

引用格式: 岳立, 曹雨暄, 王宇. 能源政策的区域碳减排效应[J]. 资源科学, 2022, 44(6): 1105-1118. [Yue L, Cao Y X, Wang Y. Effect of energy policies on regional carbon emission reduction[J]. Resources Science, 2022, 44(6): 1105-1118.] DOI: 10.18402/resci.2022.06.02

能源政策的区域碳减排效应

岳立¹, 曹雨暄¹, 王宇²

(1. 兰州大学经济学院, 兰州 730000; 2. 南京大学经济学院, 南京 210008)

摘要: 评估能源政策的区域碳减排效应并探究其作用机制对实现碳中和、碳达峰目标意义重大。本文基于2003—2019年中国30个省份的面板数据, 首先, 利用多期双重差分模型进行能源政策对碳排放的效应评估; 其次, 将能源政策分为开发型和节约型政策, 评估了两种政策的减排有效性和持续性; 再次, 通过构建含有交互项的面板固定效应模型, 探究能源政策对区域碳减排的作用机制; 最后, 基于经济发展水平和能源禀赋情况将区域划分为东中西和能源富贫区展开进一步分析。研究表明: ①能源政策的实施可以显著促进区域碳减排, 在经过了平行趋势检验和稳健性检验后, 结果仍然成立; 其中, 节约型政策的当期减排效果更好, 而开发型政策的减排持续性更强。②技术创新在能源政策的碳减排作用中存在负向调节作用, 而能源消费结构、产业结构高级化和产业结构合理化可以提高能源政策对碳减排的积极效应。③能源政策的碳减排机制存在显著的区域异质性。东部地区可依靠绿色技术创新和产业结构升级加强政策的碳减排作用, 而中西部地区的政策碳减排效应不显著; 能源富集区可在产业和能源消费的结构效应下发挥政策的碳减排作用, 能源贫乏区的政策需与绿色技术创新协同发力。研究结论对中国能源政策制定和碳减排具有一定指导意义。

关键词: 能源政策; 碳排放; 绿色技术创新; 能源消费结构; 产业结构升级; 双重差分模型; 中国

DOI: 10.18402/resci.2022.06.02

1 引言

近年来, 全球变暖加剧、极端高温天气频发、全球生态环境恶化等危机引发世界关注, 而以CO₂为首的温室气体排放被认为是引发危机的重要原因。中国作为世界碳排放第一大国, 2019年CO₂排放高达101.7亿t, 约占全球总量的28%。因此, 中国的碳减排成为全球关注的焦点^[1]。习近平主席于2020年在联合国大会上强调“中国将提高国家自主贡献力度并努力争取2030年碳达峰, 2060年碳中和”。中国政府作为环保的责任主体, 为实现碳达峰、碳中和的目标, 出台了一系列政策以期解决碳排放造成的环境污染问题。政策的碳减排效应评估也成为了研究的热点方向, 包括碳交易试点政策^[2]、低碳试点政策^[3]、绿色金融政策^[4]、资源转型试验区

政策^[5]和环境财税政策^[6]等。目前关于碳排放的指标, 学术界多采用能源消费CO₂排放衡量^[7]; 然而, 能源政策作为改善能源消费的重要工具, 有关能源政策与碳减排的研究却较为匮乏。经过长期发展, 中国已形成多层次的能源政策体系和多元化的能源政策目标, 那么, 能源政策的实施对碳排放作用究竟如何?

中国在不同时期制定了一系列不同导向的能源政策, 而不同类型的政策对碳减排也会发挥不同的效果。按照技术开发和能源利用程度可以将能源划分为新能源和传统能源两类^[8], 因此新能源、可再生能源开发利用和传统化石能源节能减排是国家应对能源挑战的利器。基于此, 本文将能源政策划分为开发型政策与节约型政策两类。开发型政

收稿日期: 2021-12-24; 修订日期: 2022-04-12

基金项目: 2021年甘肃省哲学社会科学规划项目(2021YB006); 2022年甘肃省教育厅优秀研究生创新之星项目(2022CXZX-020)。

作者简介: 岳立, 女, 新疆哈密人, 博士, 教授, 研究方向为区域经济和资源环境经济。E-mail: mgliang@lzu.edu.cn

通讯作者: 曹雨暄, 女, 北京人, 博士研究生, 研究方向为区域经济与可持续发展。E-mail: 352804521@qq.com

策是指以开发利用太阳能、风能等新能源为主要内容的能源政策;节约型政策是指以节约能源利用、减少污染排放为主要内容的能源政策。有关政策的度量学者多采用数词频的文本分析方法进行统计^[9],因此本文也使用文本分析法对上述两类能源政策进行统计。那么,这两类政策对中国的碳减排作用有何差异?

政策的出台和实施往往会通过一定途径对环境保护产生影响。中国生态环境部编发了《中国应对气候变化的政策与行动2020年度报告》,报告中提出强化科技支撑、优化能源结构、调整产业结构对于减缓气候变化意义重大。学术界有关技术创新对碳排放的研究多从两个方面展开:①直接探究技术创新对碳排放的影响,认为低碳技术创新可能促进区域碳减排^[10],也可能会产生一定的能源回弹效应,不利于碳减排^[11];②技术创新与碳排放的非线性影响研究,认为技术创新可以在环境保护^[12]、贸易开放^[13]和金融发展^[14]等的共同作用下影响碳排放。有关能源消费对碳排放的影响最初集中于传统能源消费方面,有学者认为煤炭能源消费是增强碳排放和造成气候变化的主要原因^[15];后来,随着对可再生能源开发利用的重视程度增加,与之相关的研究逐渐增多,但基本集中于可再生能源消费对经济增长的影响方面,有些学者得出二者正相关的结论^[16],有些学者则认为二者负相关^[17]或不显著^[18]。对于产业结构与碳排放的研究,学术界基于不同产业和不同区域的数据,探究二者的线性关系,基本得出产业结构升级可以促进产业资源的合理分配,从而降低环境污染的结论^[19,20]。上述研究发现技术创新、能源结构和产业结构可以对环境污染发挥作用,遗憾的是并未得到一致的结论。那么,能源政策的出台又是否会依托技术创新、能源结构、产业结构作用于碳减排呢?

本文尝试解答上述3个问题,从能源政策的视角切入,考察政策本身以及不同类型政策的碳减排效应,进一步探究能源政策对碳减排的作用机制,并且从经济发展水平和能源禀赋两个角度展开区域异质性分析,具有一定创新性。本文在一定程度上对现有研究进行了补充和完善,相信这一系列问题的回答将对中国能源政策制定、低碳经济发展和区域能源利用具有一定的理论和实践意义。

2 机制分析与研究假说

市场失灵理论认为,政府干预是协调宏观经济调控和市场机制关系的重要手段。近年来,随着能源资源的约束和污染排放的增多,世界上许多国家均通过制定能源政策解决资源环境问题。能源政策是指立法机构或政府部门制定的、通过强制命令或者市场机制解决能源不可持续性问题,最终达到纠正环境外部性目的的一类环境经济政策。改革开放40多年来,中国能源政策的指引和激励对满足中国不同阶段的能源供应、节约及环境保护意义重大。但是,总体来看,中国的能源政策仍处于探索阶段,出台的政策多采用“意见”“暂行办法”的形式,缺乏持续性和稳定性;此外,由于市场失灵难以克服、市场机制不健全、政策推行配套措施不完善等问题的存在,也可能造成能源政策对调整环境与经济利益关系的作用较为有限。能源政策实施的碳减排效应应具有一定的不确定性,在已有研究中也未得到一致的结论。因此,在“双碳”目标的指引下,检验宏观层面的能源政策碳减排效应具有实践意义。基于此,本文提出以下假说:

H1:能源政策的实施可能会促进中国碳减排。

随着经济发展和能源需求的大幅提升,能源的储量、生产和使用之间的矛盾日益突出。煤、石油、天然气等传统能源具有不可再生性,且在生产、转化过程中会产生大量CO₂,对生态环境造成不利影响^[21]。因此,中国长期以来,在能源领域始终坚持“开发与节约并举”的战略方针,其中“开发”是指以开发利用新能源为主要内容的能源政策。一方面,中国地域辽阔,可再生能源丰富且分布广泛,可以很好地解决能源供需矛盾^[22];另一方面,传统化石能源在利用过程中会发生化学反应,而新能源主要通过物理变换产生能量,普遍不含碳或含碳少,不会释放大量的CO₂到大气中。所以更多地开发利用新能源,对建设一个技术先进、污染排放低的能源生产流通消费体系至关重要^[23]。“节约”是指以节约能源利用为主要内容的能源政策,更大强度地开展节能减排,对实现以较低能耗促进经济发展的目标意义重大。不同目标导向的能源政策发挥的政策效力不尽相同,不同类型的能源政策从出台到调整社会行为所需要的时间长短也不尽相同。开发型政策

2022年6月

大多是采用补贴和资金支持的方式激发主体利用新能源的积极性,属于激励型政策的一种,短时间内如果激励力度不大难以发挥成效;此外,要想引导企业跨越“末端治理”进入“源头调整”通常需要较长时间,因而政府会持续进行激励引导。节约型政策大多采用收取排污费和惩罚的方式,规定严格的环境标准强制性执行,短期之内更容易倒逼企业进行减排控制。但是,在绿色发展理念的指导下,随着环境标准的不断提高,强制性政策实施可能会逼迫企业迁移至环境标准较为宽松的区域,无法实质解决污染排放问题,政策实施的持续性有待加强。基于此,提出以下假说:

H2:当期节约型政策的减排效果强于开发型政策,但是开发型政策的持续性较强。

依靠政府干预出台并实施的环保政策需要依托一定的作用途径对环境保护产生影响。①波特假说认为,合理的环保政策有助于企业开展技术创新,产生创新补偿效应。自党的十八大提出创新驱动高质量发展战略后,技术创新对高质量发展的积极作用已被多数学者证实^[24,25]。低碳经济作为高质量发展的内涵之一,技术创新也成为了低碳经济发展的源动力。然而,技术创新在提高能源效率的同时,也降低了单位产品的成本与价格,最终可能会导致能源消费的进一步增长,从而与技术进步带来的能源节约相抵消,产生“能源回弹效应”^[26]。在能源政策的实施中,与绿色相关的技术创新究竟起到能源节约的作用,还是产生了能源回弹效应并不确定。②温室气体排放的主要原因是能源消费持续增长,中国的能源禀赋状况为“富煤少油贫气”,煤炭消费为环境污染问题和温室气体排放负主要责任。所以发展“低碳经济”,关键要减少化石能源消费量,调整能源消费结构,改变高碳消费倾向和碳偏好。近年来,在一系列新能源政策的指引下,中国积极促进了太阳能、风能、生物能等能源种类消费占比提升,能源政策依托能源消费结构升级对温室气体减排起重要作用。③能源政策的出台,可以依托产业结构升级影响环境效益。产业结构升级是一个动态过程,包括产业结构高级化和合理化两个方面。产业结构高级化的过程会促进具有高附加值和低耗能特征的新兴产业部门崛起,同时淘汰生产模式落后、能耗较高的旧产业部门,这与能源

政策对产业的指导作用相一致。因此,产业结构高级化可以在能源政策实施过程中减少能源消耗进而促进碳减排^[27]。产业结构合理化的过程会协调产业均衡发展,实现生产资料和要素的优化配置,一方面,生产要素向高生产率部门转移带来了经济集约化水平提升;另一方面,随着工业化中技术设备的改进与生产流程精细化的推进,降低了能源开采利用中的损失,提高能效进而减少碳排放^[28]。

另外,中国具有区域特殊性,一方面,从经济发展与地理位置来看,东部沿海地区工业化程度和对外开放程度较高,经济快速增长对能源需求较大,能源供需矛盾较为突出。而中西部地区经济发展水平较低,发展模式依赖于以资源换增长。另一方面,根据“资源诅咒”效应,能源禀赋较为丰富的地区可能会通过“成本优势”和“产业挤出”对环境产生不利影响。从价格视角看,能源丰富意味着能源的供给和使用成本低,成本优势容易增加能源消耗。从产业视角看,能源丰富意味着区域产业结构易形成以能源产业为主的单一产业体系。因此,不同区域能源政策对环境绩效的影响可能具有差异性。基于此,提出以下假说:

H3:能源政策的实施可能通过推动绿色技术创新、优化能源消费结构、促进产业结构高级化、促进产业结构合理化等路径影响CO₂排放。

H3a:绿色技术创新可能会节约能源利用,也可能产生“能源回弹”,在能源政策和碳排放间存在不确定性。

H3b:能源消费结构调整可以改变高碳消费倾向和碳偏好,可能会在能源政策和碳排放间存在正向调节效应。

H3c:产业结构高级化有助于产业更新换代,可能会在能源政策和碳排放间存在正向调节效应。

H3d:产业结构合理化有助于提高产业间协调度,可能会在能源政策和碳排放间存在正向调节效应。

H4:能源政策的碳减排作用机制可能会因区域经济发展与能源禀赋不同而有所差异。

3 变量、数据与模型

3.1 指标选取

3.1.1 被解释变量

本文的被解释变量是碳排放量,采用基于IPCC

《国家温室气体排放清单指南2006》的估算方法,具体公式如下:

$$C = \sum_{j=1}^8 C_j = \frac{44}{12} \sum_{j=1}^8 E_j \times CF_j \times COF_j \times EF_j \quad (1)$$

式中: C 表示省级化石能源燃烧的 CO_2 排放量(亿t); j 表示化石能源类型,包括煤炭、天然气、焦炭、燃料油、汽油、煤油、柴油和原油8种; E_j 为第 j 种换算为标准煤后的化石能源消费量; CF_j 为各种燃料的平均发热量; COF_j 为碳氧化因子; EF_j 为单位热值含碳量。因为碳的分子量为12, CO_2 的分子量为44,所以整个公式需要乘以44/12,表示1t碳在氧气中燃烧后约能产生的 CO_2 量。

3.1.2 解释变量

本文的解释变量是能源政策,参考曾婧婧等^[8]的做法,在北大法宝网站的法律法规数据库上依据2003—2019年各省级行政区颁布的法律法规政策进行标题关键词检索。标题检索关键词包括“节能减排”“可再生能源”“太阳能”“风能”“水能”“生物能”“地热能”“潮汐能”。据此构建能源政策虚拟变量 $Policy_{it}$,在样本观测期间根据能源政策的出台时间 t 对各省进行赋值,若该省在 t 之后出台了能源政策,则 $Policy_{it}=1$,否则, $Policy_{it}=0$ 。

