数字经济发展对京津冀地区碳排放的影响研究

高 洁

北京林业大学经济管理学院 北京

【摘要】近年来，数字经济作为一种新型经济形态，对经济和社会发展产生了深远影响，研究数字经济对京津冀地区碳排放的影响，有利于深入了解数字经济发展对环境的影响机制，为推动低碳经济转型提供科学依据。本文以 2005-2021 年京津冀地区 13 个城市为研究样本，基于熵权法与 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）的公式分别测算数字经济发展指数与碳排放量，并具体测算了人均碳排放量与碳排放强度，在此基础上运用固定效应模型、中介效应模型实证研究了数字经济发展对京津冀地区碳排放的影响及作用机制。结果表明：（1）在京津冀地区，数字经济发展水平依次为北京最高，天津次之，河北最低；而碳排放情况则呈现为天津最低，北京次之，河北最高。（2）数字经济的发展对京津冀地区碳排放产生了双重影响，现阶段数字经济发展会使人均碳排放量增加，但能够显著降低碳排放强度，该结论在稳健性检验后仍然成立。（3）数字经济发展能够通过绿色技术创新间接影响碳排放。结合上述结论提出如下建议：（1）促进京津冀地区合作，实现碳减排共赢。（2）引导数字经济健康发展，实现经济增长与环境保护的协调发展。（3）促进绿色技术创新，推广绿色技术应用。

【关键词】数字经济；人均碳排放量；碳排放强度；京津冀地区

【基金项目】国家重点研发计划：政府间国际合作创新项目（2022YFE0115200）：野生传粉昆虫下降对生物多样性和生态系统服务的影响及应对策略

【收稿日期】2026 年 8 月 20 日 【出刊日期】2026 年 11 月 18 日 【DOI】10.12208/j.aee.20260009

Research on the impact of digital economy development on carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region

Jie Gao

School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing

【**Abstract**】In recent years, as a novel economic paradigm, the digital economy has exerted profound influences on both economic and societal development. Investigating the impact of the digital economy on carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region is conducive to gaining a deeper understanding of the environmental impact mechanism of digital economic development. It provides a scientific basis for promoting the transition to a low-carbon economy. This study takes 13 cities in the Jing-Jin-Ji region from 2005 to 2021 as research samples. Using the entropy weighting method and IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) formulas, it calculates the digital economy development index and carbon emissions, as well as per capita carbon emissions and carbon emission intensity. Based on this, fixed-effects models and mediation effects models are employed to empirically study the impact of digital economic development on carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region and its mechanisms. The results show that: (1) In the Beijing-Tianjin-Hebei region, the level of digital economic development is highest in Beijing, followed by Tianjin, and lowest in Hebei, while carbon emissions are lowest in Tianjin, followed by Beijing, and highest in Hebei. (2) The development of the digital economy has a dual impact on carbon emissions in the region. Currently, digital economic development increases per capita carbon emissions but significantly reduces carbon emission intensity. This conclusion holds true even after robustness testing. (3) The

作者简介：高洁，女，硕士研究生，主要研究方向：资源环境统计。

development of the digital economy can indirectly affect carbon emissions through green technology innovation. Based on the above conclusions, the following suggestions are proposed: (1) Promote cooperation in the Beijing-Tianjin-Hebei region to achieve win-win carbon reduction. (2) Guide the healthy development of the digital economy to achieve coordinated development between economic growth and environmental protection. (3) Promote green technology innovation and the application of green technology.

【Keywords】Digital economy; Carbon emissions per capita; Carbon emission intensity; Beijing-Tianjin-Hebei region

1 引言

20 世纪 90 年代以来，以全球变暖为主要特点的气候变化问题日益得到了国际社会的普遍关注。目前，国际社会的主流观点认为，全球变暖是工业革命后大量排放二氧化碳日益积累导致的温室效应日益增加的结果。21 世纪全球人口不断增加，人类活动越来越多，全球变暖的气候问题也越来越严峻，降碳减排已成为世界各国共识。中国的碳排放总量一直居于全球高位，2022 年，我国碳排放量同比增长 5.3%，占全球碳排放总量的比重上升至 30.9%，因此，我国政府高度重视碳排放问题，制定了一系列的碳减排目标。2016 年 4 月，中国签订了《巴黎协定》，并承诺 2030 年左右二氧化碳排放将达到峰值；2020 年 9 月，中国在第七十五届联合国大会上提出了一个更加清晰、更加坚定的发展方向，即 2030 年实现碳达峰，到 2060 年实现碳中和。“双碳”目标的提出不仅彰显了我国的责任担当，并且对之后的低碳发展起到了引领作用，有利于提高我国产业与经济的全球竞争力。作为中国北方最大的经济体，京津冀地区的发展备受关注，减少碳排放，实现“双碳”目标，京津冀地区责任重大。

与此同时，随着信息技术的改革和互联网的普及，数字经济逐渐成为了全球经济发展的重要引擎。数字经济规模的持续扩大，使数字技术越来越多地渗透到经济社会发展的各个领域，在推动国家治理现代化、满足人民日益增长的美好生活需要等方面发挥越来越重要的作用。京津冀地区数字经济实力稳步增长，《中国区域科技创新评价报告 2022》显示，北京正加速向世界一流的国家科技创新中心迈进，2022 年，其科技创新综合指标为 86.2，较前一年提升 1.6 个百分点，综合排名全国第二；天津的科技创新整体水平较前一年提高一名，重回前三行列；河北科技意识、科技产出水平和环境改善等指标排名均比前一年向前提升 2 位。数字经济不仅改变了传统产业的生产方式，还促进了经济的增长和创新，云计算、人工智能和区块链等技术的应用，使得信息流动更便捷、企业运营更高效、消费体验更个性化。

数字经济为经济增长和社会进步带来了巨大机遇，那么数字经济发展是否会影响京津冀地区碳排放？如果影响，那么其背后的影响程度和作用途径又如何？数字经济与碳排放实证研究的结论又是什么？为解答这些科学问题，本文以 2005-2021 年京津冀地区 13 个城市为研究样本，构建京津冀地区数字经济水平指标体系，测算京津冀地区的数字经济发展水平和碳排放情况，采用适当模型对数字经济和碳排放的关系进行探究。

在信息技术飞速发展的今天，数字经济正成为全球经济发展的主要动力，也将成为我国实现“双碳”目标的重要抓手。目前，关于数字经济和碳排放的相关文献不断丰富起来，但是针对数字经济发展对碳排放影响的理论尚有不足，实证检验也有待完善。因此，本文收集京津冀地区 13 个城市相关数据，将理论和实证相结合进行研究，这补充了京津冀地区关于数字经济对碳排放影响的研究空白，丰富和健全了数字经济影响碳排放的理论框架，也为数字经济与碳排放的研究提供了新思路。京津冀地区是中国重要的经济发展区域，也是碳排放较为集中的地区之一，研究数字经济发展对该地区碳排放的影响，有助于为区域碳排放管理提供科学支撑。此外，本文通过探究数字经济如何通过绿色技术创新影响碳排放，揭示了数字经济对碳排放之间的内在机理。

全球气候变暖趋势不断加剧，促进碳减排、加速低碳发展成为重中之重。当前中国正处于数字经济发展时代，探究数字经济对碳排放影响具有深远的现实意义。本文通过深入研究数字经济发展对京津冀地区碳排放的影响，可以更准确地评估数字经济发展对碳排放的贡献和影响程度，有助于政府制定更加科学、针对性的碳减排对策和措施，为京津

冀地区实现碳排放降低的目标提供科学依据。同时京津冀地区是中国重要的经济发展区域，研究数字经济发展对碳排放的影响，有助于促进区域协同发展。通过深入了解各地区的碳排放情况和数字经济发展水平，可以加强区域合作，共同应对碳排放挑战，推动京津冀地区经济社会可持续发展。

