

我国省际碳排放脱钩的动态演变及收敛性分析

郭文强¹, 于忠萍¹, 雷明^{1,2}, 史瑞雪¹, 韦星羽¹

(1. 新疆财经大学 信息管理学院, 乌鲁木齐 830012; 2. 北京大学 乡村振兴研究院, 北京 100871)

摘要: 运用 Tapio 脱钩指数、空间自相关与空间马尔科夫链模型, 探讨 2001—2022 年我国省际碳排放脱钩的时空动态演化特征, 并根据收敛模型进行俱乐部划分分析从而揭示我国省际脱钩关系的演变以寻求低碳发展路径。结果表明: (1) 2001—2022 年我国各省份的脱钩类型由多样化共存逐步发展到以弱脱钩为主导, 整体发展形势向好。 (2) 碳排放脱钩的全局空间正自相关性显著, 局部空间发展以 L-L 聚集为主, 东西空间分异愈发显著, 出现极化效应。 (3) 较少出现跨越性的脱钩转移, 且转移概率受邻域脱钩状态影响存在差异。理想脱钩省份可产生正向空间溢出效应, 有助于发挥低碳锁定作用, 而脱钩不理想省份则会发挥负向溢出效应。 (4) 我国整体脱钩水平尚未达到同一稳态, 局部检验共得到 6 个收敛俱乐部, 内部表现出较显著的趋同效应。

关键词: 脱钩; Tapio; 空间自相关; 空间马尔科夫链; 俱乐部

中图分类号: X22; F124

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2025)01-0166-07

doi: 10.3969/j.issn.1003-2363.2025.01.023

0 引言

2022 年, IPCC 在第六次评估报告 (AR6) 中指出, 过去十年全球温室气体排放已达到最高水平, 若不及时采取行动, 全球平均气温升幅控制在 1.5℃ 将不再成为可能^[1]。这份报告揭示了一个日益严峻的气候变化形势^[2]。作为全球温室气体排放大国, 我国在第七十五届联合国大会上宣布了碳达峰和碳中和的行动目标, 并在党的二十大报告中进一步强调要积极稳妥推进碳达峰碳中和, 参与全球气候变化治理。为实现双碳目标, 满足更高的绿色能源要求^[3], 首要任务是加快发展方式绿色转型, 探索出中国绿色优先战略下的最优增长路径^[4]。同时, 有效推动节能减排和低碳转型发展是必然选择, 将经济结构调整和绿色技术进步作为驱动中国实现节能减排目标、经济低碳转型和生态文明建设的“双引擎”^[5]。根据生态环境部发布的《2023 年中国应对气候变化的政策和行动报告》, 2022 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 51% 以上, 但这距实现 2030 年的减排目标仍存在一定差距。“十四五”是我国经济由高速增长迈入高质量发展的关键窗口期^[6], 也是实现碳达峰目标的关键期, 如何实现我国省际经济与碳减排平衡、提升各省份的碳排放脱钩水平仍需深入讨论。

目前学术界有关经济增长与碳排放的脱钩研究日趋成熟。相关研究多涉及不同国家和地区的经济增长与碳排放趋势的对比分析^[7], 以及探讨技术创新^[8]、政策引导等因素对碳排放脱钩的影响机制。此外, 还有学者对碳排放脱钩路径、政策工具和可持续发展目标的实现进行了深入探讨, 为推动低碳转型提供了理论支撑和政策建议。具体而言, 在碳排放脱钩的时空格局方面, 围绕在国家、多省份^[9]、多行业^[10-12]、多县域^[13]以及城市群^[14]的研究逐渐丰富。在计算脱钩指数的基础上, 学者们还对驱动因子进行了分析^[15-16]。

此外, 脱钩理论的应用被进一步扩展。陈万旭等借助脱钩分析理论框架探讨了中国县域生态系统服务强度和土地利用程度间的脱钩关系^[17]; 李娜等利用脱钩模型和追赶脱钩模型分析了中国与其他 G20 国家的贸易脱钩态势, 并剖析了双边贸易相互依赖程度^[18]; Y. H. Ge 等对中国 30 个省份的 ICT 投资与能耗之间的脱钩关系进行了研究, 并利用广义迪式指数分解法探讨了影响脱钩的投资因素^[19]; 杨友宝等通过构建旅游发展与区域贫困评价体系, 探究了两类综合水平的脱钩演变特征及作用机制^[20]。

综上, 已有研究成果为扩展经济增长与碳排放的脱钩研究奠定了坚实的基础, 然而中国整体各省份碳排放脱钩的特征差异、演变路径与收敛情况仍有待深入解析。基于此, 本研究通过测算 2001—2022 年中国各省份的脱钩指数, 采用空间自相关、空间马尔科夫链和收敛模型, 探究碳排放与经济增长之间的相互作用关系, 研究中国不同省份两者脱钩关系的时空动态演化规律和收敛效应, 能够为进一步预测两者的脱钩状态及制定针对性减排策略打下基础^[21], 为碳达峰碳中和目标的早日实现提供参考。

