

論 說

信息化发展能抑制城市环境污染吗？*

周 学 仁[†]
朱 一 丹^{††}

摘要：信息化已经成为推动中国经济高质量发展的关键因素，它能否在降低城市环境污染方面发挥作用呢？本文借助“宽带中国”示范城市政策这一准自然实验，以2005-2019年282个中国城市为样本，运用多期 DID 方法分析了中国信息化发展对城市环境污染的抑制作用。结果显示，“宽带中国”示范城市政策显著抑制了城市环境污染水平；机制分析发现，信息化发展主要通过提高城市技术创新能力和促进城市产业结构升级，实现降低环境污染的作用；异质性分析发现，信息化发展对环境污染的抑制效应在城市规模、城市所在地区、城市基础设施水平等维度上存在差异。基于上述研究结论，本文提出了促进信息化发展和城市环境污染防治的政策启示。

关键词：宽带中国 信息化 环境污染 技术创新 产业升级

一、引 言

中国自改革开放以来经济快速发展，同时产生了较为严重的环境污染问题。2007年，世界银行和中国国务院发展研究中心合作完成的《中国污染的代价》表明，环境污染曾给中国造成了较大的经济损失，据估算每年的环境污染给中国带

* 基金项目：辽宁省社会科学规划基金重点建设学科项目“新发展阶段东北全面振兴的体制机制创新与战略性举措研究”（L21ZD049）。

† 作者简介：周学仁（1978-），男，中国吉林九台人，经济学博士，东北财经大学经济与社会发展研究院研究员，主要从事国际直接投资、区域可持续发展等领域的研究。E-mail: zhouxueren@dufe.edu.cn。

†† 朱一丹（1997-），女，中国山东日照人，东北财经大学经济与社会发展研究院硕士研究生，主要从事信息化、财政政策等方面的研究。E-mail: zhuyidan97@163.com。

来的经济损失高达0.6-1.8万亿元, 约占年度 GDP 的5.8%。近十年来, 中国在促进经济高质量发展基础上, 加强了环境保护和绿色经济转型。为了突破资源与环境的制约, 中国出台了一系列切实有效的环保法规, 如《中国环境保护法》《环境影响评价法》《清洁生产促进法》等, 其中, 《中国生态环境报告》表明, 中国近年来的环境污染防治工作成效显著, 环境质量得到了较大改善, 但总体形势依然不容乐观。

为了走好环境污染少、科技含量高的新型工业化道路, 中国大力推进信息化与工业化融合发展, 以推动中国城市产业从能耗高的资源劳动密集型产业向能源利用效率高、产业附加值高的资本技术密集型产业转型升级。中国信息化发展的重要内容是推进信息基础设施建设。2013年, 中国国务院发布了《“宽带中国”战略及实施方案》, 致力于系统解决宽带网络接入速度、覆盖范围、应用普及等关键问题, 强化产业发展和安全保障, 不断提高宽带发展整体水平, 全面提升支撑经济社会可持续发展的能力。从2014年开始, 中国陆续确定了多批“宽带中国”示范城市。截至2021年底, 中国互联网宽带接入端口数达到10.18亿个, 移动通信基站总数达996万个, 其中 4G 基站达590万个, 5G 基站达142.5万个。伴随着“宽带中国”政策的实施, 中国正在逐步向信息网络强国的行列迈进。

在中国信息化快速发展的背景下, 本文主要关注的问题是信息化发展能否起到抑制城市环境污染的作用。现有文献表明, 以“宽带中国”政策为代表的信息化发展, 对中国的经济发展(赵涛, 2020; 李广昊和周小亮, 2021)、技术创新(冯苑, 2021; 种照辉, 2022; 薛成等, 2020; Lanzolla, 2021; Nambisan & Wright, 2019; Meijers, 2014)、产业结构升级(牛子恒和崔宝玉, 2021)、能源利用效率和全要素生产率提高(Stiroh, 2002; Koutroumpis, 2009; 刘传明、马青山, 2020)等方面具有积极作用。基于现有理论和事实, 本文试图证明, 以“宽带中国”政策为代表的信息化发展能够改善城市环境污染, 并且这种效应主要是通过提高城市技术创新能力和促进城市产业结构升级实现的。

本文采用多期 DID 方法研究以“宽带中国”政策为代表的信息化发展对城市环境污染的影响, 并探究其动态影响和作用机制。研究发现, “宽带中国”示范城市政策具有显著抑制城市环境污染的作用; “宽带中国”示范城市政策可促进城市技术创新能力提高和城市产业结构升级, 进而起到改善城市环境的作用; 信息化发展抑制环境污染的效应在不同规模城市、不同地区的城市、不同基础设施水平的城市等之间存在异质性。

本文的边际贡献主要体现在: 一是本文采用熵值法进行城市环境污染综合指

数测算，更全面地反映出城市的环境污染状况；二是关于信息化对环境污染的影响机制的研究较少，而本文采用计量方法从技术创新和产业结构升级效应等方面对信息化发展对城市环境污染的作用机制进行深入分析，丰富了信息化与城市环境污染相关的研究文献。

本文其他部分的结构安排如下：第二部分在梳理文献的基础上提出制度背景和研究假设；第三部分主要是模型构建和变量说明；第四部分主要介绍实证结果及其解释；第五部分是机制分析与异质性分析；第六部分是结论和建议。

二、制度背景与研究假设

（一）制度背景

宽带网络是经济和社会信息传播的重要载体，许多国家在国家战略部署中都将发展宽带网络作为优先行动领域，它是各国在新时期抢占国际经济、科技和产业竞争制高点的重点战略。宽带网络也是中国重点建设的公共基础设施，发展宽带网络对于拉动有效投资、促进信息消费、推动发展方式转变具有重要作用。

