

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2021.04.005

互联网发展对区域能源效率的影响

——基于产业升级的中介效应分析

刘运材^{1,2}, 沈琛¹

(1. 湖南工业大学 经济与贸易学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南大学 经济与贸易学院, 湖南 长沙 410079)

摘要: 针对互联网发展对能源效率的影响进行了理论分析, 运用熵权法和DEA(数据包络分析)方法测算了我国30个省域2008—2017年的互联网发展水平和能源效率, 在此基础上, 实证检验了互联网发展对能源效率的影响效应及影响机制。研究发现: 我国互联网发展指数和能源效率均值分别为3.38, 0.56, 各省之间互联网发展水平和能源效率差距较大, 呈东—中—西部地区逐渐递减的变化趋势。运用固定效应模型回归, 结果显示互联网发展对能源效率有正向影响, 在5%的显著性水平上显著; 互联网发展水平每提高1%, 能源效率提高1.8%; 互联网发展通过产业升级提升能源效率, 中介效应占总效应的48.85%。控制变量方面, 贸易开放度、能源结构、外商直接投资对能源效率存在正向影响, 而政府干预和研发投入对能源效率有负向影响。在稳健性检验中, 通过替换核心解释变量后进行回归, 结论依然成立。

关键词: 互联网发展; 产业升级; 能源效率; 中介效应; 数据包络分析

中图分类号: F224.33; F26 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2021)04-0030-08

引文格式: 刘运材, 沈琛. 互联网发展对区域能源效率的影响: 基于产业升级的中介效应分析[J]. 湖南工业大学学报, 2021, 35(4): 30-37.

Impact of Internet Development on Regional Energy Efficiency: Mediating Effect Analysis Based on Industrial Upgrading

LIU Yuncai^{1,2}, SHEN Chen¹

(1. College of Economy and Trade, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. School of Economy and Trade, Hunan University, Changsha 410079, China)

Abstract: Based on a theoretical analysis of the impact of internet development on energy efficiency, a calculation has been made of the level of internet development and energy efficiency in 30 provinces of China from 2008 to 2017 by using the entropy weight method and DEA (data envelopment model), followed by an empirical test of the influence effect and mechanism of internet development on energy efficiency. It is found that the average value of internet development index and energy efficiency in China is 3.38 and 0.56 respectively, with a large gap between internet development level and energy efficiency among provinces, showing a decreasing trend in the eastern-central-western region. Using the fixed-effect model regression, the results show that the development of the internet has a positive effect on the source efficiency, which is significant at the significant level of 5%; every 1% increase in internet development level will lead to 1.8% increase in the energy efficiency; the intermediary effect of internet development

收稿日期: 2021-03-12

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(19BJY082); 湖南省社会科学评审委员会课题基金资助重点项目(XSP20ZDI014)

作者简介: 刘运材(1974-), 男, 湖南宁远人, 湖南工业大学副教授, 湖南大学博士生, 主要从事区域经济与绿色发展方面的教学与研究, E-mail: 12161622@qq.com

to improve energy efficiency through industrial upgrading accounts for 48.85% of the total effect. In terms of control variables, trade openness, energy structure and foreign direct investment have a positive effect on energy efficiency, while government intervention and R & D investment have a negative effect on energy efficiency. In the robustness test, the conclusion is still valid by replacing the core explanatory variables.

Keywords: internet development; industrial upgrading; energy efficiency; intermediary effect; data envelopment model, DEA

0 引言

我国自1994年开始接入互联网,之后互联网逐渐被应用于经济社会的各个领域中。根据中国互联网络信息中心发布的第47次《中国互联网络发展状况统计报告》,截至2020年12月,中国网民规模多达9.89亿人,互联网普及率高达70.4%,可见,我国已经成为名副其实的互联网发展大国。作为新一代信息技术,互联网具有信息传播快速、成本低的特点,互联网发展能够有效地降低企业信息成本、扩大市场规模、形成规模经济效应。同时,互联网发展能够加快知识积累和技术进步,产生显著的知识和技术溢出效应,有助于企业提高技术创新能力,推动企业实现清洁生产、减少污染物的排放、降低单位产值能耗,从而提高能源效率。

