

引用格式:仇方道,刘继斌,陈然,等.淮海经济区工业增长与碳排放异速关系演化及协同机制[J].资源科学,2024,46(1):69–84. [Qiu F D, Liu J B, Chen R, et al. Evolution of the asynchronous relationship between interprovincial industrial growth and carbon emissions and its coordination mechanism: A case study of the Huaihai Economic Zone[J]. Resources Science, 2024, 46(1): 69–84.] DOI: 10.18402/resci.2024.01.06

淮海经济区工业增长与碳排放异速关系演化及协同机制

仇方道¹,刘继斌²,陈然³,张新林³,谭俊涛³

(1. 江苏第二师范学院地理科学学院,南京 211200;2. 吉林建筑大学建筑与规划学院,长春 130118;3. 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院,徐州 221116)

摘要:【目的】在减污降碳协同增效的背景下,基于异速生长视角揭示工业增长与碳排放的耦合关系对于促进淮海经济区等典型省际边界区域工业低碳发展具有重要意义。【方法】通过构建工业增长-碳排放异速生长模型,以淮海经济区为案例,整合脱钩分析、耦合协调度模型,分析了2000—2020年省际边界区域工业增长与碳排放耦合作用关系时空异质性特征,并运用时空地理加权回归模型解释异速生长的协同机制。【结果】①研究期内淮海经济区工业增长与碳排放脱钩关系由弱脱钩演变为强负脱钩,处于脱钩状态的县域呈向徐州、连云港等中心城市外围集中之势。工业增长与碳排放的耦合协调性不断提高,极度及高度耦合协调类县域占比由18.64%提高到83.05%;②工业增长-碳排放异速生长指数呈上升—下降—上升—下降变化历程,持续处于碳排放弱扩张阶段;空间上,绝大多数县域工业相对增速高于碳排放,40%以上的县域异速生长类型呈向下演变趋势;③技术创新、环境规制、固碳能力等因素对工业增长-碳排放异速关系变化呈正向促进作用且有增强之势。工业化水平、资源型产业占比、省际边界的影响由正向促进转为负向抑制,工业转型及省际边界功能演化是工业碳排放异速关系演化的主要动力。④工业增长的市场支配力与碳排放治理的政府主导力的错位、工业发展的外推力与内源力的失配引发了淮海经济区工业增长-碳排放异速生长的时空异质性,并催生了区域协同发展的战略需求,区域协同发展与工业增长-碳排放异速生长相互关联、相互影响。【结论】工业低碳化是推动工业增长与碳排放协调发展的主要路径,而工业增长与碳排放的时空协同演化与发展有利于助推省际边界区域工业绿色低碳发展。

关键词:工业增长;碳排放;异速关系;协同机制;淮海经济区

DOI: 10.18402/resci.2024.01.06

1 引言

协同推进降碳、减污、扩绿、增长,是未来相当长时期中国加快发展方式绿色转型和实现“双碳”目标的重要战略路径。2022年1月24日习近平总书记指出,要充分考虑区域资源分布和产业分工的客观现实,研究确定各地产业结构调整方向和“双碳”行动方案,不搞齐步走、“一刀切”。省际边界区域作为中国的特殊类型区域,涵盖全国849个县级

行政区,占全国总面积的47.99%^[1],2020年,省际边界区域第二产业产值占全国的26.19%,规模以上工业企业数量占全国的24.44%,以资源密集型、劳动密集型行业为主导,高能耗、高污染导向显著。该类区域工业碳排放量27.64亿t,占全国工业碳排放的43.19%,减碳压力巨大^[2]。因此,破解工业增长和碳排放的“两难”困境,是省际边界区域工业绿色发展的战略选择,也是开展省际边界区域可持续发展研

收稿日期:2023-08-09 修订日期:2023-11-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41971158;42101164;42201177)。

作者简介:仇方道,男,江苏丰县人,教授,研究方向为经济地理与区域可持续发展。E-mail: qiufangdao@163.com

通讯作者:张新林,男,山东泰安人,副教授,研究方向为经济地理与区域可持续发展。E-mail: smilezhang89@163.com

究的焦点热点领域。

目前国内外有关碳排放及其与经济关系的研究,主要表现在:碳排放核算方面,主要采用投入产出方法、生命周期方法、碳排放清单估算方法等研究方法,从国家和地区层面^[3,4]、产业层面^[5]开展碳排放量核算研究。碳排放时空格局方面,区域碳排放量呈增加趋势,世界碳排放呈两极分化格局,但区域差异有缩小之势^[6,7]。空间关联上,各国碳排放空间相关性显著^[8],存在明显的高排放俱乐部集聚特征^[9];空间网络上,呈现复杂的网络结构形态,但网络中心性与边缘之间的分异性减弱^[10]。碳排放影响因素方面,从环境经济地理学、演化经济地理学视角,经济增长、科技创新、工业结构、能源消费结构、城镇化、人口及其他社会性因素是影响碳排放的主要因素^[11-14]。还有学者研究了环境分权、数字经济等因素对碳排放的影响^[15,16]。碳排放与经济增长关系方面,从理论上提出了揭示经济增长与碳排放关系演化的环境库兹涅茨曲线规律^[17-19],实践上,分别从脱钩^[20]、耦合^[21,22]视角研究了经济增长与碳排放之间的相互作用关系。近年来有关区域经济与环境(或碳排放)之间的异速关系研究已引起少数学者的关注^[17,23]。此外,还有学者从组织保障、空间治

理、政策保障、体制机制等方面探讨区域经济增长-产业发展-生态环境协同机制^[24,25]。综上,目前的相关研究:①多借助于耦合协调度模型、脱钩分析模型、分解分析模型、系统仿真模型等方法探讨经济增长与碳排放之间的关系,而基于异速生长视角对经济增长与碳排放之间关系的探索尚显不足;②既有研究多关注省域、城市群、城市等尺度研究,较少关注省际边界区域等特殊类型区域经济增长与碳排放关系。鉴于此,本文以典型省际边界区域淮海经济区为研究对象,综合分析工业增长与碳排放之间的耦合协调度、脱钩、异速生长关系及其内在协同机制,对探讨工业增长与碳排放之间的理论关系,促进省际边界区域工业协同碳减排具有重要意义。

淮海经济区是中国典型的省际边界区域,地处苏鲁豫皖4省毗邻区域,包括徐州、连云港、宿迁、枣庄、济宁、临沂、菏泽、商丘、宿州、淮北10市(图1),是中国东部沿海资源型城市密集分布地区,“一带一路”建设的空间战略支点,也是国家可持续发展创新示范区(枣庄、徐州)较为集中分布区域。2020年人均GDP为45351元,仅为全国平均水平的62.93%,经济较为落后。工业以资源性产业为主导,高能耗高污染特征明显,2020年单位工业增加

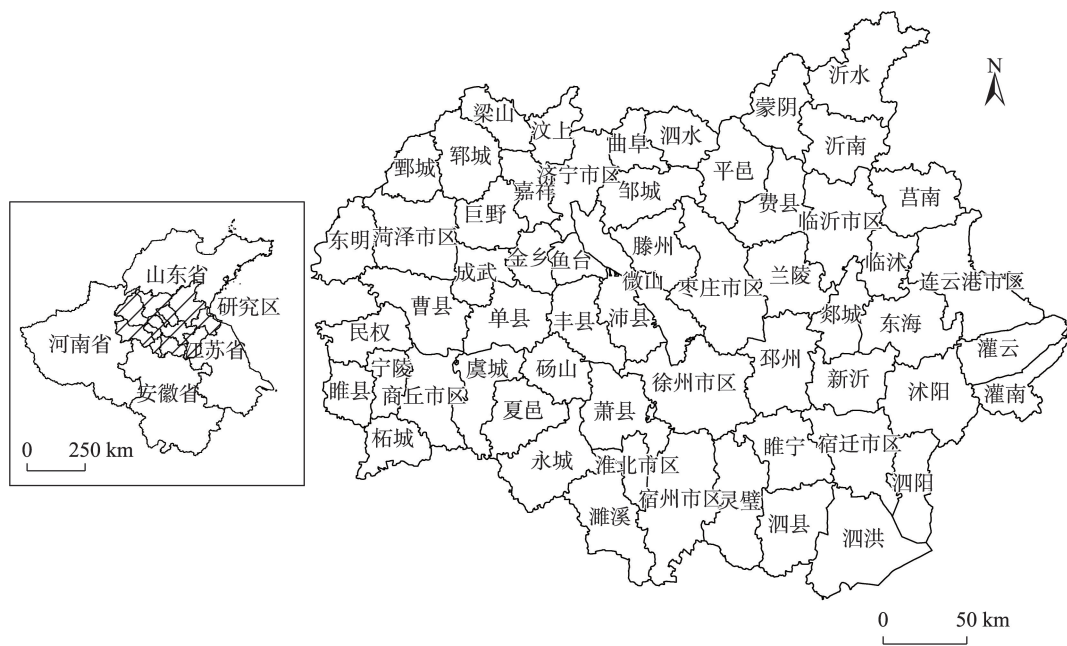


图1 淮海经济区地理位置

Figure 1 Location of the Huaihai Economic Zone

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

2024年1月

值碳排放量 6.53 t/万元,是全国 1.38 倍。显示出淮海经济区面临着提升经济水平与降低碳排放的“两难”困境。面对全国经济高质量发展的新要求,以及研究区域工业化、城镇化发展不平衡不充分的现实,如何整合异速生长、耦合协调度、脱钩的多维视角,系统分析淮海经济区工业增长与碳排放之间耦合关系及其非均衡特征,并揭示其影响机制,不仅可以为推动该区域工业低碳发展提供依据,也可为淮海经济区制定工业协同减碳策略和推动低碳技术创新提供决策依据。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