中国公用计算机互联网于1994年9月启动建设，此后，中国政府也作出了很多努力：1997年召开了全国信息化工作会议；2000年将信息化工作提到了国家战略层面；2002年提出以信息化带动工业化、以工业化促进信息化、走新型工业化道路；2005年提出推进国民经济和社会信息化，加快经济发展方式的转变；2006年发布中国信息化发展的纲领性文件《国家信息化发展战略纲要》；2012年，中国政府形成了《关于大力推进信息化发展和切实保障信息安全的若干意见》；2013年，制定《“宽带中国”战略及实施方案》；2014年、2015年和2016年，分三批确定了117个“宽带中国”示范城市（城市群）（每年39个城市（城市群），以下简称“宽带中国”示范城市，具体名单见表1）。

根据创建“宽带中国”示范城市相关管理办法的要求，“宽带中国”示范城市应具有良好的宽带发展基础指标（见表2），应至少满足表中4项指标要求。获得认定的“宽带中国”示范城市创建期为三年，城市需要根据表2中的6项指标要求制定具体工作目标，并应在创建期末6项指标都达到全国领先水平。经过一段时间的建设，“宽带中国”示范城市在宽带接入能力和宽带用户渗透率等方面将得到明显改进，这意味着“宽带中国”示范城市的信息化发展水平要明显高于其他城市，这为本文识别信息化发展对城市环境污染的因果效应提供了较好的准

表1 中国“宽带中国”示范城市名单

年份	数量	城市
2014	39	北京市、天津市、上海市、长株潭城市群、石家庄市、大连市、本溪市、延边朝鲜族自治州、哈尔滨市、大庆市、青岛市、淄博市、威海市、临沂市、郑州市、洛阳市、武汉市、芜湖市、安庆市、南京市、苏州市、镇江市、昆山市、金华市、福州市（含平潭）、厦门市、泉州市、南昌市、上饶市、广州市、深圳市、中山市、成都市、攀枝花市、阿坝藏族羌族自治州、贵阳市、银川市、吴忠市、阿拉尔市
2015	39	太原市、呼和浩特市、鄂尔多斯市、鞍山市、盘锦市、白山市、东营市、济宁市、德州市、新乡市、永城市、黄石市、襄阳市、宜昌市、十堰市、随州市、岳阳市、合肥市、铜陵市、扬州市、嘉兴市、莆田市、新余市、赣州市、汕头市、梅州市、东莞市、重庆市江津区、重庆市荣昌区、绵阳市、内江市、宜宾市、达州市、玉溪市、兰州市、张掖市、固原市、中卫市、克拉玛依
2016	39	烟台市、枣庄市、商丘市、焦作市、南阳市、鄂州市、衡阳市、益阳市、无锡市、泰州市、南通市、杭州市、宿州市、黄山市、马鞍山市、吉安市、玉林市、海口市、九龙坡区、北碚区、雅安市、泸州市、南充市、遵义市、文山壮族苗族自治州、拉萨市、林芝市、渭南市、武威市、酒泉市、天水市、西宁市、阳泉市、晋中市、乌海市、包头市、通辽市、沈阳市、牡丹江市

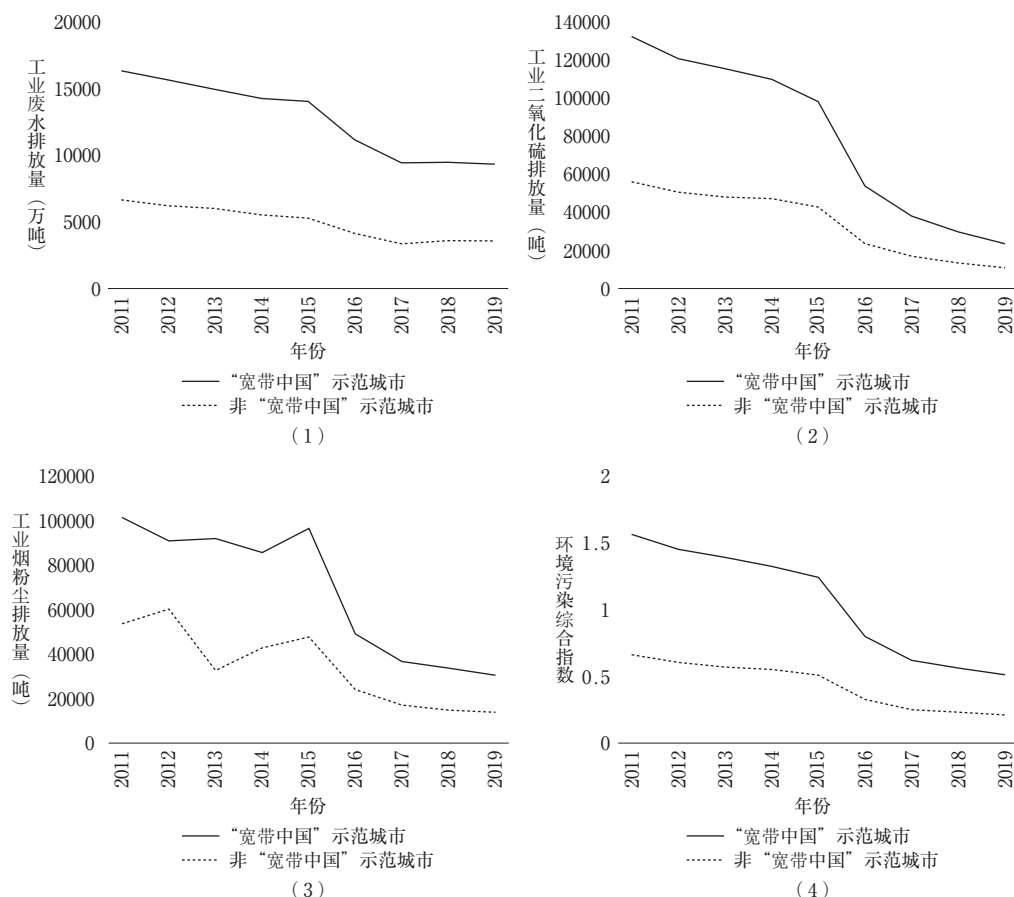
资料来源：中国工业和信息化部网站（<http://www.cac.gov.cn>）。

