

可再生能源政策促进了工业低碳转型吗？

罗良文 孙立雪

(中南财经政法大学 经济学院,湖北 武汉 430073)

摘要:本文利用2005—2022年30个省(市、自治区)的面板数据,将研究视角聚焦于以减污降碳为目标的可再生能源政策,运用Super-SBM模型和GML指数测度各省(市、自治区)工业低碳转型效率。在此基础上,构建动态面板经济增长模型考察可再生能源政策对工业低碳转型的影响。研究发现:可再生能源政策具有地区性和阶段性特征,其能够促进工业低碳转型,但也可能带来技术风险。进一步研究发现,可再生能源政策对环保意识较强、环境规制较弱和污染程度较低的地区促进作用更为明显。分地区影响路径研究发现,可再生能源政策更能促进东北地区与西部地区的工业低碳转型,且在东北地区主要体现为技术效率,而东中西部地区体现为技术进步。本研究有助于深入了解中国可再生能源政策实施的现实状况,为构建符合中国国情的工业低碳转型发展战略提供理论依据。

关键词:可再生能源政策;工业低碳转型;Super-SBM;GML指数

中图分类号:F426 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2023)04-0122-14

一、引言

当前,中国已进入高质量发展阶段,工业革命推动的工业化仍是经济社会现代化的主要途径^[1]。2022年,工业对中国经济增长的贡献率达到36%^①,是我国“创新驱动、转型升级”的主要战场。改革开放以来,尽管我国各地区的经济增长水平均有所提升,但能源和环境问题也日益显现,如能源的刚性需求与油气进口保供存在风险叠加、新能源发展与技术经济发展受限、“去煤化”导致经济高风险等^[2]。然而,现实的环境问题已经不允许中国等待环境库兹涅兹曲线中未知拐点的出现,需要通过适当干预来实现绿色发展^[3]。可再生能源^②是能源发展的优先领域,承担着补充传统能源短缺和保护生态环境的责任,国家通过制定可再生能源政策推动可再生能源市场的建立和发展,从而平衡地区能源结构,促进区域绿色发展。因此,在面对能源约束,以及环境保护和生态文明建设的背景下,中国密集出台实施了多个旨在鼓励、支持和促进可再生能源使用的政策和措施,主要包括财政激励、法律法规、技术支持和建设标准等。然而,这些政策能否真正有效推动工业转型与低碳发展尚待检验。这主要是因为政策本身并不能直接改变工业结构,而是通过调节能源价格、优化税收政策、运用资金补贴等方式促进可再生能源发展,带动相关产业的升级进步。尽管可再生能源政策体系已较为健全,但还

收稿日期:2023-03-01

作者简介:罗良文(1965—),男,河南商城人,中南财经政法大学经济学院教授,博士生导师;

孙立雪(1996—),女,河南郑州人,中南财经政法大学经济学院博士生。

存在着政策结构不完善、政策工具利用不平衡、各地区发展不均衡等问题,面临实施与推广建设成本较高、技术瓶颈、市场竞争等风险。因而,为深入了解中国可再生能源政策的实施进程,以及深化可再生能源政策对工业低碳转型的效应研究,本文以30个省(市、自治区)为研究样本,在科学量化可再生能源政策的基础上,使用动态面板经济增长模型研究可再生能源政策对工业低碳转型的影响。本文研究有利于更加深入了解中国可再生能源政策的现实状况,推动生态文明建设,为中国在新常态背景下环境政策的制定提供理论支持。

与现有研究相比,本文边际贡献体现为:第一,现有文献多探讨可再生能源政策对企业或机构等微观主体的影响,较少关注其宏观整体作用,而本文基于可再生能源政策的量化研究,探讨其对中国30个省(市、自治区)所产生的宏观影响,并就如何优化可再生能源政策提出建议,为构建符合中国国情的工业低碳转型发展战略提供实践依据,具有一定的理论价值与现实意义。第二,为判断中国可再生能源政策的实施进度,本文运用Python技术进行关键词抓取收集数据,并进行分类赋分,对可再生能源政策进行量化研究,结果具有一定参考价值。此外,本文选择的研究样本时间跨度较长,包含四个五年计划(规划),研究结论更具有现实意义。第三,作为工业转型的一个重要方面,工业低碳转型所受到的关注相对较少。工业绿色转型与低碳转型本质上都是在促进工业发展的同时实现节能减排,其区别主要在于所考察的污染物种类不同^[4]。因此,在充分考虑中国工业转型的多元特征后,本文通过进一步分解工业低碳转型效率指数,围绕技术效率和技术进步两个方面分析可再生能源政策具体的影响路径,使得本文结论更加具有现实指导意义。

二、文献综述

通过梳理国内外的相关文献,发现与本文相关的研究主要有以下两类:

第一,与可再生能源政策相关的文献。可再生能源政策的环境影响研究主要分为两方面:一方面,在能源市场自由化的国家,可再生能源政策被认为能够促进绿色创新,对高质量绿色专利的产生至关重要^[5]。可再生能源政策所推动的能源战略调整有利于改善能源结构,降低煤炭的消费比例,减少二氧化碳排放^[6],对环境具有积极影响,并且可有效促进可再生能源快速发展^[7]。另一方面,近年来学术界认为由于可再生能源的供给存在波动性与间歇性,使得可再生能源政策可能并未产生预期的节能效果,主要表现为我国的能源强度与能源消费的反方向变动^[8]以及城市实际GDP的下降^[9]。这主要是因为中国实施的碳排放效率改进政策的有效程度较低,具有较强的路径依赖特征^[10],会加剧气候不平等,阻碍可再生能源的过渡^[11]。此外,可再生能源政策的区域不平等性会导致长期技术创新投入不足,阻碍可再生能源的政策实施与部署^[12],导致企业过度投资倾向更加明显^[13]。

第二,与工业转型相关的文献。当前,在气候变化的国际压力和日益加大的资源环境约束背景下,中国工业迫切需要加快转型^[14]。通过对传统产业升级的内涵加以深化拓展,可以将中国工业现阶段转型升级所要承担的核心任务分为三个层面:一是提升工业增加值水平,即在深度加工制造过程中实现产品附加值率的提升;二是减少能源消耗,即在投入环节实现能源消耗的降低;三是降低污染排放,即在工业生产中减少污染排放^[15]。这也使得当前学术界关于工业转型的研究主要分成了三个方向:工业经济转型、工业低碳转型与工业绿色转型。可再生能源政策主要作用于能源消耗,因此本文重点关注工业低碳转型发展。关于工业低碳转型的研究,可总结为以下两个方面:(1)理论研究。工业化是造成生态环境破坏的直接原因,而低碳工业化是化解传统工业化问题的新型工业化^[16]。有学者认为,工业转型升级是指一种资源利用更加节约高效、环境价值受到重视、环境保护标准得到严格制定执行的发展过程,主要体现在工业企业的战略抉择和战略走势上^[17]。因此,通过促进可再生能源对以煤炭为主的传统化石能源进行有效替代,可以尽快实现我国能源结构的调整^[18],实现工业结构的升级转型。(2)综合评价体系研究。现有研究一般以全要素生产率衡量传统意义上的工业发展质量,纳入资源和环境因素后的绿色全要素生产率指标更为全面,并成为工业转型升级的判断标

