

# 资源型城市转型绩效特征及其碳减排效应

徐维祥<sup>1</sup>, 郑金辉<sup>1</sup>, 周建平<sup>1</sup>, 陈希琳<sup>1</sup>, 刘程军<sup>1,2</sup>

(1. 浙江工业大学经济学院, 杭州 310023; 2. 浙江工业大学之江学院, 绍兴 312030)

**摘要:** 基于中国资源型城市 2003—2018 年面板数据综合测度城市转型绩效, 采用空间马尔科夫链、空间计量模型和空间双重差分模型, 探究资源型城市转型绩效特征及其对碳排放的影响。结果表明: (1) 资源型城市转型绩效逐渐提升, 与此对应的是区域差异呈波动上升趋势, 且四种类型资源型城市之间区域差异主要来源于地区内差异, 成熟型城市贡献最大; 资源型城市转型绩效存在明显的空间分异性, 发展格局由以跨越区为核心的“多点式”零星分布向先行区为核心的“组团式”聚集形态演变。(2) 资源型城市转型绩效在不同时期存在状态转移的可能性, 具有滞后区、起步区、跨越区和先行区 4 个趋同俱乐部特征, 空间马尔科夫链表明转移趋势存在明显空间关联性, 状态转移通常出现在相邻等级之间, 较少有“跳跃式”转移现象, 具有长期性和持续性特征。(3) 资源型城市转型具有显著碳减排效应, 而且这种效应存在不同资源类型、不同发展阶段和不同空间区位的异质性特征, 经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型是发挥碳减排效应的重要因素; 进一步的政策冲击分析表明, 产业转型升级示范区和高新技術产业开发区的设立对城市碳减排具有积极的政策效应。

**关键词:** 资源型城市; 转型绩效; 碳排放; 空间计量模型; 空间双重差分模型

党的“十九大”报告明确指出支持促进资源型地区经济转型发展, 2018 年 9 月, 在深入推进东北振兴座谈会上习近平总书记强调, 要尽快形成多点支撑、多业并举、多元发展的产业发展格局, 推动资源型城市实现产业转型和可持续发展。城市是国民经济和社会发展的基本载体, 其碳排放量的多寡关系区域乃至全国生态文明建设的成败, 尤以资源型城市的低碳转型最为关键。这不仅是资源型城市自身需要思考的发展难题, 更是新时代创新城市治理、实现高质量发展的重要方向。2020 年 9 月联合国大会上, 习近平总书记宣布中国二氧化碳排放力争在 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和 (30·60) 的多重目标。资源型城市作为能源和资源的重要供应地, 为中国经济社会发展做出了巨大贡献<sup>[1]</sup>, 但是高污染、高排放、高能耗的产业结构没有根本改变, 单纯依靠资源支撑发展, 不仅难以形成内在驱动生产力, 而且容易导致城市环境恶化和加速衰落, 迫使资源型城市必须转型升级, 促进资源型城市绿色转型发展成为实现碳中和目标的关键行动。那么资源型城市转型绩效时空演化特征如何? 是否存在持续的低碳减排效应? 又该如何促进资源型城市转型与升级? 深入探讨上述问题对增强能源安全保障能力、制定有效的区域碳减排政策、推动资源型城市高质量发展意义重大。

收稿日期: 2022-01-24; 修订日期: 2022-08-19

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (18ZDA045)

作者简介: 徐维祥 (1963-), 浙江东阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为产业转型发展与新型城镇化。

E-mail: xwq02@163.com

通讯作者: 刘程军 (1987-) 男, 湖南邵阳人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为产业创新与区域发展。

E-mail: lcjun01@163.com

当前世界各国都高度重视资源型城市转型发展,这也是新时代具有较高研究价值的课题。现有研究主要集中在以下方面:一是资源型城市转型绩效的测度研究。目前主要存在三种具体的测度方法。(1)单指标法,侧重评价资源型城市转型发展的某个具体层面,如经济<sup>[2]</sup>、社会<sup>[3]</sup>、绿色<sup>[4]</sup>、产业<sup>[5]</sup>,但该方法忽视了城市转型是多方面的发展;(2)指标体系法,资源型城市转型发展主要体现在经济提质、产业升级、动能转换、环境优化、民生改善等方面<sup>[6]</sup>,还有学者从经济发展、社会生活、生态环境三个方面构建指标体系对山西资源型城市转型绩效测度<sup>[7]</sup>; (3)投入产出法,从效率视角采用DEA模型对资源型城市转型效率进行评价<sup>[8,9]</sup>,还有学者进一步考虑了污染等非期望产出而采用SBM模型测度资源型城市绿色发展效率<sup>[10,11]</sup>。不可否认的是各种方法都存在自身优势,并在研究中广泛使用,但最常用的是指标体系法。二是资源型城市转型的机制与路径研究。多数研究表明资源型城市亟需解决经济发展瓶颈、开发强度过大、产业结构失衡、资源环境污染等问题,同时应以制度创新为支撑、产业升级为核心、要素创新为手段<sup>[12,13]</sup>。考虑到资源型城市转型发展的长效机制,资源型城市扶持政策能够通过加强市场化程度、增大对外开放水平、发展替代产业来促进经济增长和产业调整,但在出口贸易、第三产业发展方面仍有待加强<sup>[14]</sup>。基于经济地理学视角,资源型城市在转型过程中,应更多地依托资源、延伸资源、不唯资源、超越资源,实现产业合理化发展<sup>[15]</sup>。三是资源型城市转型绩效影响因素的研究。鉴于资源型城市的资源依赖特性,学术界密切关注资源型城市转型绩效具有怎样的空间布局特征,并进而识别其影响因素。研究表明资源型城市转型幅度较好,但发展态势依旧整体较差,并呈现分化趋势,低值阶段主要包括东北、西南等偏远地区<sup>[16]</sup>,引致资源型城市转型绩效呈现东部、中部、西部依次递减的分布格局,这与城市发展态势存在相似特征<sup>[17]</sup>。而关于资源型城市转型绩效的影响因素,现有研究大都显示出产业结构、金融资本、政府调控能力、对外开放程度、技术进步等是现阶段影响中国资源型城市转型的主要因素<sup>[8,18]</sup>。

纵观学术界关于资源型城市转型的研究成果,总体围绕着测度评价与影响因素两条研究主线,从资源型城市转型绩效评价不断深入到资源型城市转型发展的影响因素与路径机制。然而,现有研究仍然存在着需要拓展之处:一是对资源型城市转型绩效时空特征分析的系统性不够,偏向从局部区域和空间维度上评价,对全局视角下区域差异及时空演化的综合性研究不足,动态转移特征可进一步探究;二是对资源型城市转型发展的绿色经济效应认识过于单一,现有研究重视转型发展的影响因素,对资源型城市转型发展的碳减排效应关注不够;三是现有研究中资源型城市转型发展对碳排放影响的理论探讨还存在不足,在实证研究上也缺少基于空间效应及政策效应的分析。鉴于此,本文构建了包含经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型的资源型城市转型绩效评价指标,在厘清资源型城市转型碳减排效应内在机理基础上,探究时空演化特征及其对碳排放影响的空间效应,进一步采用空间双重差分模型分析政策冲击效应,并就推动资源型城市实现低碳转型提出相关建议。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区概况

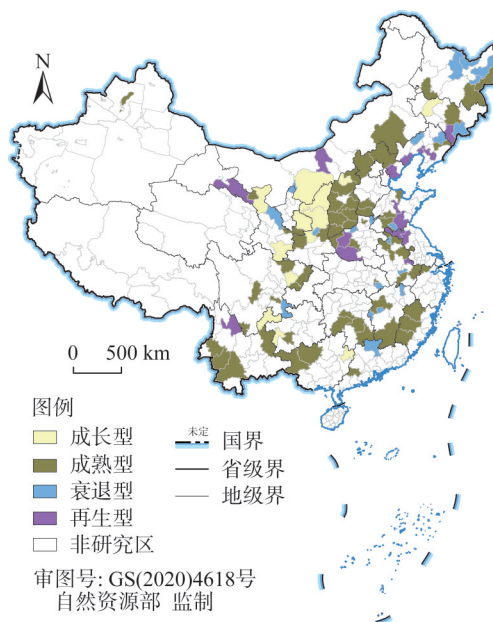
根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》(简称“《规划》”),并结合余建辉等<sup>[19]</sup>的研究,目前中国资源型城市共有262个,包括126个地级行政区,62个

县级市, 58个县, 16个市辖区, 考虑到数据的可获性, 本文选择的研究区域为126个地级行政区中的112个城市(图1)。该《规划》还将资源型城市划分为成长型、成熟型、衰退型和再生型四种类型, 分别有13个、62个、22个和15个。

## 1.2 理论分析

### 1.2.1 资源型城市转型的产业升级效应

经济产业转型是资源型城市转型发展的重要基础, 也是资源型城市转型碳减排效应发生的根本, 主要通过产业结构合理化和高级化转型来实现减排效应。从产业结构合理化来看, 产业内与产业间协调能力的加强和关联水平的提高促进产业之间经济技术联系和数量比例关系趋向协调平衡, 使得生产要素在不同的经济主体之间进行重新分配, 合理配置生产要素, 促进资源优化配置; 同时, 产业调整是多行业和多企业共同参与的过程, 三大产业不断融合与整体素质提升将促进各行各业参与建设现代产业体系, 产业集聚形成的规模报酬递增效应和技术创新效应可进一步推动跨越式发展, 由此形成新的产业体系也将为城市绿色可持续发展提供新动能<sup>[20]</sup>。从产业结构高级化来看, 产业结构高级化主要表现为向高技术化、高附加值化、高集约化和高加工度化的动态调整, 由“一二三”向“三二一”产业动态演进, 多元化发展趋势日益凸显, 农业、工业和服务业的内部结构也由单一向多元化发展, 要素资源将更多地流向高附加值产业部门, 减少城市碳排放<sup>[21]</sup>(图2)。



