

长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展 耦合协调的时空演变及驱动因素

邝嫦娥¹ 李文意¹ 黄小丝²¹

(1. 湖南科技大学 商学院, 中国湖南 湘潭 411201;

2. 湖南工商大学 经济与贸易学院, 中国湖南 长沙 410205)

【摘要】: 以长江中游城市群为研究对象, 运用熵权法、耦合协调度、空间自相关及空间计量模型, 研究碳排放强度与经济高质量发展的耦合协调及驱动机理, 并考察分析 2005—2020 年二者耦合协调度的时空演变格局与驱动因素。结果显示: 首先, 理论研究发现碳排放强度与经济高质量发展水平之间存在互相影响、互相约束的耦合协调关系, 并且二者耦合协调度的驱动因素包括环境规制、技术创新、对外开放、经济基础、人力资本以及产业结构。其次, 实证研究发现: ①碳排放强度逐年递减, 经历了“缓慢递减—快速递减”的时序演变进程; 经济高质量发展水平表现出波动增长的趋势, 短期内出现“倒 V”型演变特点。②碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度以轻度、中度协调类型为主, 大部分地区耦合协调度呈上升趋势, 个别地区存在回落现象, 空间上环鄱阳湖城市群以及环长株潭城市群部分地级市整体的耦合协调度高于武汉城市圈, 并在研究期间内三大城市群的耦合协调度差距呈逐渐缩小的态势。③长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度存在显著的空间效应, 而各驱动因素同样对相邻地区的耦合协调度产生影响, 其间接效应明显。最后, 在发挥双向互动作用、打造特色发展路径以及优化区域合作协调关系等方面提出相关政策建议。

【关键词】: 碳排放强度 经济高质量发展 长江中游城市群 耦合协调度 驱动因素 环境规制 技术创新

【中图分类号】: F062.2 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 08-0030-11

生态环境与经济社会是一个互相约束、互相整合的耦合系统, 正确处理环境、资源、经济和社会的发展关系, 是实现城市群绿色经济转型、推进可持续发展和建设生态文明社会的重大问题之一。2022 年, 国务院正式批复《长江中游城市群发展“十四五”实施方案》, 明确提出到 2025 年长江中游城市群协同发展取得实质性进展, 生态环境质量明显改善, 支撑长江经济带发展、中部地区崛起乃至全国经济高质量发展能力显著增强的目标。同时, 长江中游城市群作为推动中部地区发展的特大型城市群, 仍然存在省际协商协作机制不健全, 一体化发展水平偏低; 中心城市对周边辐射带动不足, 次级城市发展相对缓慢; 长江污染治理基础还不牢固, 绿色低碳转型任务繁重等问题。面对新时期长江经济带整体实现“碳达峰、碳中和”与经济高质量发展的双重战略目标, 深入挖掘驱动碳排放与经济高质量发展的主要因素, 有效推进碳排放强度与经济高质量发展耦合协调, 是创建长江中游城市群绿色发展先行区, 破解生态安全格局与实现经济高质量发展的关键途径。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (42071161); 湖南省自然科学基金面上项目 (2021JJ30282); 湖南省哲学社会科学规划一般项目 (XSP20YBC051); 湖南省教育厅科学研究优秀青年项目 (18B212)

作者简介: 邝嫦娥 (1979—), 女, 湖南郴州人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为经济地理与绿色发展。E-mail: kuangchange@163.com

涉及碳排放强度与经济高质量发展的相关研究主要有三条线索：一是碳排放与经济增长之间的关系。经济社会快速发展离不开“高能耗、高污染”的环境代价，国外学者在环境库茨涅兹曲线的基础上提出碳排放库茨涅兹曲线，学者们运用多种方法手段对碳排放库茨涅兹曲线进行检验，并未取得一致结论，国内外大部分学者赞成碳排放库茨涅兹曲线的存在性^[1-3]，Stokey 运用效用函数对比碳排放带来的正向效益与负向产出得出碳排放与经济增长之间呈倒 U 型关系^[4]。另外有学者反对碳排放满足 EKC 的“倒 U 型”假说^[5-7]，何小钢等利用动态面板数据检验工业 CKC 呈 N 型^[8]，Ni 等研究发现经济增长与温室气体排放呈 N 型关系^[9]，施锦芳等给出中国碳排放库茨涅兹曲线呈倒 N 型的经验证据^[10]。二是碳排放与绿色发展之间的关系。任亚运等研究发现碳减排目标有助于推动地区绿色发展^[11]，湛莹等构建随机前沿模型证明随着碳排放增加，将会通过扩大技术无效率项降低绿色全要素生产率^[12]，王留鑫等从农业全要素生产率角度证明了在碳排放强度相对低的地区，绿色全要素生产率相对高^[13]，陈超凡等通过对中国工业绿色增长进行模拟，得出在 2040 年工业各行业达到碳排放峰值是最佳的节能减排路径^[14]。三是碳排放与经济发展耦合关系。一方面，学者们分别从旅游业碳排放、交通碳排放、能源消费碳排放以及碳排放效率等不同视角分析碳排放与经济增长之间的耦合作用^[15-17]。另一方面，学者们进一步探索了碳排放与新型城镇化、环境保护、区域创新、产业结构升级等经济发展之间的交互耦合关系^[18-22]。此外，也有学者借助空间地理模型分析了环境系统与经济系统耦合协调度的时空演变格局，发现两者耦合协调度存在明显时空异质性，呈现随机分布趋势，并且空间分布变化较小^[23-25]。

