

# Internet Technology Progress Space Spillover Effect and Carbon Emissions

## —Empirical Research Based on Spatial Model

Feng Li, Lei Huang, Hanbing Si, Jing Zhou

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu  
Email: galaxy210@163.com

Received: Apr. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 30<sup>th</sup>, 2020; published: May 7<sup>th</sup>, 2020

---

### Abstract

The arrival of the era of big data means that economic growth is increasingly dependent on the development of Internet technology, and economic growth is closely linked to carbon emissions, so it is necessary to test the relationship between Internet technology progress and carbon emissions through empirical tests. This article uses the spatial panel data of 30 provinces and cities in China from 2011 to 2016 based on the environmental Kuznets Curve (EKC), and uses the spatial Dubin model (SDM) to analyze the spatial spillover effect of Internet technology progress on carbon emissions. The empirical results show that there is a spatial spillover effect between Internet technology progress and carbon emissions; Internet technology progress increases the carbon emissions of the region, but there is no significant promotion effect on the carbon emissions of neighboring regions; economic development has a significant "U"-type relationship with carbon emissions.

### Keywords

Internet Technology Progress, Carbon Emissions, Spatial Effect, Economic Growth

---

# 互联网技术进步空间溢出效应与碳排放

## ——基于空间模型的实证研究

李 凤, 黄 蕾, 司寒冰, 周 静

江苏大学财经学院, 江苏 镇江  
Email: galaxy210@163.com

收稿日期: 2020年4月7日; 录用日期: 2020年4月30日; 发布日期: 2020年5月7日

## 摘要

大数据时代的到来意味着经济增长越来越依托于互联网技术发展,而经济增长又与碳排放有着紧密联系,因此有必要通过实证检验互联网技术进步与碳排放的关系。本文使用2011~2016中国30个省市的空间面板数据,基于环境库兹涅兹曲线(EKC),应用空间杜宾模型(SDM)剖析互联网技术进步对碳排放的空间溢出效应。实证结果显示:互联网技术进步与碳排放均存在空间溢出效应;互联网技术进步增加本地区碳排放量,而对于邻近地区碳排放不存在显著的促进作用;经济增长与碳排放存在明显的倒“U”型关系。

## 关键词

互联网技术进步, 碳排放, 空间效应, 经济增长

Copyright © 2020 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

随着互联网技术进步与互联网终端的广泛应用,越来越多的经济活动逐渐以网络信息技术为基础、以互联网为依托,渗透到生活、生产的每一环节。互联网技术进步在加快经济发展的同时不可避免地对环境产生了影响。随着气候变暖和温室气体排放的加剧,碳减排成为全球各国聚焦的问题,而互联网对于碳排放的影响目前还不确定,主要存在两种不同的观点。一种观点认为互联网的发展促进了经济发展,主要体现在工业上增加了能源的使用,促进了碳排放。而另一种观点认为互联网发展有利于提高能源效率,同时互联网平台优势有助于企业开发清洁生产方式和节能技术,从而减少碳排放。互联网技术进步与碳排放关系的研究对于协调区域互联网发展以及实现碳减排具有重要意义,鉴于此,本文通过构建空间杜宾模型,采用省级面板数据实证研究互联网技术进步对于省域碳排放的影响。

## 2. 文献综述

现有的关于碳排放的研究大多集中于技术创新、经济增长、环境规制、城镇化水平等对于碳排放的影响。国内外大量学者基于环境库兹涅兹曲线进行了研究。林善浪等[1]的实证结果显示无碳技术的创新可以减少二氧化碳的排放。王薇[2]的研究发现城市化水平提高和产业结构变化均会引起碳排放的增加。

随着对通信技术以及碳排放的研究逐渐深入,国外学者最先注意到互联网技术发展对于碳排放的影响并展开研究,但并没有得出关于互联网发展与碳排放关系的统一结论。其中一部分学者认为互联网发展减少了区域碳排放,如 Ozcan & Apergis [3]等基于 20 个新兴经济体的实证研究结果表明互联网的发展减少了区域碳排放。还有部分学者认为互联网发展对碳排放的影响存在先促进后抑制的倒“U”型关系,如 Higón [4]等通过实证研究,得出了互联网的发展与二氧化碳排放量之间呈大致的倒“U”型关系的结论。而部分学者则认为互联网技术进步增加了能源消耗和碳排放,如 Gelenbe & Caseau [5]基于东盟 9 个国家的通信技术、二氧化碳排放以及经济增长的数据的研究发现,通信技术在促进经济发展的同时增加了二氧化碳排放。Khan 等[6]的研究发现 ICT 和金融发展的交互作用促进了碳排放,而 ICT 与 GDP 的交互项对于二氧化碳的排放具有抑制作用。