2 理论基础与实验假设

2.1 数字经济

Tapscott 在《数字经济时代》中首次正式提出了“数字经济”一词，并指出数字经济在未来发展的重要性[1]。但 Tapscott 并未对数字经济进行精准界定，因此各国的学者对数字经济的概念没有统一标准。例如美国学者 Beomsoo 认为，数字经济是依靠数字化信息和网络基础设施进行交易和产生价值的经济[2]。欧洲学者 Bukht 和 Heeks 将数字经济划分为三个层次：第一层次是数字部门本身，用来生产和制造数字技术，第二层次是通过数字经济创造的原本没有的经济形态，如平台经济、共享经济、算法经济等，第三层次则包括被“数字化”的各种经济活动，包括数字化生产、数字化交易和数字化治理[3]。中国研究人员欧阳日辉认为数字经济是数字及数字化产品和服务所进行的经济活动的统称[4]。童锋、张革和乐颖等指出数字经济以网络通信技术为核心，以数据为发展动力，是现代信息网络的重要载体[5,6]。综上所述，数字经济的基本概念可以概括为通过利用数字化技术和网络化手段来推动经济活动的数字化、智能化和网络化发展。

现有的大多数文献将数字经济和高质量发展、经济发展和产业结构优化升级相联系。高质量发展角度，丁志帆从微、中、宏观三个层次上分析了数字经济发展可以推动经济高质量发展[7]。李史恒和屈小娥实证发现数字经济能够直接赋能制造业高质量发展[8]。阳镇指出数字经济可以驱动企业高质量发展[9]。刘英基等研究全国除西藏、港澳台之外的 30 个省份发现数字经济正向赋能文旅融合质量发展[10]。经济发展角度，张勋和谭莹研究发现数字经济发展可以带来居民消费水平的增加，从而促进了人均收入水平提升和经济增长[11]。马嫣然等指出数字经济与经济增长之间存在倒 U 型曲线关系，适度数字经济发展可以促进经济增长[12]。产业结构角度，马晓君等、刘和东和纪然以及张姝和王雪标发现数字经济发展对产业结构升级有显著的促进作用[13-15]。

2.2 碳排放

碳排放是指在能源生产、工业生产、交通运输等活动中释放到大气中的二氧化碳等温室气体的过程。衡量碳排放的指标主要有：碳排放总量，指某一地区、某一产业或某一组织在一定时间内释放的二氧化碳总量；人均碳排放是一国或一地区的每一居民在单位时间的二氧化碳排放量，高人均碳排放量通常意味着该地区对气候变化的贡献较大，需要采取更多的措施来减少排放量，实现可持续发展；碳排放强度则是指单位国内生产总值或其他经济活动指标下的碳排放水平，反映了经济活动对碳排放的依赖程度，是衡量经济增长与碳排放之间关系的重要指标。通常来说，较低的碳排放强度意味着单位产值所产生的二氧化碳排放较少，表明经济发展与碳排放之间存在较好的脱钩效应，有利于实现经济增长与环境保护的双赢局面。因此，降低碳排放强度已成为各国实现经济增长的重要战略之一，在经济发展中注重绿色、低碳、可持续的发展路径。为了更全面地评估碳排放水平，为制定减排政策和推动低碳发展提供科学依据，本文选择人均碳排放量和碳排放强度作为衡量碳排放的指标。

目前关于碳排放的文献主要研究其影响因素，集中在经济水平、城镇化和技术创新等方面。本文就以上因素进行文献梳理。经济水平方面，Acheampong 实证发现经济增长对全球碳排放有负面影响，而碳排放对经济增长有积极影响[16]。平智毅等以长江经济带 11 个省份为样本，采用空间计量模型分析，发现经济增长对碳排放效率的提高存在空间溢出效应[17]。王勇等研究发现人均 GDP 对碳排放起到正向促进效应[18]。城镇化方面，杨美成发现中国城镇化发展可以产生正向碳排放效应[19]。王鑫静和程钰研究全球 118 个国家的面板数据，利用 STIRPAT 模型（Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology）发现城镇化水平对碳排放效率提升具有显著抑制作用[20]。技术创新方面，杨莉莎等、杨浩昌等以及裴海峰和陈镜如认为技术创新在碳减排过程中起关键性作用，技术创新有利于提升碳排放效率[21-23]。

2.3 数字经济对碳排放的影响

在全球变暖的大背景下，随着数字经济的不断发展，众多学者开始将数字经济和碳排放相结合进行研究。Karaki 等基于扩展的 STIRPAT 模型，通过

2011-2021 年金砖国家面板数据进行实证研究，发现碳排放与数字经济之间存在长期相关性[24]。Zhu 等研究表明，数字经济在碳排放中起着显著的抑制作用，并且可以通过创新效应和产业结构升级效应抑制碳排放[25]。杨刚强等通过构建内生增长模型进行研究发现数字经济发展具有碳减排效应，并且在低数字产业化与高产业数字化的地区，其作用更加显著[26]。王芳和董战峰发现数字经济现阶段主要通过降低能耗强度来减少碳排放[27]。金飞和徐长乐、葛立宇等考察了数字经济对碳排放的影响，发现二者之间呈现倒 U 型关系[28,29]。

对现有研究成果梳理发现，数字经济和碳排放是近几年研究的热点，其各自领域的研究已经十分丰富，而探索数字经济和碳排放之间的关系的研究也已经取得了一定成果，为本文奠定了坚实的理论基础，但总体来看仍有完善空间。首先，数字经济对碳排放影响研究的一大不足之处是缺乏实证分析。目前数字经济对碳排放的研究多为定性分析，许多文献主要依赖于理论推断，而缺乏对实际数据的长期观察和分析，限制了关于数字经济对碳排放影响的全面理解。其次，缺少特定区域研究也是一个值得关注的问题。数字经济在不同地区的发展状况、政策环境等存在较大差异，因此数字经济对碳排放的影响也可能因地而异。而目前有关数字经济对碳排放影响的文献研究往往以省级或国家层面为研究对象，缺乏针对单个区域的深入研究，限制了对该问题的深入理解。本文在已有研究的基础上，以京津冀地区为研究对象，应用面板模型研究数字经济对京津冀地区碳排放的影响，并进一步分析数字经济和碳排放间的内在机理，从而对低碳减排提出对策建议。

2.4 数字经济发展对碳排放的影响机制研究

2.4.1 直接效应分析

数字经济的快速发展对碳排放可能会产生双重影响，即增加碳排放量的同时降低碳排放强度，这一现象主要是由于数字经济的特点以及其影响因素的综合作用所导致的。

首先，数字经济的发展会导致碳排放量的增加。数字经济的发展通常伴随着信息技术、互联网服务、数字娱乐等领域的快速扩张，大量的数据中心、云计算设施和网络基础设施需要大量的电力供应，而这些电力如果主要来自于传统化石能源，会导致增加碳排放的结果。在电子设备的制造过程也会产生一定量的碳排放，尤其是在设备制造、组装、运输等环节，会消耗大量的能源，并伴随着相应的碳排放。

与此同时，数字经济的发展在一定程度上会降低单位 GDP 产生的碳排放量，进而使碳排放强度下降。这主要存在两方面的影响，一是数字经济的发展带来了信息技术、人工智能、大数据等技术的快速进步，智能化、自动化的生产工艺能够减少能源和资源的浪费，从而降低单位产品的碳排放量。二是数字经济的快速发展改变了人们的生活方式和工作方式，远程办公、在线购物等数字化生活方式的普及，减少了传统生产和生活方式带来的碳排放。一些新兴产业，如共享经济、电子商务等也促使生产和消费模式朝着更加节能、环保的方向发展，从而降低碳排放。