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 底图无修改, 下同。

图1 资源型城市研究区域

Fig. 1 The study area of resource-based cities

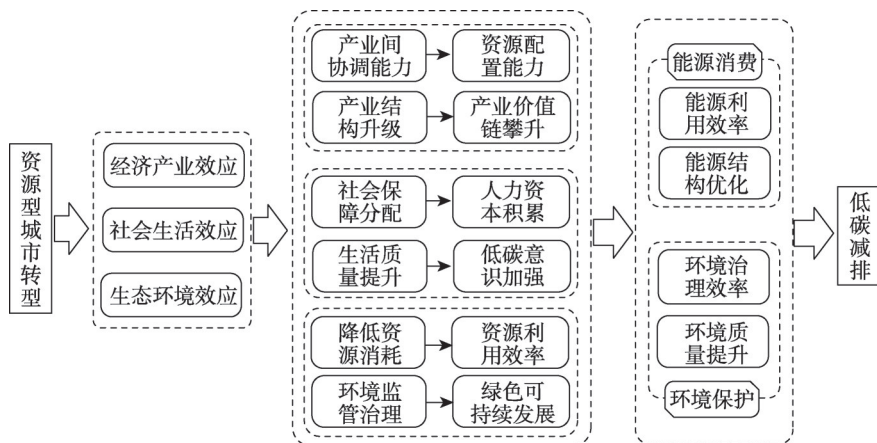


图2 资源型城市转型的作用机理

Fig. 2 The mechanism of the transformation of resource-based cities



### 1.2.2 资源型城市转型的社会生活效应

资源型城市社会生活转型主要体现在社会保障和生活质量方面。医疗和教育能够促进人力资本形成,加速人力资本积累,这对实现资源型城市转型与碳中和目标具有重要作用。城市转型发展加速人力资本、创新资本的空间集聚及知识技术的扩散溢出效应,提高创新要素配置效应,充分释放创新要素配置潜能,深化能源领域体制机制改革创新,推动清洁低碳、安全高效的新能源技术应用,进而能够提高资源利用率和降低生产碳排放<sup>[22]</sup>。环境污染直接导致社会生活环境质量下降,不利于提升劳动生产率和增加居民收入,降低城市对人才的吸引力,导致城市发展受到阻碍<sup>[23]</sup>。资源型城市转型对资源环境约束、维护生态安全、增强可持续发展影响深远,倒逼企业精准治污减排,强化企业主体责任和环保意识,增加居民的社会生活福利,促进经济可持续发展。随着居民收入水平提升和经济社会发展,居民对自然环境和生活环境的要求越来越高,开始更加关注生活质量的提升,同时居民消费意识转变,低碳意识逐渐加强,公众环境认知能力提高<sup>[24]</sup>,有利于促进碳排放降低。

### 1.2.3 资源型城市转型的环境改善效应

资源型城市转型对生态环境的改善效应主要是归结于对资源利用与环境治理效率提升。一方面生态环境转型发展中的减少污染物排放、降低资源消耗与减少碳排放同属于节能减排范畴,进行环境治理与减少碳排放是同一个问题的两个方面,因此,生态环境转型自然对降低碳排放具有积极作用。资源型城市生态环境转型,主要体现在环境治理和生态修复方面,近年来一些资源型城市通过开展环境保护工作,持续改善生态环境,提升资源环境承载力,推动了城市可持续发展<sup>[25]</sup>。例如,以煤炭和水泥为主导产业的铜川市通过实施节能减排和生态修复等环保项目,生态环境质量持续改善,“生态绿”成为城市高质量发展的新动能。另一方面生态环境转型过程中的环境监管对碳减排产生积极作用,如政府通过对排污企业征收环境税等措施,将外部环境成本得以内部化,提高企业资源浪费、污染排放、治理不足的成本,从而促使厂商减少污染行为,达到了保护环境的目的,推动绿色产业和高能产业对高污染、高能耗产业的替代,这样能够有效提高资源利用率,减少碳排放。同样,政府为了从源头减少企业生产对环境损害,往往采用排污削减设备补贴和污染减排补贴的政策,能够激励企业采用环保设备生产商品,这对于控制环境污染、改善环境质量具有重要作用,同样能够达到碳减排效应<sup>[26]</sup>。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 资源型城市转型绩效评价指标体系

根据《规划》的基本原则和发展目标以及相关研究<sup>[6,16,17]</sup>,本文构建了经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型三个维度的指标体系。在指标测度上,首先对原始指标数据上进行无量纲化处理,以消除量纲影响后再进行指标权重和熵值法评分,最终得到资源型城市转型绩效指标体系,如表1所示。

### 1.3.2 资源型城市转型绩效时空特征分析方法

(1) 泰尔指数。为探究资源型城市转型绩效在时序变化上的区域差异及其结构来源,采用泰尔指数计算出区域差异,并将其分解为组内差异和组间差异进行对比分析<sup>[27]</sup>:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{TRA_i}{\overline{TRA}} \times \ln \frac{TRA_i}{\overline{TRA}} \right) \quad (1)$$

$$T_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{TRA_{ri}}{\overline{TRA}} \times \ln \frac{TRA_{ri}}{\overline{TRA}} \right) \quad (2)$$

表1 资源型城市转型绩效评价指标体系

Table 1 The transformation performance evaluation index system of resource-based cities

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	单位	性质
经济产业 转型	经济活力	经济发展	地区 GDP	万元	正向
		经济增长	GDP 增长率	%	正向
		财政收入	地方财政一般预算收入	万元	正向
	产业结构	产业高级化	第三产业产值/第二产业产值	—	正向
		产业合理化	一、二、三产业的泰尔指数	—	负向
		采矿业强度	采矿业从业人员所占比例	%	负向
社会生活 转型	社会保障	科学教育	教育、科学支出占财政支出比例	%	正向
		医疗资源	万人医院、卫生院床位数	张/万人	正向
		失业状况	城镇登记失业率	%	负向
	生活质量	居民储蓄	人均居民人民币存款	元/人	正向
		职工工资	在岗职工平均工资	元	正向
		生活消费	人均社会消费品零售总额	元/人	正向
生态环境 转型	资源消耗	能源消费	单位工业产值用电量	kW·h/万元	负向
		单位水耗	单位 GDP 用水量	t/万元	负向
		土地利用	单位土地创造的 GDP	万元/km <sup>2</sup>	正向
	环境治理	废物利用	工业固体废物综合利用率	%	正向
		污水处理	生活污水处理率	%	正向
		垃圾处理	生活垃圾无害化处理率	%	正向

$$T = T_a + T_b = \sum_{r=1}^4 \left( \frac{n_r}{n} \times \frac{\overline{TRA}_r}{\overline{TRA}} \times T_r \right) + \sum_{r=1}^4 \left( \frac{n_r}{n} \times \frac{\overline{TRA}_r}{\overline{TRA}} \times \ln \frac{\overline{TRA}_r}{\overline{TRA}} \right)$$

(3)

式中： $T$ 表示资源型城市转型绩效的泰尔指数，其数值大小处于0~1之间，反映了区域总体差异的大小； $TRA$ 表示城市转型绩效值； $T_r$ （ $r=1, 2, 3, 4$ ）分别表示成长型、成熟型、衰退型、再生型城市转型绩效的泰尔指数； $i$ 表示城市； $n$ 表示资源型城市数量（个）； $T_a$ 、 $T_b$ 分别表示地区内差异和地区间差异； $n_r$ 分别表示成长型、成熟型、衰退型、再生型城市数量（个）； $TRA_i$ 表示城市 $i$ 的转型绩效； $TRA_{ri}$ 表示 $r$ 类型资源型城市 $i$ 的转型绩效； $\overline{TRA}$ 和 $\overline{TRA}_r$ 分别表示资源型和 $r$ 类型资源型城市转型绩效的平均值。可以从地区内差异泰尔指数 $T_a$ 和地区间差异泰尔指数 $T_b$ 两个层面来分析总体区域差异的来源。与此同时，定义 $T_a/T$ 和 $T_b/T$ 分别为地区内差异和地区间差异对总体差异的贡献率，定义 $(TRA_r/\overline{TRA}) \times (T_r/T)$ 为地区内差异中成长型、成熟型、衰退型、再生型城市四个类型地区的贡献率，其中， $TRA_i$ 和 $\overline{TRA}$ 分别为四个类型城市和资源型城市转型绩效的和。

（2）空间马尔科夫链。为进一步分析资源型城市转型绩效在动态变化过程中与邻近城市的空间关联性<sup>[28]</sup>。通过各城市转型绩效的初始年份空间滞后值将样本城市分为 $k$ 种类型，邻域绩效类型通过城市 $i$ 在该年份的空间滞后值来表示，将空间滞后值纳入到传统马尔科夫链中构建出 $k$ 个 $k \times k$ 阶概率转移矩阵。空间滞后值计算如下：

$$Lag = \sum x_i W_{ij}$$

(4)