表2 “宽带中国”示范城市建设指标

序号	指标内容
1	城市家庭 20 Mbps 及以上宽带接入能力达到85%
2	农村家庭 4 Mbps 及以上宽带接入能力达到90%
3	固定宽带家庭普及率达到55%
4	3G/LTE 移动电话人口普及率达到40%
5	4 Mbps 宽带用户的渗透率分别达到80%
6	8 Mbps 宽带用户的渗透率分别达到35%

资料来源：中国工业和信息化部网站（<http://www.cac.gov.cn>）。

图1 “宽带中国”示范城市与非示范城市的环境污染指标比较



自然实验基础。

从“宽带中国”示范城市和非示范城市的环境污染指标均值来看（如图1所示），在“宽带中国”示范政策实施之前（2013年之前），“宽带中国”示范城市与非示范城市的工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟粉尘排放量、环境污染综合指数（该指标测算方式将在后文说明）具有基本相同的变化趋势。但在“宽带中国”示范政策实施期间（2014-2016年）及之后（2017年之后），两组城市的四项指标均有现下降趋势，且示范城市的下降趋势要大于非示范城市。这意味着以“宽带中国”政策为代表的信息化发展可能具有抑制城市环境污染的作用，这为后文的分析提供了较好的事实基础。

（二）研究假设

信息化发展最直接的效果是提升信息传递的速度、容量、质量等，这些方面

对于各行业各领域的发展都会起到推动作用。首先，在促进知识共享方面，信息化发展扩大了知识的传播范围，使知识的传播超越时空的局限，能迅速地向整个社会蔓延，从而使创新主体能够更容易地获得技术创新所需的专门知识，提升其技术创新能力，推动社会技术进步（Forés & Camisón, 2016）；其次，在增进交流合作方面，技术的创新和发展需要相互的沟通和协作，信息在企业中的有效流动不仅有利于企业内的创新人才交流与合作，也有利于企业跨组织、跨地域的交流和协作（Ding et al., 2010）；最后，在实现人力资本积累方面，随着互联网与教育教学的深度融合，传统的教学模式和学习方式发生了变化，通过互联网平台，人们可以随时随地进行在线学习和交流互动，信息化在培养创新型人才和积累人力资本方面能够起到支撑作用，进而推动创新人力资本积累和技术进步。而技术创新具有良好的节能减排效果，对降低环境污染、提高环境质量起着积极的作用（Ehrlich & Holdren, 1972）。随着生产技术的不断进步，能源使用效率得到了显著提高，能耗逐渐降低，污染排放量逐渐减少。同时，环保技术的不断发展，保障了生产工艺的清洁与环保，在生产过程中使用污染处理设施，减少了污染物的排放量，也可以改善环境质量。因此，本文提出如下假设：

假设1：“宽带中国”政策能够提高城市技术创新能力，进而抑制环境污染。

信息化和工业化的发展，必将带动产业结构的优化。产业结构升级对节能减排具有重要作用（郭美晨，2019）。一般说来，第二产业的能源密集程度高于第三产业，消耗的能源和资源也较多。信息化促进产业结构升级的效果主要表现在信息网络产业的迅速发展和信息化与工业化融合发展两个方面。一是从信息网络产业自身迅速发展对环境污染的影响来看，其本身具有技术含量高、能耗低、产业附加值高等特点，这就使得其具有资源节约型和环境友好型特质。另一方面，信息化与工业化相结合，为传统产业的发展提供了技术支撑，利用信息技术对传统产业改造升级，能够使其从高能耗、资源密集型的产业转向能源利用效率高、技术密集型的产业。高新技术产业能源消耗相对较小，环境污染也较小，特别是随着信息技术在各个行业的渗透与运用，会带动新兴服务业的崛起，促进中国产业结构的服务化，提高第三产业的比重，进而会提高环境质量水平。因此，本文提出如下假设：

假设2：“宽带中国”政策能够促进城市产业结构升级，进而抑制环境污染。

三、模型构建与变量说明

（一）模型构建

根据研究需要，本文基于双重差分方法（DID）来构建模型。DID 方法是一种比较常用的计量经济方法，主要用于对政府政策或项目效果评估的研究。多期 DID 是传统 DID 的一种拓展。与传统的 DID 政策执行时间一致的特点相比，多期 DID 更适用于同一政策在影响群体中逐步推行的情况。鉴于“宽带中国”示范城市政策是陆续分三批推出的，本文基于多期 DID 模型来识别“宽带中国”政策对城市环境污染的影响，基准模型构建如式(1)所示：

$$Pollution_{it} = \alpha + \beta Net_{it} + \gamma Control_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中，下标 i 和 t 表示 i 市第 t 年； $Pollution_{it}$ 是被解释变量，表示城市环境污染水平； Net_{it} 为核心解释变量，表示城市信息化发展，本文用“宽带中国”示范城市的虚拟变量来衡量； $Control_{it}$ 表示其他控制变量，包括经济发展水平、实际利用外资水平和金融发展水平等； λ 、 η 、 ε 分别表示城市个体固定效应、时间固定效应和随机误差项。 β 是本文的核心估计参数，用来刻画信息化发展对城市环境污染的影响。

