

# 产业结构升级对京津冀地区碳减排的影响研究

廖志高<sup>1,2\*#</sup>, 李芳芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广西科技大学经济与管理学院, 广西 柳州

<sup>2</sup>广西工业高质量发展研究中心, 广西 柳州

收稿日期: 2023年10月16日; 录用日期: 2023年10月25日; 发布日期: 2024年2月1日

## 摘要

在“双碳”背景下, 从源头上通过产业结构优化升级达到减污降碳需求更加迫切。基于此, 本研究选取了2006年~2019年京津冀各城市的有关面板数据, 利用空间杜宾计量经济学的方法, 探究产业结构升级对碳减排具体影响效应。研究发现: 京津冀城市群的碳排放具有明显的空间溢出效应, 产业结构升级有助于减少二氧化碳的排放, 且对该地区碳排放存在异质性影响。为此, 京津冀城市群各地政府应因地制宜制定相关举措, 兼顾加强与邻近城市的交流与合作, 推动区域整体的协调发展, 促进地区碳减排。

## 关键词

空间关联, 产业结构升级, 碳减排, 空间计量

# Study on the Impact of Industrial Structure Upgrading on Carbon Emission Reduction in Beijing-Tianjin-Hebei Region

Zhigao Liao<sup>1,2\*#</sup>, Fangfang Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Economics and Management, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

<sup>2</sup>Guangxi Industrial High Quality Development Research Center, Liuzhou Guangxi

Received: Oct. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 25<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 1<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

Under the background of “double carbon”, it is more urgent to achieve the demand of pollution

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 廖志高, 李芳芳. 产业结构升级对京津冀地区碳减排的影响研究[J]. 低碳经济, 2024, 13(1): 1-13.

DOI: 10.12677/jlce.2024.131001

reduction and carbon reduction by optimizing and upgrading the industrial structure from the source. Based on this, this study selects the relevant panel data of Beijing-Tianjin-Hebei cities from 2006 to 2019, and uses the method of spatial dobbin econometrics to explore the specific impact of industrial structure upgrading on carbon emission reduction. It is found that the carbon emissions of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration have obvious spatial spillover effect, and the upgrading of industrial structure is helpful to reduce carbon dioxide emissions, and there is a heterogeneous impact on carbon emissions in this region. Therefore, local governments in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration should formulate relevant measures according to local conditions, strengthen exchanges and cooperation with neighboring cities, promote the coordinated development of the region as a whole, and promote regional carbon emission reduction.

## Keywords

Spatial Correlation, Industrial Structure Upgrading, Carbon Emission Reduction, Spatial Metrology

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

由能源消耗所引起的二氧化碳排放量的增加已成为加剧全球气候变暖与环境污染的重要因素。习近平总书记于 2020 年在联合国大会上提出我国碳排放力争 2030 年实现碳达峰, 2060 年实现碳中和的目标。在此背景之下, 我国“十四五”规划进一步指出, 要坚持产业升级与结构调整结合起来, 推进制造业走上中高端和高质量发展之路, 强化对产业结构的引导作用。与此同时, 要积极推动能源改革, 构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系, 提升能源供应和保障能力, 着力减少碳排放, 实现“双碳”目标。

随着经济发展, 城市已成为二氧化碳排放的主要来源, 碳减排任务急需城市这一主体参与。京津冀城市群作为我国重要的经济主体, 该区域的经济高质量发展对于全国的发展发挥着指引作用。然而, 京津冀地区以高耗能、高污染产业为主的产业结构, 使得该地区产生了大量的二氧化碳。近些年来, 京津冀地区碳排放量整体呈现上升态势, 且碳排放量占全国比重大都超过 10% [1] [2]。基于此, 本研究从空间关联角度出发, 量化分析产业结构升级对我国区域碳排放影响, 对于地区协同减排策略的有效制定与经济高质量发展, 具有十分重要的现实意义。

## 2. 文献综述

随着温室气体的排放加剧, 有许多学者对影响碳排放量的因素展开了研究, 这其中包括城镇化率[3] [4]、经济发展水平[5]、技术创新[6]、外商直接投资[7]、产业结构[8]等因素。在其中, 产业结构成为了学者研究的热点内容, 尤其在国家“十四五”提出之后, 为实现经济高质量发展, 产业结构优化升级已成为各个地区发展的态势。