国内对于互联网发展与其它要素关系的研究起步较晚,且大多集中于对互联网与经济发展、能源效率、环境质量等方面,如张红历[7]利用空间计量模型对我国的网络信息技术发展水平和经济发展水平的空间关联性进行了实证研究,研究结果表明网络信息技术存在显著的空间溢出效应,且对区域碳排放起促进作用。张家平等[8]采用面板门槛模型实证检验了互联网发展对于经济增长存在门槛效应,互联网发展带动了地区经济的发展,但是互联网发展对于地区经济的作用效果会受人力水平和技术创新的影响。樊茂清等[9]的研究认为 ICT 投资可以优化产业结构,降低能源强度。汪东芳和曹建华[10]利用省级面板数据进行研究,发现互联网发展能促进能源效率的提升,但是存在双重门槛。解春艳等[11]基于环境库兹涅兹曲线对于互联网技术进步和碳排放的空间关联性进行了实证分析,研究发现互联网技术进步存在显著的空间溢出效应,且能够有效减少废水、二氧化硫的排放。李寿国等[12]运用面板门槛模型进行了实证研究,发现互联网发展与碳排放存在倒“U”型关系,即互联网水平较低时,增加了地区碳排放,当互联网发展水平越过门槛值时,抑制碳排放的增长。

综上所述,国内关于互联网与碳排放关系的研究较少,且未考虑到互联网技术进步及其空间自相关性对于碳排放的影响。鉴于此,本文采用空间计量模型研究互联网技术进步和碳排放的空间关联性,检验互联网对碳排放的空间溢出效应并进行分析。

### 3. 模型构建

#### 3.1. 空间计量模型设定

借鉴已有研究,本文在研究互联网技术进步与碳排放的关系时,综合考虑环境规制、人均财富与对外开放水平即城镇化率等因素对碳排放的影响。设定初始的 OLS 计量模型如式(1):

$$\ln pc_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln ict_{it} + \xi \ln X_{control} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中,  $i$  代表各省市;  $t$  代表时间;  $pc$  为被解释变量,代表人均碳排放量;  $ict$  为核心解释变量,代表互联网技术进步;  $X_{control}$  为一组控制变量;  $\xi$  代表控制变量的弹性系数,  $\varepsilon$  为残差项。

考虑到各地区碳排放之间存在流动性以及互联网技术渗透交流,一般的计量表模型可能存在偏误。因此,本文选用能够将碳排放和互联网技术的空间相关性考虑在内的空间计量分析技术来考察碳排放与互联网技术发展之间关系,并假定使用更具一般性的空间杜宾模型(SDM),表达式如下:

$$\begin{aligned} \ln pc_{it} = & c + \delta W \ln carbon_{it} + \beta_1 \ln ict_{it} + \beta_2 \ln X_{control} \\ & + \theta_1 W \ln ict_{it} + \theta_2 W \ln X_{control} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $c$  为常数项,  $\delta$  为空间滞后系数,反映了本地区碳排放对临近地区的影响,  $\beta_i$  为自变量系数,表示本地区自变量对于因变量的影响,  $\theta_i$  为自变量空间滞后系数,反映了本地区自变量对于临近地区因变量的影响,  $\mu_i$  和  $\lambda_t$  分别表示空间效应和时间效应,  $\varepsilon_{it}$  为残差项,  $W$  为空间权重矩阵,本文选取空间邻接矩阵。

#### 3.2. 指标选取

(1) 碳排放( $pc$ ): 被解释变量。由碳排放系数法计算得到各省每年碳排放总量,用人均碳排放总量来表征碳排放情况。

本文运用 IPCC 提供的碳排放系数法核算省域碳排放量,公式如式(3)。

$$C = \frac{12}{44} \times \left( \sum E_n \times \alpha_n \times \beta_n \right) \quad (3)$$

其中,  $C$  指碳排放,单位万  $t$ ;  $E_n$  表示第  $n$  种能源终端消费量(本文考虑的能源类型包括:煤炭、焦炭、

原油、汽油、煤油、柴油、天然气和燃料油,共8种),天然气单位为 $10^8 \text{ m}^3$ ,其余能源为万 $t$ ;  $\alpha_n$ 表示第 $n$ 种能源的折标煤系数;  $\beta_n$ 表示第 $n$ 种能源 $\text{CO}_2$ 排放系数,单位万 $t/\text{万 tce}$ 。

(2) 互联网技术进步(*ict*): 核心解释变量。本文借鉴中国互联网络信息中心(CNNIC)及胡鞍钢等[13]做法,以地区的互联网普及率作为地区互联网技术进步指标,互联网普及率 = 各地区网民数/地区人口总数。