梳理文献可见，现有研究成果主要集中于碳排放对经济增长、绿色发展的单向影响作用，以及探索碳排放与经济发展某个维度的耦合关系。高质量发展作为我国新的发展战略，远比经济发展单一维度具有更为深刻的内涵。考察碳排放强度与经济高质量发展的复杂关系，仍有以下两点亟待解决：①碳排放强度与经济高质量发展之间双向影响研究不足，对两者耦合协调机理的理论研究有待加强；②碳排放强度与高质量发展耦合协调度的空间格局及驱动因素实证研究尚较为缺乏，仍有待补充。基于此，本文运用熵权法、耦合协调度、空间自相关与空间计量模型，测算分析 2005—2020 年长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展水平，并对碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度及其时空演变格局和驱动因素进行综合分析，为减少温室气体排放、提高长江中游城市群经济高质量发展提供借鉴参考，对实现“双碳”目标与高质量发展战略具有重要现实意义。

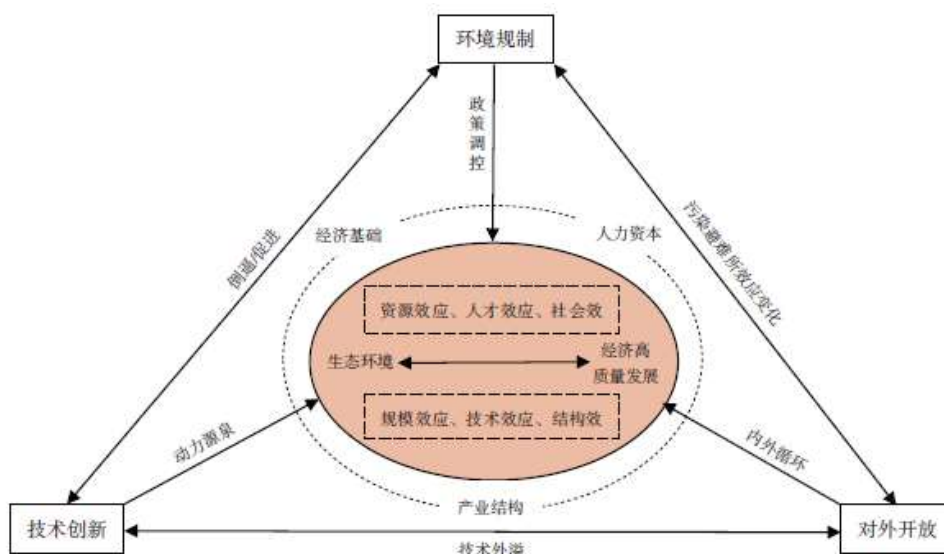
1 耦合协调及驱动机理解析

耦合是指两个或者两个以上的系统彼此影响的现象，按照耦合理论，碳排放强度与经济高质量发展之间的耦合关系可以看作是生态环境与经济高质量发展系统各要素的相互约束、相互胁迫关系的客观表征。

一方面，碳排放强度通过生态环境进而影响经济高质量发展。碳排放强度是影响生态环境质量的关键因子，生态环境对经济高质量发展的影响效应有：①资源效应。自然资源是发展的物质保障，生态污染使得生产生活所需的自然资源受限，从而降低资源有效使用率。同时，自然资源被破坏，也将冲击地区旅游市场，对旅游所带来的经济效应和结构产生严重的负面效应^[26]。②人才效应。生态环境恶化导致社会公众健康成本提高，社会劳动力净流出风险上升。另外，由于受教育程度越高的人群对生活质量要求更高，这将直接影响地区引进高素质人才和挽留原有高技术人才，也将间接影响地区的人力资本积累与整体技术水平^[27-28]。③社会效应。生态环境质量与社会生活密切相关，大气污染等气候变化会严重影响人民生活质量、大大加剧地区污染，且从生理和心理两个方面影响劳动者的工作时间和工作效率，进而影响整个社会生产效率，导致经济发展质量降低^[29]。

另一方面，经济高质量发展对生态环境产生影响作用，影响效应有：①规模效应。伴随经济增长质量提升，社会投入与产出大幅增加，大规模生产工厂与产业集群的出现为生产要素的集中提供必要前提。另外，规模效应也导致更多的资源消耗与污染排放，单位产出的污染排放量增加，对生态环境产生显著负面影响。②技术效应。经济发展水平越高的地区和国家，更愿意也更有能力支付研发投入，实现清洁技术创新。根据内生增长理论，技术进步能够显著提高生产要素资源的利用效率，降低自然资源损耗，从而提高生态环境质量^[30]。③结构效应。综合考察长江中游城市群经济发展历程，经济结构重心表现出由农业转向工业，工业转向服务业的过程。经济结构转变带来能源密集型产业向技术密集型产业转型，形成一批“低污染、低能耗”行业或者企业，有利于整个社会发展“低投入、高产出”绿色经济。

厘清碳排放强度与经济高质量发展之间的耦合协调机制后, 进一步研究二者耦合协调发展的驱动因素, 从外在驱动力与内在驱动力两个方面剖析影响碳排放强度与经济高质量发展耦合协调发展因素。



内在驱动力方面,首先,经济基础与碳排放强度、经济高质量发展之间存在着紧密联系,一方面碳排放库兹涅兹曲线证明了经济增长与环境污染之间的复杂关系;另一方面,经济增长的水平必然对经济高质量发展产生直接或间接影响。其次,人力资本是实现低碳转型、经济发展的关键和主体,人口红利在促进经济发展实现内生性增长的同时,也具有显著的空间溢出性^[37],另外,伴随着人力资本积累,地区能源消费需求增加,导致碳排放密度增大^[38]。最后,产业结构演进不仅反映了地区经济增长和发展模式的转变,而且产业结构调整也成为改变高能耗、高污染产业的重要举措之一^[39-40]。

2.1 变量选取与构建

由于缺乏官方统计公布的碳排放数据,一般采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)提供的公式计算温室气体排放数据。本文借鉴李新安的方法^[41],考虑生产端能源消费所产生的温室气体排放,选择原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等八种能源,将其作为终端消费并根据消费量计算碳排放量(CE)。同时,利用各地区碳排放量与地区 GDP 的比值,