目前, 对于产业结构与碳排放的研究主要集中在产业结构与碳排放作用关系及研究方法两个方面。在作用关系方面, 大部分的学者[9] [10]认为产业结构的优化升级有利于减少碳排放, 产业结构升级是实施碳减排的有利措施。在研究过程当中, 大部分的学者简单的以第三产业与第二产业比值[11]来衡量产业结构的升级, 该数值越高, 表明产业结构升级水平越高; 且进一步引入泰尔熵指数[12]来表明产业结构动

态升级过程。在研究方法方面, 主要通过 LMDI [13] [14]、SDA [15]、灰色关联[16]、STIRPAT [17]、空间计量[18]等研究方法来探究产业结构对碳排放的影响。研究普遍认为产业结构与碳排放存在着显著的关联度, 产业结构升级减少了碳排放。

在探究产业结构与碳排放的作用关系时, 学者对于空间计量模型的使用逐步增加, 但是相较于其他几种分析方法使用仍然较少, 且研究的领域多集中于全国[19]、省份[20]、行业[21]等层面, 关于城市群的研究结果较少。事实上, 碳排放空间分布格局主要是通过自身和邻近地区动态空间作用的结果, 即使处于同一个省份, 不同的城市之间的碳排放也存在着一定的差异性, 城市的碳减排水平将会很大程度上影响着国家低碳策略的实施及减排效果。因此, 在研究区域碳排放与产业结构关系时, 不仅需要考虑城市这一层面, 还应注重城市之间空间关联程度。王兆峰等[22]运用空间计量模型, 研究了长三角经济带众多城市碳核算数据, 发现产业结构能够对该城市的二氧化碳的排放产生重要影响, 且具有显著的空间溢出效应。刘鹏振等[23]基于空间计量分析方法对京津冀及周边城市的碳排放影响因素及碳排放的空间特征做出分析, 得出碳排放的空间分布呈现两极化的分布格局, 产业结构和能源结构明显抑制碳减排。还有一些学者[24] [25]在从区域层面研究产业结构对碳排放的影响时, 普遍采用了该区域的地理位置差异来对其进行异质性分析与检验。

综上所述, 产业结构是影响碳排放重要因素, 并能够减少二氧化碳的排放量, 其影响效用在不同的区域之间存在着差异性。根据相关文献, 大部分学者在研究产业结构和碳减排的关系时, 衡量产业结构升级的指标比较简单, 不能科学反映产业结构升级过程; 其次, 研究对象的选择多为国家、省份及行业层面, 而对城市群这一主体研究较少, 尤其对京津冀这一城市群; 再者, 已有的研究对产业结构和碳排放之间的空间相关性关注比较少, 对二者的关系缺乏深入的认识; 最后, 在进行区域异质性分析时, 大部分学者选以地理位置划分, 而忽略了城市本身的资源产业基础对碳排放也会存在异质性影响, 这可能会使得研究结果出现一定偏差。

在此基础之上, 本文基于 2006~2019 年京津冀城市群中的 13 个地级市, 选择含有劳动力、二三产业比重的综合指标来衡量产业结构升级, 运用基于空间杜宾固定效应模型, 研究产业结构升级对碳排放的影响并探究对城市群碳排放的空间溢出效应; 进一步将京津冀城市群划分成资源依赖型和非依赖性进行异质性研究, 探索产业结构升级对碳排放影响的异质性。

### 3. 研究设计

文章主要研究产业结构升级对京津冀城市群二氧化碳排放量的影响, 选择其 2006 年~2019 年的面板数据, 数据来源主要是《中国能源统计年鉴》《中国城市统计年鉴》和《中国统计年鉴》等。

#### 3.1. 变量选取

##### 3.1.1. 被解释变量

碳排放强度( $CO_2$ )文章引用了已有的研究[26], 使用了二氧化碳排放量与 GDP 之比, 也就是二氧化碳的排放强度, 并将其引入到模型中。在碳排放量的计算方面, 文章运用了国际通行的 IPCC 算法, 以原煤、原油、天然气为主要原料的燃烧过程中的  $CO_2$  排放量作为计算依据。具体的计算公式如下:

$$C = \sum_{n=1}^3 E_n \times S_n \times K_n \quad (1)$$

其中,  $C$  代表的是碳排放总量,  $n$  代表的是能源类型,  $E_n$  为  $n$  类能源的消费总量,  $S_n$  为  $n$  类能源的折算标准煤系数,  $K_n$  为  $n$  类能源的碳排放系数。根据 2006 年的《IPCC 国家温室清单指南》, 各类能源的折算标准煤系数和碳排放系数如表 1 所示:

**Table 1.** Conversion standard coal co-efficient and carbon emission co-efficient of various energy sources  
**表 1.** 各类能源的折算标准煤系数和碳排放系数

	煤炭	天然气	燃料油
折算标准煤系数	0.7143	1.3300	1.4286
碳排放系数	0.7559	0.4483	0.6185

### 3.1.2. 解释变量

产业结构升级指数(*isu*)。以往的研究都是认为第二产业在三产业占比最大, 且能源消耗总量最多; 第三产业的能源消耗强度较小、碳排放量不大, 因此以二者占比比值来衡量, 虽然该指数可反映出产业的整体调整, 但其衡量二三产业的发展规模, 而非整体产业结构的升级与优化。因此借鉴 Zang [27]学者研究。

$$isu = \sum_i^n k_i \sqrt{\frac{p_i}{l_i}}, n = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$k_i$  第一、二、三产业产值在 GDP 中所占的比重,  $p_i$  是为该三种产业的产出,  $l_i$  是该三种产业的就业人口, 而  $p_i/l_i$  是指该三种产业的劳动生产率。这一指数综合考虑了相关产业结构升级和演化进程, 更加科学。

### 3.1.3. 控制变量

根据以往的文献研究, 选择能源消耗强度(*ei*), 城镇化率(*urb*), 地区生产总值(*gdp*), 开放程度(*open*), 技术水平(*tech*)等指标作为控制变量(见表 2)。通过对所有变量进行对数化处理来减少异方差影响。

**Table 2.** Calculation formulas of various variables  
**表 2.** 各种变量的计算公式

变量类别	变量名称	表示符号	计算公式
被解释变量	碳排放强度	<i>co<sub>2</sub></i>	碳排放量/地区生产总值
解释变量	产业结构升级指数	<i>isu</i>	各种产业占比 × 劳动生产率求和
	地区人均生产总值	<i>gdp</i>	各个地区的人均生产总值
	城镇化率	<i>urban</i>	城镇人口/总人口
控制变量	能源消耗强度	<i>ei</i>	地区的能源消耗总量/地区生产总值
	开放程度	<i>open</i>	进出口贸易额/地区生产总值
	技术进步	<i>tech</i>	绿色实用新型专利授予量占地区年度授予的实用新型总数百分比

## 3.2. 变量描述性统计

**Table 3.** Descriptive statistics of variables  
**表 3.** 变量的描述性统计

变量名称	(1) 样本数	(2) 均值	(3) 标准差	(4) 最小值	(5) 最大值
<i>Lnco<sub>2</sub></i>	182	6.112	0.514	4.955	7.307
<i>lnisu</i>	182	6.375	0.190	5.892	6.824
<i>lngdp</i>	182	10.56	0.555	9.319	11.99
<i>lnei</i>	182	-2.626	0.520	-3.896	-1.610

续表

<i>lnopen</i>	182	0.451	0.806	-2.620	2.438
<i>lnurban</i>	182	4.374	0.468	3.121	4.776
<i>lntech</i>	182	2.368	0.248	1.552	2.827

文章运用 Stata 16.0 软件对变量进行了描述性统计分析, 如表 3 所示, 二氧化碳的碳排放强度, 产业结构升级指数的均值分别为 6.122 和 6.375 而标准差分别为 0.514 和 0.190, 代表着京津冀地区的各个城市之间的二氧化碳排放强度和产业结构都存在着较大的差异, 而其余控制变量的标准差也存在显著的不同, 这也表明了京津冀城市群在发展的各个方面存在着差异。

### 3.3. 模型的设定

#### 3.3.1. 空间权重矩阵

空间权重矩阵是空间度量模型的重要组成部分, 文章根据所选城市是否相邻, 选择“0-1”邻接矩阵。该矩阵表示形式如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0 & (\text{若区域}i\text{和区域}j\text{不相邻}) \\ 1 & (\text{若区域}i\text{和区域}j\text{相邻}) \end{cases} \quad (1)$$

