

# 高质量发展背景下数字贸易发展对环境污染的影响分析

梅可<sup>1</sup>, 张正荣<sup>2\*</sup>, 魏吉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>浙江理工大学经济管理学院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江树人学院经济与民生福祉学院, 浙江 杭州

<sup>3</sup>浙江金融职业学院国际商学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2024年8月13日; 录用日期: 2024年8月27日; 发布日期: 2024年11月29日

## 摘要

数字贸易发展对环境污染的影响作用是实现绿色高质量发展的关键问题。本文基于2011~2021年我国区域面板数据, 利用熵值法对数字贸易和环境污染指数进行测度, 并从理论和实证双重角度分析数字贸易发展对环境污染的影响及其作用机制。研究发现: 数字贸易发展能够有效减少环境污染, 经过内生性(2SLS)和稳健性检验后依然成立。作用机制显示, 数字贸易通过提升科技发展水平和优化产业结构提高资源利用效率, 从而降低环境污染。门槛效应分析表明数字贸易水平对环境污染的影响效应存在门槛值, 随着数字贸易的进一步发展能够有效抑制环境污染。结构分析显示, 不同分位数下数字贸易对环境污染的影响效果存在差异。异质性分析发现, 数字贸易在降低环境污染方面存在数字贸易维度、时间维度、胡焕庸线等异质性特征。本文为我国的环境污染治理提供了实践依据, 为促进我国绿色低碳发展具有重要意义。

## 关键词

数字贸易, 环境污染, 科技发展, 产业结构优化

# Analysis of the Impact of Digital Trade Development on Environmental Pollution in the Context of High-Quality Development

Ke Mei<sup>1</sup>, Zhengrong Zhang<sup>2\*</sup>, Ji Wei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>School of Economics and Social Welfare, Zhejiang Shuren University, Hangzhou Zhejiang

<sup>3</sup>School of International Business, Zhejiang Financial College, Hangzhou Zhejiang

Received: Aug. 13<sup>th</sup>, 2024; accepted: Aug. 27<sup>th</sup>, 2024; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2024

\*通讯作者。

文章引用: 梅可, 张正荣, 魏吉. 高质量发展背景下数字贸易发展对环境污染的影响分析[J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 6036-6050. DOI: 10.12677/ecl.2024.1341844

## Abstract

The role of the impact of digital trade development on environmental pollution is a key issue in realizing green high-quality development. Based on China's regional panel data from 2011 to 2021, this paper utilizes the entropy value method to measure the digital trade and environmental pollution index, and analyzes the impact of digital trade development on environmental pollution and its functioning mechanism from both theoretical and empirical perspectives. It is found that digital trade development can effectively reduce environmental pollution, which still holds after endogeneity (2SLS) and robustness tests. The mechanism of action shows that digital trade improves the efficiency of resource utilization by upgrading the level of scientific and technological development and optimizing the industrial structure, thus reducing environmental pollution. Threshold effect analysis shows that there is a threshold value for the effect of digital trade level on environmental pollution, and the further development of digital trade can effectively inhibit environmental pollution. Structural analysis shows that there are differences in the effect of digital trade on environmental pollution under different quartiles. Heterogeneity analysis found that there are heterogeneous characteristics of digital trade in reducing environmental pollution, such as digital trade dimension, time dimension and Hu Huanyong line. This paper provides a practical basis for the management of environmental pollution in China, which is of great significance for promoting the green and low-carbon development of China.

## Keywords

Digital Trade, Environmental Pollution, Scientific and Technological Development, Optimization of Industrial Structure

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在当今全球化和信息化时代，为传统贸易带来转型契机。数字贸易作为数字技术赋能传统贸易的一种新兴的贸易形式，正以前所未有的速度重塑世界经济的格局。随着互联网、大数据、人工智能等技术的飞速发展，数字贸易不仅促进了商品和服务的跨境流通，也为资源配置效率的提升和经济结构的优化提供了新的动力。然而，这一进程并非没有代价。在数字贸易迅猛发展的同时，其对环境的影响也逐渐成为公众和学者关注的焦点。尤其是在中国，作为世界上最大的发展中国家，环境污染问题一直是制约可持续发展的关键因素。在此背景下，探讨数字贸易发展与环境污染之间的关系，分析其影响效应及作用机制，对于指导政策制定、促进绿色发展具有重要意义。

尽管现有文献对数字贸易与环境污染进行了广泛研究，有关数字贸易的文献大多集中在数字贸易概念、内涵及发展趋势[1]以及对跨境电商[2]、国际贸易[3]、全球价值链[4]等影响。关于环境污染影响因素的研究也比较丰富，主要从经济增长[5]、FDI [6]、环境规制[7]等不同角度探讨了环境污染的产生原因以及排污减排的方法。然而，较少有研究分析数字贸易对环境影响以及其作用机制。

数字贸易是指采用数字技术进行研发、设计、生产，并通过互联网和现代信息技术手段，为用户交付的产品和服务，是以数字服务为核心、数字交付为特征的贸易形态[8]。因此，有关大数据、物联网、区块链等数字化发展内容对环境的影响也可本文为本文提供借鉴。其中，杨晓东等[9]认为数字化发展能优化产

