

中国包容性绿色效率时空格局与溢出效应分析

赵 林^{1,2}, 刘焱序^{3*}, 曹乃刚¹, 吴殿廷³, 贾建琦¹

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东 日照 276826; 2. 日照市国土空间规划与生态建设重点实验室, 山东 日照 276826;
3. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

摘 要:包容性绿色发展旨在保障经济持续增长的同时促进社会公平和资源环境改善,是建设生态文明、保障和改善民生的必然选择。论文基于包容性绿色效率评价体系,采用考虑非期望产出的 Super-EBM 模型综合测度了中国省域包容性绿色效率,刻画了时空格局特征,最后采用空间杜宾模型识别了空间溢出效应与影响因素。研究表明:① 2000—2017 年包容性绿色综合效率与规模效率呈缓慢波动上升趋势,纯技术效率呈先下降后上升的“V”型演变,综合效率的提升由规模效应驱动向技术驱动转变。② 包容性绿色效率空间格局由低水平均衡向高水平不均衡演进,高值区集中于“胡焕庸线”向东一侧,低值区以西北、西南和东北地区为主,综合效率与纯技术效率形成京津、长三角和珠三角 3 个高水平集聚区,规模效率的高水平区呈“H”型分布特征。③ 包容性绿色效率的同类型地区存在空间集聚特征,且空间集聚性不断增强,热点区呈向东北移动的趋势且逐渐稳定于长三角地区,次热点以京津、珠三角地区为主,西北、西南和东北基本为冷点区。④ 包容性绿色综合效率及其分解效率存在正向空间溢出效应,经济发展水平、产业结构、工业化、政府行政能力、财政分权、环境规制、科技创新及市场化对包容性绿色效率具有显著影响,其中政府行政能力、财政分权、环境规制、科技创新和市场化具有一定溢出效应。

关键词:包容性绿色效率;时空格局;溢出效应;Super-EBM 模型;中国

改革开放 40 多年来,中国经济保持高速增长,经济总量跃居世界第二,城市化、工业化水平迅速提高,人民生活水平不断改善,但经济发展的不协调、不平衡和不可持续问题日渐突出,环境恶化、资源枯竭、贫富差距扩大等问题日益显著,可持续发展面临严峻考验^[1-2]。为此,十九大报告指出要保障和改善民生水平,加快建设生态文明,推进绿色发展^[3]。随着中国经济发展由高速增长阶段转向高质量发展阶段,如何在保障经济持续增长的同时促进社会公平和资源环境改善,成为亟需解决的现实问题。包容性绿色发展成为经济、社会、资源环境协调发展的必然选择。因此,开展包容性绿色效率时空格局与影响因素研究具有重要现实意义。

包容性增长最早是 2007 年亚洲开发银行在报告《包容性增长:走向繁荣的亚洲》中首次提出^[4],其

概念内涵包括机会平等^[5]、社会包容、赋予权能和安全^[6]、减少贫困和增加就业等方面^[7]。绿色增长的概念最早是在 2005 年第五届亚太地区环境与发展会议上提出的,被定义为推动低碳、惠及社会所有成员的发展而采取的环境可持续的经济过程^[8]。绿色增长更多地强调在经济持续增长的同时要高效利用自然资源,减少环境污染^[9-10]。包容性绿色增长是包容性增长与绿色增长理念的有机结合,最早于 2012 年“里约+20”峰会上提出,目的是将世界利益与绿色增长和包容性增长结合起来^[11]。根据侧重点不同,可将包容性绿色增长概念分为 2 类。一类是发展经济学的观点,将包容性绿色增长视为一种可持续发展方式。如世界银行指出包容性绿色增长是可持续发展经济学^[12];联合国环境计划署 (UNEP) 认为包容性绿色增长包括社会、经济和环境

收稿日期:2020-05-28;修订日期:2020-07-19。

基金项目:国家自然科学基金项目(41701117)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41701117.]

第一作者简介:赵林(1988—),男,山东东平人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为经济地理。

E-mail: zhaolin19880112@126.com

*通信作者简介:刘焱序(1988—),男,陕西西安人,博士,讲师,研究方向为区域可持续发展。E-mail: yanxuli@bnu.edu.cn

引用格式:赵林,刘焱序,曹乃刚,等. 中国包容性绿色效率时空格局与溢出效应分析[J]. 地理科学进展, 2021, 40(3): 382-396. [Zhao Lin, Liu Yanxu, Cao Naigang, et al. Spatiotemporal pattern and spillover effects of inclusive green efficiency in China. Progress in Geography, 2021, 40(3): 382-396.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.03.003

3大支柱,并基于包容、公平和可持续发展的原则来推动其实现^[13];国际货币基金组织(IMF)则认为包容性绿色增长是旨在通过协调发展中国家的利益来实现可持续发展的模式^[14]。另一类是福利经济学观点,认为提高福利是经济增长的主要目的。如Albagoury^[11]认为包容性绿色增长是一种同时提高当代人和后代人福利的经济增长方式;Sligerland等^[15]认为包容性绿色增长必须强调增长是包容性和绿色的,增长考虑社会平等和环境可持续性,提高社会福利是增长的目的;Bouma等^[16]认为包容性绿色增长要同时考虑当前和未来几代人的福利增长;Berkhout等^[17]认为包容性绿色增长包括改善穷人(包容性)和后代人(绿色)的福利2个方面。国内学者对于包容性绿色增长的内涵也进行了讨论,代表性的是周小亮等^[18]的定义,认为包容性绿色增长是一种追求经济增长、社会公平、成果共享、资源节约和生态环境良好的可持续发展方式。需要说明的是,目前包容性绿色增长的定义尚未形成统一认识。

客观度量包容性绿色增长是拟定政策框架的前提与依据。目前,针对包容性绿色增长测度的研究较少,而对于包容性、绿色化水平测度的工作相对多。包容性测度方面,学者多采用社会机会函数^[19-20]、基尼系数^[21]、Bonferroni指数^[22-23]、加权综合指数^[24-26]以及投入产出分析^[27-28]等方法进行测度;绿色化水平也多采用加权综合指数^[29-30]、投入产出分析^[31-32]等方法进行量化。近年来,部分学者对包容性绿色水平测度进行了探索,如Albagoury^[11]运用主观赋权法分别测算了埃塞俄比亚的绿色增长和包容性增长水平来共同反映包容性绿色水平;Narloch^[33]从自然资源、环境政策等5个方面测度了国家层面的包容性绿色水平;吴武林等^[34]采用熵权法评价了中国包容性绿色增长绩效,发现包容性绿色增长绩效呈显著升高态势;亚洲开发银行^[35]提出了包含经济增长、社会公平和环境可持续3个方面的评价体系,并对亚洲分区域进行了测度。上述研究多是通过构建评价指标体系,加权求得包容性绿色指数,对于生产要素的配置水平刻画不足。少数学者从投入产出角度对包容性绿色效率进行了度量,如赵林等^[36]、Sun等^[37]先后采用Super-SBM模型(Slacks-Based Measure)和DDF-SBM(Directional Distance Function and Slacks-Based Measure)模型对中国包容性绿色效率进行了测度。投入产出分析可以有效识别经济要素资源配置优劣状况,厘清包

容性绿色增长来源,为包容性绿色增长研究提供了新视角。

随着中国经济发展由高速增长阶段转向高质量发展阶段,推动质量变革、效率变革、动力变革成为实现经济发展方式转型的关键,基于投入产出分析的包容性绿色效率为评估发展方式转型提供了新视角。然而,现有研究仍存在部分不足:一方面,包容性绿色效率评价指标体系有待丰富和完善,特别是在非期望产出方面对表征包容性因素的指标量化不足,同时,已有研究多集中于综合效率的测评,对综合效率及其分解效率的研究仍有待加强;另一方面,现有包容性绿色效率影响因素的分析多忽视了地理要素的空间关联,对其空间溢出效应及其内在影响机制的分析尚待强化。基于此,本文通过构建包容性绿色效率投入产出体系,采用考虑非期望产出的Super-EBM(Epsilon-Based Measure)模型对2000—2017年中国省域包容性绿色综合效率及其分解效率进行测度,在此基础上分析其时空格局特征,最后采用空间杜宾模型定量识别空间溢出效应与影响因素,为实现包容性绿色发展提供参考依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 概念界定与评价指标体系