#### 3.3.2. 空间自相关

文章选择利用全局莫兰指数(Moran's I)和莫兰散点图来对研究对象进行空间相关性检验。全局 Moran's I 的计算公式如下:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (4)$$

当莫兰指数  $> 0$ , 表示该空间正相关; 当莫兰指数  $< 0$ , 表示该空间负相关; 当莫兰指数  $= 0$  时, 则表示空间无关。

#### 3.3.3. 空间杜宾模型

空间计量模型在研究过程当中, 因为其考虑了变量之间的空间相关性, 被广泛地应用于学术界。空间计量模型主要包括 SEM、SAR 和 SDM 模型。SDM 模型综合考虑了被解释变量和解释变量关系和空间相关性, 使得该模型的全面性更强。文章通过建立以下的空间杜宾模型来探讨产业结构升级对二氧化碳排放的影响:

$$Lnco_2 = \beta_0 + \beta_1 isu_{it} + \beta_2 cont_{it} + \beta_3 w_{ij} * isu_{it} + \beta_4 w_{ij} * cont_{it} + v_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中,  $Lnco_2$ 、 $isu_{it}$ 、 $cont_{it}$  则分别表示城市  $i$  在年份  $t$  的碳排放强度、产业结构升级、控制变量的情况,  $W_{ij}$ 、 $\beta_i$ 、 $V_t$ 、 $\varepsilon_{it}$  分别表示是空间权重矩阵、待估系数, 时间固定效应、随机误差项。

## 4. 实证分析

### 4.1. 空间杜宾模型相关检验

#### 4.1.1. 空间自相关检验

文章采用 Stata 16.0 软件计算了京津冀城市群的碳排放强度的全局莫兰指数。具体的计算结果

如下:

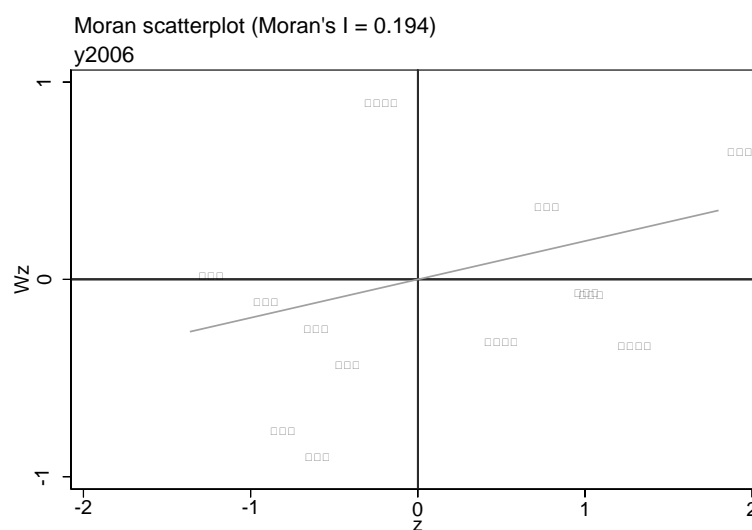
**Table 4.** Test results of Moran index in each year

**表 4.** 各年份的莫兰指数检验结果

年份	Moran's I	z 值	p 值
2006 年	0.194	1.452	0.073
2007 年	0.181	1.389	0.082
2008 年	0.114	1.029	0.152
2009 年	0.208	1.517	0.065
2010 年	0.189	1.419	0.078
2011 年	0.158	1.267	0.103
2012 年	0.116	1.043	0.148
2013 年	0.293	1.952	0.025
2014 年	0.238	1.717	0.043
2015 年	0.207	1.531	0.063
2016 年	0.326	2.132	0.017
2017 年	0.211	1.581	0.057
2018 年	0.131	1.212	0.113
2019 年	0.132	1.213	0.113