基于以上分析，本文提出以下假设：

H1：数字经济的发展对碳排放产生了双重影响，尽管它会导致碳排放量的增加，但同时也在一定程度上降低了碳排放强度。

2.4.2 中介效应分析

数字经济作为一种新型经济模式，以数字技术为核心，通过数字化、网络化和智能化为绿色创新技术的发展提供了多方面的支持。首先，数字经济为绿色创新技术的研发和应用提供了广阔的市场。随着人们对环保和可持续发展意识的提高，对绿色创新技术的需求日益增加，数字经济平台为绿色科技企业提供了便捷的渠道，使得它们能够更广泛地获取资金、人才和市场信息，加速技术的研究和推广。其次，数字经济推动了绿色创新技术的不断创新和转化。数字技术的快速发展和广泛应用，如大数据、人工智能、物联网等，为绿色创新技术的研究和应用提供了新的可能性。

数字经济的崛起为绿色创新技术的发展提供了巨大的动力，而绿色技术本身作为环境友好型技术可以直接对碳排放产生影响。首先，绿色创新技术提高了能源利用效率。如智能电网技术利用数字化和自动化手段优化能源管理，降低能源浪费，提高能源利用效率。这些技术的应用直接降低了碳排放。其次，绿色创新技术推动了可再生能源的发展和利用，通过数字化、智能化的管理和控制，可再生能源的使用效率得到提高，从而影响碳排放。

基于上述分析，本文提出如下假设：

H2：数字经济发展能够通过绿色创新技术影响碳排放。

3 模型设计

3.1 数字经济发展水平的测度

3.1.1 评价指标体系构建

目前，关于数字经济的测度体系尚未达成一致，现有研究多集中在省级层面，涉及城市层面数字经济测度的文献相对较少。因此本文在参考杨慧梅和江璐[30]、万晓榆和罗焱卿[31]以及巫景飞和汪晓月等[32]众多学者的文献研究并结合对数字经济概念理解的基础上，考虑到京津冀地区数据的可获得性，从数字基础设施建设、数字产业化和产业数字化三个维度构建京津冀地区数字经济发展指标体系，具体见表 1。

数字基础设施是指支持数字化技术运行和发展的设施和网络。本文从数字终端设施角度衡量，包括互联网宽带接入用户数、固定电话用户数和移动电话用户数三个指标。数字产业化指数字技术自身发展形成的产业（如信息通信业）。本文从产业效应和产业规模两个方面衡量，数字产业化效益包括电信业务收入和邮政业务收入两个三级指标；产业规模包括信息传输、软件和信息技术服务固定投资增长率和科学研究和技术服务业固定投资增长率两个三级指标。产业数字化指将数字技术应用于传统产业的生产和运营过程。本文从数字农业、数字工业和数字服务业三方面衡量，三级指标分别为第一产业、第二产业和第三产业的增加值。

3.1.2 熵权法

数字经济的发展涉及到多个方面，本文所构建的数字经济体系包括了三个一级指标、六个二级指标和十个三级指标。为了将各指标进行综合考虑，本文采用熵权法对数字经济指标体系进行测算。熵权法是一种客观公正的方法，不依赖于主观因素，可以根据指标数据进行计算，得出相对合理的权重。不同指标之间可能存在一定的相关性，而熵权法能够考虑到这些相关性，使得各个指标的权重更加合理，测算结果更加客观可信。通过熵权法可以获得三级指标的权重，进行相应加总可获得一级指标权重，具体见表 2。

表 1 京津冀地区数字经济发展指标体系表

一级指标	二级指标	三级指标	单位
数字基础设施	数字终端设施	互联网宽带接入用户数	万户
		固定电话用户数	万户
		移动电话用户数	万户
数字产业化	数字产业化效益	电信业务收入	万元
		邮政业务收入	万元
	数字产业化规模	信息传输、软件和信息技术服务固定投资增长率	%
		科学研究和技术服务业固定投资增长率	%
产业数字化	数字农业	第一产业增加值	亿元
	数字工业	第二产业增加值	亿元
	数字服务业	第三产业增加值	亿元

表 2 京津冀地区数字经济发展指标权重表

一级指标	权重	二级指标	三级指标	权重
数字基础设施	0.250	数字终端设施	互联网宽带接入用户数	0.081
			固定电话用户数	0.094
			移动电话用户数	0.075
数字产业化	0.473	数字产业化效益	电信业务收入	0.176
			邮政业务收入	0.196
		数字产业化规模	信息传输、软件和信息技术服务固定投资增长率	0.074
			科学研究和技术服务业固定投资增长率	0.027
产业数字化	0.277	数字农业	第一产业增加值	0.034
		数字工业	第二产业增加值	0.072
		数字服务业	第三产业增加值	0.171

从表 2 的结果可以看出，京津冀地区数字经济指标体系一级指标权重由高到低分别为数字产业化、产业数字化、数字基础设施建设，其中数字基础设施和产业数字化两个指标权重近似相同。

3.2 碳排放的测度

3.2.1 指标选择

碳排放的来源多样，没有统一标准，为了数据的完整性和可获得性，本文参考丁斐等（2020）的做法，选取京津冀地区 13 个城市的天然气、液化石油气以及电力三类能源消耗量作为碳排放总量的代理指标[33]。由能源消耗量和二氧化碳排放系数可以计算出京津冀地区的碳排放总量，各指标对应的二氧化碳排放系数见表 3。

表 3 各能源的碳排放系数及折标准煤系数表

能源类别	二氧化碳排放系数	折标准煤系数
天然气	2.1622 $kgCO_2/m^3$	1.3300 kgce/m^3
液化石油气	3.1013 $kgCO_2/kg$	1.7143 kgce/kg
电力	0.5703 tCO_2/MWh	0.1229 kgce/kWh

3.2.2 测度方法

目前碳排放的核算方法主要有三种，包括排放因子法、质量平衡法和实测法。其中排放因子法是应用最为广泛的一种，它适合于国家、省、市等更宏观的核算层次，能够从宏观上把握某一地区的总体状况；质量平衡法可以区分各类设备和排放源之间的差异；实测法需要实测排放源基本数据，获取相对困难。当前学术界关于碳排放测度大多采用排放因子法来进行核算，本文基于前人文献以及研究对象方面的考虑，采用排放因子法对京津冀地区碳排放进行测度。

排放因子法由联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出，其基本公式如下：

$$Q = \sum AD_i * EF_i \quad (3\text{-}1)$$

其中，Q 为二氧化碳排放总量，AD_i 为第 i 类能源的活动数据水平，EF_i 为第 i 类二氧化碳排放系数。

人均碳排放量（c）相较于碳排放总量更具有可比性。为计算人均碳排放量，本文收集了京津冀地区 13 个城市的年末常住人口（$popu$），根据如下公式计算：

$$c = \frac{Q}{popu} \quad (3\text{-}2)$$

碳排放强度（ci）是指单位 GDP 的二氧化碳排放量。为计算碳排放强度，本文搜集了京津冀地区 13 个城市的地区生产总值（gdp），根据如下公式计算：

$$ci = \frac{Q}{gdp} \quad (3\text{-}3)$$

3.3 模型设计

3.3.1 变量选取及说明

本文以碳排放为被解释变量。为更准确、全面反映京津冀地区碳排放情况，本文以人均碳排放量和碳排放强度两个具体被解释变量，分别记为 c 和 ci，设定数字经济发展为核心解释变量，记为 dig。

