

“东西”还是“南北”降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距大?

刘玘玘, 张文彬

(西安财经大学管理学院, 陕西 西安 710100)

摘要: 区域发展不均衡正制约着降碳-减污-扩绿-增长的协同推进, 阻碍中国式现代化进程中经济发展与环境保护的共生发展。基于东西部和南北方双重视角, 运用 Dagum 基尼系数对中国 30 个省域 2015—2023 年降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距进行测算与地区分解, 并采用二次指派程序(QAP)分析探究区域协同发展差异的影响因素。结果表明: (1) 中国地区降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距整体小幅波动下降, 东西部和南北方协同发展差距的主因分别为地区间差距和地区内差距。(2) 从区域降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距来看, 其程度由高到低依次为北方、东部、南方、西部和中部。(3) 东西部地区降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距大于南北方, 但其差距缩小速度更快, “南北”地区差距正逐步接近“东西”地区。(4) 降碳-减污-扩绿-增长的协同推进效果受多重因素影响, 且各因素的边际效应在不同时空条件下呈现差异化特征。数字经济发展水平、绿色创新水平和科技投入水平是主要因素, 数字经济发展水平和绿色创新水平对地区差距的影响呈现波动上升趋势, 科技投入水平的影响较为稳定。

关键词: 降碳-减污-扩绿-增长协同发展; QAP分析; Dagum 基尼系数; 地区差距

文章编号: 1000-6060(2026)04-0769-09(0769~0777)

降碳、减污、扩绿、增长的协同发展是破解环境保护与经济发展二元矛盾的关键路径, 亦是推动经济社会全面绿色转型的必由之路, 其实践成效直接关系到中国式现代化建设的质量与可持续性^[1-3]。降碳减污着力破解传统高耗能和高污染模式的路径依赖, 扩绿增长则着力培育绿色技术和生态产业等新质生产力, 构建降碳-减污-扩绿-增长协同(简称四者协同)推进的发展范式, 能够促进实现环境质量改善与经济发展提质的多重目标^[4-6]。系统识别发展的空间不平衡特征, 对于完善区域协调发展战略、构建人与自然和谐共生的现代化格局具有重大战略意义。本文聚焦东西部和南北方四者协同发展差距, 对比分析地区间和地区内差距, 探明区域协同发展差距演变规律及影响因素, 为制定精准区域协同发展政策, 实现生态环境高水平保护与经

济高质量发展提供依据。

当前学术界对这一新兴理念的研究热点是基于对四者协同内涵的解读, 构建综合评价指标体系, 测度和分析四者协同发展水平和时空分异特征, 并探讨主要影响因素。具体来说: (1) 四者协同的本质内涵研究。已有研究围绕系统重构性、目标协同性、治理创新性等维度探讨四者协同的内涵。(2) 四者协同水平测度和时空分异特征研究。运用耦合协调度模型^[7-8]、面板向量自回归模型^[9]和 STIRPAT 模型^[10]等测度四者协同发展水平; 利用基尼系数^[11-12]、社会网络分析法^[13]和核密度估计^[14-15]等方法探究四者协同的时空分异特征。也有学者从“东西分化”与“南北悬殊”双重空间格局进行了初步探索^[16-18]。(3) 四者协同的影响因素研究。已有研究多从技术创新、产业结构升级、组织管理优

收稿日期: 2025-10-02; 修订日期: 2025-11-10

基金项目: 国家社会科学基金西部项目(23XGL020)资助

作者简介: 刘玘玘(1985-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水资源保护与生态环境建设等方面的研究。E-mail: hhdmm@xaufe.edu.cn

通讯作者: 张文彬(1985-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境管理等方面的研究。E-mail: zhangwbufe@xaufe.edu.cn

化和外部环境适应能力等方面分析对四者协同发展的影响及其区域差异^[19-20],采用的方法有多尺度地理加权回归模型^[21-22]、地理探测器方法^[23]、空间杜宾模型^[24]和二次指派程序(QAP)^[25]分析法等。

学者的有益探索为本文提供了理论依据和方法借鉴,但四者协同推进提出时间较短,仍存在拓展的空间。本文解析“东西”和“南北”四者协同发展差距及其来源,边际贡献如下:采用哈肯模型测算中国30个省域(不包括港澳台和西藏)四者协同发展水平,运用Dagum基尼系数及其分解方法,量化四者协同发展的区域差异,并聚焦东西部和南北方2个维度,对差距来源进行分解,纵向追踪各地区协同发展差距的演变轨迹,横向比较地区内与地区间的差异。从宏观层面,引入关系数据,探究地区四者协同发展差距的影响因素,及其区域差异和动态演变过程。

