治理绩效

技术创新对绿色经济发展的影响分析

——基于中国省级数据实证研究

陈钧君，王仲平

（兰州交通大学数理学院，兰州 730070）

摘要：目前实现人与自然和谐共生、发展绿色经济已成为中国的重要方向。研究技术创新如何影响绿色经济的发展，对于发展中国绿色经济和实现其高质量发展具有重大意义。以中国30个省份（因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区）2010—2022年的面板数据为基础，通过熵值法测度绿色经济发展水平并从时间和空间两个层面上展开分析，随后运用基准面板回归模型探究技术创新对绿色经济发展的直接影响。研究发现，各地区绿色经济发展总体呈上升趋势，各省份的绿色经济取得了较大的发展，但仍处于较低水平，且东、中、西部地区之间绿色经济发展差距较大；技术创新显著促进中国绿色经济发展且结果具有可信度和稳健性；技术创新促进绿色经济发展的作用强度和内在机制存在显著的地区差异性。

关键词：技术创新；绿色经济发展；熵值法；基准面板回归模型

中图分类号：F064.1；F124.5 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)04－0285－08

改革开放以来，中国经济持续快速发展，成为世界第二大经济体。但在发展经济的过程中，资源被大量消耗，环境被污染和破坏，这在一定程度上制约了经济的可持续发展。在此背景下，促进生态和经济的和谐发展，实现可持续发展，发展绿色经济迫在眉睫。中国非常重视绿色发展，党的十八届五中全会上提出必须牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，绿色是永续发展的必要条件；党的二十大报告强调了“绿水青山就是金山银山”的重要发展理念。由此可见，改善生态环境就是发展生产力，良好生态本身蕴含着无穷的经济价值。实现人与自然和谐共生、发展绿色经济已经成为中国的重要方向。

2012年底，党的十八大明确提出“深入实施创新驱动发展战略”，将技术创新作为推动经济转型升级和可持续发展的核心动力。国家不仅在政策方面大力支持，还通过增加科研投入、培养专业人才等措施，为技术创新营造良好的发展环境。2022年12月13日，国家发展改革委和科技部发布了《关于进一步完善市场导向的绿色技术创新体系实施方案（2023—2025年）》，体现了国家对技术创新在绿色经济领域应用的重视。

中国作为世界上最大的发展中国家，面临经济转型升级和环境保护的双重压力。深入研究技术创新对绿色经济发展的影响，对于实现中国经济的高质量发展具有重大现实意义，也为全球绿色经济的可持续发展提供了宝贵的经验与借鉴。

1 文献综述

多数文献主要集中于客观赋权（熵值法）、主客观结合和效率测算等方法对绿色经济发展水平进行测度。杨进[1]采用熵权法对西部地区11个省份的绿色经济发展水平进行测度。刘东亚[2]运用时序全局主成分分析法测度2008—2020年全国30个省份绿色经济发展水平综合指数，发现中国绿色经济发展逐年向好，但东部地区与中西部地区差距较大。张梦霞[3]采用熵值法对中部地区六省份2011—2018年的绿色经济水平进行综合评价，分析不同省份的优势和不足之处。许道乾和商思争[4]利用熵值法和层次分析法，对苏北地区绿色经济发展情况进行综合及分地区、跨年度评价。Li等[5]在基于松弛测量模型（slack-based measure model）中引入非期望产出来对绿色经济发展水平进行测度。

探究绿色经济发展的影响因素，可有针对性和

收稿日期：2025-08-26

作者简介：陈钧君（2000—），女，河南长垣人，硕士研究生，研究方向为计量经济；通信作者王仲平（1966—），男，甘肃康乐人，博士，副教授，研究方向为时空数据建模分析与预测、函数型数据建模分析。

实施政策来提升其发展水平。国内外学者从多角度对其进行研究。Wang 等[6]发现产业升级对绿色经济发展有一定的影响作用。朱奕帆和丁慧[7]发现智慧城市建设不仅对本地绿色经济发展表现显著的促进作用，而且还有利于促进相邻地区的绿色经济发展。Pitkänen 等[8]发现经济发展程度、公共基金、技术发展程度、影响评估等是绿色经济发展的关键因素。孟望生和张扬[9]提出技术创新下的绿色技术进步是提升绿色经济水平的关键推动力。姚战琪[10]认为在技术创新的间接作用下，可以通过推动科技服务业试点来提高我国绿色经济水平。由此可见，技术创新对于绿色经济发展起到了一定的影响作用，为本文提供了研究方向。