收稿日期: 2024-03-06; **修回日期:** 2025-01-05

基金项目: 国家社会科学基金西部项目 (23XMZ060); 新疆财经大学研究生科研创新项目 (XJUF2024K041)

作者简介: 郭文强 (1975-), 男, 吉林安图县人, 教授, 博士, 主要从事乡村振兴与区域发展管理研究, (E-mail) gwq600@163.com。

通信作者: 于忠萍 (2000-), 女, 山东平邑县人, 硕士研究生, 主要从事绿色发展研究, (E-mail) yzp_fxb@163.com。

万方数据

1 研究对象、数据来源和研究方法

1.1 研究对象和数据来源

由于数据获取受限,本研究确定除港澳台及西藏以外的30个省级行政单位作为研究对象。经济数据来源于各省份2002—2023年的统计年鉴,以2000年为基期,计算出实际地区生产总值。碳排放数据来源于2002—2023年的《中国能源统计年鉴》,并基于《IPCC指南》提出的碳排放估算方法,选取原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力共9种能源消费量进行测度。

1.2 研究方法

1.2.1 Tapio 脱钩指数模型

碳排放脱钩是指在经济持续增长的前提下,碳排放总量与增长速度能够逐渐降低。

$$T = \frac{(C_t - C_{t-1})/C_{t-1}}{(G_t - G_{t-1})/G_{t-1}} = \frac{\Delta C}{\Delta G}。$$

式中: T 为脱钩系数; t 为末期年; $t-1$ 为基期年; C 和 G 分别代表二氧化碳排放量和实际地区生产总值。

1.2.2 空间自相关模型

采用全局 Moran's I 与局部 Moran's I 描述我国省际碳排放脱钩效应的空间分布与聚集特征,以邻接原则构造空间权重矩阵。

1.2.3 空间马尔科夫 (Markov) 链模型

马尔科夫链模型通常是用于描述状态转换的概率模型。分为传统和空间两种模型。

① 传统马尔科夫链模型。传统马尔科夫模型是指在时间序列上进行状态转换建模的模型,其中状态的转移仅依赖于当前状态。根据需要将脱钩指数划分为不同类型,包括负脱钩(扩张负脱钩、弱负脱钩)、连结(扩张连结)以及弱脱钩与强脱钩,分别用 $k = 1, 2, 3, 4$ 来表示,并计算它们的概率分布和变化情况,以逼近地理现象的演变^[22]。其中, k 值越大对应的脱钩等级越高。

将 t 时刻的脱钩类型的概率分布表示为一个 $1 \times k$ 的状态概率向量 $E_t = [E_{1t}, E_{2t}, \dots, E_{kt}]$, 不同时刻脱钩类型之间的转移表示为 $k \times k$ 的马尔科夫转移概率矩阵:

$$E_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}。$$

式中: n_{ij} 表示 t 时刻脱钩状态为 i 类型的省份在 $t+1$ 年脱钩状态转变为 j 类型的省份总和; E_{ij} 表示脱钩状态 t 时刻为 i 类型在 $t+1$ 时刻转为 j 类型的概率; n_i 表示研究期内脱钩状态属于 i 类型的省份数量总和。

② 空间马尔科夫链模型。空间马尔科夫链是在传统马尔可夫链的基础上,引入空间滞后的条件,分析不同滞后条件下的马尔科夫概率矩阵。将传统的 $k \times k$ 马尔科夫矩阵分解为 k 个 $k \times k$ 的条件转移矩阵, $E_{ij}(k)$ 表示以 t 时刻的空间滞后类型为 k 条件,在 $t+1$ 时刻由 i 类型转变为 j 类型的空间转移概率。

万方数据

空间滞后类型由空间滞后值 lag 表示,即邻省脱钩状态类型乘以空间邻接权重矩阵 W_{ij} (加权平均值)。

$$\text{lag} = \sum_j W_{ij} Y_j。$$

式中: Y_j 为邻省的脱钩状态类型。

1.2.4 收敛模型

俱乐部收敛最初是指初期经济发展水平接近的不同经济系统之间,在具有相似的结构特征的前提下趋于收敛^[23]。P. C. B. Phillips 等^[24] 在2007年提出非线性时变因子模型以进行俱乐部收敛检验。参考相关文献^[25-26],本研究在进行总体检验后,按照以下4个步骤对群体进行俱乐部收敛识别检验:① 排序。按照最后的1/3数据值进行排序。② 确定核心组。对确定排序后的样本依次进行 $\log t$ 检验,直到 $t > -1.65$ 停止,此时该个体为核心组成员。③ 形成俱乐部。将剩余个体逐步加入核心组,并进行 $\log t$ 检验,不断重复该步骤,最后对所有俱乐部成员进行 $\log t$ 检验,保证 $t > -1.65$ 。④ 俱乐部合并。将识别出的所有俱乐部两两进行 $\log t$ 检验,若 $t > -1.65$,则进行合并。