(3) 控制变量( $X$ )。参考以往研究,本文选取对外开放水平、环境规制、城镇化率和科技投入作为控制变量: ① 经济发展水平。为验证环境库兹涅茨曲线的存在[12],本文加入经济增长变量 $\ln pgdp$  以及其平方项 $\ln^2 pgdp$ 。② 贸易开放(*ope*): 采用外商投资企业进出口总额度量来反映对外开放水平。国内外学者关于贸易对环境的影响主要有两种不同的观点: 其一为,由于“向底线赛跑”现象[14]的存在,自由贸易能抑制富裕国家的环境污染,促进贫穷国环境污染[15],产生污染避难所效应。其二为,贸易越开放的国家清洁技术升级越快,所以环境趋于改善[16]。③ 环境规制(*er*): 用各省环境污染治理投资占 GDP 比重来衡量污染治理水平。由于波特假说已得到了大部分研究者的支持,故预期该自变量系数为正。④ 城镇化水平(*urb*): 采用城镇化率反映我国各省城镇化水平。从环境经济学角度出发,各学者关于城市化对环境质量的影响有两种不同的看法: 部分学者认为城市化进程加快代表着大量人口流向一个相对狭小的地区,这会导致区域环境污染加重。另一部分学者则认为城市化水平的提高会增加污染处理的规模经济效应,降低环境污染[17]。⑤ 科技投入(*tec*): 采用科研费用支出间接度量。大量资金的投入有利于低碳技术的开发,从而促进碳减排。因此,本文预期该变量系数为正。

### 3.3. 数据来源数据来源与处理

本文以 2011~2016 年为研究区间,中国 30 个省份(不包括西藏、港澳台地区)的面板数据为研究对象。各省份的网民数来源于中国互联网信息中心; 各省域能源消费量以及用于核算碳排放的各项系数均来源于《中国能源统计年鉴》; 环境污染治理投资额占 GDP 比例直接来源于《中国环境统计年鉴》; 社会经济数据以及各省人口数据均来源于《中国统计年鉴》。为了统一货币单位,利用当年人民币兑美元的汇率将以美元为单位的外商投资企业进出口总额度换算成人民币。为了消除价格波和异方差的影响,本文对所有变量均做了对数化处理,并对经济变量做了不变价处理。

## 4. 实证分析

### 4.1. 空间相关性分析

人均碳排放与互联网普及率的全局 Moran's I 指数如表 1 所示。检验结果表明,所有的 Moran's I 指数均为正值,且在 1% 的水平下显著,说明碳排放与互联网进步均存在空间正自相关。

**Table 1.** Global Moran's I of carbon emissions and internet technology progress in China from 2011 to 2016

**表 1.** 2011~2016 年中国各省市碳排放及互联网技术进步全局 Moran's I 表

年份	碳排放			互联网技术进步		
	Moran's I	Z 值	p 值	Moran's I	Z 值	p 值
2011	0.472	4.156	0.000	0.322	2.901	0.002
2012	0.455	4.006	0.000	0.337	3.024	0.001
2013	0.435	3.830	0.000	0.328	2.950	0.002
2014	0.430	3.801	0.000	0.314	2.830	0.002
2015	0.401	3.562	0.000	0.302	2.727	0.003
2016	0.300	3.400	0.000	0.300	2.731	0.003

互联网普及率与人均碳排放的 Moran's I 散点图如图 1 所示, 该图中这两项指标的局部空间集聚特征明显, 趋势线均位于一三象限。本文分别选取 2011 年和 2016 年为代表年份, 分析可知, 互联网发展水平的 H-H 集聚区主要集中于东部沿海省份(上海、江苏、浙江、天津)、经济较发达省份(北京)、海南和福建; L-L 集聚区主要集中于贵州、云南、四川、宁夏, 而湖北、山西等省份位于 H-L 集聚区, 这反映出了我国互联网发展在地理空间上以东部沿海较发达省份为重心, 向西持续扩散的特点。从动态演变角度来看, 2011-2016 年, 碳排放的 H-H 集聚区中的省份数量大致保持不变, 除天津省于 2013 年退出高碳排放行列外, 至 2106 年, 仍维持高碳排放水平的省份有沿海省份(河北、上海和江苏)、东北部重工业省份(黑龙江、吉林和辽宁)、内陆耗能大省(山西、内蒙古)、陕西、宁夏; L-L 低碳集聚区省份中, 除青海于 2013 年退出低碳排放群体外, 其余省份一直维持着低碳排放水平, 主要分布于西部和中部地区。

