

DOI: 10.13504/j.cnki.issn1008-2700.2023.02.002

# “一带一路”沿线国家能源强度降低的关键因素识别及实现路径研究

孙祥栋<sup>1,2</sup>, 周瑛琦<sup>1</sup>, 王璇<sup>1</sup>

(1. 北京化工大学 经济管理学院, 北京 100029;  
2. 北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心, 北京 100011)

**摘要:** 提高能源利用效率, 降低能源强度是推动绿色“一带一路”建设的必由之路。在理论分析的基础上, 基于2000—2019年“一带一路”沿线国家面板数据, 融合LMDI分解法和计量模型开展实证研究。结果表明: (1) 国家能源强度是“一带一路”沿线国家整体能源强度降低的关键, 国别增长结构抑制了整体能源强度的降低; (2) 沿线国家能源相对价格的提高在整体上降低了国家能源强度水平, 且存在区域禀赋差异, 东亚和太平洋地区、中东和北非地区、能源进口国家能源相对价格提升的能源强度降低效应更显著; (3) 空间互动方面, 能源相对价格提高在降低本国能源强度的同时会提升邻国能源强度; (4) 数字化水平调节方面, 数字化基础设施建设强化了能源相对价格提升的能源强度降低效应。

**关键词:** 能源强度; 能源相对价格; 数字化水平; 空间效应; 绿色“一带一路”

**中图分类号:** F206; F113 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-2700 (2023) 02-0015-15

## 一、问题提出

2013年, 中国国家主席习近平提出建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的合作倡议。共建“一带一路”旨在推动沿线各国实现经济政策协调, 开展更大范围、更高水平、更深层次的区域合作, 共同打造开放、包容、均衡、普惠的区域经济合作架构, 实现沿线各国多元、自主、平衡的可持续发展。2019年, 习近平主席在第二届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上发表题为《齐心开创共建“一带一路”美好未来》的主旨演讲, 提出“把绿色作为底色, 推动绿色基础设施建设、绿色投资、绿色金融”“同各方共建‘一带一路’可持续城市联盟、绿色发展国际联盟”<sup>[1]</sup>。2021年“一带一路”亚太区域国际合作高级别会议期间, 阿富汗、孟加拉国、文莱、柬埔寨、智利、中国等国家共同发起“一带一路”绿色发展伙伴关系倡议。“一带一路”合作范围不断扩大, 为世界各国发展带来巨大机遇, 同时也成为推动绿色发展交流与合作、促进生态可持续发展的重要力量。为实现“一带一路”倡议的目标,

收稿日期: 2022-06-21; 修回日期: 2022-12-10

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“‘一带一路’投资安全保障体系研究”(19ZDA100); 北京市社会科学基金项目“中国新型城镇化发展的丰富内涵和世界意义”(21LLYJB103); 中央高校基本科研业务费专项资金“区域发展异质性视角下全球能源强度降低的动因分析: 理论机制与实证识别”(buctrc201932); 北京化工大学一流学科建设专项资金项目(XK1802-5)

作者简介: 孙祥栋(1986—), 男, 北京化工大学经济管理学院教授; 周瑛琦(1993—), 女, 北京化工大学经济管理学院硕士研究生; 王璇(1968—), 女, 北京化工大学经济管理学院副教授, 通信作者。

顺应国际发展趋势,“一带一路”沿线国家绿色发展研究得到国内外学者的广泛关注<sup>[2]</sup>。“一带一路”沿线发展中国家居多,工业化、城市化仍处于快速发展阶段<sup>[3]</sup>,能源消费旺盛。提高能源利用效率,降低能源强度,可以突破能源稀缺性的限制,促进沿线各国经济持续发展<sup>[4]</sup>,是推动绿色“一带一路”建设的必由之路<sup>[5]</sup>。

## 二、文献述评

能源强度即每生产一单位国内生产总值(GDP)所消耗的能源水平。聚焦“一带一路”沿线国家能源强度问题,近年来相关研究主要有以下几方面的探索:一是对能源强度/效率的统计分析,如岳立等(2019)评价了“一带一路”国家能源利用效率,针对能源利用效率与经济增长的脱钩关系进行实证分析<sup>[4-5]</sup>;二是能源强度/效率趋同研究,如韩等人(Han et al., 2018)认为“一带一路”倡议通过贸易一体化和区域合作影响能源效率趋同<sup>[6]</sup>;三是少数研究探索了金融、收入和投资等影响因素对“一带一路”沿线国家能源强度变化的影响效应<sup>[7-9]</sup>,然而目前尚没有研究系统挖掘影响“一带一路”沿线国家能源强度变化的关键因素。

作为能源使用效率的重要测度指标,能源强度的大小及变化趋势事关能源消费总量、碳排放水平以及可持续发展能力<sup>[10]</sup>,绝大多数文献基于分解法测度不同影响因素对能源/电力强度变化的贡献<sup>[11]</sup>。分解法模型可以划分为结构分解分析(SDA)和指数分解分析(IDA)这两大类<sup>[12]</sup>。结构分解分析对基础数据的要求较高,以投入产出表为基础,可以更为细致地区分被分解变量的影响因素,如里昂惕夫效应(Leontief effect)和最终需求结构效应(final demand structure effect)。IDA只需要加总的总量数据,应用的灵活性更强,可以从年度甚至月度的时间维度上捕捉不同影响因素贡献的比例变化<sup>[13]</sup>。此外,在特定的假设前提下,两类分解方法可以相互推导转换<sup>[14]</sup>。相关实证分析中,诸多研究测度了不同国家不同时间段的能源强度变化,如美国(1985—2010年)<sup>[15]</sup>、澳大利亚(1978—2009年)<sup>[16]</sup>、加拿大(1990—2004年)<sup>[17]</sup>等。近年来中国能源强度降幅显著快于全球平均水平<sup>①</sup>,这引起了国内外学术界的广泛关注,基于分解法并以中国为研究样本的实证分析相对更为丰富<sup>[18-20]</sup>。

尽管当前以SDA和IDA为代表的分解法在能源强度影响因素领域的实证分析结果均具有稳健性<sup>[21]</sup>,且以对数均值迪氏分解法(LMDI)为代表的IDA方法被广泛应用,但仍有学者指出分解法理论基础存在遗漏核心变量等重大缺陷<sup>[22]</sup>。其中,诸多学者认为能源价格是影响能源强度变化的一个重要因素<sup>[23-24]</sup>,相对于其他生产要素的能源相对价格上升会引致新的能源消费技术创新,减少能源需求从而降低能源强度<sup>[25-26]</sup>。诸多研究以计量经济学为基础,进一步测度了能源价格变动等因素对能源强度的影响<sup>[27]</sup>。由于能源价格数据缺失的限制,多数实证分析以单个国家为样本展开。如有研究以加拿大分行业产出以及燃料价格指数数据为基础,测度了价格变动影响不同产业部门能源强度变化的作用机制<sup>[28]</sup>。有研究以美国为样本论证了能源价格对能源强度的负向影响作用<sup>[22,29]</sup>。少数多国别的相关实证中,有研究以布伦特原油价格作为能源价格的代理变量,将影响机制解释为短期影响和长期影响进一步开展实证,测度了不同国家/地区之间的影响效果差异<sup>[30]</sup>;有研究应用合成控制法,通过构造“反事实”指出拉丁美洲国家中经济增长与能源价格等变量是能源强度变化的决定因素<sup>[31]</sup>;有研究应用经济合作与发展组织(OECD)成员国样本论证了能源价格之于能源效率的重要作用,并指出在不同国家其影响作用存在较大差异<sup>[32]</sup>。

