

省际视阈下中国“双碳”目标实现路径选择研究

谷方杰, 张文锋

(大连海洋大学经济管理学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 实现碳达峰碳中和, 是党中央国务院作出的重大决策部署, 彰显了中国坚持绿色低碳发展的战略定力和积极应对气候变化的大国担当。绿色技术创新和制度质量被认为是减缓碳排放和促进可持续发展的有效机制, 然而少有研究从我国省际的角度分析技术创新和制度在减少排放方面的作用。因此, 考察 2000—2018 年间我国省际的绿色技术创新、制度质量、可再生能源、化石燃料能源和经济增长对二氧化碳排放的长期影响。考虑到残余横截面依赖和异质性的潜在发生, 使用增广均值组 (AMG) 和共同相关效应均值组 (CCEMG) 进行实证分析, 结果表明, 绿色技术创新和可再生能源消耗对二氧化碳排放有显著的负向影响。相比之下, 制度质量、经济增长和化石燃料能源消耗对二氧化碳排放有正向影响。基于此, 为了找准“双碳”目标实现路径, 本文提出了重塑国家创新体系、稳步推进制度创新以及全面统筹不同行业、区域的经济社会发展等建议。

关键词: 绿色技术创新; 制度质量; 二氧化碳排放; 可持续发展

中图分类号: F205

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2023)07-0215-10

Study on the path selection of China's "Double Carbon" goals from the provincial perspective

GU Fangjie, ZHANG Wenfeng

(School of Economics and Management, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: Achieving carbon peak and carbon neutrality is a major decision and deployment made by the CPC Central Committee and the State Council, which highlights China's strategic determination to adhere to green and low-carbon development and the responsibility of a major country to actively respond to climate change. Green technological innovation and institutional quality are considered to be effective mechanisms to slow down carbon emissions and promote sustainable development. However, few studies have analyzed the role of technological innovation and institutions in reducing emissions from the perspective of China's provinces. Therefore, this study examines the long-term impact of China's inter provincial green technology innovation, institutional quality, renewable energy, fossil fuel energy and economic growth on carbon dioxide emissions from 2000 to 2018. Considering the potential occurrence of residual cross-section dependence and heterogeneity, the empirical analysis is carried out using the augmented mean group (AMG) and the common correlation effect mean group (ccemg). The results show that green technology innovation and renewable energy consumption have a significant negative impact on carbon dioxide emissions. In contrast, institutional

收稿日期: 2022-11-19 修回日期: 2023-06-28

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“建设面向东北亚开放合作高地与推进新时代东北振兴研究”(20&ZD098); 辽宁省社会科学规划基金项目“‘双循环’格局下辽宁融入东北亚对外开放合作研究”(L21CJY005); 辽宁省经济社会发展研究课题“辽宁融入中蒙俄经济走廊建设及全面振兴研究”(2023lslybkt-020)。

作者简介: 谷方杰(1987—), 女, 辽宁大连人, 大连海洋大学经济管理学院副教授, 博士, 研究方向为国际经济与贸易、新兴产业、产业经济、投资经济。通信作者: 张文锋。

quality, economic growth and fossil fuel energy consumption have a positive impact on carbon dioxide emissions. Based on this, in order to identify the path to achieve the “dual carbon” goal, this article proposes suggestions such as reshaping the national innovation system, steadily promoting institutional innovation, and comprehensively coordinating the economic and social development of different industries and regions.

Key words: green technological innovation; institutional quality; CO₂ emissions; sustainable development

一、相关文献综述

气候变化和环境可持续发展已成为人类社会必须面对的最紧迫的问题。习近平总书记在党的二十大报告中指出,推动绿色发展,促进人与自然和谐共生^[1]。近年来,中国持续加快发展方式绿色转型,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。但目前,温室气体排放已成为气候变化和全球变暖的主要驱动力。二氧化碳排放作为温室气体的主要成分,在环境研究文献中受到了广泛关注^[2]。国际能源机构(IEA)指出,化石燃料使用的增加引发了二氧化碳排放量的激增,因此为了减少二氧化碳排放并实现可持续目标,需要快速做出转变。此外,联合国制定了于 2030 年实现的可持续发展目标,其中强调要以负担得起的清洁能源、可持续经济增长、技术创新、可持续消费和生产,作为应对气候变化的迫切需要的解决方案。因此,减少碳排放已成为世界各国关注的主要问题,发展绿色技术创新也成为推动全球经济发展转型的重要因素^[3]。

中国改革开放以来,随着经济的快速发展,能源消费持续增长,二氧化碳排放量急剧增加。2007 年,中国已成为世界上最大的碳排放国。2009 年,在哥本哈根世界气候大会上,中国政府提出了 2020 年单位 GDP 碳排放量比 2005 年减少 40%~45% 的目标。2015 年,中国政府在中美气候变化联合声明中郑重承诺,到 2030 年将达到碳排放峰值^[4]。在这一背景下,如何平衡经济发展与碳排放的关系,实现经济发展与环境保护的协调发展,需要全国各省共同努力。中国幅员辽阔,各省之间的经济发展水平、人口规模和能源消耗差异较大。为了实现碳达峰和碳中和的目标,有必要分析中国碳排放的主要影响因素,为制定合理的减排政策提供决策依据。