准^[19]。随着绿色理念的发展,也有学者使用各工业行业的绿色生产率增长指数^[20]以及工业绿色全要素生产率对工业经济增长的贡献率^[21]衡量地区工业转型升级。

然而,由于新能源存在环境外部性,使用市场经济解决发展问题可能囿于短期困难而缺乏总体规划^[22],因此需要得当的政策予以支持。本文认为,我国能源低碳转型已经进入爬坡过坎的攻坚期^③,不能再单纯追求低碳生产技术的产能提高和能源利用技术的规模扩大,需要同时注重可再生能源的生产与利用,出台合理有效的可再生能源政策,进一步探索工业低碳转型路径。可再生能源政策能促进清洁能源使用、加速绿色转型,但同时也可能存在隐性风险,加剧能源贫困等社会问题,因此有必要对发展路径进行合理设计,以取得气候目标和公正转型的平衡。根据以上分析发现,尽管可再生能源政策与工业低碳转型均是当前可持续绿色发展的重要内容,但鲜有文献探讨二者之间的关系。因而,研究可再生能源政策对工业低碳转型的影响具有重要的现实意义。

三、理论分析

当前,我国低碳转型已步入深水区,经济增长方式总体上仍偏向于高能耗模式,因此可再生能源是工业低碳转型的核心。考虑到政策稳定性和延续性,研究可再生能源政策对工业低碳转型的影响需要从影响效应与影响工具两方面出发,分层次进行分析,具体如下所示:

(一)可再生能源政策对工业低碳转型的影响效应

第一,可再生能源政策通过鼓励减少化石资源的使用,提高太阳能、风能和潮汐能等新能源的利用率,发挥替代效应,降低二氧化碳的排放,进而促进低碳发展,实现工业低碳转型。当前,能源系统低碳转型正不断推进以可再生能源发电替代火力发电^[23],通过鼓励扩大新能源使用范畴,从生产端提升新能源供给,有效降低煤炭能源的使用,实现工业部门的结构升级,促进低碳转型。第二,可再生能源政策能督促企业提高产出效率,优化生产过程,减少能源浪费,从而推动低碳转型,减轻环境压力,促进可持续发展。可再生能源政策鼓励企业采用可再生能源进行生产,以大幅降低企业的能源成本,特别是发电成本,提高产出效率。此外,可再生能源在使用寿命和维护成本上也相对较低,有利于可持续发展。第三,可再生能源政策能够降低转型成本,增加转型动力。一方面,再生能源政策提供的经济和政治支持鼓励企业和个人采用可再生能源技术。如财政激励、税收优惠、减少障碍和监管规定等政策措施,增加了可再生能源的吸引力,从而促进其市场扩张。另一方面,政策的宣传也可以提高公众对可再生能源的认知度,增强对其采用的意愿,从而促进新能源市场扩大,为低碳转型发展打好坚实基础。

(二)可再生能源政策对工业低碳转型的政策异质性效果分析

1.政策力度异质性

可再生能源政策执行力度越强,对工业低碳转型的影响也越大。具体影响包括:(1)促进技术创新。可再生能源政策可以在一定程度上催生新技术、新产品,推动工业向更加低碳、环保的方向转型。研发成本是阻碍企业进行绿色创新的主要原因,当地政府通过提高可再生能源政策的执行力度,提高对绿色创新的奖励,有助于提高企业低碳转型的动力。(2)降低环境和社会成本。强有力的可再生能源政策执行可以直接鼓励企业和个人更广泛、更积极地采用可再生能源,并降低可再生能源购买和使用成本;如果可再生能源政策执行力较差,那么政策的实施效果可能会因此受到影响。例如,如果没有有效的监督和制约机制,那么一些企业或机构可能会出于私人利益而违反政策限制,导致政策的效果减弱,同时也增加了环境和社会成本。(3)推动行业升级。政策力度越大,对工业低碳转型的引导作用就越明显。执行可再生能源政策可以通过建设标准化、稳定的能源市场,降低能源不确定性和供应风险,从而为企业提供更加稳定和可靠的能源基础,减少碳排放。这也有助于促进行业升级,实现经济、社会 and 环境的可持续发展。

2.政策目标异质性

不同地区政策目标的差异可能导致可再生能源政策在促进工业低碳转型方面产生不同的影响。

首先,中西部地区拥有丰富的可再生能源,会更加强调使用可再生能源来减少碳排放,因此他们可能会实施以激励企业使用可再生能源为目标的政策,比如2021年四川省印发的《四川省2020年光伏发电项目竞争配置工作方案》、2021年重庆市印发的《重庆市可再生能源电力消纳保障实施方案》以及2021年河南省印发的《河南省加快推进屋顶光伏发电开发行动方案》等。其次,低碳发展水平较高的东部地区可能更加注重发展包括可再生能源产业在内的新兴产业,以减少对传统高碳能源的依赖,因此他们可能会推出更加注重可再生能源产业发展的政策,比如2019年江苏省发布《关于促进新能源汽车产业高质量发展的实施意见》,以提高新能源汽车的使用量,鼓励新能源汽车行业发展。最后,东北地区是中国的老工业基地,由于地理环境限制,太阳能和风能资源相对较少,这限制了可再生能源的开发利用规模和效果,因此其政策目标主要侧重于促进传统制造业的转型升级,加强基础设施建设,吸引外部投资和人才。有鉴于此,不同省(市、自治区)的政策目标不同,其在实施可再生能源政策时所采用的策略和方法就会有所不同,这也会进一步影响各地区的工业低碳转型进程,因此需要加以辨别,减少政策误差。

3. 政策工具异质性

不同类型的可再生能源政策工具对工业低碳转型产生影响的路径存在差异:(1)组织型政策工具(如光伏发电项目市场化并网申报、地热能存量项目备案、组织光伏发电规划项目库等)可以促进关键参与者之间的知识共享和技术创新,加速可再生能源技术的部署和推广;(2)管制型政策工具(如2022年内蒙古自治区能源局印发的《内蒙古自治区源网荷储一体化项目实施细则(2022年版)》,要求申报一体化项目的储能配置比例原则上不低于新能源规模的15%)通过设置新能源规模、限制排放等来规范工业企业的行为,鼓励工业企业采用低碳技术和清洁能源,降低温室气体排放,同时也有助于增强行业整体的环保意识;(3)指导型政策工具(如《广西可再生能源发展“十四五”规划》)通过提供指导和鼓励支持可再生能源发展;(4)激励型政策工具(如地热发电新建项目可以享受企业所得税“三免三减半”优惠政策等)通过奖励和补贴来鼓励企业采用可再生能源技术;(5)信息型政策工具通过提供信息和公共宣传以鼓励可再生能源的使用,以减少可再生能源市场的信息不对称与不确定性,从而促进可再生能源市场发展完善。

基于此,本文提出如下推断:可再生能源政策对工业低碳转型具有促进作用。

四、研究方法 with 指标选取

(一) 研究方法

1. 考虑非期望产出的 Super-SBM 模型

参考相关研究^[4],本文采用考虑非期望产出的 Super-SBM 模型对我国工业低碳转型进行测度,以求更加全面、综合、客观地评价我国工业低碳转型现状,为政策制定和决策提供参考。

