

# 人口老龄化、产业结构升级与碳排放

## ——基于 STIRPAT 模型的空间计量分析

刘健强 马晓钰<sup>1</sup>

**【摘要】** 基于 STIRPAT 模型,将人口老龄化、产业结构升级与碳排放三者纳入同一系统进行分析。利用 2006—2018 年省域面板数据,使用动态空间 SDM 模型进行实证分析,研究结果表明:区域碳排放的空间效应显著;从全局效应看,人口老龄化会促进碳排放,产业结构升级会抑制碳排放;从直接效应和间接效应来看,人口老龄化和产业结构升级会分别促进和抑制本地碳排放,但二者的空间溢出效应并不显著,且在区域上存在差异性。通过中介效应模型进一步检验证实,产业结构升级是人口老龄化影响碳排放的中介变量。因此,推动人口老龄化倒逼产业结构升级有助于释放人口老龄化的“碳减排效应”。

**【关键词】** 人口老龄化 STIRPAT 模型 碳减排效应

**【中图分类号】** F062.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-169X (2021) 07-0054-09

### 一、引言与文献回顾

2018 年,联合国 IPCC 发布报告:预计在 2030—2052 年全球气温较工业化之前会提高 1.5 摄氏度。与此同时,人口老龄化也成为世界性难题,根据联合国人口与社会署公布的数据,2015 年全球步入老龄化社会的国家已达到 91 个,且到 2050 年会进一步恶化。二氧化碳大量排放首要之责是工业生产消耗能源,次要之责是居民生活使用能源,对于前者,产业结构升级是减少二氧化碳排放的良策,对于后者人口素质提高和低碳技术的普及是良策。为减少碳排放,“十四五”规划把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局,提出在“十四五”期间将单位 GDP 二氧化碳排放降低 18%。为缓解老龄化加剧的人口结构问题,在“十四五”规划中将积极应对人口老龄化上升为国家战略,提出制定人口长期发展战略。2021 年 5 月 31 日,中共中央政治局召开会议,确定实施“三孩政策”。同时,“十四五”规划也再次强调要继续推进产业基础高级化、产业链现代化、促进服务业繁荣发展。

在人口老龄化加剧、产业结构升级加快推进、碳排放约束趋紧的国情和背景下,厘清人口老龄化和产业结构升级影响碳排放的机制机理对于加快我国发展方式绿色转型,实现碳达峰、碳中和等目标具有重要意义。

碳排放属于环境经济问题,已有研究主要集中在经济发展水平(徐斌等,2019)、技术进步(徐德义等,2020)、产业结构调整(孙振清,2020)、城镇化(束克东和李影,2020)和能源结构(潘伟和胡程,2019)等方面的探讨。关于人口与碳排放关系的研究,学者们多基于 20 世纪 70 年代提出的 IPAT 理论和 20 世纪 90 年代提出的 STIRPAT 理论,从人口规模(Anser et al., 2020)、人口结构(Wen et al., 2016)、消费模式(王悦等,2019)等视角对人口与碳排放的关系进行研究。这些文献大大拓展和深化了人们对人口与碳排放关系的认识,但已有研究还存在以下不足:一是学术界就人口年龄结构与碳排放关系的研究大多是分析比较不同年龄人群与碳排放的关系,缺乏对人口老龄化与碳排放关系的专门研究。二是在研究方法上多采用传统的

**作者简介:** 刘健强(1995-),甘肃平凉人,新疆大学经济与管理学院,硕士研究生,研究方向为人口、资源与环境经济学;马晓钰(1978-),新疆库尔勒人,新疆大学经济与管理学院,博士,教授、博士生导师,研究方向为人口、资源与环境经济学。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目“新疆生育水平变动下的人口效应分析及后计划生育时代人口政策实施效果预判”(71663050);新疆维吾尔自治区高校科研计划项目“新疆人才逆向流动与人才体系建设研究”(XJEDU2021S1002)

---

计量分析模型，假设不同地区的碳排放不会相互影响。Daniel & Griffith(2013)指出，在环境污染的研究中若忽略空间相关性则无法得到一致性的参数估计，所以，要构建更为准确的空间计量模型进行实证分析。三是缺少将人口老龄化、产业结构升级与碳排放三者纳入同一分析系统的研究。以往研究只重视人口老龄化对碳排放的影响与产业结构升级对碳排放的影响，相对忽略人口老龄化对产业结构升级的影响。为此，本文对以上研究不足进行弥补和拓展。