国内外对二氧化碳排放的影响因素研究方法大致可分为以下几类:第一,指数分解法。指数分解的方法有很多。在分析二氧化碳排放的影响因素时,通常将其分解为能源强度、收入水平、能源消费、人口数量等因素,结论也不同。指数分解法具有许多优良的特性,简单易操作,因此在研究中得到了广泛的应用。然而,指数分解法也有其缺点,如无法处理非线性关系、政策因素和技术进步。第二,投入产出和可计算一般均衡分析。胡宗义^[5]使用可计算一般均衡分析方法重点研究了碳税征收对二氧化碳排放的影响。结果表明,征收碳税可以减少碳排放,但会对经济增长产生很大影响。投入产出法和可计算一般均衡分析法基于特定年份的投入产出表,可以对每个部门进行详细分析。然而,中国的投入产出表每五年更新一次,因此存在一定的时间滞后。第三,经济计量分析。计量经济分析没有固定的模型,具有很强的灵活性。总体而言,主要研究收入水平、人口规模、产业结构、贸易水平、技术进步等因素对碳排放的影响。然而,根据学者们不同的研究目的和重点,模型集是不同的。马晓钰等^[6]综合运用静态和动态面板数据模型,并利用工具变量控制这两个模型的内生性质,实证研究中国二氧化碳排放的影响因素。王瑛等^[7]利用空间自相关分析揭示了邻近省份碳排放的空间相关性,在此基础上,运用对数均值迪氏分解法,从能源结构、能源强度、经济发展和人口规模的角度对碳排放的影响因素进行分解。

根据上述文献发现,显然有必要进一步研究我国二氧化碳排放量影响因素的分析。然而,一些从我国省际角度研究经济增长与二氧化碳排放关系的研究可能存在方法论方面的问题,也忽视了绿色技术创新等重要命题,尚未有从技术创新、制度质量等视角展开对我国省际二氧化碳排放的

影响。因此,本文力图填补了这一空白,研究结论不仅有助于我国制定必要的二氧化碳排放政策,而且能够指导省域识别出可能对减缓二氧化碳排放具有重要意义的因素。

二、研究假设的提出

(一)经济增长与二氧化碳排放

在经济发展的早期阶段,优先考虑经济增长而不是环境问题,但随着收入增加,人们反而会关注环境问题,通过使用、进口以及减少生产可再生能源和高污染产品来降低二氧化碳排放。此外,有了良好的意识和先进的技术,各国可能会更加关注环境,减少排放。近年来,有学者利用制度质量和创新等附加变量对环境库兹涅茨(Kuznets)曲线进行了修正。如Le等^[8]利用全球化、金融发展、政府支出和关于二氧化碳排放的制度质量,验证了47个新兴国家的环境库兹涅茨曲线。Hassan等^[9]发现表明,高收入水平有助于减少二氧化碳排放,这证实了环境库兹涅茨曲线命题的存在性。当然,环境库兹涅茨曲线假说的真实性也受到了质疑。有学者认为,不同国家或地区经济增长造成的环境污染具有“异质性”和“空间相关性”,不同的样本地区和计量模型也会导致不同的曲线结果。“双碳”目标的总体战略定位为正确看待应对气候变化、理解“双碳”工作提供了最重要的全局性视角——“发展”与“减碳”并不是全然对立和简单取舍的关系。气候问题是发展中产生的问题,需要通过高质量发展解决。因此,为了验证我国省际情况,本文提出研究假设H1:经济发展水平提高有利于减少二氧化碳排放。

(二)绿色技术创新与二氧化碳排放

绿色技术创新是指能控制能源消耗、降低污染物排放、改善环境质量,以及促进绿色经济发展的新技术创新^[10]。绿色技术创新还指将技术工艺用于生产减少环境污染和能源消耗的绿色产品。绿色技术创新可以应用于清洁能源生产、替代燃料以及比化石燃料对环境危害更小的技术的使用^[11]。此外,绿色技术创新还有助于促进可再生能源的发展,并提高各国对可再生能源的优化利用^[12]。可再生能源的开发和绿色技术创新将是减

少环境排放、实现长期可持续发展的有力手段^[13]。因此,要实现“高质量零碳转型”关键在于依靠有效的研发投入和资本支出。对绿色技术创新的投资可以使生产和经济活动更具可持续性,并成为我国减少碳排放的潜在解决方案。

随着对采用绿色技术创新的呼声日益高涨,政策制定者和科学家正在研究和判断创新是否是减少二氧化碳排放的正确和有效途径。例如,Sun等^[14]报告称绿色创新是应对能源和环境相关挑战所需的精确工具和战略之一。因此,创新的作用是对气候变化和环境可持续性的补充。此外,邵帅等^[15]认为,绿色技术创新有助于促进可再生能源的发展,并促进优化利用可再生资源,降低二氧化碳排放量。然而,关于绿色技术创新和二氧化碳排放之间的双边联系仍然存在争议,研究结果没有统一。如Ben等^[16]运用恩格尔—格兰杰因果关系和ECM对进行实证分析,发现创新和制度质量促进了可持续增长。Godil等^[17]认为,可再生能源的使用和技术创新减少了1990—2018年中国交通运输的二氧化碳排放。而其他研究开展的前提是基于绿色技术创新会增加环境污染这一理念。上述文献综述表明,绿色技术创新对二氧化碳排放的影响并不只存在正效应。基于研究结果尚未定论,需要进一步研究绿色技术创新对二氧化碳排放的影响。因此,提出研究假设H2:绿色技术创新有利于减少二氧化碳排放。

