

数字技术如何驱动制造业升级?

——基于WIOD跨国数据的经验证据

刘国亮 付 凡 杨蕙馨

摘要:在新一轮技术革命和产业变革的时代背景下,如何推进制造业升级成为当前各国普遍关注的重要问题。聚焦制造业产业内升级,从生产要素投入的角度测度制造业对数字技术的依赖程度,分析数字技术对制造业升级的作用机制和异质性影响的研究表明:数字技术对制造业升级具有显著的正向影响,是促进产业转型升级的新动能;内在机理表明,数字技术主要通过优化生产要素投入结构、提高资源配置效率和促进制造业服务化转型实现对制造业升级的促进作用;异质性分析表明,数字技术对制造业升级的促进作用在网络基础设施完善、贸易壁垒低的国家体现得更为明显,同时受制造业技术水平、数字技术来源的异质性影响。

关键词:数字技术;制造业升级;生产要素投入;投入产出法

DOI: 10.19836/j.cnki.37-1100/c.2024.06.012

一、问题的提出

制造业是工业经济的主体,是一个国家综合实力的直观体现。受2008年世界金融危机的影响,以美国为首的发达国家纷纷调整其经济发展模式,实施“再工业化”战略。与此同时,以5G、物联网、大数据、云计算、人工智能等为代表的颠覆性数字技术正在向经济活动的生产、流通、消费等各个环节渗透和融合,推动工业经济迈向数字时代^{①②}。如何在新一轮科技革命和产业变革中构筑国家竞争新优势,推动制造业升级,逐渐成为大国竞争的焦点问题。数字技术是在以互联网技术为代表的信息通信技术(ICT)的基础上发展而来,其本质是信息、计算、沟通和连接技术的组合^③。与传统的信息通信技术相比,数字技术所具有的高渗透性、实时性、自生长性等特征使其在信息抓取、信息传递、信息处理能力等方面有了显著增强^{④⑤}。例如,5G的传输速度可达到3.6G/s,其高速率、低延时的特点能够有效满足高精度高复杂度行业的生产要求;大数据通过在海量的数据中深度挖掘有价值的部分,使交易主体之间可进行低成本、高效率匹配^{⑥⑦};人工智能呈现出深度学习、人机协同、自主操控等新特征,

基金项目:国家社科基金重大项目“‘两业’融合推动中国制造业高质量发展研究”(20&ZD083)。

作者简介:刘国亮,山东大学经济学院教授,博士生导师(济南 250100; glliu@sdu.edu.cn);付凡(通讯作者),山东大学经济学院博士生(济南 250100; ffan0708@mail.sdu.edu.cn);杨蕙馨,山东大学管理学院教授,博士生导师(济南 250100; yhx@sdu.edu.cn)。

- ① Yoo Y., Boland Jr R. J., Lyytinen K., et al., “Organizing for Innovation in the Digitized World”, *Organization Science*, 2012, 23(5), pp. 1398-1408.
- ② Corbett C. J., “How Sustainable is Big Data?”, *Production and Operations Management*, 2018, 27(9), pp. 1685-1695.
- ③ Bharadwaj A., El Sawy O. A., Pavlou P. A., et al., “Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights”, *MIS Quarterly*, 2013, 37(2), pp. 471-482.
- ④ 李晓华:《数字技术与服务业“成本病”的克服》,《财经问题研究》2022年第11期。
- ⑤ 陈晓红、李杨扬、宋丽洁等:《数字经济理论体系与研究展望》,《管理世界》2022年第2期。
- ⑥ 杨俊、李小明、黄守军:《大数据、技术进步与经济增长——大数据作为生产要素的一个内生增长理论》,《经济研究》2022年第4期。
- ⑦ 史丹:《数字经济条件下产业发展趋势的演变》,《中国工业经济》2022年第11期。

促使生产和管理的过程逐步向智能化、自动化转变^①。无论是德国的“工业4.0”战略、日本的“互联工业”战略,还是“中国制造2025”计划等,均将数字技术作为制造业高质量发展的重要动力和支撑。在此背景下,如何充分理解数字技术的驱动逻辑,发挥数字技术进步在推进制造业升级过程中的优势,是当前亟待研究的问题。

已有文献关于制造业升级的内涵主要从以下三个层面来探讨。从企业层面来看,制造业升级被认为是企业通过提供更高质量的产品和服务,实现价值增值、获取更多利润的过程^{②③}。从产业层面来看,制造业升级可以划分为产业内技术升级和产业间结构升级,前者是指产业内部由低技术水平、低附加值状态向高技术水平、高附加值的转化过程,是生产要素在同一产业内部的转移和效率提升;后者指的是主导产业由劳动密集型逐渐向资本、技术密集型演变的过程,也是产业结构的高级化与合理化^{④⑤⑥⑦}。从国家层面来看,制造业升级可以看作本行业在全球价值链中的位置跃迁,是一国制造业国际竞争力提高的重要表现^⑧。

数字技术作为影响制造业升级的重要因素,同样受到国内外学者的密切关注。田秀娟等基于“创造性毁灭”机制构建了包含数字技术在内的多部门经济内生增长理论模型,研究发现数字技术能够直接提高各生产部门的劳动生产率,还可以通过缓解融资约束带动高技术产业发展,有效促进产业结构升级^⑨。Goldfarb等发现,数字技术可以降低经济运行中的搜寻、复制、运输、跟踪和验证成本,优化生产要素配置并改善经济结构^⑩。Sharma、Lynch等的相关研究指出,大数据可以帮助企业存储、管理和分析数据,优化产品的生产流程,驱动企业决策创新^{⑪⑫}。Rymaszewska等通过案例研究指出,物联网技术可以促进制造业服务化转型,在延伸制造业价值链,推动产业结构调整方面有着重要作用^⑬。吕越等认为,人工智能可以通过替代劳动、提升企业生产率等途径对中国企业参与全球价值链分工产生积极效应,并且这一效应在金融危机后得到强化^⑭。肖静华等发现,信息技术提升了企业组织学习效率,重构组织创新流程,助力制造企业实现从传统生产制造到智能制造的跨越式战略变革,是发展中国制造业升级、实现后发追赶的重要途径^⑮。