在以往关于技术创新与绿色经济关系的文献，由于视角和研究方法的不同，得出的结论并不一致。郝淑双和朱喜安[11]发现，技术创新对绿色发展有一定的促进作用。马睿卓[12]发现技术创新对中国不同区域绿色经济增长有积极的影响。吴健[13]得出技术创新可以直接推动绿色经济发展的结论。车磊等[14]发现技术创新对绿色经济效率具有显著的正向影响作用。张扬等[15]发现当前中国省级层面的技术创新会抑制绿色经济增长效率提升。

综上所述，技术创新影响绿色经济的观点是有争议的，值得进一步探讨。且已有研究主要集中于技术创新对经济增长的影响分析，对绿色经济发展的影响研究较少。因此，本文首先构建中国绿色经济发展水平的测度指标，分析中国绿色经济发展的现状，进一步利用基准面板回归模型研究技术创新对中国绿色经济发展的直接影响，并使用异质性检验分析技术创新在不同区域的作用路径。

2　研究方法与数据来源

2.1　构建指标体系

在构建指标体系时，论文遵循了科学性、代表性以及可获得性原则，并参考相关文献中有关于绿色经济发展水平的评价指标体系，选取了经济、环境、社会 3 个一级指标，并下分 20 个具体的二级指标，如表 1 所示。

2.2　熵值法

熵值法是一种客观赋权法，依据各指标相对变化幅度对整体系统的影响程度确定权重[16]。利用熵值法可以客观地评价中国各地区绿色经济的发展水平，为政府部门和企业提供科学的决策参考，所以本文依据熵值法对中国各地区绿色经济发展水平进行综合评价，具体步骤如下[16]。

表 1　绿色经济发展水平评价指标体系

维度	指标	单位	属性
经济	人均 GDP	元	＋
	第三产业增加值所占比例	%	＋
	社会消费品零售总额	亿元	＋
	规模以上工业企业单位数	个	＋
	地方财政科学技术支出	亿元	＋
环境	城市绿地面积	万 hm^2	＋
	人均公园绿地面积	m^2/人	＋
	建成区绿化覆盖率	%	＋
	人均水资源量	m^3/人	＋
	二氧化硫排放量	万 t	－
	化学需氧量排放量	万 t	－
	生活垃圾无害化处理能力	t/日	＋
	城市污水日处理能力	万 m^3	＋
社会	城镇登记失业率	%	－
	国内专利申请授权量	项	＋
	公路里程数	万 km	＋
	居民人均可支配收入	元	＋
	每万人拥有医师数	人	＋
	普通高等学校在校学生数	万人	＋
	民用汽车拥有量	万辆	＋

(1)原始指标数据说明。假设有 d 个年度 m 个省份的 n 个指标，则 $X_{\theta ij}$ 为第 θ 年省份 i 的第 j 个指标值。

(2)因各个指标的计量单位不一致，故在使用前要对指标进行标准化处理。

正向指标：

$$X'_{\theta ij}=\frac{X_{\theta ij}-\min X_{\theta ij}}{\max X_{\theta ij}-\min X_{\theta ij}} \tag{1}$$

负向指标：

$$X'_{\theta ij}=\frac{\max X_{\theta ij}-X_{\theta ij}}{\max X_{\theta ij}-\min X_{\theta ij}} \tag{2}$$

(3)计算第 j 项指标中，第 i 个省份所占的比例：

$$P_{\theta ij}=\frac{X'_{\theta ij}}{\sum_{\theta=1}^{d}\sum_{i=1}^{m}X'_{\theta ij}} \tag{3}$$

(4)计算第 j 项指标的信息熵，其中 $k=\frac{1}{\ln dm}$。

$$E_j=-k\sum_{\theta=1}^{d}\sum_{i=1}^{m}P_{\theta ij}\ln P_{\theta ij} \tag{4}$$

(5)计算第 j 项指标的差异系数：

$$G_j=1-E_j \tag{5}$$

(6)计算第 j 项指标的权重：

$$W_j=\frac{G_j}{\sum_{j=1}^{n}G_j} \tag{6}$$

(7)计算不同年度下各省份 i 的综合得分：

$$Z_{it}=\sum_{j=1}^{n}W_jX'_{tij} \quad (7)$$

2.3 数据来源

选取中国30个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)作为样本,研究区间设定为2010—2022年。所涉及的具体数据,均主要来源于《中国统计年鉴》、各省份统计年鉴和国家统计局官网。部分地区指标的缺失数据通过线性插值法来计算填补[17]。