为更好地揭示工业增长与碳排放的关联作用关系,一是采用脱钩分析和耦合协调模型分析二者互动关系变化;二是采用异速生长模型识别二者的异速演化特征;三是采用时空地理加权模型分析二者异速演化的动力机制及空间异质性。

2.1.1 脱钩分析模型

脱钩模型主要用于分析经济活动对资源环境的冲击干扰,本文利用此模型分析工业增长与碳排放之间关系的表征状态,当某一时段特定区域工业增长快于碳排放,谓之脱钩^[26,27]。计算公式为:

$$DEI = \frac{\Delta CE}{\Delta IG} = \frac{(CE_{t+1} - CE_t)/CE_t}{(IG_{t+1} - IG_t)/IG_t} \quad (1)$$

式中: DEI 为工业增长与碳排放之间的脱钩指数; ΔCE 和 ΔIG 分别为碳排放和工业增长在 $[t, t+1]$ 时期的变化率; CE 为工业碳排放量; IG 为工业发展水平; t 和 $t+1$ 分别代表基期和末期。根据 DEI 值的变化,将工业增长与碳排放之间的脱钩状态划分为强脱钩、弱脱钩、扩张性负脱钩、强负脱钩、弱负脱钩、衰退性脱钩 6 类(表 1)^[28]。

2.1.2 耦合协调度模型

耦合是指两个或两个以上地理要素(或系统)彼此相互影响而协同作用的现象^[29]。本文中的耦合是指区域工业经济发展与碳排放两个子系统通过彼此的耦合要素而产生的非线性关联作用的程度。借鉴既有研究成果,构建工业经济增长与碳排放耦合协调度模型,具体计算过程见文献[34]。根据耦合协调度数值分布规律,将耦合协调度划分为 4 类,即低耦合协调(0.0, 0.3]、中耦合协调(0.3, 0.5]、

表 1 工业增长与碳排放脱钩状态划分

Table 1 Classification of decoupling between industrial growth and carbon emissions

状态	ΔCE	ΔIG	DEI	含义
强脱钩	<0	>0	<0	工业经济增长而碳排放下降
弱脱钩	>0	>0	0~1	工业经济增长快于碳排放增长
扩张性负脱钩	>0	>0	>1	工业经济增长慢于碳排放增长
强负脱钩	>0	<0	<0	工业经济衰退而碳排放增长
弱负脱钩	<0	<0	0~1	工业经济衰退快于碳排放下降
衰退性脱钩	<0	<0	>1	工业经济衰退慢于碳排放下降

高耦合协调(0.5, 0.8]、极高耦合协调(0.8, 1.0)^[31]。

2.1.3 异速生长模型

异速生长关系是指一个系统内要素与要素之间或者要素与系统整体之间存在的特定比例增长关系^[32],本文用于揭示区域经济相对增长率与碳排放相对增长率之间的比例关系,包括纵向异速关系和横向异速关系。其中,纵向异速关系表征的是研究对象整体随时间变化的异速关系,横向异速关系表征的是同一时间不同样本之间的异速关系。计算公式如下^[33]:

$$CE_t = mIG_t^n \quad (2)$$

对式(2)等号两边同时取对数,得到公式(3):

$$\ln CE_t = \ln m + n \ln IG_t \quad (3)$$

式中: CE_t 为 t 时工业碳排放量(万吨); IG_t 为 t 时工业发展规模(万元); m 为比例系数; n 为异速生长系数。依据既有研究^[17,33-35],异速生长系数 n 位于 2/3~1 之间,平均值约为 0.85。当 $n=0.85$ 时,工业经济与碳排放增速大致相等; $n > 0.85$ 时,工业经济增长速度低于碳排放增长速度,谓之正向异速关系; $n < 0.85$ 时,工业经济增长速度高于碳排放增长速度,谓之负向异速关系。为更加准确地诊断出工业经济增长与碳排放之间的异速生长关系,将异速生长关系划分为 3 个等级,相关划分标准及内涵见表 2。

2.1.4 时空地理加权回归模型

地理加权回归模型是处理空间异质性问题的常见方法^[36],但该模型使用的是截面数据,无法捕捉到时间上的变化趋势和动态过程,进而限制了对随时间发展的现象进行深入研究的能力,并且地理加权回归模型依赖于截面数据样本量,当样本量有限,而参数数量过多时,可能出现过度拟合问题,导致模型的解释能力下降^[37]。时空地理加权回归模型

表2 工业增长-碳排放异速生长关系等级划分表

Table 2 Classification of industrial growth-carbon emission decoupling relationship levels

类型	异速级别	划分标准	异速关系类型	异速关系特征
正向异速生长	正向异速三级	$n \geq 3$	碳排放强增长型	工业相对增速远远低于碳排放相对增速,碳排放强度大幅上升
	正向异速二级	$1 \leq n < 3$	碳排放弱增长型	工业相对增速低于碳排放相对增速,工业碳排放强度较大幅度上升
	正向异速一级	$0.85 \leq n < 1$	基本协同型	工业相对增速略低于碳排放相对增速
负向异速生长	负向异速一级	$0.5 \leq n < 0.85$	工业弱增长型	工业相对增速高于碳排放相对增速,碳排放强度较大幅度降低
	负向异速二级	$0 < n < 0.5$	工业强增长型	工业相对增速大大高于碳排放相对增速,碳排放强度大幅降低
	负向异速三级	$n < 0$	收缩型	工业经济或碳排放中一个降低或同时降低

注:当 $n=0$ 时,工业增长对碳排放没有任何影响,碳排放强度没有变化,故本文不考虑此情况。

使用面板数据,将时间维度引入到地理加权回归模型中,能够有效地解决地理加权回归模型的不足,使估计结果更加准确^[38,39]。时空地理加权回归模型具体计算公式如下:

$$y = \beta_0(\mu_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(\mu_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中: y 为碳排放异速; X_{ik} 为 i 县域第 k 个影响因素; p 为影响因素的数量; μ, v 为空间坐标; t 为时间; β_0 为截距项; β_k 为估计系数; ε_i 为随机误差项。

借鉴既有研究成果^[23,33],遵循科学性、典型性、可比性与可获得性等原则,本文选取经济水平、工业化水平、技术创新能力、环境规制、资源型工业占比、固碳能力、省际边界因素等7个指标,建立淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系的影响因素指标体系。其中,经济水平反映经济发展基础和推进工业转型发展的基础支撑能力,以人均GDP表示;工业化水平反映工业发展水平和能力,以工业增加值占GDP比重表示;技术创新能力反映的是工业发展的低碳技术创新能力,以科学研究和技术服务业人员占工业从业人员比重表示;环境规制反映的是促进工业低碳绿色发展的制度体系情况,以环境治理投资额占GDP比重表示;资源型工业占比反映的是资源型工业结构层次和水平,以采矿业与电力燃气及水生产从业人员占比表示;固碳能力反映的是陆地植被所具有的吸收和固定二氧化碳排放的水平和能力,以植被固定碳汇量表示;省际边界因素反映的是省际边界约束下的行政区利益驱动的工业结构趋同,可能带来的工业碳排放的增加,将邻近省际边界的研究单元赋值为1,而不含省际边界的研究单元赋值为0。

2.2 数据来源

本文以淮海经济区为研究区域,以县域为研究单元,按照2020年行政区划,包括县、县级市、地级市市区共59个研究单元。研究时段为2000—2020年,需要说明的是,文中出现“2001年”为起始年的部分,实际上指的是2000—2001年变化,主要是由于脱钩指数和耦合协调度计算涉及到变化率或变化量。研究中碳排放量和固碳能力数据来自中国碳排放数据库(<https://www.ceads.net>);社会经济数据主要来源于2001—2021年的江苏、山东、河南、安徽4省以及淮海经济区所属各市的统计年鉴,还有相应年份的《中国县域统计年鉴》以及第五、第六、第七次人口普查数据。

3 结果与分析

3.1 工业增长与碳排放异速特征

3.1.1 脱钩关系时空特征

依据脱钩模型计算出淮海经济区各县域工业增长与碳排放的脱钩指数(图2)。图2显示,淮海经济区工业增长与碳排放之间的脱钩关系由2001年的弱脱钩演变为2010年的强脱钩再演变为2020年的强负脱钩,主要是由于近年来受国际发展环境不确定性的影响,高耗能工业占比增加,导致碳排放增加,使得二者之间呈现碳排放增加而工业衰退的现象。处于脱钩状态的县域由2001年32个增加到2010年52个再减少到2020年的17个,其中因碳排放增加低于工业增长而形成脱钩关系的县域由31个减少到8个,而因碳排放降低大大高于工业衰退而形成脱钩关系的县域由1个增加到9个,分布地区由京九、京沪、沿海等沿线地区,逐渐向徐州市区、连云港市区2个核心区集中,空间范围缩小。处

