

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 10741



## 硕士学位论文

论文题目 数字技术对碳生产率的影响研究：基于  
东中西部的比较分析

研究生姓名： 乔国伟

指导教师姓名、职称： 王必达 教授

学科、专业名称： 应用经济学 区域经济学

研究方向： 欠发达地区经济开发

提交日期： 2024年6月5日

## 独创性声明

本人声明所提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：张园伟 签字日期：2024年6月5日

导师签名：王仲志 签字日期：2024年6月5日

## 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：

- 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；
- 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內容。

学位论文作者签名：张园伟 签字日期：2024年6月5日

导师签名：王仲志 签字日期：2024年6月5日

**Research on the impact of digital  
technology on carbon productivity:  
comparative analysis based on the East and  
Middle and West**

**Candidate: Qiao Guowei**

**Supervisor: Wang Bida**

## 摘要

党的二十大以来以习近平总书记为核心的党中央提出了要继续贯彻新发展理念，构建新发展格局和推动高质量发展。这是我国社会主义市场经济发展的重大进步，对促进增长动能转换、提高经济发展质量具有重大意义，也为我国出现的经济发展能耗较高、持续发展能力较弱等问题提供了解决方案。进入新时代以来我国经济增长速度开始放缓，如何既能推动经济持续发展又能实现经济增长成为推动我国经济转型的重大问题。

首先，本文在回顾相关文献的基础上，具体从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三方面分析数字技术对碳生产率的影响，并构建数理模型进行具体分析。然后在机制分析的基础上，运用 2010-2019 年我国省级样本数据进行实证研究。研究发现：（1）数字技术能显著地提升我国的碳生产率。数字技术的应用不仅提升了我国经济发展的活力，实现经济量的增长，而且数字技术的应用可以实现我国经济发展的绿色目标，提高经济发展的质。这说明数字技术的发展有利于我国经济的高质量发展。（2）根据机制检验的结果来看，数字技术从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应实现碳生产率的提升。具体地，技术进步效应主要通过地区和产业之间的分工、减少信息不对称等实现碳生产率的上升；空间集聚效应主要表现在数字技术的发展推动了要素资源的跨区域流动，优化了区域产业的布局并为要素的空间集聚打下良好的基础，实现碳生产率的上升；产业结构升级效应主要表现在数字技术的发展推动产业结构的升级调整，实现碳生产率的上升。（3）根据分地区样本数据回归结果显示，对于东中西部来说，数字技术均能显著促进碳生产率的提升，但是中部地区的系数要大于东部和西部，这主要是因为中部地区的传统制造业占比较高，数字技术的作用更大。最后根据东中西部的实证结果和文章的整体思路从深化改革、技术赋能、加大数字技术的投入三方面得出政策启示。

**关键词：**数字技术 碳生产率 区域比较分析

## Abstract

Since the 20th National Congress of the Communist Party of China, the Party Central Committee with General Secretary Xi Jinping has proposed to continue to implement the new development concept, build a new development pattern and promote high -quality development. This is a major progress in the development of my country's socialist market economy. It is of great significance to promote the conversion of kinetic energy and improve the quality of economic development. It also provides solutions for issues such as high economic development and weak sustainable development capabilities in my country. Since entering the new era, my country's economic growth rate has begun to slow down. How to promote sustainable economic development and achieve economic growth have become a major issue in promoting my country's economic transformation.

First of all, on the basis of reviewing relevant literature, this article analyzes the impact of digital technology on carbon productivity on carbon productivity from technical progress effects, spatial agglomeration effects and industrial structure upgrade effects, and build a mathematical model for specific analysis. Then, on the basis of mechanism analysis, the provincial sample data of my country is used for empirical research from 2010-2019. Studies have found that (1) Digital technology can significantly increase carbon productivity in my country. The application

of digital technology not only enhances the vitality of my country's economic development, achieves the growth of economic volume, but also the application of digital technology can achieve the green goal of my country's economic development and improve the quality of economic development. This shows that the development of digital technology is conducive to the high -quality development of my country's economy. (2) According to the results of the testing of the mechanism, digital technology can improve carbon productivity from technical progress effects, spatial agglomeration effects, and industrial structure upgrade effects. Specifically, the technological progress effect is mainly through the increase in carbon productivity through the division of labor between regions and industries, and reducing information asymmetry. The layout and the gathering of the elements of the element lay a good foundation to achieve the rise in carbon productivity; the upgrade effect of the industrial structure is mainly manifested in the development of digital technology to promote the upgrading and adjustment of the industrial structure, and the increase in carbon productivity. (3) According to the return of sample data in the divide area, for the east and central and western regions, digital technology can significantly promote the improvement of carbon productivity. The industry accounts for relatively high, and the role of digital technology is greater. Finally, based on the empirical results of the East and West and the overall ideas of the article, the policy revelation is obtained from the three

aspects of deepening reform, technology empowerment, and increased digital technology.

**Keywords : Digital technology ; Carbon productivity ; Regional comparative analysis**

# 目录

<b>1. 引言</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	2
1.2.1 理论意义	2
1.2.2 现实意义	2
1.3 论文框架	3
1.4 创新点	5
<b>2. 文献综述</b>	<b>6</b>
2.1 核心概念	6
2.1.1 数字技术	6
2.1.2 碳生产率	7
2.1.3 产业发展	8
2.2 已有研究综述	9
2.2.1 数字技术与经济发展	9
2.2.2 数字技术与碳排放	10
2.2.3 已有文献述评	12
<b>3. 数字技术对碳生产率的影响机理</b>	<b>13</b>
3.1 数字技术对碳生产率的效应分析	13
3.1.1 直接效应	13
3.1.2 间接效应	14
3.2 数字技术对碳生产率的数理分析	15
<b>4. 指标测度体系构建与现状分析</b>	<b>17</b>
4.1 数字技术指标体系构建与现状分析	17
4.1.1 数字技术发展的指标体系的构建	17
4.1.2 数字技术发展的现状分析	19
4.1.3 数字技术发展的意义及阻力	22
4.2 碳生产率的测度与现状	23
4.2.1 碳生产率的测度	24
4.2.2 碳生产率的现状	24
4.2.3 提高碳生产率的意义及阻力	25
<b>5. 数字技术对碳生产率的实证研究</b>	<b>27</b>
5.1 模型设定、变量说明与数据选取	27
5.1.1 模型设定	27
5.1.2 变量说明与数据选取	27
5.2 实证结果分析	28
5.2.1 基准回归结果	28
5.2.2 机制检验	30



5.2.3 区域比较分析 .....	34
5.2.4 稳健性检验 .....	37
<b>6. 结论与政策建议 .....</b>	<b>40</b>
6.1 研究结论 .....	40
6.2 政策启示 .....	42
6.2.1 深化改革，吸引要素的流入与集聚 .....	42
6.2.2 技术赋能，促进传统产业转型升级 .....	42
6.2.3 加大投入，构建数字技术发展新格局 .....	43
<b>7. 不足与展望 .....</b>	<b>45</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>46</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>52</b>

# 1. 引言

## 1.1 研究背景

党的二十大报告中再次提出了实现经济高质量发展的战略目标，推动经济发展方式更加绿色、产业结构更加优化、发展动能更加持续，着力提升我国经济发展的韧性和动力。2020年9月我国在联合国大会上首次提出在2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的发展目标。这不仅是对全世界的承诺，更是对我国经济发展方式提出了新的目标，即不仅要实现经济的增长更要提升经济的可持续发展能力。目前我国产业链多处在中低端，企业生产的产品能耗大、附加值低，因此如何对我国产业进行改造促使其提高能源利用效率和发展动力，推动我国经济高质量发展具有重大的理论和现实意义。

当前新一轮科技革命和产业变革加速兴起，数字技术、数字经济和数据要素等被各国高度重视，是因为它能突破传统交易的壁垒，降低企业的交易成本，同时还能对传统的经济发展方式进行改造。数字经济被认为是一种新业态，它正在逐渐成为重组全球资源要素、改变世界格局的关键力量。越来越多的国家认识到要想在国际竞争中立于不败之地就必须先攻克数字技术这一难关。

《中国数字经济发展白皮书（2022年）》显示我国的产业数字化占数字经济的比重超过八成，从2012年以来我国数字经济的年均增速明显高于同期GDP的年均增速。2021年我国的数字经济规模达到45.5万亿元，同比增长16%。在当前我国的发展模式中，数字技术渗透并赋能各个行业，促进数字与各个产业相融合，不仅提升了各行业的生产力也促进了我国的产业链价值链的攀升。因此数字技术的应用对于我国经济转型、高质量发展和在激烈的国际竞争中赢得主动具有重大意义。

第二次工业革命以后人类开始大量使用化石能源进行生产生活，虽然极大促进了社会生产力的发展，但是大量的二氧化碳被排入大气中。随着温室效应的显现，世界上越来越注重减少二氧化碳的排放量并转而寻找新的可代替绿色能源。我国作为世界上最大的发展中国家，不仅意识到了传统发展方式难以继续支撑我国未来经济发展，而且我国作为有担当责任的大国，十八大明确提出要构建人类命运共同体，强调环境与人类的生存发展息息相关，推动经济不仅要实现量的合理增长同时也要实现质的提高。因此众多学者从碳生产率的角度

来研究经济发展的可持续性，这个概念中不仅包括了经济的发展程度而且也包括了二氧化碳的排放量，因此可以作为一个很好的衡量经济是否高质量发展的参照。

十八大以来，我国积极结合地区和产业特点，培育新动能，发展新经济。随着数字技术的快速发展，它与我国产业融合程度不断加深，尤其是数字技术与制造业、生产性服务业等的融合对于促进我国产业的转型升级、推动产业的高质量发展有重大意义。在本文中，由于经济发展过程会产生一些消极影响比如二氧化碳排放量的增加、经济动力不可持续等，因此为了提高单位二氧化碳所能产生的经济量，可以利用数字技术对我国产业进行改造，提高地区的产业数字化水平，在提升经济总产值的基础上提高对资源的利用效率。这为我国产业朝更高的水平发展、转变经济发展方式和经济高质量增长注入强大动力。

## 1.2 研究意义

### 1.2.1 理论意义

宏观经济学的索洛模型中，依据公式推导可以得出经济的长期增长依靠于技术进步。而数字技术近些年来成为众多学者研究的热点，它被看作是一场“技术革命”，推动了生产生活方式的变革。因此要更好地发挥技术进步对经济增长的作用。

第一，大量学者主要从数字技术对产业赋能、促进产业转型升级的影响角度衡量数字技术在经济高质量发展中的作用，但是鲜有从数字技术对提高地区的碳生产率的角度研究。数字技术的应用不仅会促进产业结构的合理化和高级化，更会降低二氧化碳的排放量，促进了数字技术对碳生产率的理论完善。第二，在学者已有文献和学者研究基础上，文章从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三个效应来分析数字技术的应用对碳生产率的影响机制，并尝试解读数字技术与碳生产率的内在联系，为推进数字技术的进步提供理论支撑。第三，文章通过从东中西三个板块之间的比较，分析了数字技术对碳生产率的影响在地区之间是不同的，然后根据实证结果给出对策建议。

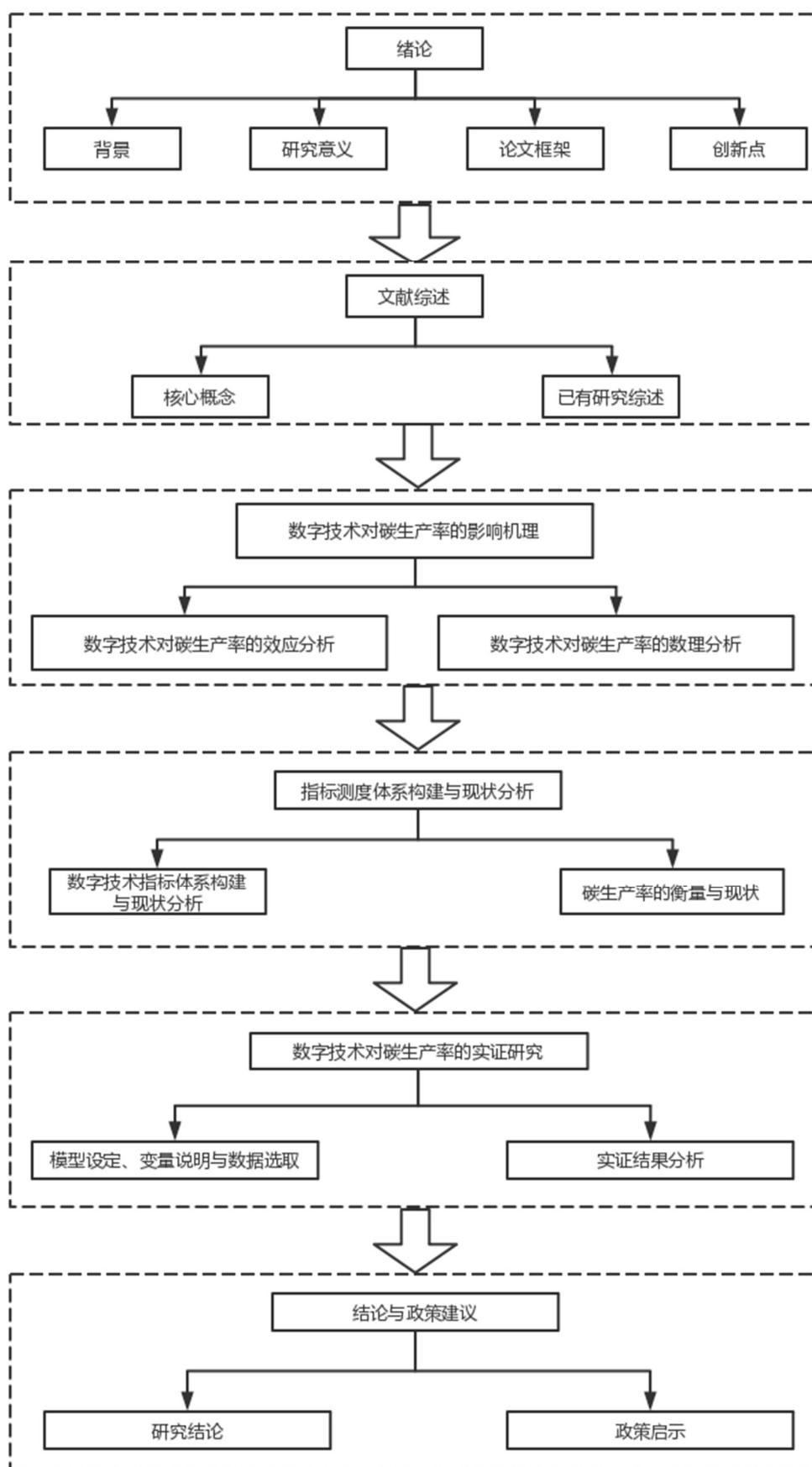
### 1.2.2 现实意义

当今世界未有之大变局和中华民族伟大复兴战略全局交织，党中央提出在

我国构建新发展格局，促进经济高质量发展。新发展格局中就包括了优化经济发展的格局和确定经济发展的路径。我国经济发展到目前这个阶段，经济总量越来越大，能源需求也越来越大，迫切需要寻找一条既能推动我国经济量的增长又能提高能源利用效率或新能源的广泛应用的适合我国经济发展的路径。

