

交通、信息通达性与区域生态效率

——考虑空间溢出效应的研究

邹璇, 黄萌, 余燕团

(湖南大学经济与贸易学院, 湖南长沙, 410079)

摘要: 基于绿色、协同、共享发展理念, 从理论及实证两方面分析区域交通、信息通达性对生态效率的影响。实证表明: 未考虑空间因素时交通密度与区域生态效率呈现正 U 型关系, 门槛值为 1.048 里程/平方千米, 交通通达性主要通过提高纯效率促进生态效率提升, 而网络通信普及率与生态效率呈显著线性正相关, 信息通达性主要通过提高纯技术效率提升生态效率; 考虑空间因素时区际生态效率滞后因子显著为负, 邻省交通、信息通达性对本省生态效率存在负向影响, “邻近竞争”效应强于“协同发展”效应, 绿色、协同、共享发展理念有待深入践行。

关键词: 生态效率; 交通通达性; 信息通达性; 邻近竞争; 绿色共享; 空间溢出

中图分类号: F014.1; F061.5; F062.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-3104(2018)02-0087-09

一、引言

改革开放以来, 我国更加注重区际的互联互通, 而加强交通、信息基础设施建设是提高区域可达性的主要渠道。现阶段, 交通、信息基础设施已从过去的短板发展为国际领先水平。截至 2016 年底, 我国高速公路通车里程达到 13.1 万, 高速公路已覆盖约 98% 的城镇人口 20 万以上的城市; 铁路运营里程从 2012 年的 9.8 万千米增加至 12.32 万千米, 增长 26.5%, 高速铁路增长率达 144.4%, 均居世界领先地位。信息基础设施方面, “宽带中国”和“互联网+”的战略计划极大加快了我国网络基础设施的发展。早在 2008 年底, 我国的电话及互联网用户人数已超美国, 居世界第一, 截至 2017 年 6 月底, 网民规模为 7.51 亿, 互联网普及率达 54.3%, 超过全球平均水平 4.6 个百分点。

改革开放以来, 交通、信息通达性的提高极大地促进了区际要素流动、商品贸易往来和经济增长。但目前面临着资源约束趋紧、环境污染加重等紧迫问题。

我国能源消耗总量已居世界首位, 单位 GDP 能耗超过全球平均水平的 2 倍。庄立等^[1]通过测算自然资源相对稀缺指数发现, 我国正面临着全面的资源紧缺困境。环境质量大幅下降, 在 2014 年 178 个国家的全球环境绩效指数(EPI)^①排名中, 中国排第 118 位, 更直接的表现是 2013 年以来我国大面积的国土遭受雾霾侵袭。为此, 现阶段经济发展必须从关注“总量”转向关注“质量”, 调整衡量经济发展状况的指标。本文选取资源环境约束下的全要素生产率, 即生态效率作为研究目标, 分析交通、信息通达性对区域生态效率的影响, 进而对基础设施建设提出政策建议。

二、文献回顾

现有文献从研究对象的角度可分为两类: 第一类以交通、信息等基础设施为研究对象, 分析其与经济变量的关系; 第二类以资源环境约束下的投入产出率为研究对象, 创新测算方法并分析其影响因素, 鲜有文献从机理和实证角度研究交通、信息通达性对生态效率的影响。

收稿日期: 2017-12-10; 修回日期: 2018-01-14

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“我国分省经济发展方式转变与产业、人口、教育、就业和迁移政策仿真模型及技术支撑平台构建研究”(13&ZD156); 湖南省社会科学联合会智库课题“湖南省内陆开放高地建设模式与路径研究”(18zk025); 国家自然科学基金项目“异质性资源禀赋下城市生态效率度量、空间溢出及其驱动机制研究”(41571524)

作者简介: 邹璇(1973—), 男, 湖南祁阳人, 博士, 湖南大学经济与贸易学院教授, 博士生导师, 国家社科基金重大项目首席专家, 主要研究方向: 经济发展方式转变、区域经济与政策、产业经济理论与应用; 黄萌(1995—), 女, 江西鹰潭人, 湖南大学经济与贸易学院硕士研究生, 主要研究方向: 资源环境经济学; 余燕团(1989—), 男, 广东英德人, 湖南大学经济与贸易学院博士研究生, 主要研究方向: 效率与生产率分析、可持续发展

(一) 基础设施与经济增长

第一类核心解释变量为基础设施,学者们最先分析了其对经济变量的直接效应,测算出产出弹性基本为正,且不同种类的基础设施弹性存在异质性,如Aschauer^[2]、Munnell^[3]、姜洪^[4]、郭庆旺^[5]、张学良^[6]、胡鞍钢^[7]、韩宝国^[8]等。Duranton、Morrow等^[9]通过分析美国城市贸易数据发现高速公路与出口产品重量呈显著正相关。Faber^[10]对中国国家干线公路系统建设的历程实证,发现中国公路网络存在大城市经济集聚效应,但对周边小城市的经济产生负向影响。Celbis等^[11]利用土耳其1999—2011年的数据,实证发现信息基础设施通过降低区际文化制度差异促进了区域经济整合;而后许多学者也关注到基础设施的溢出效应,如Romer^[12]、Barro^[13]等通过内生增长模型理论证明了基础设施的正外部性。Lakshmanan^[14]最早从企业成本的角度说明了交通基础设施的空间溢出效应。刘生龙、胡鞍钢^[15-16]通过分析1988—2007年的省级数据,发现交通和信息基础设施的正溢出效应明显,而能源基础设施溢出效应不明显。Álvarez等^[17]通过使用西班牙城市内部资本和输入资本衡量交通基础设施的直接和间接效应,实证了交通基础设施对经济增长的正向溢出效应。现阶段,学者们集中于分析基础设施与投入产出效率的关系。刘秉镰等^[18]实证发现交通基础设施对中国全要素生产率有显著的正向溢出效应,其中高速公路和二级公路的带动作用最为明显。Ghani等^[19]以印度“黄金高速公路”为研究对象,发现高速公路对不同距离的制造业企业的产出水平及配置效率的促进作用存在异质性。郭家堂等^[20]实证发现互联网对我国技术进步和技术进步推动型的全要素生产率具有显著促进作用,但对技术效率具有抑制作用。