3.1.3 调节变量

本文选取了4个调节变量:①绿色技术创新($Innovation$),以绿色专利申请数的对数值表示,绿色专利的选取参考齐绍洲等^[29]的做法,从世界知识产权组织(WIPO)推出的“国际专利”在线工具,依据《联合国气候变化框架公约》的七大分类进行关键词检索得出。②能源消费结构($Energy$),选择折算为万t标准煤的天然气和电力消费量占能源消费总量的比重衡量。③产业结构高级化($Structure_1$),参考付凌晖^[30]的做法,运用向量夹角余弦法进行计算,首先,将三次产业增加值占GDP比重作为向量集合中的分量 $X_0=(x_{10}, x_{20}, x_{30})$;其次,计算 X_0 与一、二、三产业由低到高排列的向量夹角 θ ;最后,定义产业结构高级化为 $\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{30} \theta_i$ ($k=1, 2, 3$ 分别表示一、二、三产业; $i=1, 2, \dots, 30$ 分别表示30个省份)。④产业结构合理化($Structure_2$),参考干春晖等^[31]的做法,根据公式 $Structure_2 = \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{30} \left(\frac{Y_{ki}}{Y_k} \right) \ln \left(\frac{Y_{ki}}{L_{ki}} / \frac{Y_k}{L_k} \right)$ 计算

得出,其中, Y 为产值, L 为就业,该变量为负向指标,值越接近于0,意味着产业结构越合理。

3.1.4 控制变量

城镇化的快速发展在推动中国经济转型同时,也带来了资源紧张和环境恶化等问题^[32],本文选取城镇人口占总人口比重表征城镇化率($Urban$);依据“污染天堂”理论,外商直接投资会造成东道国高资源消耗和高污染排放,与大气污染存在一定负相关关系^[33],选取FDI占GDP比重表征对外开放水平(FDI);交通运输作为主要的碳排放来源对碳减排影响重大^[34],选取每万人拥有车辆标台表征交通运输($Cars$);环境库兹涅兹曲线揭示了经济发展与环境污染之间的关系^[35],选取人均GDP的对数值表征经济发展水平($perGDP$);环境规制工具是改善环境质量的重要措施^[36],选取污染治理投资额的对数值表征环境规制(ER)。

3.2 数据说明与描述性统计

由于西藏、港澳台数据缺失严重,故剔除后选取中国30个省2003—2019年的面板数据作为样本。能源消费结构、能源消费量等能源相关数据来自《中国能源统计年鉴》,能源政策变量根据北大法宝网站公开资料手工整理得出,绿色专利数是在世界知识产权推出的在线工具中手动分类检索整理获得,外商直接投资数据来自wind数据库,其余数据均来自《中国统计年鉴》和国家统计局网站。数据来源中缺失的部分数据,本文采用移动平均法估算补充。描述性统计如表1所示,可初步探知各变量的分布规律。

表1 描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

| 变量名称 | 观测数 | 均值 | 标准差 | 最大值 | 最小值 |
|---------------|-----|--------|--------|--------|--------|
| C | 510 | 3.232 | 2.462 | 15.143 | 0.127 |
| $Policy$ | 510 | 0.790 | 0.407 | 1.000 | 0.000 |
| $Innovation$ | 450 | 7.267 | 1.623 | 11.005 | 2.397 |
| $Energy$ | 450 | 18.978 | 7.563 | 58.472 | 5.994 |
| $Structure_1$ | 450 | 6.569 | 0.318 | 7.613 | 5.311 |
| $Structure_2$ | 450 | 1.051 | 0.352 | 2.174 | 0.255 |
| $Urban$ | 510 | 52.224 | 14.850 | 99.395 | 20.633 |
| FDI | 510 | 2.209 | 1.712 | 8.306 | 0.011 |
| $Cars$ | 510 | 11.251 | 3.690 | 26.550 | 3.992 |
| $perGDP$ | 510 | 10.010 | 0.667 | 11.545 | 8.212 |
| ER | 510 | 4.790 | 1.070 | 7.255 | 1.280 |

2022年6月

3.3 模型设定

3.3.1 基准回归模型

因各省能源政策出台时间不同,且为避免选择性偏误及遗漏变量问题,采用多期双重差分模型来评估能源政策效应,以减少内生性。回归模型如下:

$$C_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Policy_{it} + \sum_{q=2}^6 \alpha_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: i 、 t 、 $Policy_{it}$ 含义同上; C_{it} 表示 i 省 t 年 CO_2 排放量; $Controls_{itq}$ 为控制变量; γ_t 表示时间固定效应; μ_i 表示个体固定效应; ε_{it} 表示随机误差项; α_0 表示常数项; α_1 是政策效应的回归系数; α_q ($\alpha_2 - \alpha_6$) 分别表示 5 个控制变量的回归系数。

3.3.2 平行趋势检验公式

平行趋势检验是多期 DID 的使用前提,探究在未受到试点政策冲击前,实验组和对照组碳排放量是否具有相同的变化趋势。通过在标准回归方程中加入一系列虚拟变量来追踪能源政策对 CO_2 排放的逐年影响,公式如下:

$$C_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 d(-1) + \lambda_2 d(-2) + \dots + \lambda_{16} d(12) + \lambda_{17} d(13) + id_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

选择能源政策实施前的 4 年和政策实施后的 13 年进行平行趋势检验。其中, $d(-n)$ 表示能源政策实施前第 n 年的虚拟变量与处理组的交互项,若处理发生前的交互项系数不显著,则表明平行趋势检验通过, $d(n)$ 表示能源政策实施后第 j 年的虚拟变量与处理组的交互项。 id_i 和 $year_t$ 分别为省份和年份虚拟变量; λ_0 是常数项; $\lambda_1 - \lambda_{17}$ 为每一期的回归系数。

3.3.3 面板固定效应模型

为探究不同类型的政策对中国碳减排的差异性,将政策分为开发型和节约型分别对 CO_2 排放量回归,采用经 Hausman 检验后的面板固定效应模型,模型设定如下:

$$C_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 P^{os}_{it} + \varphi_2 P^{th}_{it-1} + \sum_{q=3}^7 \varphi_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$C_{it} = \eta_0 + \eta_1 P^{th}_{it} + \eta_2 P^{os}_{it-1} + \sum_{q=3}^7 \eta_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中: P^{os} 指开发型政策,用关键词“可再生能源”“太阳能”“风能”“水能”“生物能”“地热能”“潮汐能”进行标题检索后的政策数量表示; P^{th} 指节约型政策,用关键词“节能减排”进行标题检索后的政策数量表; φ_0 、 η_0 均为常数项; $\varphi_1 - \varphi_j$ 、 $\eta_1 - \eta_j$ 均为回归系数。研究期间中国 30 个省共出台开发型政策文件 1230 项,其中,内容中同时包含关键词“节能减排”的文件 216 项;共出台开发型政策文件 2201 项,其中,内容中同时包括关键词“可再生能源”“太阳能”“风能”“水能”“生物能”“地热能”“潮汐能”的文件 657 项。在进行内容检索后发现,重复内容的词频出现的次数极少,仅仅是稍微提了一下,并不会影响文件的指导作用。因此,选择以标题检索后两类文件的原始数量展开研究,并进一步加入政策的滞后 1 期,一方面,考虑到政策的实施效应可能存在一定滞后性;另一方面,也可以通过比较滞后项前的系数探究两种政策的可持续性。此外,由于能源政策实施的最初始年份为 2005 年,故在回归中均选取 2005—2019 作为研究时段。

