

绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展及影响因素研究

刘煜

中原工学院 经济管理学院

DOI:10.12238/eep.v8i3.2623

[摘要] 运用超效率SBM模型、耦合协调度模型、核密度估计以及Tobit模型等方法,对我国30个省份2012—2022年绿色技术创新与生态福利绩效耦合协调关系开展研究,剖析影响二者协调发展水平的因素。结果显示:①2012—2022年绿色技术创新与生态福利绩效耦合协调水平整体有所提高;②耦合协调度的省份间差异有增大趋势,个别地区出现极化现象;③经济发展水平、政府行为以及高等教育水平对耦合协调度为正向影响,工业化水平和对外开放程度为负向影响。

[关键词] 绿色技术创新;生态福利绩效;耦合发展;演进特征;影响因素

中图分类号:F062.2 文献标识码:A

Research on the coupling and coordinated development of green technology innovation and ecological welfare performance and its influencing factors

Yu Liu

School of Economics and Management, Zhongyuan University of Technology

[Abstract] Using the super-efficiency SBM model, coupling coordination degree model, kernel density estimation, and Tobit model, this study examines the coupling and coordination relationship between green technology innovation and ecological welfare performance in 30 provinces of China from 2012 to 2022, analyzing the factors influencing their coordinated development. The findings indicate: ① the overall level of coupling and coordination between green technology innovation and ecological welfare performance improved from 2012 to 2022;② the differences in coupling coordination degree among provinces have increased, with some regions showing polarization;③ economic development levels, government actions, and higher education levels positively influence the coupling coordination degree, while industrialization levels and the degree of openness to the outside world negatively impact it.

[Key words] green technology innovation; ecological welfare performance; coupled development; evolutionary characteristics; influencing factors

引言

绿色技术创新是推动经济绿色转型的核心驱动力,生态福利绩效则是衡量经济社会发展与生态环境保护协调程度的重要指标,二者的协同发展是我国生态文明建设以及实现“双碳”目标的必然选择。现有研究主要集中在绿色技术创新和生态福利绩效各自的效率测度、时空特征及影响因素方面。绿色技术创新与生态福利绩效之间存在着复杂的相互影响关系。肖黎明等^[1]运用SBM-DEA超效率模型、Getis-Ord G_i^* 指数、面板Tobit回归模型,分析了2004—2016年中国30个省(市、自治区)的生态福利绩效水平、空间分类特征和冷热点区域格局演化及影响因素,揭示了绿色技术创新效率与生态福利绩效的显著正相关关系。郭炳南等^[2]利用省级面板数据实证分析了异质性环境规制对生态福利绩效的影响,发现资源税收型和科研补贴型环境规制均能通过绿色技

术创新的“激励效应”推动生态福利绩效提升。韩瑾^[3]以浙江省为例,采用超效率SBM-DEA模型对绿色技术创新效率与生态福利绩效进行测度,并通过耦合协调度模型、泰尔指数、收敛模型分析了两个系统的耦合协调度及其空间差异与收敛程度。

尽管已有研究表明绿色技术创新与生态福利绩效之间存在耦合协调关系,但目前对于两者耦合协调机制的深入研究仍显不足,需要进一步深入探讨,以便为实现绿色技术创新与生态福利绩效的协同发展提供更具针对性的政策建议。为了深入理解绿色技术创新与生态福利绩效发展之间的内在联系,本文运用超效率SBM模型构建绿色技术创新与生态福利绩效评价体系,引入耦合协调模型,探索两者之间的耦合协调机制,并借助核密度估计和面板Tobit模型,对耦合协调效应的时空演变格局及影响因素进行刻画,从而把握发展动态变迁,识别耦合协同短板。

