

学校代号 10532

学 号 S2118W1526

分 类 号

密 级



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

专业硕士学位论文

数字经济对城市绿色创新水平的影响 研究

学位申请人姓名 胡琼

培 养 单 位 金融与统计学院

导师姓名及职称 谭朵朵 副教授

张迎 副教授

学 科 专 业 应用统计

研 究 方 向 数量经济与计量经济

论 文 提 交 日 期 2023.5

学校代号：10532

学 号： S2118W1526

密 级：

湖南大学专业硕士学位论文

数字经济对城市绿色创新水平的影响研究

学位申请人姓名： 胡琼

导师姓名及职称： 谭朵朵 副教授

培 养 单 位： 金融与统计学院

专 业 名 称： 应用统计

论文提交日期： 2021 年 5 月 16 日

论文答辩日期： 2021 年 5 月 20 日

答辩委员会主席： 任英华 教授

Research on the Impact of Digital Economy on Urban Green Innovation Level

by

Hu Qiong

B.E. (Northeastern University at Qinhuangdao) 2021

A thesis submitted in partial satisfaction of the

requirements for the degree of

Master of Economics

in

Applied Statistics

in the

Graduate school

of

Hunan University

Supervisor

Professor TAN Duoduo

April, 2023

摘要

提升城市创新水平，促进可持续性绿色发展，进而带动城市产业变革和转型升级是实现新时代高质量发展的内在要求。我国目前仍然面临着创新活力不足发展困境，消耗型产业发展所引发的一系列环境污染问题亟待绿色转型与改造。伴随着新发展格局的扩展和新经济战略的稳步推进，绿色创新发展的重要性日益增长，成为高质量发展路径中城市转型升级的关键。数字经济的发展可以改变传统的消耗型生产方式，激发产能动力，促进企业的创新，为城市带来更多的就业机会和经济增长。因此，探究数字经济对城市绿色创新水平的影响机制，对于城市数字化发展具有重要的理论意义和现实意义。

本文基于我国 2011 年至 2020 年 288 个地级以上城市的面板数据，利用熵权 TOPSIS 方法构建了城市数字经济发展指数，对地级市数字经济发展水平进行了测度，并分析了其时序演化和空间演变特征。同时，使用双向固定效应模型和中介效应模型评估数字经济对城市绿色创新水平的影响，并探索产业结构和人才聚集对城市绿色创新影响的间接机制。进一步分析环境规制对城市绿色创新水平的调节效应，以及不同教育水平、科技支出水平、产业结构水平下的区域异质性分析。研究发现：我国的数字经济发展水平整体呈现上升趋势，存在空间差异，呈现出东部沿海向西北内陆递减的态势。数字经济能提升了城市绿色创新水平，通过促进产业结构调整对城市绿色创新产生积极影响，增强城市的创新能力和竞争力。同时，还可以吸引更多的高端人才聚集于城市，从而为城市绿色创新提供了有力的支撑。同时，高强度环境规制会弱化数字经济发展对城市绿色创新的积极影响。

最后，本文提出应大力加强数字经济对城市绿色创新的投资力度，不断吸收高科技人才营造良好的创业氛围，吸引人才就业加强数字经济人才的培养，提高人才的素质和能力，加大对绿色产业的支持和扶持力度，优化资源配置。

关键词：数字经济；绿色创新；产业结构；环境规制

Abstract

Improving the level of urban innovation, promoting sustainable green development, and thereby promoting urban industrial transformation and modernization are inherent requirements for achieving high-quality development in the new era. At present, China still faces a development dilemma of lacking innovation vitality, and a series of environmental pollution problems brought about by the development of consumer industries urgently require green transformation and transformation. With the expansion of the new development model and the continuous advancement of China's new economic strategy, green innovation and development have become increasingly important and playing an increasingly important role, becoming the key to urban transformation and modernization on the road of high-quality development. The development of the digital economy can change traditional consumption and production methods, stimulate the improvement of production capacity, promote enterprise innovation, and bring more employment and economic growth opportunities to cities. Therefore, exploring the impact mechanism of the digital economy on the level of urban green innovation has important theoretical and practical significance for the development of digital cities.

Based on data from the 288-city panel above the pre-purchasing level in China from 2011 to 2020, the TOPSIS method of anthropic weight is used to construct the urban digital economy development index and to measure the digital city-level pre-purchasing economy development level, and analyze their space-time development characteristics. At the same time, two impact models and basic regression models were used to evaluate the level of urban ecological architecture, and the impact of urban ecological architecture on the city was found. Further analyze the regulatory effect of environmental regulations on the level of urban green innovation, as well as the regional heterogeneity analysis under different levels of education, technology expenditure, and industrial structure. Research shows that the overall development level of China's digital economy is on the rise, with spatial differences, and a downward trend from the east coast to the northwest inland. The digital economy can improve the level of urban ecological architecture, aiming to establish an industrial structure that has a positive impact on urban ecological architecture, enhancing the innovation ability and competitiveness of cities. At the

same time, it can also attract more high-end talents to gather in cities, providing strong support for urban green innovation. The aging of cities has had an unprecedented impact on the digital economy, that is, the development of the digital economy does not have a monotonous impact on urban green innovation. At the same time, many strong environmental regulations will reduce the positive impact of the digital economy on urban ecological buildings and have a long-term impact on the digital economy.

Finally, this article proposes to vigorously strengthen the investment of digital economy in urban green innovation, continuously absorb high-tech talents to create a good entrepreneurial atmosphere, attract talent employment, agriculture in digital Economic Activities, quality and ability of skills, increase support and support for green industries, and optimize resource allocation.

Key Words: Digital Economy, Green Innovation, Industrial Structure, Environmental Regulation

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	4
1.2 国内外文献综述.....	5
1.2.1 关于数字经济的界定.....	5
1.2.2 数字经济的测度与影响研究.....	6
1.2.3 关于城市绿色创新水平的界定.....	8
1.2.4 城市绿色创新水平的影响因素研究.....	9
1.2.5 数字经济对城市绿色创新水平的影响研究	10
1.2.6 相关研究述评.....	11
1.3 研究思路与主要内容.....	12
1.3.1 研究思路.....	12
1.3.2 主要内容.....	12
1.4 本文的创新之处.....	13
第 2 章 数字经济影响城市绿色创新水平的机理分析	15
2.1 相关概念界定.....	15
2.2 数字经济对城市绿色创新水平的直接影响	15
2.3 数字经济对城市绿色创新水平的间接影响	16
2.3.1 数字经济通过产业结构影响城市绿色创新水平	16
2.3.2 数字经济通过人才聚集影响城市绿色创新水平	17
2.4 数字经济对城市绿色创新水平的调节效应	18
第 3 章 数字经济发展水平测度及时空演化特征分析	19
3.1 数字经济发展水平测度指标	19
3.2 数字经济发展水平的测度	19
3.3 数字经济发展水平的时空特征分析	22
3.3.1 数字经济发展水平时序演化特征.....	22
3.3.2 数字经济发展水平空间演变特征.....	26
第 4 章 数字经济影响城市绿色创新水平的模型构建	28
4.1 样本及数据说明.....	28
4.2 变量选取与设定.....	28
4.2.1 被解释变量.....	28
4.2.2 解释变量.....	28
4.2.3 中介变量.....	29

4.2.4 控制变量.....	30
4.2.5 调节变量.....	32
4.3 描述性统计分析.....	33
4.4 模型设定与结果分析.....	34
4.4.1 基准模型分析.....	34
4.4.2 中介效应分析.....	36
4.4.3 调节效应分析.....	38
4.4.4 内生性分析.....	40
4.4.5 稳健性分析.....	43
4.4.6 异质性分析.....	44
第 5 章 政策建议	46
结论.....	48
参考文献.....	50

插图索引

图 1.1	研究思路图	12
图 3.1	中国数字经济发展水平发展态势图	24
图 3.2	东部地区经济发展水平发展态势图	24
图 3.3	中部地区数字经济水平发展态势图	25
图 3.4	东北地区数字经济水平发展态势图	26
图 3.5	西部地区数字经济水平发展态势图	26
图 3.6	2011(上左)、2014(上右)、2017(下左)、2020(下右)数字经济水平空间分布图	27

附表索引

表 2.1 数字产业整体框架15

表 3.1 我国数字经济发展综合评价指标体系 19

表 3.2 指标熵权22

表 3.3 数字经济发展水平综合得分 22

表 3.4 区域划分23

表 4.1 变量意义与设定32

表 4.2 变量描述性统计分析 33

表 4.3 基准回归模型结果35

表 4.4 中介效应模型结果38

表 4.5 调节效应模型结果39

表 4.6 滞后变量法结果41

表 4.7 工具变量法结果42

表 4.9 异质性检验结果44

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

二十一世纪以来，伴随数字经济概念的提出，数字技术正处于高速发展期。近年来，我国政府非常重视数字经济的发展，出台了一系列政策和规划，为数字技术的发展提供了有力支持。在大数据方面，我国已建成了全球最大的数据中心，同时也拥有着丰富的数据资源，包括人口、经济、社会、环境等多个领域。在云计算方面，我国已经建立了一批具有国际水平的云计算平台，服务范围覆盖了政府、企业和个人等各个层面。在物联网方面，我国也在全力推动物联网的开发和应用。在平台建设、传感器技术、网络技术等方面处于国际领先水平。随着数字技术不断深化和应用的广泛推广，我国数字经济的发展也迈上了新的台阶。数字经济还在不断推动着 AI 制造、无人驾驶等新兴产业和新业态的出现。例如在电子商务领域，通过数字技术的应用，共享经济的兴起已经改变了传统商业模式，让商务活动更加灵活、便捷和高效，逐渐改变原始生活方式与生活环境。这些新兴产业和新业态的出现，也为数字经济在全球价值链和生态链中的地位提升提供了有力支撑。数字经济所创造的价值不仅仅是在数字领域内，更是渗透到了传统经济的各个领域，同时也促进了不同行业、产业之间的融合发展，更促进了企业转型升级、产业发展变革。数字经济作为新兴产业，已经成为推动城市转型升级的重要引擎之一，在推动城市转型升级和提升城市竞争力方面具有不可替代的作用，带来更多新机遇和新发展，推动城市转型升级进程向更高水平迈进。

近年来，中国越来越重视数字经济的发展，并将其作为推动经济转型升级、提高竞争力和实现可持续发展的重要战略方向之一。在第十四届全国人民代表大会上，国家发展和改革委员会提出了多项数字经济发展的举措，加快数字经济发展。这些举措表明了中国政府对数字经济发展的高度重视和积极推进，将有助于提高经济转型升级质量和效率，增加就业岗位，并提升中国在国际数字经济领域的竞争力。2022 年政府工作报告也强调了促进数字经济发展的必要性，并提出了一系列推动数字化转型的措施。随着数字技术的快速发展和数字经济的日益重要，中国政府加强数字中国建设整体布局，成为推动数字经济发展的一项重大举措。政府将重点加强数字基础设施建设，推进国家宽带网络和 5G 网络建设，以及大规模数据中心的建设，保障数字经济的健康发展。与此同时，政府还将加大对产业数字化转型的支持力度，促使工业互联网、人工智能等数字产业成为中国经济

发展的新引擎，以推动数字产业的快速发展^[1]。此外，政府还将完善软硬件技术创新和供给能力，提高自主创新能力和核心技术的研发水平。加强数字技术监管，建立健全数字安全管理制度，提高信息化安全保护能力，打击网络黑产，保护市场秩序和公众安全。培育数据要素市场，提高数据价值、数据质量和数据交易效率，推动数据资源更好地流通和应用。为了提升数字经济在各行业的影响力，政府将着力推广数字技术在实体经济中的应用，促进数字供应链、数字化工厂、数字医疗等领域的发展，并继续推进智慧城市和数字乡村建设，以提升人民群众生活品质和城市管理水平。

这些措施的提出表明政府对于数字经济发展的战略意义有着深刻的认识。未来，为了应对后疫情时代经济复苏等新难题，我国必将更加重视数字经济作为生产要素所发挥的作用，制定相关政策促进各行业产业转型，同时也将改善人民生活水平、促进就业等多方面的发展。因此，政府将继续加大数字经济发展的政策支持 and 投入力度，推动数字化技术的创新和应用，促进数字经济与实体经济深度融合，为中国经济发展注入新动力。

据联合国贸发组织公布的数据，截至 2021 年，全球数字经济规模已超过 6 万亿美元，并且每年以约 17% 的速度增长。全球数字经济的发展不仅是在发达国家中出现，也在许多发展中国家和地区出现了迅猛的发展趋势。例如，非洲和拉丁美洲等地区，在数字化支付、电子商务等领域取得了重要进展，成为数字经济发展的新热点。同时，一些东南亚国家也在数字技术方面取得了很大的进步，如新加坡、泰国等。这表明，越来越多的国家开始重视数字经济发展，并将其作为推动经济转型升级和提高经济竞争力的关键领域。在未来，数字经济将继续成为全球经济发展的重要驱动力之一，为各国经济增长注入新动力，同时也将改善人民生活水平、促进就业等多方面的发展^[2]。

随着数字技术在城市社交和生活全面融合，数字经济已经创新了城市产业结构模式，同时提高了居民生活的便捷性和改善了居住环境，对城市绿色创新水平产生了深远影响。第一，数字经济的快速发展正在改变城市产业结构和居民生活方式，为城市绿色创新和可持续发展提供了新思路。由于新冠疫情的影响，越来越多的人开始采用线上购物、远程办公等数字化方式来减少实体交流和活动。这些新的低碳生活方式正在逐渐形成，并成为人们日常生活和工作中的重要组成部分，这些新的数字化方式逐渐代替了传统的线下消费和社交方式。这种趋势有助于降低对资源的消耗和污染。数字经济提供更加智能的创新型方式方便人们日常出行，同时也有望推动城市经济向更加绿色和可持续的方向转型。第二，除了通过在线生活方式降低碳排放之外，数字经济的发展还可以提高绿色创新能力，优化能源结构，实现节能减排。数字技术可以通过智能化、自动化、大数据等手段来实现对城市能源的精细化管理和优化调度。例如，通过物联网、传感器技术

以及云计算技术等手段，可以将城市中的各种设备连接起来，实现对其进行集中监控和管理。这样可以实现更加高效的能源利用，同时减少耗能和碳排放，有效地保护环境。还可以帮助城市群体产业部门提升技术水平，提高绿色创新能力。例如，通过数字化生产工艺、智能制造等手段，可以提高产业部门的生产效率和产品质量，同时也可以降低能源消耗和碳排放。还能优化城市资源配置和管理，提高能源利用效率，减少能源浪费。通过大数据分析城市能源的使用情况，可以制定更加科学合理的能源管理计划，避免能源的浪费和损耗。除此之外，数字技术还可以实现对城市垃圾、水资源等其他资源的高效利用和管理。

第三，数字经济在环境保护方面也有着重要的作用。通过大数据技术和智能化设备的应用，环境部门可以对城市环境进行监测，尤其是对于辖区内重污染企业，及时监督监控排污情况，从而及时采取应对措施，确保城市环境的质量和安全。与此同时，数字技术的发展还为公众提供了更加便捷的信息获取、传递和表达渠道，使得社会公众的环保参与度得到进一步提高。例如，互联网技术可以帮助公众收集相关环境信息，了解城市环境状况，同时也可以方便公众表达自己的环境诉求，对环境问题提出建议和意见，督促环保部门进行有效监管。这样可以加强公众对环境保护工作的关注和参与，推动城市环境问题的治理和改善。另外，在数字经济的发展中，数字技术的应用也可以帮助企业和机构更好地履行环保责任，推进绿色发展。例如，通过数字化的企业管理和生产过程，可以推进企业绿色转型。同时，数字技术的应用还可以为环保部门提供更加科学、智能的决策支持，帮助环境保护工作更加高效地进行^[3]。

城市绿色创新指城市在推动可持续发展、节能减排、生态保护等方面所付出的努力及其成果。此外，它还可以指城市在城市规划、建设、管理方面的创新能力，以及在应对气候变化等问题上的能力。城市绿色创新水平的高低影响着城市的环保、经济、社会等各方面的可持续发展能力。城市在保持经济增长的同时实现资源节约、环保和生态修复等多方面发展的一种新兴发展模式，是城市可持续发展的重要内容。

城市绿色创新是推动城市可持续发展的重要力量，数字经济是全球化经济活动的重要组成部分，数字经济与城市绿色创新之间的相互作用关系成为了当前研究的热点。随着全球经济的快速发展和城市化进程的加速，数字经济与城市绿色创新之间的相互关系也日益紧密。随着经济全球化的加速和信息技术的迅猛发展，数字经济已经成为全球经济活动的重要组成部分。数字经济的发展为城市经济发展带来了新的机遇和挑战，同时也为城市绿色创新提供了新的契机。城市绿色创新是推动城市可持续发展的重要力量，是实现城市经济发展与环境保护的有机结合。数字经济与城市绿色创新之间的相互作用关系是当前研究的热点，这种关系对于推动城市可持续发展和城市经济的发展具有重要的意义^[4]。

随着全球城市化进程的加速，城市绿色创新已经成为城市可持续发展的重要动力。城市绿色创新不仅可以推动城市经济的发展，还可以为城市环境保护和资源利用提供新的思路 and 方案。数字经济的快速发展为城市绿色创新提供了新的契机和挑战。数字经济与城市绿色创新之间的相互作用关系已经成为当前研究的热点，对于推动城市可持续发展和城市经济的发展具有重要的意义。

本文通过分析中国数字经济发展现状以及全国主要城市数字经济发展情况，分析了数字经济对城市绿色创新水平的传导路径。深入研究数字经济发展对城市绿色创新能力的影响对促进国内大循环和城市群体绿色创新发展、实现数字经济和实体经济的深度融合具有重要指导作用。在当前的“双循环”和“双碳”背景下，数字经济发展对于推动城市群体的绿色创新能力提升有着至关重要的作用。数字技术的应用可以优化城市在能源、交通、环境等方面的资源配置和管理，同时也可以提高城市群体产业部门的技术水平和绿色创新能力，这些将为城市群体的可持续发展提供重要支撑。