式中： $Lag$ 为邻域城市的空间滞后值； $x_i$ 表示城市 $i$ 的转型绩效； $W_{ij}$ 表示空间权重矩阵。

1.3.3 资源型城市转型碳减排效应分析方法

（1）面板FE模型。为了分析资源型城市转型绩效对碳排放的直接影响，首先构建面

板计量模型来检验:

$$EMI_{it} = \alpha + \beta TRA_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中:  $t$  表示年份;  $EMI_{it}$  表示城市碳排放量 (亿 t);  $X_{it}$  表示控制变量;  $\mu_i$  表示地区固定效应;  $v_t$  表示时间固定效应;  $\varepsilon_{it}$  表示随机干扰项;  $\alpha$  表示常数项;  $\beta$  和  $\delta$  分别表示核心解释变量和控制变量的估计系数。

根据以往研究<sup>[8,19,29]</sup>, 本文选取以下控制变量: ① 政府干预 ( $GOV$ ), 采用地方财政一般预算支出与 GDP 之比反映政府干预程度。② 人口规模 ( $POP$ ), 采用城市常住人口来表征。③ 环境规制 ( $ENR$ ), 由于地级市层面缺少环保投资额数据, 所以采用水利、环境和公共设施管理业从业人员占总人口比例来表征。④ 金融发展 ( $FIN$ ), 采用年末金融机构贷款余额与 GDP 之比来表征。⑤ 基础设施 ( $INF$ ), 采用城市道路面积与总人口的比值来表征。⑥ 市场规模 ( $SIZ$ ), 采用每平方公里人口数与人均 GDP 的乘积来表征。

(2) 空间计量模型。进一步将资源型城市转型绩效引入到 STIRPAT 模型, 分析资源型城市转型如何对碳排放产生影响, 以及存在怎样的空间效应。空间杜宾模型 (SDM) 可简化为空间误差模型 (SEM) 和空间滞后模型 (SLM), 为不失一般性用其来展开分析<sup>[20]</sup>:

$$EMI_{it} = \alpha TRA_{it} + \beta X_{it} + \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} EMI_{jt} + \gamma \sum_{j=1}^n W_{ij} TRA_{jt} + \varphi \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中:  $\rho$ 、 $\gamma$ 、 $\varphi$  均表示变量的空间滞后系数。此外, 为了缩小变量尺度使数据更平稳, 降低异方差, 本文对相应变量进行了取对数处理。

(3) 空间双重差分模型。为了评估资源型城市转型的政策效应, 本文进一步采用双重差分模型 (Difference in Differences Model, DID) 进行估计。主要是基于以下两个试点政策的效应: ① 产业转型升级示范区政策。国家发展和改革委员会等五部委于 2017 年联合通过了《关于支持首批老工业城市和资源型城市产业转型升级示范区建设的通知》, 支持 12 个城市 (经济区) 建设首批产业转型升级示范区<sup>①</sup>。本文将该示范区建设政策作为一项准自然实验, 采用双重差分模型进行估计分析, 核心解释变量就是模型中的政策变量 ( $POC$ ), 将属于示范区城市设为 1, 非示范区城市设为 0; 2017 年及以后设为 1, 2017 年之前设为 0。② 国家高新技术产业开发区政策。国家高新区在城市中承担了重要科技创新和技术进步功能, 对降低资源型城市环境污染提供了技术支撑。本文同样将国家高新区虚拟变量作为核心解释变量  $POC$ , 通过匹配资源型城市名单与国家科学技术部网站 ([www.most.gov.cn](http://www.most.gov.cn)) 公布的截至 2015 年获批的国家高新技术产业开发区名单, 假如该城市的国家高新技术产业开发区是在 2015 年及之后设立, 则将  $POC$  变量设为 1, 否则为 0。

基于以上政策内涵分析, 本文设定如下计量模型<sup>[30]</sup>:

$$EMI_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} EMI_{jt} + \alpha + \beta POC_{it} + \gamma \sum_{j=1}^n W_{ij} POC_{jt} + \theta X_{it} + \varphi \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中:  $POC_{it}$  表示城市是否设立产业转型升级示范区或者高新技术产业开发区的虚拟变量;  $\theta$  表示控制变量系数。

#### 1.4 数据来源

本文资源型城市转型绩效指标体系及控制变量数据主要来源于从 2004—2019 年的《中国城市统计年鉴》, 并根据各省、地级市统计年鉴及国民经济与社会发展统计公报补齐部分缺失数据; 城市碳排放量数据来源于 Chen 等<sup>[31]</sup>的研究方法计算出的数据, 对于缺

① 12 个城市 (经济区) 包括辽宁中部、吉林中部、内蒙古西部、河北唐山、山西长治、山东淄博、安徽铜陵、湖北黄石、湖南中部、重庆环都市区、四川自贡、宁夏东北部。

少的2018年碳排放数据,采用张金萍等<sup>[32]</sup>的方法予以估算。

## 2 结果分析

### 2.1 资源型城市转型绩效的时空演变特征

#### 2.1.1 区域差异及结构分解

根据式(1)~式(3)计算出资源型城市的泰尔指数及结构分解,并据此作出变化趋势图进行分析(图3),以发现资源型城市转型绩效的区域差异及来源。从总体差异看,2003—2018年资源型城市转型绩效泰尔指数呈波动上升趋势,从2003年的0.0719上升至2018年的0.2326,表明中国资源型城市转型绩效的总体差异在持续增大,最小差异和最大差异分别出现在2003年和2017年,泰尔指数值为0.0719和0.3536。从结构分解看,2003—2018年地区内差异贡献率均在80%以上,2017年贡献率最大,更是达到了

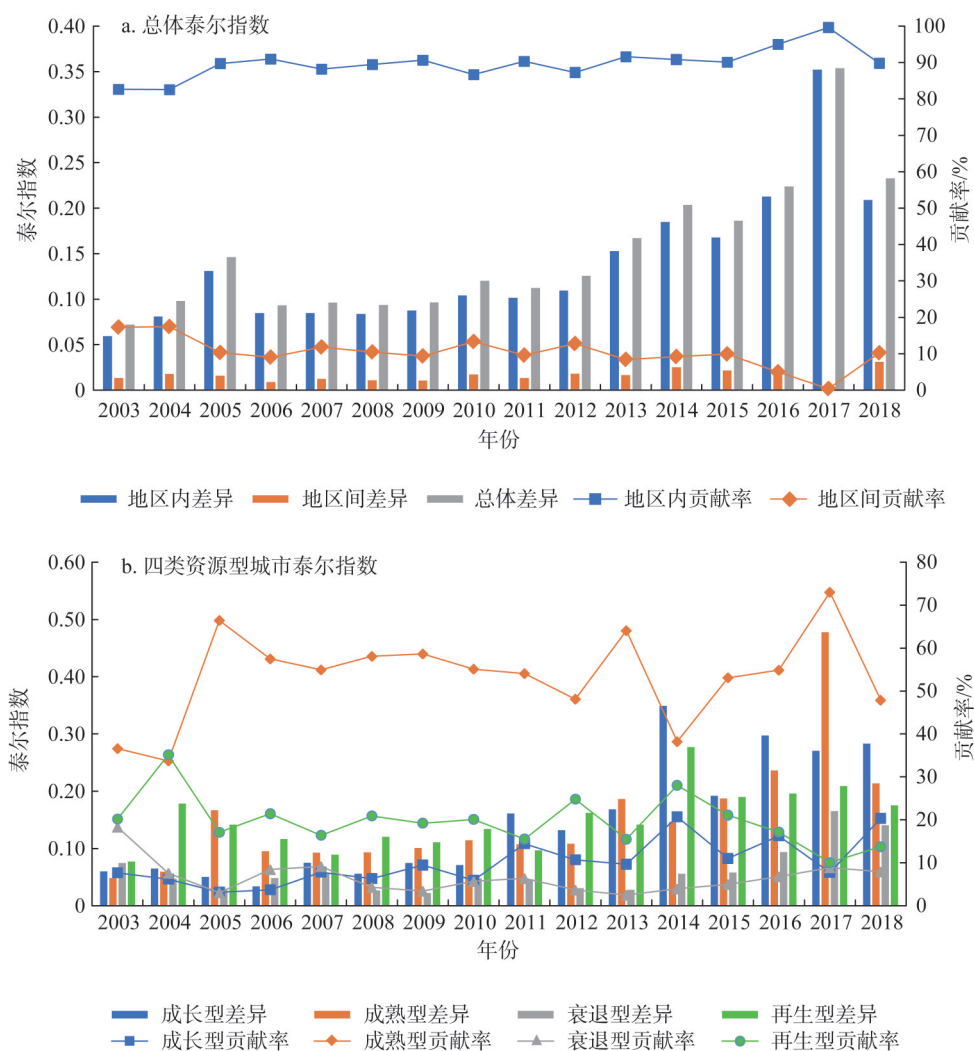


图3 资源型城市转型绩效泰尔指数及结构分解

Fig. 3 Theil index and structural decomposition of transformation performance of resource-based cities



99.58%，地区间差异贡献率则均小于20%，2004年最大为17.42%，表明地区内差异是导致资源型城市总体趋于差异的主要原因。在此基础上，对地区内差异泰尔指数作出分解后能够得出，2003—2018年成长型、成熟型、衰退型和再生型城市转型绩效泰尔指数的平均值分别为0.1462、0.1521、0.0606和0.1510；另外，成长型、成熟型、衰退型和再生型城市对总体差异贡献率的均值分别为10.05%、53.37%、6.54%和19.75%，且成长型城市的贡献率变化趋势上升明显，成熟型城市的贡献率变化趋势波动上升，衰退型城市和再生型城市则呈明显下降趋势，这说明成熟型城市是导致总体差异的最主要来源，再生型城市和成长型城市次之，衰退型城市在总体差异中的贡献率最小。