1 绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展的理论机理分析

绿色技术创新是指以降低资源消耗、减少环境污染和促进生态可持续性为目标的技术研发与应用，涵盖清洁生产、能源效率提升及污染控制等领域。其对生态福利绩效的作用机制可归纳为以下三方面：第一，绿色技术创新通过优化生产函数，提高资源利用效率，减少单位产出的生态足迹，从而降低经济增长对自然资源的依赖；第二，绿色技术创新能够直接减少污染物排放，改善环境质量，进而提升人类健康水平和社会福利，形成生态与经济的协同增益；第三，绿色技术创新推动产业结构向低碳化、循环化转型，重构经济系统的物质流动模式，使生态福利绩效在长期发展中呈现递增趋势。

生态福利绩效是衡量社会福利增长与生态环境压力脱钩程度的核心指标，反映经济系统的可持续性和包容性水平。其对绿色技术创新的反馈机制主要体现在三个层面：第一，生态福利绩效的下降会通过政策规制和市场信号形成倒逼效应，促使政府和企业加大绿色技术研发投入，以缓解资源环境约束；第二，生态福利绩效的提升能够增强社会对可持续发展的认知，形成绿色消费偏好和技术需求导向，进而引导创新资源向环境友好型技术领域配置；第三，生态福利绩效的长期优化可构建稳定的制度环境，降低绿色技术创新的不确定性，并通过知识溢出效应加速技术扩散与迭代，形成“绩效提升——创新强化”的正向循环。

2 绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展水平测度

2.1 指标体系和数据来源

借鉴相关研究^[4-5]，本文采用超效率SBM模型对2012—2022年我国30个省市（不含西藏）的绿色技术创新水平和生态福利绩效进行测算。在衡量绿色技术创新水平时，本文从投入和产出两个方面构建指标体系。在投入方面，选取R&D经费投入作为绿色创新的财力资源投入指标，R&D人员全时当量作为人力资源投入指标，能源消费总量作为能源投入指标。在产出方面，既考虑了期望产出变量，包括专利申请授权数、规上工业企业新产品销售收入和技术市场成交额；同时也纳入了非期望产出变量，具体为空气中SO₂排放量、废水排放总量和固体废物产生量。

表1 生态福利绩效指标体系

指标类型	指标名称	指标说明
投入指标	资源消耗	能源消耗 人均能源消费量
		土地消耗 人均建成区面积
		水资源消耗 人均用水量
环境污染	废水排放	人均化学需氧量
	废气排放	人均二氧化硫排放量
	固体废物排放	人均工业废弃物产生量
产出指标	福利水平	人类发展指数 (HDI) 人均生产总值 平均受教育年限 平均预期寿命

生态福利绩效投入指标的选取上^[6-7]，涵盖资源消耗与环境污染两个维度；产出指标以联合国开发计划署编制的人类发展指数(HDI)为依据，具体采用人均生产总值、平均受教育年限以及平均预期寿命这三个指标加以表征。具体指标体系如表1所示。

绿色专利数据来源于中国研究数据服务平台(CNRDS)，生态福利绩效测度数据来源于《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国卫生统计年鉴》以及《中国人口和就业统计年鉴》。

2.2 绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展时序特征分析

耦合协调度模型是一种用于量化系统间相互作用强度与协调水平的分析方法。在研究绿色技术创新与生态福利绩效的协同发展关系时，该模型能够有效测度两系统的协同程度，揭示其协调发展水平。耦合协调度的取值范围为[0, 1]，数值越大表明系统间的协同发展水平越高。

图1描绘了2012—2022年全国及东、中、西部地区绿色技术创新与生态福利绩效平均耦合协调度的时序演变轨迹。从全国层面而言，绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协调度整体呈现出在波动中逐步上升的态势，其数值从2012年的0.22增长至2022年的0.34，这一变化趋势表明二者正朝着协同化方向稳步演进。具体来看，2012—2016年期间，耦合协调度的增长相对缓慢；2016—2019年，增长率显著提升；而自2019年之后，增长速度又逐渐趋于平缓。