1.1.2 研究意义

数字经济如何影响城市绿色创新水平一直是近年国内外学者的研究热点，具有广泛的研究前景。随着信息技术的发展和普及，新兴产业的崛起，给后疫情时代背景下经济复苏和发展提供了思路。同时，数字经济也为就业创业提供了新的机遇和平台，促进了人力资源的聚集和产业转型升级，促进城市绿色发展。城市绿色创新是城市可持续发展的重要方向，两者的结合将为城市发展带来新的机遇和挑战。因此，对数字经济对城市绿色创新水平的影响进行研究具有重要的意义。

2021 年发布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》^[5]是国家对数字经济产业进行详细划分和界定的重要文件。本文依据该文件对于数字经济的定义，并结合学者对数字经济的界定，总结提出了本文中基于城市层面的数字经济内涵界定。在该框架下，采用多种指标来衡量城市数字经济的发展水平，包括数字产业化、产业数字化等，综合运用多种方法和数据源，以确保数字经济的测算体系更加科学、全面和准确。除此之外，本文详细剖析了数字经济对城市绿色创新水平的直接传导机制和间接传导机制，探究了产业结构与人才聚集程度视角下数字经济对城市绿色创新水平的中介效应，以及数字经济对不同等级城市绿色创新水平作用的异质性。丰富了数字经济对城市绿色创新水平影响的相关理论。为深入践行“双碳”理念建设绿色城市、可持续发展提供一定的理论依据和政策建议。拓展了城市绿色创新水平的应用研究。通过对数字经济对城市绿色创新的影响研究，可以深入探讨城市可持续发展与数字经济的相互关系，拓宽可持续发展理论的视角。数字经济的发展和城市绿色创新的推进本身就是数字经济与绿色发展的有机结合。数字经济的发展使得城市绿色创新可以借助数字技术的力量，提高效

率 and 创新能力。通过数字经济对城市绿色创新水平的影响研究，可以深入探讨数字经济与绿色发展之间的关系，为数字经济与绿色发展的有机结合提供理论支撑。

近年来，我国政府积极倡导生态文明建设，提出了生态优先、绿色发展的战略理念，并将其贯穿于经济社会发展的各方面和全过程，争取实现经济发展与环境保护的双赢。在这样的大背景下，数字经济的发展为城市绿色创新提供了更加强劲的动力，不仅可以提高城市治理效率和服务质量，还可以促进城市绿色技术的创新。数字经济与绿色发展的有机结合是中国城市创新发展模式转型的重要方向之一。数字技术的应用不仅可以改善城市生态环境，还可以促进城市经济的快速发展。数字经济的发展为城市绿色创新提供了更加强劲的动力，在此背景下研究数字经济对城市绿色技术创新的影响具有重要实践价值。有助于深化城市可持续发展理论，促进数字经济与绿色发展的有机结合，推动城市创新发展模式转型。

数字经济和城市绿色创新是推动城市发展的两个重要力量，它们之间相辅相成、相互促进，数字经济的发展为城市绿色创新提供了新的思路和方式，而城市绿色创新则可以为数字经济提供新的发展方向和 market 机会。通过对数字经济对城市绿色创新水平的影响进行深入研究，可以为城市创新发展模式转型提供理论支撑和实践借鉴。具体来说，可以开展基于数字经济的城市环境监测、城市绿色交通、城市能源管理等方面的研究，探索数字技术在城市绿色创新中的应用和发展模式。同时，还可以加强数字技术人才培养和科技创新，提高数字技术在城市绿色创新中的贡献度和创新能力，推动城市向数字化、智能化、绿色化的方向转型^[6]。

1.2 国内外文献综述

1.2.1 关于数字经济的界定

对于数字经济的定义，由于统计口径和角度差异较大，学者和机构之间目前尚未形成一个完全一致的看法。Tapscott（1996）最先提出了数字经济的概念，提出数字经济是指以信息产业和网络产业之间的溢出效应为基础，通过数字化技术来改变经济生产、分配、流通等方面的经济活动。数字技术的应用不仅带来了效率的提高和成本的降低，同时也推动了产业结构的升级和转型。在数字经济的早期阶段，电子商务和平台经济则成为了数字经济的代表。电子商务通过互联网实现了消费者与商家之间的直接交易，打破了传统零售业的地域限制和时间限制，同时也带来了更大的消费选择和更高的购物体验^[7]。Bukht 和 Heeks（2017）提出的数字经济概念是基于广义的角度，把数字经济分为以下三个部分：以数字技术为主要生产手段的数字产业部门，在互联网平台上运营的互联网经济主体企业，传统企业在数字化转型过程中采用数字技术改善生产和管理效率的数字化转型企业。这种定义突出了数字技术在经济发展中的重要性，并为数字经济研究提供了

新的视角和框架^[8]。

裴长洪等（2018）认为，数字经济的发展将对生产力水平产生重要影响，提高数据资产的价值将会成为数字经济的核心^[9]。Vial（2019）认为，数字经济是由数字基础设施、数字技术和数字平台三部分组成的。数字基础设施是数字经济的底层硬件设施，为数字经济的发展提供了基础支持。数字技术包括交易信息处理、数据分析和挖掘、数字化办公等技术，这些技术能够帮助企业和个人更高效地管理。数字平台则是数字经济中的重要组成部分，这些平台能够连接供需双方，提高市场效率和透明度，推动数字经济的增长^[10]。

以上学者们对数字经济的界定虽然从不同的视角出发，但是，总体上可以从以下几个方面对数字经济进行具体解释：首先，数字经济是以数字技术为驱动力的经济形态。其次，数字经济具有高度的数字化和网络化特征。数字经济的主要活动都围绕着数字信息展开，通过信息网络实现生产、流通、交换和消费等各个环节。由此也带来了许多便利和效率提升，如高速的信息传递、灵活的供应链管理和智能化的生产制造等。再次，数字经济是一个跨界的概念。数字技术的发展使得传统领域与数字领域之间的融合越来越紧密。

1.2.2 数字经济的测度与影响研究

在现代经济中，数字经济越来越成为促进经济增长和提升经济竞争力的重要力量。探索数字经济发展规模和水平的测算方法，准确客观地对数字经济发展状况做出评估，有利于推动我国数字经济发展进程。目前，常见的测度方式分为主观测度和客观测度。主观测度需要明确界定数字经济的经营范围、概念等，并依据所界定的概念，重点统计产业价值、从业人数、固定资产额等数据，从而对数字经济规模做出测算。这种方法优点明显，简单直观，节省人力物力，但也存在着一些问题，由于对数字经济的界定缺乏明确的标准，主观因素影响较大，测算结果往往不太客观。客观测度则是通过建立指标体系，从数字经济的各个方面来衡量不同地区数字经济的规模和贡献。这些指标包括数字经济的基础设施、人才、产业结构、产业链的完备度、数字经济对 GDP 增长的贡献等等。客观测度的优点在于建立了统一的标准，更加的公正客观，在处理不同区域数据对比时起到更好的效果。例如，OECD 组织建立了数字经济指标体系，以便于各国之间的数字经济比较和经验分享。但是，客观测度也存在一些问题。首先，建立指标体系并未完全排除主观因素的影响，指标的选择需要综合各种因素，因此存在一定的局限性。其次，建立的指标体系具有地域针对性，并不适用于全国所有的地区和行业，数字经济发展受到地域、经济状况的影响，适用于经济发展差异相近的地区。

数字经济发展水平的测度指标是数字经济发展研究的重要内容。早期的数字经济测度主要关注互联网使用和电子商务交易等领域，随着数字技术的发展和应

用的广泛，数字经济的测度指标也逐渐扩展和深化。国际上，一些组织和机构提出了数字经济发展的指标体系。例如，经合组织提出了智能基础设施、赋权社会、创新能力和数字经济促进经济增长和增加就业等四个指标^[11]。这些指标可以用来评估数字经济的发展水平和国家在数字经济领域的竞争力。其中，智能基础设施指标包括高速互联网接入、移动宽带、云计算等基础设施的覆盖和发展程度；赋权社会指标衡量数字经济对个人和社会的影响，包括数据保护、隐私保护、数字包容性等方面；创新能力指标衡量数字经济领域的创新能力，包括专利申请、研发投入、科技成果转化等方面；数字经济促进经济增长和增加就业指标衡量数字经济对经济增长和就业的贡献，包括数字经济产业规模、数字经济对就业的拉动等方面。

在学术界中，对数字经济发展水平进行测度的常用方法是熵值法。不过，不同学者在选取指标时可能存在差异，导致测度结果有所不同。一些学者主要选取数字经济基础设施方面的指标，例如互联网普及率、移动宽带用户占比等；还有一些学者则更注重数字经济产业的发展，选取指标包括数字经济占比、电子商务交易规模等。除此之外，一些学者也会考虑到数字经济对就业、创新、环境等方面的影响，选取相应的指标进行测度。

朱金鹤和孙红雪（2021）以及李治国等（2021）研究了各城市数字经济的发展水平，选取了互联网普及率以及互联网相关产出等多个指标进行测量^[12-13]。针对省级面板数据的指标选择，研究人员通常会采用一种更为全面的评价体系，以便更好地评估各省份数字经济的发展水平。以李晓钟（2021）等人的研究为例，他们选择了4个一级指标，分别是数字基础、应用能力、产业支撑和发展能力^[14]。

数字经济作为现代经济的一种新型形态，对经济社会的发展具有巨大的促进作用。其中，最为重要的是数字经济能够带来产业结构的调整与升级。传统产业在数字化进程中逐渐转型升级，新兴产业迅速崛起，这对于提高经济效益和社会效益都有着重要的意义。数字经济还可以提高全要素生产率：通过数字技术的应用，企业和政府可以更加高效地进行生产和管理，从而降低生产成本和提高生产效率，实现全要素生产率的提高。数字经济的发展需要优化经济结构，提高全要素生产率，促进创新能力和创新水平的提高。

在产业结构调整与升级方面，韩健等（2022）在其研究中探讨了数字经济对经济结构调整与升级的影响机制，研究表明，数字经济对产业结构转型升级具有积极影响，主要通过提高居民消费、激励城市创新研发来实现^[15]。此外，地方政府的干预行为对数字经济的作用也具有重要的调节作用。高京平等（2022）在其研究中探讨了数字经济对产业结构升级的影响机制。结果表明数字经济的发展可以加强各产业之间的协同作用，推动产业结构的升级和转型^[16]。肖娜和高晓鹏（2022）在其研究中实证考察了数字经济对产业转型的升级效应。结果表明，

数字经济发展具有多重效应，这些效应包括技术创新、商业模式创新、产业融合创新、需求侧结构创新以及增强企业竞争力等方面的支持^[17]。

在全要素生产率方面，朱喜安和马樱格（2022）阐述了数字经济与绿色全要素生产率之间的内在关系，指出数字经济的发展可以为实现绿色可持续发展提供新的动力和空间。通过对数字经济与绿色全要素生产率的影响机理进行深入分析，构建了数字经济发展对绿色全要素生产率的影响模型，进一步探讨了数字经济对绿色全要素生产率的直接和间接影响途径。研究表明，数字经济发展通过增加生产要素的有效利用率，以及实现资源的优化配置等途径实现的^[18]。蔡延泽等（2022）利用 2015—2019 年上市企业数据，发现数字经济的发展通过提高企业的技术创新水平和资源配置水平，间接推动企业全要素生产率的提升。此外，数字经济的影响还受到行业、企业产权属性以及所处地区的影响^[19]。

在创新能力与创新水平方面，主要集中在微观企业、城市创新等视角。李健等（2022）等在对 2011 年至 2019 年地级市数字经济发展水平进行测度的基础上得出的结论，数字经济对企业创新能力的提升具有显著的驱动作用。通过对中国上市公司微观数据的分析发现，数字经济能够帮助企业提升创新投入、创新产出以及创新水平三方面的整体水平。研究表明，数字经济不仅促进了经济的快速发展，而且为企业提供了更多的创新机会和创新资源^[20]。白俊红等（2022）实证探究数字经济发展是否能够通过知识溢出效应来促进区域创新水平的提升。结果表明数字经济的发展可以促进相关领域的技术创新和知识产出，进而提高区域创新水平。这项研究揭示了数字经济在推动区域创新方面的积极作用，并为政策制定者提供了重要的参考^[21]。

1.2.3 关于城市绿色创新水平的界定

绿色创新是指在保护和改善环境的前提下，通过创新和技术进步，推动经济和社会的可持续发展。绿色创新不仅关注技术创新的效率和经济效益，更注重环境友好、资源节约和社会公正等方面的问题。学术界对绿色创新的概念界定存在一定的差异，但大多数学者认为绿色创新是在保护和改善环境的前提下，通过技术和制度创新实现经济和社会的可持续发展。

Fussler 和 James（1996）首次在《驱动绿色创新》中提出了绿色创新^[22]。在此之后，许多学者对绿色创新进行了不同角度和层面的理解和研究。Rennings（2000）认为，绿色创新是以解决环境问题为目标，从而产生新的管理体系、服务、产品和思想的创新。这一定义强调了绿色创新的环境导向性，即其旨在寻求可持续的环境解决方案，并通过创新手段来实现这一目标^[23]。Tseng 等（2013）和 Cuerva 等（2014）认为，绿色创新具有公共性和普遍性，因为它直接应对可持续发展、经济与生态环境联动等重要的公共问题。由于绿色创新的多样性和广泛

性，它在不同的学科领域中具有不同的理解和定义^[24-25]。因此，这些学者提出了多角度的绿色创新定义，强调了其环境、社会和经济的多方面影响和价值。

总的来说，学术界对绿色创新的概念界定基本相似，即在可持续发展的背景下，通过技术等方面的创新，实现环境保护和经济可持续发展。绿色创新是以环保为导向的新型创新形态，其目标是实现资源高效利用、环境友好和经济可持续发展的协同发展。

1.2.4 城市绿色创新水平的影响因素研究

绿色创新水平是近年来备受关注的研究领域，它不仅对于环保事业具有重要意义，还可以促进经济可持续发展和提高企业竞争力。现有的相关研究主要围绕着宏观环境、产业结构和技术创新等方面进行探讨。从宏观环境来看，地区经济发展水平是影响绿色创新水平的重要因素之一。一般而言，经济发达地区的政府和企业环保投入和绿色技术应用方面更加积极，相比落后地区有着更好的优势条件。此外，政府补贴也是绿色创新的重要推动力量之一。政府通过给予企业各种形式的补贴激励，可以有效地推动绿色技术的研发和应用，从而提高绿色创新水平。同时，环境规制也是影响绿色创新的重要因素。严格的环保法规和标准可以促使企业更积极地寻求环保技术和创新解决方案。

除了宏观环境因素之外，产业结构也是影响绿色创新的重要因素。一方面，绿色技术和环保产业在经济结构调整中越来越受到重视，这为企业提供了更多的机会和动力来开展绿色创新。另一方面，不同行业之间的差异性也会导致绿色创新水平存在差异。一些资源密集型行业，如钢铁、电力等，在绿色创新方面相对滞后，需要政府加大引导力度。此外，技术创新也是影响绿色创新的关键因素。绿色创新需要跨越许多领域，其中包括环境科学、化工、材料科学、机械制造等。技术的发展和應用可以推动绿色创新取得更好的成果，例如智能制造、互联网+等新技术的应用，可以提高绿色创新的效率和水平。在宏观环境方面，高光阔和王艺群（2018）的研究结果显示，经济发展水平、创新环境以及国际化水平都能够促进绿色创新水平的提升。这些因素的提髙将有助于推动环境友好型产业的发展，并促进经济可持续发展^[26]。

在产业结构方面，绿色创新水平的影响因素主要涉及到产业转型升级、产业集聚等方面。聂秀华等人（2021）通过实证检验发现，数字金融作为新兴产业可以促进绿色创新水平的提升。另外，产业集聚也是促进绿色创新的重要因素之一。相较于单一的企业，聚集在同一地区的产业具备更好的技术沟通和共享资源的机会，更容易形成良好的创新氛围和产业环境^[27]。田贵贤等人（2021）基于城市层面数据研究发现，制造业产业空间集聚能够显著提高绿色创新水平，即在同一地区的制造业企业之间形成紧密的合作与互动可以促进创新成果的取得^[28]。

从技术创新来看,现有学者主要通过创新能力、人才聚集、创新水平等视角开展研究。李平瑞(2022)运用多种计量模型进行实证,证实了数字经济通过提升科技创新水平促进省域绿色发展的假设。数字经济发展可以促进相关领域的科学技术创新和绿色技术的应用,并从而提高绿色发展水平。同时,数字经济对于绿色发展的促进作用呈现出阈值特征,在一定范围内提高数字经济发展水平可以显著促进绿色发展,但超过一定阈值后数字经济的发展反而可能会对绿色发展造成负面影响^[29]。

1.2.5 数字经济对城市绿色创新水平的影响研究

虽然尚缺乏直接证据表明数字经济对绿色创新水平的影响,但数字经济对创新水平、产业发展的积极驱动作用已经被广泛研究和证实。这些研究结果为进一步探讨数字经济对绿色创新水平的影响提供了研究思路。

从创新的角度看,数字经济对于绿色创新的促进主要体现在提高创新能力方面。企业在数字经济的推动下,可以更好地利用数据和信息资源,从而推动产品和服务的更新和升级,有利于企业提高创新能力,从而引发城市绿色创新发展的虹吸效应。韦施威等人(2022)的研究发现了数字经济、区域产业结构、金融服务和企业创新产出之间的密切联系。数字经济发展可以帮助优化区域产业结构,促进传统产业向高附加值的新兴产业转型,同时也可以提高金融服务水平,促进金融服务的创新和普及化^[30]。彭硕毅(2022)研究表明数字经济的发展可以提高不同创新主体之间的协同创新程度,从而提高企业的创新数量和质量。这也意味着,数字经济的发展可以为企业提供更多的技术创新机会,从而增强其竞争力^[31]。马永红等(2022)研究表明,数字经济的发展可以为企业提供更好的产学研合作机会,从而加速高技术领域的创新发展^[32]。