1.1.1 包容性绿色效率内涵

包容性增长概念最初为“机会平等的增长”,既要保持经济的高速与持续增长,又要通过减少与消除机会不平等来促进社会的公平与包容性。包容性增长的核心在于关注经济系统与社会系统的关系,随着研究深入已逐渐形成囊括经济增长、收入分配、机会平等、成果共享、减少贫困、福利普惠、性别平等、就业扩大等诸多主题的概念内涵^[4-7]。绿色增长强调促进经济增长的同时,确保自然资源继续提供人类福祉所依赖的资源,其核心在于关注经济与资源环境系统的关系^[9-10]。人是社会经济活动的主体,同时也是资源利用和环境保护的主体,包容性绿色增长/发展的最终目的在于人的全面发展。在参考已有相关概念基础上,包容性绿色发展被定义为包容性发展与绿色发展的有机结合,强调在实现经济增长过程中,更加注重收入分配的合理化、发展机会的平等化、发展成果的共享化、资源要素利用的高效化和生态环境的友好化,进而实现社会经济发展与资源环境保护协同有序。根据包

容性绿色发展内涵,本文认为包容性绿色效率是综合考量包容性因素与绿色因素后的投入产出比例关系,即社会经济活动的投入要素与带来的经济、社会和环境综合产出的比率。

1.1.2 评价指标体系

现有绿色发展效率和包容性效率在评价指标体系构建时,投入指标多从古典经济学角度出发,选取土地、资本、劳动力等要素,产出指标方面两者则存在显著差异。其中,绿色发展效率多将地区生产总值作为期望产出指标,将环境污染物作为非期望产出^[31-32];包容性效率的期望产出指标与绿色发展效率基本相同,但非期望产出则从社会非期望产出角度出发,选取城乡收入比、基尼系数或贫困人口数等指标来表征社会“不包容性”因素^[27-28]。如前文指出的包容性绿色发展是包容性发展与绿色发展的有机结合,本文进一步认为包容性绿色效率是绿色发展效率与包容性效率基础上的融合与改进。因此,包容性绿色效率的非期望产出指标,不但包含了绿色发展效率评价指标中的环境污染物指标,而且还涵盖了包容性效率评价指标中的“不包容性”因素,即社会方面的非期望产出指标。基于上述分析,本文依据指标选取的系统性、科学性和数据可获取性等原则,将经济、社会和资源环境要素统一纳入到包容性绿色效率测算框架中,构建了评价指标体系(表1)。其中,投入指标中增加了部分资源和技术指标,产出指标包括社会和环境非期望产出2个部分,突出了指标中的“包容性”和“绿色化”元素。

投入指标:从人力、资本、资源和技术要素4个方面遴选。人力要素采用历年各省区年末从业人

员数(万人);资本投入采用固定资产投资存量(亿元),资本存量采用永续盘存法计算,将固定资产投资总额平减为以2000年为基期的不变价;资源要素选取能源消费总量(万t标准煤)和用水总量(亿m³);技术要素选取了研究与试验发展人员全时当量(人·a),同时考虑到产出要素中涉及农村居民收入与消费变量,为此在技术要素投入方面增加了农用机械总动力(万kW)变量。

产出指标:包括经济、社会和环境产出3个方面。经济产出采用以2000年为基期的各省区国内生产总值(亿元)和地方财政收入(亿元)表示;社会产出方面,参考已有研究^[27-28],分别选取城镇居民人均可支配收入与农村居民人均可支配收入之比(%),城镇居民人均消费支出与农村居民人均消费支出之比(%)以及失业率(%)表征“收入分配”“成果共享”和“机会平等”,上述值越大,说明社会包容性越差,反之则包容性较好,并将其作为非期望产出纳入评价体系;环境产出方面,选取废水排放总量(万t)、二氧化硫排放量(万t)、烟(粉)尘排放量(万t)和一般工业固体废物产生量(万t)表征环境方面的非期望产出。考虑到DEA方法的特殊性,采用熵值法将含多个二级指标的数据进行了处理。

1.2 研究方法

1.2.1 考虑非期望产出的Super-EBM模型

EBM(Epsilon-Based Measure)模型由Tone等^[38]提出,该模型既考虑了投入前沿值与实际值的径向比例,又可以反映各投入之间差异化的非径向松弛变量,有效提高了结果的准确性和科学性。为解决投入产出过程中的非期望要素以及多个决策单元完全有效时的排序问题,本文将非期望产出因素纳入EBM模型中,并融合Anderen等^[39]提出的超效率DEA模型,定义考虑非期望产出的、非导向、规模报酬不变的Super-EBM模型为:

$$r^* = \min \frac{\theta - \varepsilon_x \sum_{i=1}^m \frac{w_i^- s_i^-}{x_{i0}}}{\varphi + \varepsilon_y \sum_{r=1}^s \frac{w_r^+ s_r^+}{y_{r0}} + \varepsilon_z \sum_{p=1}^q \frac{w_p^{z-} s_p^{z-}}{z_{p0}}} \quad (1)$$
$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0} & (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{r0} & (r=1, 2, \dots, s) \\ \sum_{j=1}^n z_{pj} \lambda_j + s_p^{z-} = \varphi z_{p0} & (p=1, 2, \dots, q) \\ \lambda_j \geq 0, \quad s_i^-, s_r^+, s_p^{z-} \geq 0 \end{cases}$$

表1 包容性绿色效率评价体系

Tab.1 Evaluation system of inclusive green efficiency

指标类型	一级指标	二级指标
投入指标	人力投入	从业人数(万人)
	资本投入	固定资产投资存量(亿元)
	资源投入	能源消费总量(万t标准煤)、用水总量(亿m ³)
	技术投入	研究与试验发展人员全时当量(人·a), 农用机械总动力(万kW)
产出指标	经济产出	地区生产总值(亿元)、地方财政收入(亿元)
	社会产出	城镇居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入(%), 城镇居民人均消费支出/农村居民人均消费支出(%), 失业率(%)
	环境产出	废水排放总量(万t)、二氧化硫排放量(万t), 烟(粉)尘排放量(万t)、一般工业固体废物产生量(万t)

式中: r^* 表示规模报酬不变下的综合效率值; n 为决策单元(DMU)数量; x 、 y 和 z 分别表示投入、期望产出和非期望产出要素; m 、 s 和 q 分别表示投入、期望产出和非期望产出数量; λ 表示参考单元的相对重要程度; θ 和 ϕ 表示径向部分的规划参数; s_r^+ 和 s_p^- 分别表示第 r 种期望产出和第 p 种非期望产出的松弛量; w_i^- 、 w_r^+ 和 w_p^- 分别表示第 i 种投入、第 r 种期望产出和第 p 种非期望产出指标的权重; ε 是 Super-EBM 模型中代表非径向部分重要程度的核心参数, 其取值范围是 $[0,1]$ 。式(1)中增加约束条件 $\sum \lambda = 1$ 后, 该模型就变为规模报酬可变的 Super-EBM 模型, 可计算得到决策单元的纯技术效率, 进而可计算得到规模效率。

1.2.2 空间自相关分析

为了检验包容性绿色效率的空间相关性与分布状态, 本文采用全局空间自相关方法(Moran's I)对全局空间相关性进行检验, 空间权重矩阵选取邻接矩阵。同时, 为了分析局部关联特征, 采用 Getis-Ord G_i^* 指数以识别具有统计显著性的高值(热点)和低值(冷点)的空间聚类特征, 限于篇幅公式见文献[40]。

1.2.3 空间计量模型

常用的空间计量模型有空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM)。空间杜宾模型不仅考虑了因变量外生交互作用带来的空间相关性, 还考虑了自变量内生交互效应, 可以认为空间杜宾模型是对空间滞后模型和空间误差模型的改进^[41]。本文运用空间杜宾模型对包容性绿色效率的溢出效应与影响因素进行分析。具体公式为:

$$y_{it} = \delta + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} y_{jt} + \sum_{k=1}^m x_{itk} \theta_k + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{jtk} \phi_k + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: y_{it} 是因变量; x 为自变量; n 为省区数, m 为自变量个数, i 代表研究省区, j 为省区 i 的邻接省区, t 为时期数; δ 为常数项; ρ 为空间滞后参数; ϕ_k 是第 k 个自变量的空间滞后参数; w_{ij} 为空间权重; θ_k 是第 k 个自变量的参数; ε_{it} 是随机误差项。为了反映自变量的全部影响效应, 本文采用 LeSage 等^[42]提出的从偏微分角度衡量直接和间接效应方法进行分析。

影响因素变量方面, 参考已有研究^[31-32,36], 选取人均 GDP、第三产业增加值占 GDP 比重、公共财政预算支出占 GDP 比重、人均工业增加值、外商投资企业投资总额、地方财政收入与财政支出比、工业污染治理完成投资额、私营与个体从业人员占比及