业结构,提高经济效率,减少环境污染。许宪春等[10]认为大数据技术能够推动社会经济转型,绿色发展,减碳减排。

综上,以往研究多从互联网、大数据等数字化技术方面为切入点分析其对降碳减排、绿色发展的影响,并且多为理论研究,鲜有研究从理论和实证的双重角度分析数字贸易发展对环境污染的影响。因此,文章将从理论和实证两个维度出发,通过建立理论模型分析数字贸易如何通过促进科技发展、优化产业结构等途径影响环境污染。其次,建立多种回归模型检验数字贸易发展对环境污染的直接和间接影响效应,为发挥数字贸易的污染减排效应提供了稳健的实证依据和决策参考。

本文的边际贡献在于:1、通过构建综合性指标体系,运用熵值法对我国2011~2021年数字贸易以及环境污染进行测度,有助于更准确、完整地识别两者目前的发展程度。2、运用双固定效应模型实证检验了数字贸易对环境污染的影响,使用中介效应模型从科技发展和产业结构优化两方面探讨了数字贸易降污减排的作用渠道和路径。3、采用工具变量法和动态面板估计较好地解决了内生性问题,保证了文章结论的稳健性,从而为数字贸易助力环境污染治理提供了更为可靠的实证参考。4、利用面板门槛模型研究了数字贸易在不同阈值水平上影响环境污染过程中的非线性效果,有助于揭示数字贸易对环境污染的动态影响过程及因素。5、从胡焕庸线、数字贸易维度和时间维度等三个角度出发,探讨数字贸易对不同省域碳排放和环境污染可能存在的异质性影响,为各省份以数字贸易为抓手促进降污减排提供决策参考。

## 2. 理论分析与研究假设

### 2.1. 数字贸易与环境污染

数字贸易,作为依托于互联网的一种新兴贸易模式[8],以数字化知识和信息为核心生产要素,正在重塑全球贸易的版图。它既是技术创新的产物,如电子设备、通信网络和信息处理技术的进步,也通过其广泛的信息交流渠道,实现了比传统贸易更强大的数字化效应[11]。在实践中,数字技术如大数据和互联网平台的应用,已经显著提高了企业的信息处理效率,扩大了贸易范围,并突破了信息壁垒[12]。随着中国经济的快速发展和贸易规模的不断扩大,生态环境问题变得日益突出,政府在贸易监管方面面临着越来越大的压力。在这一背景下,数字技术,如大数据和云计算,为政府提供了强大的工具,以提高对污染源的监测和预警能力,从而加速生态绿色化的进程。此外,公众是环境保护的关键力量[13],但往往缺乏了解环境质量的途径。数字媒介的运用不仅能够促进贸易中的环保信息共享,还能够提升公众的环保意识,并建立起企业与公众之间的互动沟通机制[14]。推动数字贸易发展释放其内在动力必然能够进一步改善中国环境污染。综上,本文提出以下假设:

假设1:数字贸易发展有利于降低环境污染。

### 2.2. 数字贸易、科技发展与环境污染

数字贸易的发展在推动科技进步方面扮演着关键角色[15],而科技创新又是降低碳排放和减少环境污染的有效途径[16]。第一,技术创新能够打破信息壁垒与市场垄断,构建有效的贸易网络,跨时空、跨区域协同合作,打破多环节贸易交易链,提升贸易效率,降低贸易成本,产生创新补偿和示范作用,促进绿色生态圈内创新技术的研发[17],进而减少各类污染物排放。其次,数字贸易本质上是一种基于互联网、大数据、云计算等前沿技术的新型商业模式。这种模式具有快速的知识更新能力和高密度的创新特性,使得内部创新活动更为活跃,从而加速了创新成果的产生[18]。这些创新成果能够被迅速应用于企业的生产和研发活动中,进一步催化新的创新,有效降低能源消耗并提升资源利用效率。第二,技术创新项目往往面临高投入、长周期和成果不确定性等挑战,对外部资金的依赖性较大。数字贸易能够迅速消

除企业间的信息障碍，促进企业间的合作与融资，提高资金的使用效率，从而加速科技成果的转化和应用[19]。第三，数字贸易利用其在大数据和互联网技术方面的优势，能够精准地匹配低碳、低能耗产品与企业需求。这种智能匹配机制有助于企业在生产过程中减少资源浪费，降低环境污染[20][21]。通过数据分析和优化供应链管理，企业能够更有效地利用资源，减少对环境的负面影响。据此，本文提出假设：

假设 2：数字贸易发展通过科技发展降低环境污染。

### 2.3. 数字贸易、产业结构优化与环境污染

数字贸易通过产业结构优化降低环境污染[22]，首先，数字贸易推动了高新技术产业和服务业的发展，推动产业数字化和数字产业化发展，这些产业通常具有较低的资源消耗[16]，从根源上降低污染物排放，推向生态型发展[16]。随着数字技术的普及，促进产业生产过程柔性改造、助推传统产业技术升级改造和更新换代[23]，提高生产效率，减少了对环境的负面影响[24]。例如，智能制造和绿色生产技术的应用，不仅提升了产品质量，也降低了能源消耗和废弃物排放。而且，优先完成技术转型的企业往往能够获得显著的先发优势和竞争优势，通过技术扩散、标准提升、市场信号等方式推动贸易生态圈内企业的协同优化升级，发挥降低环境污染的倍增效应。其次，数字贸易促进了全球价值链的重构，使得资源配置更加高效[4]。通过数字平台，企业能够更好地对接全球市场，优化供应链管理，倒逼物流运输业转型升级，从而降低了与运输相关的环境污染。同时，数字贸易还促进了跨境数据流动，加强了国际间的技术交流与合作，有助于清洁技术的传播和应用。最后，数字贸易还通过促进环境服务业的发展，为环境保护提供了新的解决方案。环境服务业通过提供环境监测、污染治理、绿色咨询等服务，帮助企业 and 政府更有效地应对环境挑战[14]。数字贸易的扩张使得这些服务能够跨越国界，为全球环境治理贡献力量。数字贸易通过推动产业结构向高技术、低污染方向转型，优化资源配置，以及促进环境服务业的发展，有效地降低了环境污染。据此，本文提出假设：