从产业的角度来看,数字经济可以通过推动绿色低碳产业的创新,促进绿色技术的应用和推广,实现绿色产业的发展。数字经济还可以通过优化资源配置,为绿色低碳产业发展带来更好的发展环境。王洪庆等(2022)的研究表明高新技术产业的集聚可以带来更加密集的技术沟通和资源共享机会,加强企业之间的互动和协同,形成良好的创新氛围和产业环境,从而有效提高绿色创新水平^[33]。朱冬旦等人(2022)通过对中国制造业各行业的面板数据的测算,验证出环境规制和产业集聚的加强不仅能够促进经济的发展,还可以提升制造业的绿色创新水平,推进经济可持续发展^[34]。吴遵杰等(2021)研究表明,环境规制、工业企业规模和政府支持力度等因素的加强可以打破制约工业集聚对城市绿色创新水平提升的门槛效应,并进一步促进城市的绿色创新发展^[35]。

从环境的角度来看,数字经济发展对绿色创新水平的影响主要体现在环境规制与节能减排两个方面。张彦博和寇坡(2018)认为数字经济的发展也为节能减排

排等绿色技术的应用提供了更好的支持。数字经济的发展可以促进绿色技术的应用,从而实现产业结构转型升级、降低能耗和减少碳排放等目标。数字媒体宣传在当今社会中扮演着越来越重要的角色,不仅是一种传播信息的方式,同时也是推动社会进步和改善环境的有力工具^[36]。董直庆和王辉(2021)的研究表明,绿色产品偏好在一定程度上促进了企业数字化转型,减少了污染排放,进一步提升了企业的形象和市场竞争力。数字经济相关的应用可以通过提高能源利用效率、减少能源消耗、改善能源结构等多种方式,来实现能源消费结构调整,进而减少污染排放^[37]。数字经济在生产过程中的作用与环境保护息息相关。通过数字化技术的运用,企业可以实现对能源的精细化管理,从而实现经济效益与环境保护的双赢^[38]。数字经济的具有环境保护特性,其发展可以推动其他产业的数字化转型,进而降低污染排放^[39]。

1.2.6 相关研究述评

根据对现有文献的综述研究,可以得知,尽管当前有许多研究已经对数字经济和城市绿色创新方面的内容进行了广泛的探讨,并且做了大量的理论探索和实证验证工作,极大地丰富了数字经济和城市绿色创新的研究,但是仍存在一些不足,还需要进一步扩大研究的深度。

首先,对数字经济与绿色创新水平研究视角较为单一,并未深入将其统一到同一框架内研究,对于数字经济发展程度的测算指标不够全面,难以真实描述我国区域数字经济发展水平。数字经济涉及的领域广泛,包括数字化治理和数字文化等多个方面,现有的指标体系比较单一,并未涵盖数字经济所有的方面。数字经济的测算指标体系往往是从国家和省域层面出发,衡量的的是一个地区数字经济的总体发展水平和潜力。然而,这种指标体系的不足之处是没有从城市视角进行测算,忽略了城市在数字经济中的作用和重要性。城市作为经济社会发展的主要载体,数字经济发展在城市中具有明显的特点和优势。数字经济发展水平的测算指标体系需要从城市视角进行拓展和完善,充分考虑城市在数字经济中的作用和重要性。在数字经济发展评估中,需要更加关注城市的数字基础设施建设、创新能力和绿色发展能力等方面,以更加全面和准确地评估城市数字经济的发展水平和潜力。

其次,对于绿色创新水平的影响因素,当前文献关于影响途径和作用机制研究较少。另外,当前的研究主要关注单一影响因素,缺乏对影响因素之间相互作用和复杂性的研究。事实上,城市绿色创新水平的提高是一个复杂的系统工程,涉及到多个因素的交互作用。此外,对于不同城市的绿色创新水平影响因素的研究还比较有限,目前大多数研究是在单一城市或少数城市中开展的,缺乏跨城市、跨地区的比较研究。因此,需要开展更多的跨城市和跨地区的研究,以更全面地

了解城市绿色创新水平的影响因素。

1.3 研究思路与主要内容

1.3.1 研究思路

在分析了数字经济对城市绿色创新水平的影响机制，对数字经济发展水平进行测算，并对城市绿色创新的发展现状进行分析，实证检验了数字经济对城市绿色创新水平直接影响和间接影响，研究思路如下图 1.1 所示。

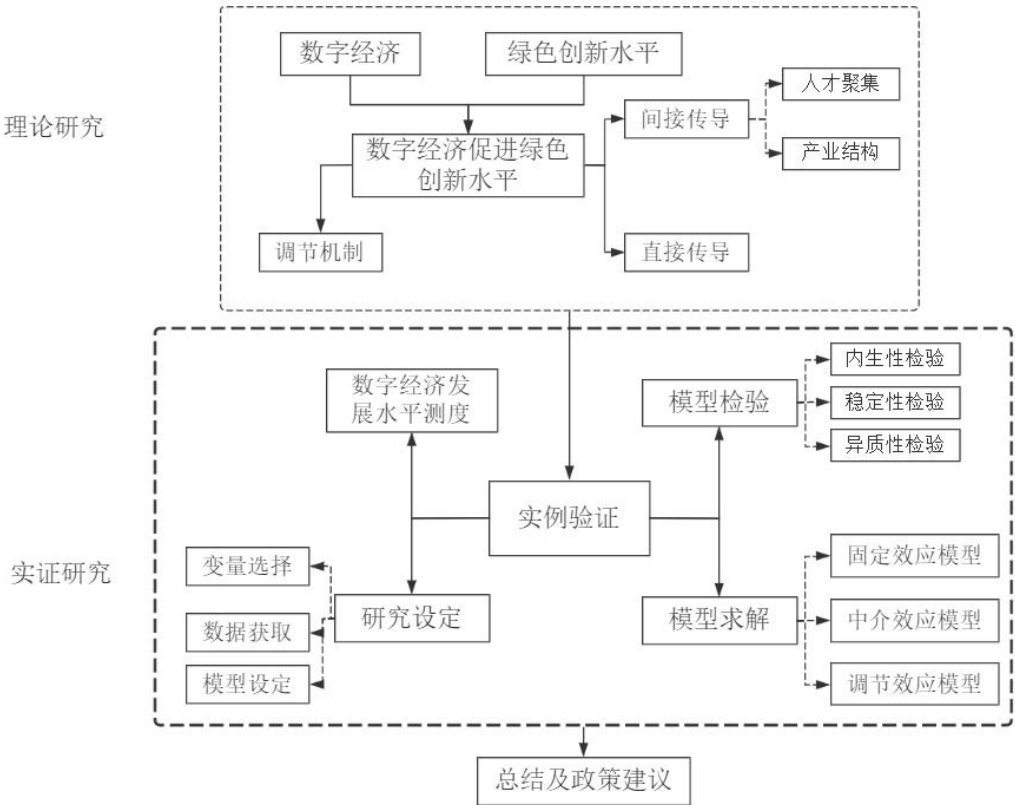


图 1.1 研究思路图

1.3.2 主要内容

本文主要是在明确数字经济和城市绿色创新的内涵之后，构建了一个多维度数字经济指标体系。并运用熵权 TOPSIS 方法对其进行测算，并对数字经济城市群体的时空演化特征进行分析。探究数字经济影响城市绿色创新水平的理论作用机制，构建直接和间接的双系统传导机制，运用固定效应模型、溢出效应模型等，结合 2011-2020 年中国 223 个地级市的数字经济发展和绿色创新水平数据，深入剖析数字经济对城市绿色创新的影响机制，并进一步探究了，数字经济对不同等级城市绿色创新水平的影响作用的异质性，丰富了数字经济领域的研究内容^[5]。

主要内容如下所示：

第1章为本文绪论。主要介绍了研究背景和研究意义，文献综述等，并对论文的创新点进行适当分析。从数字经济、城市绿色创新水平、数字经济对城市绿色创新水平三个方面对已有文献进行梳理，首先梳理了数字经济相关研究现状的界定和已有测度方法和指标，其次对绿色创新水平概念、界定和测度方法进行了整理。最后对数字经济对绿色创新水平的影响研究进行综述，最后对上述三方面进行评述和小结。

第2章为数字经济与绿色创新水平的相关理论。首先对绿色创新水平进行概念界定，并分别从产业结构、人才聚集两个视角来分析数字经济对城市绿色创新水平的直接和间接影响机理，为后续实证提供基础和思路。

第3章为数字经济发展水平测度。构建了一个三层指标体系。针对指标体系中各个指标之间的相互依存关系及其重要性，采用熵权TOPSIS法进行权重的确定和指标排序。通过计算每个指标的信息熵和权重，得出最终权重向量，最终得到数字经济发展水平的综合评价结果。并对我国不同层次城市群体的数字发展水平进行了时空演化特征分析。

第4章为数字经济影响城市绿色创新水平的影响实证研究。主要分为研究设定阶段和实证求解阶段。在研究设定阶段，描述了数据来源和特征、变量选择与设定，以及基本模型和扩展性模型设定。基于本文的研究目的和研究意义，确定了研究使用的样本，并对样本进行了详细说明，基本处理和筛选，确定了因变量、自变量和控制变量、中介变量等，并进行了基本的统计分析和描述性分析。在实证求解阶段，对数字经济影响城市绿色创新水平的固定效应模型等进行求解，并进行稳健性、内生性分析。除此之外，针对不同层次城市群进行了异质性分析，探究经济发展程度对城市绿色创新水平的影响程度。

第5章为政策建议。基于前面章节的分析结果，以及产业结构、人才聚集视角下数字经济对绿色创新水平间接提升路径的实证研究结果，从数字产业化和产业数字化的视角对城市群提出了政策建议。

最后的结论部分对本文的主要结论进行了总结，并对研究内容进行了展望。

1.4 本文的创新之处

根据对已有文献的梳理，本文发现数字经济对城市绿色创新水平的文献中存在一定的不足。一是研究视角较为单一，缺乏从区域数字经济上层面对城市绿色创新水平之间的关系，因此对数字经济影响城市绿色创新水平效应研究上有待加强。二是数字经济衡量指标体系的不全面，构建的指标体系视角单一、不够完善，不能全面反映区域数字经济发展水平，无法准确描述区域城市群数字经济发展的时空演化特征。因此，本文的主要创新点如下：

其一是研究内容上的创新。以往研究大多缺乏全面性及客观性，且研究视角

主要集中在宽带基础和电信用户数等产业数字化层面；对于数字经济对城市绿色创新水平的影响机制中，较多考虑直接影响，很少对其间接影响机制进行中介效应和调节效应分析。因此，本文对数字经济的界定有了更多的探索，构建不同视角下的多维度测度体系，确保测度体系的客观性和全面性。本文不仅研究了数字经济对城市绿色创新水平的直接影响机制，还从不同视角研究了间接传导机制。

其二是研究视角上的创新。与传统的测度方法不同的是，本文从数字化视角出发，针对各城市群的实际情况，对其数字经济发展水平进行了深入测量。本文采用了多个指标进行测度，这一方法不仅能够全面反映城市群数字产业化发展水平，而且还能为相关部门提供可行的政策建议，丰富了数字经济测度理论。对于数字经济与城市绿色创新水平的影响研究，还从人才聚集、产业结构两大视角构建了间接影响机制原理。

其三是研究方法上的创新。以往的研究大多采用单一固定效应模型，没有对模型的后续研究进行探讨。因此，本文采用多组合模型进行全面的研究：固定效应模型检验数字经济对绿色创新水平的直接影响机制、中介效应模型检验数字经济对绿色创新水平的间接影响机制。并对上述所有模型进行了扩展性研究，包括城市异质性研究、稳健性和内生性检验等。

第 2 章 数字经济影响城市绿色创新水平的机理分析

2.1 相关概念界定

本文对于数字经济的界定，主要是依据数字经济中最核心的部分，即数字产业化，体现了以数字技术为代表的高精尖技术发展。数字技术的引入使得传统的产业结构与关联发生了变动，数字经济产业架构进行了重组。目前，关于数字产业的范畴并未明确，有研究将其定义为与数字化有关的一些技术与产业的关联和融合。这种定义偏向于生产数字化相关的产品，且未指明数字产业目录。构建数字产业整体框架^[40]，如表 2.1 所示。

表 2.1 数字产业整体框架

类别		大类	名称
数字经济核 心产业	数字产业化	01	数字产品制造业
		02	数字产品服务
		03	数字技术应用业
		04	数字要素驱动业
	产业数字化	05	数字化效率提升业

本文参考刘保留（2022）对于绿色创新水平的界定，城市绿色创新是指在城市建设、发展和管理中，通过引入新的环保技术、创新管理模式、推动产业升级等多方面的创新，以实现城市可持续发展和环境保护的一种发展模式^[41]。从绿色技术创新和产业发展创新两方面界定城市绿色创新水平，绿色技术创新是城市绿色创新的重要组成部分。绿色技术是指那些能够在减少环境影响的同时提高生产效率和资源利用效率的技术。城市绿色创新需要通过引进新的环保技术，如可再生能源技术、节能技术、清洁生产技术等，来提高城市的能源效率、降低排放和污染物的产生，以实现可持续发展。城市绿色创新需要通过发展绿色经济、节能环保产业、循环经济等创新产业，以实现城市经济、环境和社会的可持续发展。这需要城市政府引导和支持企业和产业的转型升级，推动绿色产业链和绿色供应链的形成^[42]。

2.2 数字经济对城市绿色创新水平的直接影响

进入十四五规划以来，数字经济与产业发展、生态环境改善加速交融，不断为绿色创新发展提供动能，而且涌现出一批新业态和新模式，为城市创新产业体系的形成奠定坚实基础。一方面，以产业数字化为主线。数字经济对城市绿色创

新水平的直接影响主要表现在以下几个方面。首先，数字经济可以促进城市绿色生产方式的转型升级。随着数字技术的广泛应用，传统的生产过程正在发生变革，数字化、智能化和自动化的生产模式逐渐得到推广和普及，这不仅提高了生产效率和质量，而且也为绿色生产打下了基础。其次，数字经济通过数字技术的应用实现了生产过程中的节能、环保等目标，数字经济为城市绿色供应链管理提供了更多的数据支持和信息交流平台，使得各环节之间的信息流动更加顺畅、精确。数字经济为绿色技术创新提供了可靠的数据支持和信息交流平台，使得绿色技术的应用更加普及化、精准化和高效化。另一方面，以数字产业化为主线。数字经济以信息技术创新作为驱动力，衍生出多种生态模式，与传统产业和实体经济不断交融发展，这个过程加速了高科技人才聚集和科技资源的高效配置。有利于知识的共享和集聚，可以为城市绿色转型提供支持和动力^[43]。

数字经济在技术创新、信息处理和分析等方面具有显著优势，可以为城市绿色创新提供技术支持和服务，促进城市绿色创新的技术创新。在城市交通领域，技术创新可以应用在交通流量监测、智能交通等方面，提高交通运行效率和降低能耗和排放，促进城市交通的绿色化和可持续发展。数字经济的发展可以促进绿色产业的发展，为城市绿色创新提供了支撑和保障。数字经济可以为绿色产业提供技术和服 务，提高绿色产业的竞争力和发展速度，推动城市经济的转型和升级。推动城市绿色创新的管理模式创新，提高城市绿色创新的管理水平和效率。数字技术可以应用在城市管理中，提高城市管理的智能化和精细化程度，推动城市管理模式的创新。基于此，本文提出研究假设 1：

假设 1：数字经济有利于提高城市绿色创新水平。

2.3 数字经济对城市绿色创新水平的间接影响

2.3.1 数字经济通过产业结构影响城市绿色创新水平

数字经济一方面可以加速产业体系之间的融合发展，另一方面通过数字化产业构建新兴产业结构体系。数字经济通过数字化技术促进了移动互联网通信等基础设施建设，加速数字产业发展。提升传统行业竞争力、促进产业结构调整，产业发展转型升级，大力发展第三产业等来促进城市绿色创新水平，从而促进绿色经济增长。数字经济的发展可以促进传统产业向数字化转型。随着数字经济的发展，传统产业在生产、管理、营销等方面都可以应用数字技术，提高效率、降低成本、提高竞争力。例如，传统制造业可以应用物联网和大数据技术，实现生产线的智能化管理和优化；传统零售业可以应用互联网和移动支付技术。

一方面，数字经济通过对传统产业自身生产要素和资源的再分配，优化部门生产系统和组织结构，转变生产理念，重构生产流程与规则，通过实时监测和控

制,提高资源利用效率和环境保护效益。另一方面,数字经济的渗透可以加速传统产业与高科技产业的融合,从而推动城市绿色转型。数字经济的快速发展使得传统产业不断改造升级,采用更先进的数字技术来提高效率、减少污染。数字技术的应用可以帮助绿色创新的开发和推广,提高绿色产业的竞争力。传统企业也可以通过数字化转型来实现清洁生产和可持续发展,从而推动城市绿色转型^[44]。

随着数字经济的快速发展,城市经济的产业结构不断调整和优化,由传统的第一、二产业向现代服务业和高技术产业转型升级。这种变化不仅带来了新的经济增长点,同时也为推动城市绿色转型提供了机遇。现代服务业和高技术产业具有较强的绿色发展潜力和创新能力,这些产业在生产、管理和服务过程中注重环境保护和资源节约,逐步成为城市绿色转型的重要支撑。现代服务业和高技术产业的升级和发展,将带来新的技术、理念和模式。随着城市绿色转型和可持续发展的逐步深入,城市对于环保和可持续发展的重视程度也不断提高。而产业结构的升级和调整将使得城市的经济、政治和文化生态变得更加符合绿色低碳的要求,进而为城市绿色政策的实施和推广提供更好的支撑和基础。基于以上分析,本研究提出研究假设 2:

假设 2: 数字经济通过促进产业结构调整促进城市绿色创新水平提升。

2.3.2 数字经济通过人才聚集影响城市绿色创新水平

人才是促进城市创新活力的第一推动力,数字经济时代的到来,促进了高科技人才的培养,提升了人才的科研素养和数字素养,有利于人才在城市发展过程中更大的发挥自身主观能动性和创造性。与城市创新环境、高科技设备、绿色素养相辅相成,共同影响了城市绿色转型速度。人才是城市发展的重要推动力量,而城市绿色创新作为一种新兴的发展模式,也需要人才的支持和推动。因此,人才聚集对城市绿色创新水平的影响不容忽视。