党的十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中提出,“十四五”时期要“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”,强调要“全面提高资源利用效率”。这既是破解保护与发展突出矛盾的迫切需要、促进人与自然和谐共生的必然要求,更是事关中华民族永续发展和伟大复兴的重大战略问题。我国是一个能源消耗大国,能源对外的依存度较高。以石油为例,根据中国石油和化学工业联合会给出的数据,2020年,我国原油对外依存度超过70%,达73.5%。与此同时,在2020年第75届联合国大会期间,习近平主席提出我国二氧化碳排放力争于2030年达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和,这意味着我国今后一段时间内必须大力降低碳排放,走绿色低碳的集约型经济发展道路,而提高能源效率、降低能源消耗总量是减少碳排放的有效途径。当前,我国互联网蓬勃发展,互联网应用已经深入各行各业,对我国的经济社会发展和人们的生产生活产生了广泛的影响。那么,我国互联网的发展是否对区域能源效率产生影响?若有又是如何影响?对这个问题的研究将具有重要的现实意义。因此,本研究将分

别从理论和实证的角度探讨互联网发展对能源效率的影响效应与机制。

1 理论分析与研究假设

1.1 互联网发展对能源效率的影响

互联网对于各个领域的影响一直是学者们争论的热点。随着相关研究的推进,互联网发展对于全要素生产率的正向促进作用已经在学术界达成了共识。全要素生产率可以被分解为技术进步与效率变化,而作为技术效率范畴的能源效率很可能会与互联网发展产生密切的关系。A. Zia^[1]从微观角度出发,研究后认为信息化有助于提高传输系统的智能化程度,提高其能源利用效率。汪东芳等^[2]认为,信息化在应用过程中会对能源消费产生直接影响、间接影响和互补影响。郭志达^[3]经过研究发现,互联网使得传统的环境污染治理手段上升到网络化和智能化,进而能够更快捷全面地治理污染。张彦博等^[4]认为,利用互联网环境规制可以对企业污染排放产生正向影响。李寿国等^[5]运用线性面板模型和面板门槛模型的方法,研究发现互联网发展与碳排放是倒“U”型关系。碳排放是测算能源效率中非期望产出的指标之一,可以认为能源效率与碳排放之间有一定的关系。万杰等^[6]认为,基于互联网协议第6版(internet protocol version 6, IPv6)的能源互联网发展建设,可以利用大数据提升能源综合利用效率。涂经纬等^[7]通过数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法,得出能源互联网可以通过促进技术进步、提高对外开放程度等渠道来推动能源效率的提升。基于上述文献分析,提出假设H1。

H1 互联网发展对地区能源效率具有正向促进作用。

1.2 互联网对能源效率的影响机制

随着互联网普及率的不断提高,基于互联网与传统产业深度融合的“互联网+”,对我国教育、医疗、金融、物流、餐饮等服务行业产生了深刻的影响,尤

其是以BATJ（百度、阿里巴巴、腾讯、京东）为代表的电子商务企业，通过运用互联网技术实现O2O（online to offline）及移动支付，为人们的生活带来了极大的便利，改变了人们的消费方式和交易习惯，促进了我国数字经济的发展，新冠疫情导致的人们出行困难，更是加速了人们由传统消费方式向基于互联网的网络消费方式的转变。由此可见，互联网发展推动了我国经济结构由工业向服务业转型的步伐。据统计，我国服务业占GDP（gross domestic product）的比例在2015年首次超过50%，到2019年达53.9%。由于工业是能源消耗的主要部门，其产业结构是能源效率的重要影响因素，当我国产业结构由以工业为主导逐步转变为以服务业为主导时，将有利于提高能源效率。张勇等^[8]认为，当经济结构由重工业为主转变为轻工业为主，第一产业为主转变为第二、三产业为主时，产业结构的变动发挥了促进能源效率显著提升的结构效应。周振华^[9]认为，产业结构的升级意味着产业结构向合理化和高级化方向演进，该过程伴随着能源资源在各产业部门间的重新配置。因此，产业结构合理化和高级化过程就是能源效率的提升过程^[10]。

互联网对于产业结构的调整效应主要体现在3个方面。首先，从宏观经济层面来看，互联网作为信息传递的载体和价值再创造的工具，打破了信息不对称的壁垒，优化了资源配置，提高了决策效率，从而驱动产业技术创新、拉动产业结构升级^[11]。其次，从中观产业层面来看，互联网技术以其开放、共享、创新、通用的特点，不仅融合平台效应，推动高技术产业发展，更能发挥规模效应和竞争效应，促进传统产业升级^[12]。再次，从微观企业来看，互联网技术的发展，降低了企业内部的资源搜索、内部协调和时间传递等交易成本，扩大了企业边界^[13]，使上下游产业链连接得更紧密，优化和改善了中间交易环节和业务流程^[14]，从整体上提升了企业生产效率、运行效率和创新效率。基于上述文献和分析，提出假设H2。