## 二、机理分析与研究假说

### （一）人口老龄化对碳排放的影响

人口对碳排放的影响包括人口规模、结构和素质等，就人口老龄化对碳排放的影响而言，人口老龄化会通过影响技术进步、消费方式、清洁能源和技术使用、产业结构升级等中间渠道对碳排放产生影响，其影响路径是复杂的，因而存在着不确定性。具体来说，可能会受到这一经济发展水平、技术进步水平、产业结构升级水平以及人口素质水平等的调节。Wang Q. & Wang L. (2020)的研究发现，人口老龄化对碳排放的影响存在门槛效应，但从长期看，人口老龄化会减少碳排放。中国人口老龄化的速度正在加快，老龄化将成为中国人口结构变化的最主要特征，因此其对碳排放的影响，无论是从生产还是消费渠道，都有减少碳排放的可能。

### （二）产业结构升级对碳排放的影响

在宏观上，产业结构升级会推动能源规模化使用和集约化利用；在微观上，产业结构升级会带来生产技术和治理技术的创新，从而在能源使用和生产过程中减少碳排放。具体来说，首先，产业结构升级会降低重工业比重，提高服务业比重，这样的产业结构调整有助于从生产上减少对能源的刚性需求，并在消费上控制能源使用的快速增长，从而减少碳排放。其次，产业结构升级会促进制造业服务化、促进高新技术产业与现代服务业等新兴产业的快速发展，通过深化劳动分工、延伸产业价值链、推动生产技术创新等途径实现碳排放减少。最后，产业结构升级还会优化能源结构。一方面会减少对煤炭、石油等污染能源的使用，增加对天然气、太阳能等清洁能源的使用以及激发清洁技术的研发与应用，另一方面也会改变居民的生活方式和能源消费习惯，从而减少碳排放。

### （三）人口老龄化倒逼产业结构升级

人口老龄化虽会带来老年抚养负担上升、人口红利消失、储蓄率降低、劳动力供给减少等阻碍经济社会发展的不利因素，但人口老龄化也会通过其他因素对经济社会发展产生积极作用，如人口老龄化可能会对产业结构升级产生“倒逼效应”。一方面，人口老龄化会产生“刘易斯拐点效应”。人口老龄化引致的劳动力供给减少，会提高劳动力要素价格，企业面对劳动力成本上升的压力，会更多地使用技术替代人工劳动，自动化水平提高，从而会扩大资本和技术密集型产业规模，倒逼产业结构从劳动密集型生产方式向资本和技术密集型生产方式转变，推动产业结构升级（冯剑锋和陈卫民，2017）。另一方面，人口老龄化还会产生“人力资本累积效应”（楚永生等，2017）。少子化是造成人口老龄化的原因之一，随着家庭生育数量的减少，人们会减少储蓄，增加后代教育投资，提高了人力资本水平，人力资本水平的提高为技术进步夯实了基础，技术进步会促使产业生产从劳动密集型生产转向技术和知识密集型生产。上述机理分析如图1所示。