假设 3：数字贸易通过产业结构优化降低环境污染。

### 2.4. 数字贸易对环境污染的门槛效应

在数字贸易的起步阶段，尽管技术的进步为贸易模式的变革提供了可能，但这种变革尚未充分展开[25]，导致产业结构的优化和转型仍处于早期阶段。因此，数字贸易在改善环境污染方面的作用并不明显，甚至存在一定的滞后性。例如，随着数字贸易的增长，数据中心和服务器的建设和运营需求增加，电力的大量需求可能导致能源消耗的增加，进而影响碳排放水平。数字贸易推动了电子产品的快速迭代，这不仅加速了产品的更新换代，也带来了电子废物处理的挑战，对环境构成新的威胁。然而，随着数字贸易的进一步发展，其对环境的积极影响开始逐渐显现，数字贸易的深入发展为高新技术产业和新型消费服务业等数字产业提供了更广阔的发展空间，推动产业结构向更高级化、合理化的方向发展。数字贸易通过促进信息流通和提高交易效率，有助于减少实体商品的运输和存储需求，从而降低能源消耗和碳排放。数字技术的应用可以优化资源配置，提高生产效率，减少资源浪费，对环境保护产生积极影响。

假设 4：数字贸易对环境污染的影响具有门槛效应。

## 3. 研究模型与数据

### 3.1. 模型设定

(1) 为验证数字贸易对环境污染的影响效应，本文构建了双向固定效应面板数据模型：

$$\ln EP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{DigT}_{it} + \alpha_2 X_{it} + \theta_i + \nu_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中： $i$  代表城市； $t$  代表年份； $\ln EP$  代表被解释变量环境污染指数； $\ln \text{DigT}$  代表数字贸易指数； $X$  代表

一系列控制变量； $\theta$ 代表个体效应； $v$ 代表时间效应； $\epsilon$ 代表随机误差。

(2) 除了式(1)所体现的总效应，数字贸易可能通过促进科技发展，优化产业结构对环境污染产生间接影响，据此本文建立如下中介效应模型：

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{DigT}_{it} + \beta_2 X_{it} + \theta_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln \text{EP}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln \text{DigT}_{it} + \gamma_2 M_{it} + \gamma_3 X_{it} + \theta_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

其中  $M$  表示中介变量，分别为科技发展(Td)、产业结构优化(Isr)。

(3) 为检验不同水平下数字贸易对环境污染的影响，本文设定面板门槛模型如下所示。

$$\ln \text{EP}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{DigT}_{it} \times I(\ln \text{DigT}_{it} \leq \delta) + \alpha_2 \ln \text{DigT}_{it} \times I(\ln \text{DigT}_{it} > \delta) + \alpha_3 X_{it} + \theta_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

其中  $\delta$  为门槛值； $I(\cdot)$  为指示函数，当条件满足时取 1，否则 0。

(4) 在式(1)的基础上构建如下分位数回归模型：

$$\ln \text{EP}_{it,q} = \alpha_0 + \alpha \ln X_{it,q} + \alpha_2 X_{it,q} + \theta_i + v_t + \epsilon_{it,q} \quad (5)$$

式(5)中， $q$  表示分位点，其他符号含义均与式(1)相同。

### 3.2. 变量定义

#### 1. 被解释变量

关于环境污染的研究领域，“三废”指标是衡量城市环境质量的重要参考[23]。“三废”通常指的是废气、废水和固体废物的排放，它们是工业生产和城市生活中对环境造成污染的主要来源。因此，本文采用这三个指标来衡量环境污染，通过熵值法取对数后得出被解释变量(lnEP)。

#### 2. 核心解释变量

本文结合相关研究成果，构建包含 3 个二级指标和 12 个三级指标的数字贸易评价指标体系，如表 1 所示，采用熵值法进行处理，取对数后得到数字贸易指数(lnDigT)。

**Table 1.** Evaluation index system of digital trade

**表 1.** 数字贸易评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性
数字贸易	数字产品	软件业务收入	万元	正向
		软件产品收入	万元	正向
		信息技术服务收入	万元	正向
		信息安全收入	万元	正向
	电子商务	有电子商务交易活动的企业数	个	正向
		电子商务销售额	亿元	正向
		电子商务采购额	亿元	正向
		快递量	万件	正向
	数字内容	企业拥有网站数	个	正向
		移动互联网接入流量	万 GB	正向
		网页数	万个	正向
		数字电视用户数	万户	正向

### 3. 中介变量

本文借鉴以往的研究[26]采用技术市场成交额与地区生产总值表示科技发展(TD)，采用产业结构合理化衡量产业结构优化(Isr)并借鉴泰尔指数倒数测度区域产业结构合理化，具体公式如下：

$$theil_{i,t} = \sum \frac{\left(\frac{y_i}{y}\right) \ln\left(\frac{y_i}{l_i}\right)}{\frac{y}{l}} \quad (6)$$

