

本土市场规模与能源效率

——绿色技术进步、绿色技术效率的调节路径

金波¹ 刘文宁²¹

(1. 太原学院 财经系, 山西 太原 030032;

2. 太原科技大学 经济与管理学院, 山西 太原 030024)

【摘要】: 使用 2001—2017 年 30 个省级层面数据, 运用基于非期望产出的超效率 SBM 模型测度省级层面能源效率指标, 借助系统 GMM 模型实证分析本土市场规模对能源效率的影响及绿色技术进步、绿色技术效率影响本土市场规模作用于能源效率的路径。结果表明: 第一, 本土市场规模对于能源效率的影响呈“U”型的非线性特征; 第二, 本土市场规模分别通过绿色技术进步、绿色技术效率对能源效率呈倒“U”型、“U”型的影响特征, 两条路径相互独立具有互补性, 若形成合力则后期会持续推动能源效率水平的提升; 第三, 本土市场规模分别与绿色技术进步、绿色技术效率对于能源效率的影响呈显著的门槛效应且因地区不同而存在差异。

【关键词】: 本土市场规模 绿色技术进步 绿色技术效率 能源效率 超效率 SBM GMM

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)10-070-10

提升能源效率、降低能源消耗强度, 统筹经济增长、资源与环境保护多重目标, 是中国经济低碳转型和保护生态环境的关键突破点之一。改革开放 40 多年以来, 中国已逐步建立起统一开放、竞争有序的超大规模国内市场, “以市场促创新”已成为中国提高全要素生产率的重要动力。基于此, 考察如何提升能源效率, 不可忽视本土市场规模这一重要因素, 尤其在当前国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局下, 中国超大市场规模优势和内需潜力是否可以成为能源效率提升的新动能? 如果能, 本土市场规模作用于能源效率的影响如何? 在基于本土市场规模的能源技术创新路径中, 考虑将绿色技术进步与绿色技术效率因素纳入本土市场规模作用于能源效率的影响机制分析中又会产生怎样的效果? 这是本文关注并探讨的重要问题。

1 文献评述

本土市场规模, 实质是一种集中性的市场需求^[1]。本土市场有效需求规模容量和结构的成长促进专业化分工、虹吸生产要素和创新资源以强化本国的自主创新驱动力, 被称作“需求所引致的创新”^[2]。陈丰龙和徐康宁^[3]已经验证“市场促创新”假说在本土市场规模作用于全要素生产率过程中的整体存在性。其他研究也表明, 不考虑出口等因素的影响, 本土市场规模可以推动产业生产率提升, 引致产业价值链攀升, 促进地区生产率的提高^[4,5]。但本土市场规模作用于地区生产率时, 对地区技术进步和生产

¹作者简介: 金波, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为资源环境经济。E-mail: jinbo@tyu.edu.cn; 刘文宁, 硕士, 研究方向为资源环境经济。E-mail: lwn1936@163.com

基金项目: 山西省省筹资金资助出国留学人员科研项目“黄河中游能源聚集区产业结构绿色转型升级评价研究”(2021141); 山西省政府重大决策咨询课题“山西传统产业高端化智能化绿色化发展研究”(ZB20210702)

率的影响具有阶段性特征，同时受市场制度完备性的调节呈非线性影响特征^[3,6]。

关于本土市场规模与能源效率的相关文献中，已通过实证研究得出本土市场规模可以正向促进能源效率提升，如 Glaeser & Kahn^[7]研究发现市场规模的集聚效应有利于能源资源要素的集中高效利用，最大程度降低能源损耗以提升能源利用效率；李宏兵等^[8]进一步探讨了本土市场规模与能源效率之间存在显著的技术进步门槛效应。但现有文献将本土市场规模的非线性特征考虑进本土市场规模影响能源效率提升路径的相关文献研究相对较少，因此，关于本土市场规模对于能源效率的影响是否呈现非线性特征有待进一步验证。

能源效率提升本质上依赖于能源技术创新，而本土市场规模具有典型的技术和知识溢出效应，但将技术创新引入本土市场规模作用于能源效率路径分析时，一方面，大多文献缺乏从本土市场规模引致的技术创新的偏向性视角研究本土市场规模对于能源效率的影响，且有关技术创新对能源效率提升的作用效应并未形成一致性实证结论^[9,10]，而创新和引进形成的技术进步是偏向环境改善的绿色技术进步类型时，会提高绿色增长效率，反之，则会阻碍绿色增长效率的提升^[11]；另一方面，相关文献讨论技术创新的偏向性时，大多文献倾向于考虑绿色技术进步对于能源效率的影响^[12]，而忽视绿色技术效率对能源效率的作用效果分析。绿色技术创新突出绿色理念，统筹经济效益与环境效益，注重节能降耗以提升能源效率。绿色技术效率为绿色技术创新的重要构成要素，能够改进能源资源要素配置效率，在投入要素既定下最大化增加期望产出并降低非期望产出，它同绿色技术进步同样构成可持续发展的不竭动力^[13]，因此，绿色技术效率也将同样助力于能源效率提升。此外，鲜有文献将本土市场规模、绿色技术进步、绿色技术效率及其对能源效率的作用路径置于一个整体分析框架。本文的贡献在于：第一，实证检验本土市场规模对于能源效率非线性影响特征的存在性；第二，分别基于绿色技术进步、绿色技术效率影响本土市场规模作用于能源效率的路径视角，实证分析这两条影响路径的表现特征及两条路径之间的关联。