3 中国绿色经济发展分析

3.1 测度结果

根据上述熵值法计算的各地区2010—2022年绿色经济发展水平的综合得分如表2所示。

3.2 绿色经济发展水平分析

使用软件origin将2010—2022年东部、中部、西部地区的绿色经济发展综合得分绘制成折线图(图1～图3),由此可以更直观地观测到各地区绿色经济发展的时间演变特征。

从图1～图3中可以直观地看出,各地区绿色经济发展总体呈上升趋势,各省份的平均得分从2010年的0.14上升到2022年的0.28,绿色经济取得了较大的发展,但仍处于较低水平,即综合得分较低。从中国绿色经济发展综合得分的均值和图1～图3中可以发现,东部地区绿色经济发展较好,其次是中部地区,而西部地区较差于东部地区与中部地区,即东部地区、中部地区与西部地区之间绿色经济发展差距较大,呈现两极化的发展趋势。

究其原因,东、中、西部地区绿色经济发展不平衡可能是受到自然条件、历史因素和经济基础的影响。东部地区地形相对平缓,气候适中,相对便利,

表2 2010—2022年中国绿色经济发展水平测度值

地区	省份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
东部地区	北京	0.18	0.19	0.19	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29	0.3	0.3	0.32	0.32
	天津	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17
	河北	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27
	辽宁	0.15	0.14	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23
	上海	0.17	0.17	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.31
	江苏	0.31	0.31	0.27	0.35	0.37	0.40	0.42	0.43	0.47	0.49	0.54	0.59	0.60
	浙江	0.26	0.23	0.16	0.29	0.30	0.33	0.34	0.36	0.39	0.43	0.45	0.50	0.52
	福建	0.14	0.13	0.26	0.16	0.17	0.19	0.21	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28
	山东	0.24	0.24	0.35	0.28	0.30	0.31	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.47	0.48
	广东	0.35	0.33	0.09	0.39	0.40	0.46	0.50	0.55	0.62	0.68	0.70	0.77	0.79
	海南	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13
	均值	0.19	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33	0.36	0.37
中部地区	山西	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
	吉林	0.10	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17
	黑龙江	0.11	0.10	0.11	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17
	安徽	0.13	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.22	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33
	江西	0.12	0.11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.22	0.23	0.24	0.25
	河南	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.34	0.35
	湖北	0.14	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	0.26	0.28	0.29	0.31	0.32
	湖南	0.14	0.13	0.15	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.25	0.26	0.28	0.29
	均值	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26
西部地区	内蒙古	0.10	0.10	0.11	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.18	0.18
	广西	0.11	0.11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.22
	重庆	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.22	0.22
	四川	0.15	0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.24	0.27	0.29	0.30	0.33	0.34
	贵州	0.07	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18
	云南	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21
	陕西	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.21	0.21
	甘肃	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13
	青海	0.12	0.12	0.14	0.12	0.14	0.12	0.13	0.15	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16
	宁夏	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
	新疆	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18
	均值	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19
均值		0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28

这些自然条件为其绿色经济发展提供良好的基础。且东部地区历史上一直是经济较为发达的区域，具有较强的经济实力和技术积累，有利于绿色经济的推广。此外，东部地区经济基础雄厚，产业结构相对完善，拥有较多的高新技术企业和绿色产业。

