

分类号 C8/370
U D C 0005661

密级 公开
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 长江经济带数字经济发展对绿色技术创新的影响
研究

研究生姓名: 王欣茹

指导教师姓名、职称: 韩君 教授

学科、专业名称: 应用经济学 统计学

研究方向: 经济与社会统计

提交日期: 2024年6月5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： 王欣茹 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 韩磊 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： _____ 签字日期： _____

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： 王欣茹 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 韩磊 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： _____ 签字日期： _____

Research on the Impact of Digital Economic Development on Green Technology Innovation in the Yangtze River Economic Belt

Candidate : Wang Xinru

Supervisor: Han Jun

摘要

数字经济与绿色技术创新是国家近年来重点关注的领域。伴随我国绿色低碳循环发展经济体系的建立,绿色技术创新逐渐成为打好污染防治攻坚战、推动绿色发展的重要动力。数字经济具有鲜明的数字化、网络化、智能化等特征,逐渐成为促进我国绿色技术创新的新引擎。而长江经济带作为国家生态优先绿色发展的主战场,其生态环境污染问题十分突出,对绿色技术创新的需要更为迫切。因此,研究长江经济带数字经济发展能否提升绿色技术创新水平,对于长江经济带乃至全国的绿色发展具有重要的理论及现实意义。

本文对长江经济带 2011—2021 年的 108 个地级市的面板数据展开分析。首先,通过熵值法测度得到长江经济带各城市数字经济发展水平,了解其整体及不同区域的数字经济发展情况。其次,基于测度结果,对各变量进行描述性统计分析;通过固定效应模型和分位数回归模型分析数字经济对绿色技术创新的直接影响,并从不同方面探讨了长江经济带数字经济对城市绿色技术创新的异质性。最后,通过中介效应模型和调节效应模型分析数字经济影响绿色技术创新的间接效应。文章旨在通过以上分析发现二者在发展过程中可能存在的问题,对促进长江经济带绿色技术创新以及实现区域协调绿色发展提出针对性建议。

主要结论如下:第一,数字经济发展水平和绿色技术创新水平的测度结果表明长江经济带区域内部的发展存在显著差异。整体来看,数字经济发展水平呈现不断上升的趋势,2011—2021 年数字经济发展水平均值从下游、上游到中游依次下降。长江经济带绿色技术创新水平在 2020 年之前总体呈上升趋势,在 2020 年之后有所下降。2011—2021 年绿色技术创新水平均值最高的是下游地区,其次是中游地区,上游地区最低。第二,数字经济发展能够有效提升长江经济带城市的绿色技术创新水平,该结论在经过替换被解释变量、剔除特殊城市、缩尾处理、内生性检验等一系列稳健性检验后依然成立。第三,数字经济可以在一定程度上以推动金融发展、加快产业结构升级的方式来促进绿色技术创新。其中,金融发展水平和产业结构升级的中介效应分别为 18.80%和 15.38%。另外,政府支持能够强化长江经济带数字经济发展对绿色技术创新的促进作用。第四,数字经济对绿色技术创新水平的影响在不同绿色技术创新水平、不同区域、不同城市等

级、不同人口密度的情况下均存在差异。具体来看，数字经济发展在不同绿色技术创新水平下均能显著促进绿色技术创新。数字经济发展能够显著促进核心城市群地区、下游地区的绿色技术创新水平提升，而对非核心城市群地区、上中游地区的影响并不显著。数字经济发展对不同城市等级和不同人口密度的城市绿色技术创新均具有显著促进作用，且对中心城市和高人口密度城市的绿色技术创新具有更强的驱动作用。

基于以上结论，文章从实施区域差异化数字经济政策，加快实现长江经济带区域协调绿色发展；多主体参与及多举措并行，共同为绿色技术创新提供资金保障；优化生产要素配置，加快产业转型升级；强化区域增长极、核心增长极的辐射作用，缓解长江经济带区域发展不平衡等四个方面提出建议。

关键词：长江经济带 绿色技术创新 金融发展水平 产业结构升级 数字经济

Abstract

Digital economy and green technology innovation have been the key areas of the country in recent years. Along with the establishment of China's green, low-carbon and recycling development economic system, green technological innovation has gradually become an important driving force for fighting the battle against pollution and promoting green development. Digital economy has distinct characteristics of digitalization, networking and intelligence, and has gradually become a new engine to promote green technology innovation in China. The Yangtze River Economic Belt, as the main battlefield of national ecological priority and green development, has prominent ecological and environmental pollution problems, and the need for green technology innovation is more urgent. Therefore, it is of great theoretical and practical significance to study whether the digital economy development can improve the level of green technology innovation for the green development of the Yangtze River Economic Belt and even the whole country.

This paper analyze the panel data of 108 prefecture-level cities in the Yangtze River Economic Belt from 2011 to 2021. Firstly, the digital economy level of each city in the Yangtze River Economic Belt is obtained by entropy measurement to understand its overall and different

regions' digital economy development. Secondly, based on the measurement results, descriptive statistical analyses of the variables are carried out; the direct impact of digital economy on green technological innovation is analyzed through fixed effect model and quantile regression model, and the heterogeneity of the digital economy in the Yangtze River Economic Belt on the green technological innovation of the cities is explored from different aspects. Finally, the indirect effect of the digital economy affecting the green technological innovation is analyzed through mediating and moderating effect models. The article aims to find out the problems that may exist between the two in the process of development through the above analysis, and puts forward targeted suggestions for promoting green technological innovation in the Yangtze River Economic Belt as well as realizing coordinated green development in the region.

The main conclusions are as follows: First, the results of the development level of digital economy and green technology innovation show that there are significant differences in the development of the Yangtze River Economic Belt. On the whole, the development level of digital economy shows a rising trend. In 2011-2021, the average value of digital economy development drops from the downstream, upstream to the middle reaches. The level of green technology innovation in the Yangtze River Economic Belt showed an overall upward trend before 2020, and decreased after 2020. From 2011 to 2021, the downstream

region with the average value of green technology innovation is the highest, followed by the middle region and the upstream region is the lowest. Second, the development of digital economy can effectively enhance the level of green technological innovation of cities in the Yangtze River Economic Belt, and this conclusion still holds after a series of robustness tests such as replacing the explanatory variables, excluding special cities, shrinking tails treatment, and endogeneity test. Third, the digital economy can, to a certain extent, promote green technology innovation by improving the level of financial development and promoting the upgrading of industrial structure. Among them, the intermediary effect of financial development level and industrial structure upgrading is 18.80% and 15.38%, respectively. In addition, government support can strengthen the role of digital economy development in the Yangtze River economic Belt in promoting green technology innovation. Fourth, the impact of the digital economy on the level of green technological innovation varies across different levels of green technological innovation, regions, city classes, and population densities. Specifically, the development of digital economy can significantly promote green technology innovation under different levels of green technology innovation. The development of digital economy can significantly promote the improvement of green technology innovation level in core urban agglomerations and downstream regions, while the

impact on non-core urban agglomerations and upper and middle regions is not significant. The development of digital economy plays a significant role in promoting urban green technology innovation at different urban levels and with different population density, and has a stronger driving role in promoting green technology innovation in central cities and cities with high population density.

Based on the above conclusions, the paper proposes the implementation of regional differentiated digital economic policies to accelerate the coordinated green development of the Yangtze River Economic Belt, multi-subject participation and multiple measures to jointly provide financial guarantee for green technology innovation, optimize the allocation of production factors, accelerate the industrial transformation and upgrading, strengthen the radiation effect of regional growth pole and core growth pole, and alleviate the unbalanced regional development of the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; Green technology innovation; Financial development; Industrial structure upgrading; Digital economy

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 文献综述	2
1.2.1 关于数字经济的研究	2
1.2.2 关于绿色技术创新的研究	4
1.2.3 关于数字经济影响绿色技术创新的研究	6
1.2.4 文献述评	7
1.3 研究思路与内容	8
1.3.1 研究思路	8
1.3.2 研究内容	8
1.4 研究创新之处	10
2 理论基础和机理分析	11
2.1 理论基础	11
2.1.1 技术—经济范式理论	11
2.1.2 增长极理论	11
2.1.3 金融发展理论	12
2.1.4 产业结构升级理论	13
2.2 数字经济发展对绿色技术创新的直接效应	13
2.3 数字经济发展对绿色技术创新的间接效应	14
2.3.1 金融发展水平中介效应	14
2.3.2 产业结构升级中介效应	15
2.3.3 政府支持调节效应	15
2.4 本章小结	16
3 长江经济带数字经济与绿色技术创新统计测度	17

3.1 数字经济和绿色技术创新发展现状	17
3.1.1 数字经济发展现状	17
3.1.2 绿色技术创新发展现状	19
3.2 数字经济与绿色技术创新水平的测度分析	21
3.2.1 数字经济发展水平的测度分析	21
3.2.2 绿色技术创新水平的测度分析	25
3.3 本章小结	27
4 长江经济带数字经济影响绿色技术创新的直接效应分析	28
4.1 变量选取与模型设定	28
4.1.1 变量选取	28
4.1.2 模型设定	29
4.2 数据来源及描述性统计	29
4.3 直接效应分析	30
4.3.1 基准回归结果分析	30
4.3.2 稳健性检验	32
4.3.3 内生性检验	33
4.4 异质性分析	34
4.4.1 地区异质性分析	35
4.4.2 城市等级异质性分析	36
4.4.3 人口密度异质性分析	38
4.4.4 绿色技术创新水平异质性分析	39
4.5 本章小结	40
5 长江经济带数字经济影响绿色技术创新的间接效应分析	41
5.1 变量选取与模型设定	41
5.1.1 变量选取	41
5.1.2 模型设定	42
5.2 数据来源及描述性统计	42
5.3 金融发展水平中介效应	43
5.4 产业结构升级中介效应	44

5.5 政府支持调节效应	46
5.6 本章小结	47
6 结论与建议	49
6.1 研究结论	49
6.2 对策建议	50
6.2.1 实施区域差异化数字经济政策	50
6.2.2 推动多主体参与及多举措并行	51
6.2.3 优化要素配置促产业转型升级	51
6.2.4 强化区域增长极辐射带动作用	52
参考文献	53
攻读硕士学位期间承担的科研任务及主要成果	59
致 谢	60

1 绪论

为了更清晰地展示文章的整体脉络,本章介绍了研究长江经济带数字经济与绿色技术创新关系的背景、意义,阐述了文章的主要研究内容和研究思路等,并通过梳理文献了解国内外研究现状,为下文展开研究做铺垫。

1.1 研究背景和研究意义

1.1.1 研究背景

在全球经济增速变缓的背景下,我国在经济高质量发展方面依然取得较大成就,这一成就离不开数字经济的高速增长。数字经济有效抵御了全球经济下行和疫情的双重冲击。近年来,国家发布多项政策大力支持数字经济发展,促进了我国生产结构、消费结构、就业结构的升级,提高了社会经济效率和经济发展水平。在经济快速发展的同时,我国生态发展也面临诸多挑战,生态环境仍存在许多问题。近年来,国家愈发注重绿色发展。在党的十九大报告中,习近平总书记明确提出“构建市场导向的绿色技术创新体系”^[58]。2022年12月13日,相关部门为深入贯彻落实工作出台了完善绿色技术创新体系的实施方案。方案要求深入贯彻落实党的二十大精神,完整、准确、全面贯彻新发展理念,坚定不移实施创新驱动发展战略,进一步完善市场导向的绿色技术创新体系。

长江经济带作为我国重大战略发展区域和可持续发展的重要生态安全屏障,横跨东中西三大板块,具有明显的区位优势 and 巨大的发展潜力,同时也是推进绿色转型的重点区域^[36]。2021年在长江经济带各省市中,仅云南与贵州的数字经 济规模在1万亿元以下。其中,江苏、浙江、上海、湖北、重庆数字经济占比超过了全国平均水平。数字经济作为信息技术快速发展的产物,具有数字化、网络化、智能化的特征,能够促进技术创新,降低能源消耗,进而推动城市绿色发展。因此,在数字经济飞速发展及绿色技术不断创新的背景下,探究数字经济以何种渠道影响绿色技术创新的重要性不言而喻。

1.1.2 研究意义

(1) 理论意义

生态优先、绿色发展是新发展格局下推动长江经济带高质量发展的行动指南。目前,针对长江经济带城市层面绿色技术创新发展的已有研究较少。针对长江经济带数字经济的研究也大多基于省份层面。将数字经济与绿色技术创新纳入同一框架的研究目前为止也相对较少,且对二者产生影响的机制分析还不够全面。基于此,以长江经济带城市为研究对象,从金融发展水平、产业结构升级和政府支持角度探讨数字经济发展推动城市绿色技术创新的作用机制,在一定程度上丰富了长江经济带数字经济和城市绿色技术创新的相关研究。

(2) 现实意义

长江经济带污染排放总量大、强度高,亟需推动绿色转型。面对我国“双碳”目标,各省市实现碳达峰碳中和任务艰巨,资源环境压力巨大。理论上,绿色技术可以为碳减排做出贡献,长远来看,解决环境问题需要依靠技术进步,尤其是以绿色技术为导向的创新^[4]。近年来,国家愈发重视绿色发展。二十大报告强调需加快社会发展方式向绿色发展转型的步伐^[57]。数字经济作为驱动我国绿色技术创新发展的新引擎,正逐渐成为推动经济结构升级、实现绿色发展的关键力量。基于此,从城市层面探究二者之间的关系,这一方面能够为研究新发展格局下运用数字经济手段推动绿色技术创新提供理论依据;另一方面也能够为政府制定或完善相关政策提供一些可行的建议,具有重要的现实意义。

1.2 文献综述

1.2.1 关于数字经济的研究

(1) 数字经济的研究内涵

“数字经济”一词最早出现于 20 世纪 90 年代一篇名为《The San Diego Union—Tribune》的报道中^[59]。Tapscott (1996) 在其著作中提出“数字经济时代”这一概念^[11]。1998 年,美国商务部发布报告表示信息技术推动工业经济走向数字经济。不同国家开始发展数字经济的时间早晚不同,发展程度不同,对数字经济的概念理解也不尽相同。早期对数字经济的界定较为局限,认为其由信息技术、

电子商务两部分组成, Paul Miller 等 (2001) 认为数字经济是一场利用互联网技术推动经济发展、社会进步的技术革命, 可以减轻经济活动给自然环境造成的破坏, 加强社会不同区域间的合作与联系^[8]。随着数字经济的不断发展, 各国政府及学者不断赋予数字经济更广泛的定义。Peitz 和 Waldfogel 提出, 数字经济凭借创新特征催生出平台经济, 这种数字平台提高了搜索产品及服务信息的效率, 从而能够快速地提供与客户匹配的产品及服务, 在降低交易成本的同时提高交易效率^[2]。2016 年, 中国国家互联网信息办公室同 G20 各成员方通力协作, 共同为数字经济赋以明确定义: 数字经济是指一系列的经济活动, 将数字化的知识和信息作为关键生产要素, 现代信息网络作为载体, 信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的推动力。此外, 还可从广义和狭义两方面来理解。戚聿东等 (2020) 从广义和狭义两个视角对数字经济内涵进行了界定, 狭义的数字产业即数字产业化, 是区别于传统经济的数字化服务; 广义的数字产业即产业数字化, 是一种依靠数字化信息、知识和网络平台提高生产效率、优化宏观经济结构的新型经济形态^[39]。