2 结果与分析

2.1 碳排放脱钩的时空动态演化特征

2.1.1 脱钩状态分析

基于 Tapio 脱钩模型,计算2001—2022年各省份的逐期脱钩指数,为使结果清晰显示,地区按照我国经济区域的标准划分(图1)。东部与西部地区脱钩指数值主要浮于0值上下,以弱脱钩省份居多。2020年后,受新冠疫情冲击,上海、内蒙古和贵州均在不同年份出现了大幅度的脱钩倒退。中部及东北部的脱钩指数波动较大,在2010年以前,波动主要发展在0值上方,表明中部及东北部的各省脱钩状态极不稳定且不理想,特别是中部地区,各省份的脱钩类型呈现多样化发展。2010年后,可以明显看出中部及东北部地区波动下移,处于强脱钩及弱脱钩状态的省份逐年增多。

为进一步说明我国各省份的碳排放脱钩长期演变趋势,结合 Tapio 曾将测算的时间区间设定为5~10年的建议以及根据我国经济增长速度的减缓阶段划分,将2001—2022年划分为3个阶段考察各省份的长期脱钩趋势变化(表1)。整体而言,有超半数以上的省份脱钩指数均呈直线下降态势,并且多增长为强脱钩状态。分阶段来看,2001—2007年,弱脱钩、扩张连结、扩张负脱钩状态省份占比分别为30.0%、36.6%和33.3%,空间分布较随机;2008—2014年,弱脱钩状态省份占比增加到86.7%,只有新疆的脱钩指数出现增长,脱钩状态倒退,这是由于新疆的粗放式经济发展模式尚未得到根本转变,第二产业与第三产业能耗增长,重工业化的趋势推动着工业能源消费增长;2015—2022年,各省份仍以弱脱钩状态为主,新疆、浙江与广西处于扩张连结状态,

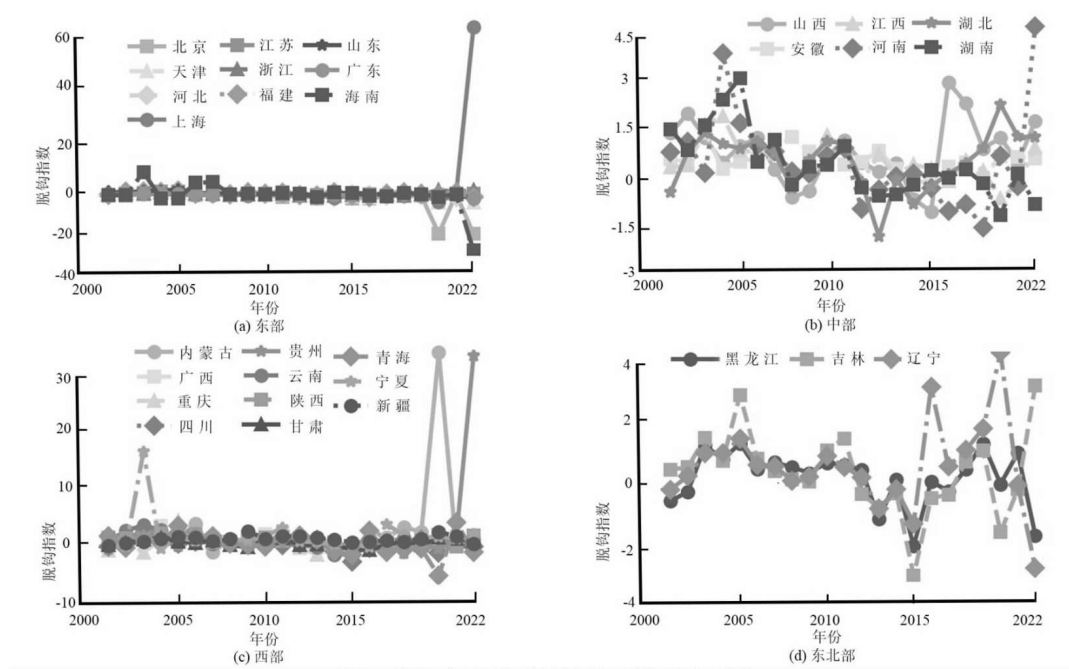


图 1 我国各省份脱钩指数逐期时序演变

Fig. 1 Period-by-period time-series evolution of the decoupling index by province in China