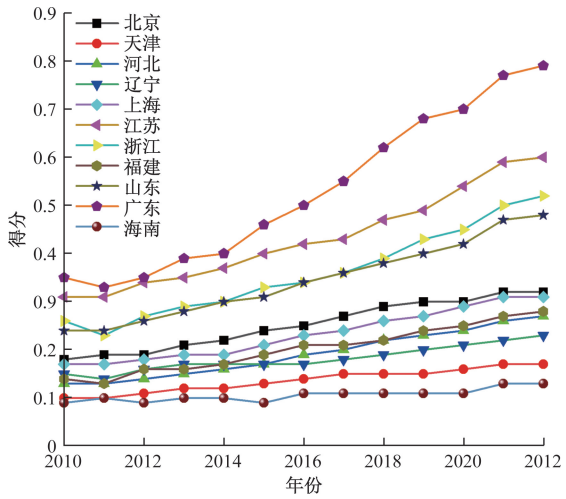


图 1　2010—2022 年东部地区绿色经济发展综合得分

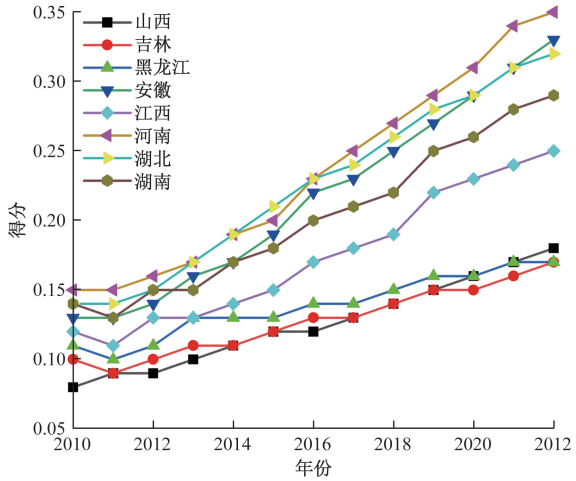


图 2　2010—2022 年中部地区绿色经济发展综合得分

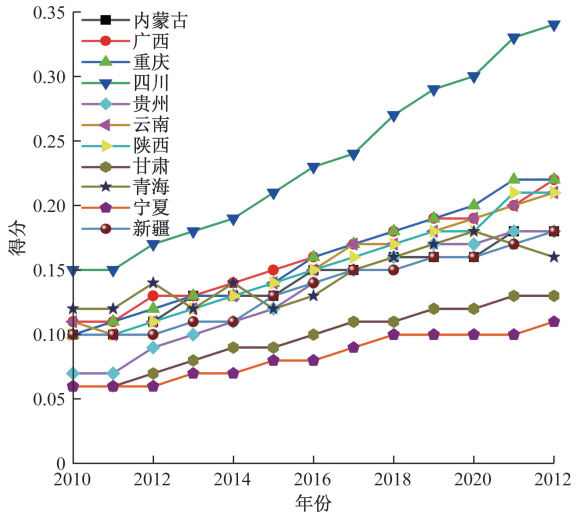


图 3　2010—2022 年西部地区绿色经济发展综合得分

中部地区地形复杂多样，但相较于西部地区，其自然条件仍较为优越，有利于农业和制造业的发展。同时，中部地区作为连接东西部地区的桥梁，具有重要的战略地位，近年来在国家政策的支持下，其绿色经济也在逐步发展。中部地区经济基础相对薄弱，产业结构以传统制造业和农业为主，在发展新兴产业与绿色产业上，与东部地区相比仍存在一定的差距。

西部地区地形险峻，气候恶劣，交通不便，这些自然条件限制了其绿色经济的发展。且西部地区历史上一直是经济较为落后的区域，经济基础薄弱，技术积累不足，对绿色经济的推广和实施造成一定的困难。西部地区经济基础最为薄弱，产业结构单一，主要以资源开采和初加工为主。这种产业结构对环境的破坏较大，不利于绿色经济的发展。

4　技术创新影响绿色经济发展的实证研究

4.1　计量模型的构建

4.1.1　变量选取

1）被解释变量

被解释变量为绿色经济发展（GER），用前文所测得的各地区绿色经济发展综合得分来衡量。

2）核心解释变量

核心解释变量为技术创新（TI）。以往研究多以创新活动投入或创新活动产出来衡量技术创新水平，这些指标存在维度单一、整体代表性不强等问题。借鉴相关文献，从创新投入、产出和环境三个维度展开构建指标体系[18]，如表 3 所示。并用前文所述的熵值法来测度技术创新。

3）控制变量

除了技术创新，影响绿色经济发展的因素还有

表 3　技术创新评价指标体系

维度	指标	单位	指标属性
技术创新投入	R&D 人员全时当量	人年	+
	R&D 经费支出	万元	+
	规模以上工业企业 R&D 项目数	项	+
	科学技术支出占财政支出比例	%	+
技术创新产出	国内专利申请授权量	项	+
	国内专利申请受理量	项	+
	技术市场成交额与 GDP 之比	%	+
	规模以上工业企业新产品销售收入	万元	+
技术创新环境	人均 GDP	元	+
	普通高等学校数	所	+
	互联网宽带接入端口	万个	+
	财政收入占 GDP 比例	%	+