(2) 数字经济的测度

对于数字经济的测算衡量指标, 目前仍没有一个统一和公认的体系。刘军等 (2020) 从数字经济的广义内涵出发, 选取信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个维度构建了测度中国分省份数字经济发展水平的指标体系^[35]。王军等 (2021) 指出, 大多学者构建指标体系时仅仅根据需求选择少量具有代表性的指标进行测度, 然后用于实证研究, 对数字经济指标的涵盖面不足, 缺乏全面的数字经济综合指数测算体系^[48]。基于此, 其依据数字经济内涵从数字经济发展载体、数字产业化、产业数字化及数字经济发展环境四个层面运用熵值法对我国 30 个省份的数字经济发展水平进行了测度。黄群慧等 (2019) 从互联网应用和产出角度, 选择了互联网普及率、互联网相关从业人员、互联网相关产出和移动互联网用户数四个维度的指标衡量城市层面数字经济发展水平^[26]。赵涛等 (2020) 从数字互联网发展和数字金融普惠两个维度综合测算了中国各地级市的数字经济发展水平^[70]。

(3) 数字经济的影响研究

关于数字经济的影响研究已经较为丰富,当前学术界主要研究了数字经济对产业结构、区域创新效率、高质量发展、技术创新、绿色发展及环境质量的影响。在产业结构方面,郭炳南等(2020)认为数字经济主要通过数字产业化和产业数字化推动产业结构升级,此外,数字经济可以通过利用人力资本红利、加大研发投入强度、优化资源配置等助推产业结构升级^[20]。在区域创新效率方面,邓峰等(2022)基于市场分割视角,利用省际数据分析出数字经济可以通过抑制市场分割进而促进区域创新效率提升^[16]。在高质量发展和技术创新方面,赵涛等(2020)以创业活跃度为研究视角,从城市层面对数字经济和高质量发展进行了较为全面的测度,发现数字经济能够显著促进高质量发展,其对高质量发展展现出“边际效应”非线性递增以及空间溢出的特点,且激发大众创业是数字经济促进高质量发展的重要影响机制之一^[70]。宋洋(2022)基于技术创新中介视角,发现数字经济不仅可以直接促进高质量发展,还可以间接通过技术创新对高质量发展起到促进作用^[43]。在绿色发展及环境质量方面,魏丽莉和侯宇琦(2022)通过测度我国地级市数字经济发展水平和绿色发展效率并分析数字经济对城市绿色发展的影响作用发现,数字经济能够显著促进城市绿色发展,且已成为推动地区实现绿色化转型的重要力量^[54]。孙耀武和胡智慧(2021)基于产业结构升级视角,从城市层面分析发现数字经济发展对污染物的排放具有抑制作用,数字经济与产业结构升级形成的双绿色驱动能够实现生态环境质量的提升^[45]。

1.2.2 关于绿色技术创新的研究

(1) 绿色技术创新的研究内涵

五大新发展理念中,创新发展注重的是解决发展动力问题,绿色发展注重的是解决人与自然和谐问题,而绿色技术创新正是“绿色发展”和“创新发展”的结合。绿色技术创新活动的相关概念最早出现在1992年出版的《绿色管理革命》,为挖掘绿色技术创新效益提出管理建议。葛晓梅等(2005)认为绿色技术创新是实现环境效益与经济效益互利共生的有效路径,并对绿色技术创新概念作了阐述:绿色技术创新指绿色产品创新和绿色工艺创新,主要针对产品生产过程和生产工艺,确保从生产到使用对环境无污染或少污染^[19]。Brawn和Wield(2007)认为绿色技术创新过程应该是一个涵盖要素资源科学投入、生产过程清洁化、废弃物

循环利用、整体绿色生产测评等产品工艺的全过程^[3]。张江雪等（2018）从技术层面出发，认为绿色技术创新指的是某项具体的技术，是指有利于节约资源、避免或减少环境污染的技术创新，包括能源高效利用和节约技术、绿色建筑技术、绿色制造技术、资源综合利用技术等^[67]。

从进行绿色技术创新的必要性来看，推广绿色技术创新是减少碳排放、减轻环境污染和实现绿色可持续发展的重要途径^[10]。杨发明和许庆瑞（1998）指出绿色技术创新是解决环境问题的根本手段，而环境风险、政府管制、消费者需求、产业结构等要素影响着企业进行绿色技术创新的收益与成本，从而影响企业进行绿色技术创新的动力^[62]。Vicki Norberg-Bohm（1999）指出缓解生态问题依赖于产品和工艺的根本性技术创新，并提出促进绿色技术创新的政策设计标准，探讨利用公共政策刺激绿色技术创新^[9]。Ahmad等人（2020）研究了经合组织 20 个成员国环境质量与绿色技术创新之间的关系，结果表明绿色技术创新增强了环境的可持续性^[1]。原毅军和陈喆（2019）通过研究环境规制对技术创新以及绿色技术创新对制造业转型升级的影响，认为加快制造业由污染密集型向清洁型转变的关键是加大绿色技术创新实施力度^[65]。

（2）绿色技术创新的测度

对于如何测度绿色技术创新，已有研究多采用以下方法。第一，基于绿色技术创新成果视角，选择绿色专利数量代表绿色技术创新水平。吴朝霞等（2022）考虑到技术进步的绿色偏向特征，衡量绿色技术创新的指标采用万名研发人员绿色技术创新专利授权数^[55]。郭丰等（2022）使用绿色发明专利申请量和授权量来衡量城市绿色技术创新，实证检验了低碳城市建设对绿色技术创新的影响^[21]。

第二，基于投入产出视角，根据构建的投入产出相关指标，运用相关模型进行测度。张峰等（2019）运用随机前沿方法构建三阶段组合效率测度模型，测度了各省先进制造业的绿色技术创新效率^[66]。成琼文等（2020）运用数据包络分析法测算了工业行业的绿色技术创新效率，并比较分析了技术研发与转化阶段的效率及其影响因素^[13]。孙燕铭和谌思邈（2021）针对长三角核心城市运用包含非期望产出的超效率SBM-DEA模型测度了绿色技术创新效率并分析了其驱动因素，揭示了长三角区域绿色技术创新发展路径的区域差异^[44]。

第三，基于构建综合评价指标体系视角，曹慧等（2016）认为创新投入、产出还有绿色发展是组成衡量省域绿色创新能力评价指标体系的重要维度，测算后发现我国省级绿色创新能力差异较大^[12]。葛世帅等（2021）针对长三角城市群的绿色创新基础、投入、产出构建指标体系，测度了其绿色创新水平并通过分析发现其绿色创新能力相对较低且发展不均衡^[18]。

（3）绿色技术创新的影响研究

已有研究主要集中在以下几个方面。在环境规制与政府补贴方面，有学者运用环境技术进步方向模型进行数理演绎，发现环境规制对本地绿色技术进步的激励作用表现为先抑后扬的门槛特征，而对邻地绿色技术进步存在倒 U 型关系^[17]。有学者运用空间杜宾模型分析绿色技术创新空间溢出效应，各省政府规制强度对整体绿色技术创新能力存在倒 U 型关系，政府补贴对绿色技术创新表现出显著的促进效应^[30]。还有学者运用门槛效应模型分析了市场型规制、命令型规制、公众参与型规制工具对企业绿色技术创新质和量的影响，发现环境规制工具对不同规模企业绿色创新的激励作用存在差异^[25]。

在产业结构升级方面，徐盈之等（2021）实证检验了绿色技术创新对产业结构升级的影响，发现绿色技术创新能够促进产业结构升级且存在门槛效应^[60]。也有学者从经济增长目标约束视角分析，发现绿色技术创新赋能产业结构升级的动态调节作用存在异质性^[24]。

在城市化信息建设方面，有学者从“量”和“质”双重维度进行分析，发现智慧城市建设可以通过信息支撑效应、规模集聚效应和资金配置效应促进绿色技术创新的“量质齐升”^[42]。还有学者采用倾向得分匹配和双重差分相结合的方法进行实证研究，发现加大财政科技支出力度、加快产业结构升级是智慧城市建设促进绿色技术创新的重要途径^[56]。除了以上方面，还有学者从区域经济发展^[64]、风险投资及研发投入^[48]、国际资本和贸易^[28]、城市集聚效应^[55]等视角展开研究。

1.2.3 关于数字经济影响绿色技术创新的研究

关于数字经济影响绿色技术创新的研究，已有文献主要从数字经济的正外部性角度展开分析。具体表现在以下方面：第一，数字经济对绿色技术创新的作用路径研究。数字经济能够显著促进城市绿色技术创新，对绿色技术创新的作用具

有非线性递增特征，可以通过公众环境关注影响绿色技术创新，且具有“本地—邻地”空间溢出效应^[15]。其中，产业结构调整和技术外溢效应是数字经济推动城市绿色创新的重要机制变量^[23]。韦施威等（2022）利用城市面板数据从绿色技术创新角度分析了数字经济作用于城市绿色创新的路径机制，发现推动经济集聚、优化区域金融结构是重要路径^[52]。另外，李雪和吴福象等（2021）利用省级层面数据得出，数字经济可以通过提高人力资本积累和提升研发资本规模间接提高区域创新绩效^[31]。蒋殿春和潘晓旺（2022）利用上市公司数据分析发现通过扩大沉淀冗余、增加研发投入和人力资本升级三大效应，数字经济可以显著促进企业高质量创新^[27]。

第二，将绿色技术创新视作中介变量的研究，汪晓文等（2023）将绿色技术创新作为中介变量，分析得出其在数字经济发展促进产业结构升级中起到促进作用，且这种作用存在区域异质性^[46]。除此之外，绿色技术创新是数字经济降低城市碳排放水平的重要传导机制^[22]。Liu Li 等（2022）发现数字经济对产业绿色优质发展产生了积极的影响和非线性的增量特征，技术创新在其中扮演中介角色^[7]。Han Dongchu and Liu Mianfang（2022）以技术创新为中介，实证分析得到数字经济可以通过加快技术创新来提升区域绿色发展水平^[5]。程广斌等（2022）认为数字经济可以减少科研成本、深化合作、优化市场环境等促进区域绿色技术创新，进而促进经济高质量发展^[14]。此外，还有学者研究发现数字经济可以通过创新资源流动^[63]、政府干预^[61]等因素影响创新能力提升。

1.2.4 文献述评

虽然对数字经济发展、绿色技术创新的研究已经较为丰富，但关于数字经济对绿色技术创新的影响机制仍不够深入，而且较少有文献将两者结合并纳入统一的框架中进行分析。从研究层面来看，已有研究较多关注的是微观视角即数字经济发展对企业绿色技术创新的作用机制，而针对城市绿色技术创新的研究较少。从研究视角来看，已有研究大多集中于分析数字经济发展通过不同类型的环境规制作用于绿色技术创新，少部分学者关注到经济集聚、人力资本、研发投入等机制变量在二者之间的作用。从研究区域来看，长江经济带是我国实施区域协调发展战略和推进生态文明建设的重点区域，其在数字经济和绿色技术创新方面都具

有较强的发展潜力和空间，目前针对长江经济带对二者展开研究的文献较少。

1.3 研究思路与内容

1.3.1 研究思路

本文以长江经济带 108 个城市为研究对象，选择 2011—2021 年为样本期。从研究内容、研究过程、研究方法等方面勾勒出技术路线图，以展示本文的研究思路与研究方法，如图 1.1。

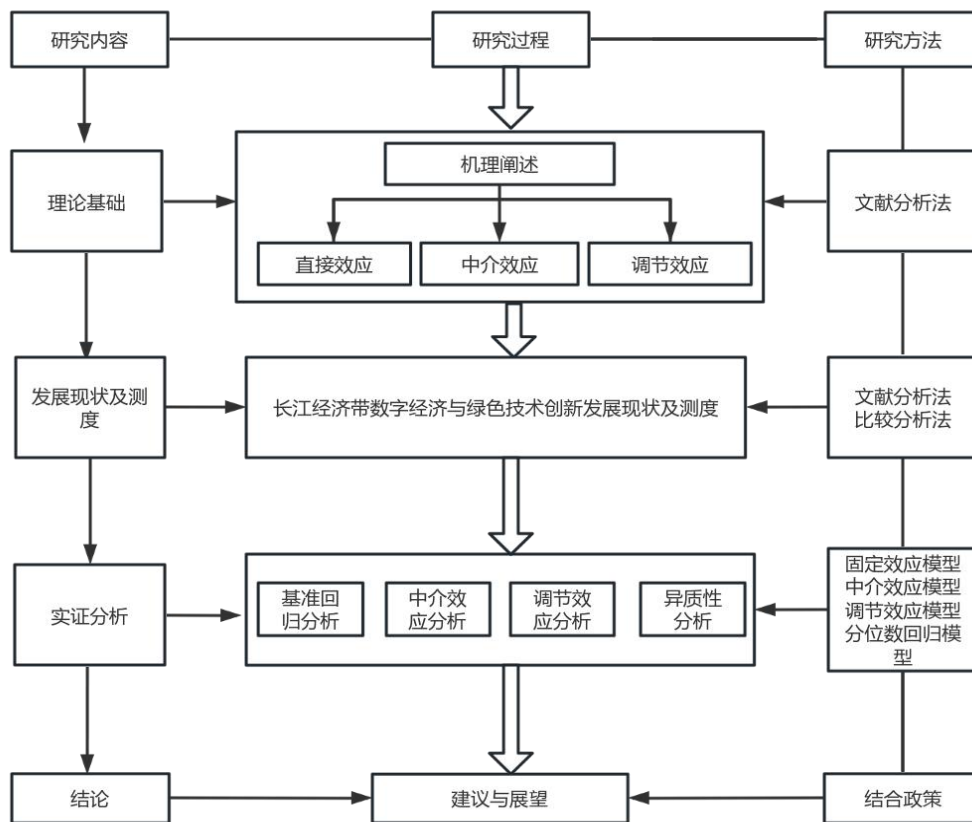


图 1.1 技术路线图

1.3.2 研究内容

本文针对长江经济带的地级市数据，对数字经济和绿色技术创新两者之间的关系展开理论与实证方面的分析，研究内容由以下六部分组成。

第一章为绪论，先是对选择研究该主题的背景和意义作了介绍，然后对相关的国内外文献进行基本梳理。其中，文献综述从以下三方面展开：第一，关于数字经济的研究，主要由数字经济的研究内涵、测度方法及其对经济高质量发展、产业结构升级、环境质量等方面的影响研究构成；第二，关于绿色技术创新的研究，主要由绿色技术创新的研究内涵、测度方法及其对产业结构升级、环境规制、城市化信息建设等方面的研究；第三，关于数字经济影响绿色技术创新的研究，从二者作用路径及将绿色技术创新视作中介变量角度阐述。最后，简单介绍文章的研究思路、研究内容及创新之处。

第二章为理论基础和机理分析。第一部分为主要理论基础，包括技术—经济范式理论、金融发展理论、产业结构升级理论及增长极理论；第二部分为数字经济影响绿色技术创新的机理分析。首先，对直接效应进行了分析，并提出研究假设；其次，将金融发展水平和产业结构升级视作中介变量，将政府支持视作调节变量进行间接效应分析，并依次提出关于间接效应的三个研究假设。

第三章为长江经济带数字经济与绿色技术创新统计测度。首先，分别从长江经济带数字经济和绿色技术创新整体发展情况和政策发展情况展开描述；其次，构建数字经济指标体系测度出数字经济发展水平；并寻找合适指标测度绿色技术创新水平；最后，按照主要城市、上中下游地区对二者的测度结果进行分析。

第四章为长江经济带数字经济影响绿色技术创新的直接效应分析。第一部分介绍了变量的选取与模型设定；第二部分介绍了数据来源并做了描述性统计；第三部分为直接效应结果分析，第四部分为异质性分析。首先，分析了数字经济对绿色技术创新的直接影响，采用更换解释变量、被解释变量等方法进行稳健性检验以保证结论的可靠性，并采取工具变量法缓解研究中的内生性问题；另外，分别进行了分位数回归分析、地区异质性分析、城市等级异质性分析和人口密度异质性分析，其中地区异质性分析是基于前文增长极理论对核心城市群、非核心城市群、上中下游地区分组回归分析。