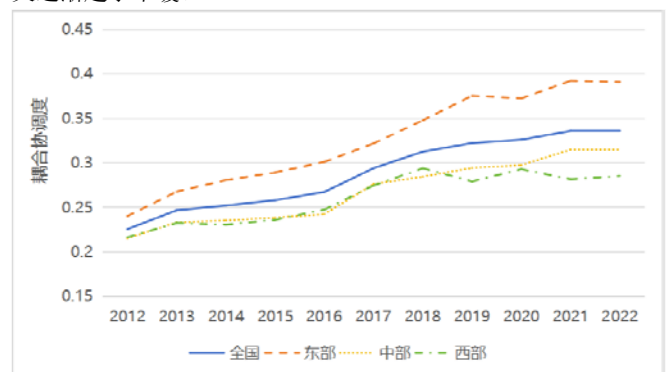


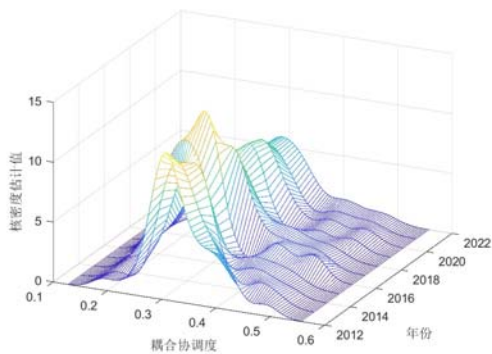
图1 2012—2022年各区域绿色技术创新与生态福利绩效平均耦合协调度变化趋势

从区域差异的角度分析，东部地区的绿色技术创新与生态福利绩效耦合协调度始终处于最高水平，中部地区次之，西部地区则相对较低，且区域间的差距呈现出进一步扩大的趋势。东部和中部地区的耦合协调度均呈现上升态势，而西部地区在2016—2018年经历了高增长阶段后，耦合协调度出现了在波动中下降的态势。究其原因，东部地区凭借其经济、地理、人口以及开放等多方面的优势，产业集聚效应显著，有力地促进了绿色创新要素的整合，进而提升了资源配置效率与生产效率，推动了绿色技术创新行为主体协同效应的不断增强，为绿色技术创新与生态福利绩效的协同发展奠定了坚实的基础；中部地区则凭借其在承接东部技术创新优势以及西部地区生态资源禀赋方面的

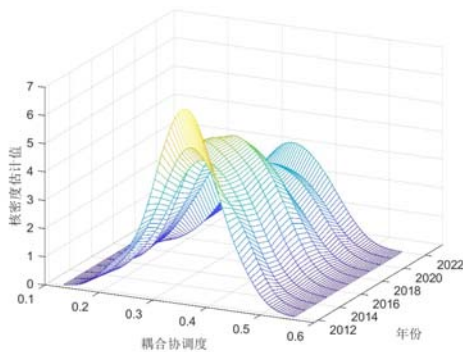
独特地位，耦合协同发展水平不断提升；而西部地区绿色转型起步较晚，尽管生态空间较为充足，但绿色技术创新投入明显不足，难以与生态福利绩效保持适配发展，从而导致耦合协调度增长乏力，陷入波动下行态势。

2.3绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展动态演进核密度分析

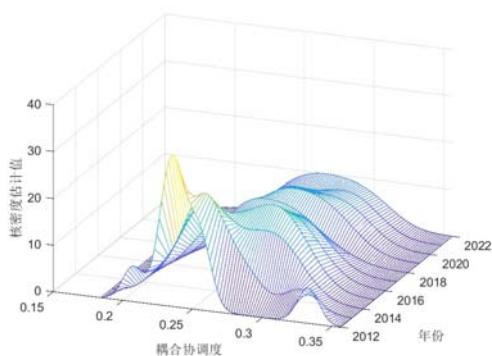
为深入探究绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展的绝对差异程度及其演变特征，运用Kernel密度估计法，并借助Matlab软件，分别计算我国整体以及东部、中部和西部三大区域绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展的绝对差异水平。在此基础上，绘制相应的Kernel密度曲线图，直观呈现我国整体及三大区域绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展水平绝对差异的分布态势以及其随时间的演变规律，结果如图2所示。