2 机制分析与理论假设

2.1 本土市场规模对能源效率的影响机理分析

市场规模效应激励企业大规模投资生产技术设备、改进技术、提高生产率^[14]。一方面，本土市场规模的集聚效应通过规模报酬递增、交易成本降低及节能减排激励约束机制加速知识或技术外溢进而显著提升能源效率^[15]；另一方面，更大规模的市场引致更激烈的以质量为内涵的针对新产品和新技术的竞争，产生更低市场价格与更高生产率^[16]，本土市场规模的竞争效应激发企业自主创新以维持或拓展更大的市场规模，从而加速新技术和新业态的出现与普及以降低单位产出能耗，显著提升能源效率。

然而，本土市场规模通过集聚效应和竞争效应提升能源效率的结论，需要以一些重要适宜的前置条件为基础。市场制度的完善度在市场规模与地区生产率之间起关键性的中间调节作用^[17]。此外，中国高、低端需求偏好共存的“二元内需求结构”特征显著，本土市场效应的非线性特征及市场规模对地区技术进步和生产率具有阶段性的影响特征等多因素，都将对本土市场规模对能源效率的作用效果产生影响。因此，单纯分析本土市场规模对于能源效率的正向作用存在局限性，需分阶段分析本土市场规模对能源效率的影响特征。

在本土市场发展初期阶段，受行政壁垒与体制机制障碍的制约难以形成能源要素自由流动的统一开放市场，处于分割状态下的市场环境引发的市场需求偏好多以低端需求为主，导致能源领域无序恶性竞争发展模式愈演愈烈，市场拥挤效应凸显抑制能源技术创新，且内生于产业创新的前期市场规模并未转换为实质性的自主创新动力，最终本土市场规模的规模效应优势未能显现反而阻碍能源效率水平的提升。而当本土市场规模发展到一定阶段，统一规范的市场制度体系发挥对全国用能权、碳排放交易市场建设及对能源消费双控制的作用，引导低碳化、绿色化需求，激励能源绿色技术与现代信息、材料和先进制造业的深度融合，打通能源科技创新的全过程链条，最终达到提升能源效率的目标。在此基础上，提出：

假设 1：本土市场规模对于能源效率的影响呈现“U”型的非线性特征。

2.2 本土市场规模对能源效率的影响路径分析

本土市场规模发育至特定阶段继而促进消费回补和潜力释放,激发市场主体活力以增强技术创新动能。但技术创新能否显著地促进能源效率的提高的关键在于其推动的技术进步所具有的偏向性^[18],技术进步的能源偏向性对能耗强度起决定性作用^[19,20],根据 Acemoglu^[21]的观点,如果技术创新偏向绿色技术创新,在产出与非能源要素不变时,产业生产从依靠资源、能源刚性投入与生产规模扩散向依赖科技创新、知识信息等柔性投入与增加产品附加值转型过渡,进一步优化能源要素的投入产出结构,最终提升能源效率。

即使考虑了本土市场引致的技术创新的偏向性,在市场多样性与绿色技术创新可能性结合的过程中,本土市场规模也会因特定的消费群体、市场规模容量及增长率等因素的多样化组合对绿色技术创新的作用效果大相径庭,因此,在考虑本土市场规模作用于能源效率的影响路径时,不能将本土市场规模与绿色技术创新割裂开来进行分析,而应考察两者之间的交互机制对于能源效率的影响。进一步地,绿色技术进步与绿色技术效率又构成绿色技术创新异质性的内源动力,那么将绿色技术进步、绿色技术效率分别与本土市场规模联系起来,考察两者间的交互机制对能源效率的提升将产生一定的影响效果。

一方面,本土市场规模与其内生的绿色技术进步的交互机制伴随市场规模的扩张,能够将涵盖污染防控、生态工艺、低碳循环的绿色技术的正外部性渗透到上下游工业企业生产的全流程,从而打破高污染排放的粗放发展模式对能源效率“锁定效应”的诅咒,高效对接产业结构的“去污染化”,最终改善能源效率水平,此时在绿色技术进步的作用下可能会改变本土市场规模负向作用于能源效率的方向。后期随着本土市场规模的持续扩大,引致更为深化的绿色技术进步提高能源效率,进而导致环境污染呈上升趋势或是不确定性趋势^[22]。绿色技术进步通过影响有效能源服务价格及提升经济增速而激增更多新的能源消费量^[23],抵消部分甚至全部由能源效率改善所节约的能源消耗量^[24]。此时,本土市场规模与绿色技术进步的结合甚至会阻碍能源效率水平的提升。

另一方面,当本土市场规模通过与绿色技术效率的结合作用于能源效率时,在发展初期,本土市场规模所产生的负外部性造成资源的垄断,市场分割不利于碳排放和要素配置效率的提高^[25,26],因而现阶段本土市场规模与绿色技术效率的契合作用未能高效发挥,反而呈相互牵制状态,最终抑制能源效率提升。但在本土市场规模发育成熟阶段,深入推进要素市场化改革缓解要素价格扭曲局面,节能减排等各项环保政策措施的落实使得我国要素组合引致的能源配置效率呈显著的跳跃性增长^[27],进而拉动绿色技术效率水平的提升。此时,本土市场规模与绿色技术效率相匹配显著提升能源效率水平。在此基础上,提出:

假设 2:本土市场规模分别通过绿色技术进步、绿色技术效率对能源效率的作用路径呈倒“U”型、“U”型的互补特征。

综合而言,本土市场规模作用于能源效率的机理如图 1 所示。

3 计量模型与变量说明

3.1 计量模型

为考虑本土市场规模对于能源效率的影响,建立基本的计量模型如下:

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

为检验本土市场规模对于能源效率的影响是否呈非线性关系,将本土市场规模(hms)的二次项加入模型中,即:

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中：i 表示省份，t 表示年份，GTFEC 代表能源效率，hms 为本土市场规模，control 为各控制变量（详见下文变量说明）， μ_i 为各省份的个体特征， ε_{it} 为误差项，所有变量均经过自然对数化处理。模型 (1) 和 (2) 采用固定效应进行估计。