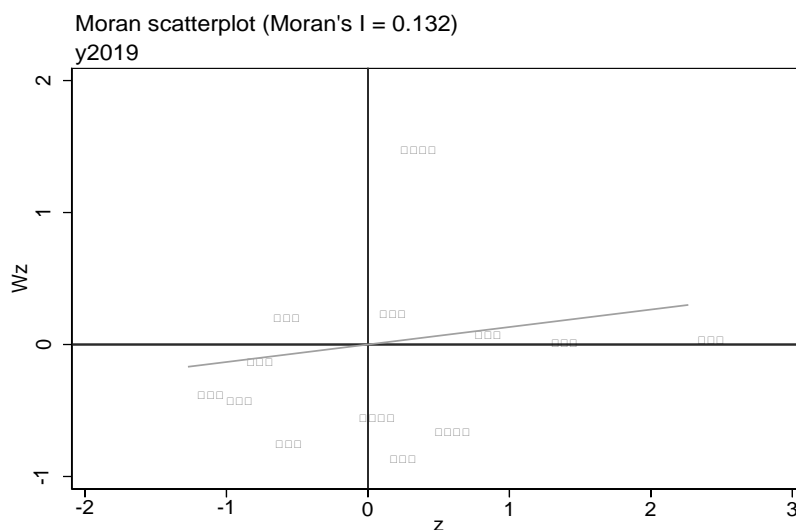
如上表 4 所示, 2006 年~2019 年的莫兰指数均为正值, 表明京津冀城市之间存在着空间正相关性。根据表中的 P 值, 可以看出在所选的时间序列当中, 大部分年份的莫兰指数都显著为正值, 存在着较强的空间集聚性, 相邻的城市之间的碳排放量能够相互联系与影响, 因此, 选择空间计量模型来进行实证分析是合理的。

图 1 与图 2 分别为 2006 年与 2019 年的莫兰散点图, 总体来说大部分的城市落在了第一象限与第三象限, 在空间上呈现集聚分布特征。



**Figure 1.** Moran scatter chart of carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region in 2006

**图 1.** 京津冀地区 2006 年碳排放莫兰散点图



**Figure 2.** Moran scatter chart of carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region in 2019  
**图 2.** 京津冀地区 2019 年碳排放莫兰散点图

#### 4.1.2. 模型选择的检验

通过上文的莫兰指数检验, 选择空间计量模型是必要的。在进行空间计量分析时, 需要对具体选择何种计量模型进行判断。在进行 LM 模型检验时, 在 1% 水平下显著, 选择 SDM 模型; Hausman 和 Wald 检验均是在 1% 的水平下拒绝原假设, 则表明采用固定效应模型; 最后通过 LR 检验, 应选择时空双固定效应模型。

### 4.2. 回归分析

#### 4.2.1. 空间杜宾结果回归分析

**Table 5.** Panel regression results and effect decomposition  
**表 5.** 面板回归结果及效应分解

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	回归结果	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnisu</i>	0.0396 (0.0899)	0.0497 (0.0896)	-0.459** (0.190)	-0.409** (0.198)
<i>lngdp</i>	-0.117*** (0.0285)	-0.120*** (0.0249)	-0.0186** (0.0308)	-0.138*** (0.0506)
<i>lnel</i>	0.928*** (0.0228)	0.930*** (0.0246)	0.00599 (0.0290)	0.936*** (0.0375)
<i>lnopen</i>	0.0401*** (0.0127)	0.0409*** (0.0139)	-0.00261 (0.0184)	0.0382 (0.0248)
<i>lnurban</i>	0.0986*** (0.0361)	0.0905** (0.0408)	0.0707* (0.0387)	0.161** (0.0808)
<i>lnitech</i>	0.0398 (0.0325)	0.0342* (0.0312)	-0.0914 (0.0673)	-0.0372 (0.0831)

续表

$W \times lnisu$	-0.480** (0.195)
$W \times lngdp$	-0.0212*** (0.0223)
$\sigma^2_e$	0.00378*** (0.000396)
$R^2$	90.3%

注：\*、\*\*和\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平下的显著水平。

表 5 为空间杜宾模型回归结果及其分解情况,  $\sigma^2_e$  的数值为 0.00378, 且在 1%的水平下显著, 可决系数为 90.3%即模型的拟合优度为 90.3%, 说明模型拟合效果比较好, 模型选择正确。从上表所示的变量的结果中可以看出, 产业结构升级与技术进步没有通过显著性的检验, 而其他变量的回归结果较为显著, 人均 GDP 的回归系数显著为负值, 而能源消耗强度、对外开放程度以及城镇化水平的回归系数显著为正值。