其中 *theil* 表示泰尔指数；*y* 代表生产总值；*y<sub>i</sub>* 代表产业 *i* 的增加值；*l* 代表就业人数；*l<sub>i</sub>* 代表产业 *i* 的就业人数。

### 4. 控制变量

借鉴有关环境污染影响因素[11][16]的研究，包括：(1) 产业结构升级(Is)，用第三产业增加值与第二产业增加值的比值衡量；(2) 政府干预程度(Gov)，用地区公共财政支出 GDP 的比重表示；(3) 环境规制(Er)，用环境污染治理投资占 GDP 的比重表示；(4) 科技支出(Rd)，采用科技支出占财政支出的比重表示。表 2 列出了各变量的描述性统计。

**Table 2.** Descriptive statistics for variables

**表 2.** 变量描述性统计

类别	变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	lnEP	330	0.256	0.133	0.018	0.540
解释变量	lnDigT	330	0.085	0.098	0.001	0.483
控制变量	Rd	330	0.021	0.015	0.005	0.06
	Er	330	0.029	0.010	0.012	0.058
	Is	330	1.350	0.733	0.637	5.022
	Gov	330	0.265	0.114	0.120	0.729
中介变量	Td	330	0.017	0.027	0.000	0.150
	Isr	330	0.152	0.093	0.015	0.408

### 3.3. 样本与数据说明

本文在确保数据的可获得性和研究的科学性的前提下，考虑到数据完整性的问题，选择了 2011 至 2021 年间中国 30 个省份(不含西藏以及港澳台地区)的数据作为实证分析的样本。这些省份的污染物排放数据和社会经济指标主要来源于权威的《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各省市发布的统计年鉴和统计公报，确保了数据的准确性和代表性。

## 4. 实证结果

### 4.1. 豪斯曼检验与多重共线性检验

由于不清楚个体效应究竟是以固定效应还是随机效应形式存在，因此在进行基础回归之前进行 Hausman 检验，*p* 值在 1% 水平上显著，因此选择双向固定效应。在多元线性回归模型中，为避免解释变量之间存在较高的线性相关性，给模型的估计和解释带来一系列问题如参数估计的稳定性下降、模型预测能力下降、标准误差增大等，因此采用适用的方差膨胀因子(VIF)进行多重共线性检验，结果如表 3 所示，

各变量的 VIF 值均小于 10，不存在多重共线性问题。

**Table 3.** Results of the multicollinearity test  
**表 3.** 多重共线性检验结果

变量	VIF	1/VIF
lnDigT	2.59	0.386
Rd	2.63	0.380
Er	1.13	0.881
Is	1.57	0.635
Gov	1.78	0.561

## 4.2. 基准回归结果

为保证回归结果的稳定性，本文采用逐步回归法，如表 4 所示。由结果可知，在未加入控制变量时，数字贸易对环境污染的影响系数为 0.196 (列 1)，在 1% 水平上显著为负。在加入控制变量时，数字贸易对环境污染的影响系数为 0.187 (列 2)，在 1% 水平上显著为负。无论是否控制相关变量，数字贸易对环境污染的影响系数均显著为负，这表明数字贸易发展能显著抑制区域环境污染，验证了本文的假设 1。

**Table 4.** Baseline regression results  
**表 4.** 基准回归结果

	(1)	(2)
lnDigT	-0.196*** (0.046)	-0.187*** (0.050)
cons	0.092*** (0.013)	0.153*** (0.053)
controls	no	yes
province	yes	yes
year	yes	yes
N	330	330
R <sup>2</sup>	0.953	0.954

注：括号内为稳健标准误差；\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。下同。

## 4.3. 内生性检验

### 1. 最小二乘法回归检验

在本研究的基准回归分析中，为了缓解遗漏变量带来的内生性问题，我们采用了双向固定效应模型。尽管如此，环境污染作为一个复杂的经济现象，其影响因素众多，遗漏变量的问题仍然可能存在。此外，环境污染与数字贸易发展之间可能存在的双向因果关系也不容忽视。为了解决这些问题，本文借鉴了赵涛[27]等人的研究方法，选用各个城市 1984 年的邮电数据与上一年全国信息技术服务收入的交乘项作为数字贸易发展水平的工具变量(Iv)。

工具变量的选择基于以下两个关键原则：首先，历史上的电信基础设施对当前环境污染的影响微乎

其微，这满足了工具变量的外生性条件。其次，数字贸易的发展依赖于坚实的互联网基础设施，而历史上的邮电等传统通信技术是现代互联网发展的起点和基础。历史上的通信技术与数字贸易的发展之间存在正向的关联，这满足了工具变量的相关性条件。

在确保工具变量的合理性之后，本文进行了两阶段最小二乘法(2SLS)分析，表 5 结果显示，在引入工具变量后，数字贸易对环境污染的影响仍然呈现出显著的负相关性，进一步验证了假设 1 的稳健性。此外，为了检验工具变量的有效性，本文还进行了弱工具变量的检验。根据检验结果，F 统计量的值均超过了常用的经验阈值 10，这表明工具变量具有较强的解释能力，不存在弱工具变量的问题，从而确保了回归估计的准确性和结果的可信度。

**Table 5.** Endogenous test

**表 5.** 内生性检验

	(1)	(2)
	2SLS	
	lnDigT	lnEP
Iv	0.000*** (0.000)	
L.lnDigT		
lnDigT		-0.236*** (0.061)
cons	-0.008 (0.048)	0.150*** (0.049)
controls	yes	yes
province	yes	yes
year	yes	yes
N	330	330
R <sup>2</sup>	0.959	0.954
F-weak		168.342