H2 互联网发展通过推动产业升级提升区域能源效率。

2 研究方法 with 数据选取

2.1 互联网发展水平测度

目前，学术界对于互联网发展水平的定义和评价方法尚未达成共识。为了保证互联网发展水平测度的有效性和科学性，本文选取了互联网普及率、基础设

施、信息资源、商务应用、发展环境共5个一级指标，互联网普及率、IPv4（internet protocol version 4）^①地址比例、域名数、长途光缆线路长度、互联网接入端口数、网页平均字节数、快递业务总量、省级人均GDP、省级城镇居民人均可支配收入共9个二级指标，构建互联网发展指数。本研究中的所有数据均来自国务院发展研究中心数据库、EPS（economy prediction system）数据库以及中国互联网络信息中心（China Internet Network Information Center, CNNIC）每年发布的《中国互联网络发展状况统计报告》。中国省际互联网综合发展水平测算指标体系如表1所示。

表1 中国省际互联网综合发展水平测度体系
Table 1 Measurement system of interprovincial internet comprehensive development in China

一级指标	二级指标	指标解释
互联网普及	互联网普及率/%	体现省际互联网普及程度
	IPv4 地址比例/%	刻画省际 IP 地址资源分配事实
	域名数/万个	描述省际域名资源配置情况
	长途光缆线路长度/km	反映省际光纤基础设施投资建设情况
互联网基础设施	互联网接入端口数/万个	体现省际互联网接入设备的建设水平
	网页平均字节数/kB	反映省际互联网信息资源的丰富程度及多寡
互联网信息资源	快递业务总量/万件	反映省际网购产业的发展水平
互联网商务应用	人均GDP/元	衡量省际互联网建设能力和发展方向
互联网发展环境	城镇居民人均可支配收入/元	体现省际居民互联网消费支付能力

将多个指标复合成一个综合指标时需要注意各指标所占的权重，复合后再进行加权处理。本文选取熵权法对各指标进行赋权。熵权法根据各指标在整体中的相对变化度进行赋权，离散度越大，其对综合指标的影响越大。假设 X_{ij} 为*i*个省级地区第*j*项指标的互联网发展数据，由于缺乏相关数据，此处*i*仅表示我国除港澳台和西藏外的30个省级行政区域，*j*表示上述9个衡量互联网发展水平的二级指标，则互联网发展水平的具体测算步骤如下。

1) 为了避免数据量纲产生的影响，对原始数据进行如下标准化、归一化处理：

$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})};$$

^① IPv4 是互联网的核心，是互联网通信协议开发过程中的第四个修订版本，也是使用最广泛的互联网通信协议版本。

2) 计算第 j 项指标下 i 个省级地区所占该指标的比例 P_{ij} , 其计算式为

$$P_{ij} = S_{ij} / \sum_{i=1}^n S_{ij}$$

式中, n 为研究省域数, 本研究中 $n=30$;

3) 算出指标的熵值 E_j , 其计算式为

$$E_j = -(1/\ln n) \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij});$$

4) 求第 j 项指标的信息效用熵 G_j , 其计算式为

$$G_j = 1 - E_j;$$

5) 计算各指标权重 W_j , 其计算式为

$$W_j = G_j / \sum_{j=1}^m G_j;$$

式中, m 为待测指标, 本研究中 $m=9$ 。

6) 根据各指标权重求出综合指标 Z_i ,

$$Z_i = \sum_{j=1}^m W_j P_{ij}, \text{ 记为 } \gamma_{\text{internet}}。$$

2.2 产业升级测度

从动态的角度来看, 对于一个地区的产业结构测度, 应从产业结构合理化和产业结构高级化两个维度进行。产业结构合理化即指产业结构优化, 产业结构高级化是指产业结构升级。考虑到互联网发展对产业结构的影响, 主要体现在推动产业升级, 即产业结构高级化方面, 因此, 本研究仅考虑互联网的产业结构升级效应。

产业结构高级化实际上是对产业结构升级的一种衡量, 是指随着经济的不断增长, 产业结构相应地发生规律性变化的过程, 主要表现为三次产业所占比例沿着第一、二、三产业的顺序不断上升。已有大多数的文献仅简单地将第三产业与第二产业的比值来作为产业结构高级化的指标, 缺乏科学性和合理性, 指标设定较为粗糙。为此, 本课题组借鉴付凌晖^[15]的研究方法, 定义产业结构高级化值 w 如下:

首先, 将三次产业增加值占 GDP 的比例作为空间向量中的一个分量, 从而构成一组三维向量, 即

$$\mathbf{x}_0 = (x_{1,0}, x_{2,0}, x_{3,0})。$$

然后, 分别计算 \mathbf{x}_0 与产业由低层次到高层次排列的向量 $\mathbf{x}_1=(1, 0, 0)$ 、 $\mathbf{x}_2=(0, 1, 0)$ 、 $\mathbf{x}_3=(0, 0, 1)$ 的夹角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 :

$$\theta_j = \arccos \left[\frac{\sum_{i=1}^3 (x_{i,j} \cdot x_{i,0})}{\left(\sum_{i=1}^3 (x_{i,j}^2) \right)^{1/2} \cdot \left(\sum_{i=1}^3 (x_{i,0}^2) \right)^{1/2}} \right],$$

式中 j 为三次产业, 即 $j=1, 2, 3$ 。

其次, 定义产业结构高级化值 w 的计算公式如下:

$$w = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^k \theta_j,$$

w 值越大, 产业结构高级化水平越高。

利用三次产业结构的比例数据, 可以计算出 2008—2017 年我国产业结构高级化值 w 。

2.3 能源效率测度

能源效率能够反映单位能源投入的产出水平, 包含单要素能源效率与全要素能源效率。单要素能源效率未考虑资本和劳动对能源的替代, 因而具有一定的局限性。全要素能源效率是目标能源投入与实际能源投入的比值, 它可以考察能源对产出的单独贡献率, 同时因其考虑了环境因素对产出的影响, 因而在衡量能源效率时比单要素能源效率更为合理, 因此, 本文采用全要素能源效率表示各个省份的能源效率。本文借用 K. Tone^[16] 提出的基于非期望产出的 SBM (slacks-based model)-DEA 模型来测算全要素能源效率, 利用各个省份的 GDP、资本存量投入、劳动投入、能源消费总量, 以及二氧化碳和二氧化硫的排放量等数据, 具体分析每个省份的能源效率情况, 具体的投入产出变量情况见表 2。

表 2 投入产出变量及其数据说明

Table 2 Input-output variables with the data description

分类	变量	数据说明
投入	劳动力	人均受教育年限
	资本存量	估算出的全省资本存量
	能源投入	各省能源消费总量
期望产出	实际 GDP	各省实际 GDP
非期望产出	CO ₂ 排放量	各省每年二氧化碳排放量
	SO ₂ 排放量	各省每年二氧化硫排放量

1) 劳动力投入。绝大部分文献采取全社会从业人数来衡量劳动力投入, 但这样忽略了各省劳动力素质和人才结构异质性的事实, 可能会高估或低估劳动力投入, 造成测算结果出现偏差, 因此, 本文用人均受教育年限作为代理变量, 并借鉴余泳泽^[17]的做法将劳动力投入进行同质化处理。

2) 资本存量投入。由于官方并不公布各省资本存量的相关数据, 因此资本存量一直是通过估算得出的, 学术界对于资本存量的估算方法尚没有准确的定论, 而不同的估算方法得出的结果差别较大。本文基于张军等^[18]的研究方法, 采用“永续盘存法”, 对我国 30 个省域的资本存量进行估算, 具体的估算公式为 $K_{j,t} = (1-\delta)K_{j,t-1} + I_{j,t}$, 式中 K 和 I 分别为资本存量和固定资产投资, j 为省份, t 为年份, δ 为折旧率。参考大多数学者的做法, 本研

究设折旧率为 9.6%。GDP 平减指数来自于《中国统计年鉴》。

3) 地区实际 GDP。本文选取各省份的实际 GDP 作为期望产出变量指标, 即剔除价格因素的影响后, 将其统一折算成以 2000 年为基期的实际 GDP。

4) 非期望产出。以 CO₂ 排放量和 SO₂ 排放量作为非期望产出。二氧化碳和二氧化硫主要来自于化石燃料燃烧, 而我国能源消耗中煤炭、焦炭、汽油、原油、柴油等化石燃料占了较大比例, 所以以这两种污染性气体作为非期望产出较为合理。

2.4 模型设定

基于上述假设 H1、H2, 设立中介模型检验, 本研究中参照温忠麟等^[19]的中介效应模型, 具体如下:

$$E_e = \alpha_1 + \beta_1 \ln \gamma_{\text{internet}} + \varphi_1 \ln \gamma_{\text{control}} + \varepsilon_1, \quad (1)$$

$$w = \alpha_2 + \beta_2 \ln \gamma_{\text{internet}} + \varphi_2 \ln \gamma_{\text{control}} + \varepsilon_2, \quad (2)$$

$$E_e = \alpha_3 + \beta_1 \ln \gamma_{\text{internet}} + \beta_2 w + \varphi_3 \ln \gamma_{\text{control}} + \varepsilon_3, \quad (3)$$