(三)制度环境与二氧化碳排放

除了开发绿色技术之外,完善的制度还可以帮助实施环境保护措施,以减少二氧化碳排放和改善环境质量^[18]。各国目前正在建立一个健全有效的体制框架,以打击腐败、加强资金管理和改善环境条件。Ibrahiem^[19]研究发现,一个国家防治环境污染的能力取决于有效的制度。然而,有学者认为,发展中国家还需要更有效的机构来执行政策,实施目标远大的解决方案,以减少温室气体排放。有研究表明,良好制度的积极作用大于其消极作用,特别是在减少发展中国家的腐败和犯罪方面,但关于其对环境的影响和后果的研究却很有限。因此,本文将主要考察我国省际绿色技术创

新和制度品质对碳排放的影响。

随着研究的不断深入,学者们发现良好的制度对环境可持续能力的重要性越来越大。一个国家的环境质量取决于其政府制度^[20],与 GDP 水平无关,因为在环境法规较差的国家,污染也会增加。各个地方还需要建立有效的制度,促进可再生能源的使用,以实现可持续发展。因此,有效的制度是解决因人类活动和气候变化引起的二氧化碳排放的正确方法和途径。这些研究结果也得到了其他学者们的证实。如 Salman 等^[21]研究了 1990—2016 年印度尼西亚、韩国和泰国的制度质量对经济增长和二氧化碳排放的影响。类似地,Shahbaz 等^[22]指出,制度质量通过有效的环境条例提高了七国集团经济体的生态可持续性。Dorota 等^[23]证明政府效率高的发展中国家和新兴国家减少了二氧化碳排放。同时,Anasuya 等^[24]揭示了制度质量对发展中国家二氧化碳排放的负面影响。其他研究还发现,制度质量增加了二氧化碳排放,并对环境问题产生不利影响。如 Teng 等^[18]发现制度质量显著增加了二氧化碳排放量。类似地,Azam 等^[25]记录了 1991—2017 年间 66 个发展中国家的制度质量对二氧化碳排放的积极影响。基于上述考虑,提出研究假设 H3:良好的制度环境有利于减少二氧化碳排放。

(四) 可持续的能源消耗与二氧化碳排放

人们普遍认为,除非采取有效的气候相关措施来阻止全球变暖,否则世界将面临严重的环境灾难。学者们认为,将全球气温上升控制在 1.5 摄氏度以下,并将二氧化碳排放量减少到净零,对于控制全球变暖造成的损害规模至关重要^[26]。然而,二氧化碳并非是人类单纯从事个体行为活动排放到大气中的,而是由于化石燃料的燃烧以及非再生能源使用所产生的,这种消耗无疑会加剧环境问题。因此,我们需要可再生能源等可行的替代能源,这对于满足目前主要由经济活动产生的对全球能源的需求至关重要^[27]。从本质上讲,如果世界要减少对化石燃料的依赖,以应对气候变化和全球变暖,风能、太阳能和海洋能源等低碳可再生能源将发挥关键作用。此外,各国领导人

积极采取环境友好型举措,并履行他们在《巴黎协定》下的碳减排承诺,逐步淘汰化石燃料,转向可再生能源,以遏制碳排放。这使得人们开展了各种调研来研究可再生能源的使用与二氧化碳排放之间的关系。如 Sarkodie 等^[28]进行研究得出依赖化石燃料的经济体必须通过结合可再生能源实现能源组合的多样化,以减少二氧化碳排放的结论。类似地,Namahoro 等^[29]证实,1980—2018 年期间,可再生能源使用的增加为降低 4 个地区的二氧化碳排放量作出了重大贡献。可再生能源减少了二氧化碳的排放,而不可再生能源增加了二氧化碳的排放。也有研究表明,可再生能源的使用和与环境相关的技术创新为实现碳中和目标提供了动力,建议开发和部署创新和可再生能源,以应对全球变暖的危险趋势。通过研究美国可再生能源消费与碳排放之间的相互作用,Yuan 等^[30]研究发现,可再生能源支持二氧化碳排放的减少,这表明可再生能源在实现碳中和方面表现良好。基于上述考虑,提出如下研究假设 H4:可持续的能源消耗有利于减少二氧化碳排放。

三、模型构建与数据来源

(一) 模型构建

本文旨在探讨我国二氧化碳排放的影响因素,在 Emma 等^[31]的研究基础上,构建了动态面板数据模型,公式为:

$$c_{it} = \beta_0 + \beta_1 X'_{it} + \delta_t + \eta_i + e_{it} \quad (1)$$

式(1)中: i 为省份, $i=1,2,\dots,30$; t 为时间; c_{it} 为人均二氧化碳排放量; X'_{it} 为影响二氧化碳排放的因素; η_i 为地区难以观测效应; δ_t 为时间难以观测效应; e_{it} 为随机扰动项。

(二) 变量选择

实证研究使用各种污染物来代表环境污染,而二氧化碳始终被认为是全球变暖的罪魁祸首,每年二氧化碳排放量占全球污染物总排放量的比重达到 70% 以上,是一种对环境污染程度较大的温室气体。鉴于二氧化碳排放对全球温室气体存量的风险,本文在研究中使用代表环境污染的二氧化碳排放作为因变量。

在环保问题研究文献中,廖文龙等^[32]指出,二

氧化碳排放的主要原因是能源消耗和经济指标。一方面,国内生产总值(GDP)是衡量经济增长的关键指标,通过促进工业化、生产和制造业部门发展,可以实现更高的GDP目标;另一方面,经济活动的增加会转化为更多的能源消耗,从而对环境产生不利影响。本文主要借鉴 Muhammad 等^[33]的度量方法,采用人均GDP这一指标。