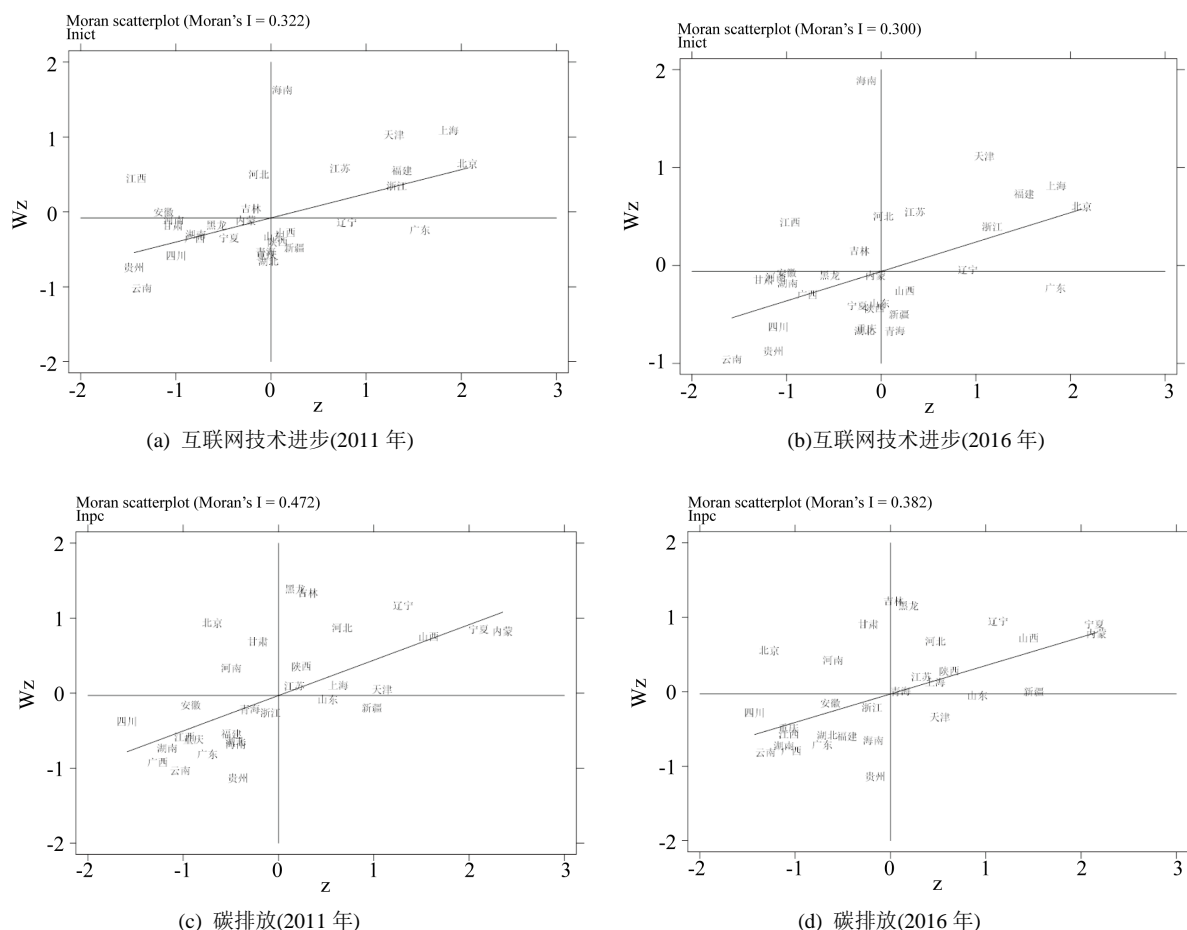


Figure 1. Local Moran's I scatter plot of internet technology progress and carbon emissions

