

分类号 F224.0/86

密级

U D C

编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 产业数字化对长江经济带制造业

升级的效应研究

研究生姓名：张维星

指导教师姓名、职称：傅德印 教授

学科、专业名称：应用经济学 数量经济学

研究方向：计量经济学方法与应用

提交日期：2023年5月30日

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 张维星 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 傅亦印 签字日期： 2023.5.30

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 张维星 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 傅亦印 签字日期： 2023.5.30

# Research on the Effect of Industry Digitization on Manufacturing Upgrading in Yangtze River Economic Belt

**Candidate: Zhang Weixing**

**Supervisor: Fu Deyin**

## 摘要

随着数字中国和《中国制造 2025》的深化，我国产业数字化已取得跨越式进展，为制造业高质量发展提供了机会窗口，为制造业转型升级创造出更广阔的市场，引领制造业创新加速。而长江经济带，横贯东中西，辐射南北，实体产业呈现聚集性分布，拥有雄厚的经济基础和发挥优势，是中国综合竞争力最强、经济发达水平最高的经济带，引领中国的制造业高质量发展。基于此，研究长江经济带 110 个地级市产业数字化对制造业升级的赋能效应具有战略意义和实践价值。

首先，以梳理产业数字化与制造业升级的相关文献为基石，深入剖析产业数字化赋能制造业升级的理论机理。同时，一方面从规模、效率、创新和能环四个维度构建长江经济带制造业升级综合评价指标体系，另一方面从农业数字化、工业数字化、金融数字化及电子商务四个维度构建产业数字化的综合评价指标体系，并运用熵权法对 2011-2020 年长江经济带 110 个地级市的数据进行测度，最后进行统计分析。

其次，立足于长江经济带 2011-2020 年 110 个地级市的面板数据，以面板双固定效应模型作为基准点，分析产业数字化对制造业升级的直接效应。同时，不仅使用替换变量、删除直辖市以及删除省会城市等方法进行稳健性检验，还使用系统 GMM 估计与工具变量法两种方法解决模型的内生性问题，进一步验证产业数字化对长江经济带制造业升级的显著正向影响。

再次，以人力资本和技术创新作为中间媒介，依托于中介效应模型进行传导机制检验。剖析发现：产业数字化具有显著的技术创新效应和人力资本效应，通过人力资本和技术创新来降本、提质、增效，是托底长江经济带制造业升级的重要法宝。

最后，从以下两方面进行异质性分析：一、构建面板门槛回归模型，以人力资本、技术创新能力、互联网水平三个变量作为门槛条件，进行分区制讨论，发现人力资本、技术创新、互联网水平均是长江经济带产业数字化升级效应的实现条件，并呈现出“边际递增”的非线性特征；二、按照地理位置和经济发展水平将长江经济带城市划分为多个子样本进一步分析。研究发现，无论不同发展水平还是不同地区来看，产业数字化对长江经济带制造业升级均具有差异化影响。

基于以上研究分析,本文从合理推进数字化转型、鼓励创新驱动和人才驱动、因地制宜制定差异化战略等角度,对长江经济带产业数字化赋能制造业升级提出切实可行的政策建议。

**关键词:** 产业数字化 制造业升级 传导机制检验 异质性分析 长江经济带

## Abstract

With the deepening of "digital China" and "Made in China 2025", China's industrial digitalization has made a breakthrough. It can provide a development opportunity for the high-quality development of the manufacturing industry, create a broader market for manufacturing upgrading, and lead the acceleration of manufacturing innovation. The Yangtze River Economic Belt, which runs through the east, west and north, radiates north and south. With clustered industries and a solid economic foundation and advantages, the Belt has the strongest comprehensive competitiveness and the highest level of economic development in China, driving the the overall development of China. Therefore, it is of strategic significance and practical value to study the empowering effect of industrial digitalization on manufacturing upgrading.

First of all, after combing the related literature foundation of industrial digitalization and manufacturing upgrading, the theoretical mechanism of industrial digitalization enabling manufacturing upgrading is deeply analyzed. At the same time, on the one hand, the comprehensive evaluation index system of manufacturing upgrading is constructed from four aspects: scale, efficiency, innovation and energy environment; on the other hand, the comprehensive evaluation index system of industrial digitalization is constructed from four dimensions: agricultural

digitalization, industrial digitalization, financial digitalization and E-commerce level. The improved entropy weight method is used to measure the data of 110 prefecture-level cities in the Yangtze River Economic Belt from 2011 to 2020, and finally statistical analysis is made.

Secondly, in order to analyze the direct effect of industrial digitalization on manufacturing upgrading, we use the panel data of 110 cities in the Yangtze River Economic Belt from 2011 to 2020 to build the panel double fixed effect model. At the same time, the robustness of the model is tested by replacing variables, removing provincial capital cities and removing municipalities directly under the central government. The endogenous problem of the model is solved by using instrumental variable method and systematic GMM estimation. It further verifies that industrial digitalization has a significant positive impact on manufacturing upgrading.

Thirdly, human capital and technological innovation are used as intermediate media, and the transmission mechanism is tested based on the intermediary effect. It is found that the digitalization of industry has significant technological innovation effect and human capital effect. Industrial digitalization reduces costs, improves quality and increases efficiency through human capital and technological innovation, which is an important magic weapon to upgrade the manufacturing industry.

Finally, the heterogeneity analysis is carried out from the following

two aspects: on the one hand, by establishing the panel threshold regression model, it is found that human capital, technological innovation and Internet level are all the conditions for realizing the digital upgrading effect of industries in the Yangtze River Economic Belt. It presents a nonlinear feature of "marginal increase"; On the other hand, on the basis of different economic development level and geographical locations, the cities are divided into several sub-samples for further analysis. It is found that, regardless of different development levels or different regions, industrial digitalization has a differentiated impact on the upgrading of manufacturing industry in the Yangtze River Economic Belt.

Therefore, this paper puts forward practical policy suggestions for upgrading the digital empowerment manufacturing industry from the perspectives of reasonably promoting digital transformation, encouraging innovation-driven and talent-driven, and formulating differentiation strategies according to local conditions.

**Keywords:** Industry digitalization; Upgrading of manufacturing; Transmission mechanism test; Heterogeneity analysis; Yangtze River Economic Belt

# 目 录

<b>1 问题的提出</b> .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	2
1.2 文献综述 .....	3
1.2.1 产业数字化的相关研究 .....	3
1.2.2 制造业升级的相关研究 .....	5
1.2.3 产业数字化对制造业升级的相关研究 .....	7
1.3 本文的研究内容及结构安排 .....	8
1.4 本文的创新点和不足之处 .....	10
1.4.1 本文的创新点 .....	10
1.4.2 本文的不足之处 .....	11
<b>2 长江经济带产业数字化对制造业升级的机理分析</b> .....	12
2.1 产业数字化与制造业升级的相关理论基础 .....	12
2.1.1 产业数字化—技术范式 .....	12
2.1.2 制造业升级理论 .....	13
2.2 产业数字化对长江经济带制造业升级的直接效应 .....	14
2.3 产业数字化对长江经济带制造业升级的传导机制 .....	15
2.3.1 人力资本效应 .....	15
2.3.2 技术创新效应 .....	16
2.4 产业数字化对长江经济带制造业升级的异质性影响 .....	18
<b>3 长江经济带产业数字化与制造业升级的测度与评价</b> .....	20
3.1 长江经济带产业数字化的测度分析 .....	20
3.1.1 产业数字化的指标体系构建 .....	20
3.1.2 产业数字化的测度与分析 .....	21
3.2 长江经济带制造业升级的测度分析 .....	26

3.2.1 长江经济带制造业升级评价指标体系的构建 .....	26
3.2.2 制造业升级的测度与分析 .....	27
<b>4 长江经济带产业数字化对制造业升级的效应研究 .....</b>	<b>31</b>
4.1 数据选取及变量描述 .....	31
4.1.1 指标选取与数据说明 .....	31
4.1.2 数据来源及描述性统计 .....	32
4.2 长江经济带产业数字化对制造业升级的直接效应 .....	33
4.2.1 计量模型设定 .....	33
4.2.2 基准回归结果分析 .....	33
4.2.3 稳健性检验 .....	35
4.2.4 内生性检验 .....	36
4.3 长江经济带产业数字化对制造业升级的传导机制检验 .....	38
4.4 长江经济带产业数字化对制造业升级的异质性分析 .....	41
4.4.1 不同门槛条件下产业数字化对制造业升级的影响 .....	41
4.4.2 不同地区产业数字化对制造业升级的影响 .....	44
4.4.3 不同发展水平城市中产业数字化对制造业升级的影响 .....	45
<b>5 结论与政策建议 .....</b>	<b>47</b>
5.1 结论 .....	47
5.2 政策建议 .....	47
<b>参考文献 .....</b>	<b>50</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>55</b>

# 1 问题的提出

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

二十大报告指出，建设数字中国，不仅需要加强数字经济和实体经济的动态契合，还需要为传统产业插上效率的数字化“翅膀”，进而加速产业的智能化、高端化和绿色化转型。当今的中国制造业规模稳居世界第一，关键核心技术取得重要突破。根据《中国制造 2025》，我国将在本世纪中叶建成引领世界制造业发展的制造强国，迈出建设社会主义现代化产业体系举足轻重的一大步。同时，《中国数字经济发展白皮书（2022 年）》指出，产业数字化继续成为各地经济发展的主攻方向。2017 年至 2021 年，我国产业数字化规模从 21.00 万亿元增至 37.18 万亿元，涨幅约 77.05 个百分点，总量稳居世界第二，占数字经济的比重从 77.21% 提升至 81.71%，占 GDP 的比重从 25.40% 提升至 32.52%，在国民经济中占绝对优势地位，产业数字化转型持续纵向深化，继续成为推动全球经济增长的主要引擎之一。产业数字化发展是大势所趋，是中国总战略布局顺利落地的攻坚力量，对落实供给侧改革、提高技术创新能力发挥着举足轻重的作用，为企业发展带来新机遇，为制造业高质量发展提供新的驱动力。

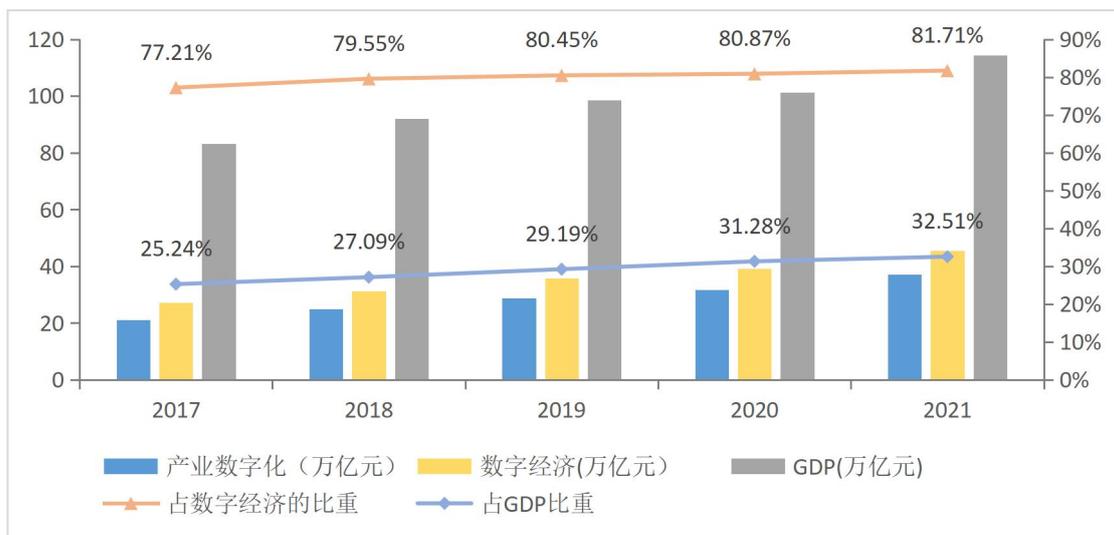


图 1.1 2017-2021 年全国产业数字化规模及其占比

虽然党的二十大报告明确指出，“我国制造业规模稳居世界第一，关键核心技术实现突破”，但制造业升级“大而不强”的问题也不容忽视。制造业软实力不足、科技创新驱动力后劲不足、高技能人才结构短缺以及高端技术大部分依赖于进口等问题，始终掣肘着制造业升级。随着中国步入新常态，我国制造业的劳动力成本和环境成本不断攀升，发达国家将视线转移至成本低廉的发展中国家，去菲律宾、越南等国建厂，我国在全球价值链的地位不断收到冲击。同时，全球经济萎靡，原材料价格上涨，企业现金流收到制约，资金压力增大，难以维持正常生产与研发。另外，中国制造虽然举世闻名，但中国的品质、品牌效应意识不足。世界对中国制造始终停留在低端制造、工艺粗糙等，中国制造发展后劲不足。因此，我们只有牢牢把握数字化兴起的先机，充分享受数字化转型带来的便利，坚定不移将数字化作为传统制造业未来发展的首要方向，才能高速驱动制造业升级。

同时，覆盖十一省市、横贯东西、辐射南北的长江经济带，区位条件和发展优势明显，产业聚集分布，长期以制造业为传统优势产业，是我国重要的内河经济带，其引领经济发展的作用持续增强。在长江经济带发展座谈会时，习近平总书记着重指出，长江经济带发展始终以实体经济为着力点，继续推进创新驱动制造业升级。在贯彻落实二十大精神的前提下，驱动长江经济带发展是关乎本国发展全局的重大战略，紧扣《中国制造 2025》总体战略布局，加速长江经济带制造业升级，对其他地区具有决定性示范引领作用。基于此，深入探究产业数字化赋能长江经济带制造业升级的影响效应与内在机理，加速推进产业数字化转型并重塑其竞争优势，是长江经济带现阶段亟待攻克的难题。

### 1.1.2 研究意义

随着中国步入新发展阶段，数字要素成为构建新发展格局的战略基点，逐步显现出对传统产业的渗透作用。产业数字化在关键要素、技术突破和基础设施方面展现出的新动力，能否成为我国制造业克服当前阻碍的有力武器，是值得思考和探索的问题。

从理论意义上看，本文力图回答数字经济背景下产业数字化如何推动长江经济带制造业升级的问题。在数字经济蓬勃发展的时代背景下，产业数字化已成为

国内学者的研究热点。学者们聚焦于产业数字化的内涵、主要特征以及内在机理等理论分析,但对产业数字化赋能制造业转型升级的实证研究仍停留在初级探索阶段。相对于已有文献,本文以习近平新时代中国特色社会主义思想作为引导,依托于长江经济带 110 个地级市,剖析长江经济带地区制造业发展困境,厘清该区域制造业升级难题,探索产业数字化促进制造业结构转型的实现机制、内在路径以及异质性影响,进一步丰富了产业数字化驱动长江经济带制造业结构升级的理论机理及研究框架。

从实践价值上看,长江经济带的制造业占据了我国制造业的半壁江山。在《中国制造 2025》总体战略布局下,推动制造业提速升级是当前亟需解决的关键性议题。立足于长江经济带 110 个地级市,浅析产业数字化发展水平和制造业升级现状与不足,对加快该经济带产业数字化进程、助力制造业升级具有决定性现实意义。一方面,此次研究为长江经济带制造业转型升级提供可行性思路。该经济带的制造业发展与转型升级,不仅局限于内部资源的匮乏和外部竞争环境的严峻,还受制于其数字化转型战略模糊,指导意义不强。本文通过分析制造业数字化转型的内在机理,为制造业转型升级提供战略导向。制造业企业可通过整合自身内外部资源,充分发挥自身优势,选取相应的转型模式,实现企业的数字化转型。另一方面,该研究有助于落实国家政策,优化制造业数字化发展环境。本文以产业数字化赋能长江经济带制造业升级为主线,浅析其赋能机制与传导渠道,并分析了长江经济带制造业结构转型过程中存在的问题,从政府角度提出了优化制造业数字化发展环境的对策建议。未来几十年是产业数字化发展的黄金时期,长江经济带制造业能否抓住机遇,应对未知挑战,完成传统制造业改革与深化,成为引领全国制造业发展的先驱力量,对中国制造业强国与现代产业化体系建设有非常重要的实践价值和战略意义。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 产业数字化的相关研究

产业数字化的跨越式飞升,为传统产业的转型升级带来新契机。同时,产业数字化率的提高也将增强一国产业的全球竞争力,成为构筑全球经济增长和我国

经济发展的新动能与时代伟力。目前，学术界对产业数字化转型的研究还处于初步阶段，主要集中在产业数字化的内涵界定以及产业数字化的指标体系构建两个方面。

产业数字化的内涵界定。各个国家对产业数字化的内涵有不一致的理解与界定。在美国，Michael Grieves（2014）早在2003年就指出了“数字化双胞胎”（Digital Twin）的内涵，即通过构建数字化模型和利用数字技术的方式，不仅实现产品生命周期和管理过程的透明化，同时还可以适度调整实体设备生产过程在运营管理平台上的指挥调度<sup>[6]</sup>。以德国“工业4.0”为代表的德国的数字化转型，主要通过智能化和互联网技术的方式，逐步完善数字化转型计划，加速智能社会的进程<sup>[21]</sup>。而英国通过提出多项数字化转型战略，加速释放数字红利的经济效益，是最早提出数字化政策的国家<sup>[18]</sup>。具体战略有数字技能与包容性战略、数字经济战略以及数字转型战略等<sup>[18]</sup>。从美、德、英三国的内涵界定可以看出，外国对产业数字化的定义大多基于具体的战略、体系、实践，并从中衍生而来。