即单位 GDP 的 CO₂ 排放量表示地区碳排放强度（CI）。

$$CE = \sum_{i=1}^n CO_{2ijt} = \sum_{i=1}^n M_{ijt} \times K_j \quad (1)$$

$$CI_{it} = CE_{it} / GDP_{it} \quad (2)$$

式中：t 为年份；i 为地区；j 为能源；CE 为 CO₂ 排放量；CI 为碳排放强度；M 为能源消费量；K_j 为 CO₂ 排放系数。

2.1.2 区域经济高质量发展水平评价

目前学术界关于经济高质量发展的内涵还未形成共识，测算的指标方法多样，单一指标难以反映经济高质量发展的真实内涵，基于党的十八届五中全会提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念，借鉴马茹、杨耀武等^[42-43]的研究成果构建区域经济高质量发展水平指标评价体系，利用熵值法测算长江中游城市群经济高质量发展的综合指数 HQ。

2.1.3 驱动因素选择

鉴于以往研究与驱动机理分析，基于外在驱动力与内在驱动力两个方面，分析长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调程度的驱动因素。主要驱动因素选择具体为：

①环境规制（ER）借鉴钟茂初等^[44]研究方法，具体从工业污水处理率、生活垃圾无害化处理率、工业废物利用率三个方面构建指标体系进行衡量；②技术创新（TE）与地区研发投入直接挂钩，使用地区 R&D 支出占财政支出的比例衡量；③对外开放（OP）使用地区实际利用外资总额占地区 GDP 的比例进行衡量；④经济基础（EC）使用人均 GDP 进行衡量；⑤人力资本（PP）使用人口密度进行衡量；⑥产业结构（IN）产业结构水平的高级化有助于提升资源配置效率和生产效率，使用第二产业生产总值占 GDP 比例进行衡量。

2.2 研究方法

2.2.1 耦合协调度模型

物理学中的耦合度常被用于度量两个或者两个以上的模块之间信息和参数的依赖度，构建碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度模型，用以研究两者的协同效应，具体公式如下：

$$C = \sqrt{\eta_1 + \eta_2} / (\eta_1 + \eta_2) \quad (3)$$

$$T = \alpha\eta_1 + \beta\eta_2 \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (5)$$

式中： η_i ($i=1,2$) 分别表示碳排放强度水平和经济高质量发展水平；C 表示碳排放强度与经济高质量发展的耦合度；T 为综合协调指数；D 为耦合协调度； α 、 β 分别为碳排放与经济高质量发展的贡献份额，考虑在社会发展进程中，减少 CO2 排放与促进经济高质量发展同等重要，故设定 $\alpha = \beta = 0.5$ 。根据以往研究成果与实际情况，依据耦合协调度 D 的大小，将碳排放强度与经济高质量发展的耦合协调类型细分为 6 类。

2.2.2 空间自相关模型

全域自相关检验是检验空间相邻的区域单元属性值，一般通过全局 Moran's I 测度空间自相关，测度方法如式 (6)：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

局部 Getis-Ord 指数 G 用于测度某区域 i 附近的空间聚集情况，可用于考察某区域是否为冷点或热点区域，计算公式为：

$$G_i = \frac{\sum_{j \neq i}^n w_{ij} x_j}{\sum_{j \neq i}^n x_j} \quad (7)$$

式中： x_i 、 x_j 为研究第 i、j 个城市数据的空间序列； w_{ij} 为空间权重矩阵的元素值，借鉴邵帅等^[45]引入经济距离权重矩阵，使用 2005—2020 年区域间人均 GDP 年均值绝对差额的倒数作为测量城市间“经济距离”的指标。全局 Moran's I 取值范围一般在 $[-1, 1]$ 之间，全局 Moran's I 的取值表现了碳排放强度与经济高质量发展水平耦合协调度的不同相关关系，局部 Getis-Ord 指数 G 可以反映局部“高一高”或者“低—低”的聚集现象。

2.2.3 空间计量模型

根据碳排放强度与经济高质量发展耦合协调的驱动机理分析，在研究碳排放强度与经济高质量发展耦合协调关系的驱动因素时无法忽略其中的空间关联关系，采用空间计量模型作为研究驱动因素空间效应的分析工具。空间杜宾模型 (SDM) 同时考虑了空间滞后模型 (SAR) 和空间误差模型 (SEM)，构建碳排放强度与经济高质量发展耦合协调关系驱动因素的空间杜宾回归模型如式 (8)：

$$D_{it} = c_0 + \delta \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot D_{jt} + \beta_1 \cdot X_{it} + \alpha_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot X_{jt} + \mu_t + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中： δ 表示碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的空间溢出系数；n 为研究样本数量；i, j 表示第 i, j 个城市； X_{it} 表示本地区驱动因素； X_{jt} 表示相邻城市驱动因素； w_{ij} 表示空间权重矩阵； β_1 、 α_1 表示相关变量对碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的线性相关系数与空间溢出系数； μ_t 表示时间固定效应； λ_i 表示个体固定效应； ε_{it} 表示为随机干扰项。

2.3 数据说明

鉴于武汉城市圈中的仙桃市、天门市和潜江市的数据缺失严重，基于数据可得性和完整性，选取长江中游城市群 28 个地级市作为研究对象。相关数据来源于 2006—2021 年《中国城市统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》和各城市统计年鉴以及 2005—2020 年的国民经济和社会发展公报和环境状况公报，对于统计口径不同的数据已进行换算处理，并且少部分缺失数据使用线性插值法进行补充。