在空间计量当中, 回归系数可以在某种程度上反映所选择的因变量对自变量的影响, 但并不能完全表示, 所以在回归的过程中, 需要对各个变量进行效应分解, 以研究其在空间上的作用。从上表中可以看出, 产业结构升级对碳排放的直接效应并不显著, 但是间接效应和总效应都显著呈现出负值, 这表明京津冀城市群中的各个城市中本市的产业结构升级对于本地的碳减排并没有明显效果, 但是本市产业结构升级可以通过空间溢出效应来明显地降低其他城市的碳减排, 从而有利于整个城市群碳减排, 这是因为产业结构升级对于其他城市能够起到一定的辐射与激励作用, 从而促进其他城市碳减排工作的进行; 人均 GDP 的直接与间接效应显著为负值, 从这可以看出当一个城市的经济发展水平较高, 城市二氧化碳的排放越少, 这可以在京津冀城市群中的代表城市北京可以看出, 北京作为全国经济发达的城市, 其人均 GDP 水平较高, 主要以服务业为主, 大量的高耗能产业进行产能升级与转移, 这有利减少了二氧化碳的排放; 能源消耗强度直接效应显著为正值, 其间接效应与总效应不显著, 这表明当一个城市的能源消耗增加时, 将会大量增加本市的二氧化碳排放量; 城镇化水平直接效应显著为正值, 其间接效应在 10%的置信水平上显著为正, 这说明一个本城市城镇人口数目多, 会导致邻近城市的碳排放强度增大, 城镇化水平高城市, 有着大量的基建组织建设, 这在一定的程度之上会增加碳排放, 同时由于物资的流动性, 对邻近城市也产生影响; 开放程度和技术水平直接效应显著为负值, 由于外贸增加, 大量消耗能源, 虽然开放程度高, 可在一定程度上引进先进技术, 但是总体来说技术研发周期较长, 在前期可能会产生碳排放增加的现象。

#### 4.2.2. 异质性分析

京津冀城市群包含着众多城市, 但是各个城市之间在发展基础、发展模式、发展阶段等方面存在着差异, 且河北省的唐山、邢台等市相较于北京、天津的发展仍然存在着发展不平衡、不充分的问题。因此, 探究产业结构对碳排放的影响可能存在着异质性。

自然资源丰富的资源型城市与非资源城市产业结构差别较大。资源型的城市突出特点是着重发展高耗能、高污染的产业, 产业结构较为单一, 同时对于生产技术的支 持力度小, 进一步加大了二氧化碳的排放。非资源型的城市发展模式较为多样, 产业结构较资源型城市更为合理。因此, 为了检验产业结构升级对于城市碳排放强度影响的异质性, 根据国务院发布的《全国资源型城市可持续发展规划》



对京津冀城市群中的城市进行分类, 主要分为资源依赖型城市与非资源依赖型城市, 资源依赖型城市包含张家口市、承德市、唐山市、邢台市、邯郸市, 非资源依赖型城市包含北京市、天津市、石家庄市、秦皇岛市、保定市、沧州市、廊坊市与衡水市, 下表 6 与表 7 显示了资源型城市与非资源型城市的回归结果。

**Table 6.** Panel regression results and effect decomposition of resource-dependent cities  
**表 6.** 资源依赖型城市面板回归结果及效应分解

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	回归结果	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnisu</i>	0.299 (0.240)	0.268 (0.258)	0.351** (0.299)	0.619** (0.301)
<i>lngdp</i>	0.0822 (0.0744)	0.0817 (0.0659)	-0.0811 (0.0631)	0.000622 (0.0869)
<i>lnel</i>	1.010*** (0.0339)	1.004*** (0.0386)	0.0773* (0.0420)	1.082*** (0.0444)
<i>lnopen</i>	0.0166 (0.0135)	0.0204 (0.0141)	-0.0249* (0.0134)	-0.00450 (0.0217)
<i>lnurban</i>	-0.243 (0.166)	-0.279 (0.176)	0.0607 (0.174)	-0.218 (0.310)
<i>lnitech</i>	0.0174 (0.0385)	0.0218 (0.0367)	-0.0148 (0.0486)	0.00708 (0.0714)
$W \times lnisu$	0.375** (0.306)			
$W \times lnel$	0.211** (0.107)			
$W \times lnopen$	-0.0228* (0.0132)			
<i>sigma2_e</i>	0.00183*** (0.000316)			
$R^2$	86.3%			