很多,依据相关文献,论文选取城镇化水平、对外开放程度、城市人口规模、环境规制作为控制变量。

城镇化水平(UR):使用城镇人口与全部人口的比值来衡量[19]。城镇化能够推动优化产业结构,促进绿色产业发展。城镇化通过改善基础设施、提高资源利用效率和推动技术创新,能够显著提升绿色经济发展水平。城镇化还能通过聚集人口和产业,形成规模经济,提高资源利用效率,从而推动绿色经济的发展。

对外开放程度(OPEN):采用进出口总额占GDP比例来衡量[20]。在开放交流的环境背景下,先进的技术和现代化管理模式为企业向绿色化转型提供了有力支撑。技术革新促使企业在生产环节采用更环保的工艺,管理模式的提升则有助于优化资源配置,降低运营过程中的能耗与排放。但在对外开放进程中,部分地区特别是西部地区,受地理位置、产业基础等因素影响,可能会引入一些发展模式较差的产业,它们往往依赖大量资源投入,会产生较多污染物,且产生的经济效益较低,不利于绿色经济的发展。因此,对外开放程度对绿色经济发展的影响尚不能确定。

城市人口规模(UPS):采用年末总人口数来表示[21]。随着人口的增长,对资源的需求也会增加,特别是对土地、水资源的需求显著增加。这可能导致土地使用压力增大,森林退化、土壤侵蚀等问题加剧,进而影响到整个生态系统。人口增长还会导致更多的工业生产和消费活动,增加污染排放,对环境造成压力。这些都有碍于绿色经济的发展。

环境规制(ER):采用地区工业污染治理投资完成额来衡量[19]。环境规制通过奖惩等政策措施,严格限制高污染、高能耗,促使传统产业结构绿色化转型。这不仅能够改善环境质量,还能促进新产业和新技术的发展,为绿色经济发展提供新的动力。

4.1.2 面板模型构建

为更好检验技术创新对中国绿色经济发展的影响,构建基准面板回归模型,通过该模型可以直观地看出直接作用程度。

$$GER_{it} = \beta_0 + \beta_1 TI_{it} + \beta_2 UR_{it} + \beta_3 OPEN_{it} + \beta_4 UPS_{it} + \beta_5 ER_{it} + u_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

式中:i 为省份;t 为2010—2022年13年;GER_{it} 为被解释变量绿色经济发展水平;TI_{it} 为核心解释变量技术创新;UR_{it}、$OPEN_{it}$、UPS_{it}、ER_{it} 分别为控制变量城镇化水平、对外开放程度、城市人口规模、环境规制;u_i 为固定城市;δ_t 为固定时间;ε_{it} 为随机扰动项;β_1、β_2、β_3、β_4、β_5 分别为技术创新、城镇化水平、对外开放程度、城市人口规模、环境规制的回归系数,其中 β_1 为正表示技术创新促进我国绿色经济发展,β_1 为负则是阻碍绿色经济发展。

4.2 技术创新对绿色经济发展的影响

根据基准面板回归模型,通过混合普通最小二乘(ordinary least square,OLS)回归模型、个体固定效应模型、时间固定效应模型和双固定效应模型,对中国技术创新对绿色经济发展的直接影响进行深入分析。结果发现,在以上提及的所有模型里,技术创新这一变量均通过显著性检验,并且各模型所估计出的参数均呈现正值。这一结果有力地表明,技术创新水平的提升对中国绿色经济发展起到显著的促进作用,为进一步推动中国绿色经济发展提供重要的理论依据和实践指导方向。

以双固定效应模型为主模型对其进行详细分析,从表4中可知,技术创新对中国绿色经济发展的影响系数为0.572,说明技术创新促进了中国绿色经济的发展。可能原因在于国家政策高度重视技术创新的动力作用,使用新的绿色技术从源头减少对传统化石能源的依赖,降低污染物排放,提高资源利用效率。通过技术创新推动新兴绿色产业的崛起,带动上下游产业链的绿色化升级,促使产业绿色转型。此外,先进的绿色技术和创新理念在不同企业、地区间传播,促使更多企业学习并采用绿色生产方式,形成绿色发展的良好氛围,推动整个经济体系向绿色化迈进。这些方面都使得技术创新推动了绿色经济的发展。