通过梳理现有文献可以发现,学术界有关数字技术与制造业升级的研究往往选取单一数字行业视角,如物联网、大数据、人工智能等,没有综合考虑数字技术行业投入对制造业升级的影响;有关制

- ① 郭凯明:《人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动》,《管理世界》2019年第7期。
- ② Porter M. E., “The Competitive Advantage of Nations”, *Harvard Business Review*, 1990, March-April, pp. 73-91.
- ③ 钞小静、薛志欣:《新型信息基础设施对中国企业升级的影响》,《当代财经》2022年第1期。
- ④ Acemoglu D., Restrepo P., “Automation and New Task: How Technology Displaces and Reinstates Labor”, *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33(2), pp. 3-30.
- ⑤ 苏杭、郑磊、牟逸飞:《要素禀赋与中国制造业产业升级——基于WIOD和中国工业企业数据库的分析》,《管理世界》2017年第4期。
- ⑥ 刘志彪、凌永辉:《结构转换、全要素生产率与高质量发展》,《管理世界》2020年第7期。
- ⑦ 刘璟:《数字技术对制造业链群共生演化的影响及其机理探究》,《学术交流》2023年第8期。
- ⑧ Gereffi G., “International Trade and Industrial Upgrading in the Apparel Commodity Chain”, *Journal of International Economics*, 1999, 1(48), pp. 37-70.
- ⑨ 田秀娟、李睿:《数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架》,《管理世界》2022年第5期。
- ⑩ Goldfarb A., Tucker C., “Digital Economics”, *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1), pp. 3-43.
- ⑪ Sharma R., Mithas S., Kankanhalli A., “Transforming Decision-making Processes: A Research Agenda for Understanding the Impact of Business Analytics on Organizations”, *European Journal of Information System*, 2014, 23(4), pp. 433-441.
- ⑫ Lynch C., “Big data: How do Your Data Grow?”, *Nature*, 2008, 455, pp. 28-29.
- ⑬ Rymaszewska A., Helo P., Gunasekaran A., “IoT Powered Servitization of Manufacturing-An Exploratory Case Study”, *International Journal of Production Economics*, 2017, 192(1), pp. 92-105.
- ⑭ 吕越、谷玮、包群:《人工智能与中国企业参与全球价值链分工》,《中国工业经济》2020年第5期。
- ⑮ 肖静华、吴小龙、谢康等:《信息技术驱动中国制造转型升级——美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究》,《管理世界》2021年第3期。

制造业升级的研究也集中在制造业产业结构升级、价值链升级等方面,鲜有学者涉及数字技术驱动制造业产业内升级的问题。除此之外,以往研究大多以实证分析为主,对数字技术影响制造业升级的理论机制分析不够充分,且鲜有文章提供跨国视角的经验证据。

基于此,使用2000—2014年世界投入产出数据库(WIOD)中的42个主要国家或地区为研究样本^①,从数字技术的内在属性出发,以数字技术对制造业升级的作用机制为研究对象,旨在厘清数字技术的产业升级驱动逻辑,探索其发展的共同演化规律,为促进数字技术与实体经济深度融合发展,以及制造业构建适宜的升级路径提供新思路。主要贡献体现在以下两个方面:第一,在理论分析部分,聚焦于制造业行业内角度的产业升级,从要素替代效应、信息平台效应和市场需求效应三个方面揭示了数字技术驱动制造业升级的内在逻辑,补充了制造业升级的影响因素的相关研究。第二,在实证检验部分,综合运用投入产出法,从生产要素投入的角度测度了制造业细分行业对数字技术的依赖程度,进而探讨制造业技术水平、数字技术投入来源、网络基础设施和贸易壁垒的异质性影响,为政府制定相应的产业政策提供了经验证据和决策依据。

二、理论分析与研究假说

产业升级的实质是技术升级,数字技术通过对制造业生产模块进行数字化集成,动态监控生产设备的运转状态并实施精准控制,以数据模型为载体对生产制造流程开展科学分析、智能决策,对制造产品进行全生命周期管理,构建一种高度灵活的智能生产模式,实现制造业生产和运营效率的迅速提升,赋予了产业升级新的动力源泉^{②③}。

在研发设计环节,数字技术强链接、低成本的属性促进了创新主体多元化,扩大了创新的规模^④。同时,数字化的研发设计工具改变了创新的流程,使创新的过程和结果相互作用,呈现出非线性、持续迭代的动态交互模式^⑤,提高了创新的效率,推动了生产工艺的改进和产品质量的提高。在生产制造环节,先进的数字技术为制造业的生产提供了智能化的设备支撑。例如,工业机器人的投入通过提高生产效率拓展制造环节的利润分配份额,为实现产业升级积累物质资本,同时发挥岗位替代作用承担部分低技能劳动者的工作,并对劳动力素质提出更高的要求^{⑥⑦},促进制造业人力资本结构升级。在营销售后环节,大数据等新一代数字技术可以快速捕捉个性化的客户需求,精准匹配供求市场,降低传统的库存和营销所占用的资金成本^⑧,提升制造企业价值捕获的能力,是制造业由低附加值向高附加值转型升级的重要动力。作为一种典型的通用型技术,数字技术可以在边际成本趋近于零的条件下渗透到具有不同需求的领域^⑨,技术与知识的快速扩散促进了制造业进一步扩大生产,形成规模经济和范围经济,制造业数智化转型成为重要的发展趋势。

① 2016版世界投入产出数据库包含43个国家或地区的投入产出数据,囿于其他数据的可得性,剔除了中国台湾地区的数据,共选取42个国家或地区为研究样本。

② 王小林、杨志红:《高质量发展视角下企业数字化转型的机理》,《求索》2022年第4期。

③ 史丹、孙光林:《大数据发展对制造业企业全要素生产率的影响机理研究》,《财贸经济》2022年第9期。

④ Kornberger M., "The Visible Hand and the Crowd: Analyzing Organization Design in Distributed Innovation Systems", *Strategic Organization*, 2017, 15(2), pp. 174-193.