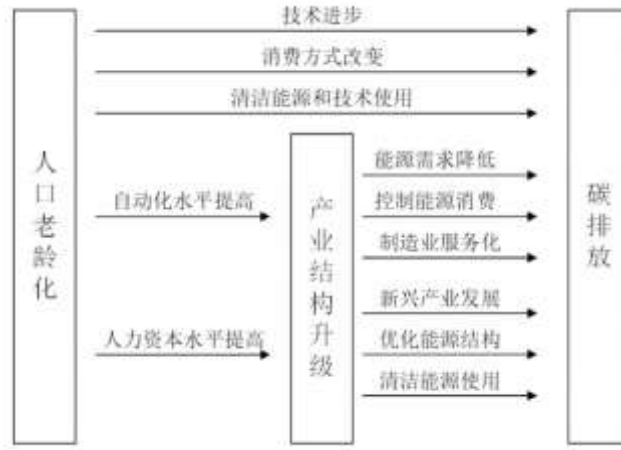


图 1 机理分析图

综上，提出以下三个假说：

假说 1：人口老龄化对碳排放存在显著的减排效应。

假说 2：产业结构升级对碳排放存在显著的减排效应。

假说 3：产业结构升级是人口老龄化影响碳排放的中介变量。

### 三、研究设计

#### （一）模型构建

STIRPAT 模型是解释人口经济活动对环境变化影响的典范，标准的 STIRPAT 模型为：

$$I = aP^b A^c T^d e_i \quad (1)$$

其中，P 是人口规模，A 是人均财富，T 是技术水平，e 为随机误差项。为了更好地分析人口老龄化、产业结构升级与碳排放的关系，将上述模型两边取对数并加入对碳排放有影响的扩展指标。参考以往文献，人均 GDP (PGDP)、外商直接投资 (FDI)、能源消耗 (ENE)、人力资本 (HC) 和城镇化率 (URBAN) 也是影响碳排放的重要因素。综上所述，设计研究模型如下：

$$\begin{aligned} \ln Pcarbon_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln OLD_{it} + \alpha_2 \ln INS_{it} \\ & + \alpha_3 \ln PGDP_{it} + \alpha_4 \ln FDI_{it} + \alpha_5 \ln ENE_{it} \\ & + \alpha_6 \ln HC_{it} + \alpha_7 \ln URBAN_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

模型 (2) 为碳排放研究的传统计量分析模型。然而，碳排放作为经济发展中的外部性因素，一是会随着自然气候条件变化在地区间扩散；二是会通过要素流动和产业转移等方式在空间上传播，因而碳排放在空间上可能存在较为明显的关联效应 (Yang

et al, 2019); 三是制度环境、区位条件、产业政策等不可观测的遗漏变量也会对地区碳排放产生影响并导致空间依赖性, 如因地区之间的恶性竞争而引致的“你多排, 我也多排”的类似行为 (韩峰和谢锐, 2017)。因此, 本文选择空间计量模型进行实证分析。此外, 碳排放还存在着时空锁定效应 (杨小东等, 2020), 具有动态性, 因此可以考虑碳排放的滞后一期项, 构建更为准确的动态空间计量模型。

采用在任何情况下都是无偏估计的空间 SDM 模型来进行实证分析。设计的模型如下:

$$\begin{aligned} \ln Pcarbon_{it} = & \alpha_0 + \rho \sum_{j=1}^n W_{jt} \ln Pcarbon_{it} \\ & + \alpha_1 \ln Pcarbon_{it-1} + \alpha_2 \ln OLD_{it} \\ & + \alpha_3 \ln INS_{it} + \alpha_4 \sum_{i \neq j}^N W_{jt} \ln OLD_{it} \\ & + \alpha_5 \sum_{i \neq j}^N W_{jt} \ln INS_{it} + \sum_{k=1}^6 \delta_k X_{kit} \\ & + \mu_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $i$  表示地区,  $t$  表示时间;  $\ln Pcarbon_{it-1}$  是碳排放的滞后一期;  $\ln OLD_{it}$  为人口老龄化,  $\ln INS_{it}$  为产业结构升级;  $X$  为一系列控制变量, 包括经济发展水平 (PGDP)、外商直接投资 (FDI)、能源消耗 (ENE)、人力资本 (HC) 和城镇化率 (URBAN);  $\rho$  为碳排放的空间溢出系数;  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$  为待估参数;  $W$  为  $n \times n$  阶空间矩阵;  $\mu_i$  为个体固定效应、 $\theta_t$  为时间固定效应;  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

## (二) 空间矩阵构建

根据地理学第一定律: “单位间的空间相关性随着距离的增加而逐渐递减”, 构建地理距离矩阵:  $W_i = \frac{1}{d_{ij}}$

此外, 为排除采用单一空间矩阵所产生的偶然性, 还设定了以下两种空间矩阵进行稳健性检验:

1. 社会经济属性也是产生空间相关性的重要因素, 因此基于引力模型构建地理区位与经济联系相结合的经济地理矩阵:

$$W_{ij} = \frac{\bar{Q}_i \times \bar{Q}_j}{d_{ij}^2}$$

2. 公路运输距离也是地区之间产生空间相关性的另一值得考虑的因素, 因此参考经济地理矩阵的做法, 构建地理区位和运输联系相结合的运输距离矩阵:

$$W_{ij} = \frac{\bar{M}_i \times \bar{M}_j}{d_{ij}^2}$$

其中,  $d_{ij}$  表示地区间的地理距离,  $\bar{Q}$  表示观测期内实际人均 GDP 的均值,  $\bar{M}$  表示观测期内单位公路里程平均货运量。