从城镇化水平来看,其系数为正且通过了显著性检验,表明城镇化水平对绿色经济发展是显著正相关作用。可能原因在于城镇化进程加快促进了人口和经济活动的集聚以及人力资本的积累,这一变化优化了本地劳动力资源的配置效率,利用集聚效应和外部效应的优势,引导工业发展向集约循环和创新驱动的模式转型,进而促进绿色经济的发展。

从对外开放程度来看,系数为负且未通过显著性检验,原因可能在于中国国内通过对外开放引进的技术或产业质量存在参差不齐的现象,这可能阻碍了绿色经济的发展,但影响不显著。

从城市人口规模来看,系数为负且通过了显著性检验,这可能是由于人口增多导致对物资和能源的需求量巨大,进而可能导致资源的过度开采和能源的高消耗,从而对绿色经济发展产生负面影响。

表4　技术创新对中国绿色经济发展水平的基准回归结果

变量	混合OLS模型中国绿色经济发展水平	时间固定效应模型中国绿色经济发展水平	个体固定效应模型中国绿色经济发展水平	双固定效应模型中国绿色经济发展水平
技术创新	0.722***	0.564***	0.617***	0.572***
	(0.018)	(0.012)	(0.014)	(0.013)
城镇化水平	0.103***	0.007	0.448***	0.097**
	(0.022)	(0.038)	(0.016)	(0.048)
对外开放程度	−0.070***	0.004	−0.069***	−0.016
	(0.008)	(0.011)	(0.008)	(0.011)
城市人口规模	0.028***	0.022***	−0.105***	−0.051**
	(0.003)	(0.006)	(0.023)	(0.021)
环境规制	−0.010***	0.001	−0.003***	0.001
	(0.002)	(0.001)	(0.001)	(0.001)
常数项	−0.053***	−0.108*	0.609***	0.395***
	(0.03)	(0.056)	(0.170)	(0.153)
观测值	390	390	390	390
R^2	0.92	0.97	0.96	0.97

注：*、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平；括号内为标准误。

从环境规制来看，系数为正但未通过显著性检验，原因可能在于中国在一定程度上受到了环境规制的影响，且加强了环境规制的宣传力度，但由于政策实际执行能力不强，这种影响不太明显。

4.3　模型稳健性检验

为了保证技术创新可以促进中国绿色经济发展这一结论的可靠性，对基准回归模型进行稳健性检验。采取的是替换核心解释变量（用各省级地区技术市场交易额/GDP来代表技术创新[22]）和删减样本数（删减2010—2012年面板数据）两种方法。估计结果如表5所示，通过替换核心解释变量结果可知，影响系数为0.603，通过1%的显著性水平检验；通过删减样本数结果可知，影响系数为0.575，通过1%的显著性水平检验。由此可知，技术创新对中国绿色经济发展具有促进作用的结论具有可靠性，基准回归结果具有可信度和稳健性。

4.4　内生性检验

为克服潜在内生性偏误对回归结果稳健性的影响，采用工具变量法进行内生性处理。参考相关文献，选用滞后一期的技术创新作为工具变量。一方面，滞后项与当期技术创新存在强相关性，满足工具变量相关性要求；另一方面，滞后期的技术创新无法直接影响当前绿色经济发展水平，可以保证工具变量的外生性。

表6结果显示，在控制内生性后，核心解释变量技术创新的系数在1%的水平上仍显著为正。这表明即使考虑内生性的干扰问题，技术创新依然显著促进绿色经济发展，也进一步证明了本文研究结论的稳健性。

表5　稳健性检验

变量	替换核心解释变量 中国绿色经济发展水平	删减样本数 中国绿色经济发展水平
技术创新	0.603***	0.575***
	(0.178)	(0.015)
城镇化水平	0.145	0.137**
	(0.125)	(0.056)
对外开放程度	−0.081***	−0.019
	(0.029)	(0.015)
城市人口规模	0.256***	0.039
	(0.050)	(0.029)
环境规制	0.006**	0.001
	(0.003)	(0.001)
常数项	−1.948***	0.290
	(0.372)	(0.214)
观测值	390	390
R^2	0.80	0.97

注：*、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平；括号内为标准误。

表6　两阶段最小二乘法回归结果

变量	技术创新	中国绿色经济发展水平
技术创新		0.586***
		(0.021)
滞后一期的技术创新	1.037***	
	(0.017)	
城镇化水平	−0.101**	0.121**
	(0.045)	(0.055)
对外开放程度	0.025*	−0.018
	(0.014)	(0.012)
城市人口规模	0.042*	−0.063**
	(0.022)	(0.028)
环境规制	0.002*	0.001
	(0.001)	(0.001)