我国产业发展整体水平不高，对于传统能源的依赖较强，科技创新能力较弱，单位能耗较发达国家仍然较高。数字技术的应用可以降低企业的交易成本，实现规模经济，尤其是数字技术推动了虚拟集聚，既可以充分得到集聚的好处又受地理空间限制作用较小，摆脱传统经济发展模式的束缚，推动我国数字化生产等能力的提升，提高区域的创新能力。同时数字技术的发展有其独特性，不仅能提升企业的生产能力，又提升产业的数字化能力，降低能源的消耗，有利于降低区域碳排放，促进区域经济的高质量发展。基于数字技术对碳生产率的作用机制，可以优化我国的整体产业结构，对提升我国国际竞争力具有重要的现实意义。最后由于我国各地区资源禀赋存在很大的不同，从东中西三大板块分析数字技术对碳生产率的影响会存在不同，可以根据各地区不同的优势提出针对性政策建议。

### 1.3 论文框架



## 1.4 创新点

大部分的学者从数字技术对产业赋能促进产业转型升级的角度来研究数字技术对我国产业结构的作用，但鲜有从产业生产能力和降低碳排放的角度来研究。因此本文的边际贡献在于：将发展数字技术和碳生产率纳入一体研究中，从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应“三个效应”分析数字技术对碳生产率的影响机制，并利用数理模型进行推导证明。最后构建实证计量模型对理论进行实证，并对东中西部进行了比较分析。

## 2. 文献综述

### 2.1 核心概念

#### 2.1.1 数字技术

西方经济学对于技术进步的研究由来已久，且具有很强的借鉴意义。索罗通过数学推导证明了在长期只有技术进步会促进经济的增长。而生产力是推动社会进步最活跃的因素，它衡量了社会的发展情况，科技又是第一生产力，众多学者从数字技术的定义和影响进行研究。学术界最早对数字技术的定义认为数字技术可以理解为互联网技术，它包含了信息技术和相关基础设施；Briel et al.，（2018）认为数字技术是指由通信技术组成的平台和基础设施等；随着对数字技术研究的深入，数字技术的定义开始出现多元化，学者开始把互联网、大数据和人工智能等加入到数字技术的内容（邢小强等，2019；周明生和张一兵，2022；唐任伍等，2022）；彭刚等（2021）认为最初的数字技术主要是互联网和通信领域，现在主要是数字化技术的整合，它实现了对各种信息的识别、存储和计算等功能；吴翌琳和王天琪（2021）等认为数字技术是一种通用目的技术，且与传统经济的融合在不断加深；杜传忠和姜莹（2022）认为数字技术具有可编辑性和扩展性，同时也允许其他主体参与和共享，利用主体之间的关系促进功能的实现；杨军鸽和王琴梅（2023）认为数字技术是一种更高水平的通信技术发展，主要包括了数字互联网发展和数字信息化发展。还有一些学者从数字经济的影响来研究，Agarwal et al.（2010）、Westerman et al.（2011）、丛昊和张春雨（2022）为代表的学者认为数字技术对企业的生产经营等带来了巨大的影响；Bean（2016）认为数字技术可以推动社会产业由资本密集型转为人力资本密集型，它推动人力资本在经济增长中的发挥重要的作用；Szalavetz（2019）认为数字技术提升了产业链子企业的创新，提高了企业产品的科技含量；方岚（2022）认为数字技术正在重塑生产方式和产业模式，它拓展了原有产业的生产边界，产生了新的生产方式；任希丽和张海伟（2023）认为数字技术对我国的经济结构带来了巨大的“创造性破坏”，不仅会提升企业的生产效率、降低企业的成本，同时推动了传统的经济增长模式发生了巨大的改变。综上，数字技术就是运用互联网通信技术对信息实现加工以提高经济效率的新型技术。

## 2.1.2 碳生产率

当前全球气候环境变暖，自然灾害频发，世界各国期望合作共同解决人类面对的环境问题。我国是世界上最大的发展中国家，碳排放总量巨大，传统的经济发展和能源利用方式难以为继，因此我国提出要保护环境、促进人与自然和谐共生，目的就是要拿最小的资源消耗等代价换来最大的产出。而碳生产率这一概念就将环境治理和经济增长这两个概念融入到一个框架中，也即希望用最小的碳排放换来最大的经济增长，这与我国主张的经济高质量发展不谋而合。当前学者主要从四个方面研究碳生产率，第一是碳生产率的含义和内容。Kaya 和 Yokobori（1997）最早提出碳生产率的概念，麦肯锡全球研究所在二十世纪初对碳生产率的界定是经济产值与二氧化碳的排放量的比；刘国平和曹莉萍（2011）认为碳生产率可以分为广义碳生产率和狭义碳生产率，广义碳生产率就是基于福利绩效的碳生产率，狭义碳生产率就是基于经济绩效的碳生产率；刘海英等（2022）认为碳生产率包含了经济产出和二氧化碳排放两个维度，增加经济产出和降低二氧化碳排放的因素都会导致碳生产率的上升；胡剑波等（2023）把碳生产率分为了单要素碳生产率和多要素碳生产率，单要素碳生产率被认为是增加值与碳排放的比，而全要素碳生产率在考虑了碳与其他要素之间的替代关系的基础上对碳要素的产出效率进行评估，本文碳生产率借鉴麦肯锡全球研究所的定义即单位二氧化碳排放量所能产生的经济总量。第二是碳生产率的区域差异与趋势。武义青和姚连宵（2021）认为碳生产率地区差异较大，但是全国整体上是往低碳方向发展。第三是碳生产率的影响因素，包括产业结构（唐志鹏等，2017）、全球价值链嵌入（谢会强等，2018；孙华平和杜秀梅，2020）、环境规制（李小平等，2020）、绿色研发投入（李尽法和王秋月，2020）、资源型产业转移（孙慧和向仙虹，2021）、我国外商直接投资（宋文飞，2021）、城市化（王巧然，2021）和空间因素（梁圣蓉和罗良文，2022）。具体地，唐志鹏等（2017）认为影响碳生产率的主要因素包括产业结构、技术进步、劳动生产率和火电比重，其中产业结构、技术进步和劳动生产率与碳生产率呈正向变动，火电比重与碳生产率呈反向变动；谢会强等（2018）认为全球价值链嵌入程度与我国的制造业碳生产率呈正相关，全球价值链嵌入地位与我国的制造业碳生产率是一种 U 型的关系；孙华平和杜秀梅（2020）认为产业碳生产率与全



球价值链嵌入程度呈正相关，而工业碳生产率与全球价值链的地位呈负相关；李小平等（2020）认为强制型、市场型和自愿型环境规制对于本地区和邻近地区的碳生产率的影响是不同的；李尽法和王秋月（2020）认为绿色研发投入不仅有利于提升本地区的碳生产率而且对周边地区的碳生产率有正向促进作用；孙慧和向仙虹（2021）认为资源型产业转移能促进碳生产率的提高，而且技术溢出在资源型产业转移对碳生产率的影响中有正向作用；宋文飞（2021）认为我国外商直接投资对碳生产率呈正向影响，但是这种影响在区域之间是不一样的，东部地区相比中西部更有优势；王巧然（2021）认为城市化对碳生产率具有不同的阶段效应；梁圣蓉和罗良文（2022）认为空间因素是影响碳生产率分布的重要因素，技术创新有利于本地区的碳生产率的增长，但是对于周边地区的碳生产率的增长不利。第四是碳生产率的计算方法。赵国浩和高文静（2013）运用 DEA 方法测算了我国工业部门的碳生产率；汪晗等（2019）运用泰尔熵标准测算了粤港澳大湾区内部的碳生产率的差别；张雪峰等（2021）运用两阶段碳生产率的模型研究要素投入对工业碳生产率的影响。因此本文的碳生产率的衡量采取地区 GDP 与二氧化碳排放量比的计算方式。

### 2.1.3 产业发展

马克思主义认为一定的生产方式总是与一定的社会阶段相联系着。改革开放以来，随着我国改革的不断深入，地区专业化和产业集聚越来越明显，产业呈现在东部地区集聚的现象（白重恩等，2004；吴三忙和李善同，2010；谭清美和陆菲菲，2016）。产业集聚是当前产业发展的一种重要经济形态，我国生产空间优化的核心就是产业的布局（郭峰和陈凯，2020）。为了更好地研究我国的产业集聚首先要明确产业集聚的定义，Porter（1998）认为产业集聚是产业发展过程中的一种现象，它表现为产业在地理空间相对集聚的现象；黄宇金和孙威（2021）认为产业集聚是由一群具有分工性质的企业为了完成特定的经济任务而组成的群体。关于产业集聚的原因，新古典经济学家认为集聚的外部经济是产业集聚的原因，马歇尔（1920）认为产业在空间上的集聚的动力来源包括知识溢出、劳动力池等因素所导致的外部性。马歇尔之后也涌现出了一些别的集聚理论，例如韦伯的区位集聚论等；Blair 和 Premus（1987）认为产业集聚是由先天的资源禀赋造成的，自然资源等的分布是造成产业集聚的原因；克鲁格曼

(1991)将冰山成本纳入到新经济地理学分析框架中,并提出了“中心和外围”模型,认为运输成本的降低促进了集聚,深刻阐述了集聚的动因;Tabuchi和Thisse(2006)认为制造业依赖于交通运输,当交通成本较低时就容易有制造业集聚的现象发生;白永亮和杨扬(2019)认为产业集聚和知识空间溢出相互作用,前者是后者的结果,前者进一步影响后者。关于产业集聚的衡量,Duranton和Overman(2015)首次提出DO指数,大量的经济学家开始用这个指数研究产业的空间集聚指数。关于产业发展的结果,杨丹辉(2022)认为未来产业发展主要是在数字化和绿色化两条主线上的基础上发展的,同时也是未来国际竞争的焦点;呼倩等(2021)认为我国产业的发展有利于提高流动劳动力的工资和福利水平。

## 2.2 已有研究综述

### 2.2.1 数字技术与经济发展

数字技术被视为一种新的要素乃至是一种会对传统要素进行改造的技术,它不仅有利于发展高端产业,而且也可以对传统产业进行改造,提升产业的数字化水平。学术界对于数字技术与经济发展的研究较为丰富,分别从数字技术与生产角度、数字技术与产业融合角度和数字技术优化资源配置角度进行研究。关于数字技术与生产,郑超愚等(2013)认为数字技术与创新人力资本集聚能够促进经济发展,数字经济能够促进生产要素的流动,提高信息的透明度,有利于市场环境的公平;张于喆(2018)认为数字技术已深度融入经济社会发展各方面,不仅对传统领域进行重构,同时也对生产关系进行重构,推动产业转型升级;张昕蔚(2019)认为数字技术推动了社会生产生活的变革,导致了创新模式的改变,拓展了网络空间功能的范围;数字技术加速了资本的深化,提升了企业的生产率(Goldfarb and Tucker, 2019; Vial, 2019)。王开科等(2020)认为数字技术的通用性在逐渐改善且与传统经济融合的深度和广度不断拓展,这推动了生产效率的提升;郑超愚等(2013)认为数字技术与创新人力资本集聚能够促进经济发展,数字经济能够促进生产要素的流动,提高信息的透明度,有利于市场环境的公平。关于数字技术与产业融合,黄群慧等(2019)认为以互联网为代表的数字技术通过降低交易成本、减少资源错配和提升创新能力提高了制造业企业的生产效率;张龙鹏和张双志(2020)认为随着人工智能的发

展，人工智能与制造业融合程度不断提升，人工智能与制造业产业相融合会产生创新效应；吕铁和李载驰（2021）提出数字技术通过将终端和用户等广泛连接起来，通过对信息的挖掘和分析从而更好地对生产过程中的资源进行配置，优化企业的管理，最终实现促进制造业的高质量发展的目标；赵宸宇等（2021）提出数字技术通过提高创新能力、促进制造业与服务业相融合、降低交易成本等方面成为提高制造业企业的全要素生产率的强劲动力；刘平峰和张旺（2021）从数字技术作为生产要素赋能的技术视角进行研究，分析发现数字技术是全要素生产率增长的主要动力；袁淳等（2021）认为数字技术对制造业专业化分工有明显促进作用；陈楠和蔡跃洲（2021）通过实证分析得到，相比纺织业、资源加工业，数字技术对机械设备制造业的影响更大，数字技术通过降低成本和减少用工数量来促进制造业的高质量发展；邓悦和蒋琬仪（2022）认为数字技术可以提高企业的管理能力，促进管理效率的提升；黄勃等（2023）认为数字技术创新管理、投资、营运和劳动的赋能提升企业的全要素生产率，进而促进企业的高质量发展。关于数字技术优化资源配置，张鹏（2019）认为数字技术降低了企业的搜寻成本，促进了产业网络和配置效率的优化；王右文和董生忠（2021）认为企业通过数字技术加强相互之间的合作，充分发挥每个企业的长处，克服单一企业的短板，实现生产要素的优化配置；方湖柳等（2022）数字技术优化了资源在部门之间的分配，提高决策的合理性，此外数字技术还可以对区域间的资源进行整合，缓解信息不对称的问题，促进各类要素的合理配置；任转转和邓峰（2023）认为数字技术与传统要素结合重构要素体系并重新对要素进行分配，整合要素资源，提高全要素生产率促进经济发展。

### 2.2.2 数字技术与碳排放

近年来关于碳排放的研究很丰富，尤其是影响碳排放的因素，学者从技术进步、产业结构、环境规制等方面对碳排放进行研究，但是从数字技术对碳排放影响的角度研究略显不足。现有文献主要从数字技术通过对城市、产业结构、企业、能源利用和碳排放交易市场五个方面的影响进而达到碳减排的目的进行阐述。关于数字技术与城市碳排放，石大千等（2018）提出数字技术推动了城市发展模式的创新，并通过技术效应、配置效应和结构效应降低污染物的排放量；郭丰等（2022）提出数字技术与城市管理相结合提升了城市收集和分析数