表 1 2001—2022 年跨期脱钩状态演变

Tab. 1 Evolution of decoupling status over time during 2001—2022

省份	2001—2007 年		2008—2014 年		2015—2022 年	
	脱钩指数	脱钩状态	脱钩指数	脱钩状态	脱钩指数	脱钩状态
黑龙江	0.62	弱脱钩	0.41	弱脱钩	0.38	弱脱钩
新疆	0.88	扩张连结	1.35	扩张负脱钩	1.11	扩张连结
山西	0.96	扩张连结	0.38	弱脱钩	1.43	扩张负脱钩
宁夏	2.56	扩张负脱钩	1.18	扩张连结	1.98	扩张负脱钩
山东	1.67	扩张负脱钩	0.54	弱脱钩	-0.04	强脱钩
河南	1.23	扩张负脱钩	0.21	弱脱钩	-0.28	强脱钩
江苏	0.95	扩张连结	0.48	弱脱钩	0.02	弱脱钩
安徽	0.63	弱脱钩	0.62	弱脱钩	0.40	弱脱钩
湖北	0.76	弱脱钩	0.23	弱脱钩	0.51	弱脱钩
浙江	0.95	扩张连结	0.21	弱脱钩	0.90	扩张连结
江西	0.90	扩张连结	0.49	弱脱钩	0.17	弱脱钩
湖南	1.38	扩张负脱钩	0.15	弱脱钩	-0.03	强脱钩
云南	1.63	扩张负脱钩	0.16	弱脱钩	0.59	弱脱钩
贵州	0.88	扩张连结	0.38	弱脱钩	0.64	弱脱钩
福建	1.19	扩张连结	0.66	弱脱钩	0.71	弱脱钩
广西	1.21	扩张负脱钩	0.88	扩张连结	0.84	扩张连结
广东	0.72	弱脱钩	0.40	弱脱钩	0.47	弱脱钩
海南	3.27	扩张负脱钩	0.55	弱脱钩	-0.07	强脱钩
吉林	1.03	扩张连结	0.38	弱脱钩	-0.17	强脱钩
辽宁	0.73	弱脱钩	0.31	弱脱钩	0.65	弱脱钩
天津	0.62	弱脱钩	0.43	弱脱钩	-0.24	强脱钩
青海	1.25	扩张负脱钩	0.58	弱脱钩	-0.02	强脱钩
甘肃	0.76	弱脱钩	0.44	弱脱钩	0.69	弱脱钩
陕西	1.34	扩张负脱钩	0.88	扩张连结	0.52	弱脱钩
内蒙古	1.15	扩张连结	0.73	弱脱钩	1.76	扩张负脱钩
重庆	0.81	扩张连结	0.26	弱脱钩	0.14	弱脱钩
河北	1.31	扩张负脱钩	0.47	弱脱钩	-0.16	强脱钩
上海	0.35	弱脱钩	0.13	弱脱钩	-0.23	强脱钩
北京	0.24	弱脱钩	-0.28	强脱钩	-0.94	强脱钩
四川	1.04	扩张连结	0.36	弱脱钩	0.01	弱脱钩

东部及中部部分地区前进至强脱钩状态,黑龙江、辽宁及华南部分地区保持弱脱钩状态不变,而山西、宁夏与内蒙古则出现了不同程度的脱钩状态倒退。

综上,研究期内我国各省份脱钩类型由多样化共存逐渐发展到以弱脱钩状态为主导。碳排放量与经济增长尚未实现完全解耦,但总体来说,各省份经济增长速

度正在向着逐渐优于碳排放增长速度的方向发展,两者的发展形势向好。中国经济向高质量发展迈进了重要的一步^[27]。然而,尽管节能减排已颇具成效,但碳排放问题依旧是不容忽视的挑战。这一点在长期脱钩分析中的结果表现更为具体。因存在地域限制,各省份的资源禀赋和利用存在差异,导致经济增长与碳排放难以实现理想脱钩,黑龙江、安徽、广东、辽宁、甘肃脱钩状态止步不前,山西、宁夏、浙江和内蒙古脱钩状态出现倒退,为摆脱各省份脱钩倒退及经济区差异拉大的逆境^[13],应实施差异化减排,探索针对性的减排模式以促进经济全

面高质量发展。

2.1.2 空间关联分析

通过计算得出 2001—2022 年中国省际碳排放脱钩指数的全局 Moran's I (表 2)。2001—2011 年,全局 Moran's I 呈现不规则变动,各省份的碳排放脱钩存在着不显著的正相关以及负相关。2012—2022 年,全局 Moran's I 逐渐稳定为正值,尤其在 2016—2021 年全局 Moran's I 与 Z 得分呈现波动式增长,置信度提高到 95%,表明各省的碳排放脱钩存在显著的空间正自相关性,并且空间聚集程度在逐渐增强。

表 2 2001—2022 年中国省际碳排放脱钩全局 Moran's I

Tab.2 Global Moran's I of decoupled interprovincial carbon emissions in China during 2001—2022

年份	Moran's I	Z	P	年份	Moran's I	Z	P
2001	-0.120 3	-0.747 3	0.231 0	2012	0.179 5	1.802 6	0.046 0
2002	0.031 9	0.585 1	0.267 0	2013	0.147 1	1.488 7	0.079 0
2003	-0.004 1	0.555 6	0.271 0	2014	-0.013 5	0.237 2	0.394 0
2004	0.031 1	0.522 8	0.290 0	2015	0.271 0	2.485 3	0.011 0
2005	-0.201 9	-1.306 6	0.081 0	2016	0.052 5	0.826 2	0.198 0
2006	0.002 2	0.385 9	0.340 0	2017	0.069 2	0.973 1	0.155 0
2007	-0.002 6	0.284 5	0.358 0	2018	0.231 3	2.163 8	0.023 0
2008	0.013 3	0.388 0	0.333 0	2019	0.229 3	2.198 6	0.023 0
2009	-0.216 5	-1.637 5	0.044 0	2020	0.094 7	1.432 2	0.016 0
2010	-0.097 9	-0.462 2	0.334 0	2021	0.243 4	2.419 7	0.012 0
2011	0.025 2	0.549 7	0.282 0	2022	0.006 7	0.612 6	0.143 0