专利授权数 9 项指标, 分别表征经济发展水平(pgdp)、产业结构(inds)、政府行政能力(gov)、工业化水平(indu)、对外开放(open)、财政分权度(fd)、环境规制(er)、市场化(mar)和科技创新(ti)。同时, 为了验证环境库兹涅茨曲线是否存在, 将人均 GDP 对数的平方(pgdp²)也纳入空间计量模型。此外, 为了减少异方差, 对人均 GDP、人均工业增加值、外商投资企业投资总额、工业污染治理完成投资额和专利授权数 5 项指标数据取自然对数。

1.3 数据来源

本文以中国 30 个省市自治区(不含西藏、港澳台)为研究单元, 研究时段为 2000—2017 年。从业人员数据来自 2001—2018 年《中国人口和就业统计年鉴》和《中国劳动统计年鉴》; 能源消费总量来自于 2001—2018 年《中国能源统计年鉴》; 研究与试验发展人员全时当量、专利授权数等数据来自于 2001—2018 年《中国科技统计年鉴》; 环境污染及治理数据来自 2001—2018 年《中国环境统计年鉴》; 农用机械总动力数据来自 2001—2018 年《中国农村统计年鉴》; 其他数据均来自《中国统计年鉴》及 30 个省市自治区统计年鉴。

2 结果分析

基于投入产出数据, 根据式(1)及其分解公式, 采用 MaxDEA7Ultra 软件计算得到 2000—2017 年中国包容性绿色综合效率、纯技术效率和规模效率, 限于篇幅仅列出 2000 年和 2017 年测度结果(表 2)。为了保证跨期效率值分类标准一致, 本文采用自然断裂点法将综合效率、纯技术效率和规模效率的效率值分别划分为低、较低、中等、较高和高水平 5 个等级。

2.1 时间序列特征

根据测度结果绘制了中国包容性绿色综合效率、纯技术效率和规模效率的历年均值趋势图(图 1), 由表 2 及图 1 可知: 2000—2017 年中国包容性绿色综合效率与规模效率呈现缓慢波动上升趋势, 纯技术效率呈现先下降后上升的“V”型演变轨迹, 研究期内各决策单元基本处于规模报酬递增阶段, 仅湖南省在个别年份为规模报酬递减, 表明总体上增加资源要素的投入可以显著提高包容性绿色效率。具体而言: 2000 年综合效率、纯技术效率与规模效率均值分别为 0.235、0.565、0.463, 2017 年则为

表2 中国包容性绿色效率测度结果

Tab.2 Measurement results of inclusive green efficiency in China

省区	综合效率/纯技术效率/规模效率		省区	综合效率/纯技术效率/规模效率	
	2000年	2017年		2000年	2017年
北京	0.247/1.021/0.242	1.048/1.065/0.984	湖北	0.229/0.430/0.532	0.514/0.557/0.922
天津	0.246/0.690/0.357	0.663/0.870/0.762	湖南	0.244/0.420/0.581	0.409/0.439/0.933
河北	0.197/0.435/0.454	0.427/0.462/0.925	广东	0.303/0.468/0.647	1.021/1.022/0.999
山西	0.230/0.493/0.466	0.501/0.618/0.810	广西	0.264/0.408/0.648	0.336/0.525/0.639
内蒙古	0.246/0.552/0.445	0.352/0.512/0.687	海南	0.232/1.025/0.227	0.550/1.010/0.544
辽宁	0.281/0.477/0.589	0.471/0.593/0.795	重庆	0.313/0.500/0.626	0.510/0.586/0.870
吉林	0.221/0.449/0.493	0.309/0.556/0.557	四川	0.168/0.362/0.464	0.500/0.524/0.955
黑龙江	0.276/0.448/0.616	0.241/0.457/0.527	贵州	0.215/0.425/0.506	0.413/0.504/0.820
上海	0.284/0.669/0.424	1.024/1.025/0.999	云南	0.252/0.444/0.568	0.336/0.460/0.732
江苏	0.248/0.498/0.497	1.006/1.011/0.995	陕西	0.199/0.387/0.514	0.394/0.504/0.782
浙江	0.218/0.504/0.431	0.785/1.004/0.782	甘肃	0.184/0.389/0.472	0.272/0.469/0.581
安徽	0.263/0.463/0.568	0.387/0.445/0.870	青海	0.140/1.055/0.133	0.329/1.007/0.326
福建	0.279/1.011/0.276	0.512/0.623/0.821	宁夏	0.143/1.004/0.142	0.348/0.764/0.456
江西	0.269/0.570/0.471	0.442/0.609/0.725	新疆	0.176/0.458/0.384	0.353/0.531/0.664
山东	0.247/0.427/0.578	0.655/0.680/0.963	均值	0.235/0.565/0.463	0.519/0.664/0.779
河南	0.248/0.469/0.529	0.464/0.491/0.944			

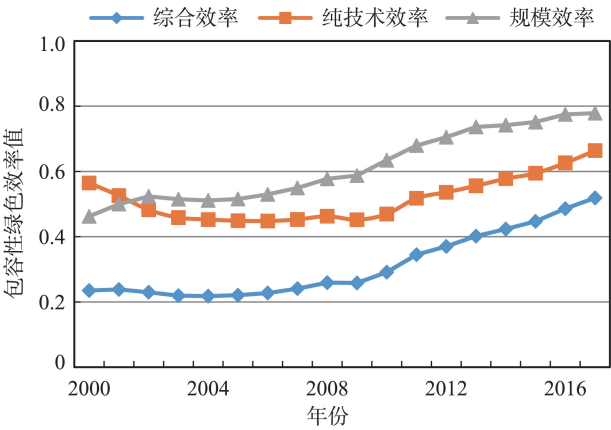


图1 中国包容性绿色综合效率、纯技术效率和规模效率
Fig.1 China's comprehensive inclusive green efficiency, pure technical efficiency, and scale efficiency

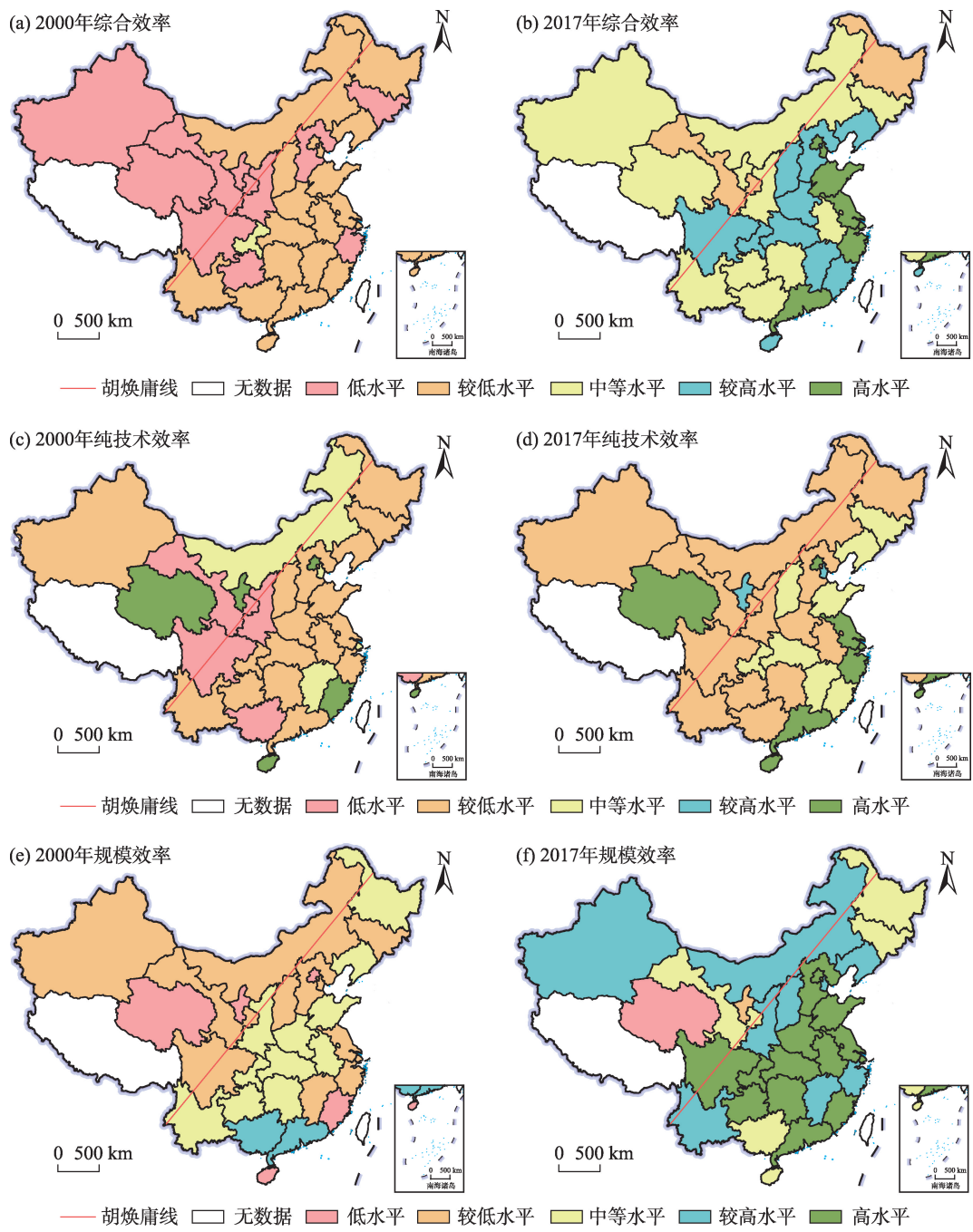
0.519、0.664、0.779, 年均增长率分别为 4.77%、0.95%、3.12%。进一步分析可知:研究期初,纯技术效率>规模效率>综合效率,表明反映资源要素配置和利用水平的纯技术效率显著高于要素规模集聚效率,规模效率拖累了综合效率的提升,要素投入的数量与质量需进一步优化;研究期末,规模效率>纯技术效率>综合效率,表明社会经济规模与集聚效率高于资源要素配置效率,同时也反映了当前规模已超出了技术水平约束下的最优规模,长此以往会造成投入要素的浪费,未来应在技术与管理