假设有 n 个决策单元,每个决策单元使用 m 种投入 $x \in R^m$,得到 s_1 种期望产出 $y^g \in R^{s_1}$ 和 s_2 种非期望产出 $y^b \in R^{s_2}$,定义矩阵 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$, $Y^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$, $Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$ 。根据理论模型^[24],本文使用带有非期望产出的 Super-SBM 模型进行评估,如下所示:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{S_r^b}{y_{rk}^b} \right)}$$

$$s.t. \ x_k = X\lambda + S^-$$

$$y_k^g = Y^g\lambda - S^g$$

$$y_k^b = Y^b\lambda + S^b$$

$$\lambda \geq 0, S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0$$
(1)

式(1)中, λ 为权重向量, ρ^* 表示决策单元的效率值, S^- 、 S^s 、 S^b 为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量, m , s_1 和 s_2 代表投入, 期望产出和非期望产出的变量个数。公式满足规模报酬不变(CRS)。

2. 全局曼奎斯特—卢恩伯格(GML)指数

Super-SBM 模型能够考虑到投入、期望产出和非期望产出之间的关系, 而全局曼奎斯特-卢恩伯格指数作为一个补充方法, 能够得到第 t 期到第 $t+1$ 期的变化率, 使测度结果更贴近现实。因此, 在使用 Super-SBM 模型方法求解出各省份工业低碳转型效率值后, 本文使用全局曼奎斯特-卢恩伯格指数(Global Malmquist-Luenberger, 后文用 GML 指数代指)^[25] 进一步评价我国各省(市、自治区)工业低碳转型效率的动态变化情况, 表达式如下:

$$GML_k(t, s) = \frac{1 + D^G(x_k^t, y_k^{gt}, y_k^{bt}; y_k^{gt}, -y_k^{bt})}{1 + D^G(x_k^s, y_k^{gs}, y_k^{bs}; y_k^{gs}, -y_k^{bs})} \quad (2)$$

式(2)中, $D^G(x_k^t, y_k^{gt}, y_k^{bt}; y_k^{gt}, -y_k^{bt})$, $D^G(x_k^s, y_k^{gs}, y_k^{bs}; y_k^{gs}, -y_k^{bs})$ 表示研究样本期内所有投入产出值构成的生产可能集作为不同时期的共同参照技术集时, t 期和 s 期的决策单元的距离函数。为更好揭示工业低碳转型效率水平提高或下降的主要原因, 本文进一步将 GML 指数分解为全局技术效率变化指数(TC)和全局技术进步变化指数(EC)。其中, 全局技术效率变化指数反映的是工业低碳转型整合资本和劳动要素能力的变化, 用以表示配置效率; 全局技术进步变化指数刻画的是工业低碳转型促进内生经济增长即技术水平的变化。表达式如下所示:

$$TC_k(t, s) = \frac{1 + D^t(x_k^t, y_k^{gt}, y_k^{bt}; y_k^{gt}, -y_k^{bt})}{1 + D^s(x_k^s, y_k^{gs}, y_k^{bs}; y_k^{gs}, -y_k^{bs})} \quad (3)$$

$$EC_k(t, s) = \frac{(1 + D^G(x_k^t, y_k^{gt}, y_k^{bt}; y_k^{gt}, -y_k^{bt})) / (1 + D^t(x_k^t, y_k^{gt}, y_k^{bt}; y_k^{gt}, -y_k^{bt}))}{(1 + D^G(x_k^s, y_k^{gs}, y_k^{bs}; y_k^{gs}, -y_k^{bs})) / (1 + D^s(x_k^s, y_k^{gs}, y_k^{bs}; y_k^{gs}, -y_k^{bs}))} \quad (4)$$

3. 模型构建

由于采用 Super-SBM 模型和 GML 指数测算的工业低碳转型效率值不可能为负值, 所以本文采用 Tobit 模型来解决这类受限因变量的问题。基准回归模型如下:

$$GML_{kt} = \begin{cases} GML_{kt}^* = \alpha + \beta_1 PE_{kt} + \beta_2 X_{kt} + \epsilon_{kt}, & GML_{kt}^* > 0 \\ 0, & GML_{kt}^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, GML_{kt} 为决策单元 k 在 t 期的截断因变量, 即第 k 个省在 t 期的工业低碳转型效率值, GML_{kt}^* 为决策单元 k 在 t 期的潜变量, PE_{kt} 为可再生能源政策, X_{kt} 为控制变量集。

可再生能源政策具有滞后效应和个体差异, 且不同区域的工业低碳转型可能存在序列相关性。因此, 本文在式(5)的基础上引入被解释变量的滞后一期, 使用系统 GMM 模型来分析可再生能源政策推动工业低碳转型的作用。这是因为系统 GMM 既能通过工具变量解决内生性问题, 又能通过引入滞后被解释变量解决序列相关问题。具体如下:

$$GML_{kt} = \alpha + \beta_1 PE_{kt} + \beta_2 GML_{k,t-1} + \beta_3 X_{kt} + \epsilon_{kt} \quad (6)$$

式(6)中, $GML_{k,t-1}$ 是滞后一期的工业低碳转型效率变化。

(二) 指标选取与数据来源

1. 投入产出指标

中国工业发展方式的低碳转型被定义为通过节能减排、结构升级和技术进步来实现工业发展方式转变, 从而实现产出增长与碳排放降低“双赢”目标的工业发展过程^{[4][26]}。基于此, 本文从劳动、资本、能源等角度选取相应指标作为工业低碳转型的投入指标, 选取工业增加值和二氧化碳排放量分别作为工业低碳转型的期望产出指标和非期望产出指标^①, 具体如表 1 所示。

2. 可再生能源政策指标

通过对可再生能源政策进行量化分析, 可以获得政策的实际效果和影响程度, 帮助政策制定者评估政策激励措施的有效性, 优化政策目标和措施, 实现政策调控目标。本研究涉及政策文件, 需遵循权威性、公开性和完整性原则。因此, 我们以北大法宝法律数据库为可再生能源政策样本来源, 并对

表 1

工业低碳转型测算数据的描述性统计

	具体指标	样本量	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
期望产出	工业增加值	570	7287.485	7012.324	119.68	5263.61	39398.46
非期望产出	二氧化碳	570	329.211	299.853	7.555	234.584	2451.371
资本投入	固定资产投资	570	9989.579	8648.051	289.18	7597.355	43096.19
劳动投入	城镇单位年末就业人数	570	515.915	367.748	42.50	439.041	2451.929
能源投入	源消费总量	570	13675.36	8788.262	742.48	11246.5	43817

我国可再生能源政策按照以下规则进行处理：首先，通过关联检索等方式在北大法宝法律数据库搜集相关数据。为保证政策样本的全面性，本文参考李辉等（2019）的研究^[27]，先以“可再生能源”“配额”“并网”“上网电价”等高相关性关键词作为搜索依据，并进一步以“风能”“风电”“太阳能”“光伏发电”“地热能”“潮流能”“海洋能”等细分关键词作为搜索依据进行检索。其次，从政策力度、政策目标和政策工具角度分析我国可再生能源政策，参考纪陈飞和吴群（2015）的研究对其赋分^[28]，确定政策得分，具体量化标准如表 2 所示。最后，利用公式计算各省份可再生能源政策得分，公式如下：

$$PE_{kt} = \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^n (g_{kt} + i_{kt}) p_{kt} \quad (7)$$