### 2.1.2 空间分布特征

本文根据112个资源型城市转型绩效的平均值为标准，将其划分为四种等级类型区，分别为：滞后区（绩效值低于平均值的60%）、起步区（绩效值介于平均值的60%~80%之间）、跨越区（绩效值在平均值的80%~120%之间）、先行区（绩效值高于平均值的120%），借助ArcGIS 10.8软件进行可视化（图4）。结果显示，2003年资源型城市转型绩效总体水平较低，以滞后区和起步区为主，仅有大庆1个城市为先行区。2010年资源型城市转型绩效明显提升，滞后区城市数量急剧减少，同时起步区数量迅速增加，而跨越区数量有所较少，大庆则从先行区变化为跨越区，先行区城市数量增加至3个；其中，起步区和跨越区往往是相邻城市而分布，并在先行区周围环绕分布。2018年资源型城市转型绩效提升较为明显，先行区数量占据优势，并形成了集聚分布态势，主要分布在东部和中部城市；与之相对的是滞后区和起步区的数量进一步减少，其中，滞后区主要分布在云南西北部等城市，起步区空间范围较为广泛，跨越区主要依先行区而分布。整体而言，中国资源型城市转型绩效在滞后区、起步区、跨越区及先行区中不断变动发展，转型绩效逐渐提升，由以跨越区为核心的“多点式”零星分布向先行区为核心的“组团式”聚集形态演变。

### 2.1.3 动态转移特征

#### (1) 基于空间马尔科夫链静态分析结果

本文采用空间马尔科夫链来探究资源型城市转型绩效的时空演化特征，根据初始年份的空间滞后值和上文划分的四种类型来建立空间马尔科夫概率转移矩阵（表2），分析

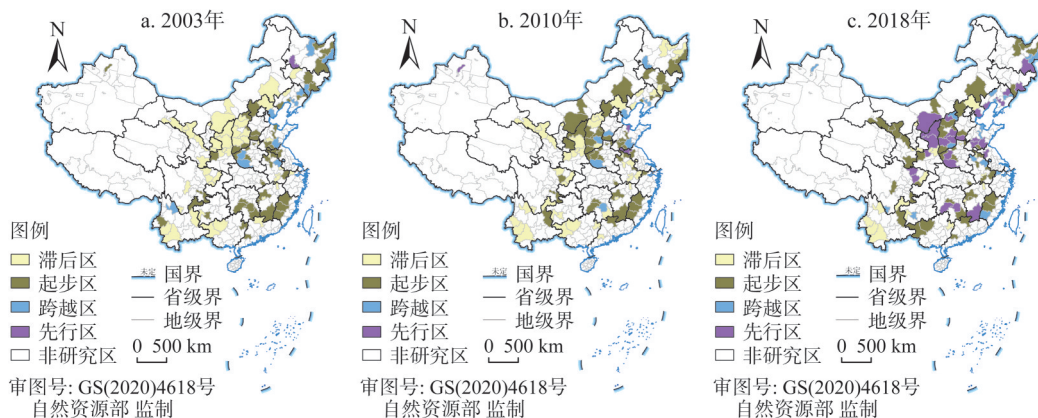


图4 资源型城市转型绩效空间分布特征

Fig. 4 The spatio-temporal pattern of transformation performance of resource-based cities



表2 空间马尔可夫转移概率  
Table 2 Spatial markov transition probability

类型		2003—2010年				2011—2018年				2003—2018年			
		滞后	起步	跨越	先行	滞后	起步	跨越	先行	滞后	起步	跨越	先行
滞后	滞后	0.809	0.183	0.004	0.004	0.764	0.186	0.029	0.021	0.774	0.192	0.011	0.023
	起步	0.297	0.658	0.045	0.000	0.424	0.457	0.068	0.051	0.307	0.598	0.074	0.021
	跨越	0.100	0.300	0.400	0.200	0.250	0.250	0.312	0.188	0.116	0.302	0.373	0.209
	先行	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	0.200	0.600	0.200	0.333	0.083	0.500	0.084
起步	滞后	0.784	0.207	0.009	0.000	0.500	0.371	0.060	0.069	0.637	0.294	0.033	0.036
	起步	0.200	0.683	0.117	0.000	0.295	0.591	0.104	0.010	0.228	0.641	0.128	0.003
	跨越	0.069	0.552	0.241	0.138	0.200	0.400	0.320	0.080	0.146	0.354	0.390	0.110
	先行	0.000	0.000	1.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.083	0.000	0.583	0.334
跨越	滞后	0.900	0.100	0.000	0.000	0.211	0.263	0.000	0.526	0.692	0.212	0.038	0.058
	起步	0.250	0.500	0.250	0.000	0.185	0.408	0.222	0.185	0.302	0.442	0.163	0.093
	跨越	0.077	0.385	0.461	0.077	0.115	0.250	0.500	0.135	0.068	0.318	0.500	0.114
	先行	0.000	0.000	0.000	1.000	0.286	0.071	0.357	0.286	0.091	0.091	0.454	0.364
先行	滞后	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	起步	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	跨越	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.333	0.667
	先行	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.100	0.900	0.000	0.000	0.167	0.833

四种转型绩效类型区在不同时间段的概率转移趋势。

由表2可知，①资源型城市转型绩效存在滞后区、起步区、跨越区和先行区4个趋同俱乐部特征。除滞后区以外，其他类型城市对角线上的概率值总体上高于非对角线上的概率值，说明各城市转型绩效比较稳定，内部流动性较强，但保持初始状态的概率较大。在状态转移概率矩阵中，资源型城市转型绩效的状态转移主要趋向于跨越区，其次是起步区，向滞后区和先行区状态转移的概率较小。②资源型城市转型绩效的状态转移通常发生在相邻等级之间，较少出现“跳跃式”转移现象。非对角线上的数字在对角线两侧分布，说明转型绩效具有向高等级类型转移的可能性，但同时也存在向低类型转移的趋势，并且资源型城市转型绩效的转移趋势存在一定“路径依赖”，具有长期性和持续性特征，较难实现跨越式发展。③资源型城市转型绩效的状态转移过程中空间邻近性具有关键作用。相邻城市转型绩效类型不同，则存在不同的转移概率，一般来说，相邻城市转型绩效越高，该城市向上转移的概率越大，相邻城市转型绩效越低，该城市向下转移的概率越大，这说明资源型城市转型发展与相邻城市转型绩效类型密切相关，具有明显的关联特征。

(2) 基于空间马尔科夫链动态分析结果

本文进一步运用ArcGIS 10.8软件将转移情况可视化（图5），分析资源型城市转型绩效的动态演化特征。由图5可知，相邻城市的转移具有趋同特征。2003—2010年自身和邻域均向上转移的城市有22个，自身向上、邻域不变的城市仅有1个（克拉玛依），自身和邻域均不变的城市有64个，自身向下、邻域不变的城市有3个（葫芦岛、云浮、贺州），自身和邻域均向下的城市有22个。2011—2018年自身和邻域均向上转移的城市有59个，自身向上、邻域不变的城市有3个（阜新、葫芦岛、雅安），自身和邻域均不变的