通过梳理文献,本文发现能源强度和能源效率研究领域在以下两个方面有待进一步深化:(1)以分解法为基础的实证研究多从分产业的角度进行分解,少有从分区域角度进行探究,从分国别视角进行分解的研究则更为稀少。而分区域、分国别的研究分析视角是理解能源效率提升过程中区域责任、国别责任的重要基础。(2)能源价格是影响能源强度变化不可忽略的因素,但以计量方法为基础的相关研究难以实现“跨国别、大时序”的实证比较,主要原因在于难以找到适应“跨国别、大时序”且可对比的能

① 如1990年以来,中国能源强度累计降幅超过70%,同期全球能源强度降幅仅为36%。

源价格的度量指标。同时,从“一带一路”研究领域看,虽然降低能源强度、提升能源效率对“一带一路”高质量发展的意义重大,但对“一带一路”沿线国家的能源强度进行分析的系统研究仍较为匮乏。

为探究影响“一带一路”沿线国家能源强度变化的关键因素,分析能源使用效率提升的实现途径,丰富分国别视角下能源强度驱动因素研究,本文基于2000年以来“一带一路”沿线国家<sup>①</sup>的面板数据进行实证分析。首先,使用分国别LMDI框架,将“一带一路”沿线国家整体能源强度分解为国家能源强度和国别增长结构这两个因素。相对于分行业LMDI框架,分国别LMDI框架可以更为有效地明确沿线整体能源强度降低的国别责任<sup>[33]</sup>。其次,为解释国家能源强度的变动原因,本文在构建“一带一路”沿线国家能源价格测度指标的基础上,根据成本生产函数深入探讨了能源相对价格提高的国家能源强度降低效应。最后,本文进一步讨论了“一带一路”沿线国家区域禀赋差异、空间互动关系、数字化时代特征等权变特征下能源相对价格如何影响国家能源强度。本文不仅为“一带一路”绿色发展的实现逻辑提供了依据,而且还为“一带一路”沿线国家区域经济合作和能源治理,以及中国如何深化并引领“一带一路”绿色发展提供决策参考。

### 三、研究设计

借鉴已有研究<sup>[34-35]</sup>和中国一带一路网(<https://www.yidaiyilu.gov.cn/jcsjpc.htm>)的界定,并考虑数据的可获得性,本文选取“一带一路”沿线包括中国在内的58个国家作为研究样本。按照世界银行的分类,这58个国家分属4个区域,其中东亚和太平洋地区包含中国、文莱、印度尼西亚、柬埔寨、缅甸、蒙古国、马来西亚、菲律宾、新加坡、泰国、越南11国;欧洲和中亚地区包括阿尔巴尼亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、保加利亚、波黑、白俄罗斯、捷克、爱沙尼亚、格鲁吉亚、克罗地亚、匈牙利、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、立陶宛、拉脱维亚、摩尔多瓦、黑山、波兰、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、土耳其、乌克兰、乌兹别克斯坦28国;中东和北非地区包括阿联酋、巴林、埃及、伊朗、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、叙利亚、也门14国;南亚包括孟加拉国、印度、斯里兰卡、尼泊尔、巴基斯坦5国。总体来看,2011年后“一带一路”沿线国家经济产出、能源消费占世界的比重均超过50%,在全球经济增长和能源治理大格局中具有举足轻重的地位。考虑到2000年之后“一带一路”沿线国家的认定在这一时期较为统一明确,因此,本文将研究样本的时间段确定为2000—2019年。

#### (一) 分国别LMDI分解方法

本文首先基于IDA法对“一带一路”沿线国家整体能源强度进行分解。IDA法中LMDI分解方法的结果不产生余值,且最为稳健<sup>[36-37]</sup>,同时由于收敛性强以及结果便于解释等优势而得到了广泛的应用。“一带一路”沿线国家的总体能源强度可以表示为:

$$EI = \frac{E}{Q} = \frac{\sum_i E_i}{Q} = \sum_i \frac{E_i}{Q_i} \frac{Q_i}{Q} = \sum_i I_i S_i \quad (1)$$

其中, $E$ 为“一带一路”沿线国家的能源消费总量, $Q$ 为“一带一路”沿线国家总产出, $E_i$ 为沿线*i*国能源消费水平, $Q_i$ 为*i*国经济产出。则 $I_i$ 为*i*国能源强度, $S_i$ 为*i*国经济产出占“一带一路”沿线国家总产出的比重。

将 $t_0$ 到 $t_1$ 时期“一带一路”沿线国家总体能源强度变化记为 $\Delta EI$ ,由式(2)可知 $\Delta EI$ 主要受国别增长结构 $\Delta EI_s$ 和国家能源强度 $\Delta EI_i$ 的影响。国别增长结构 $\Delta EI_s$ 测度了“一带一路”沿线各国由于经济

<sup>①</sup> 受数据可得性限制,2000—2019年包含58个国家样本数据,尽管如此,与已有研究相对比,本文所覆盖的样本仍然是较为完整的。

增速不同对沿线总体能源强度的影响, 国家能源强度  $\Delta EI_i$  测度了“一带一路”沿线各国由于本国能源强度变化对沿线总体能源强度的影响。

$$\Delta EI = \frac{\sum_i E_i^{t_1}}{Q^{t_1}} - \frac{\sum_i E_i^{t_0}}{Q^{t_0}} = \Delta EI_s + \Delta EI_i \quad (2)$$

$\Delta EI_s$ 、 $\Delta EI_i$  分别通过式 (3) 和式 (4) 计算:

$$\Delta EI_s = \sum_i \frac{\frac{E_i^{t_1} - E_i^{t_0}}{Q^{t_1} - Q^{t_0}} \ln \frac{S_i^{t_1}}{S_i^{t_0}}}{\ln \frac{E_i^{t_1}}{Q^{t_1}} - \ln \frac{E_i^{t_0}}{Q^{t_0}}} = \sum_i \frac{\frac{E_i^{t_1} - E_i^{t_0}}{Q^{t_1} - Q^{t_0}} \ln \frac{1 + r_{Q_i}}{1 + r_Q}}{\ln \frac{E_i^{t_1}}{Q^{t_1}} - \ln \frac{E_i^{t_0}}{Q^{t_0}}} \quad (3)$$

$$\Delta EI_i = \sum_i \frac{\frac{E_i^{t_1} - E_i^{t_0}}{Q^{t_1} - Q^{t_0}} \ln \frac{I_i^{t_1}}{I_i^{t_0}}}{\ln \frac{E_i^{t_1}}{Q^{t_1}} - \ln \frac{E_i^{t_0}}{Q^{t_0}}} = \sum_i \frac{\frac{E_i^{t_1} - E_i^{t_0}}{Q^{t_1} - Q^{t_0}} \ln \frac{1 + r_{E_i}}{1 + r_{Q_i}}}{\ln \frac{E_i^{t_1}}{Q^{t_1}} - \ln \frac{E_i^{t_0}}{Q^{t_0}}} \quad (4)$$