（二）变量说明

1. 被解释变量（ $Pollution$ ）：运用熵值法构建的环境污染综合指数。目前，有关环境污染的评价指标主要有以下三种：一是某一种或某一些污染物排放量的绝对值，这样相对单一的指标存在无法全面地反映环境污染状况的问题；二是某一种或某一些污染物的排放强度，即单位产出所产生的污染物排放量；三是采用熵值法计算的包括多种污染物在内的环境污染综合指标（董战峰，2016）。

鉴于中国环境污染的主要来源是工业生产，考虑数据的可得性，本文采用工业二氧化硫、工业废水、工业烟粉尘三大工业污染物排放量作为衡量环境污染的指标，并运用熵值法构建环境污染综合指数，计算过程如下：

①原始数据的无量纲化处理。考虑到不同的环境污染指标可能存在差异，所以在进行综合指标计算之前，必须先对原始数据进行无量纲化，以避免由于原始数据差异而产生的误差，由于所选取的指标与环境污染之间都是呈现正相关关系，

因此对其进行无量纲化处理公式如下：

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

其中， Z 为无量纲化值， i 表示第 i 个城市， j 表示第 j 项指标， X 表示指标原值。

② 计算 j 项指标下 i 地区所占该指标的权重 R_{ij}

$$R_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=0}^m Z_{ij}} \quad (3)$$

其中， m 表示城市总数。

③ 计算第 j 项指标的熵值 F_j

$$F_j = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=0}^m R_{ij} \ln R_{ij} \quad (4)$$

④ 计算差异化系数 G_j

$$G_j = 1 - F_j \quad (5)$$

⑤ 计算权重 W_j

$$W_j = \frac{G_j}{\sum_{j=0}^n G_j} \quad (6)$$

其中， n 表示指标总数。

⑥ 计算综合化指数 P_i

$$P_i = \sum_{j=0}^n W_j R_{ij} \quad (7)$$

2. 核心解释变量 (*Net*)：本文将“宽带中国”示范城市政策视为一项准自然实验，作为信息化发展的衡量指标，其赋值采取虚拟变量形式。若城市为“宽带中国”示范城市取值为1，否则取值为0；“宽带中国”示范政策实施之后取值为1，否则取值为0，二者交互项表示“宽带中国”示范政策变量。在具体分析时，由于重庆市在2015年和2016年都有示范地区，故剔除该样本；此外，由于西藏自治区的样本缺失值较多，本文也将其剔除。最终，在本文分析中，受到

表3 描述性统计

变 量	符 号	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值	数据来源
环境污染	<i>Pollution</i>	4230	0.593	0.555	0.000	5.740	《中国城市统计年鉴》
宽带中国政策	<i>Net</i>	4230	0.127	0.333	0	1	中国工业和信息化部网站
经济发展水平	<i>lnpgdp</i>	4230	10.135	0.807	7.800	13.010	《中国城市统计年鉴》
实际利用外资	<i>fdi</i>	4230	0.023	0.024	0.000	0.260	《中国城市统计年鉴》
金融发展水平	<i>lnfin</i>	4230	15.929	1.283	12.550	20.420	《中国城市统计年鉴》
固定资产投资	<i>fai</i>	4230	0.734	0.352	0.040	3.320	《中国城市统计年鉴》
人口密度	<i>lnpop</i>	4230	7.948	0.796	3.300	9.910	《中国城乡建设统计年鉴》
城市技术创新	<i>lninno</i>	4230	1.336	1.067	0.010	5.730	中国研究数据服务平台
产业结构升级	<i>Indus</i>	4230	0.828	0.393	0.110	3.690	《中国城市统计年鉴》

“宽带中国”示范政策影响的城市共107个。

3. 控制变量 (*Control*) : ①经济发展水平 (*lnpgdp*) : 城市的经济发展水平是衡量城市特征的重要指标, 也会对环境产生污染产生影响, 其既可以对环境产生积极作用, 也可以产生消极作用 (包群和彭水军, 2006 ; Grossman & Krueger, 1995 ; Panayotou, 1997 ; 叶阿忠和郑航, 2022)。本文以人均地区生产总值的对数值来衡量经济发展水平。②实际利用外资水平 (*fdi*) : 城市的利用外资水平是衡量城市开放度的重要指标。现有文献对外商直接投资的环境效应有两种看法, 一种是“污染避难所假说” (Cole, 2006 ; 冉启英, 2021), 另一种是“污染光环假说” (Antweiler et al., 2001)。本文采用当年实际使用外资与 GDP 的比值来衡量城市实际利用外资水平, 其中实际使用外资金额以当年期末汇率将美元折合成人民币来计算。③金融发展水平 (*lnfin*) : 采用城市金融机构年末存贷款余额的对数值来衡量。④固定资产投资 (*fai*) : 固定资产投资往往是衡量一个区域内的生产规模, 而区域内的生产规模与环境污染的程度相关, 本文选用各地区固定资产投资总额占 GDP 的比重来衡量。⑤人口密度 (*lnpop*) : 人口密度所体现的人口集聚水平及城市规模会影响城市污染物排放 (孙峰华等, 2013), 本文采用地级市人口密度的对数值来衡量。

4. 中介变量 (*Med*) : ①技术创新 (*lninno*) : 创新能力提升所带来的技术效应, 是城市环境改善的主要动力 (Ehrlich & Holdren, 1972 ; 丁焕峰等, 2021 ; 文雯和王奇, 2017)。因此, 本文采用人均专利获得数的对数值来衡量技术创新水平。②产业结构升级 (*Indus*) : 产业结构升级具有明显的节能减排效应, 本文采用第三产业与第二产业产值的比值来衡量产业结构升级。