3.3.4 加入交互项的面板固定效应模型

本文进一步采用经 Hausman 检验后的面板固定效应模型引入 4 类交互项后进行回归,此时不再设定政策虚拟变量,而是基于关键词检索后的政策数开展实证分析。模型设定如下,模型一至四分别考察能源政策与绿色技术创新、能源消费结构、产业结构高级化和产业结构合理化的交互作用。

$$\text{模型一: } C_{it} = \chi_0 + \chi_1 P_{it} + \chi_2 Innovation_{it} + \chi_3 P \times Innovation_{it} + \sum_{q=3}^7 \chi_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\text{模型二: } C_{it} = \beta_0 + \beta_1 P_{it} + \beta_2 Energy_{it} + \beta_3 P \times Energy_{it} + \sum_{q=3}^7 \beta_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$\text{模型三: } C_{it} = \delta_0 + \delta_1 P_{it} + \delta_2 Structure_{it} + \delta_3 P \times Structure_{it} + \sum_{q=3}^7 \delta_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\text{模型四: } C_{it} = \phi_0 + \phi_1 P_{it} + \phi_2 Structure_{2it} + \phi_3 P \times Structure_{2it} + \sum_{q=3}^7 \phi_q Controls_{itq} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中： χ_0 、 β_0 、 δ_0 、 ϕ_0 均为常数项； χ_1 、 χ_q 、 β_1 、 β_q 、 δ_1 、 δ_q 、 ϕ_1 、 ϕ_q 均为回归系数。

4 结果与分析

4.1 实证结果

4.1.1 能源政策对碳排放的基准回归

基准回归结果如表2所示,列(1)和列(2)分别是未加入控制变量和加入控制变量的结果,发现能源政策的虚拟变量回归系数均显著为负,证明能源政策实施能显著降低CO₂排放,验证了H1。说明中国出台的能源政策,对建设绿色低碳的经济体系和清洁低碳的能源体系意义重大。体现了政府干预对于中国生态环境保护的重要性,尤其对于达成“双碳”目标有重要指导作用。从其他控制变量来看,城镇化率和交通运输对碳减排具有显著的负向影响,与纪玉俊等^[37]的研究一致,说明中国城镇化水平的提升加大了能源消费量,同时交通运输产生的尾气排放是CO₂排放的主要来源之一。经济发展水平提升可以显著推进碳减排,说明当前中国在绿色发展战略的引领下已经转变了粗放式的经济发展模式,走上了绿色低碳的发展道路。FDI和环境规制的回归系数不显著,从系数方向判定,FDI和环境规制可以降低碳排放,不显著的原因可能在于当前外国保护主义升级导致的贸易摩擦使中国难以接触高质量外资,而环境规制虽然可以弥补市场失灵,解决部分环境问题,但是当能源所有者预期环

境管制越来越严格,可能会提前开采,引发绿色悖论。

4.1.2 平行趋势检验

为探究在未受到试点政策冲击前,实验组和对照组碳排放量是否具有相同的变化趋势,进行平行趋势检验,结果如图1所示。可以看到,处理前每个时期的虚拟变量系数均不具有统计显著性,满足平行趋势假设;而在处理后的13期,每个时期的虚拟变量的系数均小于0,其中中间8期通过了5%以下显著性水平测试,表明能源政策实施可以有效降低CO₂排放;第1期政策实施不显著,说明能源政策实施效果具有一定的滞后性;后4期政策实施不显著,说明能源政策实施效果具有一定的弱可持续性。

4.1.3 稳健性检验

采用4种方式进行稳健性检验(表3):①缩尾处理。列(3)显示的是对CO₂进行上下1%的缩尾处理后的回归结果。②替换被解释变量。列(4)显示的是将被解释变量替换为滞后1期的CO₂排放。③变换样本范围。列(5)显示的是将样本时间范围变为2003—2013年的回归结果。④安慰剂检验。参照Cai等^[38],采用非参数置换检验法进行安慰剂检验。图2展示了政策估计系数的概率密度分布,发现基于随机抽样的估计系数均值分布在0附近,且与虚线代表的基准回归估计系数存在显著差异,安慰剂检验通过,表明能源政策对碳减排的效应并未明显受到潜在非观测随机因素的影响。

表2 能源政策对碳排放的基准回归

Table 2 Benchmark regression of energy policies on carbon emissions

| 变量 | (1) | (2) |
|----------------|------------------|------------------|
| Policy | -3.297**(-1.76) | -2.694*(-1.68) |
| Urban | | 0.142*** (2.59) |
| FDI | | -0.641(-0.90) |
| Cars | | 0.529*(1.77) |
| perGDP | | -8.413**(-2.16) |
| ER | | -0.413(-0.44) |
| Cons | 23.236*** (6.44) | 93.523*** (2.85) |
| R ² | 0.381 | 0.269 |
| 时间固定 | YES | YES |
| 个体固定 | YES | YES |
| 样本量 | 510 | 510 |

注:括号中的值为t统计量,*、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平,下同。

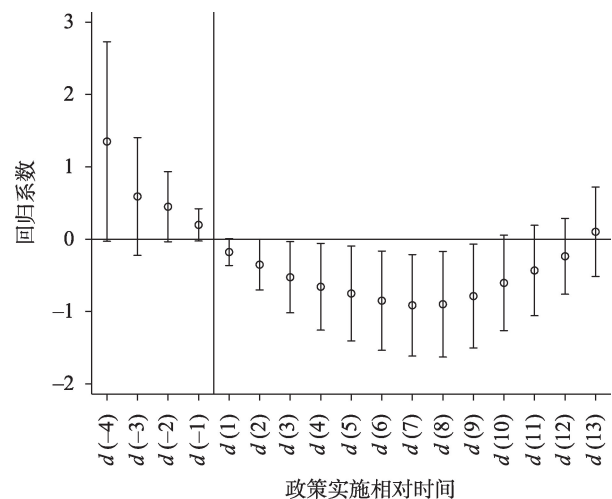


图1 平行趋势检验

Figure 1 Parallel trend test results

2022年6月

表3 稳健性检验

Table 3 Robustness test results

| 变量 | (3) | | (4) | | (5) | |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 不加入控制变量 | 加入控制变量 | 不加入控制变量 | 加入控制变量 | 不加入控制变量 | 加入控制变量 |
| <i>Policy</i> | -3.290** (-1.76) | -2.692* (-1.68) | -3.387* (-1.73) | -2.624* (-1.67) | -2.043** (-2.35) | -1.787** (-2.20) |
| <i>Urban</i> | | 0.134** (2.56) | | 0.133** (2.45) | | 0.081** (2.47) |
| <i>FDI</i> | | -0.476 (-0.77) | | -0.643 (-1.12) | | -0.149 (-0.72) |
| <i>Cars</i> | | 0.500* (1.73) | | 0.529* (1.88) | | 0.313*** (2.91) |
| <i>perGDP</i> | | -9.339** (-2.43) | | -9.309*** (-2.69) | | -4.760** (-2.51) |
| <i>ER</i> | | -0.436 (-0.46) | | 0.041 (0.05) | | -1.748** (-2.13) |
| <i>Cons</i> | 22.501*** (8.92) | 103.275*** (3.15) | 99.270*** (3.35) | 185.432*** (3.47) | 14.456*** (10.18) | 102.139* (1.96) |
| R^2 | 0.228 | 0.245 | 0.366 | 0.247 | 0.312 | 0.201 |
| 时间固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 个体固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 样本量 | 510 | 510 | 510 | 510 | 330 | 330 |