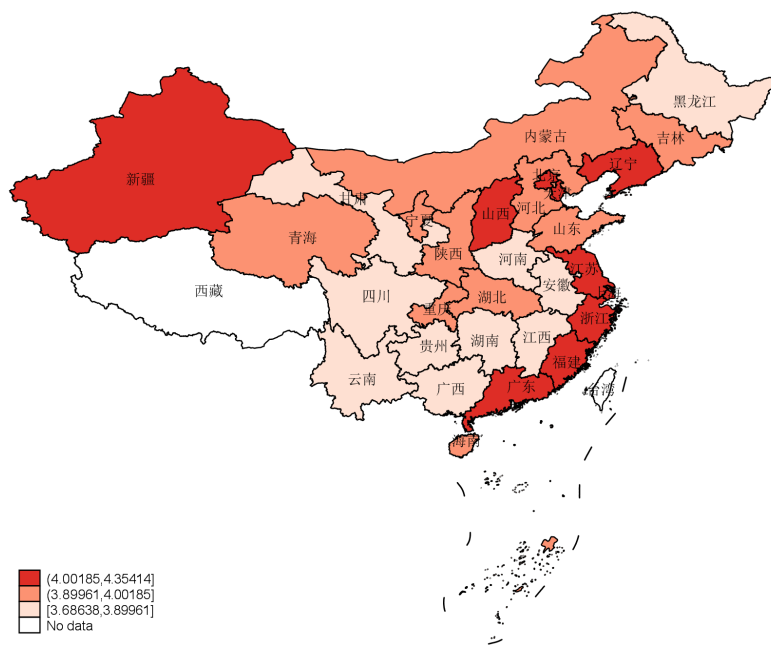
图 1. 互联网技术进步与碳排放 Moran's I 散点图

本文以 2016 年为例进行分析, 互联网技术进步与碳排放的聚类图如图 2 所示, 该图表明互联网技术进步与碳排放均居有明显的空间集聚的特征, 其中互联网技术发展水平较高的区域集中于东部沿海, 而碳排放量较高地区主要位于一些能源消耗大省及我国北部地区。

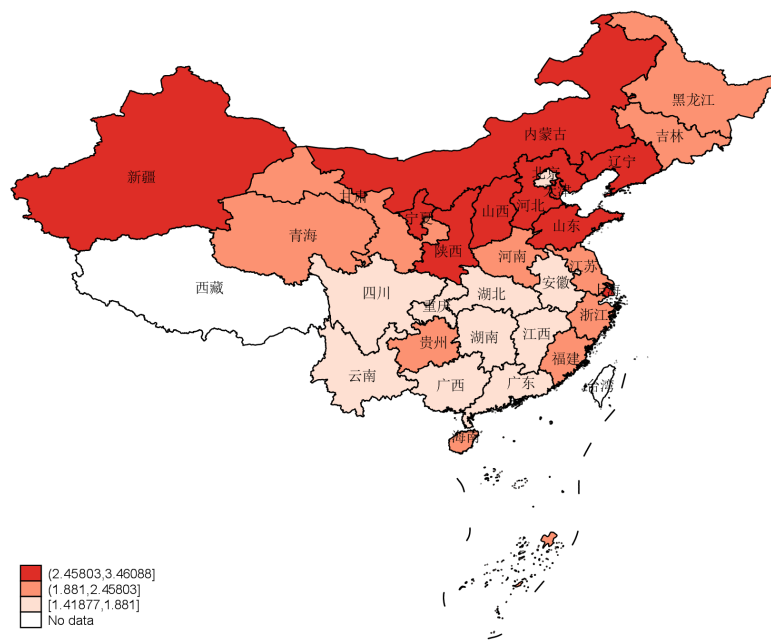
#### 4.2. 空间模型检验结果

本文选用空间计量模型对这互联网技术进步与碳排放之间的关系加以检验。选择模型的过程如下:

首先,普通面板数据模型(OLS)回归残差的空间自相关性检验显示,LM-lag、Robust LM-lag 和 LM-error、Robust LM-error 的  $P$  统计值均在 5% 的显著性水平下显著,证实了构建空间计量模型比较合理性。接着选用 LR 检验对 SDM 模型的拟合效果进行检验,结果显示 SEM 模型和 SAR 模型均通过了 5% 的显著性水平检验,表明 SDM 模型不可退化为 SEM 模型或 SAR 模型。进一步经 Hausman 检验,选用固定效应模型。各项检验结果如表 2 所示。



(a) 互联网技术进步(2016)



(b) 碳排放(2016)

Figure 2. Internet technology progress and carbon emissions clustering diagram  
图 2. 互联网技术进步与碳排放聚类图

**Table 2.** Model selection checklist  
**表 2.** 模型选择检验表

TEST	LM-lag	LM-error	Robust LM-lag	Robust LM-error	LR-lag	LR-error	Hausman
数值	10.312***	12.173***	6.522**	4.660**	50.58***	45.99***	3.74***

注：\*\*\*代表在 1%水平上显著。

### 4.3. 空间计量模型结果

本文依据固定效应模型结果进行实证分析。由表 3 的模型检验结果可以得出：① 互联网技术进步。互联网技术进步对于碳排放具有正向促进作用，即互联网发展水平越高，地区碳排放量越高，并且作用关系通过 5%的显著水平检验。这一结果与 Gelenbe & Caseau [5]通信技术的发展不仅对经济发展有正向的影响，同时提高了地区的二氧化碳排放的研究结论相符。表明了互联网技术进步促进地区经济增长，增加了能源消耗，从而使碳排放量增高。② 经济发展水平。经济发展水平的一次项为负，二次项为正，表明经济发展水平与碳排放之间存在倒“U”型的关系，环境库兹涅兹曲线存在，即经济增长对省域碳排放先促进后抑制[12]。③ 贸易开放。贸易开放系数在 5%的显著水平上对碳排放起正向促进作用。这可能是由于中国工业制成品出口占比较大，相对粗放的加工方式增加了能源消耗，使得碳排放量增加。④ 环境规制。环境规制对碳排放具有显著的正向影响，即出现了环境规制的“绿色悖论”效应，可能原因在于随着环境规制水平的不断提高，企业预期环境管制政策将越来越严格，于是会在当期加速开采化石能源，增加供给，从而使价格下降，需求增加，形成路径依赖，恶化能源消费结构，使碳排放增加[18]。⑤ 城镇化水平。结果显示城镇化对碳排放具有显著的正向促进作用，即城镇化进程的加快促进碳排放增加。⑥ 科技投入。科技投入对碳排放不具有显著的抑制作用，与先验预期相反。这可能是由于增加科技投入所带来的技术进步使得工业化进程加快带来的碳排放增加效应低于低碳技术带来的碳减排效益，使得从总体上看，科技进步促进了碳排放。

