

# 贸易自由化如何影响能源消耗？

## ——基于能源节约型技术进步视角

王俊 郑卉殷 张钰洁<sup>1</sup>

**【摘要】：**贸易自由化能否降低能耗强度对我国实施高水平对外开放以及经济可持续发展均具有重要意义。本文利用中国 262 个地级市 2002–2017 年数据，构建中介效应模型检验了贸易自由化、能源节约型技术进步与能耗强度之间的关系。研究发现，贸易自由化通过能源节约型技术进步促进了能耗强度的下降并且具有明显的城市规模异质性和区域异质性。贸易自由化对中等规模城市能耗强度下降的促进作用最大，其次是大城市和小城市；对东部地区城市能耗强度下降的促进作用最大，其次是中部和西部地区。研究结论对中国贸易自由化改革、技术进步方向优化以及节能降耗具有一定的政策参考价值。

**【关键词】：**贸易自由化 能源节约型 技术进步 能源消耗

### 一、引言

改革开放以来，我国政府积极推进贸易领域改革，多方位实施贸易自由化战略。我国不仅连续多年下调关税税率，而且积极推动自由贸易区网络的建设和发展，降低各种非关税壁垒。在多哈回合谈判受挫，全球多边贸易体系遭受冲击的背景下，我国政府积极倡导 WTO 改革，主动对接高标准国际经贸规则。这些战略举措将推动中国与贸易伙伴国间的贸易与投资自由化。

贸易自由化降低了贸易成本，由此产生的出口创造效应推动了产能扩张和就业吸纳，<sup>1</sup>但也会造成能源过度消耗和生态环境恶化。据 2019 年《BP 世界能源统计》，中国能源需求持续增长，除了天然气需求增速仅次于美国之外，其他能源需求增速均处于世界领先地位。我国能源消耗激增除了与能源效率低、能源市场扭曲等因素有关之外，还与贸易自由化带动的产能扩张有着密切关系。尽管贸易自由化增加了我国能源消耗，但是否降低了中国的能耗强度还需验证。

技术进步是能耗强度改变的根本原因，但贸易自由化的技术进步效应却并不必然导致能耗数量和强度的降低。首先，技术进步对能源消耗存在回弹效应，在产出扩张带动下可能会提高能耗强度。<sup>②</sup>其次，贸易自由化并非等比例改变要素间的边际生产率，技术进步的偏向性提升了影响机制的复杂性。<sup>③</sup>如果存在能源节约型技术进步，在生产过程中能源将倾向于被更多的其他要素替代，从而降低能耗强度。反之，能源消耗型技术进步会提高能耗强度。因此，是否存在能源节约型技术进步以及程度如何成为解释能耗强度变动的核心变量。

本文实证检验了贸易自由化能否通过能源节约型技术进步降低我国能耗强度，并分析了城市规模异质性和区域异质性。本文的创新之处有以下三个方面：第一，构建贸易自由化影响能耗强度的研究框架。通过引入能源节约型技术进步，挖掘贸易自由化影响能源强度的作用机制。第二，科学测度能源节约型技术进步。构建超越对数成本方程及状态空间模型测算偏向技术进步指数，以此判断我国各地级市是否存在能源节约型技术进步。第三，实证检验贸易自由化对我国能耗强度的影响效应。

### 二、文献综述

**基金项目：**国家自然科学基金面上项目“FTA 深度化、出口产品转换与贸易利得：基于规则与产品双重异质性视角”（71973036）阶段性成果

全球贸易自由化水平提升和生态环境恶化促使学术界关注贸易自由化对环境污染和能源消耗的影响。1995 年, Grossman and Krueger 提出贸易自由化通过市场规模、技术进步与经济结构等三个传导机制影响能源消耗。“规模、技术、结构”分析范式为研究贸易自由化与能源消耗间的关系提供了较为规范的分析框架。<sup>(4)</sup>在此分析框架下, 许多学者运用各国各地区的数据进行了实证检验。Gumilang et al. 对印度尼西亚和 Alessandrini et al. 对印度的研究均发现贸易自由化促进了能源消耗量和能耗强度的增长。<sup>(5)</sup>Ghani 研究发现贸易自由化对发达国家和发展中国家能源消耗影响程度是不同的。<sup>(6)</sup>