式(7)中， PE_{kt} 表示决策单元 k 在 t 期的可再生能源政策得分； $(g_{kt} + i_{kt})$ 表示地区政策目标和政策工具得分； p_{kt} 表示地区政策力度得分。

表 2 可再生能源政策量化标准

一级指标	二级指标	评分标准	赋分
政策力度	大	省级人大及常务委员会颁布的“法律”“法规”等，力度为“大”	5
	中	由省级政府颁布的“标准”“通知”“意见”“办法”等，力度为“中”	3
	小	由市一级行政机构颁布的政策，力度为“小”	1
政策目标	高	政策目标清晰且可量化，有明确的数字标准，清晰程度为“高”	5
	中	政策目标无明确量化标准，清晰程度为“中”	3
	低	无目标，仅宏观指导，清晰程度为“低”	1
政策工具	组织型	各级政府直接提供可再生能源发展的资金，并直接组织发展可再生能源，扶植行业发展	5
		各级政府间接提供可再生能源发展的资金，并间接组织发展可再生能源	3
		仅涉及组织型政策工具 5 分和 3 分评价标准中的条款	1
	管制型	制定了专门的法律、强制性的管理办法、标准、考核、监督检查办法等	5
		明确要求制定相关法律、管理办法、标准、考核、监督检查办法等	3
		对可再生能源发展的要求宏观，仅涉及管制型政策工具 5 分和 3 分评价标准中的条款	1
	指导型	各级政府针对可再生能源提出了清晰、明确的规划、计划、意见等，并针对企业、居民的反馈进行调整	5
		各级政府针对可再生能源仅提出了大致的发展方向，下一级单位制定具体的计划、规划	3
		仅涉及指导型政策工具 5 分和 3 分评价标准中的条款	1
	激励型	给予财政补贴、补助、优惠，从价格、费用、奖惩、考核等方面制定相关办法促进可再生能源发展	5
		提出通过财政补贴、补助激励可再生能源发展，但未制定具体的实施办法	3
		仅涉及激励型政策工具 5 分和 3 分评价标准中的条款	1
信息型	通过清晰和明确的报告、统计、公告等大力引导企业、居民参与可再生能源的创新、利用、消费，有详细的引导措施	5	
	提出要引导企业、居民参与可再生能源的创新、利用、消费，但未制定具体办法	3	
	仅涉及信息型政策工具 5 分和 3 分评价标准中的条款	1	

3. 控制变量

根据环境库兹涅茨曲线(EKC)理论，环境效应可分解为规模、结构、技术、环境政策与政府管制等几个方面的效应^[29]。基于此，本文主要选取了以下控制变量：选取地区生产总值(GDP)来衡量区域的经济规模；选取第二产业占 GDP 的比重(SGDP)来衡量区域结构；选取科学技术支出(Tech)和

生活垃圾无害化处理率(HT)来衡量区域的科技水平;选取环境污染治理投资总额(Invest)和工业二氧化硫排放量(SO₂)来衡量地区政府管制。

4. 样本选取与数据来源

本文数据样本时间跨度为 2005—2022 年,空间跨度为除西藏和港澳台外的中国 30 个省及直辖市(自治区)。在初始样本的基础上,针对部分缺失值采用了趋势插补方法进行插补。政策样本主要来源于北大法宝法律数据库,省级数据主要来源于 CSMAR 数据库、中国碳排放核算数据库(CEADs)《中国工业统计年鉴》《中国城市统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》等。可再生能源政策数据主要采用 Python 软件收集,工业低碳转型数据主要采用 Matlab 软件计算,模型回归主要采用 Stata 软件分析。

五、可再生能源政策与工业低碳转型效率评价

(一) 可再生能源政策评价

图 1 描绘了由上文量化方法测度的各地区可再生能源政策数据。总体来看,可再生能源政策的发展呈倒“U”型趋势,各地区之间存在明显差异。这表明我国可再生能源政策区域不平等性较为明显,区域协同发展仍存在不足。从区域层次来看,东部地区整体高于其他地区,东北地区整体低于其他地区;2017 年西部地区可再生能源政策调控达到峰值,2016 年东北地区与中部地区可再生能源政策调控达到峰值。从变化趋势来看,在 2010 年前,四个地区之间存在差距但是扩张缓慢;在 2010—2019 年期间,四个地区之间差距逐渐拉大。这主要与我国不同阶段五年计划(规划)的侧重点不同有关,具体分析如下:“十五”计划能源发展战略是在保障能源安全的前提下,优化能源结构,提高能源效率、保护生态环境,加快西部开发,东西部地区的可再生能源政策差距不大。“十一五”规划强调循环经济,进一步健全环境监管体制,提高环境监管能力,实施排放总量控制、排放许可和环境影响评价制度,由于东部地区占据主导地位,可再生能源政策向其倾斜。2010 年,中国出台“新兴能源产业发展规划”,强调两步走战略实现中国能源产业变革。“十二五”规划中能源发展的基本设想是一方面采取有效措施加大节能力度,提高传统能源清洁化利用水平,推进替代产业发展,加大天然气等清洁能源利用规模;另一方面统筹规划重点能源基地的建设和跨区域能源输送通道,协调能源资源在区域间和省际的流转平衡。在此期间,我国可再生能源产业开始全面规模化发展,进入大范围增量替代和区域性存量替代的发展阶段。“十三五”规划的能源基本原则是统筹规划、集散并举、陆海齐进、有效利用,并提出加快开发中东部和南方地区风电,扩大可再生能源的利用规模,形成优先开发利用可再生能源的能源发展共识,积极推动各类可再生能源多元发展。因此,可以看出各地区之间的差距逐渐缩小,政策统筹得当。

(二) Super-SBM 模型测算结果与 GML 指数评价

采用 Super-SBM 模型和 GML 指数可以分别从静态和动态角度分析我国工业低碳转型效率水平及变化。Super-SBM 模型测算结果显示^⑤:分地区来看,工业低碳转型呈现由东到西、由沿海到内陆逐渐收敛的格局,存在显著的阶梯式区域发展现象;分省份来看,大部分省份的能源政策在相邻五年计划(规划)之间具有衔接性,总体呈现连续性,较少省份出现递减趋势。这说明了中国的能源政策相对稳定,有利于能源企业的长期规划和企业的可持续发展。同时,部分省份出现递减趋势,也反映出我国工业低碳转型仍面临风险。

图 2 描绘了 GML 指数结果。由图 2 可以看出,我国工业低碳转型效率指数具有地区异质性,整体呈上升趋势。首先,东北地区与西部地区整体波动较大,东中部则较为稳定。这主要是因为,一方面东北地区多以重工业为主,且大量旧工业遗留下的高耗能、高污染工艺和设备,使东北地区的工业低碳转型受到较大的制约,当地政府为了政绩考虑可能多注重短期发展目标,对长期发展方向存在误判,进而工业低碳转型进程出现较大波折;而西部地区在供给侧结构性改革推进以及中央对地方财政转移支付的支持下,发展较快,消纳能力有待提高,起伏较大。另一方面,东中部经济相对稳定,工业