3 时空演变格局分析

3.1 碳排放强度与经济高质量发展水平分析

如图 2 所示，2005—2020 年长江中游城市群碳排放强度在研究期间呈现逐年递减的趋势，整体来看，长江中游城市群碳排放强度从 2005 年 0.927 下降至 2020 年的 0.871，并且易知 2005—2013 年相较于 2014—2020 年的碳排放强度降低幅度更小，可能原因是长江中游城市群在发展初期以“经济增长”为导向，伴随经济快速增长，碳排放量也保持同等速率的增长，碳排放强度呈现较为平稳趋势。统计数据显示，2012 年长江中游城市群 GDP 达到 60262.52 亿元，分别占中部的 51.73%、全国的 11.6%，经济保持稳中向好的趋势下，长江中游城市群将发展视角转移至“绿色可持续”。同时，2005—2020 年长江中游城市群经济高质量发展水平呈现波动增长的趋势，由 2005 年的 0.138 增长至 2020 年的 0.232。同时在 2008—2010 年期间表现出“倒 V”型的特征，长江中游城市群经济高质量发展水平表现出大幅上升后下降的趋势，可能原因在于 2008 年国际金融危机爆发，我国出口遭受重大打击，中央政府在此之际推出应对国际金融危机的一揽子计划，期以扩大内需，因此在 2008—2009 年期间长江中游城市群经济高质量发展水平快速提升，但是此时长江中游城市群工业化发展水平尚未成熟，到了 2009—2010 年无法高效消化计划带来的经济增长效应，以至于经济高质量发展水平出现回落。

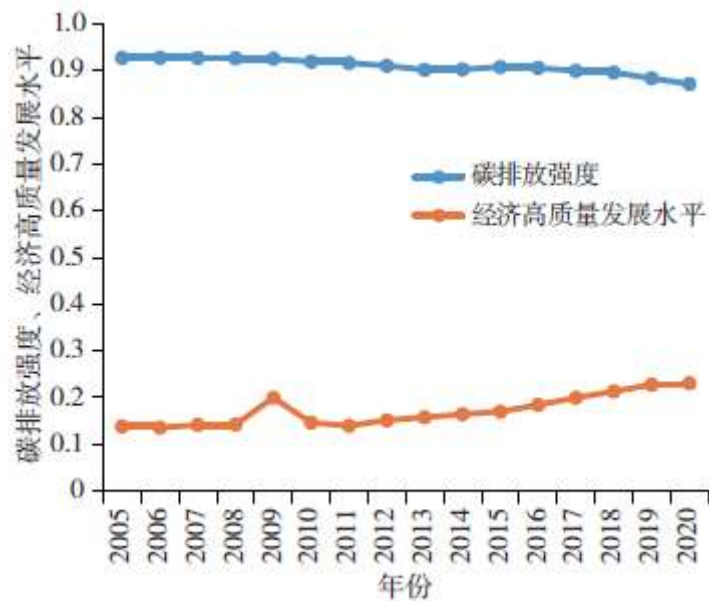


图 2 碳排放强度与经济高质量发展水平时序变化特征

3.2 碳排放强度与经济高质量发展水平耦合协调度时空演变

3.2.1 时序演变趋势

依据耦合度、协调度计算公式，测算得出长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展水平的耦合协调度趋势（图 3）。在

经济发展的不同阶段以及不同区域内，环境质量与经济质量发展趋势不尽相同，而碳排放与经济高质量发展耦合协调的程度存在差异。从长江中游城市群整体层面来看，耦合协调度呈现“平稳—波动—缓慢增长”的变化特征，第一阶段（2005—2007年）耦合协调度大致保持平稳水平；第二阶段（2008—2010年）耦合协调度出现波动，呈现“倒V”型，在这一阶段长江中游城市群碳排放强度大致保持不变，经济高质量发展水平出现波动，使得耦合协调度也呈现明显波动；第三阶段（2011—2020年）耦合协调度呈现缓慢增长的趋势，2011年全国经济步入“自主增长”轨道，长江中游城市群综合实力显著提升，经济发展质量稳步优化，在此阶段发展重心转移至提高资源利用效率，倡导呼吁绿色减排的生产生活方式，把修护长江流域生态环境放到压倒性位置，其发展理念的转变使得碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度逐年递增，但是考虑到目前长江中游城市群在污染治理上基础尚不牢固，绿色低碳转型任务繁重，因此耦合协调度增长速率缓慢。

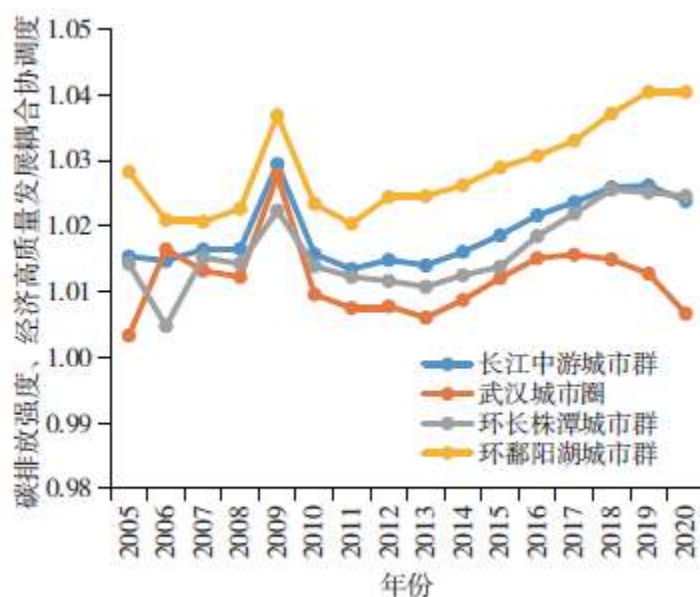


图3 碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度时序变化特征

进一步，长江中游城市群包括武汉城市圈、环长株潭城市群和环鄱阳湖城市群。从内部三个城市群层面看，环鄱阳湖城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度最高，环长株潭城市群次之，武汉城市圈最低。具体来看：①环鄱阳湖城市群耦合协调度呈现“下降—波动—快速增长”的变化特征，环鄱阳湖城市群高碳排放强度在一定程度上反映了更高的经济活动强度，立足于城乡一体化推进^[46]，因此耦合协调度高于整体水平，随着近年来江西扎实推进生态文明试验区建设，具有实现“双碳”目标的基础条件。②环长株潭城市群耦合协调度呈现“下降—波动—缓慢增长”的特征，环长株潭城市群经历“两型社会”示范区的建设^[47]、新型制造业与工业化的构建，在近几年已经逐步具备经济高质量发展的条件，但从现实情况来看，其发展面临着产业融合度低、资源要素共享受阻、区域协调度不高等困境。③武汉城市圈耦合协调度表现出“波动—缓慢增长—缓慢下降”的趋势，武汉城市圈发展初期以大规模的传统高耗能、高污染的加工制造业为主，造成其生态环境脆弱性明显，因此其耦合协调度在三大城市群里最低；同时，武汉城市圈凭借广阔的市场潜力和承接东部沿海地区的优势产业，通过调整之后萌生了一大批高新技术产业，但其生态环境质量仍有提升空间。