## (三) 变量说明及数据来源

### 1. 碳排放量的估算

借鉴 Du et al. (2012) 的研究和 IPCC 制定的《2006 国家温室气体清单指南》中提供的估算方法, 对碳排放量进行估算。具体计算公式如下:

$$c_t = \sum_{i=1}^7 e_{it} \times ncv_i \times cef_i \times cof_i \times \left( \frac{44}{12} \right) \quad (4)$$

其中， $c_t$ 为二氧化碳排放量； $e_{it}$ 为煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等7种具有代表性的能源消耗量； $ncv_i$ 为各种能源的平均低位发热值； $cef_i$ 为碳排放系数； $cof_i$ 为碳氧化因子； $\frac{44}{12}$ 代表二氧化碳和碳的分子比率。

## 2. 其他变量

(1) 人口老龄化 (OLD)。参考赵春燕 (2018) 用 65 岁及以上人口占总人口的比重衡量。

(2) 产业结构升级 (INS)。参考干春晖等 (2011) 的研究用第三产业增加值与第二产业增加值之比衡量。

(3) 控制变量。经济发展水平 (PGDP)，用人均 GDP 衡量；外商直接投资 (FDI)，用实际利用外商直接投资总额占地区 GDP 的比重衡量；能源消耗 (ENE)，用人均电力消耗强度衡量；人力资本 (HC)，用高等学校在校人数与地区总人口之比衡量；城镇化率 (URBAN)，用城镇人口占总人口的比重衡量。

## 3. 数据来源及处理

在充分考虑数据时效性的前提下，鉴于所有变量数据的可获取性，选取 2006—2018 年中国大陆 30 个省份（西藏数据缺失较多，故剔除）的面板数据作为研究对象。为排除货币因素的干扰，以 2006 年为基期，用 CPI 对人均 GDP 进行平减。所用数据来自《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和中经数据库。对部分极端数据予以剔除，部分缺失数据用线性插值法补齐。多重共线性检验结果显示，所有变量的 VIF 远小于 10。

# 四、实证结果及分析

## （一）空间相关性检验

采用莫兰指数 (Moran' sI) 法引入地理距离、经济地理和运输距离矩阵进行空间相关性检验，检验结果如图 2 所示。可以看出，在 2006—2018 年间，各地区碳排放的全局 Moran' sI 值除 2016 年不显著外，其余年份均至少在 5% 的水平上显著为正。图 2 显示，我国大部分地区的碳排放水平分布在一、三象限，显示了碳排放水平“高高”和“低低”的特点。2006 年和 2018 年，位于一、三象限的地区分别占 66.67% 和 80.00%，表明 2018 年的碳排放空间集聚度明显强于 2006 年。