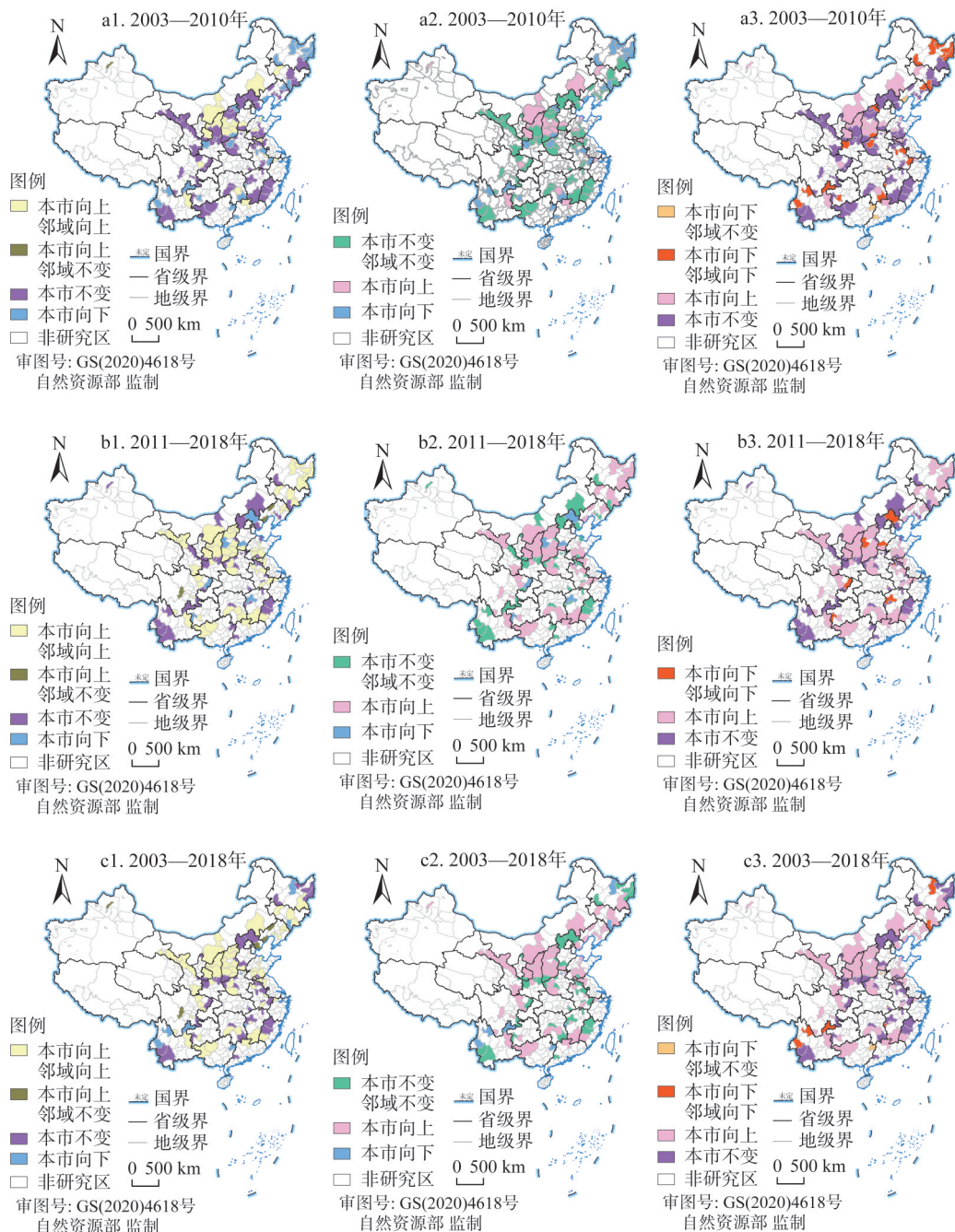


图5 动态空间马尔科夫转移类型

Fig. 5 Spatial markov transition types of transformation performance

城市有42个,自身和邻域均向下的城市有8个。2003—2018年自身和邻域均向上的城市有61个,自身向上、邻域不变的城市有5个(唐山、阜新、葫芦岛、雅安、克拉玛依),自身和邻域均不变的城市有37个,自身向下、邻域不变的城市有2个(鹤壁、贺州),自身和邻域均向下的城市有7个。整体而言,研究期间,中国资源型城市转型绩效的关联

作用是良好发展的，大多都处于向上或不变的转移状态，仅在2003—2010年间出现了多个城市向下转移的倒退现象，这可能是因为当时资源型城市的经济增长模式依旧以自然资源为基础，资源依赖性较强，造成严重的资源消耗和环境污染，因此导致城市转型绩效不明显，甚至出现降低现象。

2.2 资源型城市转型对碳排放的影响

2.2.1 空间相关性检验

在进行空间计量模型实证分析前，本文采用单变量Moran's *I*指数对资源型城市转型绩效（*TRA*）和碳排放（*EMI*）进行空间相关性分析，并计算出转型绩效与碳排放的双变量Moran's *I*值，探索两者的空间关联特征（表3）。由表3可知，资源型城市转型绩效的Moran's *I*值在0.261~0.281之间波动上升，除个别年份不显著外，总体上均显著为正，具有较强的空间集聚性，说明转型绩效较高的城市在空间上趋于邻近，较低城市空间上亦相邻。资源型城市碳排放的Moran's *I*值变化趋势不明显，且均在1%的水平下显著，说明资源型城市碳排放同样具有较强的空间集聚性。从转型绩效与碳排放的双变量Moran's *I*值来看，虽然有部分年份不显著，但整体上仍显著为正，这说明资源型城市转型绩效与碳排放之间存在显著的空间集聚与依赖特征，邻近城市彼此相互影响，集群化特征显著。

表3 Moran's *I*统计量检验结果

Table 3 Moran's *I* test results

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>TRA</i>	0.261***	0.122*	0.326***	0.400***	0.353***	0.131*	0.050***	0.029***
<i>EMI</i>	0.164***	0.165***	0.167***	0.167***	0.170***	0.169***	0.166***	0.163***
<i>TRA</i> 与 <i>EMI</i>	0.105*	0.284***	0.154**	0.085	0.183***	0.066	0.106*	0.113**
年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>TRA</i>	0.249***	0.102	0.089	0.082	0.012	0.139*	0.151**	0.281***
<i>EMI</i>	0.163***	0.162***	0.153***	0.150***	0.152***	0.151***	0.144***	0.101***
<i>TRA</i> 与 <i>EMI</i>	0.232***	0.221***	0.103*	0.082	0.046	0.250***	0.133**	0.178***

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平，下同。

2.2.2 参数估计与结果分析

本文首先采用面板FE模型进行基本回归，并通过内生性检验和稳健性检验对研究结论的可靠性验证，进一步采用空间杜宾模型分析空间溢出效应，表4为模型基础估计结果。

（1）面板FE模型。可以看到转型绩效对碳排放的影响系数显著为负，说明资源型城市转型发展能够降低城市碳排放，具有显著的碳减排效应。

（2）内生性检验。为了进一步缓解遗漏变量和逆向因果关系而导致的内生性偏误，本文进行内生性检验。工具变量法在处理内生性问题经常采用，但目前很难找到只通过转型绩效作用于碳排放的自然现象类工具变量。因而借鉴Arellano等<sup>[33]</sup>的方法，采用系统GMM模型估计，并将解释变量转型绩效滞后一阶、二阶项作为工具变量。可以看到，AR(1)的*P*值<0.1，AR(2)的*P*值>0.1，因此认为扰动项不存在二阶自相关；Hansen检验的*P*值>0.1，表明工具变量是有效的。以上两项检验保证了使用系统GMM估计进行参数估计的合理性。对于核心解释变量转型绩效而言，参数估计检验在不同水平上显著，说明资源型城市转型发展对碳排放的抑制效应这一结论依然成立。

表4 模型基础估计结果

Table 4 The base model estimation results

变量	面板FE模型	内生性检验	稳健性检验		空间杜宾模型	
	lnEMI	lnEMI	lnCOG	lnEMI	Main	W×X
TRA	-0.484*** (-7.16)	-0.646* (-1.86)	-0.400*** (-12.48)	-0.461*** (-6.68)	-0.721*** (-2.80)	-0.532* (-1.84)
GOV	0.538*** (3.13)	-3.039*** (-4.21)	-0.073 (-0.76)	0.806*** (3.56)	0.461*** (4.45)	-0.589*** (-4.24)
POP	1.887*** (3.87)	-0.178 (-1.23)	0.157 (0.66)	1.732*** (3.84)	0.034 (0.27)	0.357* (1.79)
ENR	0.078** (2.23)	0.021 (0.10)	-0.030 (-1.18)	0.070* (1.84)	-0.030* (-1.82)	-0.009 (-0.42)
FIN	-0.047* (-1.67)	0.577*** (5.86)	-0.018 (-0.85)	-0.054 (-1.52)	-0.066*** (-3.27)	0.090*** (3.58)
INF	0.144*** (5.40)	0.496*** (2.91)	-0.022 (-1.13)	0.144*** (5.23)	0.018 (1.41)	0.001 (0.03)
SIZ	0.072*** (4.73)	0.097* (1.65)	-0.054*** (-4.12)	0.068*** (4.44)	-0.022*** (-3.14)	0.011 (1.26)
cons/rho	9.963*** (5.39)	3.724*** (17.42)	0.943 (0.72)	9.281*** (5.41)	0.200*** (8.48)	
N/个	1792	1568	1792	1792	1792	
R <sup>2</sup>	0.331	0.067	0.442	0.338	0.207	

注：括号内为 $t$ 值；在内生性检验模型中，AR(1) 检验结果为-3.24 ( $P=0.001$ )，AR(2) 检验结果为-2.40 ( $P=0.216$ )；Hansen 检验结果为83.16 ( $P=0.122$ )。在非空间计量模型（面板FE、内生性、稳健性）中的cons表示常数项，在空间计量模型中的rho表示空间滞后项，下同。

(3) 稳健性检验。内生性检验已在一定程度上反映了结论的稳健性，这里通过两种稳健性检验方式进一步对结论可靠性进行验证：一是替换被解释变量，采用碳强度(COG)作为碳排放的替代变量作为碳减排效应分析，其中碳强度的计算方式为单位GDP的二氧化碳排放量；二是对变量进行缩尾处理，根据被解释变量碳排放将1%~99%以外的异常值采用winsorize方法缩尾处理后进行回归。根据回归结果，上述两种模型中转型绩效系数显著为负，表现出了较强的稳健性，表明资源型城市转型发展确实存在碳减排效应，本文结论可靠。

(4) 空间杜宾模型。为了探讨资源型城市转型绩效对碳排放影响的空间效应，进一步采用空间计量进行分析。基于Elhorst<sup>[34]</sup>提出的研究方法，对空间计量模型进行估计识别，选择最适合的模型。首先，LM lag与LM error均通过了显著性检验，Robust LM lag和Robust LM error也在显著性水平下通过了检验，说明空间自相关性存在于模型中。其次，由Wald检验及LR检验均通过了显著性检验可知，SDM模型不可简化为SLM模型或SEM模型。最后，Hausman在1%显著性水平下通过了检验，可以确定固定效应模型最适合。由表4可知，被解释变量碳排放的空间滞后项系数显著为正，说明本地区碳排放对邻近地区碳排放具有显著的正向溢出效应。资源型城市转型绩效对碳排放呈显著的负向影响，其空间滞后项系数也显著为负，说明资源型城市转型发展对本地区影响具有显著的碳减排效应，并且对邻近城市的影响存在显著空间溢出效应。原因主要是，一方面资源型城市转型发展将有利于冲破传统路径的桎梏，促进产业链纵向延伸、产业创新能级提升和新兴产业发展，尤其是产业结构高级化发展，推动了新兴高科技产业对传统资源开采产业的替代率，而产业结构合理化发展则促进了单一的经济产业结构向多元化产业结构发展，促进要素组合合理开发与利用，降低对生态环境的压力，减少碳排放；另一