上加大力度,提高资源配置效率。进一步分析三者的相关性可知:2000年综合效率与规模效率的相关系数显著高于综合效率与纯技术效率,说明规模扩大与要素集聚是综合效率变动的重要因素,即规模的扩大引致了效率的变化;2017年综合效率与纯技术效率的相关系数高于与规模效率,说明技术创新带来的资源要素配置水平改善是综合效率提升的主要动因,即研究期内包容性绿色综合效率的提高由规模驱动向技术驱动转变。

2.2 空间格局特征

根据自然断裂点分类结果,选取2000年和2017年数据绘制了空间格局图(图2)。总体上,2000—2017年包容性绿色效率由低水平均衡向高水平不均衡格局演进,随时间高水平类型数量增多,低水平类型数量锐减,空间分布上以“胡焕庸线”为界,高水平类型集中于向东一侧,低水平类型则以西北、西南和东北地区为主。至2017年,综合效率与纯技术效率在全国层面上形成京津、长三角和珠三角3个高水平集聚区,规模效率高水平类型呈“H”型轴带状分布。

由图2可知:①综合效率方面,2000年全国多数省区均为低水平和较低水平类型,仅重庆属于中等水平类型,整体上处于低水平均衡状态;2017年空间格局发生显著变化,低水平类型急剧减少,仅



注：本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1825号的标准地图制作，底图无修改，下同。

图2 中国包容性绿色效率空间格局

Fig.2 Spatial pattern of inclusive green efficiency in China

甘肃和黑龙江为较低水平类型,高水平类型分布在北京、天津、山东、江苏、上海、浙江和广东,全国层面上形成京津、长三角和珠三角三极格局,较高水平类型主要分布在中部省区和长江流域,形成“T”型格局,中等水平类型主要分布在西北和西南地区。② 纯技术效率方面,2000年高水平类型分布在青海、宁夏、北京、福建和海南,低水平类型连片

分布在四川、甘肃和陕西,东北、华北、华东和长江流域大部分地区基本上为较低水平类型;2017年东部沿海地区形成京津、长三角和珠三角3个高水平类型集聚区,西北部的宁夏、青海也属于较高与高水平类型,其余地区均为中等水平及以下类型分布区,整体上呈现出非均衡的格局特征。③ 规模效率方面,2000年低水平类型分布于北京、福建、海南、

青海和宁夏,仅广东和广西属于较高水平类型,其余省区均为中等或较低水平类型,整体上处于低水平均衡阶段;2017年高水平 and 较高水平类型数量大幅增加,其中高水平类型主要分布于“胡焕庸线”以东的京津冀、长江中下游和东南沿海地区,并呈现出“H”型轴带状分布,中等及以下水平类型数量急剧减少,仅分布于西北、东北和西南部分省区。

2.3 空间关联特征

采用全局空间自相关公式,可计算得到2000—2017年中国包容性绿色综合效率、纯技术效率与规模效率的全局Moran's I 值(图3)。总体上,2000—2017年综合效率、纯技术效率与规模效率的全局Moran's I 值为正值,表明包容性绿色综合效率及其分解效率存在空间依赖性,包容性绿色效率的同类型地区存在空间集聚特征。研究期内,综合效率及其分解效率的空间自相关性相比,综合效率>纯技术效率>规模效率。时间序列上,综合效率、纯技术效率及规模效率的全局Moran's I 值均呈缓慢波动上升趋势,全局Moran's I 值分别由0.224、0.034、0.188上升至0.380、0.266、0.245,说明包容性绿色综合效率及其分解效率的空间集聚性不断增强。

为识别空间集聚格局,结合Getis-Ord G_i^* 指数与自然断裂点法,绘制了冷热点空间格局图(图4)。由图4可知:①综合效率方面,2000年热点区分布于广东、福建、浙江、安徽、湖北、江西、湖南7省,冷点区分布于青海、宁夏、甘肃,次热点区和次冷点位于热点区和冷点区周围;2017年热点区位置向东北方向偏移,分布在上海、江苏、安徽、浙江、福建和山东5省1市,冷点区范围扩大,分布于东北、西北和西南部分省区,次热点区继续位于热点区两翼,以环渤海和珠三角地区最为集中,次冷点区则主要分

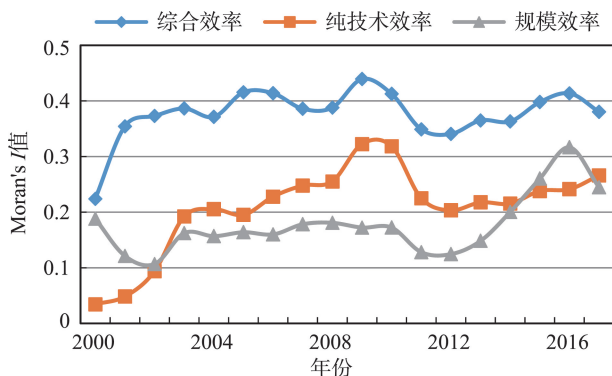


图3 中国包容性绿色效率全局Moran's I 值

Fig.3 Global Moran's I value of inclusive green efficiency in China

布于长江流域上游地区。②纯技术效率方面,2000年热点区散布于福建、海南和甘肃,冷点区连片分布于河南、安徽、湖北、湖南、重庆、四川和贵州,次热点区分布于华北、西北和珠三角地区,次冷点区则以东北、华东和西部较为集中;2017年热点区略有增多,分布于上海、江苏、浙江、福建和海南,冷点区仅分布于湖北、重庆和贵州,次热点区集聚于环渤海、西北和珠三角地区,次冷点区则环绕于冷点区周围,部分散布于东北地区。③规模效率方面,2000年热点区位于湖南、湖北和贵州,冷点区连片分布于西北地区,福建和海南也属冷点区,次热点区在华东、西南及东北地区集聚,次冷点以环渤海和珠三角较为集中;2017年热点区向东北方向偏移且范围扩大,分布于上海、江苏、安徽、山东、河南、湖北和江西,冷点区分布于西北和东北地区,次热点区以华北、西南地区较为集中,次冷点区数量较少,分布于珠三角和西北部分省区。总结可知,2000—2017年综合效率、纯技术效率与规模效率的热点区均呈向东北移动的趋势,热点区逐渐稳定于长三角地区,次热点区则位于热点区两翼,即以京津、珠三角形成次高值区,与前文空间格局分析结论基本吻合,西北、西南和东北基本为冷点区。

3 空间溢出效应分析

3.1 空间溢出效应验证

前文分析表明中国包容性绿色综合效率及其分解效率存在空间自相关性,故采用空间计量模型分析。Wald检验和LR检验结果表明空间杜宾模型不能退化为空间误差模型或空间滞后模型,所以本文采用空间杜宾模型进行分析,且空间杜宾模型的拟合优度显著高于其他2个模型。采用Hausman检验显示综合效率和纯技术效率拒绝随机效应,规模效率拒绝固定效应。因此,综合效率和纯技术效率选择固定效应的空间杜宾模型,规模效率选择随机效应的空间杜宾模型进行分析,回归结果见表3。