除核心解释变量外，本文还选择了其他的控制变量。人口规模：人口增加通常会伴随着消费需求的增加，可能会影响整个社会的生活方式和消费习惯，从而对碳排放产生影响。本文选用年末人口数来表示，记为 popu。经济发展水平：随着城市经济的发展，对能源的需求可能会增加，消费水平、交通需求也会发生变化，这些因素可能会使碳排放发生变化。选取人均地区生产总值衡量，并进行对数处理，记为 lnpgdp。对外开放程度：对外开放程度的提升会促进资源的流动和配置，可能会导致资源消耗的增加。采用当年实际使用外资金额所占 GDP 比重来进行衡量，当年实际使用外资金额的原始单位为美元，本文利用历年汇率水平将其单位换算为人民币，消除汇率差异的影响，记为 open。城市绿化水平：绿化水平提升可以提供一些生态系统服务，如吸收二氧化碳、净化空气、降低城市热岛效应等，这些生态服务可以降低碳排放。本文选用市辖区的绿地面积与行政区域土地面积的比值来代表城市绿化水平，记为 affor。

3.3.2 模型设定

为研究数字经济是否对京津冀地区碳排放产生影响，即验证上述假设 H1：数字经济发展导致碳排放量的增加，但同时也在一定程度上降低了碳排放强度，本文构建了面板模型：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 dig_{it} + \alpha_2 \sum control_{it} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3\text{-}4)$$

式（3-4）中，i 为城市，t 为年份；Y 为被解释变量，分别为人均碳排放量 c 和碳排放强度 ci，dig 为核心解释变量，指数字经济发展水平，$control$ 为一系列控制变量；δ_t 为时间固定效应，μ_i 为个体固定效应，ε_{it} 为随机误差项。

3.4 中介效应模型

3.4.1 变量选取与数据来源

数字经济的发展促进了科技交流与合作，为绿色创新技术提供可能性，而绿色创新技术影响能够提高能源利用效率、推动清洁能源应用，从而影响生产和能源消耗过程中的碳排放。因此，本文以绿色技术创新为中介变量，记为 innov。采用当年获得的绿色发明数量来衡量绿色技术创新。

3.4.2 模型设定

为研究数字经济是否能通过绿色技术创新对京津冀地区碳排放产生中介效应，即验证上述假设 H2：数字经济发展能够通过绿色创新技术影响碳排，本文构建了中介效应模型：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 dig_{it} + \alpha_2 \sum control_{it} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3\text{-}5)$$

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 dig_{it} + \beta_2 \sum control_{it} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3\text{-}6)$$

$$Y_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 dig_{it} + \gamma_2 M_{it} + \gamma_3 \sum control_{it} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3\text{-}7)$$

上述递归方程中，M_{it} 为中介变量，表示绿色技术创新，其他变量与式（3-4）相同。

3.5 数据来源

本文所涉及到的各个变量主要数据来源为历年《中国城市统计年鉴》和北京市、天津市以及河北省各城市统计年鉴等，选取的 2005-2021 年有关能源消耗量数据全部来源于《中国城市统计年鉴》，个别缺失数据采用线性插值法补齐，折标准煤系数来源于《综合能耗计算通则》，天然气和液化石油气碳排放系数来源于《省级温室气体清单编制指南》，电力碳排放系数取 2022 年全国电网平均排放因子，来源于《关于做好 2023-2025 年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知》。当年获得的绿色发明数量的数据来源为中国研究数据服务平台。对于少量难以收集的数据，本文采用线性插值法补齐。

4 数字经济对碳排放影响的实证研究

4.1 描述性统计

在进行回归分析之前，先对各变量进行了描述性统计分析，具体结果见表 4。可以发现，无论是人均碳排放量、碳排放强度，还是数字经济发展水平都存在较大差异。

表 4 描述性统计结果表

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
c	221	2.178	2.038	0.153	9.011
ci	221	0.470	0.402	0.0808	4.015
dig	221	0.113	0.129	0.0139	0.728
popu	221	753.7	333.5	278.6	2189
lnpgdp	221	10.53	0.636	9.210	12.12
open	221	2.300	1.970	0.0728	11.45
affor	221	0.854	1.201	0.0404	5.672

4.2 关键变量测算结果

4.2.1 数字经济发展指数

本文利用熵权法测算的京津冀地区数字经济发展指数如表 5 所示。对 2005-2021 年京津冀地区各城市数字经济指数取平均值，可以发现，各城市的数字经济发展水平存在较大差异。数字经济发展水平平均值得分的前三名分别是北京市、天津市和石家庄市，分别为 0.487、0.225 和 0.131；而秦皇岛市、衡水市和承德市得分较低，分别为 0.037、0.037 和 0.035，是排名的最后三名。

图 1 反映了北京、天津和河北三个地区的数字经济发展水平随时间变化的趋势。从 2005-2021 年，三个地区的数字经济综合发展指数整体呈现上升趋势，可能原因是技术不断创新和进步，推动了数字基础设施的完善与普及，加速了企业和政府的数字化转型，同时电子商务的兴起和移动互联网的普及也为数字经济的快速增长提供了强劲动力，共同推动了数字经济在这一时期的蓬勃发展。从图中也可以清晰看到，北京数字经济发展水平远高于天津和河北地区，而河北地区的数字经济发展水平又低于天津。

表 5 2005-2021 年京津冀地区各城市数字经济发展指数表

	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
2005	0.273	0.123	0.079	0.043	0.044	0.025	0.026	0.029	0.014	0.044	0.018	0.039	0.029
2006	0.296	0.140	0.082	0.066	0.031	0.047	0.028	0.054	0.017	0.017	0.038	0.026	0.019
2007	0.342	0.160	0.084	0.071	0.026	0.050	0.032	0.055	0.018	0.016	0.044	0.034	0.020
2008	0.373	0.195	0.085	0.064	0.036	0.042	0.034	0.035	0.021	0.046	0.030	0.049	0.031
2009	0.410	0.210	0.089	0.095	0.022	0.056	0.034	0.064	0.022	0.035	0.048	0.035	0.023
2010	0.460	0.204	0.094	0.096	0.026	0.058	0.039	0.082	0.083	0.021	0.055	0.112	0.035
2011	0.380	0.170	0.120	0.116	0.033	0.071	0.045	0.083	0.048	0.034	0.065	0.053	0.032
2012	0.419	0.185	0.124	0.130	0.034	0.076	0.049	0.092	0.035	0.027	0.106	0.053	0.034
2013	0.449	0.192	0.128	0.135	0.038	0.078	0.055	0.105	0.051	0.032	0.073	0.062	0.035
2014	0.488	0.234	0.134	0.129	0.042	0.077	0.065	0.116	0.048	0.033	0.074	0.056	0.034
2015	0.529	0.297	0.140	0.126	0.033	0.082	0.058	0.114	0.047	0.033	0.077	0.055	0.037
2016	0.525	0.253	0.151	0.134	0.038	0.087	0.060	0.120	0.044	0.040	0.079	0.074	0.042
2017	0.541	0.278	0.161	0.131	0.042	0.085	0.070	0.123	0.041	0.038	0.099	0.068	0.047
2018	0.673	0.271	0.174	0.136	0.048	0.091	0.070	0.132	0.045	0.040	0.093	0.086	0.047
2019	0.691	0.285	0.183	0.141	0.044	0.096	0.073	0.143	0.047	0.044	0.095	0.091	0.049
2020	0.692	0.299	0.191	0.151	0.049	0.102	0.078	0.157	0.049	0.049	0.110	0.099	0.053
2021	0.728	0.329	0.209	0.164	0.050	0.118	0.093	0.173	0.055	0.051	0.116	0.113	0.060