据的效率，优化了各个环节步骤，从而有利于城市的碳排放降低；葛立宇和于井远（2022）认为数字技术分两个路径影响城市的碳排放，一种是数字技术直接影响了城市的碳排放，另一种是数字技术推动产业结构升级从而影响城市的碳排放；刘婧玲和陈艳莹（2023）认为数字技术能直接和间接降低我国城市的碳排放强度，同时这种效应在随着时间的推移呈现增强的态势，同时数字技术也影响了临近城市的碳排放强度。关于数字技术与产业结构融合降低碳排放，丁玉龙和秦尊文（2021）认为数字技术的应用提升了产业领域的运行效率，推动传统产业的升级，有利于形成绿色的产业，降低碳排放；邓荣荣和张翱翔（2022）认为互联网平台等数字技术推动高效率低能耗的数字型、技术密集型产业比重的增加，降低环境污染排放。关于企业运用数字技术降低碳排放，刘意等（2020）认为数字技术的应用帮助企业搜集市场中的信息并且帮助企业进行决策，助力厂商走数据驱动、绿色创新道路；邬彩霞和高媛（2020）认为数字技术的推广不仅有利于改善企业的碳排放技术，而且能够精准测算碳足迹，这不仅有利于生态环境部门的管理，同时也有利于资源的配置，降低碳排放；张腾等（2021）认为企业可以利用数字技术创新生产工艺，对高耗能低产出的企业进行改造，提高资源利用效率，从而达到节能减排的目的；易子榆等（2022）认为数字技术能够提高传统高耗能企业的能源利用效率，不仅有利于改变能源消费结构而且也有利于开发可再生能源，实现碳排放的降低；杨丹辉和胡雨朦（2022）认为数字技术的应用一方面能加强绿色的溢出效应，有利于形成绿色生产力，有利于解决污染监控等问题，提高企业的能源利用效率，促进节能减排；另一方面数字技术可以催生低碳的数字化产业，促进碳排放强度的下降。关于数字技术与能源利用融合并降低碳排放，缪陆军等（2022）认为数字技术推动了生产要素的流动，降低了因时间和空间导致的能源消耗，提高资源的配置效率，促进了碳排放的降低；葛立宇和莫龙炯（2022）认为数字化能推动能源供给的精细化，并且通过数字化的能源服务系统促进能源供给与消费的匹配，减少能源消耗，产生低碳能源消耗模式，降低碳排放。还有学者认为利用数字技术搭建的碳排放交易市场有助于降低碳排放（姬新龙和杨钊，2021；薛飞和周民良，2021）。具体地，姬新龙和杨钊（2021）认为利用数字技术搭建的数字碳交易平台对碳排放有明显抑制作用；薛飞和周民良（2021）认

为运用数字技术搭建的碳排放交易市场通过降低能源消耗、优化能源结构、推动技术进步以及促进产业结构的调整四个途径实现碳减排。此外，陈晓红等（2021）认为数字技术通过对碳排放的精准测量、能源的高效利用和建立新型能源市场等方式降低碳排放。

### 2.2.3 已有文献述评

总的来看，国内外学者对于数字技术与经济发展、数字技术与碳排放等各方面的研究已经十分丰富，从不同角度研究了数字技术对经济高质量发展的影响。但是仍然存在一些不足，表现为：第一，对于数字技术的运用从而影响碳生产率方面研究较少，余姗等（2022）虽然研究了数字经济发展对碳生产率的影响，但是数字经济本身是一种表现形式，是产业升级的一部分，这会使研究的意义大打折扣，而支撑数字经济发展的数字技术才真正影响了碳生产率。第二，造成碳生产率变动有多方面的因素，制造业的集聚规模和环境规制强弱等，但从数字技术角度研究碳生产率的不多。第三，未能很好地测量数字技术发展水平，在省级层面上以长途光缆的长度、信息从业人员数等不能很好地排除由于地理等因素导致结果的偏差，最后可能会导致数字技术的测算水平与实际不符。因此本文在已有的文献基础上，有以下贡献：通过对数字技术和碳生产率的测算，把数字技术看作一个因变量，从数字技术的角度研究了其对碳生产率的影响，具体通过数字技术的赋能不仅可以提高地区的经济发展水平而且可以提高资源利用效率达到提高碳生产率的目的，促进经济的高质量发展。同时也通过东中西三大板块的实证来比较它们在数字技术对碳生产率的影响中的不同，并根据实证结果给出相应的对策启示。

### 3. 数字技术对碳生产率的影响机理

数字技术具有改变生产技术、知识溢出等特征，数字技术对碳生产率具有正向作用。首先，数字技术的应用有利于企业的技术进步，尤其是在集聚区域内，企业间的技术交流更加频繁，可以更好地促进技术在区域内的传播，提高创新能力；其次，数字技术的应用有利于扩大地区的集聚效应，数字技术不仅会形成合作效应也会形成竞争效应，提高地区的碳生产率；最后数字技术的应用也能促进产业结构的升级，主要体现在企业的智能化生产和高耗能企业的转型升级。因此本文从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三个角度分析数字技术对碳生产率的影响，并用理论模型从数理角度论证了数字技术的应用会提高碳生产率。

#### 3.1 数字技术对碳生产率的效应分析

##### 3.1.1 直接效应

数字技术对碳生产率提升的直接效应就是技术的进步。索洛模型提出在长期只有技术可以促进经济的增长，但是数字技术作为一种新的技术，不仅能促进经济的增长，更能改善生态环境，减少碳的排放，提高碳生产率。从本质上来看，数字技术本身就是一种技术进步，是一种“创造性破坏”。关于促进经济发展，数字技术帮助传统要素突破时空限制，催生共享经济和平台经济等经济发展新模式，提升了经济发展的活跃度、信息化和智能化水平，推动全要素生产效率的提高。数字技术与产业相融合产生了数字产业化和产业数字化，前者是将信息技术实现产业化以便更好地赋能传统产业，后者是利用数字技术对传统产业进行改造，二者都将产业和数字技术紧密结合，实现产业的高极化和合理化，实现经济的发展。数字技术与经济融合产生了数字经济，数字经济是一种新的经济业态，它改变了传统的经济发展模式，促进我国经济发展朝着更高质量和高有效率前进。

关于促进碳排放的下降，第一，数字技术改变传统的技术并与其他要素相结合，对相关领域的数据进行分析，提出更有针对性的建议，提高资源的使用效率，降低碳排放。比如数字技术的出现改变了传统的农业耕作技术，它与土地的结合降低了人工投入，同时对农场进行实时监控，将植物的生长情况汇

入到农业数据管理系统中，并运用大数据等数字技术实现对植物生长环境的监测和预警，这有助于农业的精细化管理，提高化肥等的投入效率，避免了一些资源的浪费，更好地实现“智慧农业”，降低碳排放。第二，数字技术的应用可以打破创新边界，提升资源的配置能力，增强企业的技术整合能力，有利于企业优化生产工艺、提升生产效率，最终实现碳排放的下降。第三，运用大数据等数字技术可以对区域的碳排放进行监测预警，定期形成区域的碳排放报告，数字技术也可以对地区的碳排放大户进行监督，优化地区的碳排放总量，避免出现企业偷排乱排的现象。第四，运用数字技术可以建立碳交易平台，企业可以在交易平台上就碳排放额度进行交易，这样碳排放大的企业会面临较高的碳排放支出，有利于倒逼企业提高生产效率，降低碳排放。因此通过数字技术可以提升地区的碳生产率。

### 3.1.2 间接效应

#### (1) 空间集聚效应

集聚可以促进经济的增长，数字技术作为一种新的技术，可以更好地发挥集聚效应，不仅能促进经济的增长，还能改善生态环境，减少碳的排放，提高碳生产率。关于促进经济的发展，第一，集聚有利于生产的规模不断扩大，但是数字技术又同时避免了规模过大而导致的信息传递慢和信息失真等弊端，更有利于发挥规模经济效应。第二，企业在地理区位上的集聚减少了企业的交易成本，企业可以更好地在区域内搜寻有合作意愿的上下游企业，还可以将更多的利润投入到数字技术的研发应用中，提高制造业企业的数字化水平和竞争力，促进企业的良性发展。第三，由于技术在集聚区内有外溢性，区域内的落后企业可以学习、模仿先进企业的技术，提高了地区的创新知识的传播力度，降低了区域内的创新成本，提高了创新效率。第四，产业集聚有利于专业化生产，促进分工，数字技术的应用提高了参与分工环节企业的生产效率，有助于专业化市场的形成，强化分工效应。

关于降低碳排放，第一，随着集聚程度的提高，也会出现专业的环保企业、能源管理公司和第三方碳排放监测机构，它们运用数字技术以较低成本提供专业化服务，实现节能减排。第二，不同技能的劳动力和各类生产企业大量集聚，数字技术方便企业灵活选择与其减排技术相匹配的劳动力和中间投入品，提高

自身的减排技术水平，减少碳排放。最终促进碳生产率的提高。

### (2) 产业结构升级效应

数字技术在产业结构升级方面的作用巨大，是影响碳生产率的重要方式。第一，数字技术扩散到非信息化产业，一定程度上能提高非信息化行业的信息化和智慧化水平，从而提升其资源配置效率，促进产业结构的升级。第二，随着通信技术的发展以及数字技术在能源和环境领域的应用创新，以大数据和云计算等为代表的数字技术可以重塑能源系统，提高能源的使用效率，减少碳排放量。第三，数字技术加强了产业的前后关联，例如工业物联网解决了企业之间的信息不对称问题，使得一些企业的副产品恰好为其他企业的中间投入所用，推动整个生产链条向低碳环保的高质量绿色发展链条发展，降低碳排放。最终实现碳生产率的上升。第四，随着数字技术的应用，各种要素资源从低效率部门转移到高效率部门，使得效率高的产业部门比例持续增加，促进不同产业部门的生产率共同提高，实现产业结构的升级。第五，数字技术推动产业结构的升级调整，并通过协调产业质量、地位及相互联系形成产业互补，产生规模效应和协同效应。规模效应主要是通过降低单个行业产品的生产成本提高资源利用效率，而协同效应实现了多个行业在生产过程中的资源共享而减少总资源的消耗，达到减排的目的。

## 3.2 数字技术对碳生产率的数理分析

基于以上分析，数字技术可以提高地区的碳生产率。本文借鉴刘习平等（2017）的模型，运用数理模型分析数字技术的应用对提高碳生产率的影响机制。

从成本的角度设定生产函数：

$$C = \frac{1}{AB} P_K^\alpha P_H^\beta P_E^\gamma Q \quad (1)$$

式(1)中，C 为成本函数，A 为数字技术，B 为集聚规模， $P_K$ 、 $P_H$ 和 $P_E$ 分别为资本、人力和能源的价格， $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 表示三种投入要素的产出弹性且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ，Q 为产量。则能源的需求量为：

$$X_E = \frac{\gamma}{AB} P_K^\alpha P_H^\beta P_E^{\gamma-1} Q \quad (2)$$

也即：



$$X_E = \frac{\gamma}{AB} P_K^\alpha P_H^\beta P_E^\gamma Q / P_E \quad (3)$$

若企业在长期竞争中利润为 0 且集聚规模和要素价格一定，则：

$$P_Q Q = \frac{1}{AB} P_K^\alpha P_H^\beta P_E^\gamma Q \quad (4)$$

也即：

$$P_Q = \frac{1}{AB} P_K^\alpha P_H^\beta P_E^\gamma \quad (5)$$

将(5)代入(3)中，得到：

$$X_E = \gamma P_Q Q / P_E \quad (6)$$

进一步将(6)转化为：

$$Q / X_E = \frac{P_E}{P_Q \gamma} \quad (7)$$

假设生产过程中能源消耗越多，碳排放也越大，设：

$$X_E = kR \quad (8)$$

其中 k 为参数，R 为碳排放量。将(8)代入(7)中，

$$\frac{Q}{kR} = \frac{P_E}{P_Q \gamma} \quad (9)$$

将(9)化简，可得：

$$\frac{Q}{R} = \frac{kABP_E^{1-\gamma}}{\gamma P_K^\alpha P_H^\beta} \quad (10)$$

在长期中，由于 B、 $P_E$ 、 $P_K$ 和 $P_H$ 是常量，因此从上述式子中可以看出，碳生产率的大小主要取决于 A 即数字技术的变动，且碳生产率与 A 是同向变动的，这也就意味着数字技术的进步可以推动碳生产率的提高。因此，数字技术的运用可以提高地区的碳生产率，从而促进地区经济的高质量发展。

## 4. 指标测度体系构建与现状分析

### 4.1 数字技术指标体系构建与现状分析

数字技术是一种新业态、新模式，它不仅被看作一种要素进行生产，而且也可以对传统的要素等进行改造，提升各要素之间的协同性，因此数字技术可以对传统经济进行赋能或者产生一种新的经济增长模式的形态。它具有高流动性，可以克服传统经济的一些弊端，同时也可以跨越空间的限制，因此数字技术的发展对于我国碳生产率的提高和经济高质量发展具有很好的促进作用。

#### 4.1.1 数字技术发展的指标体系的构建

本文依照数字技术的内涵和现实背景来构建数字技术的指标体系，参照之前学者（梁佳等，2022；傅志华和梅辉扬，2023）对于数字技术的测度方法，将数字技术的测度分为三个一级指标和九个二级指标，其中三个一级指标包括数字技术基础、数字技术应用、数字技术发展环境，九个二级指标包括：长途光缆密度、电话普及率、人均互联网宽带接入端口数量、移动电话交换机容量、邮电业务总量占 GDP 比重、技术市场成交额、每万人申请专利授权数、高校学生占比和信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比。具体如表 4.1 所示：

表 4.1 各地区数字技术发展指数测度（2010-2019）

主指标	一级指标	二级指标	权重	属性
数字技术	数字技术基础	长途光缆密度	6.29%	正向
		电话普及率（部/百人）	3.56%	正向
		人均互联网宽带接入端口数量	5.72%	正向
		移动电话交换机容量	5.92%	正向
	数字技术应用	邮电业务总量占GDP比重	10.35%	正向
		技术市场成交额	26.30%	正向
	数字技术发展环境	每万人申请专利授权数	14.25%	正向
		高校学生占比	2.75%	正向
		信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比	24.86%	正向

本文构建了 2010 年到 2019 年我国 30 个省（市、自治区）的数字技术发展水平测度，不包含西藏、港澳台，数据来源于《中国统计年鉴》、各省市的统计年鉴、中国数字经济发展报告和《中国信息产业年鉴》等，然后利用熵值法计算每个二级指标的权重。在属性栏中，正向表示指标越大，数字技术发展水平越好，负向表示指标越小，数字技术发展水平越好。以电话普及率来说，电话

普及率越高意味着数字基础设施越好，数字技术的发展载体越强，数字技术的发展水平也就越好。下面对二级指标进行分析。

用长途光缆密度、电话普及率、人均互联网宽带接入端口数量和移动电话交换机容量来衡量数字的技术基础，从而衡量出数字技术的发展指数。光缆主要是为了用于光信号的传输，它抗干扰性强，一个地区光缆密度越高，那么这个地区传输信息的效率也会越高，而数字技术的发展很大程度上依赖像光缆这样的基础设施，因此光缆密度高会直接促进数字技术的发展。电话普及率是衡量一个地区通信水平的重要手段，电话普及率直接影响信息的传播速度，当前数字技术快速发展的背景下，经济发展越需要信息的支撑。电话普及率越高代表着数字技术的基础设施越好，数字技术的发展载体也就更有保障，数字技术的发展指数也就越高。互联网宽带接入端口数量就是接入互联网的用户的实际安装运行的宽带接入端口数量，它包括 xDSL 用户接入端口、LAN 接入端口以及其他类型的宽带用户接入端口。人均互联网宽带接入端口数量越多意味着使用者可以更方便地使用互联网且信息交流更为便捷，代表着一个地区的数字基础设施越好，数字技术的发展载体也就越稳固。移动电话交换机容量就是移动电话机根据一定模型计算出的同时服务客户的最大数量。移动电话交换机容量越高代表着可以同时服务客户越多，信息的基础设施越发达，数字技术的基础设施越好，数字技术也就越发达。因此，长途光缆密度、电话普及率、人均互联网宽带接入端口数量和移动电话交换机容量与一个地区的数字技术发展指数成正向关系。