#### 4.4. 稳健性检验

为了进一步确保研究结论的稳健性，本文采取了多种方法进行检验，结果详细展示在表 6 中。首先，针对环境污染指数的测量方法，本文采用了主成分分析法(PCA)作为替代方案，以更全面地衡量环境污染水平。在替换测量方法后，回归分析的结果显示，数字贸易对环境污染的系数在 1% 的显著性水平上仍然为负，这一结果与之前的分析一致，表明数字贸易对环境污染具有显著的负向影响。其次，考虑到中国区域发展的不平衡性，本文排除了北京、上海、天津和重庆这四个直辖市的数据，以减少潜在的偏差。在剔除这些城市后，回归分析的结果依然表明数字贸易的系数在 1% 的显著性水平上显著为负，这进一步证实了数字贸易对环境污染的负面影响是普遍存在的，且不受特定城市的影响。最后，为了解决可能存在的时滞效应和内生性问题，本文将数字贸易滞后一期进行回归分析。结果显示，即使在考虑了时间滞后的情况下，数字贸易的系数仍然在 1% 的显著性水平上显著为负，这表明数字贸易对环境污染的影响是

长期且稳定的。综合以上替换变量、剔除直辖市和加入滞后变量的稳健性检验，得出结论，数字贸易对环境污染的负向影响都是一致且稳健。

**Table 6.** Robustness test results  
**表 6.** 稳健性检验结果

	(1) 替换被解释变量	(2) 剔除直辖市	(3) 滞后一期
lnDigT	-0.535** (0.249)	-0.181*** (0.068)	
L.lnDigT			-0.182*** (0.063)
cons	-0.484 (0.430)	0.533*** (0.024)	0.151** (0.065)
controls	yes	yes	yes
province	yes	yes	yes
year	yes	yes	yes
N	330	286	300
R <sup>2</sup>	0.915	0.943	0.953

#### 4.5. 中介效应分析

在理论研究的基础上，本文进一步通过实证分析验证数字贸易通过促进科技发展和产业结构优化来降低环境污染的传导机制。本文采用公式(2)和公式(3)来检验中介效应。尽管初步采用了逐步检验方法，但考虑到其在检测中介效应时可能存在的统计效力不足，可能导致对实际效应的误判[28]，本文引入了统计效力更高的 Sobel 方法进行验证，Sobel 方法通过精确计算中介变量对因变量影响的变化，提供了更为可靠的中介效应显著性检验，并将回归结果展示在表 7 中。

在表 7 的第(1)和第(2)列展示了中介效应检验的第一步回归分析结果。分析表明，数字贸易的系数在 1% 的显著性水平上显著为正，证实了数字贸易对科技发展和产业结构优化具有显著的促进作用，从而提升了资源利用效率，与假设 2 的预期一致。进一步地，通过将科技发展和产业结构优化作为中介变量，根据公式(3)进行中介效应检验的第二步回归分析，结果在表 7 的第(3)和第(4)列中。数字贸易对环境污染的负面影响依然显著且中介变量的系数也呈现出负向显著性，数字贸易的系数较基准模型有所减小。这说明科技发展和产业结构优化作为中介因素，有效地缓解了环境污染的负面影响。通过降低生产成本、提升能源使用效率以及推动创新产品和服务的发展，有助于减轻环境污染。此外，Sobel 检验的结果进一步确认了中介效应的存在，且这两种中介效应在总效应中所占比例分别为 15.3% 和 23.8%，这为假设 2 中数字贸易通过中介路径降低环境污染的后半部分提供了有力支持。

### 5. 数字贸易发展对环境污染的非线性分析

#### 5.1. 门槛效应检验

为了深入探究数字贸易对环境污染影响的非线性特征，本文引入了门槛效应模型，将数字贸易视为一个门槛变量进行分析。门槛效应模型的建立基于以下假设：数字贸易的发展水平低于某个临界值时，

其对环境的影响可能与超过该临界值时的影响存在本质的不同。在进行门槛效应的存在性检验时，利用 Bootstrap 自举法进行了 300 次抽样，结果如表 8 所示，证实了数字贸易对环境污染确实存在单一门槛效应。

**Table 7.** Mediator effect regression results

**表 7.** 中介效应回归结果

	(1) Td	(2) Isr	(3) lnEP	(4) lnEP
lnDigT	0.048*** (0.010)	0.316*** (0.052)	-0.158*** (0.050)	-0.142*** (0.053)
Td			-0.597*** (0.231)	
Isr				-0.140** (0.069)
cons	0.099*** (0.016)	0.165** (0.076)	0.212*** (0.059)	0.176*** (0.053)
controls	yes	yes	yes	yes
province	yes	yes	yes	yes
year	yes	yes	yes	yes
N	330	330	330	330
R <sup>2</sup>	0.944	0.916	0.954	0.954

**Table 8.** Sampling test results of threshold effect

**表 8.** 门槛效果抽样检验结果

门槛变量	模型	门槛值	F 值	p 值	10%临界值	5%临界值	1%临界值
lnDigT	single	0.049	48.38	0.003	20.074	23.924	39.573
	double	0.071	10.45	0.533	20.119	24.649	31.698