其中,  $r_{Q_i}$ 、 $r_{E_i}$  分别表示  $t_0$  至  $t_1$  时间段内  $i$  国经济产出增速和能源消费增速。

### (二) 国家能源强度影响模型

通过式 (4) 可以计算得出国家能源强度变化对“一带一路”沿线国家能源强度整体变化的贡献水平, 但各国能源强度变化的影响因素众多, 需要进一步开展理论分析与实证探讨。基于柯布-道格拉斯生产函数并借鉴前期研究<sup>[28,38]</sup>, 在规模报酬不变的假定下, 本文通过典型厂商成本对数函数推导, 建立能源强度影响因素模型。生产函数中主要包括资本  $K$ 、劳动  $L$ 、能源  $E$  以及原材料  $M$  等生产要素, 则  $i$  国的成本生产函数通过下式表示:

$$C_i = C(P_{i,K}, P_{i,L}, P_{i,E}, P_{i,M}, Q_i; A_i^{-1}) = A_i^{-1} P_{i,K}^{\alpha_{i,K}} P_{i,L}^{\alpha_{i,L}} P_{i,E}^{\alpha_{i,E}} P_{i,M}^{\alpha_{i,M}} Q_i \quad (5)$$

其中,  $C_i$  为  $i$  国生产成本,  $Q_i$  表示  $i$  国经济产出,  $P_{i,K}$ 、 $P_{i,L}$ 、 $P_{i,E}$ 、 $P_{i,M}$  分别为资本、劳动、能源以及原材料等投入品价格,  $\alpha_{i,K}$ 、 $\alpha_{i,L}$ 、 $\alpha_{i,E}$ 、 $\alpha_{i,M}$  分别表示各投入要素的弹性水平,  $A_i$  用来测度技术进步。依据谢泼德引理 (Shephard's Lemma), 可以得出各个国家的能源需求总量  $E_i$ :

$$E_i = \frac{\alpha_{i,E} A_i^{-1} P_{i,K}^{\alpha_{i,K}} P_{i,L}^{\alpha_{i,L}} P_{i,E}^{\alpha_{i,E}} P_{i,M}^{\alpha_{i,M}} Q_i}{P_{i,E}} \quad (6)$$

参照甘特撒 (Gantessa, 2018)<sup>[28]</sup> 以及徐建中和王曼曼 (2018)<sup>[39]</sup> 的研究,  $P_{i,K}^{\alpha_{i,K}} P_{i,L}^{\alpha_{i,L}} P_{i,E}^{\alpha_{i,E}} P_{i,M}^{\alpha_{i,M}}$  表示全社会产出的平均价格水平, 记为  $P_{i,Y}$ , 也即:

$$P_{i,Y} = P_{i,K}^{\alpha_{i,K}} P_{i,L}^{\alpha_{i,L}} P_{i,E}^{\alpha_{i,E}} P_{i,M}^{\alpha_{i,M}} \quad (7)$$

则  $i$  国能源强度  $I_i$  可以表示为:

$$I_i = \frac{E_i}{Q_i} = \frac{\alpha_{i,E} A_i^{-1} P_{i,Y}}{P_{i,E}} \quad (8)$$

对上式两边取对数, 可以得出能源强度影响因素模型:

$$\ln I_i = \alpha + \beta \ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} + \gamma \ln A_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

进一步借鉴已有研究<sup>[40-41]</sup> 的变量选择, 引入产业结构和人口密度作为实证分析的控制变量, 分别用  $Ind_i$ 、 $Pop_i$  表示:

$$\ln I_i = \alpha + \beta \ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} + \gamma \ln A_i + \delta Ind_i + \theta Pop_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

能源相对价格水平  $\frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$  进一步通过下式进行测度:

$$\frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} = \frac{\frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} \times \frac{Energy_{i,production}}{Economy_{i,output}}}{\frac{Energy_{i,production}}{Economy_{i,output}}} = \frac{P_{i,E} \times Energy_{i,production}}{P_{i,Y} \times Economy_{i,output}} \quad (11)$$

$Energy_{i,production}$  和  $Economy_{i,output}$  分别为  $i$  国物理量的能源产出和经济产出,  $\frac{P_{i,E} \times Energy_{i,production}}{P_{i,Y} \times Economy_{i,output}}$  表示  $i$  国价值量的能源产出和经济产出之比。

(三) 变量定义与数据来源

本文选取 2000—2019 年“一带一路”沿线国家中 58 个国家的面板数据为样本进行实证分析, 主要变量定义如表 1 所示。

表 1 主要变量定义表

变量类型	变量名称	变量符号	衡量方式
被解释变量	国家能源强度	$\ln I_i$	以能源消费与 GDP (2015 不变价) 比重加 1 取对数衡量
解释变量	能源相对价格	$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	由能源生产、GDP (2015 不变价)、煤炭租金占比、石油租金占比、天然气租金占比计算得出
控制变量	技术进步	$growth_i$	由人口总数、GDP (2015 不变价) 计算得出
	产业结构	$industry_i$	以工业增加值占比衡量
	人口密度	$popden_i$	以每公里土地面积人数衡量
调节变量	数字化基础设施	$ldiginf_i$	以每百万人使用安全互联网服务器数量的对数衡量

在本文实证所使用的原始数据中, “一带一路”沿线各国 GDP<sup>①</sup>、能源消费、能源生产、人口总数等数据均来源于国际能源组织 (IEA) 数据库, 煤炭租金占比、石油租金占比、天然气租金占比、工业增加值占比、人口密度以及安全互联网服务器等数据均来源于世界银行数据库。

主要变量的描述性统计详见表 2。

表 2 主要变量的描述性统计

变量	观察值	平均值	标准差	最小值	最大值
国家能源强度	1 079	2.154 3	0.473 8	0.603 9	3.835 3
能源相对价格	1 107	2.488 0	1.488 3	0	5.446 1
技术进步	1 104	3.468 4	3.860 3	-15.079 4	27.923 8
产业结构	1 120	32.662 3	13.031 8	10.208 9	84.796 0
人口密度	1 160	273.876 7	934.987 3	1.543 2	8 044.526 0
数字化基础设施	1 160	0.391 4	0.343 8	0	0.693 1