本文使用2005-2019年中国282个地级市数据进行实证分析, 各变量的描述性

统计及数据来源见表3。

四、实证分析

(一) 基准回归

本文对模型(1)进行回归分析得到基准估计结果(见表4)。列(1)为未加控制变量的估计结果,列(2)加了控制变量。从结果来,“宽带中国”政策实施对城市环境污染具有显著的抑制效应,显著性水平均在1%之下。以第(2)列结果来看,相比于非“宽带中国”示范城市,示范城市的环境污染水平平均降低12.1%。

(二) 平行性趋势检验

采用双重差分方法进行政策评估,必须满足平行性趋势假设,即政策实施之前,实验组和控制组的环境污染具有相同的变化趋势。为验证这一假设,本文参照Beck(2010)等的做法,运用事件分析法,构建以下动态模型:

$$Pollution_{ik} = \alpha + \sum_{k=-5, k \neq 0}^5 \beta_k Net_{ik} + \gamma Control_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式(8)中, i 和 t 分别表示城市和年份, $Pollution_{it}$ 表示城市环境污染水平, Net_{ik} 表示“宽带中国”示范城市政策实施“事件”,是一个虚拟变量,政策实施取1,否则为0。 k 表示“宽带中国”政策实施的第 k 年,当 k 为负数时,表示“宽带中国”政策实施之前的时期,其他变量与基准模型一致。模型中,将“宽带中国”示范城市政策实施当期作为基期。

本文绘制了基于模型(8)回归结果的平行性趋势检验结果图(如图2所示)。可以看出,在“宽带中国”示范城市政策实施之前,实验组城市和控制组城市之间的环境污染水平无明显差别,这表明本文的基准模型满足平行性趋势假设。同时,在政策实施之后,实验组城市和控制组城市的差距逐渐增大,说明“宽带中国”政策具有抑制环境污染的作用。从动态效应来看,政策实施后第一年的环境污染抑制效应并不明显,在政策实施两年后该效应才显现并逐渐增强。因此,“宽带中国”示范城市政策对城市环境污染的影响具有一定的滞后性,但其政策效果具有持续性。

表 4 基准估计结果

变 量	(1) 环境污染	(2) 环境污染
<i>Net</i>	-0.124*** (0.039)	-0.121*** (0.037)
<i>lnpgdp</i>		0.179 (0.135)
<i>fdi</i>		-0.228 (0.505)
<i>lnfin</i>		0.097** (0.041)
<i>fai</i>		0.106*** (0.035)
<i>lnpop</i>		-0.010 (0.012)
常数项	0.609*** (0.005)	-2.743* (1.597)
城市固定效应	控制	控制
年份固定效应	控制	控制
样本量	4230	4230
adj.R ²	0.791	0.795

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

图 2 平行性趋势检验结果

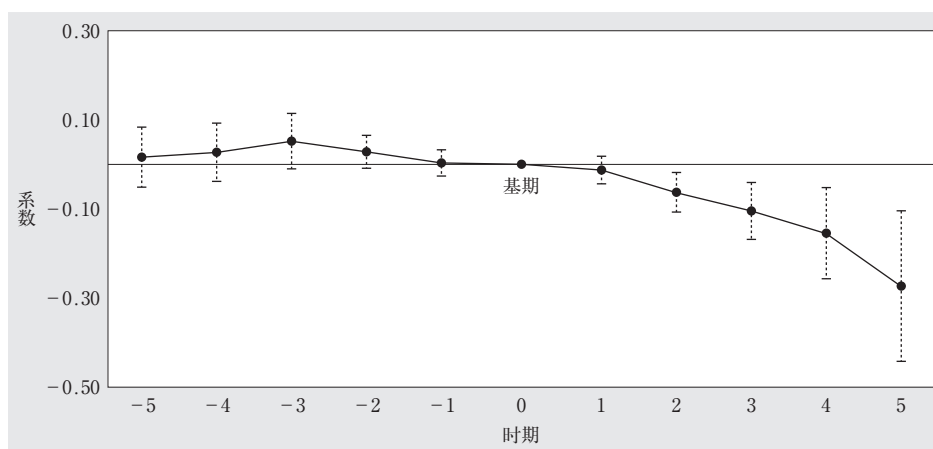


表5 PSM-DID 估计结果

变 量	(1) 环境污染	(2) 环境污染
<i>Net</i>	-0.102*** (0.037)	-0.074** (0.033)
常数项	0.600*** (0.004)	-1.886 (1.270)
控制变量	否	是
城市固定效应	控制	控制
年份固定效应	控制	控制
样本量	4182	4048
adj.R ²	0.797	0.778

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

(三) 稳健性检验

1. PSM-DID 分析

基准回归结果表明，“宽带中国”政策确实对城市环境起到了显著改善作用。但是，利用双重差分方法进行回归分析时会发现，实验组与控制组中各样本之间可能存在系统性差异。为避免这种误差，本文采用倾向得分匹配法（PSM）选择控制组样本，进而进行双重差分估计。其中，匹配方法采用 K 临近匹配法，K 取值为 1，即进行 1 对 1 匹配，依据经济发展水平、实际利用外资水平、金融发展水平、固定资产投资规模以及人口密度五个指标。通过 PSM 匹配后的实验组与控制组之间不再有系统性差异，进而利用 DID 方法进行回归（结果见表 5）。结果表明，“宽带中国”示范政策的抑制环境污染效应仍然是显著的，这说明前文所得到的实证结果是可靠的。