⑤ 刘洋、董久钰、魏江:《数字创新管理:理论框架与未来研究》,《管理世界》2020年第7期。

⑥ Acemoglu D., Restrepo P., "Automation and New Task: How Technology Displaces and Reinstates Labor", *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33(2), pp. 3-30.

⑦ 杨飞、范从来:《产业智能化是否有利于中国益贫式发展?》,《经济研究》2020年第5期。

⑧ 吴义爽、盛亚、蔡宁:《基于互联网+的大规模智能定制研究——青岛红领服饰与佛山维尚家具案例》,《中国工业经济》2016年第4期。

⑨ 蔡跃洲、马文君:《数据要素对高质量发展影响与数据流动制约》,《数量经济技术经济研究》2021年第3期。

(一)要素替代效应改变生产要素投入结构

要素禀赋是指生产者所拥有的各类生产要素的相对比例,是产业升级的重要决定因素。当数据作为一种高级生产要素被引入制造业生产过程中,可以通过替代效应改变传统生产要素的相对重要性,优化禀赋结构,深化制造业知识和技术密集程度^①。一方面,得益于数字技术在数据挖掘、存储、分析等方面的进步,数据量呈现爆发式增长,数据产品和服务的价格下降,数据资源的可得性大大增强。区别于劳动、土地等传统生产要素,数据要素具有非竞争性、可复制性,以及规模报酬递增等本质属性,能够克服传统生产要素的排他性、稀缺性和规模报酬递减等约束,为产出带来“乘数效应”^②。成本和效益的巨大优势吸引着制造企业进一步投入数据要素,改善生产要素投入结构,助力制造业在激烈的市场竞争中建立动态比较优势。另一方面,数据之所以能进入生产函数进行价值创造,是建立在数据要素和知识要素高度关联的基础之上^③。制造企业通过数字技术对物理世界的现象进行客观描述产生海量数据,但此时,数据只是进行价值创造的原始材料,数据的价值潜力需要通过转化为知识才能实现,数字技术的应用强化了企业将数据转化为知识的能力^{④⑤}。基于真实世界数据的“干中学”效应进一步促进了知识资本的积累,为企业的生产制造和营销售后等环节提供决策支持,带来以创新和知识驱动为特征的产业升级。此外,数字技术的投入不仅为制造业集聚了高级技术、高级人力资本、知识资本等高端生产要素,还促进了数据要素与传统生产要素重新嵌套和组合^{⑥⑦},放大了其他要素的生产能力。提升生产要素之间的配合程度,促进制造业生产要素体系向高阶阶段演化,推动制造业沿着劳动力要素驱动向资本、知识要素驱动的轨迹升级。

(二)信息平台效应加强资源协调配置能力

随着制造业生产活动的模块化发展,生产过程的基本单位进一步缩小,生产制造过程日益分散化、复杂化,信息不对称的现象越来越普遍。构筑在数字技术之上的信息平台为数据的跨界流动提供了基本保障,引起了广泛的资源重组和聚合^⑧,是实现制造业升级的重要载体。一方面,数字技术的通用性及信息平台的空间网络性能够实现模块间信息的传递与交互,解决制造业生产经营活动中面临的地理距离和时空限制等问题^{⑨⑩},打破过去人与物、企业与企业之间的连接方式,建立起一种交互的、多维的、高效的沟通渠道,有助于降低信息搜寻成本和市场交易成本,缓解信息不对称,增强制造企业对生产要素的供需匹配能力。另一方面,开放共享的信息平台作为市场交易的中介,集聚了人、物、企业、服务等多种生产要素,减少了企业生产过程中对专有性资产的依赖,模糊了组织的边界,使得不同需求的企业能够通过平台进行信息和技术共享,为企业创造了开放式创新的环境,颠覆了制造业传统的价值捕获和创造逻辑^⑪,促进了企业跨界融合以及产业链上下游之间互联互通、协同生产^⑫。

- ① 戴翔、张雨、刘星翰:《数字技术重构全球价值链的新逻辑与中国对策》,《华南师范大学学报(社会科学版)》2022年第1期。
- ② 丁志帆:《数字经济驱动经济高质量发展的机制研究:一个理论分析框架》,《现代经济探讨》2020年第1期。
- ③ 王超贤、张伟东、颜蒙:《数据越多越好吗——对数据要素报酬性质的跨学科分析》,《中国工业经济》2022年第7期。
- ④ Agrawal A., McHale J., Oettl A., “Finding Needles in Haystacks: Artificial Intelligence and Recombinant Growth”, *National Bureau of Economic Research*, 2018, No. 24541.
- ⑤ 肖静华、吴小龙、谢康等:《信息技术驱动中国制造转型升级——美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究》,《管理世界》2021年第3期。
- ⑥ Holmstrom J., “Recombination in Digital Innovation: Challenges, Opportunities, and the Importance of a Theoretical Framework”, *Information and Organization*, 2018, 28(2), pp. 107-110.
- ⑦ 刘平峰、张旺:《数字技术如何赋能制造业全要素生产率?》,《科学学研究》2021年第8期。
- ⑧ 江小涓:《高度联通社会中的资源重组与服务增长》,《经济研究》2017年第3期。
- ⑨ 王海军、赵惠妍、金妹彤:《模块化如何赋能企业智能制造升级?一个探索性案例研究》,《科技进步与对策》2024年第1期。
- ⑩ 安同良、杨晨:《互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应》,《经济研究》2020年第2期。
- ⑪ 王小林、杨志红:《高质量发展视角下企业数字化转型的机理》,《求索》2022年第4期。
- ⑫ 荆文君、孙宝文:《数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架》,《经济学家》2019年第2期。

