忠, 等. 高端装备制造企业数字化转型驱动路径研究[J]. 科研管理, 2024(1): 21-30.
- [56] 肖琳琳, 王睿哲, 夏宜君, 等. 中国工业互联网平台发展指数构建及应用[J]. 科技管理研究, 2023(13): 171-178.
- [57] 何帆, 刘红霞. 数字经济视角下实体企业数字化变革的业绩提升效应评估[J]. 改革, 2019(4): 137-148.
- [58] 王林辉, 姜昊, 董直庆. 工业智能化会重塑企业地理格局吗[J]. 中国工业经济, 2022(2): 137-155.
- [59] 刘淑春, 闫津臣, 张思雪, 等. 企业管理数字化变革能提升投入产出效率吗[J]. 管理世界, 2021(5): 170-190.
- [60] 袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 等. 数字化转型与企业分工: 专业化还是纵向一体化[J]. 中国工业经济, 2021(9): 137-155.
- [61] 刘骏, 张义坤. 数字化转型能提高企业供应链效率吗?——来自中国制造业上市公司年报文本分析的证据[J]. 产业经济研究, 2023(6): 73-86.
- [62] 韦东明, 顾乃华, 韩永辉. 人工智能推动了产业结构转型升级吗——基于中国工业机器人数据的实证检验[J]. 财经科学, 2021(10): 70-83.

- [63] Karhade P P, Dong J Q. Information Technology Investment and Commercialized Innovation Performance : Dynamic Adjustment Costs and Curvilinear Impacts[J]. *Mis Quarterly*. 2021 (3): 1007–1024.
- [64] 李松庆, 胡志菊. 制造业的数字化对其全球价值链地位升级的影响——基于广东制造业细分行业的实证分析[J]. *科技管理研究*, 2022(23): 127–133.
- [65] 杨白冰, 杨子明, 郭迎峰. 企业数字化转型中的就业结构效应——基于制造业上市企业年报文本挖掘的实证分析[J]. *中国软科学*, 2023(4): 141–150.
- [66] Acemoglu D, Restrepo P. Robots and Jobs: Evidence From Us Labor Markets[J]. *Journal of Political Economy*, 2020(6): 2188–2244.
- [67] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. *中国工业经济*, 2019(5): 61–79.
- [68] 陈东, 秦子洋. 人工智能与包容性增长——来自全球工业机器人使用的证据[J]. *经济研究*, 2022(4): 85–102.
- [69] 邓慧慧, 曾庆阁, 赵晓坤. 制造业企业数字化转型、外部压力与碳绩效[J]. *浙江社会科学*, 2023(10): 36–48.
- [70] Zhou X, Zhou D, Wang Q, et al. How Information and Communication Technology Drives Carbon Emissions : A Sector-Level Analysis for China[J]. *Energy Economics*. 2019, 81: 380–392.
- [71] 惠树鹏, 王卓, 惠小轩. 智能化赋能制造业低碳转型的理论分析和实证检验[J]. *科技管理研究*, 2023(24): 188–195.
- [72] Song J, Chen Y, Luan F. Air Pollution, Water Pollution, and Robots: Is Technology the Panacea[J]. *Journal of Environmental Management*. 2023, 330: 117170.
- [73] 郑勇华, 孙延明, 尹剑峰. 工业互联网平台数据赋能、吸收能力与制造企业数字化转型[J]. *科技进步与对策*, 2023(11): 19–30.
- [74] 周嘉, 马世龙. 从赋能到使能: 新基建驱动下的工业企业数字化转型[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2022(3): 20–30.
- [75] 李晓娣, 原媛. 营商环境生态驱动制造业智能化的组态路径研究[J]. *科学学研究*, 2024(4): 746–756.

Research on the Conceptual Connotations, Practical Experiences, and Pathways for Promoting Industrial Digital Transformation

DENG Mingliang¹, WU Chuanqing^{2,3,4}

- (1. School of Digital Economy, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, Jiangxi, China ;
2. School of Economic and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China ;
3. China Institute of Development Strategy and Planning, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China ;
4. Regional Economic Research Center, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: Digital transformation serves as a crucial driving force and developmental direction for industrial economic growth, as well as an inherent requirement for accelerating the cultivation and development of new quality productive forces in industry. Focusing on the theme of industrial digital transformation, this paper begins by clarifying its conceptual connotation, systematically reviews relevant research progress and trends both domestically and internationally, summarizes the practical journey of advancing industrial digital transformation across different regions, and proposes policy measures to further its progress. China has undergone stages of industrial digital transformation centered on informatization and, later, on digital intelligence, accompanied by a series of policy documents. These efforts have preliminarily established a policy framework and implementation mechanism to support industrial digital transformation. To further advance this transformation, it is essential to adopt a multi-dimensional approach, combine "point-line-plane" strategies, leverage "policy synergies", promote integrated development, and accelerate "holistic application". Key measures include accelerating transformation in critical sectors, fostering regional specialization and collaboration, strengthening foundational platform support, driving changes in production methods, and emphasizing the enabling role of technological innovation.

Key words: industrial digital transformation; conceptual connotations; practical experiences; industrial digitalization

(责任编辑:王瑞霞)