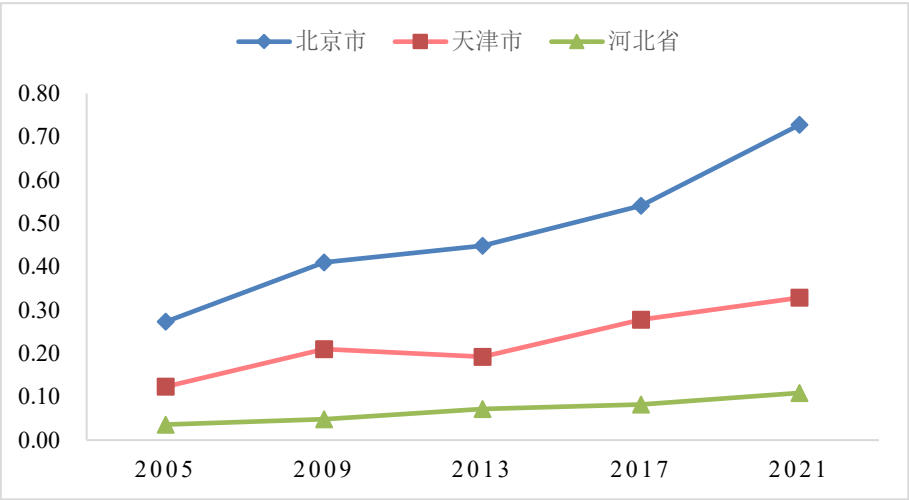


图 1 京津冀地区各年份数字经济综合发展指数图

4.2.2 人均碳排放量和碳排放强度

本文利用 IPCC 公式测算的京津冀地区各城市碳排放总量如表 6 所示。从整体上看，13 个城市的碳排放量呈上升趋势，且北京市、天津市和唐山市的碳排放量相对其他城市较高，秦皇岛市、张家口市和衡水市相对较低。

图 2 反映了北京、天津和河北三个地区的碳排放总量随时间变化的趋势。

可以看出，京津冀三个地区中，天津市碳排放量最低，且随时间呈缓慢上升趋势；对于北京市和河北省来说，2013 年之前，两个地区的碳排放总量近似相同，但 2013 年之后，北京市的碳排放量缓慢增长，而 2013-2017 年间河北省碳排放总量急剧增长，远远超过了北京市和天津市的碳排放量。

表 6 2005-2021 年京津冀地区各城市碳排放总量表（单位：亿吨）

	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
2005	0.434	0.257	0.068	0.153	0.032	0.052	0.024	0.027	0.029	0.020	0.010	0.010	0.009
2006	0.439	0.289	0.071	0.160	0.037	0.046	0.026	0.029	0.031	0.018	0.012	0.011	0.010
2007	0.520	0.327	0.076	0.201	0.040	0.028	0.032	0.030	0.034	0.023	0.012	0.014	0.011
2008	0.574	0.346	0.076	0.220	0.044	0.029	0.036	0.035	0.038	0.024	0.014	0.016	0.011
2009	0.628	0.369	0.076	0.258	0.043	0.035	0.036	0.040	0.037	0.028	0.017	0.019	0.012
2010	0.675	0.434	0.080	0.287	0.031	0.038	0.037	0.034	0.041	0.030	0.031	0.023	0.019
2011	0.691	0.448	0.090	0.293	0.032	0.043	0.038	0.046	0.044	0.029	0.034	0.033	0.017
2012	0.775	0.488	0.091	0.316	0.038	0.046	0.036	0.048	0.044	0.026	0.049	0.040	0.017
2013	0.818	0.525	0.097	0.341	0.048	0.095	0.036	0.049	0.044	0.028	0.042	0.042	0.018
2014	0.877	0.542	0.139	0.328	0.051	0.094	0.038	0.053	0.044	0.027	0.046	0.049	0.025
2015	0.982	0.545	0.160	0.299	0.064	0.097	0.031	0.056	0.040	0.027	0.046	0.035	0.026
2016	1.075	0.559	0.229	0.202	0.068	0.115	0.048	0.062	0.051	0.027	0.049	0.039	0.033
2017	1.107	0.584	0.304	0.460	0.102	0.226	0.149	0.216	0.088	0.096	0.173	0.166	0.081
2018	1.228	0.638	0.288	0.479	0.106	0.248	0.165	0.234	0.100	0.099	0.197	0.174	0.091
2019	1.242	0.658	0.346	0.517	0.109	0.261	0.174	0.241	0.104	0.110	0.210	0.175	0.096
2020	1.200	0.675	0.334	0.525	0.104	0.272	0.173	0.246	0.111	0.117	0.221	0.185	0.097
2021	1.274	0.756	0.335	0.555	0.124	0.291	0.195	0.271	0.124	0.132	0.246	0.210	0.103

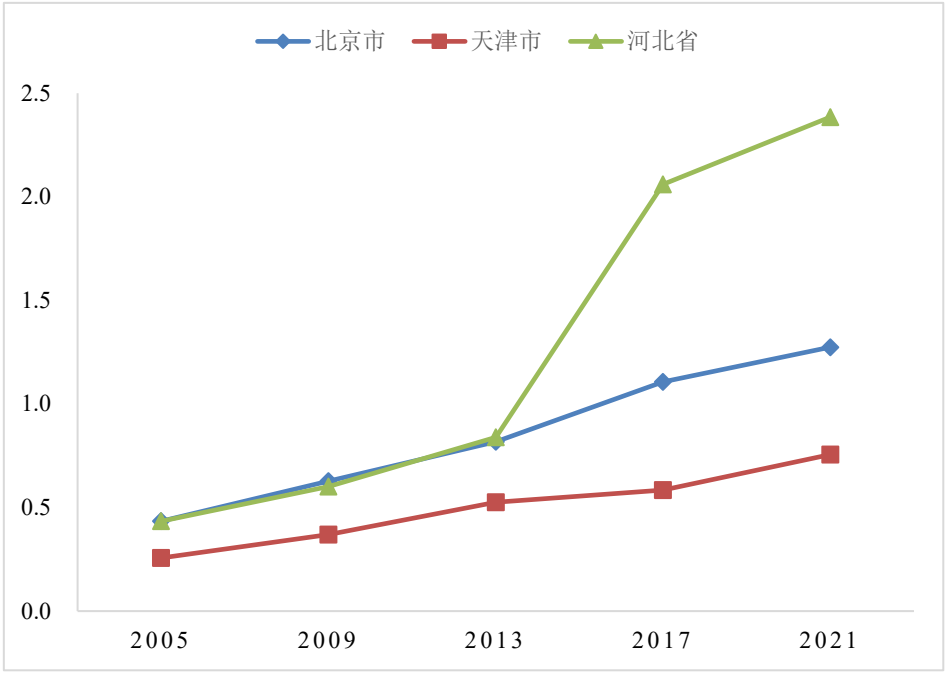


图 2 京津冀地区各年份碳排放总量图

为反映京津冀地区人均碳排放量和碳排放强度的情况，分别计算 2005-2021 年各城市人均碳排放量和碳排放强度的均值，通过绘制条形图来反映京津冀地区碳排放的空间特征（图 3）。

总体上看，北京市、天津市的人均碳排放量要高于河北省，在河北省 11 个城市中唐山市、秦皇岛市和石家庄市人均碳排放量较高。尽管北京和天津的人均碳排放量较高，但其碳排放总量明显低于河北省，可能是由于北京和天津拥有相对较小的地理面积和人口规模。