由表3可知:综合效率、纯技术效率和规模效率的空间自回归系数分别为0.361、0.180和0.219,且均在1%显著性水平下显著,说明包容性绿色综合效率及其分解效率存在正向空间溢出效应,且综合效率的溢出效应最强。分析影响因素回归结果可知:综合效率方面,产业结构、工业化水平、财政分权 and 市场化对本省区综合效率产生正向影响;纯技术效率方面,市场化对本省区纯技术效率产生正向

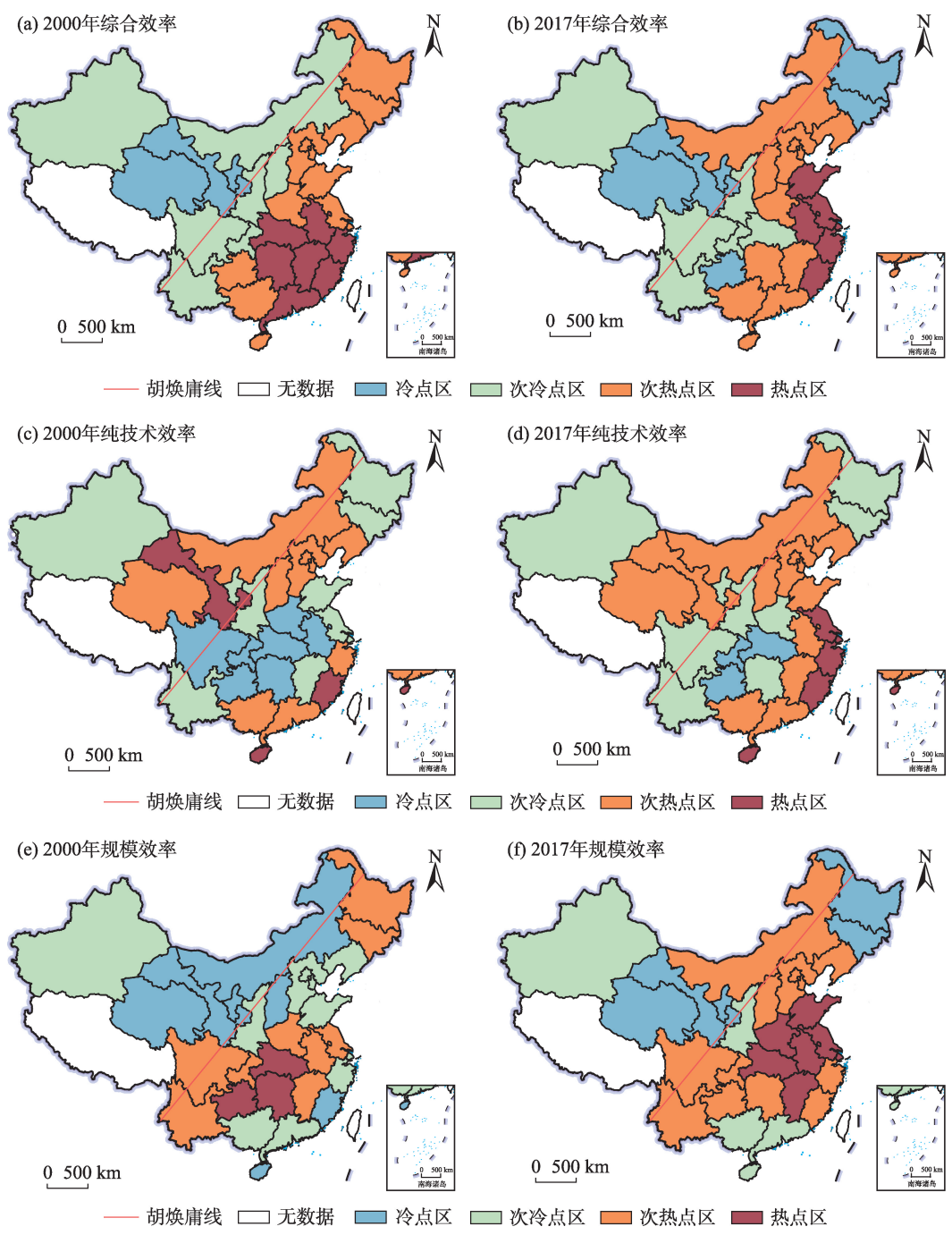


图4 中国包容性绿色效率的冷热点空间格局

Fig.4 Cold-hot spot spatial pattern of inclusive green efficiency in China

影响,政府行政能力和财政分权则对相邻省区效率改进有促进作用;规模效率方面,产业结构、工业化水平、财政分权、科技创新对本省区规模效率有促进作用,财政分权和环境规制对相邻省区有抑制作用,科技创新对相邻省区规模效率提升有正向影响。经济发展水平回归系数为负,其平方项回归系数为正,说明经济发展水平与综合效率及其分解效率并不是简单线性关系,而具有“U型”关系,即效

率值随经济发展先降后升。

3.2 溢出效应分解

由于空间杜宾模型回归系数不能反映自变量对因变量的全部影响,利用Matlab软件可计算得到空间杜宾模型中各自变量影响因变量的总效应、直接效应和间接效应(表4)。

由表4可知:综合效率方面,各影响因素间接效应的回归系数均不显著,说明综合效率的各影响因

表3 空间杜宾模型回归结果
Tab.3 Regression results of spatial Durbin model

变量	综合效率		纯技术效率		规模效率	
	参数估计	P 值	参数估计	P 值	参数估计	P 值
pgdp	-1.479***	<0.001	-0.579	0.137	-1.258***	<0.001
pgdp ²	0.067***	<0.001	0.031*	0.060	0.054***	<0.001
inds	0.007***	<0.001	0.001	0.601	0.005**	0.036
gov	0.002	0.124	0.001	0.569	-0.002	0.231
indu	0.158***	0.003	-0.023	0.756	0.205***	0.001
open	0.015	0.248	-0.016	0.194	0.013	0.321
fd	0.180**	0.022	0.078	0.400	0.321***	0.024
er	-0.002	0.672	-0.010	0.178	0.012	0.199
mar	0.004***	<0.001	0.003**	0.011	0.001	0.854
ti	0.003	0.806	0.009	0.625	0.031*	0.056
w*pgdp	0.452	0.181	0.200	0.614	0.113	0.850
w*pgdp ²	-0.025	0.103	-0.007	0.692	-0.007	0.796
w*inds	-0.003	0.265	-0.003	0.280	-0.003	0.321
w*gov	0.001	0.614	0.004*	0.094	0.003	0.254
w*indu	-0.007	0.943	-0.190	0.230	-0.009	0.938
w*open	-0.006	0.851	0.001	0.984	0.001	0.977
w*fd	-0.053	0.573	0.310*	0.062	-0.448***	0.004
w*er	0.004	0.619	0.018	0.103	-0.023***	0.005
w*mar	-0.001	0.581	0.002	0.196	-0.001	0.668
w*ti	0.029	0.169	0.009	0.685	0.063**	0.050
λ/ρ	0.361***	<0.001	0.180***	0.004	0.219**	0.001
R ²	0.894		0.809		0.820	
Log-likelihood	1011.452		788.700		724.402	

注：*、**、***分别代表通过0.1、0.05和0.01显著性水平检验，下同；“w*pgdp”表示变量pgdp的空间交互项，其他类似。

表4 空间杜宾模型的总效应、直接效应和间接效应
Tab.4 Total effect, direct effect, and indirect effect of spatial Durbin model

变量	综合效率			纯技术效率			规模效率		
	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应
pgdp	-1.623***	-1.496***	-0.127	-0.470	-0.586	0.117	-1.461**	-1.276***	-0.185
pgdp ²	0.066***	0.067***	-0.001	0.030**	0.031**	-0.001	0.059**	0.054***	0.005
inds	0.007***	0.007***	-0.000	-0.002	0.001	-0.003	0.002	0.005**	-0.003
gov	0.004*	0.002	0.002	0.006***	0.001	0.005***	0.001	-0.002	0.003
indu	0.241**	0.165***	0.076	-0.181	-0.025	-0.156	0.248**	0.209***	0.039
open	0.015	0.014	0.001	-0.019	-0.016	-0.002	0.018	0.013	0.005
fd	0.190	0.182**	0.008	0.467**	0.089	0.379**	-0.162	0.307**	-0.469**
er	0.003	-0.002	0.005	0.010	-0.010	0.020*	-0.014	0.010	-0.024**
mar	0.004*	0.003***	0.001	0.006***	0.003***	0.003*	-0.001	0.000	-0.001
ti	0.053*	0.006	0.047	0.021	0.009	0.012	0.122***	0.034**	0.088**

素在研究期内未产生显著溢出效应。纯技术效率间接效应的回归系数中,政府行政能力、财政分权、环境规制和市场化4个变量均通过显著性检验,说明存在显著溢出效应;规模效率间接效应的回归系