一方面,人才的聚集可以为城市绿色创新提供重要的智力支持。人才具有丰富的知识和经验,可以为城市绿色创新提供有力的支持。在绿色技术研发、环保设施建设等方面,人才的聚集可以加速绿色创新的进程,提高绿色创新的水平。同时,人才还可以为绿色创新提供创新思路和灵感,推动绿色创新的不断升级和发展。另一方面,人才的聚集也可以促进城市绿色创新的资源配置和利用。人才的聚集可以促进城市绿色创新的资源整合和优化配置,使城市能够更好地利用资源进行绿色创新。在绿色能源、生态建设、环保管理等方面,人才的聚集可以为城市提供有力的资源支持,促进城市绿色创新的不断发展。高素质人才的聚集,加速区域创新水平发展,扩大城市创新周边辐射范围。人才的聚集程度,将直接影响城市的发展水平和转型程度,越是高素质人才聚集区域,越能快速统筹资源和数字要素,进行实地实践,加速传统产业向绿色环保低碳方向发展^[45]。基于以

上分析，本研究提出研究假设 3：

假设 3：数字经济通过促进人才聚集提升城市绿色创新水平。

2.4 数字经济对城市绿色创新水平的调节效应

叶剑等（2021）研究显示^[46]，环境规制强度与绿色全要素生产率呈“倒 U 型”关系，这意味着适度的环境规制可以促进绿色技术创新，但过度的环境规制可能会抑制绿色技术创新。这表明，合理的环境规制可以为企业必要的压力和动力，促使其加强绿色创新，而过度的环境规制则可能会使企业陷入过度的符合性成本和负担，进而削弱其绿色创新能力。数字经济发展与环境规制的相互结合可以更好地发挥数字经济对绿色创新水平的促进效应。数字经济的快速发展为绿色创新提供了新的机遇和平台，而环境规制则对数字经济发展提供了必要的引导和约束。同时，数字经济的发展也加强了环境治理的力度，例如通过数字监测和追溯技术来强化环境监管和执法。

在数字产业发展初期，产业促进和辐射基础薄弱，此时，较低的环境规制强度可以推动城市群体中企业绿色技术的创新。较低的环境规制强度意味着企业所承担的环境成本相对较低，使得企业更愿意尝试采用新的、更加环保的技术来提高生产效率和盈利能力。同时，环保技术和产品的研发投入也会得到企业更多的支持，因为在较低的环境规制下，环保技术和产品的市场需求相对较低，企业在研发投入方面承担的风险较小。在数字经济发展成熟期，数字化赋能产业转型升级，城市产业群体结构发生改变，逐步转型成为智能化、绿色化城市。在这一阶段，制定高强度的环境规制可以规范行业发展，形成健康稳定的市场，提升企业之间的竞争力。然而，在数字经济的推动下，一些新兴产业快速崛起，对人力资源和自然资源的需求量也随之增加，这可能导致相关生产要素的价格上涨。如果企业要使用这些生产要素，就需要支付更高的成本，包括环境治理成本^[47]。基于此，本文提出以下研究假设 4：

假设 4：数字经济对城市绿色创新水平的影响存在调节效应。

第 3 章 数字经济发展水平测度及时空演化特征分析

3.1 数字经济发展水平测度指标

目前，学术界对于城市层面的数字经济发展水平的测度，主要从产业层面进行测度，张玉玲（2022）构建了产业指标体系，包括数字经济应用水平以及数字经济发展潜力、数字经济基础设施水平，包括宽带网络接入、信息化软硬件设施等方面。数字经济应用水平，包括电子商务、在线支付、智能制造等方面^[48]。黄敦平提出了数字经济基础、应用和产业变革三个维度，构建了产业层面的综合评价指标体系^[49]，侧重于数字经济在各个产业的应用程度和成效。

表 3.1 我国数字经济发展综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标说明	字符
数字经济发展水平	数字产业化	数字经济产业人员	信息传输、计算机服务和软件业从业人员数	P1
			国际互联网用户数	P2
		互联网普及率	每百人互联网宽带接入用户数	P3
		数字经济产业收益	人均电信业务总量	P4
	产业数字化	移动互联网用户数	每百人移动电话数	P5
		数字金融发展状况	数字普惠金融指数	P6

数字经济是以数字技术为核心驱动的经济形态，其产业范围涵盖了多个领域，包括数字化基础设施、数字化应用和数字化经济体系等。本文衡量数字产业化规模准则层选取了移动互联网用户数、互联网普及率、数字经济产业收益、数字经济产业人员四个指标层。本文参考赵涛（2020）等人^[50]的方法，选用了数字普惠金融指数^[51]来衡量产业数字化水平。该指数侧重于数字金融服务在不同地区、不同行业以及不同人群中的普及程度和使用率，以及数字金融服务的普及程度和覆盖面，包括数字金融服务对于贫困人群、中小企业和农村地区的覆盖程度。

通过该指数，可以反映出数字经济产业数字化水平的高低。综上所述，本文构建的指标体系如上表 3.1 所示。

3.2 数字经济发展水平的测度

目前，大多数学者在进行测度时，采用主成分分析法和专家评分法等方法对各指标进行赋权，最终得到数字经济发展水平。主成分分析法在使用过程中要求

各评估指标之间的相关性较大，且在降维过程中还是会损失部分信息。专家评分法实际上是一种主观赋权法，与所选取的专家的个人偏好息息相关，专家的偏好性将影响指标的权重，因此由此计算出的数字经济发展水平缺少客观性。

熵值法常常用于确定指标的权重，以确保各指标对于结果的影响力得到合理的衡量。相比传统的主观赋权方法，熵值法能够更加客观地确定权重，从而为多目标决策提供更有力的支持。而 TOPSIS 模型则基于正负理想解的概念，将所有待评估对象的指标值与其对应的正负理想解之间的距离计算出来，再根据距离的大小确定各个评价对象的优劣程度。具体地说，首先需要确定正负理想解，即最佳和最差的表现情况，然后计算每个评价对象与正负理想解之间的距离，最终根据距离的大小确定评价对象的优劣程度。

熵权 TOPSIS 模型构建步骤^[52]：

第一步：构建标准化评价矩阵 V

$$V = \begin{Bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{Bmatrix}$$

上式中， V 为原始评价矩阵，对指标进行标准化处理，见式（3.1）为：

$$\text{正向指标: } y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} (1 \leq i \leq m) \quad (3.1)$$

$$\text{逆向指标: } y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} (1 \leq i \leq m)$$

式中， y_{ij} 为指标的标准值， x_{ij} 为指标的初始值， $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ 为指标的最大值、最小值。平移数据得到 R_{ij} ，见式（3.2）：

$$R_{ij} = Y_{ij} + \alpha \quad (3.2)$$

得到归一化后的标准化矩阵 R ：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & r_{mn} \end{bmatrix}$$

第二步：计算基于熵权法确定不同评价指标的权重

见式（3.3），各指标的信息熵 e_j ：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (3.3)$$

式中, $0 \leq e_j \leq 1$; $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$, 若 $p_{ij} = 0$, 令 $e_j = 0$ 。

见式 (3.4), 各指标的权重 w_j :

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} (1 \leq j \leq n) \quad (3.4)$$

第三步: 构建评价矩阵 Z

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} \cdot w_1 & r_{12} \cdot w_2 & \dots & r_{1n} \cdot w_n \\ r_{21} \cdot w_1 & r_{22} \cdot w_2 & \dots & r_{2n} \cdot w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} \cdot w_1 & r_{m2} \cdot w_2 & \dots & r_{mn} \cdot w_n \end{bmatrix}$$

正理想解之间的距离 $D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_i^+ - z_{ij})^2}$; 负理想解之间的距离 $D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_i^- - z_{ij})^2}$, 其中 z_i^+ 为评价指标在 j 年的最大值, z_i^- 为评价指标在 j 年的最小值。

第四步: 计算综合得分

通过使用 TOPSIS 法, 可以计算出每个评价对象与正负理想解之间的距离, 并根据距离的大小确定各个评价对象的优劣程度。而总体得分 C_j 则是根据每一年数据与正负最优解之间的距离计算得到的, 见式 (3.5):

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (3.5)$$

根据上述熵权 TOPSIS 理论, 计算得到熵权 w_j , 如下表 3.2 所示。

为了更好的对不同区域和经济发展水平城市的数字经济发展情况进行对比, 本文选取五类城市各 4 个进行对比展示, 计算正负理想解后的综合得分情况如表 3.3 所示。根据下表结果可知, 2011-2020 年期间, 各大城市的数字经济发展水平都得到了提升, 且经济发展水平越高的城市, 其数字经济发展水平越高, 东部城市相比于西部城市的数字经济发展水平也越高。

表 3.2 指标熵权

年份	P1	P2	P3	P4	P5	P6
2011	0.4324	0.2368	0.1136	0.1277	0.0753	0.0142
2012	0.4783	0.1849	0.1018	0.1491	0.0798	0.0060
2013	0.5411	0.1692	0.0943	0.1221	0.0695	0.0038
2014	0.4980	0.1829	0.1001	0.1472	0.0690	0.0027
2015	0.5305	0.1693	0.0928	0.1432	0.0622	0.0020
2016	0.5724	0.1414	0.0727	0.1571	0.0549	0.0015
2017	0.6147	0.1327	0.0612	0.1381	0.0520	0.0013
2018	0.6240	0.1231	0.0483	0.1560	0.0471	0.0015
2019	0.5864	0.1085	0.0384	0.2289	0.0363	0.0014
2020	0.6055	0.1071	0.0412	0.2134	0.0313	0.0014

表 3.3 数字经济发展水平综合得分

城市属性	城市	2011	2013	2015	2017	2019	2020
一线城市	北京	0.1156	0.1656	0.1919	0.1997	0.2065	0.3218
	上海	0.0887	0.1431	0.0882	0.0880	0.1100	0.1058
	广州	0.0846	0.0459	0.0364	0.0500	0.0622	0.0685
	深圳	0.0552	0.0573	0.0595	0.0830	0.0962	0.0954
二线城市	哈尔滨市	0.0636	0.0322	0.0132	0.0144	0.0152	0.0135
	惠州市	0.0059	0.0081	0.0078	0.0067	0.0060	0.0162
	杭州市	0.0345	0.0382	0.0481	0.0498	0.0675	0.0536
	西安市	0.0041	0.0478	0.0032	0.0279	0.0303	0.0528
三线城市	大庆市	0.0115	0.0049	0.0046	0.0033	0.0030	0.0031
	汕头市	0.0126	0.0058	0.0050	0.0041	0.0038	0.0035
	宝鸡市	0.0060	0.0030	0.0033	0.0025	0.0026	0.0026
	绵阳市	0.0039	0.0036	0.0039	0.0047	0.0045	0.0074
四线城市	齐齐哈尔	0.0026	0.0021	0.0033	0.0034	0.0041	0.0073
	北海市	0.0023	0.0026	0.0065	0.0033	0.0030	0.0070
	榆林市	0.0032	0.0027	0.0019	0.0026	0.0064	0.0071
	遂宁市	0.0019	0.0015	0.0019	0.0023	0.0025	0.0036

3.3 数字经济发展水平的时空特征分析

3.3.1 数字经济发展水平时序演化特征

2011-2015 年期间，中国数字经济正处于初步崛起的阶段，主要以电子商务

为主导，电商平台的快速崛起和互联网的普及推动了数字经济的快速发展。在 2016 年至 2018 年期间，中国数字经济发展呈现出了快速增长的态势，数字经济规模年均增长率为 27.7%。在 2019 年至 2020 年期间，中国数字经济发展保持了快速增长的态势，数字经济规模年均增长率为 18.9%。与此同时，政府加强了数字经济的治理和监管，推动数字经济向高质量发展，加快数字产业创新和转型升级，加强数字化人才培养和数字基础设施建设等方面的投入，促进数字经济发展与现代化建设的深度融合。

将全国地级市划分为东部、中部等四个地区^[53]，如下表 3.4 所示。由于篇幅限制，本文绘制了全国及四大片区 2011、2014、2017、2020 年的数字经济水平发展态势图^[54]，如下图 3.1-图 3.5 所示。

表 3.4 区域划分

地区	包含省份或直辖市
东部地区	北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、 广东、海南
中部地区	山西、安徽、河南、湖北、湖南、江西
西部地区	内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘 肃、青海、宁夏、新疆、西藏
东北地区	辽宁、吉林、黑龙江

整体来看，2011-2020 年中国数字经济水平呈现增长趋势，其总体均值由 2011 年的 0.047 上升至 2020 年的 0.103，如下图 3.1 所示：核密度图呈现出整体曲线分布位置右移的趋势，也就是说，数字经济发展水平整体上呈现出了逐年提升的趋势。波峰高度逐渐降低，说明数字经济的增长速度已经放缓，或者增长率开始稳定，但尚未出现明显的下降趋势，中国的数字经济发展在过去几年中也取得了长足的进展，但增长速度也会随着时间的推移而放缓。这可能是导致核密度图波峰高度逐渐降低的原因。未出现明显的波谷也可能说明数字经济增长的稳定性和可持续性。数字经济是一个相对年轻的产业，市场和技术都在不断发展和变化。在这种情况下，数字经济增长速度的波动是很正常的现象。除此之外，核密度图还呈现出右拖尾现象，意味着数字经济发展在某些方面存在长尾效应。人工智能、大数据、云计算等高新技术都属于长尾效应因素。这些因素对数字经济的发展有着重要的推动作用，因此数字经济的发展呈现出右拖尾的趋势。

总体来说，中国各区域数字经济的发展都取得了不同程度的成就^[55-56]。

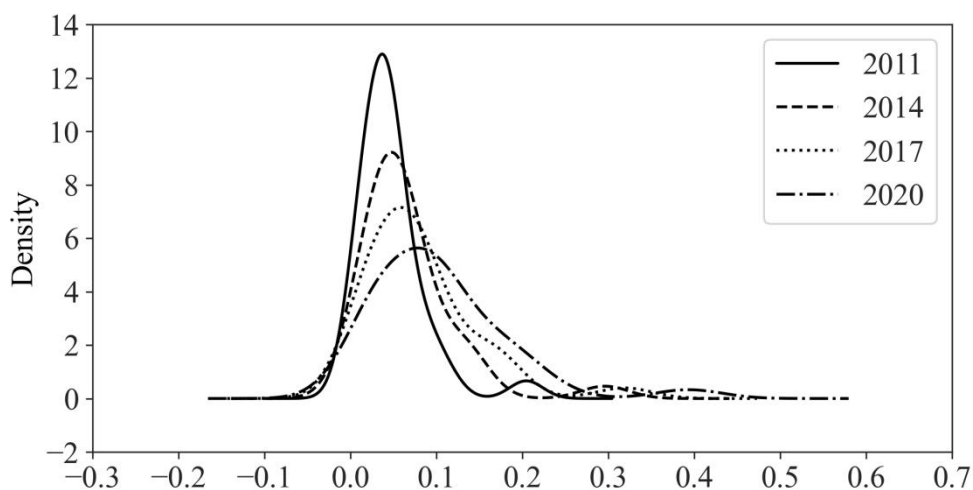


图 3.1 中国数字经济发展水平发展态势图

从地区来看，中国数字经济的发展水平呈现出东部地区、中部地区、东北地区、西部地区逐渐递减的格局。对于东部地区而言，如下图 3.2 所示，整体位置形态呈现右移趋势，且波峰逐渐下降，右移数值较全国数字经济态势图大，这说明东部地区整体数字经济水平较高，具有较好的地理位置和交通优势，这为数字经济的发展提供了很好的条件。拥有很多高校和研究机构，人才资源丰富，数字经济人才的培养和技术的研究都得到了充分的保障。此外，东部地区还拥有很多高科技企业，这些企业在数字经济领域具有很强的创新能力和市场竞争力。其中 2011 年存在两个波峰，随着时间变化，波峰逐渐削平直至消失，可能是在 2011 年，中国数字经济的整体发展水平可能还比较低，但是在某些领域或行业，数字经济已经得到了比较快速的发展，从而形成了两个明显的波峰，各个领域之间的数字经济发展差异逐渐缩小，整体发展态势呈现出趋于平稳的趋势，波峰逐渐削平。

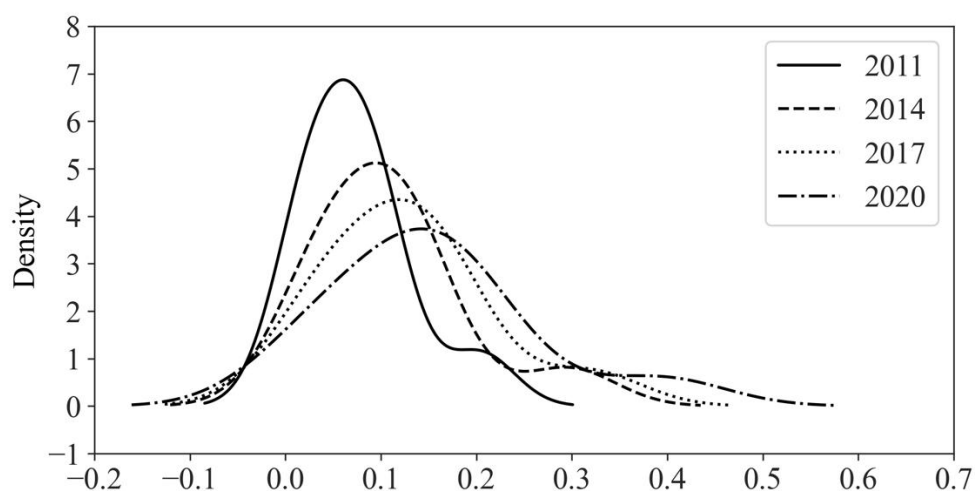


图 3.2 东部地区经济发展水平发展态势图

对于中部地区而言,如下图 3.3 所示,整体仍然呈现右移趋势,且右移速度逐渐加快,波峰呈现逐渐下降趋势,下降速度逐渐减小,其中 2011 年到 2014 年下降最快,右拖尾现象并不严重。这说明中部地区数字经济在整体上的发展水平逐年提升,在不同的行业和领域发展的速度和程度也有所不同,从而导致整个核密度图的分布呈现出一定的右偏态。波峰下降速度的减缓可能反映了数字经济发展进入了一个相对平稳的阶段。核密度图中不存在明显的右拖尾现象,这可能表明数字经济发展的速度和程度还没有达到其最大潜力。