为直观反映各省碳排放脱钩效应的空间集聚程度,选取 2012 年、2015 年、2018 年、2021 年分别绘制该年省际脱钩的局部空间自相关图,以分析脱钩效应的局部空间关联特征(图 2)。我国碳排放脱钩的局部空间聚集以不显著省份居多,直至 2021 年,显著省份数量才出现了明显提高,并且显著省份主要分布在第一、三象限,呈

现出 H-H 集聚以及 L-L 集聚,表明同向集聚占据主导地位。

2012 年,新疆为 H-H 集聚区,并产生溢出效应导致其相邻省份甘肃成为 L-H 集聚区,表现为甘肃的脱钩指数高于邻省新疆、青海、内蒙古、陕西和四川。这是因为甘肃的经济发展在西北部地区中最为缓慢,对环境产生

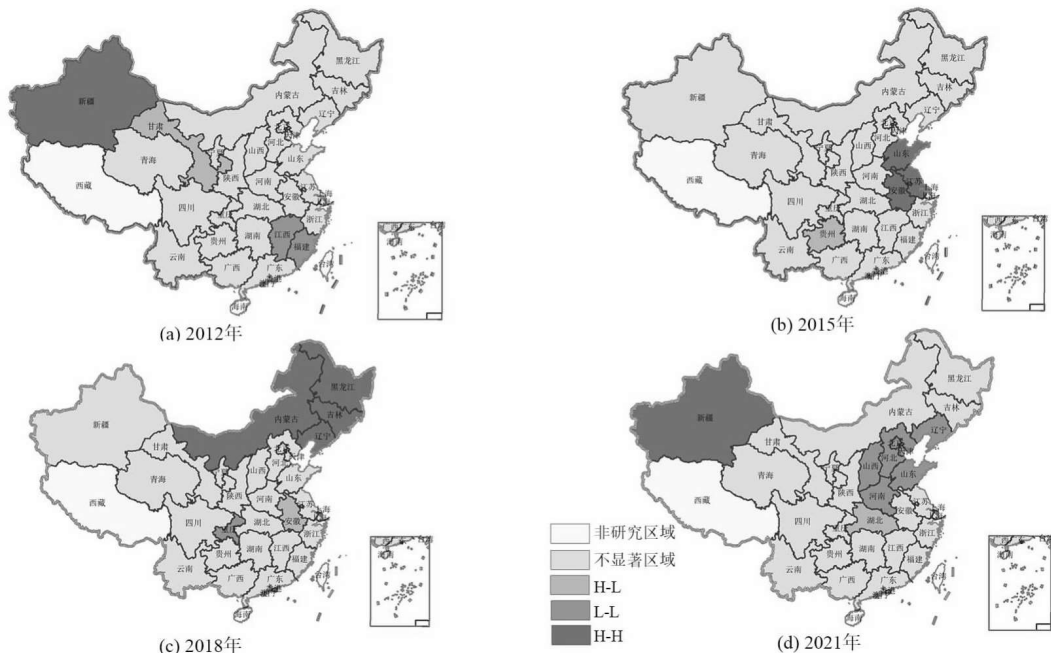


图 2 省际碳排放脱钩的局部空间自相关

Fig.2 Local spatial autocorrelation for decoupling carbon emissions between provinces

说明:基于自然资源部标准地图审图号为 GS(2023)2767 号绘制,底图无修改。

的破坏性较小,因而脱钩程度相对较高。“十二五”时期,西北地区加大投资,重视能源建设,优化产业结构,部分省份经济增长向第三产业转型,资源优势得到合理利用,环境保护要求提升,脱钩效应向好发展。2015 年 H-H 聚集在东部沿海地区,2018 年转向东北地区,并且都呈现连片增长态势,即经济增长速度基本持平或优先碳排放增长速度。除此之外,发展最为明显的是 L-L 集聚,尤其在 2021 年,主要聚集在华北地区,并逐渐向华中地区蔓延,表现为理想脱钩与弱脱钩,地区内部趋同效应明显,说明该地区各省份在经济发展过程中的脱钩联动性较好。

整体来看,我国各省份当前以 L-L 聚集为主,H-L 与 L-H 聚集省份数量处于不规则变动,H-H 聚集仍分布在西北地区,东西空间分异愈发显著,出现极化效应。未来减碳重点应更多聚焦于我国省际碳排放脱钩的空间分化格局,逐步缩小东西部地区碳排放与经济增长的脱钩差异,实现理想脱钩的均衡分布。

2.1.3 空间转移分析

由表 3 可知,① 除连结类型外,其余对角线概率均大于非对角线概率,并且在脱钩状态下较为稳定(0.483 1 和 0.417 8)。② 由非对角线转移概率可知,其脱钩状态类型等级越高,则向低等级的转移概率越低,并且较少出现跨越性的脱钩转移,说明实现碳排放脱钩是一个渐进且持续时间较长的过程。③ 上三角概率之和(1.356 6)大于下三角概率之和(1.139 4),表明 2001—2022 年我国省际碳排放脱钩的总体趋势是向上发展的。