反观中国，虽然在内涵界定上未给出统一的标准，但是可以确定的是，产业数字化发展较快，且有较为权威的理解。国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》将产业数字化定义为，应用数字技术和数据资源为传统产业带来的产出增加和效率提升。本次中国产业数字化发展的根基是数字技术与实体经济的融合，旨在利用大数据、人工智能、云计算等赋能实体经济，释放传统产业经济效能。基于此，我国学者大多认为产业数字化的关键条件是数字技术与传统产业的深度融合。产业数字化是传统产业利用数字技术，对业务进行全方位、全角度、全链条的升级（吕铁，2019）<sup>[37]</sup>，进而加速产业高质量发展的过程（肖旭和戚聿东，2019）<sup>[54]</sup>；是利用“互联网+”技术打破行业层面的数据壁垒，实现数字技术与不同行业在要素、生产、流通等环节的融合，进而优化组织形态和生产方式（何伟等，2020）<sup>[19]</sup>；也是以解决产业现实问题为导向，以数据流等创新模式，促进传统产业与新兴产业协同发展的变革力量（祝合良和王春娟，2021）<sup>[68]</sup>。总体而言，产业数字化是以数字要素为依托，以智能化和网络技术为中间渠道，以经济模式变革为内在驱动力，对传统产业进行信息化改造，激发产业潜能并释放新的经济效益的过程。

产业数字化的指标体系构建。新时代，数字技术应用广泛，传统产业模式深

刻变革，产业数字化发展迅猛，产业数字化指标量化工作也显得愈发重要。但由于该概念正式提出的时间尚短，学者们的内涵界定较少且未达成一致，构建产业数字化的评价指标体系较复杂，且尚没有统一定论。目前，学者大多把产业数字化作为国家数字经济考核的重要维度。关于产业数字化的测度，不少学者都尝试从多个维度入手，利用产业数字化的特征与结构，考虑到区域特征对数字化评价体系多维度的覆盖性和考察期内数据的完整性，去构建综合评价指标体系。例如，刘钺和余明月（2021）通过数字融合规模、产业数字化应用、产业数字化投入等维度以及与之对应的9个二级指标来度量长江经济带的产业数字化水平<sup>[33]</sup>；傅为忠和刘瑶（2021）则从数字化基础建设与数字化产出能力2个维度去构建长三角产业数字化发展水平的评价指标体系<sup>[16]</sup>；王军等（2021）从农业数字化、工业数字化以及服务业数字化三个维度去搭建产业数字化指标体系<sup>[10]</sup>；最新研究中，杨文溥（2022）从数字人才、产业数字化投入、产业数字化收入、数字基础设施4个一级指标15个二级指标对产业数字化转型进行测度<sup>[59]</sup>。参照现有文献，并依据CSMAR经济金融研究数据库对产业数字化的分类以及《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》的划分标准，本文从农业数字化、工业数字化、数字金融以及电子商务四个方面构建长江经济带产业数字化水平的评价指标体系。

## 1.2.2 制造业升级的相关研究

制造业结构的优化升级，是实现中国经济高质量发展的关键途径，对转变经济发展方式、调整经济结构发挥着举足轻重的作用。本文从制造业升级的测度研究、制造业升级的影响因素分析以及产业数字化对制造业升级的影响研究三个方面进行文献梳理。

制造业升级的测度研究。基于各自研究的侧重点及数据的可获取性，学者们对制造业升级的度量大致持两种态度：

一是参照其他学者较为成熟的做法，采用代表性较强的单一指标度量制造业升级水平。部分学者选取工业利润率和工业增加值作为制造业转型升级的代理变量，一方面用以研究生产性服务业集聚对制造业升级的影响（王治和王耀中，2010）<sup>[51]</sup>，另一方面用来分区域探讨互联网对制造业升级的促进作用（纪玉俊和张彦彦，2017）<sup>[23]</sup>；部分学者将全要素生产率作为代替指标，测度中国制造业绿色技术创

新能力或制造业结构升级（黄贇琳等，2022）<sup>[22]</sup>；还有部分学者基于中国制造业细分行业面板数据，参照傅元海等（2014）的做法，整理计算出各省高端技术产业与中端技术产业产值的比值，用来衡量制造业升级（沈运红与黄桁，2020）<sup>[17][41]</sup>。

二是以制造业升级的结构与特征为依托，从多个维度选取指标构建综合评价指标体系。比如李廉水等（2015）基于经济高质量发展中绿色发展的理念，构建了中国制造业“新型化”评价指标体系，具体包含经济、科技、环境、能源、社会服务等多个维度，对制造业升级的测度更具有当下的时代特征<sup>[28]</sup>。张继良与赵崇生（2015）从结构、效益、创新以及能耗等多个视角着手，选择8个指标赋予权重，构成综合指标体系<sup>[63]</sup>。聂国卿和郭晓东（2018）从制造业理论创新和产品创新两个角度来测度制造业创新转型水平，目的是探索环境规制对制造业高质量发展的影响<sup>[38]</sup>。任碧云和贾贺敬（2019）为测度制造业转型程度，从规模、效率、创新、能环四个维度切入，选取相关指标建立制造业升级水平<sup>[40]</sup>。

制造业升级的影响因素研究。现有研究发现，制造业升级的主要影响因素除了产业数字化之外，还包含经济发展水平、对外开放、金融发展水平、人力资本以及技术创新等方面。

①经济发展水平。大多学者以人均实际 GDP 作为经济发展的替代变量，认为经济发展是制造业升级的重要影响因素之一（彭徽和匡贤明，2019）<sup>[39]</sup>。经济发展主要从供需两端影响制造业升级：供给方面，经济发展较快的地区，不仅具有良好的软硬件环境（李磊等，2019）<sup>[27]</sup>，可以优化劳动力资源、提高劳动力质量（王姝楠，2020）<sup>[50]</sup>，还可以提供较丰富的资本，形成资本密集型集聚，加速产业快速转型；需求方面，经济发展水平越快，越有利于刺激消费，进而倒逼制造业升级（黄贇琳等 2022）<sup>[22]</sup>。

②对外开放。对外开放对制造业升级的影响主要体现在以下两个方面：一是引进高技术含量中间产品，改造制造业设备，降低中间消耗，提高制造业技术水平（曾燕玲，2014）<sup>[62]</sup>；二是学习和引进国外先进技术，产生技术扩散和外溢效应，加速制造业转型升级（王姝楠，2020）<sup>[50]</sup>。陈堂和陈光（2021）通过实证分析 2010-2019 年数据，发现对外开放可以优化国内资源配置，与产业升级存在显著相关性<sup>[11]</sup>。中国人民银行金融研究所与天津分行联合课题组（2022）定义了对外贸易结构与产业结构变化的指标，实证研究发现二者之间存在显著的线性关系

[66]。

③金融发展水平。以动态面板数据的实例看，金融发展对城市产业升级的正向推动作用存在显著时滞性（王楠，2011）<sup>[48]</sup>；以跨国面板的实证研究看，制造业服务化转型离不开金融发展与金融结构的推动效应（严晓玲等，2022）<sup>[55]</sup>；基于专业化集聚视角，金融发展水平可以降低制造业创新成本，从而发挥长江经济带制造业转型的促进效应（叶云岭等，2022）<sup>[60]</sup>。然而，还有部分学者认为金融发展对制造业升级带来显著的抑制作用，如：赵婉妤和王立国（2016）基于金融发展在产业结构转型的实践，指出中国资本市场“倒三角”结构抑制了产业结构升级，阻滞了中小企业的发展<sup>[65]</sup>；杨赏（2022）发现金融效率在一定程度上，直接限制资本密集型企业的制造业出口技术复杂度的提升<sup>[58]</sup>。

④人力资本。阳立高等（2018）以受教育年限为人力资本的替代变量，指出人力资本与制造业升级存现显著相关关系<sup>[56]</sup>。无论是技术密集型还是资本密集型企业，人力资本结构高级化可以带动制造业生产效率的提升（王蓉和黄桂田，2022）<sup>[49]</sup>。同时，目前人口红利式微，“人力资本红利”逐渐显现。人力资本以收入水平和消费结构为中间桥梁，促使产业结构高级化发展迸发新活力（俞伯阳和丛屹，2021）<sup>[61]</sup>。此外，人力资本积累还可以通过技术外溢性和知识外溢性，对制造业出口价值攀升产生影响（阳立高和韩峰，2022）<sup>[57]</sup>。

⑤技术创新。技术创新是制造业转型升级的核心动力源，技术创新、产业升级和经济增长之间存在必然的因果关系（王姝楠，2020）<sup>[50]</sup>。创新能力的投入不仅可以提升制造业劳动生产率（Miguel et al., 2015）<sup>[7]</sup>，还有助于加速制造业结构转型升级（Russu C, 2015）<sup>[9]</sup>。技术结构要与自身要素结构相适应，以技术进步获得的创新竞争优势作为桥梁和纽带，助力产业转型与经济可持续发展（林毅夫，2017）<sup>[32]</sup>。

### 1.2.3 产业数字化对制造业升级的相关研究

产业数字化是新一代信息技术对产业链数字化升级的再造过程，已成为我国产业数字化改革与制造业高质量发展的新引擎。多数学者发现，产业数字化对制造业转型升级具有积极的正向影响。刘航等（2019）指出数字经济可以赋能传统产业转型，迸发传统产业新活力<sup>[34]</sup>。Melissa Demartini et al.（2019）通过案例分

析发现,产业数字化可以刺激生产效率,提升资源利用率,进而带动制造业高质量发展<sup>[2]</sup>。焦勇和刘忠诚(2020)研究发现,数字经济是赋能智能制造并打造制造业可持续发展的强劲引擎<sup>[24]</sup>。有的学者基于产业链的视角指出,产业数字化是构筑制造业转型升级的基石(李春发等,2020)<sup>[26]</sup>;有的学者探索数字化驱动制造业高质量发展的实践道路(邝劲松和彭文斌,2020)<sup>[43]</sup>,发现产业数字化利用数字技术打破空间束缚,有利于传统产业与新兴产业的深度协同发展(沈运红和黄桁,2020)<sup>[41]</sup>。陈晓峰(2022)基于省级面板数据的经验考察,指出产业数字化发展红利显著驱动制造业转型升级,但东中西存在显著差异性<sup>[12]</sup>。数字经济以其高技术性、广外溢性、强渗透性,以数字技术与互联网作为媒介,加速推动制造业高质量发展(李史恒和屈小娥,2022)<sup>[29]</sup>。

### 1.3 本文的研究内容及结构安排

本文立足于数字经济的时代背景,以长江经济带覆盖的110个地级市为研究对象,阐述了产业数字化对制造业升级的影响机制,并在此基础上进行综合测度和实证研究。测度方面,以长江经济带110个地级市面板数据为依托,利用熵值法对产业数字化与制造业升级进行综合测度以及相应的统计分析;实证方面,基于产业数字化与制造业升级的理论机制,以面板双固定效应模型为基准点,构建动态面板模型和面板门限回归等模型,验证产业数字化对制造业升级的直接赋能效应,并从中介效应模型入手,以人力资本和技术创新两个中介作为桥梁,探索产业数字化对制造业升级的间接效应。同时,从不同的门槛条件、不同的区域以及不同的经济发展水平三个维度挖掘产业数字化对制造业升级的差异化影响。具体结构框架及内容安排如下:

第一部分为问题的提出,主要从研究背景及意义、文献综述以及研究内容与结构安排三个方面进行简要分析。文献综述主要从产业数字化的研究现状、制造业升级的研究现状以及产业数字化赋能制造业升级的效应分析三方面进行了详细梳理与总结。

第二部分为长江经济带产业数字化对制造业升级的机理分析。本部分从理论基础、传导机制以及异质性分析三个维度进行理论分析,并得出三个研究假说。理论基础包括产业数字化—技术范式与制造业升级相关理论;传导机理则从人力

资本效应和技术创新效应两个维度去分析,探究二者在产业数字化的制造业升级效应中所起作用。异质性分析方面,分不同的门槛条件、不同的区域以及不同的经济发展水平三方面,探究产业数字化对制造业升级的异质性效应。该部分的理论基础与作用机制研究为下文的实证部分做好铺垫。

第三部分为长江经济带产业数字化与制造业升级程度的测度分析。本章首先从农业数字化、工业数字化、金融数字化以及电子商务四个维度,对长江经济带产业数字化水平进行综合测度,再从规模、效率、创新和能环四个维度构建长江经济带制造业升级综合评价指标体系,并运用改进的熵权法对 2011-2020 年长江经济带 110 个地级市的数据进行测度,最后进行统计分析。

第四部分为长江经济带产业数字化对制造业升级的实证检验,本章参考其他学者有关制造业升级影响因素的研究,选择合适的控制变量,首先,立足于长江经济带 2011-2020 年 110 个地级市的面板数据,以面板双固定效应模型作为基准点,分析产业数字化对制造业升级的直接效应。再次,以人力资本和技术创新作为中间媒介,依托于中介效应进行传导机制检验。最后,异质性分析主要从不同的门槛条件、不同发展水平还是不同地区三方面入手,探究产业数字化对长江经济带制造业升级的差异化影响。

第五部分为研究结论及政策建议。针对文中研究的结论,结合长江经济带产业数字化发展的现状,提出促进区域内制造业升级的政策建议。

基于研究内容,本文结构安排见图 1.2:

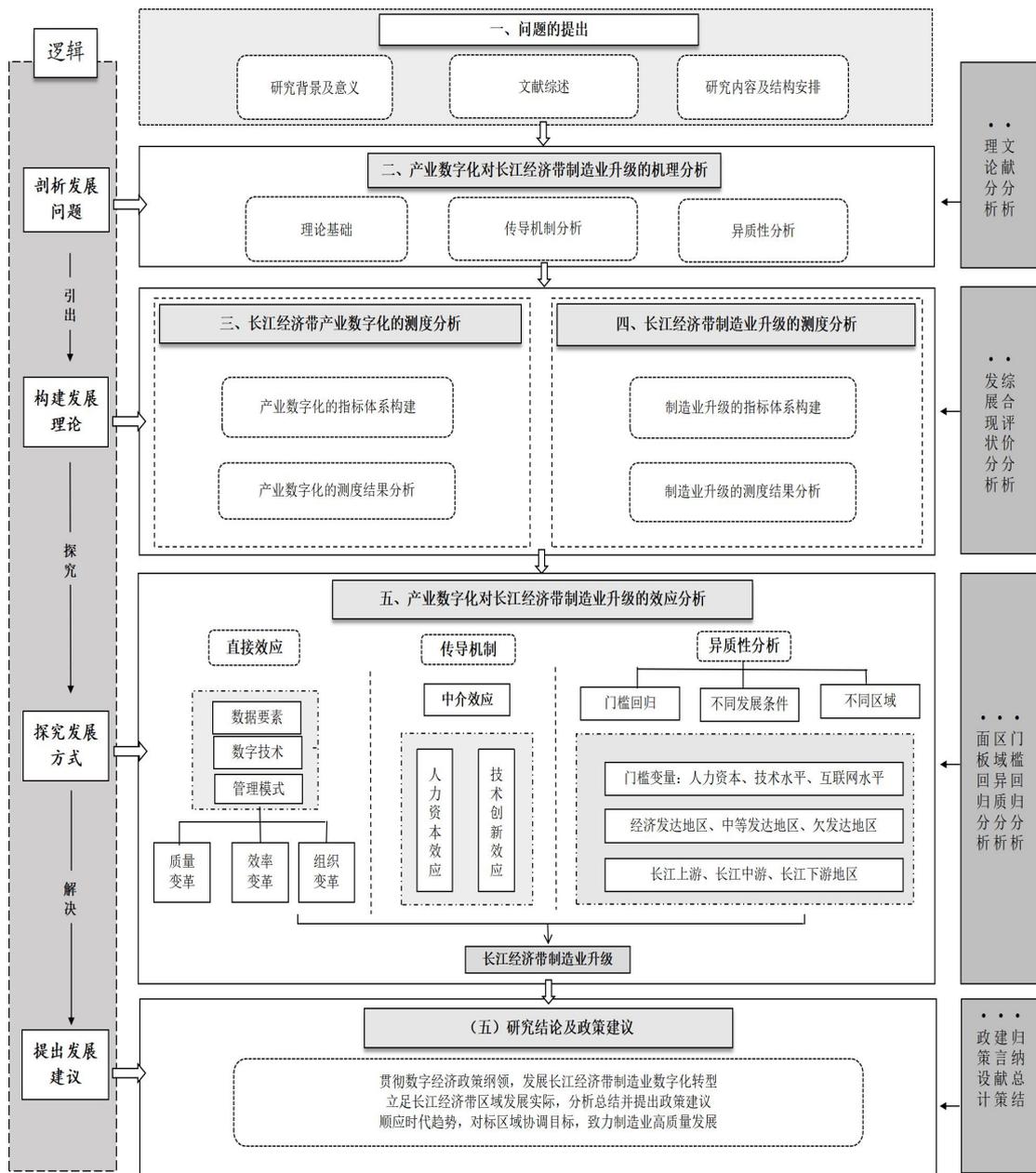


图 1.2 论文结构框架图

## 1.4 本文的创新点和不足之处

### 1.4.1 本文的创新点

本文的创新点在于以下三点：

一、细化了研究对象，将研究对象聚焦于长江经济带 110 个地级市。现阶段

产业数字化促进制造业的升级的研究大多聚焦于单个省市或是长三角、珠三角等区域，且大多采用省域面板数据，鲜有学者选择长江经济带作为研究对象，并用地级市数据进行分析。本文依托于长江经济带 110 个地级市数据，借助静态面板模型、动态面板模型以及面板门槛回归模型等进行计量检验，并借助广义矩估计和工具变量法两种方式，解决了模型的内生性问题，从而以小见大，以点带面提升全国制造业数字化水平；