第五章为长江经济带数字经济影响绿色技术创新的间接效应分析，引入金融发展水平、产业结构升级作为中介变量，分析了数字经济对绿色技术创新的影响路径；最后引入政府支持这一调节变量分析其在二者发展过程中发挥的作用。

第六章为结论与建议。通过对直接效应、中介效应、调节效应以及异质性分析得出的结果进行分析和概括，形成本文的研究结论，进而根据该结论从政策实施、创新主体、要素配置以及增长极辐射等方面提出建议。

1.4 研究创新之处

第一，在作用机理方面，针对长江经济带地级市数据选择金融发展水平和产业结构升级作为中介变量，并引入政府支持作为调节变量，以此分析数字经济影响绿色技术创新的作用路径，这在一定程度上能够拓展现有的数字经济和绿色技术创新相关研究内容。

第二，在学科融合方面，运用区域经济学中的增长极理论对长江经济带的108个地级市进行分类。根据城市是否属于核心城市群以及是否属于中心城市分析数字经济对绿色技术创新的影响，探讨核心增长极的作用，并据此提出促进区域协调发展的建议。

2 理论基础和机理分析

根据前文对已有文献的梳理,本章从数字经济和绿色技术创新的相关理论基础、数字经济对长江经济带城市绿色技术创新的作用机制等方面进行理论分析,从而为接下来的实证分析奠定理论基础。

2.1 理论基础

2.1.1 技术—经济范式理论

技术—经济范式理论出现于1983年,该理论对技术变革所引起的经济变迁进行了详细阐述。世界发生的五次技术变革分别是工业革命、蒸汽动力革命、电工革命、石油革命、信息革命,每次技术革命都是技术层面的“以新代旧”,伴随而来的是生产生活方式的变迁,是整个经济社会乃至整个时代的变迁。

数字技术—经济范式是第五次革命的关键折点。20世纪40年代人类在微电子领域取得巨大成就,数字技术发展对人类生产、生活和经济的影响逐渐开始体现。在数字技术创新背景下,马克卢普提出“信息经济”概念,随着数字技术的广泛应用与发展,数字技术同其他经济部门的联系愈发紧密,逐渐相互渗透。90年代互联网发展逐渐成熟,促成了数字技术和网络技术的融合,至此数字经济特征发生变化。之后数字经济概念被提出、传播并逐渐根据各国发展情况得到补充和完善。可以说,其为学者们选取衡量数字经济的指标提供了基础的理论依据。

2.1.2 增长极理论

增长极理论最早由法国经济学家佩鲁提出,是以中心城市为极点非均衡发展的理论,其认为在市场经济运行的过程中,一个统一市场中不可能出现所有区域的经济普遍均衡增长的现象。多种因素的共同作用促使增长极形成和发展,如丰富的自然资源、优越的地理位置、良好的产业基础以及较高的科技创新能力等。通过综合利用以上各种有利因素形成经济、商业及人文的地理集聚,从而产生增长极。极点地区得到强化之后,成为该国或该地区的发展引擎,依托市场张力将人才、资本、技术等要素向周边区域扩张,从而推动全国或全地区的经济增长。

我国共有五个核心增长极，而长江经济带地区包括了其中三个，分别是长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群，在长江经济带地区经济发展中具有决定性的支撑和引领作用。长江经济带包括九个省及两个直辖市，其经济密度在我国所有流域经济地带中排名第一，发展潜力非常大。作为我国重大国家战略发展区域，长江经济带各城市群通过中心城市内聚资源外扩技术，最大程度上优化区域内的要素配置。长江经济带城市群的快速发展有利于缩小城市群内各城市间的差距，实现长江经济带区域协调发展，促进我国经济高质量发展。下文分析核心城市群与非核心城市群、中心城市与非中心城市的理论基础正源自该理论。

2.1.3 金融发展理论

长江经济带正处于绿色发展转型的关键时期，离不开多元化的金融服务支持，需要不断提升金融发展水平。金融发展的相关理论主要由金融结构理论、金融深化理论和金融约束理论组成。

该理论主要研究金融发展同经济增长之间的关系，以及最大程度上利用有限的金融资源促进金融的可持续发展，并最终实现经济的可持续发展^[37]。第二次世界大战后，一批新独立的国家经济发展速度缓慢，从浅层次原因来看，这些国家都存在储蓄不足和资金短缺的问题，发展受限；从深层次原因来看，落后的金融发展和低效的金融体系未能成为国家经济发展的有力支撑和强大动力。因此，在20世纪60年代末，有许多经济学家研究起金融同经济增长间的关系。主要代表学者有雷蒙德·W·戈德史密斯、罗纳德·麦金农和E.S.肖等。研究金融发展需要深刻了解金融结构的演变过程及变化趋势，金融发展的变化归根结底是金融结构的变化。

因此，戈德史密斯提出了金融结构理论，该理论对此后各国研究金融发展相关问题具有重要的参考价值，也是金融发展理论形成的基础。其认为一国或地区的金融结构由金融机构和金融工具，金融结构的特征由金融机构和金融工具的形式、性质、相对规模等构成，并且其发现金融相关率同经济发展水平之间呈现正相关。下文即借鉴戈德史密斯的方法衡量各城市的金融发展水平，从而进行金融发展水平中介效应检验。

2.1.4 产业结构升级理论

产业结构是指国民经济各产业部门内及产业部门间的构成,从我国三大产业来看,产业结构即农业、工业和服务业在经济结构中所占比重。目前被广泛使用的是配第一克拉克定理和库兹涅茨理论。前者的主要内容是:人均国民收入不断提高后,就业人口不再集中于第一产业,而是向第二甚至第三产业转移^[41]。也就是说,劳动力将逐渐集中分布在第二产业与第三产业。而后者库兹涅茨理论的主要内容是:第一产业劳动力在全部劳动力中所占比例不断下降,其创造的国民收入在全部国民收入中所占比例也呈现不断下降的趋势;第二产业劳动力在全部劳动力中所占比例大体不变或稍有上升,但其创造的国民收入在全部国民收入中所占比例始终呈不断上升的趋势;第三产业劳动力在全部劳动力中所占比例始终呈不断上升的趋势,但其创造的国民收入在全部国民收入中所占比例大体不变或稍有上升^[50]。随着数字经济的发展,我国第一产业产值在国民经济中的比重不断下降,第二产业和第三产业产值在国民经济中的比重不断上升,目前第三产业产值已经超过第二产业产值,该变化一定程度上推动企业等创新主体开展绿色技术创新活动。产业结构升级理论为下文选择衡量产业结构升级水平的指标提供了依据。

2.2 数字经济发展对绿色技术创新的直接效应

以大数据、人工智能、互联网等为代表的数字技术正深刻改变传统生产方式和创新方式,成为驱动我国经济绿色创新发展的全新动力。数字技术所具有的高度智能等优点,能为绿色技术创新提供有利环境支撑和要素供给^[47]。首先,借助于数字技术,信息知识能够在创新网络中以低成本、迅速、实时的方式产生、分享和交流。企业等创新主体借助数字技术可以高效配置资源要素,并可获得大量外部信息和知识,增加了绿色技术创新知识储备,促进绿色技术创新^[68]。

具体地,随着大数据、人工智能、云计算的飞速发展,在新时代生态环境保护和社会可持续发展的迫切要求下,数字经济以其数字化、绿色化、低成本、高效率的特点,深刻影响着绿色技术创新的能力和效率。区域内部的各创新主体如企业、高校、科研机构等都可以通过互联网平台以便捷高效的方式实现创新资源的交流和共享,使得区域内部的绿色技术创新水平得到提升。高度发达的数字基础设施为企业等创新主体开展数字化转型奠定了基础,加快信息知识在各创新

主体间传播和共享。具体地，数字经济突破了空间壁垒，打破了地区之间的边界限制，地区间资本市场、要素市场通过数字技术和网络平台搭建起合作的桥梁，免受交通条件和地理位置的约束，各地区之间软硬件基础设施联系得到加强。地区可以同邻近地区交流学习绿色创新技术、绿色创新工艺等利于实现碳减排和绿色发展的技术，从而促进绿色技术创新。综上所述，提出以下假设。

H1：数字经济对城市绿色技术创新有显著的正向促进作用。

2.3 数字经济发展对绿色技术创新的间接效应

2.3.1 金融发展水平中介效应

可以说，金融发展水平的提升离不开数字经济发展所创造的条件。首先，依托数字经济，金融服务的业务范围得以向深层次拓展，产品种类也得以变得更多样，服务方式明显得到升级。这些变化使得市场中存在的不足之处得到改善，如信息不对称、金融产品单一、信贷审批程序繁杂等^[49]，从而为金融发展提供良好环境。其次，数字经济发展有利于金融监管体系实现数字化管理，使其可以运用数字技术实现对风险的智能预测，避免造成更大损失而导致金融发展水平迟滞不前。另外，数字经济可以通过优化资源配置将金融资源配置到关键领域，使其得到最大化利用，提升区域整体的金融发展水平。

金融发展水平的高低关系到绿色技术创新的开展能否得到保障。金融发展水平的提高能更好地推动金融资源在创新领域的优化配置，进而推动地区创新发展^[32]。一方面，金融发展水平的提高有利于降低创新主体绿色技术创新成本。金融发展水平的提高意味着金融机构将为客户提供更加便捷高效的金融服务，有利于降低各创新主体为筹集资金所产生的机会成本，解决创新主体融资难问题，缓解融资约束，改善融资环境，显著降低企业等创新主体的创新风险，使管理层更愿意做出进行绿色技术创新的决策。另一方面，金融发展水平的提高有利于提升创新主体进行绿色技术创新的意愿。随着金融发展水平的提升，创新主体获得信贷资金的可能性越大，对工艺和技术的研发投入相应加大，对工艺和技术的清洁度和创新度也更为关注，会为了展现自身形象而持续鼓励绿色技术创新以期获取金融机构的更多资金支持。此外，金融发展水平的提高带动了居民收入水平提升，

促使城市财富积累^[19]。这可以增强大众绿色消费意识和能力，从需求侧扩大绿色技术创新市场。据此，提出以下假设。

H2：数字经济通过促进金融发展水平提升间接促进城市绿色技术创新。

2.3.2 产业结构升级中介效应

数字经济的发展为我国产业结构升级提供了动力源泉，数字经济可以通过信息通信产业的高速发展推动其他产业转型升级，还可以通过改造传统产业技术、提升生产效率等方式促进产业结构升级。李晓华（2019）认为数字经济的发展可以加速传统产业由低技术、低效益、高污染、高能耗，过渡到高技术、高效益、低污染、低能耗的前沿产业的步伐，实现新旧动能转换^[29]。

大多学者普遍探讨绿色技术创新对产业结构升级的影响，极少有学者关注产业结构升级对绿色技术创新的影响。事实上，产业结构升级与技术创新互为条件，一方面，技术创新能够促进产业结构转型升级；另一方面，产业结构升级是促进技术创新的要求^[38]。从空间视角来看，产业结构升级过程中，创新资源的空间重置会对技术创新效率产生影响，且通过实证发现二者之间的关系呈“螺旋上升”^[69]。从宏观视角来看，产业结构的升级离不开政府的政策支持和财政投入，政府支持分担各创新主体创新风险的同时，也会督促其加快绿色技术创新。从中观视角来看，产业结构升级吸引了大量社会资本，使得研发投入大大增加，为企业进行绿色技术创新提供了资金来源。从微观视角来看，产业结构升级扩大了国内外市场，为了占领更多市场份额，企业不得不进行绿色技术创新，满足政府和公众对绿色产品的需求。因此，提出以下研究假设。

H3：数字经济通过加快产业结构升级间接促进城市绿色技术创新。

2.3.3 政府支持调节效应

对于政府支持与数字经济来说，政府的资金支持有利于促进企业等创新主体数字化转型，优化数字经济发展环境，激发长江经济带数字经济发展的潜力。政府和技术市场中扮演媒介的角色，运用科技资金扶持等措施加大对创新的投入力度，降低创新成本和风险，进而提高创新主体进行创新的积极性^[71]。绿色技术创新前期需要投入巨额资金做技术研发，大多数企业需要依托政府的资金支持减轻

资金压力，降低绿色技术研发过程中出现的资金风险。政府直接补贴和税收优惠等政策可以增加企业等创新主体的绿色创新投入，也能够向市场发出信号引导信贷资金流向绿色创新主体，这有利于提高创新主体的绿色创新意愿，进而开展绿色技术创新活动。

H4：政府支持在数字经济和绿色技术创新之间起到一定程度的正向调节作用。

2.4 本章小结

本章分析了数字经济影响绿色技术创新的理论及作用机理，首先，详细分析了与研究内容相关的基本理论，包括技术—经济范式理论、金融发展理论、产业结构升级理论、增长极理论，为下文选择衡量中介变量和调节变量的指标以及异质性分析提供了依据。其次，从数字经济影响绿色技术创新的直接和间接效应展开机理分析。其中，间接效应主要分析金融发展水平和产业结构升级的中介效应和政府支持的调节效应，并依次提出研究假设。

3 长江经济带数字经济与绿色技术创新统计测度

前文对数字经济、绿色技术创新的相关理论基础与作用机理进行了详细介绍。为了更顺利地展开实证分析，本章测度长江经济带 2011—2021 年 108 个地级市的数字经济发展水平和绿色技术创新水平，对衡量数字经济发展水平的指标体系构建进行了详细介绍，并对数字经济和绿色技术创新目前的整体发展情况进行了较为详细的分析。

3.1 数字经济和绿色技术创新发展现状

3.1.1 数字经济发展现状

数字经济快速发展的前提和基础是数字基础设施，且良好的数字基础设施能够为数字经济规模扩张提供保障力量。根据《数字中国报告（2021）》，地区数字基础设施建设水平排名全国前十的省市中，长江经济带 11 省市中有 5 个，集中分布在长江经济带下游和上游地区，分别为浙江省、江苏省、上海市、重庆市、四川省。本文将 2021 年长江经济带 11 省市数字基础设施主要指标数据整理如下，并计算其占全国比重及长江经济带上中下游地区均值，以此直观比较分析长江经济带整体数字基础设施发展情况。

表 3.1 2021 年 11 省市数字基础设施发展情况

地区	互联网宽带接入端口 (万个)	移动互联网用户 (万户)	互联网宽带接入用户 (万户)
上海	2340.4	3616.6	995.4
江苏	7464.3	8753.6	4071.6
浙江	6237.8	7483.4	3117.0
安徽	3889.0	5276.7	2335.8
江西	2642.3	3855.9	1700.2
湖北	3667.8	5041.1	2081.3
湖南	3513.0	6026.2	2323.0
重庆	2612.1	3288.5	1338.5

续表 3.1 2021 年 11 省市数字基础设施发展情况

地区	互联网宽带接入端口 (万个)	移动互联网用户 (万户)	互联网宽带接入用户 (万户)
四川	6708.5	7990.8	3220.9
贵州	2045.1	3811.0	1187.4
云南	2431.9	4063.2	1451.9
下游地区均值	4982.88	6282.58	2629.95
中游地区均值	3274.37	4974.40	2034.83
上游地区均值	3449.40	4788.38	1799.68
长江经济带	43552.2	59207	23823
占全国比重	42.79%	41.82%	44.46%

注：根据《中国统计年鉴 2022》整理并计算

从表 3.1 可以看出，长江经济带互联网宽带接入端口、移动互联网用户、互联网宽带接入用户占全国的比重均达到 40% 以上，尤其是互联网宽带接入用户数，占比高达 44.46%。这表明相较于我国其他地区，长江经济带具有良好的数字基础设施，能够为数字经济发展提供坚实后备力量。从长江经济带内部来看，长江经济带下游地区数字基础设施更为完善，互联网宽带接入端口数和移动互联网用户数远超中上游。从下游地区、中游地区到上游地区的数字基础设施水平依次下降，可能是由于下游地区的省市更早开展数字基础设施建设。