绿色技术创新与良好的制度被认为是确保加快发展中国家应对气候变化影响的有效措施之一。不同学者使用不同的指标来衡量创新和制度质量。大多数的研究均采用研发投入强度这一指标来衡量创新,采用规则和法律来衡量制度指数。对于我国而言,主要采用樊纲等^[34]的中国市场化指数。在前人研究的基础上,本文使用研发投入强度作为绿色技术创新的代理变量,以市场化指数作为制度质量的代理变量,将它们作为主要自变量开展研究。

此外,可再生能源对缓解温室效应所引起的环境污染具有重要作用。太阳能、风能、水力发电、生物量和地热等可再生能源能够帮助各国减少不利于环境的二氧化碳和其他温室气体等污染物的排放。化石燃料能源消耗作为二氧化碳排放的决定因素也起着突出的作用。因此,化石燃料的燃烧将大量的二氧化碳排放到大气中,并将热量储存在大气中,这导致了全球变暖。在前人研究的基础上,为了避免变量偏差被忽略的问题,本文将再生能源消耗和化石燃料能源消耗作为控制变量。

(三)数据来源

由于中国统计年鉴中没有直接公布二氧化碳排放量,因此本文采用了政府间气候变化专门委员会(IPCC)(2006)、国家发展和改革委员会的能源研究(2007年)和杜立民^[35]的研究方法,估计了化石能源消费和水泥生产过程中产生的二氧化碳。其中,能源消费相关数据来自历年《中国能源统计年鉴》,所有能源消费数据均折算为10 000 t/标准煤。水泥生产数据来自中宏数据网。

$$EC = \sum_{i=1}^3 EC_i = \sum_{i=1}^3 E_i \times F_i \quad (2)$$

式(2)中:EC为3类化石燃料所排放的二氧化碳总量; i 分别为煤炭、石油、天然气^[36]; F_i 为煤炭、石油、天然气二氧化碳排放系数,分别为2.741 2万 t/标准煤、2.135 8万 t/标准煤、1.626 2万 t/标准煤。

水泥生产过程中二氧化碳排放量计算公式为:

$$CC = Q \times H \quad (3)$$

式(3)中:CC为水泥生产过程中二氧化碳排放总量;Q为水泥生产量;H为水泥生产过程中二氧化碳排放系数,取H=0.527万 t/标准煤。

制度变量数据使用的市场化程度数据来源于《中国分省份市场化指数报告》,采用1999—2020年各省份市场化总指数。其他变量数据主要来源于同期的《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》以及各省统计年鉴。根据常规分类,东部地区:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西和海南等省(直辖市、自治区);中部地区:山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南和内蒙古等省(直辖市、自治区);西部地区:重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、青海和新疆等省(直辖市、自治区)。表1中的描述性统计结果表明,二氧化碳排放量的平均值最高,其次是经济增长和化石燃料能源消耗。

表1 各变量描述性统计量

变量名称	均值	标准差	最小值	最大值
人均CO ₂	2.788	1.382	0.171	8.625
人均GDP	1.883	1.064	0.119	7.654
研发投入强度	0.016	0.009	0.001	0.078
市场化指数	0.331	0.186	0.324	0.924
化石燃料能源消耗	0.798	0.247	0.268	0.935
可再生能源消耗	0.462	0.138	0.297	0.793

四、实证分析过程

(一)面板数据单位根检验

根据研究,每个变量的数据都具有不稳定的特征。一般而言,具有趋势的面板数据是非平稳的,方程回归可能存在伪回归。因此,这些变量需要进行单位根检验。面板单位根的检验方法主要包括:LLC^[37]、IPS^[38]、Fisher-PP和Fisher-ADF法^[39],检验结果见表2。

表 2 面板单位根检验结果

变量名称	检验方法			
	LLC	IPS	ADF-Fisher	PP-Fisher
人均 CO ₂	-35.135 *	-8.852 *	247.169 **	325.526 *
人均 GDP	-26.253 *	-6.847 *	236.499 *	282.369 **
研发投入强度	-33.989 **	-11.648 **	317.463 **	384.645 **
市场化指数	-75.327 **	-28.599 **	496.550 **	612.954 **
化石燃料能源消耗	-48.745 **	-14.578 **	85.248 **	63.217 **
可再生能源消耗	-24.248 **	-13.247 **	17.248 **	84.547 **

注: **、* 分别表示在 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义;原假设为存在单位根,检验滞后阶数软件自动选择。

表 2 中各种统计的检验结果证实,上述变量均为一阶单积分,即存在协整关系。为了验证这一结论,进一步检验了面板协整关系。

(二) 面板数据协整检验

对于协整关系的检验,传统的方法主要有 Engle-Grangle 两步法和 Johansens 似然比法。当测试小样本面板数据中的协整关系时,Johansen 检验的功效可能会失真。在检验面板数据之间是否存在协整关系时,为了获得稳健的结论,本文使用 Pedroni^[40] 提出的 7 种检验统计量来判断变量 $\ln Q$ 、 $\ln K$ 、 $\ln L$ 与 $\ln R$ 之间是否存在协整关系。

在小样本中,panel v-stat 和 group rho-stat 的检验效果最差,panel ADF-stat 和 group ADF-stat 最好,其他检验效果处于中等水平。如果测试结果不一致,应以 panel ADF-stat 和 group ADF-stat 检验为准。因此,表 3 中的面板协整检验结果证实了所有变量之间确实存在面板协整关系,即存在长期均衡关系。