用数字技术的应用来衡量数字技术的发展水平，其中包括邮电业务总量占 GDP 的比重和技术市场的成交额。邮电业务量既包含传统通信事业也包含利用无线电等系统进行传递信号、图片等的通信方式。邮电业务量占 GDP 比重反映了一个地区的流通数字化水平，即邮电业务量占比越高的地区其流通数字化水平越高，邮电业务量占比越低的地区其流通数字化水平也就越低。而流通数字化水平直接影响到了数字技术应用水平，因此邮电业务量占 GDP 比重与地区的数字技术发展指数成正相关关系。技术市场的成交额表明了一个地区的技术市场的活跃度，它反映了在登记合同成交额中的技术交易的部分。技术市场的成交额与技术交流有密切的关系，当一个地区的技术市场的成交额越高，说明这

个地区进行技术的交流就越频繁、成本就越低，技术市场越活跃，技术扩散的也会越快，同时技术市场交易额越高也可以反映出一个地区的创新创造积极性越高，数字技术的应用水平也就越好。

用数字技术的发展环境来衡量数字技术的发展水平，其中包括每万人申请专利授权数、高校学生占比和信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比。每万人申请专利授权数是用当地的专利申请授权数除以总人口，若每万人申请专利授权数越高，那么地区的创新环境也就越好，那么也代表着数字技术的发展水平也越高。由于高校是重要的创新基地，高校学生在总人口中的占比也意味着地区可以为数字技术的发展提供的潜在人力资本的大小，当高校学生占比越高，那么潜在人力资本也越充足，数字技术发展的环境也就越好。信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比是地区从事较高级的服务业的人数占比，这些人才通常具有较高的知识水平，信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比越高，地区能够提供的具有较高人力资本的劳动力数量也就越多，数字技术的发展环境也就越好。

在指标测度时，为了避免由于地理面积、人口等因素导致的最终结果不准确、可比性不强，所以对于指标的取值进行了处理。指标中采取的长途光缆密度、电话普及率、人均互联网宽带接入端口数量、每万人申请专利授权数、高校学生占比和信息传输、软件和信息技术服务业就业人员占比等指标都进行了平均处理，避免了地区之间由于不同地理面积等的影响造成结果的偏差。

#### 4.1.2 数字技术发展的现状分析

为了数字技术发展指数的合理性和客观性，利用熵值法对各个二级指标进行测算。同时由于指标来源层次不同，为了最终结果的可比性需要对各个指标进行无量纲化处理，然后依次求出熵值法中的第*i*年*j*项指标的权重、指标的信息熵、信息的冗余度和指标权重。然后将各指数按照一定的权重进行加总计算出各地区的数字技术发展指数，指数的取值范围在 0-1 之间，越靠近 0 说明地区的数字技术发展指数越低，越靠近 1 说明地区的数字技术发展指数越高。具体如下如表 4.2 所示：

表 4.2 各地区数字技术发展指数（2010-2019）

省份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
北京	0.37	0.39	0.44	0.49	0.53	0.59	0.63	0.69	0.77	0.83
天津	0.11	0.11	0.13	0.14	0.15	0.18	0.20	0.22	0.27	0.32
河北	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.21
山西	0.07	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.11	0.14	0.17
内蒙古	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.12	0.14
辽宁	0.10	0.09	0.10	0.11	0.12	0.15	0.14	0.15	0.18	0.21
吉林	0.07	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.21
黑龙江	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.19
上海	0.23	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35	0.40	0.45
江苏	0.15	0.16	0.19	0.21	0.20	0.23	0.23	0.25	0.32	0.37
浙江	0.16	0.15	0.19	0.20	0.20	0.25	0.24	0.28	0.34	0.38
安徽	0.07	0.06	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.13	0.17	0.20
福建	0.10	0.09	0.11	0.12	0.12	0.15	0.15	0.16	0.21	0.22
江西	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.14	0.17
山东	0.09	0.09	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.20	0.24
河南	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.16	0.19
湖北	0.08	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.15	0.16	0.19	0.23
湖南	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.14	0.18
广东	0.17	0.16	0.18	0.20	0.21	0.24	0.26	0.29	0.37	0.45
广西	0.06	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.10	0.15	0.19
海南	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.14	0.18
重庆	0.08	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.16	0.18
四川	0.08	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.14	0.16	0.23	0.26
贵州	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.10	0.15	0.21
云南	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.10	0.14	0.17
陕西	0.09	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.17	0.22	0.26
甘肃	0.06	0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.07	0.10	0.15	0.20
青海	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.09	0.14	0.17
宁夏	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.11	0.15	0.19
新疆	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.11	0.16

从上述熵值法计算出来的各地区数字技术发展指数估计结果来看，各省市的数字技术发展水平具有很明显的异质性。从整体上来说，各地的数字技术发展指数均在上升，说明从 2010 年以来我国的数字技术发展较快。具体来看，2019 年北京、上海、江苏、浙江、广东的数字经济发展水平处于全国前列，同时我们可以看到一些中西部地区的数字技术增长率很高，发展势头强劲，有一种赶超发达地区的趋势。但是从表中仍然可以看到的是省级之间的数字技术发展指数差距很大，数字经济发展指数最高的北京比最低的内蒙古高出 5.9 倍，说明发达地区与欠发达地区的数字技术发展水平还是有较大差距，因此欠发达地区还有很长的路要走。部分地区在 2011 年数字技术水平出现了下降，这主要是因为 2010-2019 年的邮电业务总量是按照 2009 年不变价格水平计算，而 2011 年的是按照 2010 年不变价格计算，所以数字技术发展水平在 2011 年出现了小幅的变动。下图为数字技术发展水平指数上升最多的五个省份，具体情况如图 4.1 所示：

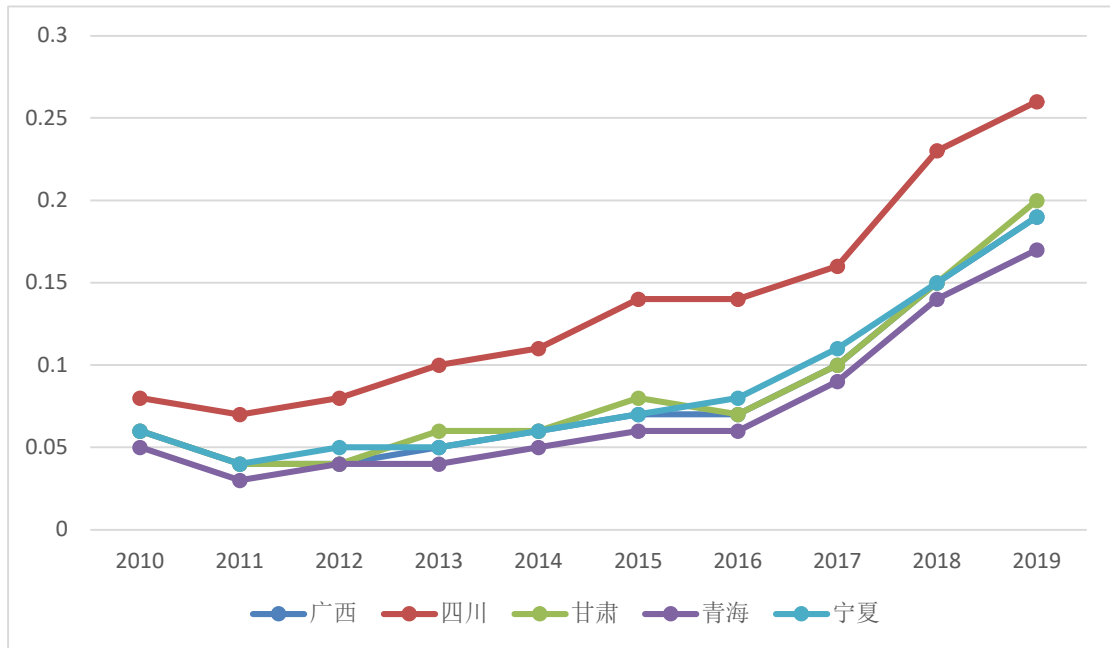


图 4.1 数字技术发展最快的五个地区

从图中可以看到数字技术发展最快的地区都是西部地区，西部地区本来经济发展水平较低，起步较晚，基础薄弱，数字技术发展水平也较低，因此在我国发展速度最快也无可厚非。比如四川省的数字技术在发展过程中非常迅猛，在 2019 年提出《四川省人民政府关于加快推进数字经济发展的指导意见》，在文件中提出积极构建现代产业体系，推动产业数字化转型；显著提高数字经济与实体经济融合的发展水平和加快推进数字化治理，促进数字经济成为创新驱动发展的重要力量。甘肃省在 2018 年发布《甘肃省数据信息产业发展专项行动计划》，明确提出要抓住“一带一路”的历史机遇和产业变革战略机遇，加快数字甘肃建设，并在分析甘肃省各方面的条件后对促进甘肃省数字技术的未来发展指明了方向。很多欠发达地区将数字技术与数字经济作为追赶发达地区的重要工具，因此各个地方也在抓紧出台举措促进数字技术和数字经济的发展。

参考刘伟丽和陈腾鹏（2023）的做法，把我国分成东部、中部和西部三个区域来看，可以更为直观地看到各大区域之间的数字技术发展水平的差异。东部地区包括北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南、辽宁、吉林和黑龙江共十三个省级行政单位；中部地区包括山西、河南、安徽、湖北、湖南和江西共六个省级行政单位；西部地区包括内蒙古、陕西、宁夏、

甘肃、青海、新疆、四川、重庆、贵州、云南和广西共十一个省级行政单位。由于西藏、香港、澳门和台湾的数据缺失，因此本文将上述四地剔除。下图是分区域数字技术发展的指数，具体情况如图 4.2 所示：

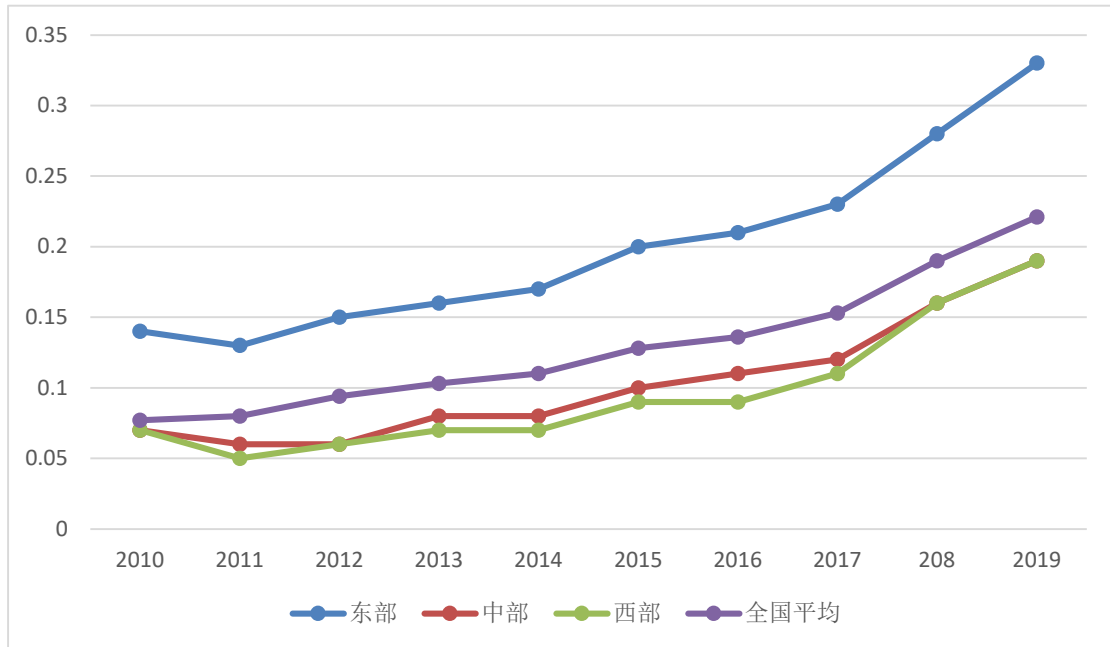


图 4.2 分区域数字技术发展指数

从图中发现东部地区的数字技术发展水平最高且远远超过了其他区域，西部地区发展迅猛，中西部地区数字技术发展水平相差不大。整体上来看，各个区域数字技术的发展均有明显的增长，尤其是西部地区的增长非常迅速，西部地区的陕西、四川等地的数字技术水平较高带动了西部地区整体的数字技术发展水平提高。东部地区本来在经济发展水平各方面拥有很大的优势，经济基础好、创新创造氛围浓厚、人才集聚等使东部地区在发展数字技术方面具有得天独厚的优势，因此东部地区在我国数字技术发展过程中仍然处于领跑地位。中部地区在国家的大力支持下也在崛起，涌现出了多个数字技术发展水平较高的城市，再加上各地纷纷将加快应用数字技术作为一项重大战略任务，数字技术也发展十分迅速。

#### 4.1.3 数字技术发展的意义及阻力

从交易成本的角度来看，数字技术的发展能够有效提高市场的匹配效率，

互联网、大数据和人工智能等可以有效地与传统经济模式相融合，有利于形成更加透明开放的市场环境，降低了企业的交易成本，有利于构建现代化经济体系。从企业生产的角度来看，数字技术的发展不仅提高了企业的产量，而且可以基于主营业务的基础上实现自己业务的多样性，这不仅有利于企业降低自身在数字技术研发投入的成本更有利于企业实现规模经济。从产业结构调整的角度来看，当前数字技术发展迅速，数字技术一方面与传统产业进行深度融合，改造传统产业，增强数字技术和传统产业之间的协同性和互利性；另一方面数字技术的发展会不断催生出新的产业，实现产业结构的高级化。

虽然目前我国数字技术高速发展，但是也面临诸多问题。第一个方面是数字鸿沟的出现会大大影响数字技术发挥作用，现在数字鸿沟不仅体现在区域之间比如城乡之间、发达地区和不发达地区之间，而且体现在不同人群之间比如农民、老人等对数字技术的应用率较低，数字技术的发展受限，他们难以享受数字技术发展带来的诸多便利。第二个方面是数字技术发展导致的产业结构严重失衡，具体体现在地区数字经济产业结构和数字技术与行业发展融合不均衡两个方面。从测算结果来看，我国的数字技术发展依然呈现东高西低的分布，我国国土面积广阔又要区域协调发展，因此要特别警惕数字技术的发展会进一步拉大发达地区和欠发达地区的差距。目前我国数字技术的发展更偏向消费领域，商家利用互联网引导消费者在线上消费，却没有对数字技术与实体经济做到更好地融合，这在一定程度上出现了数字技术与虚拟经济挤占实体经济发展的现象。第三个方面是数据垄断，数字技术的高速发展离不开数据作为关键要素，因此市场会就数据展开激烈争夺。企业也会将所占有的数据垄断在手，利用数据分析消费者的消费倾向，从而对消费者实行价格歧视政策，侵犯用户的合法权益；或者利用数字技术的专利排挤其他竞争者进入市场，这不利于要素的分配、市场竞争秩序的维护以及其他企业的发展，甚至会出现利用数据的垄断做出危害国家安全利益的行为。