2024年1月

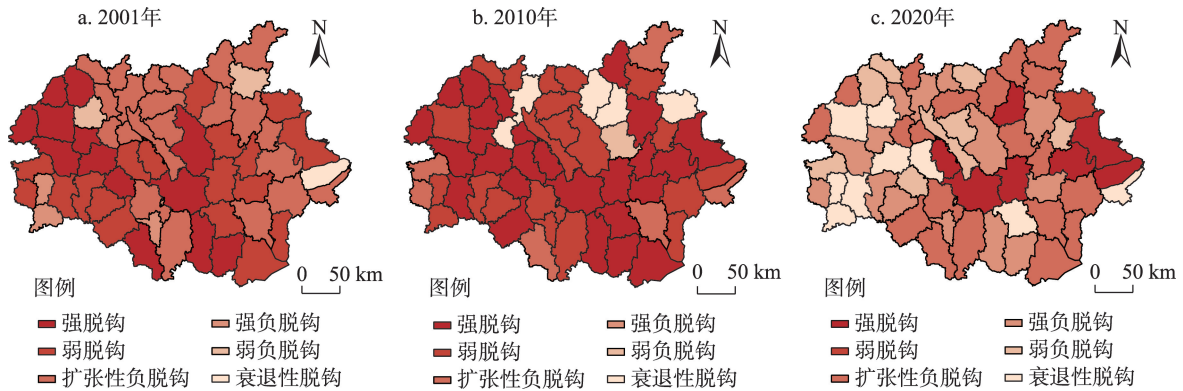


图2 2001—2020年淮海经济区工业增长与碳排放脱钩程度空间格局演变

Figure 2 Spatial pattern of decoupling degree of industrial growth and CO₂ emissions in the Huaihai Economic Zone, 2001-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

于负脱钩状态的县域由27个演变到2010年的7个再增加到2020年42个,特别是强负脱钩、弱负脱钩型县域由5个增加到22个,此类县域工业增长慢于碳排放增加,主要分布地区由京沪沿线的东西两侧,转移到东陇海沿线的南北两侧。表明位于主要交通干线的县域工业绿色转型快,碳排放治理能力强,反之,远离交通干线的县域虽然工业化快,但产业结构层次不高,碳排放增加快,造成二者脱钩关系弱化。

3.1.2 耦合协调时空特征

依据图3所示的2001年、2010年和2020年淮海经济区各县域工业增长与碳排放的耦合协调度情况,研究期内淮海经济区工业增长与碳排放的耦合协调性不断提高,耦合协调指数由0.524提高到0.777。极度耦合协调型县域由缺失增加到15个,集中分布于东陇海沿线(徐州-连云港段)和京沪沿

线(济宁-徐州段)地区;高耦合协调型县域由11个增加到2010年的41个再减少到2020年34个,分布范围先扩大后缩小;中耦合协调型县域由47个减少到2010年的12个再减少到2020年9个,降幅达80.85%,分布逐渐向淮海经济区边缘地区集中;低耦合协调型县域始终为1个,由巨野变为民权再变为濉溪,由鲁南经豫东转移到皖北,主要是此类县域工业化快速推进,造成二者的失调性较大。上述说明,淮海经济区工业增长与碳排放之间的协调性提高,表明此区域工业发展水平与碳排放量二者之间关系趋于同向变化。

3.1.3 异速关系时空特征

(1) 异速关系时序特征

依据异速生长计算公式,构建了淮海经济区工业增长与碳排放的异速生长拟合模型(表3)。表3显示,研究时段内工业增长与碳排放之间异速关系

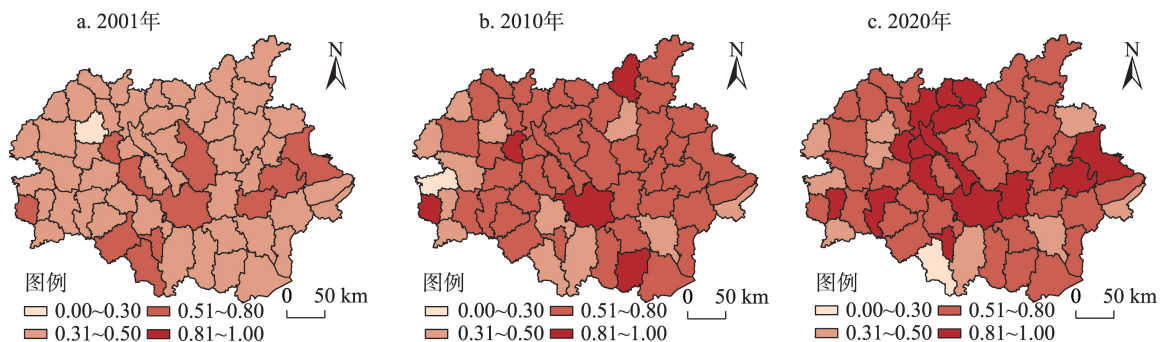


图3 2001—2020年淮海经济区工业增长与碳排放耦合协调度空间格局演变

Figure 3 Spatial pattern of coupling and coordination value of industrial growth and CO₂ emissions in the Huaihai Economic Zone, 2001-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

表3 2000—2020年淮海经济区工业增长与碳排放异步生长拟合模型

Table 3 Asynchronous growth fitting model between industrial growth and CO₂ emissions in the Huaihai Economic Zone, 2000-2020

年份	拟合方程	标度指数	拟合优度	异步级别
2000	$\ln D = -11.112 + 1.339 \ln E$	1.339	0.522	正异步2级
2001	$\ln D = -9.695 + 1.209 \ln E$	1.209	0.475	正异步2级
2002	$\ln D = -13.195 + 1.512 \ln E$	1.512	0.585	正异步2级
2003	$\ln D = -14.813 + 1.637 \ln E$	1.637	0.692	正异步2级
2004	$\ln D = -15.575 + 1.644 \ln E$	1.644	0.674	正异步2级
2005	$\ln D = -15.878 + 1.640 \ln E$	1.640	0.711	正异步2级
2006	$\ln D = -18.688 + 1.836 \ln E$	1.836	0.783	正异步2级
2007	$\ln D = -18.706 + 1.819 \ln E$	1.819	0.772	正异步2级
2008	$\ln D = -18.108 + 1.752 \ln E$	1.752	0.763	正异步2级
2009	$\ln D = -18.046 + 1.737 \ln E$	1.737	0.706	正异步2级
2010	$\ln D = -17.850 + 1.697 \ln E$	1.697	0.662	正异步2级
2011	$\ln D = -17.857 + 1.681 \ln E$	1.681	0.633	正异步2级
2012	$\ln D = -18.052 + 1.682 \ln E$	1.682	0.628	正异步2级
2013	$\ln D = -18.779 + 1.724 \ln E$	1.724	0.631	正异步2级
2014	$\ln D = -18.439 + 1.694 \ln E$	1.694	0.626	正异步2级
2015	$\ln D = -18.879 + 1.722 \ln E$	1.722	0.580	正异步2级
2016	$\ln D = -19.000 + 1.714 \ln E$	1.714	0.545	正异步2级
2017	$\ln D = -19.170 + 1.713 \ln E$	1.713	0.507	正异步2级
2018	$\ln D = -19.886 + 1.759 \ln E$	1.759	0.531	正异步2级
2019	$\ln D = -13.914 + 1.357 \ln E$	1.357	0.399	正异步2级
2020	$\ln D = -13.336 + 1.322 \ln E$	1.322	0.399	正异步2级

拟合优度大于1.0,拟合效果较好。2000—2020年,淮海经济区工业增长与碳排放均处于正异步2级,即碳排放相对增长速度高于工业增长速度,表明二者虽然同向增长,但工业增长带来了更大的碳排

放。其中,2000—2006年异步生长系数快速上升,由1.339提高到1.836,说明该阶段工业增长与碳排放相对增速差异增大,碳排放强度提高;2006—2011年异步生长系数缓慢下降,2011—2013年略有上升。2013—2020年呈波动性快速下降态势,由1.724下降到1.322,表明该阶段工业增长与碳排放相对增速趋同,但碳排放强度相对较高。总体而言淮海经济区工业增长与碳排放之间的异步关系处于碳排放弱扩张阶段,虽然进入21世纪以来淮海经济区非资源型工业发展较快,碳排放增速减缓,但工业碳排放治理仍面临较大压力。

(2)异步关系空间特征

图4显示了2000—2010年和2010—2020年两个时段淮海经济区工业增长与碳排放之间异步生长类型的空间差异。依据图4a、b,2000—2010年淮海经济区工业增长与碳排放异步生长类型以负向异步为主,负向异步县域为51个,占全体研究样本的86.44%。其中,负向异步3级县域11个,集中分布于南北两端,标度值平均为-0.273;负向异步2级县域20个,集聚于东陇海铁路两侧的广大地域,标度值平均为0.261;负向异步1级县域10个,集中分布于徐州市区的外围地区,标度值平均为0.648。正向异步县域8个,占13.56%,其中正向异步2级县域7个,集中于淮北市区外围,标度值平均为1.506,此类县域工业发展快,碳排放压力大,是碳减排的重点所在。2010—2020年淮海经济区工业增长与碳排放仍然以负向异步为主导,此类县域达49个,占