方面资源型城市转型发展是一项集合经济产业、社会生活与生态环境转型的综合过程，能够促进城市功能完善，培养全社会形成良好的环保理念，政府从宏观上对节能减排措施进行调控指导，避免了资源过度开采，企业从生产上改进生产工艺，减少了污染排放，居民从生活上践行节能减排措施，这些都有助于抑制城市碳排放增加。

从控制变量来看，政府干预对碳排放具有显著正向影响，说明政府干预虽然能够加强对城市发展和经济建设的宏观调控作用，但过度的干预政策可能导致市场的资源配置性降低，出现资源错配而致使碳排放增加。人口规模对碳排放的影响不显著，说明虽然人口规模增大，但并没有显著增加碳排放。环境规制对碳排放的影响显著为负，说明要进一步增加水利、环境和公共设施管理业从业人数，加大对环境基础设施和环境保护的投资力度，促进城市低碳转型发展。金融发展能够显著降低碳排放，未来仍需要进一步提升金融资产的利用效率，促进低排放生产，不仅要总量上抑制碳排放，更要减少单位产值的碳排放。基础设施对碳排放的影响为正，但不显著，原因是当前资源型城市基础设施水平正处在增长阶段，可能会破坏原有的生态系统而导致碳排放增加。市场规模对碳排放的影响显著为负，说明良好的市场经济能够吸引人才集聚，进而形成知识技术溢出效应，发挥了显著的碳减排效应。

2.2.3 异质性分析

为了探究资源型城市转型绩效在不同资源类型、不同发展阶段以及不同空间区位中碳减排效应的异质性特征，本文分别从三个视角进行分组回归，其中，不同发展阶段划分以112个资源型城市的转型绩效研究期间平均值为基准。为便于比较表5中只列出了核心解释变量转型绩效的参数估计，没有展示控制变量的参数估计结果。

(1) 在不同类型模型中，成长型城市转型发展对本地区具有显著的碳减排效应，但对邻近城市影响不显著，就成长型城市而言，经济社会发展后力强，其主要发展方向和重点任务提升资源加工和利用水平，推进新型城镇化建设，加快完善上下游产业体系配套，推动战略性新兴产业布局，促进城市转型发展，因此具有显著的碳减排效应。成熟型城市转型发展能够显著促进本地区碳排放降低，也会显著降低邻近城市碳排放，可能是因为成熟型城市资源保障能力强，具有转型发展的良好条件，凭借各类优势能更好地发挥城市转型发展的碳减排效应。衰退型城市转型发展对碳排放的影响不显著，可能是因为衰退型城市资源趋于枯竭，经济发展滞后，生态环境严峻，面临比较严重的人才和

表5 异质性分析结果  
Table 5 The results of heterogeneity analysis

变量	不同资源类型				不同发展阶段				不同空间区位		
	成长型	成熟型	衰退型	再生型	滞后区	起步区	跨越区	先行区	东部	中部	西部
<i>TRA</i>	-0.945** (-2.22)	-0.639*** (-3.33)	0.053 (0.14)	-0.109** (-2.31)	-0.106 (-0.35)	-0.246 (-0.86)	-0.795*** (-6.07)	-0.166* (-1.65)	-0.607*** (-4.53)	-0.232 (-1.32)	-1.061** (-2.56)
<i>W×TRA</i>	1.783 (1.60)	-0.720** (-2.41)	-0.639 (-0.89)	-0.820** (-2.21)	0.186 (0.39)	-0.672* (-1.79)	0.467*** (3.13)	0.018 (0.12)	-0.011 (-0.06)	-0.481** (-2.24)	1.572** (2.14)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>rho</i>	0.505*** (4.31)	0.127*** (3.27)	0.027*** (13.39)	0.029*** (10.89)	0.135** (2.05)	0.219*** (3.39)	0.453*** (15.77)	0.061*** (16.49)	0.385*** (9.33)	0.213*** (7.33)	0.261*** (5.49)
<i>N/个</i>	208	992	352	240	352	288	608	544	352	944	496
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.251	0.032	0.138	0.230	0.222	0.520	0.368	0.466	0.509	0.220	0.201

资金短缺问题，完善的城市转型体系还需要进一步建立，城市转型发展还不足以显著发挥出碳减排效应。再生型城市转型发展对本地区和邻近城市碳排放均具有显著抑制作用，究其原因，可能是因为再生型城市对自然资源的依赖程度比较降低，经济增长开始步入良性发展模式，质量和效益是此类城市的发展方向和重点，推进基本公共服务均等化以及完善城市功能，城市转型能够从经济产业、社会生活和生态环境方面发挥明显的碳减排效应。

(2) 在不同阶段模型中，滞后区资源型城市转型发展对本地区和邻近城市碳排放的影响均不显著，可能是因为滞后区资源型城市转型绩效水平比较低，尚处在依赖资源开采的传统发展阶段，面临着经济发展与环境污染的双重压力，因此城市转型发展不具有显著的碳减排效应。起步区资源型城市转型发展对本地区碳排放的影响不显著，此时资源型城市转型发展已经进入到初步阶段，但此时城市转型绩效仍旧比较低，还不足以发挥出明显的碳减排效应。跨越区城市转型发展对本地区碳排放具有显著抑制作用，对邻近城市碳排放影响显著为正，可能是因为跨越区城市已经越过起步阶段而处于快速发展阶段，逐步进入到可持续发展阶段，城市转型发展带来经济产业、社会民生与生态环境方面的整体发展，因而对本地区城市具有显著碳减排效应，但由于跨越区城市区域差异较大，优势城市吸引了各类资源要素，而邻近城市转型发展绩效较低，可能导致碳排放增加。先行区城市转型发展能够显著降低本地区碳排放，先行区城市已经进入到转型发展的领先阶段，可持续发展带来的红利效应明显，因而对本地区的碳减排效应明显，同时也不会明显增加邻近城市碳排放。

(3) 在不同区位模型中，东部和西部地区资源型城市转型发展均显著抑制了本地区碳排放，但西部地区资源型城市转型发展显著导致了邻近城市碳排放增加，东部地区对邻近城市的抑制作用不明显，而仅有中部地区显著抑制了邻近城市碳排放；此外，从转型绩效的参数估计来看，城市转型发展的碳减排效应在西部地区的作用强度大于东部地区。究其原因，可能是因为西部地区地质工作程度较低，因此开采程度也较低，资源保有储量增长速度大大超过东部或中部，此时资源型城市转型发展正处于加速期，碳减排效应立竿见影；东部地区本来资源型城市就比较少，具有明显的创新资源优势，集聚了大量创新人才和创新资本，对助力城市节能减排具有明显积极作用，但当达到一定转型程度后，可能会出现边际效率下降现象，导致碳减排效应降低；中部地区资源型城市分布较为广泛，集中了能源、有色金属、贵金属等自然资源，金属开采和加工过程中产生的资源消耗可能也比较大，导致城市转型发展对本地区碳排放的抑制作用不明显。

2.2.4 资源型城市转型作用效果分解

为进一步探究资源型城市转型具体如何影响城市碳排放，本文将资源型城市转型的经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型作为解释变量分别进行回归（表6）。

(1) 从经济产业转型来看，经济产业转型发展能够显著降低本地

表6 资源型城市转型的作用分解  
Table 6 Decomposition of the role of resource-based city transformation development

变量	经济产业转型		社会生活转型		生态环境转型	
	Main	$W \times X$	Main	$W \times X$	Main	$W \times X$
$X$	-0.507*** (-3.53)	-0.126 (-0.65)	-0.363* (-1.83)	-0.541*** (-2.75)	-0.511* (-1.93)	-1.237*** (-3.83)
控制变量	是		是		是	
$\rho$	0.198*** (8.38)		0.202*** (8.56)		0.391*** (17.24)	
$N/\text{个}$	1792		1792		1792	
$R^2$	0.101		0.108		0.373	

区碳排放，但对邻近城市碳排放的抑制作用不具有显著性，一方面是因为经济产业转型能够实现多种产业在城市结构中的合理配置和可持续发展，并在城市内部和城市之间形成产业空间调整，促使产业均衡性发展，推动产业转型升级，进而提高边际收益；另一方面行业和企业面临新一轮科技革命和产业变革的挑战，能够推动企业技术创新和技术改造，提高资源利用效率，有效降低城市碳排放。（2）从社会生活转型来看，社会生活转型发展能够显著降低本地区和邻近城市碳排放，这表明伴随着居民生活水平提升，对优质公共服务和生活环境的需求更高，同时居民逐步改变以往消费观念，低碳消费意识随之增强，从而减少了生活消费碳排放，居民素质提升效应发挥出明显的碳减排效应，推动城市绿色低碳发展。（3）从生态环境转型来看，生态环境转型发展对本地区碳排放具有抑制作用，这说明生态环境转型是降低城市碳排放的重要路径之一，并且对邻近城市也具有显著溢出效应，原因可能是生态环境转型是践行生态文明理念的重要体现，致力于城市已有的生态和区位优势转化为经济优势，推动环保产业、循环经济和低碳经济发展，也提升了新兴产业的增长潜力、经济社会的承载能力，从而发挥出明显的碳减排效应。