二、丰富了产业数字化的综合测度指标体系。基于 CSMAR 国泰安数据库对产业数字化的分类，并参考《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》的划分标准，从农业数字化、工业数字化、数字金融以及电子商务四个方面构建长江经济带产业数字化水平的评价指标体系，并利用熵权法科学客观合理地对产业数字化进行综合测度，测度较新颖且系统；

三、拓展了产业数字化与制造业升级的机制分析路径。从产业数字化的创新效应和人力资本效应等方面进行机制分析，为产业数字化促进制造业升级的机制路径分析提供了思路。本研究既对新时代中国产业数字化赋能产业升级的理论体系做出了补充，也为“十四五”时期制造业高质量发展中面临的数字化转型问题提供了可行性建议。

#### 1.4.2 本文的不足之处

研究对象方面，虽然聚焦于长江经济带 110 个地级市，并用多种方式解决了模型的内生性问题，但纵观全国，制造业发展水平参差不齐，仍需继续拓展样本，进而深度刻画全国制造业数字化程度。

指标体系方面，两个指标都是综合评价指标，涵盖的范围较多，虽然也借鉴了《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》，但由于数字政府、数字社会等无法简单量化，所以本文更多参考 CSMAR 国泰安数据库对产业数字化的分类，指标体系构建仍有进一步探索空间。

## 2 长江经济带产业数字化对制造业升级的机理分析

本部分从产业数字化和制造业升级的相关理论基础、产业数字化对长江经济带制造业升级的传导机制以及产业数字化对制造业升级的异质性分析几方面进行理论论述，为后续实证做好理论铺垫。

### 2.1 产业数字化与制造业升级的相关理论基础

#### 2.1.1 产业数字化—技术范式

产业数字化—技术范式，即以数据为核心要素，利用数字技术不断向传统产业渗透，推动传统产业转型，加速实现实体经济的重塑作用（黄群慧等，2019）<sup>[20]</sup>。当前，我国产业数字化—技术范式主要有：工业互联网、产业互联网、智能制造等（赵剑波，2022）<sup>[64]</sup>。

①工业互联网（Industrial Internet of Things，简称为IIOT），是物联网与产业融合产生的新业态（Martin Wollschlaege et al.,2017）<sup>[10]</sup>。以政府的“智能制造”与“工业发展规划”作为导向，工业互联网是指专门应用在工业数字化与智能化领域的新型基础设施、应用模式和工业生态<sup>[10]</sup>。其本质是以人、机、物、系统之间的网络互联为基础，对工业数据进行全面深度感知、实时传输交换、快速计算处理及高级建模分析，进而实现智能控制、运营优化与组织变革（盛磊，2020）<sup>[43]</sup>。从数字化转型角度，工业互联网是网络强国建设的核心要素。以其强渗透性、高灵活的特性为切入点，拓展网络经济空间，加速数字技术与实体经济的融合协同效应，实现从虚拟到实体的跨越，实现数字化技术的全方位、多领域、跨地区的快速渗透。

②产业互联网（Industrial Internet，简称为II）。其内涵区别于工业互联网，是以数据要素为媒介，以生产者为用户对象（李晓华，2019）<sup>[30]</sup>，整合优化产业链上下游厂商资源配置，协调经营管理和生产管理经济形态（腾讯研究院，2019）<sup>[46]</sup>，具有智能化、网络化、功能性和效用性等特性（谭清美，2016）<sup>[44]</sup>，为产业数字化、智能化、网络化发展提供实现路径。从产业发展的角度，产业互联网为制造业强国建设提供关键支撑点，一方面以全面互联互通的本质推动加快传统

产业转型升级，提质、降本、增效，使得制造业智能化、网络化、自动化取得跨越式发展；另一方面，通过信息技术的应用，引领产业创新加速，培育壮大新兴产业，加速质量和效率变革，催生诸如智能制造、数字化管理等新业态和新模式。

③智能制造（Intelligent Manufacturing，简称 IM）。近年来，在德国工业 4.0、《中国制造 2025》等政府文件的带动下，智能制造逐渐成为工业互联网的核心，是发展先进制造业的关键所在，也是制造业智能化的成熟阶段。智能制造的具体内涵是：在人工智能和新一代信息技术的根基上，以产品制造全流程和全生命周期作为客体，基于数字化、智能化、网络化等关键特征，将人工智能赋予生产运作系统，对外界信息进行自感知、自决策和自执行（Michael E. Porter et al.,2014）<sup>[8]</sup>。智能制造可以简化各个生产环节和流程，加速产品更新换代，提高生产效率，为我国制造业在转型升级和国际竞争中带来不容小觑的优势。

## 2.1.2 制造业升级理论

随着市场环境的复杂化以及《中国制造 2025》政策的深化，制造业升级的演进过程逐渐多样化，不仅包括改进生产要素实现低附加值到高附加值的演变，改变生产方式实现高污染、低生产率到低污染、高生产率的过渡（曾艳玲，2014）<sup>[62]</sup>，还包括对传统产业进行技术创新进而提质增效，实现劳动密集型产业转为技术密集型企业等方面。关于制造业升级的研究理论也日益丰富，主要包括：比较优势理论、全球价值链理论等。

①比较优势理论。改革开放以来，我国产业结构演进主要表现为比较优势的利用和发挥。该理论以林毅夫为代表，从早期的市场交易和制造分工的角度出发，强调要素禀赋的重要性。他从要素禀赋比较优势入手，认为发展中国家应选择与比较优势相契合的技术与产业结构（林毅夫，2017）<sup>[32]</sup>，才能刺激要素禀赋结构的快速升级，从而加速推进制造业迈向资本和技术密集性产业（Gereffi et al.,1999）<sup>[3]</sup>。相较于研发投入和技术投入，人力资本是制造业升级比较优势的核心决定要素。只有加大劳动力投入，加速推进“人口红利”转向“人力资本红利”，才能实现“制造大国”向“制造强国”的转变。

②全球价值链理论。全球价值链是指从企业生产到销售等各个环节再全球经济带布局。旨在通过与全球性跨企业网络组织连接，发掘商品潜在价值，并实现企业收益最大化。在参与国际分工的过程中，中国制造业积极融入全球价值链分

工，利用其要素禀赋优势，积极应对全球价值链重构。中国制造业需要升级要素禀赋，积极培育内生比较优势（包括“干中学”和知识积累等），通过加快比较优势的动态演化，完成向全球价值链中高端环节的“攀升”（Jiandong Ju et al.,2018）<sup>[4]</sup>，进而实现“中国制造 2025”的目标。新时代以来，互联网、大数据和云计算等技术的快速进展，使得比较优势理论和全球价值链理论在制造业升级方面呈现出融合的趋势，这为制造业升级路径提供了很好的借鉴。

## 2.2 产业数字化对长江经济带制造业升级的直接效应

产业数字化旨在以数据资源和数字技术为核心要素，加速提升传统产业的产出增加和效率提升部分，实质是实体经济与传统产业的渗透融合<sup>①</sup>。基于此概念，产业数字化从数据要素、数字技术、管理模式三个维度，赋能制造业质量变革、效率变革以及组织变革。第一，产业数字化以数据要素的非竞争性、外部性、强流动性、高渗透性等特征，实现制造业质量变革。产业数字化赋能制造业升级不仅有利于优化资源合理配置，打破空间限制，实现虚拟空间与实体经济的融合，提高制造业产品质量（李治国和王杰，2021）<sup>[31]</sup>，可以在产品设计环节，为客户按需专门定制差异化产品（朱小艳，2022）<sup>[67]</sup>，还可以在生产环节发挥重要的“价值创造”效应，有效延伸产业链长度（Martínez-Caro et al.,2020）<sup>[5]</sup>；第二，数字技术广泛应用于生产和业务环节，实现制造业效率变革。生产方面，产业数字化是依托工业互联网、人工智能等数字技术，向不同传统产业渗透，以较低的投入跨地区提供高品质产品与服务，提高制造业生产效率，扩大销售范围（吕铁和李载驰，2021）<sup>[36]</sup>，还改善了信息不对称的局面，大大促进了行业内部信息联动，引导制造业产业链实现颠覆式变革（陈晓峰，2022）<sup>[12]</sup>；消费方面，数字技术的应用可以帮助消费者降低搜寻时间和交易成本，为消费者提供更多便利，改善消费者福利。数字技术能够通过刺激效率提升与产业跨界融合，驱动制造业产业逐步走向智能化、网络化和灵活化，最终实现高质量发展的根本目标（肖旭和戚聿东，2019）<sup>[54]</sup>；第三，产业数字化优化管理模式，改进企业管理模式，提升管理效率，进而推动制造业组织变革。一方面，管理层积极依靠信息技术，塑造企业

<sup>①</sup> 2021年5月14日国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》。

内部组织结构，调整管理模式，制定有效的战略计划，实施恰当的营销活动，保证决策质量以获取竞争优势与绩效提升（Martínez-Caro et al., 2020）<sup>[5]</sup>，另一方面，实行计算机、大数据等辅助管理，提高人员素质、优化部门结构以及加强技术改造。产业数字化以数据要素为媒介，运用数字技术和互联网技术，优化组织模式和管理模式等，加速传统制造业和新型产业相融合，刺激长江经济带的制造业转型升级。因此，本文提出以下假设：

H1：产业数字化对制造业升级有显著的正向驱动效应。

## 2.3 产业数字化对长江经济带制造业升级的传导机制

数字经济背景下，长江经济带制造业升级面临着数字生态体系不成熟、人口红利削减，劳动力素质降低等问题和困境。虽然已有不少文献研究数字经济与制造业升级的关系，但均浅尝辄止，本文立足于长江经济带，把握产业数字化的高渗透性和强流动性的特性，顺应制造业升级的基本规律，通过人力资本效应和技术创新效应两种渠道，探索研究产业数字化对制造业升级的间接影响。

### 2.3.1 人力资本效应

人力资本理论认为，作为知识和技能的载体，高质量人力资本是提高生产效率、促进经济增长的核心要素。产业数字化能够优化人力资本要素，改善人力资本结构，进而为制造业转型注入新鲜的生命力。一方面，产业数字化重塑制造业内部的人才结构，人力资本结构朝高级化方向发展（韦庄禹等，2021）<sup>[52]</sup>。随着数字技术在制造业各个环节的渗透，产业数字化对技术型人才需求量变大，人力资本需求层次发生变化（陈晓峰，2022）<sup>[12]</sup>。产业数字化以数字技术代替简单的手工劳动力，优化生产技术和生产工艺，简化产业上下游繁琐工序，低技能劳动力逐渐被挤出，高技能劳动力逐渐被大规模需要。为了适应劳动力市场需求的变化，劳动力主动提升自己，改善人力资本素养。不仅主动吸收技术含量高的专业知识和技能，还加强数字技术培训，提升劳动力质量，人力资本逐渐流入高端产业，进而推动制造业由低端向高端制造业转型（陈晓峰，2022）<sup>[12]</sup>。同时，人力资本的有效积累促使生产要素优化配置，加快各种要素资源向高端产业转移，推动制造业结构不断优化升级（崔艺瑄和熊晓轶，2021）<sup>[13]</sup>；另一方面，人力资本

会借助提高制造业的研发水平和技术水平、改进创新效率等多方面手段，为制造业升级提供人才、技术支撑（盛丰，2014）<sup>[42]</sup>。苏杭等（2017）指出，要实现“中国制造 2025”的战略目标，必须要优化要素禀赋，尤其是高质量人才积累<sup>[4]</sup>。阳立高和韩峰（2022）认为，我国束缚制造业转型最主要因素是高知识技能型人才和高层次创新型人才严重不足与核心技术和攻关能力严重匮乏<sup>[57]</sup>。人力资本的积累是技术创新的关键前提，是制造业升级的先导力量。劳动力素质的提升，不仅能有效应对我国劳动力优势由“人口红利”向“人力资本红利”转变，而且能够适应数字技术变革下对劳动力的技能需求，为驱动制造业升级提供人才支撑（黄贇琳等，2022）<sup>[22]</sup>。因此，数字经济在为制造业高质量发展赋予巨大发展动力的同时，提升了对知识技能型人力资本的需求，倒逼人力资本质量不断提高，对制造业高质量发展的贡献力度不断增强。

### 2.3.2 技术创新效应

根据新经济增长理论，内生技术进步是经济增长的主要动力，创新是产生技术进步的核心动力。随着技术创新能力的提升，产业数字化赋能制造业升级已取得飞跃式进展。

一方面，产业数字化对技术创新具有明显的赋能效应。产业数字化应用的企业主要集中分布在知识密集型和技术密集型行业，如 ICT 行业。该行业的技术以高渗透性、强外溢性及融合创新为特点，数字技术不断向传统产业渗透，进而衍生出新产品、新业态、新模式（丁志帆，2020）<sup>[4]</sup>。从产品创新看，新一代信息技术与数字技术的创新突破，为产品设计与生产提供了技术支撑，传统商品赋予数字技术含量，不仅可以加速产品创新和价值增值，加速新老产品更新，带动产品和产业优化升级（陶长琪和周璇，2015）<sup>[45]</sup>，还可以按需设计异质化产品，满足消费者的多样化需求，进而进一步开辟市场。新产品的出现不仅提高了企业在该行业内的竞争力，还助力企业研发技术进步，进而驱动制造业升级；从业态创新看，数字经济的强渗透性和强扩散性打破了传统产业体系内各业态之间的边界，以新的经营方式和经营技术，刺激数字技术与实体经济的融合，催生传统产业和新兴产业相融合，形成新业态，带动价值创造、价值增殖，赋予产业更多的创新性和灵活性（李史恒和屈小娥，2022）<sup>[29]</sup>；从模式创新看，在当前数字经济时代，以供给为导向的商业模式正在被以需求为导向的互联网商业模式所替代

（罗珉和李亮宇，2015）<sup>[35]</sup>。得益于数字平台和数字技术的广泛应用，产生了网络直播、线上线下融合、门户网站、电子商务等新兴商业模式（李史恒和屈小娥，2022）<sup>[29]</sup>，其不断赋能传统商业，促进传统商业模式的创新发展。

另一方面，技术创新是制造业结构转型的强劲引擎，有利于制造业高附加值化。产业数字化发展促进制造业实现创新发展（温珺等，2020）<sup>[53]</sup>。企业通过创造具有更高价值且难以被模仿的数字机会，来指导企业更有针对性地进行产品、产业、模式创新，重新调整数字机会和资源的匹配方式，引领数字机会的创造方向，推动制造业高质量发展。技术创新是技术进步的源泉，知识和技术的外溢性，极大优化了产品配置效率，以低成本实现科学知识和信息的快速渗透，带动低附加值产品转向高附加值产品（Bloom et al., 2013）<sup>[1]</sup>。数据作为知识密集型和技术密集型要素，广泛应用于制造业各个环节，不仅具有技术溢出性，提升高端核心技术能力（傅元海等，2014）<sup>[17]</sup>，还创新驱动传统制造业效率改革，提高了资源配置效率，降低了社会福利的损失，最大化地激发了商业活力，增加了商业利润（崔艺瑄和熊晓轶，2021）<sup>[13]</sup>。得益于数字技术的广泛应用，传统制造业改善生产管理，提高与生产要素的匹配程度和周转效率，从而降低制造业企业的运行成本，促进制造业升级（陈晓峰，2022）<sup>[12]</sup>。

综上所述，产品创新为业态创新指明了前进方向，为模式创新提供了技术支撑，在三者的共同驱动作用下，制造业的生产效率和创新效率有了显著进展，进而促进制造业快速转型。据此，提出如下假设：

**H2：**人力资本效应与技术创新效应是产业数字化促进制造业升级的重要法宝，带动制造业转型升级。

综上所述，具体作用机制如图 2.1 所示：

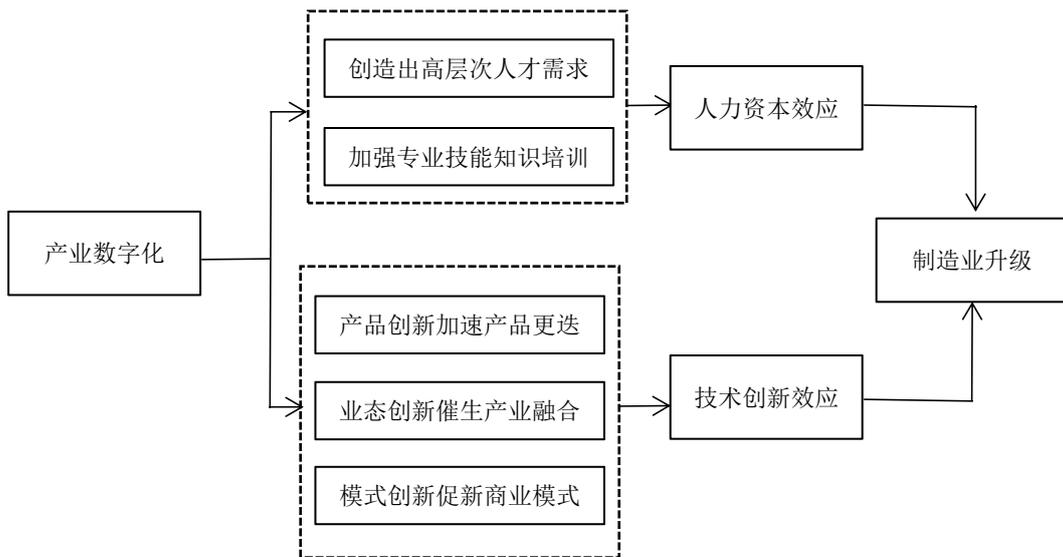


图 2.1 产业数字化对制造业升级的作用机制

## 2.4 产业数字化对长江经济带制造业升级的异质性影响

梳理文献发现,无论是从不同的门槛条件、不同地区还是不同发展水平来看,数字经济对制造业升级的影响存在显著差异性。

从不同的实现条件来看,数字经济对制造业转型的影响存在差异性。一方面受人力资本、技术能力、互联网宽带接入用户数的影响,数字经济的升级效应表现出门槛效应,在门槛值前后,数字经济的升级效应呈现出“边际递增”的态势,斜率逐渐增大(黄贇琳等,2022)<sup>[22]</sup>,另一方面,超过某个门槛值时,制造业自身数字化与智能化改造程度会制约数字经济对制造业出口技术复杂度的促进效应(杜传忠和管海锋,2021)<sup>[15]</sup>。