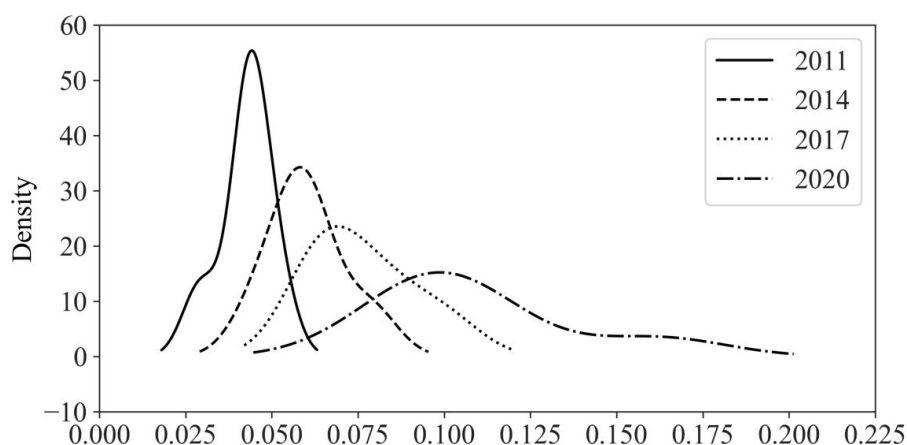


图 3.3 中部地区数字经济水平发展态势图

对于东北地区而言,如下图 3.3 所示,2011 年至 2014 年间存在左移趋势,2014 年至 2020 年间呈现右移趋势,且右移速度逐渐加快,这表明东北地区数字经济在过去的几年中呈现了不同的趋势。在 2011 年至 2014 年间,数字经济发展水平的分布动态核密度图左移,即数字经济的整体发展水平下降。然而,在 2014 年至 2020 年间,数字经济发展水平的分布动态核密度图呈现右移趋势,即数字经济的整体发展水平提高。波峰呈现逐渐下降趋势,下降速度逐渐减小,其中 2011 年到 2014 年下降最快,不存在右拖尾现象。这表明数字经济的增长速度正在逐渐放缓,但数字经济总体水平仍在提高。

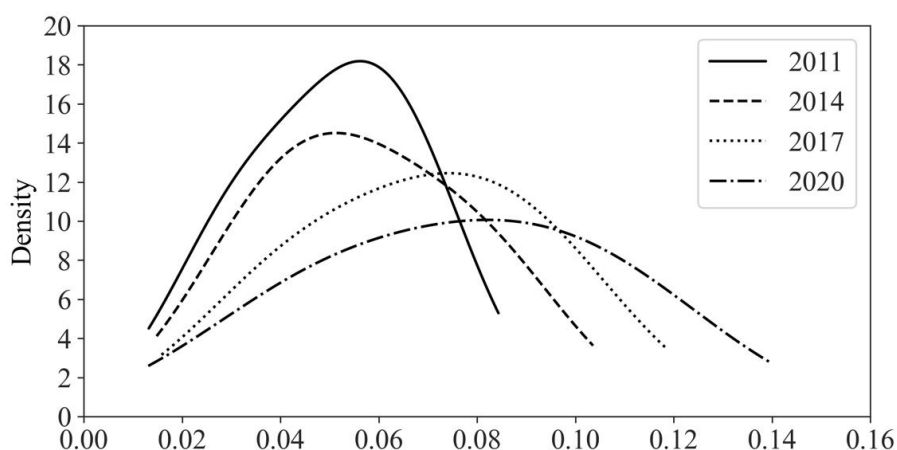


图 3.4 东北地区数字经济水平发展态势图

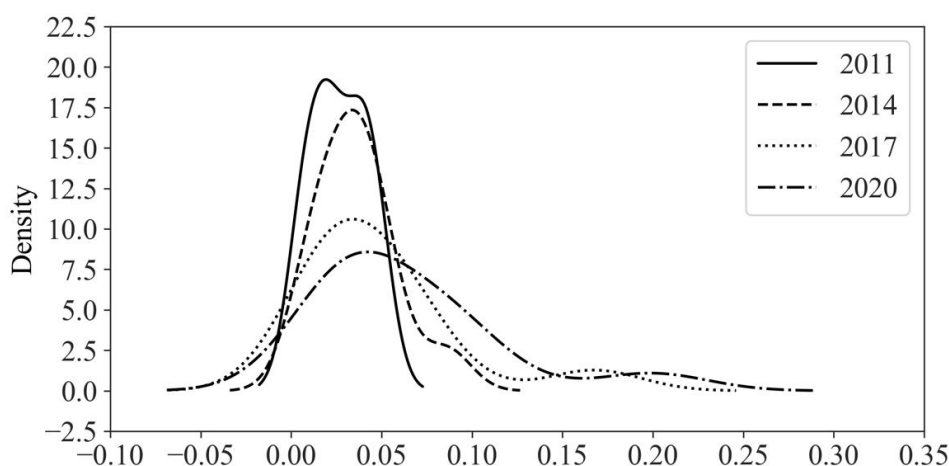


图 3.5 西部地区数字经济水平发展态势图

对于西部地区而言，如下图 3.5 所示，整体仍然呈现右移趋势表明数字经济发展水平在不断提高。但是，右移速度较慢，表明数字经济的发展速度相对缓慢。波峰呈现逐渐下降趋势，差距较大，表明数字经济发展的高峰期正在逐渐减弱，其中 2014 年到 2017 年下降最快，这可能是受到国内外宏观经济形势、政策环境和市场需求等因素的影响。2011 年出现两个峰值，且与 2014 年峰值差距小，存在一定的右拖尾现象，这可能是由于数字经济在这一时期的发展受到多种因素的影响，包括技术创新、政策支持、市场需求等。除此之外，在分布的右侧出现了一些较大的数值，表明数字经济发展的一部分领域正在迅速发展，呈现出右拖尾现象。

3.3.2 数字经济发展水平空间演变特征

为了探索数字经济在空间地理位置上的变化特征，并从中发现变化规律，更好地直观展现，本文以 3 年为发展间隔，选取 2011、2014、2017、2020 年各省份数据，编写 python 代码将各省份数字经济综合得分空间分布情况可视化显示^[57]，热力图具体见图 3.6。分析得出，中国数字经济发展水平总体表现为由东部沿海向西北内陆递减，呈现出群体集聚发展态势，主要表现为长三角区域、珠三角区域、京津区域，整体呈现出较高的发展水平^[58]。2011 年东部沿海发展水平较高，西部中部等区域有待发展，至 2014 年东部区域进步最为明显。2014 年至 2017 年中部区域以及西部区域四川省呈现出快速发展的态势，2017 年至 2020 年东北区域、中部区域、东部区域发展都呈现出较高水平。其中广东省在 2011 至 2020 年间一直处于全国数字经济发展前列，这得益于广东省的地理位置和政策环境等多方面的因素，广东省位于中国南部沿海地区，靠近香港和澳门等国际大都市，具有较为便利的交通和物流优势。广东省一直实行对外开放政策，吸引了大量的外资和跨国企业入驻，带动了数字经济的发展。广东省拥有优良的创新生态系统，

创新人才和创新企业等创新要素聚集在这里，也为数字经济的发展提供了有力的支持^[59]。

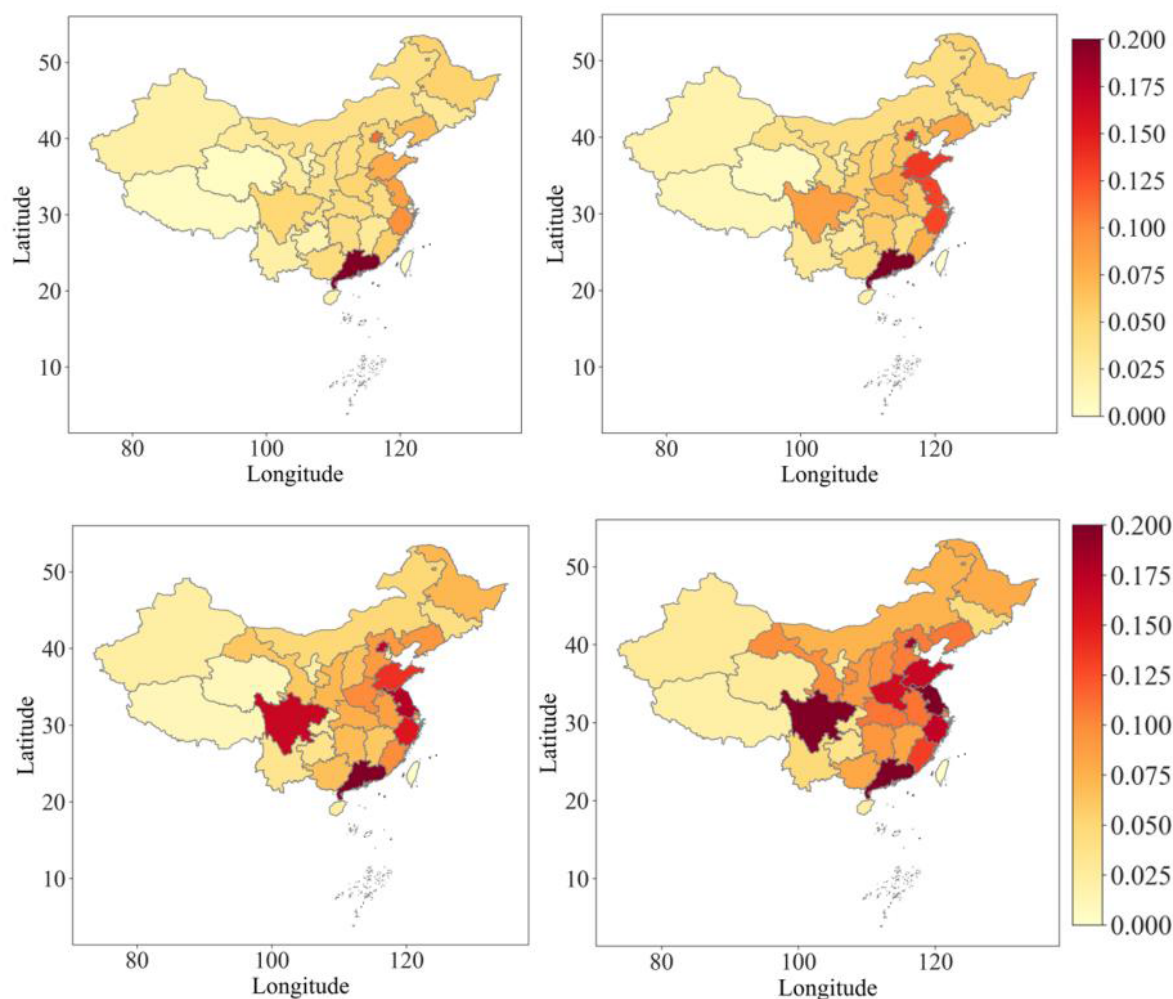


图 3.6 2011(上左)、2014(上右)、2017(下左)、2020(下右)数字经济水平空间分布图

西部地区四川省数字经济发展水平表现突出，是西部地区数字经济发展“领头羊”，在 2011 年至 2014 年间进步较大，这得益于四川省政府出台了一系列政策措施，以促进数字经济的发展，在电子信息、通信、计算机等产业方面具有一定的基础，同时还在不断地完善产业链。同时在旅游、电子商务等领域市场需求较大，这为数字经济的发展提供了广阔的市场空间。除此之外，西部地区甘肃省进步也十分明显，甘肃省在数字经济产业结构调整方面做出了积极努力。通过引导企业加强技术创新，推动互联网+等新业态新模式发展，扶持数字文化创意、数字娱乐、数字化农业等领域的发展，促进了数字经济的发展。

第4章 数字经济影响城市绿色创新水平的模型构建

4.1 样本及数据说明

本文基于 2011-2020 年中国 288 个主要城市的面板数据，旨在研究数字经济发展对城市绿色创新的影响。其中，绿色专利数量数据来源于国家知识产权局和 WIPO 绿色专利清单，数字经济发展水平测度指标中数字产业化部分数据来源于国家统计局，选取的控制变量来源于国家统计局及各地级市统计局，以及《中国城市统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》，数字普惠金融指数来源于北京大学数字普惠金融研究中心。

4.2 变量选取与设定

4.2.1 被解释变量

城市绿色创新水平（GR）是本文的被解释变量。绿色发明专利数量是衡量城市绿色创新水平最直观的指标，通过绿色发明专利数量的变化，可以评估一个城市在绿色创新上的投入和科研成果，还可以反映出城市在环保、可持续发展等方面的投入和努力程度。依据该数值的变化挖掘出影响城市绿色创新水平的因素，通过对这些因素的深入研究和分析，可以更好地促进城市绿色创新水平的提升，促进城市的可持续发展。因此，本文采用申请的绿色发明数量/总人口数的比值作为城市绿色创新水平的评估指标。

在本文的研究过程中，还考虑了许多其他变量对城市绿色创新水平的影响，例如数字经济发展水平、科技创新投入、人力资源等。为了控制这些变量的影响，并验证本文所得结论的稳健性，我们除了使用绿色发明数量/总人口数的比值之外，还引入了申请的绿色实用新型数量/总人口数的比值作为替代变量进行稳健性检验。绿色实用新型专利与绿色发明专利相比，更注重实用性，更容易在市场上推广应用。因此，将其作为替代变量来衡量城市的绿色创新水平。通过比较使用绿色发明数量和绿色实用新型数量两种指标所得到的结论，可以验证本文所得结论的稳健性，并得出更加准确客观的结论。

4.2.2 解释变量

数字经济发展水平（DE）是本文的核心解释变量。一方面，本文选择采用移动互联网用户数、互联网普及率、数字经济产业收益、数字经济产业人员四个方面指标来测度地级市层面的数字产业化状况，移动互联网用户数和互联网普及率

是数字产业化的基本指标，可以反映市场需求和用户规模；数字经济产业收益和数字经济产业人员可以反映数字经济产业的规模和质量，是衡量数字经济产业发展水平的重要指标。这些指标涵盖了数字产业化的不同方面，可以全面反映数字经济产业的规模和质量，以及市场需求和用户规模等因素，通过对这些指标的综合评估，可以客观地反映各地级市数字产业化水平的现状。另一方面，测算中国城市层面的数字普惠金融指数，并用该指数来测度各城市数字金融发展状况。

4.2.3 中介变量

本文的中介变量有两个：产业结构（DUS）和人才聚集（TAL）

其一产业结构：随着产业结构的调整，传统产业可能面临着被淘汰的风险，同时也给绿色创新带来了新的机遇和挑战。传统产业的衰退可能会导致资源的过剩，从而降低了绿色创新的效率。但是，随着产业结构的转型升级，绿色创新的需求也在不断增强，为绿色创新提供了更多的机遇和市场。传统产业生产方式落后，伴随着高污染高油耗问题，影响居民的正常生活乃至生存，亟待转型升级，改变原始生产方式。数字化技术的引入可以帮助产业体系中企业提高生产效率、降低成本，从而增强竞争力。同时，数字化技术还可以促进企业创新，推动新产品、新业态的诞生，这些新产业往往更加环保、低碳。另外，数字化技术还可以支持现有产业向服务型产业转型，提升产业附加值，推动产业结构调整。由于第三产业更加注重服务和技术创新，相对于第二产业来说具有更高的附加值和较低的能耗，这一比重的变化反映出传统产业向服务业和研发型产业转型的程度。因此，本文以第三产业增加值占第二产业增加值的比重来衡量产业结构。

其二人才聚集：人才聚集程度是城市创新活力最直接的体现，二十一世纪，最大的竞争归根结底还是人才的竞争，人才在社会生产发展中所体现出的主观能动性和创造性，将直接影响产业生产变革的方向和速度。城市之间的竞争发展说到底还是人才之间的竞争，人的主观能动性，可以提升城市绿色发展水平。数字经济影响着城市的各行各业，改善人民的生活环境和交通出行，吸引众多人才聚集一起，利用数字化技术创新发展，进行技术革命、行业定位、产业升级等，焕发出城市绿色发展的无限活力。绿色创新活力强的城市往往拥有更加完善的基础设施和公共服务，包括交通、医疗、教育等方面，这些优势也为人才的吸引和留存提供了有力的支撑。在这样的环境下，人才能够更好地发挥自己的能力，实现自身的价值，同时也为城市的发展带来了更多的创新和创造力。因此，人才和绿色创新的双向促进是城市发展的关键所在，可以带动城市的快速升级和绿色转型。若城市缺乏创新活力，势必无法为人才提供有利于发展的机会平台，从而导致人才的流失，人才的流失程度将加剧城市的“衰落”。本文选用RD从业人员/常住人口来衡量人才聚集程度。

4.2.4 控制变量

城市绿色创新水平受到许多因素的影响，如数字经济、科技创新投入、人力资源、政府政策等。为了研究数字经济对城市绿色创新水平的影响和作用机制，需要剔除其他变量对绿色创新水平的影响，以更加准确地探究数字经济的作用。本文参考有关文献，选择了以下控制变量：

经济水平（LDP）。随着城市经济的发展，城市的核心竞争力也将不断增强。拥有强竞争力水平的城市将更加注重环境保护和绿色产业转型升级，加大投入力度，制定并出台更多的环境治理和规范生产政策，从而推动城市的可持续发展。在绿色产业转型升级和创新产出方面，经济实力也将起到直接的影响作用。城市经济实力越强，就能够投入更多的经费来支持绿色产业发展和创新产出。同时，经济实力的提升也能够带动城市的创新活力和创新能力的提高。因此，为了描述城市经济实力的大小，本文选用人均 GDP 的对数值来进行衡量。相比于简单的人均 GDP 指标，使用对数值可以更好地反映城市经济实力的大小差异。同时，使用对数值还可以避免指标过大或过小对结果的影响，更加客观和准确地反映城市经济实力的水平。