1 数据与方法

1.1 研究方法

1.1.1 四者协同发展指标体系 四者虽属不同系统,但构成协同共生的有机整体。降碳作为源头总抓手,通过减污实现路径优化,依托扩绿强化生态韧

性,最终以增长为落脚点。参考崔新蕾等^[25]和任晓松等^[19]的研究,从降碳、减污、扩绿和增长4个维度构建四者协同发展评价指标体系(表1)。

1.1.2 哈肯模型 哈肯于1971年首次提出“协同”这一概念,并于1976年进行了系统性的阐述和构建。哈肯协同模型是一种基于系统论和协同论的分析工具,用于研究复杂系统中多个子系统间的协同关系和演化机制。它通过构建序参量和势函数,量化系统协同程度,揭示子系统如何在相互作用中实现整体优化和协调发展。具体计算过程详见文献^[26-27]。

1.1.3 Dagum 基尼系数及其分解法 Dagum 基尼系数及其分解方法将总体基尼系数解构为3个可解释的组成部分。地区内差异反映同地区内四者协同发展不平衡程度;地区间差异刻画不同地区间的四者协同发展差距;超变密度则捕捉因地理相邻但所属地区不同(如中部与西部接壤省份)产生的交叉影响效应。计算过程详见文献^[28-29]。

1.1.4 QAP 分析法 QAP分析法通过非参数置换检验,可有效规避关系数据中的自相关与多重共线性问题,精准检验数据间相关性。为探究四者协同发展差距的影响因素,本文运用QAP分析法,以四者

表1 降碳-减污-扩绿-增长评价指标

Tab. 1 Evaluation indicators of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth

目标层	指标层	指标说明	单位	指标属性
降碳	CO ₂ 强度	CO ₂ 排放量/GDP	t·(10 ⁴ 元) ⁻¹	-
	人均CO ₂ 排放量	CO ₂ 排放量/总人口	t·人 ⁻¹	-
	能源结构	煤炭消费量/能源消费量	%	-
减污	工业SO ₂ 排放量	工业SO ₂ 排放量	10 ⁴ t	-
	工业废水排放量	工业废水排放总量	10 ⁴ t	-
	工业烟尘排放量	工业烟尘排放量	10 ⁴ t	-
	氮氧化物排放量	氮氧化物排放量	10 ⁴ t	-
	农用地肥使用量	农业化肥使用量	10 ⁴ t	-
	PM _{2.5} 浓度	逐年PM _{2.5} 浓度	g·m ⁻³	-
	绿色金融发展水平	贾洪文等 ^[26]	%	+
扩绿	人均公园绿地面积	公园绿地面积/总人口	hm ² ·(10 ⁴ 人) ⁻¹	+
	人均造林面积	造林面积/总人口	hm ² ·(10 ⁴ 人) ⁻¹	+
	建成区绿化覆盖率	建成区所有植被的垂直投影面积/建成面积	%	+
	森林覆盖率	-	%	+
	城镇化率	城市人口/总人口	%	+
增长	人均GDP	GDP/总人口	元·人 ⁻¹	+
	GDP增长率	[(当期的不变价GDP/上年同期同基期不变价GDP)-1]×100%	%	+
	居民消费水平	社会零售总额/GDP	%	+
	居民人均可支配收入增速	(报告期人均可支配收入-基期人均可支配收入)/基期人均可支配收入	%	+

注:“+”“-”分别为正向指标、负向指标。

协同发展差距构建被解释变量差距矩阵,以绿色创新水平差异矩阵、公共环境关注度差异矩阵、科技投入水平差异矩阵、产业集聚水平差异矩阵、数字经济水平差异矩阵和环境规制强度差异矩阵作为解释变量。

1.2 数据来源

原始数据源自2015—2024年的《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》,以及各省区的统计年鉴,基于国家统计局区域划分标准,将中国30个省域从“东西”和“南北”2个维度进行划分。绿色金融数据参考贾洪文等^[26]的研究,运用熵值法进行计算,缺失数据用线性插值法补全。

2 结果与分析

2.1 中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展水平

协同值结果(图1)显示,2015—2023年全国整体四者协同值持续提升,由2015年0.404上升至2023年0.521,表明中国四者协同发展水平稳步提高。分地区看,东部地区四者协同值始终保持最高,由2015年0.444提升至2023年0.572,增幅显著,表明东部地区在产业升级、能源结构优化和绿色金融支持方面优势突出。南方地区四者协同值位居第二,2015年为0.439,2023年达到0.550,与东部地区差距逐渐缩小。北方地区四者协同发展处于中游水平,由2015年0.365上升至2023年0.482,增长平稳。中部地区和西部地区四者协同发展方面基础相对薄弱,2015年四者协同值分别为0.357和

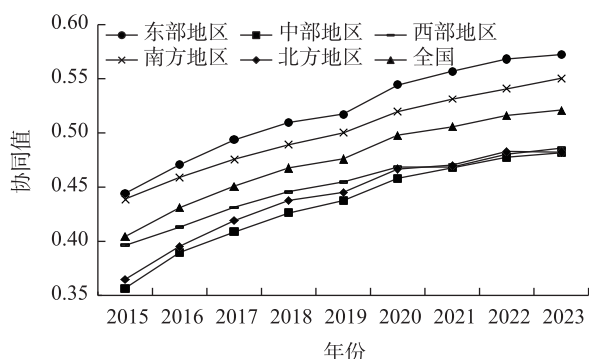


图1 2015—2023年中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展水平

Fig. 1 Level of coordinated development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth in China from 2015 to 2023