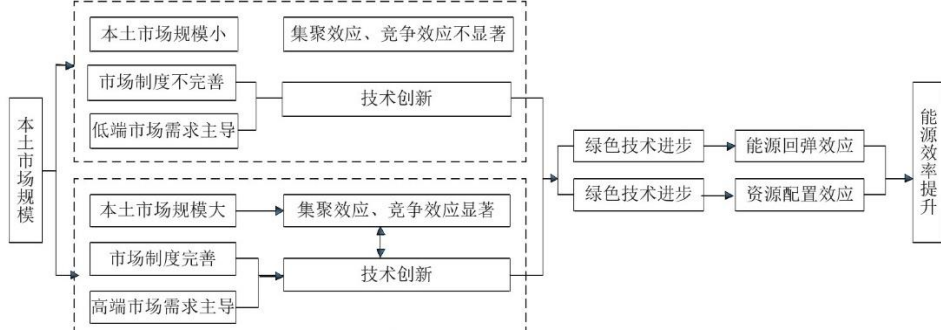


图 1 本土市场规模对能源效率提升的作用机理

为解决传统静态面板模型内生性问题所导致的检验结果的偏误，本文在式 (1) 和 (2) 的基础上引入动态面板数据模型：

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_3 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 + \beta_3 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_4 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

考虑将绿色技术进步、绿色技术效率引入本土市场规模作用于能源效率的路径分析框架时，交互项乘积有利于消除变量间的内生性问题，提高检验的科学性^[28]，因此，分别将本土市场规模的一次项和二次项与绿色技术进步 (GTC)、绿色技术效率 (GEC) 的交互项引入模型。

首先，考察绿色技术进步 (GTC) 是否改变本土市场规模 (hms) 作用于能源效率的方向，构建以下动态面板数据模型：

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} \times \ln GTC_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 \times \ln GTC_{it} + \beta_3 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_4 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln GTFEC_{it} = c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 + \beta_3 \ln hms_{it} \times \ln GTC_{it} + \beta_4 \ln hms_{it}^2 \times \ln GTC_{it} + \beta_5 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_6 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其次，考察绿色技术效率 (GEC) 是否改变本土市场规模 (hms) 作用于能源效率的方向，构建以下动态面板数据模型：

$$\begin{aligned}\ln GTFEC_{it} = & c + \beta_1 \ln hms_{it} \times \ln GEC_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 \times \\ & \ln GEC_{it} + \beta_3 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_4 \ln GTFEC_{it-2} + \\ & \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}\end{aligned}\quad (7)$$

$$\begin{aligned}\ln GTFEC_{it} = & c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 + \beta_3 \ln hms_{it} \times \\ & \ln GEC_{it} + \beta_4 \ln hms_{it}^2 \times \ln GEC_{it} + \\ & \beta_5 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_6 \ln GTFEC_{it-2} + \\ & \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}\end{aligned}\quad (8)$$

考虑将本土市场规模(hms)的一次项和二次项分别与绿色技术进步(GTC)、绿色技术效率(GEC)的交互项同时放入模型,构建以下动态面板数据模型:

$$\begin{aligned}\ln GTFEC_{it} = & c + \beta_1 \ln hms_{it} \times \ln GTC_{it} + \beta_2 \ln hms_{it}^2 \times \\ & \ln GTC_{it} + \beta_3 \ln hms_{it} \times \ln GEC_{it} + \beta_4 \ln hms_{it}^2 \times \\ & \ln GEC_{it} + \beta_5 \ln GTFEC_{it-1} + \beta_6 \ln GTFEC_{it-2} + \\ & \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}\end{aligned}\quad (9)$$

计量模型中涉及交互项形式时仍需受外生给定交互项系数的不稳定等条件限制^[29],有鉴于此,本文借鉴 Kremer 等^[30]所构建的动态面板模型以解决上述问题。与传统的线性回归模型相比,动态面板门限模型以内生的方式分解出以门限变量为门槛的多样本区间,并验证解释变量对于被解释变量的作用效果是否发生结构性转变。本文分别选取绿色技术进步(GTC)、绿色技术效率(GEC)作为门限变量的动态面板门限回归模型,考察本土市场规模(hms)分别与绿色技术进步(GTC)、绿色技术效率(GEC)的交互项对于能源效率的影响。具体模型为:

$$\begin{aligned}\ln GTFEC_{it} = & c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it} \times \ln GTC_{it} \\ & I(\ln GTC_{it} < \gamma) + \beta_3 \ln hms_{it} \times \ln GTC_{it} \\ & I(\ln GTC_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln GTFEC_{it-1} + \\ & \beta_5 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}\ln GTFEC_{it} = & c + \beta_1 \ln hms_{it} + \beta_2 \ln hms_{it} \times \ln GEC_{it} \\ & I(\ln GEC_{it} < \theta) + \beta_3 \ln hms_{it} \times \ln GEC_{it} \\ & I(\ln GEC_{it} > \theta) + \beta_4 \ln GTFEC_{it-1} + \\ & \beta_5 \ln GTFEC_{it-2} + \beta \ln control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}\end{aligned}\quad (11)$$