贸易自由化会使发展中国家的能耗量和能耗强度出现增长, 但会使发达国家经济结构高端化和能耗强度下降。国内学者也展开了相关研究。张友国研究发现, 我国出口规模增长带来的规模效应促进了能源消耗增长, 技术变动降低了能源消耗, 并且技术进步效应有效地抑制了规模效应。<sup>(7)</sup>许秀梅、尹显萍发现, 在规模效应小于技术效应和结构效应之和的情况下, 贸易开放度越高, 能耗强度越低。<sup>(8)</sup>在“规模、技术、结构”分析范式下, 相关研究并没有就贸易自由化与能源消耗间的关系得到较为一致结论。

学术界普遍认为, 实证结果不一致的主要原因在于贸易自由化的规模效应和结构效应存在一定程度的不确定性, 但事实可能并非如此。贸易自由化也可能引起偏向性技术进步, 偏向要素和程度不同都影响着能耗强度的变化。希克斯认为, 倘若技术进步并非等比例地改变要素间的边际生产率, 就会出现偏向技术进步。循此思路, 学术界从资本和劳动两个维度, 界定并测度了资本偏向技术进步和技能偏向技术进步。

近年来, 这一方法拓展到能源研究领域, 一些学者考察了能源偏向技术进步及其对能源消耗和污染排放的影响。vanZon and Yetkiner 和 Gerlagh 等人在内生经济增长理论框架下引入能源节约型技术进步, 研究了能源节约型技术进步在降低碳排放中的积极作用。<sup>(9)</sup>Adeyemi and Hunt 以 15 个 OECD 国家为研究对象, 研究结果显示能源节约型技术进步的作用效果不显著, 并不像理论预期的那样能降低能源需求。<sup>(10)</sup>王班班、齐绍洲研究发现, 我国制造业的有偏技术进步对能源消耗的影响非常明显。<sup>(11)</sup>在样本期间, 能源节约型技术进步通过要素替代效应使能源强度下降 0.1685%。

在现有文献的基础上, 本文基于开放经济视角探讨贸易自由化是否会引起能源节约型技术进步并降低能耗强度。如果证实贸易自由化能够降低我国能耗强度, 将为我国进一步降低关税与非关税壁垒等贸易自由化战略提供新的理论支撑; 反之, 如果发现贸易自由化增加了能耗强度, 那么就需要重点破解我国能耗强度下降的路径, 在节能减排约束下谋求能源政策与贸易政策的协调性, 甚至可能需要重新审视我国现行的对外贸易政策。

### 三、实证研究方案

#### (一) 计量模型

为检验贸易自由化对能耗强度的影响效应, 设定如下基准回归模型:

$$EI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Tr_{it} + \delta X_{it} + \eta_i + \phi_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  代表地级市,  $t$  代表年份。被解释变量  $EI$  是能源消耗强度, 分别用单位产出能源消耗量  $EY$  和单位资本能源消耗量  $EK$  表示。 $Tr$  表示贸易自由化。 $\eta_i$ 、 $\phi_t$  分别表示地区固定效应和年份固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。模型中还包括了一系列控制变量: (1) 人口密度 ( $City$ )。已有文献指出, 人口与产业集聚所带来的技术进步效应会提升能源效率, 进而降低能耗强度及污染排放。<sup>(12)</sup>本文用城市人口与辖区面积的比值表示城市人口密度。(2) 产业结构 ( $Ind$ )。产业结构对能源强度的影响取决于产业内部能源效率的提升以及产业结构的优化。<sup>(13)</sup>本文用服务业与制造业产值之比表示产业结构。(3) 资本强度 ( $KL$ )。新技术一般要与有形的机器设备等物化资本相结合, 因此地区资本密集度越高, 技术进步越强, 出现能源节约偏向技术进步的可能性越高。本

文用各地级市人均资本存量表示资本强度。(4)城市交通基础设施(Ifr)。较为完善的交通基础设施促进了知识溢出以及生产率提升,也会引起能源消耗的下降。<sup>(14)</sup>本文用地级市人均城市道路面积表示交通基础设施状况。(5)市场竞争(Mcp)。市场竞争程度提高会约束经济主体实现最优行为选择,从而降低交易成本、激发技术创新和降低能耗强度。本文用1减去Herfindahl指数