在碳排放强度方面，京津冀各地区也有明显不同，具体如图 4 所示。从整体上看，河北省的碳排

放强度略高于北京和天津，而北京市和天津市碳排放强度近似相同；在京津冀地区 13 个城市中，唐山市、邢台市碳排放强度较高，沧州市、廊坊市和衡水市碳排放强度较低。

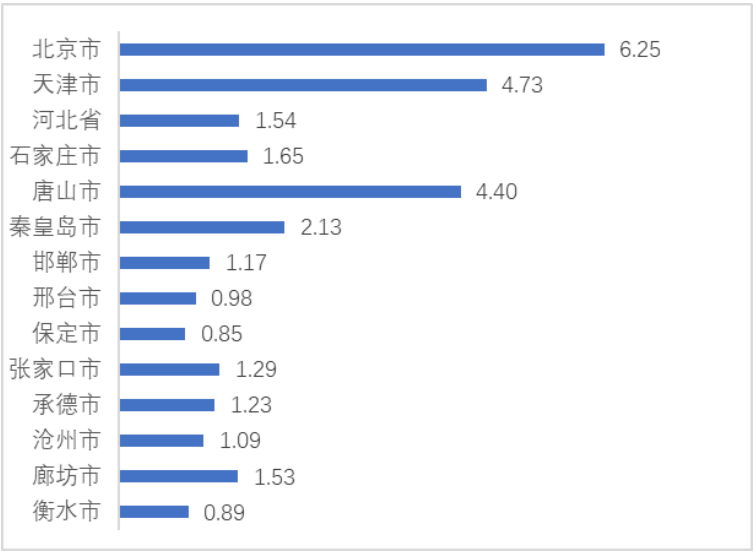


图 3 京津冀地区人均碳排放量图

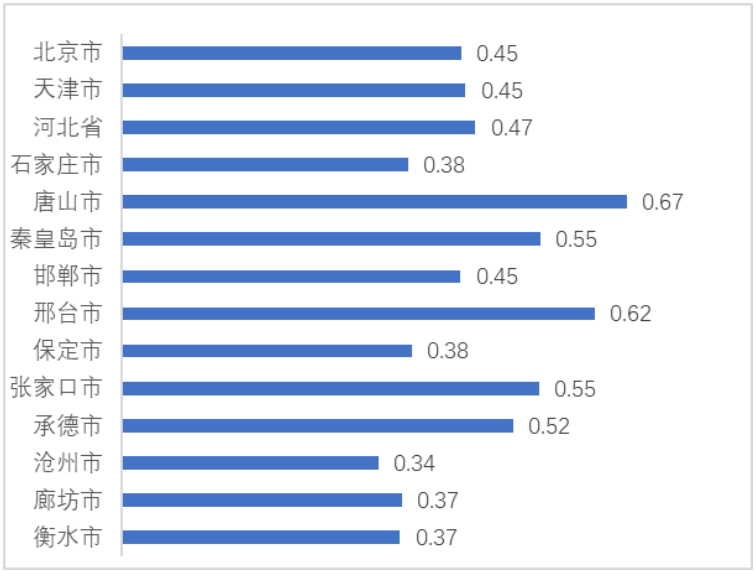


图 4 京津冀地区碳排放强度图

4.3 平稳性检验

面板回归分析的适用条件是各变量都是平稳的或存在协整关系，通常使用单位根检验来检查面板数据的平稳性。主要包括 LLC 检验（Levin-Lin-Chu）、Fisher 检验和 HT 检验（Harris-Tzavalis）等，LLC 检验适合于平衡长面板数据，Fisher 检验适合非平衡长面板数据，HT 适合于短面板数据，而本文选取的数据经过插值法补齐之后为平衡长面板数据，因此本文采用 LLC 检验法，结果如表 7 所示，所有变量通过了平稳性检验。

4.4 基准回归分析结果

为选择合适的模型进行分析，对模型进行了 Hausman 检验，但 Hausman 检验的结果为负值，参考连玉君等研究可知，如果 Hausman 检验值为负，则应采用固定效应[34]。故本文选择固定效应模型。

考虑到个体异质性和时间异质性，本文采用了双向固定效应模型，分别对数字经济发展和人均碳排放量、数字经济发展和碳排放强度进行了基准回归，结果见表 8。

表 7 面板数据单位根检验结果表

变量名	LLC 统计值	P 值	检验结论
c	-5.3261	0.0000	平稳
ci	-8.6700	0.0000	平稳
dig	-7.5543	0.0000	平稳
popu	-3.8377	0.0001	平稳
lnpgdp	-5.5865	0.0000	平稳
open	-6.8080	0.0000	平稳
affor	-5.8939	0.0000	平稳

表 8 基准回归结果表

VARIABLES	（1）c	（2）c	（3）ci	（4）ci
dig	4.453***	6.483***	-1.739***	-1.369**
	（0.943）	（1.255）	（0.483）	（0.645）
lnpgdp		0.356		0.425***
		（0.284）		（0.146）
open		0.0717**		0.111***
		（0.0324）		（0.0167）
popu		-0.00448***		0.000563**
		（0.000520）		（0.000267）
affor		0.369**		-0.0159
		（0.152）		（0.0779）
Constant	3.172***	2.579	1.182***	-4.566***
	（0.447）	（3.112）	（0.229）	（1.601）
Observations	221	221	221	221
R-squared	0.833	0.884	0.631	0.742

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的水平下显著。

可以发现，无论是否添加控制变量，对于人均碳排放量，数字经济的回归系数都为正，分别为 4.453、6.483，并且都通过了 1%的显著性检验，说明数字经济的发展会显著增加京津冀地区的人均碳排放量。

对于碳排放强度，数字经济的回归系数都为负，并且都通过了 5%的显著性检验，说明数字经济发展水平的提高会显著降低京津冀地区碳排放强度，可能是因为数字经济发展促进了信息技术的广泛应用，提高了生产效率和资源利用效率，减少了能源和资源的浪费，从而降低了单位 GDP 产生的碳排放量。

在控制变量方面，经济发展对碳排放产生正向影响，但其对于人均碳排放的影响并不显著，对于碳排放强度的影响在 1%水平下显著，回归系数为 0.425，说明经济发展水平的提高会增加碳排放，可能是因为随着经济的发展，城市工业化程度通常会加深，这会带来更多的工业生产活动，并且经济发展通常需要大量的基础设施建设，这些设施建设通常会涉及大量碳密集型材料的使用，从而导致碳排放强度增加。

对外开放会对碳排放产生正向影响，回归系数分别是 0.0717、0.111，并且都通过了 5%的显著性检验。可能原因是一方面对外开放常伴随着更多的物流和运输活动，包括船舶、飞机和卡车等的运输，这些活动会消耗大量的能源，致使碳排放增加；另一方面，为了吸引外资和促进对外贸易，可能会在环境监管方面放松限制，导致企业在生产过程中更少受到碳排放管制，从而增加了碳排放。

人口规模对人均碳排放量表现为负向的抑制作

用，系数值为-0.00448，即人口规模每增加一个单位，人均碳排放降低 0.00448 个单位，可能原因为人口增加可能会促使政府和社会采取更多的环保和节能措施，从而降低单位人口对应的碳排放量；但人口规模对碳排放强度表现为正向的促进作用，系数值为 0.000563，即人口规模每增加一个单位，碳排放强度将增加 0.000563 个单位，影响程度较小。

城市绿化水平对人均碳排放量有正向的促进作用，系数值为 0.369，可能原因是城市绿化项目的建设过程可能会涉及植树造林、土地改造及绿化维护等活动，这些活动会产生一定量的碳排放；城市绿化对碳排放强度有负向的抑制作用，但其影响并不显著。

4.5 稳健性检验

为了保证结论的可信度和可靠性，本文采用三种方法进行了稳健性检验，分别是更换变量、进行缩尾处理以及工具变量法。

第一，更换核心解释变量。本文通过改变数字经济指标的测度方法来进行稳健性检验。前文采用熵权法得到京津冀地区的数字经济发展指数，现采用主成分法对数字经济发展水平重新测度，代替原有的核心解释变量重新进行回归分析，结果如表 9 的列（1）、列（2）。可以看到，用主成分法构建的数字经济发展指数仍然对人均碳排放量具有显著正向影响，对碳排放强度有显著负向影响。