0.396,但提升速度较快,至2023年均达到0.480,与北方地区基本持平,呈现出明显的追赶态势。由此可见,东部地区和南方地区的四者协同发展水平长期领先,中部地区和西部地区则通过绿色产业培育、环境治理和政策扶持实现快速赶超,地区差距呈逐步缩小趋势。

2.2 中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距测度及比较分析

2.2.1 四者协同发展差距及其来源分解

(1) 四者协同发展差距

中国地区四者协同发展基尼系数结果(图2)显示:2015—2023年四者协同发展基尼系数整体呈小幅波动下降趋势,由2015年0.121下降至2023年0.087。从具体变化趋势看,2015—2018年基尼系数持续平稳回落,2019年出现短暂回升,2020年后重新转入下行通道,2020—2023年保持缓慢下降态势。

(2) 差距来源分解

从“东西”视角分析(图2),2015—2023年四者协同发展差距的主要原因是地区间差距,其平均贡献率达到46.34%,2015—2023年地区间四者协同发展的基尼系数呈波动下降态势,在2019年短暂上升,之后恢复下降态势。地区内四者协同发展的基尼系数波动幅度较小,对地区四者协同发展差距的贡献呈小幅波动上升趋势。超变密度对地区四者协同发展差距的贡献率呈波动下降趋势,表明各地区在四者协同发展中的交叉重叠效应逐渐减弱,地区间协同差距趋于收敛。从“南北”视角分析(图3),2015—2023年地区四者协同发展差距的主要原因是地区内差距,其平均贡献率达到44.70%,

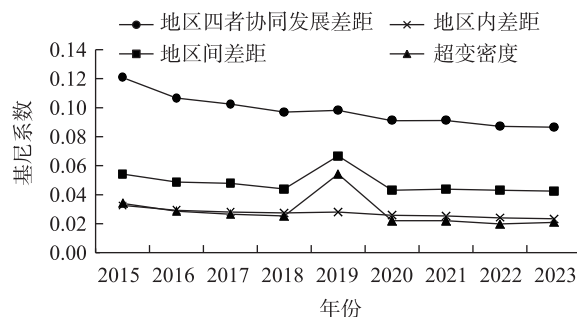


图2 基于“东西”协同发展差距及其来源分解

Fig. 2 Disparity and source decomposition of coordinated development between the eastern and western regions

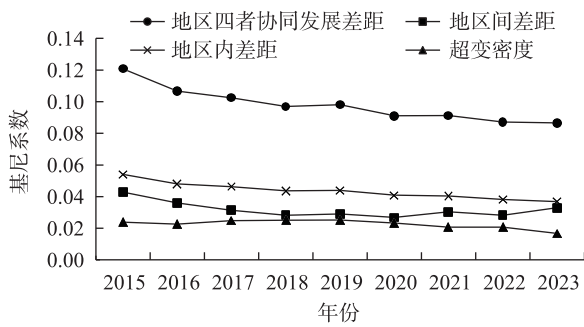


图3 基于“南北”协同发展差距及其来源分解

Fig. 3 Disparity and source decomposition of coordinated development between the northern and southern regions

2015—2023年地区内四者协同发展的基尼系数呈缓慢下降趋势,其变化特征与地区四者协同发展差距相似。地区间四者协同发展的基尼系数呈小幅波动下降态势,对地区四者协同发展差距的贡献呈波动下降趋势。超变密度对地区四者协同发展差距的贡献率呈波动下降的趋势,表明地区间在四者协同发展过程中,发展路径的交叉重叠效应正在增强,对地区四者协同发展差距的扩大效应日益显著。

2.2.2 各地区四者协同发展差距比较 2015—2023年东南西北中五大地区四者协同发展基尼系数排名由大到小依次为北方、东部、南方、西部和中部(图4)。北方地区排名居首主要受“双重碳锁定”效应影响:既有以山西为代表的传统能源基地面临转型阵痛,又有京津冀环保标准升级带来的产业调整压力。东部地区次之,源于其外向型经济对全球供应链的深度依赖。南方地区因清洁能源占比优势和粤港澳大湾区绿色金融创新,缩小了区域内部差

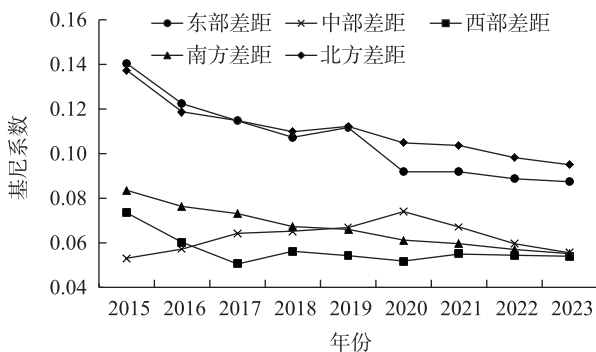


图4 各地区协同发展差距比较

Fig. 4 Comparison of disparities in coordinated development among different regions