2.3 进一步分析：政策效应

表7为双重差分模型估计结果。可以看到，在传统DID模型中，产业转型升级示范区政策和高新技术产业开发区政策虚拟变量系数均不显著，当进一步采用空间DID模型来分析时，产业转型升级示范区政策和高新技术产业开发区政策虚拟变量系数估计均显著为负，这说明产业转型升级示范区和高新技术产业开发区建设能够显著降低城市碳排放，同时表示空间相关性在模型估计中不容忽视，若不加以考虑可能会导致模型估计偏

表7 政策冲击效应的DID模型估计结果

Table 7 The DID model estimation results of policy shocks

变量	产业转型升级示范区		高新技术产业开发区	
	传统DID	空间DID	传统DID	空间DID
<i>POC</i>	0.190 (1.50)	-0.244*** (-5.23)	-0.064 (-1.47)	-0.053** (-2.06)
<i>W×POC</i>		0.098* (1.65)		0.070** (2.30)
<i>rho</i>	2.430*** (3.26)	0.497*** (28.83)	2.287*** (3.10)	0.502*** (29.26)
控制变量	是	是	是	是
<i>N</i> /个	1792	1792	1792	1792
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.673	0.401	0.670	0.383

误。值得注意的是，产业转型升级示范区和高新技术产业开发区的空间滞后项 $W \times POC$ 均表现出显著的正效应，可能是由于该城市设立了产业转型升级示范区或者高新技术产业开发区后，当地政府为推进示范区和高新区建设，对产业和企业实施补贴优惠政策，吸引大量的创新人才集聚，这些城市对邻近城市形成虹吸效应，对周边地区产生了极大吸引力，甚至将周边更多的优质资源吸收过来，拉大了与邻近城市转型发展差距，因此不利于邻近城市碳减排效应。

3 结论与讨论

3.1 结论

促进资源型城市低碳转型发展，对于提高资源利用和环境保护，实现碳中和目标具有重要意义。本文分析了资源型城市转型绩效的时空演变特征，并探究了资源型城市转型绩效对碳排放影响的空间效应，主要结论如下：

（1）资源型城市转型绩效逐渐提升，与此对应的是区域差异呈波动上升趋势；区域差异结构分解表明总体区域差异主要来源于地区内，且成熟型城市对区域差异的贡献最



大。资源型转型绩效呈现明显的空间分异特征,在滞后区、起步区、跨越区及先行区中变动发展,多数城市转型绩效上升跃迁明显,由以跨越区为核心的“多点式”零星分布向先行区为核心的“组团式”聚集形态演化,滞后区主要分布在云南西北部等城市,起步区空间范围较为广泛,跨越区主要依先行区而分布。

(2) 资源型城市转型绩效在不同时期存在状态转移的可能性,主要趋向于起步区和跨越区。资源型城市转型绩效存在滞后区、起步区、跨越区和先行区4个趋同俱乐部特征,除滞后区外,总体上各城市转型绩效比较稳定,内部流动性较强,但保持初始状态的概率较大;源型城市转型绩效的状态转移通常发生在相邻等级之间,较少出现“跳跃式”转移现象,具有长期性和持续性特征,较难实现跨越式发展;资源型城市转型绩效的状态转移过程中空间邻近性具有关键作用,与相邻城市转型绩效类型密切相关,具有明显的关联特征。

(3) 资源型城市转型发展具有积极的碳减排效应,显著降低了碳排放,并且资源型城市转型发展对城市碳减排存在明显的空间溢出效应。异质性分析表明,成长型、成熟型、再生型城市转型发展对本地区具有显著的碳减排效应,跨越区和先行区城市转型发展对本地区具有显著的碳减排效应,而且东部和西部地区城市转型发展显著抑制了本地区碳排放,经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型发展能够显著降低本地区城市碳排放。进一步分析表明,产业转型升级示范区和高新技术产业开发区设立对城市碳减排具有积极的政策效应。

### 3.2 讨论

在资源型城市高质量发展与碳中和目标指导下,上述研究结论的政策启示为:

(1) 聚焦碳中和目标导向性,完善经济发展考核体系。一方面从定量评价、环境优劣和满足人类社会需要程度来评价资源型城市转型发展水平,对矿产资源进行综合勘查和合理评价,严格落实资源分区管理制度,以集约型、高效率、环保型手段对矿产资源适度开发,形成典型的资源型城市转型创新集聚区;另一方面进一步完善对资源型城市财政转移支付制度,加快解决资源型城市在经济产业、社会生活和生态环境转型方面存在的问题,推动经济产业转型升级、社会生活水平提升和生态环境明显改善,倡导形成低碳环保理念,实现环境治理向环境保护的思想转变,助推资源型城市低碳转型发展。

(2) 分类引导各类城市发展,因地制宜推进城市转型。就不同类型资源型城市而言,要考虑到资源禀赋异质性差异,要提高成熟型和成长型城市的资源保障能力、合理开发能源资源,推进衰退型城市积极寻找替代产业,引导再生型城市有条件发展创新产业;针对不同发展阶段资源型城市,要进一步推动滞后区和起步区城市转型绩效提升,持续发展跨越区和先行区城市转型发展的碳减排效应,着力优化调整经济结构,推动产业转移和产业转型升级,有条件地发展高新技术产业,促进经济发展提质增效;针对不同地区资源型城市,东部地区城市要合理利用区位优势 and 知识创新发挥对中部和西部城市的带动辐射作用,西部城市要在国家政策倾斜力度上进一步发挥西部大开发、东北振兴等战略优势,而中部地区则要积极承接东部地区产业转移,实现中部崛起。

(3) 建立健全低碳长效机制,坚持有序开发高效利用。一方面,资源型城市转型发展的碳减排效应主要来自于经济产业转型、社会生活转型和生态环境转型,一是要实行结构调整策略,改造提升传统产业,促进产业转型升级,加快壮大新兴产业以降低对资源的依赖性;二是实行和谐城市策略,促进社会保障体系健全,更大力度地为民生提供保障,大力推进社会转型;三是实行绿色开发策略,加强生态重建和环境保护,建立城



市绿色生态系统, 大力推进生态转型。另一方面, 实施城市空间有序开发, 促进矿山、城市、区域融合发展, 以新型城镇化建设为重点加快推进资源型城市转型进程, 提升城市资源环境承载力, 协调城市发展的经济效益和环境保护, 全面推进城市经济产业、社会生活和生态环境综合转型。

### 参考文献(References):

- [1] 王回苗, 李汉廷, 谢苗苗, 等. 资源型城市工矿用地系统修复的生态安全格局构建. 自然资源学报, 2020, 35(1): 162-173. [WANG H H, LI H T, XIE M M, et al. Construction of ecological security pattern for systematic restoration of industrial and mining land in resource-based cities. Journal of Natural Resources, 2020, 35(1): 162-173.]
- [2] 蒋海兵, 张文忠, 余建辉. 可达性对资源枯竭城市经济转型发展成效的作用机制. 自然资源学报, 2020, 35(2): 257-268. [JIANG H B, ZHANG W Z, YU J H. The mechanism of accessibility on the economic transformation effect of China's resource-exhausted cities. Journal of Natural Resources, 2020, 35(2): 257-268.]
- [3] LI W W, YI P T, ZHANG D N, et al. Assessment of coordinated development between social economy and ecological environment: Case study of resource-based cities in Northeastern China. Sustainable Cities and Society, 2020, 59(5): 1-8.
- [4] KUAI P, LI W, CHENG R H, et al. An application of system dynamics for evaluating planning alternatives to guide a green industrial transformation in a resource-based city. Journal of Cleaner Production, 2015, 10: 403-412.
- [5] 陈妍, 王士君, 梅林. 东北地区非资源型城市与资源型城市产业转型的对比研究. 地理研究, 2021, 40(3): 808-820. [CHEN Y, WANG S J, MEI L. The comparison study of industrial structure transformation between non-resource-based and resource-based cities in Northeast China. Geographical Research, 2021, 40(3): 808-820.]
- [6] 黄天能, 李江风, 许进龙, 等. 资源枯竭城市转型发展绩效评价及障碍因子诊断: 以湖北大冶为例. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1417-1428. [HUANG T N, LI J F, XU J L, et al. The rational assessment of developing transformation and obstacle diagnosis for resources exhausted cities: A case study of Daye, Hubei. Journal of Natural Resources, 2019, 34(7): 1417-1428.]
- [7] LIU B, WANG J M, JIANG Z R, et al. Measurement of sustainable transformation capability of resource-based cities based on fuzzy membership function: A case study of Shanxi province, China. Resources Policy, 2020, 68(6): 1-14.
- [8] 王晓楠, 孙威. 流域资源型城市转型效率及其影响因素. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1643-1655. [WANG X N, SUN W. Transformation efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin and its influencing factors. Progress in Geography, 2020, 39(10): 1643-1655.]
- [9] 李江苏, 王晓蕊, 苗长虹. 基于两种 DEA 模型的资源型城市发展效率评价比较. 经济地理, 2017, 37(4): 99-106. [LI J S, WANG X R, MIAO C H. Comparison of development efficiency evaluation resource-based cities based on DEA model. Economic Geography, 2017, 37(4): 99-106.]
- [10] 白雪洁, 汪海风, 闫文凯. 资源衰退、科教支持与城市转型: 基于坏产出动态 SBM 模型的资源型城市转型效率研究. 中国工业经济, 2014, (11): 30-43. [BAI X J, WANG H F, YAN W K. Resource recession, science & technology and education support and urban transformation: Research on transformation efficiency of resource-based cities based on the dynamic SBM model covering bad output. China Industrial Economics, 2014, (11): 30-43.]
- [11] YAN D, KONG Y, REN X H, et al. The determinants of urban sustainability in Chinese resource-based cities: A panel quantile regression approach. Science of the Total Environment, 2019, 5: 1210-1219.
- [12] 徐君, 李巧辉, 王育红. 供给侧改革驱动资源型城市转型的机制分析. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(10): 53-60. [XU J, LI Q H, WANG Y H. Intergrated mechanism of resource-based cities transformation driven by the supply reform. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(10): 53-60.]
- [13] 徐君, 高厚宾, 王育红. 生态文明视域下资源型城市低碳转型战略框架及路径设计. 管理世界, 2014, (6): 178-179. [XU J, GAO H B, WANG Y H. Strategic framework and path design of low carbon transformation of resource-based cities from the perspective of ecological civilization. Management World, 2014, (6): 178-179.]
- [14] 孙天阳, 陆毅, 成丽红. 资源枯竭型城市扶持政策实施效果、长效机制与产业升级. 中国工业经济, 2020, (7): 98-116. [SUN T Y, LU Y, CHENG L H. Implementation effect of resource exhausted cities' supporting policies, long-term mechanism and industrial upgrading. China Industrial Economic, 2020, (7): 98-116.]
- [15] 叶雪洁, 吕莉, 王晓蕾. 经济地质学视角下的资源型城市产业转型路径研究: 以淮南市为例. 中国软科学, 2018, (2): 186-192. [YE X J, LYU L, WANG X L. Economic geology and the path of industrial transformation in resource-based cities: A case study of Huainan city. China Soft Science, 2018, (2): 186-192.]