第二，进行缩尾处理。缩尾处理是一种常用的检验稳健性的方法，其基本思路是对数据中的极端值进行处理，观察结果是否保持稳健。本文对所有变量进行了 1%的缩尾处理，然后又进行了回归分析，结果见表 9 的列（3）、列（4）。可以发现，缩尾后的估计结果与原来研究结果无明显差别，数字经济对人均碳排放量仍然是有正向的促进作用，且通过了 1%的显著性检验；数字经济对碳排放强度仍然有负向的抑制作用，且通过了 5%的显著性检验。处理后的结果相对稳定，表明模型具有较好的稳健性。

表 9 稳健性检验表

VARIABLES	（1）c	（2）ci	（3）c	（4）ci
dig			3.769***	-1.086**
			（1.421）	（0.436）
dig2	0.321***	-0.0601**		
	（0.0805）	（0.0253）		
lnpgdp	0.203	0.501***	0.227	0.514***
	（0.323）	（0.102）	（0.333）	（0.102）
open	0.0951**	0.0565***	0.111**	0.0572***
	（0.0439）	（0.0138）	（0.0450）	（0.0138）
popu	-0.00338***	0.00163***	-0.00330***	0.00168***
	（0.00108）	（0.000340）	（0.00111）	（0.000342）
affor	0.292	-0.149***	0.458**	-0.147***
	（0.183）	（0.0575）	（0.185）	（0.0568）
Constant	3.812	-6.208***	2.987	-6.292***
	（3.906）	（1.228）	（4.010）	（1.231）
Observations	221	221	221	221
R-squared	0.893	0.848	0.631	0.819

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的水平下显著。

第三，工具变量法。为避免由于遗漏变量导致的内生性问题，本文参考邓荣荣和张翱祥的研究，通过构造工具变量来解决内生性问题[35]。本文选取滞后一期的数字经济发展水平为工具变量，用两阶段最小二乘法来识别数字经济发展和碳排放之间的关系，结果见表 10。根据列（1）的回归结果，可以看到工具变量与数字经济发展水平显著正相关，通过进行 Endogenous 检验，其 F 值为 137.409>10，拒

绝了存在弱工具变量的原假设，且工具变量个数和内生解释变量个数都为 1，不存在过度识别，因此本文工具变量合理。根据列（2）、列（3），数字经济对人均碳排放量的影响依然在 1%的显著性水平下为正，对碳排放强度的影响在 10%的显著性水平下为负，基准回归结果可靠。

4.6 中介效应分析

经过检验，绿色技术创新的 LLC 统计量为-2.8870，P 值为 0.0019，该变量平稳。

为验证假设 H2 是否成立，本文利用中介效应模型来研究数字经济对碳排放的间接效应，分别对数字经济关于绿色技术创新、数字经济和绿色技术创新关于碳排放进行回归分析，具体见表 11。

表 10 工具变量估计结果表

VARIABLES	（1）dig	（2）c	（3）ci
dig		8.954***	-2.120*
		（2.041）	（1.086）
dig.iv	0.731***		
	（0.063）		
lnpgdp	0.026**	0.256	0.455***
	（0.010）	（0.293）	（0.166）
open	0.001	0.0556*	0.115*
	（0.002）	（0.0336）	（0.0639）
popu	0.000	-0.00475***	0.000645
	（0.000）	（0.000467）	（0.000448）
affor	0.024**	0.169	0.0450
	（0.010）	（0.192）	（0.171）
Constant	-0.235*	3.773	-4.929**
	（0.131）	（3.238）	（1.982）
Observations	221	221	221
R-squared	0.983	0.964	0.757

表 11 中介效应回归结果表

VARIABLES	（1）c	（2）ci	（3）innov	（4）c	（5）ci
dig	6.483***	-1.369**	99.26***	4.612***	-0.505
	（1.255）	（0.645）	（11.06）	（1.484）	（0.765）
innov				0.0189**	-0.00871**
				（0.00820）	（0.00423）
lnpgdp	0.356	0.425***	2.588	0.307	0.447***
	（0.284）	（0.146）	（2.505）	（0.282）	（0.145）
open	0.0717**	0.111***	0.693**	0.0586*	0.117***
	（0.0324）	（0.0167）	（0.286）	（0.0326）	（0.0168）
popu	-0.00448***	0.000563**	-0.0105**	0.00428***	0.000471*
	（0.000520）	（0.000267）	（0.00458）	（0.000521）	（0.000269）
affor	0.369**	-0.0159	6.139***	0.254	0.0375
	（0.152）	（0.0779）	（1.336）	（0.158）	（0.0815）
Constant	2.579	-4.566***	-59.31**	3.697	-5.083***
	（3.112）	（1.601）	（27.44）	（3.115）	（1.607）
Observations	221	221	221	221	221
R-squared	0.884	0.742	0.660	0.853	0.822

通过列（3）可以看出，数字经济发展对绿色技术创新存在显著正向影响，表明数字经济发展能够提升绿色技术创新能力。

根据列（4）可以发现，在加入中介变量后，数字经济对人均碳排放仍具有显著的正向作用，但相较于基准回归，数字经济发展对于人均碳排放的回归系数有所下降，验证了绿色技术创新在数字经济发展和人均碳排放量之间起到了一定的解释作用，部分解释了数字经济对人均碳排放的影响。

根据列（5）可以看出，加入中介变量后，数字经济对碳排放强度仍具有负向作用，但不再显著，说明绿色技术创新在数字经济和碳排放强度之间的关系中起着至关重要的作用，数字经济对碳排放强度的影响主要通过绿色技术创新来进行传递和解释。

以上说明了数字经济发展能够通过绿色创新技术影响碳排放，验证了假设 H2。

此外，本文对于中介效应进行了 Sobel-Goodman 检验，结果显示检验统计量的 p 值均小于 0.05，拒绝了不存在中介效应的原假设，故本文的中介效应结果成立。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文以京津冀地区为研究对象，收集整理了 2005-2021 年 13 个城市的统计数据，利用熵权法得出京津冀地区数字经济综合发展指数，利用 IPCC 发布的公式计算京津冀地区的碳排放量，并分析了京津冀地区数字经济发展和碳排放情况的现状，之后采用双向固定效应模型探究数字经济对碳排放的直接影响，采用中介效应模型探究数字经济对碳排放的间接影响，得出如下结论：

第一，京津冀不同地区的数字经济发展和碳排放状况有明显差异。北京、天津和河北三个地区的数字经济综合发展指数整体呈现上升趋势，呈现出北京高于天津，天津高于河北的态势。在碳排放总量方面，河北省增长最快且其排放量最高，天津市和北京市平稳增长，且北京市碳排放总量高于天津市。但对于人均碳排放量，北京市最高，其次是天津市，最后是河北省，主要原因可能是北京和天津拥有较小的人口规模；对于碳排放强度，三个地区差别不大，但河北省略高于其他两个地区。

第二，数字经济的发展对碳排放产生了双重影响。一方面，现阶段数字经济的发展对人均碳排放量有显著正向影响；另一方面，数字经济水平发展对碳排放强度有显著负向影响。该结论在进行稳健性检验后仍然成立。与此同时，对外开放和城市绿化都会在一定程度上增加人均碳排放量，而人口规模的增加会降低京津冀地区的人均碳排放量；对外开放程度的提升、经济水平的发展和人口规模的增加都会对碳排放强度起到促进作用，但人口规模对其影响较小。

第三，数字经济的不同维度对碳排放的影响不同。通过分析数字经济指标体系的三个一级指标和碳排放的关系，发现各个指标对人均碳排放量都有显著正向影响，但三个指标的影响程度差异较大，数字基础设施和产业数字化的影响较大，数字产业化影响较小；数字经济维度的三个指标对碳排放强度都有显著负向影响，仍然是数字基础设施和产业数字化影响较大，数字产业化影响较小，但影响程度差异不大。