表 3 面板数据协整检验结果

Panel v-Stat	Panel rho-stat	Panel PP-stat	Panel ADF-stat	Group rho-stat	Group PP-stat	Group ADF-stat
-1.068	5.496	-7.567 *	-1.411 *	9.352	-15.692 **	-7.259 **

注: **、* 分别表示在 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义;原假设为不存在协整关系,除 Panel v-stat 为右尾检测外,其余统计量均为左尾检测。

(三) 面板模型估计

根据以往学者们的研究经验,在使用面板数据模型进行经济分析时,应首先对模型进行假设检验,以确定模型中的参数在不同截面之间是否相同,然后估计参数。根据截距向量和系数向量中各分量的不同约束要求,面板数据模型可分为混合估计模型、变截距模型和变系数模型。因此,有必要测试样本数据适用于哪种模型,避免模型设置的偏差,提高参数估计的有效性。本文使用协方差分析来检验以下两个假设:

H1:截距项和个体变量系数相等。

H2:个体变量系数相等。

如果接受 H1,则它属于混合估计模型;如果 H1 被拒绝,则检验假设 H2。如果接受 H2,则它属于可变截距模型,否则它属于可变系数模型。可变系数模型、可变截距模型和混合估计模型的残差平方和分别为 $S1$ 、 $S2$ 和 $S3$,小组个体数为 N ,小组时间跨度为 T 。根据沃尔德定理,统计 $F1$ 在 H1 假设下构建,统计 $F2$ 在 H2 假设下构建,其中:

$$F1 = \frac{(S3 - S1) / [(N - 1)(K + 1)]}{S1 / [(N - 1)(K + 1)]} \sim F[(N - 1)(K + 1), N(T - K - 1)] \quad (4)$$

$$F2 = \frac{(S2 - S1) / [(N - 1)K]}{S1 / [NT - N(K + 1)]} \sim F[(N - 1)K, N(T - K - 1)] \quad (5)$$

结果表明,可以采用混合估计模型,估算解释变量对二氧化碳排放的长期弹性。表 4 给出了长期弹性的结果。本文主要采用增广均值组(AMG)和共同相关效应均值组(CCEMG)方法进行估算。增广均值组(AMG)和共同相关效应均值组(CCEMG)方法考虑了参数异质性和横截面依赖性,适用于长期的弹性系数估计。

表 4 长期估计结果(因变量:二氧化碳排放)

变量	AMG 系数	P 值	CCEMG 系数	P 值
人均 GDP	0.197	0.086 **	0.092	0.068 **
研发投入强度	-0.024	0.006 *	-0.032	0.004 **
市场化指数	-0.039	0.031 **	-0.062	0.034 **
化石燃料能源消耗	0.627	0.002 ***	0.614	0.000 ***
可再生能源消耗	-0.147	0.003 ***	-0.286	0.002 **
常数	-1.455	0.002 ***	-3.832	0.000 ***
Wald - 检验	36.871	—	30.165	—
Sigma	0.075	—	0.044	—

注: 增广均值组(AMG); 共同相关效应均值组(CCEMG); **、*、和 * 分别表示 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 和 $p < 0.10$ 时有统计学意义。

由表 4 可知,首先,经济增长对二氧化碳排放有积极和显著的影响。更具体地说,研究结果表明,GDP 出现 1% 的增长分别与 0.197% 和 0.092% 的二氧化碳排放量有关。这些发现还揭示了我国省际经济活动的扩张会引发环境污染物排放。我国省际发展经历了迅速的全球化和强劲的经济增长,如依赖大量化石燃料能源的工业、制造业和运输活动^[41]。这将对环境产生不利影响,因此,本文认为我国省际应调整其经济模式,以减少二氧化碳

排放。

其次,绿色技术创新对二氧化碳排放有负的和统计上显著的影响。AMG 和 CCEMG 的系数分别为 -0.024 和 -0.032 ,表明绿色技术创新将会导致二氧化碳排放量减少。绿色技术创新有助于我国省际减少额外消耗的碳,并可能有助于我国省际经济和工业结构向更加可持续的动态过渡。然而,因为存在着重大的技术创新差距,我国大多数省际往往无法紧跟技术前沿。此外,由于研发投入不足,大多数发明者无法转让其技术,尚未达到预期的创新水平。因此,在不久的将来,无论绿色技术创新取得了何种程度的进展都将对我国省际的环境质量产生重大影响。

再次,制度质量系数与二氧化碳排放显著负相关。这意味着制度质量减少了二氧化碳排放。值得注意的是,研究结果表明,我国省际制度质量出现 1% 的变化,使 AMG 和 CCEMG 的二氧化碳排放量分别减少 0.039% 和 0.062%。这些发现验证了研究假设 3。