(二) 生态效率的影响因素分析

第二类文献的研究对象与本文的“生态效率”概念类似,同样是资源环境约束下的投入产出效率,但采用不同表述,如技术效率(胡鞍钢等^[7])、环境效率(王兵^[21]、杨俊^[22]、王雪松^[23])、环境要素生产率(陈诗一^[24])等。Chambers等^[25]和Chung等^[26]提出基于方向性距离函数的环境规制模型,使得将环境污染产出作为非期望产出纳入生产函数成为可能,随即学者们基于此展开研究。如胡鞍钢等^[7]利用考虑环境因素下的方向距离函数,测算了省级绿色全要素生产率并进行了排名。王兵等^[21]运用SBM方向距离函数测度了1998—2007年我国30个省份的环境效率及环境全要

素生产率,发现能源过度使用和SO₂的过度排放是环境无效率的主要来源,人均GDP、外商直接投资等对环境全要素生产率影响不同。杨俊等^[22]将环境污染作为非期望产出考虑,采用Tobit模型得出人均GDP与环境效率呈正相关,而财政分权度、工业比重和对外贸易呈负相关。Huang^[27]创新使用了全局参比,同时考虑环境污染坏产出的超效率DEA模型(GB-US-SBM)、测算发现,2000—2010年省域生态效率存在空间集聚特征,增长贡献存在区域差异。黄建欢等^[28]进一步基于空间杜宾模型分析了其影响因素,发现专利授权总数、资本劳动比和外商直接投资的直接效应及空间溢出效应均为正。Huang等^[29]构建了经济环境指数,利用空间杜宾模型实证发现,全样本下,省域竞争引导区域绿色发展效应不显著,但在东部地区显著,环境立法有效降低了污染强度,环境人员和资本投入作用不明显。邹璇等^[30]、林伯强等^[31]基于行业产值最大化和环境影响最小化,测算了我国工业行业的能源环境效率,发现对外贸易与能源环境效率之间呈显著正相关。李佳佳等^[32]和谢里^[33]等利用城市数据建立门槛模型和空间杜宾模型,发现城市生态效率存在正向溢出效应,得出了基于生态效率的最优城市规模。Li等^[34]发现中国城市政府透明度与生态效率呈非线性关系,非中心城市生态效率显著低于中心城市,政府透明度有待提高。

总之,现有文献中,一类集中分析基础设施对经济变量的直接和溢出效应,未考虑资源环境约束,尤其是环境污染产出,不符合现阶段实际情况。另一类着重在DEA基础上创新生态效率测算方法并分析其影响因素。鲜有文献在资源环境约束下将二者联系起来研究区域交通、信息通达性对生态效率的作用机理和现实影响,而这正是本文的创新之处。

三、交通、信息通达性对生态效率的作用机理

(一) 机理分析

交通、信息通达性的提高缩短了区域之间的地理、信息距离,提高了区际联系便利性,但二者对生态效率的影响并不清晰。因此,一方面,要从生态效率的内涵出发,分析交通、信息通达性同时影响环境效率、能源效率、经济效率的内在机理。另一方面,要基于生态效率增长分解的视角,分析交通、信息通达性影

响生态效率的内在机制。

区域交通、信息通达性具有明显的网络特征, 通过空间网络效应同时正向影响环境效率、能源效率和经济效率, 进而正向影响区域生态效率。首先, 交通、信息网络的形成, 极大地降低了区际联系成本, 加强了区域、部门之间的空间联动, 带来区域要素配置效率的提高。知识技术溢出及经济集聚, 促进了技术进步, 推动了产业结构的升级。高附加值、低污染产业占比的提高, 可在同等经济产出下降低资源消耗, 减少环境污染, 从而提高能源效率、环境效率。其次, 技术进步不仅包含工业技术进步, 还包含能源利用技术和环境治理技术的进步, 也可提高能源效率、环境效率。再者, 交通信息成本下降带来的区域可达性的提高, 促进了区际企业合作交流, 在能源利用及环境污染治理方面可较好地实现集约共享, 有效地提高能源利用效率和环境治理效率。最后, 要素配置效应、知识溢出效应及经济集聚效应使得同等资源条件下的经济产出增加, 从而提高经济效率。

基于生态效率增长的分解视角, 交通、信息通达性可通过影响纯效率、纯技术效率和规模效率, 促进生态效率提升。首先, 交通、信息通达性的提高会降低区际交通成本和信息成本, 缩短区际空间距离, 使得劳动力和资本等要素供求市场的市场分割程度和信息不对称程度下降, 促进要素流动, 提高要素配置效率, 有利于提升区域内企业的管理能力和生产效率, 可促进纯效率提升; 其次, 区际联系便利性提高, 能够加强企业贸易往来及信息交流, 利于知识技术扩散, 尤其是网络通信普及可以带来大规模信息集聚, 极大地提高各行各业技术创新的可能性, 包括工业技术、能源集约技术和环保技术, 从而全面促进纯技术效率增长; 最后, 交通信息成本的下降, 使得同类产业甚至整个产业链可低成本地向资源要素优势地区集聚, 加上该地区生产要素的低成本优势, 可提高要素生产率, 同时带来技术进步, 从而进行大规模生产, 规模效率的提升会提高经济效率, 但可能降低环境效率和能源效率, 最终对生态效率的影响方向取决于其对各组成部分的影响程度。

区域交通、信息通达性的提高也可能对生态效率产生负效应。首先, 交通、信息基础设施建设本身需要消耗大量资源, 过于密集且设计不合理的基础设施不仅无法产生空间网络效应, 而且会造成资源浪费, 降低能源效率; 其次, 交通、信息通达性提高会直接