表 3 2001—2022 年省际碳排放
脱钩效应传统马尔科夫转移概率矩阵

Tab.3 Traditional Markov transfer
probability matrix for decoupling effects of
interprovincial carbon emissions during 2001—2022

脱钩类型	负脱钩	连结	弱脱钩	强脱钩	n/个
负脱钩	0.393 2	0.213 7	0.273 5	0.119 7	117
连结	0.280 0	0.210 0	0.370 0	0.140 0	100
弱脱钩	0.112 4	0.164 8	0.483 1	0.239 7	267
强脱钩	0.109 6	0.089 0	0.383 6	0.417 8	146

在传统马尔科夫链的基础上,考虑邻域碳排放脱钩类型转移的空间联动关系,构建出纳入空间滞后条件的马尔科夫转移概率矩阵(表 4)。

① 在考虑到邻域碳排放脱钩滞后条件的基础上,除连结类型外,空间转移概率矩阵的对角线概率均大于非对角概率。即使存在溢出效应,脱钩状态仍较倾向于维持原有类型,但是连结状态则更易向脱钩状态转移。这是由于处于连结状态的省份其碳排放与经济发展增速已基本持平,随着技术创新、能源消费结构转型与环境保护意识的加强等,碳排放与经济增长的脱钩关系极易在稳定中得到优化,使得碳排放增速减缓。

② 邻域为理想脱钩的条件下,促使各省份脱钩类型万方数据

向上转移的总概率大于向下转移的总概率,表明存在空间溢出效应促使各省份及其邻域同向向上转移,从而形成俱乐部趋同效应,同时,这也体现了各省份脱钩类型发展的路径依赖。

③ 向上转移概率多发生在相邻类型之间,且在邻域为强脱钩的条件下,向上跨越式三级转移的概率与向上跳跃式两级转移的概率相等。这说明当相邻省份达到理想脱钩后,发挥低碳锁定作用,会带动该省份的低碳式经济发展进步,如 L-L 聚集区的形成。

④ 少数向下转移概率也多发生在相邻类型之间,但是在邻域为负脱钩及连结的条件下,强脱钩省份则向连结状态转移的概率较大。这说明空间溢出效应也存在负向影响。脱钩不理想地区极可能由于基础设施不完善、产业发展空间不足、低碳技术落后等原因,导致不具备数量优势的脱钩地区能够发挥的带动效应不高,且自身易有回落风险^[28]。

表 4 2001—2022 年省际碳排放
脱钩效应空间马尔科夫转移概率矩阵

Tab.4 Spatial Markov transfer
probability matrix for the decoupling effect of
inter-provincial carbon emissions during 2001—2022

空间滞后 类型	t/t+1	负脱钩	连结	弱脱钩	强脱钩	n/个
负脱钩	负脱钩	0.459 5	0.189 2	0.270 3	0.081 1	37
	连结	0.320 0	0.320 0	0.320 0	0.040 0	25
	弱脱钩	0.136 4	0.272 7	0.545 5	0.045 5	22
	强脱钩	0.200 0	0.400 0	0.000 0	0.400 0	5
连结	负脱钩	0.459 5	0.162 2	0.270 3	0.108 1	37
	连结	0.250 0	0.062 5	0.562 5	0.125 0	16
	弱脱钩	0.204 1	0.306 1	0.326 5	0.163 3	49
	强脱钩	0.250 0	0.375 0	0.00 00	0.375 0	8
弱脱钩	负脱钩	0.266 7	0.366 7	0.266 7	0.100 0	30
	连结	0.250 0	0.230 8	0.307 7	0.211 5	52
	弱脱钩	0.093 2	0.136 6	0.534 2	0.236 0	161
	强脱钩	0.088 6	0.088 6	0.405 1	0.417 7	79
强脱钩	负脱钩	0.307 7	0.076 9	0.307 7	0.307 7	13
	连结	0.428 6	0.000 0	0.571 4	0.000 0	7
	弱脱钩	0.057 1	0.028 6	0.428 6	0.485 7	35
	强脱钩	0.111 1	0.018 5	0.444 4	0.425 9	54

2.2 碳排放脱钩的收敛性分析

由表 5 可知,在全局收敛检验中,我国省际整体收敛检验得到的统计值为 -16.815 4,在 5% 的显著性水平上拒绝存在整体收敛的原假设,表明在过去 20 多年的发展中,考虑到各省份脱钩异质性与收敛速度时变性的情况下,我国各省份的碳排放脱钩并未达到一个共同的稳态。由此,对各省份进行进一步的局部俱乐部收敛检验。结果共得到 6 个收敛俱乐部小组。其统计值均大于 -1.65,证实了原假设在 5% 的显著性水平上成立,存在收敛俱乐部。

从俱乐部组成来看,Club1 由河南、浙江、贵州、吉林、

表5 我国省际碳排放脱钩效应俱乐部收敛结果

Tab.5 Convergence results of China's inter-provincial carbon decoupling effect clubs