长江经济带数字经济飞速发展，背后离不开国家和各省市政府数字经济政策的大力支持。政府审时度势、因地制宜及时出台相关政策，为长江经济带数字经济发展提供大力良好的政策环境和保障。本文将长江经济带 2021 年后主要相关政策文件整理如下。

表 3.2 长江经济带各省市数字经济相关政策

省市名	时间	政策文件
上海市	2022 年 6 月	《上海市数字经济发展“十四五”规划》
江苏省	2021 年 8 月	《江苏省“十四五”数字经济发展规划》

续表 3.2 长江经济带各省市数字经济相关政策

省市名	时间	政策文件
江苏省	2022 年 4 月	《关于全面提升江苏数字经济发展水平的指导意见》
浙江省	2021 年 6 月	《浙江省数字经济发展“十四五”规划》
湖北省	2021 年 11 月	《关于全面推进数字湖北建设的意见》
湖北省	2021 年 11 月	《湖北省数字经济发展“十四五”规划》
湖北省	2022 年 8 月	《湖北数字经济强省三年行动计划（2022—2024 年）》
湖南省	2022 年 2 月	《湖南省数字经济发展规划（2020—2025 年）》
江西省	2022 年 3 月	《关于深入推进数字经济做优做强“一号发展工程”的意见》
江西省	2022 年 4 月	《构建包容环境深入推进数字经济做优做强的若干措施》
江西省	2022 年 6 月	《江西省“十四五”数字经济发展规划》
安徽省	2022 年 11 月	《加快发展数字经济行动方案（2022—2024 年）》
重庆市	2021 年 11 月	《重庆市数字经济“十四五”发展规划（2021—2025 年）》
四川省	2021 年 11 月	《四川省“十四五”数字经济发展规划》
云南省	2022 年 4 月	《云南省数字经济发展三年行动方案（2022—2024 年）》
云南省	2022 年 4 月	《关于大力推动数字经济加快发展的若干政策措施》
贵州省	2021 年 12 月	《贵州省“十四五”数字经济发展规划》

注：从各省政府官网整理所得

从表 3.2 可以看出，长江经济带各省市十分重视数字经济，对于数字经济的发展规划十分明确。不同省市的数字经济发展状况大不相同，因此，在国家发布《“十四五”数字经济发展规划》后，各省市根据数字产业发展、数字基础设施等情况，利用自身优势精准定位数字经济的发展方向，扬长补短，确保做到深入贯彻落实国家数字经济发展战略。

3.1.2 绿色技术创新发展现状

关于长江经济带，2016 年 1 月，习近平总书记为其确定战略定位——生态优先、绿色发展，为推动长江经济带发展定下战略方向。2018 年 4 月，习近平总书记指出推动长江经济带发展的关键，即正确把握五大关系，其一就是生态环

环境保护和经济发展的关系。绿色发展关键是靠绿色技术创新，只有大力发展绿色技术，加快构建绿色技术创新体系，实现资源高效化利用，减少废弃物的排放，才能实现长江经济带绿色发展的战略目标。为此，长江经济带 11 省市把修复长江生态环境，实现高效绿色发展摆在重要位置，积极制定并发布各项绿色技术创新相关文件，为长江经济带绿色技术创新提供政策支持。本文近年长江经济带各省市发布的绿色技术创新的主要政策文件整理如下。

表 3.3 长江经济带各省市绿色技术创新相关政策

省市名	时间	政策文件
上海市	2021 年 9 月	《上海市构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案》
江苏省	2021 年 8 月	《推进绿色产业发展的意见》
江苏省	2022 年 1 月	《省政府关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》
浙江省	2021 年 11 月	《浙江省人民政府关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》
湖北省	2020 年 12 月	《湖北省构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案（2020—2022 年）》
湖北省	2020 年 12 月	《科技支撑长江经济带生态保护和绿色发展实施方案》
湖南省	2022 年 10 月	《湖南省科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》
江西省	2021 年 1 月	《江西省绿色技术创新企业培育工作方案》
江西省	2021 年 7 月	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的若干措施》
安徽省	2022 年 10 月	《安徽省科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》
重庆市	2020 年 2 月	《重庆市构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案》
四川省	2022 年 11 月	《四川省建设先进绿色低碳技术创新策源地实施方案（2022—2025 年）》
云南省	2022 年 1 月	《云南省加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系行动计划》
贵州省	2022 年 11 月	《省人民政府关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》

注：从各省政府官网整理所得

从表 3.3 可以看出，长江经济带沿江省市对将该目标均贯彻落实到明确具体的规划中。在国家明确给定了具体的发展目标和相关的推进措施的基础上，各省市根据绿色技术创新的主体分布情况、基地平台建设情况、创新环境情况等具体情况推出相应举措，做到“对症下药”，促使省林业局、省市场监管局、省生态环境厅、省发展改革委、省水利厅等按职责做好相关任务，齐心协力促进长江经济带绿色技术创新发展。

3.2 数字经济与绿色技术创新水平的测度分析

3.2.1 数字经济发展水平的测度分析

已有的关于测算数字经济发展水平的研究中，赵涛等（2020）从互联网发展和数字普惠金融两个层面测度了城市层面数字经济发展水平^[70]，黄群慧等（2019）从互联网应用和产出角度，选择了互联网普及率、互联网相关从业人员、互联网相关产出和移动互联网用户数四个维度的指标衡量城市层面数字经济发展水平^[26]。

目前来看，这套指标涵盖内容丰富，涉及数字经济重点行业、重点领域、重点发展方向，具有较强的科学性，被众多学者参考并使用。考虑到城市数据的可获得性，本文在借鉴赵涛等（2020）的研究成果的基础上，从数字基础设施、数字产业发展、数字交易发展三方面构建数字经济综合测度指标框架，具体指标见表 3.4。其中，互联网发展使用每百人互联网宽带接入用户数和每百人移动电话用户数衡量；信息化发展使用人均电信业务收入和信息传输、软件与信息技术服务业城镇单位就业人员占城镇单位就业人员比重来衡量；数字交易发展使用北京大学数字普惠金融指数来衡量，该数据来源于《数字普惠金融指数》，其余数据均来自《中国城市统计年鉴》及部分城市统计年鉴、统计公报。

表 3.4 数字经济综合发展水平指标体系

一级指标	二级指标	指标名称	指标含义
数字经济 综合发展 指数	数字基 础设施	每百人互联网宽带接入用户数	互联网宽带接入用户数/常住人口 *100
		每百人移动电话用户数	移动电话用户数/常住人口*100
		人均电信业务收入	电信业务收入/常住人口
	数字产 业发展	信息传输、软件和信息技术服 业城镇单位就业人员占年末单 位从业人员比重	信息传输、软件和信息技术服务业 城镇单位就业人员/年末单位从业 人员
	数字交 易发展	北大数字普惠金融指数	包含覆盖广度指数、使用深度指 数、数字支持程度指数三维度

注：作者整理所得

为了测度数字经济发展水平的综合指数，需要确立相关指标并赋予权重，考虑到主观赋权可能会导致不准确的测度结果，采用熵值法这一客观赋权法。熵值法用于进行多指标综合评价，通过计算各个指标的信息熵，来确定各指标的权重，这样得到的结果避免了主观因素的影响，更加客观。其中，熵越小代表该指标越能够为研究变量提供更多的信息量，其在综合评价中的权重也越大，反过来则越小。

首先，对各指标进行标准化处理，

$$X_{it} = \frac{X_{it} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \tag{3.1}$$

计算指标 i 在第 t 年所占比重， m 为考察年份 ($m = 1, 2, \dots, 11$)，

$$\omega_{it} = \frac{X_{it}}{\sum_{t=1}^m X_{it}} \tag{3.2}$$

指标信息熵计算：

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{t=1}^m (\omega_{it} \times \ln \omega_{it}), (0 \leq e_i \leq 1) \tag{3.3}$$

信息熵冗余度计算：

$$d_i = 1 - e_i \tag{3.4}$$

指标权重计算：

$$\varphi_t = \frac{d_t}{\sum_{i=1}^n d_i} \tag{3.5}$$

单项评价指标得分：

$$S_{it} = \varphi_t \times X_{it} \tag{3.6}$$

第 t 年的数字经济综合发展指数：

$$S_t = \sum_{i=1}^n X_{it} \tag{3.7}$$

根据上述步骤计算出长江经济带 108 个城市的数字经济综合发展指数，考虑到篇幅限制，以下关于测度结果的图表仅列出各个省市的省会城市及副省级城市的测度结果。

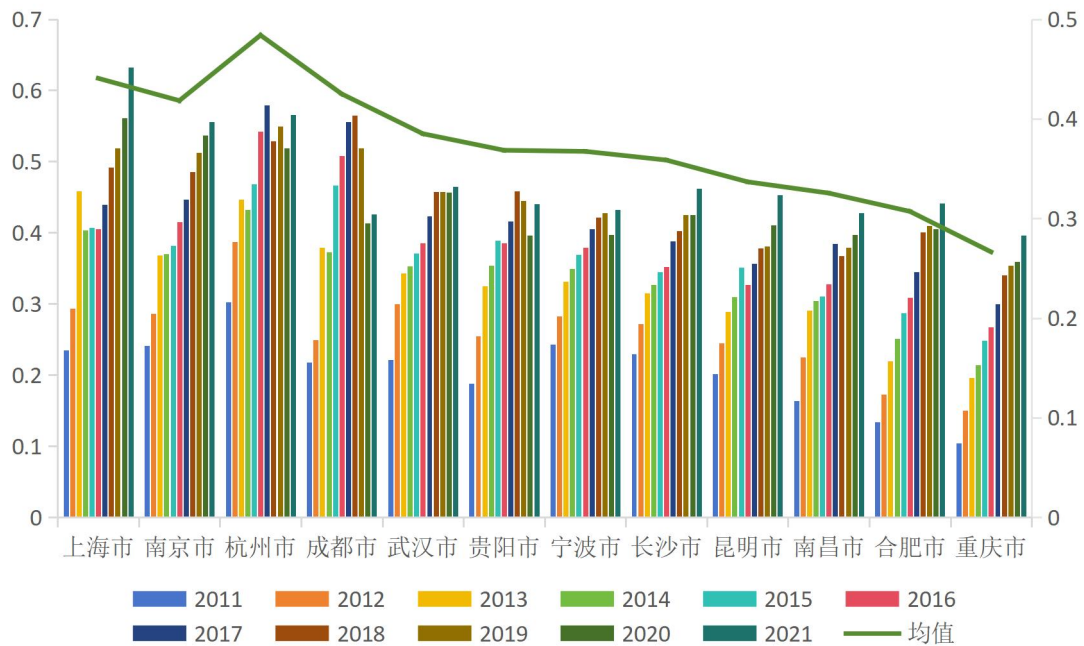


图 3.1 长江经济带主要城市 2011—2021 年数字经济发展水平及其均值

从长江经济带主要城市 2011—2021 的数字经济发展水平均值来看，如图 3.1 所示，数字经济发展水平均值最高的为杭州市，其次为上海市，最低的为重庆市。其中，可以看出 2021 年上海市遥遥领先，然后是杭州市、南京市，分别为 0.57、

0.56。2021年数字经济发展水平最低的是重庆市，为0.40。这与我国现实情况基本相符。根据《中国数字经济发展报告（2022年）》，上海市2021年数字经济占GDP的比重已超50%，可见上海数字经济发展之迅速。我国在2003年便开始超前谋划，布局建设“数字浙江”，为全国数字经济创新发展探路，并获得巨大成效。根据2022数字经济百强榜，浙江省11个城市中竟有8个城市榜上有名，数字经济发展水平在长三角三省中最高。其中，杭州作为数字经济第一城，全面带动了浙江省各城市数字经济发展。《2022数字江苏发展报告》显示，江苏省13个城市的数字经济规模超5万亿元。其中，数字经济核心产业增加值占GDP的比重达10.6%，南京市更是达到了15.9%，数字经济发展尤为突出。

虽然在省会、副省级城市中，重庆市排名落后其他城市，但在将108个城市分别按照省市划分后进行评价发现，数字经济发展水平均值排名发生了较大变化，湖南省与云南省名次排在最后。湖南省各城市近几年数字经济增速明显，但其科技创新核心竞争力和数字技术与传统产业融合度不够。云南大部分城市数字经济建设起步较晚，存在数字经济体系结构功能和数字基础设施不完善，缺乏数字技术领域人才等问题，一定程度上限制了数字经济发展。

表 3.5 长江经济带中下游地区数字经济发展水平均值

年份	下游	中游	上游	长江经济带
2011	0.119	0.094	0.103	0.105
2012	0.191	0.135	0.145	0.157
2013	0.231	0.171	0.173	0.192
2014	0.250	0.187	0.190	0.209
2015	0.265	0.207	0.213	0.228
2016	0.287	0.229	0.238	0.252
2017	0.321	0.252	0.274	0.282
2018	0.343	0.277	0.300	0.306
2019	0.357	0.297	0.309	0.321
2020	0.369	0.333	0.319	0.340
2021	0.399	0.348	0.356	0.368
均值	0.285	0.230	0.238	0.251

从表 3.5 中可以看出,2021 年下游地区数字经济发展水平最高,达到了 0.399,中游地区数字经济发展水平最低为 0.348。2011—2021 年长江经济带数字经济整体发展水平呈现逐年上升的趋势,长江经济带 2011 年、2016 年、2021 年的数字经济发展水平均值分别为 0.105、0.252、0.368,实现连续翻番。从地区来看,下游地区均值最高,为 0.285,中游地区数字经济发展水平最低,为 0.230。下游地区均值最高的原因可能是,该地区的某些城市如江苏南京、浙江杭州和宁波、上海等拥有较为雄厚的研发资本、丰富的人力资源、较好的基础设施,通过利用这些自身优势,能够加快数字经济的发展速度,因此,下游地区数字经济发展水平远高于中上游地区。

3.2.2 绿色技术创新水平的测度分析

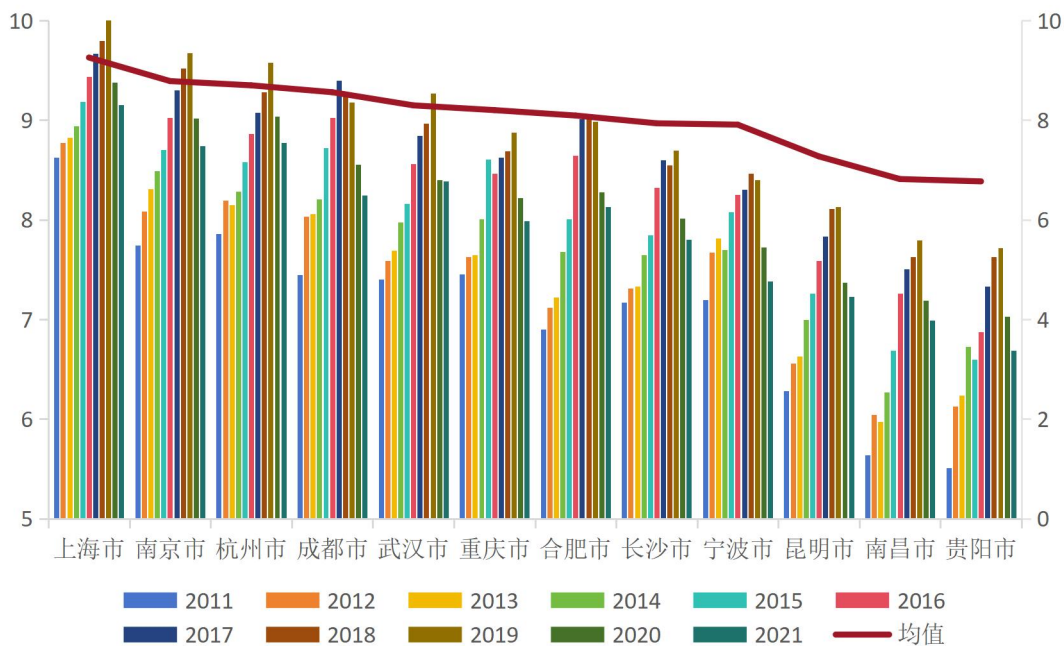


图 3.2 长江经济带主要城市 2011—2021 年绿色技术创新水平及其均值

由图 3.2 可以十分直观地看出,长江经济带 2011—2021 年的绿色技术创新水平均值在 12 个省会及副省级城市中存在巨大差异。上海市的绿色技术创新水平均值最高,高达 9.26,其次是南京市、杭州市,绿色技术创新水平均值为 8.78、8.56。绿色技术创新水平均值最低的是贵阳市,为 6.77。其中,2021 年绿色技术