促进制造业集聚, 增加能源消耗, 同时加大集聚地区的环境压力, 降低能源效率和环境效率; 最后, 交通、信息通达性提高, 使人口向大城市集聚, 城市车辆密度大幅上升, 交通污染排放增加, 交通事故发生的可能性增加, 经济损失上升, 可能降低环境效率和经济效率。同时, 邻近地区交通、信息通达性的提高, 会导致资源要素向邻省集聚, 形成“邻近竞争”效应, 对本地区的经济效率产生不利影响。

综上, 交通、信息通达性对生态效率可能同时存在正向和负向影响。交通、信息通达性处于较低水平时, 提高通达性不足以发挥空间网络效应对生态效率的促进作用, 甚至会因为制造业对交通、信息成本较为敏感, 使得制造业集聚, 降低能源效率和环境效率, 对生态效率产生负影响。但随着交通、信息通达性进一步提高, 空间网络效应不断增强, 专业化生产在地域分工上会日益凸显, 产业结构不断升级, 单位产出的能源消耗日趋下降, 单位产出的环境污染不断减少, 能源效率、环境效率提高, 从而对生态效率的正向影响逐渐大于负向冲击, 综合效应表现为交通、信息通达性对生态效率的正效应。上述机理如图 1 所示。

(二) 理论建模

假设生产是在一定生产技术 A 下, 由劳动力 L 、资本 K 、原材料 M 和能源 E 的有机组合共同完成。产出可表示为:

$$Q=A^{\varepsilon}L^{\alpha}K^{\beta}E^{\delta}M^{\theta} \quad (1)$$

式中, ε 、 α 、 β 、 δ 、 θ 分别表示技术、劳动力、资本、土地、能源和原材料的产出弹性($0<\varepsilon$ 、 α 、 β 、 δ 、 $\theta<1$)。生产过程中投入这些要素要支付成本和污染治理成本, 同时生产过程中的环境污染产出为 O , O 与能源和原材料的投入量正相关, 与技术水平负相关, O 与总成本 TC 可表示为:

$$O=(E)^{\varphi}(M)^{\omega}(A)^{-\rho} \quad (2)$$

$$TC=AP_A+LP_L+KP_K+EP_E+MP_M+OP_O \quad (3)$$

式中, P_L 、 P_K 、 P_E 、 P_A 、 P_O 分别为劳动力工资、资本借贷价格、能源价格、技术价格和污染治理单位成本, 且 $\delta>\varphi$ 和 $\theta>\omega$ 。求得净收益最大化为:

$$\begin{aligned} \text{MAX}\{ & A^{\varepsilon}L^{\alpha}K^{\beta}E^{\delta}M^{\theta}-AP_A-LP_L-KP_K-EP_E- \\ & MP_M-(E)^{\varphi}(M)^{\omega}(A)^{-\rho}P_O\} \end{aligned} \quad (4)$$

各要素的一阶条件化简为:

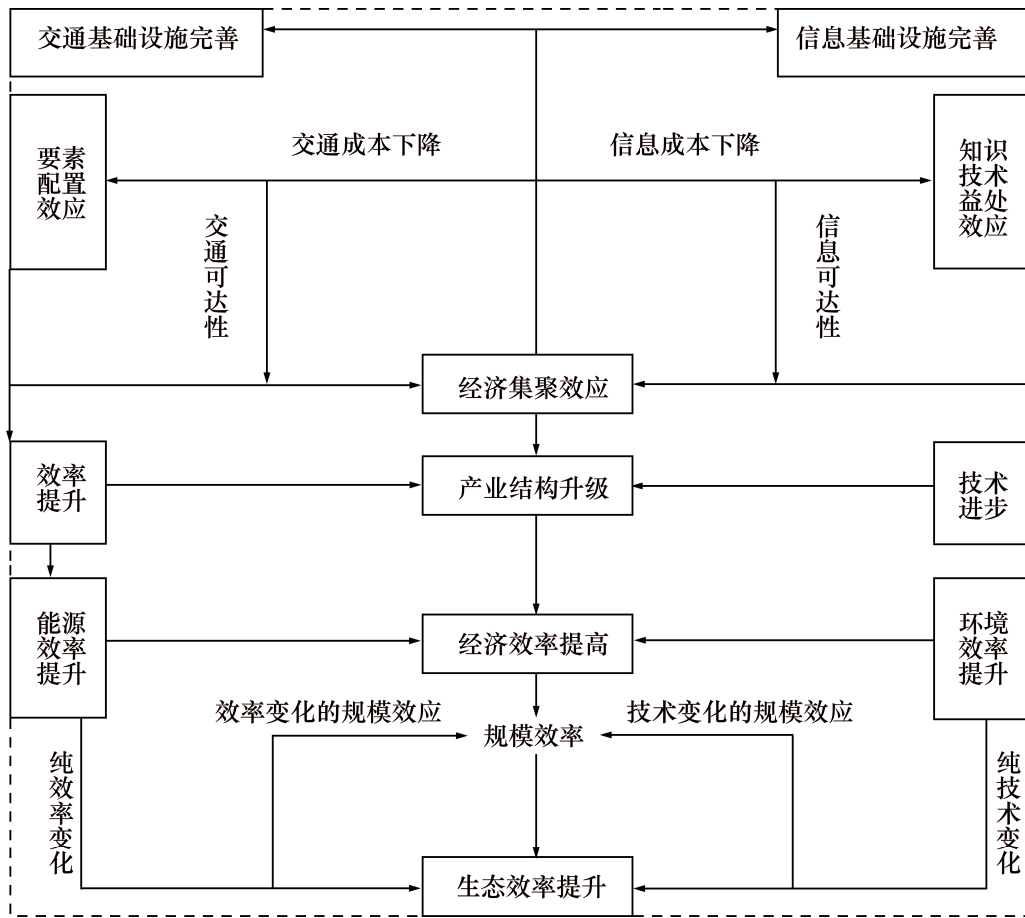


图1 交通、信息通达性对生态效率作用机理图

$$Q = P_L L / \alpha \quad (5)$$

$$Q = P_K K / \beta \quad (6)$$

$$\delta Q - \varphi O P_O = E P_E \quad (7)$$

$$\theta Q - \omega O P_O = M P_M \quad (8)$$

$$\varepsilon Q - \rho O P_O = A P_A \quad (9)$$

$$\begin{cases} Q = \frac{\rho E P_E + \varphi A P_A}{\rho \delta + \varepsilon \varphi} \\ O = \frac{\delta A P_A + \varepsilon E P_E}{(\rho \delta + \varepsilon \varphi) P_O} \end{cases} \quad (11)$$