3.2.2 空间演变趋势

基于2005、2010、2015、2020年的耦合协调度数据，剖析碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的空间分布特征（图4）。总体上，长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度呈上升的趋势，少数地区存在回落现象，协调类型以轻度协调和中度协调为主，个别地区处于严重失调，整体上呈现“东南部高，西北部低”和以东南部地区为中心向西北部地区扩散的空间

分布和演变格局。具体来看：①2005 年，长江中游城市群大部分地区耦合协调类型为轻度协调，其中长沙、九江、上饶耦合协调度最高，处于优质协调阶段，而武汉、湘潭与鄂州耦合协调类型处于失调阶段，分别处于严重失调、中度失调、轻度失调阶段；②2010 年，长江中游城市群大部分地级市耦合协调类型处于轻度协调和中度协调阶段，其中上饶保持在优质协调阶段，同时各地级市耦合协调度差距逐渐缩小，武汉、湘潭和鄂州耦合协调类型均有所改善；③2015 年，长江中游城市群除武汉、湘潭和株洲处于轻度协调阶段，其他地级市均处于协调阶段，长江中游城市群均衡发展趋势显现，东南部地级市以中度协调类型为主，西北部地级市以轻度协调类型为主；④2020 年，长江中游城市群耦合协调程度进一步均衡，绝大部分地区实现了中度协调和优质协调，但武汉和鄂州有所回落，由轻度失调、轻度协调下降至严重失调、中度失调阶段，可能原因在于 2020 年武汉爆发新冠肺炎疫情，对当地经济发展造成重大冲击，2020 年一季度武汉 GDP 断崖式下跌 40.5%，直至 2020 年下半年其经济发展才有所恢复。

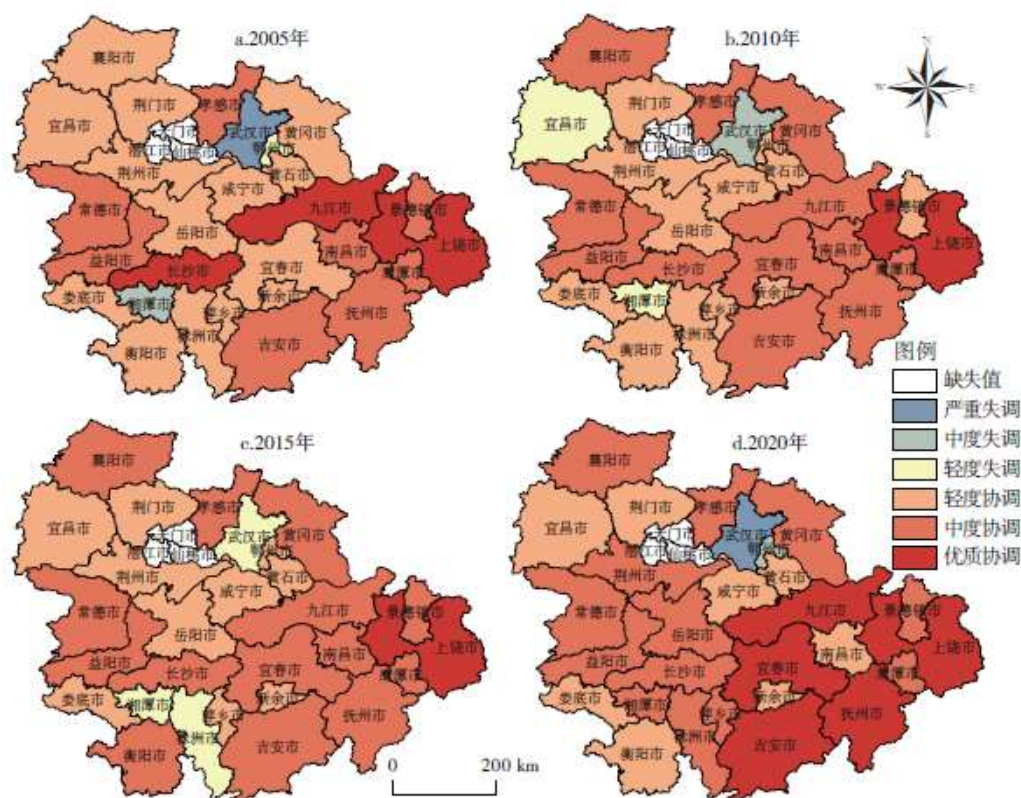


图 4 2005、2010、2015 和 2020 年碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度空间演变

4 驱动因素分析

4.1 空间相关性

为进一步分析长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度空间聚集特征，通过计算全局 Moran' sI 指数与局部 Getis-Ord 指数 G 得到碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的全局空间自相关情况。2005—2020 年全局 Moran' sI 指数均大于 0，并且除 2008 年之外均通过了显著性检验。这表明：①碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度具有较强的正向空间自相关性，即存在耦合协调度高值集聚和低值集聚的情况；②整体上，全局 Moran' sI 指数从 2005 年 0.131 上升至 2020 年的 0.316，存在耦合协调度的空间自相关性增强的迹象；③动态趋势上，2005—2020 年全局 Moran' sI 指数的平均值为 0.134，并呈现接近“W”型的动态演变特征，说明碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度空间自相关性表现为上下波动的趋势。