**Table 3.** Empirical results of Internet technology progress and carbon emissions  
**表 3.** 互联网技术进步与碳排放实证结果表

	固定效应(FE)				无固定效应
	OLS	时间固定	空间固定	时空固定	
<i>lnict</i>	-0.286 (0.2257)	0.211 (0.1774)	0.263* (0.0723)	0.3007** (0.0403)	0.1751 (0.261)
<i>lnpgdp</i>	2.2393*** (0.0000)	0.2197*** (0.0055)	1.5137*** (0.0005)	0.2696*** (0.0011)	0.1632** (0.036)
<i>ln<sup>2</sup>pgdp</i>	-0.2507* (0.0886)	-0.7949* (0.0501)	0.2982** (0.0141)	-0.8488** (0.0337)	-0.5080 (0.202)
<i>lnope</i>	-0.00610 (0.8071)	0.0328** (0.0172)	0.1657*** (0.0000)	0.0291** (0.0364)	0.0322** (0.024)
<i>lneg</i>	0.4043*** (0.0000)	0.0398** (0.0163)	0.3194*** (0.0000)	0.0410** (0.0171)	0.0407** (0.023)
<i>lnurb</i>	-1.0222** (0.0187)	1.7460*** (0.0000)	-3.6968*** (0.0000)	1.7159*** (0.0001)	1.3715*** (0.001)

## Continued

<i>Intec</i>	-0.1883*** (0.0000)	-0.1092* (0.0788)	-0.5253*** (0.0000)	-0.0698 (0.3128)	-0.1429*** (0.006)
<i>cons</i>	5.6042*** (0.0002)				3.1716 (0.144)
<i>rho</i>		0.3428*** (0.0007)	-0.151 (0.1527)	0.2779*** (0.0083)	0.3768*** (0.0002)
log-likelihood		-1.344	283.485	288.128	178.1225
<i>R</i> -sq	0.494	0.701	0.725	0.743	0.698
Obs	180	180	180	180	180

注：(1) 括号内数字为显著性概率；(2) \*\*\*、\*\*、\*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平。

#### 4.4. 互联网发展水平对碳排放的空间效应分解

由于 SDM 模型中包含空间滞后项，自变量对因变量的影响不能简单地用前文的回归系数来表征。本文借鉴 Le Sage & Pace [19]的方法，将自变量对因变量的影响分为直接效应、间接效应和总效应。效应分解结果如表 4 所示：

**Table 4.** Direct effect and indirect effect of spatial Dublin panel model

**表 4.** SDM 模型的直接效应与间接效应

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnict</i>	0.3243**	0.3334	0.6577*
<i>lnpgdp</i>	0.2747***	-0.0801	0.1946
<i>ln<sup>2</sup>pgdp</i>	-0.7894**	1.6004*	0.8110
<i>lnope</i>	0.0200*	-0.1645***	-0.1445***
<i>lneg</i>	0.0485***	0.1416***	0.1901***
<i>lnurb</i>	1.6078***	-2.9602***	-1.3524
<i>Intec</i>	-0.0621	0.2176	0.1555

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著。

表 4 各自变量的效应分解结果显示：① 互联网技术进步(*ict*)。互联网技术进步对于本地区的碳排放影响比较大，直接效应为 0.3243，并通过 5%的显著性水平检验；而互联网技术进步的空间溢出效应虽然为正但是并不显著。表明自身互联网技术的发展有利于增加本省域碳排放，而对周边邻省的碳排放影响作用不大。② 经济发展水平(*pgdp*)。结果表明在人均 GDP 在到达 CO<sub>2</sub> 拐点前对于本地区碳排放有显著的正向促进作用，但对临近地区碳排放具有抑制作用，这可能是由于本地具有国家重点扶植产业或者两地区存在发展上的战略合作，分别发展自身的相对优势产业，本地区对邻近地区能源存在调配使用现象，从而增加了本地区碳排放，减少了临近地区碳排放。在人均 GDP 达到拐点之后，对本地区碳排放具有显著抑制作用对邻近地区碳排放具有显著促进作用。这可能是由于当本地区经济发展水平到达一定程度后，人们开始重视环境保护的重要性，降低化石能源的使用，采取更加环保的经济发展方式，降低了碳排放。而本地区的经济增长会加强邻近地区的竞争意识，从而使临近地区碳排放增加。③ 贸易开放(*ope*)。贸易开放水平对于碳排放的直接效应和间接效应分别为 0.200 和-0.1645，且直接效应和间接效应均显著。表