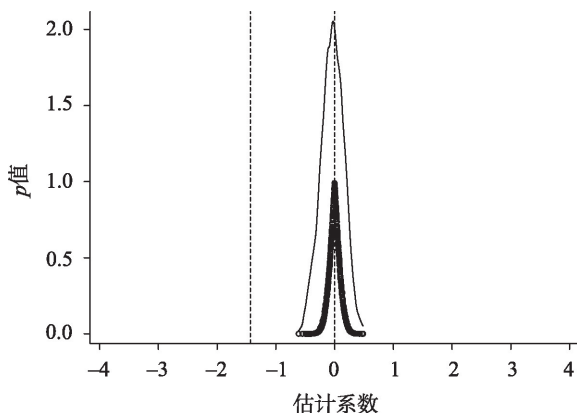


图2 安慰剂检验

Figure 2 Placebo test results

4.2 政策差异性分析

为探究不同类型政策对中国碳减排的差异性,采用经Hausman检验后的面板固定效应模型,将政策分为开发型和节约型分别对CO₂排放量回归。

表4中列(6)和列(7)分别表示开发型政策和节约型政策对CO₂排放的影响。回归结果表明,在其他条件保持不变时,从当期来看,节约型政策对中国CO₂的减排效果稍强于开发型政策。原因在于:节约型政策通常采取惩罚手段要求企业达标,具有一定的强制性,当期的减排效果较好。但是从长期

来看,开发型政策减排效果较为稳定,而节约型政策的滞后1期系数(Lag. P^h)较当期系数(P^h)有明显下降,说明节约型政策的减排效果持续性较弱,这与H2相一致。因为新能源开发具有一定的长期性,对传统能源的替代不可能一蹴而就,公众或企业对新能源的使用也需要一个缓慢的接受过程,这使得相关的政策指引必须具有一定的可持续性。考虑可能存在的内生性问题,进一步采用两阶段最小二乘法(2SLS)重新进行回归,将被解释变量的滞后1期和2期作为工具变量,回归结果见表4中的列(8)和列(9)。在满足了模型应用前提和通过内生性检验后,考察开发型和节约型政策对碳排放的影响系数,发现与使用双重固定效应模型的回归结果相比,系数明显增大,而且两类政策的滞后项也均通过了显著性水平测试,说明内生性问题会对模型的回归产生一定影响,但是使用该方法得出的结论与使用双重固定效应模型一致,这也从侧面验证了上述回归的稳健性。

4.3 能源政策对碳排放的影响机制分析

能源政策的碳减排效应可能在推动绿色技术创新、优化能源消费结构、促进产业结构高级化和合理化等路径的调节作用下发挥间接影响。本文

表4 政策差异性分析

Table 4 Policy difference analysis

| 变量 | 双重固定效应模型 | | 变量 | 2SLS | |
|---------------|----------------------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| | (6) | (7) | | (8) | (9) |
| P^{os} | -0.054*** (-3.05) | | P^{os} | -5.570* (-1.87) | |
| Lag. P^{os} | -0.025* (-1.94) | | Lag. P^{os} | -3.297* (-1.72) | |
| P^{th} | | -0.057*** (-4.01) | P^{th} | | -5.703** (-2.10) |
| Lag. P^{th} | | 0.000 (0.04) | Lag. P^{th} | | -2.932** (-1.99) |
| 控制变量 | YES | YES | 控制变量 | YES | YES |
| 样本量 | 450 | 450 | 样本量 | 450 | 450 |
| R^2 | 0.675 | 0.676 | Hausman 检验 | Prob=0.000 | Prob=0.000 |
| 时间固定 | YES | YES | 不可识别检验 | 22.927*** | 17.806*** |
| 个体固定 | YES | YES | 弱工具变量检验 | 11.813** | 9.042** |
| | | | Sargan 检验 | P=0.725 | P=0.689 |

进一步采用经 Hausman 检验后的面板固定效应模型引入4类交互项后进行回归,实证结果见表5。

结果显示,绿色技术创新、能源消费结构、产业

结构高级化和产业结构合理化均能在能源政策对CO₂排放的影响中发挥一定的调节作用,验证了H3。列(10)的结果显示,能源政策与绿色技术创新

表5 能源政策的碳减排机制分析

Table 5 Analysis of carbon emission reduction mechanism of energy policy

| 变量 | 模型一 | 模型二 | 模型三 | 模型四 |
|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | (10) | (11) | (12) | (13) |
| P | -0.088*** (-3.04) | -0.038* (-1.72) | -0.195* (-1.94) | -0.039** (-2.49) |
| $Innovation$ | 0.075 (0.66) | | | |
| $P \times Innovation$ | 0.014*** (3.58) | | | |
| $Energy$ | | 0.005 (1.06) | | |
| $P \times Energy$ | | -0.001*** (-2.39) | | |
| $Structure_1$ | | | -0.053 (-0.17) | |
| $P \times Structure_1$ | | | -0.031** (-2.02) | |
| $Structure_2$ | | | | 0.659** (2.22) |
| $P \times Structure_2$ | | | | 0.027* (1.85) |
| R^2 | 0.487 | 0.500 | 0.450 | 0.452 |
| 控制变量 | YES | YES | YES | YES |
| 时间固定 | YES | YES | YES | YES |
| 个体固定 | YES | YES | YES | YES |
| 样本量 | 450 | 450 | 450 | 450 |

2022年6月

的交互项系数为正,且通过了1%显著性水平测试,说明技术创新水平的提高,会抑制能源政策对碳减排的积极效应,证明了技术进步“能源回弹效应”的存在。列(11)的回归结果显示,能源政策与能源消费结构的交互项系数显著为负,表明优化能源消费结构可以使能源政策发挥更大的碳减排效应,验证了H3b。列(12)回归结果显示,能源政策与产业结构高级化的交互项系数显著为负,表明产业结构高级化有助于产业更新换代,在能源政策实施的过程中,可以有效促进碳减排,验证了H3c。列(13)回归结果显示,能源政策与产业结构合理化的交互项系数显著为正,因为产业结构合理化是一个负向指标,交互项系数为正意味着产业结构合理化可以在政策与碳排放之间发挥正向调节作用,验证了H3d。

4.4 进一步分析

1986年,全国人大六届四次会议将中国划分为东中西三大区域,经过30多年,区域经济发展差距

依旧存在。据此以东部11省(市),中西部19个省(市)展开区域异质性分析。另外,由于“资源诅咒”效应的存在,能源禀赋差异会影响能源消耗和CO₂排放,借鉴于向宇等^[39]的做法,根据《中国煤炭产业统计年鉴》将中国划为能源富集区和能源贫乏区进行区域异质性探究。

4.4.1 基于经济发展水平的区域差异分析

东部与中西部的区域异质性回归结果如表6所示,从直接效应来看,东部地区能源政策实施可以促进区域碳减排。从间接机制来看,绿色技术创新、产业结构高级化和合理化在能源政策对碳减排的影响中发挥正向调节作用。原因可能在于:东部地区的区位优势使其处于开放前沿,拥有较高的经济发展程度。在技术创新水平方面,东部地区积极发挥创新要素集聚优势,释放创新活力;在产业结构调整方面,东部地区积极提升产业协调度,加快培育世界级产业集群,不断推进高技术产业和战略