从不同的区域来看,数字经济对制造业转型具有区域差异性。陈晓峰(2022)利用省域面板数据实证得出,东部地区和西部地区的影响效应显著于中部地区<sup>[12]</sup>。东部地区不仅受益于天然的物质资源、便利的交通和优越的地理位置,还得益于丰富的人力资本和技术投入,制造业发展始终处于领先地位,并带动中西部地区制造业转型发展。而西部地区则凭借着“西部大开发”等政策的扶持,数字技术投入的边际效应较高于中部地区。黄贇琳等(2022)认为中部地区的制造业数字

化转型效应高于西部地区的转型效应，原因可能是西部地区基础设施薄弱，发展受限，中部地区制造业生产效率发展空间更大，由巨大的数字经济红利有待进一步释放<sup>[22]</sup>。

从不同经济发展水平来看，数字技术对制造业升级的渗透作用可能存在差异化影响。一方面，数字经济对制造业的促进作用可能存在边际递增的特征。随着经济发展的增强，数字技术的投入通过人力资本和技术创新共同驱动制造业高质量发展与转型。经济实力的强弱决定了数字技术的强弱，带动了制造业的崛起。另一方面，受国家政策的扶持以及资源潜力尚待开发的影响，数字经济红利在经济发展较落后的省份更容易显现。综上所述，可以提出以下假设：

**H3：**在不同的门槛条件、不同区域和不同发展水平的影响下，产业数字化对制造业升级的影响表现出明显的差异性。

### 3 长江经济带产业数字化与制造业升级的测度与评价

本文的核心任务在于探索长江经济带产业数字化与制造业升级的关系，前文已经浅析了二者间的理论关系与传导机理，仍需采用计量方法进一步验证。在实证分析前，本部分对 2011-2020 年长江经济带产业数字化与制造业升级进行综合评价指标体系构建与测算，力求客观、科学且合理地反映长江经济带真实的发展状况，为下文实证分析奠定基础。

#### 3.1 长江经济带产业数字化的测度分析

##### 3.1.1 产业数字化的指标体系构建

现阶段，大多数学者的研究重点仍停留在数字经济上，具有较强的笼统性和片面性，学界鲜少有关于产业数字化测算的文献，且尚未统一的衡量标准。基于 2021 年中国信通院对数字经济的内涵定义与构成要素<sup>①</sup>，本文将产业数字化这个要素剥离出来，去构建指标体系并加以分析。产业数字化是数字经济的关键构成要素，是数字技术与传统产业相互渗透融合的动态演进过程。以“十四五”规划中“大力发展产业数字化转型”的政策作为目标导向，基于《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》以及国泰安数据库的划分标准<sup>②</sup>，本文将长江经济带产业数字化划分为农业数字化、工业数字化、金融数字化以及电子商务四个部分，从农村宽带接入用户数、农业投递路线、农村电话年末用户数、工业科技机构占比、数字金融指数以及电子商务销售额等 10 个二级指标去构建指标体系。具体指标体系如下表 3.1 所示：

---

<sup>①</sup>《中国数字经济发展白皮书（2021）》指出，数字经济是以数字化的知识和信息作为关键生产要素，以数字技术为核心驱动力量，以现代信息网络为重要载体，通过数字技术与实体经济深度融合，不断提高经济社会的数字化、网络化、智能化水平，加速重构经济发展与治理模式的新型经济形态。具体包括数字产业化、产业数字化、数字化治理以及数据价值化四大组成部分。其中，产业数字化是指：传统产业应用数字技术所带来的产出增加和效率提升部分，包括但不限于工业互联网、两化融合、智能制造、车联网、平台经济等融合型新产业新模式新业态。

<sup>②</sup>《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》中，产业数字化部分包括智慧农业、智慧制造、智慧交通、智慧物流、数字金融、数字商贸、数字社会、数字政府等；国泰安数据库将产业数字化分为农业数字化、工业数字化、数字金融以及电子商务四个组成部分。

表 3.1 产业数字化的综合指标体系

一级指标	二级指标	属性
农业数字化	农村宽带接入用户(万户)	正
	农村投递路线(公里)	正
	农村电话年末用户数(万户)	正
工业数字化	规模以上工业企业:有科技机构个数/企业单位数	正
	规模以上工业企业: R&D 人员全时当量/该地区总人数	正
金融数字化	数字金融覆盖广度	正
	数字金融使用深度	正
	普惠金融数字化程度	正
电子商务	有电子商务交易活动的企业数比重(%)	正
	电子商务销售额(亿元)	正

注：作者整理而来。

### 3.1.2 产业数字化的测度与分析

在测度方法的选择上,综合评价指标体系的构建离不开主观赋权和客观赋权两类方法。一是主观赋权法,包括专家评判法、层次分析法和网络分析法等。其缺点在于:依据指标间的相对重要程度,通过主观判断赋予权重,评价结果难免带有个人主观意识;二是客观赋权法,具体有变异系数法、熵值法、主成分分析等,以原始数据信息作为赋权依据,不受人为了干扰,更加科学客观。依据综合评价指标体系的构建三要素“科学性”、“层次性”、“客观性”,并参照王军等(2021)的做法<sup>[47]</sup>,选取熵值法对长江经济带产业数字化发展水平进行综合测度,具体步骤如下:

(1) 指标说明:假设面板跨度为  $y$ , 地级市个数为  $n$ , 指标个数为  $m$ , 则  $X_{\theta ij}$  表示为第  $\theta$  年地级市  $i$  的第  $j$  个指标。

(2) 为了解决量纲化问题,对数据进行归一化处理:

$$\text{正向指标: } X'_{\theta ij} = \frac{X_{\theta ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3.1)$$

$$\text{负向指标: } X'_{\theta ij} = \frac{X_{\max} - X_{\theta ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3.2)$$

(3) 计算各指标比重，用  $\omega_{ij}$  代表：

$$\omega_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (3.3)$$

(4) 确定信息熵  $e_j$ ：

$$e_j = \ln \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \omega_{ij} * \ln \omega_{ij} \quad (3.4)$$

(5) 计算信息冗余度  $d_j$ ，根据信息熵冗余度计算指标权重  $\gamma_j$ ：

$$d_j = 1 - e_j \quad (3.5)$$

$$\gamma_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (3.6)$$

(6) 求出产业数字化的指数水平（ $Dig$ ）。计算公式如下：

$$Dig_i = \sum_{j=1}^m \gamma_j * \omega_{ij} \quad (3.7)$$

上式中， $Dig_i$  代表长江经济带第  $i$  个地级市的产业数字化发展指数，该指数的大小介于 0-1 之间。当  $Dig_i$  越大，表示产业数字化发展水平越高；反之，则产业数字化发展水平越低。根据以上步骤，计算得出长江经济带 110 个地级市产业数字化发展指数。表 3.2 分别列出 2011-2020 年长江经济带 11 个省市的省会城市的产业数字化指数。

表 3.2 2011-2020 年长江经济带省会城市的产业数字化水平

区域	city	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
长江下游	上海市	0.28	0.29	0.31	0.36	0.35	0.36	0.36	0.38	0.38	0.39
	南京市	0.38	0.31	0.34	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32
	杭州市	0.20	0.34	0.32	0.38	0.37	0.36	0.37	0.38	0.40	0.40
长江中游	合肥市	0.05	0.09	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.23
	南昌市	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13
	武汉市	0.06	0.12	0.14	0.16	0.17	0.20	0.21	0.23	0.22	0.23

续表 3.2

区域	city	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
长江上游	长沙市	0.06	0.10	0.12	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	0.21	0.23
	重庆市	0.03	0.08	0.10	0.13	0.15	0.20	0.25	0.23	0.22	0.24
	成都市	0.19	0.12	0.14	0.16	0.20	0.26	0.31	0.36	0.40	0.44
	贵阳市	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
	昆明市	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08

注：作者测算并整理而来。

(1)总体来看,2011-2020年长江经济带产业数字化发展水平整体发展较好,且随时间流逝呈现波动式上升趋势,表明近年来产业数字化水平趋于良好。长期以来,长江经济带坚持信息化发展战略不动摇,持续发挥数字技术与信息化水平在各行业的渗透作用。2014年,《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》指出,要借助科技迸发活力、用人才强化资源、以创新增进动力,多管齐下驱动经济带产业数字化与经济高效发展。2016年起,该区域以《长江经济带发展规划纲要》为指导性文件,发展优势产业,创新驱动产业转型,加强区域联系,带动地区经济发展,提升要素配置效率。此外,在浙江省、四川省以及重庆市等关键省市,设置第一批国家数字经济创新发展试验区。从试验到推广,逐渐带动产业数字化赋能长江经济带传统产业,引发效率变革与技术革新,引领实体经济发展转型,加快新旧动能转换。

(2)分区域来看,将长江经济带按照地理位置自西向东划分为“上游、中游、下游”三个区域,长江经济带产业数字化水平呈现“上弱下强”的态势。具体来看,长江下游的上海市、南京市、杭州市、合肥市产业数字化均值为0.306,远高于长江中游和长江上游其他7个省会城市的均值(0.136)。下游长三角区域是数字化发展高地,2011-2020年间,该地区产业数字化发展最快,成为整个经济带产业数字化发展的先锋力量。原因可能取决于,一方面长三角区域占据有利的人力资本、地理位置、市场环境以及数据技术资源,是产业数字化发展的“先行军”;另一方面,依托于先进信息技术与智能化高速发展的上海市,创新驱动长三角地区产业数字化蓬勃发展,并带动长江经济带产业数字化程度稳步提升。而长江中、上游地区地处我国中西部地区,面临数字技术落后、创新型人才短缺、经济发展较慢、数字化服务水平不高等一系列困境,一定程度上制约着产业数字

化的发展。

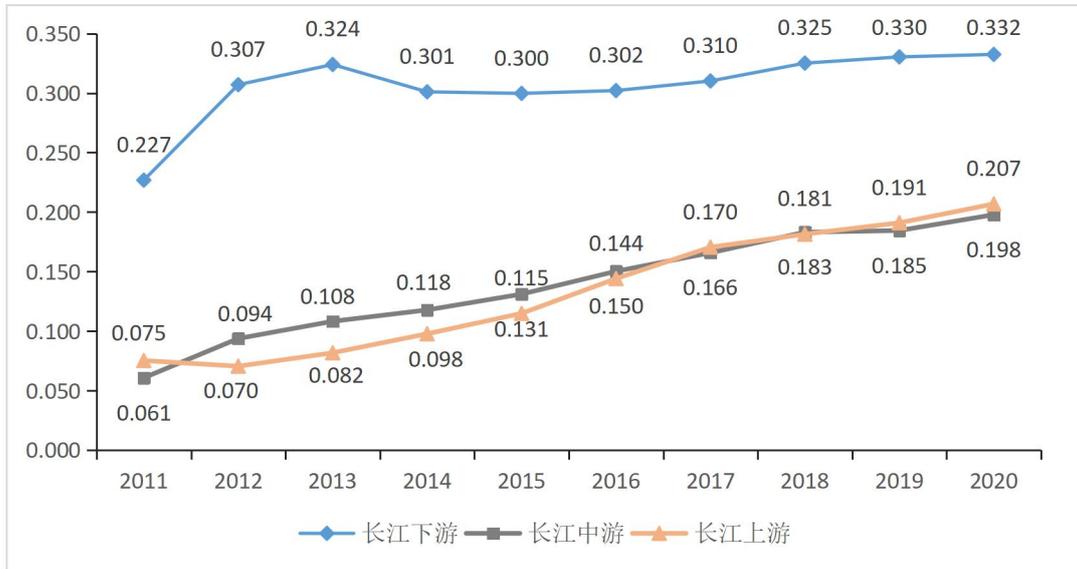


图 3.1 2011-2020 年长江经济带分区域省会城市产业数字化水平变化趋势

(3) 从各省会城市的平均综合得分来看，2011-2020 年这 10 年间，长江经济带产业数字化综合得分的均值为 0.193。单独各个省会城市近 10 年的数据来看，产业数字化大多经历了“高-低-高”的发展历程，在 2015-2017 年一再受到劳动力与岗位不匹配以及核心技术后劲不足等因素干扰，发展受阻。上海市、杭州市、南京市三市的产业数字化综合指数远高于 0.193，产业数字化发展最快，是长江经济带产业数字化发展的第一梯队；重庆市、成都市、长沙市、武汉市、合肥市的综合指数均维持在 0.160 左右，是产业数字化发展的第二梯队，其余地级市的产业数字化综合指数的均值明显低于 0.100，发展较慢，尤其以南昌市、贵阳市及昆明市发展最为迟缓。这可能与西部山区地形复杂、互联网成本高难度大以及数字产业基础薄弱等现状有关。具体来看，按照长江经济带产业数字化水平的综合指数由高到低，可以划分为以下表 3.3 中的三个梯队。

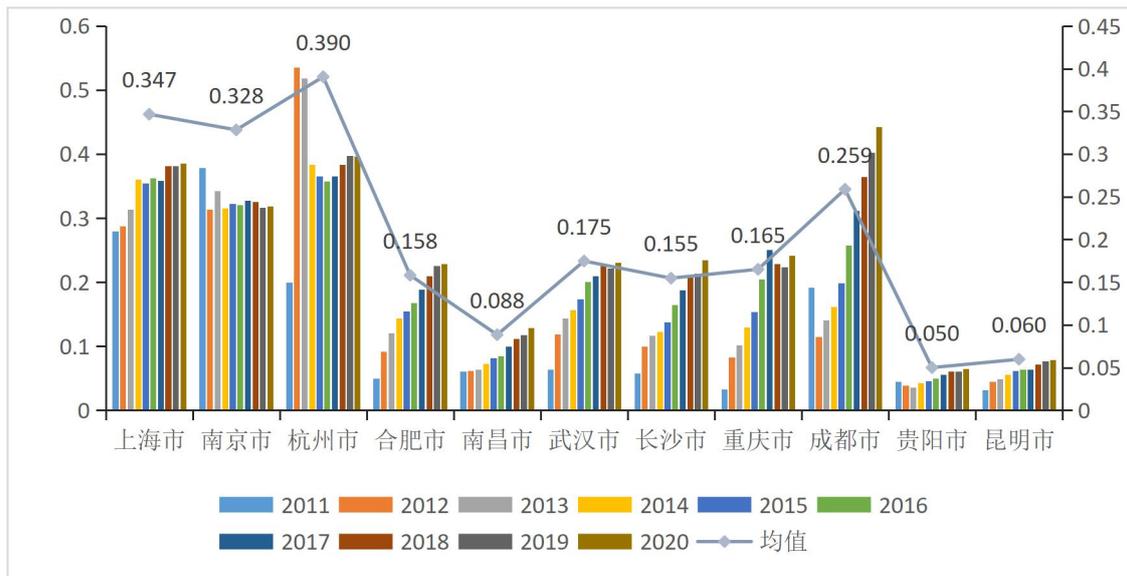


图 3.2 2011-2020 年长江经济带省会城市产业数字化水平及其均值

表 3.3 省会城市产业数字化水平按梯度划分

梯队	省会城市
产业数字化高水平地区	上海市、杭州市、南京市
产数字化中等水平地区	重庆市、成都市、长沙市、武汉市、合肥市
产业数字化低水平地区	南昌市、贵阳市、昆明市

(4) 从各个地级市的时空演变来看，长江经济带产业数字化水平呈现“中心城市布局分散、东西差异明显”的布局。综合来看，长江经济带产业数字化水平以上海、重庆作为两大核心城市，分别以长三角城市群、成渝城市群向外辐射扩散，但是两大区域产业数字化水平差距明显，究其原因在于：一方面，近年来上海、苏州、杭州等沿海城市互联网水平发展一直以来在全国保持领先地位，其电子信息产业集群效应明显、快递物流业发达，都为江浙沪产业数字化的发展提供了网络基础和渠道优势，激发整个长三角产业数字化发展活力；另一方面，重庆，作为西部地区的中心枢纽城市，其电子信息等产业优势明显，为西部地区传统产业转型注入新鲜的生命力，同时还为数字技术与实体经济的融合提供了科技支撑，但由于西部地区城市经济基础较为薄弱，缺乏高端技术与人才支持，产业数字化的辐射带动作用不甚明显，西部地区整体产业数字化水平仍有待开发。