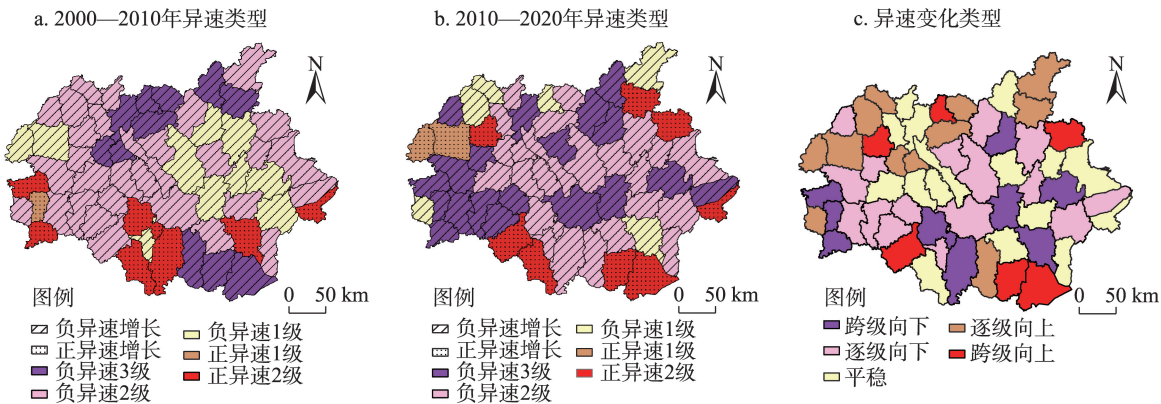


图4 2000—2020年淮海经济区工业增长与碳排放异步类型及空间格局

Figure 4 Types of asynchronous growth between industrial growth and CO₂ emissions in the Huaihai Economic Zone and their spatial distribution, 2000-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

2024年1月

比为83.05%,表明绝大部分县域工业经济发展速度远高于碳排放相对增长,且碳排放强度呈快速降低。正向异速县域仅10个,散布于淮海经济区南北的边缘地区。

图4c显示,2000—2010年和2010—2020年两个时段异速生长类型发生较大变动,向下变化型县域25个,占全部研究单元的42.37%。跨级向下型县域9个,2000—2010年6个正向异速县域跨级向下演变为负向异速县域,主要分布在豫东、皖北,其中,萧县、宿州市区由正向异速2级演变为负向异速2级,民权、柘城由正向异速2级演变为负向异速3级,宿迁市区由正向异速2级分别演变为负向异速1级,宁陵由正向异速1级演变为负向异速3级,邳州、东海、费县均由负向异速1级演变为负向异速3级,表明这些县域工业低碳转型快速,工业碳排放显著降低。逐级向下型县域16个,主要分布在鲁南、苏北,灌云、砀山、滕州、平邑、曹县、成武、甄城、虞城、夏邑、徐州市区、商丘市区11个县域由负向异速2级向下演变为负向异速3级,沭阳、郯城、淮北市区、临沂市区、枣庄市区5个县域由负向异速1级变为负向异速2级,说明此类县域工业增长速度快于碳排放,显示工业碳排放治理明显提升。平稳型县域16个,占全部研究单元的27.12%,集中分布于徐州、济宁2个市域范围内,此类县域工业经济发展与碳排放保持大致的协调状态。向上变化型县域18个,占全部研究单元的30.51%。跨级向上型县域7个,泗洪、泗县、沂南3个县域和莒南、巨野、永城3个县域分别由负向异速3级、负向异速2级演变为正向异速2级,曲阜则由负向异速3级演变为负向异速1级,显示此类县域碳排放增长大大高于工业发展;逐级向上型县域11个,灵璧、鱼台、金乡、泗水、邹城5个县域由负向异速3级变化为负向异速2级,梁山、沂水、郯城、睢县4个县域由负向异速2级变为负向异速1级,东明、菏泽市区2个县域由负向异速1级变为正向异速1级,表明此类县域工业经济增长略低于碳排放量增加,促使碳排放污染有所加剧。

整体而言,淮海经济区大多数县域工业增长-碳排放异速生长类型呈向下演变趋势,也就是工业经济增速与碳排放增速的差异存在拉大趋向,主要

表现为工业碳排放增速低于工业经济增速,使得工业低碳转型加速。

3.2 影响因素分析

3.2.1 工业增长-碳排放异速生长影响因素作用的演变分析

淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系演化是多种因素综合作用的结果,其中,工业化水平、资源型产业占比主要表现为对工业增长的影响,而固碳能力、环境规制主要表现为对碳排放的影响,经济水平、技术创新、省际边界主要表现为对工业增长-碳排放异速关系的综合影响(图5)。

通过运行时空地理加权回归模型软件,计算出2000—2010年、2010—2020年2个时段经济水平、工业化水平、技术创新能力、环境规制、资源型工业占比、固碳能力、省际边界7个因素对淮海经济区工业增长与碳排放异速生长关系的影响作用系数,发现2000—2020年技术创新的影响作用最强,固碳能力次之,其后依次为环境规制、经济水平、省际边界、资源型产业占比、工业化水平(表4)。2000—2010年除经济水平外,其他所有因素对工业碳排放异速增长的影响均为正效应,其中科技创新的影响程度最大。2010—2020年经济水平、技术创新、环境规制、固碳能力对工业碳排放异速增长起正向作用,其中科技创新的影响强度最大;工业化水平、资源型产业占比和省际边界则起负向作用,其中工业化水平的负向影响程度最大。

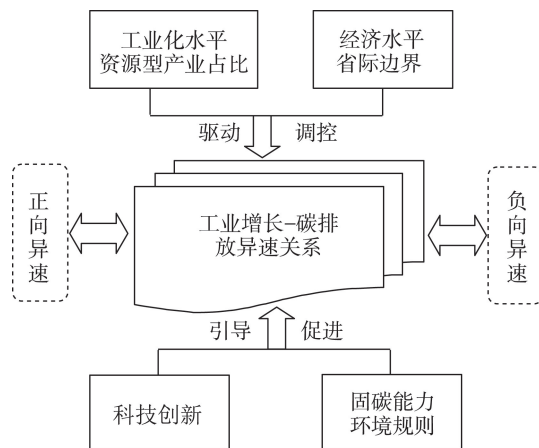


图5 工业增长-碳排放异速生长关系演化驱动机制

Figure 5 Driving mechanism of asynchronous growth between the size of industrial growth and CO₂ emissions

表4 不同影响因素对淮海经济区工业增长-碳排放异速关系的影响系数均值

	Economic Zone						
	工业化水平	经济水平	技术创新	环境规制	资源型产业占比	固碳能力	省际边界
2000—2010年	0.37802	-0.00001	117.77628	0.01689	0.08024	0.43490	0.04500
2010—2020年	-72.20523	0.00154	3961.47376	109.45416	-33.96021	17.23347	-18.41461

3.2.2 工业增长-碳排放异速生长影响因素作用的空间异质性

图6、图7显示,各个因素对淮海经济区工业增长-碳排放异速关系影响作用呈现出明显的区域差异,具体特征如下:

从工业化水平的影响看,工业化对研究区域工业增长-碳排放异速关系的影响作用整体上呈现出

北高南低的分异特征。究其原因在于进入21世纪以来县域工业化快速推进,工业高速增长推动经济规模扩张的同时也带来了碳排放污染的加剧,特别是沿海和资源丰富的淮海经济区东部县域更是如此,由此使得工业化水平对工业增长-碳排放异速生长关系的影响作用程度呈东北高西南低的差异;近10年来随着中国经济进入新常态以及生态工业