根据生态效率内涵, 可将其表达为:

$$ee^* = \frac{Q^* - O^*}{TC^*} = \frac{Q^* - O^*}{a Q^* + (1-b) P_O O^*} \quad (12)$$

根据一阶条件可得各要素均衡投入为: $L = \alpha Q / P_L$; $K = \beta Q / P_K$; $E = (\delta Q - \varphi O P_O) / P_E$; $M = (\theta Q - \omega O P_O) / P_M$; $A = (\varepsilon Q - \rho O P_O) / P_A$ 。

设 $\varepsilon + \alpha + \beta + \delta + \theta = a$, $-\rho + \omega + \varphi = b$, 由于经济产出规模报酬递增, 而环境污染产出随着技术进步, 规模报酬递减, 则 $a > 1$, $0 < b < 1$ 。代入可得均衡下总成本:

$$TC = (\varepsilon + \alpha + \beta + \delta + \theta) Q + (1 + \rho - \omega - \varphi) P_O O = \frac{a Q + (1-b) P_O O}{a Q + (1-b) P_O O} \quad (10)$$

根据(7)、(9)得到能耗和物耗下的最优经济产出和最优环境污染产出:

为简化推导过程, 各要素价格外生给定并标准化: $P_O = P_E = P_A = 1$, 则由(11)、(12)可得:

$$ee^* = \frac{(\rho + \varepsilon) E + (\varphi - \delta) A}{[a \rho - (1-b) \varepsilon] E + [a \varphi + (1-b) \delta] A} \quad (13)$$

由机理分析可知, 交通通达性的提高可降低运输成本, 促进经济集聚, 对制造业影响尤其大, 会增加物料和能源消耗, 随着交通、信息通达性进一步提高, 技术进步, 产业结构升级, 能耗又会随之下降; 信息通达性的可降低信息成本, 促进技术进步, 带来经济增长和环境污染下降, 因此可设能耗 E 、物耗 M 与交通通达性 τ 呈倒 U 型关系, A 与信息通达性 μ 呈正相

关。即当 $\tau < \tau^*$ 时, $(\partial E / \partial \tau) > 0$, 当 $\tau > \tau^*$ 时, $(\partial E / \partial \tau) < 0$;
 $(\partial A / \partial u) > 0$ 。

$$\frac{\partial ee^*}{\partial \tau} = A \frac{\partial E}{\partial \tau} [a(\varphi\varepsilon - \delta\rho) + (1-b)(\delta\rho - \varphi\varepsilon)]$$

由于 $\varphi < \delta$, $\varphi\varepsilon - \delta\rho < 0$, $a(\varphi\varepsilon - \delta\rho) + (1-b)(\delta\rho - \varphi\varepsilon) < 0$;

当 $\tau < \tau^*$ 时, $(\partial ee^* / \partial \tau) < 0$; 当 $\tau > \tau^*$ 时, $(\partial ee^* / \partial \tau) > 0$ 。

结论 1: 当交通通达性较低时, 交通通达性提高带来制造业经济集聚, 增加能源消耗和环境污染, 对生态效率有负影响; 当交通通达性越过临界点, 通过空间网络效应促进产业结构升级, 技术进步, 降低能源消耗和环境污染, 可促进区域生态效率提升。

$$\frac{\partial ee^*}{\partial \mu} = E \frac{\partial A}{\partial \mu} [a(\delta\rho - \varphi\varepsilon) + (1-b)(\varphi\varepsilon - \delta\rho)]$$

同理, 因 $(\partial A / \partial u) > 0$, $a(\delta\rho - \varphi\varepsilon) + (1-b)(\varphi\varepsilon - \delta\rho) > 0$;
 故, $(\partial ee^* / \partial u) > 0$ 。

结论 2: 信息通达性可通过知识溢出效应, 促进技术进步, 减少环境污染, 增加经济产出, 促进生态效率提升。

四、实证检验

(一) 变量选取及数据描述

1. 被解释变量

(1) 生态效率测算方法说明。

被解释变量为生态效率(ee), 是全面考虑劳动、资本、能源和土地等资源投入和产出, 尤其是环境污染产出时的投入产出效率, 即资源环境约束下的全要素生产率。投入变量包括劳动, 用各省历年从业人数衡量, 资本投入为“永续盘存法”测算的基期资本存量, 土地投入为建成区面积, 水资源投入为用水总量, 能源投入为所有能源的消费量。期望产出为实际 GDP(换算为 2000 年不变价), 非期望产出为环境污染产出, 选取 CO₂、SO₂、废水、氨氮、烟(粉)尘排放量和废水中化学需氧量六个指标, 利用熵权法构建环境污染指数衡量, 测算方法为考虑坏产出的共同前沿面超效率模型(Meta-US-SBM)^[30], 定义如下:

$$\rho_{ko}^* = \min \frac{1 + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{mko}^x}{x_{mko}}}{1 + \frac{1}{R+J} \left(\sum_{r=1}^R \frac{s_{rko}^y}{y_{rko}} + \sum_{j=1}^J \frac{s_{jko}^b}{b_{jko}} \right)} \quad (14)$$

$$S.t. x_{mko} - \sum_{h=1, n=1}^H \sum_{n \neq 0 \text{ if } h=k}^{N_h} \epsilon_n^h x_{mhn} + s_{mko} \geq 0;$$

$$\sum_{h=1, n=1}^H \sum_{n \neq 0 \text{ if } h=k}^{N_h} \epsilon_n^h y_{rhn} - y_{rko} + s_{rko}^y \geq 0;$$

$$b_{jko} - \sum_{h=1, n=1}^H \sum_{n \neq 0 \text{ if } h=k}^{N_h} \epsilon_n^h b_{jhn} + s_{jko}^b \geq 0;$$

$$1 - \frac{1}{R+J} \left(\sum_{r=1}^R \frac{s_{rko}^y}{y_{rko}} + \sum_{j=1}^J \frac{s_{jko}^b}{b_{jko}} \right) \geq \varepsilon; \quad \epsilon_n^h, s^x, s^y, s^b \geq 0$$