异。西部和中部排名较低,得益于国家战略的倾斜性支持,西部大开发政策推动“风光基地+绿氢”产业耦合,中部则依托长江经济带生态共治机制,形成相对均衡的低碳发展格局。

2.2.3 各地区之间四者协同发展差距比较 2015—2023年地区之间四者协同发展基尼系数(图5)显示:地区间四者协同发展差距呈现梯度特征,东西部地区间的协同发展差异最为突出,东中部次之,南北方差异相对较小,中西部地区间差距相对最小。当前南北方地区间的协同发展差距已逐步扩大至与东西部差距相近的水平。具体来说:东西部地区四者协同发展的基尼系数最大,呈现波动下降态势,且降幅最大,2015—2020年降幅比较明显,之后趋于平缓。东中部地区四者协同发展的基尼系数呈现波动下降态势,且降幅最小。南北方地区四者协同发展的基尼系数呈现波动下降态势。中西部地区四者协同发展的基尼系数最小,呈现下降态势。

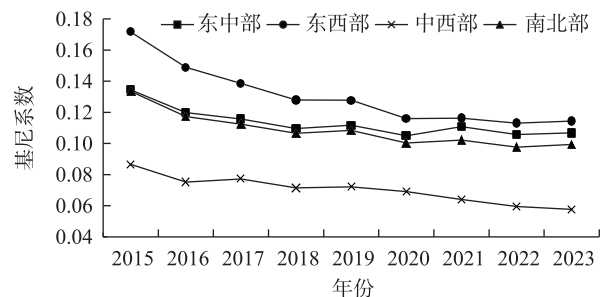


图5 各地区之间协同发展差距比较

Fig. 5 Comparison of collaborative development gaps between regions

2.3 中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展差距的影响因素

2.3.1 影响因素选择 基于四者协同的多维动态交互特征,参考相关文献^[4,17,25,30],选取绿色创新水平、公共环境关注度、科技投入水平、产业集聚水平、数字经济发展水平和环境规制强度作为四者协同发展的影响因素。

绿色创新水平。绿色创新是绿色转型的核心驱动力,能够打破环境保护与经济增长的二元对立,为四者协同推进提供实现机制。本文以绿色专利申请量为核心指标,量化分析地区科技投入水平对转型进程的影响作用。

公众环境关注度。公众环境关注度作为社会转型驱动力,通过舆论监督、绿色消费等渠道形成倒逼机制,能够倒逼企业应用绿色技术,扩大绿色消费需求,为环保产业创造市场空间。本文参考吴力波等^[31]方法,采用“雾霾”“环境污染”的百度搜索与咨询指数构建指标,量化分析其对经济转型的影响机制。

科技投入水平。科技投入规模与强度直接决定绿色技术转化效率。通过技术供给端支撑新能源开发、产业转型端推动传统产业绿色化、价值创造端催生新业态新模式的三维协同,既为降碳减污扩绿提供技术方案,又通过产业升级实现经济高质量增长。本文采用科技投入占地方财政总支出的比例作为量化指标,反映区域创新资源配置强度及其对四者协同发展的支撑作用。

产业集聚水平。产业集聚在绿色转型中呈现双重效应:一方面通过地理集中实现污染治理设施共享、绿色技术扩散和循环经济网络构建,提升资源利用效率并降低能耗排放;另一方面传统粗放式集聚导致的污染集中凸显转型必要性。本文采用(各省份工业增加值/工业增加值总额)与(各省份GDP/GDP总额)的比值构建测度指标,反映区域产业集中程度及其对绿色转型的潜在影响。

数字经济发展水平。数字经济通过技术、模式、产业三重赋能重塑经济与环境协同关系:技术层面实现能源精准管控提升治污效率,模式层面优化资源配置推动源头减污,产业层面既催生新兴产业又促进传统产业绿色转型。本文采用移动电话普及率、互联网宽带接入率、域名数等15项指标,采用熵权法测度数字经济发展水平及其对四者协同发展的支撑作用。

环境规制强度。环境规制是政府干预经济-环境系统的重要政策工具,其强度直接影响绿色转型路径。严格的环境规制通过双重路径驱动协同效应:一方面倒逼企业绿色技术创新实现达标减排,另一方面激励资源效率提升和新兴业态培育,形成创新补偿效应。本文借鉴邵帅等^[32]的研究,以环保词频占比反映地方政府政策关注度与规制意愿。