创新水平最高的为上海市，其次为杭州市，贵阳市最低。在将 108 个城市分别按照省市划分后进行评价发现，上海和重庆两个直辖市的绿色技术创新水平均值最高，此外，江苏省和浙江省的绿色技术创新水平均值遥遥领先其余省份。绿色技术创新水平均值最低的是云南省。相比云南、贵州的大多数城市，上海、重庆、江苏、浙江的大多数城市拥有更丰富的绿色技术专业人才、知识产权运营人才，且研发资金充足、科技投入力度大。因此，绿色技术创新水平均值高于其余省份。

为了更直观分析长江经济带不同区域间的绿色技术创新水平差异，对长江经济带分上、中、下游地区绿色技术创新水平进行测度，结果如表 3.6 所示。

表 3.6 2011—2021 年长江经济带上中下游地区绿色技术创新水平

年份	下游	中游	上游	长江经济带
2011	5.508	3.997	3.571	4.358
2012	5.941	4.243	3.877	4.687
2013	6.067	4.363	4.144	4.858
2014	6.337	4.722	4.360	5.140
2015	6.659	5.137	4.725	5.507
2016	6.959	5.480	5.052	5.830
2017	7.254	5.845	5.366	6.155
2018	7.431	5.976	5.478	6.295
2019	7.395	6.160	5.526	6.360
2020	6.705	5.227	4.709	5.547
2021	6.378	4.951	4.467	5.265
均值	6.603	5.100	4.661	5.455

分区域来看，下游地区 2011—2018 年绿色技术创新水平逐年上升，在 2019 年及之后出现明显下降。中上游地区 2011—2019 年绿色技术创新水平逐年上升，在 2020 年及之后出现明显下降。从绿色技术创新整体角度来看，绿色技术创新水平逐年提升，但在 2019 年之后有所降低，但下降幅度逐渐收敛。下降的原因一方面可能是研发资金、设备材料等受到疫情影响还没完全恢复；另一方面可能

是我国加强了对绿色专利申请的监管，完善了对绿色专利申请的审核机制，这也在一定程度上优化了绿色专利的质量，激发企业等创新主体加大对绿色技术创新的投入。

长江经济带 2011—2021 年整体的绿色技术创新水平平均值为 5.455，下游地区最高为 6.603，中游地区次之，上游地区最低为 4.661。这一现象产生的原因可能是：下游地区相对中上游地区来说经济发展水平、人才集聚程度、科技创新水平、政府支持力度均较高，产业结构升级速度也相对较快，这些相对优势驱动下游地区绿色技术创新迅速发展，因此下游地区的绿色技术创新水平更高。

3.3 本章小结

本章对长江经济带数字经济和绿色技术创新整体发展情况进行了具体分析，构建了数字经济综合发展水平指标体系，测度并分析了不同地区的数字经济和绿色技术创新水平。主要得出了以下结论：整体来看，数字经济发展水平呈现上升趋势，绿色技术创新水平呈现先上升后小幅下降的趋势，总体来说二者都趋向良好态势发展。分区域来看，数字经济发展水平呈现“下游>上游>中游”的状态，绿色技术创新水平总体呈现“下游>中游>上游”状态，下游地区在资源禀赋、经济发展水平、地理位置等方面均优于中上游地区，因此其数字经济和绿色技术创新水平也高于中上游地区。从政策发展情况来看，长江经济带各省市政府高度响应国家发展战略，深入贯彻落实国家政策，十分重视数字经济发展和绿色技术创新发展。

4 长江经济带数字经济影响绿色技术创新的直接效应分析

基于前文对长江经济带数字经济与城市绿色技术创新的理论基础和机理分析以及发展现状分析，本章首先利用第三章测度出的 2011—2021 年长江经济带 108 个地级市的数字经济发展水平和绿色技术创新水平，分析数字经济对绿色技术创新的直接影响，并进行稳健性检验和内生性处理。最后，根据不同区域、不同城市等级、不同人口密度及不同绿色技术创新水平对二者展开分析。

4.1 变量选取与模型设定

4.1.1 变量选取

(1) 被解释变量

被解释变量为绿色技术创新（GTI）。使用绿色专利申请数量来衡量绿色技术创新水平。考虑到长江经济带城市间绿色专利申请量差距较大，故后续对数据进行对数化处理。

(2) 解释变量

解释变量为数字经济（DE）。考虑到城市某些指标的数据可获得性难度较大，本文借鉴赵涛等（2020）的指标选择方法，从数字基础设施、数字产业发展及数字交易发展三方面构建指标体系，计算出 108 个城市的数字经济综合发展指数，以此衡量数字经济发展水平。

(3) 控制变量

经济发展水平（PGDP）：采用人均 GDP 来衡量，城市经济发展水平越高，其越能为创新主体开展绿色创新活动提供更多资源。

人口密度（PEO）：在参考韦庄禹（2022）处理方法的基础上^[53]，采用城市单位土地面积上的年末常住人口数量来衡量，人口在某一城市聚集，人们可以分享知识、相互学习、共用投入品，对绿色发展的意识可能更强烈，有利于促进创新主体进行绿色技术创新。

人力资本（HUM）：采用普通本专科及以上人口数占全市常住人口数的比重来衡量教育水平越高，科研人员的素质越好，越有利于社会创新。

对外开放程度（OPEN）：选择进出口总额与 GDP 之比来表示，对外开放

程度越高，能够引来的外资支持越多，亦能够带来推动社会绿色发展转型的先进技术，取长补短，进而提升绿色技术创新效率。

科技投入（SCI）：采用城市科学技术支出占地方财政支出的比重来表示，科技投入能够帮助创新主体减少创新风险及成本，引导企业等创新主体加大对创新活动的投入力度，提升其创新积极性。

4.1.2 模型设定

（1）双向固定效应模型

为研究数字经济发展是否能够促进长江经济带城市绿色技术创新，构建双固定效应模型如下：

$$GTI_{it} = \alpha_0 + cDE_{it} + \alpha_i K_{it} + \varphi_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

式（4.1）中， i 表示城市， t 表示年份； GTI 为绿色技术创新， DE 为数字经济， K_{it} 代表控制变量； φ_i 表示个体固定效应， ω_t 表示时间固定效应； ε_{it} 表示随机扰动项。

（2）分位数回归模型

基准回归分析选择的模型研究的是均值影响，而未考虑到在不同的绿色技术创新水平发展程度下数字经济对绿色技术创新的边际影响。于是，选择分位数回归模型选取10%、25%、50%、75%、90%等5个具有代表性的分位点进行回归分析，回归模型如下。

$$GTI_{it|\tau} = \pi_{0,\tau} + \pi_{1,\tau} DE_{it|\tau} + \pi_{i|\tau} K_{it|\tau} + \varphi_{i|\tau} + \omega_{t|\tau} + \varepsilon_{it|\tau} \quad (4.2)$$

其中， τ 为分位点， $GTI_{it|\tau}$ 表示 τ 分位点处 i 城市在 t 年的绿色技术创新水平， $\alpha_{i,\tau}$ 表示在 τ 分位点处数字经济对绿色技术创新的边际影响，其余变量的含义同上。该模型生成的回归系数估计量受极端值影响的可能性较小，回归结果较为稳健^[6]。

4.2 数据来源及描述性统计

考虑到部分城市如毕节市、铜仁市等城市的数据获得难度较高，选择长江经济带108个城市进行研究。其中，被解释变量数据来自中国研究数据服务平台中的绿色专利研究数据库（GPRD），解释变量及控制变量数据均来自《中国城市

统计年鉴》、部分地级市统计年报、统计年鉴，并使用线性插值法补齐个别缺失数据。描述性统计见表 4.1。

表 4.1 变量描述性统计

变量名称	变量符号	样本量	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
绿色技术创新	GTI	1188	5.545	5.389	1.642	0.693	10.02
数字经济	DE	1188	0.244	0.237	0.100	0.036	0.604
经济发展水平	PGDP	1188	10.77	10.77	0.578	9.063	12.14
人口密度	PEO	1188	5.967	5.971	0.696	3.986	8.275
人力资本	HUM	1188	1.830	1.247	2.008	0.005	11.39
对外开放度	OPEN	1188	0.166	0.0850	0.233	0	1.813
科技投入	SCI	1188	2.256	1.760	1.954	0.137	16.27

从表 4.1 中的样本描述结果中可知，绿色技术创新的最小值为 0.693，最大值为 10.02，标准差为 1.642，说明长江经济带各地级市之间绿色技术创新发展差异较大。数字经济的最小值为 0.036，最大值为 0.604，均值为 0.244，标准差为 0.100。可见各城市数字经济发展水平之间也存在较大差距，但波动并不大。经济发展水平、人口密度、人力资本、科技投入的标准差均在 0.3 以上，说明各地区在这些方面的分布情况存在很大差异性。而各地区对外开放度的标准差相对较小，波动不大。从整体来看，选取的各变量均无明显异常，接下来进行实证检验。

4.3 直接效应分析

4.3.1 基准回归结果分析

为缓解异方差及数据波动的影响，对数据进行标准化处理。另外，为避免多重共线性，对所有核心变量进行共线性检验，结果显示 VIF 值均小于 5，不存在严重多重共线性问题。接下来对数据进行检验，F 检验及 LM 检验结果为拒绝原假设，即无论是随机还是固定效应模型都优于混合回归模型；豪斯曼检验结果显示 P 值为 0，拒绝原假设，因此选择固定效应模型。

实证结果见表 4.2。通过将模型（2）与模型（3）对比可以看出，控制变量的加入提升了拟合优度，缓解了部分遗漏变量带来的偏误，提高了对该模型的解释力度。模型（1）展示了随机效应模型的估计结果，模型（2）为不包含控制变

量的个体固定效应模型，显示数字经济的影响系数为正，并在1%水平下显著，表明数字经济的发展能够显著促进绿色技术创新。在加入一系列控制变量后，模型（3）回归结果显示数字经济的影响系数依然为正，并通过了1%的显著性水平。以上表明数字经济能够显著推动绿色技术创新的结果是稳健的，验证了假设H1。

模型（5）相对模型（3）来说加入了时间固定效应，排除了随时间变化的影响因素，此时的估计系数相对来说更为可靠。进行比较可以发现，系数仍在1%的显著性水平上显著为正，且拟合优度变大，说明双向固定效应模型下拟合效果更好，数字经济影响绿色技术创新的分析结果也相对更加准确。经济发展水平、人口密度、对外开放度对绿色技术创新的影响均在1%的显著性水平上显著为正，表明对绿色技术创新产生显著正向影响。人力资本对绿色技术创新的影响并不显著，科技投入对绿色技术创新产生正向影响且在5%的显著性水平下显著。

表 4.2 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
数字经济	0.315*** (0.024)	0.385*** (0.012)	0.397*** (0.032)	0.141*** (0.028)	0.117*** (0.028)
经济发展水平	0.127*** (0.035)		0.053 (0.050)		0.189*** (0.043)
人口密度	0.530*** (0.044)		0.498*** (0.129)		0.317*** (0.076)
人力资本	-0.147*** (0.042)		-0.372*** (0.108)		-0.003 (0.056)
对外开放度	0.009 (0.031)		-0.114** (0.047)		0.086*** (0.029)
科技投入	0.084*** (0.023)		0.026 (0.030)		0.047** (0.020)
常数项	0.057* (0.033)	0.273*** (0.008)	0.326*** (0.100)	0.351*** (0.011)	0.064 (0.058)
样本量	1188	1188	1188	1188	1188
拟合优度		0.496	0.541	0.847	0.859
调整拟合优度		0.496	0.538	0.846	0.857
城市效应	否	是	是	是	是
时间效应	否	否	否	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p<0.1$ ，** $p<0.05$ ，*** $p<0.01$ 。

4.3.2 稳健性检验

(1) 替换被解释变量

为了证明实证结果的稳健性,本文选择替换被解释变量后再次进行基准回归分析。结果如表4.3所示。模型(1)为使用每万人绿色专利申请数量作为被解释变量的回归结果,可以看出数字经济的回归系数有所变大,为0.148。模型(2)为使用绿色专利授权总量作为被解释变量的回归结果,数字经济的回归系数变化较小。总的来说,虽然某些变量的显著性水平和回归系数发生变化,但数字经济正向促进绿色技术创新这一结果没有改变。这表明上文实证分析的结果较为稳健。

(2) 剔除直辖市、副省级城市、省会城市

考虑到上海、重庆、南京、杭州、南昌、武汉、长沙、成都、合肥、贵阳、昆明等城市为直辖市、省会或副省级城市,这些城市大都被作为区域发展战略的着力点,劳动力、资金、技术人才等要素资源丰富,具有良好的区位条件和经济政治优势。为此,将这些城市剔除后对样本进行回归分析。表4.3模型(3)的回归结果表明,数字经济的回归系数是0.107,相较基准回归结果虽然有所减小,但其显著性水平未发生变化,表明上文分析的结果是可靠的。

(3) 剔除异常值

考虑到某些极端的数据会对实证产生不利影响,采用缩尾法对各个变量数据进行两端1%的缩尾处理。对处理好的数据进行回归分析,如表4.3模型(4)所示。在剔除异常值后,数字经济的回归系数依然通过显著性检验。以上三种检验方法证明基准分析得出的结论是稳健的。

表 4.3 稳健性检验结果

	(1) 每万人绿色专利 申请	(2) 绿色专利授权	(3) 剔除直辖副省级 省会城市	(4) 剔除异常值
数字经济	0.148*** (0.035)	0.117*** (0.037)	0.107*** (0.030)	0.117*** (0.028)
经济发展水平	0.357*** (0.058)	0.183*** (0.044)	0.201*** (0.045)	0.173*** (0.042)
人口密度	0.135* (0.078)	0.309*** (0.078)	0.297*** (0.087)	0.311*** (0.076)

续表 4.3 稳健性检验结果

	(1) 每万人绿色专利 申请	(2) 绿色专利授权	(3) 剔除直辖副省级 省会城市	(4) 剔除异常值
人力资本	0.073 (0.054)	-0.015 (0.057)	0.001 (0.058)	0.022 (0.069)
对外开放度	0.122*** (0.034)	0.025 (0.041)	0.088*** (0.031)	0.084*** (0.027)
科技投入	0.055** (0.024)	0.018 (0.026)	0.048** (0.021)	0.057*** (0.020)
常数项	0.002 (0.061)	0.155** (0.063)	0.048 (0.057)	0.054 (0.062)
样本量	1188	1188	1056	1188
拟合优度	0.855	0.800	0.856	0.858
调整拟合优度	0.853	0.797	0.853	0.856
城市效应	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