全局空间自相关只能从整体层面上分析碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的空间聚集特征，无法反映内部局域的空间格局差异特征。因此，借助 GeoDa 软件计算 2005、2010、2015 和 2020 年的局部 Getis-Ord 指数 G^* 并绘制 LISA 集聚图（图 5）。总体上看，历年来长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的“高一高”集聚的区域主要集中在西南地区，并表现出“高一高”集聚区域增加的趋势。具体来看，2005 年“高一高”集聚范围主要集中在益阳、萍乡两个地级市，“低—低”集聚范围主要集中在鹰潭市；2010、2015 年“高一高”集聚区域增加，集中在益阳、娄底、衡阳、萍乡；2020 年“高一高”集聚区域进一步增加，集中在益阳、娄底、长沙、株洲、湘潭、萍乡，“低—低”集聚范围保持不变，这说明长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度辐射范围扩大，并且辐射能力在代表年份有增强的趋势。

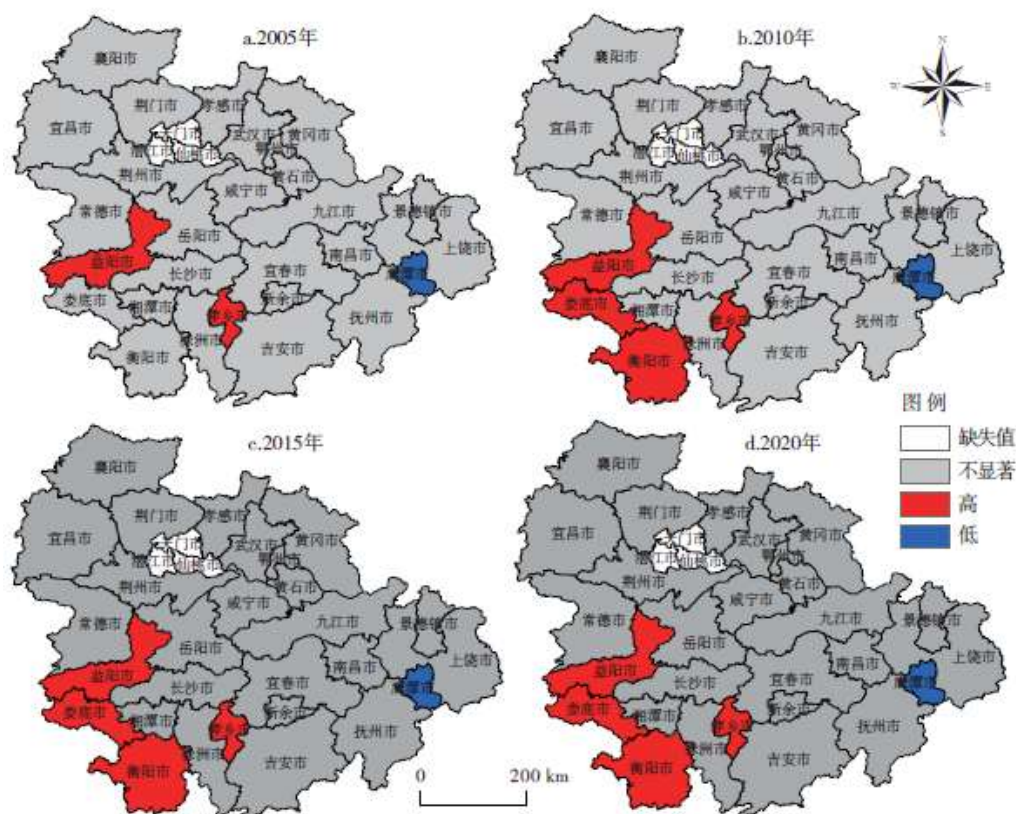


图 5 2005、2010、2015 和 2020 年碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度 LISA 集聚图

4.2 驱动机制

4.2.1 参数估计结果

为验证长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调的驱动机制，在检验二者耦合协调度具有较强的正向空间自相关性的基础上，借助空间计量模型进一步分析各驱动因素对碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的影响作用。首先应确认选择空间面板模型进行估计的合理性，Hausman 检验统计值为 27.04， p 值为 0.0003，说明选择固定效应优于随机效应；LM 检验和 LR 检验结果均通过显著性检验，说明选择空间杜宾模型进行估计优于空间滞后模型或空间误差模型；为避免时间和地级市变动的差异对估计结果的影响，选择时间和空间双向固定效应的一般回归模型与空间杜宾模型进行检验分析。

相较于最小二乘估计模型，空间杜宾回归模型各驱动因素影响系数大小、方向发生改变。另外，空间自相关系数 ρ 通过了 5%

的显著性检验，说明长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展的耦合协调度存在空间相关性，即本地的耦合协调度会对邻地的耦合协调度产生影响。因此，各驱动因素对碳排放强度与经济高质量发展的耦合协调度存在一定的空间效应。

4.2.2 直接效应和间接效应

各驱动因素对碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度的直接效应、间接效应及其显著性。

①直接效应。环境规制的影响为正，说明环境管控能够对碳排放强度与经济高质量发展的协调发展产生促进作用，严格的环境管控制度会使得企业增加污染治理以及技术革新成本，导致企业减少生产规模，降低生产产量。技术创新影响系数显著为正，这表明创新驱动通过研发清洁能源、革新机器设备等渠道，充分发挥技术创新对低碳经济增长的核心作用，在“创新补偿”效应下推动经济社会综合发展，并同时改善碳排放强度。对外开放对耦合协调度有明显的正向作用，说明坚持区域开放，增加区域间贸易活动仍然是长江中游城市群均衡发展的重要手段。经济基础的影响显著为负，反映了更高的社会标准与环境要求，此时政府也越有能力进行环境治理、公共服务投资、财政补贴等，碳排放强度降低，耦合协调度下降，这与李建豹等^[48]研究结果一致。人力资本影响系数显著为负，说明长江中游城市群区域人口密度越高能够为本地区带来劳动力，刺激消费，但是也会增加能源消耗和污染排放。产业结构的影响显著为负，说明第二产业占比体现了地区工业化程度，伴随着工业化进程的加深，CO₂排放量增加，经济发展质量提升缓慢，因此耦合协调度下降。