最后,化石燃料能源消耗对二氧化碳排放具有正的显著影响。结果表明,化石燃料使用量每增加 1%,我国省际的碳排放量分别增加 0.627% 和 0.614%。近年来,我国大多数省份经济发展迅猛都是建立在基础设施和项目以及依赖化石燃料能源的经济活动上的。这将引起碳排放的激增,导致环境污染。因此,这些发现为政策制定者敲响了警钟,要求他们停止使用能够导致气候变化的化石燃料。此外,可再生能源对二氧化碳排放的系数为负且显著。准确地说,在 AMG 和 CCEMG 估算方法下,可再生能源消耗量每增加 1% 将使二氧化碳排放量分别减少 0.147% 和 0.268%。我国幅员辽阔、地大物博,得天独厚的地理优势使其拥有着如太阳能、风能和水力等丰富的可再生能源。除了在水力发电和地热能方面的潜力外,我国太阳能发展也非常迅猛。为了获得源源不断的可持续能源供应以及减少环境污染,我国一些省份致力于寻求可再生能源来替代传统化石燃料,从而达到理想的环境治理效果^[42]。因此,各地政府必须支持可再生能源利用模式的创新,实现可持续发展,

改善环境质量。此外,鼓励法律法规向可再生能源领域倾斜,这将有助于改善我国省际的环境绩效。

(四)稳健性检验

目前,专利索引已被多位学者^[43]用来度量创新。在前人研究的基础上,本文使用人均专利作为绿色技术创新的代理变量。在制度质量方面,借鉴卢现祥等^[44]的研究,采用对各省自治区直辖市制度性交易成本指数的测算结果,作为制度质量的代理变量,将它们作为主要自变量进行稳健性检验(见表 5)。

表 5 长期估计结果(因变量:二氧化碳排放)

变量	AMG 系数	P 值	CCEMG 系数	P 值
人均 GDP	0.127	0.067 *	0.084	0.053 *
人均专利	-0.021	0.005 **	-0.064	0.003 ***
制度性交易成本指数	0.028	0.029 ***	0.053	0.031 ***
化石燃料能源消耗	0.524	0.005 ***	0.629	0.003 ***
可再生能源消耗	-0.167	0.004 ***	-0.227	0.001 **
常数	-1.364	0.001 **	-4.628	0.000 **
Wald-检验	39.247	—	41.628	—
Sigma	0.079	—	0.051	—

注:增广均值组(AMG);共同相关效应均值组(CCEMG);***、**、和*分别表示 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 和 $p < 0.10$ 时有统计学意义。

结果显示,专利数量对二氧化碳排放有负的和统计上显著的影响。不仅如此,制度性教育成本指数与二氧化碳排放显著正相关。进一步验证了研究假设 2 和研究假设 3。

(五)进一步分析

目前,碳达峰、碳中和已带来的经济、社会和环境的变化,其影响力不小于三次工业革命,甚至将成为影响今后中国经济发展、可持续能源安全、未来国际地缘政治地位以及重塑世界经济格局的重要推动力。《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》,对各阶段碳达峰碳中和工作提出了任务和目标,也指出了清洁高效安全的能源体系、绿色低碳循环的经济体系以及和谐共生负碳的生态系统是支撑未来 40 年实现低碳和零碳转型的三大支柱。因此,实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,要把“双碳”目标纳入生态文明建设整体布局。

以往对经济增长的一味追求导致了不同省份

之间的经济活动和相互依存性增加,其中,工业经营的经济活动所导致的能源消耗需要释放对环境有害的二氧化碳,造成环境污染。目前,全球疫情仍在持续演变,外部环境更趋复杂严峻,我国经济恢复仍然不稳固、不均衡,经济社会发展环境越发严峻。为此,我们利用面板时间序列数据,研究了各省级经济增长、绿色技术创新、制度质量以及可再生能源消耗和化石燃料能源消耗对我国二氧化碳排放的影响。考虑到残余横截面依赖性和异质性的潜在发生,利用动态异质性技术 AMG 和 CCEMG 方法进行计量分析。本文的实证研究有助于学者们更好地理解技术创新和制度在减少二氧化碳排放和实现可持续环境方面的作用,为可持续性发展提供了有效结论和必要的政策建议。

五、简要结论和政策建议

(一) 结论

研究结果表明,绿色技术创新和可再生能源消耗大大减少了我国省际的二氧化碳排放量,而制度质量、经济增长和化石燃料能消耗费增加了二氧化碳排放量。由此可以推断,在我国省际的经济增长阶段,环境污染将会增加。此外,随着我国经济的增长,后期将面临更为严峻的碳达峰挑战,因为技术创新的局限性和我国长久以来无法彻底摆脱的工业化性质,导致今后会更多地依赖诸如化石燃料等此类廉价的污染能源。因此,在技术突破与市场创新驱动下,产业迁移与演化呈现“非零和博弈”的特征,也是实现企业高质量发展的内在动力。技术创新的任何改进都将有助于减少我国的二氧化碳排放。同时,对可再生能源等替代能源的需求对于我国省际减少碳排放和实现碳达峰、碳中和目标至关重要。从低碳转型与高质量发展的内在一致性出发,我们有理由相信依靠技术创新、垂直一体化整合、横向零碳产业联盟等方式,完全能走出一条“负成本—零排放—正增长”的高质量零碳转型之路。

(二) 政策建议

第一,对标“双碳”,重塑国家创新体系。碳中和目标是企业高质量发展的战略风向标,高质量发展是企业实现低碳转型的有效路径。党的二十大报告提出的“降碳”目标既要采取行政手段,也