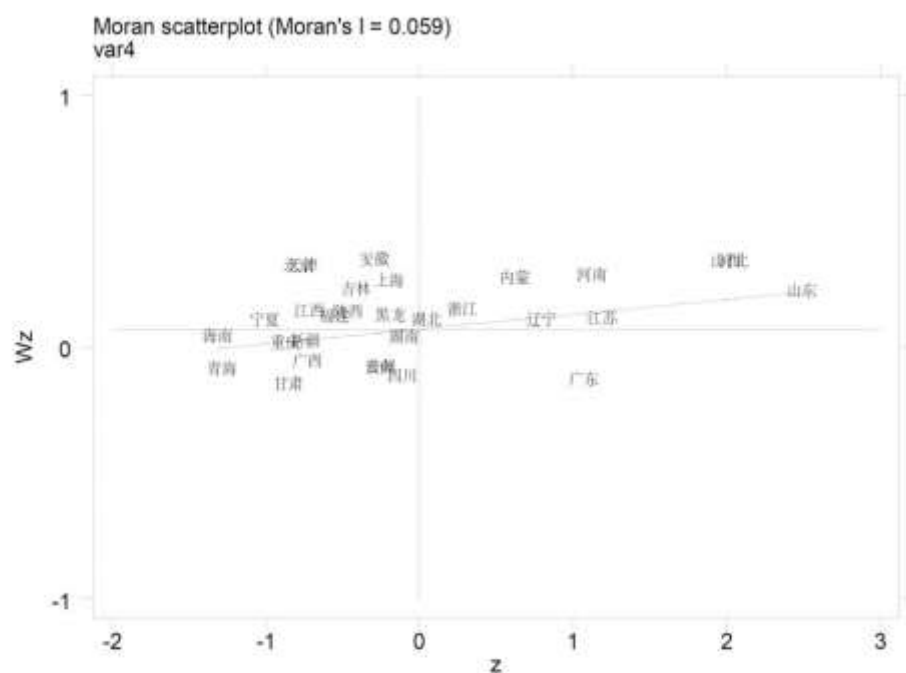


图 2a 2006年

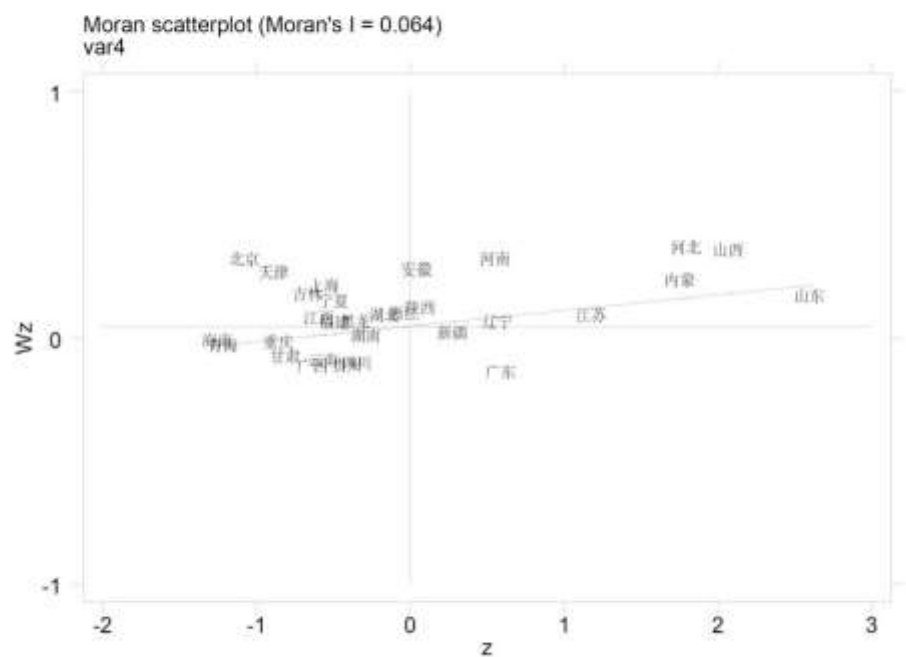


图 2b 2018年

图 2 碳排放 Moran' sI 散点图

## （二）回归结果及分析

LM 检验显示, LMerr、RLMerr 值和 LMlag、RLMlag 值均无法拒绝空间 SEM 模型和空间 SLM 模型, 故本文设计的空间 SDM 模型是最优模型。考虑到时间和地区个体差异可能导致回归结果偏误, 将模型初步设定为双向固定动态空间 SDM 模型。似然比检验显著拒绝了原假设, 因此本文使用双向固定动态空间 SDM 模型进行实证分析, 并以此为基准回归进行结果解释和分析。为便于对比, 还引入了非空间效应下的固定效应模型和动态空间 SLM 模型的回归结果。通过比较列 (1) 和列 (3) 的系数回归值, 发现动态空间 SDM 模型的各项回归系数与非空间面板模型的回归系数在方向上相同, 这直接验证了研究模型的稳健性。

碳排放的空间相关系数  $\rho$  在 1% 的水平上显著为正, 表明碳排放的空间效应显著。碳排放滞后一期在 5% 的水平上显著为负, 表明前期滞留的温室气体会对后一期的碳排放起到抑制作用。这可能是因为, 前期的超标碳排放, 引起了政府更加严格的管制, 从而对企业后期的排放行为产生了约束, 减少了后一期的碳排放, 这也反映了我国环境规制日益严格的趋势。人口老龄化回归系数在 5% 的水平上显著为正, 表明人口老龄化会增加碳排放。基于前文的机理分析可知, 这可能是因为, 一方面, 我国这一代老龄人口文化素质普遍较低, 积蓄较少, 人力资本投资意识较弱, 不存在技术进步效应, 甚至产生了技术阻碍效应。另一方面, 较低的文化素质使得老龄人口对节能环保的消费理念践行较差, 在能源消费上依然“随波逐流”, 对于清洁能源和清洁技术的接受度较低, 因此实证回归结果表现出人口老龄化增加碳排放的效果, 假说 1 不成立。产业结构升级回归系数在 10% 的水平上显著为负, 表明产业结构升级会减少碳排放, 假说 2 成立。