2. 缩尾断尾处理

考虑到本文所使用的数据可能存在异常值，并有可能影响估计结果的真实性，本文将样本进行了断尾 1% 和缩尾 1% 的处理。断尾是将异常值替换为缺失值，其回归结果见表 6 第(1)列；缩尾的基本原则是最大限度的保持数据信息完整性，用分位数的边界值代替范围之外的数值，回归结果见表 6 第(2)列。可见，回归系数均显著且与原始数据所得结果接近，排除了异常值的影响。

3. 考虑政策偏向性

考虑到政策实施存在偏向性，重点城市获得的经济、金融资源和政策优惠也相对较多，而且不同城市在宽带网络建设等方面也存在很大差异。因此，本文根

表 6 缩尾断尾结果

变 量	环境污染	
	(1) 断尾 1 %	(2) 缩尾 1 %
<i>Net</i>	-0.103*** (0.032)	-0.105*** (0.034)
常数项	-1.155 (1.214)	-2.144 (1.339)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
年份固定效应	控制	控制
样本量	4145	4230
adj.R ²	0.804	0.811

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5 %和1 %的水平下显著。

表 7 考虑政策偏向性结果

变 量	环境污染			
	(1) 剔除直辖市	(2) 剔除计划单列市	(3) 剔除省会城市	(4) 剔除三类重点城市
<i>Net</i>	-0.103*** (0.036)	-0.133*** (0.038)	-0.105** (0.041)	-0.092** (0.039)
常数项	-2.282 (1.448)	-3.262* (1.662)	-2.658 (1.617)	-2.483* (1.435)
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	4185	4155	3840	3720
adj.R ²	0.785	0.794	0.797	0.783

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5 %和1 %的水平下显著。

据直辖市、计划单列市和省会的分类分别剔除这些重点城市后再进行估计，以确保本文结论可靠性。估计结果如表 7 所示，第(1)列、第(2)列和第(3)列分别是剔除直辖市、计划单列市和省会城市的结果，第(4)列是同时剔除上述三类城市的估计结果。可以看出，所有结果都是显著的，验证了本文主要估计结果的稳健性。

4. 安慰剂检验

本文采用安慰剂检验方法进一步验证“宽带中国”示范城市政策对城市环境污染抑制作用的稳健性。主要做法是在所有样本中随机选取实验组和对照组，并

表 8 “宽带中国”示范政策环境污染抑制效应的技术创新机制

变 量	(1) 环境污染	(2) 技术创新	(3) 环境污染
<i>Net</i>	-0.121*** (0.037)	0.128*** (0.038)	-0.113*** (0.036)
<i>lninno</i>			-0.0643** (0.031)
常数项	-2.743* (1.597)	0.343 (2.063)	-2.721* (1.587)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
样本量	4230	4230	4230
adj.R ²	0.795	0.933	0.796

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5 %和1 %的水平下显著。

利用基准回归模型进行估计，得到“假的”核心解释变量系数，进而将这种做法重复500次，由此得到500个“假的”核心解释变量估计系数。将这500个“假的”系数与基准回归“真实”系数0.121进行对比，发现“假的”系数都落在[-0.113, 0.092]的区间内，没有小于-0.121的值，说明如果拒绝承认所有“假的”系数为真实系数，出错的概率为零，安慰剂检验获得通过。这意味着“宽带中国”示范政策对城市环境污染的抑制效应，并非来源于不可观测因素，基本估计结果是稳健的。

五、机制分析与异质性分析

(一) 机制分析

从研究假设的分析可知，“宽带中国”政策是中国城市环境污染治理的一个重要途径，它可以通过技术创新和产业结构升级两条途径抑制城市环境污染。因此，本文借鉴温忠麟（2004）等的经验，构建一个中介效应检验模型用以识别“宽带中国”政策在城市环境污染治理中的作用机理，检验模型设计如下：

$$Pollution_{it}=\alpha_1+\beta_1Net_{it}+\gamma_1Control_{it}+\lambda_i+\eta_t+\varepsilon_{it}$$

(9)

表9 “宽带中国”示范政策环境污染抑制效应的产业结构升级机制

变 量	(1) 环境污染	(2) 产业结构升级	(3) 环境污染
<i>Net</i>	-0.121*** (0.038)	0.040** (0.016)	-0.110*** (0.036)
<i>Indus</i>			-0.298*** (0.109)
常数项	-2.743* (1.597)	5.314*** (0.806)	0.119 (1.319)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
样本量	4230	4230	4230
adj.R ²	0.795	0.936	0.797

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

$$Med_{it} = \alpha_2 + \beta_2 Net_{it} + \gamma_2 Control_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$Pollution_{it} = \alpha_3 + \beta_3 Net_{it} + \theta Med_{it} + \gamma_3 Control_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

在上述公式中，*Med* 是中介变量，它反映了“宽带中国”政策影响城市环境污染的作用机制， θ 为其估计系数。模型(9)反映“宽带中国”政策对城市环境污染的的总体影响，模型(10)反映“宽带中国”政策对中介效应的影响，模型(11)则反映“宽带中国”政策和中介变量共同影响城市环境污染水平。

表8为城市技术创新作为中介变量的回归结果。第(1)列为基准回归结果，第(2)列显示，“宽带中国”示范政策对城市创新能力的回归系数为0.128，且在1%的水平上显著，这意味着示范政策促进了城市技术创新。第(3)列将“宽带中国”示范政策与技术创新同时纳入回归模型中，发现示范政策的回归结果为0.113，与第(1)列的估计系数相比变小，而城市技术创新的回归系数仍然显著为正，证明城市技术创新这一中介效应存在，即“宽带中国”示范政策通过提升城市技术创新能力进而改善城市环境质量，本文研究假设1得到验证。