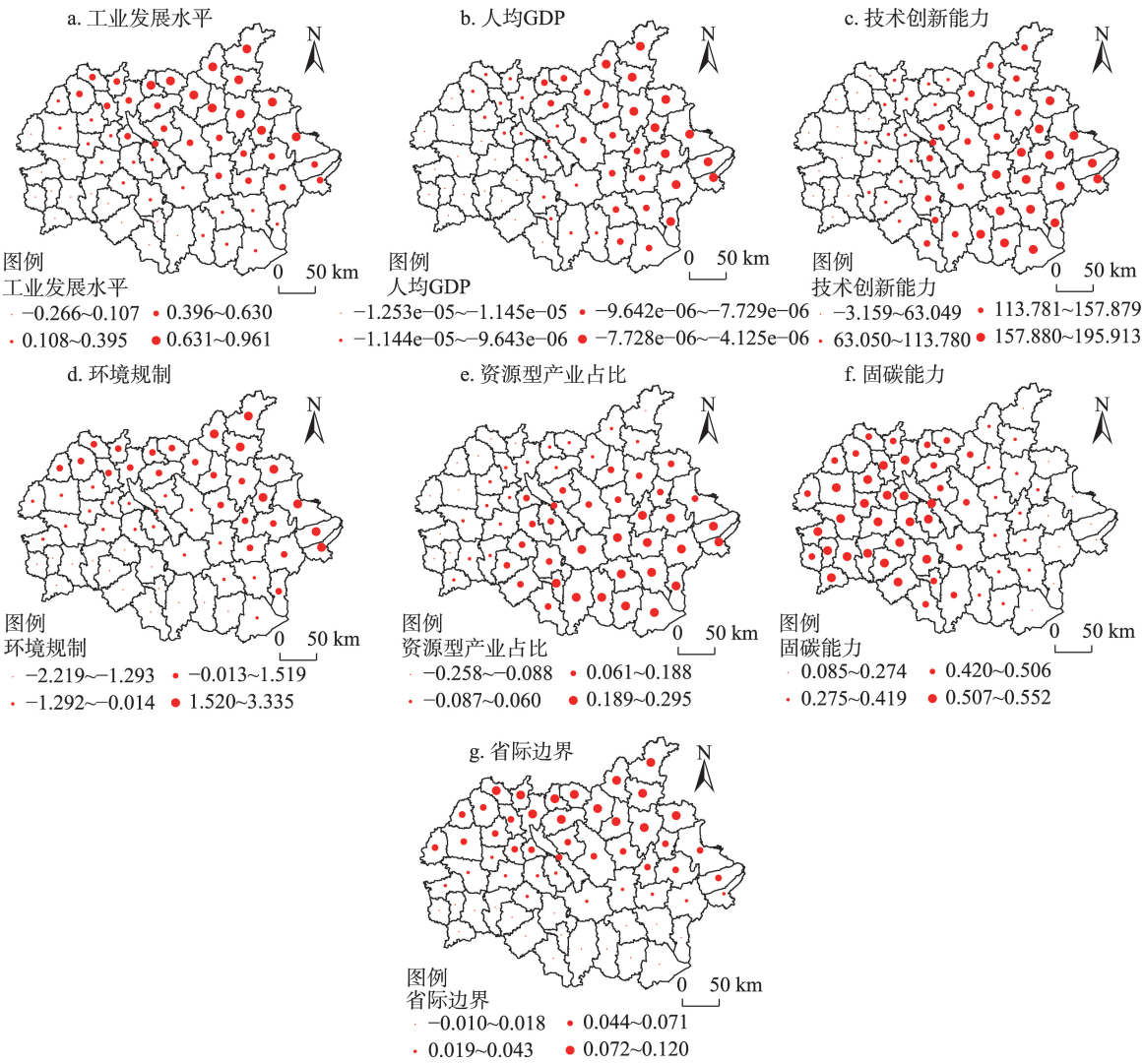


图6 2000—2010年时空地理加权回归系数的空间分异格局

Figure 6 Spatial patterns of coefficients of the spatiotemporal geographically weighted regression, 2000-2010
注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

2024年1月

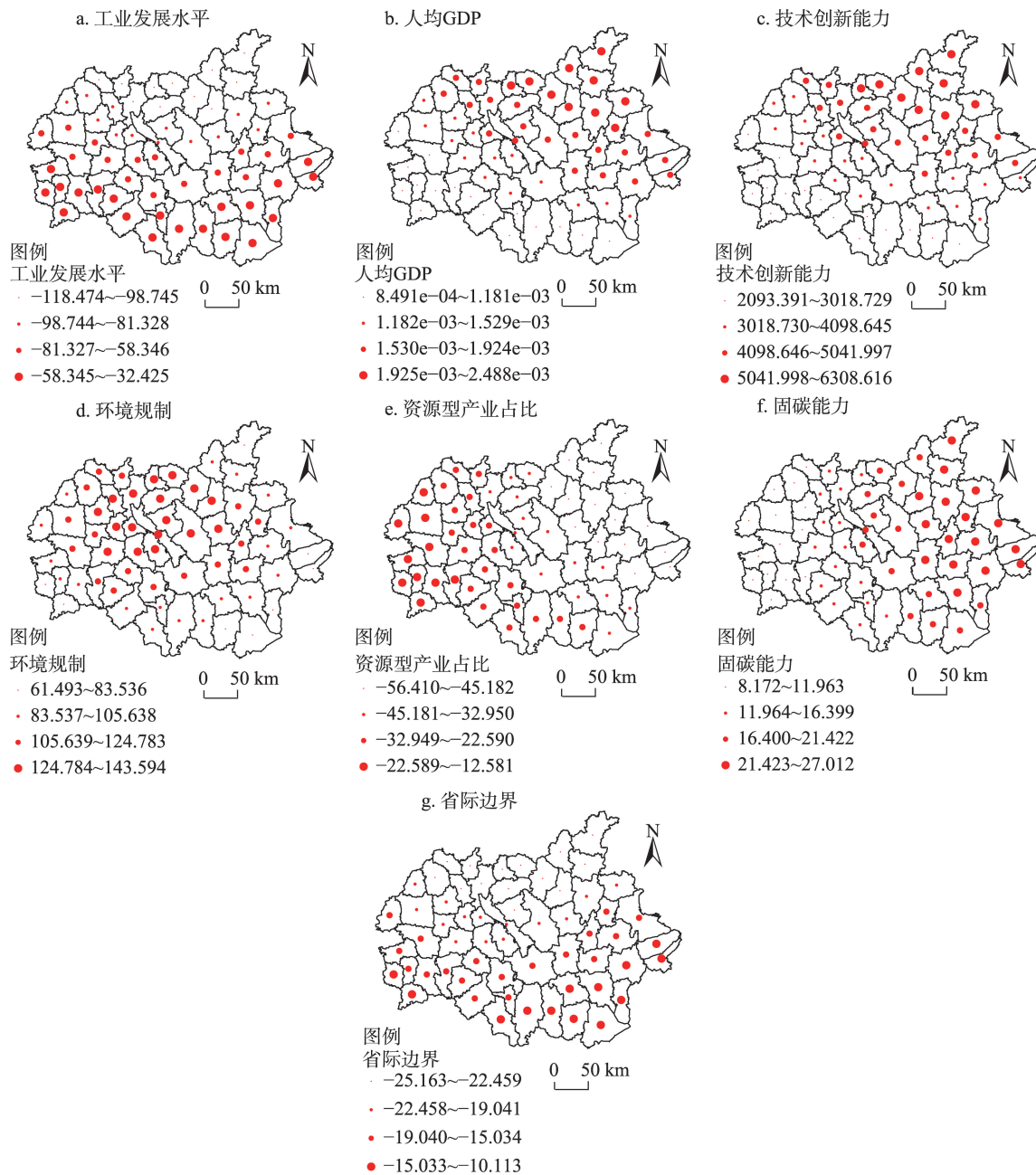


图7 2010—2020年时空地理加权回归系数的空间分异格局

Figure 7 Spatial patterns of coefficients of the spatiotemporal geographically weighted regression, 2010-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图无修改。

园区建设的实施,工业化对工业增长-碳排放异速关系的影响减弱,且南北差异明显。

从经济水平的影响看,2000—2010年经济水平对工业增长-碳排放异速增长关系的影响强度表现出由西向东递减的趋势,2010—2020年则表现出由东北向西南递减的趋势。整体上来看,研究期间淮海经济区东北部经济水平对工业碳排放的正向影响要大于西南部经济水平的影响,主要原因可能在

于苏北、鲁南等地区经济发展水平整体要高于皖北、豫东等地区,导致对能源消费较高,促进了工业碳排放的增加。

从技术创新能力的影响看,技术创新对工业碳排放影响也具有多面性,淮海经济区为资源密集型区域,经济相对落后,技术创新更多的用来提高生产效率,而对绿色技术等方面相对有所欠缺,导致科技进步成为了淮海经济区工业碳排放异速增长

的主要驱动力。因此,整个研究期内技术创新对碳排放异速增长系数影响均值为正。但空间差异变化显著,技术创新影响显著区域由东南部向北部转移。究其原因可能在于苏北地区早期技术创新水平相对较高,随着技术的发展和应用规模的扩大,其影响逐渐趋于稳定化并逐渐降低,而鲁南等地区技术创新能力对碳排放的影响逐渐增强。

从环境规制的影响看,2000—2010年环境规制对碳排放异速增长系数影响均值为正,从北向南表现出由负向影响转变为正向影响。2010—2020年环境规制对工业增长-碳排放异速增长系数影响均值为正,影响强度表现出由东北向西南递减的趋势。总体而言,环境规制对工业增长-碳排放异速增长关系起促进作用,可能在于政府驱动的工业污染治理的相关对策和措施得到有效的落实,虽然纠正了企业行为给生态环境带来的负外部性,但工业发展依然较快,造成工业增长-碳排放异速现象明显。

从资源型产业占比的影响看,2000—2010年资源型产业占比对工业增长-碳排放异速关系空间上自东南向西北逐渐由正向促进影响转变为负向抑制影响。2010—2020年资源型产业占比对碳排放异速增长系数影响均值为负,影响强度表现出由东北向西南递减的趋势。随着淮海经济区工业转型发展,非资源型产业快速发展,资源型产业在国民经济中的比例逐渐下降,对工业增长-碳排放异速生长关系指数的影响逐渐由正向促进作用转变为负向抑制作用。此外,从空间上看,苏北、鲁南地区再生型资源型城市较多,再生型资源型城市基本摆脱了资源依赖,并致力于优化资源配置和利用方式,充分发挥资源的效益,因此,对工业碳排放的抑制性强度逐渐加强,而豫东、皖北主要为衰退型或成熟型资源型城市,资源型产业比重仍然较高,虽然近年来比例不断下降,但对工业碳排放的抑制仍然弱于苏北、鲁南等地区。