依托以数字技术为核心的平台生态系统,不同经济主体、不同制造业企业之间的关系由竞争合作向互惠共生转变,由独立分散向价值共创的有机整体演化^①。信息平台效应下生产网络的重构不仅能促进资源在更广的范围内合理配置,为制造业产业链建立起一个高效的价值传递机制,更有助于推动制造业向高层次的生产组织关系演变,催生了协同研发、众包设计、供应链协同等新模式,实现知识共享和技术创新,最终带动整个制造行业的产业升级。

(三)市场需求效应拉动生产方式变革

数字技术的进步改变了消费者的行为和预期,同时为制造业突破个性化定制与大规模标准化生产之间的两难提供新思路,使制造业由产品型制造向服务型制造升级成为可能^②。首先,数字支付方式的普及使得交易过程更加安全、便捷,扩大了市场需求的规模。其次,数字技术与实体经济的深度融合催生了新模式和新业态,创造出更多服务应用场景,比如社交媒体、租赁平台、知识共享平台等^③,改变了市场需求结构。服务要素的重要性逐渐增强,消费者消费偏好由基础物质产品消费向精神性价值消费转型。此外,消费者的个性化需求增强,需求侧出现长尾市场。数字技术通过挖掘新的消费潜力和需求特点,实现了标准化生产过程与差异化需求满足过程的有效对接,促进制造业向以用户价值为导向的服务型制造转型。

随着消费需求的扩大,消费者的权力也在扩张。制造业产业升级是企业通过需求发现提供更高附加值的服务化过程,并且这一部分价值在数字经济时代逐渐占据主导^④。例如,传统的消费者参与产品研发主要以企业主导的市场调研为主,消费者被动式的参与到产品开发的过程中,研发周期长且需要消耗大量沟通成本^{⑤⑥}。而在大数据环境中,企业则可以通过智能产品搭载智能芯片,缩短信息反馈和处理周期,实时捕捉消费者偏好并灵活响应各种需求变化,消费者也可以利用虚拟现实、在线服务平台等数字技术参与到产品研发设计、产品测试、产品营销的过程中去^⑦。此时,数字技术提高了消费者参与企业价值创造的广度和深度,原本由生产者主导的产品研发和创新一定程度上转移至需求侧。产品的迭代优化与服务升级构成企业差异化竞争的关键要素,推动制造业由生产制造等低附加值环节向产品研发设计等核心环节延伸,实现产业升级。

根据上述分析,提出如下假说:

假说1:数字技术对制造业升级具有显著的正向影响。

假说2:数字技术通过改变要素投入结构、优化资源配置与促进服务化转型三种渠道推动制造业升级。

三、研究设计

(一)模型设定

为了考察数字技术驱动对制造业升级的影响,构建如下计量模型:

① 焦勇:《数字经济赋能制造业转型:从价值重塑到价值创造》,《经济学家》2020年第6期。

② 吴义爽、盛亚、蔡宁:《基于互联网+的大规模智能定制研究——青岛红领服饰与佛山维尚家具案例》,《中国工业经济》2016年第4期。

③ Parker G., Alstyne M. V., Jiang X., “Platform Ecosystems: How Developers Invert the Firm”, *MIS Quarterly*, 2017, 41(1), pp. 255-266.

④ 陈晓红、李杨扬、宋丽洁等:《数字经济理论体系与研究展望》,《管理世界》2022年第2期。

⑤ Priem R. L., Li S., Carr J. C., “Insights and New Directions from Demand-Side Approaches to Technology Innovation, Entrepreneurship, and Strategic Management Research”, *Journal of Management*, 2012, 38(1), pp. 346-374.

⑥ 陈以增、王斌达:《大数据驱动下顾客参与的产品开发方法研究》,《科技进步与对策》2015年第10期。

⑦ Nambisan S., “Digital Entrepreneurship: Toward a Digital Technology Perspective of Entrepreneurship”, *Entrepreneurship Theory and Practice*, 2017, 41(6), pp. 1029-1055.

$$Var_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{ijt} + \alpha_2 X_{ijt} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中,下标*i*、*j*、*t*分别表示国家、行业、年份,被解释变量 Var_{ijt} 表示国家*i*制造行业*j*在*t*年的增加值率,核心解释变量 Dig_{ijt} 表示国家*i*制造行业*j*在*t*年的数字技术水平, X 表示行业和宏观层面的控制变量, μ_i 和 λ_t 分别表示行业固定效应和时间固定效应, α_1 为待估参数, ϵ_{ijt} 为模型随机误差项。

(二)变量选取及测度

1.核心解释变量:数字技术(Dig)。根据国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》中对数字行业的划分,WIOD投入产出表中涉及数字技术投入的行业主要有以下四个:计算机、电子产品和光学产品制造业(C26),电信行业(J61),计算机程序设计、咨询及相关活动(J62),信息服务活动(J63)。

表1 数字技术行业在国民经济行业分类与WIOD行业分类对应关系

GB/T 4754-2017	国民经济行业分类	2016版WIOD-ICIO	WIOD行业分类
C39	计算机、通信和其他电子设备制造业	C26	计算机、电子产品和光学产品制造业
I63	电信、广播电视和卫星传输服务	J61	电信行业
I64	互联网和相关服务	J62	计算机程序设计、咨询及相关活动
I65	软件和信息技术服务业	J63	信息服务活动

资料来源:作者自制。

借鉴刘斌等的研究^①,运用投入产出法计算制造业各行业对数字技术的直接消耗系数,再根据直接消耗系数计算完全消耗系数。计算公式如下:

$$a_{qj} = \frac{X_{qj}}{X_j} \quad (2)$$

$$b_{qj} = a_{qj} + \sum_{k=1}^n a_{qk} a_{kj} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{qs} a_{sk} a_{kj} + \dots \quad (3)$$

其中,(2)式中 a_{qj} 表示制造业行业*j*生产单位产出对数字技术行业*q*的直接消耗系数, X_{qj} 表示数字技术行业*q*对制造业行业*j*的要素投入, X_j 表示制造业*j*行业的总投入;(3)式中 b_{qj} 表示完全消耗系数,包括制造业行业*j*对数字技术行业*q*的直接消耗 a_{qj} 和*n*轮间接消耗(右侧第二、第三项,以此类推)的总和。与直接消耗系数相比,完全消耗系数是可以全面反映数字技术投入对制造业行业影响的绝对指标。