城镇化水平（INL）。一方面，城镇化水平越高的地方，往往也是高层次人才流入的地方，城镇化水平越高，可以提供的住宿条件，工作环境等配套资源也越好，可以促进人口流动和聚集，使高层次人才更容易集聚于城市。除此之外，城镇化也有利于绿色知识技术的交流和传播，高层次人才运用绿色创新技术进行城市创新改造，助力城市实现绿色转型，走特色绿色发展路线。另一方面，城市化进程也可能对城市绿色创新产生负面影响。随着城市化的加速，城市规模和人口密度不断增加，城市面积不断扩大，这可能导致资源消耗和环境污染问题进一步加剧。这些问题可能会挤占城市绿色创新所需的资源和空间，阻碍城市绿色创新的进步和发展。本文使用年末城镇人口数来测度。因此，本文使用年末城镇人口数来测度。

居民富裕度（SAV）。经济程度发达，最直接的表现就是城乡居民的富裕程度，城乡居民越是物质富裕，当地的经济发展水平越是高，越有利于集聚高科技优秀人才和先进的资源和技术，进而统筹生产发展，从而对城市绿色创新水平产生影响。除此之外，在城市中，居民越富裕，相对应对环境保护和绿色生产的要求也会随之提高，对环境质量的要求也会随之提高。居民会更加关注生活环境，更加关注精神世界的富足，需要更加新鲜的空气、水源。出于这种需求，人们会不断激发促使城市开展绿色创新的积极性，因为只有采用绿色技术和绿色生产方式，才能更好地满足人们对环境的要求。更为重要的是，人们的消费观念会随着富裕程度的提升而改变，从“吃得饱”走向“吃得健康”，更加注重养生生态保

护和健康饮食，对绿色食品、健康产品等的需求也会增加。这也为城市开展绿色创新提供了更广阔的市场和商机，促进了绿色产业的发展。本文用城乡居民储蓄年末余额来测度居民富裕度。

金融活跃度（LOA）。金融活跃程度体现出金融市场的灵活性和创造性，区域的金融活跃水平越高，大中小企业将更方便快捷获得融资，从而扩大生产规模，购买先进生产设备，进行绿色低碳转型，市场活跃度高，产业链有更强的韧性。金融市场越活跃，市场流通性也越强，民营经济发展也会空前旺盛，财政将会有更多的税收投入到城市绿色发展的过程中。因此，本文选用年末金融机构开放各项贷款余额的对数来测度金融活跃度。

城市科教资源（EDU）。知识储备和人力资本是影响城市创新能力的决定性因素。随着科技的不断发展和经济的快速转型，城市的绿色创新能力越来越受到重视。科教兴国战略的实施更是印证了人才教育的重要性，教育支出越多，将更有利于促进城市绿色创新发展能力的提高。教育支出是衡量城市科教资源的重要指标之一。教育支出的增加可以直接促进城市的科技创新和绿色技术发展，增加人才培养的机会，推动创新型城市的建设。因此，本文选用教育支出来控制城市科教资源对绿色技术创新的影响。在城市的绿色创新发展中，教育支出的重要性不容忽视。首先，教育支出可以提供城市更好的教育资源，培养更多高素质的科技人才，提高城市的人力资本水平。其次，教育支出还可以带动科研投入和科技创新，促进城市创新能力的提高，推动绿色技术的发展。

政府支持（SCI）。由于绿色创新是一项复杂的活动，从概念提出到项目落地，涉及到研发、推广、宣传等诸多环节，尤其是技术研发是绿色创新的重中之重，需要大量的资金投入。绿色创新活动所需资金一方面来源于企业贷款自筹资金，另一方面也来源于财政拨款支持。政府的财政支持不仅仅体现的是金钱资金上的援助，更多的是对于从事绿色创新人员的鼓励，对于城市绿色创新发展方向的指导。首先，政府支持可以降低企业绿色创新的成本，通过给予奖金、财政拨款、减免税收等方式减轻企业压力，勉励企业在绿色发明创造上发挥更大的能动性。通过设立发明创造成果奖励、设立发明奖金等方式鼓励企业绿色创新，提高企业的积极性和参与度，引导企业将更多的精力投入到绿色创新发展的过程中，注重技术创新，解决“卡脖子”技术问题。其次，政府支持可以鼓励企业采用更多的绿色技术进行生产生活，推进绿色创新产品的推广应用，起到带头的作用。对传统企业骨干人员进行绿色产品使用培训，在全社会掀起一阵绿色创新的风气。因此，本文以地方政府财政科技支出作为测度指标。

地方财力支出水平（BUD）。地方财政支出是推动绿色创新的重要保障。在当前市场机制还未完全形成、投资回报期较长的绿色创新领域，需要政府的资金支持来提供初期资金和政策激励，以此吸引更多的社会资本投入到绿色创新领域

中。为了准确测量，采用了地方财政一般预算内支出来测度各项指标的数据。由于各个指标的数量级相差较大，进行对数化处理，使其变得更具可比性，具有可比的数据基数。同时，在处理数据时，也遇到了个别变量缺失少量数据的情况。为了不影响数据分析结果的准确性，对这些缺失值进行了处理，具体方法包括使用均值、中位数等进行填充，以保证数据的完整性和可靠性。

4.2.5 调节变量

环境规制（EU）。一方面，过于严厉的“一刀切”式环境规制可能会对期望产出产生负向影响。另一方面，适当的环境规制调节政策可以促进产业更加规范化操作，降低污染物排放，提升绿色创新能力。

表 4.1 变量意义与设定

变量类型	变量	变量含义	变量衡量
被解释变量	GR	城市绿色创新水平	申请的绿色发明数量/总人口数
核心解释变量	DE	数字经济发展水平	熵权 TOPSIS 测度数字经济发展指数
中介变量	DUS	产业结构	第三产业增加值/第二产业增加值
	TAL	人才聚集	RD 从业人员/常住人口
调节变量	EU	环境规制	污染治理投资额/GDP
	LDP	经济水平	人均 GDP 的对数值
	INL	城镇化水平	年末城镇人口数对数值
	SAV	居民富裕度	城乡居民储蓄年末余额
控制变量	LOA	金融活跃度	年末金融机构开放各项贷款余额的对数值
	EDU	城市科教资源	教育支出
	SCI	政府支持	地方政府财政科技支出的对数值
	BUD	地方财力支出水平	地方财政一般预算内支出的对数值

首先，环境规制过于严厉，以至于忽略了企业实际情况和可持续发展的需要，可能会对期望产出产生负向影响。这是因为，过于严厉的环境规制可能会导致企业无法承担额外成本，因而降低投资绿色创新的积极性。此外，环境规制过于严格还可能导致企业违反规定，或者把精力放在规避规制上，而不是绿色技术创新上，从而阻碍绿色创新的发展。其次，适当的环境规制调节政策可以促进产业更加规范化操作，降低污染物排放，提升绿色创新能力。合理的环境规制可以推动企业加强技术和管理创新，从而降低污染物排放，并在可持续发展方面取得经济和社会效益。本文变量的选取与设定如表 4.1 所示。

4.3 描述性统计分析

表 4.2 变量描述性统计分析

变量	数量	均值	标准差	最小值	最大值
GR	2880	0.719	1.706	0	24.81
DE	2880	4.01	0.729	1.009	7.537
DUS	2880	1.033	0.578	0.114	5.349
TAL	2880	7.008	0.685	3.609	9.141
EU	2880	0.273	1.344	0	35.101
LDP	2880	16.589	0.928	14.106	19.774
INL	2880	5.873	0.696	3.148	8.074
SAV	2880	16.299	0.918	13.694	19.807
LOA	2880	16.479	1.157	13.723	20.513
EDU	2880	13.144	0.780	9.906	16.248
SCI	2880	10.410	1.401	6.624	15.529
BUD	2880	14.903	0.751	12.031	18.241

描述性统计具体结果见表 4.2，产业结构平均值为 1.033，标准差为 0.578，最小值为 0.114，最大值为 5.349，说明各省份产业结构较为均衡，但也存在些许波动。人才聚集程度平均值为 7.008，标准差 0.685，平均水平较高，说明各地对于人才都较为重视。环境规制的平均值为 0.273，标准差为 1.344，最小值为 0，最大值为 35.101，说明各地环境规制强度存在较大的差距，对于生态的重视程度相差较大。经济水平的平均值为 16.589，标准差为 0.928，最小值为 14.106，最大值为 19.774，说明各地的经济水平相对提升较大，经济差距较小，相对均衡发展。城镇化水平的平均值为 5.873，标准差为 0.696，最小值为 3.148，最大值为 8.074，说明各地城镇化水平存在一定的差距，且具有波动性。居民富裕度的平均值为 16.299，标准差为 0.918，最小值为 13.694，最大值为 19.807，与各地经济水平的走向较为一致，经济水平越高的地区，居民就越富裕，相应对于绿色生态环境也有着更高的追求。城市科教资源平均值为 13.144，标准差为 0.780，最小值为 9.906，最大值为 16.248，说明各地的教育支出不均衡，有些地区教育投入大，重视基础教育，有些地区教育投入较少。政府支持平均值为 10.410，标准差为 1.401，各地波动程度一般，政府教育支出占财政支出的 1/5 左右。地方财力支出水平的平均值为 14.903，标准差为 0.751，最小值为 12.031，最大值为 18.241，标准差较小，且数值相对较大，波动差距较大，各地财力支出情况将依据税收进行规划。

4.4 模型设定与结果分析

在上述面板数据处理完成后，为了更准确地建立模型，对每个变量进行单位根检验，判断每个变量是否为平稳序列，从而决定是否需要进行差分等操作。对于非平稳序列，需要进行差分或其他方法进行处理，使其变成平稳序列，再进行建模，若后续建模所采用的数据是非平稳的，会对结果造成很大的影响，导致建模结果不准确。本文选用的是 Fisher 方法，对所使用的所有变量进行了检验，不存在单位根。这是建模前的重要步骤，通过该检验可以排除掉非平稳数据对模型结果的干扰，确保建立的模型具有准确性和可靠性，为后续的数据分析和预测提供了更加可靠的基础。

上述面板数据中的每个时间序列都是单位根过程，进一步进行 Kao 检验与 Pedroni 面板协整检验。备择假设为所有面板单位都存在协整关系，两个检验的 p 值均小于 0.01，即小于显著性水平 0.05，因此拒绝原假设，接受备择假设：所有面板单位都存在协整关系。

4.4.1 基准模型分析

对变量进行 Hausman 检验，检验结果 p 值为 0，即与随机效应模型相比，Hausman 检验更支持固定效应模型作为基准模型。为了评估数字经济对城市绿色创新水平的影响，同时控制城市和年份固定效应，设定双向固定效应模型见式 (4.1)：

$$GR_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \alpha_2 LDP_{it} + \alpha_3 INL_{it} + \alpha_4 SAV_{it} + \alpha_5 LOA_{it} + \alpha_6 EDU_{it} + \alpha_7 SCI_{it} + \alpha_8 BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

上式中， GR_{it} 为被解释变量绿色创新水平； DE_{it} 为解释变量数字经济水平，其系数 α_1 大于 0，说明数字经济能促进城市绿色创新水平， α_1 越大，其促进效果越显著；同理可得， α_1 小于 0，说明数字经济是抑制城市绿色创新水平， α_1 越小，抑制效果越显著。在实证阶段，为了更好的控制影响城市绿色创新水平的其他因素，本文选择了一些控制变量，包括经济水平（LDP）、城镇化水平（INL）、居民富裕度（SAV）、金融活跃度（LOA）、城市教科资源（EDU）、政府支持（SCI），地方财力支出水平（BUD）。考虑到基准模型可能会受到年份时间序列的影响，以及不同城市之间可能存在异质性等因素，在基准模型中，加入了城市固定效应和年份固定效应，分别为 μ_i 和 ν_j 。

建立了基准模型后，通过式 (4.1) 来检验数字经济发展水平与城市绿色创新水平之间存在的关系，检验数字经济能否促进城市绿色创新水平的提升，检验结果如表 4.3 所示。同时，为了验证本次建立的模型及检验结果的稳健性，本文也进行了稳健性检验。首先，在列 (1) 中，只建立以数字经济发展水平为自变量，城市绿色创新水平为因变量的回归模型，并不考虑年份和城市固定效应，以及控

制变量的影响，回归系数为正数，且显著，说明数字经济可以促进城市绿色创新水平的提升。但是很明显，在探究两者的关系时，不能忽视时间效应和个体特征效应对模型的影响，这种估计方法可能存在一些限制和偏差。在实际研究中，一些变量的变化随着时间的推移而发生了变化，或者不同城市之间存在一些独有的特征和差异。因此，在建立经济模型时，需要考虑这些因素，并采用适当的方法来控制它们的影响。因此，列（2）中加入了年份固定效应，来控制时间趋势的影响，列（3）在列（2）的基础上加入了城市固定效应，来控制城市个体的影响，列（4）在列（2）的基础上加入了控制变量。可以看到，列（2）和列（4）的回归系数在 1% 的标准下显著，而列（3）的系数在 10% 的标准下显著，说明本文选择的控制变量能较好地控制其余因素对模型所造成的影响。

表 4.3 基准回归模型结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
城市绿色创新水平 (GR)					
数字经济发展水平	0.074***	1.62***	0.0795*	1.191***	0.088***
(DE)	(0.048)	(0.034)	(0.126)	(0.068)	(0.004)
经济水平 (LDP)				-0.019	0.228*
				(0.08)	(0.118)
城镇化水平 (INL)				-0.634***	0.974***
				(0.106)	(0.275)
居民富裕度 (SAV)				-0.255**	-1.703***
				(0.101)	(0.102)
金融活跃度 (LOA)				-0.08	-0.148*
				(0.069)	(0.088)
城市科教资源 (EDU)				0.158	0.333***
				(0.122)	(0.135)
政府支持 (SCI)				0.396***	0.156***
				(0.034)	(0.034)
地方财力支出水平				0.685***	0.277**
(BUD)				(0.117)	(0.143)
年份固定效应	否	是	是	是	是
城市固定效应	否	否	是	否	是
观测值	2880	2880	2880	2880	2880
R^2	0.4415	0.4415	0.3748	0.6018	0.4928

*, **, ***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

列（5）中将控制变量、年份和城市固定效应都考虑在内，结果显示，其回归系数仍为正数，且在 10% 的标准下显著。列（4）和类（5）回归系数的绝对值更大，证明其余因素确实影响了数字经济对城市绿创新效应的影响效果，一旦控制这些影响因素，可以提升数字经济对城市绿色创新水平的促进效果。在列（5）中，经济水平（LDP）、城镇化水平（INL）、城市教科资源（EDU）、政府支持（SCI），地方财力支出水平（BUD）的回归系数均为正数，且城镇化水平（INL）、城市教科资源（EDU）、政府支持（SCI）的回归系数在 10% 的标准下显著。居民富裕度（SAV）、金融活跃度（LOA）的回归系数为负，说明其对城市绿色创新水平有抑制作用。

综上所述，数字经济可以促进城市绿色创新水平，同时数字经济和城市绿色创新水平之间的关系并不简单，需要考虑多种影响因素。

4.4.2 中介效应分析

本文在第 2.2 节中提出数字经济发展可能通过影响城市产业结构（DUS）和人才聚集程度（TAL）来影响城市绿色创新水平。为了验证中介效应的存在，本文进一步构建了中介效应模型。中介变量对因变量的影响分为部分中介效应和完全中介效应两种情况。在本文中，数字经济发展水平是自变量，城市绿色创新水平是因变量，产业结构和人才聚集程度是中介变量。根据先前的理论分析，数字经济发展可能会通过影响产业结构和人才聚集程度来影响城市绿色创新水平，因此，我们假设城市产业结构和人才聚集程度分别是数字经济发展和城市绿色创新水平之间的中介变量。

$$N_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 LDP_{it} + \beta_3 INL_{it} + \beta_4 SAV_{it} + \beta_5 LOA_{it} + \beta_6 EDU_{it} + \beta_7 SCI_{it} + \beta_8 BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.2)$$

$$GR_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 DE_{it} + \lambda_2 N_{it} + \lambda_3 LDP_{it} + \lambda_4 INL_{it} + \lambda_5 SAV_{it} + \lambda_6 LOA_{it} + \lambda_7 EDU_{it} + \lambda_8 SCI_{it} + \lambda_9 BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.3)$$

见式（4.2）中，N 为中介变量，表示产业结构（DUS）、人才聚集（TAL），其他变量含义均与基准回归一致。当式（4.1） α_1 显著时，说明数字经济对城市绿色创新水平具有显著影响。上述式子（4.2）和式（4.3）是本文构建的中介模型，式（4.2）中系数 β_1 描述的是数字经济发展水平对中介变量的影响效果，若 β_1 与数值大于 0，说明数字经济能促进中介变量的水平， β_1 越大，其促进效果越显著；同理可得， β_1 小于 0，说明数字经济是抑制中介效应水平， β_1 越小，抑制效果越显著。同理可得，在式（4.3）中，系数 λ_2 描述的是中介变量水平对城市绿色创新水平的影响效果，若 λ_2 与数值大于 0，说明中介变量能促进城市绿色创新水平， λ_2 越大，其促进效果越显著；同理可得， λ_2 小于 0，说明中介变量不能促进城市绿色创新水平， λ_2 越小，抑制效果越显著。综合上述两个模型，只有 β_1 与 λ_2 的系数

同时是显著的，才能证明数字经济是通过影响中介变量，从而影响城市绿色创新水平，中介效应为 $\beta_1 \times \lambda_2$ 。

基准模型的结果表明数字经济会对城市绿色创新水平产生积极影响，根据 3.2 节的理论阐释，这可能是由于数字经济促进产业结构调整 and 人才聚集，促使城市产业向绿色环保的方向发展，吸引高科技人才从业，从而提升了城市绿色创新能力，接下来，将依次对假设 2 和假设 3 进行检验。其中一个假设 2 是数字经济发展通过促进产业结构升级来提高城市绿色创新水平。为了验证这个假设，本文选取第三产业增加值占第二产业增加值的比重，将其作为产业结构的测度，将其带入到式（4.2）和（4.3）中，采用中介效应模型进行估计。