四、实证分析

本文首先利用分国别 LMDI 分解方法对 2000—2019 年“一带一路”沿线国家整体能源强度变化进行分析, 并进一步考察影响“一带一路”沿线整体能源强度降低的国别差异; 然后依据构建的国家能源强

① 按购买力平价 (PPP) 计算, 以 2015 年不变价美元计。

度影响模型对“一带一路”沿线国家整体能源强度降低的关键因素的降低动因进行实证分析。

### (一) 整体能源强度分解

运用分国别 LMDI 分解方法,采用前文所述的样本国家平衡面板数据对“一带一路”沿线国家能源强度进行分解。图 1 逐年展示了 2000—2019 年“一带一路”沿线国家整体能源强度,尽管个别年份的整体能源强度较上一年略有上升,但从总体上看依然呈下降趋势。“一带一路”沿线国家整体能源强度期初为 1 194.43 千克标油/万美元,期末为 823.26 千克标油/万美元,由此可知,“一带一路”沿线国家整体能源强度降低了 371.17 千克标油/万美元,总体下降 31.1%。

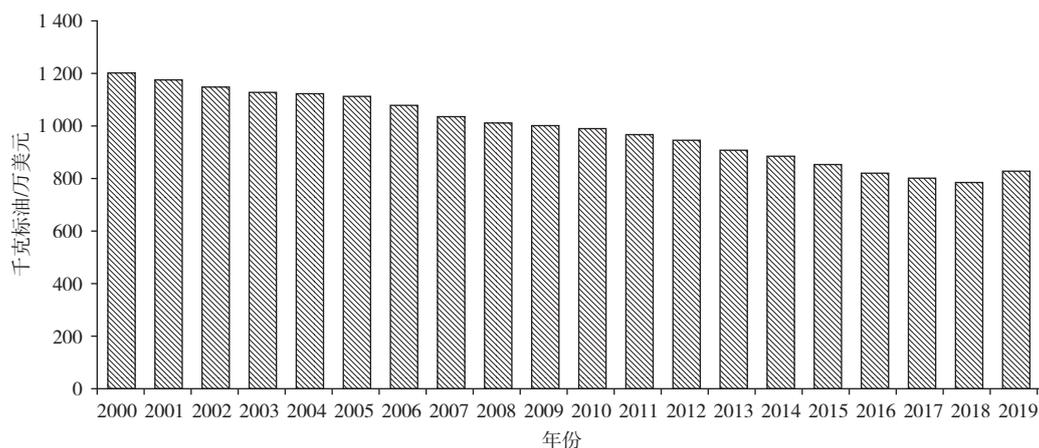


图 1 “一带一路”沿线国家整体能源强度变化趋势

使用分国别 LMDI 方法对整体能源强度进行分解,结果显示,国别增长结构  $\Delta EI_i$  贡献为 48.64 千克标油/万美元,国家能源强度  $\Delta EI_i$  贡献为-419.81 千克标油/万美元。这一结果说明,国别增长结构  $\Delta EI_i$  对“一带一路”沿线国家整体能源强度的降低有抑制作用,但其影响较小,国家能源强度  $\Delta EI_i$  是“一带一路”沿线整体能源强度降低的主要因素,且贡献水平达到了 113%,能源强度分解结果详见表 3。

表 3 2000—2019 年“一带一路”沿线国家整体能源强度分解结果

类别	结果
期初能源强度	1 194.43
期末能源强度	823.26
能源强度变化	-371.17
国别增长结构 $\Delta EI_i$ 贡献	48.64
国家能源强度 $\Delta EI_i$ 贡献	-419.81

注: PPP 法 2015 年美元。

以 2000—2019 年 58 个国家样本的分解分析为基础,本文进一步考察影响“一带一路”沿线整体能源强度降低贡献的国别差异。对每个国家的能源强度和国别增长结构的贡献进行计算,发现“一带一路”沿线整体能源强度降低贡献前五位的国家分别为俄罗斯、印度、印度尼西亚、乌克兰和中国,贡献水平分别为-108.5、-44.5、-29.1、-25.5 和-14.4 千克标油/万美元,见图 2。分因素来看,国别增长结构因素对“一带一路”沿线整体能源强度降低贡献前五位的国家分别为俄罗斯、伊朗、沙特阿拉伯、泰国和乌克兰,贡献水平分别为-41.6、-27.9、-14.3、-7.1 和-7.0 千克标油/万美元;国家能源强度因素对“一带一路”沿线整体能源强度降低贡献前五位的国家分别为中国、俄罗斯、印度、印度尼西亚和乌

克兰, 贡献水平分别为-280.2、-66.9、-50.8、-22.8 和-18.5 千克标油/万美元, 见图 3。

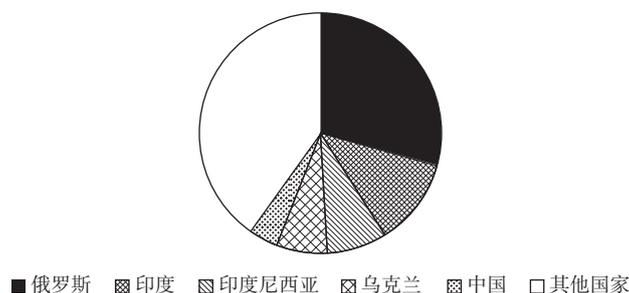


图 2 “一带一路”沿线整体能源强度降低分国别贡献



图 3 不同因素对“一带一路”沿线整体能源强度降低分国别贡献

## (二) 基准回归及稳健性检验

上文基于分国别 LMDI 分解方法, 对“一带一路”沿线国家整体能源强度进行了分解分析, 但对沿线整体能源强度降低的主导因素即国家能源强度的大幅下降缺乏解释。本文将基于式 (10)、式 (11) 对能源相对价格与国家能源强度之间的量化关系进行深入探讨。

借鉴现有研究的构造思路<sup>[33,42]</sup>, 本文基于式 (11) 构造“一带一路”沿线国家分国别的能源相对价格。其中,  $Energy_{i, production}$  表示  $i$  国的能源生产量;  $Economy_{i, output}$  表示  $i$  国经济产出的物理量, 由于缺少相关统计且存在各类产出量纲不一致的现象, 本文统一使用 PPP 法 2015 年美元不变价 GDP ( $GDP_{2015}$ ) 来衡量, 同时使用能源资源租金总额占 GDP 的比重 ( $Energy_{rent_i}$ ) 来测度能源产出价值占 GDP 的比重。能源资源租金是指开采能源资源所获得的经济租金 (包括煤炭租金、石油租金和天然气租金), 使用能源资源的收益与开采成本之差来度量, 由于能源资源的开采成本相对稳定<sup>[43]</sup>, 则能源资源租金总额与能源资源产出价值高度相关, 因此能源相对价格水平  $\frac{P_{i, E}}{P_{i, Y}}$  可以通过式 (12) 进行度量。计算结果表明, 2000 年以来“一带一路”沿线国家能源相对价格水平处于持续波动振荡上升的状态。此外, 实证过程中参照已有研究<sup>[43]</sup>, 构造了基于布伦特原油价格的能源相对价格水平进行稳健性检验。

$$\frac{P_{i, E}}{P_{i, Y}} = \frac{\frac{P_{i, E}}{P_{i, Y}} \times \frac{Energy_{i, production}}{Economy_{i, output}}}{\frac{Energy_{i, production}}{Economy_{i, output}}} = \frac{Energy_{rent_i}}{GDP_{2015_i}} \quad (12)$$