2.3.2 QAP 相关分析 QAP 相关分析结果显示(表2),四者协同发展水平与公共环境关注度、科技投入水平、产业集聚水平和数字经济发展水平显著正相关,与绿色创新水平和环境规制强度不相关。

2.3.3 QAP 回归分析

(1) 全国层面分析

四者协同发展差异的全国和分地区 QAP 回归分析结果(表3)显示:全国层面,绿色创新水平、公共环境关注度、科技投入水平、产业集聚水平和数字经济发展水平对于四者协同发展差异的正向影响显著,表明这些因素的地区发展不平衡会导致在四者协同发展方面的差距扩大。影响强度方面,数字经济发展水平、绿色创新水平和科技投入水平是影响地区四者协同发展差异的主要因素,标准化回归系数分别为0.443、0.331和0.320。产业集聚水平和公共环境关注度的影响强度较低,标准化回归系数分别为0.216和0.152。环境规制强度的回归系数较小,表明该因素并不是影响地区四者协同发展差异的主要因素。

(2) 地区层面分析

东部地区,绿色创新水平的标准化回归系数为0.436,在1%的水平上显著为正,是引起四者协同发展差异的主要因素,其次是数字经济发展水平、科技投入水平和公共环境关注度。中部地区,环境规

表2 QAP 相关分析结果

Tab. 2 Results of QAP correlation analysis

变量	四者协同发展水平	绿色创新水平	公共环境关注度	科技投入水平	产业集聚水平	数字经济发展水平	环境规制强度
四者协同发展水平	1.000***	0.112	0.325***	0.399***	0.349***	0.231**	-0.088
绿色创新水平	0.112	1.000***	0.570***	0.393**	0.119	0.914***	-0.007
公共环境关注度	0.325***	0.570***	1.000***	0.338**	0.387**	0.651***	0.070
科技投入水平	0.399***	0.393**	0.338**	1.000***	0.183*	0.439**	-0.052
产业集聚水平	0.349***	0.119	0.387**	0.183*	1.000***	0.159	-0.140**
数字经济发展水平	0.231**	0.914***	0.651***	0.439**	0.159	1.000***	0.006
环境规制强度	-0.088	-0.007	0.070	-0.052	-0.140**	0.006	1.000***

注:*,**、***分别表示在0.1、0.05、0.01水平上显著。下同。

表3 全国及地区全样本 QAP 回归分析结果

Tab. 3 Results of the national and regional full sample QAP regression analysis

变量	全国	东部	中部	西部	北方	南方
绿色创新水平	0.331***	0.436***	0.239**	0.330*	0.176*	0.280**
公共环境关注度	0.152*	0.183**	0.161*	0.368	0.029	0.131*
科技投入水平	0.320***	0.232*	0.140	0.321**	0.773***	0.281**
产业集聚水平	0.216***	0.113	-0.106	-0.226**	0.153***	0.219
数字经济发展水平	0.443**	0.248***	0.141**	0.110*	0.210**	0.315***
环境规制强度	-0.058	0.090	0.525**	-0.021	0.018	-0.068
调整 R^2	0.695	0.679	0.618	0.525	0.756	0.725
样本数	870	110	72	90	210	210

注: R^2 的决定系数。

制强度的标准化回归系数为0.525,是导致四者协同发展差异的主要因素,绿色创新水平和公共环境关注度对地区四者协同发展差异也具有显著的正向影响。西部地区,绿色创新水平和科技投入水平的标准化回归系数分别为0.330和0.321,对四者协同发展差异的影响强度较高,数字经济发展水平的影响强度较低,而产业集聚水平对西部地区四者协同发展差异具有抑制作用。北方地区,科技投入水平的标准化回归系数为0.773,是四者协同发展差异的决定因素,同时也受到数字经济发展水平、绿色创新水平和产业集聚水平的影响。南方地区,四者协同发展差异受到数字经济发展水平、科技投入水平、绿色创新水平和公共环境关注度的影响,标准化回归系数分别为0.315、0.218、0.280和0.131。

2.3.4 稳健性检验 本文以中国30个省域四者协同发展差距矩阵均值的90%和110%作为临界阈值,构建2组二值空间关联矩阵替代原被解释变量,并保持解释变量矩阵不变,对2015年和2023年回归结果进行检验。在不同阈值条件下,绿色创新水平、公共环境关注度、科技投入水平、产业集聚水平、数字经济发展水平及环境规制强度等核心解释变量均通过显著性检验,且各变量的显著性水平未发生明显变化,这一结果验证了研究结果的稳健性。

3 结论与建议

3.1 结论

本文得到以下结论:(1) 中国地区四者协同发展差距整体呈小幅波动下降态势。东西部地区和南北方地区协同发展差距的主要原因分别为地区间差距和地区内差距。(2) 中国各地区四者协同发展差距由大到小排序依次为北方、东部、南方、西部