4.3.3 内生性检验

由于现实中有较多因素影响绿色技术创新，在设定模型的过程中可能会遗漏变量或者出现数字经济与绿色技术创新互为因果的情况。为了缓解可能存在的内生性，选择两阶段最小二乘法进行回归分析。共选取两个工具变量，一是借鉴刘驰和鲁庭婷（2023）的研究，将核心解释变量滞后一期作为当期值的工具变量（IV1）^[33]，具体结果见表4.4模型（1）和（2）。之所以将解释变量滞后一期，是考虑到当期数据通常会受到前期数字经济的影响，因此采用滞后一期的数字经济重新进行估计。二是使用2003年城市层面每百人固定电话数量与上一年全国互联网用户数的交互项，作为该年的城市数字经济综合发展指数的工具变量（IV2）。之所以选取2003年数据，是考虑到长江经济带内部部分地级市的变更以及数据的可得性，估计结果如表4.4模型（3）和（4）所示。

表 4.4 内生性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	工具变量一	工具变量一	工具变量二	工具变量二
数字经济	0.250*** (0.039)	0.233*** (0.050)	0.239*** (0.034)	0.238*** (0.040)
经济发展水平		0.159*** (0.036)		0.153*** (0.030)
人口密度		0.363*** (0.079)		0.354*** (0.056)
人力资本		-0.034 (0.045)		-0.045 (0.039)
对外开放度		0.082*** (0.023)		0.077*** (0.023)
科技投入		0.033** (0.016)		0.037** (0.015)
Kleibergen-Paap rk LM		90.041		94.201
Cragg-Donald Wald F		378.309		369.765
Kleibergen-Paap Wald rk F		126.063		184.532
样本量	1080	1080	1188	1188
拟合优度	0.815	0.828	0.844	0.855
城市效应	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

通过表4.4模型（2）和（4）可以看出，将变量内生性考虑在内后，数字经济依然通过了1%水平下的显著性检验，估计系数分别为0.233和0.238，相较基准回归估计系数略有提升。通过对比模型（1）和（2）、模型（3）和（4）可以看出，无论是否加入控制变量，数字经济发展都能够加快推动长江经济带绿色技术创新，以上足以表明基准分析结果是稳健的。

同时，在进行工具变量可识别检验时，对于原假设“工具变量识别不足”的检验，Kleibergen-Paap rk 的LM统计量分别为90.041和94.201，P值均为0。在进行弱工具变量检验时，Cragg-Donald和 Kleibergen-Paap rk的Wald F统计量均大于16.38（Stock-Yogo检验10%的显著性水平临界值），均显著拒绝原假设。以上结果表明选择的工具变量从统计角度来讲均是有效的。

4.4 异质性分析

本章从以下方面展开异质性分析。首先，基于增长极理论分析了核心城市群

地区与非核心城市群地区、中心城市和非中心城市的异质性，并分析了长江经济带中下游地区的异质性和人口密度异质性。其次，利用分位数回归模型分析城市不同分位点绿色技术创新水平对二者关系的影响。

4.4.1 地区异质性分析

下面分别从区域差异角度分析数字经济对绿色技术创新的影响。将2011—2021年108个城市分别按照核心城市群、非核心城市群，上游地区、中游地区、下游地区分别进行分组回归，结果如表4.5所示。

表 4.5 区域异质性估计结果

	(1) 核心城市群地区	(2) 非核心城市群地区	(4) 上游地区	(5) 中游地区	(6) 下游地区
数字经济	0.128*** (0.038)	0.084 (0.051)	0.079 (0.052)	0.077 (0.064)	0.177*** (0.050)
经济发展水平	0.157*** (0.047)	0.192** (0.074)	0.285*** (0.089)	0.451*** (0.112)	0.039 (0.068)
人口密度	0.288*** (0.084)	0.312** (0.118)	0.401** (0.186)	0.769*** (0.171)	0.241*** (0.081)
人力资本	-0.053 (0.090)	0.042 (0.050)	0.016 (0.072)	0.043 (0.111)	0.102 (0.131)
对外开放度	0.083** (0.039)	0.100** (0.040)	0.086** (0.040)	0.012 (0.047)	0.233** (0.112)
科技投入	0.071*** (0.023)	0.022 (0.040)	-0.035 (0.032)	0.091*** (0.032)	0.045 (0.040)
常数项	0.124 (0.083)	0.031 (0.059)	0.004 (0.104)	-0.218 (0.142)	0.011 (0.121)
样本量	781	407	341	396	451
拟合优度	0.866	0.855	0.850	0.879	0.879
调整拟合优度	0.863	0.849	0.843	0.874	0.874
城市效应	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p<0.1$ ，** $p<0.05$ ，*** $p<0.01$ 。

长江经济带核心城市群数字经济估计系数为 0.128，且通过了 1%显著性检验，表明核心城市群数字经济发展显著促进了绿色技术创新。数字经济发展对非核心城市群地区的绿色技术创新的影响系数为 0.084，没有通过显著性检验。由此可

以看出，数字经济对绿色技术创新的促进作用在城镇化水平较高的地区更明显，主要原因可能有两点：一是核心城市群地区基础设施建设体系较为完善，产业区域一体化水平较高，资源配置更高效，对数字经济战略和绿色技术创新战略的敏锐度更高、响应更加迅速，更容易给予政策重视；二是核心城市群地区综合发展实力较强，可以更迅速地对国家发展战略做出反应，汲取新知识、钻研新技术并应用于城市绿色发展。

下游地区估计结果显示，数字经济对绿色技术创新的影响系数达到 0.177，在 1% 的显著性水平上正向促进绿色技术创新。数字经济发展对中游地区和上游地区绿色技术创新的影响系数分别为 0.077 和 0.079，但结果并不显著。即数字经济发展对中上游地区的绿色技术创新不存在显著的促进作用。从表 5.1 可以看出，其对下游地区的促进作用最大，其次是上游地区，对中游地区的促进作用最小。下游地区的数字经济发展水平相对来说遥遥领先，数字经济发展程度相对成熟，占地区经济结构比重较大，因此对城市绿色技术创新产生的影响作用也更大。中游地区数字经济发展相对落后于上游和下游地区，在多方面均处在相对薄弱的水平，数字经济发展对工业绿色发展效率的提升效果受到低数字化程度的影响，故回归系数在三个区域中最低。

中上游地区数字经济对城市绿色技术创新的影响不显著的原因可能有两点：一是城市地理环境相对恶劣，数字基础设施、交通通信网络体系等不够完善，制约着数字经济发展，导致数字经济不足以对绿色技术创新产生显著影响；二是传统工业占比较高，高新技术产业占比较低，产业结构不够合理，对创新资源的消耗巨大，制约绿色技术创新发展的因素较多，抵消了数字经济对绿色技术创新的促进作用。

4.4.2 城市等级异质性分析

考虑到中心城市相对普通地级市来说综合实力较强、要素资源丰富，经济发展遥遥领先，具有更强的辐射能力，能够带动周围其他城市快速发展。本文按照中心城市与非中心城市进行分样本回归分析，从而考察数字经济对不同等级城市的绿色技术创新的差异性表现。

表 4.6 城市等级异质性估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	中心城市	中心城市	非中心城市	非中心城市
数字经济	0.199*** (0.067)	0.213*** (0.062)	0.099*** (0.031)	0.072** (0.032)
人口密度		0.262*** (0.076)		0.342*** (0.118)
人力资本		-0.304* (0.168)		0.002 (0.059)
对外开放度		0.061 (0.069)		0.101*** (0.030)
科技投入		0.140*** (0.040)		0.036 (0.022)
常数项	0.468*** (0.036)	0.337*** (0.102)	0.316*** (0.011)	0.028 (0.070)
样本量	297	297	891	891
拟合优度	0.854	0.876	0.849	0.861
调整拟合优度	0.848	0.869	0.847	0.859
城市效应	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p<0.1$ ，** $p<0.05$ ，*** $p<0.01$ 。

从表4.6模型（2）（4）系数大小与显著性来看，数字经济发展对中心城市的促进作用更为明显。长江经济带各中心城市作为区域发展的“领头羊”，其在综合实力、区位条件、人力物力、创新资源等各方面十分优越。中心城市开展数字基础设施建设的时间早，对数字经济相关政策的反应快，能够及时把握经济发展方向，促使数字经济带动多方面、深层次的发展，因此对绿色技术创新的促进作用也更大。加入控制变量后，中心城市的数字经济影响系数仍在 1%水平上显著为正，对非中心城市绿色技术创新的影响系数在5%水平上显著为正。也就是说，数字经济发展对中心城市和非中心城市的绿色技术创新均具有显著的促进作用。这表明相较于中心城市，虽然非中心城市从绝对量来看各方面仍与中心城市存在明显差距，但在相对量上也获得了高速的发展。这可能是由于受到中心城市的辐射带动作用，非中心城市得以利用数字经济快速地实现技术输入、资本输入，使得更多资源流入技术创新领域。可见数字经济发展对非中心城市起到

“雪中送炭”的作用，数字经济对加快非中心城市发展，追赶中心城市脚步从而实现区域协调发展具有正向促进作用。

4.4.3 人口密度异质性分析

人口密度高的地区，通常拥有更完善的公共服务体系，其创新水平一般也较高。本文按照人口密度高低对长江经济带城市进行分样本回归分析，进一步讨论数字经济对绿色技术创新的差异性表现。

表 4.7 人口密度异质性估计结果

	(1) 高人口密度 城市	(2) 高人口密度 城市	(3) 低人口密度 城市	(4) 低人口密度 城市
数字经济	0.133*** (0.041)	0.123*** (0.040)	0.099** (0.047)	0.078* (0.045)
经济发展水平		0.103* (0.053)		0.243*** (0.080)
人口密度		0.251** (0.096)		0.408*** (0.148)
人力资本		0.091 (0.069)		-0.025 (0.060)
对外开放度		0.132*** (0.040)		0.064* (0.032)
科技投入		0.045 (0.029)		0.050* (0.025)
常数项	0.447*** (0.019)	0.062 (0.087)	0.288*** (0.015)	0.036 (0.083)
样本量	539	539	649	649
拟合优度	0.875	0.886	0.838	0.849
调整拟合优度	0.872	0.883	0.835	0.845
城市效应	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

由表 4.7 可以看出，虽然高人口密度和低人口密度地区在数字经济影响绿色技术创新的关系中均表现出显著促进影响，但通过显著性与系数比较可以发现，高人口密度地区数字经济对绿色技术创新的影响高于长江经济带整体平均水平，而低人口密度地区明显低于平均水平，且仅通过了 10%水平上的显著性检验。这

可能是由于：一方面，人口密度越高的地区，劳动力规模通常越大，这为该地区企业在人力资源市场招聘人才提供了更多选择机会，有利于各行业降低人力成本与时间成本，转而将资源投入到创新活动中。另一方面，高人口密度有利于推动该地区服务业发展，加快产业结构升级，进而促进技术创新。另外，在高人口密度地区人们有更多机会直接共享知识、相互学习、传播理念，对绿色生活、绿色消费的意识可能更强烈，间接促进创新主体进行绿色技术创新满足消费者需求。

4.4.4 绿色技术创新水平异质性分析

为了分析在不同的绿色技术创新水平发展程度下数字经济发展对绿色技术创新的边际影响，本文选择分位数回归模型选取 10%、25%、50%、75%、90% 分位点进行回归分析，回归结果如表 4.8 所示。

表 4.8 分位数回归结果

分位点	10%	25%	50%	75%	90%
数字经济	0.141*** (0.042)	0.131*** (0.030)	0.116*** (0.022)	0.103*** (0.029)	0.092** (0.041)
经济发展水平	0.166*** (0.056)	0.176*** (0.040)	0.189*** (0.030)	0.201*** (0.039)	0.212*** (0.056)
人口密度	0.270*** (0.090)	0.290*** (0.065)	0.317*** (0.048)	0.341*** (0.063)	0.362*** (0.090)
人力资本	0.043 (0.074)	0.023 (0.053)	-0.003 (0.039)	-0.027 (0.052)	-0.048 (0.074)
对外开放度	0.087** (0.041)	0.087*** (0.029)	0.086*** (0.022)	0.086*** (0.028)	0.085** (0.041)
科技投入	0.049* (0.027)	0.048** (0.020)	0.047*** (0.014)	0.046** (0.019)	0.045* (0.027)
样本量	1188	1188	1188	1188	1188

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

由表4.8可以看出，数字经济发展估计系数均为正且至少通过5%的显著性水平，表明数字经济发展在不同绿色技术创新水平下均可以显著促进绿色技术创新发展。通过对比系数值发现，在50%分位点之前，即在绿色技术创新水平处于中下水平的城市，数字经济发展对绿色技术创新水平的促进作用更大。一方面，可能是因为绿色技术创新水平较低的城市存在后发优势，数字经济带来的互联网发展打破了落后地区获取知识的时空壁垒，降低了信息不对称性与非完整性，促进了人力资本积累；另一方面，绿色技术创新水平较低的城市可以通过低成本引进市场上较为成熟的数字技术，利用技术扩散促进绿色技术创新发展；此外，数字经济发展提高了金融服务的可及性，改善了融资环境，能够降低创新主体进行绿色技术创新的风险，鼓励其做出有利于促进绿色技术创新的决策。随着分位点变化绿色技术创新效应有所降低，总体呈现逐渐下降趋势，但下降的幅度逐渐减小，表明随着绿色技术创新水平的逐渐提高，数字经济对绿色技术创新的影响呈现边际效用递减的趋势，可能是因为对于绿色技术创新水平较高的城市，互联网的发展、基础设施的完善、普惠金融的发展等对绿色技术创新的促进作用已逐渐接近饱和，绿色技术创新潜能需要依靠其他因素来挖掘。

4.5 本章小结

本章分析了数字经济影响长江经济带绿色技术创新的直接效应。主要得到以下结论：数字经济对长江经济带绿色技术创新呈现正向促进的影响，且这一结论通过了稳健性及内生性检验。另外，该影响存在明显的异质性。区域异质性和城市等级异质性结果显示，数字经济发展对核心城市群地区、中心城市、下游地区的影响效应均高于长江经济带整体水平。人口密度异质性结果显示，在高人口密度地区，数字经济发展对城市绿色技术创新的影响更大，对低人口密度地区的影响远低于长江经济带整体水平。分位数回归结果显示，在绿色技术创新低水平地区，数字经济发展对绿色技术创新的促进作用更大。

5 长江经济带数字经济影响绿色技术创新的间接效应分析

结合相关理论知识,数字经济还可以通过许多作用渠道对绿色技术创新带来影响。首先,通过中介效应模型检验金融发展水平与产业结构升级是否在二者之间发挥中介作用。其次,利用调节效应模型检验政府支持是否能够调节数字经济对绿色技术创新的影响关系。

5.1 变量选取与模型设定

5.1.1 变量选取

(1) 中介变量

金融发展水平(FIN),目前学术界通常采用戈氏和麦氏这两种指标来衡量金融发展水平。其中,McKinnon(1973)主张使用货币存量与国民生产总值的比重衡量一国金融发展水平,即M2/GDP。Goldsmith(1969)主张以“某时点现存金融资产总值与国民财富之比”衡量一国的金融发展水平,通常采用金融资产总量与GDP之比测度。考虑到各地区M2相关统计数据的可得性,因此只能根据戈氏指标定义,使用各地区存贷款数据作为金融资产的衡量指标,并在此基础上计算出各地区金融机构存贷款余额年度数据占该地区同年度名义GDP的比重,以此测度地区金融发展水平^[40]。国内许多学者测度金融发展水平时也采取了类似的方法。

产业结构调整(IS),使用第二产业与第三产业增加值之和与GDP的比值来衡量,根据配第一克拉克定理,产业升级表现为第二产业与第三产业在国民收入中的比重上升,因此,采用该指标作为产业升级的衡量指标,其可以反映我国经济发展方式的变化^[34]。