技术进步水平可以使用 R&D 支出占比、技术人员数 (每百万人) 进行测度, 但受限于数据的缺失, 本文借鉴已有文献<sup>[33]</sup>, 使用人均 GDP 增速的三年均值 ( $growth_i$ ) 作为技术进步的代理变量。控制变量中, 产业结构以工业增加值占比 ( $industry_i$ ) 测度, 人口密度以每公里土地面积人数 ( $popden_i$ ) 测度。实证模

型可以进一步拓展为:

$$\ln I_i = \alpha + \beta \ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} + \gamma growth_i + \delta industry_i + \theta popden_i + \varepsilon_i \quad (13)$$

首先使用混合普通最小二乘 (OLS) 回归、固定效应模型、随机效应模型进行估计,实证结果详见表 4。进一步,经过豪斯曼检验,选择固定效应模型。研究表明,能源相对价格水平提高均显著降低了国家能源强度。能源相对价格水平的提高,一方面会抑制各国能源消费,减少能源使用进而降低国家能源强度<sup>[44]</sup>;另一方面则会改变能源消费结构,增加高能源效率行业的能源使用比率,降低国家能源强度<sup>[45]</sup>。但能源相对价格这一变量的系数绝对值较小,说明能源相对价格对能源强度的影响有限。而技术进步的影响则不显著,原因在于本文中技术进步的代理变量反映了全社会整体技术进步水平,而非与能源效率提升直接相关的能源行业的技术进步<sup>[46]</sup>。在现有能源效率/强度影响因素的实证分析中,全社会整体技术进步这一指标也存在不显著或显著性较低的情况<sup>[33]</sup>。

表 4 基本回归结果

变量	混合 OLS	固定效应回归	随机效应回归
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	0.001 (0.010)	-0.037*** (0.011)	-0.030*** (0.010)
$growth_i$	0.019*** (0.004)	-0.000 (0.002)	0.001 (0.002)
常数项	-2.216*** (0.089)	-2.194*** (0.068)	-2.273*** (0.142)
控制变量	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制
观测值	956	956	956
$R^2$	0.197	0.280	0.278

注:\*\*和\*\*\*分别表示在5%和1%水平上显著;括号内数值为标准误。后表同。

为了检验回归结果是否具有稳健性,本文通过更换回归模型和替换核心变量两种方式进行结果检验。首先借鉴已有研究<sup>[47]</sup>,进行 Driscoll-Kraay 标准误回归,回归结果详见表 5,能源相对价格对国家能源强度的负向影响仍然显著。其次按照现有研究通行做法<sup>[48]</sup>,基于布伦特原油价格测算出“一带一路”沿线国家*i*国的能源相对价格  $P_{i,brent}$ 。2000年以来沿线国家能源相对价格变化趋势与基于能源租金的测度基本一致,都呈波动上升趋势。以  $P_{i,brent}$  替换原代理变量进行回归检验,显示结果依然稳健,详见表 5。

表 5 稳健性检验

变量	Driscoll-Kraay 估计	固定效应回归
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	-0.037*** (0.010)	
$\ln P_{i,brent}$		-0.095*** (0.013)

表5(续)

变量	Driscoll-Kraay 估计	固定效应回归
$growth_i$	-0.000 (0.005)	0.001 (0.002)
常数项	-2.194*** (0.085)	-1.857*** (0.089)
控制变量	控制	控制
年份效应	控制	控制
地区效应	控制	控制
观测值	956	959
$R^2$	0.280	0.270

## 五、进一步研究

### (一) 区域禀赋异质性分析

为控制国家个体效应对各个变量系数值的影响,本文同时应用面板随机数模型展开分析<sup>[39]</sup>,但结果显示能源相对价格对国家能源强度的影响并不显著,见表6总样本列。其不显著的原因可能是由于“一带一路”沿线国家地理位置和发展阶段不同,存在资源禀赋的异质性,因此本文进一步对样本进行区域和能源禀赋异质性分析。

分区域来看,东亚和太平洋地区、中东和北非地区能源相对价格在5%水平下显著,能源相对价格上升能够降低国家能源强度,但影响不大;欧洲和中亚地区以及南亚地区能源相对价格弹性在10%的显著水平下不能拒绝零假设,表明能源相对价格上升并不能显著降低国家能源强度。这些区域不显著的原因是区域内国家由于较为发达或过于落后,能源消费保持在一个相对平稳的水平,对能源价格不敏感<sup>[49]</sup>。具体结果详见表6。

表6 “一带一路”沿线国家面板随机数估计和各区域固定效应估计结果

变量	总样本	东亚和太平洋	欧洲和中亚	中东和北非	南亚
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	0.014 (0.036)	-0.045** (0.023)	-0.011 (0.015)	-0.078** (0.030)	0.023 (0.035)
$growth_i$	-0.002 (0.003)	-0.013 (0.012)	-0.004 (0.003)	0.007 (0.005)	-0.011 (0.007)
常数项	-2.677 (1.837)	-1.817*** (0.356)	-0.799*** (0.145)	-2.998*** (0.228)	-2.080*** (0.100)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	952	172	488	220	76
$R^2$		0.264	0.630	0.139	0.860

不同能源禀赋国家能源相对价格对该国能源强度的影响效果同样存在较大差异。按照能源生产是否大于能源消费将“一带一路”沿线国家划分为能源出口国和能源进口国并分别进行计量检验,结果见表7。可以看出,能源进口国的能源相对价格在1%水平上显著但相关系数绝对值较小,表明能源进口国能源相对价格提升能够降低该国能源强度,但影响有限,而能源出口国中两者关系则并不显著,主要由于能源进口国有更高的能源购买需求,对能源相对价格更为敏感。

表7 “一带一路”沿线各能源禀赋国家固定效应估计结果

变量	能源出口国	能源进口国
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	-0.034 (0.022)	-0.043*** (0.010)
$growth_i$	0.001 (0.003)	-0.006 (0.003)
常数项	-2.167*** (0.127)	-2.167*** (0.074)
控制变量	控制	控制
年份效应	控制	控制
地区效应	控制	控制
观测值	560	396
$R^2$	0.158	0.610