表示市场竞争程度。计算公式为: $1 - \sum_j (\frac{E_{ij}}{E_j})^2$ ,  $E_{ij}$ 表示城市j中行业i的就业人数,  $E_j$ 是城市j所有行业加总后的总就业人数。

理论分析表明,贸易自由化有可能通过能源节约型技术进步影响能耗强度。为了识别上述传导机制的存在性,本文建立中介效应模型进行检验:

$$D_{Eit} = \gamma_0 + \gamma_1 Tr_{it} + \gamma X_{it} + \eta_i + \varphi_t + \psi_{it} \quad (2)$$

$$EI_{it} = \beta_0 + \beta_1 Tr_{it} + \beta_2 D_{Eit} + \beta X_{it} + \eta_i + \varphi_t + \zeta_{it} \quad (3)$$

模型中设置了中介变量  $D_E$  表示能源节约型技术进步。根据中介效应模型检验方法,在  $\alpha_1$  为正值、 $\gamma_1$  为正值的情况下,如果  $\beta_1$  为正值,并且  $\beta_1$  小于  $\alpha_1$ ,则说明中介效应存在。

## (二)贸易自由化的测算

本文借鉴 Topalova、Kovak 等人的研究,<sup>(15)</sup>将行业层面关税水平加权平均得到地级市层面的贸易自由化指标(Tr):

$$Tr_{it} = \sum_j \lambda_{ji,2002} Tariff_{jt} \quad (4)$$

$$\lambda_{ji,2002} = \frac{L_{ji,2002}}{\sum_j L_{ji,2002}}, L_{ji,2002} :$$

其中,  $Tariff_{jt}$  表示行业 j 在 t 年的最终产品关税。 $\lambda_{ji,2002}$  是就业权重,为城市 i 行业 j 在 2002 年的劳动力数量。就业权重用 2002 年城市 i 行业 j 的劳动力人数与该城市劳动力总数的比值表示。城市贸易自由化水平的差异源于不同的行业关税水平和初始年份就业结构。

## (三)能源节约型技术进步的测算

本文采取 Wang et al. 的方法,通过构造超越对数成本函数来测算能源节约型技术进步。<sup>(16)</sup>超越对数成本函数可表示为:

$$\ln C = \ln \beta_0 + \sum_j \beta_{1j} \ln p_j + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{2ij} \ln p_i \ln p_j + \beta_{3i} t + \gamma_i t^2 + \sum_i \gamma_i \ln p_i t \quad (5)$$

其中, i, j=K, L, E, 表示资本、劳动和能源三种要素; C 是生产总成本;  $p_i, p_j$  为要素投入价格。对成本函数求关于价格的导数,得到要素 i 投入份额  $S_i$ 。在要素份额中加入随机扰动项之后,得到要素份额方程:

$$\begin{aligned} S_K &= \beta_K + \beta_{KL} (\ln p_L - \ln p_K) + \beta_{KE} (\ln p_E - \ln p_K) + \gamma_{Kt} + \epsilon_{Kt} \\ S_L &= \beta_L + \beta_{LK} (\ln p_K - \ln p_L) + \beta_{LE} (\ln p_E - \ln p_L) + \gamma_{Lt} + \epsilon_{Lt} \\ S_E &= \beta_E + \beta_{EK} (\ln p_K - \ln p_E) + \beta_{EL} (\ln p_L - \ln p_E) + \gamma_{Et} + \epsilon_{Et} \end{aligned} \quad (6)$$

将要素份额方程构成联立方程组，运用似不相关估计(SUR)得到  $\gamma_K, \gamma_L, \gamma_E$  参数值。在此基础上，建立多变量状态空间模型计算各城市各年度的能源节约型技术进步指数  $D_E$ 。本文以中国 262 个地级市 2002-2017 年的数据为样本，相关数据来自《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。