式(1)~(3)中: E_e 为能源效率;

γ_{internet} 为互联网发展指数;

γ_{control} 为各控制变量;

α 为截距项;

β 为解释变量的待估计参数;

φ 为控制变量的待估计参数;

ε 为随机扰动项。

另外, 根据已有相关文献, 本文选取了以下指标作为控制变量: 贸易开放度、政府影响力、能源结构、研发投入强度外商投资额。贸易开放度(η_{tra})用各省份的进出口总额占 GDP 的比例表示; 政府影响力(η_{gov})用各省份的财政支出占 GDP 的比例表示; 能源结构(η_{esc})用各省份的年煤炭消耗量占全国煤炭总消耗量的比值表示; 研发投入强度($\eta_{\text{R\&D}}$)用各省份的研发经费投入与 GDP 的比值表示; 外商投资额(D_{fdi})数据直接来自于 wind 数据库。为了减少模型的异方差, 除能源效率和产业结构高级化指数外, 所有变量均取自然对数。

模型(1)用来检验假设 H1, 验证互联网与能源效率之间的关系; 模型(2)将产业结构高级化指数作为中介变量, 验证互联网发展与产业结构升级的关系; 模型(3)验证互联网发展是否通过推动产业升级来提升能源效率。对于估计方法的选择, 面板数据模型的估计方法包括混合 OLS (ordinary least square) 模型、固定效应模型、随机效应模型。其中混合 OLS 模型假设的是各省的回归模型的截距和斜率都相同, 混合回归模型的特点是截距项和斜率项都为常数, 不随省份和年份的变化而变化, 因此其忽略

了地区发展不平衡的异质性事实, 不符合现实情况。固定效应模型假设每个省份的斜率项相同, 但可以有不同的截距项。对于固定效应和随机效应模型的选择, 通过豪斯曼检验, 发现拒绝原假设, 应当选择固定效应模型。所以本文的回归结果以固定效应模型回归结果为准。作为对比, 同时也列出随机效应模型和混合 OLS 模型回归的结果。

3 实证结果及分析

3.1 描述性统计

根据前面对相关变量的测算结果, 得到各变量的描述性统计结果, 如表 3 所示。

表 3 各变量的描述性统计结果
Table 3 Descriptive statistics of relevant variables

变量类型	变量名	标准差	平均值	最小值	最大值
被解释变量	能源效率 E_e	0.20	0.56	0.24	0.89
核心解释变量	互联网指数 γ_{internet}	0.92	3.38	0.34	31.62
中介变量	产业结构高级化指数 w	0.38	6.59	5.97	7.61
	贸易开放度 η_{tra}	0.96	0.23	0.02	1.70
	政府影响力 η_{gov}	0.38	0.29	0.09	0.63
控制变量	能源结构 η_{esc}	0.47	0.45	0.04	0.72
	研发投入强度 $\eta_{\text{R\&D}}$	0.60	0.02	0.00	0.06
	外商直接投资 D_{fdi}	1.61	73.76	0.15	357.60

由表 3 可以得知, 我国 30 个样本省份的能源效率均值为 0.56, 整体上还处于中等水平, 并且地区差异明显, 有的省份的能源效率值高达 0.89, 而有的省份能源效率值仅为 0.24, 可见我国部分省份由于产业结构以重工业为主, 导致采用粗放型经济发展模式, 能源效率较低。互联网指数也呈现出较大的差异, 其标准差为 0.92。根据前文互联网发展指数测算结果, 发现东部发达省份如上海、江苏、浙江等的互联网指数普遍较高, 中部省份如湖北、湖南、川渝地区次之, 指数较低的省份集中于西部地区如新疆、宁夏、甘肃等省份。由此可看出能源效率和互联网发展指数均呈现出明显的地区差异。产业结构高级化指数各省份相差不大, 国家宏观政策的调控, 如深化供给侧改革加速了各省份的产业结构升级, 各省份发展情况基本保持在同一区间。而各控制变量的极值都很高, 出现此现象的原因与各省份不同的发展情况有关, 例如贸易开放度差异可能与地理位置有关; 能源结构差异可能与各省份资源分布不均相关; 政府影响力不同是因为公众对于公共服务的需求不同, 导致政府分配资源能力存在差距; 外商直接投资会存在“马太效应”, 经济愈发达的地方外商更有意愿投资, 这可能是外商