## (二) 空间效应分析

随着“一带一路”沿线国家之间不断增加经济联动,不同国家之间的交互效应逐渐显现,一个国家的能源强度可能还会受到其他国家的能源强度影响,产生空间自相关关系。同时,由于“一带一路”等倡议的提出,国家间的紧密联系加强,产生空间外溢效应,出现本国能源相对价格影响其他邻近国家能源强度的现象。因此,本文采用空间计量方法进一步讨论能源相对价格与国家能源强度的关系。

本文借鉴已有研究<sup>[50]</sup>,采用地理距离的倒数构建“反距离矩阵”作为“一带一路”沿线国家的空间权重矩阵,参考前文的变量选择进行实证检验。国家能源强度的全局莫兰指数至少在10%的水平下显著,拒绝“无空间自相关”的原假设,即认为存在空间自相关,说明各国能源强度具有显著的空间相关性。由此继续在空间杜宾模型(SDM)、空间自回归(SAR)模型和空间误差模型(SEM)中选择最优模型进行空间效应的研究。参照已有研究<sup>[51-52]</sup>进行模型筛选,LM检验表明三种计量模型均可使用。进一步基于似然比(LR)检验和沃尔德(Wald)检验进行判断,发现SDM可以退化为SAR和SEM,而SAR的对数似然(Log-likelihood)值大于SEM,因此本文最终选择SAR作为空间计量模型。在确定模型过程中通过豪斯曼检验和效应检验,确定采用混合固定效应效果最优。

运用混合固定效应的空间自回归模型,对上述面板数据进行回归,结果显示加入空间因素后,空间自相关系数为负(-0.715)且在1%水平下显著,说明本国能源强度的提升对邻国能源强度有抑制作用,也即邻国能源强度的提升也会使本国能源强度降低。能源相对价格的估计系数为负(-0.0186),且在5%水平下显著,说明本国能源相对价格与本国能源强度负相关,即本国能源相对价格水平上升,能够降低本国能源强度,与前文结论一致。由于相邻地区之间通常会有各种信息的交换,仅采用回归系数解释空间回归结果会存在偏差,因此借鉴已有研究<sup>[53]</sup>做法,对能源相对价格水平的影响进行分解,得到直接效应、

间接效应和总效应, 具体结果见表 8。

表 8 空间自回归模型估计结果

变量	直接效应	间接效应	总效应
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	-0.019** (0.008)	0.008** (0.004)	-0.011** (0.005)
$growth_i$	-0.001 (0.002)	0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)
控制变量	控制	控制	控制
Log-likelihood	501.371	501.371	501.371
$R^2$	0.003	0.003	0.003
观测值	528	528	528

表 8 的结果显示, 在 5% 的显著性水平上, 能源相对价格对国家能源强度的直接效应显著为负, 间接效应显著为正, 总效应显著为负。这表明一个国家能源相对价格水平提高, 会降低本国能源强度, 但会导致邻近国家能源强度提升, 即邻近国家能源相对价格水平提高, 会导致本国能源强度提升。能源价格水平变化具有显著的“空间溢出”效应。上述现象可通过产业转移相关理论加以解释, 现有研究认为边际产业会为规避产业劣势 (如成本过高) 对外进行投资转移<sup>[54]</sup>。能源作为当前高耗能产业的必备原材料, 当不同地区的能源价格有差异时, 高耗能产业会为最大限度降低生产成本而进行产业转移<sup>[55]</sup>。因此该空间效应的结果可以解释为: 能源相对价格水平提升增加了生产成本, 促使高耗能产业从高成本国家向低成本国家流动, 使得本国能源强度降低, 能源使用效率提升; 而能源相对价格较低的国家随着高耗能产业流入, 国家能源强度提升, 国家能源使用效率降低。

### (三) 数字化水平的调节效应分析

在数字化席卷全球的时代背景下, 数字经济发展影响程度之深前所未有, 数字化发展水平作为时代特征对“一带一路”沿线各国都有着不可忽视的影响。以信息和通信技术为基础的数字经济不断发展, 基于数字设备和网络的互动交流呈增长趋势, 数字经济正深刻改变着生活和生产方式<sup>[56]</sup>, 同时也影响着能源的使用<sup>[57]</sup>。以式 (13) 为基准回归, 引入能源相对价格与数字化水平的交互项来检验是否具有调节作用。数字化水平以数字化基础设施 ( $ldiginf_i$ ) 为代理指标, 用每百万人使用安全互联网服务器数量取对数测度, 结果见表 9。交互项  $\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} \times ldiginf_i$  的系数在 1% 水平下显著为负。这表明, 数字化水平的提高能够强化能源相对价格上升使国家能源强度下降的负向作用。这主要是由于数字化水平越高, 越有利于市场供需匹配和资源配置, 价格变化的引导作用越强。

表 9 数字经济发展水平的调节作用回归结果

变量	(1)	(2)
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}}$	-0.037*** (0.011)	-0.022** (0.011)
$\ln \frac{P_{i,E}}{P_{i,Y}} \times ldiginf_i$		-0.004*** (0.001)

表9(续)

变量	(1)	(2)
$growth_i$	-0.000 (0.002)	0.002 (0.002)
常数项	-2.194*** (0.068)	-2.430*** (0.075)
控制变量	控制	控制
年份效应	控制	控制
地区效应	控制	控制
观测值	956	471
$R^2$	0.280	0.262

注:列(1)为基准回归,列(2)为引入交互项后的回归。

## 六、结论与建议

当前能源合作已成为“一带一路”倡议的重点领域,能源强度是事关绿色“一带一路”建设和经济社会可持续发展的重要变量,把握“一带一路”沿线能源强度变化趋势,并进一步探寻能源强度变化背后的关键驱动因素意义重大。本文基于2000年以来“一带一路”沿线国家面板数据开展实证分析。使用分国别LMDI分解方法,发现国家能源强度是“一带一路”沿线国家整体能源强度降低的关键因素,国别增长结构阻碍“一带一路”沿线国家整体能源强度降低。根据成本生产函数构建的理论模型进行实证分析,结果表明能源相对价格上升能够降低国家能源强度,但整体看影响有限。进一步研究发现,能源相对价格与国家能源强度的关系存在区域禀赋异质性差异,东亚和太平洋地区以及中东和北非地区国家能源相对价格上升能够降低国家能源强度,欧洲和中亚地区以及南亚地区国家不显著,同时能源进口国的能源相对价格上升能够降低国家能源强度,而能源出口国不显著。国家能源强度存在显著的空间相关性,本国能源相对价格水平的提升,能降低本国能源强度,但会导致邻国能源强度的上升。数字化水平对能源相对价格和国家能源强度之间的关系具有调节效应,数字化基础设施建设能够强化能源相对价格提升带来的国家能源强度降低效应。