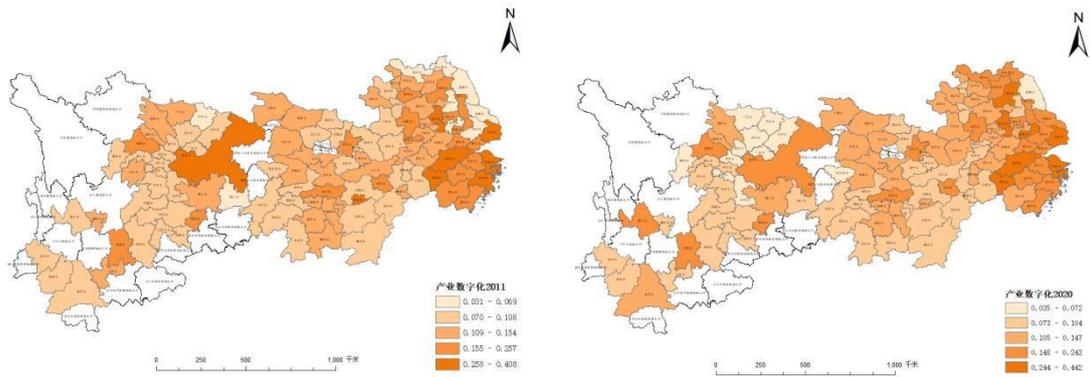


图 3.3 2011 年和 2020 年长江经济带产业数字化时空演变图<sup>①</sup>

## 3.2 长江经济带制造业升级的测度分析

### 3.2.1 长江经济带制造业升级评价指标体系的构建

现阶段，就如何测度我国制造业升级水平，比较权威且最具参考价值的有以下两种做法：一是计算单一指标测度，即以制造业高端技术部门产品产值之和与中端技术部门产值之和的比重作为代理指标（傅元海等，2014；沈运红和黄桁，2020）<sup>[17][41]</sup>，二是从从规模、效率、创新以及能环四个维度构建综合评价指标体系，代表人物有任碧云和贾贺敏（2019）、陈晓峰（2022）<sup>[40][12]</sup>。鉴于指标构建的科学严谨性以及地级市数据的可获取性，本文主要借鉴第二类做法，基于规模、效率、创新、能环四个维度衍生出工业增加值、工业利润率、劳动生产率等 7 个二级指标，以熵值法建立长江经济带制造业升级的综合评价指标体系<sup>②</sup>，

<sup>①</sup>审图号：GS(2016)1612 号。

<sup>②</sup>制造业产业升级，是制造业这个产业由于内在能力增强而实现的从较低级别向较高级别跃升的过程。这一过程从最朴素的视角来看，就是一种“向好”的过程。经济运行中的微观单元——企业通过技术进步、管理提升、新品开发、市场开拓等方式，实现了一系列“向好”。这一动态过程汇总到产业层面，可能发生的变化包括：总产出增加、优质产能（利润率高）比重增加、盈利能力增加、能耗和环境方面的改善等等。按照这一思路，可以将制造业产业升级的评价体系细化为四个维度：①规模扩张，表现为通过要素投入的增加实现产业的聚集效应和规模经济，最终带来增加值的增长；②结构优化，表现为先进产能或优质产能比重增长，分别以高技术部门产值和出口比重的增加来代表；③效率提升，表现为企业盈利能力即主营业务利润率的提升。④能源及环境改善，表现为综合能耗的下降和污染物排放的减低。这四个维度既有可能单独发生正负向变化，也有可能相互叠加发生正负向变化。

具体如下表 3.4 所示。

表 3.4 制造业升级的综合指标体系

一级指标	二级指标	属性
规模维度	工业增加值（亿元）	正
	规模以上工业企业单位数（个）	正
效率维度	工业利润率	正
	全员劳动生产率	正
创新维度	规模以上工业企业 R&D 经费内部支出（亿元）	正
能环维度	单位 GDP 能耗（吨标煤/万元）	负
	单位 GDP 废水排放量（万吨/万元）	负

### 3.2.2 制造业升级的测度与分析

在测度方法的选择上，长江经济带制造业升级的综合赋权仍采用熵权法，具体步骤同上 3.1.2。经过归一化处理、确定信息熵、计算指标权重等一系列操作后，我们计算得出长江经济带 110 个地级市 2011-2020 年制造业升级的综合指数。基于篇幅限制，下表 3.5 仅列出主要核心城市的综合指数。

表 3.5 2011-2020 年长江经济带省会城市的制造业升级水平

区域	city	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
长江下游	上海市	0.88	0.86	0.88	0.32	0.30	0.29	0.88	0.84	0.80	0.85
	南京市	0.37	0.40	0.42	0.16	0.15	0.15	0.48	0.49	0.49	0.54
	杭州市	0.39	0.40	0.41	0.15	0.14	0.14	0.44	0.45	0.44	0.46
	合肥市	0.16	0.16	0.17	0.06	0.06	0.07	0.19	0.18	0.18	0.19
长江中游	南昌市	0.12	0.12	0.13	0.05	0.05	0.05	0.18	0.18	0.17	0.18
	武汉市	0.26	0.29	0.33	0.13	0.11	0.11	0.34	0.35	0.34	0.32
	长沙市	0.21	0.23	0.29	0.11	0.12	0.11	0.35	0.35	0.35	0.34
长江上游	重庆市	0.34	0.35	0.39	0.16	0.17	0.18	0.53	0.52	0.53	0.58
	成都市	0.32	0.35	0.38	0.14	0.15	0.15	0.46	0.49	0.50	0.60
	贵阳市	0.11	0.08	0.08	0.02	0.03	0.03	0.11	0.11	0.10	0.10
	昆明市	0.10	0.10	0.11	0.04	0.05	0.04	0.13	0.13	0.14	0.09

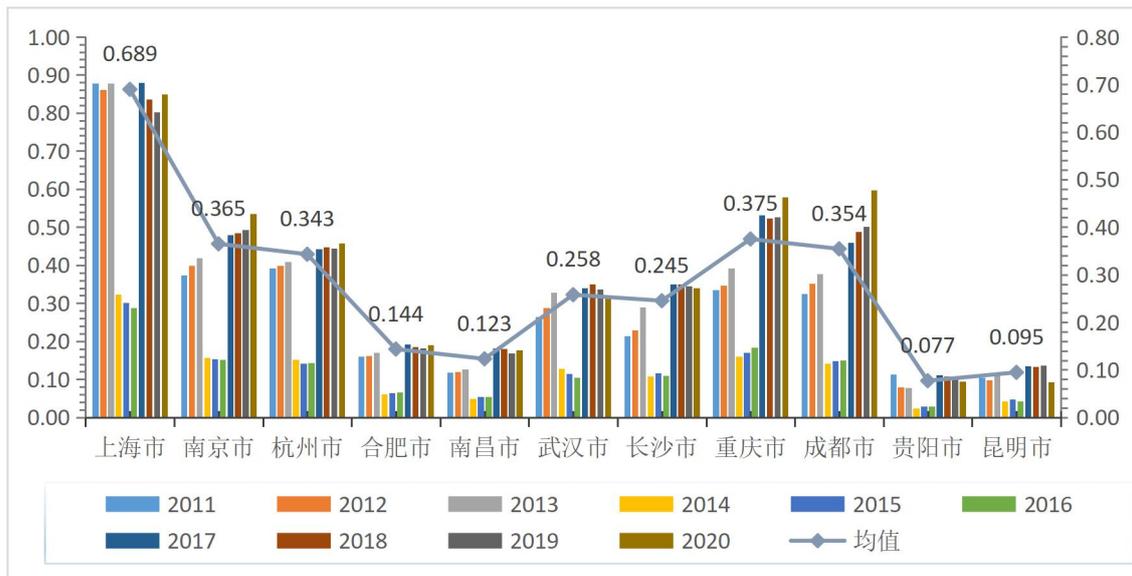


图 3.4 2011-2020 年长江经济带省会城市制造业升级水平及其均值

根据表 3.5 的测度结果与图 3.4 中制造业升级的动态发展水平来看，2011-2020 年长江经济带各市的制造业升级整体呈现出小幅波动上升态势，但具有明显的地域差异。具体来看：

第一，无论是长江下游还是长江中游和上游地区，制造业转型升级水平的综合测度值呈现出“高-低-高”的态势。2014 年以前，长江经济带制造业发展具有劳动力禀赋优势和市场优势，转型升级较快，然而，从 2014 年开始，长江经济带的制造业转型受人口红利式微的影响，制造业劳动力短缺，工人工资暴涨，从而导致制造业成本急剧上涨、产品价格优势被削弱，制造业转型步伐受阻，但随着《中国制造 2025》的出台以及 5G 时代的来临，长江经济带制造业逐渐具备生产技术、产品质量等核心竞争优势，转型步伐逐渐加快。同时，凭借长江经济带良好的地理环境优势，该经济带的制造业逐渐朝着高质量转型方向发展；

第二，长江下游地区的制造业转型升级水平明显高于中游和上游地区。2011-2020 年制造业转型升级水平相对较低的省份多以长江上游的西部地区为主，长江下游的上海市、南京市、杭州市制造业转型则整体较快。这说明地区间制造业发展有明显差距，且主要依靠东部地区的制造业带动发展；

第三，2011-2020 年这 10 年间，长江经济带制造业升级综合得分的均值为 0.279。上海市、重庆市、南京市、成都市、杭州市的制造业升级综合指数远高

于 0.279，制造业转型最快，是长江经济带制造业转型升级的第一梯队；武汉市、长沙市的综合指数均维持在 0.250 左右，是制造业转型的第二梯队，其余地级市的产业数字化综合指数的均值明显低于 0.200，发展较慢，尤其以贵阳市及昆明市发展最为迟缓。主要原因可能在于云南省和贵州省地理位置偏僻、交通发展缓慢从而导致制造业发展受到限制。

表 3.6 省会城市制造业升级指数按梯度划分

梯队	省会城市
制造业升级指数（0.350-0.700）	上海市、重庆市、南京市、成都市、杭州市
制造业升级指数（0.200-0.350）	武汉市、长沙市
制造业升级指数（小于 0.200）	合肥市、南昌市、昆明市、贵阳市

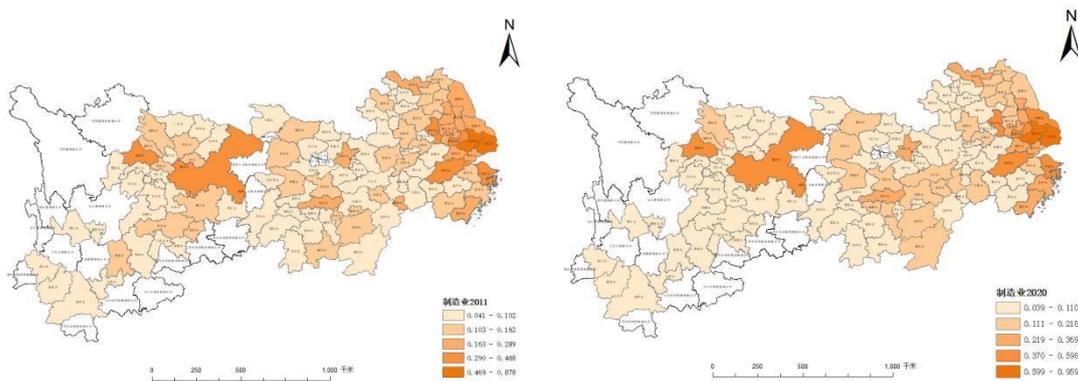


图 3.5 2011 年与 2020 年长江经济带制造业升级时空演变图<sup>①</sup>

第四，长江经济带各地级市的制造业升级水平差距较大，初步形成“多核心、强辐射”的发展格局。“多核心”自东向西包含长三角城市群、长江中游城市群以及成渝城市群。以三大核心城市群为基点向外扩散，发挥辐射作用，带动整个经济带的制造业升级与经济高质量转型。2011-2020 年，沿海城市制造业发展始终保持领先姿态，以上海、苏州、杭州为轴，向外拓展，形成制造业高水平发展城市群，创新引领长三角地区制造业发展。同时，自 2016 年成渝城市群的崛

<sup>①</sup> 审图号：GS(2016)1612 号。

起后,成都和重庆的制造业升级指数快速飞升,逐步跻身制造业转型高水平行列。2020年,成都制造业升级指数已达到0.598,在长江经济带110个地级市中排列在第三位。此外,长江中游制造业整体转型较慢。该城市群以长沙和武汉作为核心城市,发挥基础牢固、产业体系完备等优势,发展壮大一批制造业龙头企业,带动长江中游地区传统产业升级。

## 4 长江经济带产业数字化对制造业升级的效应研究

基于前文产业数字化与制造业升级的理论机制以及综合测度分析，本部分以 2011-2020 年长江经济带 110 个地级市的数据作为研究对象，通过构建面板双固定效应模型、中介模型、门限回归等方法，对产业数字化与长江经济带制造业升级的关系进行实证检验和详细阐述。

### 4.1 数据选取及变量描述

#### 4.1.1 指标选取与数据说明

(1) 被解释变量。关于制造业升级的综合指数 ( $Mu$ )，本文从规模维度、效率维度、能环维度和创新维度四个方面构建综合评价指标体系，并且用熵值法测算得出长江经济带 110 个地级市制造业升级的综合综合指数作为被解释变量的代替指标。具体指标测算见第三部分。

(2) 核心解释变量。关于产业数字化的综合指数 ( $Dig$ )，本文基于国泰安数据库的划分标准，并参照《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》的分类依据，从农业数字化、工业数字化、金融数字化以及电子商务四个维度构建长江经济带产业数字化综合评价指标体系。同时，利用熵值法测算得出长江经济带 110 个地级市产业数字化的综合综合指数作为核心解释变量的代替指标。具体指标测算见第三部分。

(3) 控制变量。除了产业数字化水平之外，本文参照国内外有关文献，在模型中加入了影响制造业转型升级的其他影响因素，如经济发展水平、对外贸易依存度、金融发展水平以及外商投资强度等。其中，经济发展水平 ( $Pgdp$ ) 一般采用人均实际 GDP 作为衡量指标；对外贸易依存度 ( $Tra$ ) 以各地级市进出口贸易总额占长江经济带各地区生产总值的比值来度量；金融发展水平 ( $Fin$ ) 是以年末金融金钩贷款余额占地区生产总值的比值来进行度量；外商投资强度 ( $Inv$ ) 则用各地级市实际利用外资与各市地区生产总值的比重取对数来衡量；

(4) 中介变量。人力资本 ( $Hc$ ) 采用各地级市规模以上工业企业 R&D 人数 (万人) 来代表；技术创新能力 ( $Tech$ ) 用各地级市每万人专利授权量来衡量。具体变量定义与说明见表 4.1:

表 4.1 主要变量名称、符号及定义

变量类型	变量名称	符号	定义
被解释变量	制造业升级	Mu	从效率、规模、创新以及能环四个维度构建综合指标体系
核心解释变量	产业数字化	Dig	从农业数字化、工业数字化、数字金融以及电子商务四个维度构建综合指标体系
控制变量	经济发展水平	Pgdp	人均实际 GDP
	对外贸易依存度	Tra	各地级市进出口贸易总额/地区生产总值
	金融发展水平	Fin	各地级市年末金融机构贷款余额/地区生产总值
中介变量	外商投资强度	Inv	LN（各地市级实际利用投资/地区生产总值）
	人力资本水平	Hc	各地级市规模以上工业 R&D 人数（万人）
	技术创新能力	Tech	各地级市每万人专利授权量（件/万人）

#### 4.1.2 数据来源及描述性统计

本文采用中国 2011-2020 年长江经济带 110 个地级市的面板数据来反映产业数字化对制造业升级的实际影响。基本数据源于《中国城市统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、各地级市历年统计年鉴、中经数据库、wind 数据库、国泰安数据库、农村互联网发展报告以及北京大学数字普惠金融指数，部份地级市少数缺失数据则通过查找各市的统计公报和线性插值法等方法补充完整。主要变量的描述性统计见下表 4.2：

表 4.2 主要变量的描述性统计

变量	最小值	0.25 分位点	中位数	均值	0.75 分位点	最大值
Mu	0.011	0.055	0.092	0.128	0.142	0.959
Dig	0.026	0.084	0.108	0.130	0.169	0.563
Pgdp	0.888	0.281	0.426	0.528	0.676	1.923
Tra	0.007	0.032	0.081	0.163	0.180	1.813
Fin	0.264	0.658	0.854	0.993	1.164	6.677
Inv	0.029	1.973	3.216	3.139	4.387	7.526

注：上表结果由 R 软件得出。

主要变量的描述性统计信息由表 4.2 报告。首先，长江经济带各地级市制造业转型升级指数的均值为 0.128，最大值 0.959，最小值 0.011，说明长江经济带

各地级市间制造业升级存在明显差距，为我们制造业升级的研究奠定良好基础。其次，产业数字化的综合指数，大多集中在 0.026-0.563 的范围内，均值为 0.130，差距不甚明显，说明长江经济带数字化程度趋于同质化。最后，在控制变量方面，只金融发展水平与外商投资强度波动明显，分散在 0.029-7.526 的区间内，其他控制变量均差异较小并且始终维持在 0.007-1.923 之间。