四、实证结果分析

(一)贸易自由化影响能耗强度的基准回归结果

本文采用逐步回归方法考察贸易自由化对能耗强度的影响。表 1 中的第(1)列和第(2)列分别为没有加入控制变量和加入控制变量的估计结果。为了克服异方差问题，第(3)列和第(4)列分别加入城市固定效应和时间固定效应。从估计结果来看，贸易自由化参数值均为正值且通过显著性检验。

这在一定程度上证实了以关税减让为代表的贸易自由化措施有利于降低能耗强度，但未能揭示贸易自由化通过怎样的机制或路径影响能耗强度。城市人口密度参数值为显著的负值，说明城市经济集聚可以通过技术进步、资源共享等途径降低能耗强度。产业结构参数值估计结果不显著。原因可能是我国服务业相对低端，对能耗强度的影响效应还没有充分显现出来。资本强度、城市基础设施和市场竞争的参数值都显著为负，说明资本深化、城市基础设施完善和市场竞争程度上升推动着我国能耗强度的下降。

表 1 贸易自由化与能耗强度：基准回归结果

| 变量         | (1)                 | (2)                   | (3)               | (4)                   |
|------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| 贸易自由化(Tr)  | 0.0166***<br>(3.34) | 0.0408***<br>(4.12)   | 0.0872*<br>(1.96) | 0.1056**<br>(2.09)    |
| 人口密度(City) |                     | -0.1185*<br>(1.83)    |                   | -0.2170**<br>(2.39)   |
| 产业结构(Ind)  |                     | -0.1161<br>(-0.42)    |                   | -0.2567<br>(-1.08)    |
| 资本强度(KL)   |                     | -0.8221**<br>(-2.10)  |                   | -0.2924***<br>(4.87)  |
| 基础设施(Ifr)  |                     | -0.9449***<br>(-4.11) |                   | -0.4654**<br>(-2.36)  |
| 市场竞争(Mcp)  |                     | -0.2481***<br>(-3.61) |                   | -0.1827***<br>(-5.97) |
| 常数项        | 是                   | 是                     | 是                 | 是                     |
| 城市效应       | 否                   | 否                     | 是                 | 是                     |
| 时间效应       | 否                   | 否                     | 是                 | 是                     |
| 观测值        | 3733                | 3184                  | 3705              | 3184                  |

|       |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| $R^2$ | 0.7520 | 0.5320 | 0.4192 | 0.6601 |
|-------|--------|--------|--------|--------|

## (二)贸易自由化影响能耗强度的传导机制回归结果

根据模型(1)–(3)考察传导机制的存在性。前2列报告了贸易自由化与能源节约型技术进步之间关系的检验结果。在以能源节约型技术进步为被解释变量的回归检验中,估计出的关税参数值均为显著的正值。结果显示,贸易自由化促进了能源节约型技术进步。后4列报告了加入中介变量之后的估计结果。

得到的关税回归系数 $\beta_1$ 分别为0.0166、0.0384、0.0872、0.1035,并且大部分显著。与基准回归模型中的系数估计值 $\alpha_1$ 相比,除了第(5)列的 $\beta_1$ 与 $\alpha_1$ 没有差异之外,其他三列 $\beta_1$ 的均小于 $\alpha_1$ ,但差距仅为2%左右。该结果一定程度上印证了能源节约型技术进步确实是贸易自由化促进能耗强度下降的一个重要渠道。

## (三)异质性检验

### 1. 城市规模异质性

按照《国家新型城镇化规划(2014–2020年)》对城市的分类标准,人口在500万以上的城市为大城市、人口在100万–500万的城市为中等城市、人口100万以下的城市为小城市。可知,关税及能源节约型技术进步的参数值均为显著的正值且小于基准模型中的 $\alpha_1$ ,这表明能源节约型技术进步确实是大中小城市贸易自由化降低能耗强度的一个重要渠道。研究还发现,贸易自由化对中等城市能耗强度下降的促进作用最大,其次是大城市和小城市。<sup>(17)</sup>

贸易自由化对大城市能耗强度的影响效应并不是最大的,这可能缘于集聚效应和拥挤效应之间的力量对比。大城市经济活动集聚,通过产业关联效应、技术溢出与学习效应等途径促进生产效率的提升。但大城市经济集聚到一定程度之后,可能存在拥挤效应,导致生产效率下降,从而引起贸易自由化对能耗强度影响效应的弱化。