(2) 调节变量

政府支持(GOV),使用地方财政支出占GDP的比重衡量,财政支出占GDP的比重能够较好地反映该城市进行创新活动所处的环境^[72]。地方财政支出占GDP的比重越高,该区域创新环境越好,越有利于开展创新活动,反之越不利于创新。

5.1.2 模型设定

(1) 中介效应模型

在双向固定效应模型的基础上，构建逐步回归模型，具体模型如下：

$$M_{it} = \beta_0 + aDE_{it} + \beta_1 K_{it} + \varphi_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \quad (5.1)$$

$$GTI_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DE_{it} + bM_{it} + \gamma_2 K_{it} + \varphi_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \quad (5.2)$$

其中， M_{it} 为中介变量，包括 FIN_{it} 和 IS_{it} ；其余变量的含义同上。

(2) 调节效应模型

在基准回归模型的基础上，构造数字经济与政府支持的交互项，并对其进行中心化处理，该操作可以降低交互项同数字经济与政府支持之间的相关，对模型的估计不会产生影响。具体模型如下：

$$GTI_{it} = \delta_0 + dDE_{it} + \delta_1 K_{it} + \delta_2 GOV_{it} + \varphi_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \quad (5.3)$$

$$GTI_{it} = \lambda_0 + eDE_{it} + \lambda_1 K_{it} + \lambda_2 GOV_{it} + \lambda_3 DE_{it} \times GOV_{it} + \varphi_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \quad (5.4)$$

GOV_{it} 为调节变量，表示 i 城市在 t 年的政府支持力度， $DE_{it} \times GOV_{it}$ 表示 i 城市在 t 年的数字经济与政府支持的交乘项，其余变量的含义同上。该模型中交互项系数 λ_3 与式 (4.1) 中数字经济系数 c 的取值方向相同时，表明政府支持起到正向调节的作用，反之是负向调节。

5.2 数据来源及描述性统计

中介变量与调节变量的数据来源为《中国城市统计年鉴》及个别地级市统计年鉴和年报。接下来，对中介变量与调节变量进行分析。

表 5.1 变量描述性统计

变量名称	变量符号	观测量	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
金融发展水平	FIN	1188	2.438	2.231	0.957	0.764	6.559
产业结构升级	IS	1188	0.886	0.889	0.064	0.684	0.998
政府支持	GOV	1188	2.898	2.894	0.381	2.028	4.212

从表 5.1 可以看出，金融发展水平、政府支持的标准差均在 0.3 以上，说明长江经济带各地区在这些方面的分布情况存在很大差异性。而各地区产业结构升

级的标准差相对较小，波动不大。选取的各变量均无明显异常，接下来进行中介效应检验。

5.3 金融发展水平中介效应

为了检验金融发展水平间接效应的存在，使用中介效应模型进行逐步回归，回归结果见表5.2。模型（2）显示数字经济对金融发展水平的影响系数为0.283，且在1%的显著性水平下显著，表明数字经济的发展在一定程度上能够提升金融发展水平。模型（3）分析的是二者对绿色技术创新的影响。其中，金融发展水平正向促进绿色技术创新，且通过了显著性检验。另外，可以看出模型（3）数字经济系数相较基准回归模型中的系数有所变小，说明金融发展水平在二者之间承担中介角色。

表 5.2 逐步回归结果 1

	(1) 绿色技术创新	(2) 金融发展水平	(3) 绿色技术创新
数字经济	0.117*** (0.028)	0.243*** (0.048)	0.095*** (0.028)
金融发展水平			0.089* (0.046)
经济发展水平	0.189*** (0.043)	-0.704*** (0.106)	0.251*** (0.053)
人口密度	0.317*** (0.076)	-0.478** (0.210)	0.359*** (0.089)
人力资本	-0.003 (0.056)	0.218*** (0.056)	-0.022 (0.058)
对外开放度	0.086*** (0.029)	0.121*** (0.039)	0.075** (0.029)
科技投入	0.047** (0.020)	0.091*** (0.031)	0.039** (0.019)
常数项	0.064 (0.058)	0.576*** (0.142)	0.013 (0.072)
样本量	1188	1188	1188
拟合优度	0.859	0.762	0.860
调整拟合优度	0.857	0.758	0.858
城市效应	是	是	是
时间效应	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p<0.1$ ，** $p<0.05$ ，*** $p<0.01$ 。

为了进一步验证中介效应存在的真实性,继而采用系数乘法进行中介效应检验,其原理是检验 $a*b$ 是否呈现出显著性,包括Soble检验法和Bootstrap自抽样法,考虑到Soble检验法对样本要求严格,在有限样本下很难达到其要求的数据符合正态分布条件,而Bootstrap自抽样法打破了这一限制,能够更准确地检验出中介效应的存在。因此使用Bootstrap自抽样法重复抽取1000次,得到以下结果。

表 5.3 金融发展水平中介效应检验结果

效应分析	系数	z值	p值	标准差	95%置信区间
直接效应	0.095	3.91	0	0.0243	(0.0445,0.1383)
间接效应	0.022	2.66	0.008	0.0081	(0.0078,0.0403)

由表5.3可知,间接效应的置信区间不包含零,z值为2.66。直接、间接效应系数分别是0.022与0.095。可以看出金融发展水平于二者之间起到部分中介作用,其中介效应值为18.80%,由此假设H2得到验证。这一结果表明:数字经济可以通过提升金融发展水平促进绿色技术创新。究其根本,可能是得益于长江经济带数字经济的飞速发展,衍生出种类较为齐全、功能十分丰富的数字金融业务。这大大增强了现代金融服务的开放性与包容性,并使得原本受限的业务服务范围得到进一步拓展,从整体上使得金融发展水平迈上新台阶。同时使得企业等创新主体开展绿色技术创新的风险和成本得到削减,激励各创新主体积极投身于绿色技术创新。

5.4 产业结构升级中介效应

为了检验产业结构升级在二者间的作用,利用中介效应模型进行检验,逐步回归结果见表5.4。从模型(2)可以看出,数字经济影响产业结构升级的估计系数为0.174,即数字经济发展能够在一定程度上助推产业结构升级。从模型(3)可以看出产业结构升级的回归系数为0.101,并在1%显著性水平下显著。数字经济的回归系数为0.099,相比基准回归估计系数有所减小,说明产业结构升级在二者之间存在中介效应。

表 5.4 逐步回归结果 2

	(1) 绿色技术创新	(2) 产业结构升级	(3) 绿色技术创新
数字经济	0.117*** (0.028)	0.174*** (0.056)	0.099*** (0.028)
产业结构升级			0.101*** (0.032)
经济发展水平	0.189*** (0.043)	0.666*** (0.113)	0.122** (0.048)
人口密度	0.317*** (0.076)	0.654*** (0.174)	0.251*** (0.069)
人力资本	-0.003 (0.056)	0.018 (0.080)	-0.005 (0.060)
对外开放度	0.086*** (0.029)	0.131* (0.072)	0.073** (0.029)
科技投入	0.047** (0.020)	0.012 (0.038)	0.046** (0.020)
常数项	0.064 (0.058)	-0.119 (0.144)	0.076 (0.051)
样本量	1188	1188	1188
拟合优度	0.859	0.535	0.862
调整拟合优度	0.857	0.528	0.860
城市效应	是	是	是
时间效应	是	是	是

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

同样地，采用Bootstrap自抽样法来证明中介效应的存在，表5.5为重复抽取1000次的结果。

表 5.5 产业结构升级中介效应检验结果

效应分析	系数	z值	p值	标准差	95%置信区间
直接效应	0.099	4.23	0	0.0234	(0.0522, 0.1450)
间接效应	0.018	3.03	0.002	0.0058	(0.0070, 0.0300)

由表5.5可知，间接效应的置信区间不包含0，z值为3.03，表明产业结构升级在数字经济和绿色技术创新之间具有部分中介作用，间接效应系数为0.018，直接效应系数为0.099，故其中介效应占比为15.38%，由此假设H3得到验证。这一

结果表明：数字经济能够加快产业结构转型升级从而推动绿色技术创新。将可能的原因归结如下：第一，长江经济带产业大多处于价值链的中低端，重工业占比较高，各区域产业同质化较严重，长江经济带数字经济发展有利于推动传统产业朝智能化转型，逐步将落后产业淘汰，还有利于打破区域壁垒，促进资源要素自由流动，加快高技术产业的发展，促进产业结构转型升级。产业结构升级使得长江经济带各产业产品在国内、国际拥有更大市场，这也使得企业之间竞争更加激烈，促使企业开展绿色技术创新满足政府和消费者对绿色产品的需求。第二，数字经济的快速发展有利于优化生产方式，从原来的高劳动投入、低效率低产出逐步向低劳动投入、高效率高产出转变，合理配置社会资源，加快形成集约型产业结构、环保高效型生产方式。产业结构升级可以吸引大量社会资本参与产品研发，使得企业等创新主体以较低的研发风险和充足的研发资金进行绿色技术创新。

5.5 政府支持调节效应

我国近年来不断深化财政体制改革，扩大地方财政支出规模，通过加大政府支持力度优化创新基础。为检验在数字经济发展影响绿色技术创新的过程中，政府是否通过调整地方财政支出起到调节作用，进而对绿色技术创新发展造成影响，因此考虑加入政府支持这个调节变量。

表 5.6 调节效应回归结果

	(1)	(2)
数字经济	0.117*** (0.028)	0.087*** (0.031)
政府支持	0.041 (0.026)	0.039 (0.026)
经济发展水平	0.223*** (0.046)	0.193*** (0.039)
人口密度	0.338*** (0.082)	0.295*** (0.067)
人力资本	-0.005 (0.057)	-0.033 (0.054)
对外开放度	0.080*** (0.029)	0.081*** (0.027)

续表 5.6 调节效应回归结果

	(1)	(2)
科技投入	0.047** (0.020)	0.053*** (0.019)
数字经济×政府支持		0.206*** (0.066)
常数项	0.122* (0.066)	0.162*** (0.055)
样本量	1188	1188
拟合优度	0.859	0.862
调整拟合优度	0.857	0.860

注：括号内为稳健标准误，* $p<0.1$ ，** $p<0.05$ ，*** $p<0.01$ 。

从表 5.6 模型（2）可以看出，数字经济与政府支持的交互项系数在 1%水平上显著，为 0.206。依靠政府支持的正向调节，数字经济对绿色技术创新的正向促进作用得到进一步加强，这表明政府支持在二者之间起到一定程度的正向调节作用，验证了假设 H4。主要原因如下：一方面，长江经济带产业规模庞大，但是“大而不强”，存在高新技术产业占比偏低、传统工业占比偏高的问题，亟须进行技术创新，让“绿色”活跃于传统产业之间，而政府支持正是企业进行技术创新的催化剂。政府财政预算支出占 GDP 比重越大，政府越有更多自主权为长江经济带企业等创新主体进行绿色技术创新提供资金支持，确保技术研发过程的连续性、完整性，避免出现技术研发因缺乏资金而中断或无法进行成果转化等问题，提高绿色技术创新效率。另一方面，长江经济带经济发展水平高，其地方财政收入也相对较高，有利于地方政府根据地区发展和需求提供公共产品和服务，如在教育、医疗、社会保障等方面划拨更多财政资金，从而吸引更多的人才集聚于此，优化社会创新基础，强化数字经济对绿色技术创新的促进作用。

5.6 本章小结

本章讨论了数字经济发展水平对长江经济带城市绿色技术创新的间接影响效应。主要得到以下结论：数字经济可以通过提升长江经济带城市的金融发展水平、促进产业转型升级进一步提升长江经济带绿色技术创新水平。金融发展水平作为中介主要表现为数字经济发展增强了现代金融服务的开放性与包容性，使得

原本受限的业务服务范围得到进一步拓展，从整体上提升了金融发展水平，这降低了企业等创新主体开展绿色技术创新的风险和成本，为绿色技术创新提供更大动力。产业结构升级作为中介主要表现为数字经济发展可以加快高技术产业发展，推动产业结构转型升级，使得长江经济带各产业产品在国内、国际拥有更大市场，从需求侧促使企业开展绿色技术创新。且产业结构升级还可以吸引大量社会资本参与产品研发，减少企业等创新主体进行绿色技术创新的后顾之忧。另外，政府支持可以在一定程度上强化长江经济带数字经济发展对绿色技术创新的影响。

6 结论与建议

6.1 研究结论

首先,文章针对长江经济带地级市面板数据,运用熵值法测度出各城市数字经济发展水平,了解长江经济带整体及不同区域的数字经济发展情况。其次,基于测度结果,对各变量进行描述性统计分析;并通过固定效应模型及分位数回归模型分析数字经济对绿色技术创新的直接影响,探讨了数字经济在长江经济带不同区域、不同城市等级、不同人口密度及不同绿色技术创新水平情况下对绿色技术创新的影响差异。最后,通过中介效应模型实证检验长江经济带金融发展水平和产业结构升级在二者之间发挥的作用;以及运用调节效应模型分析政府支持在其中发挥的调节作用。在此基础上,得出以下主要结论:

第一,数字经济发展水平和绿色技术创新水平的测度结果表明长江经济带区域内部的发展存在显著差异。整体来看,数字经济发展水平呈现不断上升的趋势,2011—2021年数字经济发展水平均值从下游、上游到中游依次下降。数字经济发展水平的高低与开展数字经济的时间、基础设施、经济发展水平、政府支持程度等都有密不可分的关系。长江经济带绿色技术创新水平在2020年之前总体呈上升趋势,在2020年之后有所下降,2011—2021年绿色技术创新水平均值最高的下游地区,其次是中游地区,上游地区最低。

第二,数字经济发展能够有效提升长江经济带城市的绿色技术创新水平,已成为新发展格局下推动绿色技术创新的中坚力量。该结论在经过替换被解释变量、剔除特殊城市、缩尾处理等稳健性检验后未发生变化。在将可能存在的内生性问题考虑在内后,数字经济发展依然对绿色技术创新产生显著正向促进作用。

第三,金融发展水平和产业结构升级在数字经济推动绿色技术创新的过程中发挥促进作用。数字经济可以在一定程度上以推动金融发展、加快产业结构升级的方式来促进绿色技术创新。其中,金融发展水平和产业结构升级的中介效应分别为18.80%和15.38%。另外,政府支持在数字经济与绿色技术创新之间发挥了正向调节的作用,能够强化数字经济发展的促进作用。

第四,数字经济对绿色技术创新水平的影响在不同区域、不同城市等级、不同人口密度、不同绿色技术创新水平的情况下均存在差异。具体来看,在不同绿

色技术创新水平下，数字经济发展均能显著促进绿色技术创新。在绿色技术创新水平较低的城市，数字经济发展水平的提高可以更大程度促进绿色技术创新。数字经济发展能够显著促进核心城市群地区、下游地区的绿色技术创新水平提升，而对非核心城市群地区、上中游地区的影响并不显著。数字经济发展对中心城市和非中心城市的绿色技术创新均具有显著促进作用，但对中心城市的影响更大。不同人口密度城市的数字经济发展均能促进绿色技术创新，但对高人口密度城市的绿色技术创新具有更强的驱动作用。整体来看，数字经济对绿色技术创新的影响在城市化水平高的地区更明显，但随着长江经济带区域一体化发展进程加快，各地区之间相互合作、资源技术等要素流动加快，三大城市群作为核心增长极，以点带面带动其周边城市的全面发展，一定程度上可以缩小长江经济带区域间绿色技术创新发展的差距。