注：*、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平；括号内为标准误。

4.5　异质性

为进一步考察技术创新对绿色经济发展水平的影响是否在不同区域呈现差异化特征，依据国家统计局的地理划分标准，将总体样本划分为东部、中部和西部地区三个子样本进行异质性检验，以揭示潜在的区域异质性和结构性差异，从而为制定差异化区域政策提供实证依据。

表7检验结果表明，技术创新对中国东部、中部和西部三大区域的绿色经济发展均具有显著的正向推动作用，但其作用强度和内在机制存在显著的地区差异性。西部地区表现较强的边际效应（系数0.728），这说明该地区由于绿色经济发展起点较低，国家政策倾斜及清洁能源项目引进带来的技术

表 7　异质性检验结果

变量	东部 中国绿色经济发展水平	中部 中国绿色经济发展水平	西部 中国绿色经济发展水平
技术创新	0.611*** (0.021)	0.349*** (0.061)	0.728*** (0.065)
城镇化水平	0.071 (0.081)	−0.087 (0.191)	−0.027 (0.103)
对外开放程度	−0.027 (0.017)	−0.042 (0.057)	0.006 (0.029)
城市人口规模	−0.246*** (0.049)	0.220** (0.073)	−0.042 (0.042)
环境规制	0.004 0** (0.002)	−0.001 0 (0.002)	0.000 3 (0.002)
常数项	1.878*** (0.375)	−1.673** (0.538)	0.427 (0.310)
观测值	143	104	143
R^2	0.98	0.98	0.95

注:*、**、***分别代表 10%、5%、1%的显著性水平;括号内为标准误。

应用能产生立竿见影的效果,发展模式具有明显的资源驱动和技术引进特征。东部地区系数稳健(0.611),反映其发展已进入高质量阶段,技术创新不再侧重于规模扩张,而是集中于效率提升、结构优化及模式创新。相比之下,中部地区系数相对较低(0.349),凸显其作为传统产业基地面临更艰巨的转型挑战,技术创新需要克服较高的产业结构调整成本与路径依赖。

5　结论与建议

本文以中国 30 个省份为研究对象,将 2010—2022 年作为研究区间,探究技术创新对绿色经济的影响,以期为今后提升中国绿色经济发展水平提供多方面思路。首先,构建了中国绿色经济发展水平的评价指标体系,运用熵值法测算综合得分后并展开分析。其次,运用基准面板回归模型探究技术创新对绿色经济发展的直接影响。最后,异质性分析技术创新在中国东部、中部和西部三大区域对绿色经济发展的作用强度和机制。从而得出以下结论。

(1)各地区绿色经济发展总体呈上升趋势,各省份的绿色经济取得了较大的发展,但仍处于较低水平。且东、中、西部地区之间绿色经济发展差距较大,呈现两极化的发展趋势。

(2)通过混合 OLS 模型、个体固定效应模型、时间固定效应模型和双固定效应模型,对中国技术创新对绿色经济发展的影响进行分析,结果都显示技术创新可以显著促进中国绿色经济发展。且通过稳健性检验和内生性检验,发现技术创新对绿色经济影响仍显著为正,证明基准回归结果具有强稳健性。

(3)技术创新对中国东部、中部和西部三大区域的绿色经济发展均具有显著的正向推动作用,但其作用强度和内在机制存在显著的地区差异性。

依据以上的研究结论,提出以下建议。

(1)广东、浙江等绿色经济发展水平较高的省份,起到领头作用,将经验分享给发展较差的省份,做到共同发展。另外,可以提出人才互助、讲座交流、资源共享等方法让东部地区带动西部地区发展。

(2)加大技术创新力度,提高核心技术竞争力,同时加强产学研用合作,推动大中小企业之间的融通创新,形成多元化的技术创新生态,提升技术成果转化能力。

(3)鼓励各大企业积极创新,通过一定的奖励政策,提高企业的自主创新意识,营造良好的创新环境。

(4)在城镇化进程中,引导人口向城镇流动,同时加强环境保护工作,提高污染治理水平,减少污染物排放,并提高资源利用效率,减少能源消耗和浪费。

(5)西部地区培育本土创新能力;东部地区聚焦前沿技术突破;中部地区重点支持传统产业绿色技术改造。

参考文献

[1] 杨进. 财政金融政策协同支持绿色经济发展研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2023.