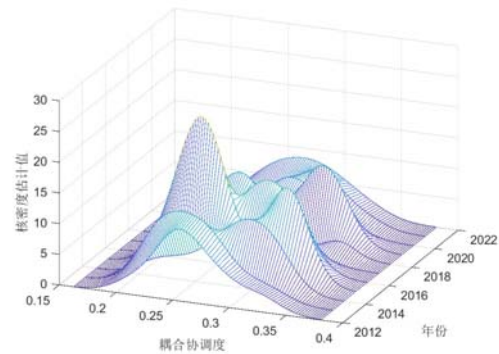
(a) 整体三维核密度图



(b) 东部地区三维核密度图



(c) 中部地区三维核密度图



(d) 西部地区三维核密度图

图2 全国整体和分区域耦合协调度动态演进核密度估计

从核密度曲线的分布位置来看，全国整体以及东部和中部地区的核密度曲线逐年向右移动，表明绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协调度呈现出逐渐上升的趋势，西部地区的核密度曲线在均值附近波动较大，显示出该地区耦合协调度的稳定性相对较差。从分布态势分析，全国整体以及三大区域地区的核密度曲线主峰峰值都呈现出“先上升后降低”的变化趋势，总体上有所减低。整体和中部、西部地区主峰宽度呈现出“先缩小后扩大”的变化趋势，表明绝对差异有所增大，中部和西部地区的差异扩大更为显著。东部地区的主峰宽度虽有小幅度扩大，但绝对差异变化相对较小。从极化现象看，全国整体存在极化现象，部分年份出现三峰，随着时间的推移由三峰极化逐步演变为两极分化，主峰峰值较高，侧峰峰值较低，随着时间推移，侧峰逐渐融合入主峰，极化现象趋于缓和，东部地区未呈现明显极化现象，中部地区在2012-2016年期间表现出两极分化特征，但此后极化现象逐渐消失，而西部地区则呈现出显著的多极分化现象。

3 绿色技术创新与生态福利绩效耦合协同发展影响因素分析

绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协同发展受到多种因素影响，参考已有研究^[8-10]，并结合实际情况从经济发展水平(pgdP)、工业化水平(indu)、对外开放程度(open)、政府行为(gov)、高等教育水平(edu)作为解释变量，分别用人均GDP、第二产业增加值占GDP的比重、人均实际利用外资、地区财政支出占GDP的比重、地区普通高等教育学校数来衡量，分析绿色技术创新与生态福利绩效耦合协调发展的影响因素。

面板Tobit模型适用于因变量取值受限的情况，考虑到被解释变量绿色技术创新与生态福利绩效耦合协调度值介于[0, 1]，相较于OLS回归，采用面板Tobit模型产生的误差较小，因此选用面板Tobit模型进行回归分析。具体模型如下：

$$D_{it} = \text{cons} + \beta_1 \text{pgdp}_{it} + \beta_2 \text{indu}_{it} + \beta_3 \text{open}_{it} + \beta_4 \text{gov}_{it} + \beta_5 \text{edu}_{it} + \varepsilon_{it}$$

式中：D_{it}为耦合协调度，i表示地区，t表示时间，cons是常数项，ε_{it}是随机扰动项。运用Stata计量分析软件，进行随机效应面板Tobit回归，结果如表2所示。

表2 面板Tobit模型回归结果

变量	回归系数
<i>pgdp</i>	0.3210*** (3.84)
<i>indu</i>	-0.0650*** (-3.31)
<i>open</i>	-0.0443** (-2.28)
<i>gov</i>	0.063** (2.31)
<i>edu</i>	0.165*** (2.24)
<i>cons</i>	0.2870*** (6.49)