从固碳能力的影响看,2000—2010年固碳能力对工业增长-碳排放异速增长的影响强度表现出由西向东递减的趋势,主要由于淮海经济区京沪线以西地区以农业为主,农业生态化提高了区域生态承载力,增强了碳吸收功能,进而加剧了工业增长-碳

排放异速生长关系,显示固碳能力对二者异速关系的较强影响作用。2010—2020年固碳能力对碳排放异速增长系数影响均值为正,影响强度表现出由东向西递减的趋势。其原因是低碳城市、美丽乡村建设、低碳生活方式的深入推进,尤其是枣庄、临沂、济宁、徐州等资源型城市工业的转型升级,推动了淮海经济区东部工业绿色化发展,降低了碳源水平,提升了碳汇能力,造成固碳能力对淮海经济区东部工业增长-碳排放异速生长关系的影响强于西部。

从省际边界的影响看,2000—2010年省际边界区域对工业碳排放异速生长关系指数影响强度较大的县域主要集中在鲁南、豫东。2010—2020年,省际边界区对工业碳排放异速生长关系指数影响强度较大的县域主要集中在苏北、皖北。省际边界是不同省份之间要素流动的枢纽,2000—2010年苏鲁边界、豫鲁边界等受省域行政利益的影响,驱使东陇海以北的县域工业结构趋同,县域工业利益的驱动,工业经济高速发展,使得工业增长-碳排放异速关系显著,而经济进入新常态以来,生态文明建设持续推进,苏北、皖北工业结构层次高级化加快,因此,2010—2020年省际边界对苏北、皖北工业增长-碳排放异速关系影响明显较强。

3.3 淮海经济区协同发展与工业-碳排放异速生长的关联机制

3.3.1 区域协同发展对工业增长-碳排放异速生长的影响

协同发展是促进省际边界区域科学发展的重要路径。淮海经济区作为中国典型的省际边界区域,经济规模快速扩大,经济活力较强,但区域碳排放和生态环境破坏问题较为严重。省际边界区域协同发展过程中,淮海经济区工业-碳排放异速生长面临机遇与挑战并存的契机。1986年淮海经济区经济开发联合会成立以来,淮海经济区协同发展持续推进,至2018年淮海经济区协同发展座谈会召开,表明淮海经济区高质量协同发展是一个不断优化的过程。2000—2010年淮海经济区经济合作程度较低,毗邻省份之间产业、资金、技术、人才等要素流动不畅,相邻省份在交通、环境、社会、产业等方面各自为政,以邻为壑,统筹发展困难,区域生态

2024年1月

环境联防联控机制尚未形成。此种发展环境下,淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系也发展演化,2000—2010年淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系空间差异明显,但以负向异速类型为主,2000—2006年淮海经济区工业增长速度低于碳排放增速的情况,碳排放激增加剧环境污染。之后,随着区域合作的深入推进,2010年淮海经济区核心区城市市长联席会议的召开标志着淮海经济区协同发展进入新的探索阶段,特别是2018年《淮海经济区协同战略合作框架协议》的签署,促使产业、交通、环境、社会4个领域的区域协同发展迈入高质量发展新时期,但受国际发展环境不确定性增加的影响,淮海经济区工业发展滞缓,工业碳排放相对增长较快,工业增长-碳排放异速生长指数下降,但空间上仍以负向异速为主,工业碳排放异速生长关系趋于协调。

3.3.2 工业增长-碳排放异速生长对区域协同发展的影响

工业与环境之间矛盾冲突是区域经济环境协调发展问题的核心,也是区域工业可持续发展面临的紧迫问题。淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系一直维持正向异速特征,但异速生长指数显示出先升后降再升再降的演化趋势。2000—2010年淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系先升后降,整体上工业增长与碳排放协调性趋于改善,为区域协同发展深入推进提供了一定的实践探索。同期,徐州都市圈、济宁都市圈等规划的实施,推动了中心城市与外围地区之间要素有序流动,说明工业增长与碳排放异速生长关系优化为区域协同发展提高了新支撑,工业与碳排放的协同治理推进了淮海经济区经济高质量协同发展。此时期,淮海经济区县域工业化进入快速发展期,一批技术含量低、污染重的企业转入,引发了该区域工业碳排放异速生长关系的变化,产业转入县域的工业增长-碳排放异速关系恶化。2000—2010年宿迁市区、宿州市区、灌南、濉溪、萧县、民权、柘城、宁陵8个县域为正向异速生长类型,这些县域经济发展水平相对较低,处于工业化初期向中期过渡阶段,工业结构层次不高,污染严重,经济联系的密切大大促进了区域协同发展。随着生态文明建设的推进和新发展理念贯彻,促进淮海经济区经济高质量

发展成为战略选择。徐州、枣庄2市被列为国家可持续发展创新示范区,一方面推动经济转型、产业转型,促使2010—2020年淮海经济区工业增长与碳排放趋于协调,另一方面,区际联系的密切,加深了区域协同发展。近年来,淮海经济区高质量发展的推进,工业增加值占比呈下降趋势,工业规模扩张减缓,同时环境规制的完善,共同促使工业增长-碳排放异速生长关系改善。

3.3.3 区域协同发展与工业增长-碳排放异速生长的互动作用机制

在推进淮海经济区高质量协同发展进程中,既要发挥政府调控(行政力)的作用,又要发挥市场在资源配置中的决定作用即市场力的作用;既受到对外开放作用(外推力)的影响,也受到内部发展基础(内源力)的制约。大力推进市场的一体化是实现淮海经济区高质量协同发展的关键所在,只有建立一体化的市场机制才能解决好不同利益主体之间的冲突。政府调控是推进区域协同发展的重要保证,政府在碳排放治理和减碳责任落实方面具有调控保障作用,为高质量协同发展营造良好环境,弥补市场失灵问题。对外开放体现了淮海经济区发展从外部获取资源要素的能力,以体现产业升级的推动能力;内部基础是淮海经济区的产业基础、资源禀赋是区域发展的基础支撑,反映了区域发展的内源动力。工业增长的市场支配力与碳排放治理的政府主导力的错位、工业发展的开放程度与基本支撑保障能力的失调造成了淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系空间异质性。

淮海经济区工业增长-碳排放异速关系的时空差异说明,即使各县域碳排放增速低于工业增长增速,也可能因区域协同发展程度低,碳排放的跨区域协同治理机制不健全,甚至造成个别县域工业碳排放加剧现象。从驱动因素看,工业动力(工业化水平)、碳排放动力(资源型产业占比)、制度动力(省际边界)3方面对工业增长-碳排放异速生长的影响由正向促进变为负向制约,表明协同发展初期,受行政力和市场力的切变作用的影响,使得跨省级行政区域产业趋同,资源、技术、资金、人口、市场等要素配置协调能力差;而创新动力(技术创新)、制度动力(环境规制)、碳排放动力(固碳能力)等因素在研究期内对异速生长关系的影响持续保

持正向促进作用,显示出技术创新、环境规制、碳汇能力的行政分割,环境治理区域协同能力较弱,造成工业快速发展引发碳排放加剧等系列问题。随着区域高质量协同发展的深化,交通、产业、环境、社会成为淮海经济区协同发展重点领域,随之资源要素的区域协同配置利用能力不断提升,工业碳排放治理的空间协同能力逐渐增强,工业增长与碳排放异速生长关系趋于改善。

随着经济新常态、中美冲突、新冠疫情、俄乌战争等经济政治不确定性的增加,共同富裕下一省域内产业加速向欠发达的省际边界区域转移的新形势,面对稳增长调结构与减碳减污的“两难”选择,以及省际边界区域相邻省份工业布局、环境治理“行政分割、以邻为壑”矛盾,在这种行政力与市场力、外推力与内源力相互交织、共同作用下,建立资源共用、设施共享、环境共治的协同发展机制,深入实施区域高质量协同发展战略,是破解省际边界区域的资源高效利用、碳排放治理等工业增长-碳排放异速生长关系产生问题的战略选择。

工业增长-碳排放异速生长关系问题催生了省际边界区域协同发展,省际边界区域协同发展的推进也有助于工业增长-碳排放异速关系的优化,工业增长-碳排放异速生长关系的改善又加速了省际边界区域协同发展进程,省际边界区域协同发展与工业增长-碳排放异速生长互相制约、互相关联(图8)。在淮海经济区高质量协同发展深入推进过程中,工业增长-碳排放异速关系不断演化,折射出行政力与市场力、外部力与内源力、工业动力与碳排放动力、制度力与创新力相互交织博弈。因此,平

衡各种驱动力之间关系,构建发展合力,成为省际边界区域高质量协同发展面临的紧迫问题。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以县域为研究单元,研究了2000—2020年淮海经济区工业增长与碳排放异速生长关系特征,并采用时空地理加权回归模型揭示了异速生长关系演化的影响因素,进而探讨了区域协同发展与工业碳排放异速生长的关联关系。主要结论如下:

(1)从脱钩、耦合协调、异速生长多维视角看,淮海经济区工业增长与碳排放之间关系有同向演化之势且碳排放规模扩张快于工业增长。脱钩视角看,研究期内淮海经济区工业增长与碳排放脱钩关系由弱脱钩演变为强负脱钩。处于脱钩状态的县域占比由54.24%下降到28.81%,空间上呈现向徐州、连云港等地级市市区集中之势。耦合协调视角看,二者之间的耦合协调性不断提高,极度及高度耦合协调类县域占比由18.64%提高到83.05%,工业化发展增速与碳排放趋于一致是其动因。异速生长视角看,2000—2020年工业增长-碳排放异速生长指数呈上升-下降-上升-下降变化历程,持续处于碳排放弱扩张阶段;空间上,淮海经济区绝大多数县域工业相对增速高于碳排放相对增速,40%以上的县域异速生长类型呈向下演变趋势。显示出工业发展下行是省际边界区域工业低碳发展面临的主要问题。

(2)淮海经济区工业增长与碳排放异速生长关系演化主要受工业化水平、经济阶段、技术创新、省际边界、环境规制、固碳能力等因子的共同影响。其中,技术创新、环境规制、固碳能力等因素对工业增长-碳排放异速关系变化呈正向促进作用且有增强之势。工业化水平、资源型产业占比、省际边界对工业增长与碳排放异速生长关系的影响由正向促进转为负向抑制。经济水平则呈先抑制后促进作用,但作用较弱。显示出工业转型及省际边界功能演化是省际边界区域工业碳排放异速关系优化的动力,而技术创新、环境规制和碳汇能力的区域差异则可能加剧二者之间的异速现象。

(3)工业增长的市场支配力与碳排放治理的政府主导力的错位、工业发展的外推力与内源力的失

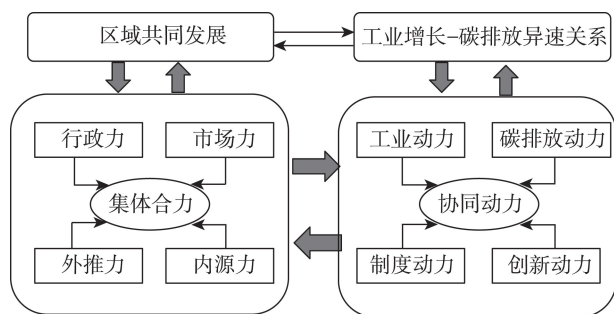


图8 区域协同发展与工业增长-碳排放异速生长关联关系

Figure 8 Bilateral relationships between regional integration and asynchronous growth

2024年1月

配引发了淮海经济区工业增长-碳排放异速生长关系的时空异质性。工业增长-碳排放异速生长催生了区域协同发展的战略需求,而区域协同发展的深入推进促进了省际边界区域工业增长-碳排放异速生长问题破解,区域协同发展与工业增长-碳排放异速生长相互关联、互促共进。随着淮海经济区高质量协同发展持续深化,省际边界区域工业增长-碳排放异速生长关系可能趋于优化,从而促使区域协同发展加速推进。

4.2 讨论

随着新发展理念的贯彻落实,中国经济社会发展进入高质量发展的新阶段,积极稳妥推进“双碳”目标的实现,破解工业增长与碳排放之间的矛盾冲突是促进区域可持续发展的关键路径。淮海经济区作为中国东部沿海资源型城市密集分布地区和全国主体功能区中的重点开发区域,对该区域工业增长-碳排放异速生长演化规律的研究,为推进区域发展方式转变、实现绿色低碳发展和淮海经济区高质量协同发展提供依据,也可为其他同类省际边界区域绿色发展提供实践借鉴。本文整合脱钩模型、异速生长模型研究淮海经济区工业发展与碳排放的关系,其中脱钩模型实际上指的是工业增长幅度与碳排放量变化程度的比值,反映的是碳排放变化对工业发展的敏感性。而异速生长模型实质上体现的是系统要素与要素之间或要素与整体之间相互作用相互制约的非线性关系,此模型被Naroll引入地理学研究之后,用以揭示区域经济与环境之间的定量关系。可见,脱钩模型与异速生长模型对淮海经济区工业经济增长与碳排放之间关系的揭示,可以相互补充、相互印证,而异速生长模型更能体现研究的系统思维。

伴随着长三角一体化、淮河生态经济带多种国家战略的叠加,淮海经济区进入协同发展的关键阶段,其核心是工业增长与降碳减污的协同发展,建议:一是以扭转工业发展下行的困境为着力点,大力发展先进制造业,提高资源利用效率,共建共享资源环境基础设施,大力开发、推广低碳绿色技术工艺,推动区域工业低碳转型,提升碳排放治理水平和能力。二是加快推进淮海经济区协同发展体制机制建设,积极探索省际边界区域工业分工机

制、交通共建共享机制,加快建立跨行政区域环境治理协同机制,促进省际边界区域工业可持续发展。三是参考长三角生态绿色一体化发展示范区,选取淮海经济区部分县域成立省际边界区域碳减排协同示范区,探讨省际边界区域工业发展与碳减排协同机制,推动一体化发展和碳排放减排的共同行动。四是淮海经济区是中国煤炭资源型城市集中分布区,资源型产业占比高,亟需合理评价工业增长的碳排放影响。

本文仅仅分析了该区域工业与碳排放异速生长时空异质性,而对不同异速关系类型的影响因素异质性分析不够,且对未来趋势研判不够。下一步将基于不同利益关系探讨省际边界区域工业-碳排放异速关系的区域机制,采用复杂网络分析方法开展省际边界区域工业与碳排放异速生长关系预测模拟,深化省际边界区域减碳协同机制研究。

参考文献(References):

- [1] 朱传耿,仇方道,孟召宜,等.省际边界区域协调发展研究[M].北京:科学出版社,2012.[Zhu C G, Qiu F D, Meng Z Y, et al. Study on the Coordinated Development of Interprovincial Boundary Regions[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [2] 刘海龙,张丽萍,王伟桥,等.中国省际边界区域城镇化空间格局及影响因素[J].地理学报,2023,78(6):1408-1426.[Liu H L, Zhang L P, Wang W Q, et al. Spatial structure and factors influencing county urbanization of inter-provincial border areas in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(6): 1408-1426.]
- [3] Sun C W, Ding D, Yang M. Estimating the complete CO₂ emissions and the carbon intensity in India: From the carbon transfer perspective[J]. Energy Policy, 2017, 109: 418-427.
- [4] Chang C T, Yang C H, Lin T P. Carbon dioxide emissions evaluations and mitigations in the building and traffic sectors in Taichung metropolitan area, Taiwan[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 230: 1241-1255.
- [5] Gössling S, Scott D, Hall C M. Inter-market variability in CO₂ emission-intensities in tourism: Implications for destination marketing and carbon management[J]. Tourism Management, 2015, 46: 203-212.
- [6] Duro, J A, Teixeira-Figueras J. World polarization in carbon emissions, potential conflict and groups: An updated revision[J]. Energy Policy, 2014, 74: 425-432.
- [7] 王少剑,苏泳娴,赵亚博.中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J].地理学报,2018,73(3):414-