和中部。(3) 地区间四者协同发展差距呈现梯度特征:东西部地区间协同发展差异最为突出,东中部次之,南北方差异相对较小,中西部地区间差距相对最小。这一格局表明,协同发展不平衡性在“东西”方向的极化程度明显高于“南北”方向。但值得注意的是,东西部地区间的协同发展差距正以更快的速度缩小,而南北方地区间的差距已逐步接近东西部地区。(4) 四者协同发展差距的主要影响因素包括绿色创新水平、公共环境关注度、科技投入水平、产业集聚水平、数字经济发展水平和环境规制强度,各因素边际效应存在时空异质性。

3.2 建议

根据研究结论,本文提出政策建议如下:(1) 强化区域协同治理,缩小四者协同发展区域差距。针对东西部四者协同发展差距较大的问题,应建立跨区域协作机制,通过产业转移、技术共享和基础设施互联互通,促进西部地区的绿色转型。同时,优化南北地区资源配置,推动北方地区在科技投入和数字经济发展上取得突破。(2) 聚焦核心驱动因素,提升绿色创新与科技投入。加大绿色技术研发投入,推动技术突破和工艺革新,打破环保与经济增长的二元对立。同时,优化地方财政支出结构,提高科技支出比重,支撑新能源开发和传统产业绿色改造,催生新业态新模式。(3) 优化政策保障体系。随着绿色创新、产业集聚和数字经济贡献上升,政策应向这些领域倾斜,提供税收优惠、资金支持等激励措施,推动其持续发展。

参考文献(References)

- [1] 罗良文,雷朱家华. 中国碳市场政策的减污降碳协同效应[J]. 资源科学, 2024, 46(1): 53-68. [Luo Liangwen, Lei Zhujiashua. Syn-

ergetic effect of China's carbon market policies on pollution reduction and carbon reduction[J]. *Resources Science*, 2024, 46(1): 53–68.]

- [2] 陈诗一, 祁毓. “双碳”目标约束下应对气候变化的中长期财政政策研究[J]. *中国工业经济*, 2022(5): 5–23. [Chen Shiyi, Qi Yu. Research on medium-and long-term fiscal policies to address climate change under the constraints of “Carbon Peak and Neutrality” target[J]. *China Industrial Economics*, 2022(5): 5–23.]
- [3] 夏学超, 祁慧, 祝树森, 等. 多元主体环境规制组合如何实现降碳减污扩绿增长协同推进?[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(8): 22–35. [Xia Xuechao, Sun Hui, Zhu Shusen, et al. How can a combination of environmental regulations by multiple stakeholders achieve the synergistic advancement of carbon reduction, pollution control, green expansion, and economic growth?[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2024, 34(8): 22–35.]
- [4] Li H, Lu J. Driving effect of digital government policy on synergy in corporate pollution reduction, carbon reduction, and green expansion[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 369: 9, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122301.
- [5] Zeng Q H, He L Y. Study on the synergistic effect of air pollution prevention and carbon emission reduction in the context of “dual carbon”: Evidence from China's transport sector[J]. *Energy Policy*, 2023, 173: 113370, doi: 10.1016/j.enpol.2022.113370.
- [6] Lin B Q, Teng Y Q. Synergistic disparities of pollution reduction and carbon mitigation in the industrial chain: Evidence from China's industrial sector[J]. *Environmental Research*, 2024, 248: 115226, doi: 10.1016/j.envres.2024.118226.
- [7] 刘玘玘, 刘书芳. 祁连山地区复合生态系统韧性时空演化及障碍因子识别[J]. *干旱区地理*, 2024, 47(2): 237–247. [Liu Honghong, Liu Shufang. Spatiotemporal evolution and obstacle identification of complex ecosystem resilience in the Qilian Mountain area [J]. *Arid Land Geography*, 2024, 47(2): 237–247.]
- [8] 李占稳, 吴文恒, 姚涵刚, 等. 黄河流域新型城镇化与农业现代化耦合协调的时空格局及驱动机制[J]. *干旱区地理*, 2025, 48(10): 1878–1891. [Li Zhanwen, Wu Wenheng, Yao Hangang, et al. Spatio-temporal evolution and driving mechanism of coupling coordination between new urbanization and agricultural modernization in the Yellow River Basin[J]. *Arid Land Geography*, 2025, 48(10): 1878–1891.]
- [9] 李敏, 崔晓阳, 庞贵芳, 等. 长江经济带生态环境与经济高质量发展耦合协调及交互影响研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2025, 34(7): 1399–1412. [Li Min, Cui Xiaoyang, Pang Guifang, et al. Coupling coordination and interactive influence of ecological environment and high-quality economic development in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2025, 34(7): 1399–1412.]
- [10] 李健, 邱广伟. 贵州降碳减污扩绿增长协同空间演进及路径探析[J]. *环境科学*, 2025, 46(10): 6465–6474. [Li Jian, Qiu Guangwei. Spatial evolution of carbon reduction, pollution reduction, green

expanding, and economic growth synergy in Guizhou and path analysis[J]. *Environmental Science*, 2025, 46(10): 6465–6474.]