门槛回归分析的结果如表 9 所示，揭示了门槛效应的具体数值及其对应的影响系数。当数字贸易的水平低于门槛值 0.049 时，其对环境的影响系数为正值 0.860，这表明在数字贸易发展的初期阶段，可能由于产业结构的优化尚未充分实现，数字贸易的增长尚未能有效抑制环境污染。然而，一旦数字贸易的水平超过门槛值 0.049，其对环境的影响系数转变为负值-0.177，并且在 1% 的统计水平上显著，这表明数字贸易在达到一定发展水平后，开始对环境污染产生显著的抑制作用。证实了研究假设 4，即数字贸易对环境污染的影响具有门槛效应。当数字贸易发展尚处于较低水平时，由于产业结构优化尚在初级阶段，其对环境的影响抑制作用尚未显现。但随着数字贸易的进一步发展，特别是当其发展水平超过门槛值后，通过促进产业结构的升级、加强信息流通、优化资源配置，以及降低能源消耗和污染排放，数字贸易开始对环境污染产生积极影响。

## 5.2. 数字贸易对环境污染的结构效应研究

在对数字贸易与环境污染关系的研究中，虽然已有分析证实了数字贸易对降低环境污染具有积极作用，但这些研究往往集中在平均效应上，而忽略了可能存在的环境影响的异质性。为了深入理解数字贸

易在不同环境污染水平下的作用差异,通过选择代表不同环境污染水平的关键分位点(10%、25%、50%、75%和90%),运用分位数回归(Quantile Regression)方法进行了深入分析。这些分位点分别代表了环境污染水平由低到高的五个组别,能够更全面地捕捉到不同环境污染水平下的影响差异。如表10所示,在所有五个分位点上,数字贸易均显示出对环境污染有显著的负向影响,这进一步验证了本文实证结果的稳健性。具体来看,随着环境污染水平的升高,数字贸易的负向影响系数呈现逐渐减小的趋势。在90%的高分组中,数字贸易对环境污染的影响系数最低,为-0.104,而在10%的低分组中,影响系数最高,为0.299。这一结果表明,在环境污染水平较低的省份,数字贸易对环境的改善作用更为显著,这可能是因为这些地区的数字贸易发展能够更好地发挥其低污染、高效率的优势。相反,在环境污染水平较高的省份,数字贸易的负向影响系数较小,这可能意味着这些地区的经济发展水平较低,数字贸易的发展速度较慢,其环境优势尚未能充分发挥作用。

**Table 9.** Threshold effect regression results  
**表 9.** 门槛效应回归结果

变量	系数	稳健标准误	T 值
lnDigT (lnDigT ≤ 0.049)	0.860***	0.167	5.16
lnDigT (lnDigT > 0.049)	-0.177***	0.050	-3.55
cons	0.254***	0.021	12.12
controls	yes	yes	yes
province	yes	yes	yes
year	yes	yes	yes
N	330	330	330
R <sup>2</sup>	0.112	0.112	0.112

**Table 10.** Quantile regression results  
**表 10.** 分位数回归结果

	10%分位点 (较低组)	25%分位点 (中低组)	50%分位点 (中等组)	75%分位点 (中高组)	90%分位点 (较高组)
lnDigT	-0.299*** (0.029)	-0.243*** (0.056)	-0.189** (0.075)	-0.145** (0.065)	-0.104** (0.051)
cons	-0.008 (0.034)	0.048 (0.066)	0.112 (0.088)	0.190** (0.075)	0.196*** (0.059)
controls	yes	yes	yes	yes	yes
province	yes	yes	yes	yes	yes
year	yes	yes	yes	yes	yes
N	330	330	330	330	330

## 6. 数字贸易发展对环境污染的异质性分析

### 6.1. 数字贸易异质性分析

数字贸易作为现代经济活动的重要组成部分,其对环境污染的影响是一个多维度的问题。为了深入

理解数字贸易各个方面对环境的具体影响，本文将数字贸易细分为三个关键维度：数字产品(lnDigP)、电子商务(lnEC)和数字内容(lnDigC)，并对它们分别进行分析。回归结果如表 11 所示，数字产品、电子商务和数字内容对环境污染的系数均呈现负向显著，进一步说明了数字贸易对环境污染的影响的稳健性。其中，数字内容对环境污染的影响系数最大为 0.334，可能由于数字内容通过在线教育、数字媒体和娱乐服务减少了对物理媒介的需求，降低了纸张和印刷等相关产业的环境负担。同时，数字内容还能够提高公众的环境意识，促进环保知识的普及和环境保护行为的推广。

## 6.2. 时段异质性分析

考虑到不同时间段内数字贸易的发展态势可能对环境产生不同的影响，2015 年及以后数字贸易发展速度明显加快。为此，将研究样本按时间分为两个阶段：2011~2015 年和 2016~2021 年两个时段，并对这两个时期的数据进行了独立的分析。根据表 11 所示的分析结果，数字贸易在两个时段内对环境污染指数的影响系数分别为-0.249 和-0.237，且这种影响在统计上均达到了 5% 的显著性水平。

**Table 11.** Heterogeneity analysis of regression results

**表 11.** 异质性分析回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		数字贸易维度		2011~2015	2016~2021
lnDigP	-0.115** (0.058)				
lnEC		-0.198*** (0.045)			
lnDigC			-0.334*** (0.076)		
lnDigT				-0.249** (0.096)	-0.237** (0.119)
cons	0.168*** (0.054)	0.129** (0.055)	0.181*** (0.049)	0.032 (0.071)	0.083 (0.126)
controls	yes	yes	yes	yes	yes
province	yes	yes	yes	yes	yes
year	yes	yes	yes	yes	yes
N	330	330	330	150	180
R <sup>2</sup>	0.953	0.954	0.955	0.991	0.957