式中, ρ_{ko}^* 为 Meta-US-SBM 生态效率的数学定义, $m=1$,

2, ..., M; $r=1, 2, \dots, R$; $j=1, 2, \dots, J$, N 为决策单元(DMU)总数; N_h 为第 h 组 DMU 个数; x 、 y 、 b 代表投入、好产出和坏产出; M 、 R 、 J 为三类变量的个数; K 为群组; o 为决策单元; x_{mko} 、 y_{rko} 、 b_{jko} 为被评价单元的投入、好产出和坏产出; s_{mko}^x 、 s_{rko}^y 、 s_{jko}^b 为对应

的松弛变量; ε 为无穷小。

(2) 生态效率时间变迁及空间特征。

在全国层面, 2001—2012 年生态效率均值呈逐年下降的趋势, 2013 年后逐渐回升。在区域层面, 生态效率差距逐年扩大, 仅东部地区总体上升, 西部地区相对中部及东北地区降幅较小, 且在 2007 年之后实现赶超。省级层面, 生态效率高值集中在东部省及行政区(北京、天津、广东等)和少数西部省及行政区(青海、宁夏等)(1.00), 中部地区的湖南表现较为突出(0.70), 低值集中在西部及部分中部地区省份(湖北、江西)(0.30)。全国生态效率存在较大的提升空间, 区际差异扩大, 东部表现良好, 中部绿色发展状况不容乐观。区域生态效率时间变迁图如图 2 所示。

2001—2005 年省域生态效率莫兰指数值显著为负, 区域之间生态效率呈显著“高—低”“低—高”值集聚; 2006—2009 年莫兰指数值为正但不显著, 集聚现象不明显; 2010—2015 年显著为正, 表现为“高—高”“低—低”值集聚; 如表 1 所示。这说明 2001—2015 年区域生态效率的空间特征随时间动态变化。

2. 解释变量

核心解释变量为体现区域交通、信息通达性的交通密度(td)和网络通信普及率, 各省交通密度用公路、铁路及内航河道里程总和与国土面积的比值衡量, 网络通信普及率(ip)等于互联网普及率与移动电话普及率之和。

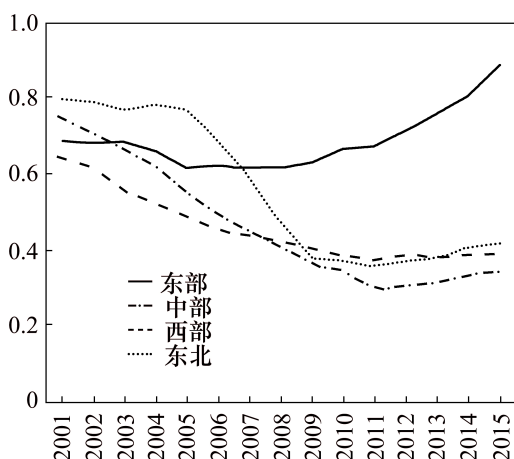


图2 2001—2015年区域生态效率时间变迁

表1 生态效率 Moran's I、Geary's c 值

	Moran's I	Geary's c
2001	-0.241**(0.049)	1.203**(0.050)
2008	0.058(0.218)	0.873(0.171)
2015	0.256*** (0.009)	0.652*** (0.003)

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%统计水平上显著，括号内为概率P值，表3同

交通基础设施方面，全国交通密度稳步上升，但区域差异明显，东部具有绝对优势，中部紧随其后，而西部及东北地区难以望其项背。信息普及方面，2001—2015年各地区网络通信普及率显著提高，尤其在2011年之后，我国信息化建设有了阶段性的飞跃。各区域信息化建设发展相对均衡，但中部网络通信普及率相对较低，近年被西部赶超，信息通达性存在提升空间。

控制变量从影响经济、环境和能源的因素中选取，资本密度(kl)为资本劳动比率，预计与生态效率呈正相关；技术进步用发明专利占比表示(tp)，预计正相关；产业结构(is)为第三产业增加值占GDP比重，预计正相关；外商投资因素(fdi)，用外资及港澳台工业企业销售额占总工业销售额比值衡量，外商投资一方面可能存在“污染天堂”^②效应，加重环境污染，另一方面存在知识技术的溢出效应，可能提升生态效率，因此影响方向无法确定；产权结构(ps)用国有工业企业销售额占总销售额比重表示，一方面，国有企业经营效率相对较低，会降低资源配置效率，另一方面，国有企业的产权属性使其可能更注重环境污染治理(eg)，影响方向不确定；环境规制用工业污染治理完成投资额与工业总产值比值表示，预计正相关；能源消费结

构(es)用煤炭消费占能源消费总量的比重表示，预计负相关。如表2所示。

表2 变量描述性统计

	变量名	样本数量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	ee	435	0.547	0.265	0.242	1.094
	td	435	0.755	0.518	0.035	2.498
	ip	435	0.795	0.528	0.049	2.634
	kl	435	1.604	1.325	0.136	7.909
解释变量	tp	435	0.135	0.070	0.015	0.400
	is	435	0.416	0.082	0.277	0.799
	fdi	435	0.193	0.169	0.015	0.658
	ps	435	0.443	0.205	0.101	0.872
	eg	435	0.166	0.138	0.008	1.083
	ec	435	0.808	0.145	0.365	0.999