表9为城市产业结构升级作为中介变量的回归结果。第(1)列仍为基准回归结果，第(2)列显示，“宽带中国”示范政策对城市产业结构升级的影响系数为0.040，且在5%的水平上显著，这意味着示范政策促进了城市产业结构升级。第(3)列将“宽带中国”示范政策与产业结构升级同时纳入回归模型，发现示范政策的回归结果为0.110，与第(1)列的基准估计系数相比较小，而城市产业结构升级的回归

表10 城市规模异质性

变 量	环境污染	
	(1) 小城市	(2) 大中城市
<i>Net</i>	-0.022 (0.058)	-0.102** (0.047)
常数项	-1.893 (1.368)	-1.313 (2.391)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
年份固定效应	控制	控制
样本量	1882	2338
adj.R ²	0.694	0.826

注：括号内为标准误，*、**和*** 分别表示在10%、5 %和1 %的水平下显著。

系数仍然显著为正，证明城市产业结构升级这一中介效应存在，即“宽带中国”政策通过促进城市产业结构升级进而改善城市环境质量，本文研究假设 2 得到验证。

(二) 异质性分析

1．城市规模异质性

根据2014年国务院发布的《关于调整城市规模划分标准的通知》，新的城市规模划分标准以城区常住人口为统计口径，将城市划分为五类七档。考虑到样本数量问题，¹⁾ 本文将中等城市、大城市、特大城市和超大城市合并为大中城市，进而对小城市和大中城市两种城市样本进行估计（见表10）。结果表明，“宽带中国”示范政策对降低大中城市环境污染具有显著作用，而对于小城市环境污染没有显著抑制作用。其主要原因是中国的大中城市拥有较好的互联网发展基础，示范政策可以促进中国大中城市资源配置效率的提高、科技水平的提升和产业结构的优化，从而减少环境污染，而中国小城市由于缺乏必要的资金支持、科技发展水平不高等原因，使得示范政策的效应在短期内难以较好地发挥出来。因此，随着城市规模的不断扩张，在信息化推动城市技术创新和产业结构升级的作用下，城市环境污染问题会得到缓解。

2．地理区域异质性

“宽带中国”示范政策在不同区域对城市环境的影响可能存在差异。本文综

表11 地理区域异质性

变 量	环境污染		
	(1) 东部地区	(2) 中部地区	(3) 西部地区
<i>Net</i>	-0.176** (0.071)	-0.115** (0.049)	-0.075 (0.062)
常数项	2.083 (4.622)	-0.848 (1.445)	-0.094 (2.816)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
样本量	1710	1635	885
adj.R ²	0.815	0.739	0.722

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

合考虑地理位置和经济发展水平两个因素，将中国大陆区域分为三个地区（东部地区、中部地区和西部地区），进而根据各城市所属地区，分析“宽带中国”示范政策对不同地区的城市环境污染的影响（见表11）。结果表明，“宽带中国”示范政策对东部地区、中部地区的城市环境污染具有显著抑制作用，对西部地区的城市环境污染没有显著影响。这主要是因为中东部地区具有较高的经济发展水平和较好的互联网普及程度，以及优越的地理位置和便利的交通条件，使其具有很多宽带网络发展优势。而西部地区发展相对落后，信息化资源利用效率相对较低，宽带网络建设对于该地区技术创新和产业升级的促进作用还不够充分，进而使得“宽带中国”示范政策对城市环境污染的抑制效应没有显著发挥出来。

3. 基础设施水平异质性

尽管信息化发展在网络空间、通讯线路上缩短了信息传输的距离和时间，但也需要交通基础设施等对物流、人流等的保障，才能有效发挥信息化发展的环境污染抑制效应。一般而言，在铁路、公路、机场等交通基础设施建设较发达的城市，宽带网络建设可以更好地发挥其自身优势，提高区域资源配置效率，更好地发挥区域经济规模效应和降低经济运行成本，这会导致信息化发展的环境污染抑制效应在交通设施水平不同的城市表现出差异。本文依据城市道路面积与行政区域土地面积的比值将样本划分为交通基础设施水平高的地区和低的地区进行回归分析（见表12）。结果发现，在交通基础设施水平高的地区，“宽带中国”示范政策对城市环境污染具有显著抑制作用，在交通基础设施水平低的地区该作用不明

表12 基础设施水平异质性

变 量	环境污染	
	(1) 交通基础设施水平低	(2) 交通基础设施水平高
<i>Net</i>	-0.006 (0.062)	-0.133*** (0.048)
常数项	-1.289 (1.845)	-1.027 (2.120)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
年份固定效应	控制	控制
样本量	2106	2107
adj.R ²	0.712	0.834

注：括号内为标准误，*、**和*** 分别表示在10%、5 %和1 %的水平下显著。

显。这说明“宽带中国”示范政策作为信息化基础设施建设的重要举措，也需要更完善的交通基础设施作为支撑，才能够更有效地发挥出对城市环境污染的抑制作用。

六、结论与政策建议

本文利用2005-2016年中国282个地级市的数据，采用多期 DID 方法对“宽带中国”示范政策对城市环境污染的影响进行了实证分析。研究发现，“宽带中国”政策显著抑制了城市环境污染，这一结论得到一系列稳健性检验支持，说明“宽带中国”示范政策在解决城市环境污染问题上具有可靠的作用。进一步地，通过机制分析发现，“宽带中国”示范政策的环境污染抑制效应，主要通过提高城市技术创新能力和促进城市产业结构升级这两条机制来实现。异质性分析得出，信息化发展对环境污染的抑制效应在城市规模、城市所在地区和城市基础设施水平等方面表现出明显差异。

基于以上结论，本文对于信息化发展和城市环境污染防治得出如下几点政策启示：第一，加强信息化技术研发投入，提升信息化技术创新能力。应围绕新一代信息技术和未来发展需求，进一步加大信息化技术研发投入，加强技术创新人才的培养，促进信息网络与创新资源、教育资源高度融合，构建更加完善的技术