俱乐部 组别	β	t 统计值	收敛或 不收敛	省份组成
Club1	0.315 8	1.873 7	收敛	河南,浙江,贵州,吉林, 内蒙古,上海,北京
Club2	0.204 7	1.394 2	收敛	新疆,山西,宁夏,湖北, 广西,辽宁,甘肃,陕西
Club3	-0.468 9	-0.162 9	收敛	云南,福建
Club4	-1.307 5	-0.473 6	收敛	黑龙江,江苏
Club5	-1.622 8	-1.205 5	收敛	山东,湖南,青海,四川
Club6	-0.111 6	-0.096 8	收敛	海南,天津
全国	-5.454 3	-11.905 2	不收敛	以上 30 个省份

内蒙古、上海、北京 7 个省份组成,这些省份的脱钩状态演变较为相似,跨度大且不稳定。这是由于中西部地区煤炭资源丰富,能源消费多以煤炭为主,致使地区内碳排放量只增不减,而东部沿海地区虽受到常规能源短缺的制约,但由于集经济优势与地理优势为一体,区域能源调入量逐年递增,同样是我国的能源消费主体及碳排放集中区域。

Club2 由新疆、山西、宁夏、湖北、广西、辽宁、甘肃和陕西组成,经过产业结构的调整优化,脱钩状态演变逐渐表现为不稳定的弱脱钩。Club3, Club4 与 Club6 分别由云南和福建、黑龙江和江苏以及海南和天津组成,其脱钩状态均呈现出不同程度的强弱交替,且 Club6 的脱钩程度略优于 Club3 和 Club4。这是由于借助于协同发展战略与自身产业结构调整,海南与天津的整体经济实力显著提升,旅游业、高新技术产业和战略性新兴产业蓬勃发展,区域能耗持续下降。Club5 由山东、湖南、青海及四川共 4 个省份组成,脱钩状态演变表现为不稳定的强脱钩。相比较其他 5 组,Club5 组内的各省份脱钩状态表现最为理想。究其原因,山东作为传统工业基地,减碳带动主要以青岛与济南为主,青岛凭借沿海优势,推动了经济快速增长;济南在调整工业结构后,传统工业向邻近城市转移,工业增加值占比逐年下降,碳排放增速放缓。特别是 2019 年后,济南出台“工业强市”战略,加速制造业创新,推动数字经济发展,促进了山东省的低碳转型。同时,由于区域经济结构调整,产业逐渐向中西部地区转移,湖南、四川与青海在承接产业转移过程中,工业化进程加快,第三产业成为了经济增长的主要支撑点。在中部崛起战略、西部大开发战略、双碳目标、一带一路等政策支持下,四省份大力推进能源绿色低碳转型,并取得良好成效。

根据以上对俱乐部组内成员的分析,可以看到理想脱钩的省份表现出较显著的正向俱乐部趋同效应,如 Club5 中地理位置接近的四川与青海就展现了这一趋势。同样,脱钩不理想省份也表现了一定的负向空间溢

出效应,体现在 Club1 中,西北及中部地区的效应表现最为明显。这也进一步验证了空间马尔科夫链的矩阵转移结论。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 在脱钩时空分布方面,长短期发展趋势均表明各省份脱钩类型由多样化共存逐渐发展到以弱脱钩状态为主,整体发展形势向好。然而,碳排放问题依旧不可忽视,减排可在以区域协同控碳政策为引导的基础上,充分遵循区域的异质性,突出各省份的资源禀赋与地方优势差异。

(2) 在脱钩空间关联方面,各省份的碳排放脱钩空间正自相关性显著,聚集程度逐渐增强,局部空间聚集显著省份主要分布在第一、三象限,以 L-L 聚集为主, H-L 与 L-H 聚集省份数量处于不规则变动, H-H 聚集主要分布在西北地区,东西空间分异愈发显著,出现极化效应。

(3) 在脱钩空间转移方面,较少出现跨越性的脱钩转移,且转移概率受邻域脱钩状态影响存在差异,其中理想脱钩省份的正向溢出效应能够发挥低碳锁定作用,促进邻域同向向上发展,同样,脱钩不理想或者不稳定地区也对邻域存在负向溢出效应。

(4) 在俱乐部收敛特征方面,全局检验表明我国整体脱钩水平发散,未达到同一均衡稳态。而局部检验得出研究期内形成了 6 个俱乐部收敛小组,内部表现出较显著的趋同效应,进一步验证了空间马尔科夫链的矩阵转移结论。

3.2 讨论

本研究以我国省域为研究单元,基于时间与空间的双维视角,通过深入解析我国各省份碳排放脱钩的动态演进规律及收敛情况,直观揭示我国省际碳排放脱钩空间溢出效应下的区域趋同性特征。然而,本研究还存在以下不足。首先,我国省际脱钩关系时空分布格局显著不均,整体上呈现“东强西弱”,对于造成这种现象的具体影响因素及影响因素间的交叉影响机理有待进一步探讨;其次,研究空间尺度应进一步扩展至市、县甚至是村,以更微观的视角剖析不同空间单元的碳排放脱钩演变规律及驱动机制,对于制定差异化和非均衡性的碳减排措施具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- [2] 汤维祺, 吴力波. IPCC AR6 报告解读: 气候治理政策的新视角及对我国的启示[J]. 气候变化研究进展, 2023,