结构更加优良,向高效节能、清洁生产的转型升级更为顺利,工业基础相较其他地区要更加扎实,因此工业低碳转型整体较为稳定。其次,2020年GML指数出现最大差距,这可能与新冠疫情有关。新冠疫情的爆发导致全球经济陷入衰退,工业生产受到较大影响。由于不同地区在经济和工业结构方面的差异较大,疫情对他们的影响也不尽相同。此外,受制于传统产业环保要求,一些地区在尚未完成整合和淘汰传统产能的情况下,污染排放问题加剧,尤其在疫情防控期间各地区生产线的停工和复工不同步,使得工业低碳转型进程出现了较大波动。

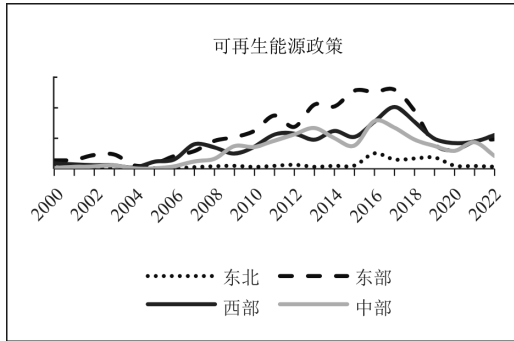


图1 可再生能源政策数据

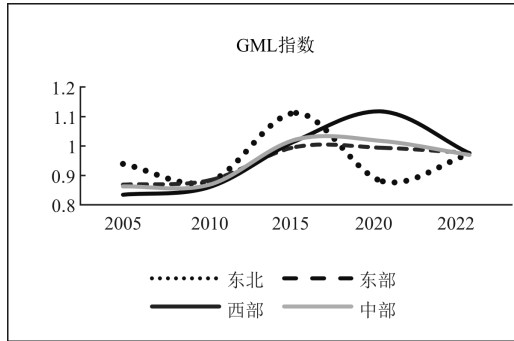


图2 GML指数示意图

综上,可以看出,中国在转型发展中形成了具有一定特色的内在逻辑,如中国可再生能源政策的变迁轨迹呈现出间断性优先于均衡性的特征。然而在不同五年规划(计划)期间,尽管能源政策注意力分布不均衡,但是总体仍呈向好态势。而中国工业低碳转型区域起伏较为明显,与可再生能源政策发展存在时序的关联。

六、可再生能源政策对工业低碳转型的影响分析

(一)基准回归

表3第(1)列为Tobit基准回归结果;第(2)列为引入被解释变量滞后项的系统GMM模型回归结果;第(3)(4)为将被解释变量GML指数分解为全局技术效率变化指数(TC)和全局技术进步变化指数(EC)后进行系统GMM模型回归的结果。本文在使用系统GMM模型时需要进行相关检验,具体如下:首先对系统GMM扰动项的自相关性进行检验,AR(1)显著而AR(2)不显著,表示扰动项的差分存在一阶自相关,但不存在二阶自相关,接受原假设“扰动项无自相关”。其次Sargan检验结果显示,可以在1%的显著性水平上接受“所有工具变量都有效”的原假设,这表明对于修正的模型设定,可以进行系统GMM估计,不存在工具变量过度识别问题。最后Hansen检验结果表明,不能拒绝原假设,即工具变量的选择是有效的,本文模型设定合理。

表3结果表明可再生能源政策对工业低碳转型具有正向关联性;滞后一期的工业低碳转型可显著促进工业低碳转型发展,说明工业转型具有持续性和一定的路径依赖性。另外,本文发现可再生能源政策与技术进步指数呈负向关系,与技术效率指数呈正向关系,说明可再生能源政策对工业生产管理方式、要素配置状况等有促进作用,对技术创新具有消极影响,这与Ye等(2022)的研究结论^[30]一致,可再生能源政策具有一定技术风险。综上,可再生能源政策能够促进工业低碳转型,但会引致技术风险。一方面,可再生能源政策对工业低碳转型的正向影响主要是因为,在可再生能源政策的引导下,可再生能源使用的减少量低于煤炭能源使用的减少量或者可再生能源使用的增加量高于煤炭能源使用的增加量,从而实现产出增长与碳排放降低,对工业低碳转型具有促进作用。另一方面,可再生能源政策会引致技术风险。而技术风险减缓了技术创新和技术进步过程,存在阻碍可再生能源产业发展的可能性,从而影响工业低碳转型进程。现有的制度变革都是由上至下推动的,但由于信息不对称,政策制定者对可再生能源发展情况掌握不充分,导致政策在实施过程中可能出现偏差,与预期效果背离,这需要进一步完善政策实施机制以减少外部影响。实际上,通过颁布实施可再生能源政策

以提高可再生能源效率,降低化石能源消费的思路在我国总体是可行的,但潜在在节能效果中有相当一部分被工业经济中不断更迭的能源消费所抵消,进而弱化了可再生能源政策的预期节能效果,产生较强的环境负外部性,引致技术风险。

表 3 可再生能源政策对工业低碳转型影响的回归结果

变量	(1) Tobit	(2) GML	(3) TC	(4) EC	(5) Diff-GMM	(6) Score	(7) SYS-GMM
PE	0.005 * (0.096)	0.004 ** (0.033)	-0.004 ** (0.015)	0.007 *** (0.000)	0.004 * (0.069)	0.002 *** (0.000)	0.003 * (0.098)
GDP	0.002 *** (0.001)	0.001 *** (0.001)	-0.001 *** (0.001)	0.002 *** (0.000)	0.002 *** (0.000)	-0.004 *** (0.000)	0.001 ** (0.018)
SGDP	-0.000 ** (0.014)	-0.008 *** (0.000)	-0.011 *** (0.000)	0.001 * (0.082)	-0.006 *** (0.000)	0.001 *** (0.000)	-0.008 *** (0.000)
Tech	-0.000 (0.637)	-0.000 (0.571)	-0.000 (0.102)	-0.000 ** (0.020)	-0.000 *** (0.007)	0.000 *** (0.000)	-0.000 (0.870)
Invest	-0.003 *** (0.000)	-0.000 *** (0.000)	-0.001 *** (0.000)	0.000 *** (0.000)	-0.000 *** (0.000)	-0.000 *** (0.000)	-0.000 *** (0.000)
HT	-0.000 ** (0.031)	0.000 *** (0.000)	0.000 *** (0.000)	-0.000 (0.807)	0.000 *** (0.002)	0.000 *** (0.000)	0.000 *** (0.001)
SO ₂	0.000	0.001 *** (0.000)	0.001 *** (0.000)	0.000 *** (0.000)	0.001 *** (0.000)	0.000 *** (0.000)	0.001 *** (0.000)
滞后项		0.164 *** (0.000)	0.207 *** (0.000)	0.133 *** (0.000)	0.155 *** (0.000)	1.308 *** (0.000)	0.166 *** (0.000)
sigma_u	0.018 * (0.054)						
sigma_e	0.062 *** (0.000)						
常数项	1.043 *** (0.000)	0.984 *** (0.000)	1.140 *** (0.000)	0.747 *** (0.000)	0.929 *** (0.000)	-0.068 *** (0.000)	1.027 *** (0.000)
AR(1)		-2.75 (0.006)					
AR(2)		0.47 (0.635)					
Sargan		77.16 (0.000)					
Hansen		28.31 (0.700)					
样本数	540	510	510	510	510	510	442
省份数	30	30	30	30	30	30	26