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%水平下显著。

回归分析结果显示，耦合协调指数与经济发展水平呈显著正相关关系，回归系数为0.3210，并在1%的显著性水平下通过检验。这表明经济实力的提升能够有效促进绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协同发展。工业化水平的回归系数为-0.0650，且在1%的显著性水平下显著，说明工业化进程对绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协调发展具有显著的负向影响。其主要原因在于，传统工业化模式以高资源消耗和高污染排放为特征，导致资源利用效率低下和环境质量恶化，进而对生态福利绩效产生直接的负面影响。同时，绿色产业发展相对滞后，难以形成有效的绿色技术创新与生态福利绩效协同发展的机制。对外开放程度的回归系数为负，并在5%的显著性水平下显著，这表明单纯扩大对外开放及引进外资，并未对绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协调发展产生显著的促进作用。政府行为的回归系数为0.063，在5%的显著性水平下显著，说明政府通过制定和实施一系列环境政策与激励措施，如加大绿色技术研发补贴和环境基础设施建设投入等，能够有效形成绿色技术创新与生态福利绩效协同发展的良好生态，从而推动二者的耦合协调发展。高等教育水平的回归系数为0.091，并在1%的显著性水平下显著，表明高素质人才在知识创造、技术转化与协同合作方面发挥着关键作用，有利于加快推动绿色技术创新与生态福利绩效的耦合协调发展。

4 结论与建议

本文在相关研究基础上，构建绿色技术创新与生态福利绩效协同发展理论机理分析框架，采用我国30个省份2012-2022年数据对二者协同发展水平的时空演化特征及其影响因素进行分析，主要研究结论如下：(1)从时间序列特征来看，绿色技术创新与生态福利绩效的协同发展水平总体呈现上升趋势，两系统的耦合协调度稳步提升；(2)从空间分异特征来看，各省份之间的

协同发展水平空间绝对差异呈不断增大趋势，且个别地区出现了明显的极化现象；(3)绿色技术创新与生态福利绩效的协同发展水平受到多种因素的综合影响。经济发展水平、政府行为以及高等教育水平与协同发展水平呈显著正相关关系，而工业化水平和对外开放程度则对协同发展水平产生负向影响。

未来在推动绿色技术创新与生态福利绩效协同发展过程中，应进一步加强区域协调发展战略，缩小区域间的发展差距，同时优化产业结构，提升绿色技术创新投入，加强政府的引导作用，并注重高等教育与人才培养，以促进绿色技术创新与生态福利绩效的高质量协同发展。

河南省软科学基金项目“‘双碳’目标下河南省绿色技术创新与生态福利协同提升路径研究”、项目编号：242400410254。

[参考文献]

- [1]肖黎明,吉荟茹.绿色技术创新视域下中国生态福利绩效的时空演变及影响因素——基于省域尺度的数据检验[J].科技管理研究,2018,38(17):243-251.
- [2]郭炳南,唐利.异质性环境规制、绿色技术创新与生态福利绩效——基于中介效应模型的实证检验[J].经济论坛,2023,(1):126-134.
- [3]韩瑾.绿色技术创新效率与生态福利绩效协同发展研究——以浙江省为例[J].中共宁波市委党校学报,2023,45(02):85.
- [4]史利江,李前锦,高杉,等.黄河中游城市群绿色技术创新能力的时空演变与影响因素[J].中国沙漠,2024,44(6):122-134.
- [5]黄志鹏.经济绿色发展的技术创新路径探究——来自31个省域数据的实证研究[J].顺德职业技术学院学报,2024,22(03):69-77.
- [6]王紫彦,牛莉芹,程占红.生态福利绩效时空演化及影响因素研究——以山西省为例[J].干旱区地理,2024,47(12):2152-2163.
- [7]赵亚楠.黄河流域生态福利绩效与工业企业绿色创新效率耦合协调性研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(09):158-160.
- [8]扎恩哈尔·杜曼,孙慧.绿色技术创新对城市生态效率空间溢出和门槛效应分析[J].统计与决策,2022,38(14):169-173.
- [9]徐维祥,李露,郑金辉,等.我国绿色创新效率与生态福利绩效的区域差异比较[J].统计与决策,2021,37(22):56-59.
- [10]肖黎明,张仙鹏.强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J].自然资源学报,2019,34(2):312-324.

作者简介:

刘煜(1989—),女,汉族,河南郑州人,博士,讲师,中原工学院,研究方向:生态经济、绿色经济。