直接投资差距过大的原因。

3.2 影响效应分析

为了实证检验互联网发展对能源效率的影响, 根据模型(3), 选取2008—2017年30个样本省域的面板数据, 分析互联网发展对能源效率的影响。在回归前进行了平稳性和协整性检验, 结果显示所有变量都符合平稳性和协整性要求, 避免了面板数据的“伪回归”现象。作为对照, 同时也为了验证结论的稳健性, 在回归中也列出了混合OLS和随机效应模型的回归结果, 表4所示为互联网发展对能源效率的影响效应回归结果。

表4 影响效应检验结果

Table 4 Calculation results of panel data measurement model

变量	被解释变量		
	固定效应 E_e	随机效应 E_e	混合回归 E_e
w	0.376*** (0.059)	0.365*** (0.059)	0.351*** (0.062)
$\ln \gamma_{internet}$	0.0181** (0.007)	0.0219*** (0.007)	0.0260*** (0.007)
$\ln \eta_{gov}$	-0.327*** (0.077)	-0.380*** (0.074)	-0.429*** (0.075)
$\ln \eta_{tra}$	0.0319 (0.019)	0.0353* (0.018)	0.0379** (0.019)
$\ln \eta_{R\&D}$	-1.805* (1.117)	-1.894* (1.047)	-2.071* (1.066)
$\ln D_{fdi}$	0.00349 (0.004)	0.0266* (0.041)	0.495* (0.042)
$\ln \eta_{esc}$	0.0137** (0.014)	0.0144** (0.013)	0.0154** (0.014)
γ_{cons}	-0.493*** (0.132)	-0.466*** (0.133)	-0.430*** (0.138)
N	300	300	300
R^2	0.336	0.486	0.453

注: 圆括号内的数值为 t 统计量; *, **, *** 分别表示在 10%, 5%, 1% 显著性水平上显著, 下同。

根据表4的检验结果, 可知在固定效应模型回归中, 互联网发展对能源效率存在正向影响, 并且在5%的显著性水平上显著, 互联网发展水平提高1%, 可以带动能源效率提高约1.8%; 而其他两种回归模型所得结果都在1%的显著性水平上显著, 这说明结论是稳健的。

表4的结果证明假设H1成立, 即互联网发展对能源效率的提升有正向作用。这一结果与汪东芳等^[2]的研究结论一致。贸易开放度、能源结构、外商直接投资都对能源效率产生正向影响, 但贸易开放度、外商直接投资在统计结果上并不显著。可能的原因是进出口货物中对能源领域的依赖较小、外商投资领域更多投放在低能耗产业。与预期不同的是, 能源效率与政府影响力、研发投入呈显著负相关, 出现这种现象的可能原因, 是由于部分省份为了追求GDP快速增长,

加大了对一些污染较严重的重工业的投入力度, 环保政策不能精准实施, 导致能源效率下降。而研发投入可能更多投入到了一些追求高利润的新产品开发上, 并未投资到与节能减排相关的一些项目中, 导致研发投入与能源效率呈负相关。

3.3 影响机制检验

本文采用中介效应模型检验互联网发展对能源效率的影响机制, 采用固定效应模型进行回归分析, 模型(1)和(3)中的被解释变量为能源效率 E_e , 模型(2)中的被解释变量为中介变量产业结构高级化指数 w , 得到的中介效应检验结果见表5。

表5 中介效应检验结果

Table 5 Intermediary effect test results

变量	被解释变量		
	模型(1) E_e	模型(2) w	模型(3) E_e
$\ln \gamma_{internet}$	0.0525*** (0.00606)	0.0699*** (0.00522)	0.0260*** (0.00732)
$\ln \eta_{gov}$	-0.319*** (0.0765)	0.335*** (0.0586)	-0.429*** (0.0757)
$\ln \eta_{tra}$	0.0489** (0.0201)	0.0460*** (0.0155)	0.0379** (0.0192)
$\ln \eta_{R\&D}$	-1.165 (1.106)	4.755*** (0.778)	-2.071* (1.066)
$\ln D_{fdi}$	0.00317 (0.00445)	-0.00786** (0.00378)	0.00495 (0.00423)
$\ln \eta_{esc}$	0.00743 (0.0145)	-0.0171 (0.0116)	0.0154 (0.0138)
w			0.351*** (0.0623)
γ_{cons}	0.326*** (0.0352)	2.127*** (0.0240)	-0.430*** (0.1380)
N	300	300	300
R^2	0.5937	0.8270	0.4528