## 4.2 长江经济带产业数字化对制造业升级的直接效应

### 4.2.1 计量模型设定

为从实证方面探究产业数字化对长江经济带制造业升级的影响，并验证假设 1，本文选取长江经济带 2011-2020 年 110 个地级市的数据进行分析，构建以下面板双固定效应模型：

$$Mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \delta X_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

在式（4.1）中， $Mu_{it}$  为被解释变量，为制造业升级的综合指数， $Dig_{it}$  是核心解释变量，为产业数字化的综合指数， $X_{it}$  为控制变量，具体包括：经济发展水平、对外贸易依存度、金融发展水平以及外商投资强度， $\beta_i$  表示常数项及各解释变量回归系数。 $\lambda_i$  和  $\eta_t$  分别为地级市、年份的固定效应， $\varepsilon_{it}$  则是随机扰动项。

### 4.2.2 基准回归结果分析

在搜集整理长江经济带 2011-2020 年这 110 个地级市的面板数据前提下，基于 *Stata* 16.0 软件，运用面板双固定模型验证产业数字化对长江经济带制造业升级的直接效应。具体回归结果见表 4.3。

表 4.3 基准回归结果

变量	(1) PLS	(2) RE	(3) FE	(4) DK
Dig	0.282*** (0.049)	0.199*** (0.051)	0.193*** (0.058)	0.193* (0.103)
Pgdp	0.033*** (0.012)	0.104*** (0.018)	0.185*** (0.030)	0.185 (0.125)
Tra	0.210*** (0.017)	0.159*** (0.023)	0.151*** (0.031)	0.151* (0.082)

续表 4.3

变量	(1) PLS	(2) RE	(3) FE	(4) DK
Fin	-0.005 (0.006)	-0.016** (0.008)	-0.023** (0.010)	-0.023** (0.008)
Inv	0.016*** (0.002)	0.012*** (0.002)	0.011*** (0.003)	0.011** (0.003)
Cons	-0.005 (0.007)	0.023* (0.012)	0.003 (0.019)	0.003 (0.061)
F Test		12.400 (p=0.000***)		
LM Test		730.200 (p=0.000***)		
Hausman Test		524.570 (p=0.000***)		
Frees' test		20.504>0.343***		
Modified Wald Test		220000 (p=0.000***)		
Wooldridge Test		710.056 (p=0.000***)		
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
R2	0.500	0.441	0.446	0.446
N	1100	1100	1100	1100

注：括号内为标准误，\*\*\*，\*\*，\*分别表示在 1%、5% 和 10%的水平上显著，DK 指解决了异方差、自相关和截面相关问题的固定效应模型，括号内报告的是 Driscoll-Kraay 标准误，下同。

表 4.3 分别报告了混合回归、随机效应、固定效应以及 Driscoll-Kraay 标准误模型回归结果。在实证分析中，首要步骤为：模型的识别与选择<sup>①</sup>。从表 4.3 可以发现，Hausman Test、LM Test 和 F Test 结果均在 1%的水平下不接受原假设，所以选择固定效应来进行基准回归分析。其次，需要对模型的随机扰动项进行自相关、异方差以及截面相关这三大问题的检验<sup>②</sup>。经过检验发现，误差项存在截面相关、异方差和自相关的问题。基于上述原因，我们选择上表中模型 4 的 Driscoll-Kraay 标准误模型作为基准回归模型。该模型在面板双固定效应模型的基础上解决了以上三大问题，结果更加可靠稳健。观察该模型估计结果发现，模

<sup>①</sup>模型的选择与识别：第一步，用 F 检验方法比较混合回归模型（PLS）和固定效应模型（FE），若 p 值大于 0.05，不拒绝原假设，则不存在固定效应，选择 PLS，反之，则可能选择 FE；第二步，用 LM 检验比较混合回归模型（PLS）和随机效应模型（RE）。若 p<0.05，拒绝原假设，误差项存在一阶自相关，随机效应存在一阶自相关，则选择随机效应；第三步，用 Hausman 检验比较固定效应模型 FE 和随机效应模型 RE。若 p<0.05 拒绝原假设，选择固定效应模型。

<sup>②</sup>误差项的三大问题检验：第一，截面相关检验。用 Frees' test 来验证是否存在截面相关问题，若 Frees' 统计量实际值大于 1%水平下的临界值，则拒绝原假设，说明模型有截面相关问题；第二，异方差检验。Modified Wald Test 来检验残差是否存在异方差，发现 Modified Wald Test 结果在 1%的水平下不接受原假设，说明误差项存在异方差问题；第三，自相关检验。采用 Wooldridge Test 来检验残差是否存在自相关，发现 Wooldridge Test 结果在 1%的水平下不接受原假设，模型存在自相关问题。

型 4 的核心解释变量显著为正 (0.193)，即当产业数字化增加一个百分点时，长江经济带的制造业升级指数显著提高 0.193 个百分点，说明产业数字化是长江经济带制造业升级显著的驱动力，验证了假设 1 的论断，这同时符合我国目前数字化转型的战略取向，产业数字化转型的根本目的是通过数字技术赋能传统产业，推动制造业高质量发展。

控制变量中，经济发展水平、对外贸易依存度以及外商投资强度均是制造业升级的正向印象因素，显著拉动制造业升级。主要原因分别是：（1）经济发展是制造业升级的先导力量，促进一个地区经济发展，不仅有助于形成自由、平等、良性的市场环境，还会提供更为丰富的资源禀赋和人力资本，促进自由资源配置的合理化，加速推动制造业转型；（2）对外贸易强度越大，中国与世界的关系越密切，越有助于吸收国外先进技术与资本投资，增加人民收入与经济效益，进一步为制造业升级提供优越的环境与实现条件；（3）积极引进外资不仅有助于吸纳更多的劳动力就业，给制造业带来丰富劳动力进而提高产业生产效率，还可以在参与国际贸易的同时，吸引国际先进经验、高质量资源以及先进技术等，从而保证制造业产品质量、降低成本。而金融发展水平的系数显著为负，表明金融发展不利于长江经济带制造业转型升级。当前在长江经济带的制造业发展过程中，金融发展不能有效推动制造业转型升级的主要原因有：一、当前制造业融资环境不理想，融资渠道过窄，融资难、融资贵的问题依旧难以有效解决；二、资本会更注重短期收益，对产业链的低端锁定、收入分配效率等问题有负向影响；三、银行经营理念滞后于制造业转型。制造业尤其是高新制造业，具有高投入、高风险和高收益的特征，这些特征与银行业金融机构“审慎、安全”的经营理念相背，因此，当前银行业金融机构对高新制造业提供金融支持的积极性不高。融资难、融资贵、融资机制不够完善等一系列问题都在制约制造业转型速度。

#### 4.2.3 稳健性检验

为了提高上述回归结果的可靠性和有效性，以替换变量、剔除直辖市、剔除省会城市三种方式进行重新回归，再次验证产业数字化与长江经济带制造业升级的关系。检验结果见表 4.4:

表 4.4 稳健性检验结果

变量	(4) DK	(5) 替换变量	(6) 剔除直辖市	(7) 剔除省会城市
Dig	0.193* (0.103)		0.239** (0.097)	0.206* (0.102)
Dig2		0.172*** (0.018)		
Pgdp	0.185* (0.125)	0.831*** (0.081)	0.184 (0.114)	0.149 (0.103)
Tra	0.151* (0.082)	0.134* (0.079)	0.143* (0.070)	0.146* (0.073)
Fin	-0.023** (0.008)	-0.050** (0.025)	-0.020*** (0.005)	-0.026** (0.009)
Inv	0.011** (0.003)	0.018** (0.008)	0.010*** (0.003)	0.009** (0.003)
Cons	0.003 (0.061)	-0.508*** (0.049)	-0.008 (0.055)	0.016 (0.047)
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.446	0.652	0.468	0.432
N	1100	1067	1080	990

表 4.4 中，模型 5 报告的是核心解释变量和被解释变量用主成分分析重新进行综合测度后得到的回归结果。与模型 4 的基准回归结果横向对比发现，核心解释变量的系数均显著为正，且大小接近，而其余控制变量的正负性和显著性水平均保持一致，所以 Driscoll-Kraay 标准误模型设定合理。同样地，剔除直辖市和省会城市的模型 6 与模型 7，也通过了稳健性检验，再次说明了基准回归模型是可靠的。

#### 4.2.4 内生性检验

为解决上述模型可能存在的内生性问题，如产业数字化水平和制造业升级指数互为因果、模型遗漏重要变量等，本文选用工具变量法与广义矩估计两种方式对其进行内生性检验。二者区别在于：若误差项存在异方差或自相关时，工具变量法可以得到一致估计，但并非有效估计，而广义矩估计可以得到更有效的估计。

(1) 工具变量法。借鉴黄群慧等（2019）的思想<sup>[20]</sup>，采取两阶段最小二乘估计（2SLS）的方式，选择 1984 年末邮电业务总量与互联网上网人数的乘积以及各地级市到杭州的球面距离乘上一年产业数字化均值的交互项，作为当期产业数字化水平的两个工具变量，并同时纳入模型中，以此进行模型的内生性检验。

(2) 广义矩估计。本文建立动态面板模型，分别采用一步系统广义矩估计

和两步系统广义矩估计方法对模型的内生性进行检验。该动态面板模型如式 (4.2) :

$$\begin{cases} Mu_{it} = \alpha_0 L.Mu_{it} + \alpha_1 Dig_{it} + X'_{it}\beta + u_i + \varepsilon_{it} \\ \Delta Mu_{it} = \alpha_0 \Delta L.Mu_{it} + \alpha_1 \Delta Dig_{it} + \Delta X'_{it}\beta + \Delta \varepsilon_{it} \end{cases} \quad (4.2)$$

式 (4.2) 中,  $L.Mu_{it}$  指被解释变量制造业升级的滞后一期, 其余变量与上文相同。为保证 GMM 估计的一致性, 必须确保随机扰动项不存在自相关, 同时工具变量与误差项不存在相关关系。因而, 用 Arellano-Bond 的自相关检验方法对进行检验, 要求检验结果“存在一阶自相关性”且“不存在二阶自相关”; 同时还采用 Hansen 过度识别约束检验的方法, 检验所用的工具变量的有效性。内生性检验结果见下表 4.5:

表 4.5 内生性检验结果

变量	工具变量法		广义矩估计	
	FE2SLS	EC2SLS	一步系统 GMM	两步系统 GMM
L.Mu			0.623*** (0.050)	0.622*** (0.050)
Dig	1.345*** (0.379)	0.507*** (0.144)	0.261** (0.101)	0.260** (0.102)
L.Dig			0.021 (0.096)	0.021 (0.096)
Pgdp	0.217*** (0.037)	0.087*** (0.022)	0.000 (0.015)	0.002 (0.014)
Tra	0.208*** (0.040)	0.146*** (0.024)	0.062* (0.035)	0.062* (0.036)
Fin	-0.035*** (0.012)	-0.021** (0.009)	-0.010 (0.007)	-0.010 (0.008)
Inv	0.012*** (0.004)	0.011*** (0.003)	0.007*** (0.002)	0.007*** (0.002)
Cons		-0.003 (0.017)	-0.012 (0.009)	-0.013 (0.009)
Hausman Test	18.100(p=0.003***)			
Weak Indentify Test	16.285>11.590			
Endogeneity Test	13.454(p=0.002***)			
Sargan Test	0.191(p=0.662)			
AR(1)			0.009	0.024
AR(2)			0.066	0.064
Hansen Test			0.100	0.100
F Test			0.000	0.000
N	1100	1100	1100	1100

注: 工具变量需要进行: 相关性、内生性及外生性这三大检验。<sup>①</sup> 此外, 表中 AR(1)、

<sup>①</sup>相关性检验也即弱识别性检验 (Weak Indentify Test), 用来检验若工具变量是否为弱工具变量, 原假设是工具变量与核心解释变量不相关; 内生性检验 (Endogeneity Test) 用来检验核心解释变量是否存在内生性问题, 原假设为核心解释变量与误差项不相关; 外生性检验 (Sargan Test) 用来检验外生性问题, 原

AR(2)、Hansen Test 以及  $F$  检验结果仅显示  $p$  值。<sup>①</sup>

表 4.5 左侧部分为工具变量法估计结果，右侧部分为动态面板回归结果。表 4.5 第 2 列和第 3 列列出的是：固定效应两阶段最小二乘估计与随机效应两阶段最小二乘估计的回归结果。首先利用 Hausman Test 进行模型选择，可以发现模型在 1%的水平下拒绝原假设，所以选择固定效应两阶段最小二乘估计，即上表第 2 列。从该列可以看出，模型在 1%的水平下通过了弱识别性检验、内生性检验以及外生性检验，选取的工具变量不是弱工具变量，可以得到一致估计量。利用工具变量法缓解了内生性问题后，产业数字化对制造业升级的促进作用仍显著。表 4.5 第 4 列和第 5 列分别报告了一步系统 GMM 估计和两步系统 GMM 估计结果。可以看出，一方面，上述第 4 列和第 5 列模型的残差均不具有二阶自相关性；另一方面，根据过度识别(Hansen)检验可以发现，所有工具变量都是有效的，为外生变量，不存在过度识别问题，系统 GMM 估计结果是有效的。同时， $F$  检验结果表明，解释变量系数为零的原假设未能通过显著性检验，表明回归结果整体显著。从检验结果来看，被解释变量制造业升级的一阶滞后项和核心解释变量产业数字化的检验结果均显著。此外，动态面板估计结果与静态面板模型估计结果大致相同。核心解释变量的估计系数与显著性也无明显变化，进一步验证了模型的稳健性。

### 4.3 长江经济带产业数字化对制造业升级的传导机制检验

为了验证假设 2：产业数字化以人力资本效应和技术创新效应为桥梁，间接影响长江经济带制造业升级，下面将用中介效应模型，验证两种传导机制。在本文中，第一，设定人力资本的测度指标为：各地级市规模以上工业企业 R&D 人数，一个地区人力资本水平越高，制造业劳动力素质越高，产品质量越好，生产效率越快，越有利于制造业升级；第二，设定技术创新水平的测度指标为：各地级市每万人专利授权量。当每万人专利授权量越多，说明一国越重视创新，技术创新水平也越高。科技创新是制造业升级的第一生产力。

---

假设是工具变量与误差项不相关。

<sup>①</sup>AR(1)、AR(2)检验的零假设为残差不存在一阶、二阶自相关；Hansen 检验的零假设为工具变量与残差无相关性，即模型不存在过度识别； $F$  检验的零假设为回归方程解释变量系数为 0。

参考温忠麟和叶宝娟（2014）的文献，采用修订后的中介效应检验方法，运用 *Bootstrap* 检验对人力资本、技术创新两项中间机制假设进行实证检验<sup>①</sup>。同时需要说明的是，为保证回归结果的准确性，由于存在极少数地级市样本不全的问题，本文对缺失值进行了相应的插值处理。中介效应模型设定如下：

$$Mu_{it} = cDig_{it} + \delta X_{it} + \lambda_i + \eta_t + e_1 \quad (4.3)$$

$$M_{it} = aDig_{it} + \delta X_{it} + \lambda_i + \eta_t + e_2 \quad (4.4)$$

$$Mu_{it} = c'Dig_{it} + bM_{it} + \delta X_{it} + \lambda_i + \eta_t + e_3 \quad (4.5)$$

上述模型中， $M_{it}$  为中介变量，具体指人力资本和技术创新。中介效应的检验过程如下：

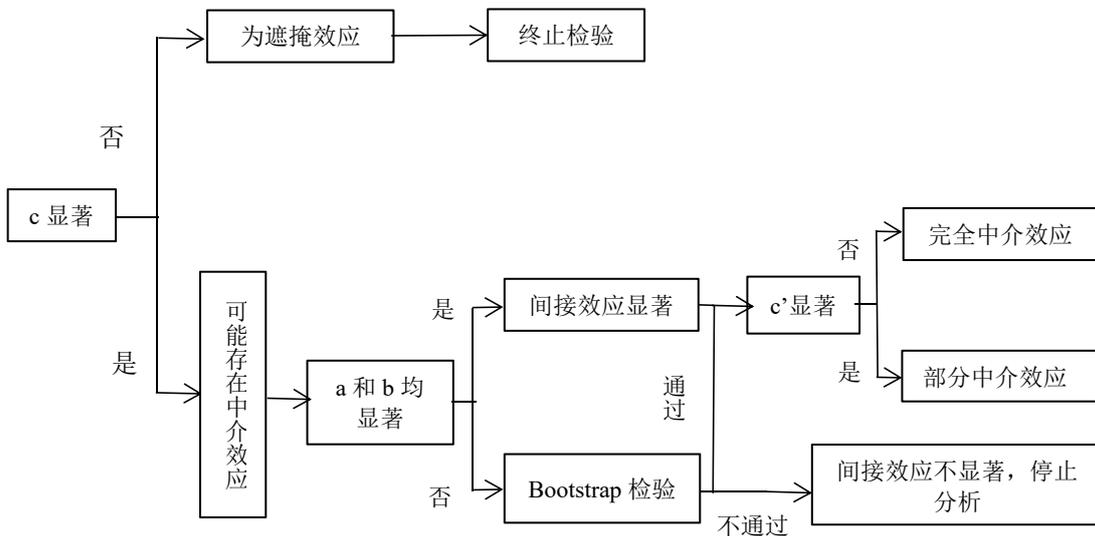


图 4.2 中介效应的检验流程图

以人力资本和技术创新作为中间渠道，得到以下回归结果（表 4.6）：

<sup>①</sup>中介效应检验步骤包括：第一步，检验模型（4.3）中的系数  $c$ ，如果显著，则可能存在中介效应，否则遮掩效应成立，终止检验。第二步，依次检验模型（4.4）的系数  $a$  和模型（4.5）的系数  $b$ ，如果两个均显著，则表明间接效应显著，转到第四步；如果至少有一个不显著，进行下一步。第三步，用 *Bootstrap* 法直接检验原假设  $a*b=0$ 。如果显著，则间接效应显著，进行第四步；否则间接效应不显著，停止分析。第四步，检验模型（4.5）的系数  $c'$ ，如果不显著，则直接效应不显著，意味着模型中只存在中介效应。如果显著，即直接效应显著，进行下一步。第五步，比较  $a*b$  和  $c'$  的符号，如果符号相同，则属于部分中介效应，报告中介效应占总效应的比例  $a*b/c$ 。如果符号不相同，属于遮掩效应，报告间接效应与直接效应的比例的绝对值  $|a*b/c'|$ 。