3. 数据来源说明

生态效率的数据基于 Meta-US-SBM 测算得出，其他数据来源于2001—2015年《中国统计年鉴》《中国信息年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及《中国工业统计年鉴》。

(二) 计量模型选择及实证结果分析

上述机理表明：一方面，交通、信息通达性提高可能通过影响纯效率、纯技术效率、规模效率提升生态效率；另一方面，交通、信息通达性在促进本地区生态效率提升的同时，可能对邻近地区生态效率产生负影响，存在“邻近竞争”效应。下文从有无空间两个角度，对交通、信息通达性影响生态效率的机理路径实证检验。

1. 普通面板模型估计

由于交通、信息通达性与生态效率之间的具体关系并不明确，因此要对二者线性关系和非线关系进行检验，设定模型如下，其中 α_i 为个体固定效应， t 为时间固定效应， u_{it} 为随机扰动项。

$$ee_{i,t} = \beta_{10} + \beta_{11}td_{i,t}^2 + \beta_{12}td_{i,t} + \beta_{13}ip_{i,t} + \beta_1 X_{i,t} + t_1 + a_i + u_{it} \quad (15)$$

普通面板回归结果显示：交通密度与生态效率之间呈显著正U型关系，交通密度达到临界点1.048之后，才能显著促进生态效率提升。截至2015年底，西部及东北地区仍远低于该值，交通基础设施急需完善，以使交通密度越过临界点，对促进生态效率提升起到积极作用；网络通信普及率与生态效率呈显著线性正相关，信息通达性提高对生态效率有直接促进作用，

网络通信普及率每增加 1 个百分点, 生态效率上升 0.311 个百分点。

控制变量对生态效率的影响与预期基本一致, 其中技术进步对生态效率的影响为正但不显著, 可能是研发投入回报率不高、发明专利中工业技术发明占比远高于环保能源技术占比所致; 外商投资影响显著为正, 说明外商投资带来的知识技术溢出效应强于“污染天堂”效应。产权结构影响显著为正, 说明国有企业确实更关注环境污染治理。

2. 交通、信息通达性影响生态效率的机制检验

为检验机理部分提出的交通、信息通达性通过影响纯效率变化(ec)、纯技术效率(tc)、效率变化的规模效率(ecs)及技术变化的规模效率(tcs), 从而影响生态效率的机制路径, 本文借鉴魏楚等^[35]的实证方法, 将生态效率增长的分解作为传导机制变量。为简化方程, 将四个传导机制变量用 M 表示, 将其与交通、信息基础设施的交互项引入方程, 即 td_M 和 ip_M ; 对机理路径进行检验, td_ip 表示交通、信息的交互项。

$$ee_{it} = \beta_{20} + \beta_{21}td_{it}^2 + \beta_{22}td_{it} + \beta_{23}ip_{it} + \beta_{24}td_ip_{it} + u_{2it} \quad (16)$$

引入传导机制变量的普通面板回归结果显示, 交通、信息通达性的交互项显著为正, 交通、信息基础可相互作用, 形成空间网络效应, 促进生态效率提升。交通基础设施与纯效率变化交互项显著为正, 而与纯技术变化的交互项却显著为负, 说明交通基础设施主要通过提高纯效率变化, 提升区域生态效率, 交通通达性的提高很大程度上促进了制造业的要素配置效率和生产运输, 而我国制造业多处于中低端水平, 技术效率存在较大提升空间; 信息基础设施与纯技术效率的交互项在 1% 的水平上显著为正, 说明信息通达性通过技术效率提升的传导机制, 能显著地提升生态效率。交通、信息基础设施与规模效应的交互项均不显著, 二者通过影响规模效率提升生态效率的机制路径并不明显, 说明交通、信息通达性带来的规模效率的提高, 在提升经济效率的同时, 降低了环境效率和能源效率, 使其对生态效率影响不显著。

3. 空间面板模型估计

空间计量 LM 和 Wald 统计量检验拒绝无空间自相关及空间滞后效应原假设, 因此选择空间杜宾模型进行估计。空间权重使用邻近矩阵 w_1 和反距离矩阵 w_2 , 其中, $w_1=1$ 和 0 分别表示 i 、 j 为邻省和非邻省; $w_2=1/dij$ (dij 为 i 、 j 省会间直线距离)。估计模型如下:

$$\begin{cases} Y_{i,t} = \beta_{30} + \rho \sum_j^N w_1 Y_{j,t} + X_{i,t} \beta_3 + \sum_{j=1}^N w_1 X_{j,t} \theta + \\ \quad t_3 + \alpha_{3i} + u_{3i,t} \quad (17) \\ Y_{i,t} = \beta_{40} + \rho \sum_j^N w_2 Y_{j,t} + X_{i,t} \beta_4 + \sum_{j=1}^N w_2 X_{j,t} \theta + \\ \quad t_4 + \alpha_{4i} + u_{4i,t} \quad (18) \end{cases}$$

空间杜宾模型回归结果显示: 在两种空间权重矩阵下, 生态效率的空间滞后因子 ρ 均显著为负, 邻省生态效率对本省生态效率存在显著负效应, 即区际“邻近竞争”效应强于“协同发展”效应。如机理所分析的, 邻近区域之间一方面可能因为要素资源稀缺性形成竞争关系, 使得资源要素向优势初始禀赋的地区集聚, 降低落后地区经济效率; 另一方面, 由于大部分污染物的空间可流动性, 区际的环境污染排放可能存在“以邻为壑”现象, 也说明区际“协同发展”效应不显著, 绿色、协同、共享的发展理念未得到充分实践。