其中, $I(\cdot)$ 为指标函数, 括号内假设成立, 则 $I(\cdot)=1$; 否则, $I(\cdot)=0$ 。

此外, 若忽略截距门限效应则易造成回归结果的有偏性与不稳定性^[31], 因此, 本文参考 Arellano & Bover^[32]所提出的前向正交离差变换方式以消除固定效应, 各变量变换后的模型为:

$$\begin{aligned}
\ln GTFEC_{it}^* &= c^* + \beta_1 \ln hms_{it}^* + \beta_2 \ln hms_{it}^* \times \ln GTC_{it}^* \\
&\quad I(\ln GTC_{it} < \gamma) + \beta_3 \ln hms_{it}^* \times \ln GTC_{it}^* \\
&\quad I(\ln GTC_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln GTFEC_{it-1}^* + \\
&\quad \beta_5 \ln GTFEC_{it-2}^* + \beta \ln control_{it}^* + \mu_i^* + \varepsilon_{it}^* \quad (12) \\
\ln GTEC_{it}^* &= c^* + \beta_1 \ln hms_{it}^* + \beta_2 \ln hms_{it}^* \times \ln GEC_{it}^* \\
&\quad I(\ln GEC_{it} < \theta) + \beta_3 \ln hms_{it}^* \times \ln GEC_{it}^* \\
&\quad I(\ln GEC_{it} > \theta) + \beta_4 \ln GTEC_{it-1}^* + \\
&\quad \beta_5 \ln GTEC_{it-2}^* + \beta \ln control_{it}^* + \mu_i^* + \varepsilon_{it}^* \quad (13)
\end{aligned}$$

其中，误差项的前向正交离差变换表示为：

$$\varepsilon_{it}^* = \sqrt{\frac{T-t}{T-t+1}} \left[\varepsilon_{it} - \frac{1}{T-t} (\varepsilon_{i(t+1)} + \dots + \varepsilon_{iT}) \right] \quad (t=1, \dots, T-1)$$

需要说明的是，对变量进行前向正交离差变换可解决变量序列相关性问题，方差呈单位矩阵特征，其他变量的前向正交离差形式依次类推：

$$\text{var}(\varepsilon_i) = \sigma^2 I_T \rightarrow \text{var}(\varepsilon_i^*) = \sigma^2 I_{T-1}$$

固定效应问题被解决后，可进行动态面板门限模型的回归分析。

以上动态面板回归模型及动态面板门限回归模型估计方法选取 GMM (广义矩估计)，为克服弱工具变量的问题，本文采用系统 GMM (SYS-GMM) 的方法进行估计。

3.2 变量说明

3.2.1 被解释变量

被解释变量为能源效率 (GTFEC)。关于能源效率的测算，大多文献基于径向效率的 DEA 测度方法无法解决松弛变量问题，结果过高估计能源效率，而基于非期望产出的 SBM 模型将松弛变量放进目标函数，该方法得到广泛应用^[33,34]。但若在投入产出指标数量较多而出现多个决策单元被评价为有效即效率值为 1 的情况下，无法进一步比较，为此 Tone^[35]将 SBM 模型拓展为超效率 SBM 模型。因此，本文参考郭一鸣等^[36]测算能源效率的方法，利用基于非期望产出的超效率 SBM 方法测算 2001—2017 年我国 30 个省份 (不含西藏和港澳台) 的能源效率。测算绿色全要素能源效率的关键是选取合理的投入—产出变量，参考史丹和李少林^[37]的研究。

非期望产出的超效率 SBM 模型具体计算方法如下：

考虑 n 个 DMUs，每个 DMU 有 m 种投入，期望产出、非期望产出分别为 r_1 、 r_2 个。各向量形式表示为： $x \in R^m$ ， $y^d \in R^{r_1}$ ， $y^u \in R^{r_2}$ ，其中 $x, y^d, y^u > 0$ ； X, Y^d, Y^u 是矩阵 $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$ ， $Y^d = [y_1^d, \dots, y_n^d] \in R^{r_1 \times n}$ 和 $Y^u = [y_1^u, \dots, y_n^u] \in R^{r_2 \times n}$ 。

假定规模报酬不变，决策单元可能的生产集如下：

$$P(x)=\{(y^d, y^u)|x \text{ produce } (y^d, y^u), x \geqslant X\lambda, y^d \leqslant Y^d\lambda, y^u \geqslant Y^u\lambda, \lambda \geqslant 0\} \quad (14)$$

其中， λ 表示每个 DMU 权重的非负列向量。基于上述生产可能性集的 SBM 模型如下：

$$\begin{aligned} \min \rho = & \frac{1 - \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \left(\frac{\omega_i^-}{x_{ik}}\right)}{1 + \frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} \frac{\omega_s^d}{y_{sk}^d} + \sum_{q=1}^{r_2} \frac{\omega_q^u}{y_{qk}^u} \right)} \quad (15) \\ \text{subject to } & x_k = \sum_{j=1}^n x_{kj} \lambda_j + \omega_k^- \quad i=1, \dots, m \\ & y_{sk}^d = \sum_{j=1}^n y_{sj}^d \lambda_j - \omega_s^d \quad s=1, \dots, r_1 \\ & y_{qk}^u = \sum_{j=1}^n y_{qj}^u \lambda_j + \omega_q^u \quad q=1, \dots, r_2 \\ & \lambda_j \geqslant 0 \quad j=1, \dots, n \\ & \omega_i^- \geqslant 0 \quad i=1, \dots, m \\ & \omega_s^d \geqslant 0 \quad s=1, \dots, r_1 \\ & \omega_q^u \geqslant 0 \quad q=1, \dots, r_2 \end{aligned}$$