## 4.2 碳生产率的测度与现状

改革开放给我国经济社会带来迅速发展的同时也对我国环境造成了巨大损失。东部地区利用优良的地理位置、优先发展的产业政策等成为我国经济增长的龙头，中西部很多地区作为能源储备大省却没有发展起来而是陷入了“资源



诅咒”，富有的资源不仅没有造成经济的腾飞，而且环境也付出了巨大的代价。为了适应我国提出的高质量发展的主题，借鉴之前学者将经济发展和碳排放在一个框架中的“碳生产率”的概念，并对其进行具体分析。

#### 4.2.1 碳生产率的测度

为了更好地衡量我国各地区的碳生产率，本文主要借鉴了林善浪等（2023）对碳生产率的计量方法，然后对我国各省级行政区进行碳生产率的测量。具体地用公式表示为：

$$CP_{i,t} = \frac{GDP_{i,t}}{CD_{i,t}}$$

其中， $CP_{i,t}$ 为*i*地区*t*时期的碳生产率， $GDP_{i,t}$ 为*i*地区*t*时期的生产总值， $CD_{i,t}$ 为*i*地区*t*时期的二氧化碳排放量。如果碳生产率越大代表着地区的发展质量越高，相反地，如果碳生产率越小则代表地区的发展质量越低。

#### 4.2.2 碳生产率的现状

整体上来看，我国碳生产率呈现增长的态势，经测算全国平均水平从 2010 年的每一万吨二氧化碳排放量的经济产出为 0.53 亿元到 2019 年的每一万吨二氧化碳排放量的经济产出为 1.05 亿元，经济效率大大提升，说明我国经济发展质量在不断提升。

依然按照前文划分标准，当把我国分成东部、中部和西部三个区域来看，可以更为直观地看到各大区域之间的碳生产率水平的差异。东部地区包括北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南、辽宁、吉林和黑龙江共十三个省级行政单位；中部地区包括山西、河南、安徽、湖北、湖南和江西共六个省级行政单位；西部地区包括内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、四川、重庆、贵州、云南和广西共十一个省级行政单位。由于西藏、香港、澳门和台湾的数据缺失，因此本文将上述四地剔除。下图是分区域碳生产率水平（单位为万元/吨），具体情况如图 4.3 所示：

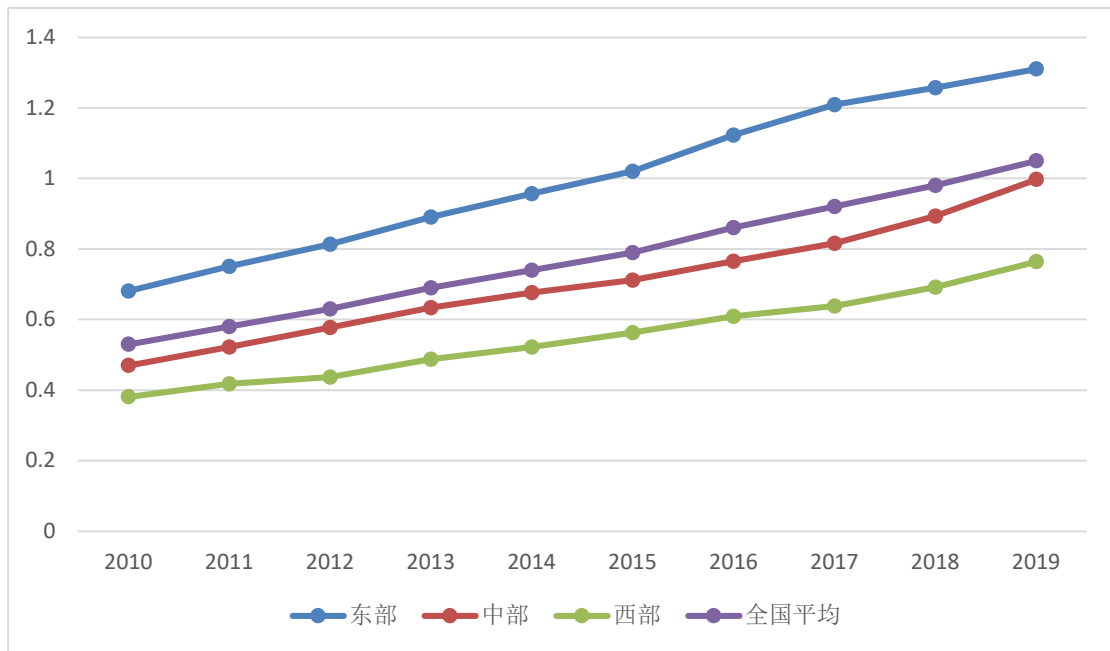


图 4.3 分区域碳生产率发展水平

从图中可以看出，我国东中西部的碳生产率总体上是逐年递增的。其中东部地区的碳生产率最高，其次是中部地区的碳生产率水平，而且中部地区的碳生产率水平与全国平均水平最为接近，最后是西部地区的碳生产率水平。

### 4.2.3 提高碳生产率的意义及阻力

随着我国经济的快速发展，我国一些深层次的矛盾也逐渐暴露出来，迫切需要我国走上创新发展、高质量发展的新路子，而提高碳生产率的目标刚好与我国构建新发展格局、促进经济高质量发展不谋而合。一方面随着碳生产率的提升，企业面临的负外部性等成本也会进一步下降，企业可以更好地将资源投入到创新创造中，作为创新创造主体的企业自主创新能力更强，这不仅提高企业的竞争力，而且更有利于推动经济持续健康绿色发展，实现我国的宏观经济目标。另一方面当前逆全球化思潮和新冠肺炎疫情等国际因素不断冲击着各国的经济，提高我国经济的发展质量和韧性也可以对冲来自外部环境的压力，尤其是目前我国对能源的需求越来越大，很大一部分能源严重依赖进口，因此通过提高能源利用效率和寻找新的清洁能源来提高碳生产率迫在眉睫。因此提高碳生产率不仅有利于形成新时期我国企业的新的比较优势，而且有利于应对外部环境不确定给我国经济带来的冲击。

虽然目前总体上我国碳生产率在逐步上升，但是在发展经济和降碳的路上也会遇到各种阻力。一方面是政策法规体系不健全，这就会导致在提升碳生产率尤其是降低碳排放的过程中出现阻碍。地方政府的做法可能与中央的政策相违背，地方政府为了在短期内看到经济发展成效，大力推动一些高能耗的项目上马；同时在降低碳排放的政策贯彻落实中缺乏具体的配套措施和细则，政策不完善，企业低能耗的发展动力较弱，这不利于降低碳排放。另一方面我国整体上实行的是依靠命令型政策降碳，并没有从根本上的制度或者体制入手。这种政策式的降碳主要是依靠政府为实现短期的经济目标对某一对象采取强制性的举措，这种方式虽然在短期内可以见到成效，但是在长期中忽略了主体的偏好，经济缺乏活力，可持续性增长不强。例如之前发生的一些地方盲目地采取限电等不合理措施，严重干扰了正常的生产生活。同时在地方执行中央政策时会出现执行不到位或者监管不足的现象，地方政府的政策还仅仅停留在精神上的学习的阶段，难以达到预想的目标。因此降低碳排放需要各部门协同发力，深化改革，对不满足现代经济发展的体制机制等进行改革，以更好地实现相关政策的运转。

## 5. 数字技术对碳生产率的实证研究

### 5.1 模型设定、变量说明与数据选取

#### 5.1.1 模型设定

由上述分析可知，数字技术会对碳生产率产生影响，为深入识别数字技术对碳生产率的影响还需要从实证方面对此进行分析。因此结合本文研究的基本模型设计为：

$$CP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 DT_{i,t} + \beta_2 OPEN_{i,t} + \beta_3 TRA_{i,t} + \beta_4 URB_{i,t} + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{i,t}$$

式中， $CP$ 表示我国各省的碳生产率， $DT$ 表示我国各省的数字技术发展水平， $OPEN$ 表示地区开放程度， $TRA$ 表示我国各省的交通水平， $URB$ 表示城镇化水平， $\mu_i$ 和 $\varphi_t$ 表示地区固定效应和时间固定效应， $\varepsilon$ 表示随机误差项。 $i$ 表示地区， $t$ 表示年份， $\beta_1$ 表示数字技术的回归系数， $\beta_2$ - $\beta_4$ 表示控制变量的系数。

#### 5.1.2 变量说明与数据选取

(1) 被解释变量：碳生产率。参考之前学者对碳生产率的衡量方式，本文计算了 2010-2019 各省的碳生产率，并将其作为被解释变量，研究数字技术对碳生产率的影响。

(2) 核心解释变量：数字技术。数字技术目前在我国是研究的热点，频繁出现在之前的大量学者研究中。随着数字技术的迅速发展，经济发展产生了新业态、新模式，越来越多学者意识到可以利用数字技术发展对我国经济发展模式做出改变，我们在数字技术的发展天地中大有作为。数字技术主要利用互联网等通信技术进行发展，它能突破传统经济中的束缚，促进要素自由地流动，实现资源的合理配置。本文参考之前学者对数字技术的测算方式，对我国 30 个省级行政区的数字技术发展水平进行了测算，详细过程参照 4.1。数字技术的发展水平高的地区意味着未来经济发展潜力也会更高，也能将数字技术与实体经济有机结合，更有利于构建高质量发展格局，促进经济的高质量发展。

(3) 控制变量：参考邵帅等（2019）的做法，控制变量选取三个：各个地区的地区开放程度、交通水平和城镇化水平。一个地区的实际利用外资额越高说明这个地区的开放程度越高，而开放程度的高低对一个地区的经济发展与碳排放具有重要影响，地区的开放程度用实际利用外资额表示。一个地区的交通

水平不仅代表了一个地区经济的发展水平而且代表着地区经济发展的潜力，通常交通水平越高的地区也是经济发展越好的地区，也意味着碳排放是较大的地区，因此本文用每平方千米的公路里程衡量交通水平。城镇化水平与一个地区的经济发展水平密切相关，城市化水平的提高会改善地区的基础设施水平从而促进要素的流入和企业经营成本的降低，为经济快速健康发展提供保障，但是城镇化的发展也会带来碳排放的提升，因此本文利用非农人口所占比重表示。

(4) 调节变量：产业集聚 (IA) 与产业结构升级 (IS)。其中产业集聚的衡量参考余群芝等 (2022) 的做法，取就业人口与各地区面积的比值即单位面积的就业人数来衡量地区的产业集聚，因为单位面积的就业人数越多，这个地区也就有着不断吸引劳动力前来的潜能，也就代表着这个地区产业集聚水平越高。关于产业结构升级的衡量，参考黎新伍等 (2022) 的做法，采取第三产业的产值和第二产业的产值的比，即认为第三产业的产值与第二产业的产值的比越大，这个地区的第三产业的经济占比越高发展速度越快，产业结构也就越高级，也就有利于地区的产业结构升级。

本文的数据是 2010-2019 年的 30 个省级行政区（不含西藏和港澳台）的数据，数据来源于《中国统计年鉴》、《中国人口和就业统计年鉴》、CEADs 数据库、各省统计年鉴及统计局等，少数缺失数据用插值法进行了补充。下表是对各变量的描述性统计，具体情况如表 5.1 所示：

表 5.1 各变量的描述性统计

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
CP	300	0.7771	0.5028	0.1503	3.9661
DT	300	0.1423	0.1135	0.0290	0.8304
OPEN	300	85.6046	77.1405	0.0450	357.5960
TRA	300	0.9240	0.4948	0.0861	2.1151
URB	300	0.5773	0.1261	0.3381	0.8960
IA	300	0.0268	0.0377	0.0004	0.2170
IS	300	1.1444	0.6558	0.4991	5.1543

## 5.2 实证结果分析

### 5.2.1 基准回归结果

根据实证模型的设计，运用 STATA 软件来检验数字技术对碳生产率的影响。在研究的方法选择方面，通过 Hausman 检验后发现，估计结果显著地拒绝了原假设，因此本文使用固定效应模型。同时，为了更好地分析数字技术的建设以外的因素对碳生产率的影响，逐个加入控制变量进行回归分析，结果如表 5.2 所示：

表 5.2 基准回归结果

模型	(1)	(2)	(3)	(4)
	FE1	FE2	FE3	FE4
VARIABLES	CP	CP	CP	CP
DT	5.065*** (0.485)	4.814*** (0.478)	5.010*** (0.475)	4.621*** (0.518)
OPEN		0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)
TRA			0.569*** (0.160)	0.587*** (0.159)
URB				-1.073* (0.590)
常数项	0.056 (0.068)	-0.012 (0.064)	-0.548*** (0.156)	0.101 (0.402)
观测值	300	300	300	300
R-squared	0.956	0.961	0.965	0.965
时间固定效应	Y	Y	Y	Y
地区固定效应	Y	Y	Y	Y

注：括号内为t值，\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平

在表 5.2 中，第（1）个模型仅仅考察了数字技术对碳生产率的影响，结果显示数字技术对碳生产率的回归系数为 5.065 即数字技术每提高百分之一碳生产率会提高百分之五，可以看出来数字技术与碳生产率存在正相关关系，即数字技术的发展会促进碳生产率的提高，而且在百分之一的水平上显著。这初步表明了数字技术是有利于促进碳生产率提高的，证实了本文的理论假说。

由表中的回归结果可以看到，从模型（2）到模型（4）中依次加入地区开放程度、交通水平和城市化水平三个控制变量，解释变量的系数显著为正且变化不大，因此我们可以认为该模型具有稳定性。同时从表中也可以看到地区开放程度、交通水平和城市化水平三个控制变量的变化也明显地影响了碳生产率。

在加入控制变量 $OPEN$ （地区开放程度）后， $DT$ （数字技术发展水平）的回归系数并没有发生较大变化，由 5.065 变为 4.814，且仍在百分之一的水平上显著。一个地区的地区开放程度越高意味着这个地区越方便学习先进地区的技术与经验，这对于当地来说不仅能提升创新水平和经济发展动力，而且也有利于和先进地区交流碳减排的经验，推动当地高质量发展。 $TRA$ （交通水平）的回归系数为 0.569，通过了百分之一的显著性检验，即地区的交通水平越发达越有利于碳生产率的提高。在加入控制变量 $TRA$ （交通水平）后， $DT$ （数字技术发展水平）和 $OPEN$ （地区开放程度）的回归系数并没有发生太大变化， $DT$ （数字技术发展水平）的回归系数由 4.814 变为 5.01， $OPEN$ （地区开放程度）的回归系数不变。当一个地区的交通水平越发达意味着地区交易成本比较低，便于企业将更多的资金投入创新创造中，促进地区的技术升级，推动地区的碳生产率的提高。因而交通水平对地区的碳生产率也具有明显推动作用。 $URB$ （城市化）的回归系数为-1.073，且通过了百分之十的显著性检验。在加入控制变量 $URB$ （城市化）后， $DT$ （数字经济发展水平）、 $OPEN$ （地区开放程度）和 $TRA$ （交通水平）的回归系数并没有发生太大变化，其中 $DT$ （数字技术发展水平）的回归系数由 5.01 变为 4.621， $OPEN$ （地区开放程度）的回归系数不变， $TRA$ （交通水平）的回归系数由 0.569 变为 0.587，且均通过了百分之一的显著检验。但是在回归结果中，城市化的水平与碳生产率呈现负相关，也即城市化水平的提高不利于碳生产率的提高。这可能是由于目前我国虽然城市化进程很快，经济发展迅速，但是有些地区为了经济发展盲目上项目造成了大量的碳排放，而且碳排放的增长速度超过了经济的增长速度。所以我国目前在低碳高质量发展上还有很长的道路要走，各地区在发展经济的同时不仅要注重经济发展的量，还要注重经济发展的质。