## 6.3. 胡焕庸线异质性分析

胡焕庸线作为中国区域发展的划分线，胡焕庸线不仅揭示了人口分布的显著差异，也体现了自然地理和人文地理的分歧，这些差异可能导致两侧区域在数字贸易发展及减污降碳效果上的不均衡。具体而言，本文选取胡焕庸线两侧的省份作为研究对象，运用回归模型探讨了数字贸易对环境污染的影响。表 12 结果显示，胡焕庸线东侧省份数字贸易对环境污染的估计系数均为负，在 1% 水平上显著，而胡焕庸线西侧省份数字贸易发展对环境污染的系数为正，且不显著。原因可能由于胡焕庸线东侧的 25 个省份，

凭借较高的人口密度和城市化水平，以及较为成熟的数字化基础，数字贸易对环境污染的影响显著为负，表明数字贸易在这些地区有效地促进了环境质量的改善。相反，胡焕庸线西侧的 5 个省份，由于人口稀少、经济发展及数字化水平较低，数字贸易的发展尚处于初期阶段，其对环境污染的影响虽为正，但不显著，暗示着数字化的减污潜力尚未充分发挥。此外，尽管西侧地区的数字贸易目前尚未显著降低环境污染，但随着数字贸易的深入发展，有望逐步破解当地产业结构的低端锁定和资源依赖问题。数字化的赋能有望极大提升资源效率和促进产业结构优化，从而在未来释放更大的减污潜力，并可能带来更显著的降污边际效应。

**Table 12.** Heterogeneous regression results of Hu Huanyong's Line  
**表 12.** 胡焕庸线异质性回归结果

	(1) 胡焕庸线东侧	(2) 胡焕庸线西侧
lnDigT	-0.166*** (0.054)	0.634 (1.412)
cons	0.095* (0.055)	0.424*** (0.050)
controls	yes	yes
province	yes	yes
year	yes	yes
N	275	55
R <sup>2</sup>	0.953	0.953

## 7. 结论与政策建议

本文从理论上分析了数字贸易发展降低各类环境污染的直接效应和间接效应，并基于 2011~2021 年中国区域面板数据构建数字贸易指数，对相关理论进行了实证检验。研究得出以下几点主要结论：第一，数字贸易对减少各类环境污染物排放具有显著的负面影响，即数字贸易的发展有效地降低了环境污染水平。这一结论在经过稳健性检验和内生性问题处理后依然得到确认，表明数字贸易对环境保护具有积极作用。第二，数字贸易的发展推动了科技的进步和产业结构的优化，这两个因素作为中介变量，进一步降低了环境污染排放。数字贸易通过促进信息技术的应用和创新，提高了资源配置效率，优化了产业布局，从而减少了生产过程中的污染排放。第三，数字贸易对环境污染影响作用存在门槛效应，当数字贸易水平较低时，由于前期的数字贸易建设效应，无法发挥出积极的环境保护作用，只有当数字贸易发展达到一定水平时，才能对排污减排发挥积极的正向效应。第四，数字贸易对环境污染存在结构效应，环境污染程度越高的地区，数字贸易的减污降碳效果较低，环境污染程度较低的地区，数字贸易的作用越明显。第五，数字贸易对环境污染的影响作用存在数字贸易维度异质性、时间维度异质性、胡焕庸线异质性，但影响效果存在差异。具体而言，数字贸易的不同维度：数字产品、电子商务和数字内容对环境污染的影响存在差异，数字内容排污减排效果较好、数字产品排污减排效果较差。不同时间段数字贸易对环境污染的影响效果也存在差异。胡焕庸线东侧省份数字贸易降污效果更好，而西侧省份数字贸易减污效果不明显。这表明在制定相关政策时需要考虑到数字贸易的多样性和复杂性。

综上，本文提出以下政策启示：第一，促进数字技术在环保领域的应用，政策制定者应当鼓励和支持数字技术在环境保护和污染控制领域的研发与应用。例如，通过提供研发补贴、税收优惠等激励措施，

促进企业开发和采用清洁生产技术、智能监测系统和资源循环利用解决方案。此外，政府可以推动建立环保技术平台，促进环保技术和信息的交流与合作，加速环保技术的普及和推广。

第二，加强电子商务平台的环境责任，鉴于电子商务在减少物流运输和实体店铺需求方面的潜力，政策应着重于引导电子商务平台承担更多的环境责任。这包括制定绿色包装标准、鼓励使用环保物流方式、优化配送路线以减少碳排放。同时，政策还应鼓励电子商务平台提供绿色产品的标识和推荐，引导消费者进行环保购物，从而推动整个供应链的绿色转型。

第三，提升公众环境意识和数字素养，政策制定者应通过教育和公共宣传提升公众的环境意识，使人们认识到数字贸易在环境保护方面的积极作用。同时，加强数字素养教育，帮助公众更好地利用数字内容和服务，参与到环境保护活动中来。例如，通过在线教育平台提供环保知识课程，利用数字媒体宣传环保理念，以及通过社交媒体平台组织环保活动，激发公众的环保热情和参与度。

第四，推进数字技术与传统产业的深度融合，促进数字贸易新模式的持续发展，致力于数字核心技术的创新突破。这将有助于推动传统产业从高排放、高污染模式向低排放、低污染方向转型，进而培育出绿色、低碳的新动能。政策制定者应通过政策激励，扩大产业数字化和数字产业化的规模，吸引技术、人才和资金等关键要素向数字贸易领域集中。这样的集聚效应不仅能够增强数字贸易的发展活力，还能通过数字技术提高能源使用效率，实现规模经济，并促进技术革新及产业结构的优化升级。