然而,由于完全消耗系数表示的是数字技术的投入绝对量对制造业行业的影响,所以借鉴谢靖等的做法^②,进一步采用完全依赖度这一相对指标来刻画制造业各行业的数字技术水平。计算公式如下:

$$Dig = \frac{\sum_q b_{qj}}{\sum_n b_{nj}} \quad (4)$$

其中,(4)式中 Dig 表示完全依赖度,是制造业行业*j*对数字技术行业集合的完全消耗占此制造行业对所有行业完全消耗的比重,是衡量数字技术投入占制造业总投入的相对指标。这一指标与完全消耗系数相比,可以更好地反映数字技术投入在总投入中的重要程度。因此,将完全依赖度用于基准模型回归中,将完全消耗系数用于后期的稳健性检验中。

2.被解释变量:制造业升级(Var)。制造业产业升级的过程实质上是产业向高附加值、高获利能

① 刘斌、魏倩、吕越等:《制造业服务化与价值链升级》,《经济研究》2016年第3期。

② 谢靖、王少红:《数字经济与制造业企业出口产品质量升级》,《武汉大学学报(哲学社会科学版)》2022年第1期。

力演变的过程。借鉴苏杭、张志醒等学者的研究^{①②},采用制造业各行业的增加值率,即制造业增加值与总产出之比来衡量制造业升级水平。在后期的稳健性检验中,用DEA-Malmquist指数法测度的制造业全要素生产率作为制造业升级的替代变量^③。其中,资本投入为制造业的名义资本存量,劳动投入为各国或地区的制造业就业规模,产出变量为制造业增加值。

3.控制变量。行业控制变量包括:制造业规模(*scale*),采用制造业行业总产出(百万美元)的对数值表示;制造业就业规模(*emp*),采用制造业就业人数(千人)的对数值表示。同时在宏观层面控制外商直接投资水平(*fdi*),采用外商直接投资净流入额占GDP的比值表示;全球化参与程度(*tradeopen*),采用贸易总额占GDP的比重表示;研发水平(*rd*),采用研发支出占GDP的比重表示;人力资本水平(*hc*),采用人力资本指数表示;政府规模(*govern*),采用政府消费占GDP的比重表示。

(三)数据来源及说明

计算制造业对数字技术行业的直接消耗系数、完全消耗系数、完全依赖度的相关数据均来自2016版世界投入产出数据库(WIOD)。将C10—C32划分为制造业,G45—M73划分为服务业,计算制造业增加值率,全要素生产率、制造业规模、制造业就业规模的数据来自WIOD数据库的社会经济账户(SEA)。为剔除价格和汇率因素的影响,将相关变量调整为以2010年为基期的不变美元价格。人力资本水平数据来自宾夕法尼亚大学世界数据库(PWT9.1)。其他变量数据均来源于世界发展指标数据库(WDI)。

四、实证结果

(一)基准回归结果

表2展示了数字技术影响制造业升级的基准回归结果。其中,第(1)列仅加入核心解释变量进行回归,结果显示数字技术的回归系数在1%的水平上显著为正,初步验证了数字技术投入有助于制造业升级。第(2)和(3)列表示逐步控制个体固定效应和时间固定效应后的回归结果,第(4)—(6)列表示加入了控制变量后的回归结果,可以看出无论是否加入固定效应和控制变量,核心解释变量(*Dig*)的估计系数均显著为正,说明数字技术投入总体上对制造业升级具有促进作用。假说1得到验证。

表2 基准回归的估计结果

变量	Var (1)	Var (2)	Var (3)	Var (4)	Var (5)	Var (6)
<i>Dig</i>	0.125*** (5.52)	0.089*** (4.53)	0.086*** (4.37)	0.108*** (5.37)	0.101*** (6.07)	0.104*** (6.40)
常数项	0.315*** (230.93)	0.317*** (245.63)	0.317*** (246.77)	0.393*** (39.82)	0.146*** (4.58)	0.916*** (15.11)
控制变量	否	否	否	是	是	是
个体固定效应	否	是	是	否	是	是
时间固定效应	否	否	是	否	否	是
观测值	11340	11340	11340	10616	10616	10616
调整的R ²	0.00445	0.150	0.156	0.196	0.417	0.431

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,括号中为t统计值。以下各表同。

① 苏杭、郑磊、牟逸飞:《要素禀赋与中国制造业产业升级——基于WIOD和中国工业企业数据库的分析》,《管理世界》2017年第4期。

② 张志醒、刘东升:《生产服务化与制造业转型升级》,《现代经济探讨》2018年第1期。

③ Fare R., Grosskopf S., Norris M., et al., “Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries”, *American Economic Review*, 1994, 84(1), pp. 66-83.

(二)内生性处理

采取固定效应模型来估计数字技术对制造业升级的影响,在一定程度上可以缓解遗漏变量所导致的内生性偏误。然而,由于数字技术投入与制造业升级之间可能存在反向因果的问题,即高附加值、高生产率的制造业对数字技术的需求相对更多,而低附加值、低生产率的行业需求低。因此,进一步引入以下两种方法来缓解由于测量误差和反向因果导致的内生性问题。

1. 借鉴刘斌、祝树金等的研究^{①②},选取数字技术投入的一阶滞后变量和其他国家数字技术投入水平的均值作为核心解释变量的工具变量进行两阶段最小二乘法(2SLS)回归。表3第(1)和(3)列汇报了未加入控制变量的回归结果,第(2)和(4)列汇报了加入控制变量的回归结果。在考虑了内生性的情况下,核心解释变量(*Dig*)依然在1%的水平上显著为正,表明数字技术对制造业升级具有正向影响。同时,LM统计量与Wald F统计量在较高水平上拒绝了“工具变量不可识别”和“工具变量为弱识别”的假设,说明工具变量的选取合理且有效,基准回归结果是稳健的。