注:括号内为 p 值, *、** 和 *** 分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平,下表同。

综上,我国工业低碳转型仍存在较大节能空间,且单纯依靠可再生能源政策会引致技术风险,必须在此基础上进一步提高综合消纳能力,以最大程度发挥政策的节能效果。

(二) 稳健性分析

1. 改变回归方法。目前,动态面板数据模型主要有两种估计方法:差分 GMM 和系统 GMM。考虑到回归结果是否会因估计方法的不同而有所差异,本文采用差分 GMM 模型替换主回归中的系统 GMM 模型进行稳健性检验,结果如表 3 第(5)列所示。回归结果表明,本文重点关注的核心解释变量系数仍然是正显著的,这表明可再生能源政策对工业低碳转型具有促进作用。

2. 替换被解释变量。为进一步验证回归结果的稳健性,本文使用熵值法对各省份工业低碳转型水平重新进行了测算,得到新的工业低碳转型指数(Score)后再次进行回归检验。结果如表 3 第(6)列所示,与上文保持一致,说明可再生能源政策对工业低碳转型存在显著促进作用,以上回归结果是稳健的。

3. 在样本中剔除直辖市。参考姚璐(2023)等的研究^[31],考虑到直辖市的绿色发展水平要高于其

他地区,可能会对模型的回归结果产生影响。因此,本文将研究样本中的北京、上海、天津和重庆四个直辖市剔除,重新进行系统 GMM 模型回归,结果如表 3 第(7)列所示。结果显示,本文考察的各变量的显著性与影响方向没有明显变化,回归结果在整体上是稳健的。

(三)异质性分析

不同省市的环保意识、环境规制与环境污染程度的异质性会影响工业低碳转型进程,并且不同地区的经济发展水平不同,可再生能源资源、可再生能源政策偏向和工业低碳转型进程也存在地区差异。为此,本文进一步基于环保意识、环境规制、环境污染程度与地区进行异质性研究。

1.环保意识异质性。不同地区的环保意识可能会影响可再生能源政策的执行力度,从而导致可再生能源政策的实施程度和效果有所不同。例如,环保意识较高的地区可能会采取更严格的监管措施和处罚制度,积极推进可再生能源政策,促进工业向低碳方向发展。参考蔡宏波等(2021)的研究^[32],本文选取生活垃圾无害化处理率衡量地区的环保意识,以年度中位数为划分依据,将生活垃圾无害化处理率在中位数以上的地区划分为环保意识较强组,反之则为环保意识较弱组,进行异质性回归检验。回归结果如表 4 所示。由表 4 第(1)(2)列可知,可再生能源政策对环保意识较强组的促进作用更明显。这主要是因为环保意识更强的地区,可再生能源的市场认可度更高,利用可再生能源的可能性更高,政策实施更有效,更能发挥可再生能源政策对能源开发利用和工业结构优化的积极引导作用。

2.环境规制异质性。环境规制的严格程度同样也会影响政策的执行力度,进而影响工业低碳转型。参考钟茂初等(2015)的研究^[33],本文选取环境污染治理投资总额作为环境规制的替代指标进行异质性分析,以年度中位数为划分依据,将环境污染治理投资总额在中位数以上的省市划分为环境规制较强组,反之则为环境规制较弱组,进行异质性回归检验。回归结果如表 4 所示。由表 4 第(3)(4)列可知,可再生能源政策对环境规制较弱组具有显著的促进作用。这主要是因为环境规制的资源配置扭曲效应与技术效应之间存在博弈^[34],较严格的环境规制可能引致技术选择偏向,所以依赖技术进步的可再生能源发展在环境规制较弱的地区能够发挥更明显的作用,进而促进工业低碳转型。

表 4 异质性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	环保意识较弱	环保意识较强	环境规制较弱	环境规制较强	污染程度较低	污染程度较高
PE	0.000 (0.918)	0.004 * (0.070)	0.004 * (0.075)	-0.002 (0.984)	0.005 * (0.081)	0.003 (0.465)
控制变量	是	是	是	是	是	是
滞后项	-0.164 (0.292)	0.090 (0.467)	0.172 *** (0.000)	-0.043 (0.997)	-0.184 (0.270)	0.103 (0.731)
常数项	1.306 *** (0.000)	1.047 *** (0.000)	0.998 *** (0.000)	1.377 (0.604)	1.288 *** (0.000)	1.093 *** (0.001)
样本数	480	420	450	450	540	390
省份数	16	14	15	15	18	13

3.环境污染程度异质性。环境污染程度的高低可能会影响政策的制定方向,从而影响工业低碳转型方向。例如,在环境污染比较严重的地区,政府可能会更加重视环境保护工作,出台更多管制型政策和激励型政策,加大对企业违法行为的打击力度,积极推进可再生能源政策的落实;在环境污染较少的地区,政府可能多选择实施指导型政策和组织型政策,通过调节能源价格、补贴等方式鼓励可再生能源的发展,进而带动相关产业的发展和升级^[35]。二氧化碳是造成温室效应的最主要污染物,因此本文选取二氧化碳排放量衡量环境污染程度。以年度中位数为划分依据,将年度二氧化碳排放量在中位数以上的省市(自治区)划分为环境污染程度较高的地区,反之则为环境污染程度较低的地区,进行异质性回归检验。回归结果如表 4 所示。由表 4 第(5)(6)列可知,可再生能源政策对污染程

度较低省市的促进作用更加明显。这主要是因为相比环境污染严重的地区,污染程度较低的省市更容易实现可再生能源政策目标。污染程度较轻地区的空气、水质等环境指标相对良好,尤其是空气质量普遍更好,工业低碳转型的环境效应较小。