首先，建立数字经济发展水平与产业结构的回归模型，结果如表 4.4 列（1）所示，回归系数即 β_1 为 0.0565，且在 1% 的标准下显著，说明数字经济发展水平可以显著促进产业结构升级，且回归拟合效果较好。其次，建立以产业结构和数字经济发展水平为自变量，城市绿色创新水平为因变量的模型，结果如表 4.4 列（2）所示，产业结构系数即 λ_2 为 0.1827，且在 1% 的标准下显著，同时该模型下数字经济发展水平的系数也为正数。综合上述结果，中介效应 $\beta_1 \times \lambda_2$ 为正数，且在 1% 的标准下是显著的，因此得出结论，假设 2 成立，数字经济通过促进产业结构调整促进城市绿色创新水平提升。这一结论也启示城市管理者在发展城市绿色创新水平的同时，要善于利用数字化技术来实现产业的转型升级，促使产业向绿色、环保和创新的方向发展，从而实现绿色效益和经济效益的协调统一。

本文的第二个研究目的是检验数字经济发展对城市绿色创新水平的影响是否通过促进城市人才聚集来实现的。为了考察这个中介效应，本文选择 RD 从业人员/常住人口作为中介变量人才聚集的测度。表 4.4 列（3）所示，数字经济发展水平系数即 β_1 为 0.0382，在 10% 的标准下显著，说明数字经济发展水平可以显著促进人才聚集程度，且回归拟合效果较好。可以发现数字经济发展能够显著提高城市人才聚集程度，这主要是因为数字经济发展创造了更好的就业环境、提供了更好的就业待遇和研究设备，从而有利于优化创业环境，促进人才聚集。其次，建立以人才聚集和数字经济发展水平为自变量，城市绿色创新水平为因变量的模型，结果如表 4.4 列（4）所示，人才聚集系数即 λ_2 为 0.15，且在 1% 的标准下显著，同时该模型下数字经济发展水平的系数也为正数，但是过大，因此推测模型可能存在过拟合问题。综合上述结果，中介效应 $\beta_1 \times \lambda_2$ 为正数，且在 10% 的标准下是显著的，表明数字经济发展会改善就业环境，促进人才聚集，进而有利于提升城市绿色创新水平。因此，上述研究结果支持假设 3，即数字经济发展通过促进城市人才聚集进而提高城市绿色创新水平。这一发现对于城市数字经济和绿色创新的发展具有一定的实践意义，城市管理者可以通过提升数字经济的发展水平，吸引人才聚集，提高城市绿色创新水平。

表 4.4 中介效应模型结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	产业结构	绿色创新水平	人才聚集	绿色创新水平
数字经济发展水平 (DE)	0.0565*** (0.0195)	0.0421*** (0.0705)	0.0382* (0.0346)	35.8202*** (3.741)
产业结构 (DUS)		0.1827*** (0.0712)		
人才聚集 (TAL)				0.015*** (0.0002)
经济水平 (LDP)	-0.7003*** (0.0364)	0.5976*** (0.1409)	0.1507** (0.0646)	0.1477* (0.0814)
城镇化水平 (INL)	0.0401 (0.0837)	1.9543*** (0.3027)	-0.6214** * (0.1486)	0.0152 (0.2368)
居民富裕度 (SAV)	0.1468*** (0.0486)	-2.5831*** (0.1758)	0.0198 (0.0862)	
金融活跃度 (LOA)	0.1010*** (0.0271)	-0.1406 (0.0982)	-0.1224** (0.0481)	
城市科教资源 (EDU)	0.0829** (0.041)	0.5383*** (0.1493)	0.11 (0.0732)	
政府支持 (SCI)	-0.0184* (0.0103)	0.1746*** (0.0374)	0.0416* (0.0183)	
地方财力支出水平 (BUD)	0.1664*** (0.0438)	0.1924 (0.1588)	0.0963 (0.0777)	
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	2880	2880	2880	2880
R^2	0.6452	0.5422	0.3534	0.6103

*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

4.4.3 调节效应分析

本文选用环境规制（EU）作为调节变量，主要目的是用来检验环境规制与城市绿色创新水平之间的关系。通过建立调节模型，引入环境规制强度作为调节变量，考察环境规制在数字经济与绿色创新之间的调节作用。通过该调节效应模型，见式（4.4），可以评估环境规制是否会强化或削弱数字经济对绿色创新水平的影

响效果。具体地，如果数字经济对绿色创新水平的影响在环境规制强度较高的城市中更加显著，说明环境规制对数字经济的促进作用具有强化效应；反之，如果数字经济对绿色创新水平的影响在环境规制强度较低的城市中更加显著，说明环境规制对数字经济的促进作用具有削弱效应。

$$GR_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DE_{it} + \gamma_2 EU_{it} + \gamma_3 DE_{it} \times EU_{it} + \gamma_4 LDP_{it} + \gamma_5 INL_{it} + \gamma_6 SAV_{it} + \gamma_7 LOA_{it} + \gamma_8 EDU_{it} + \gamma_9 SCI_{it} + \gamma_{10} BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.4)$$

其中 EU_{it} 是调节变量，交互项系数 γ_3 若与 (4.1) 中的系数 α_1 取值方向相同，即二者在提升绿色创新水平方面具有一致的影响方向，那么可以认为环境规制强度会强化数字经济对城市绿色创新水平的促进作用，其值越大说明促进作用越显著；若取值相反，即二者在提升绿色创新水平方面不具有一致的影响方向，那么可以认为环境规制强度会抑制数字经济对城市绿色创新水平的促进作用，则会削弱其促进作用，反向绝对值越大，削弱作用就越显著。

表 4.5 调节效应模型结果

变量	(1)
	城市绿色创新
数字经济发展水平 (DE)	0.0744*** (0.0711)
环境规制 (EU)	0.3089** (0.1372)
数字经济 × 环境规制	-0.0787** (0.0359)
经济水平 (LDP)	是
城镇化水平 (INL)	是
居民富裕度 (SAV)	是
金融活跃度 (LOA)	是
城市科教资源 (EDU)	是
政府支持 (SCI)	是
地方财力支出水平 (BUD)	是
年份固定效应	是
城市固定效应	是
观测值	2880
R^2	0.4415

*, **, *** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

其中对于环境规制强度的测度，借鉴海骏娇等 (2018) 思路，对各地级市

2011-2020 年城市政府年度《政府工作报告》进行环境可持续发展的相关词频分析, 关键词包括: 环保、环境保护、环境整治等, 共计 19 个词条。首先, 采用 Words Count 软件, 对各城市《政府工作报告》正文进行关键词检索, 记录关键词出现的频次总和。其次, 将关键词出现的频次总和除以全文总字数, 得到关键词词频数作为环境规制强度^[60]。

目前, 国内外对于环境规制政策是否能促进绿色创新水平并未有统一定论, 有些学者认为环境规制强度会减弱绿色创新水平, 有些学者则观点相反, 认为环境规制会促进绿色创新水平的提升。一方面, 环境规制会规范市场生产, 迫使企业转型升级, 进行绿色低碳创新, 同时, 过于严格的环境规制强度会提高环境治理成本, 抑制企业的创新活力和积极性。在本节中, 为了通过实证探究环境规制具体的调节效应结果, 在基准回归模型的基础上, 加入了环境规制调节变量、数字经济发展水平以及二者的交互项, 建立的调节模型如式 (4.4) 所示。结果如表 4.5 所示, 环境规制系数为 0.3089, 在 5% 的标准下显著, 环境规制和数字经济发展水平的交互项系数即 γ_3 为 -0.0787, 而式 (4.1) 中数字经济发展水平的回归系数为 0.074, 为正数, 两者取值方向不同。因此, 可以得出结论: 环境规制强度会抑制数字经济对城市绿色创新水平的促进作用, 即假设 4 成立。

4.4.4 内生性分析

建立基准模型后进行内生性分析是非常重要的, 本文还针对此进行了一系列后续研究, 如进行内生性分析, 以探究本文选择变量的合理性, 并以此来评估所建立模型的可靠性和稳健性。由于选择变量的多元, 所建立模型中的变量之间可能存在相互影响或因果关系, 导致估计结果出现偏差或不准确。因此, 进行内生性分析也是很有必要的。常见的方法有滞后变量法和工具变量法, 本文拟采用这两种方法依次检验。

(1) 滞后变量模型

通过引入滞后变量来解决变量之间的因果关系, 使用该方法时, 将自变量即数字经济发展水平引入模型中的滞后期, 替换当期变量, 使其不受因果关系的反向性影响, 从而避免内生性问题的干扰。模型设定见式 (4.5), 其中, DE_{it-p} 表示滞后 p 期的数字经济发展水平, $Control$ 指的是控制变量, ω_1 描述的是滞后 p 期数字经济发展水平对城市绿色创新水平的影响。

$$GR_{it} = \omega_0 + \omega_1 DE_{it-p} + \omega_3 Control_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.5)$$

(2) 两阶段最小二乘估计模型

第二种方法是用工具变量替换可能出现内生性问题的变量, 构建新模型进行回归。这种方法与滞后变量法相比, 可以更直接地处理内生性问题, 通过引入相关但不相关于误差项的工具变量来消除内生性。这种方法可以帮助解决因果关系

的反向性和遗漏变量的问题。根据变量的特性综合影响数字经济发展水平的相关因素，本文选取了三个工具变量分别为：城镇私营和个体从业人员数（work_p）、计算机软件和软件业从业人员占比（Intnet）和每百人移动电话数（mp_hund），并构建两阶段最小乘法回归模型，见式（4.6）和式（4.7）：

$$GM_{it} = \beta_0 + \beta_1 M_i + \beta_2 LDP_{it} + \beta_3 INL_{it} + \beta_4 SAV_{it} + \beta_5 LOA_{it} + \beta_6 EDU_{it} + \beta_7 SCI_{it} + \beta_8 BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.6)$$

$$GR_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 GM_{it} + \lambda_2 LDP_{it} + \lambda_3 INL_{it} + \lambda_4 SAV_{it} + \lambda_5 LOA_{it} + \lambda_6 EDU_{it} + \lambda_7 SCI_{it} + \lambda_8 BUD_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4.7)$$

上式中， M_i 是本文的工具变量，即城镇私营和个体从业人员数（work_p）、计算机软件和软件业从业人员占比（Intnet）和每百人移动电话数（mp_hund）。 GM_{it} 是第一阶段数字经济发展水平的拟合值。在第一阶段，使用工具变量估计数字经济发展水平的预测值；在第二阶段，将预测值代入模型中进行最终的估计。本文所构建模型所选择的控制变量有限，因此，模型中可能会出现内生性问题。为此，建立式（4.5）滞后变量模型和式（4.6）和式（4.7）的工具变量模型进行检验修正。

表 4.6 滞后变量法结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	绿色创新水平（GR）			
数字经济发展水平（DE）	0.0764			
（滞后 1 期）	(0.076)			
数字经济发展水平（DE）		0.0909		
（滞后 2 期）		(0.0831)		
数字经济发展水平（DE）			0.1304	
（滞后 3 期）			(0.0934)	
数字经济发展水平（DE）				0.2002**
（滞后 4 期）				(0.0988)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	2592	2304	2016	1728
R^2	0.2624	0.2259	0.1967	0.1494

*, **, ***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

首先，通过 hausman 检验，得到：无法拒绝变量均为外生性，模型是存在内生性问题的。使用滞后变量法时，要合理选择滞后期数，若滞后期选择过大，所

得出的结论可能并没有很强的说服力；若滞后期数选择过小，可能无法很好地解决内生性问题。分别以滞后 1 到 4 期的数字经济水平作为核心解释变量带入式(4.5)中，重新估计城市绿色创新水平的数值。估计结果如表 4.6 所示，其中数字经济发展水平的系数均为正向，但是在 10%的标准下并不显著。因此，继续再往下取滞后 4 期的数值带入，数字经济发展水平系数为 0.2002，在 5%的标准下是显著的。上述结果也可以证明滞后 4 期的数字经济发展水平可以较好地解决内生性问题。

上述滞后变量模型说明基准回归模型中变量是存在内生性问题的，接下来用工具变量法进行处理，将寻找的三个工具变量代入两阶段模型中，即城镇私营和个体从业人员数（work_p）、计算机软件和软件业从业人员占比（Intnet）和每百人移动电话数（mp_hund）分别代入模型。

表 4.7 工具变量法结果

变量	(1)	(2)	(3)
	绿色创新水平		
工具变量 1（work_p）	3.2092 (2.4223)		
工具变量 2（Intnet）		0.1654** (0.0724)	
工具变量 3（mp_hund）			0.8489** (0.372)
Wald F 统计量	1021.51	3036.92	3031.99
控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	2880	2880	2880
R^2	0.1639	0.2528	0.2626

*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

结果如表 4.7 中列（1）、列（2）和列（3）所示，城镇私营和个体从业人员数（work_p）结果不显著、计算机软件和软件业从业人员占比（Intnet）和每百人移动电话数（mp_hund）在 5%水平下显著为正，不存在过度识别问题。这些结果表明，计算机软件和软件业从业人员占比以及每百人移动电话数对城市绿色创新水平具有显著正向影响。这可能是因为随着数字经济的发展，计算机软件和软件业从业人员的增加以及移动电话的普及，为城市绿色创新提供了更多的技术支持和创新机会。这些指标的显著性和恰当的识别性进一步支持了它们对城市绿色创

新水平的积极作用。

4.4.5 稳健性分析

对模型进行稳健性分析是很有必要的，旨在验证研究结论是否具有稳定性，即在考虑可能的偏倚或干扰因素时，结果是否仍然具有一致性和显著性，使得研究结论更加具有说服力。为了进行稳健性分析，本文采取多种方式，主要思路是替换被解释变量的测度指标的方法，使用申请的绿色实用新型数量/总人口数比重，从而代替原先的城市绿色创新水平测度指标，将替换变量代入基准回归模型进行回归，结果如表 4.8 列（1）所示，在不改变控制变量和年份、城市固定效应的情况下，该模型数字经济发展水平的系数依旧是正数且显著，说明数字经济促进城市绿色创新水平，与基准估计结果保持一致。这表明本研究的结果具有较好的稳健性。

表 4.8 稳健性检验结果

变量	(1) 替换被解释 变量	(2) 替换核心解 释变量	(3) 两者皆替换	(4) 加入城市和 年份的交互 固定效应
数字经济发展水平 (DE) (城市层面)	0.0498*** (0.004)			0.0762** (0.0356)
数字经济发展水平 (DE) (省级层面)		0.4853*** (0.1488)	0.6036*** (0.185)	
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	2880	310	310	2880
R^2	0.3410	0.6947	0.6832	

*, **, *** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

为了进行稳健性分析，本研究还采取了替换核心解释变量的测度指标的方法。具体分析如下：首先，结果如表 4.8 列（2）所示，使用省级层面数字经济指标替换原先城市层面的数字经济指标，将其带入基准模型重新回归，在不改变控制变量和年份、城市固定效应的情况下，该模型数字经济发展水平的系数依旧是正数且显著，说明省级层面的数字经济发展水平能促进城市绿色创新水平，与基准估计结果保持一致，这表明该结论具有较好的稳健性。这种稳健性分析方法有助于

排除单一层面的局限性，通过考虑更大范围的数据和变量，验证研究结果的稳定性和可靠性。它提供了对数字经济对城市绿色创新影响的更全面和综合的认识，进一步的稳健性分析可以加强研究结果的可信度，并提供更具说服力的结论。

替换被解释变量和解释变量：本研究同时替换被解释变量和解释变量，使用申请的绿色实用新型数量/总人口数比重来代替原先的城市绿色创新水平测度指标，使用省级层面数字经济的指标替换原先的数字经济发展指标，重新进行回归分析，结果如表 4.8 列（3）所示，自变量和因变量皆替换的情况下，省级层面的数字经济发展水平估计系数是正数，且显著。这意味着在不考虑城市层面的数字经济指标的情况下，仍然存在着数字经济对城市绿色创新的促进效应。结果的一致性进一步加强了对数字经济对绿色创新的正向影响的信心。最后，加入城市和年份的联合固定效应，带入模型中进行回归分析。结果如表 4.8 列（4）所示，数字经济系数仍然为正数且显著，也验证了基准估计的稳健性。并且引入城市的固定效应可以控制不同城市之间的结构差异、政策环境差异等因素对结果的影响。而引入年份的固定效应则可以控制时间趋势、经济周期等因素对结果的影响。通过这种方式，可以更准确地衡量数字经济对城市绿色创新水平的贡献。

综上所述，本研究的结果经过稳健性分析后具有较好的稳健性，数字经济和绿色创新对城市发展具有积极作用。

4.4.6 异质性分析

鉴于经济水平、教育投入、政策支持程度等差异数字经济对城市绿色创新水平影响可能存在区域异质性现象。为了验证是否存在异质性，本文将分数字经济、产业结构、政府支持、城市科教资源等方面展开异质性探讨。

表 4.9 异质性检验结果

变量	产业结构		教育投入		科技支出	
	低占比	高占比	低投入	高投入	低支出	高支出
数字经济（DE）	0.089*** (0.008)	0.1352* (0.151)	0.0105** (0.004)	0.0233 (0.139)	-0.0248 (0.016)	0.3831** (0.161)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1823	1057	1433	1447	1576	1304
R ²	0.3271	0.3283	0.3102	0.3849	0.3008	0.5028

*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为城市层面的稳健标准误。

根据产业结构中第三产业占比不同，以 1.033 为界限划分为地占比产业结果和高占比产业结构，结果如下表 4.9 列（1）和列（2）所示，低占比和高占比回

归系数分别为 0.089、0.1352，均在 10%的水平上显著为正，说明在不同产业结构水平的城市，数字经济都显著促进了绿色创新水平，作用效果随第三产业占比的增大而增大。同样，根据城市科教资源中教育投入的不同，划分为低投入和高投入两个群体，结果如下表 4.9 列（3）和列（4）所示，低投入和高投入回归系数分别为 0.0105、0.0233，低投入回归系数在 5%的水平上显著为正，而高投入的回归系数则不显著。说明在低科教资源水平的城市，数字经济更显著促进了绿色创新水平。根据政府支持中科技支出水平的差异，将其划分为低支出和高支出群体，结果如下表 4.9 列（5）和列（6）所示，低支出和高支出回归系数分别为-0.0248、0.3831，高科技支出回归系数在 5%的水平上显著为正，说明在高科技支出的城市，数字经济显著促进了绿色创新水平，而科技支出水平较低的城市则可能会抑制绿色创新能力的发展。