对于模型(15)，当且仅当 $\rho=1$, $\omega_i^-=0$, $\omega_s^d=0$, $\omega_q^u=0$ 时，DMU_k为 SBM 模型的有效决策单元，需运用超效率 SBM 模型进行再分析，包含非期望产出的超效率 SBM 模型如下：

$$\min \psi = \frac{\left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \left(\frac{\bar{x}}{x_{ik}}\right)}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} \frac{\bar{y}_s^d}{y_{sk}^d} + \sum_{q=1}^{r_2} \frac{\bar{y}_q^u}{y_{qk}^u} \right)} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
& \text{subject to } \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j \quad i=1, \dots, m \\
& \bar{y}_{sk}^d \leq \sum_{i=1}^n y_{sj}^d \lambda_j \quad s=1, \dots, r_1 \\
& \bar{y}^b \geq \sum_{i=1}^n y_{qj}^b \lambda_j \quad q=1, \dots, r_2 \\
& \lambda_j > 0 \quad j=1, \dots, n \quad j \neq 0 \\
& \bar{x} \geq x_k \quad i=1, \dots, m \\
& \bar{y}^d \leq y_k^d \quad s=1, \dots, r_1 \\
& \bar{y}^u \geq y_k^u \quad q=1, \dots, r_2
\end{aligned}$$

3.2.2 核心解释变量

(1) 本土市场规模 (hms)。

借鉴 Harris^[39] 的方法测算省级层面的本土市场规模，计算方法如下：

$$hms_{it} = \sum_{j \neq i} \left(\frac{y_{it}}{d_{ii}} + \frac{y_{jt}}{d_{ij}} \right) \quad (17)$$

式中： y_{it} 为扣除服务和货物净出口的地区实际生产总值， d_{ij} 为省会城市之间的地理距离， d_{ii} 为各省份的内部距离，计算方法为： $d_{ii} = 2\sqrt{\frac{s_i}{\pi}}/3$ ， s_i 为 i 省份的陆地面积。

(2) 绿色技术进步 (GTC)、绿色技术效率 (GEC)。

本文参考田红彬和郝雯雯^[40]基于 SBM 模型的 Global Malmquist-Luenberger 指数模型，对 2001—2017 年中国 30 个省份的能源效率分解出来的绿色技术进步和绿色技术效率进行测算。

GML 指数可用于考虑非期望产出的能源效率，将每个省份视为一个决策单元 (DMU) 以构造生产前沿，在 t 时期构造每个 DMU 的生产可能性集为：

$$P^t(x^t) = \{(y^t, b^t) | x^t \text{ 生产 } (y^t, b^t)\} \quad (18)$$

其中， x^t 为 t 时期的投入变量， y^t 和 b^t 分别表示 t 时期的期望产出和非期望产出。设全局生产可能性集为：

$$P^G = P^1 \cup P^2 \dots P^T \quad (19)$$

引入距离函数测算生产率不随时间改变的 GML 指数：

$$D_i^t(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \quad (20)$$

$$D^G(x, y, b) = \max\{\beta | (y + \beta y, b - \beta b) \in P^G(x)\} \quad (21)$$

这里全局方向距离函数定义在全局生产可能性集 P^G 上, 如果 $GML^{t, t+1}$ 的值大于 (或小于) 1, 说明与 t 时期相比, $t+1$ 时期的能源效率提高, 即增加 (或减少) 期望产出或者减少 (或增加) 非期望产出。

GML 指数可表示为绿色技术进步 (GTC) 和绿色技术效率 (GEC) 的乘积。

$$\begin{aligned} GML^{t, t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \\ &= \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \left[\frac{\frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)}}{\frac{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}} \right] \\ &= GTC^{t, t+1} \times GEC^{t, t+1} \end{aligned} \quad (22)$$

其中, GTC (GEC) 是不同时期绿色技术进步 (绿色技术效率) 指数, GTC (GEC) 的值大于、小于和等于 1, 说明与 t 时期相比, $t+1$ 时期的绿色技术进步 (绿色技术效率) 提升、降低和不变。

参考姚小剑等^[41]的研究, 基于超效率 SBM 模型, 运用 GML 指数法分解出的绿色技术进步指数、绿色技术效率指数分别衡量绿色技术进步 (GTC)、绿色技术效率 (GEC) 水平。

3.2.3 控制变量

(1) 产业结构升级 (upgrade)。

借鉴冯伟和李嘉佳^[42]的测算公式如下:

$$upgrade = \sum_{i=1}^3 \sqrt{L_i} \times P_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (23)$$

式中: L_i 为第一、第二、第三产业的劳动生产率, P_i 为第一、第二、第三产业增加值占 GDP 的比值。

(2) 环境规制 (er)。

参考林伯强和杜克锐^[48]的计算方法如下:

$$er_i = \sum_j \frac{E_{ij}}{\sum_i E_{ij}} \bigg/ \frac{O_i}{\sum_i O_i} \quad (j=1,2,3; i=1,2,3) \quad (24)$$

式中： E_{ij} 表示*i*省份*j*污染物单位产值治理投资数额， O_i 为*i*省份的生产总值。

(3)外商直接投资(fdi)。

借鉴李宏兵等^[8]的方法，用各省份实际吸引外商直接投资额占 GDP 的比重表示。

(4)能源消费结构(ecs)。

参考林伯强和杜克锐^[43]的方法，用各省份煤炭消费总量与能源消费总量的比值来衡量。

(5)地区财政支出结构(fc)。

参考佟家栋和陈霄^[44]的方法，用各省份财政支出总额与 GDP 的比值表示。

本文的研究样本为中国 30 个省份的平衡面板数据，西藏和港澳台地区因相关指标数据严重缺失，故未纳入研究范围，时间跨度为 2001—2017 年。

4 实证结果分析

4.1 本土市场规模对能源效率的作用效果分析

本文首先运用混合 OLS 模型和面板固定效应模型进行回归检验。

由以上回归结果可以看到，在混合 OLS 回归模型中本土市场规模对于能源效率并未有显著的提高反而是负向阻碍关系，而加入本土市场规模变量的二次项时，二次项系数显著为正，说明本土市场规模作用于能源效率的过程呈现“U”型关系。而在固定效应回归模型中这一现象并不显著，可能由于传统静态面板数据模型的内生性问题造成的伪回归结果。因此，本文在模型(1)和(2)的基础上引入能源效率一阶滞后项及二阶滞后项加入模型，运用系统 GMM 模型估计结果详见模型(3)和(4)的回归结果。