6.2 对策建议

6.2.1 实施区域差异化数字经济政策

针对不同区域实施差异化数字经济政策，加快实现长江经济带区域协调绿色发展。现阶段数字经济对于绿色技术创新具有显著的推动作用，应继续从数字基础设施、数字产业发展、数字交易发展等方面大力发展数字经济，完善落后地区数字基础设施，提高数字技术，降低技术研发成本与风险，从而促进绿色技术创新水平提升。针对上海、江苏南京、浙江杭州等数字经济发展遥遥领先的城市，应当在加快5G建设及数据中心建设的同时注重绿色化改造，并积极利用自身优势拉动周围城市数字经济发展。针对湖南张家界、云南保山、贵州安顺、四川巴中等数字经济发展较为落后的城市，各城市政府相关部门应当根据实际情况进行详细规划，精准打造数字化发展模式。针对上中下游地区的不同产业特点、资源禀赋制定个性化的数字经济政策，缩小区域间的数字鸿沟，发挥下游地区、核心城市群地区发达数字经济的引领作用，提升周围城市绿色技术创新水平。

6.2.2 推动多主体参与及多举措并行

针对创新主体采取多主体参与、多举措并行，共同为绿色技术创新提供资金保障。从金融部门角度，应当加快推进长江经济带金融机构绿色化转型。鼓励金融机构创新绿色金融系列的产品，如设立绿色发展投资基金，运用“投贷债租证”等金融工具，缓解绿色技术创新企业融资难、融资慢问题。从政府部门角度，一方面，政府应持续扩大财政科技支出规模，优化科技支出结构，为技术研发研究提供中长期稳定资金保障，如扩大专项资金项目范围，对更多符合条件的企业创新项目进行资金扶持，加快推动绿色技术创新成果转化。另一方面，政府应发挥政策制定、协调与引导作用，赋权金融机构优先审理、优先审批企业等创新主体的优质绿色项目，如传统能源清洁化转型、污染治理、智能制造、低碳交通等领域的项目，进而助力企业等创新主体高效快速地获得资金，提升企业参与绿色技术创新活动的意愿。另外，政府应合理优化长江经济带金融资源配置，加大对上游、中游地区金融资源的投入，吸引周围城市高技术企业、产业集聚，加快长江经济带创新发展。

6.2.3 优化要素配置促产业转型升级

针对产业结构优化生产要素配置，加快长江经济带产业转型升级步伐。对长江经济带高污染、高能耗产业进行调查及管控，设置政策实施过渡期，对于不能按期完成改造升级的产业依法依规进行淘汰。对江苏、浙江、上海等长江经济带下游地区的城市而言，对重化工业的集中整治与转型升级十分关键，依托数字经济严格落实负面清单和产业结构调整目录，加快传统产业改造升级，推动高污染、高能耗行业实现新旧动能转换，大力发展高技术产业等战略性新兴产业。对重庆、贵州、云南、四川等长江经济带中上游地区的城市而言，可以通过承接部分产业转移改善产业结构单一的情况，促使产业结构升级，但在开展承接工作前应完善相应的产业配套设施，避免“水土不服”等情况的出现，另外，要控制对高污染、高能耗、低技术、低产出产业的承接转入量。

6.2.4 强化区域增长极辐射带动作用

针对整体区域强化区域增长极、核心增长极的辐射作用，缓解长江经济带区域发展不平衡问题。首先，核心城市群地区和下游地区应进一步优化资源配置，从而提高数字经济发展水平并促使资本、人力、技术等各种生产要素高度集聚，以此促进本地区绿色技术创新发展，并辐射带动邻近地区绿色技术创新水平提升。其次，通过“线上+线下”双模式加强长江经济带核心城市群与非核心城市群、下游地区与中上游地区之间的互动与合作。线上打造城市间技术交流平台，提供完善的技术服务体系；线下鼓励高技术人才定期到技术落后地区分享经验并开展培训，通过要素流动、技术共享、成果共享促进长江经济带区域整体绿色技术创新的发展。

参考文献

- [1] Ahmad M, Khattak I S, Khan A, et al. Innovation, foreign direct investment (FDI), and the energy-pollution-growth nexus in OECD region: a simultaneous equation modeling approach[J]. *Environmental and Ecological Statistics*,2020,27(2):1-30.
- [2] Baginski J, Malecki J E. The Oxford Handbook of the Digital Economy, edited by Martin Peitz and Joel Waldfogel[J]. *Journal of Regional Science*, 2013,53(1):205-206.
- [3] Braun E, Wield D. Regulation as a means for the social control of technology[J]. *Technology Analysis Strategic Management*,2007,6(3):259-272.
- [4] Daron A, Philippe A, Leonardo B, et al. The Environment and Directed Technical Change.[J].*The American economic review*,2012,102(1):131-166.
- [5] Dongchu H, Mianfang L. How Does the Digital Economy Contribute to Regional Green Development in China? Evidence-Based on the Intermediary Effect of Technological Innovation[J].*Sustainability*,2022,14(18):11147-11147.
- [6] Koenker R. Quantile regression for longitudinal data[J]. *Journal of Multivariate Analysis*, 2004, 91(1): 74-89.
- [7] Li L, Tao D, Hao W. Digital Economy, Technological Innovation and Green High-Quality Development of Industry: A Study Case of China[J]. *Sustainability*,2022,14(17):11078-11078.
- [8] Miller P, Wilsdon J. Digital Futures-An Agenda for a Sustainable Digital Economy[J]. *Corporate Environmental Strategy*,2001,8(3):275-280
- [9] Norberg-Bohm V. Creating Incentives for Environmentally Enhancing Technological Change[J].*Technological Forecasting Social Change*,2000,65(2): 125-148.
- [10] Sepehri A, Sarrafzadeh M, Avateffazeli M .Interaction between *Chlorella vulgaris* and nitrifying-enriched activated sludge in the treatment of wastewater with low C/N ratio[J].*Journal of Cleaner Production*,2020,247:119164-119164.

- [11] Tapscott D. The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence[M]. New York: McGraw Hill, 1996.
- [12] 曹慧, 石宝峰, 赵凯. 我国省级绿色创新能力评价及实证[J]. 管理学报, 2016, 13(08): 1215-1222.
- [13] 成琼文, 贺显祥, 李宝生. 绿色技术创新效率及其影响因素——基于我国 35 个工业行业的实证研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2020, 26(02): 97-107.
- [14] 程广斌, 吴家庆, 李莹. 数字经济、绿色技术创新与经济高质量发展[J]. 统计与决策, 2022, 38(23): 11-16.
- [15] 崔琪, 张思思, 马晓钰. 数字经济、公众环境关注与城市绿色技术创新[J]. 技术经济与管理研究, 2022, (08): 3-9.
- [16] 邓峰, 冯福博, 杨小东. 市场分割、数字经济与区域创新效率[J]. 统计与决策, 2022, 38(09): 17-20.
- [17] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019, (01): 100-118.
- [18] 葛世帅, 曾刚, 胡浩, 曹贤忠. 长三角城市群绿色创新能力评价及空间特征[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(01): 1-10.
- [19] 葛晓梅, 王京芳, 薛斌. 促进中小企业绿色技术创新的对策研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2005, (12): 87-91.
- [20] 郭炳南, 王宇, 张浩. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级——来自中国 282 个城市的经验证据[J]. 兰州学刊, 2022, (02): 58-73.
- [21] 郭丰, 杨上广, 柴泽阳, 储勇. 低碳城市建设能够提升城市绿色技术创新吗? ——来自准自然实验的证据[J]. 软科学, 2023, 37(01): 40-49.
- [22] 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.
- [23] 韩峰, 毛欣. 数字经济如何影响城市绿色创新——基于中国 292 个地级及以上城市数据的研究[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2022, 16(05): 37-48.
- [24] 韩先锋, 李佳佳, 徐杰. 绿色技术创新促进地区产业升级的动态调节效应——基于经济增长目标约束的新视角[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(08): 44-53.

- [25] 华淑名,李京泽.数字经济条件下环境规制工具能否实现企业绿色技术创新的“提质增量”[J].科技进步与对策:1-10.
- [26] 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.
- [27] 蒋殿春,潘晓旺.数字经济发展对企业创新绩效的影响——基于我国上市公司的经验证据[J].山西大学学报(哲学社会科学版),2022,45(01):149-160.
- [28] 李国祥,张伟.环境规制条件下绿色技术创新的国际资本和贸易渠道研究[J].科技管理研究,2016,36(24):15-20.
- [29] 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.
- [30] 李新安.环境规制、政府补贴与区域绿色技术创新[J].经济经纬,2021,38(03):14-23.
- [31] 李雪,吴福象,竺李乐.数字经济与区域创新绩效[J].山西财经大学学报,2021,43(05):17-30.
- [32] 李云鹤,李杏.数字基础设施建设与区域创新[J].统计与决策,2022,38(17):73-77.
- [33] 刘驰,鲁庭婷.产业协同集聚对出口技术复杂度的影响——以高技术制造业与生产性服务业为例[J].中南民族大学学报(人文社会科学版),2023,43(03)
- [34] 刘春志,杨瑞桐.银行业市场结构、企业创新与产业结构升级[J].科技进步与对策,2020,37(16):81-89.
- [35] 刘军,杨渊璧,张三峰.中国数字经济测度与驱动因素研究[J].上海经济研究,2020(06):81-96.
- [36] 刘庆林,郭天资.“双碳”背景下 FDI 对东道国环境影响效应研究——基于中国长江经济带的实证分析[J].东岳论丛,2023,44(01):33-43+191.
- [37] 米军,黄轩雯,刘彦君.金融发展理论研究进展述评[J].国外社会科学,2012,(06):94-100.
- [38] 聂高辉,邱洋冬,龙文琪.非正规金融、技术创新与产业结构升级[J].科学学研究,2018,36(08):1404-1413.
- [39] 戚聿东,肖旭.数字经济时代的企业管理变革[J].管理世界,2020,36(06):135-152+250.

- [40] 钱雪松, 谢晓芬, 杜立. 金融发展、影子银行区域流动和反哺效应——基于中国委托贷款数据的经验分析[J]. 中国工业经济, 2017(06):60-78.
- [41] 桑瑜. 论产业结构演进与产业结构调整——从理论探究到政策引申[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2015, (05):130-135.
- [42] 宋德勇, 李超, 李项佑. 新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1):155-164.
- [43] 宋洋. 数字经济、技术创新与经济高质量发展:基于省级面板数据[J]. 贵州社会科学, 2020, (12):105-112.
- [44] 孙燕铭, 谌思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素[J]. 地理研究, 2021, 40(10):2743-2759.
- [45] 孙耀武, 胡智慧. 数字经济、产业升级与城市环境质量提升[J]. 统计与决策, 2021, 37(23):91-95.
- [46] 汪晓文, 陈明月, 陈南旭. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级[J]. 经济问题, 2023, No.521(01):19-28.
- [47] 王锋正, 刘向龙, 张蕾, 程文超. 数字化促进了资源型企业绿色技术创新吗? [J]. 科学学研究, 2022, 40(02):332-344.
- [48] 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.
- [49] 王儒奇, 陶士贵. 数字经济如何影响实体经济发展——机制分析与中国经验[J]. 现代经济探讨, 2022, (05):15-26.
- [50] 王小刚, 鲁荣东. 库兹涅茨产业结构理论的缺陷与工业化发展阶段的判断[J]. 经济体制改革, 2012, (03):7-10.
- [51] 王欣欣. 风险投资、研发投入与我国绿色技术创新[J]. 工业技术经济, 2021, 40(07):23-27.
- [52] 韦施威, 杜金岷, 潘爽. 数字经济如何促进绿色创新——来自中国城市的经验证据[J]. 财经论丛, 2022, (11):10-20.
- [53] 韦庄禹. 数字经济发展对制造业企业资源配置效率的影响研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(03):66-85.

- [54] 魏丽莉,侯宇琦.数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J].数量经济技术经济研究,2022,(08):60-79.
- [55] 吴朝霞,许越,孙坤.城市集聚效应对绿色技术创新的影响研究——基于中国232个地级及以上城市的空间计量分析[J].经济地理,2022,42(10):25-34+71.
- [56] 武力超,李惟简,陈丽玲,李嘉欣.智慧城市建设对绿色技术创新的影响——基于地级市面板数据的实证研究[J].技术经济,2022,41(04):1-16.
- [57] 习近平.高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL].[2022-10-25].http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.
- [58] 习近平.决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[EB/OL].[2017-10-27].http://www.gov.cn/zhuanti/2017-10/27/content_5234876.htm.
- [59] 夏鲁惠,何冬昕.我国数字经济产业从业人员分类研究——基于 T-I 框架的分析[J].河北经贸大学学报,2020,41(06):101-108.
- [60] 徐盈之,张瑞婕,孙文远.绿色技术创新、要素市场扭曲与产业结构升级[J].研究与发展管理,2021,33(06):75-86.
- [61] 闫俊周,姬婉莹,朱露欣.数字经济、政府干预与区域创新能力[J].创新科技,2021,21(12):29-39.
- [62] 杨发明,许庆瑞.绿色技术扩散初探[J].环境导报,1996(02):28-30.
- [63] 姚晨,胡海洋.数字经济、创新资源流动与区域创新能力提升——基于城市面板数据的空间杜宾模型研究[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2023,44(04):106-115.
- [64] 于娱,杨帆,施琴芬.绿色技术创新与区域经济发展——基于夜间灯光数据的研究[J].生态经济,2020,36(10):48-54+77.
- [65] 原毅军,陈喆.环境规制、绿色技术创新与中国制造业转型升级[J].科学学研究,2019,37(10):1902-1911.
- [66] 张峰,史志伟,宋晓娜,闫秀霞.先进制造业绿色技术创新效率及其环境规制门槛效应[J].科技进步与对策,2019,36(12):62-70.

- [67] 张江雪,张力小,李丁.绿色技术创新:制度障碍与政策体系[J].中国行政管理,2018,(02):153-155.
- [68] 张龙鹏,汤志伟.企业信息技术应用对开放式创新的影响:交易成本视角[J].科技进步与对策,2018,35(20):79-87.
- [69] 赵庆.产业结构优化升级能否促进技术创新效率? [J].科学学研究,2018,36(02):239-248.
- [70] 赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,(10):65-76.
- [71] 周俊亭,席彦群,周媛媛.区域技术市场、政府扶持与科技创新[J].中国软科学,2021(11):80-90.
- [72] 周小玲,龚新蜀.政府财政与金融市场对区域自主创新能力的影晌[J].华南农业大学学报(社会科学版),2020,19(02):84-95.

攻读硕士学位期间承担的科研任务及主要成果

- [1]韩君,王欣茹.数字经济、金融发展水平与城市绿色技术创新——基于长江经济带地级市数据[J].区域金融研究,2023,(07):28-36.

致 谢

能够有机会再读三年书，是我想起来就会觉得十分幸运的事情。首先，最要感谢的人就是我的导师韩君教授，人如其名。老师真正做到了言传身教，对待学术的严谨态度、保持学习和积累的良好习惯、谦虚低调的行事风格、教育学生的良苦用心都体现了这一点。感谢老师永远以积极正向的语气鼓励我们，带领我们参加各类比赛让我们得到锻炼和提升，细心又认真的反复指导我们修改论文，希望老师和我们师门这个大家庭都越来越好。

其次，谢谢我的妈妈和爸爸，越长大越能感受到承担起家庭责任所要付出的辛苦。感谢你们尽己所能养育我了二十余年，从不给我压力亦从未在任何方面要求我必须怎样，而是尊重并支持我的一切选择，帮助我成为更好的自己。马上就开始了工作，希望我慢慢也能为你们遮风挡雨。

最后感谢学校和学院给了我继续学习和成长的机会，使我得到了锻炼和成长。同时还要感谢我的师兄师姐还有我的朋友们，他们都是那么善良和热心，在我学习和生活中遇到瓶颈时帮助我、开导我，让我觉得很温暖、很开心。衷心地希望大家都可以在自己的学业和事业上顺风顺水，以勇敢和坚毅的脚步走好未来每一步路！