- [11] 胡剑波, 张宽元, 韩君. 我国省域降碳减污绩效测度、时空分异与收敛性研究[J]. *统计研究*, 2025, 42(2): 99–110. [Hu Jianbo, Zhang Kuanyuan, Han Jun. Research on the measurement, spatio-temporal differentiation and convergence of carbon and pollution reduction performance in China[J]. *Statistical Research*, 2025, 42(2): 99–110.]
- [12] 胡剑波, 周宗康, 李潇潇. 中国降碳减污扩绿增长的时空分异及收敛性研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2025, 34(1): 166–180. [Hu Jianbo, Zhou Zongkang, Li Xiaoxiao. Spatiotemporal differentiation and convergence of carbon reduction, pollution reduction and green expansion growth in China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze River Basin*, 2025, 34(1): 166–180.]
- [13] 段冶, 韩楠, 孙才志, 等. 减污降碳协同效应空间关联关系及驱动因素研究[J]. *环境科学研究*, 2024, 37(11): 2413–2422. [Duan Ye, Han Nan, Sun Caizhi, et al. Investigation into spatial correlation and driving factors of synergistic effect of pollution reduction and carbon emission mitigation[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2024, 37(11): 2413–2422.]
- [14] 尹碧波, 邝萍, 欧阳昕彤, 等. 中国减污降碳与扩绿增长耦合协调度的时空特征及其驱动因素[J]. *经济地理*, 2024, 44(11): 122–131. [Yin Bibo, Kuang Ping, Ouyang Xintong, et al. Spatial-temporal characteristics and driving factors of coupling coordination degree of pollution and carbon reduction and green expansion in China[J]. *Economic Geography*, 2024, 44(11): 122–131.]
- [15] 邢文婷, 刘明珠, 李利娟. 长江经济带能源绿色低碳转型与减污降碳协同效应时空演进及地区差异[J]. *环境科学*, 2025, 46(7): 4198–4210. [Xing Wenting, Liu Mingzhu, Li Lijuan. Spatial-temporal evolution and regional differences of synergistic effect of green and low-carbon energy transformation and pollution reduction & carbon reduction in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Environmental Science*, 2025, 46(7): 4198–4210.]
- [16] 刘玘玘, 李新一. 长江经济带绿色创新、经济发展与环境改善协同推进的时空演化特征[J]. *环境科学研究*, 2025, 38(3): 702–712. [Liu Honghong, Li Xinyi. The spatiotemporal evolution characteristics of the coordinated advancement of green innovation, economic development, and environmental improvement in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2025, 38(3): 702–712.]
- [17] 张文彬, 宋建波. 中国低碳经济协同效率的区域差异及其影响因素[J]. *经济地理*, 2024, 44(3): 22–32, 54. [Zhang Wenbin, Song Jianbo. Regional differences and influencing factors of China's low-carbon economic synergy efficiency[J]. *Economic Geography*, 2024, 44(3): 22–32, 54.]
- [18] 赵曼仪, 王科. 减污降碳协同效应综合评估的研究综述与展望[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(2): 58–69. [Zhao Manyi, Wang Ke. Research review and prospect of comprehensive assessment of synergistic effects of pollution reduction and carbon reduc-