### 5.2.2 机制检验

本文从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三方面分析数字技术对碳生产率的影响。因为本文从直接效应和间接效应两种角度出发，前文的基准回归证明了直接效应，因此在这部分主要是从间接效应出发，证明空间集聚效应和产业结构升级效应。如下表 5.3 所示：

表 5.3 机制检验

模型	(1)	(2)	(3)	(4)
VARIABLES	CP	CP	CP	CP
DT	4.612*** (0.513)	4.009*** (0.454)	4.620*** (0.514)	1.991*** (0.538)
IA	2.000 (1.471)	-7.636*** (2.432)		
DT*IA		11.127*** (3.051)		
IS			0.002 (0.077)	-0.199*** (0.059)
DT*IS				0.552*** (0.077)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	0.325 (0.443)	-0.098 (0.442)	0.091 (0.588)	0.504 (0.492)
观测值	300	300	300	300
R-squared	0.965	0.967	0.965	0.971
时间固定效应	Y	Y	Y	Y
地区固定效应	Y	Y	Y	Y

注：括号内为t值，\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平

其中，技术进步效应属于直接效应，空间集聚效应和产业结构升级效应属于间接效应。之前表 5.2 是数字技术对碳生产率的回归，结果表明数字技术的进步有利于推动碳生产率的提升，因此也支持了数字技术通过技术进步提高碳生产率这一路径。基本的原理是数字技术作为一种新兴的技术可以更好地调配资源，促进资源利用效率的提高，提高碳生产率。第一，数字技术赋能企业生产，在各企业之间加强合作的同时也会形成竞争效应，促使各企业不断提高管理和创新水平，提升产品的附加值和单位能耗的产出。合作主要体现在分工上，分工使得企业成为供应链上的关键一环，各个企业发挥各自的比较优势，从事自己擅长或者比较擅长的领域，从“全”转为“精”，提高企业的产能。分工与专业化导致生产规模的扩张，不仅有利于出现一些新的生产部门更会使原有产业内的分工更加细化。从分工的特点来看，具体表现在不同地区的经济专业化和地区分工的层次性，一般来说地区的经济活动有很多专业，比如随着分工的深化，发达地区的经济产业逐步扩散分离，由落后地区承担，这也促进了发达地



区和落后地区的专业化；而地区分工一般来说都会导致整个经济系统出现层次性结构，发达地区的制造业产业转出和落后地区的制造业产业转入构成了我国经济系统的层次性分工。从分工的内部来说，在新兴古典经济学中专业化水平的发展会促进生产效率的提高，从而产生规模经济和范围经济进而提高地区经济发展水平，增加地区的福利；从分工的外部来说，分工会促进我国经济发挥总体效应，分工促进了专业化与地区交流，使得地区之间的联系更加紧密，这不仅有利于分工的进一步深化而且将地区之间不同的优势转化为综合经济优势，形成一种合力效应提升我国经济的整体功能。合作通过上述的分工发挥作用促进了企业生产效率的提高，同时也减少了一些无效生产和碳排放，进而有利于碳生产率的增长。竞争主要体现在兼并上，经营不善的企业可能会面临被合并的风险，促进要素更多地流向优势企业，改变传统的高能耗、低产值的发展模式，推动资源的利用效率。此外，企业可以利用新兴的“5G”和“工业物联网”等新型基础设施更好地优化市场机制，减少信息不对称现象，真正做到让需求引领市场的发展，企业可以通过了解市场的需求采取更精准的举措促进资源的合理利用和生产，提高碳生产率。因此企业可以运用数字技术对市场的供给与需求进行分析判断，提高产量并减少无效供给，降低区域内的碳排放量，从而提高地区的碳生产率。

模型（1）和（2）是空间集聚效应的机制检验。模型（1）首先把碳生产率、数字技术和产业集聚纳入一个体系并进行双固定效应的回归，结果显示数字技术和产业集聚有利于促进碳生产率的提高，其中数字技术的系数为正，且在百分之一的水平上显著，产业集聚也有利于促进碳生产率的提升。文章再引入数字技术与产业集聚的交互项进行回归，结果显示数字技术和交互项在百分之一的水平上显著，说明数字技术与产业集聚相结合可以很好地提升地区的碳生产率，也就是数字技术对碳生产率的提升很大一部分取决于空间集聚。空间集聚越高数字技术对碳生产率的提升作用也就越高，空间集聚越低数字技术对碳生产率的提升作用也就越低。这也证明了数字技术空间集聚效应的存在，证明了第二条路径。具体来说，首先这主要是因为数字技术的发展推动了要素资源的跨区域流动，优化了区域产业的布局，数字技术为要素的空间集聚打下良好的基础。第一，数字技术发展较好的地区仍有要素在不断地集聚，数字技术发展

较为落后的地区在自己地区的“中心”也会出现要素的流动与集聚。从区域来看，要素的流动方向整体上是由欠发达地区流向发达地区，流向发达地区的要素与发达地区本地区的要素结合发挥集聚作用，产生规模经济和范围经济，促进碳生产率的提升。而较为落后的地区要素一部分在流动到发达地区，另一部分会在附近的中心城市集聚，发挥集聚效应，也有利于碳生产率的提升。第二，在集聚的作用下人才、技术等涌流，在地区内形成地区产业集群，在集群内部不仅有行业内的供应商、下游企业，同时也有相关行业的投资者，在这个产业集群内进一步促进了集聚效应的发挥。第三，数字技术不仅能推动地理空间上的集聚，更有利于虚拟空间的集聚。在地理空间上的集聚是因为可以共用地方的数字技术的基础设施，提高基础设施的利用率，同时也避免了大量修建基础设施导致的碳生产率的下降。而数字技术的应用推动了虚拟集聚，各种数据要素在各个企业乃至产业之间传播，降低了交易成本，同时企业还可以利用数字技术获取中间投入，扩大中间投入的市场效应，取得虚拟集聚带来的好处。总之，一些空间集聚水平较高的地区与这些地区的碳生产率和经济活动是紧密联系的，数字技术的应用提升了地区的基础设施能力，更加充分发挥了集聚的好处，进而推动了碳生产率的提升。

模型（3）和（4）是产业结构升级效应的机制检验。模型（3）首先把碳生产率、数字技术和产业结构升级纳入一个体系并进行双固定效应的回归，结果显示数字技术和产业结构升级有利于促进碳生产率的提高，其中数字技术的系数为正，且在百分之一的水平上显著，产业结构升级也有利于促进碳生产率的提升。文章再引入数字技术与产业结构的交互项进行回归，结果显示数字技术和交互项在百分之一的水平上显著，说明数字技术与产业结构升级相结合可以很好地提升地区的碳生产率，也就是数字技术对碳生产率的提升很大一部分取决于产业结构升级。产业结构越高级数字技术对碳生产率的提升作用也就越高，产业结构发展水平越低数字技术对碳生产率的提升作用也就越低。这也证明了数字技术产业结构升级效应的存在，证明了第二条路径。具体地看，数字技术的发展推动内外信息交流和建设高效率的链内链外市场结构，促进供需的均衡，推动我国供给侧与需求侧结构性改革取得重大进展，助力产业结构升级。从交易成本的角度来看，数字技术可以降低地区之间的交易成本，交易成本的降低

会促进不同地区之间信息的互联互通，企业可以减少生产经营活动中的搜寻成本、监督成本等，更好地满足市场对于产品的需求，发挥市场信号对生产的调控作用，提升企业的生产能力和盈利水平，促进产业结构升级。从数字技术的特征来看，一方面数字技术这种新的经济增长模式促进了产业结构的变化和市场体系的完善，是对资源的优化配置，企业作为资源配置的一般形式，促进了资源在企业间的合理配置，这有利于整个产业结构升级；另一方面数字技术不仅会对传统产业进行改造，提高产业的生产效率促进资源的合理配置，同时数字技术的高度渗透性会使其与传统经济呈现一种协同性，促进数字技术与传统产业紧密结合，推动企业的生产结构转型，为企业发展增添新的动力，推动产业结构升级。第三，产业结构升级往往伴随着较高等级产业规模的扩大、能源利用效率的提升和二氧化碳等污染物排放的降低，而数字技术也会促进我国实现更有效率和更高质量发展的目标，二者的结合可以更好地促进我国经济增长、降低碳排放，从而实现碳生产率的提升。总之，一些产业结构较高级的地区与这些地区的碳生产率和经济活动是紧密联系的，数字技术的应用推动了产业结构的升级和碳生产率的提升。

### 5.2.3 区域比较分析

上面分析整体上反映出了数字技术的发展对碳生产率的影响，考虑到各区域的禀赋和经济发展状况，东部地区由于是新中国成立以来最早对外开放的地区，能够较好享受到政策的红利，同时得天独厚的地理条件使得东部地区成为我国经济发展的排头兵。各种要素的流动和集聚使得东部地区的集聚效应发挥的更为显著，同时东部地区经济发展状况好，对外开放程度高，数字技术发展好，市场化程度和外部营商环境也比中西部强。这种发展的特殊性是我国经济发展的一个重要特色，这种东部、中部和西部之间的差异可能会导致数字技术对碳生产率的影响不同，故本节从区域的角度进行异质性分析。依然按前文中的做法，将样本中的 30 个省份划分为三大区域：东部、中部和西部，然后分别对东部、中部和西部回归数字技术对碳生产率的影响。东部地区包括北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南、辽宁、吉林和黑龙江共十三个省级行政单位；中部地区包括山西、河南、安徽、湖北、湖南和江西共六个省级行政单位；西部地区包括内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新

疆、四川、重庆、贵州、云南和广西共十一个省级行政单位。回归结果如表 5.4 所示：

表 5.4 区域分析

VARIABLES	(1)	(2)	(3)
	东部 CP	中部 CP	西部 CP
DT	4.849*** (0.430)	8.985*** (1.673)	3.761*** (0.944)
OPEN	0.001*** (0.000)	0.003*** (0.001)	0.001 (0.001)
TRA	0.470* (0.267)	-0.539*** (0.179)	1.120*** (0.169)
URB	-1.718* (0.870)	-3.711 (2.465)	-1.628 (1.587)
常数项	0.537 (0.685)	2.083 (1.329)	0.335 (0.737)
观测值	130	60	110
R-squared	0.974	0.965	0.923
时间固定效应	Y	Y	Y
地区固定效应	Y	Y	Y

注：括号内为t值，\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平

从上表的回归结果可以看到，东中西部三大板块数字技术的发展会显著促进各地区的碳生产率的提升。但是中部地区的效应最明显，其次是东部，最后是西部。这可能是由于我国中部传统制造业比重在三大板块中较高，而数字技术的应用对于制造业的影响较大。而东部地区主要是因为近些年来建造大量的基础设施，二氧化碳排放量骤增，削弱了数字技术的影响。而西部地区主要是因为经济发展水平较低，数字技术的影响有限。关于控制变量，东中部的对外开放的系数在百分之一的水平上显著，说明东中部的对外开放也能对碳生产率的提升有显著影响。近几年随着我国改革开放的大门越开越大，很多中部地区也在积极发展对外贸易，积极学习国外先进的生产技术和理念，提升本地区的对外开放度，促进了当地碳生产率的提升。虽然西部地区对外开放也能促进碳生产率的提升，但是并不显著，可能是由于西部地处内陆，对外开放程度不高。东西部的交通水平回归系数为正且显著，说明东西部的地区交通水平的

提升有利于碳生产率的提升，但是中部地区为负，这可能是由于中部地区在进行基础设施的建设的的时候碳排放的增长速度超过了基础设施建设带来的经济发展增长速度。东中西的城市化水平系数都为负，说明我国各个地区的城市化推进虽然很快，但是对环境的破坏也同时存在，我国需要找到一条绿色的城市发展道路。

在东部，数字技术的发展可以促进碳生产率的提升。东部地区拥有独特的地理位置和开放程度高的优势，能不断加强与国外先进地区的交流，积极学习国外先进技术，便于引进低碳环保技术和产量高能耗小的生产设备，从而促进“高精尖”产业的发展。同时东部地区由于具有人才和技术的优势，可以充分发挥企业创新主体的作用，东部地区一方面对行业内龙头企业的支持较大，大大发挥出龙头的带动示范作用，更好地推动其他企业的创新创造，为我国不断培养一批具有创新创造潜力的大型企业。另一方面东部地区也坚定地支持中小科技企业的发展，在资金融通、行政审批等方面为中小企业提供便利，扫清中小企业进行科学研究和创新创造的障碍，大力推进“校企合作”，不断提高企业的创新创造能力。以辽宁、吉林和黑龙江为例，东三省由于其独特的地理位置和历史原因，农业和工业占比比较大。数字技术的发展会提升当地农业的机械化和智能化水平，在粮食产量和环境保护等方面发挥重要作用；东北又是我国著名的工业基地，数字技术赋能制造业，提高制造业绿色生产水平，在促进地区经济发展的同时降低地区的碳排放，实现碳生产率的提升。而对于北京、上海等地区本来就是数字技术较为发达的地区，数字技术可以和各个行业甚至产业相融合，推动产业结构升级，提升地区的碳生产率。

在中部地区数字技术的发展会显著促进碳生产率的提升，且系数最大。中部位于东部与西部之间，中部地区一方面便于学习东部地区的经验，提升本地区的数字技术发展水平，提高经济发展能力；另一方面也可以利用数字技术改造本地的高污染高能耗的产业，提升中部的碳生产率。近年，中部地区也大力出台数字技术与低碳相关的文件，湖北在 2013 年制定出台《湖北省碳排放权交易管理办法》，提出要开展碳排放交易权的试点，建立开放型和兼容性的碳排放权交易市场。湖南在 2015 年也提出《湖南加快发展低碳经济研究》，提出运用新技术、新能源和新材料与能源产业相结合，提升碳生产率。这些政策的目的是

就是中部地区要着力优化能源结构，走出能源发展新路子。我国的自然资源禀赋就是富煤贫油少气，而在经济运行中对自然资源的需求非常大，因此能源对外依存度很高，同时这种能源消费结构在短期内不可能发生大的改变，因此无论是对内提升经济发展质量，对外提升能源安全，就迫切需要优化能源结构，提升能源利用效率。中部地区近年来不断加大对传统能源消费结构的环保技术投入，逐步淘汰高耗能的传统能源利用方式，实现传统能源的清洁利用，不断提升了传统能源的利用效率。同时中部地区也在积极寻找可替代的清洁能源，加强清洁能源利用的技术投入和政策支持，努力实现地区的低碳能源技术的自主化，淘汰旧有的高耗能技术，实现碳排放降低的目标。