表6 东中西区域异质性分析

Table 6 Heterogeneity analysis of the eastern, central, and western regions

| | 东部地区 | | | | 中西部地区 | | | |
|--|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | 模型一 | 模型二 | 模型三 | 模型四 | 模型一 | 模型二 | 模型三 | 模型四 |
| <i>P</i> | -0.208** (-2.05) | -0.116*** (-3.17) | -0.337* (-1.92) | -0.061** (-2.15) | 0.008*** (2.66) | 0.035 (1.29) | 0.192 (0.99) | 0.044* (1.68) |
| <i>Innovation</i> | 1.051*** (3.55) | | | | -0.095 (-0.73) | | | |
| <i>P</i> × <i>Innovation</i> | -0.003* (-1.66) | | | | 0.026** (2.13) | | | |
| <i>Energy</i> | | -0.013* (-1.69) | | | | 0.018*** (3.70) | | |
| <i>P</i> × <i>Energy</i> | | 0.002*** (3.47) | | | | -0.000 (-0.78) | | |
| <i>Structure</i> ₁ | | | -0.187 (-0.22) | | | | 0.224 (0.76) | |
| <i>P</i> × <i>Structure</i> ₁ | | | -0.051* (-1.97) | | | | -0.028 (-0.91) | |
| <i>Structure</i> ₂ | | | | -1.955** (-2.00) | | | | -0.026 (-1.22) |
| <i>P</i> × <i>Structure</i> ₂ | | | | 0.077** (2.04) | | | | 0.860*** (3.20) |
| <i>R</i> ² | 0.311 | 0.608 | 0.582 | 0.629 | 0.609 | 0.653 | 0.488 | 0.513 |
| 控制变量 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 时间固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 个体固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 样本量 | 165 | 165 | 165 | 165 | 285 | 285 | 285 | 285 |

性新兴产业的发展。因此,绿色技术创新与产业结构高级化和合理化可以很好地与能源政策落实相配合,促进区域碳减排。而能源消费结构调整却存在负向调节作用,原因可能在于:东部地区能源需求量大,能源禀赋却较为匮乏。随环境保护和能源节约的要求提升,地区能源供需矛盾导致区域调整能源消费结构较为缓慢。中西部地区能源政策的实施无法降低区域CO₂排放,原因可能在于:一方面,煤炭、石油和水能等资源在中西部,但是企业和技术开发基地往往不在中西部,源头上缺乏企业对当地可再生能源进行开发利用,技术劣势也导致节能减排政策实施欠佳;另一方面,中西部的政策实施往往针对当下出现的某一具体环境事件紧急采取被动措施,效率较低且不确定性较大^[40]。从间接机制来看,中西部地区在产业结构合理化的作用下,可以发挥能源政策的碳减排效应。因为中西部地区发展经济的诉求使其依赖于资源开采和应用,

区域能源产业和高污染高耗能产业密集,因此能源政策的落实必须与加速产业结构调整相配合。然而,区域发展不平衡、科技资源匮乏导致绿色技术创新在能源政策与碳减排中发挥负向调节作用。

4.4.2 基于能源禀赋的区域差异分析

能源贫富的区域异质性回归结果如表7所示。对于能源富集区来说,能源政策实施未能对区域的碳减排起到积极影响,原因可能在于:能源富集区主要依靠资源禀赋吸引投资,长期以来已经形成资源驱动经济增长的依赖,陷入了“资源诅咒”的不利局面。虽然基于“污染者付费”原则,能耗大的地区承担的税收和超排处罚金相对较高,然而当惩罚金额难以追赶经济收益时,严苛的环境标准也无法激励能源富集区企业开展清洁生产,减少CO₂排放。能源富集区要想实现政策的碳减排效果,需要政策与其他因素相配合,在协同作用下发挥环境效益。一方面,与优化能源消费结构相配合,降低对传统

表7 能源贫富区域异质性分析

Table 7 Heterogeneity analysis of energy rich and poor regions

| | 能源富集区 | | | | 能源贫乏区 | | | |
|--|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | 模型一 | 模型二 | 模型三 | 模型四 | 模型一 | 模型二 | 模型三 | 模型四 |
| <i>P</i> | 0.006 (0.58) | 0.001 (0.14) | 0.525* (1.66) | 0.113*** (2.76) | -0.029 (-1.53) | -0.003 (-0.48) | -0.064 (-1.00) | -0.014 (-1.48) |
| <i>Innovation</i> | 0.117*** (3.24) | | | | -0.040 (-0.53) | | | |
| <i>P</i> × <i>Innovation</i> | -0.001 (-0.39) | | | | -0.004* (-1.72) | | | |
| <i>Energy</i> | | -0.001 (-0.44) | | | | 0.005*** (3.34) | | |
| <i>P</i> × <i>Energy</i> | | -0.002** (-2.40) | | | | 0.000 (1.20) | | |
| <i>Structure</i> ₁ | | | -0.207 (-0.26) | | | | -0.387** (-2.12) | |
| <i>P</i> × <i>Structure</i> ₁ | | | -0.086* (-1.74) | | | | -0.010 (-1.04) | |
| <i>Structure</i> ₂ | | | | 0.542 (1.17) | | | | 1.082*** (3.68) |
| <i>P</i> × <i>Structure</i> ₂ | | | | 0.075** (2.19) | | | | 0.014 (1.30) |
| <i>R</i> ² | 0.693 | 0.669 | 0.569 | 0.507 | 0.599 | 0.688 | 0.601 | 0.623 |
| 控制变量 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 时间固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 个体固定 | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| 样本量 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 |

2022年6月

能源的依赖程度,通过加大新能源和可再生能源开发利用降低区域碳减排;另一方面,与产业结构升级相配合,改变产业布局重复和不合理现象,加强布局新兴产业和绿色产业,减少能源密集型产业的集聚程度,通过产业结构向高级化和合理化的转变带动区域环境质量提升。对于能源贫乏区来说,能源政策实施对碳减排没有显著影响,原因可能在于:区域的资源禀赋欠佳,能源储量较为稀缺,所以政策实施发挥效应的范围不大,需要与提升技术创新水平相配合,协同给力,促进减排。政策实施可以依托绿色技术创新加大对新能源和可再生能源的开发利用强度,以解决区域能源储产和供给矛盾。其他3条路径无法与政策配合发挥作用,因为地区产业结构和能源消耗情况都对能源资源禀赋具有一定的依赖性,当能源自给率较低时无法通过调整产业结构和消费结构解决环境问题。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文基于中国30个省的面板数据,运用多期双重差分模型评估了能源政策的碳减排效应,并将政策分为开发型和节约型,在全国层面开展了政策差异性分析。文章进一步探究了能源政策对碳减排的作用机制,最后展开了能源政策碳减排作用机制的区域异质性分析。主要结论如下:

(1)能源政策可以有效促进中国碳减排,说明能源政策的颁布与实施是实现“双碳”目标的有效途径。但实施不同类型的能源政策对碳减排的效果有所差异,节约型政策的当期减排效果较好,而开发型政策的减排效果更持续。

(2)技术创新在能源政策的碳减排作用中存在负向调节作用,验证了“能源回弹效应”,而能源消费结构、产业结构高级化和产业结构合理化可以促进能源政策对碳减排的积极作用。

(3)能源政策的碳减排机制会因区域经济发展水平和能源禀赋情况不同存在差异。从区域经济发展水平来看,东部地区可以依靠绿色技术创新和产业结构升级加强政策的碳减排作用,而中西部地区的政策碳减排效应不显著。从能源禀赋情况来看,能源富集区陷入“资源诅咒”致使政策碳减排效应不显著,需要与产业和能源消费的结构效应相配

合;能源贫乏区囿于能源储量稀缺致使政策碳减排效应不显著,需要与绿色技术创新协同发力。

5.2 政策建议

依据上述结论,提出3点政策建议:

(1)进一步加强能源政策的实施,一方面,积极支持新能源参与市场交易,通过市场化机制调动资源积极性,同时依托可再生能源消纳责任权重、绿证交易等方式提升对可再生能源的需求量;另一方面,各省市应加强绿色规划与绿色管理,对于排污较严重的工业行业应开展节能改造工程,同时完善法律法规以保证节能减排重点工程的顺利实施。