### 2. 区域异质性

我国东部、中部及西部地区不仅经济发展水平和贸易开放度差异较大,而且能源约束条件和能源效率也存在较大差异。列出了基于区域异质性检验贸易自由化影响能耗强度传导机制的回归结果。东部、中部和西部地区的关税及能源节约型技术进步的参数值均为显著的正值,说明在三个区域中贸易自由化均推动了能源节约型技术进步。东部地区回归系数 $\beta_1$ 为0.0176,中部地区为0.0168,西部地区为0.0138。

根据基准回归模型(1)得到的东部地区回归系数 $\alpha_1$ 为0.0364,中部地区为0.0273,西部地区为0.0178。三大区域的 $\beta_1$ 均小于 $\alpha_1$ ,说明贸易自由化通过能源节约型技术进步影响能耗强度的传导机制在三大区域均是存在的。贸易自由化对东部地区能耗强度下降的促进作用最大,其次是中部和西部地区。<sup>(18)</sup>对于经济发达的东部地区,贸易自由化导致能源强度下降有三个原因:

第一,贸易自由化伴随着经济结构调整,大量的生产环节向中西部地区转移,产业结构向高端制造、现代服务业转变,能源消耗量以及能耗强度随之下降。第二,由于资本–能源间存在较高的替代弹性,即能源与其他要素之间存在着外部替代关系,随着资本强度的提高,能耗强度也随之下降。东部地区具有相对较高的资本强度,促进了能耗强度的下降。第三,东部地区技术基础雄厚,技术效率以及技术进步水平较高,也会促进能源强度的下降。

## (四)稳健性检验

稳健性检验有三个方面的改进：第一，解决贸易自由化的内生性问题。以关税数据为基础度量的地区贸易自由化水平内生性并不突出。但是，关税税率的调整可能受到国家关系、政治集团游说等冲击，这种政策冲击在一定程度上也会影响到国内产出以及能耗强度，进而产生内生性问题。在实证检验中，需要通过工具变量法克服贸易自由化的内生性问题。

本文在何冰、周申和戴觅等的研究基础上，<sup>(19)</sup>采用地级市层面某一初始年份(2001 年)的加权水平关税作为城市贸易自由化的工具变量。初始年份关税水平越高意味着关税下降幅度就可能越大，这样关税水平能够对关税削减起到很好的预期作用。<sup>(20)</sup>用初始年份的关税水平作为关税削减或贸易自由化水平的工具变量已被广泛应用。

第二，偏向技术进步的重新设置问题。能源节约型技术进步能直接影响能耗强度的变化，资本增强型技术进步和劳动节约型技术进步则可能对能耗强度产生间接影响。因此，本文还需要分别用资本增强型技术进步和劳动节约型技术进步指数进行稳健性检验。<sup>(21)</sup>第三，能耗强度的重新度量问题。本文选用单位资本能源消耗量(EK)作为能耗强度的工具变量。

应用工具变量法的全样本估计结果列于表 2 的第(1)列。估计出的贸易自由化以及能源节约型技术进步参数值均显著为正，的结果差距不大。通过此结果我们可以稳健地得出贸易自由化及能源节约型技术进步对于降低能耗强度起到了积极促进作用。

估计出的资本增强型技术进步参数值为显著的负值，这表明资本增强型技术进步有助于降低能耗强度。最后一列是单位资本能源消耗量(EK)为被解释变量的估计结果，估计出的贸易自由化以及能源节约型技术进步参数值均显著为正。结果与第(1)列较为接近，说明贸易自由化及能源节约型技术进步对于降低单位资本能源消耗量起到了积极促进作用。