数中,财政分权、环境规制和科技创新变量通过了显著性检验,说明此3项因素对规模效率存在溢出效应。即上述变量对相邻省区包容性绿色效率产生正向或负向影响。10项变量中,对外开放变量对

综合效率、纯技术效率和规模效率均未产生显著影响,即对外开放水平在研究期内没有对包容性绿色效率产生显著作用,该结论没有支持“污染天堂”与“污染光环”假说^[43-44],与多数绿色发展效率研究结论不同^[31],说明加入社会产出后的包容性绿色效率影响机理与传统绿色发展效率并不一致,可能更为复杂。

(1) 经济发展水平对综合效率、规模效率的总效应和直接效应回归系数显著为负,对纯技术效率的系数则未通过显著性检验;经济发展水平平方项对综合效率及其分解效率的系数则显著为正。表明经济发展与包容性绿色综合效率及其分解效率并非简单线性关系,而呈“U型”关系。类比周亮等^[31]将绿色发展效率视为一种环境规制手段的观点,可将包容性绿色效率视为政府为实现包容性绿色发展的政策工具,包容性绿色效率的提升有利于减少不包容性因素和降低环境污染,因此解释环境污染与经济发展之间的“环境库兹涅茨”曲线^[45]也可以用于分析包容性绿色效率与经济发展的关系,即随着经济发展,包容性绿色效率先下降后上升,换言之包容性绿色增长与经济增长之间存在“环境库兹涅茨”效应。

(2) 产业结构对综合效率、规模效率的直接效应回归系数显著为正,而对纯技术效率总效应及其分解效应的回归系数均不显著,说明产业结构水平对于包容性绿色综合效率和规模效率具有促进作用。产业结构作为资源转换器,是联系经济活动与资源环境之间的重要纽带,产业结构的合理化和高级化对于经济发展方式转型有重要影响。现有以第二产业占GDP比重表征产业结构水平的研究多支持正向影响绿色发展效率的观点^[31],部分研究也表明第二产业比重的增加对于包容性增长有促进作用^[22]。本文以第三产业占GDP比重表征产业结构,可知第三产业比重的提升对于包容性绿色效率有促进作用。第三产业规模的扩大对于降低环境污染、促进就业和增加居民收入有重要影响,而对技术进步的作用却有限,故产业结构升级对包容性绿色综合和规模效率产生显著影响,而未对纯技术效率产生显著作用。工业化对综合效率、规模效率的直接效应、总效应的回归系数显著为正,而对纯技术效率则未形成显著影响,可知工业化水平的提高有利于包容性绿色效率改善,研究期内中国整体处于工业化中期,工业化进程的推进对于包容性绿色效

率有重要促进作用,单纯强调降低工业规模,过度“去工业化”不利于包容性绿色发展,而应将重点放在工业转型升级方面,着重实现高质量的工业化。

(3) 政府行政能力对综合效率直接效应的回归系数显著为正,对纯技术效率总效应和间接效应的回归系数显著为正,而对规模效率则未产生显著影响。说明政府行政能力对于综合效率和纯技术效率具有促进作用,且促进作用具有正外部性。地方政府作为经济发展的主导者和环境保护政策的执行者,在公共服务、基础设施建设和环境保护等方面的支出,有利于吸引人才、技术和资本要素,刺激经济增长和技术进步,实现社会公平和可持续发展;同时,地方政府间财政支出竞争会形成“示范效应”和“标杆效应”,促进相邻地区财政支出增加和结构优化,从而形成正向溢出效应。财政分权对综合效率、规模效率的直接效应和纯技术效率总效应的回归系数均显著为正,财政分权对纯技术效率间接效应显著为正,而对规模效率的间接效应显著为负,说明财政分权对本省区综合效率、规模效率和纯技术效率产生显著促进作用,对相邻地区的纯技术效率有正向溢出,而对相邻地区规模效率提升产生抑制效应。分权体制下地方政府财政自主水平提升,使得地方政府通过加大科技投入和基础设施建设,促进资源的优化配置和经济快速增长,但财权的下放易造成地方政府间竞争,强化经济要素的极化效应,从而抑制相邻地区经济规模扩大所带来的效率改进。

(4) 环境规制对纯技术效率和规模效率的间接效应产生显著影响,但回归系数一正一负,表明环境规制强度对相邻地区纯技术效率和规模效率分别形成正向和负向溢出效应。环境规制作为政策工具,其目的在于促进经济增加、资源利用和环境保护协同发展,结果显示环境规制强度对本地区未产生显著促进作用,而对相邻地区具有微弱溢出效应,该结论有限支持“波特假说”^[46],与环境规制对绿色发展效率的作用不同,进一步验证了包容性绿色效率影响机理的复杂性。环境规制一定程度上会倒逼或激励企业进行技术创新,促进邻近地区纯技术效率的提升;但本地区环境规制强度的提升往往形成“挤出效应”导致污染类产业向相邻地区转移,从而对相邻区域规模效率形成抑制作用。科技创新对综合效率总效应和规模效率总效应及其分解效应的回归系数均显著为正,表明科技创新能力

对于综合效率和规模效率有促进作用,同时科技创新对规模效率具有正向溢出。科技创新不但可以有效促进本地区效率的提升,区域间技术的交流、合作与共享可以实现技术外溢。科技创新对纯技术效率的回归系数为正,但不显著,说明目前区域间技术交流合作的溢出效应主要体现在对经济活动规模方面,而对于技术更新、管理方法改进的作用仍然有限。

(5) 市场化对综合效率、纯技术效率的总效应和直接效应产生显著正向影响,对纯技术效率的间接效应也产生正向影响。该结论与赵林等^[36]观点类似,市场化程度对包容性绿色综合效率和纯技术效率具有直接促进作用,但本研究还发现市场化对纯技术效率会产生正向溢出。市场作为资源配置的重要方式,一方面,市场竞争机制会倒逼企业进行技术创新和管理方法改进,促进资源配置效率的提升;另一方面,市场经济主体多元化对于促进就业、提高居民收入水平也具有重要影响。此外,市场化进程的推进往往会带动相邻地区市场经济的发展,通过市场交流与合作,实现联动效应,促进相邻地区包容性绿色效率的提升。

总结可知:经济发展水平、产业结构、工业化、政府行政能力、财政分权、环境规制、科技创新及市场化从不同方向和路径对包容性绿色效率产生不同程度的直接或间接效应;同时,包容性绿色效率还会通过溢出效应对其他区域的效率产生影响。因此,可认为包容性绿色效率时空格局的形成是

“极化效应”和“涓滴效应”2种机制综合作用下的产物,各影响因素以直接或间接效应的形式对综合效率、纯技术效率和规模效率产生影响,在2种机制的作用下共同驱动了包容性绿色效率的时空格局演化(图5)。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文在界定包容性绿色效率内涵的基础上构建了评价指标体系,采用考虑非期望产出的 Super-EBM 模型对 2000—2017 年中国省域包容性绿色效率进行了综合测度,利用空间自相关等方法刻画了包容性绿色效率的时空格局特征,最后采用空间杜宾模型识别了空间溢出效应与影响因素。结论如下:

(1) 2000—2017 年中国包容性绿色综合效率与规模效率呈现缓慢波动上升趋势,纯技术效率呈现先下降后上升的“V”型演变轨迹;研究期内综合效率的提升逐步由规模效应驱动向技术驱动转变。

(2) 2000—2017 年包容性绿色效率由低水平均衡向高水平不均衡格局演进,空间分布上以“胡焕庸线”为界,高水平类型集中于向东一侧,低水平类型则以西北、西南和东北地区为主。综合效率与纯技术效率在全国层面上形成京津、长三角和珠三角 3 个高水平集聚区,规模效率高水平类型呈“H”型轴带状分布。