表 4.6 传导机制检验结果

变量	直接效应	人力资本效应		技术创新效应	
	Mu	Hc	Mu	Tech	Mu
Dig	0.193* (0.103)	1.675 (1.038)	0.186*** (0.058)	29.669*** (5.136)	0.114** (0.057)
Hc			0.004** (0.002)		
Tech					0.003*** (0.000)
Pgdp	0.185* (0.125)	1.998*** (0.545)	0.177*** (0.030)	46.933*** (2.696)	0.061* (0.034)
Tra	0.151* (0.082)	-0.270 (0.548)	0.152*** (0.030)	-4.226 (2.710)	0.162*** (0.030)
Fin	-0.023** (0.008)	-0.114 (0.175)	-0.022** (0.010)	2.423*** (0.867)	-0.029*** (0.010)
Inv	0.011** (0.003)	0.010 (0.054)	0.011*** (0.003)	-0.136 (0.270)	0.011*** (0.003)
Cons	0.003 (0.061)	9.581*** (1.047)	0.211*** (0.061)	-31.324*** (5.182)	0.331*** (0.058)
Bootstrap 检验		Z=-5.600, P=0.000***		Z=3.260, P=0.001***	
中介效应大小		部分中介		部分中介	
时间固定效应	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是
N	1100	1100	1100	1100	1100

表 4.6 中第 (3) - (4) 列报告的是产业数字转型的人力资本效应。结果表明产业数字化会正向提高人力资本水平，但 P 值大于 0.1，产业数字化的人力资本效应不显著，而人力资本显著促进了制造业升级。因为至少一个系数不显著，就需要进行 *Bootstrap* 检验，检验结果发现不接受  $a*b=0$  的原假设，人力资本的间接效应显著。同时， $a*b$  与  $c$  的符号一致且显著，说明存在部分中介效应。据此，人力资本的中介效应为 0.670%，中介效应占总效应的比重约 3.472%。由于产业数字化水平的提升以及数字技术与制造业的融合，长江经济带制造业对人力资本的需求由“量”向“质”发生转变。产业数字化不仅刺激了长江经济带的制造业行业对高素质劳动力的需求，还引起人力资本的重新配置，高等素质人才占比提高显然有利于促进刺激经济水平攀升，进而有助于提升率制造业的生产和创新效率。

表 4.6 第 (5) - (6) 列反映的是产业数字化转型的技术创新效应。观察发现，产业数字化以技术创新作为中间渠道显著促进长江经济带的制造业升级。具体而言，产业数字化每变动一个单位，技术创新能力显著增加 26.669 个单位；技术创新能力每增加百分之一，制造业升级指数显著变动 0.003 个百分点。此外， $a*b$

与  $c$  的符号一致且显著, 说明存在部分中介效应。技术创新作为中间渠道的中介效应为 8.001%, 技术创新的中介效应占总效应的 41.454%。因此, 技术创新能力是产业数字化对制造业升级的重要传递机制。技术的投入在一定程度上创新驱动制造业高质量发展, 加速了制造业企业的更迭。同时, 科技的应用有助于降低企业交易成本和时间成本, 提高生产和制造效率, 扭转了传统制造业落寞的局势。以上分析不仅验证了前文的假设 2 的论断, 还指出以人力资本作为制造业先导力量, 用数字创新去驱动制造业发展, 才是长江经济带传统制造业转型可行性路径。

#### 4.4 长江经济带产业数字化对制造业升级的异质性分析

依据前文的理论分析发现, 无论是从不同的门槛条件、不同地区还是不同发展水平来看, 产业数字化对制造业升级均具有差异化影响。为了验证该理论, 本文从以下三个方面对产业数字化影响长江经济带制造业升级的异质性效果进行分析。

##### 4.4.1 不同门槛条件下产业数字化对制造业升级的影响

产业数字化对长江经济带制造业升级的影响依托于健全的数字化转型战略布局, 而人力资本、技术创新及互联网水平为产业数字化转型提供了充足的人才和技术储备、核心的数字基础设施, 是促进产业数字化转型的重要环节。为探究产业数字化驱动制造业升级的有效条件, 本文基于面板门限模型探究长江经济带产业数字化水平在不同人力资本、技术创新及互联网水平下对制造业升级的赋能效果。具体面板门限模型见式 (4.6) :

$$\begin{cases} \mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \beta_2 Pgd_{it} + \beta_3 Tra_{it} + \beta_4 Fin_{it} + \beta_5 Inv_{it} + \lambda_t + \eta_t + \varepsilon_{it} & (Th_{it} < \gamma_1) \\ \mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \beta_2 Pgd_{it} + \beta_3 Tra_{it} + \beta_4 Fin_{it} + \beta_5 Inv_{it} + \lambda_t + \eta_t + \varepsilon_{it} & (\gamma_1 \leq Th_{it} < \gamma_2) \\ \mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \beta_2 Pgd_{it} + \beta_3 Tra_{it} + \beta_4 Fin_{it} + \beta_5 Inv_{it} + \lambda_t + \eta_t + \varepsilon_{it} & (Th_{it} \leq \gamma_2) \end{cases} \quad (4.6)$$

其中  $Th_{it}$  为门槛变量, 具体有人力资本、技术创新和互联网水平三个变量。其中, 以规模以上工业企业 R&D 人员数指代人力资本作变量; 技术创新用每万人专利授权数作为代替指标; 互联网水平用每百人互联网宽带用户数来衡量。  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  表示门限值,  $\beta_0 - \beta_5$  表示待估参数, 其他变量与上同。

表 4.7 门槛效应检验

门槛变量	门槛类型	F 统计量	P 值	门槛值	95%的置信区间
人力资本	单一门槛	55.460	0.001	9.680	[9.282, 9.856]
技术创新	单一门槛	64.460	0.000	28.919	[28.759, 29.524]
互联网水平	单一门槛	71.540	0.000	58.763	[56.853, 60.326]

表 4.7 汇报了三个门限变量的检验结果。运用 F Test 判断是否存在门槛效应并确定门槛个数。由表 4.7 可知，人力资本、技术创新以及互联网水平在 1%的水平下通过单一门槛检验，具体门槛图如下图 4.3 所示：

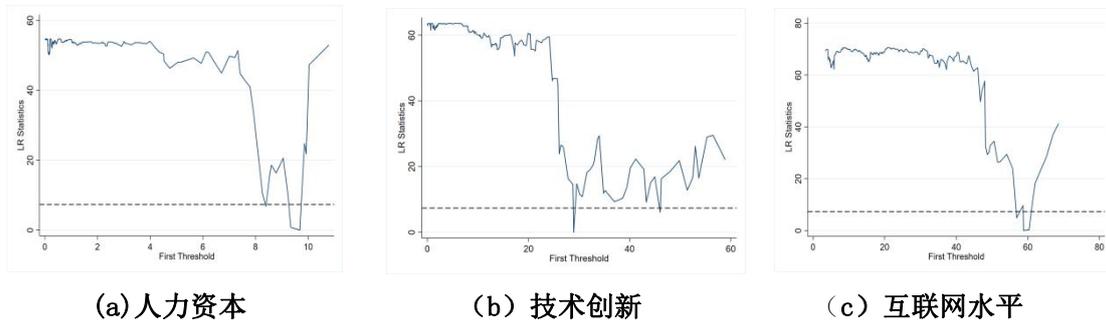


图 4.3 人力资本、技术创新、互联网水平门槛图

表 4.8 门槛回归估计结果

变量	(8)	(9)	(10)
	人力资本(Hc)	技术创新(Tech)	互联网水平(Int)
Dig (Th< $\gamma$ 1)	0.179*** (0.056)	0.103* (0.057)	0.164*** (0.056)
Dig (Th $\geq$ $\gamma$ 1)	0.551*** (0.076)	0.422*** (0.064)	0.482*** (0.068)
Pgdp	0.114*** (0.031)	0.116*** (0.031)	0.083** (0.032)
Tra	0.146*** (0.030)	0.174*** (0.030)	0.176*** (0.030)
Fin	-0.019** (0.010)	-0.027*** (0.010)	-0.025*** (0.009)
Inv	0.011*** (0.003)	0.011*** (0.003)	0.012*** (0.003)
Cons	0.028 (0.019)	0.038** (0.019)	0.041** (0.019)
R <sup>2</sup>	0.473	0.477	0.477
N	1100	1100	1100

表 4.8 列出了面板门限回归结果。人力资本具有显著的单一门槛效应，门槛值为 9.680。单一门槛将人力资本分为两个区间，即  $Hc < 9.680$  对应于低等人力资本水平区域， $Hc > 9.680$  对应于人力资本水平较高的区域。根据表 4.8 门槛回归估计结果，随着人力资本水平的提升，产业数字化的转型升级效应呈现出“边际效应递增”的趋势。具体来看，随着人力资本水平的提升，产业数字化对长江经济带制造业升级的影响系数由 0.179 显著提升到 0.551，斜率逐渐变大。在长江经济带的 110 个研究样本中，仅有约 14% 的地区越过该门槛值，主要集中在长江下游地区的浙江省和江苏省等地区，也即产业数字化水平发展较快的东部地区。产业数字化水平发展较快，越有利于吸引汇聚各项技术和高素质人才，越有利于制造业的转型发展。门槛值 9.680 均远高于人力资本均值 2.854，表明在长江经济带的 110 个地级市至少有 80% 的制造业企业，R&D 人员占比不足以支撑制造业产业数字化转型和结构升级，长江经济带制造业升级所需的人力资本水平仍有较大提升空间。

技术创新具有显著的单门槛效应，门槛值分别为 28.919。按照每万人专利授权数划分，将长江经济带地区分为技术水平较低地区 ( $Tech < 28.919$ ) 与技术水平较高地区 ( $Tech \geq 28.919$ )。随着技术水平的发展，产业数字化对制造业升级的影响系数由 0.013 增长为 0.422，并且均在 10% 的水平下显著。由此看出，技术创新能力具有显著的知识溢出性和技术溢出性，技术的投入为长江经济带产业数字化的制造业升级效应提供了源源不断的动力。同时，该经济带每万人专利授权数超过均值 (12.023) 的地区不足三分之一，说明长江经济带的技术发展仍受限，产业数字化的技术红利有待进一步释放。

同样地，互联网水平对产业数字化的升级效应仅具有一个门槛，门槛值为 58.763。依据每百人互联网宽带用户数将长江经济带地区划分为：互联网水平较低与互联网水平较高的两个区制。当每百人互联网和宽带用户数小于 58.763 时，产业数字化的制造业升级效应系数为 0.164；当每百人互联网用户数超过 58.763 时，产业数字化的影响系数变为 0.482，且均在 1% 的水平下显著。互联网水平对产业数字化的制造业升级效应具有显著的推动作用。

综上所述，人力资本、技术创新、互联网水平均是长江经济带产业数字化升

级效应的实现条件，并呈现出“边际递增”的非线性特征。长江经济带各地级市应以技术创新作为核心驱动力，增加高素质人才储备、建设互联网基础设施，进而促进产业数字化对制造业升级的影响效应。该结果验证了假设3，进一步说明了上述估计结果的稳健性。

#### 4.4.2 不同地区产业数字化对制造业升级的影响

根据第三部分理论分析与研究假设，产业数字化对长江经济带制造业升级的影响效应存在区域异质性。本文根据地理位置的不同，自东向西将长江经济带划分为长江下游、长江中游、长江上游三个样本区间，并在基本模型基础上加入工具变量，试图剥离核心解释变量与扰动项之间错综复杂的相关性。相应的经济模型（4.7）：

$$Mu_{it} = \beta_{0i,k} + \beta_{1,k} Dig_{it} + \beta_{2,k} Pgd_{it} + \beta_{3,k} Tra_{it} + \beta_{4,k} Fin_{it} + \beta_{5,k} Inv_{it} + \varepsilon_{it,k} \quad (4.7)$$

其中，k=1 表示长江下游地区，k=2 代表长江中游地区，k=3 是指长江上游地区。区域异质性估计结果见下表 4.9：

表 4.9 区域异质性分析结果

变量	(11)	(12)	(13)
	长江下游地区	长江中游地区	长江上游地区
Dig	2.586*** (0.853)	1.080*** (0.335)	2.138** (0.990)
Pgdp	0.230*** (0.065)	0.273*** (0.040)	0.364*** (0.098)
Tra	0.120 (0.112)	0.359*** (0.061)	0.106 (0.210)
Fin	0.043 (0.030)	-0.084*** (0.021)	0.034 (0.029)
Inv	-0.017 (0.012)	0.028** (0.012)	0.004 (0.006)
Cons	-0.289** (0.114)	-0.317*** (0.092)	-0.285** (0.120)
N	410	360	330
R <sup>2</sup>	0.666	0.419	0.429
Number of id	41	36	33

表 4.9 报告了分区域分析结果。从表 4.9 第（2）列-第（4）列可以看出，长江中游地区的产业数字化赋能效果（1.080）远不如长江下游地区（2.586），长江下游地区产业数字化赋能效果（2.586）又略强于长江上游地区（2.138）。这

可能有两方面的原因：一是制造业升级与产业数字化具有较高的一致性与同步性，即制造业升级转型快的地区也是产业数字化程度较高的地区，并且同时大多集中在东部地区的江浙沪一带。相较于长江中游地区，长江下游地区本身经济就比较发达，制造业发展较快，且初始禀赋具有较大优势，加大数字技术投资力度对该区域的产业数字化的边际效应大于中部地区；二是目前长江上游地区，大多地处偏远山区，大多制造业行业发展较差，一方面，西部地区受政府扶持力度较大，并且具有较为丰富的资源禀赋，具有极大的开发潜力；另一方面，对该区域的产业加大数字技术投资力度，带来的边际收入较高，有利于激起当地人民的工作热情，进而抓住数字经济发展的机遇，缩小东西部区域差距，实现弯道超车。所以，长江中游地区的影响效应比长江上游的边际效应稍弱一些。这进一步验证了假设 3，即产业数字化可以加速驱动制造业升级，但存在地区差异性。

#### 4.4.3 不同发展水平城市中产业数字化对制造业升级的影响

为进一步验证不同发展水平下长江经济带各城市产业数字化对制造业升级的异质性影响，本文再次将长江经济带 110 个城市按照人均实际 GDP ( $Pgdp$ ) 分组，分样本进行讨论。根据长江经济带各城市的实际发展状况，本文选取  $Pgdp$  为 20000 元和 60000 元两个界限值对城市进行分组，并通过加入工具变量，以减少核心解释变量与扰动项之间相关性的干扰因素。当  $Pgdp \geq 60000$  时，成为发达城市， $20000 \leq Pgdp < 60000$  时为中等发达城市， $Pgdp < 20000$  时为欠发达城市。具体模型如下：

$$Mu_{it} = \beta_{0i,j} + \beta_{1,j} Dig_{it} + \beta_{3,j} Pgdp_{it} + \beta_{4,j} Tra_{it} + \beta_{5,j} Fin_{it} + \beta_{6,j} Inv_{it} + \varepsilon_{it,j} \quad (4.8)$$

其中， $j=1$  表示发达城市， $j=2$  代表中等城市， $j=3$  是指欠发达城市。不同经济发展水平城市组中产业数字化对制造业升级影响的估计结果列于表 4.10。

表 4.10 不同发展水平城市异质性分析结果

变量	(14) 发达城市	(15) 中等发达城市	(16) 欠发达城市
Dig	0.997* (0.619)	0.584 (0.477)	0.503** (0.214)
Pgdp	0.182* (0.111)	-0.126 (0.175)	0.180 (0.424)
Tra	0.141** (0.066)	0.040 (0.073)	0.121 (0.095)

续表 4.10

变量	(14) 发达城市	(15) 中等发达城市	(16) 欠发达城市
Fin	-0.027 (0.018)	-0.002 (0.020)	0.016 (0.015)
Inv	0.007 (0.011)	0.013*** (0.004)	0.001 (0.001)
Cons	-0.140 (0.180)	0.040 (0.053)	-0.007 (0.061)
N	336	653	111
R <sup>2</sup>	0.556	0.269	0.844