从表中可以看到在西部地区数字技术能促进碳生产率的提升。整体上来说，西部地区经济发展水平较低，数字技术的发展也较为受限。近年来西部地区涌现出多个数字省份，比如重庆、陕西等数字技术发展迅速，而西部地区也利用这个机会出台有利于数字技术发展的政策力求实现弯道超车，着力补齐区域发展不平衡的短板。因此，从分地区的数字技术对碳生产率的影响的回归结果来看，不同区域内推进数字技术建设，促进碳生产率提升应有不同的侧重点，即东部地区要双管齐下，在数字技术应用和集聚两方面多下功夫，继续提升地区的数字技术水平，促进要素的自由流动与集聚，更好地发挥集聚效应，实现东部地区的可持续发展；对于中部地区来说，做好东西部地区的桥梁和纽带作用，既要加强与东部地区的交流，对地区内的传统产业进行改造，又要将地区的高耗能高污染企业转移出去，降低地区的碳排放；西部地区最重要的是利用数字技术发展的东风，加快数字技术的发展速度，不断缩小与发达地区的差距，更好发挥数字技术的作用，促进碳生产率的提升和东中西部的协调发展。

### 5.2.3 稳健性检验

上文通过实证证明了数字技术的发展有利于碳生产率的提升，而进行稳健性检验的方式比较多，为了进一步增强数字技术的发展对碳生产率影响的结果的平稳性，本文采取了增加新的控制变量的方法来保证结果的稳健性。具体如下表 5.5 所示：

表 5.5 稳健性检验

VARIABLES	(1) CP	(2) CP	(3) CP	(4) CP	(5) CP
DT	5.065*** (0.485)	4.814*** (0.478)	5.010*** (0.475)	4.621*** (0.518)	3.216*** (0.450)
OPEN		0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)
TRA			0.569*** (0.160)	0.587*** (0.159)	0.391*** (0.132)
URB				-1.073* (0.590)	-0.960* (0.544)
GDP					0.113*** (0.014)
PD					-9.506*** (3.584)
常数项	0.056 (0.068)	-0.012 (0.064)	-0.548*** (0.156)	0.101 (0.402)	0.292 (0.403)
观测值	300	300	300	300	300
R-squared	0.956	0.961	0.965	0.965	0.978
时间固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
地区固定效应	Y	Y	Y	Y	Y

注：括号内为 t 值，\*、\*\*、\*\*\*分别表示 10%、5%、1%的显著性水平

如表所示，在原来模型的基础上增加了GDP和PD两个控制变量，它们分别是各地区人均GDP和人口密度，其中人口密度用各地区人口与面积的比来表示。因为各地区人均GDP既反映了一个地区的经济发展水平，更代表了这个地区的经济发展潜力。人均GDP越高代表这个地区的经济越繁荣，经济发展的潜力越大，也就越有利于碳生产率的提升。因此把各地区人均GDP作为控制变量衡量对碳生产率的影响。随着改革开放的进一步深化、户籍制度的改革和各地区之间行政壁垒的下降，要素尤其是劳动力仍然在往发达地区流动，呈现出进一步集聚的景象。而人口密度则代表了一个地区的人口集聚程度，一般来说人口密度的上升既会带来经济的发展同时也会导致碳排放的增加，人口密度对碳生产率的影响可能是正向影响也可能是负向影响。因此把人口密度作为控制变量引入到模型中来检验对碳生产率的影响。

如表所示，模型（5）就是在模型（4）的基础上增加了两个控制变量，首先可以看到在增加两个控制变量后，模型仍然是显著的，同时回归系数也没有发生较大变化，说明模型（5）是合适的。数字技术的回归系数从4.621变为

3.216，且仍然在百分之一的水平上显著。开放程度的回归系数没有发生变化，仍然在百分之一的水平上显著。交通水平的回归系数从 0.587 变为 0.391，也仍然在百分之一的水平上显著。城市化的回归系数从-1.073 变为-0.96，从绝对数值来看回归系数的变化不大且显著。人均 GDP 的回归系数为 0.113，且在百分之一的水平上显著，说明人均 GDP 的增加可以显著促进碳生产率的提升。这可能是因为当一个地区的人均 GDP 越高，这个地区的经济也越繁荣，经济发展带来的好处超过了碳排放，导致了地区的碳生产率的提升。人口密度的回归系数为-9.506，且在百分之一的水平上显著，也说明人口密度的提升不利于碳生产率的提升。这可能是因为人口集聚虽然会带来经济的发展，但是也会带来一些污染，比如碳排放的增加、环境的破坏等。说明目前我国的集聚整体上还是一种低水平的集聚，需要不断加大环境等方面的投入，更好地发挥集聚的作用。

综上，对比之前回归结果与加入控制变量后的结果，发现两种结果证明的理论高度一致，证明了估计结果的稳健性与准确性。



## 6. 结论与政策建议

### 6.1 研究结论

在我国提出加快转变经济发展动能，提高经济发展质量，实现更高质量的发展的战略背景下，数字技术的发展与碳生产率的提升之间存在着千丝万缕的联系。本文以数字技术为切入点，从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三方面分析数字技术对碳生产率的影响，最终实现我国经济的高质量发展。我国早在2017年十九大提出了“高质量发展”战略，强调要建设绿色低碳循环发展的经济体系，促进我国经济的良性、健康发展。数字技术的广泛应用让全球都看到了其巨大潜力，被许多学者认为是解决经济中很多问题的良方，它突破了传统经济的束缚，不仅可以对传统经济进行改造，而且也会形成一种新的经济增长模式。在此背景下，研究数字技术的发展以及其对碳生产率的影响具有重要的现实意义。

本文在针对数字技术对碳生产率影响的研究中，通过对数字技术和碳生产率的定义、特点等进行界定，构建了衡量数字技术的指标体系，并根据熵值法计算出的各自权重得出2010年到2019年我国30个省级行政区的数字技术的发展水平，发现数字技术在我国三大地区取得了迅速的发展，尤其是西部地区的增长速度是最快的。然后计算了2010年到2019年我国30个省级行政区的碳生产率，得出其在我国整体上是上升的，说明我国经济高质量发展的势头是上升的。但是也能仍然看出各地区的数字技术发展水平和碳生产率存在巨大的差异，进一步发展数字技术和提高经济发展质量还有很长的路要走。在此基础上，通过构建实证模型进行回归，来考察数字技术对碳生产率的研究及其异质性。研究表明：

(1) 不同地区数字技术的发展和碳生产率存在差异。其中，东部地区的数字技术发展水平最高，这主要是由于东部地区的经济基础好，在数字技术方面走在了全国前列。其次是中部地区的数字技术发展水平，最后是西部地区的数字技术发展水平。关于碳生产率，东部地区的碳生产率最高，说明东部地区的经济具有高质量发展的特征。其次是中部地区的碳生产率水平，最后是西部地区的碳生产率水平。

(2) 数字技术发展对碳生产率提升具有显著的促进作用。先运用豪斯曼检

验发现适合使用固定效应模型，然后逐步加入控制变量进行回归，虽然降低了数字技术的回归系数，但是模型依然显著。这说明数字技术的发展确实有利于促进我国碳生产率的提升，这是因为数字技术的使用一方面可以对传统的要素、经济发展方式进行改造，另一方面会产生新的经济发展模式，无论哪种都会促进碳生产率的提升。

(3) 具体从技术进步效应、空间集聚效应和产业结构升级效应三方面分析数字技术对碳生产率的影响。本文认为数字技术对碳生产率的影响包含两种效应，一种是直接效应，另一种是间接效应。直接效应主要是指技术进步效应，因为数字技术的出现本就是一种技术进步，提升经济发展的信息化和智能化水平，提高全要素生产率。同时数字技术也可以直接应用于碳减排上，实现提升碳生产率。间接效应主要是指空间集聚效应和产业结构升级效应。一方面在集聚区域内，数字技术可以放大这种集聚效应，不仅可以提高区域内企业的生产水平，而且出现的专业第三方碳监测机构也会对集聚区域内的碳排放进行监测，实现节能减排，促进碳生产率的提升。另一方面，数字技术也是以一种新的经济增长模式出现，它的出现有利于我国构建新发展格局，优化各地区的产业结构，促进地区的产业结构调整，改变传统经济的增长模式，实现更高质量的发展。

(4) 在对总体进行回归分析后，根据分区域样本回归结果显示，东中西部地区数字技术的发展均能提高碳生产率，但是中部地区的回归系数最大，东部地区次之，西部地区最后。这说明我国中部地区可以利用数字技术实现经济的高质量发展，从而推动中部崛起。东部地区的回归系数小于中部，这可能是由于东部地区大部分是发达省份，东部地区的传统高耗能高污染的企业实现了往中部地区转移，东部地区在发展更为高端的轨道交通业、航空航天等高端制造业，数字技术赋能对于碳排放的作用并没有传统制造业那么大。而西部地区的数字技术回归系数虽然也很显著，但是数值要小于东中部，这主要是因为虽然西部一些地区数字技术发展较快，但是整体上来看，还是处于较低的水平，对提高碳生产率所起的作用并没有东部和中部那么大。同时，这也说明西部地区经济发展方式可持续性依然有很大的提升空间。因此西部地区可以抓住机会，利用数字技术实现追赶，促进区域的协调发展。

(5) 利用增加控制变量的方法对前面证明的理论进行再次验证，发现增加了地区的人均 GDP 和人口密度这两个控制变量后，数字技术的回归结果依然显著，从而保证了结果的稳定性和准确性。

## 6.2 政策启示

通过理论与实证的证明，数字技术的发展确实会对碳生产率有影响，同时这种影响在我国东中西三大板块之间是不同的。为了更准确地贯彻新发展理念，构建新发展格局，推动经济高质量发展，提升我国数字化水平和资源的利用效率，促进要素等的自由流动和产业转型升级，基于本文的思路和整体理解，分别对东中西部提出以下政策启示：

### 6.2.1 深化改革，吸引要素的流入与集聚

东部地区深化行政审批制度改革，降低地区的交易成本，吸引要素往东部地区流动，更好发挥集聚效应，从而实现碳生产率的提升。

第一，必须深化“放管服”改革，并通过简政放权和减少审批环节来降低交易成本。同时在简政放权过程中要规范各个地区政府责任划分，优化政府行政体系，各个地区各个层级的政府要分工明确，细化责任，优化政府职能，使市场在资源配置中起决定性作用。要加大对垄断行业和企业的改革，降低各种形式的行政壁垒，优化市场准入负面清单制度，推动“非禁即入”的落实，不断深化工商制度的改革，提高工商制度的合理性和便捷度，减少企业尤其是民营企业在市场准入、审批等环节的各种限制，对于应该放的权力要及时放，加快建立服务网络，给企业松绑，放宽企业进入市场的范围，通过不断地优化制度体系和简化程序，提高市场的活力，优化市场资源配置。

第二，加强基础设施建设，尤其是互联网、通信技术等的建设，促进生产活动和生活的联通，不断加快绿色基础设施的建设步伐，提高绿色基础设施的系统能力，不断提高地区的净化与修复能力，为集聚效应的发挥提供更为良好的环境。同时，鼓励企业积极探索经济发展新模式，充分运用数字技术提高企业之间的协同能力，降低集聚区域内的技术的空间溢出成本。

### 6.2.2 技术赋能，促进传统产业转型升级

中部地区是我国传统制造业占比较高的地区，而传统制造业虽然短时间会

带来经济的增长，但是它也是碳排放的大户。因此要着力强化数字技术的赋能作用，推动中部地区的产业结构升级，促进碳生产率的提升。

第一，加大对传统制造业的调整力度，既要扩大产业中高产值、低排放产业的比重，同时又要注重对高耗能、低产值产业的改造。一方面，要加强对高端装备制造业、生产性服务业等行业的支持力度，大力发展高新技术产业和现代服务业，并在技术投入、政策倾斜上多下功夫，引导要素往高端装备制造业、生产性服务业等行业流动，实现碳生产率的提升。另一方面，对传统的农业、采矿业、金属冶炼等行业进行改造，根据各个行业的特点制定适当的政策，提高碳生产率的水平。

第二，中部地区要不断优化要素的结构，尤其是要不断促进资本等要素对能源要素的替代，提高投资的效率和水平，促进传统产业的转型升级。资本要素被视为替代部分传统能源促进碳生产率提升的重要因素，但是近些年来边际效率在逐渐下降。因此在扩大资本替代作用提升碳生产率的过程中，要重点寻找资本和传统能源的最佳配置方式，实现产业结构由能源驱动转变为由资本和技术驱动转变，推动实现碳生产率的提升，实现经济的绿色循环低碳发展。

### 6.2.3 加大投入，构建数字技术发展新格局

我国西部虽然是近些年来数字技术发展最迅猛的地区，但是从绝对量上来看，西部地区的数字技术发展水平仍然较低，尚不能满足经济发展的需要。因此西部地区要做的主要是大力发展数字技术，提升数字技术的水平，促进提升碳生产率。

第一，西部地区要加大互联网投资力度，积极推进大数据的广泛应用和“网络强国”战略的实施。加快5G、大数据和人工智能等的应用，更好地利用信息技术推动高质量发展。加大对数字技术基础设施的投资力度，不断推动数字技术基础设施的建设与升级，扩大数字技术的服务范围，提高经济的运行效率。加强数字硬件、服务等创新，促进数据要素在各个领域和层面的开放与共享，实现数字技术与实体产业更好地融合，推动西部地区经济数字化转型，构建新时代的信息基础设施，提高碳生产率。

第二，西部地区要处理好数字技术的发展与区域和产业之间的关系。一方面由于数字技术的特殊属性，它突破了传统经济发展模式在空间上的限制，对

我国市场分割有一定的冲击作用，在这种情况下也就意味着各地传统的属地监管模式需要革新。西部地区内部不同省份的政府可以利用数字技术的特点打破地理空间上的限制，降低区域内的交易成本，推动各省份紧密合作，在加强各省份合作方面走出一条合作的新路子，推动更有效率的市场体系建设。另一方面，信息技术的发展最终要体现在产业结构的调整上，要根据不同产业的具体情况推动产业与数字技术的紧密结合，最终达到提升经济发展目标。

## 7. 不足与展望

本文从东中西三大板块出发，针对数字技术对碳生产率的影响进行了理论和实证检验，但仍存在不足。第一是本文从省级层面出发进行研究，但是并没有考虑地级市中数字技术对碳生产率的影响；第二是没有具体对数字技术与一些特定行业例如电力行业的相关性进行研究，因为电力行业直接影响了我国的碳排放，研究的范畴还是比较宏观。本文的不足之处也为后续进行进一步的研究提供了方向，也希望后续研究可以继续完善。最后由于本人知识水平有限，对论文中存在的问题希望专家、老师给予批评指正，也希望本文的研究工作可以为数字技术和碳生产率的相关研究做出些许贡献。