②间接效应。环境规制的影响为正，说明环境规制强度增强对相邻地区的耦合协调度具有正向影响，而该影响效应并不显著。技术创新与相邻地区的耦合协调度之间存在显著的正相关关系，技术创新带来的外溢效应，能够带动相邻城市的技术提升和相关产业的发展。对外开放对相邻地区的耦合协调度存在显著的正向影响，可能原因在于贸易活动的扩散效应导致邻地碳排放强度增强，同时本地区开放程度提升，绿色技术落后的地区也能通过对外开放享受到技术外溢福利，进而提升经济效率，促进地区碳排放强度与经济高质量发展耦合协调发展。经济基础的影响系数为正，说明本地经济基础水平提升对邻地起到示范作用，同时相邻城市之间存在竞争关系，会促使邻地加大资源投入促进经济增长。人力资本与邻地耦合协调度之间存在显著的负向关系，说明人口要素的聚集会促使消费、生产的聚集，进而产生更加活跃的经济活动，本地的人口密度提升引致的人口吸虹效应降低了邻地的人口压力，相邻城市的碳排放强度下降，耦合协调度也降低了。产业结构与邻地耦合协调度具有正向关系，主要在于本地产业结构变化，即第二产业占比提升导致本地工业集聚，反而降低了邻地的要素集聚，对相邻地区的经济增长影响不显著。

5 结论与建议

对碳排放强度与经济高质量发展耦合协调关系的准确把握，是推动经济社会与生态环境关系向着协调发展的方向不断演进的前提。本文基于碳排放强度与经济高质量发展耦合协调及驱动机理，运用实证模型对 2005—2020 年长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度进行综合测度与分析，得出如下结论：①整体来看，长江中游城市群碳排放强度逐年降低，2005—2013 年相较于 2014—2020 年的碳排放强度降低幅度更小；经济高质量发展呈现波动增长的趋势，在 2008—2010 年期间表现出“倒 V”型特征。②推动长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展的耦合协调发展任重道远。研究期内，其耦合协调度以轻度过度和中度协调的类型为主，少数地区处于严重失调并存在回落现象，并且区域上表现出“武汉城市圈<环长株潭城市群<环鄱阳湖城市群”的特征。③长江中游城市群碳排放强度与经济高质量发展耦合协调度存在显著的空间效应。而各驱动因素同样对相邻地区的耦合协调度产生影响，其间接效应明显。技术创新、对外开放对耦合协调度提高具有显著促进作用；经济基础、人力资本以及产业结构对耦合协调度促进作用有待提高。

基于上述研究结论，提出建议如下：

①推进长江中游城市群低碳循环发展模式，充分发挥生态环境与经济高质量发展的双向互动作用。一是加快生产生活方式绿色低碳转型，创造条件推动能耗“双控”向碳排放强度的“双控”转变，打造绿色循环且强劲的经济增长体系。二是借助经济

发展成果，加大对绿色工艺、低碳产业的支持力度，推动经济发展成果向提升生态环境质量的转化，形成可持续发展的良性循环。

②加快促进耦合协同发展，打造各城市群特色发展路径。环鄱阳湖城市群地区耦合协调度处于中度或优质协调类型，可借助其良好的耦合协调发展优势，加大对资源要素、人才吸引以及交通建设的支持，提升中心城市南昌的辐射带动作用。环长株潭城市群地区耦合协调度处于轻度或中度协调类型，应引导优质公共服务资源优化布局并向周边辐射延伸，打造省域副中心城市，提升各城市的耦合协调发展。武汉城市圈地区以轻度协调类型为主，个别城市处于失调阶段，应推进武汉与周边县市联动对接，逐步降低武汉市人口密度过高城区的人口集聚，摆脱区域发展失调现状。

③强化区域协调合作关系，建设普惠均衡的长江中游城市群。坚持国内大循环，推动长江中游城市群内部良性竞争，打破政策体制和地域壁垒，在省际交界处进行布点推进三省协同联动发展，形成各城市群和各地级市之间特色鲜明、优势互补的格局。支持各省份、各部门协同治理，实现区域“一制化”合作，发挥财政资金杠杆作用，鼓励构建城市群的创新基金，充分发挥各省资源禀赋与经济发展优势，推动产业结构优化、调整与升级，联手打造具有长江中游城市群优势的产业集群，以提升城市群耦合协调度。

参考文献:

[1]Théophile Azomahou.Economic development and CO2 emissions:A nonparametric panel approach[J].Journal of Public Economics,2006(6):1347-1363.

[2]Apergis N,Ozturk I.Testing environmental kuznets curve hypothesis in Asian countries[J].Ecological Indicators,2015,52:16-22.

[3]许广月,宋德勇.中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J].中国工业经济,2010(5):37-47.

[4]Stokey N L.Are there limits to growth?[J].International Economic Review,1998,39(1):1-31.

[5]Robalino-Lopez A,J Garcia-Ramos J E,Golpe A,et al.System dynamics modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador(1980-2025) [J].Energy Policy,2014,67:923-931.

[6]Baek J.Environmental Kuznets curve for CO2 emissions:The case of Arctic countries[J].Energy Economics,2015,50(7):13-17.

[7]王艺明,胡久凯.对中国碳排放环境库兹涅茨曲线的再检验[J].财政研究,2016(11):51-64.

[8]何小钢,张耀辉.中国工业碳排放影响因素与CKC重组效应——基于STIRPAT模型的分行业动态面板数据实证研究[J]中国工业经济,2012(1):26-35.