创新体系,让信息化发展和技术创新能力提升协同并进。第二,信息化基础设施建设要为城市产业结构升级提供有力支撑。应促进信息网络与现代制造业、现代服务业的充分融合,优化产业资源配置效率,推进产业向高智能、低能耗、低排放的行业转型升级,助力城市降低环境污染物排放。第三,因地制宜加强信息网络基础设施建设。应针对地区间差异,着力提升小城市、西部地区和基础设施水平较低地区的信息化发展水平,加快推进信息网络基础设施和其他基础设施的适配发展,以在更大地域范围内实现信息化均衡发展和发挥抑制城市环境污染的效应。

注

- 1) 城区常住人口50万以下的城市为小城市;城区常住人口50万以上100万以下的城市为中等城市;城区常住人口100万以上500万以下的城市为大城市;城区常住人口500万以上1000万以下的城市为特大城市;城区常住人口1000万以上的城市为超大城市。
- 2) 东部地区的省份:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南;中部地区的省份:山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽,江西、河南、湖北、湖南;西部地区的城市:重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

参考文献

- (1) 包群,彭水军.经济增长与环境污染:基于面板数据的联立方程估计[J].世界经济,2006(11):48-58.
- (2) 丁焕峰,孙小哲,王露.创新型城市试点改善了城市环境吗?[J].产业经济研究,2021(02):101-113.
- (3) 董战峰,郝春旭,刘倩倩,严小东,葛察忠.基于熵权法的中国省级环境绩效指数研究[J].环境污染与防治,2016,38(08):93-99.
- (4) 冯苑,聂长飞,张东.宽带基础设施建设对城市创新能力的影响[J].科学学研究,2021(11):2089-2100.
- (5) 刘传明,马青山.网络基础设施建设对全要素生产率增长的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J].中国人口科学,2020(03):75-88+127-128.
- (6) 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(07):146-160.
- (7) 牛子恒,崔宝玉.网络基础设施建设与大气污染治理——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J].经济学报,2021(04):153-180.
- (8) 冉启英,朱为利,任思雨.对外开放、城市蔓延与大气污染[J].华东经济管理,

- 2021, 35(06) : 42-52.
- (9) 孙峰华, 孙东琪, 胡毅, 李少鹏, 徐建斌. 中国人口对生态环境压力的变化格局 : 1990~2010 [J]. 人口研究, 2013(05) : 103-113.
 - (10) 文雯, 王奇. 城市人口规模与环境污染之间的关系——基于中国285个城市面板数据的分析 [J]. 城市问题, 2017(09) : 32-38.
 - (11) 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 刘红云. 中介效应检验程序及其应用 [J]. 心理学报, 2004(05) : 614-620.
 - (12) 薛成, 孟庆玺, 何贤杰. 网络基础设施建设与企业技术知识扩散——来自“宽带中国”战略的准自然实验 [J]. 财经研究, 2020(04) : 48-62.
 - (13) 叶阿忠, 郑航. 经济增长对环境污染的非线性效应研究——基于半参数空间模型的再检验 [J]. 生态经济, 2022(04) : 177-185.
 - (14) 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据 [J]. 管理世界, 2020(10) : 65-76.
 - (15) 种照辉, 高志红, 覃成林. 网络基础设施建设与城市间合作创新——“宽带中国”试点及其推广的证据 [J]. 财经研究, 2022(03) : 79-93.
 - (16) Antweiler, W., Copel, B. R. and Taylor, M. S. (2001) Is Free Trade Good for the Environment? [J]. American Economic Review, (04) : 877-908.
 - (17) Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (1995) Economic Growth and the Environment [J]. NBER Working Papers, 110(02) : 353-377.
 - (18) Cole, M. A., Elliott, R. J. R. and Fredriksson, P. G. (2006) Endogenous Pollution Havens: Does FDI Influence Environmental Regulations? [J]. The Scandinavian Journal of Economics, 108(01) : 157-178.
 - (19) Ding, W. W., Levin, S. G., Stephan, F. E. and Winkler, A. E. (2010) The Impact of Information Technology on Scientists Productivity Quality and Collaboration Patterns [J]. Management Science, (09) : 1439-1461.
 - (20) Ehrlich, P. R. and Holdren, J. P. (1972) A Bulletin Dialogue on the “Closing Circle”, Critique, One-dimensional [J]. Ecology Bulletin of the Atomic Scientists, (05) : 16-27.
 - (21) Lanzolla, G., Pesce, D. and Tucci, C. L. (2021) The Digital Transformation of Search and Recombination in the Innovation Function: Tensions and an Integrative Framework [J]. Journal of Product Innovation Management, 38(01) : 90-113.
 - (22) Panayoton, T. (1997) Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool [J]. Environment and Development Economics, 2(04) : 465-484.
 - (23) Forés, B. and Camisón, C. (2016) Does Incremental and Radical Innovation Performance Depend on Different Types of Knowledge Accumulation Capabilities and Organizational Size? [J]. Journal of Business Research, (02) : 831-848.

- (24) Koutroumpis, P. (2009) The Economic Impact of Broadband on Growth: A Simultaneous Approach [J]. Telecommunications Policy, 33(9): 471-485.
- (25) Meijers, H. (2014) Does the Internet Generate Economic Growth, International Trade, or Both? [J]. International Economics and Economic Policy, 11(01-02): 137-163.
- (26) Nambisan, S., Wright, M. and Feldman, M. (2019) The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes [J]. Research Policy, 48(08): 103773.
- (27) Stiroh, K. J. (2022) Information Technology and the U. S. Productivity Revival: What do the Industry Data Say? [J]. The American Economic Review, 92(05): 1559-1576.