针对上述结论,本文为“一带一路”沿线国家提供的政策启示包括:(1)提高能源价格水平是降低“一带一路”沿线国家能源强度的重要手段。但鉴于能源相对价格对“一带一路”沿线国家能源强度的影响有限,且对不同区域和不同能源禀赋国家的影响程度不一致,政策制定的重心应更加聚焦实施更严格的能耗标准等更具针对性的措施。以中国为例,自1990年以来中国能源资源集约发展的政策体系逐渐完备具体,党的十八届五中全会进一步提出实行能源消耗总量和强度“双控”行动,明确了各地区能源消费总量控制目标。为提高“一带一路”沿线国家总体能源使用效率,优化能源治理,中国相关的政策制定经验及实施措施应进一步广泛推广。(2)应继续加强“一带一路”沿线国家间的联系,使各国能够在资源配置上进行优化,实现“一带一路”沿线国家间跨地区的分工与合作,提高能源使用效率,尤其是相邻国家之间在制定能源政策时需要充分考虑空间效应,加强国别协同,降低能源强度,实现绿色“一带一路”建设目标。(3)要在“一带一路”沿线大力发展数字经济,重视国家数字化基础设施建设合作,消除国家间的数字鸿沟,让更多国家尤其是发展中国家更快、更大幅度降低能源效率,实现绿色发展。

## 参考文献:

- [1] 习近平. 齐心开创共建“一带一路”美好未来——在第二届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上的主旨演讲[N]. 人民日报, 2019-04-27(3).
- [2] 汪万发. “一带一路”绿色发展伙伴关系建设浅析[J]. 环境保护, 2022, 50(8): 68-71.
- [3] 景丞, 苏布达, 巢清尘, 等. 基于共享社会经济路径的“一带一路”沿线国家城市化水平与经济预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 21-31.
- [4] 岳立, 宋雅琼, 江铃峰. “一带一路”国家能源利用效率评价及其与经济增长脱钩分析[J]. 资源科学, 2019, 41(5): 834-846.
- [5] 岳立, 杨玉春. “一带一路”沿线国家绿色全要素能源效率的时空分异研究——基于超效率 DEA 模型和 GML 指数法[J]. 经济问题探索, 2019(6): 111-119.
- [6] HAN L, HAN B T, SHI X P, et al. Energy efficiency convergence across countries in the context of China's Belt and Road Initiative[J]. Applied Energy, 2018, 213: 112-122.
- [7] MILLS E F E A, DONG J, LIU Y L, et al. Towards sustainable competitiveness: how does financial development affect dynamic energy efficiency in Belt & Road economies? [J]. Sustainable Production and Consumption, 2021, 27: 587-601.
- [8] LIU Z, ZHANG H, ZHANG Y J, et al. How does income inequality affect energy efficiency? Empirical evidence from 33 Belt and Road Initiative countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 269: 122421.
- [9] PENG H R, TAN X J, MANAGI S, et al. Club convergence in energy efficiency of Belt and Road Initiative countries: the role of China's outward foreign direct investment[J]. Energy Policy, 2022, 168: 113139.
- [10] SUN J W. Accounting for energy use in China, 1980-94[J]. Energy, 1998, 23(10): 835-849.
- [11] SONG F, ZHENG X Y. What drives the change in China's energy intensity: combining decomposition analysis and econometric analysis at the provincial level[J]. Energy Policy, 2012, 51: 445-453.
- [12] WANG H, ANG B W, SU B. Assessing drivers of economy-wide energy use and emissions: IDA versus SDA[J]. Energy Policy, 2017, 107: 585-599.
- [13] HOEKSTRA R, VAN DEN BERGH J C J M. Comparing structural decomposition analysis and index[J]. Energy Economics, 2003, 25(1): 39-64.
- [14] DE BOER P. Additive structural decomposition analysis and index number theory: an empirical application of the Montgomery decomposition[J]. Economic Systems Research, 2008, 20(1): 97-109.
- [15] BELZER D B. A comprehensive system of energy intensity indicators for the U. S.: methods, data and key trends[R]. Oak Ridge, TN: U. S. Department of Energy, 2014.
- [16] SHAHIDUZZAMAN M, ALAM K. Changes in energy efficiency in Australia: a decomposition of aggregate energy intensity using logarithmic mean Divisia approach[J]. Energy Policy, 2013, 56: 341-351.
- [17] Natural Resources Canada. Energy efficiency trends in Canada: 1990 to 2004[R]. Ottawa: Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, 2006.
- [18] HUANG J P. Industry energy use and structural change: a case study of the People's Republic of China[J]. Energy Economics, 1993, 15(2): 131-136.
- [19] 高振宇, 王益. 我国生产用能源消费变动的分解分析[J]. 统计研究, 2007, 24(3): 52-57.
- [20] 师博. 中国能源强度变动的主导效应分析——一项基于指数分解模型的实证研究[J]. 山西财经大学学报, 2007, 29(12): 24-28.
- [21] ZHAO Y H, WANG S, YANG J Q, et al. Input-output analysis of carbon emissions embodied in China-Japan trade[J]. Applied Economics, 2016, 48(16): 1515-1529.
- [22] METCALF G E. An empirical analysis of energy intensity and its determinants at the state level[J]. The Energy Journal, 2008, 29(3): 1-26.
- [23] 张卓元. 深化改革, 推进粗放型经济增长方式转变[J]. 经济研究, 2005(11): 4-9.
- [24] 杭雷鸣, 屠梅曾. 能源价格对能源强度的影响——以国内制造业为例[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(12): 93-100.
- [25] BIROL F, KEPLER J H. Prices technological development and the rebound effect[J]. Energy Policy, 2000, 28(6/7): 457-469.
- [26] MA H Y, OXLEY L, GIBSON J. China's energy economy: a survey of the literature[J]. Economic Systems, 2010, 34(2): 105-132.
- [27] SANSTAD A H, ROY J, SATHAYE J A. Estimating energy-augmenting technological change in developing country industries[J]. Energy Economics, 2006, 28(5/6): 720-729.
- [28] GAMTESSA S, OLANI A B. Energy price, energy efficiency, and capital productivity: empirical investigations and policy implications[J]. Energy Economics, 2018, 72: 650-666.
- [29] WING I S. Explaining the declining energy intensity of the U. S. economy[J]. Resource and Energy Economics, 2008, 30(1): 21-49.