## 参考文献

- [1] Agarwal R , Gao G ,DesRoches C , et al. Research Commentary: The Digital Transformation of Healthcare: Current Status and the Road Ahead[J].Information Systems Research, 2010, Vol.21(4): 796-809.
- [2] Blair J. P. and R. Premus. Major Factors in Industrial Location: A Review[J].Economic Development Quarterly, 1987, Vol.11(1): 72—85.
- [3] Briel, F. V., Davidsson, P. and Recker, J.. Digital Technologies as External Enablers of New Venture Creation in the IT Hardware Sector[J].Entrepreneurship Theory and Practice, 2018, Vol.42(1): 47-69.
- [4] Duranton G, Overman H G. Testing for localization using micro-geographic data [J]. The Review of Economic Studies, 2005, Vol.72(4): 1077-1106.
- [5] Goldfarb, A. and Tucker, C.. Digital Economics[J]. Journal of Economic Literature, 2019, Vol.57(1): 3-43.
- [6] KAYA Y, YOKOBORI K. Environment, energy, and economy: strategies for sustainability[M]. United Nations University Press, Tokyo, 1997.
- [7] Krugman P. . Increasing Returns and Economic Geography[J]. Journal of Political Economy, 1991,(3) : 483 — 499.
- [8] Marshall A. ,Marshall M. P. The Economics of Industry[M]. Macmillan and Company, 1920.
- [9] Porter M E. On Competition[J]. Bottom Line, 1998, Vol.13( 1) : 36—39.
- [10] SZALAVETZ A. Digitalisation , automation and upgrading in global value chains-factory economy actors versus lead companies[J]. Post Communist Economies, 2019,(31):646-670.
- [11] Tabuchi T, Thisse J F. Regional Specialization, Urban Hierarchy, and Commuting Costs[J]. International Economic Review, 2006, Vol.47(4): 1295 – 1317.
- [12] Vial , G.. Understanding Digital Transformation : A Review and a Research Agenda[J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2019, Vol.28(2): 118-144.
- [13] Westerman, G., Calm ejane, C., Bonnet, D., Ferraris, P. and McAfee, A.. Digital

- Transformation: A Roadmap for Billion-dollar Organizations[J]. MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting, 2011,(1):1-68.
- [14] 白永亮, 杨扬. 长江经济带城市制造业集聚的空间外部性: 识别与应用[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2019, 25(03):14-28.
- [15] 白重恩, 杜颖娟, 陶志刚, 仝月婷. 地方保护主义及产业地区集中度的决定因素和变动趋势[J]. 经济研究, 2004, (04):29-40.
- [16] 陈楠, 蔡跃洲. 数字技术对中国制造业增长速度及质量的影响——基于专利应用分类与行业异质性的实证分析[J]. 产业经济评论, 2021, 47(06):46-67.
- [17] 陈晓红, 胡东滨, 曹文治, 梁伟, 徐雪松, 唐湘博, 汪阳洁. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. 中国科学院刊, 2021, 36(09):1019-1029.
- [18] 丛昊, 张春雨. 数字技术与企业高质量创新[J]. 中南财经政法大学学报, 2022, (04):29-40.
- [19] 邓荣荣, 张翱翔. 中国城市数字经济发展对环境污染的影响及机理研究[J]. 南方经济, 2022, (02):18-37.
- [20] 邓悦, 蒋琬仪. 工业机器人、管理能力与企业技术创新[J]. 中国软科学, 2022(11):129-141.
- [21] 丁玉龙, 秦尊文. 信息通信技术对绿色经济效率的影响——基于面板Tobit模型的实证研究[J]. 学习与实践, 2021, (04):32-44.
- [22] 杜传忠, 姜莹. 数字技术对制造业创新效率的影响机制与效应研究[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2022, 25(03):71-82.
- [23] 方湖柳, 潘娴, 马九杰. 数字技术对长三角产业结构升级的影响研究[J]. 浙江社会科学, 2022, (04):25-35+156-157.
- [24] 方岚. 数字技术如何赋能产业结构升级: 异质性分析与机制检验[J]. 云南财经大学学报, 2022, 38(12):33-47.
- [25] 傅志华, 梅辉扬. 数字技术赋能与地方政府环保支出效率: 门槛特征和空间效应[J]. 经济纵横, 2023, (04):31-44.
- [26] 葛立宇, 莫龙炯, 黄念兵. 数字经济发展、产业结构升级与城市碳排放[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2022, 42(10):20-37.



- [27] 葛立宇, 于井远. 智慧城市建设与城市碳排放: 基于数字技术赋能路径的检验[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(23): 44-54.
- [28] 郭丰, 杨上广, 任毅. 数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 51(03): 45-60.
- [29] 郭峰, 陈凯. 互联网技术、空间拥挤成本与制造业集聚选择——基于新经济地理模型及检验[J]. 工业技术经济, 2020, 39(09): 71-79.
- [30] 呼倩, 夏晓华, 黄桂田. 中国产业发展的流动劳动力工资增长效应——来自流动人口动态监测的微观证据[J]. 管理世界, 2021, 37(10): 86-100+245-248.
- [31] 胡剑波, 罗志鹏, 韩君. 中国产业部门隐含碳生产率的测度及其敛散性[J]. 统计与信息论坛, 2023, 38(03): 56-69.
- [32] 黄勃, 李海彤, 刘俊岐, 雷敬华. 数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J]. 经济研究, 2023, (03): 97-115.
- [33] 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.
- [34] 黄宇金, 孙威. 京津冀地区制造业集聚的时空演化特征和差异性分析[J]. 地理科学进展, 2021, 40(12): 2011-2024.
- [35] 姬新龙, 杨钊. 碳排放权交易是否“加速”降低了碳排放量和碳强度?[J]. 商业研究, 2021, (02): 46-55.
- [36] 黎新伍, 黎宁, 谢云飞. 数字经济、制造业集聚与碳生产率[J]. 中南财经政法大学学报, 2022, (06): 131-145.
- [37] 李尽法, 王秋月. 绿色研发投入对碳生产率的空间溢出效应——基于财政分权的调节作用[J]. 工业技术经济, 2020, 39(11): 83-91.
- [38] 李小平, 余东升, 余娟娟. 异质性环境规制对碳生产率的空间溢出效应——基于空间杜宾模型[J]. 中国软科学, 2020, (04): 82-96.
- [39] 梁佳, 严锋, 杨宜苗. 数字技术推动了零售业高质量发展吗?——基于面板门限模型的检验[J]. 经济与管理, 2022, 36(06): 15-24.
- [40] 梁圣蓉, 罗良文. 技术创新对碳生产率影响的空间效应——基于产业结构和对外开放视角[J]. 广西社会科学, 2022, (04): 16-27.

- [41] 林善浪, 吴拓磊, 王靓娴. 高速铁路开通对城市碳生产率的影响[J]. 软科学, 2023, 37(03):59-64.
- [42] 刘国平, 曹莉萍. 基于福利绩效的碳生产率研究[J]. 软科学, 2011, 25(01):71-74.
- [43] 刘海英, 杨明, 王殿武. 绿色技术创新促进碳生产率提高的作用机制——基于工业结构升级、循环农业发展和交通运输替代的中介效应分析[J]. 科技管理研究, 2022, 42(10):194-201.
- [44] 刘婧玲, 陈艳莹. 数字技术发展、时空动态效应与区域碳排放[J]. 科学学研究, 2023, 41(05):841-853.
- [45] 刘平峰, 张旺. 数字技术如何赋能制造业全要素生产率?[J]. 科学学研究, 2021, 39(08):1396-1406.
- [46] 刘伟丽, 陈腾鹏. 数字经济是否促进了共同富裕?——基于区域协调发展的研究视角[J]. 当代经济管理, 2023, 45(03):1-10.
- [47] 刘习平, 盛三化, 王珂英. 经济空间集聚能提高碳生产率吗?[J]. 经济评论, 2017, (06):107-121.
- [48] 刘意, 谢康, 邓弘林. 数据驱动的产品研发转型:组织惯例适应性变革视角的案例研究[J]. 管理世界, 2020, 36(03):164-183.
- [49] 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.
- [50] 缪陆军, 陈静, 范天正, 吕雁琴. 数字经济发展对碳排放的影响——基于278个地级市的面板数据分析[J]. 南方金融, 2022, (02):45-57.
- [51] 彭刚, 朱莉, 陈榕. SNA视角下我国数字经济生产核算问题研究[J]. 统计研究, 2021, 38(07):19-31.
- [52] 任保平, 邹起浩. 新经济背景下我国高质量发展的新增长体系重塑研究[J]. 经济纵横, 2021, (05):74-84+2.
- [53] 任希丽, 张海伟. 数字技术与中国省区产业增长——基于双重差分非线性计量模型的实证分析[J]. 商业研究, 2023, (01):11-19.
- [54] 任转转, 邓峰. 数字技术、要素结构转型与经济高质量发展[J]. 软科学, 2023, 37(01):9-14+22.

- [55] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(01): 36-60+226.
- [56] 余群芝, 吴柳, 郑洁. 数字经济、经济聚集与碳排放[J]. 统计与决策, 2022, 38(21): 5-10.
- [57] 石大千, 丁海, 卫平, 刘建江. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018, (06): 117-135.
- [58] 宋文飞. 中国外商直接投资对碳生产率的双边效应[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2021, 42(05): 52-63.
- [59] 孙华平, 杜秀梅. 全球价值链嵌入程度及地位对产业碳生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(07): 27-37.
- [60] 孙慧, 向仙虹. 资源型产业转移、技术溢出与碳生产率——基于动态空间杜宾模型的分析[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(03): 14-19.
- [61] 谭清美, 陆菲菲. Ellison-Glaeser指数的修正方法及其应用——对中国制造业行业集聚的再测度[J]. 技术经济, 2016, 35(11): 62-67.
- [62] 唐任伍, 武天鑫, 温馨. 数字技术赋能共同富裕实现的内在机理、深层逻辑和路径选择[J]. 首都经济贸易大学学报, 2022, 24(05): 3-13.
- [63] 唐志鹏, 刘卫东, 宋涛. 基于混合地理加权回归的中国省域碳生产率影响因素分析[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2223-2232.
- [64] 汪晗, 代晓玲, 聂鑫. 基于泰尔指数的粤港澳大湾区碳生产率差异分析[J]. 科技管理研究, 2019, 39(12): 214-221.
- [65] 王开科, 吴国兵, 章贵军. 数字经济发展改善了生产效率吗[J]. 经济学家, 2020, (10): 24-34.
- [66] 王巧然. 城市化对碳生产率的阶段性效应及其区域分异特征研究——来自中国地级市的证据[J]. 技术经济, 2021, 40(12): 61-73.
- [67] 王右文, 董生忠. 以数字技术应用促进我国经济高质量发展研究[J]. 学习与探索, 2021, (11): 128-134.
- [68] 邬彩霞, 高媛. 数字经济驱动低碳产业发展的机制与效应研究[J]. 贵州社会科学, 2020, (11): 155-161.
- [69] 吴三忙, 李善同. 中国制造业空间分布分析[J]. 中国软科学, 2010(06): 123-

- 131+150.
- [70] 吴翌琳, 王天琪. 数字经济的统计界定和产业分类研究[J]. 统计研究, 2021, 38(06):18-29.
- [71] 武义青, 姚连宵. 基于碳生产率的我国省域经济增长方式评价[J]. 河北经贸大学学报, 2021, 42(04):67-73.
- [72] 谢会强, 黄凌云, 刘冬冬. 全球价值链嵌入提高了中国制造业碳生产率吗[J]. 国际贸易问题, 2018, (12):109-121.
- [73] 邢小强, 周平录, 张竹, 汤新慧. 数字技术、BOP商业模式创新与包容性市场构建[J]. 管理世界, 2019, 35(12):116-136.
- [74] 薛飞, 周民良. 中国碳交易市场规模的减排效应研究[J]. 华东经济管理, 2021, 35(06):11-21.
- [75] 杨丹辉, 胡雨朦. 投入数字化对工业碳排放强度影响的实证分析[J]. 城市与环境研究, 2022, (04):77-93.
- [76] 杨丹辉. 未来产业发展与政策体系构建[J]. 经济纵横, 2022, (11):33-44.
- [77] 杨军鸽, 王琴梅. 数字技术与农业高质量发展——基于数字生产力的视角[J]. 山西财经大学学报, 2023, 45(04):47-63.
- [78] 易子榆, 魏龙, 王磊. 数字产业技术发展对碳排放强度的影响效应研究[J]. 国际经贸探索, 2022, 38(04):22-37.
- [79] 余姗, 樊秀峰, 蒋皓文. 数字经济发展对碳生产率提升的影响研究[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(07):26-35.
- [80] 袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 盛誉. 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, (09):137-155.
- [81] 张龙鹏, 张双志. 技术赋能:人工智能与产业融合发展的技术创新效应[J]. 财经科学, 2020(06):74-88.
- [82] 张鹏. 数字经济的本质及其发展逻辑[J]. 经济学家, 2019, (02):25-33.
- [83] 张腾, 蒋伏心, 韦朕韬. 数字经济能否成为促进我国经济高质量发展的新动能?[J]. 经济问题探索, 2021, (01):25-39.
- [84] 张昕蔚. 数字经济条件下的创新模式演化研究[J]. 经济学家, 2019, (07):32-39.

- [85]张雪峰, 宋鸽, 闫勇. 要素投入对中国工业碳生产率的影响研究——来自Hec-kman两阶段的经验数据[J]. 经济问题, 2021, (06): 60-64.
- [86]张于喆. 数字经济驱动产业结构向中高端迈进的发展思路与主要任务[J]. 经济纵横, 2018, (09): 85-91.
- [87]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, 42(07): 114-129.
- [88]赵国浩, 高文静. 基于前沿分析方法的中国工业部门广义碳生产率指数测算及变化分解[J]. 中国管理科学, 2013, 21(01): 31-36.
- [89]郑超愚, 乌云图, 卓娜. 创新型人力资本集聚、数字技术支持与经济发展质量[J]. 宏观质量研究, 2023, 11(02): 77-89.
- [90]周明生, 张一兵. 数字技术发展促进制造业与服务业融合了吗[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(13): 74-82.

## 致 谢

时间转瞬即逝，三年的研究生生活落下了帷幕。在这三年我收获了良多，尤其是感谢身边的良师益友，何其幸哉！

在这里特别感谢我的导师，王必达教授在我刚入学时就留下了极深的印象，老师温和谦逊、博闻强识，在我心里深深埋下了要成为老师那样的人的种子。在每次开组会时，老师不仅会引导同学们善于思考、积极发言，而且会不断提出自己的新思想和新见解。在论文的写作阶段，王老师在选题、框架、文章撰写等方面给予了我很多指导，使文章得以顺利完成。王老师的思想高屋建瓴，在学习、生活等方面带给了我很大的启示，足以让我受用终生。一个人遇到一个好老师是一生的幸运，在此我向我的导师王必达教授致以崇高的敬意和衷心的感谢。

衷心感谢经济学院所有老师以及代课老师，他们在学术和生活方面给了我很多启发。感谢师兄师姐在我论文写作过程中提供的帮助，感谢师弟师妹带给我的欢乐。感谢身边的朋友们，我们一起学习、一起欢乐、一起畅想，正是因为有你们在身边我的研究生生活变得更加丰富多彩。最后也感谢我的父母，他们在身边无条件地支持我、帮助我，使我有更坚强的后盾。

征途漫漫从头越，奋楫扬帆向未来！