系统 GMM 回归结果表明本土市场规模对于能源效率的影响呈“U”型的非线性关系，假设 1 被证实。表明初期随着本土市场规模的扩大，能源效率呈下降趋势，这可能因为初期市场制度体系尚未健全，且初期依赖于本土市场规模的扩大引发的需求多以低端市场需求为主，从而抑制创新最终对能源效率的提升起阻碍作用。而后期随着本土市场规模的持续扩张，市场制度相对健全，在高端市场需求逐渐占主导地位等因素的影响下，产业间需求关联效应及技术溢出效应发生互动并形成良性累计循环，以提升能源自主创新水平，从而间接加速能源效率水平的提升。

从控制变量来看，产业结构升级水平、外商直接投资水平显著促进能源效率水平的提升。产业结构升级推进产业结构向绿色产业体系协调发展，从而改善能源效率水平；外商直接投资不仅能为各省份提供发展所需资金，同时可通过技术外溢、知识外溢等多种途径正向作用于能源效率；能源消费结构对能源效率起到显著的抑制作用，煤炭占比的增加不利于能源效率的提升；环境规制水平与财政支出结构对能源效率的影响系数并不显著，一方面来说，合理的环境规制能激励企业自主进行多元化多层次的能源科技创新，提高收益以弥补环境规制带给企业的间接成本，对能源效率的提升产生一定的正向效应，但另一方面，若环境规

制的创新补偿效应未能弥补巨大的研发成本支出反而会挤占企业可用资金，这更加不利于技术创新进而抑制能源效率的提升。综合而言，环境规制水平对能源效率的影响可能并不显著；而财政支出结构的结果说明，财政支出投入本身存在时滞效应，行业财政资金使用效率与投入结构不匹配难以起到促进能源效率提升的作用。

4.2 本土市场规模对能源效率的影响路径分析

考虑本土市场规模作用于能源效率的过程中技术创新发挥的作用，本文以技术创新偏向于绿色技术创新即从绿色技术进步、绿色技术效率两个角度，研究本土市场规模分别通过绿色技术进步、绿色技术效率两条影响能源效率的路径，考察绿色技术进步与绿色技术效率是否改变本土市场规模作用于能源效率的方向，且验证这两者的区别与联系，根据模型(5)~(9)得到回归结果。

本文采用系统 GMM 的模型估计得到 5 个模型的结果，均通过了自相关检验和过度识别检验。模型(5)和(6)检验了本土市场规模与绿色技术进步对能源效率的作用效应。由结果可知，绿色技术进步与本土市场规模的一次项、二次项的交互项系数相反，分别为显著的负相关与正相关，即本土市场规模通过绿色技术进步对能源效率呈非常稳健的倒“U”型影响特征，说明在前期本土市场规模与绿色技术较好结合能够释放本土市场规模的潜在优势，技术创新动力充足从而加速能源效率的提升，而后期可能基于绿色技术进步的能源回弹效应等因素使得技术进步与市场规模结合的优势逐渐丧失，反而抑制能源效率的提升。

模型(7)和(8)考察了本土市场规模通过绿色技术效率影响能源效率的路径分析。由结果可知，绿色技术效率与本土市场规模一次项的交互项系数显著为负，然而与本土市场规模二次项的交互项系数显著为正，即本土市场规模与技术效率对能源效率呈“U”型关系。说明绿色技术效率未改变本土市场规模作用于能源效率的方向，即前期本土市场制度尚未完善，不利于资源有效配置，使得绿色技术效率的内源动力未能充分释放，因而前期未能达到促进能源效率提升的预期。而在后期随着本土市场规模的不断扩大，以及市场制度和各项相关配套措施的完善，使得绿色技术效率的效用得到最大化的发挥，从而与本土市场规模的结合能够显著促进能源效率的提升。

由模型(5)~(8)可知，假设 2 得到验证。若本土市场规模与绿色技术进步及本土市场规模与绿色技术效率相互独立时，在本土市场规模发育初期多因本土市场规模与绿色技术进步的配合形成能源效率增长的向心力，则可以较好地弥补前期资源配置不合理使得绿色技术效率与本土市场规模的结合负向作用于能源效率的缺陷。而在本土市场规模发展成熟阶段易受能源回弹效应等因素限制，绿色技术进步与本土市场规模对能源效率的作用效用递减从而抑制能源效率的提升，而绿色技术效率具有较强的韧性，此时本土市场规模通过绿色技术效率加速提升能源效率，则可以较好地弥补绿色技术进步对能源效率推拉效力不足的现象。

模型(9)将绿色技术进步、绿色技术效率分别与本土市场规模的一次项及二次项的交互项同时放入模型，结果表明本土市场规模的二次项分别与绿色技术进步、绿色技术效率的交互项对能源效率的作用呈稳健的正向促进关系。说明本土市场规模分别与绿色技术进步及绿色技术效率的有机结合，能够在本土市场发展成熟阶段积极稳妥、韧性持久地推动能源效率水平的提升。

5 稳健性检验

参考 Weder^[45]的方法，本文用各地区总产值加上进口额减去出口额来表示本土市场规模指标。此时的本土市场规模用 hms1 表示，将其替换模型(3)、(4)、(6)、(8)、(9)中的 hms，得到的回归结果所示。