要依靠市场手段。合理依托技术市场,加速科技创新成果转化是现实之举。因此,应以实施国家创新驱动发展战略为引领,建立健全降碳激励机制,构建以企业(特别是领军型企业)等创新主体、市场为导向、“产学研用金介”深度融合的技术创新体系,打造并形成从基础研究到关键核心技术再到产业化、商业化示范的完整创新链条,充分发挥全社会对低碳技术的自主创新力,建设能力强大、功能完备、资源高效配置的国家创新体系,推动并形成以科技创新驱动为主,支撑经济社会高质量发展、助力“双碳”目标愿景实现的体系化创新能力。同时,强化科技创新系统设计,按照“全链条创新设计、一体化组织实施”原则,考量经济社会发展尤其是“双碳”对科技创新的重大需求,在国家科技计划体系中,梯度、持续部署若干调整能源结构、提升清洁能源比重、减低风险行业碳排放强度、提高能源利用效率、改善制造工艺、推进低碳原料替代等的重大科技创新项目,推动从基础研究、应用基础研究到技术创新、产业化商业化落地,构建一体化创新、接续高质量发展的新格局。

第二,稳步推进制度创新,构建“双碳”改革制度体系。制度改革对于我国省际减少二氧化碳排放和实现气候目标至关重要。为了减少制度对我国环境的不利影响,决策者应加强其制度优势,制定实施能促进可持续发展的有效政策。党的二十大报告提出降碳的首要条件是加强组织领导,从顶层设计统筹降碳工作要求,逐步形成能够体现降碳增效要求、纳入二氧化碳减排目标完成情况的生态环境相关考核体系,让资本和市场在绿色发展中起到重要乃至决定性作用,加快完善各方面体制机制,破除一切不利于科学发展的体制机制障碍,为可持续发展提供持续动力。制度创新的基础工作是建立碳账户、生态账户和绿色责任账户,促进碳核算和生态核算。在建立碳核算和生态核算的基础上,建立碳账户和生态账户,形成各级政府、企业和个人的绿色责任账户,包括碳减排、常规污染控制、生态恢复和经济增长,并确定每个实体的减排责任。

第三,全面统筹不同行业、区域的经济社会发

展,有序实现“双碳”目标。党的二十大报告指出,实现减污降碳协同增效的手段是要强化目标、区域、领域、任务、政策、监管等方面的协同与深度耦合共振。企业若想实现碳中和,就需要通过能源体系、经济体系和生态系统三大支柱赋能。时间维度上,推动新能源生产企业、电力为主的高新技术企业、清洁技术占比较高的制造业、终端服务业等率先达峰。空间维度上,根据不同区域的能源特点,制定行动方案。同时,电力脱碳化、原料脱碳化、燃料脱碳化、用能电气化、能源资源利用高效化以及环境影响负碳化是我国实现脱碳的重要举措。例如,西北地区资源丰富,煤炭高效清洁利用,开发风景资源,率先实现清洁能源;西南地区风、光、水、气资源丰富,形成多能源互补、综合开发利用的格局;京津冀地区煤炭消费量高,促进污染和碳减排技术的应用,并实施清洁能源替代;长三角地区高度依赖国外能源,可以利用科技创新优势促进海上风电发展,提高能源利用效率;珠三角应发挥区域优势,开发海洋油气资源。

参考文献:

- [1] 丁怡婷,张聰,黄超,等. 促进人与自然和谐共生[N]. 人民日报,2022-10-02(2).
- [2] ADAMS S A, NSIAH C B. Reducing carbon dioxide emissions: does renewable energy matter? [J]. *Science of the total environment*, 2019(693): 133288.
- [3] APPIAH K, DU J G, YEBOAH M, et al. Causal correlation between energy use and carbon emissions in selected emerging economies—panel model approach [J]. *Environmental science & pollution research*, 2019, 26(8): 7896-7912.
- [4] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长[J]. *经济研究*, 2022(1): 56-71.
- [5] 胡宗义,刘静,刘亦文. 不同税收返还机制下碳税征收的一般均衡分析[J]. *中国软科学*, 2011(9): 55-64.
- [6] 马晓钰,郭莹莹,李强谊. 中国二氧化碳排放影响因素分析:基于省级面板数据研究[J]. *资源与产业*, 2013(5): 94-99.
- [7] 王瑛,何艳芬. 中国省域二氧化碳排放的时空格局及影响因素[J]. *世界地理研究*, 2020(3): 512-522.
- [8] HOANG P L, ILHAN O. The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of environmental Kuznets curve [J]. *Environmental science and pollution research international*, 2020, 27(18): 22680-22697.
- [9] HASSAN S T, DANISH K, KHAN S U D, et al. Role of institutions in correcting environmental pollution: an empirical investigation [J]. *Sustainable cities and society*, 2020(53): 101901.
- [10] WANG M, LI Y, LI J, et al. Green process innovation, green product innovation and its economic performance improvement paths: a survey and structural model [J]. *Journal of environmental management*, 2021(297): 113282.
- [11] KAZI S, SHAIARA H, SHAWKAT H, et al. Innovation, militarization, and renewable energy and green growth in OECD countries [J]. *Environmental science and pollution research*, 2021(28): 36004-36017.
- [12] WANG R, MIRZA N, VASBIEVA D G, et al. The nexus of carbon emissions, financial development, renewable energy consumption, and technological innovation: what should be the priorities in light of COP 21 agreements? [J]. *Journal of environmental management*, 2020(271): 111027.
- [13] 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.
- [14] SUN H, KOFI E B, SUN C, et al. Institutional quality, green innovation and energy efficiency [J]. *Energy policy*, 2019(135): 111002.
- [15] 邵帅,范美婷,杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展:基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. *管理世界*, 2022(2): 46-69, 4-10.
- [16] BEN Y A, BOUBAKER S, OMRI A. Entrepreneurship and sustainability: the need for innovative and institutional solutions [J]. *Technological forecasting and social change*, 2018, 129(1): 232-241.
- [17] GODIL D I, ZHANG Y, ARSHIAN S, et al. Investigate the role of technology innovation and renewable energy in reducing transport sector CO₂ emission in China: a path toward sustainable development [J]. *Sustainable development*, 2021, 29(4): 694-707.
- [18] TENG J, KHAN M K, KHAN M I, et al. Effect of foreign direct investment on CO₂ emission with the role of globalization, institutional quality with pooled mean group panel ARD [J]. *Environmental science and pollution research international*, 2021, 28(5): 5271-5282.
- [19] IBRAHIEM D M. Do technological innovations and financial development improve environmental quality in Egypt? [J]. *Environmental science and pollution research international*, 2020,

27(10): 10869-10881.