第四，数字经济可通过绿色技术创新对碳排放产生影响。通过进行中介效应分析，发现绿色技术创新在数字经济发展和人均碳排放量之间起到了一定的解释作用，部分解释了数字经济对人均碳排放量的影响；而在数字经济对碳排放的强度的影响中，绿色技术创新起到了关键作用，它充分地解释了数字经济和碳排放强度之间的关系。

5.2 政策建议

本文的研究成果为数字经济对京津冀地区碳排放影响提供了理论支撑。为此，本文提出以下政策建议：

第一，促进京津冀地区合作，实现碳减排共赢。首先，北京、天津和河北省应加强数字经济方面的合作，共同推动数字化转型，优化产业结构，带动河北省数字经济的发展，通过提升技术水平和信息化管理，降低碳排放。其次，加强跨区域的碳排放管理与调控，推动碳减排合作，共同制定和实施碳排放减排目标，从而推动京津冀三个地区共同降低碳排放。最后，京津冀地区也可以通过开展碳减排知识普及和宣传教育，引导公众树立低碳生活理念，推动绿色消费和节能减排行动，形成全社会共同参与的减排合力。

第二，引导数字经济健康发展，实现经济增长与环境保护的协调发展。首先，政府应加强对数字

经济领域的环境监管，制定严格的环保标准和排放限制，对违规企业进行处罚。同时，政府可以建立环境奖惩机制，对达标企业给予奖励，激励企业加强环保投入，推动其采取更多的减排措施。其次，政府可以制定相关政策，鼓励和支持数字经济领域的企业采用清洁能源，减少对传统高碳能源的依赖。同时，加强能源效率管理，提高资源利用效率，降低碳排放水平。

第三，促进绿色技术创新，推广绿色技术应用。政府可以通过税收优惠和补贴等政策，鼓励企业采用和推广绿色技术。还可以组织开展绿色技术培训和宣传活动，提高企业和公众对绿色技术的认知和理解。这可以包括举办绿色技术培训课程、举办绿色技术展览和推广活动等，从而促进绿色技术的更广泛应用和推广。此外，政府可以选取一些具有示范性和推广价值的绿色技术项目，给予重点支持和资金补贴。这有助于推动绿色技术在实际应用中的效果展示和示范效应的形成，促进其在市场中的普及和推广。

参考文献

[1] Tapscott D. The digital economy: promise and peril in the age of networked intelligence[M]. New York: McGraw Hill, 1996.

[2] Beomsoo Kim.Virtual Field Experiments for a Digital Economy: A New Research Methodology for Exploring an Information Economy[J].Decision Support Systems,2002, 32(1):215-231.

[3] Bukht R, Heeks R. Defining, conceptualising and measuring the digital economy[J]. Development Informatics working paper, 2017 (68).

[4] 欧阳日辉.数字经济的理论演进、内涵特征和发展规律[J].广东社会科学,2023(01):25-35+286.

[5] 童锋,张革.中国发展数字经济的内涵特征、独特优势及路径依赖[J].科技管理研究,2020,40(02):262-266.

[6] 乐颖,金波,陈美红,张化尧.数字经济内涵与当前数字创业现状:基于“浙江好项目”的分析[J].上海管理科学,2020,42(01):25-29.

[7] 丁志帆.数字经济驱动经济高质量发展的机制研究:一个理论分析框架[J].现代经济探讨,2020(01):85-92.

[8] 李史恒,屈小娥.数字经济赋能制造业高质量发展:理论机制与实证检验[J].经济问题探索,2022(10):105-117.

[9] 阳镇.数字经济如何驱动企业高质量发展?——核心机制、模式选择与推进路径[J].上海财经大学学报,2023, 25(03):92-107.

[10] 刘英基,邹秉坤,韩元军,余超.数字经济赋能文旅融合高质量发展——机理、渠道与经验证据[J].旅游学刊,2023, 38(05):28-41.

[11] 张勋,谭莹.数字经济背景下大国的经济增长机制研究[J].湖南师范大学社会科学学报,2019,48(06):27-36.

[12] 马嫣然,吕寒,蔡建峰.数字经济、技术创新与区域经济增长[J].统计与决策,2023,39(06):98-103.

[13] 马晓君,李艺婵,傅治,刘淑敏.空间效应视角下数字经济对产业结构升级的影响[J].统计与信息论坛,2022, 37(11):14-25.

[14] 刘和东,纪然.数字经济促进产业结构升级的机制与效应研究[J].科技进步与对策,2023,40(01):61-70.

[15] 张姝,王雪标.数字经济对产业结构升级影响的实证检验[J].统计与决策,2023,39(03):15-20.

[16] Acheampong A O. Economic growth, CO_2 emissions and energy consumption: what causes what and where?[J]. Energy Economics, 2018, 74: 677-692.

[17] 平智毅,吴学兵,吴雪莲.长江经济带碳排放效率的时空差异及其影响因素分析[J].生态经济,2020,36(03):31-37.

[18] 王勇,许子易,张亚新.中国超大城市碳排放达峰的影响因素及组合情景预测——基于门限-STIRPAT 模型的研究[J].环境科学学报,2019,39(12):4284-4292.

[19] 杨美成.城镇化对经济增长和碳排放的时变影响[J].技术经济与管理研究,2022(01):3-8.

[20] 王鑫静,程钰.城镇化对碳排放效率的影响机制研究——基于全球 118 个国家面板数据的实证分析[J].世界地理研究,2020,29(03):503-511.

[21] 杨莉莎,朱俊鹏,贾智杰.中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角[J].经济研究,2019, 54(11):118-132.

[22] 杨浩昌,钟时权,李廉水.绿色技术创新与碳排放效率:影响机制及回弹效应[J].科技进步与对策,2023,40(08):99-107.

[23] 裴海峰,陈镜如.基于省级面板数据的技术创新与碳生产率的关系研究[J].经济与管理评论,2023,39(04):109-119.

[24] Karaki B A, Al-Kasasbeh O, Alassuli A, et al. The impact of the digital economy on carbon emissions using the STIRPAT model[J]. International Journal of Energy Economics and Policy, 2023, 13(5): 139-143.

[25] Zhu Z, Liu B, Yu Z, et al. Effects of the digital economy on carbon emissions: Evidence from China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(15): 9450.

[26] 杨刚强,王海森,范恒山,岳子洋.数字经济的碳减排效应:理论分析与经验证据[J].中国工业经济,2023(05):80-98.

[27] 王芳,董战峰.数字经济对我国碳排放的影响——基于省级面板数据的实证检验[J].改革,2023(03):76-90.

[28] 金飞,徐长乐.数字经济发展对碳排放的非线性影响研究[J].现代经济探讨,2022(11):14-23.

[29] 葛立宇,莫龙炯,黄念兵.数字经济发展、产业结构升级与城市碳排放[J].现代财经(天津财经大学学报),2022,42(10):20-37.

[30] 杨慧梅,江璐.数字经济、空间效应与全要素生产率[J].统计研究,2021,38(04):3-15.

[31] 万晓榆,罗焱卿.数字经济发展水平测度及其对全要素生产率的影响效应[J].改革,2022(01):101-118.

[32] 巫景飞,汪晓月.基于最新统计分类标准的数字经济发展水平测度[J].统计与决策,2022,38(03):16-21.

[33] 丁斐,庄贵阳,刘东.环境规制、工业集聚与城市碳排放强度——基于全国 282 个地级市面板数据的实证分析[J].中国地质大学学报(社会科学版),2020,20(03):90-104.

[34] 连玉君,王闻达,叶汝财.Hausman 检验统计量有效性的 Monte Carlo 模拟分析[J].数理统计与管理,2014,33(05):830-841.

[35] 邓荣荣,张翱祥.中国城市数字经济发展对环境污染的影响及机理研究[J].南方经济,2022(02):18-37.

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

OPEN ACCESS