- [16] 谭俊涛, 张新林, 刘雷, 等. 中国资源型城市转型绩效测度与评价. 经济地理, 2020, 40(7): 57-64. [TAN J T, ZHANG X L, LIU L, et al. Research on the urban transformation performance of China's resource-based cities. *Economic Geography*, 2020, 40(7): 57-64.]
- [17] 张梦朔, 张平宇, 李鹤. 资源型城市经济转型绩效特征与评价方法: 基于东北地区的实证研究. 自然资源学报, 2021, 36(8): 2051-2064. [ZHANG M S, ZHANG P Y, LI H. Characteristics and evaluation methods of economic transformation performance of resource-based cities: An empirical study of Northeast China. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(8): 2051-2064.]
- [18] 张荣光, 付俊, 杨劼. 资源型城市转型效率及影响因素: 以四川为例. 财经科学, 2017, (6): 115-123. [ZHANG R G, FU J, YANG J. Research on the influence factors of industrial transformation of resources-dependent cities based on super-efficiency DEA model: A case study of Sichuan province. *Finance & Economics*, 2017, (6): 115-123.]
- [19] 余建辉, 李佳谔, 张文忠. 中国资源型城市识别与综合类型划分. 地理学报, 2018, 73(4): 677-687. [YU J H, LI J M, ZHANG W Z. Identification and classification of resource-based cities in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 677-687.]
- [20] 原娜, 周洁. 中国省域尺度下产业结构多维度特征及演化对碳排放的影响. 自然资源学报, 2021, 36(12): 3186-3202. [YUAN Y, ZHOU J. Influence of multi-dimensional characteristics and evolution of industrial structure on carbon emissions at provincial scale in China. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(12): 3186-3202.]
- [21] 张伟, 朱启贵, 高辉. 产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展. 经济研究, 2016, (12): 62-75. [ZHANG W, ZHU Q G, GAO H. Upgrading of industrial structure, optimizing of energy structure, and low carbon development of industrial system. *Economic Research Journal*, 2016, (12): 62-75.]
- [22] 逯进, 赵亚楠, 陈阳. 人力资本、技术创新对环境污染的影响机制: 基于全国285个城市的实证分析. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2186-2196. [LU J, ZHAO Y N, CHEN Y. Research on the influence mechanism of human capital and technological innovation on environmental pollution: An empirical study based on 285 cities across the country. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(9): 2186-2196.]
- [23] CHANG T, ZIVIN J G, GROSS T, et al. Particulate pollution and the productivity of pear packers. *American Economic Journal Economic Policy*, 2016, 8(3): 141-169.
- [24] SALIM R, YAO Y, CHEN G S. Does human capital matter for energy consumption in China?. *Energy Economics*, 2017, 67: 49-59.
- [25] 刘凯, 吴怡, 陶雅萌, 等. 中国省域生态文明建设对碳排放强度的影响. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 50-56. [LIU K, WU Y, TAO Y M, et al. The influence of ecological civilization construction to carbon emission intensity in China's provinces. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(7): 50-56.]
- [26] 徐辉, 王成亮, 冯国强. 环境分权对中国污染减排效果的影响: 基于空间动态面板模型的检验. 资源科学, 2021, 43(6): 1128-1139. [XU H, WANG C L, FENG G Q. Impact of environment decentralization on pollution reduction effects in China: A test based on spatial dynamic panel model. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1128-1139.]
- [27] 聂长飞, 简新华. 中国高质量发展的测度及省际现状的分析比较. 数量经济技术经济研究, 2020, 27(2): 26-47. [NIE C F, JIAN X H. Measurement of China's high-quality development and analysis of provincial status. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2020, 27(2): 26-47.]
- [28] 胡森林, 焦世泰, 张晓奇. 中国城市旅游发展的时空演化及影响因素: 基于动态空间马尔科夫链模型的分析. 自然资源学报, 2021, 36(4): 854-865. [HU S L, JIAO S T, ZHANG X Q. Spatio-temporal evolution and influencing factors of China's tourism development: Based on the non-static spatial Markov Chain model. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(4): 854-865.]
- [29] FAN F, ZHANG X R. Transformation effect of resource-based cities based on PSM-DID model: An empirical analysis from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 2021, 91(7): 1-12.
- [30] 彭飞, 金慧晴. 区域产业政策有效性评估: 基于中国资源型和老工业城市的证据. 产业经济研究, 2021, (3): 99-111. [PENG F, JIN H Q. An effectiveness evaluation of regional industrial policy: Based on evidence from resource-based and old industrial cities in China. *Industrial Economics Research*, 2021, (3): 99-111.]
- [31] CHEN J, GAO M, CHENG S, et al. County-level CO<sub>2</sub> emissions and sequestration in China during 1997-2017. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 1-12.
- [32] 张金萍, 秦耀辰, 张丽君, 等. 黄河下游沿岸地市CO<sub>2</sub>排放的时空分异. 地理研究, 2012, 31(12): 2229-2239. [ZHANG J P, QIN Y C, ZHANG L J, et al. The spatio-temporal differentiation of CO<sub>2</sub> emissions in cities along the Lower Yellow River. *Geographical Research*, 2012, 31(12): 2229-2239.]

- [33] ARELLANO M, BOND S. Some tests of specification for panel data: Monte carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 1991, 58(2): 277-297.
- [34] ELHORST J P. Specification and estimation of spatial panel data models. *International Regional Science Review*, 2003, 26(3): 244-268.

## Transformation performance characteristics of resource-based cities and their carbon emission reduction effects

XU Wei-xiang<sup>1</sup>, ZHENG Jin-hui<sup>1</sup>, ZHOU Jian-ping<sup>1</sup>, CHEN Xi-lin<sup>1</sup>, LIU Cheng-jun<sup>1,2</sup>

(1. College of Economics, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. Zhijiang College of Zhejiang University of Technology, Shaoxing 312030, Zhejiang, China)

**Abstract:** Based on the panel data of China's resource-based cities from 2003 to 2018, this paper comprehensively measures the performance of urban transformation, and uses spatial Markov chain, spatial econometric model and spatial double difference model to explore the performance characteristics of resource-based cities' transformation and its impact on carbon emissions. The results show that: (1) The transformation performance of resource-based cities is increasing year by year, which corresponds to the fluctuating upward trend of regional differences, and the regional differences between the four types of resource-based cities mainly come from regional differences, and mature cities contribute the most; There are obvious spatial differences in the transformation performance of resource-based cities, and the development pattern has evolved from the "multi-point" sporadic distribution with the spanning area as the core to the "cluster" aggregation with the leading area as the core. (2) The transformation performance of resource-based cities has the possibility of state transfer in different periods, which has the characteristics of four convergence clubs: lagging area, starting area, spanning area and leading area. Spatial Markov chain shows that the transfer trend has obvious spatial relevance. State transfer usually occurs between adjacent levels, with less "jumping" transfer phenomenon, and has long-term and sustainable characteristics. (3) The transformation of resource-based cities has significant carbon emission reduction effect, and this effect has the heterogeneity characteristics of different resource types, different development stages and different spatial locations. Economic and industrial transformation, social life transformation and ecological environment transformation are important factors to play the role of carbon emission reduction. Further policy impact analysis shows that the establishment of industrial transformation and upgrading demonstration zones and high-tech industrial development zones has a positive policy effect on urban carbon emission reduction.

**Keywords:** resource-based cities; transformation performance; carbon emissions; spatial econometric model; spatial difference in differences model