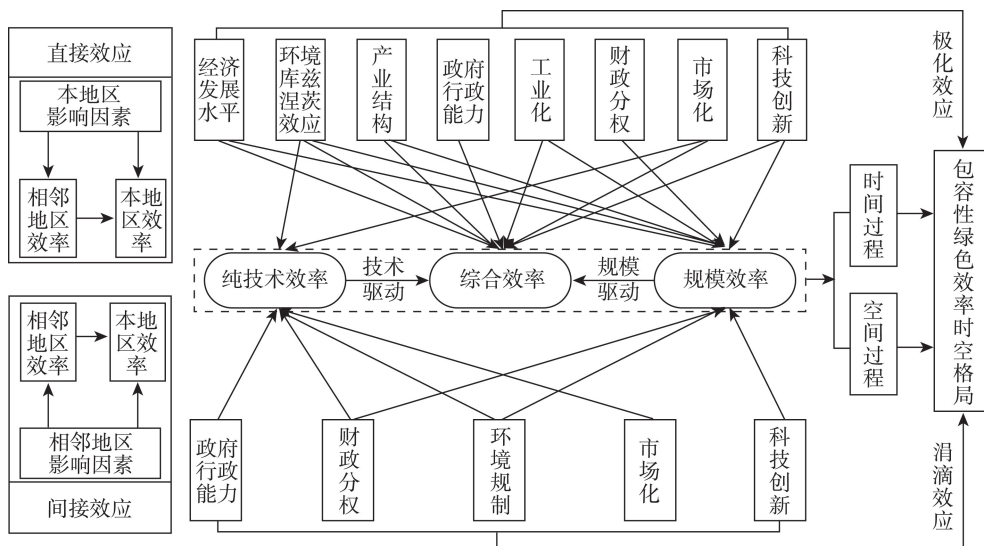


图5 中国包容性绿色效率时空格局的影响机制

Fig.5 Influencing mechanism of spatiotemporal pattern of inclusive green efficiency in China

(3) 包容性绿色综合效率及其分解效率存在空间依赖性,包容性绿色效率的同类型地区存在空间集聚特征,且空间集聚性不断增强。综合效率、纯技术效率与规模效率的热点区均呈向东北方向偏移的趋势,热点区逐渐稳定于长三角地区,次热点以京津、珠三角地区为主,西北、西南和东北基本为冷点区。

(4) 空间杜宾模型回归结果显示:包容性绿色综合效率及其分解效率存在正向空间溢出效应,且综合效率的溢出效应更强;包容性绿色综合效率及其分解效率与经济发展水平之间存在显著的“环境库兹涅茨”效应,经济发展水平、产业结构、工业化、政府行政能力、财政分权、环境规制、科技创新及市场化对包容性绿色效率产生不同方向、路径和强度的影响效应,其中政府行政能力、财政分权、环境规制和市场化程度对纯技术效率具有正向溢出效应,财政分权和环境规制对规模效率具有负向溢出效应,科技创新能力则对规模效率具有正向溢出效应。

4.2 讨论

本文基于包容性绿色发展概念,构建了包容性绿色效率评价体系,综合测度了中国省域单元的包容性绿色效率,深入分析了其时空格局特征与溢出效应,研究结论对于中国当前的生态文明建设和绿色转型发展具有借鉴意义。研究结论证实包容性绿色效率存在空间依赖性,考虑了社会产出因素后的包容性绿色效率在中国省域尺度上具有显著空间溢出效应,弥补了陈红蕾等^[27]、赵林等^[36]、李政大等^[47]已有研究缺乏地理空间关联分析的不足,对车磊等^[48]在绿色发展效率方面的研究结论也具有一定的补充价值。影响因素分析结果未支持“污染天堂”或“污染光环”假说,说明推进对外开放或外资的引进对包容性绿色效率提升未产生显著影响,周亮等^[31]在绿色发展效率研究中也未支持“污染天堂”假说,钱争鸣等^[49]的研究则得出外商直接投资正向促进绿色经济效率的结论,其可能原因在于外资的进入和对外开放进程的推进,所带来的社会经济积极影响和环境负面影响存在相互抵消现象,导致其未对包容性绿色效率产生显著作用。此外,研究结果有限支持了“波特假说”,环境规制强度对包容性绿色效率的提升仅具有微弱影响,可能的解释是政府的环境规制更多的是侧重环境保护,环境规制强度对融入社会产出因素后的包容性绿色效率的作用效应会有所“稀释”。

根据研究结论,得到以下政策启示:① 加强地区间人才、资金和技术的交流合作,发挥京津、长三角和珠三角地区对中西部、东北地区的带动作用,促进新技术、新方法、新知识的外溢,缩小区域间发展方式与发展质量的差距。② 构建有利于区域产业结构升级的制度体系,推进产业结构高度化和合理化,避免“去工业化”倾向,优化工业结构,积极推动工业转型和高质量发展。③ 优化政府财政支出结构,充分发挥政府在公共服务、基础设施建设和环境保护方面的作用,完善财政转移支付制度,加强对中西部地区的转移支付力度,实现区域协调发展。④ 完善环境规制体系,发挥环境规制政策的正向激励效应,加大科技创新投入力度,促进科技成果的转化与应用。⑤ 推进市场化改革,充分发挥市场在资源配置中的决定性作用,通过优化营商环境,激发各类市场主体的活力。

包容性绿色效率为传统经济效率评估提供了新视角,但本文尚存在部分不足,有待拓展研究。比如,投入产出指标体系中缺乏对期望视角下绿色产出和居民福祉因素的考量,更多侧重的是非期望产出视角的环境和社会指标;研究尺度选择了省域单元,市县乃至街区尺度的包容性绿色效率时空演变机理的分析也待后续开展;此外,在效率变革的背景下,开展包容性绿色全要素生产率分解研究,挖掘包容性绿色发展的动力源泉,对于推动经济高质量发展也极具现实意义。

参考文献(References)

- [1] 邓祥征,金贵,何书金,等. 发展地理学研究进展与展望[J]. 地理学报, 2020, 75(2): 226-239. [Deng Xiangzheng, Jin Gui, He Shujin, et al. Research progress and prospect on development geography. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(2): 226-239.]
- [2] 王圣云,罗玉婷,韩亚杰,等. 中国人类福祉地区差距演变及其影响因素: 基于人类发展指数(HDI)的分析[J]. 地理科学进展, 2018, 37(8): 1150-1158. [Wang Shengyun, Luo Yuting, Han Yajie, et al. Regional difference and determinants of human well-being in China: Based on the analysis of human development index. Progress in Geography, 2018, 37(8): 1150-1158.]
- [3] 彭文龙,吕晓,辛宗斐,等. 国际可持续集约化发展经验及其对中国耕地保护的启示[J]. 中国土地科学, 2020, 34(4): 18-25. [Peng Wenlong, Lv Xiao, Xin Zongfei, et al. International experience of sustainable intensification and its implications for the protection of cultivated land]

- in China. *China Land Science*, 2020, 34(4): 18-25.]
- [4] Ali I. Inequality and imperative for inclusive growth in Asia [J]. *Asia Development Review*, 2007, 24(2): 1-16.
- [5] Ianchovichina E, Lundstrom S. Inclusive growth analytics: Framework and application [R]. World Bank Policy Research Working Paper. Washington D C, USA: World Bank, 2009.
- [6] Ali I, Son H H. Measuring inclusive growth [J]. *Asian Development Review*, 2007, 24(1): 11-31.
- [7] Whajah J, Bokpin G A, Kuttu S. Government size, public debt and inclusive growth in Africa [J]. *Research in International Business and Finance*, 2019, 49: 225-240.
- [8] UN, ESCAP. The fifth ministerial conference on environment and development in Asia and the Pacific, 2005 [EB/OL]. 2005-03-23 [2020-05-28]. <https://enb.iisd.org/crs/mced/>.
- [9] Organization for Economic Co-operation & Development (OECD). Towards green growth: Monitoring progress. OECD indicators [M]. Paris, France: OECD, 2011.
- [10] Capasso M, Hansen T, Heiberg J, et al. Green growth: A synthesis of scientific findings [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 146: 390-402.
- [11] Albagoury S. Inclusive green growth in Africa: Ethiopia case study [R]. MPRA Paper No. 74364. Cairo, Egypt: Institute of African Research and Studies, Cairo University, 2016.
- [12] World Bank. Inclusive green growth: The pathway to sustainable development [M]. Washington D C, USA: World Bank Publication, 2012.
- [13] UNEP. Measuring progress towards an inclusive green economy [R]. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2012.
- [14] Spratt S, Griffithjones S. Mobilising investment for inclusive green growth in low-income countries [M]. Frankfurt, Germany: International Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2013.
- [15] Slingerland S, Kessler J J. Study on public private partnerships for contribution to inclusive green growth [R]. Amsterdam, Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015.
- [16] Bouma J, Berkhout E. Inclusive green growth [R]. Amsterdam, Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015.
- [17] Berkhout E, Bouma J, Terzidis N, et al. Supporting local institutions for inclusive green growth: Developing an evidence gap map [J]. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 2018, 84: 51-71.
- [18] 周小亮, 吴武林. 中国包容性绿色增长的测度及分析 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(8): 3-20. [Zhou Xiaoliang, Wu Wulin. The measurement and analysis of the inclusive green growth in China. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(8): 3-20.]
- [19] Ali I, Son H H. Defining and measuring inclusive growth: Application to the Philippines [J]. *South East Asia Research*, 2015, 19(2): 273-291.
- [20] 孙才志, 刘玲, 王嵩. 基于社会机会函数的中国沿海地区包容性增长研究 [J]. *经济地理*, 2017, 37(10): 27-36. [Sun Caizhi, Liu Ling, Wang Song. Research on the inclusive growth of China's coastal regions: Based on the social opportunity function. *Economic Geography*, 2017, 37(10): 27-36.]
- [21] Berdegue J A, Carriazo F, Jara B, et al. Cities, territories, and inclusive growth: Unraveling urban-rural linkages in Chile, Colombia, and Mexico [J]. *World Development*, 2015, 73: 56-71.
- [22] 徐强, 陶侃. 基于广义 Bonferroni 曲线的中国包容性增长测度及其影响因素分析 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2017, 34(12): 93-109. [Xu Qiang, Tao Kan. Inclusive growth measurement and analysis of influencing factors in China based on generalized Bonferroni curve. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2017, 34(12): 93-109.]
- [23] Silber J, Son H. On the link between the Bonferroni index and the measurement of inclusive growth [J]. *Economics Bulletin*, 2010, 30(2): 421-428.
- [24] McKinley T. Inclusive growth criteria and indicators: An inclusive growth index for diagnosis of country progress [R]. ADB Sustainable Development Working Paper Series. Manila, Philippines: Asian Development Bank, 2010.
- [25] 魏婕, 任保平. 中国经济增长包容性的测度: 1978—2009 [J]. *中国工业经济*, 2011(12): 5-14. [Wei Jie, Ren Baoping. Measuring China's inclusive growth: 1978-2009. *China Industrial Economics*, 2011(12): 5-14.]
- [26] 于伟, 吕晓, 宋金平. 山东省城镇化包容性发展的时空格局 [J]. *地理研究*, 2018, 37(2): 319-332. [Yu Wei, Lv Xiao, Song Jinping. The spatial and temporal patterns of inclusive development in the urbanization of Shandong Province. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 319-332.]
- [27] 陈红蕾, 覃伟芳. 中国经济的包容性增长: 基于包容性全要素生产率视角的解释 [J]. *中国工业经济*, 2014(1): 18-30. [Chen Honglei, Qin Weifang. Inclusive growth in China: A perspective from the change of inclusive total factor productivity. *China Industrial Economics*, 2014(1): 18-30.]
- [28] 范建双, 虞晓芬, 周琳. 城镇化、城乡差距与中国经济的