表 2 稳健性检验结果

| 变量                         | EY                |                     |                     | EK                  |
|----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            | (1)               | (2)                 | (3)                 | (4)                 |
| 贸易自由化(Tr)                  | 0.0725*<br>(1.89) | 0.0013***<br>(6.93) | 0.0069***<br>(3.10) | 0.0078***<br>(3.48) |
| 能源节约型技术进步(D <sub>e</sub> ) | 0.0207*<br>(1.82) |                     |                     | 0.0163*<br>(1.79)   |
| 资本增强型技术进步(D <sub>k</sub> ) |                   |                     | -0.0162*<br>(-1.76) |                     |
| 劳动节约型技术进步(D <sub>l</sub> ) |                   | 0.0502<br>(0.40)    |                     |                     |
| 控制变量                       | 是                 | 是                   | 是                   | 是                   |
| 常数项                        | 是                 | 是                   | 是                   | 是                   |
| 城市效应                       | 是                 | 是                   | 是                   | 是                   |
| 时间效应                       | 是                 | 是                   | 是                   | 是                   |
| R <sup>2</sup>             | 0.4964            | 0.4347              | 0.6558              | 0.6484              |

## 五、结论

在经济全球化浪潮的席卷下，商品与劳务日益频繁地跨境交易，推动着全球贸易自由化程度的加深。贸易自由化是否会推动污染产业转至发展中国家，导致这些国家能源消耗和污染排放过度增长？这引起了众多研究者的担心。基于“规模、技术、结构”分析范式的相关研究探讨了贸易自由化影响能源消耗的传导机制和影响效应，但其假定技术进步中性，没有考虑技术进步可能出现的方向性变化，造成各种实证结果相互矛盾。

在此背景下，本文从能源偏向技术进步视角，考察了贸易自由化的能源效应。实证研究发现，贸易自由化及能源节约型技术进步有助于降低能耗强度，贸易自由化通过能源节约型技术进步对能耗强度降低的促进作用也是存在的，并且贸易自由化对能耗强度的影响效应还存在较为显著的城市规模异质性及区域异质性。

本文研究结果蕴含的政策启示包括三个方面：第一，推动新一轮的贸易自由化战略。着力破除贸易自由化和便利化的体制机制障碍，包括改革对外投资管理体制、放宽外商投资的市场准入、落实准入前的国民待遇、增强投资主体权利；以自由贸易区建设为突破点，加快国际国内规则的对接，逐步构建起面向全球的高标准自由贸易区网络。

第二，加快能源节约型技术进步。我国各级政府应逐步建立与绿色 R&D 相匹配的科技政策体系，特别是要为降低环境污染、促进绿色发展设立专门的财政补贴以及税收优惠计划，鼓励企业开发出更多的能源节约型技术。同时，积极引进提高能源效率的先进设备和管理经验，以及发挥 FDI 及国际贸易的技术溢出效应，推动能源节约型技术进步。

第三，采用多种举措降低能耗强度。一方面，优化能源消费结构，降低化石燃料的消耗量。我国应加快太阳能、风能、生物能等新型清洁能源开发，扩大新能源的市场应用范围，降低对煤炭、石油等化石燃料的依赖度。另一方面，充分发挥市场竞争机制的作用，引导企业淘汰落后产能以及高污染和高能耗的产能，增加节能环保型产业投资，实现降低能耗与产业升级的双赢目标。

### 注释：

1 C. Beverellc, S. Neumueller and R. Teh, “Export Diversification Effects of the WTO Trade Facilitation Agreement,” World Development, Vol. 76, 2015, pp. 293-310. 毛其淋：《贸易自由化与异质性企业生产效率变动：来自中国制造业的微观证据》，《当代经济科学》2015 年第 1 期。

2 林伯强、杜克锐：《理解中国能源强度的变化：一个综合的分解框架》，《世界经济》2014 年第 4 期。

3 D. Acemoglu, “Directed Technical Change,” The Review of Economic Studies, Vol. 69, No. 4, 2002, pp. 781-809; J. Linn, “Energy Prices and the Adoption of Energy-saving Technology,” CEEPR Working Paper, 2006, No. 6.

4 G. M. Grossman and A. B. Krueger, “Economic Growth and the Environment,” Quarterly Journal of Economics, Vol. 110, No. 2, 1995, pp. 353-377.