4.地区异质性。上文理论分析显示,我国区域间存在比较优势、要素禀赋和政策偏向上的显著差异。经济发达的东部地区,工业基础雄厚,传统能源的消耗量一度较高。但随着政府对可再生能源政策的不断倡导和推广,加上高新技术在这个地区的深度应用,使得可再生能源产业得到了较快发展,同时工业低碳转型有了很大进展。中部地区由于传统资源的优势,工业低碳转型进展略慢于东部地区,急需发展可再生能源技术以实现质的突破,因此可再生能源政策的促进作用可能有限。西部地区由于地理优势,风能、太阳能等可再生能源丰富,拥有发展新能源市场的基础。东北地区作为中国的重工业基地,能源密集型产业活跃度较高,为推进绿色发展和达成低碳转型的目标,东北地区在政府的推动下逐渐加快了低碳转型步伐,因此可再生能源政策对该地区的影响可能较为明显。基于此,本文根据地理位置与经济发展水平将样本分为东北、东、中、西四个区域^⑥,进行实证检验,并进一步将GML指数分解为全局技术效率变化指数(TC)和全局技术进步变化指数(EC)进行回归检验。回归结果显示:可再生能源政策对东北地区与西部地区的工业低碳转型具有促进作用;进一步分解指数发现,东北地区可再生能源政策的促进影响主要作用在技术效率上,而东中西部地区可再生能源政策的促进作用主要体现在技术水平的提高。可能原因如下:首先,东部地区地处沿海,发展较快,对外开放水平较高,具有较为完善的产业体系和相对成熟的技术研发能力,更容易推广应用可再生能源技术。其次,中西部地区可再生能源丰富,但面临可再生能源难以被完全就地消纳的问题,再加之风能、太阳能等可再生能源发电的间歇性、波动性、不可准确预测性及调峰难度等,可再生能源政策的促进作用有限,且主要以技术进步为主。最后,东北地区以重工业发展模式和资本密集型投资倾向为特征,市场化进程缓慢和指令性经济的影响使得东北地区初期工业低碳转型较慢,存在较大提升空间^[36],因此可再生能源政策的促进作用更为明显。

七、结论及政策建议

“十四五”时期,是构建现代化产业体系和实现经济高质量发展的重要阶段^⑦,因此,在应对气候变化和能源转型的迫切要求下,需要尽快推动我国工业进入能源融合期,持续推动工业体系转型,做好工业领域碳达峰碳中和工作,推动可再生能源发展。本文利用2005—2022年30个省(市、自治区)面板数据,将研究视角聚焦于以减污降碳为目的的可再生能源政策,运用Super-SBM模型和GML指数测度各省(市、自治区)工业低碳转型效率。在此基础上,构建动态面板经济增长模型考察可再生能源政策对工业低碳转型的影响。研究结果显示:第一,可再生能源政策具有地区异质性,对工业低碳转型具有促进作用,但会引致技术风险。第二,中国工业低碳转型呈现由东到西、由沿海到内陆逐渐收敛的格局,具有地区异质性和阶段性。第三,异质性结果显示,可再生能源政策对环保意识较强、环境规制较弱和污染程度较低地区的促进作用更为明显。此外,可再生能源政策对东北地区与西部地区的工业低碳转型具有明显促进作用。进一步分解指数发现,东北地区可再生能源政策的促进影响主要作用在技术效率水平上;而东中西部地区可再生能源政策的促进作用主要体现为技术水平的提高。

基于研究结论,本文提出以下建议:第一,当前我国工业低碳转型发展存在地区异质性,东北地区可再生能源政策推进较少,但是工业低碳转型受可再生能源政策的积极影响更为明显。因此,需要更加注重东北地区均衡发展,既要鼓励“头部化”又要实现“均等化”。一方面,要加强技术研发和创新。立足区域要素禀赋优势和资源环境承载能力,在煤炭、冶金、化工等传统工业领域,将清洁生产技术、低碳技术、高效节能技术应用于生产过程中,提高工业生产效率,降低碳排放。另一方面,要完善绿色产业链。加快实现“东数西算”工程,加强数据中心和电力网一体化设计,开展煤、油、气、新能源耦合发展关键技术研发及示范工程,带动相关产业有效转移。

第二,由于可再生能源政策存在技术风险,因此需要进一步防范化解技术创新的动机缺失等问题,强化技术创新的核心驱动功能,减少工业低碳转型过程中的技术风险。首先,要建立技术创新保障机制。政府可以在可再生能源政策执行上采取一定的保障措施,如采取技术补偿政策、技术评估服务制度、技术保密措施等,鼓励企业或个人积极投入可再生能源技术的研发和应用,激发技术创新动力。其次,要审慎制定可再生能源政策。制定政策时,要考虑市场需求和技术发展动态,避免在政策实施过程中出现技术风险,维护政策的有效性和可持续性。最后,要建立科学评估体系。强化监督管理和标准体系建设,加强对可再生能源技术的评估,确定技术的科学性和可行性,规范可再生能源产业的发展。

第三,工业低碳转型存在滞后性,因此需要进一步落实税收、金融、财政等扶持政策。一方面,要以长远眼光布置发展格局,深入挖掘节能提效潜力,既要加快突破清洁能源的关键技术,又要有效降低煤炭能源消耗,完善新旧能源结构优化协同运行机制。另一方面,要制定完善的政策配套措施,加强中央部门督导,支持能源绿色低碳转型的多元化投融资机制,鼓励可再生能源政策与其他政策协同发展,形成政策联动效应,加强可再生能源产业的发展。

注释:

①数据来源于中国新闻网。

②《中华人民共和国可再生能源法》规定,可再生能源是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能 and 海洋能等非化石能源。

③数据来源于国家能源局。

④期望产出指工业增加值,采用当年GDP平减指数进行计算,以消除物价影响,数据来源于国家统计局。非期望产出指二氧化碳排放量,数据来源于中国碳排放核算数据库(CEADs),由于中国碳排放核算数据库对行业分类的界定与《中国工业经济统计年鉴》有所区别,为了对二者进行合并,在此将橡胶制品业、塑料制品业统一归并为橡胶塑料制品业,将交通运输设备制造业、汽车制造业统一合并为交通运输设备制造业。资本投入采用固定资产投资衡量,数据来源于CSMAR数据库。劳动投入采用城镇单位年末就业人数衡量,数据来源于《中国工业统计年鉴》。能源投入采用能源消费衡量,使用《中国能源统计年鉴》附录所提供的“折煤系数”将所有能源消费的单位转换为万吨标准煤,数据来源于中国碳排放核算数据库(CEADs)。

⑤限于篇幅,Super-SBM模型测算结果未报告,作者留存备案。

⑥划分依据源自中华人民共和国国家统计局。东部包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部包括山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆;东北包括辽宁、吉林和黑龙江。回归结果留存备案。

⑦数据来源于《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》。

参考文献:

[1] Ke, L., Boqiang, L. Impacts of Urbanization and Industrialization on Energy Consumption/CO₂ Emissions: Does the Level of Development Matter? [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 52: 1107—1122.

[2] 王国法,刘合,王丹丹,庞义辉,吴立新.新形势下我国能源高质量发展与能源安全[J].中国科学院院刊,2023(1):23—37.

[3] 童健,刘伟,薛景.环境规制、要素投入结构与工业行业转型升级[J].经济研究,2016(7):43—57.

[4] 周小亮,宋立.中国工业低碳转型:现实分析与政策思考[J].数量经济技术经济研究,2022(8):22—41.

[5] Lionel, N., Francesco, V., Francesco, N. Environmental Policies, Competition and Innovation in Renewable Energy[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2014, 67(3):396—411.

[6] 林伯强,姚昕,刘希颖.节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整[J].中国社会科学,2010(1):58—71.

[7] 涂强,莫建雷,范英.中国可再生能源政策演化、效果评估与未来展望[J].中国人口·资源与环境,2020(3):29—36.

[8] 邵帅,贾锐宁.辩证看待技术进步的节能减排效应[N].中国社会科学报,2022(14):3.