[9]Ni P,Kusuma W.Economics and environmental development:Testing the environmental Kuznets Curve Hypothesis [J].International Journal of Energy Economics and Policy,2021,11(4):51-58.

[10]施锦芳,吴学艳.中日经济增长与碳排放关系比较——基于EKC曲线理论的实证分析[J].现代日本经济,2017(1):81-94.

-
- [11]任亚运,傅京燕.碳交易的减排及绿色发展效应研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(5):11-20.
- [12]谌莹,张捷.碳排放、绿色全要素生产率和经济增长[J].数量经济技术经济研究,2016,33(8):47-63.
- [13]王留鑫,姚慧琴,韩先锋.碳排放、绿色全要素生产率与农业经济增长[J].经济问题探索,2019(2):142-149.
- [14]陈超凡.节能减排与中国工业绿色增长的模拟预测[J].中国人口·资源与环境,2018,28(4):145-154.
- [15]赵荣钦,李志萍,韩宇平,等.区域“水—土—能—碳”耦合作用机制分析[J].地理学报,2016,71(9):1613-1628.
- [16]王凯,李娟,席建超.中国旅游经济增长与碳排放的耦合关系研究[J].旅游学刊,2014,29(6):24-33.
- [17]周银香.交通碳排放与行业经济增长脱钩及耦合关系研究——基于 Tapio 脱钩模型和协整理论[J].经济问题探索,2016(6):41-48.
- [18]宋祺佼,吕斌.城市低碳发展与新型城镇化耦合协调研究——以中国低碳试点城市为例[J].北京理工大学学报:社会科学版,2017,19(2):20-27.
- [19]盖美,张福祥.辽宁省区域碳排放—经济发展—环境保护耦合协调分析[J].地理科学,2018,38(5):764-772.
- [20]武娜,沈镭,钟帅,等.晋陕蒙地区经济增长与碳排放时空耦合关系[J].经济地理,2019,39(9):17-23.
- [21]田泽,景晓栋,肖钦文.长江经济带碳排放—产业结构—区域创新耦合度及时空演化[J].华东经济管理,2020,34(2):10-17.
- [22]张茹倩,李鹏辉,徐丽萍.城镇化对新疆土地利用碳排放的影响及其耦合关系[J].生态学报,2022(13):1-17.
- [23]张荣天,焦华富.泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):719-727.
- [24]王琦,汤放华.洞庭湖区生态—经济—社会系统耦合协调发展的时空分异[J].经济地理,2015,35(12):161-167,202.
- [25]孙黄平,黄震方,徐冬冬,等.泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J].经济地理,2017,37(2):163-170,186.
- [26]张晨,高峻,丁培毅.雾霾天气对潜在海外游客来华意愿的影响——基于目的地形象和 risk 感知理论[J].旅游学刊,2017,32(12):58-67.
- [27]王砾,代昀昊,谢潇,等.空气质量与企业员工流失[J].财经研究,2020,46(7):93-106.
- [28]Chen S,Oliva P,Peng Z.The effect of pollution on migration:evidence from China[R].NBERWorking Paper,2017:24036.

-
- [29]Chen X, Yang L. Temperature and industrial output: Firm-level evidence from China[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 95(5): 257-274.
- [30]李强, 韦薇. 长江经济带经济增长质量与生态环境优化耦合协调度研究[J]. 软科学, 2019, 33(5): 117-122.
- [31]张华, 魏晓平. 绿色悖论抑或倒逼减排——环境规制对碳排放影响的双重效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(9): 21-29.
- [32]王淑英, 杨祺静. 异质性环境规制对经济高质量发展的空间溢出效应——基于绿色创新的视角[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(3): 104-111.
- [33]彭文斌, 胡娟, 谢晓琪. 研发投入、环境规制与企业绩效——基于面板门槛模型的实证分析[J]. 湖南财政经济学院学报, 2022, 38(2): 53-61.
- [34]林善浪, 张作雄, 刘国平. 技术创新、空间集聚与区域碳生产率[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(5): 36-45.
- [35]刘思明, 张世瑾, 朱惠东. 国家创新驱动力度及其经济高质量发展效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(4): 3-23.
- [36]李锴, 齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J]. 经济研究, 2011, 46(11): 60-72, 102.
- [37]钟水映, 李魁. 人口红利、空间外溢与省域经济增长[J]. 管理世界, 2010(4): 14-23, 186-187.
- [38]何伟军, 李闻钦, 邓明亮. 人力资本、绿色科技创新与长江经济带全要素碳排放效率[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(9): 23-32.
- [39]李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 7-14.
- [40]李涛, 薛领, 李国平. 产业集聚空间格局演变及其对经济高质量发展的影响——基于中国 278 个城市数据的实证分析[J]. 地理研究, 2022, 41(4): 1092-1106.
- [41]李新安, 李慧. 外资引入、技术进步偏向影响了制造业的碳排放吗?——来自我国 27 个制造行业面板数据模型的实证检验[J]. 中国软科学, 2022(1): 159-170.
- [42]马茹, 罗晖, 王宏伟, 等. 中国区域高质量发展评价指标体系及测度研究[J]. 中国软科学, 2019(7): 60-67.
- [43]杨耀武, 张平. 中国高质量发展的逻辑、测度与治理[J]. 经济研究, 2021, 56(1): 26-42.
- [44]钟茂初, 李梦洁, 杜威剑. 环境规制能否倒逼产业结构调整——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 107-115.
- [45]邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究, 2016, 51(9): 73-88.

[46]周仪姜, 李林. 长江中游城市群综合承载力评价与预测[J]. 经济地理, 2021, 41 (9) :31-39.

[47]胡舜. 环长株潭城市群县域经济差异的时空格局及其影响机制[J]. 湖南财政经济学院学报, 2021, 37 (6) :38-48.

[48]李建豹, 黄贤金, 揣小伟, 等. 江苏省人口城镇化与能源消费 CO₂ 排放耦合协调度时空格局及影响因素[J]. 经济地理, 2021, 41 (5) :57-64.