如表 4.10 所示，不同发展水平下长江经济带各地级市产业数字化对制造业升级的影响都显著为正，但也存在明显差异性。按影响系数大小排序，发达城市产业数字化对制造业升级的影响系数最大(0.997)，其次是中等发达城市(0.584)，最后是欠发达城市(0.503)。这表明经济发展较快的城市，产业数字化的制造业升级效应远高于经济发展较慢城市的升级效应。可能原因有：第一，长江经济带的发达城市除了中西部的新一线城市（成都市、武汉市、重庆市），大多集中在长江下游地区。该区域制造业发展与转型具有得天独厚的优势，一方面依托于长三角的产业优势和临港口的地理优势，制造业发展较快，另一方面汇聚了优质的人力资本和丰富技术创新资源，东部地区已成为我国先进制造业的重要基地，引领全国智能制造的发展；第二，随着中西部成渝等新一线城市经济发展，成渝地区成为西部制造业增长极，武汉的先进制造业集群强劲崛起，不仅激活数字技术对经济高质量发展的放大、倍增活力，促进制造业的产业竞争力实现“量质齐升”，还带动了长江上游和长江中游地区其他城市的制造业升级。此外，相对而言，中等发达地区产业数字化系数不显著，主要是因为其人力资源和技术水平比不上发达城市，政府扶持力度不如欠发达城市，所以制造业发展节奏较慢，生产效率和产品质量和其他地区存在一定差距。中等发达城市不仅是“人才洼地”还是“资源洼地”，难以吸引高端技术，不足以支撑制造业结构优化升级与经济跨越式发展。因此，城市的产业数字化程度的提升离不开政府扶持以及先天传统产业聚集优势。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

随着《中国制造 2025》的深化以及数字经济与实体经济的深度融合，我国制造业的发展与转型升级迎来新的机遇。如何利用产业数字化改革助力传统产业生产效率和产品质量的提升，为制造业升级注入新的动能，成为目前亟待解决的核心议题。本文从“数字中国”的背景出发，立足于长江经济带，以产业数字化与制造业升级的关系为主线，依托于 2011-2020 年长江经济带 110 个地级市的面板数据，以面板双固定效应模型、动态面板模型、中介效应、面板门限回归等多种计量方式作为中间渠道，对产业数字化的升级效应、内在机制及其异质性影响进行详细阐述，并得出以下结论：

第一，产业数字化对制造业升级有显著正向影响。首先从面板双固定效应模型出发，探讨产业数字化对制造业升级的直接影响；其次，使用替换变量、删除直辖市以及删除省会城市等方法进行稳健性检验；最后，运用工具变量法和广义矩估计两类方法解决模型的内生性问题，进一步验证产业数字化对长江经济带制造业升级具有显著的正向影响。

第二，产业数字化依靠人力资本和技术创新，成为托底长江经济带制造业升级的必要手段。具体来看，主要以人力资本和技术创新作为中间变量，依托于 *Bootstrap* 中介效应进行传导机制检验，发现产业数字化具有人力资本效应和技术创新效应。

第三，无论从不同的门槛条件、不同发展水平还是不同地区来看，产业数字化对长江经济带制造业升级均具有差异化影响。异质性分析主要从两方面入手，一是构建面板门槛回归模型，以人力资本、技术创新能力、互联网水平三个变量作为门槛条件，进行分区制讨论；二是按照地理位置和经济发展水平将长江经济带城市划分为多个子样本进一步分析，得出异质性影响。

### 5.2 政策建议

根据本文研究的结论，并结合新时代中国产业数字化发展与长江经济带制

制造业转型面临的困境，提出如下政策建议：

第一，大力发展数字经济，合理推进数字化转型。充分发挥数据要素清洁、高效、边际成本为零的特性，发挥规模经济效应，弥合数字经济边际效应递减的趋势，作为其可持续的内生动能，推动高质量发展，实现制造业转型升级。具体来讲，①发挥数字要素作为新生产要素的重要推动力，加快数字产业化发展；②加强以5G为核心的数字基础设施建设投入，构建数字新基建支撑体系，为数字经济新动能提供设施基础；③推动要素配置效率和企业的数字化水平，推动传统产业转型升级，实现产业数字化。通过上述三个方面，加强数字技术与传统产业动态契合度，创新驱动传统制造业发展，助力产业生产能力与效率的提升，以数字技术催生新业态与新就业，加速实现制造业转型升级和高质量发展。

第二，积极鼓励数字创新驱动，重用高素质人力资本。以“技术创新效应”和“人力资本效应”为中间渠道，形成“数字技术和人才双重渗透、传统产业与新兴产业双管齐下”的驱动模式，进一步推动长江经济带制造业升级。加快制造业转型，一方面需要大力发展制造业升级所需的核心技术，打造多层次创新平台。①要着重发展5G、人工智能、区块链等技术，积极构建数据资源公共服务平台；②政府和长江经济带内部应扩大基础研究的投入，着力聚焦云计算、大数据处理、芯片等关键技术，助力提升智能化水平和算力水平；③区域自身应基于要素禀赋和产业优势，以云计算中心、互联网中心等为依托，打造可以提升区域核心竞争力和创新能力的大数据处理中心。另一方面，要加强制造业人才队伍建设，重视高素质人才培养，持续开展专业技能培训，增加数字人才储备量。数字人才是指涵盖信息通信技术和专业管理技能、专注科研突破和技术引领的综合性人才。加强数字人才培养，不仅了解人才需求发展趋势，以相匹配的规划引领人才培养，还需要强化产学研协作联合培养顶尖人才，充分整合优势资源与要素，为“领跑人才”提高更多的学习机会和平台；

第三，各区域要因地制宜，制定差异化的数字化转型策略。一方面，东部地区需要在巩固自身地理位置与经济发展优势的基础上创新突破，发挥浙江、江苏等数字经济与制造业强省示范区的作用，在大力推进长三角地区的产业数字化转型的同时，“以东带西”带动中西部制造业数字化转型，进而促进长江流域区域协调发展。同时，积极倡导与参与新型现代化产业体系的构筑工程，发展人工

智能、电子信息技术等高端产业集群，打造长江经济带制造业高质量发展的新引擎，形成区域竞争优势，扩大产业转型区域辐射力；另一方面，中西部地区应取长补短，加强新型数字基础设施建设，充分利用自然资源禀赋，抓住产业数字化转型机遇，充分利用其技术溢出和知识溢出效应，大力引入先进的科学技术、吸引高素质人才和外商投资等，努力缩小地区差距，构建有助于制造业数字化转型的社会环境，使数字红利能够早日惠及全中国所有人民。同时，应重视中西部地区新一线城市工业和信息化发展，重点推进电子设备、仪器仪表等技术密集型制造业行业，提升制造业产品附加值，实现制造业数字革新。

## 参考文献

- [1] Bloom N., L. Garicano, R. Sadun, et al. The Distinct Effects of Information Technology and Communication Technology on Firm Organization[J]. *Management Science*, 2013, 60(12): 2859-2885.
- [2] Demartini M., S. Evans & F. Tonelli. Digitalization Technologies for Industrial Sustainability[J]. *Procedia Manufacturing*, 2019, 33(4): 264-271.
- [3] Gereffi, G.. International Trade and Industrial Upgrading in the Apparel Commodity Chain[J]. *Journal of International Economics*, 1999, 48: 37-70.
- [4] Ju J. & X. Yu. China's Opening up after 40 Years: Standing at a historic turning point[J]. *China & World Economy*, 2018, 26(2): 23-49.
- [5] Martínez-Caro, E., J.G. Cegarra-Navarro & F.J. Alfonso-Ruiz. Digital Technologies and Firm Performance: The Role of Digital Organisational Culture[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 154(5): 1-10.
- [6] Michael, G.. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication[R]. 2014.
- [7] Miguel, G., L. Gutierrez & R. Taborda. Innovation and Productivity in the Colombian Service and Manufacturing Industries[J]. *Emerging Markets Finance and Trade*. 2015, 51(3): 612-634.
- [8] Porter, M.E. & J.E. Heppelmann. How smart, connected products are transforming competition[J]. *Harvard Business Review*, 2014, 92(11): 64-88.
- [9] Russu, C.. Structural Changes Produced in the Romanian Manufacturing Industry in the Last Two Decades[J]. *Procedia Economics and Finance*, 2015, (22): 323-332.
- [10] Wollschlaeger, M., T. Sauter & J. Jasperneite. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the things and industry 4.0[J]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2017, 11(1): 17-27.
- [11] 陈堂, 陈光. 数字化转型对产业结构升级的空间效应研究——基于静态和动态空间面板模型的实证分析[J]. *经济与管理研究*, 2021, 42(08): 30-51.
- [12] 陈晓峰. 数字经济发展对我国制造业升级的影响——基于省际面板数据的经验

- 考察[J].南通大学学报(社会科学版),2022,38(03):128-140.
- [13] 崔艺瑄,熊晓轶.数字经济发展对我国产业结构优化升级的影响研究[J].商业经济研究,2021(21):176-179.
- [14] 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[J].现代经济探讨,2020(01):85-92.
- [15] 杜传忠,管海锋.数字经济与我国制造业出口技术复杂度——基于中介效应与门槛效应的检验[J].南方经济,2021(12):1-20.
- [16] 傅为忠,刘瑶.产业数字化与制造业高质量发展耦合协调研究——基于长三角区域的实证分析[J].华东经济管理,2021,35(12):19-29.
- [17] 傅元海,叶祥松,王展祥.制造业结构优化的技术进步路径选择——基于动态面板的经验分析[J].中国工业经济,2014(09):78-90.
- [18] 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(04):137-148.
- [19] 何伟,张伟东,王超贤.面向数字化转型的“互联网+”战略升级研究[J].中国工程科学,2020,22(04):10-17.
- [20] 黄群慧,余泳泽,张松林.互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J].中国工业经济,2019(08):5-23.
- [21] 黄阳华.德国“工业4.0”计划及其对我国产业创新的启示[J].经济社会体制比较,2015(02):1-10.
- [22] 黄贇琳,秦淑悦,张雨朦.数字经济如何驱动制造业升级[J].经济管理,2022,44(04):80-97.
- [23] 纪玉俊,张彦彦.互联网+背景下的制造业升级:机理及测度[J].中国科技论坛,2017(03):50-57.
- [24] 焦勇,刘忠诚.数字经济赋能智能制造新模式——从规模化生产、个性化定制到适度规模定制的革新[J].贵州社会科学,2020(11):148-154.
- [25] 邝劲松,彭文斌.数字经济驱动经济高质量发展的逻辑阐释与实践进路[J].探索与争鸣,2020(12):132-136+200.
- [26] 李春发,李冬冬,周驰.数字经济驱动制造业转型升级的作用机理——基于产业链视角的分析[J].商业研究,2020(02):73-82.

- [27] 李磊,刘常青,徐长生.劳动力技能提升对中国制造业升级的影响:结构升级还是创新升级? [J].经济科学,2019(04):57-68.
- [28] 李廉水,程中华,刘军.中国制造业“新型化”及其评价研究[J].中国工业经济,2015(02):63-75.
- [29] 李史恒,屈小娥.数字经济赋能制造业高质量发展:理论机制与实证检验[J].经济问题探索,2022(10):105-117.
- [30] 李晓华.数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制[J].改革,2019(11):40-51.
- [31] 李治国,王杰.数字经济发展、数据要素配置与制造业生产率提升[J].经济学家,2021(10):41-50.
- [32] 林毅夫.新结构经济学的理论基础和发展方向[J].经济评论,2017(03):4-16.
- [33] 刘钊,余明月.长江经济带数字产业化与产业数字化的耦合协调分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(07):1527-1537.
- [34] 刘航,伏霖,李涛,孙宝文.基于中国实践的互联网与数字经济研究——首届互联网与数字经济论坛综述[J].经济研究,2019,54(03):204-208.
- [35] 罗珉,李亮宇.互联网时代的商业模式创新:价值创造视角[J].中国工业经济,2015(01):95-107.
- [36] 吕铁,李载驰.数字技术赋能制造业高质量发展——基于价值创造和价值获取的视角[J].学术月刊,2021,53(04):56-65+80.
- [37] 吕铁.传统产业数字化转型的趋向与路径[J].人民论坛·学术前沿,2019(18):13-19.
- [38] 聂国卿,郭晓东.环境规制对中国制造业创新转型发展的影响[J].经济地理,2018,38(07):110-116.
- [39] 彭徽,匡贤明.中国制造业与生产性服务业融合到何程度——基于2010—2014年国际投入产出表的分析与国别比较[J].国际贸易问题,2019(10):100-111.
- [40] 任碧云,贾贺敬.基于内涵重构的中国制造业产业升级测度及因子分析[J].经济问题探索,2019(04):141-148.
- [41] 沈运红,黄彬.数字经济水平对制造业产业结构优化升级的影响研究——基于浙江省2008—2017年面板数据[J].科技管理研究,2020,40(03):147-154.
- [42] 盛丰.生产性服务业集聚与制造业升级:机制与经验——来自230个城市数据的

- 空间计量分析[J].产业经济研究,2014(02):32-39+110.
- [43] 盛磊.以数据要素资源助推经济高质量发展[J].人民论坛·学术前沿,2020(17):13-21.
- [44] 谭清美.产业互联网中的智能产业元[N].中国社会科学报,2016-09-21(04).
- [45] 陶长琪,周璇.产业融合下的产业结构优化升级效应分析——基于信息产业与制造业耦合的实证研究[J].产业经济研究,2015(03):21-31+110.
- [46] 腾讯研究院.产业互联网:构建智能+时代数字生态新图景[R].2019.
- [47] 王军,朱杰,罗茜.中国数字经济发展水平及演变测度[J].数量经济技术经济研究,2021,38(07):26-42.
- [48] 王楠.金融发展对中国城市化进程影响的实证分析[D].吉林大学,2011.
- [49] 王蓉,黄桂田.人力资本结构高级化、结构匹配与制造业生产效率提升[J].统计与决策,2022,38(11):88-92.
- [50] 王姝楠.数字经济背景下中国制造业转型升级研究[D].中共中央党校,2020.
- [51] 王治,王耀中.中国服务业发展与制造业升级关系研究——基于东、中、西部面板数据的经验证据[J].华东经济管理,2010,24(11):65-69.
- [52] 韦庄禹,李毅婷,武可栋.数字经济能否促进制造业高质量发展?——基于省际面板数据的实证分析[J].武汉金融,2021(03):37-45.
- [53] 温珺,阎志军,程愚.数字经济驱动创新效应研究——基于省际面板数据的回归[J].经济体制改革,2020(03):31-38.
- [54] 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(08):61-70.
- [55] 严晓玲,涂心语,王珊珊.金融发展、金融结构与制造业服务化——基于跨国面板数据的实证研究[J].亚太经济,2022(01):28-36.
- [56] 阳立高,龚世豪,王铂,晁自胜.人力资本、技术进步与制造业升级[J].中国软科学,2018(01):138-148.
- [57] 阳立高,韩峰.人力资本何以成为红利?——来自企业出口价值攀升视角的证据[J].中国软科学,2022(05):123-133.
- [58] 杨赏.金融发展对我国制造业出口复杂度的影响研究[D].浙江大学,2022.
- [59] 杨文溥.中国产业数字化转型测度及区域收敛性研究[J].经济体制改革,2022(01):111-118.

- [60]叶云岭,邓洲,魏继石.长江经济带制造业集聚水平影响因素研究——基于专业化集聚与多样化集聚的比较视角[J].经济纵横,2022(07):85-96.
- [61]俞伯阳,丛屹.数字经济、人力资本红利与产业结构高级化[J].财经理论与实践,2021,42(03):124-131.
- [62]曾燕玲.江西制造业转型升级影响因素研究[D].江西财经大学,2014.
- [63]张继良,赵崇生.我国工业转型升级、绩效、问题与对策[J].调研世界,2015(12):3-7.
- [64]赵剑波.企业数字化转型的技术范式与关键举措[J].北京工业大学学报(社会科学版),2022,22(01):94-105.
- [65]赵婉妤,王立国.中国产业结构转型升级与金融支持政策——基于美国和德国的经验借鉴[J].财经问题研究,2016(03):35-41.
- [66]中国人民银行金融研究所与天津分行联合课题组.“双循环”背景下推动我国对外贸易和产业升级研究[J].金融与经济,2022(02):57-66.
- [67]朱小艳.数字经济赋能制造业转型:理论逻辑、现实问题与路径选择[J].企业经济,2022,41(05):50-58.
- [68]祝合良,王春娟.“双循环”新发展格局战略背景下产业数字化转型:理论与对策[J].财贸经济,2021,42(03):14-27.

## 致 谢

时光荏苒，我的三年研究生生涯也到了尾声。久久不愿下笔，不愿相信三年就这样悄无声息地过去了，可终究还是到了要告别的这一天。

三年的研究生生活，历历在目。回想当初的激动与憧憬，再看当下的不舍与迷茫，生活的确处处充满惊喜。这三年，我们共同经历诸多的风雨，但也终于迎来了彩虹！

我始终相信自己这三年是幸运的，有幸遇到了温暖亲切的恩师傅老师；有幸和小雪、小井两位同门一起摸索成长；有幸和三位室友一起经历这三年的欢乐与无奈，一起嬉闹、一起进步；有幸向各位任课老师学习学科领域前沿知识，有幸坐在明亮宽敞的图书馆里敲打键盘.....一切的一切都是幸运的，是值得感恩的。

还未离开兰州，离开兰财，我似乎已经开始想念她了，想念那满园春色，想念温暖的夕阳，想念明亮安静的图书馆，想念三点一线的生活，甚至想念不那么好吃的食堂。现在想来，一切都那么美好，令我难以割舍。当然也不会忘记，会一辈子珍藏与惦念。

以梦为马，不负韶华，韶华易逝，青春难在，以此为警，来日方常。

再见了，最亲爱的兰财！再见了，最可爱的兰州！

2023年3月20日