明本地区贸易开放的提升会增加本地区的碳排放量，却会抑制临近地区的碳排放。这可能是由于在贸易自由化的条件下，临近地区通过贸易向本地区转移了高污染、高碳排放的企业，造成了本地区碳排放增加，本地成为了“污染天堂”，而邻近地区碳排放减少。④ 环境规制(*er*)。环境规制对于本地区和邻近地区的碳排放均有显著的正向促进作用，其直接效应和间接效应分别为 0.0485 和 0.1416，即本地环境管制水平越高，反而促进当地和周边的碳排放，其原因与上文 SDM 结果相同。⑤ 城镇化水平(*urb*)。城镇化水平对于碳排放的直接效应和间接效应分别为 1.6078 和 -2.9602，且均在 1% 的统计水平上显著，即本地城镇化水平提高会促进当地碳排放，抑制临近地区碳排放。这说明我国的城镇化发展仍处于基础建设模式，产生了大规模的能源消耗。此外，在城镇化进程中，地区之间存在资源抢夺的现象。⑥ 科技投入(*tec*)。科技进步对于碳排放的直接效应和间接效应均不显著。直接效应为负值说明本地区技术进步促进碳减排，可能原因在于本地区低碳技术开发和应用得到显著成效，有效抑制了碳排放。

## 5. 稳健性检验

除了以上检验，本文用地理距离空间权重矩阵代替 0-1 矩阵，以验证模型估计结果稳健性。利用地理距离空间权重矩阵对碳排放和互联网技术进步进行全局自相关检验，结果发现全局莫兰指数均显著，说明碳排放与互联网技术进步均存在空间依赖特征。进行实证检验后发现实证检验结果与临近距离空间权重矩阵的实证结果大致相符，本文呈列出了空间效应的分解结果。可以看出，回归结果并未发生实质性的变化，表明本文的实证研究结果是比较稳健的。本文效应分解情况如表 5 所示。

**Table 5.** Direct effect and indirect effect of spatial Dublin panel model

**表 5.** SDM 模型的直接效应与间接效应

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnict</i>	0.3331**	0.7208	1.0539*
<i>lnpgdp</i>	0.2454**	-0.0801	0.1955
<i>ln<sup>2</sup>pgdp</i>	-0.8761**	0.8110*	-0.0651
<i>lnope</i>	0.1389*	-0.0425*	-0.0286
<i>lneg</i>	0.0657***	0.1449*	0.2106*
<i>lnurb</i>	1.0556**	-1.0975*	-1.3524
<i>ln<sub>tec</sub></i>	-0.0812	-0.0788	0.1555

## 6. 结论与政策建议

本文以 2011~2016 为研究区间，以我国 30 个省份(除西藏外)的空间按面板数据为研究对象，进行空间自相关检验后发现我国的碳排放水平和互联网技术进步具有高度的空间依赖特性，且存在空间溢出效应。实证研究结论如下：

① 互联网技术进步对于本地区碳排放具有显著的促进作用，但对邻近地区的影响不大。表明了互联网发展水平对碳排放的影响还没有显著的空间溢出效应，存在空间上的局限性。② 经济发展水平对于碳排放的影响符合环境库兹涅兹曲线，呈现出先促进后抑制的作用效果。并且在 GDP 拐点前后，本地区经济发展水平对临近地区碳排放有着截然相反的影响。在到达拐点前，本地经济发展水平提升会抑制临近地区碳排放，而在拐点后，本地区经济发展水平提高会促进临近地区碳排放。③ 贸易开放和城镇化均促进本地区碳排放而抑制临近地区碳排放；较高的贸易水平促进了本地的经济发展，但是也为污染转移提供了条件，使得高污染、高排放企业转移到本地，加剧了本地的碳排放；一味追求表面的城镇化，不仅

会造成地区之间的资源抢夺,更会增加对化石燃料的使用,使碳排放增加。④ 环境规制对于本地和临近地区的碳排放均具有促进作用,出现环境规制的“绿色悖论”现象,这主要源于企业主对于政府政策的一种预期,他们预期环境管制会更加严格,加大当期生产,从而使碳排放量增加。