由模型(3)和(4)可以看出，本土市场规模对于能源效率的影响仍然呈现显著的“U”型关系，验证了结果的稳健性。由模型(6)和(8)可以看出，本土市场规模的二次项分别与绿色技术进步、绿色技术效率交互项对能源效率呈显著的倒“U”型、“U”型影响特征。也即说明本土市场规模通过绿色技术进步、绿色技术效率对能源效率的作用路径呈现互补趋势。模型(9)验证本土市场规模与绿色技术进步及绿色技术效率的结合能够在后期持续改善能源效率水平。

6 拓展分析

考虑到模型中引入交互项的局限性,本文构建动态面板门限回归模型,检验本土市场规模分别与绿色技术进步及绿色技术效率作用于能源效率的过程中,是否因绿色技术进步、绿色技术效率水平的差异而存在门限效应。

本土市场规模与绿色技术进步、绿色技术效率的交互项分别作用于能源效率时,存在显著的绿色技术进步、绿色技术效率的单重门槛。当绿色技术进步值小于-0.0201时为低绿色技术进步区间,反之为高绿色技术进步区间;当绿色技术效率值小于0.0141时为低绿色技术效率区间,反之为高绿色技术效率区间。

模型(12-1)、(12-2)、(13-1)、(13-2)的结果显示,本土市场规模分别与绿色技术进步(绿色技术效率)的交互项对能源效率的影响在低绿色技术进步(绿色技术效率)区间存在显著的负效应,而在高绿色技术进步(绿色技术效率)区间则转变为正向促进关系。说明在充分利用我国超大规模市场优势和内需潜力的基础上必须具备与之相匹配的绿色技术水平,否则本土市场规模与绿色技术结合的正向溢出效应将难以释放,反而抑制能源效率水平的提升。

考虑到中国地区发展的不均衡,各省份本土市场规模的差异,参考杜克锐和张宁^[46]的研究,本文将中国30个省份分为两个区域:东部地区和中西部地区。依据前文得出的绿色技术进步及绿色技术效率的门限效应,划分区域分别讨论,得出的回归结果所示。

对于东部地区来说,从门限变量绿色技术进步来看,由低绿色技术进步区间向高绿色技术进步区间过渡时,本土市场规模与绿色技术进步的交互项系数显著地由负转正。说明在东部地区,只有绿色技术进步达到一定的阈值时,本土市场规模与绿色技术进步才能改善能源效率。从门限变量绿色技术效率来看,无论绿色技术效率值大于或者小于门限值0.0141,本土市场规模与绿色技术效率的交互项始终显著促进能源效率水平的提升。说明在东部地区,只有绿色技术效率水平优势得以与本土市场规模结合持续推动本地区能源效率水平的提升。对于中西部地区来说,在高、低绿色技术进步区间内本土市场规模与绿色技术进步的交互项系数都显著为正,且在高绿色技术进步区间的交互项边际影响系数更大,说明中西部地区绿色技术进步水平对本土市场规模作用于能源效率的拉动效应更显著。但从门限变量绿色技术效率来看,无论处于低绿色技术效率区间还是高绿色技术效率区间,本土市场规模与绿色技术效率的交互项系数始终显著为负,说明中西部地区绿色技术效率水平较低,不足以与该地区本土市场规模有机结合推动能源效率水平的提升。

7 结论与政策建议

本文利用2001—2017年30个省级层面数据,实证分析本土市场规模对能源效率的影响。实证研究发现:第一,本土市场规模对于能源效率呈“U”型的非线性影响特征;第二,若绿色技术进步、绿色技术效率分别独立作用于本土市场规模影响能源效率的路径时,呈倒“U”型、“U”型的互补性影响特征,若两条路径相配合则在后期会显著推动能源效率水平的提升;第三,本土市场规模分别与绿色技术进步及绿色技术效率的交互项对能源效率的影响存在显著的门限效应,且因地域不同而呈差异化的影响特征。

上述结论可以为改善能源效率实现节能减排,进而为实现“碳达峰、碳中和”的远景目标提供有益启示:第一,要注重培育市场的成长性与创新性,使其与超大市场规模相适配,也即实现高水平供需动态平衡、能源绿色技术创新驱动力强劲、产业链与供应链高效衔接、国内市场与全球市场融会贯通,从而为改善能源效率破除市场基础障碍;第二,稳妥推进能源市场化改革,保障市场在能源绿色技术创新领域、能源技术路径选择及创新资源配置中的决定性地位;第三,依托本土规模市场优势,积极引领能源科技创新更偏向于绿色技术创新方向,更加重视本土市场规模与绿色技术进步及绿色技术效率之间的关联,持续推动我国绿色能源效率提升;第四,针对不同地区因地制宜,东部地区在保持绿色技术效率水平优势的基础上持续推进绿色技术进步,而中西部地区要更加重视绿色技术效率水平的提升。应建立完善的区域经济发展协调机制,以加快绿色技术创新作为重要突破点,

进一步挖掘和充分发挥我国不同地区市场的潜力和优势，进而推进能源领域的绿色发展。

参考文献:

- [1]杨先明, 马娜.本土市场规模、市场制度与国家间生产率差异: 基于跨国数据的研究[J]. 财经科学, 2018(6): 53-67.
- [2]Zweimuller J, Brunner J K. Innovation and growth with rich and poor consumers[J]. *Metroeconomica*, 2005, 56(2): 233-262.
- [3]陈丰龙, 徐康宁.本土市场规模与中国制造业全要素生产率[J]. 中国工业经济, 2012(5): 44-56.
- [4]冯伟.本土市场规模与产业生产率: 来自中国制造业的经验研究[J]. 财贸研究, 2015(5): 11-18.
- [5]Crozet M, Trionfetti F. Firm-level comparative advantage[J]. *Journal of International Economics*, 2013, 91(2): 321-328.
- [6]冯伟, 卞家涛.本土市场规模与地区生产率: 对“市场范围”假说的实证检验[J]. 产业经济研究, 2014(5): 23-32.
- [7]Glaeser E L, Kahn M E. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development[J]. *Journal of Urban Economics*, 2009, 67(3): 404-418.
- [8]李宏兵, 张兵兵, 谷均怡.本土市场规模与中国能源效率提升: 基于动态面板门槛效应的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019(5): 61-70.
- [9]Herrerias M J, Cuadros A, Luo D. Foreign versus indigenous innovation and energy intensity: Further research across Chinese regions[J]. *Applied Energy*, 2016, 162: 1374-1384.
- [10]罗会军, 范如国, 罗明.中国能源效率的测度及演化分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2015(5): 54-71.
- [11]Acemoglu D, Aghion P, Bursztyn L, et al. The environment and directed technical change[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131-166.
- [12]邵帅, 张可, 豆建民.经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019(1): 36-60, 226.
- [13]杨文举.中国省份绿色技术效率的趋同测试及影响因素分析: 1998—2012年[J]. 科技管理研究, 2015(18): 225-231.
- [14]Porter M E. Clusters and the new economics of competition[M]. Watertown: Harvard Business Review, 1998.
- [15]杨浩昌, 李廉水, 张发明.制造业聚集对能源绩效的影响及区域比较研究[J]. 科研管理, 2021(5): 102-115.
- [16]Melitz M J, Ottaviano G I P. Market size, trade, and productivity[J]. *The Review of Economic Studies*, 2008, 75(1): 295-316.

-
- [17]Fogel R W,Engerman S L,Trussell J.Exploring the uses of data on height:The analysis of long-term trends in nutrition,labor welfare,and labor productivity[J].Social Science History,1982,6(4):401-421.
- [18]杨志江,朱桂龙.技术创新、环境规制与能源效率——基于中国省际面板数据的实证检验[J].研究与发展管理,2017(4):23-32.
- [19]卢飞,刘明辉,孙元元.集聚、全要素生产率与产业增长[J].科学学研究,2018(9):1575-1584,1614.
- [20]李太龙,陆敏辉,朱曼.制造业技术进步的要害偏向及其对能源强度的影响[J].统计与决策,2019(10):138-141.
- [21]Acemoglu D.Directed technical change[J].The Review of Economic Studies,2002,69(4):781-809.
- [22]李风琦,龚娟.绿色技术进步缓解雾霾污染了吗[J].湘潭大学学报(哲学社会科学版),2021(1):82-86,92.
- [23]杨莉莎,朱俊鹏,贾智杰.中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角[J].经济研究,2019(11):118-132.
- [24]Greening L A,Greene D L,Difiglio C.Energy efficiency and consumption—The rebound effect—A survey[J].Fuel and Energy Abstracts,2000,41(6):389-401.
- [25]金培振,张亚斌,邓孟平.区域要素市场分割与要素配置效率的时空演变及关系[J].地理研究,2015(5):953-966.
- [26]陆远权,张德钢.环境分权、市场分割与碳排放[J].中国人口·资源与环境,2016(6):107-115.
- [27]杨越,成力为,赵晏辰.技术进步、要素价格与区域能源效率动态演化[J].科研管理,2018(8):53-62.
- [28]刘赢时,田银华,罗迎.产业结构升级、能源效率与绿色全要素生产率[J].财经理论与实践,2018(1):118-126.
- [29]潘雄锋,彭晓雪,李斌.市场扭曲、技术进步与能源效率:基于省际异质性的政策选择[J].世界经济,2017(1):91-115.
- [30]Kremer S,Bick A,Nautz D.Inflation and growth:New evidence from a dynamic panel threshold analysis[J].Empirical Economics,2013,44(2):861-878.
- [31]Bick A.Threshold effects of inflation on economic growth in developing countries[J].Economics Letters,2010,108(2):126-129.
- [32]Arellano M,Bover O.Another look at the instrumental variable estimation of error-components models[J].Journal of Econometrics,1995,68(1):29-51.
- [33]Yeh T L,Chen T Y,Lai P Y.A comparative study of energy utilization efficiency between Taiwan and the mainland[J].Elsevier,2010,38(5):2386-2394.
- [34]Wu F,Fan L W,Zhou P,et al.Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China:A nonparametric

analysis[J].Energy Policy,2012,49:164-172.

[35]Tone K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.

[36]郭一鸣, 蔺雪芹, 王岱. 中国城市能源效率空间演化特征及影响因素——基于两阶段 Super SBM 的分析[J]. 地域研究与开发, 2020(2): 8-13, 35.

[37]史丹, 李少林. 排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证[J]. 中国工业经济, 2020(9): 5-23.

[38]单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(10): 17-31.

[39]Harris J C.Detergency evaluation and testing[J].Soil Science,1954,7(6):481.

[40]田红彬, 郝雯雯. FDI、环境规制与绿色创新效率[J]. 中国软科学, 2020(8): 174-183.

[41]姚小剑, 杨光磊, 高丛. 绿色技术进步对全要素绿色能源效率的影响研究[J]. 科技管理研究, 2016(22): 248-254.

[42]冯伟, 李嘉佳. 本土市场规模与产业升级: 需求侧引导下的供给侧改革[J]. 云南财经大学学报, 2018(10): 13-26.

[43]林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013(9): 125-136.

[44]佟家栋, 陈霄. 出口扩张、环境规制与能源效率——来自中国城市层面的经验证据[J]. 经济问题探索, 2019(6): 174-184.

[45]Weder R.Comparative home-market advantage:An empirical analysis of British and American exports[J].Review of World Economics,2003,139(2):220-247.

[46]杜克锐, 张宁. 资源丰裕度与中国城市生态效率: 基于条件 SBM 模型的实证分析[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2019(1): 65-72.