第5章 政策建议

数字经济的不断壮大,不仅为城市绿色创新发展、转型升级提供了新的契机,还促进了人才聚集效应。通过数字化技术提升城市数字资源储备,促进城市群体传统产业的转型升级,走更加绿色环保高效的创新发展之路。尤其是在中国式现代化的高质量发展道路上,促进传统产业绿色智能转型,提升城市绿色发展水平显得尤为重要。加强城市的核心竞争力从而赢得绿色发展先机,各大城市群体应充分把握数字经济发展先机,结合实际发展状况,因地制宜制定发展策略,吸引高科技人才就业置业,走出符合绿色历年的高质量创新之路。通过本文的研究,数字经济对城市绿色创新水平的影响是一个正向的复杂系统工程,要加强其影响效应,需要社会各界的多方努力。政府需要出台相关政策,吸引更多的数字经济相关人才加入到城市建设中,鼓励和引导人才在企业中进行绿色技术创新。推动绿色创新成果落地实践,加大对科技发展的支持力度,提高数字经济技术在城市绿色创新中的应用水平,从而推动数字经济和城市绿色创新的发展,实现经济高质量增长和环境保护的双重目标。因此,本文提出以下政策建议:

第一,推动数字经济创新人才培养,完善人才培养方案。数字经济和城市绿色创新需要高素质的人才支持,政府、高校和企业需要加强数字经济和城市绿色创新人才培养。首先,政府可以制定数字经济和城市绿色创新人才培养政策,加大对数字经济和城市绿色创新人才的培养和引进力度,鼓励高校和企业加强数字经济和城市绿色创新领域的教育和培训。除此之外,政府应不断吸收高科技人才营造良好的创业氛围,吸引人才就业,携手企业、社会等各界力量制定良好的营商优惠政策,人才落户政策,大力发展高新科技产业,形成产业集群,配套各类生活保障措施,解决人才就业的后顾之忧,吸引更多的人才前来就业、创业。其次,高校可以建立数字经济和城市绿色创新的交叉学科,培养具备数字经济和城市绿色创新知识和技能的高素质人才。以产业发展和城市创新需要为导向,开展面向城市发展、面向社会需求的高质量人才教育,根据产业发展需求不断调整高校专业课程设置,包括数据分析、人工智能、区块链等。同时,加强实践性课程的设置,鼓励学生参与实际项目,提高实践能力。

第二,推动产业结构向绿色经济转型,走高质量绿色发展道路。产业结构转型是推动城市绿色创新的关键因素之一。政府应该制定有关产业结构调整的政策和规划,鼓励企业向绿色经济转型,加大对绿色产业的支持和扶持力度,优化资源配置,提高生产效率和能源利用率。政府可以采取一系列措施,如加强对环保技术和设备的研发和推广,提高环保产业的发展水平,鼓励企业采用清洁能源,

减少污染排放，促进可持续发展。同时，政府可以制定有关产业升级和技术创新的政策和措施，鼓励企业加强技术研发和创新，加大对绿色技术和环保产业的支持和扶持力度。政府可以加强与高校和研究机构的合作，加强对科技成果的转化和推广，提高企业的创新能力和竞争力。制定有关绿色供应链和生态循环系统的政策和措施，加强对绿色供应链和生态循环系统的引导和扶持，鼓励企业加强资源循环利用，提高能源效率。

第三，加大数字经济对城市绿色创新的投资与支持力度。可以促进城市绿色创新水平的提高，同时也可以推动数字经济的进一步发展。政府和企业需要加大对数字经济和城市绿色创新的投资力度。首先，政府可以加大对数字经济和城市绿色创新的财政支持，鼓励企业和社会各界加大对绿色创新产业链的建设和发展。其次，企业可以加大在生产生活过程中对数字化转型的投入，加强对技术绿色创新的研发和应用，践行绿色发展理念，开发绿色产品和服务，满足市场对环保产品和服务的需求的同时，实现生产效益和绿色效益的统一，促进相关产业的绿色发展。

第四，加强数字经济技术在城市绿色创新中的应用。数字经济技术是促进城市绿色创新的重要手段，政府、企业和社会各界需要加强数字经济技术在城市绿色创新中的应用研究和推广。政府可以加强数字经济技术在城市绿色创新中的政策引导和支持，推动数字经济技术的普及和应用。利用大数据和人工智能技术对城市的环境、资源和社会经济情况进行精准分析，提供决策支持，推动城市绿色创新；企业可以利用数字经济技术优化城市绿色创新产品和服务，提高市场竞争力，以满足消费者对绿色、环保产品和服务的需求；社会各界可以加强数字经济技术在城市绿色创新中的宣传和推广，提高公众对数字经济技术的认识和接受度。

结论

本文基于我国 2011 年至 2020 年 288 个地级以上城市的面板数据，利用熵权 TOPSIS 方法构建了城市数字经济发展指数，并进行了时序演化特征和空间演变特征分析。在深入剖析其直接和间接影响渠道的同时，探寻数字经济通过影响人才聚集、产业结构、环境规制从而对城市创新水平的影响路径，并建立双向固定效应模型等进行检验。除此之外，本文还进行了扩展性研究：通过引入工具变量进行稳健性检验和内生性检验；探究区域异质性影响下，数字经济发展对绿色创新水平的影响程度差异。本文得到的主要结论如下：

第一，通过对中国 2011-2020 年数字经济发展水平的测度及时空演化特征分析，发现中国数字经济水平整体呈现增长趋势，但近年来增长速度有所放缓。从地区视角看，中国数字经济水平呈现出东部、中部、东北、西部地区逐渐递减的发展格局。四大区域核密度图整体形态呈现右移趋势，且波峰逐渐下降，右移速度和波峰下降速度有较大的差异。东部地区由于具有较好的地理位置和交通优势，拉开了与西部欠发达地区的数字经济发展水平。空间演化特征上，呈现出由东部沿海向西北内陆递减的群体集聚发展态势，主要表现为长三角区域、珠三角区域、京津区域，整体呈现出较高的发展水平。

第二，通过构建双向固定效应模型、中介效应等模型，从模型结果可以发现数字经济显著提升了城市绿色创新水平。中介机制检验结果表明，数字经济能够显著改善产业环境，促进产业转型升级，进而对城市绿色创新产生显著的促进作用。数字经济会改善就业环境，促进人才聚集，进而有利于提升城市绿色创新水平。调节效应模型的结果显示，环境规制的强度对数字经济与城市绿色创新的关系产生了影响。因此，在城市绿色创新政策制定和实施过程中，应考虑到环境规制的影响。

第三，通过稳健性分析、异质性分析等扩展性研究，采取了替换核心解释变量数字经济发展的测度指标的方法，并加入固定效应。无论是使用省级层面数字经济的指标替换被解释变量和解释变量，还是加入省份和年份的联合固定效应，重新进行回归分析，验证了基准估计的稳健性，即数字经济和绿色创新对城市发展具有积极作用。不同产业结构、教育投入、科技支出水平下，存在着区域异质性。第三产业占比越大，低科教资源水平城市，高科技支出城市，数字经济更能显著促进城市绿色创新水平。

基于本文的研究结果，提出应推动数字经济创新人才培养，完善人才培养方案，推动产业结构向绿色经济转型，走高质量绿色发展道路，加大数字经济对城

市绿色创新的投资与支持力度，加强数字经济技术在城市绿色创新中的应用的政策建议，以期能加大数字经济对城市绿色创新的促进力度。

本文通过熵权 TOPSIS 模型对数字经济发展水平进行度量，构建了三层两大视角的测度指标体系，并构建基准模型、总结模型等探究了数字经济对城市绿色创新水平的影响效应。由于时间原因和样本数据不足原因，研究还存在一些不出和进一步研究的空间，主要为：

有关数字经济发展水平测度方面。数字经济的测度指标还有很多其他方面的表现，本文从产业数字化和数字产业化角度出发，虽然研究视角较为创新，但是仍然存在一定的局限性，这些指标描述的方面有限，还有很多其他方面的表现也需要考虑。数字经济的影响之大，涵盖范围广发，测度所需要的考虑的指标也有许多，在指标的取舍过程中要结合具体实际，构建更高维度、更丰富、更全面的指标体系。

有关数据获取和模型实证方面。由于数据获取的局限性和难度，以及部分统计年鉴公开数据的不及时，本文选取的数据时间范围为：2011—2020 年，数字经济发展的迅速，带来城市产业结构的快速升级，因此，缺少近两年的数据，对政策的建议具有很大的延迟性，是本文很大的不足，后续可以考虑从其他渠道搜集相关数据，进行更多全面的研究，例如从行业协会、企业、政府部门等获取数据，或者使用社交媒体等新兴数据源，以获取更加及时、全面的数据，提高研究的准确性和可信度。

有关中介效应模型的建立。本文选择从人才聚集、产业结构两个视角研究数字经济对城市绿色创新水平的间接传导机制，而影响绿色创新水平的变量还有很多，即数字经济影响城市绿色创新水平的机制较为复杂，上述三个视角可能不够全面。因此，有很大的完善改进空间，可以构建更多视角并建立中介效应模型进行实证研究。后续的研究可以考虑从更多的视角来探究数字经济对城市绿色创新水平的影响机制，例如政策环境、市场需求、技术创新等方面。可以建立更多中介效应模型进行实证研究，提升研究视角的全面性，提出更加科学、有效的政策建议和战略方案。

参考文献

- [1] 李锋,刘甜,吴文华等.2022 年《政府工作报告》政策解读[J].农业发展与金融,2022,No.337(06):46-51.
- [2] 余群芝,吴柳,郑洁.数字经济、经济聚集与碳排放[J/OL].统计与决策,2022(21):5-10[2022-11-20].
- [3] 蔡宁,符建华,乔书晨.数字经济发展对产业结构升级的影响及作用机制[J].商业经济研究,2022(23):182-184.
- [4] 李超,西伟力,邵超峰等.城市绿色创新发展思路与对策研究——以天津生态城为例[J].绿色科技,2016(20):133-137.
- [5] 韩旭.河南省数字经济发展研究——基于《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》[J].华东科技,2022,No.437(07):73-75.
- [6] 钟诗韵.数字经济促进中国制造业结构升级的实证研究[D].江西财经大学,2022.
- [7] Tapscott D. The Digital Economy.Promise and Peril in the Age of NetworkedIntelligence [M].New York: McGraw-Hill,1996.
- [8] Bukht , R., and R.Heeks , “Defining , conceptualising and measuring the digitaleconomy”[J]. International Organization Research Journal, 2018,13(2):143-172.
- [9] 裴长洪,倪江飞,李越.数字经济的政治经济学分析[J].财贸经济,2018,39(09):5-22.
- [10] Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda[The Journal of Strategic Information Systems], 2019,28(2):118-144.
- [11] 罗森,郭禹辰.经合组织国家数字经济战略研究及启示[J].中国发展,2022,22(02):82-86.
- [12] 朱金鹤,孙红雪.数字经济是否提升了城市经济韧性?[J].现代经济探讨,2021(10):1-13.
- [13] 李治国,车帅,王杰.数字经济发展与产业结构转型升级——基于中国 275 个城市的异质性检验[J].广东财经大学学报,2021,36(05):27-40.
- [14] 李晓钟,毛芳婷.“一带一路”沿线国家数字经济发展水平比较与分析[J].统计与决策,2021,37(16):134-138.
- [15] 韩健,李江宇.数字经济发展对产业结构升级的影响机制研究[J].统计与信息论坛,2022,37(07):13-25.

- [16] 高京平,孙丽娜.数字经济发展促进我国产业结构升级的机理与路径[J].企业经济,2022,41(02):17-25.
- [17] 肖娜,高晓鹏.数字经济发展的多维产业结构升级效应:基于需求结构演变视角[J].商业经济研究,2022(12):181-184.
- [18] 朱喜安,马樱格.数字经济对绿色全要素生产率变动的影响研究[J].经济问题,2022(11):1-11.
- [19] 蔡延泽,龚新蜀,赵贤.数字经济发展对企业全要素生产率影响的实证检验[J].统计与决策,2022,38(15):98-103.
- [20] 李健,张金林,董小凡.数字经济如何影响企业创新能力:内在机制与经验证据[J].经济管理,2022,44(08):5-22.
- [21] 白俊红,陈新.数字经济、空间溢出效应与区域创新水平[J/OL].研究与发展管理:1-12[2022-12-05].
- [22] Fussler C , James P . Driving eco-innovation: A breakthrough discipline for innovation and sustainability[J]. pitman pub,1996.
- [23] Rennings K . Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics[J]. 2000,32(2):319-332.
- [24] Tseng M L , Wang R , Chiu A , et al. Improving performance of green innovation practices under uncertainty[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 40(FEB.):71-82.
- [25] Cuerva M C , A Triguero-Cano , D Corcoles. Drivers of green and non-green innovation: Empirical evidence in Low-Tech SMEs[J].Journal of Cleaner Production, 2014,68(apr.1):104-113.
- [26] 高广阔,王艺群.京津冀地区高耗能产业绿色创新效率及影响因素分析——基于空间视角的实证研究[J].工业技术经济,2018,37(1):137-144.
- [27] 聂秀华,江萍,郑晓佳,吴青.数字金融与区域技术创新水平研究[J].金融研究,2021(03):132-150.
- [28] 田贵贤,谢子远,郑长娟.中国城市绿色创新效率的空间演化及影响因素[J].江西社会科学,2021,41(08):60-69.
- [29] 李平瑞.数字经济、科技创新与绿色发展[J].技术经济与管理研究,2022(08):46-51.
- [30] 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.
- [31] 彭硕毅,张莹莹.区域数字经济发展与企业技术创新——来自A股上市公司的经验证据[J/OL].财经论丛:1-14[2022-05-19].
- [32] 马永红,李保祥.数字经济、区域高校知识转移与高技术企业创新绩效[J/OL].

- 系统管理学报:1-19[2022-05-19].
- [33] 王洪庆,郝雯雯.高新技术产业集聚对我国绿色创新水平的影响研究[J].中国软科学,2022(08):172-183.
- [34] 朱东旦,罗雨森,路正南.环境规制、产业集聚与绿色创新水平[J].统计与决策,2021,37(20):53-57.
- [35] 吴遵杰,巫南杰.工业集聚对城市绿色创新水平的影响——基于粤港澳大湾区9个城市的实证检验[J].科技管理研究,2021,41(15):215-226.
- [36] 张彦博,寇坡.环境规制、互联网普及率与企业污染排放[J].产经评论,2018,9(06):128-139.
- [37] 董直庆,王辉.城市财富与绿色技术选择[J].经济研究,2021,56(04):143-159.
- [38] 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.
- [39] 茶洪旺,左鹏飞.信息化对中国产业结构升级影响分析——基于省级面板数据的空间计量研究[J].经济评论,2017(01):80-89.
- [40] 葛立宇,莫龙炯,张方.数字经济发展与城市区域创新——来自我国281个城市的经验证据[J].广东财经大学学报,2022,37(05):18-30+42.
- [41] 刘保留,张莹,李雨珊.互联网发展对城市绿色创新的影响机理——基于专利视角的分析[J].中国人口·资源与环境,2022,32(06):104-112.
- [42] 邓慧慧,杨露鑫.雾霾治理、地方竞争与工业绿色转型[J].中国工业经济,2019(10):118-136.
- [43] 张杰飞,尚建华,乔彬.数字普惠金融对绿色创新效率的影响研究——来自中国280个地级市的经验证据[J].经济问题,2022(11):17-26.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 叶剑,徐文华.数字经济背景下环境规制对绿色技术产业创新的影响——基于调节机制与异质性检验[J].时代经贸,2021,18(04):73-76.
- [47] 杨伊静.加速数字经济成长 助力高质量发展——解读《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》[J].中国科技产业,2021(07):42-43.
- [48] 张玉玲,庞旭良,刘洋,董伟娜.我国省际数字经济发展水平影响因素研究[J].商业经济研究,2022(22):185-189.
- [49] 黄敦平,朱小雨.我国数字经济发展水平综合评价及时空演变[J].统计与决策,2022,38(16):103-107.
- [50] 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,2020,36(10):65-76.
- [51] 付会敏,江世银.金融科技的经济增长效应——基于数字普惠金融指数的实证检验[J].金融发展研究,2022(08):12-19.
- [52] 苏玉同,欧春尧,刘亮.广东省农业经济发展评价[J].合作经济与科技,2022(20):4-8.
- [53] 王胜鹏,滕堂伟,夏启繁,鲍涵.中国数字经济发展水平时空特征及其创新驱动机制[J].经济地理,2022,42(07):33-43.
- [54] 舒季君,周建平,陈亦婷,刘程军.中国省域数字经济的空间演化特征及其城乡融合效应[J].经济地理,2022,42(08):103-111.
- [55] 汤长安,张丽家.中国数字经济发展的空间格局与演化——基于 2013—2019 年经验数据分析[J].商学研究,2021,28(05):13-21+45.
- [56] 王胜鹏,滕堂伟,夏启繁,鲍涵.中国数字经济发展水平时空特征及其创新驱动机制[J].经济地理,2022,42(07):33-43.
- [57] 潘为华,贺正楚,潘红玉.中国数字经济发展的时空演化和分布动态[J].中国软科学,2021,No.370(10):137-147.
- [58] 李健,李彦霞,张杰.三大城市群绿色竞争力指数测度及演化分析[J].统计与决策,2022,38(20):93-97.
- [59] 吴周易. 数字经济发展对城市绿色创新的影响[D].江西财经大学,2022.
- [60] 海骏娇,辛晓睿,曾刚.中国城市环境可持续性的决策机制影响因素研究[J].经济经纬,2018,35(03):16-22.