2. 采用广义矩估计(GMM)的方法对模型的内生性偏误进行进一步分析。表4第(1)列表示的是系统GMM的回归结果,第(2)列表示的是差分GMM的回归结果。结果显示,核心解释变量(*Dig*)在1%的水平上显著为正,再次验证了数字技术驱动制造业升级的基本假设。AR(1)和AR(2)的结果表示,模型中存在残差一阶序列相关但不存在二阶及二阶以上的自相关,同时Sargan检验的P值分别为0.557和0.484,验证了工具变量选择的有效性。

表3 工具变量的估计结果

变量	其他国家均值		滞后一期	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Dig</i>	0.182*** (7.92)	0.184*** (9.43)	0.092*** (4.42)	0.109*** (6.29)
控制变量	否	是	否	是
个体与时间固定效应	是	是	是	是
观测值	11340	10616	10584	9940
Kleibergen-Paap rk LM statistic	711.328	676.200	600.022	566.855
Kleibergen-Paap rk Wald F statistic	4810.201	4640.590	1.3e+0.5	1.2e+0.5

表4 GMM动态面板的估计结果

变量	系统GMM	差分GMM
	(1)	(2)
<i>Var</i> 滞后一期	0.789*** (15.24)	0.671*** (3.87)
<i>Dig</i>	0.040* (1.95)	0.304* (1.85)
控制变量	是	是
个体与时间固定效应	是	是
观测值	9940	8792
AR(1)	0.000	0.000
AR(2)	0.458	0.744
Sargan 检验	0.557	0.484

注:AR(1)、AR(2)中的数值和Sargan检验结果均为P值。

① 刘斌、魏倩、吕越等:《制造业服务化与价值链升级》,《经济研究》2016年第3期。

② 祝树金、王哲伦、王梓瑄:《全球价值链嵌入、技术创新与制造业服务化》,《国际商务研究》2021年第3期。

（三）稳健性检验

1. 替换核心变量。为了缓解由于变量测度导致的估计偏差,采用制造业对数字技术的完全消耗系数和制造业全要素生产率(TFP)作为数字技术和制造业升级的替代变量。表5第(1)和(2)列分别为替换核心解释变量和被解释变量的回归结果。可见无论采用何种测度指标,结论均与前文保持一致,验证了基准回归结果的稳健性。

2. 改变聚类稳健标准误。考虑到制造业同一细分行业内部在不同时期、不同国家之间可能存在的自相关问题,采取行业-国家、行业-年份层面的聚类稳健标准误重新进行估计,观察聚类层面的改变是否会影响核心解释变量的显著性。回归结果表明,改变聚类稳健标准误后的核心解释变量的系数依然显著为正。

3. 剔除特殊事件的影响。考虑到2008年全球性金融危机对各国的影响,剔除了2008年的样本观测值后再次回归。回归结果与基准回归基本一致,核心结论依然成立。

4. 双边1%缩尾。为了降低离群值对回归的影响,对基准回归中的核心解释变量和被解释变量进行双侧1%的缩尾处理。处理后的结果表明,数字技术投入对制造业升级仍然在1%的水平上显著为正,再次验证了基准结果的稳健性。

表5 稳健性检验的估计结果

变量	替换核心解释变量	更换被解释变量	改变聚类标准误	剔除特殊事件	双边缩尾
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Dig</i>	0.531*** (3.23)	0.155* (1.76)	0.104* (1.93)	0.101*** (6.07)	0.110*** (6.70)
控制变量	是	是	是	是	是
个体与时间固定效应	是	是	是	是	是
观测值	10616	9607	10616	9885	10616
调整的R ²	0.043	0.199	0.431	0.430	0.434

（四）异质性分析

1. 制造业技术水平。由于制造业各行业的资本、劳动、技术要素的密集程度具有较大差异,数字技术投入对制造业升级的驱动作用可能存在行业异质性。参考杜传忠和侯佳妮对制造业的划分方法^①,将制造业按技术密集程度划分为低技术制造业、中低技术制造业和高技术制造业^②,分别考察数字技术投入对其的差异化影响。如表6所示,数字技术对三种技术水平制造业影响的估计系数均显著为正。具体来看,中低技术和低技术制造业的估计系数值均大于高技术制造业,中低技术制造业受数字技术的影响最大,其次是低技术和高技术制造业。可能的原因在于,数字技术本身所具有的知识技术密集特性对传统生产要素的替代作用更强,促进了低技术和中低技术制造业生产的智能化、自动化转型,增加了资本积累^③。而高技术制造业的产业升级对人力资本结构、组织管理效率、制度环境等条件具有更高的要求。因此,数字技术对高技术水平制造业升级的直接效应有限。

① 杜传忠、侯佳妮:《制造业与服务业融合能否有效缓解服务业“成本病”——基于WIOD中国数据的经验事实》,《山西财经大学学报》2021年第3期。

② 低技术制造业包括C10—C18、C31—C32,中低技术制造业包括C19—C25,高技术制造业包括C26—C30。

③ 陈彦斌、林晨、陈小亮:《人工智能、老龄化与经济增长》,《经济研究》2019年第7期。

表6 异质性检验的估计结果(1)

变量	低技术水平	中低技术水平	高技术水平
	(1)	(2)	(3)
<i>Dig</i>	1.895*** (14.54)	4.098*** (10.96)	0.108*** (6.21)
控制变量	是	是	是
个体与时间固定效应	是	是	是
观测值	3561	4106	2949
调整的 R ²	0.550	0.505	0.527