[20] 李倩, 陈晓光, 郭士祺, 郁芸君. 大气污染协同治理的理论机制与经验证据[J]. 经济研究, 2022(2): 142-157.

[21] SALMAN M, LONG X, DAUDA L, et al. The impact of institutional quality on economic growth and carbon emissions: evidence from Indonesia, South Korea and Thailand [J]. Journal of cleaner production, 2019(241): 118331.

[22] SHAHBAZ M, BALSALOBRE D, SHAHZAD S J H. The influencing factors of CO₂ emissions and the role of biomass energy consumption: statistical experience from G-7 countries [J]. Environmental modeling & assessment, 2019, 24(2): 143-161.

[23] DOROTA W, WIRGINIA D N. Does the quality of institutions modify the economic growth-carbon dioxide emissions nexus? evidence from a group of emerging and developing countries [J]. Ekonomska istraživanja, 2020, 33(1): 124-144.

[24] ANASUYA H, NARAYAN S. Effect of institutional quality and renewable energy consumption on CO₂ emissions—an empirical investigation for developing countries [J]. Environmental science and pollution research, 2021, 28(12): 15485-15503.

[25] AZAM M, LIU L, AHMAD N. Impact of institutional quality on environment and energy consumption: evidence from developing world [J]. Environment, development and sustainability, 2020, 23(2): 1-22.

[26] EMMA S O. Achieving 1.5°C and net-zero emissions target: the role of renewable energy and financial development [J]. Renewable energy, 2022(188): 967-985.

[27] 张希良, 黄晓丹, 张达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J]. 管理世界, 2022(1): 35-66.

[28] SARKODIE S A. The invisible hand and EKC hypothesis: what are the drivers of environmental degradation and pollution in Africa? [J]. Environmental science & pollution research, 2018, 25(22): 21993-22022.

[29] NAMAHO J P, WU Q, ZHOU N, et al. Impact of energy intensity, renewable energy, and economic growth on CO₂ emissions: evidence from Africa across regions and income levels [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2021(147): 111233.

[30] YUAN X, SU C, UMAR M, et al. The race to zero emissions: can renewable energy be the path to carbon neutrality? [J]. Journal of environmental management, 2022(308): 114648.

[31] EMMA S O, HAIBO C, ISAAC A M. The impact of green technological innovation and institutional quality on CO₂

emissions in African countries [J]. Technological forecasting and social change, 2022(180): 121670.

[32] 廖文龙, 董新凯, 翁鸣, 等. 市场型环境规制的经济效应: 碳排放交易、绿色创新与绿色经济增长[J]. 中国软科学, 2020(6): 159-173.

[33] MUHAMMAD Z C, NAUSHAD A, MUNTASIR M, et al. Pathways towards environmental sustainability: exploring the influence of aggregate domestic consumption spending on carbon dioxide emissions in Pakistan [J]. Environmental science and pollution research, 2022, 29(29): 45013-45030.

[34] 樊纲, 王小鲁, 朱恒鹏. 中国市场化指数. 各省区市场化相对进程 2011 年度报告[M]. 北京: 经济科学出版社, 2011: 261-262.

[35] 杜立民. 我国 CO₂ 排放的影响因素: 基于省级面板数据的研究[J]. 南方经济, 2010(11): 20-33.

[36] MOHD A A, VASEEM A, SALMAN H. A link between productivity, globalisation and carbon emissions: evidence from emissions by coal, oil and gas [J]. Environmental science and pollution research, 2022, 29(22): 33826-33843.

[37] LEVIN A, LIN C F, CHU C S J. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties [J]. Journal of econometrics, 2002, 108(1): 1-24.

[38] KYUNG S I, M HASHEM P, YONGCHEOL S. Testing for unit roots in heterogeneous panels [J]. Journal of econometrics, 2003, 115(1): 53-74.

[39] MADDALA G S, SHAOWEN W. A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test [J]. Oxford bulletin of economics and statistics, 1999, 61(S1): 631-652.

[40] PEDRONI P L A. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors [J]. Oxford bulletin of economics and statistics, 1999, 61(S1): 653-670.

[41] 司海恩, 高斌. 云南省制造业能源消耗碳减排实证研究[J]. 中国软科学, 2021(A1): 99-102.

[42] 张宁. 碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶减排效率追赶: 来自中国火力发电企业的证据[J]. 经济研究, 2022(2): 158-174.

[43] DU K, LI P, YAN Z. Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data [J]. Technological forecasting and social change, 2019(146): 297-303.

[44] 卢现祥, 朱迪. 中国制度性交易成本测算及其区域差异比较[J]. 江汉论坛, 2019(10): 31-40.

(本文责编: 辛 城)