解释变量在两种不同的权重矩阵下回归结果不完全一致。交通密度直接效应均为正, 但在 w_2 下系数不显著, 直接效应不稳定, 可能部分地区在交通通达性提高带动经济产出增加的同时, 并没有带来资源集约和环境改善, 区域生态效率提升不明显。交通密度的空间滞后因子显著为负, 说明邻近地区交通密度的提高不利于本地区生态效率提升, 同样存在“邻近竞争”效应。一方面, 邻近地区交通通达性提高, 在通过要素配置、经济集聚和知识技术溢出效应促进其生态效率提升的同时, 对本地区形成“负反馈”, 使得本地区资源要素存量下降, 经济产出减少, 若资源消耗和环境污染的降幅小于经济产出降幅, 生态效率便会降低; 另一方面, 邻近地区的交通收费制度, 在一定程度上限制了本地区对邻近地区交通的使用, 抑制了正向溢出效应, 总体使得邻省交通通达性对本省生态效率产生负效应。网络通信普及率直接效应显著为正, 对邻省生态效率也存在负影响, 但显著性不稳定, 即同样表现出“邻近竞争”, 显著性不稳定可能是因为信息通达性外溢性较强, 无法通过“收费”等措施加以限制, 使邻近地区信息共享成为可能, 但结果表明正向溢出效应仍弱于“邻近竞争”效应。

其他控制变量的空间溢出效应较不稳定。产业结构、产权结构及技术进步空间溢出效应显著为正, 资本劳动比率显著为负, 其他不显著。结果汇总如表 3。

表3 实证结果

解释变量	普通面板模型		空间杜宾模型	
	(15)	(16)	(17)	(18)
<i>td</i>	-0.478*** (0.000)	-0.903* (0.065)	0.235*** (0.000)	0.049 (0.229)
<i>td2</i>	0.229*** (0.000)	0.163*** (0.002)		
<i>ip</i>	0.269*** (0.001)	0.264 (0.349)	0.352*** (0.000)	0.250** (0.003)
<i>td_ip</i>		0.085* (0.066)		
<i>wtd</i>			-0.532*** (0.000)	-0.559** (0.045)
<i>wip</i>			-0.026 (0.870)	-1.271** (0.013)
ρ			-0.308*** (0.000)	-1.118*** (0.000)
(16) <i>td_M</i>	<i>td_ec</i> 0.490** (0.014)	<i>td_tc</i> -0.313* (0.072)	<i>td_ecs</i> 0.404 (0.108)	<i>td_tcs</i> -0.093 (0.654)
(16) <i>ip_M</i>	<i>ip_ec</i> 0.067 (0.724)	<i>ip_tc</i> 0.556*** (0.004)	<i>ip_ecs</i> -0.669*** (0.002)	<i>ip_tcs</i> -0.137 (0.347)
<i>Obs.</i>	435	406	435	435
<i>R</i> ²	0.528	0.550	0.238	0.158
<i>p</i>	0.000	0.000	0.000	0.000

注：①(16)式交通、信息通达性与传导机制变量交互项的回归结果单独横向列出；②因篇幅限制，其他控制变量回归结果见附录

五、结论及建议

本文基于 2001—2015 年我国 29 个省级行政区的数据(西藏和海南数据缺失严重,香港、澳门和台湾统计口径不一致,故没纳入分析),分析了省域交通、信息通达性对生态效率的影响机理并实证检验,结果表明:首先,区域生态效率的空间集聚特征随时间变化,从“高-低”“低-高”集聚向“高-高”“低-低”集聚演化,现阶段生态效率空间滞后因子显著为负,区际发展更多表现为“邻近竞争”而非“协同发展”。其次,不考虑空间特征,交通通达性与生态效率之间呈显著正 U 型关系,主要通过提高纯效率提升生态效率。信息通达性与生态效率呈显著正相关,也主要通过提高纯技术效率提升生态效率。考虑空间特征时,交通通达性正向直接效应不稳定,信息通达性仍具有稳定促进作用,二者对邻省生态效率产生负效应,即交通、

信息通达性提高对区域内部生态效率提升有显著作用,但对邻近区域却通过“邻近竞争”效应产生负反馈。最后,各控制变量回归系数方向与预期基本一致,技术进步因素对生态效率的促进作用不显著,可见通过能源环保技术提升区域生态效率仍存在较大的发展空间,技术创新仍是区域绿色发展的原动力。为此,提出如下建议:

(1) 鼓励生态效率较高地区带动生态效率较低地区共享发展,优势地区可通过优化交通收费机制,逐渐降低交通壁垒。促进信息基础设施的正向溢出效应,引导知识技术向相对落后地区转移,促进各区域生态效率共同提升。

(2) 合理完善区域交通基础设施,一方面,西部地区仍应继续加强交通基础设施建设,使交通密度越过临界值,发挥其空间网络效应,对生态效率提升起到正向促进作用,而东中部地区应正视交通基础设施的边际效用递减规律,过于密集的交通基础设施在交通流量较小时会造成资源浪费,在交通流量较大时会带来环境污染等负效应。另一方面,在现实可行的情况下,可基于区际共享发展理念来优化交通线路,以减少“邻近竞争”效应,增加“协同发展”效应。

(3) 进一步完善区域内部信息基础设施,发挥信息通达性对生态效率的促进作用,尤其是部分中部省份,如江西、安徽等生态效率较低的省份,应充分利用地理邻近条件,加强与湖北、湖南等较高生态效率省份的合作交流,共建信息基础设施,共享信息资源,以增强信息通达性的正向溢出效应,促进区域生态效率共同提升。

(4) 发挥交通通达性与信息通达性的交互作用,中西部地区在承接东部地区产业转移的同时,也应注意接收其知识技术溢出,避免“粗犷式”转移带来的环境污染和资源消耗代价超过经济增长收益,出现经济效率与环境效率的“双重塌陷”,导致生态效率的降低。