2.网络基础设施情况。为考察数字技术对制造业升级的影响是否随着网络基础设施的建设和完善呈现差异性,借鉴韩剑等的研究^①,选取固定宽带互联网用户数(每百人)、移动电话用户数(每百人)、一般互联网用户数(每百人)三者的几何加权平均数来衡量一国或地区网络基础设施的发展水平。表7第(1)和(2)列表示的是网络基础设施建设完善与网络基础设施建设欠佳两种情况下,数字技术对制造业升级的异质性影响。回归结果显示,网络基础设施建设完善的国家或地区数字技术对制造业升级的影响在1%的水平上显著为正,证实了网络基础设施建设的重要性。可能的原因是,当一个国家或地区的网络基础设施普及程度越高,企业对新一代数字技术的接受程度越高,依托数字技术转型升级的成本和门槛就越低。而在网络基础设施建设的前期,由于劳动力素质低、发展基础薄弱等原因,企业难以消化新技术,需要投入大量的资金成本与学习成本,数字技术对制造业升级带来的影响较为有限。

3.数字投入来源。进一步区分制造业各行业对国内和国外数字技术投入的依赖程度,以考察不同来源的数字技术对制造业升级产生的差异化影响。表7第(3)和(4)列分别表示的是来自国内和来自国外的数字技术投入对制造业升级的影响。结果显示,不论是国内数字技术投入还是国外数字技术投入,均显著促进了制造业升级,但国内数字技术投入对制造业升级的驱动作用更强。出现上述差异的原因可能与所选取的样本国家有关。参考2010年世界银行对国家收入水平的划分标准,样本国家以高收入国家为主,以知识和资本积累为核心的数字技术相关行业发展起步较早,相较于其他国家发展水平较高,具有明显的领先优势。同时,来自本国的数字技术供应商对国内市场需求的把握更加准确,能够为本国的制造业升级提供更有针对性的服务^②。因此,来源于国内的数字技术投入对制造业升级的促进作用更强。

4.贸易壁垒。随着各国之间的生产和贸易联系愈加紧密,数字技术对制造业升级的驱动作用可能受到一国贸易壁垒的影响^③。借鉴Feenstra等的研究^④,利用UNCTAD发布的TRAINS数据库,采用简单平均有效执行关税衡量一国制造业贸易壁垒,并将所有样本按中位数分为较高关税、较低关税两组。表7第(5)和(6)列显示,在关税水平较低的分组中,数字技术对制造业升级的影响在1%的水平上显著为正,而在关税水平较高的分组中,数字技术对制造业升级呈现负向的影响。原因可能是,较低的关税水平促进了数字技术的跨国流动,数字技术本身具有的网络空间属性又进一步提高了资源的匹配效率,促进了制造业升级。反之,高额的关税限制了新技术的引进和扩散,阻碍了资源的跨地区配置,提高了生产和交易的成本,从而抑制了数字技术对制造业升级的正向促进作用。

① 韩剑、冯帆、姜晓运:《互联网发展与全球价值链嵌入——基于GVC指数的跨国经验研究》,《南开经济研究》2018年第4期。

② 王彬、高敬峰、宋玉洁:《数字技术与全球价值链分工——来自中国细分行业的经验证据》,《当代财经》2021年第12期。

③ 王孝松、吕越、赵春明:《贸易壁垒与全球价值链嵌入——以中国遭遇反倾销为例》,《中国社会科学》2017年第1期。

④ Feenstra R.C., Ma H., "Trade Facilitation and the Extensive Margin of Exports: Trade Facilitation and Exports", *Japanese Economic Review*, 2014, 65(2), pp. 158-177.

表7 异质性检验的估计结果(2)

	网络基础设施		数字投入来源		贸易壁垒	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Dig</i>	0.253*** (10.29)	-0.044** (-2.25)	0.389*** (10.36)	0.040* (1.77)	-0.114*** (-4.43)	0.162*** (8.39)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体与时间固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	5631	4985	10616	10616	2193	8423
调整的R ²	0.432	0.467	0.436	0.428	0.489	0.417

(五)机制分析

1. 生产要素投入结构。数字技术通过替代低技能劳动力等相对低端的生产要素,促使制造业生产工艺的改进和流程的自动化,提高了制造业获取增加值的能力。选取制造业的资本劳动比来衡量生产要素投入结构,计算公式如下:

$$cl_{ijt} = cap_{ijt} / emp_{ijt} \quad (5)$$

其中,*cl*表示生产要素投入结构,*cap*表示资本存量,*emp*表示就业人数。

表8第(1)列的结果显示,数字技术能够促进资本深化,优化生产要素投入结构,助力制造业由劳动密集型向资本、技术密集型升级。

表8 机制分析的估计结果

变量	生产要素投入结构	资源配置效率	制造业服务化
	(1)	(2)	(3)
<i>Dig</i>	0.065** (2.45)	0.044*** (3.11)	0.107** (2.54)
控制变量	是	是	是
个体与时间固定效应	是	是	是
观测值	10605	10231	10616
调整的R ²	0.836	0.717	0.430

2. 资源配置效率。数字技术的网络空间性可以降低制造业的搜寻和决策成本,通过信息平台有效匹配供需双方,降低资源错配对制造业造成的损失,提高制造业协同生产和分工的效率。借鉴周升起和张皓羽的做法^①,以制造业劳动配置效率和资本配置效率之和的算术平均值来衡量资源配置效率,计算公式如下:

$$Allocation_{ijt} = \frac{1}{2} \left(\frac{emp_{ijt}}{Go_{ijt}} + \frac{cap_{ijt}}{Go_{ijt}} \right) \quad (6)$$

其中,*Allocation*表示资源配置效率,*Go*表示总产出。

表8第(2)列数字技术(*Dig*)的估计系数在1%的水平下显著为正,可知数字技术对制造业资源配置效率具有正向影响,数字技术可以通过优化资本和劳动要素配置效率来提高制造业企业的生产效率^{②③}。