5 H. Gumilang, K. Mukhopadhyay and P. J. Thomassin, “Economic and Environmental Impacts of Trade Liberalization: The Case of Indonesia,” Economic Modelling, Vol. 28, No. 3, 2011, pp. 1030-1041. M. Alessandrini, B. Fattouh and B. Ferrarini, “Tariff Liberalization and Trade Specialization: Lessons from India,” Journal of Comparative Economics, Vol. 39, No. 4, 2011, pp. 499-513.

---

6 G.M.Ghani, “Does Trade Liberalization Effect Energy Consumption?” *Energy Policy*, Vol. 43, No. 2, 2012, pp. 285–290.

7 张友国:《中国贸易增长的能源环境代价》,《数量经济技术经济研究》2009 年第 1 期。

8 许秀梅、尹显萍:《贸易开放、对外出口对能源消费的影响——基于 2000~2013 年我国省级面板数据的研究》,《国际商务(对外经济贸易大学学报)》2016 年第 3 期。

9 A. van Zon and I.H.Yetkiner, “An Endogenous Growth Model with Embodied Energy-saving Technical Change,” *Resource and Energy Economics*, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 81–103. R.A.Gerlagh, “Climate-change Policy Induced Shift from Innovations in Carbon-energy Production to Carbon-energy Savings,” *Energy Economics*, Vol. 30, No. 2, 2008, pp. 425–448.

10 O.I.Adeyemi and L.C.Hunt, “Modelling OECD Industrial Energy Demand:Asymmetric Price Responses and Energy-saving Technical Change,” *Energy Economics*, Vol. 29, No. 4, 2007, pp. 693–709.

11 王班班、齐绍洲:《有偏技术进步、要素替代与中国工业能源强度》,《经济研究》2014 年第 2 期。

12 陆铭、冯皓:《集聚与减排:城市规模差距影响工业污染强度的经验研究》,《世界经济》2014 年第 7 期。F.Han,R.Xie and J.Y.Fang, “Urban Agglomeration Economies and Industrial Energy Efficiency,” *Energy*, Vol. 1, 2018, pp. 45–59. 郭劲光、孙浩:《中国制造产业专业化集聚比多样化集聚更有利于提高能源效率吗?》,《南京审计大学学报》2019 年第 4 期。

13 杨刚强、李梦琴:《财政分权、政治晋升与能源生态效率提升》,《宏观经济研究》2018 年第 8 期。

14 师博、沈坤荣:《政府干预、经济集聚与能源效率》,《管理世界》2013 年第 10 期。

15 P.Topalova, “Trade Liberalization,Poverty and Inequality:Evidence from Indian Districts,” NBER Working Paper, 2005, No. 11614. B.Kovak, “Regional Effects of Trade Reform:What is the Correct Measure of Liberalization?” *American Economic Review*, Vol. 103, No. 5, 2013, pp. 1960–1976.

16 J.Wang, C.Wang and X.Wan, “Trade Liberalization,Energy-saving Technological Change and Energy Intensity:Some Empirical Evidence from China,” *Contemporary Economic Policy*, Vol. 39, No. 5, 2020, pp. 1–12.

17 大城市、中等城市和小城市样本中估计出的贸易自由化参数值  $\beta_1$  相对于  $\alpha_1$  分别下降了 37%、50%和 36%。因此,贸易自由化对中等城市能耗强度下降的促进作用最大,其次是大城市和小城市。

18 东部地区、中部地区和西部地区样本中估计出的贸易自由化参数值  $\beta_1$  相对于  $\alpha_1$  分别下降了 51%、38%和 22%。因此,贸易自由化对东部地区城市能耗强度下降的促进作用最大,其次是中部地区和西部地区。

19 何冰、周申:《贸易自由化与就业调整空间差异:中国地级市的经验证据》,《世界经济》2019 年第 6 期。戴觅、张轶凡、黄炜:《贸易自由化如何影响中国区域劳动力市场?》,《管理世界》2019 年第 6 期。

20 P.Topalova, “Factor Mobility and Regional Impacts of Trade Liberalization:Evidence on Poverty from India,” *American Economic Journal:Applied Economics*, 2010, Vol. 2, No. 4, pp. 1–41.

---

21 在测度能源节约型技术进步时可以得到资本增强型技术进步指数 (DK) 与劳动节约型技术进步指数 (DL)。