(2)技术创新造就了“能源回弹”效应,政府应进一步提高绿色技术创新中能源节约型技术创新的比例,通过加大新能源产业研发投入资金、建设绿色专利体系促进技术创新的能源节约长效机制。此外,政府可以在能源政策的实施过程中通过督促可再生能源法的实施,降低传统能源消费比重,通过着力发展高新技术产业、振兴装备制造业促使产业结构升级,并最终作用于碳减排。

(3)因地制宜进行政策颁布与落实。东部地区经济发达、技术创新水平高、产业结构先进,应通过发挥创新要素集聚优势、推进新兴产业发展和提高产业协调度3条路径与能源政策落实相配合。中西部地区经济发展落后,缺乏企业和技术开发地导致能源政策实施欠佳,需要与促进产业结构合理化相配合。此外,区域要积极吸引创新要素,突破创新瓶颈,依托技术革新优化生产要素与资源配置,并努力提高产业结构高级化程度。能源贫乏区均需要政策与其他因素协同发力,进而实现“双碳”目标。能源富集区要提高经济新旧动能转换速度,通过打破对传统能源的依赖、减少能源密集型产业的集聚程度、改变产业布局重复和不合理现象3条路径跳出“资源诅咒”的怪圈;能源贫乏区则可以通过提升技术创新水平、加大对新能源和再生能源的开发利用强度等方式,以期在能源自给率有限的情况下发挥政策的环境效益。

参考文献(References):

[1] Wang Y F, Liao M, Xu L X, et al. The impact of foreign direct in-

- vestment on China's carbon emissions through energy intensity and emissions trading system[J]. *Energy Economics*, 2021, DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105212.
- [2] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(11): 49–58. [Liu C M, Sun Z, Zhang J. Study on the effects of carbon emission reduction policies in China's carbon emission rights trading pilot[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(11): 49–58.]
- [3] 周迪, 周丰年, 王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. *资源科学*, 2019, 41(3): 546–556. [Zhou D, Zhou F N, Wang X Q. Impact of low-carbon pilot policy on the performance of urban carbon emissions and its mechanism[J]. *Resource Science*, 2019, 41(3): 546–556.]
- [4] 江红莉, 王为东, 王露, 等. 中国绿色金融发展的碳减排效果研究: 以绿色信贷与绿色风投为例[J]. *金融论坛*, 2020, 25(11): 39–48. [Jiang H L, Wang W D, Wang L, et al. The effects of the carbon emission reduction of china's green finance: An analysis based on green credit and green venture investment[J]. *Financial Forum*, 2020, 25(11): 39–48.]
- [5] 于智涵, 方丹, 杨谨. 资源型经济转型试验区政策对碳排放的影响评估: 以山西省为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1178–1192. [Yu Z H, Fang D, Yang J. Impact of the "National Comprehensive Reform Zone for Resource: Based Economy" policy on carbon emissions: A case study of Shanxi Province[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1178–1192.]
- [6] 尹忠海, 谢岚. 环境财税政策对区域碳排放影响的差异化机制[J]. *江西社会科学*, 2021, 41(7): 46–57. [Yin Z H, Xie L. Research on the differential mechanism of the impact of environmental fiscal and tax policies on regional carbon emissions[J]. *Jiangxi Social Sciences*, 2021, 41(7): 46–57.]
- [7] 吕倩, 刘海滨. 基于夜间灯光数据的黄河流域能源消费碳排放时空演变多尺度分析[J]. *经济地理*, 2020, 40(12): 12–21. [Lv Q, Liu H B. Multiscale spatio-temporal characteristics of carbon emission of energy consumption in Yellow River Basin based on the nighttime light datasets[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(12): 12–21.]
- [8] 曾婧婧, 童文思. 能源政策如何作用工业绿色经济发展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(12): 19–28. [Zeng J J, Tong W S. How do energy policies affect the development of industrial green economy[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(12): 19–28.]
- [9] 曾婧婧, 童文思. 能源政策创新对中国绿色经济发展的驱动途径: 基于2007–2011年省级面板数据的实证研究[J]. *经济问题探索*, 2017, (5): 155–163. [Zeng J J, Tong W S. The driving path of energy policy innovation to the development of China's green economy: An empirical study based on the provincial panel data from 2007 to 2011[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2017, (5): 155–163.]
- [10] 卢娜, 王为东, 王森, 等. 突破性低碳技术创新与碳排放: 直接影响与空间溢出[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(5): 30–39. [Lu N, Wang W D, Wang M, et al. Breakthrough low-carbon technology innovation and carbon emissions: Direct and spatial spillover effect[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(5): 30–39.]
- [11] 李凯杰, 董丹丹, 韩亚峰. 绿色创新的环境绩效研究: 基于空间溢出和回弹效应的检验[J]. *中国软科学*, 2020, (7): 112–121. [Li K J, Dong D D, Han Y F. The analysis on the environmental performance of green innovation an examination based on spatial spillover effect and rebound effect[J]. *China Soft Science*, 2020, (7): 112–121.]
- [12] 孙建. 环保政策、技术创新与碳排放强度动态效应: 基于三部门DSGE模型的模拟分析[J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2020, 26(2): 31–45. [Sun J. Environmental protection policy, technological innovation and dynamic effects of carbon emission intensity: Simulation analysis based on the three-sector DSGE model[J]. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition)*, 2020, 26(2): 31–45.]
- [13] 谢波, 李松月. 贸易开放、技术创新对我国西部制造业碳排放绩效影响研究[J]. *科技管理研究*, 2018, 38(9): 84–90. [Xie B, Li S Y. Research on the influence of trade openness and technological innovation on carbon emission performance in China's western manufacturing industry[J]. *Science and Technology Management Research*, 2018, 38(9): 84–90.]
- [14] 陈向阳. 金融结构、技术创新与碳排放: 兼论绿色金融体系发展[J]. *广东社会科学*, 2020, (4): 41–50. [Chen X Y. Financial structure, technological innovation and carbon emissions: With additional studies on the development of green financial system[J]. *Social Sciences in Guangdong*, 2020, (4): 41–50.]
- [15] 王韶华, 于维洋. 一次能源消费结构变动对碳强度影响的灵敏度分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(7): 1438–1446. [Wang S H, Yu W Y. Sensitivity analysis of primary energy consumption structural change and carbon intensity[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7): 1438–1446.]
- [16] Ajmi A N, Inglesi-Lotz R. Biomass energy consumption and economic growth nexus in OECD countries: A panel analysis[J]. *Renewable Energy*, 2020, 162: 1649–1654.
- [17] 齐绍洲, 李杨. 能源转型下可再生能源消费对经济增长的门槛效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(2): 19–27. [Qi S Z, Li Y. Threshold effects of renewable energy consumption on economic growth under energy transformation[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(2): 19–27.]
- [18] Bulut U, Muratoglu G. Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus[J]. *Energy Policy*, 2018 (123): 240–250.
- [19] 龚梦琪, 刘海云. 中国双向FDI协调发展、产业结构演进与环境污染[J]. *国际贸易问题*, 2020, (2): 110–124. [Gong M Q, Liu H Y. The influence of two-way FDI coordinated development and in-