(5) 全方位提升交通、信息通达性,强化生态效率的传导机制,在通过改善交通基础设施,提高纯效率的同时,应注重其影响纯技术效率的传导作用。企业合作,在注重制造、运输等生产领域的同时,不可忽视知识技术的研发交流,从而通过更全面的传导机制,利用交通、信息通达性提升区域生态效率。

(6) 鼓励区内企业加强能源、环保方面的技术创新;合理引进外资,避免“污染天堂”效应;污染治理权责明晰,避免企业“以邻为壑”;优化能源消费结构,开发环保新能源。以此全方位促进生态效率的提升,实现区域绿色、协同、共享发展。

注释:

- ① EPI 指数由美国耶鲁大学环境法律与政策中心、哥伦比亚大学国际地球科学信息网络联合世界经济论坛发布, 每两年发布一次。
- ② “污染天堂”假说认为, 发达国家通过外商投资形式将污染密集型产业转移至发展中国家, 从而造成东道国环境质量恶化。

参考文献:

- [1] 庄立, 刘洋, 梁进社. 论中国自然资源的稀缺性和渗透性[J]. 地理研究, 2011, 30(8): 1351-1360.
- [2] Aschauer D. Is public expenditure productive?[J]. Journal of Monetary Economics, 1989, 23(89): 177-200.
- [3] Munnell A H. How does public infrastructure affect regional economic performance?[J]. New England Economic Review, 1990, 30(9): 69-112.
- [4] 娄洪. 长期经济增长中的公共投资政策——包含一般拥挤性公共基础设施资本存量的动态经济增长模型[J]. 经济研究, 2004(3): 10-19.
- [5] 郭庆旺, 贾俊雪. 政府公共资本投资的长期经济增长效应[J]. 经济研究, 2006(7): 29-40.
- [6] 张学良. 中国交通基础设施与经济增长的区域比较分析[J]. 财经研究, 2007, 33(8): 51-63.
- [7] 胡鞍钢, 郑京海, 高宇宁, 等. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999—2005)[J]. 经济学: 季刊, 2008(3): 933-960.
- [8] 韩宝国, 朱平芳. 宽带对中国经济增长影响的实证分析[J]. 数量经济研究, 2014, 31(2): 49-54.
- [9] Duranton G, Morrow P. M., Turner M A. Roads and trade: Evidence from the US[J]. Cepr Discussion Papers, 2014, 81(2): 681-724.
- [10] Faber B. Trade integration, market size, and industrialization: Evidence from China's national trunk highway system[J]. Review of Economic Studies, 2014, 81(3): 1046-1070.
- [11] Celbis M G, De Crombrughe D. Internet infrastructure and regional convergence: Evidence from turkey[J]. Papers in Regional Science, 2016, 52(4): 516-527.
- [12] Romer P M. Increasing returns and long-run growth[J]. Journal of political economy, 1986, 94(5): 1002-1037.
- [13] Barro R J. Government spending in a simple model of endogenous growth[J]. Journal of political economy, 1990, 98(5, Part 2): S103-S125.
- [14] Lakshmanan T. R. The broader economic consequences of transport infrastructure investments[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(1): 1-12.
- [15] 刘生龙, 胡鞍钢. 基础设施的外部性在中国的检验: 1988—2007[J]. 经济研究, 2010(3): 4-15.
- [16] 刘生龙, 胡鞍钢. 交通基础设施与经济增长: 中国区域差距的视角[J]. 中国工业经济, 2010(4): 14-23.
- [17] Álvarez I. C, Zofío J. L. A spatial autoregressive panel model to analyze road network spillovers on production[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016, 93(11): 83-92.
- [18] 刘秉镰, 武鹏, 刘玉海. 交通基础设施与中国全要素生产率增长——基于省域数据的空间面板计量分析[J]. 中国工业经济, 2010(3): 54-64.
- [19] Ghani E., Goswami A. G, Kerr W. R. Highway to success: The impact of the golden quadrilateral project for the location and performance of indian manufacturing[J]. Economic Journal, 2016, 126(3): 317-357.
- [20] 郭家堂, 骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗?[J]. 管理世界, 2016(10): 34-49.
- [21] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010(5): 95-109.
- [22] 杨俊, 邵汉华, 胡军. 中国环境效率评价及其影响因素实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 49-55.
- [23] 王雪松, 任胜钢, 袁宝龙. 我国生态文明建设分类考核的指标体系和流程设计[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2016, 22(1): 89-97.
- [24] 陈诗一. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究, 2010(11): 21-34.
- [25] Chambers R G, Chung Y, Färe R. Benefit and distance functions[J]. Journal of economic theory, 1996, 70(2): 407-419.
- [26] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [27] Huang J., Yang X., Cheng G, et al. A comprehensive eco-efficiency model and dynamics of regional eco-efficiency in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 67(6): 228-238.
- [28] 黄建欢, 许和连. 中国区域生态效率的时空演变和提升机制[J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2016, 30(1): 60-70.
- [29] Huang J, Xia J. Regional competition, heterogeneous factors and pollution intensity in China: A spatial econometric analysis[J]. Sustainability, 2016, 8(2): 171.
- [30] 邹璇, 贾蕾玉. 工业能源消耗结构的优化路径及地区差异[J]. 软科学, 2017, 31(6): 46-50.
- [31] 林伯强, 刘泓汛. 对外贸易是否有利于提高能源环境效率——以中国工业行业为例[J]. 经济研究, 2015(9): 127-141.
- [32] 李佳佳, 罗能生. 城市规模对生态效率的影响及区域差异分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 129-136.
- [33] 谢里, 梁思美. 电能替代与生态环境效率: 来自中国省级层面的经验证据[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2017, 23(1): 91-100.
- [34] Li Z., Ouyang X., Du K., et al. Does government transparency contribute to improved eco-efficiency performance? An empirical study of 262 cities in China[J]. Energy Policy, 2017, 110(11): 79-89.
- [35] 魏楚, 郑新业. 能源效率提升的新视角——基于市场分割的检验[J]. 中国社会科学, 2017(10): 90-111.