① 周升起、张皓羽:《数字技术应用有助于服务业全球价值链分工地位提升吗》,《国际商务(对外经济贸易大学学报)》2022年第4期。

② 史丹、孙光林:《大数据发展对制造业企业全要素生产率的影响机理研究》,《财贸经济》2022年第9期。

③ 刘平峰、张旺:《数字技术如何赋能制造业全要素生产率?》,《科学学研究》2021年第8期。

3. 制造业服务化。数字技术的发展和运用帮助企业挖掘新的市场需求,降低决策的不确定性,使企业更加便捷地利用消费端的数据进行服务化转型,创造新的价值增长点。使用制造业对服务业的完全消耗系数测度制造业服务化水平,计算公式如下:

$$Ser_{pj} = a_{pj} + \sum_{k=1}^n a_{pk} a_{kj} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ps} a_{sk} a_{kj} + \dots \quad (7)$$

表8第(3)列显示,数字技术(*Dig*)的估计系数显著为正,表示制造业的数字技术投入可以推动其服务化转型。服务要素具有黏合剂的特性,能够引导知识、技术、人力等高端生产要素进入制造业的生产过程,有利于提高产品附加值和竞争力,从而促进产业升级^①。

五、结论与对策建议

如何推进制造业升级,迈入高附加值环节,已经成为当前各国普遍关注的重要问题。基于2000—2014年世界投入产出数据库(WIOD),聚焦制造业产业内升级,从理论和实证两个方面考察了数字技术驱动制造业升级的作用机制,讨论了制造业技术水平、数字技术来源、网络基础设施和贸易壁垒的异质性影响。研究结果表明:第一,数字技术能够显著促进制造业升级,在进行了一系列稳健性检验和内生性检验之后,结论依然成立;第二,数字技术通过优化生产要素投入结构、提高资源配置效率和促进制造业服务化三条途径实现制造业升级;第三,进一步分析显示,低技术与中低技术水平制造业、源自国内的数字技术投入、网络基础设施完善和贸易壁垒低的国家,数字技术对制造业升级的促进作用更为明显。

根据上述研究结论,提出以下对策建议:(1)重视数字技术在促进制造业升级过程中的作用,提高数字创新能力,鼓励数字技术研发。在掌握基础数字技术的前提下,加强前沿技术研究攻关,不断为制造业生产提供低成本、多样化的数字产品和服务。此外,要规范数据联通标准,保障信息交流平台,充分发挥数字技术的协同效应,加强数字技术在提高资源配置效率中的作用。(2)重点推进低技术水平和中低技术水平制造业的数字技术投入,利用数字技术补齐短板,加快传统产业的自动化、智能化转型,提高其生产和运营效率。同时,加强相关数字技术的技能培训,健全人才培养体系,完善数据要素保护制度等,为高技术水平制造业升级创造条件。(3)在网络基础设施不完善、贸易壁垒高的国家或地区,如果盲目扩大数字技术投入可能会阻碍产业升级,此时需要国家率先投资与建设网络基础设施,降低关税壁垒,促进先进数字技术在国内国外的流动,为数字技术在生产过程中的应用扫清障碍。(4)数字技术只是手段而不是目的。要牢记为客户创造新价值这一根本目的,充分挖掘消费者的个性化需求,重视消费者参与的产品研发与价值共创。要加强生产性服务业的供给质量,推动先进制造业与现代服务业深度融合,实现制造业数字化、智能化、服务化转型升级。

^① 顾乃华:《生产性服务业对工业获利能力的影响和渠道——基于城市面板数据和SFA模型的实证研究》,《中国工业经济》2010年第5期。

How Digital Technology Drives Manufacturing Industry Upgrades? —Empirical Evidence Based on the WIOD Database

Liu Guoliang¹ Fu Fan¹ Yang Huixin²

(1. School of Economics, Shandong University, Jinan 250100, P.R.China;

2. School of Management, Shandong University, Jinan 250100, P.R.China)

Abstract: In the new round of scientific and technological development, how to promote the upgrading of the manufacturing industry has become an important issue of all countries in the world. The arrival of the digital technology has brought a new historical opportunity for the manufacturing industry upgrades. Focus on upgrades within the manufacturing industry, the study reveals the theoretical mechanism of the influence of digital technology on manufacturing industry upgrades in the framework of factor substitution, synergistic effect, and demand effect. And then uses World Input-Output Database (WIOD) to measure the degree of dependence of the manufacturing industry on digital technology from the perspective of production factor inputs. Furthermore, this study empirically tests the theoretical mechanism by the Generalized Method of Moments (GMM) model. The results indicate that: digital technology has a significant positive impact on manufacturing industry upgrades, and is a new driving force for industrial transformation, after a series of robustness tests and endogeneity tests, the conclusion still holds true; the theoretical mechanism shows that digital technology benefits manufacturing industry upgrades mainly through optimizing the structure of production factor inputs, improving the efficiency of resource allocation, and promoting the servitization of manufacturing industry; heterogeneity analysis shows that the promotion effect of digital technology on manufacturing industry upgrades is more obvious in manufacturing industries with lower levels of technology, in countries with better network infrastructure and lower trade barriers. In addition, digital technology from domestic sources has a greater impact on manufacturing industry upgrades. The conclusions of this study help to estimate the manufacturing industry's reliance on digital technology inputs and the impact of digital technology on upgrades within manufacturing industry, which provide empirical evidence for government policy making. Specifically, the government should guide digital technology innovation, continuously provide low-cost and diversified digital products and services for manufacturing production. In addition, it is necessary to standardize data connectivity standards, give full play to the synergistic effect of digital technology, and strengthen the role of digital technology in improving the efficiency of resource allocation. At the same time, focus on leading digital technology investment in lower-tech manufacturing industries, using digital technology to make up for shortcomings, accelerating automation and intelligent promotion of traditional manufacturing industries, thereby improving their production and operation efficiency. It is crucial for the government to take the lead in constructing network infrastructure, lowering tariff barriers, and promoting the flow of advanced digital technology domestically and internationally, so as to clear the obstacles for the application of digital technology in the production process. It is important to fully explore the needs of consumers, strengthen the supply quality of productive service industry, accelerate the deep integration and development of advanced manufacturing industry and modern service industry.

Keywords: Digital technology; Manufacturing industry upgrades; Production factor inputs; Input-output (I-O) method

[责任编辑:纪小乐 李清杨]