[9] Yang, Z., Chen, Z., Shao, S., Yang, L. Can Regional Development Plans Promote Economic Growth? City-level Evidence from China[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2022, 83:101212.

[10] 贾锐宁,邵帅,杜克锐,余燕团.中国碳回弹效应的时空格局、动态演进及驱动因素——基于改进的碳排放随机前沿模型的实证考察[J].中国软科学,2022(12):23—34.

[11] Kim, S.K., Park, S. Impacts of Renewable Energy on Climate Vulnerability: A Global Perspective for Energy Transition in a Climate Adaptation Framework[J]. Science of the Total Environment, 2023, 859(P1):160175.

[12] Zhao, Ge., Zhou, P., Wen, W. What Cause Regional Inequality of Technology Innovation in Renewable Energy? Evidence from China[J]. Applied Energy, 2022, 310:118464.

- [13] Zhang, D. Y., Kong, Q. X. Do Energy Policies Bring about Corporate over Investment? Empirical Evidence from Chinese Listed Companies[J]. *Energy Economics*, 2022, 105: 105718.
- [14] 中国社会科学院工业经济研究所课题组, 李平. 中国工业绿色转型研究[J]. *中国工业经济*, 2011(4): 5—14.
- [15] 王昀, 孙晓华. 政府补贴驱动工业转型升级的作用机理[J]. *中国工业经济*, 2017(10): 99—117.
- [16] 史丹. 中国工业绿色发展的理论与实践——兼论十九大深化绿色发展的政策选择[J]. *当代财经*, 2018(1): 3—11.
- [17] 金碚. 中国工业的转型升级[J]. *中国工业经济*, 2011(7): 5—14.
- [18] 邵帅, 李欣, 曹建华, 杨莉莉. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. *经济研究*, 2016(9): 73—88.
- [19] 孙海波, 刘忠璐. 环境规制、清洁技术创新与中国工业绿色转型[J]. *科研管理*, 2021(11): 54—61.
- [20] Chen, S. Y., Golley, J. 'Green' Productivity Growth in China's Industrial Economy[J]. *Energy Economics*, 2014, 44: 89—98.
- [21] 彭星, 李斌. 贸易开放、FDI与中国工业绿色转型——基于动态面板门限模型的实证研究[J]. *国际贸易问题*, 2015(1): 166—176.
- [22] 林伯强. 中国新能源发展战略思考[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2018(2): 76—83.
- [23] 马少超, 范英. 能源系统低碳转型中的挑战与机遇: 车网融合消纳可再生能源[J]. *管理世界*, 2022(5): 209—220.
- [24] Kaoru, T. A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. *European Journal of Operational Research*[J], 2002, 143(1): 32—41.
- [25] 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.
- [26] 陈诗一. 中国各地区低碳经济转型进程评估[J]. *经济研究*, 2012(8): 32—44.
- [27] 李辉, 徐美宵, 张泉. 改革开放 40 年中国能源政策回顾: 从结构到逻辑[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019(10): 167—176.
- [28] 纪陈飞, 吴群. 基于政策量化的城市土地集约利用政策效率评价研究——以南京市为例[J]. *资源科学*, 2015(11): 2193—2201.
- [29] 黄天航, 胡潇月, 陈劲锋, 王毅, 张碧青. “一带一路”沿线国家可持续发展水平评价及其影响因素——基于 Super-SBM 模型和 Tobit 模型的实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020(12): 27—37.
- [30] Ye, F. L., Paulson, N., Khanna, M. Are Renewable Energy Policies Effective to Promote Technological Change? The Role of Induced Technological Risk[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2022, 114: 102665.
- [31] 姚璐, 王书华, 王小腾. 数字赋能中国经济绿色转型研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. *中南财经政法大学学报*, 2023(2): 131—145.
- [32] 蔡宏波, 钟超, 韩金镛. 交通基础设施升级与污染型企业选址[J]. *中国工业经济*, 2021(10): 136—155.
- [33] 钟茂初, 李梦洁, 杜威剑. 环境规制能否倒逼产业结构调整——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015(8): 107—115.
- [34] 童健, 刘伟, 薛景. 环境规制、要素投入结构与工业行业转型升级[J]. *经济研究*, 2016(7): 43—57.
- [35] 任保平, 豆渊博. 碳中和目标下黄河流域产业结构调整的制约因素及其路径[J]. *内蒙古社会科学*, 2022(1): 121—127.
- [36] 李天籽, 王伟, 邓丽君. 基于 PVAR 模型的东北地区城市化、工业化与人口集聚分析[J]. *人口学刊*, 2018(6): 75—85.

Do Renewable Energy Policies Promote Low-carbon Industrial Transformation?

LUO Liangwen SUN Lixue

(School of Economics, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China)

Abstract: This paper uses the data of 30 provinces (cities, autonomous regions) in China from 2005 to 2022 to focus on renewable energy policies aimed at reducing pollution and carbon, and uses Super-SBM model and GML index to measure the efficiency of low-carbon industrial transformation in each province (city, autonomous region). On this basis, a dynamic panel economic growth model is

constructed to examine the impact of renewable energy policies on industrial low-carbon transformation. The study shows that renewable energy policies have regional and phased characteristics, which can promote low-carbon transformation but may also induce technological risks. Our research finds that renewable energy policies have a more significant promoting effect in provinces and cities with strong environmental awareness, weak environmental regulations, and lower pollution levels. Moreover, renewable energy policies have a more significant promoting effect on low-carbon industrial transformation in Northeast and Western regions. In Northeast China, the promotion effect of renewable energy policies primarily lies in technical efficiency, while renewable energy policies in the eastern, central, and western regions play a role in promoting technological progress. This study helps understand China's renewable energy policy implementation and offers a theoretical foundation for building a low-carbon industrial development strategy in line with China's national conditions.

Key words: Renewable Energy Policy; Low-carbon Transformation of Industry; Super-SBM; GML

(责任编辑:姜晶晶)

(上接第 27 页)

Can Enterprise Digital Transformation Improve Analysts' Forecast Accuracy: Based on the Dual Perspective of Information Disclosure and Information Mining

WANG Yao¹ FENG Xiaoqing¹ HOU Deshuai²

(1. School of Economics and Management, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. School of Accounting, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: This paper takes A-share listed companies from 2007 to 2020 as samples to study the impact of digital transformation on analysts' forecast accuracy. This study finds that the digital transformation of enterprises can help improve the accuracy of analysts' forecasts. The mechanism test shows that digital transformation can improve the accuracy of analysts' forecasts by promoting companies to actively increase public information disclosure and encouraging analysts' site visits to mine private information. Heterogeneity analysis shows that this effect mainly exists in the firms with higher institutional ownership, more star analysts following, and in a bull market. Further research also finds that the digital transformation of enterprises mainly reduces the optimism bias of analysts, and can significantly reduce the divergence of analysts' earnings forecasts. The test of economic consequences shows that enterprise digital transformation can reduce the stock price crash risk by improving the accuracy of analysts' forecasts. The conclusion of this paper reveals the information transmission effect of enterprise digital transformation in the capital market.

Key words: Digital Transformation; Analysts' Forecast Accuracy; Information Disclosure Quality; Analysts' Site Visits

(责任编辑:胡浩志)