在包含全局效应设定的动态空间 SDM 模型中, 变量的回归系数并未直接捕获解释变量对被解释变量的全部影响, 因而并非代表其对碳排放的边际影响。因此, 在动态空间 SDM 模型下对各变量的回归系数进行偏微分分解, 得到各解释变量的直接效应和间接效应。人口老龄化的直接效应系数在 5% 的显著性水平上为正, 间接效应系数不显著, 表明人口老龄化会增加本地碳排放, 对邻近地区碳排放不存在显著影响。产业结构升级的直接效应系数在 10% 的水平上显著为负, 间接效应系数不显著, 表明产业结构升级会抑制本地碳排放, 对邻近地区碳排放不存在显著影响。

从控制变量看, 人均 GDP 提高会增加本地碳排放, 减少邻近地区碳排放, 这可能是因为经济发展水平较高的地区会吸引邻近地区人口和企业集聚于本地, 从而增加了本地碳排放, 减少了邻近地区碳排放。外商直接投资的增加对本地碳排放不存在显著影响, 但会减少邻近地区碳排放, 这可能是因为本地外商投资所产生的经济和技术进步存在一定的滞后效应, 短期内不会减少碳排放, 但本地区外商直接投资的增加会吸引邻近地区的相关生产要素向本地靠拢, 从而降低了邻近地区的生产活跃度, 在一定程度上减少了邻近地区碳排放。能源消耗的增加会促进本地碳排放, 但对邻近地区碳排放不存在显著影响。人力资本水平的提高可以减少本地碳排放, 但不存在显著的空间溢出效应, 这可能是因为本地人口素质的提高促成了居民低碳环保行为习惯的养成, 但人力资本的区域流动性和生态文明溢出效应较小, 故对邻近地区碳排放不存在显著影响。城镇化率的提高可以减少本地碳排放, 但对邻近地区碳排放不存在显著影响, 这可能是因为城镇化的快速推进带来了公共物品规模效益, 同时集中供暖和垃圾集中处理也相应减少了碳排放, 从而减少了本地碳排放, 但城镇化的区域固有属性和辐射效应较弱, 使其对邻近地区碳排放不存在显著影响。

### (三) 区域异质性分析

上述实证结果表明人口老龄化、产业结构升级与碳排放之间在全域空间上存在较强的相关性, 但局域空间有可能表现出与全域空间相异甚至完全相悖的非典型情况。因此, 本部分从区域异质性视角进行分析。

将研究样本划分为东部、中部和西部三个区域分别进行回归。样本分区域后, 两个核心解释变量的系数估计值产生了差异。在东部地区, 人口老龄化和产业结构升级对本地区和邻近地区碳排放均无显著影响。在中部地区, 人口老龄化可以减少本地碳排放, 不存在空间溢出效应; 产业结构升级对本地碳排放不存在显著影响, 但会增加邻近地区碳排放。在西部地区, 人口老龄化增加了本地碳排放, 不存在空间溢出效应; 产业结构升级对本地区和邻近地区碳排放均没有显著影响。两个核心解释变量对本地区和邻近地区碳排放的影响存在上述区域异质性的可能原因如下: 东部地区大量的外来人口流入缓解了当地的人口老龄化, 因而东部地区的人口老龄化对碳排放不存在显著影响; 东部地区的产业结构升级已达到较高水平, 碳排放更多的来自居民生活,