## 基金项目

国家社会科学基金一般项目“平台人工智能标准增进数字市场包容性的机制与政策研究”(24BJY032); 教育部人文社会科学基金项目“中国式现代化推进中填平数字鸿沟的双链耦合机制及其政策启示”(23A10338009)。

## 参考文献

- [1] 马述忠, 房超, 梁银锋. 数字贸易及其时代价值与研究展望[J]. 国际贸易问题, 2018(10): 16-30.
- [2] 张正荣, 杨金东, 魏然. 跨境电商综合试验区的设立模式与推广问题——基于 70 个城市的定性比较分析[J]. 软科学, 2020, 34(5): 131-138.
- [3] 张正荣, 魏吉, 顾国达. 疫情背景下数字贸易体制对国际贸易稳定作用的比较——基于 30 个“一带一路”沿线国家的 fsQCA 分析[J]. 经济社会体制比较, 2022(5): 156-166.
- [4] 张晴, 于津平. 投入数字化与全球价值链高端攀升——来自中国制造业企业的微观证据[J]. 经济评论, 2020(6): 72-89.
- [5] Brajer, V., Mead, R.W. and Xiao, F. (2011) Searching for an Environmental Kuznets Curve in China's Air Pollution. *China Economic Review*, **22**, 383-397. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2011.05.001>
- [6] Liang, F. (2014) Does Foreign Direct Investment Harm the Host Country's Environment? Evidence from China. *Current Topics in Management*, **17**, 105-127.
- [7] Lutsey, N. and Sperling, D. (2008) America's Bottom-Up Climate Change Mitigation Policy. *Energy Policy*, **36**, 673-685. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.018>
- [8] 张正荣, 杨金东, 顾国达. 数字贸易的概念维度、国际规则与商业模式[J]. 经济学家, 2021(4): 61-69.
- [9] 陈晓东, 杨晓霞. 数字经济发展对产业结构升级的影响——基于灰关联熵与耗散结构理论的研究[J]. 改革, 2021(3): 26-39.
- [10] 许宪春, 任雪, 常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济, 2019(4): 5-22.
- [11] 李广昊, 周小亮. 推动数字经济发展能否改善中国的环境污染——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 宏观经济研究, 2021(7): 146-160.
- [12] 荆文君, 孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展: 一个理论分析框架[J]. 经济学家, 2019(2): 66-73.
- [13] Shin, D. and Choi, M.J. (2015) Ecological Views of Big Data: Perspectives and Issues. *Telematics and Informatics*, **32**,

- 311-320. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2014.09.006>
- [14] 梁琦, 肖素萍, 李梦欣. 数字经济发展提升了城市生态效率吗?——基于产业结构升级视角[J]. 经济问题探索, 2021(6): 82-92.
- [15] 刘佳琪, 孙浦阳. 数字产品进口如何有效促进企业创新——基于中国微观企业的经验分析[J]. 国际贸易问题, 2021(8): 38-53.
- [16] 张宇, 蒋殿春. FDI、环境监管与工业大气污染——基于产业结构与技术进步分解指标的实证检验[J]. 国际贸易问题, 2013(7): 17.
- [17] 张三峰, 魏下海. 信息与通信技术是否降低了企业能源消耗——来自中国制造业企业调查数据的证据[J]. 中国工业经济, 2019(2): 155-173.
- [18] 方慧, 霍启欣, 李泽鑫. 数字服务进口贸易对企业创新质量的影响研究[J]. 上海财经大学学报: 哲学社会科学版, 2022, 24(6): 78-92.
- [19] 唐清泉, 巫岑. 银行业结构与企业创新活动的融资约束[J]. 金融研究, 2015(7): 116-134.
- [20] Johnson, J.S., Friend, S.B. and Lee, H.S. (2017) Big Data Facilitation, Utilization, and Monetization: Exploring the 3Vs in a New Product Development Process. *Journal of Product Innovation Management*, **34**, 640-658. <https://doi.org/10.1111/jpim.12397>
- [21] 刘意, 谢康, 邓弘林. 数据驱动的产品研发转型: 组织惯例适应性变革视角的案例研究[J]. 管理世界, 2020, 36(3): 164-182.
- [22] 韩永辉, 黄亮雄, 王贤彬. 产业结构优化升级改进生态效率了吗? [J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(4): 40-59.
- [23] 刘红, 张陈陈, 朱为利. 数字贸易的减污降碳效应分析[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报), 2024(2): 61-80.
- [24] 余文涛, 吴士炜. 互联网平台经济与正在缓解的市场扭曲[J]. 财贸经济, 2020, 41(5): 146-160.
- [25] 朱金生, 郭可尘. 数字贸易对中国高质量充分就业的影响[J]. 技术经济, 2024, 43(2): 10-21.
- [26] 毕达天, 黄伟鑫, 王璐, 等. 城市数字经济发展如何影响企业 ESG 表现?——绿色高质量发展的城企协同路径[J]. 科学学研究, 2024, 42(3): 594-604.
- [27] 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.
- [28] Fritz, M.S. and MacKinnon, D.P. (2007) Required Sample Size to Detect the Mediated Effect. *Psychological Science*, **18**, 233-239. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01882.x>