428. [Wang S J, Su Y X, Zhao Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73 (3): 414-428.]
- [8] Rios V, Gianmoena L. Convergence in CO₂ emissions: A spatial economic analysis with cross-country interactions[J]. *Energy Economics*, 2018, 75: 222-238.
- [9] 刘华军, 邵明吉, 吉元梦. 中国碳排放的空间格局及分布动态演进: 基于县域碳排放数据的实证研究[J]. *地理科学*, 2021, 41 (11): 1917-1924. [Liu H J, Shao M J, Ji Y M. The spatial pattern and distribution dynamic evolution of carbon emissions in China: Empirical study based on county carbon emission data[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(11): 1917-1924.]
- [10] 郑航, 叶阿忠. 城市群碳排放空间关联网络结构及其影响因素[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(5): 2413-2422. [Zheng H, Ye A Z. Spatial correlation network structure and influencing factors of carbon emission in urban agglomeration[J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(5): 2413-2422.]
- [11] Ramli F A, Muis A M, Ho W S, et al. Carbon emission pinch analysis: An application to the transportation sector in Iskandar Malaysia for 2025[J]. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2019, DOI: 10.1007/s10098-018-1579-2.
- [12] Geels F. W, Sovacool B K, Schwanen T, et al. The socio-technical dynamics of low-carbon transitions[J]. *Joule*, 2017, 1(3): 463-479.
- [13] Wang C J, Miao Z, Chen X D, et al. Factors affecting changes of greenhouse gas emissions in Belt and Road countries[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, DOI: 10.1016/j.rser.2021.111220.
- [14] Li J B, Huang X J, Chuai X W, et al. The impact of land urbanization on carbon dioxide emissions in the Yangtze River Delta, China: A multiscale perspective[J]. *Cities*, 2021, DOI: 10.1016/j.cities.2021.103275.
- [15] 刘贤赵, 杨旭, 张国桥, 等. 碳排放空间依赖视角下环境分权的碳排放效应[J]. *地理科学*, 2021, 41(9): 1654-1666. [Liu X Z, Yang X, Zhang G Q, et al. Carbon emission effect of environmental decentralization from the spatial dependence perspective of carbon emissions[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(9): 1654-1666.]
- [16] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. *地理研究*, 2022, 41(1): 111-129. [Xu W X, Zhou J P, Liu C J. The impact of digital economy on urban carbon emissions: Based on the analysis of spatial effects[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 111-129.]
- [17] 李在军, 尹上岗, 姜友雪, 等. 长三角经济增长与碳排放异速关系及形成机制[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(6): 1507-1523. [Li Z J, Yin S G, Jiang Y X, et al. Analysis of allometric relationship and formation mechanism between economic growth and carbon emissions in the Yangtze River Delta[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1507-1523.]
- [18] 余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放EKC再检验: 基于门限回归的国别分组研究[J]. *中国工业经济*, 2016, (7): 57-73. [Yu D H, Zhang M Z. Resolution of “the heterogeneity difficulty” and re-verification of the carbon emission EKC: Based on the country grouping test under the threshold regression[J]. *China Industrial Economics*, 2016, (7): 57-73.]
- [19] Le H P, Ozturk I. 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*, 2020, 27: 22680-22697.
- [20] 于卓卉, 毛世平. 中国农业净碳排放与经济增长的脱钩分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(11): 30-42. [Yu Z H, Mao S P. Analysis of the decoupling of China's agricultural net carbon emissions from its economic growth[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(11): 30-42.]
- [21] 丁学谦, 吴群, 刘向南, 等. 土地利用、经济高质量发展与碳排放耦合协调度及影响因素: 来自中国282个地级市的经验研究[J]. *资源科学*, 2022, 44(11): 2233-2246. [Ding X Q, Wu Q, Liu X N, et al. Coupling and coordination degree of land use, high-quality economic development, and carbon emissions and influencing factors in China: An empirical study of 282 prefecture-level cities [J]. *Resources Science*, 2022, 44(11): 2233-2246.]
- [22] 杨青林, 赵荣钦, 胡月明, 等. 京津冀地区经济社会要素与碳排放的时空耦合关系[J]. *生态学报*, 2023, 43(9): 3458-3472. [Yang Q L, Zhao R Q, Hu Y M, et al. Spatial-temporal coupling relationship between economic and social factors and carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(9): 3458-3472.]
- [23] 尹上岗, 杨山, 龚海波. 长三角工业经济规模与污染排放异速关系及互动机制[J]. *地理学报*, 2022, 77(9): 2202-2218. [Yin S G, Yang S, Gong H B. The allometric relationship and interactive mechanism between the size of industrial economies and the emissions of industrial pollution in the Yangtze River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(9): 2202-2218.]
- [24] 任保平, 杜宇翔. 黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(2): 119-129. [Ren B P, Du Y X. Coupling coordination of economic growth, industrial development and ecology in the Yellow River Basin[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(2): 119-129.]
- [25] 徐丹丹. 碳中和与稳增长协同推进的机制设计与实现路径[J].

2024年1月

- 北京工商大学学报(社会科学版), 2023, 38(1): 77-87. [Xu D D. Coordinated advancement of carbon neutrality and steady growth: Mechanism and path[J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences), 2023, 38(1): 77-87.]
- [26] 张赫, 黄雅哲, 王睿, 等. 中国县域碳排放脱钩关系及其时空特征演变[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 744-755. [Zhang H, Huang Y Z, Wang R, et al. Decoupling and spatiotemporal change of carbon emissions at the county level in China[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 744-755.]
- [27] Song Y, Sun J J, Zhang M, et al. Using the Tapio-Z decoupling model to evaluate the decoupling status of China's CO₂ emissions at provincial level and its dynamic trend[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2020, 52: 120-129.
- [28] 查建平, 戴家权, 刘珂吉, 等. 旅游增长与碳排放脱钩状态及其驱动因素研究: 一个新的脱钩分析框架[J]. 旅游学刊, 2022, 37(4): 13-24. [Zha J P, Dai J Q, Liu K J, et al. Decoupling relationship between tourism growth and carbon emissions and the associated driving factors: A novel analytic framework[J]. Tourism Tribune, 2022, 37(4): 13-24.]
- [29] 仇方道, 孙莉莉, 郭梦梦, 等. 再生性资源型城市工业化与城镇空间耦合格局及驱动因素: 以徐州市为例[J]. 地理科学, 2018, 38(10): 1670-1680. [Qiu F D, Sun L L, Guo M M, et al. Spatial pattern and influence factors analysis on coupling and coordinating degree of industrialization and urban space of regenerative resource-based cities: A case of Xuzhou City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10): 1670-1680.]
- [30] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1299-1307. [Ma L, Jin F J, Liu Y. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environmental pollution in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(10): 1299-1307.]
- [31] 张晓东, 池天河. 90年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J]. 地理研究, 2001, (4): 506-515. [Zhang X D, Chi T H. Differentiating and analysis of the coordination degree between economic development and environment of provinces (regions) in China[J]. Geographical Research, 2001, (4): 506-515.]
- [32] Marshall J D. Urban land area and population growth: A new scaling relationship for metropolitan expansion[J]. Urban Studies, 2007, 44(10): 1889-1904.
- [33] Naroll R S, Bertalanffy L V. The Principle of Allometry in Biology and Social Sciences[M]. New York: General Systems Yearbook, 1956.
- [34] 李郇, 陈刚强, 许学强. 中国城市异速增长分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 399-407. [Li X, Chen G Q, Xu X Q. Urban allometric growth in China: Theory and facts[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 399-407.]
- [35] 孙在宏, 袁源, 王亚华, 等. 基于分形理论的江苏省城市规模分布与异速生长特征[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2163-2172. [Sun Z H, Yuan Y, Wang Y H, et al. Research on city-size distribution and allometric growth in Jiangsu Province based on fractal theory[J]. Geographical Research, 2011, 30(12): 2163-2172.]
- [36] 方晨晨, 蒋惠园, 陈莎雯, 等. 交通网络对湖北省经济联系驱动作用的空间异质性分析[J]. 经济地理, 2021, 41(7): 93-99. [Fang C C, Jiang H Y, Chen S W, et al. Spatial heterogeneity of the driving effect of transportation networks on economic connections in Hubei Province[J]. Economic Geography, 2021, 41(7): 93-99.]
- [37] Xu Y S, Dong Z Y Z, Wu Y. The spatiotemporal effects of environmental regulation on green innovation: Evidence from Chinese cities[J]. Science of the Total Environment, 2023, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162790.
- [38] 李硕硕, 李汝资, 刘耀彬, 等. 环鄱阳湖区县域城镇化对碳收支平衡的影响[J]. 地理研究, 2023, 42(8): 2245-2263. [Li S S, Li R Z, Liu Y B, et al. Impact of urbanization on carbon balance in the Poyang Lake Region[J]. Geographical Research, 2023, 42(8): 2245-2263.]
- [39] 冯一凡, 李翅, 李宇, 等. 黄河下游滩区周边城镇空间扩展特征与驱动机制[J]. 地理研究, 2023, 42(4): 955-976. [Feng Y F, Li C, Li Y, et al. Characteristics of urban land expansion and its mechanism of cities and towns around the floodplain of the Lower Yellow River[J]. Geographical Research, 2023, 42(4): 955-976.]

Evolution of the asynchronous relationship between interprovincial industrial growth and carbon emissions and its coordination mechanism : A case study of the Huaihai Economic Zone

QIU Fangdao¹, LIU Jibin², CHEN Ran³, ZHANG Xinlin³, TAN Juntao³

(1. College of Geographical Sciences, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 211200, China; 2. College of Architecture & Planning, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, China; 3. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: [Objective] In the context of synergistic pollution and carbon reduction, revealing the coupling relationship between industrial growth and carbon emissions based on different growth rates is crucial for promoting low- carbon development in interprovincial boundary regions. [Methods] This study focused on the Huaihai Economic Zone and used an industrial growth-carbon emission decoupling model to conduct the research. [Results] (1) During the study period, the decoupling relationship between industrial growth and carbon emissions had evolved from weak decoupling to strong negative decoupling. Counties in a decoupled state tended to be concentrated around central cities such as Xuzhou. The coupling coordination had continuously improved, with the proportion of highly coordinated and extremely coordinated counties increasing from 18.64% to 83.05%. (2) The industrial growth-carbon emission asynchronous growth index exhibited a pattern of rise-fall-rise-fall, consistently in the phase of weak expansion of carbon emissions. In terms of spatial distribution, the relative growth rate of most counties' industries exceeded the relative growth rate of carbon emissions, and over 40% of the counties showed a downward trend. (3) Factors such as technological innovation, environmental regulation, and carbon sequestration capacity had a positive and strengthening effect. The impact of factors such as industrialization level, the proportion of resource-based industries, and interprovincial boundaries on the asynchronous growth relationship changed from positive promotion to negative repression. Industrial transformation and the evolution of interprovincial boundaries were the main driving forces. (4) The mismatch between the market dominance of industrial growth and the government-led carbon emission control, as well as the mismatch between the external driving force of industrial development and the internal driving force, have caused spatiotemporal heterogeneity in the asynchronous growth of industrial growth and carbon emissions. This has also spurred the strategic demand for regional coordinated development, which is interconnected with and mutually influenced by the asynchronous growth. [Conclusion] Industrial low carbonization is the main path to promote the coordinated development of industrial growth and carbon emission, while the spatiotemporal coordinated evolution and development of industrial growth and carbon emission is conducive to boosting the low-carbon and green development of industry.

Key words: industrial growth; carbon emissions; asynchronous relationship; coordination mechanism; Huaihai Economic Zone