因而产业结构升级对碳排放的影响不显著。中部地区受到东部地区的“虹吸效应”影响，劳动年龄人口流失较多，老龄化程度加深，在消费和生活方式上对能源的依赖度降低，因而显著减少了碳排放。中部地区的产业结构升级水平依然较低，还不能显著减少本地碳排放，但因其居中的地理位置，一方面，受到东部地区的“虹吸效应”影响，中部地区发展前景较好的新兴产业为获得更多技术和资本支持会迁移至东部地区，从而增加了东部地区的碳排放。另一方面，相比西部和中部地区拥有较高的产业和技术水平，但受到环境规制约束，中部地区一些高消耗和高排放的产业会迁移至西部地区，从而增加了西部地区的碳排放，因此西部地区的空间溢出效应显著。相比东部和中部地区，西部地区发展较为落后，西部地区的人口老龄化会对经济社会发展产生一系列阻碍效应，增加本地碳排放；西部地区的产业结构升级水平相比中部地区更低，对本地碳排放不具有显著影响。同时，西部地区地广人稀，空间相关性较弱，因此二者的空间溢出效应不显著。

#### （四）稳健性检验

为增强上述所得结论的可靠性，进行以下稳健性检验：一是替换空间矩阵。用经济地理矩阵和运输距离矩阵替换地理距离矩阵。二是替换核心解释变量。借鉴汪伟等（2015）的研究，用老年人口抚养比（OLD2）重新衡量人口老龄化；借鉴汤婧和于立新（2012）构建的产业结构调整指标（INS2）重新度量产业结构升级。

### 五、进一步分析——中介效应检验

由前文机理分析可知，产业结构升级可能是人口老龄化影响碳排放的中介变量，因此构建中介效应模型检验其存在性：

$$\ln P_{carbon_{it}} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln OLD_{it} + \theta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln INS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln OLD_{it} + \theta C_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln P_{carbon_{it}} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln INS_{it} + \gamma_2 \ln OLD_{it} + \theta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中，C 为一系列控制变量，包括经济发展水平（PGDP）、外商直接投资（FDI）、人力资本（HC）和城镇化率（URBAN），其余变量均与前文变量一致，不再赘述。检验步骤为：首先，检验  $\alpha_1$  的显著性，若不显著，则不存在中介效应。其次，检验  $\beta_1$ 、 $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  的显著性，若  $\beta_1$  和  $\gamma_1$  都显著， $\gamma_2$  不显著，则存在完全中介效应；若  $\beta_1$ 、 $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  都显著，则存在部分中介效应。若  $\beta_1$  和  $\gamma_1$  中有任何一个不显著，则需要进行 Sobel 检验，如果检验结果显著，则说明存在中介效应，反之，则不存在中介效应。模型（5）和模型（6）的回归结果如列（1）和列（2）所示，前文的模型（3）对应中介效应检验的模型（7），回归结果沿用列（3）所示结果。

在列（1）中，人口老龄化对碳排放的影响系数（ $\alpha_1$ ）在 10% 的水平上显著为正。在列（2）中，人口老龄化对产业结构升级的影响系数（ $\beta_1$ ）在 1% 的水平上显著为正；在列（3）中，产业结构对碳排放的影响系数（ $\gamma_1$ ）在 10% 的水平上显著为负，人口老龄化对碳排放的影响系数（ $\gamma_2$ ）在 5% 的水平上显著为正。由此表明，产业结构升级是人口老龄化影响碳排放的中介变量，存在部分中介效应，假说 3 成立。综上，可得如下启示：人口老龄化会通过产业结构升级这个中介变量来影响碳排放，如果人口老龄化对产业结构升级产生“倒逼效应”则会减少碳排放，反之，如果人口老龄化对产业结构升级产生“阻碍效应”则会增加碳排放。因此，在人口老龄化加剧的背景下，发挥人口老龄化对产业结构升级的“倒逼效应”是释放人口老龄化“碳减排效应”的关键。

### 六、结论与启示

基于 STIRPAT 模型，利用 2006—2018 年省级面板数据，使用动态空间 SDM 模型实证分析了人口老龄化、产业结构升级对碳

排放的影响, 研究结果表明: 一是从全局效应看, 人口老龄化会增加碳排放, 产业结构升级会减少碳排放。二是从直接效应和间接效应看, 人口老龄化会促进本地碳排放, 但空间溢出效应不显著; 产业结构升级会抑制本地碳排放, 但空间溢出效应不显著。三是通过区域异质性分析发现, 东部地区的人口老龄化和产业结构升级对本地和邻近地区碳排放均不存在显著影响; 中部地区的人口老龄化可以减少本地碳排放, 但不存在空间溢出效应, 产业结构升级对本地碳排放不存在显著影响, 但会增加邻近地区碳排放。四是通过中介效应模型进一步检验证实, 产业结构升级是人口老龄化影响碳排放的中介变量, 存在部分中介效应。