2022年6月

- dustrial structure evolution on environmental pollution in China[J]. *Journal of International Trade*, 2020, (2): 110–124.]
- [20] 程中华, 刘军, 李廉水. 产业结构调整与技术进步对雾霾减排的影响效应研究[J]. *中国软科学*, 2019, (1): 146–154. [Cheng Z H, Liu J, Li L S. Research on the effects of industrial structure adjustment and technical progress on haze reduction[J]. *China Soft Science*, 2019, (1): 146–154.]
- [21] 徐斌, 陈宇芳, 沈小波. 清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J]. *经济研究*, 2019, 54(7): 188–202. [Xu B, Chen Y F, Shen X B. Clean energy development, carbon dioxide emission reduction and regional economic growth[J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54(7): 188–202.]
- [22] 李耀华, 孔力. 发展太阳能和风能发电技术加速推进我国能源转型[J]. *中国科学院院刊*, 2019, 34(4): 426–433. [Li Y H, Kong L. Developing solar and wind power generation technology to accelerate China's energy transformation[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(4): 426–433.]
- [23] 江泽民. 对中国能源问题的思考[J]. *上海交通大学学报*, 2008, (3): 345–359. [Jiang Z M. Reflections on energy issues in China[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2008, (3): 345–359.]
- [24] 辜胜阻, 吴华君, 吴沁沁, 等. 创新驱动与核心技术突破是高质量发展的基石[J]. *中国软科学*, 2018, (10): 9–18. [Gu S Z, Wu H J, Wu Q Q, et al. Innovation-driven and core technology breakthrough: The cornerstone of high-quality development[J]. *China Soft Science*, 2018, (10): 9–18.]
- [25] 刘伟, 杨旭, 黄茂兴. 环境规制与绿色全要素生产率: 基于不同技术进步路径的中介效应分析[J]. *当代经济管理*, 2020, 42(6): 16–27. [Liu Y, Yang X, Huang M X. Environmental regulation and green total factor productivity: Analysis of mediating effect based on different technological progress paths[J]. *Contemporary Economic Management*, 2020, 42(6): 16–27.]
- [26] 胡东兰, 申颢, 刘自敏. 中国城市能源回弹效应的时空演变与形成机制研究[J]. *中国软科学*, 2019, (11): 96–108. [Hu D L, Shen H, Liu Z M. Study on the spatial-temporal evolution and formation mechanism of energy rebound effect in Chinese cities[J]. *China Soft Science*, 2019, (11): 96–108.]
- [27] 周迪, 罗东权. 绿色税收视角下产业结构变迁对中国碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 693–709. [Zhou D, Luo D Q. Green taxation, industrial structure transformation, and carbon emissions reduction[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 693–709.]
- [28] Minx J C, Baiocchi G, Peters G P, et al. A “carbonizing dragon”: China's fast growing CO₂ emissions revisited[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(21): 9144–9153.
- [29] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? 基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129–143. [Qi S Z, Lin D, Cui J B. Do environmental rights trading schemes induce green innovation? Evidence from listed firms in China[J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(12): 129–143.]
- [30] 付凌晖. 我国产业结构高级化与经济增长关系的实证研究[J]. *统计研究*, 2010, 27(8): 79–81. [Fu L H. An empirical research on industry structure and economic growth[J]. *Statistical Research*, 2010, 27(8): 79–81.]
- [31] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4–16. [Gan C H, Zheng R G, Yu D F. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(5): 4–16.]
- [32] 冯冬, 李健. 我国三大城市群城镇化水平对碳排放的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(10): 2194–2200. [Feng D, Li J. Impacts of urbanization on carbon dioxide emissions in the three urban agglomerations of China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(10): 2194–2200.]
- [33] Jiang L, Zhou H F, Bai L, et al. Does foreign direct investment drive environmental degradation in China? An empirical study based on air quality index from a spatial perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176: 864–872.
- [34] 张帅, 袁长伟, 赵小曼. 中国交通运输碳排放空间聚类与关联网络结构分析[J]. *经济地理*, 2019, 39(1): 122–129. [Zhang S, Yuan C W, Zhao X M. Spatial clustering and correlation network structure analysis of transportation carbon emissions in China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(1): 122–129.]
- [35] 赵惠, 吴金希. 基于环境库兹涅茨曲线的京津冀区域环境污染转移的测度研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(5): 90–97. [Zhao H, Wu J X. Measurement of environmental pollution transfer in Beijing-Hebei Region based on the environmental Kuznets Curve[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(5): 90–97.]
- [36] 曾倩, 曾先峰, 岳婧霞. 产业结构、环境规制与环境质量: 基于中国省际视角的理论与实证分析[J]. *管理评论*, 2020, 32(5): 65–75. [Zeng Q, Zeng X F, Yue J X. Industrial structure, environmental regulation and environment quality: Theory and evidence based on provincial panel data of China[J]. *Management Review*, 2020, 32(5): 65–75.]
- [37] 纪玉俊, 廉雨晴. 制造业集聚、城市特征与碳排放[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2021, 27(3): 73–87. [Ji Y J, Lian Y Q. Manufacturing agglomeration, urban characteristics and carbon emissions[J]. *Journal of Central South University (Social Sciences)*, 2021, 27(3): 73–87.]
- [38] Cai X Q, Lu Y W M Q, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. *Journal of Development Economics*, 2016, 123: 73–85.
- [39] 于向宇, 李跃, 陈会英, 等. “资源诅咒”视角下环境规制、能源禀赋对区域碳排放的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(5): 52–60. [Yu X Y, Li Y, Chen H Y, et al. Study on the impact of environmental regulation and energy endowment on regional carbon emissions from the perspective of resource curse[J]. *China*

Population, Resources and Environment, 2019, 29(5): 52–60.]

- [40] 刘纪远, 邓祥征, 刘卫东, 等. 中国西部绿色发展概念框架[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 1–7. [Liu J Y, Deng X Z, Liu

W D, et al. Conceptual framework of green development in western China[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(10): 1–7.]

Effect of energy policies on regional carbon emission reduction

YUE Li¹, CAO Yuxuan¹, WANG Yu²

(1. School of Economics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. School of Economics, Nanjing University, Nanjing 210008, China)

Abstract: Exploring the mechanism of energy policy impact on regional carbon emissions is of great significance for achieving the carbon neutrality and carbon peaking goals. Based on the panel data of 30 provinces in China's mainland from 2003 to 2019, this study first evaluated the effect of energy policies on carbon emissions through a multi-period difference-in-differences (DID) model. Second, we divided energy policies into development-oriented and conservation-oriented, and the effectiveness and sustainability of emission reduction of the two types of policies were evaluated. Third, by constructing a panel fixed-effect model with interactive terms, the mechanism of energy policy impact on regional carbon emission reduction was explored. Finally, based on the levels of economic development and energy endowments, the provinces were divided into eastern, central, and western regions and energy rich and poor regions for further analysis. The results show that: (1) The implementation of energy policies can significantly promote regional carbon emission reduction, and the results are still valid after parallel trend test and a series of robustness tests. (2) The emission reduction effect of the current conservation-oriented policies is stronger, while the emission reduction of the development-oriented policies is more sustainable. (3) Technological innovation has a negative moderation effect in carbon emission reduction of energy policies, while energy consumption structure, industrial structure upgrading, and industrial structure optimization can improve the positive effect of energy policies on carbon emission reduction. (4) There exists significant regional heterogeneity in the carbon emission reduction mechanism of energy policies. The eastern region can rely on green technology innovation and industrial structure upgrade to strengthen the carbon emission reduction effect of the policy, while the carbon emission reduction effect of the policy in the central and western region is not significant; Energy rich region can play a role in reducing carbon emissions under the structural effects of industry and energy consumption, while policies in energy poor region need to be coordinated with green technology innovation. The results are of guiding significance for China's energy policy making and carbon emission reduction.

Key words: energy policy; carbon emissions; green technology innovation; energy consumption structure; industrial structure upgrading; multi-period DID model; China