- 19(2):151-159.
- [3] GUO W Q, XU X Y. Comprehensive Energy Demand Response Optimization Dispatch Method Based on Carbon Trading[J/OL]. *Energies*, 2022, 15(9):3128[2024-02-20]. DOI:10.3390/en15093128.
- [4] 中国经济增长前沿课题组,张鹏,张平,等.绿色优先战略下的增长路径探索与治理实践[J]. *经济研究*, 2022, 57(9):27-45.
- [5] 邵帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展:基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. *管理世界*, 2022, 38(2):46-69.
- [6] 李振环,冯学钢,王亚玲.中国旅游业碳排放脱钩效应测度与时空格局演变[J]. *统计与决策*, 2021, 37(22):46-51.
- [7] VINCENZO B, FURIO C, SERGIO N. Analysis of the Carbon Emissions Trend in European Union. A Decomposition and Decoupling Approach[J/OL]. *Science of the Total Environment*, 2023, 909. 168528[2024-02-20]. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.168528.
- [8] 陆琳忆,何金廖,曾刚.创新驱动视角下经济增长与工业废水排放的脱钩研究:以长三角城市群为例[J]. *地域研究与开发*, 2020, 39(5):156-162.
- [9] 花瑞祥,蓝艳,李嘉文,等.中国省际碳排放脱钩效应及驱动因素分析[J]. *环境科学研究*, 2023, 36(11):2159-2168.
- [10] 翁钢民,李聪慧,潘越,等.中国旅游业碳排放脱钩效应及影响因素研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2021, 37(2):114-120.
- [11] 杨毅,郭尧琦,朱文松,等.我国铝工业经济增长与碳排放脱钩的时空分异研究[J]. *矿冶工程*, 2018, 38(6):168-172.
- [12] 张玉梅,乔娟.都市农业发展与碳排放脱钩关系分析:基于脱钩理论的 Tapio 弹性分析法[J]. *经济问题*, 2014(10):81-86.
- [13] 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.
- [14] 徐如浓,吴玉鸣.长三角城市群碳排放、能源消费与经济增长的互动关系:基于面板联立方程模型的实证[J]. *生态经济*, 2016, 32(12):32-38.
- [15] CHEN J D, WANG P, CUI L B, *et al.* Decomposition and Decoupling Analysis of CO₂ Emissions in OECD[J]. *Applied Energy*, 2018, 231: 937-950.
- [16] WANG Q W, HANG Y, ZHOU P, *et al.* Decoupling and Attribution Analysis of Industrial Carbon Emissions in Taiwan[J]. *Energy*, 2016, 113: 728-738.
- [17] 陈万旭,曾杰.中国土地利用程度与生态系统服务强度脱钩分析[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(11):2853-2864.
- [18] 李娜,葛岳静,胡伟,等.基于脱钩视角的中国与其他 G20 国家贸易关系时空演变[J]. *世界地理研究*, 2023, 32(11):13-29.
- [19] GE Y H, YUAN R. Exploring Decoupling Relationship between ICT Investments and Energy Consumption in China's Provinces: Factors and Policy Implications[J/OL]. *Energy*, 2024, 286: 129506[2024-02-20]. DOI: 10.1016/j.energy.2023.129506.
- [20] 杨友宝,易欢,邓巧,等.贫困山区旅游发展与区域贫困脱钩关系演变及影响因素:以大湘西地区为例[J]. *地域研究与开发*, 2022, 41(6):111-116.
- [21] 王安静,郭琳,赵景峰.中国经济与碳排放脱钩的时空异质性及其驱动因素分析[J]. *软科学*, 2024, 38(5):100-106.
- [22] 闫涛,张晓平,陈浩,等.2001—2016 年中国地级以上城市经济的区域差异演变[J]. *经济地理*, 2019, 39(12):11-20.
- [23] 林光平,龙志和,吴梅.中国地区经济 σ -收敛的空间计量实证分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2006(4):14-21.
- [24] PHILLIPS P C B, SUL D. Transition Modeling and Econometric Convergence Tests[J]. *Econometrica*, 2007, 75(6):1771-1855.
- [25] GAO C C, GE H Q, LU Y Y, *et al.* Decoupling of Provincial Energy-related CO₂ Emissions from Economic Growth in China and Its Convergence from 1995 to 2017[J/OL]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 297: 126627[2024-02-20]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126627>.
- [26] BAI C, DU K, YU Y, *et al.* Understanding the Trend of Total Factor Carbon Productivity in the World: Insights from Convergence Analysis[J]. *Energy Economics*, 2019, 81:698-708.
- [27] 陈明艺,李娜.中国经济高质量发展绿色检验:基于省级面板数据[J]. *上海经济研究*, 2020(5):49-59.
- [28] 何静,王凯,李志远,等.科技创新与旅游业碳排放效率耦合协调发展及动态演化研究[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2023, 46(3):50-59.

(下转第 180 页)