通过上述研究结果, 得到以下启示: 为更好地发挥出人口老龄化的“碳减排效应”, 政府需提高人口老龄化倒逼产业结构升级的速度和水平, 以此助力我国经济实现绿色低碳发展。总而言之, 优化和升级产业结构是减少碳排放的根本举措。在人口老龄化加剧的背景下, 政府首先要推动人口老龄化对产业结构升级产生“倒逼效应”, 如积极发展“银发产业”, 推动产业之间的结构升级。其次, 我国老龄人口目前存在着文化素质不高、积蓄较少、人力资本投资意识较弱等问题, 这也阻碍了人口老龄化“碳减排效应”的实现, 因此我国还应注重提高老龄人口文化素质和可支配收入。最后, 我国人口老龄化程度和产业结构升级水平存在着区域差异性, 对区域碳排放产生了不同的影响, 为此我国要根据区域差异性, 制定差异化政策和减排要求。

#### 参考文献:

- [1] 楚永生, 于贞, 王云云. 人口老龄化“倒逼”产业结构升级的动态效应——基于中国 30 个省级制造业面板数据的空间计量分析[J]. 产经评论, 2017, (6): 24~35.
- [2] 冯剑锋, 陈卫民. 我国人口老龄化影响经济增长的作用机制分析——基于中介效应视角的探讨[J]. 人口学刊, 2017, (4): 93~101.
- [3] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, (5): 4~16.
- [4] 韩峰, 谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗?——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, (3): 41~59.
- [5] 潘伟, 胡程. 我国不同行业能源消费碳排放分解研究[J]. 统计与决策, 2019, (4): 141~145.
- [6] 孙振清, 刘保留, 李欢欢. 产业结构调整、技术创新与区域碳减排——基于地区面板数据的实证研究[J]. 经济体制改革, 2020, (3): 101~108.
- [7] 束克东, 李影. 基于城镇化视角的收入不平等对 CO<sub>2</sub> 排放的影响研究[J]. 经济经纬, 2020, (1): 25~31.
- [8] 汤婧, 于立新. 我国对外直接投资与产业结构调整的相关分析[J]. 国际贸易问题, 2012, (11): 42~49.
- [9] 汪伟, 刘玉飞, 彭冬冬. 人口老龄化的产业结构升级效应研究[J]. 中国工业经济, 2015, (11): 47~61.
- [10] 王悦, 李锋, 孙晓. 城市家庭消费碳排放研究进展[J]. 资源科学, 2019, (7): 1201~1212.
- [11] 徐德义, 马瑞阳, 朱永光. 技术进步能抑制中国二氧化碳排放吗? ——基于面板分位数模型的实证研究[J]. 科技管理研究, 2020, (16): 251~259.
- [12] 徐斌, 陈宇芳, 沈小波. 清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J]. 经济研究, 2019, (7): 188~202.

- 
- [13]杨小东, 冉启英, 张晋宁. 城市创新行为、财政分权与环境污染[J]. 产业经济研究, 2020, (3):1~16.
- [14]赵春艳. 人口老龄化对区域产业结构升级的影响[J]. 人口研究, 2018, (5):78~89.
- [15]Anser M K, Alharthi M, Aziz B, et al. Impact of Urbanization, Economic Growth, and Population Size on Residential Carbon Emissions in the SAARC Countries[J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2020, 22(13).
- [16]Daniel, A, Griffith. Spatial Econometrics:Methods and Models[J]. Economic Geography, 2016, 65(2):160~162.
- [17]Du L, Wei C, Cai S. Economic Development and Carbon Dioxide Emissions in China:Provincial Panel Data Analysis[J]. China Economic Review, 2012, 23(2):371~384.
- [18]Wang Q, Wang L. The Nonlinear Effect of Population Aging, Industrial Structure, and Urbanization on Carbon Emissions:A Panel Threshold Regression Analysis of 137 Countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 287(3).
- [19]Wen G, Tao S, Hongjun D. Effect of Population Structure Change on Carbon Emission in China[J]. Sustainability, 2016, 8(3):225~225.
- [20]Yu Yang, Zhou Y, Poon J, et al. China's Carbon Dioxide Emission and Driving Factors:ASpatial Analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 211(2):640~651.