由表5可知, 在模型(1)和(2)中, 互联网发展指数对能源效率和产业结构升级的影响通过了1%的显著性水平检验, 假设H1得到验证, 即互联网发展对地区能源效率具有正向促进作用。在模型(3)中, 解释变量 $\ln \gamma_{internet}$ 和中介变量 w 同样通过了1%的显著性水平检验, 因此可认为存在部分中介效应, 即互联网通过促进地区产业升级来提升能源效率, 假设H2同样得到验证。

具体来看, 互联网发展水平对能源效率的直接效应为0.026, 间接效应约为0.025 (0.0699×0.351), 而总效应为间接效应和直接效应总和, 由此可得出中介效应在总效应中的占比为48.55%。

3.4 内生性分析及稳健性检验

测度误差、遗漏变量、变量之间互为因果都有可能导致内生性问题, 因此需要进行稳健性检验以保证实证结果的稳定性。首先, 测量误差主要是数据

来源不准确,由于采用权威部门发布的统计年鉴和研究报告数据,测量误差可以忽略。其次,一般来说,能源效率很难影响互联网发展,因此,双向因果导致的内生性基本可以排除。基于上述分析,内生性问题最大可能的来源是遗漏变量。

文章主要从如下3个方面进行内生性处理和稳健性检验:

1) 采用面板固定效应模型,由于其考虑了各省份的异质性,因而可以在一定程度上减少遗漏变量造成的内生性;

2) 采用不同的回归方法而结果基本一致,从而保证了结论的稳健性;

3) 通过替换解释变量,采用人均电信业务量 H 来替换核心解释变量互联网发展指数,其余变量不变,同样采用固定效应模型进行回归,得到了类似的结论,即人均电信业务量每提升1%,能源效率提升15%左右,人均电信业务量对能源效率具有正向促进作用。稳健性检验结果如表6所示。

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

变量	被解释变量	
	原模型(3) E_c	替换解释变量模型(3) E_c
$\ln \gamma_{internet}$	0.026 0*** (0.007)	
w	0.351*** (0.062)	0.326*** (0.06)
$\ln \eta_{gov}$	-0.429*** (0.076)	-0.428*** (0.076)
$\ln \eta_{tra}$	0.037 9** (0.019)	0.030 9** (0.019)
$\ln \eta_{R\&D}$	-2.071* (1.066)	-2.056* (1.067)
$\ln D_{fdi}$	0.004 95 (0.004)	0.003 83 (0.004)
$\ln \eta_{esc}$	0.015 4 (0.014)	0.015 0 (0.014)
H		0.151*** (0.027)
γ_{cons}	-0.430*** (0.138)	-0.605*** (0.169)
N	300	300
R^2	0.453	0.454

表6所示的稳健性检验结果,说明互联网发展对能源效率的正向促进作用是稳定的。

4 结论及政策建议

本研究选取2008—2017年我国30个省域的面板数据,分析了互联网发展对能源效率的影响效应和机制,得出的主要结论如下:

1) 互联网发展对能源效率存在显著的正向促进作用;产业升级是互联网发展影响能源效率的中介变量,互联网发展通过产业升级对能源效率产生正向影响,且存在部分中介效应,其在总效应中所占的比例为48.55%。

2) 贸易开放度、能源结构、外商直接投资对能

源效率有显著的正向影响。

3) 政府干预和研发投入对能源效率具有负向影响。我国幅员辽阔,每个省份都有自己得天独厚的优势和不同的发展情况,如果忽视各省份之间发展不平衡的事实,实施“一刀切”的政策,则不利于能源效率发展;一味增加研发投入可能并不会增加产出,换言之,投入不断增加而产出不变,反而会造成效率降低,所以要根据当前形势适量增加研发投入。

针对以上实证结果,本课题组提出以下政策建议供参考:

1) 增强人们利用互联网提高区域能源效率的观念,提高各级政府、企业应用互联网实现节能减排的意识,政府部门应通过互联网等手段贯彻落实绿色发展的政策理念,企业,特别是工业企业,应从互联网中学习新的发展理念和技术工艺,促进产业升级,提高能源效率。

2) 因各地区能源效率和互联网发展不平衡,故建议实施对口的精准帮助措施,以加快缩小各地区间的差距。各个省份要实现协同发展,较为发达省份要带动其他省份,共同提升全国的能源效率。

参考文献:

- [1] ZIA A. Measurement of Energy Consumption of ICT Solutions Applied for Improving Energy Efficiency in Transport Sector[D]. Tampere: Tampere University of Technology, 2016.
- [2] 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, 29(1): 86-95.
WANG Dongfang, CAO Jianhua. The Impact of Internet Development on China's Total Factor Energy Efficiency and Its Network Effects[J]. China Population Resources and Environment, 2019, 29(1): 86-95.
- [3] 郭志达. 基于互联网推动环境污染治理变革的主要表现研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(2): 10-13.
GUO Zhida. Main Manifestations of Environmental Pollution Control Transformation Based on Internet[J]. Internet Environmental Science and Management, 2017, 42(2): 10-13.
- [4] 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(6): 128-139.
ZHANG Yanbo, KOU Po. Environmental Regulation, Internet Penetration Rate and Enterprise Pollution Emission[J]. Industrial Economic Review, 2018, 9(6): 128-139.
- [5] 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.
LI Shouguo, SONG Baodong. Effects Internet Development on Carbon Emissions: An Empirical Study Based on Panel Threshold Model[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(11): 33-36, 70.
- [6] 万杰, 李滨, 姚坤, 等. 基于IPV6的国内能源效率的综合分析及评价系统构建[J]. *节能技术*, 2019, 37(2): 189-192.
WAN Jie, LI Bin, YAO Kun, et al. Comprehensive Analysis and Evaluation System Construction of Chinese Energy Efficiency Based on IPV6[J]. *Energy Conservation Technology*, 2019, 37(2): 189-192.
- [7] 涂经纬, 亢磊. 基于能源互联网视角的能源效率研究[J]. *中国集体经济*, 2018(28): 81-84.
TU Jingwei, KANG Lei. Energy Efficiency Research Based on Energy Internet Perspective[J]. *China Collective Economy*, 2018(28): 81-84.
- [8] 张勇, 蒲勇健. 产业结构变迁及其对能源强度的影响[J]. *产业经济研究*, 2015(2): 15-22, 67.
ZHANG Yong, PU Yongjian. Industrial Structure Evolution and Its Impact on Energy Intensity[J]. *Industrial Economics Research*, 2015(2): 15-22, 67.
- [9] 周振华. 产业结构优化论[M]. 上海: 上海人民出版社, 1992: 33-34.
ZHOU Zhenhua. *Industrial Structure Optimization*[M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1992: 33-34.
- [10] SHEN N, ZHOU J, ZOU W. Energy Efficiency Measures and Convergence in China, Taking into Account the Effects of Environmental and Random Factors[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24(1): 257-267.
- [11] IVUS O, BOLAND M. The Employment and Wage Impact of Broadband Deployment in Canada[J]. *Canadian Journal of Economics*, 2015, 48(5): 1803-1830.
- [12] 左鹏飞, 姜奇平, 陈静. 互联网发展、城镇化与我国产业结构转型升级[J]. *数量经济技术经济研究*, 2020, 37(7): 71-91.
ZUO Pengfei, JIANG Qiping, CHEN Jing. Internet Development, Urbanization and the Upgrading of China's Industrial Structure[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2020, 37(7): 71-91.
- [13] 李海舰, 田跃新, 李文杰. 互联网思维与传统企业再造[J]. *中国工业经济*, 2014(10): 135-146.
LI Haijian, TIAN Yuexin, LI Wenjie. Mobile Internet Thinking and Traditional Business Reengineering[J]. *China Industrial Economics*, 2014(10): 135-146.
- [14] 王可, 李连燕. “互联网+”对中国制造业发展影响的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(6): 3-20.
WANG Ke, LI Lianyan. An Empirical Study on the Impact of “Internet+” on Chinese Manufacturing Industry[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(6): 3-20.
- [15] 付凌晖. 我国产业结构高级化与经济增长关系的实证研究[J]. *统计研究*, 2010, 27(8): 79-81.
FU Linghui. An Empirical Research on Industry Structure and Economic Growth[J]. *Statistical Research*, 2010, 27(8): 79-81.
- [16] TONE K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: a Slacks-Based Measure(SBM) Approach[R]. [S. l.]: The Operations Research Society of Japan, 2004: 44-45.
- [17] 余永泽. 异质性视角下中国省际全要素生产率再估算: 1978—2012[J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16(3): 1051-1072.
YU Yongze. Estimation of Total Factor Productivity in China from the Perspective of Heterogeneity: 1978—2012[J]. *China Economics Quarterly*, 2017, 16(3): 1051-1072.
- [18] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2014(10): 35-44.
ZHANG Jun, WU Guiying, ZHANG Jipeng. The Estimation of China's Provincial Capital Stock: 1952—2000[J]. *Economic Research Journal*, 2014(10): 35-44.
- [19] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. *心理科学进展*, 2014, 22(5): 731-745.
WEN Zhonglin, YE Baojuan. Analyses of Mediating Effects: The Development of Methods and Models[J]. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5): 731-745.

(责任编辑: 廖友媛)