[2] 刘东亚. 财政支出结构对绿色经济发展的影响研究[D]. 贵阳:贵州财经大学, 2023.

[3] 张梦霞. 科技创新对绿色经济发展的影响研究[D]. 南昌:江西财经大学, 2021.

[4] 许道乾, 商思争. 苏北绿色经济发展评价研究[J]. 大陆桥视野, 2020(5):70-75.

[5] LI H, FANG K, YANG W, et al. Regional environmental efficiency evaluation in China: analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58(5/6):1018-1031.

[6] WANG G M, CHENG K M, LUO Y S, et al. Heterogeneous environmental regulations and green economic efficiency in China: the mediating role of industrial structure[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(42):63423-63443.

[7] 朱奕帆, 丁慧. 智慧城市建设对绿色经济发展的影响研究——基于长三角城市群面板数据的实证分析[J]. 生态经济, 2023, 39(7):93-98.

[8] PITKÄNEN K, ANTIKAINEN R, DROSTE N, et al. What can be learned from practical cases of green econo-

my? studies from five European countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 139: 666-676.
[9] 孟望生，张扬. 自然资源禀赋、技术进步方式与绿色经济增长——基于中国省级面板数据的经验研究[J]. 资源科学，2020，42(12)：2314-2327.
[10] 姚战琪. 科技服务业试点对城市绿色全要素生产率的影响研究[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版)，2024，26(1)：143-152.
[11] 郝淑双，朱喜安. 中国区域绿色发展水平影响因素的空间计量[J]. 经济经纬，2019，36(1)：10-17.
[12] 马睿卓. 技术创新对我国区域绿色经济增长的影响研究[D]. 成都：四川师范大学，2022.
[13] 吴健. 成渝地区技术创新对绿色经济发展的影响路径分析[D]. 拉萨：西藏大学，2023.
[14] 车磊，白永平，周亮，等. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析[J]. 地理科学，2018，38(11)：1788-1798.
[15] 张扬，睢党臣，孟望生. 技术创新、技术引进与绿色经济增长效率[J]. 统计与决策，2024，40(2)：133-138.
[16] 王晓红，李雅欣. 数字经济对经济高质量发展的影响研究——基于2013—2018年省级面板数据[J]. 经济视角，2021，40(1)：44-53.
[17] 王玉珍，宋国靖，王彤. 黄河流域数字经济发展水平评价及时空演变分析[J]. 人民黄河，2024，46(5)：11-17.
[18] 张倩. 科技创新对京津冀城市群绿色经济发展的影响研究[D]. 保定：河北大学，2024.
[19] 姚玉柱. 产业协同集聚对区域绿色经济发展的影响研究[D]. 武汉：中南财经政法大学，2022.
[20] 杨进. 财政金融政策协同支持绿色经济发展研究[D]. 贵阳：贵州大学，2023.
[21] 彭影. 创新要素配置对绿色经济发展的驱动效应研究[D]. 长春：吉林大学，2023.
[22] 张雅熙. 数字经济影响全要素生产率的机制研究[D]. 成都：西南财经大学，2022.

Analysis of the Impact of Technological Innovation on the Development of Green Economy: An Rmpirical Study Based on China's Provincial Data

CHEN Junjun, WANG Zhongping
(School of Mathematics and Physics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: At present, realizing the harmonious coexistence between man and nature and developing green economy has become an important direction of China. Studying how technological innovation affects the development of green economy is of great significance for the development of China's green economy and the realization of its high-quality development. Based on the panel data of 30 provinces(due to the lack of data, the statistical data mentioned here do not include the Tibet Autonomous Region, the Hong Kong Special Administrative Region, the Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) in China from 2010 to 2022, the development level of green economy was measured and analyzed by entropy method from two aspects of time and space, and then the benchmark panel regression model was used to explore the direct impact of technological innovation on the development of green economy. The results show that the development of green economy in various regions of China is generally on the rise, and the green economy in various provinces has made great progress, but it is still at a low level, and there is a large gap in the development of green economy among the eastern, central and western regions. Technological innovation significantly promotes the development of China's green economy and the results are reliable and robust. There are significant regional differences in the intensity and internal mechanism of technological innovation promoting the development of green economy.

Keywords: technological innovation; green economy development; entropy method; benchmark panel regression model