- 包容性增长 [J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(4): 41-60. [Fan Jianshuang, Yu Xiaofen, Zhou Lin. Urbanization, urban-rural gap and inclusive growth in China. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2018, 35 (4): 41-60.]
- [29] 程钰, 王晶晶, 王亚平, 等. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究 [J]. 地理研究, 2019, 38(11): 2745-2765. [Cheng Yu, Wang Jingjing, Wang Yaping, et al. A comparative research of the spatial-temporal evolution track and influence mechanism of green development in China. Geographical Research, 2019, 38(11): 2745-2765.]
- [30] Sun C Z, Tong Y L, Zou W. The evolution and a temporal-spatial difference analysis of green development in China [J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 41: 52-61.
- [31] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素 [J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044. [Zhou Liang, Che Lei, Zhou Chenghu. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [32] Guo F Y, Tong L J, Xu L M, et al. Spatio-temporal pattern evolution and spatial spillover effect of green development efficiency: Evidence from Shandong Province, China [J]. Growth and Change, 2020, 51(1): 382-401.
- [33] Narloch U, Kozluk T, Lloyd A. Measuring inclusive green growth at the country level [R]. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2016.
- [34] 吴武林, 周小亮. 中国包容性绿色增长绩效评价体系的构建及应用 [J]. 中国管理科学, 2019, 27(9): 183-194. [Wu Wulin, Zhou Xiaoliang. Establishment and application of the evaluation system of inclusive green growth performance in China. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(9): 183-194.]
- [35] Shikha J, Sonia C S, Radasiri W. Inclusive green growth index: A new benchmark for quality growth [R]. Manila, Philippines: Asian Development Bank, 2018.
- [36] 赵林, 吴殿廷, 金芮合, 等. 中国省际绿色包容性效率的时空演变特征及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3087-3096. [Zhao Lin, Wu Dianting, Jin Ruihe, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of inter-provincial green inclusive efficiency in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(9): 3087-3096.]
- [37] Sun Y H, Ding W W, Yang Z Y, et al. Measuring China's regional inclusive green growth [J]. Science of the Total Environment, 2020, 713: 136367. doi: 10.1016/j.scito-tenv.2019.136367.
- [38] Tone K, Tsutsui M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: A third pole of technical efficiency [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [39] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [40] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics [J]. Geographical Analysis, 1992, 24(3): 189-206.
- [41] Elhorst J P. Matlab software for spatial panels [J]. International Regional Science Review, 2014, 37(3): 389-405.
- [42] Lesage J P, Pace R K. Introduction to spatial econometrics [M]. New York, USA: CRC Press, 2009.
- [43] Copeland B R. International trade and the environment: Policy reform in a polluted small open economy [J]. Journal of Environmental Economics & Management, 1994, 26(1): 44-65.
- [44] Antweiler W, Copeland B R, Taylor M S. Is free trade good for the environment? [J]. American Economic Review, 2001, 91(4): 877-908.
- [45] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [46] Porter M E, van der Linde C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 97-118.
- [47] 李政大, 刘坤. 中国绿色包容性发展图谱及影响机制分析 [J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2018, 38(1): 48-59. [Li Zhengda, Liu Kun. The map of China green-inclusive development and the analysis of impact mechanism. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2018, 38(1): 48-59.]
- [48] 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. [Che Lei, Bai Yongping, Zhou Liang, et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [49] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 104-109. [Qian Zhengming, Liu Xiaochen. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(7): 104-109.]

Spatiotemporal pattern and spillover effects of inclusive green efficiency in China

ZHAO Lin^{1,2}, LIU Yanxu^{3*}, CAO Naigang¹, WU Dianting³, JIA Jianqi¹

(1. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China;

2. Rizhao Key Laboratory of Territory Spatial Planning and Ecological Construction, Rizhao 276826, Shandong, China;

3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Inclusive green development aims to ensure sustainable economic growth while promoting social equity and resource and environmental improvement. It is an inevitable choice for building ecological civilization and improving people's livelihood. This study constructed an evaluation system of inclusive green efficiency, and used the Super-Epsilon-Based Measure (EBM) model considering the undesirable outputs to comprehensively measure China's inclusive green efficiency. On this basis, spatial autocorrelation analysis was used to analyze the spatiotemporal characteristics of inclusive green efficiency. By using a spatial Durbin model, the spatial spillover effects and influencing factors were analyzed. The results show that: 1) From 2000 to 2017, China's comprehensive inclusive green efficiency and scale efficiency fluctuated slowly, and the pure technical efficiency showed a "V-shaped" trend. The improvement of comprehensive efficiency gradually changed from scale effect to technology driven. 2) The spatial pattern of inclusive green efficiency in China has evolved from low-level equilibrium to high-level imbalance. The high-value areas are concentrated to the east of the Hu Huanyong Line, while the low-value areas are mainly in the northwestern, southwestern, and northeastern areas. Comprehensive efficiency and pure technical efficiency form three high-value areas in Beijing-Tianjin, the Yangtze River Delta, and the Pearl River Delta at the national level, and the high-value areas of scale efficiency show a "H" shape. 3) The same type of inclusive green efficiency shows the characteristics of spatial agglomeration, which is also continuously enhanced. The hotspots tend to move to the northeast. The hotspots are gradually stabilized in the Yangtze River Delta region, and the secondary hotspots are mainly in the Beijing-Tianjin and Pearl River Delta regions. The northwest, southwest, and northeast are basically cold spots. 4) The regression results of spatial Durbin model show that there is a positive spatial spillover effect of comprehensive inclusive green efficiency and its components. Economic development level, industrial structure, industrialization, government administrative ability, fiscal decentralization, environmental regulation, scientific and technological innovation, and marketization have significant influences on inclusive green efficiency, among which government administrative ability, fiscal decentralization, environmental regulation, scientific and technological innovation, and marketization have some spillover effects. Finally, some related policies, such as strengthening inter-regional exchanges and cooperation, accelerating the optimization and upgrading of industrial structure, optimizing the government's fiscal expenditure structure, promoting the transformation and application of scientific and technological achievements, and letting the market play a decisive role in the allocation of resources, were put forward based on the empirical analysis. This study provides a new perspective than the traditional assessment of economic efficiency, and the conclusions can provide some reference for China's ecological civilization construction and green transformation development.

Keywords: inclusive green efficiency; spatiotemporal pattern; spillover effects; Super-EBM model; China