- tion[J]. Chinese Population, Resources and Environment, 2024, 34 (2): 58–69.]
- [19] 任晓松, 李佳徽. 中国降碳-减污-扩绿-增长耦合协同发展的组态路径分析[J/OL]. 环境科学. [2025–08–19]. <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.202501124>. [Ren Xiaosong, Li Jiahui. Analysis of the configuration path of the coupled coordinated development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and economic growth in China[J/OL]. Environmental Science. [2025–08–19]. <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.202501124>.]
- [20] 刘玘玘, 王雨昕. 黄河流域水-社会-经济系统韧性的时空演化及影响因素分析[J]. 环境科学, 2026, 47(4): 2673–2687. [Liu Honghong, Wang Yuxin. Spatiotemporal evolution and influencing factors analysis of the resilience of the water-society-economy system in the Yellow River Basin[J]. Environmental Science, 2026, 47 (4): 2673–2687.]
- [21] 李汶豫, 文传浩, 苏旭阳, 等. 长江经济带城市减污降碳协同效应时空演化及驱动因素研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(8): 1641–1653. [Li Wenyu, Wen Chuanhao, Su Xuyang, et al. Spatio-temporal evolution and driving factors of synergistic effect of urban pollution reduction and carbon reduction in Yangtze River Economic Belt[J]. Research of Environmental Sciences, 2024, 37 (8): 1641–1653.]
- [22] 原伟鹏, 孙慧, 王晶, 等. 中国城市减污降碳协同的时空演化及驱动力探析[J]. 经济地理, 2022, 42(10): 72–82. [Yuan Weipeng, Sun Hui, Wang Jing, et al. Spatial-temporal evolution and driving forces of urban pollution and carbon reduction in China[J]. Economic Geography, 2022, 42(10): 72–82.]
- [23] 马艺鸣, 李国平. 中国降碳减污扩绿协同水平、区域差异及影响因素[J]. 统计与决策, 2025, 41(5): 103–108. [Ma Yiming, Li Guoping. Synergistic development of carbon reduction, pollution mitigation, and green expansion in China: Coordination level, regional disparities, and influencing factors[J]. Statistics & Decision, 2025, 41(5): 103–108.]
- [24] 杨喜, 汪思辰. 长江经济带城市土地“降碳减污扩绿增长”效率时空特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(4): 721–733. [Yang Xi, Wang Sichen. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of the efficiency of urban land “carbon reduction, pollution reduction and green expansion” in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2025, 34(4): 721–733.]
- [25] 崔新蕾, 王冉冉. 中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展空间关联网络特征及影响因素研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(7): 1446–1457. [Cui Xinlei, Wang Ranran. Research on the characteristics and influencing factors of the spatial association network of China’s coordinated development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion and growth[J]. Research of Environmental Sciences, 2024, 37(7): 1446–1457.]
- [26] 贾洪文, 樊树钢. 黄河流域绿色金融与经济高质量发展耦合协调研究[J]. 生态经济, 2023, 39(10): 89–98. [Jia Hongwen, Fan Shugang. Study on the coupling and coordination of green finance and high-quality economic development in the Yellow River Basin [J]. Ecological Economy, 2023, 39(10): 89–98.]
- [27] Buldakova I T, Vishnevskaya A J, Dzhulolov S A, et al. Assessment of the socio-economic state of a region based on the Haken model[J]. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, 2024, 58(5): 351–358.
- [28] 赵林, 张春霆, 郭付友, 等. 中国绿色发展与共同富裕协同演化及其驱动因素[J]. 自然资源学报, 2025, 40(8): 2177–2194. [Zhao Lin, Zhang Chunting, Guo Fuyou, et al. Coordinated evolution and driving factors of green development and common prosperity in China[J]. Journal of Natural Resources, 2025, 40(8): 2177–2194.]
- [29] 马丽君, 敖烨. “东西”还是“南北”地区旅游发展差距大?[J]. 经济地理, 2023, 43(1): 206–216. [Ma Lijun, Ao Ye. Where is the big gap of tourism development in China? The east and the west or the north and the south[J]. Economic Geography, 2023, 43(1): 206–216.]
- [30] 陈明华, 刘玉鑫, 刘文斐, 等. 中国城市民生发展的区域差异测度、来源分解与形成机理[J]. 统计研究, 2020, 37(5): 54–67. [Chen Minghua, Liu Yuxin, Liu Wenfei, et al. Measurement, source decomposition and formation mechanism of regional differences in urban livelihood development in China[J]. Statistical Research, 2020, 37(5): 54–67.]
- [31] 吴力波, 杨眉敏, 孙可智. 公众环境关注度对企业和政府环境治理的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(2): 1–14. [Wu Libo, Yang Meimin, Sun Kege. The impact of public environmental concern on the environmental governance of enterprises and governments[J]. Chinese Population, Resources and Environment, 2022, 32(2): 1–14.]
- [32] 邵帅, 葛力铭, 朱佳玲. 人与自然何以和谐共生: 地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. 管理世界, 2024, 40(8): 119–146. [Shao Shuai, Ge Liming, Zhu Jialing. How to harmonious co-existence between man and nature: Environmental regulation and environmental welfare performance from the perspective of geographical elements[J]. Management World, 2024, 40(8): 119–146.]

Where is the big gap of the coordinated development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth in China? The east and the west or the north and the south

LIU Honghong, ZHANG Wenbin

(School of Management, Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: Regional development imbalances constrain the synergistic advancement of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth, thereby hindering the symbiotic relationship between the economy and the environment in the process of Chinese modernization. From the dual perspectives of eastern-western and northern-southern regional divisions, this study measures and decomposes disparities in the synergistic development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth across 30 Chinese provinces from 2015 to 2023 using the Dagum Gini coefficient. The QAP method is employed to examine the factors driving these regional disparities. The results indicate that (1) The overall disparity in regional synergistic development exhibits a slight but fluctuating decline. Inter-regional and intra-regional differences are the primary contributors to the development gaps between the eastern-western and northern-southern regions. (2) In terms of disparity magnitude, regions rank from highest to lowest as follows: North, east, south, west, and central. (3) The disparity between the eastern and western regions exceeds that between the northern and southern regions; however, the eastern-western gap is narrowing more rapidly, while the northern-southern gap is gradually approaching the scale of the eastern-western gap. (4) The effectiveness of synergistic advancement is shaped by multiple factors, whose marginal effects vary across spatiotemporal contexts. The levels of digital economy development, green innovation capability, and science and technology investment are the primary drivers of regional disparities. The impacts of digital economy development and green innovation capability exhibit a fluctuating upward trend, whereas the effect of science and technology investment remains relatively stable.

Keywords: collaborative development of carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth; QAP analysis; Dagum Gini coefficient; regional disparities

ChinaXiv:202604.00336v1