根据本文得到的结论,得出的政策建议主要有以下几点:① 互联网发展战略的制定要因地制宜,合理制定互联网发展推进计划,积极利用互联网的碳减排效应。利用“按需响应”技术,使企业利用互联网精准制定用户定时供能计划,减少多余能源供应,从而降低能源过度消耗,促进碳减排。② 协调经济发展水平,建立地区间发展帮扶机制,促进临近地区共同发展,避免产生“向底竞争”行为,在本地区顺利度过 GDP 拐点的同时,减少对临近地区的碳排放促进。③ 建立地区间企业转移的规范机制,对于高污染、高排放企业的转移加以约束,在享受贸易自由化红利的同时避免本地碳排放增加。推进高质量城镇化建设,协调城镇化发展水平,发挥地区间的沟通交流作用,共同推进城镇化水平的提高。④ 政府合理把控环境政策的制定,避免对企业产生过高的低预期压力,同时采取区域联动机制,以协调各地区各项环境政策,各地区间相互学习、汲取经验,共同推进低碳转型,构建智能、绿色、高效的发展模式。⑤ 加强绿色创新,创建区域间研发联盟。与此同时,充分发挥“市场拉动”的力量,促进低碳式技术创新愈发趋向成熟,从而充分发挥低碳技术创新在碳减排方面的作用,降低碳排放量。

## 参考文献

- [1] 林善浪,张作雄. 技术创新、知识溢出与地区市场潜能[J]. 软科学, 2013, 27(9): 1-6.
- [2] 王薇. 城市化、产业结构与碳排放的动态关系研究——基于 VAR 模型的实证分析[J]. 生态经济, 2014(11): 28-35.
- [3] Ozcan, B. and Apergis, N. (2018) The Impact of Internet Use on Air Pollution: Evidence from Emerging Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 4174-4189. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0825-1>
- [4] Higón, D.A., Gholami, R. and Shirazi, F. (2017) ICT and Environmental Sustainability: A Global Perspective. *Telematics and Informatics*, **34**, 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.01.001>
- [5] Gelenbe, E. and Caseau, Y. (2015) The Impact of Information Technology on Energy Consumption and Carbon Emissions. *Ubiquity*, **2015**, 1-15. <https://doi.org/10.1145/2755977>
- [6] Khan, N., Baloch, M.A., Saud, S., et al. (2018) The Effect of ICT on CO<sub>2</sub> Emissions in Emerging Economies: Does the Level of Income Matters? *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 22850-22860. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2379-2>
- [7] 张红历,周勤,王成璋. 信息技术、网络效应与区域经济增长: 基于空间视角的实证分析[J]. 中国软科学, 2010(10): 112-123 + 179.
- [8] 张家平,程名望,潘烜. 互联网对经济增长溢出的门槛效应研究[J]. 软科学, 2018(9): 1-4.
- [9] 樊茂清,郑海涛,孙琳琳,等. 能源价格技术变化和信息化投资对部门能源强度的影响[J]. 世界经济, 2012(5): 22-45.
- [10] 解春艳,丰景春,张可. 互联网技术进步对区域环境质量的影响及空间效应[J]. 科技进步与对策, 2017(12): 35-42.
- [11] 汪东芳,曹建华. 互联网发展对中国全要素能源效率的影响及网络效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019(1): 86-95.
- [12] 李寿国,宋宝东. 互联网发展对碳排放的影响——基于面板门槛模型的实证研究[J]. 生态经济, 2019, 35(11): 33-36 + 70.
- [13] 胡鞍钢,王蔚,周绍杰,等. 中国开创“新经济”——从缩小“数字鸿沟”到收获“数字红利”[J]. 国家行政学院学报, 2016(3): 4-13.
- [14] Easty, D. (1997) Market Access, Competitiveness and Harmonization: Environment Protection in Regional Trade Agreements. *The Harvard Environment Law Review*, **21**, 265-336.
- [15] Copeland, B.R. and Taylor, M.S. (1994) North-South Trade and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, **109**, 755-787. <https://doi.org/10.2307/2118421>
- [16] Birdsall, N. and Wheeler, D. (1993) Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are the Pollution Havens. *The Journal of Environment Development*, **2**, 137-149. <https://doi.org/10.1177/107049659300200107>

- 
- [17] 章泉. 中国城市化进程对环境质量的影响——基于中国地级城市数据的实证检验[J]. 教学与研究, 2009(3): 32-38.
- [18] 徐丽杰. 环境规制对中国区域碳排放的影响效应研究[J]. 郑州航空工业管理学院学报, 2020, 38(1): 68-77.
- [19] Lesage, J.P. and Pace, R.K. (2009) Introduction to Spatial Econometrics. CRC Press, Boca Raton.