- [30] ANTONIETTI R, FONTINI F. Does energy price affect energy efficiency? Cross-country panel evidence [J]. *Energy Policy*, 2019, 129: 896-906.
- [31] JIMENEZ R, MERCADO J. Energy intensity: a decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries [J]. *Energy Economics*, 2014, 42: 161-171.
- [32] PARKER S, LIDDLE B. Energy efficiency in the manufacturing sector of the OECD: analysis of price elasticities [J]. *Energy Economics*, 2016, 58: 38-45.
- [33] SUN X D, JIA M Z, XU Z, et al. An investigation of the determinants of energy intensity in emerging market countries [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2022, 39: 100790.
- [34] 公丕萍, 宋周莺, 刘卫东. 中国与“一带一路”沿线国家贸易的商品格局 [J]. *地理科学进展*, 2015, 34(5): 571-580.
- [35] 刘清杰, 刘倩, 任德孝. 中国对“一带一路”沿线国家投资倾向于出口平台型吗 [J]. *财贸经济*, 2019, 40(6): 101-116.
- [36] ANG B W, LIU F L. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation [J]. *Energy*, 2001, 26(6): 537-548.
- [37] ANG B W, WANG H. Index decomposition analysis with multidimensional and multilevel energy data [J]. *Energy Economics*, 2015, 51: 67-76.
- [38] FISHER-VANDEN K, JEFFERSON G H, LIU H M, et al. What is driving China's decline in energy intensity? [J]. *Resource and Energy Economics*, 2004, 26(1): 77-97.
- [39] 徐建中, 王曼曼. 绿色技术创新、环境规制与能源强度——基于中国制造业的实证分析 [J]. *科学学研究*, 2018, 36(4): 744-753.
- [40] 陈晓毅. 能源价格、产业结构、技术进步与能源效率关系研究 [J]. *统计与决策*, 2015(1): 120-122.
- [41] 戴俊, 傅彦铭. 环境规制、产业结构对能源效率的影响 [J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(9): 55-63.
- [42] SUN X D, JIA M Z, FANG S S, et al. Drivers of declining energy intensity all over the world: based on the perspective of national industrial production [J]. *Converter*, 2021, 5: 468-479.
- [43] 陈建伟, 苏丽锋, 祁毓. 自然资源租金抑制了高等教育发展吗? ——基于跨国面板数据的经验分析 [J]. *华中师范大学学报(人文社会科学版)*, 2021, 60(5): 178-188.
- [44] 王富忠, 张华勇, 陈帆. 能源价格、能源消费与能源强度的关系研究 [J]. *价格理论与实践*, 2021(1): 107-110, 174.
- [45] 张瑞, 丁日佳. 能源价格、经济增长与我国能源强度的变动——基于 LMDI 分解与计量模型的实证研究 [J]. *软科学*, 2018, 32(3): 72-76.
- [46] 蔡晓春, 宋美喆. 我国能源利用效率及其影响因素的灰色关联分析 [J]. *统计与决策*, 2009(24): 79-81.
- [47] DRISCOLL J C, KRAAY A C. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1998, 80(4): 549-560.
- [48] ANTONIETTI R, FONTINI F. Does energy price affect energy efficiency? Cross-country panel evidence [J]. *Energy Policy*, 2019, 129: 896-906.
- [49] 廖华, 魏一鸣. 世界能源消费的差异性与不平衡性及其变化研究 [J]. *中国软科学*, 2010(10): 6-14.
- [50] 钟水映, 李魁. 人口红利、空间外溢与省域经济增长 [J]. *管理世界*, 2010(4): 14-23, 186-187.
- [51] ANSELIN L. A test for spatial autocorrelation in seemingly unrelated regressions [J]. *Economics Letters*, 1988, 28(4): 335-341.
- [52] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(1): 67-77.
- [53] LESAGE J, PACE R K. Introduction to spatial econometrics [M]. New York: Chapman and Hall/CRC, 2009.
- [54] ASHCROFT B, TAYLOR J. The movement of manufacturing industry and the effect of regional policy [J]. *Oxford Economic Papers*, 1977, 29(1): 84-101.
- [55] 卢宇. 高能耗产业转移对能源利用效率的影响——基于能源价格空间差异视角 [J]. *价格月刊*, 2021(12): 78-82.
- [56] 王蕾, 朱彤. 数字经济是否增加能源消费? ——基于 ICT 应用研究的分析 [J]. *城市与环境研究*, 2021(3): 93-108.
- [57] 贾京坤, 朱英, 谈捷. 数字化转型趋势下国际能源化工公司的战略与实践 [J/OL]. *石油学报(石油加工)*, 2022 [2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2129.TE.20220519.0924.002.html>.

## Identification and Realization Path of Key Factors for Reducing Energy Intensity in Countries along the Belt and Road

SUN Xiangdong<sup>1,2</sup>, ZHOU Yingqi<sup>1</sup>, WANG Xuan<sup>1</sup>

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. Beijing Research Center of Xi Jinping Thought on Socialism with Chinese Characteristics for a New Era, Beijing 100011)

**Abstract:** In 2013, China proposed to build the New Silk Road Economic Belt and the 21st Century Maritime Silk Road, collectively known as the Belt and Road Initiative. The Belt and Road Initiative aims to promote economic policy coordination among countries and carry out greater and deeper regional cooperation. Countries can jointly build an open and inclusive regional economic cooperation framework to achieve diversified, autonomous, balanced and sustainable development. At present, energy cooperation has become a key area of the Belt and Road Initiative. Improving energy efficiency and reducing energy intensity is the way to promote the green economic construction of the Belt and Road Initiative. Therefore, this study explored the key factors influencing changes in energy intensity in countries along the Belt and Road. In addition, this study also analyzed the ways to achieve energy efficiency improvement, and enriched the research on the driving factors of energy intensity from the perspective of country. This paper conducted an empirical analysis based on panel data from countries along the Belt and Road from 2000 to 2019. Firstly, country-based LMDI approach was used to decompose the overall energy intensity of countries along the Belt and Road into two factors: national energy intensity and national growth structure. Compared with industry-based LMDI approach, country-based LMDI approach can more effectively clarify the state responsibility along the Belt and Road for reducing overall energy intensity. Secondly, in order to explain the reasons for the change of national energy intensity, this paper constructed the energy price measurement index of countries along the Belt and Road. Then, according to the cost production function, the effect of reducing national energy intensity due to the increase in the relative energy price was discussed. Finally, this paper further discussed the impact of regional endowment difference, spatial interaction relationship, and digital level on the relationship between relative energy price and national energy intensity in countries along the Belt and Road. The results showed that: (1) National energy intensity was the key to reducing the overall energy intensity of countries along the Belt and Road, while the country's growth structure inhibited the reduction of overall energy intensity; (2) The increase in the relative energy price of countries along the Belt and Road had reduced the national energy intensity level as a whole, but there were regional and endowment differences. The energy intensity reduction effects of the relative energy price increase in East Asia and the Pacific, the Middle East and North Africa, and energy-importing countries were more significant; (3) In terms of spatial interaction, the increase of relative energy price promoted the energy intensity of neighboring countries while reducing the energy intensity of their own countries; (4) In terms of moderating effect of digital level, the construction of digital infrastructure had strengthened the energy intensity reduction effect of relative energy price increase. This study provides theoretical support for the realization logic of green development on the Belt and Road. And it renders decision-making references for regional economic cooperation and energy governance in countries along the Belt and Road. In addition, this study provides ideas for China to deepen and lead the green development of the Belt and Road.

**Keywords:** energy intensity; relative energy price; digital level; spatial effect; green Belt and Road

(责任编辑: 宛恬伊; 姜 莱)