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平下的显著水平。

由表 6 所示, 资源依赖型城市产业结构升级的回归结果不显著, 但是由其效应结果的分析来看, 其间接效应显著为正值, 即本市的产业结构的升级会导致其他城市的二氧化碳的排放量增加, 和前面面板回归结果存在差异, 分析由于资源型城市的重工业占比较高, 对于资源的依赖严重, 第三产业发展缓慢甚至未达到全国平均水平, 在进行产业结构升级时, 企业的转型动力不同, 导致企业产业转型升级不完善, 反而在一定程度上增加二氧化碳排放; 能源的消耗在上表所示回归结果、直接效应、间接效应等都显著为正值, 这表明城市能源消耗越多, 不仅加大当地的二氧化碳排放, 还会通过空间溢出效应对邻近城市产生负面影响; 对外开放程度间接效应显著为负值, 由于对外贸易发展倾向于外贸集聚式发展模式, 这必然会吸引大量资源集聚, 从而周边城市的能源消耗减少, 在一定程度上减少碳排放。

**Table 7.** Panel regression results and effect analysis of non-resource-dependent cities  
**表 7.** 非资源依赖型城市面板回归结果及效应分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	回归结果	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnisu</i>	0.0883 (0.0909)	0.0979 (0.0915)	-0.182** (0.221)	-0.0838 (0.146)
<i>lngdp</i>	-0.0952*** (0.0307)	-0.0994*** (0.0270)	0.000578 (0.0610)	-0.0989 (0.0699)
<i>lnei</i>	0.958*** (0.0330)	0.960*** (0.0343)	-0.0158 (0.0549)	0.944*** (0.0685)
<i>lnopen</i>	0.0114 (0.0228)	0.00995 (0.0248)	0.0688* (0.0424)	0.0787 (0.0571)
<i>lnurban</i>	0.0490 (0.0377)	0.0426 (0.0408)	0.0560 (0.0603)	0.0987 (0.0672)
<i>lntech</i>	0.0634 (0.0458)	0.0684 (0.0432)	-0.0444 (0.0863)	0.0240 (0.106)
$W \times lnisu$	-0.225** (0.359)			
$W \times lnopen$	0.0858* (0.0512)			
<i>Sigma2_e</i>	0.00253*** (0.000327)			
$R^2$	87.5%			

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平下的显著水平。

由表 7 可以看出, 非资源依赖型城市产业结构升级直接效应为正值, 但并不显著, 而间接效应为负值, 这说明本市的产业结构升级将会降低邻近城市的碳排放, 这与资源依赖型城市的结果相反, 因为非资源依赖型城市的发展一般多以第三产业为主, 而第三产业的耗能相对较低, 当对产业优化升级时, 会对周边城市产生积极影响, 带动周边城市碳减排; 而城市的对外开放程度层面, 非资源城市的对外贸易发展水平相对较高, 其在间接效应层面为负值与依赖型城市相反, 这是由于二者之间对外贸易发展的基础不一样, 资源型依赖城市主要以能源的进出口为主, 其发展对外贸易将会集聚周边能源, 从而减少邻近城市碳排放, 而非资源型城市, 主要从事一些高附加值产品, 而这些产品有着较高的外部成本, 而这会加大周边城市的碳排放。

## 5. 结论与建议

### 5.1. 研究结论

文章通过分析京津冀城市群 2006~2019 年的面板数据, 构建空间杜宾模型, 来探究产业结构升级对京津冀地区碳排放的影响研究, 文章的研究结论如下:

(1) 京津冀城市群二氧化碳排放具有明显的空间溢出效应, 本城市的碳排放将会受到其他城市碳排放影响, 同时也会对其他城市产生影响。

(2) 产业结构升级有利于减少二氧化碳的排放,其主要通过减少邻近城市的碳排放来达到整个地区碳减排的目的。

(3) 产业结构升级对于京津冀地区二氧化碳排放的影响具有异质性,对于唐山、张家口等资源型城市,产业结构的间接效应为正值,对于北京、天津等非资源城市则相反。

## 5.2. 政策建议

### 5.2.1. 加强顶层设计, 完善京津冀地区联合治理模式

京津冀城市群应从区域的整体角度出发,制定符合各个城市特点的碳减排战略,完善京津冀联合治理模式。国家“十四五”规划纲要明确指出,将进一步加快推进京津冀地区协同发展,有序疏解北京非首都功能,着力抓好高耗能产业、一般制造业等的疏解工作,推动与首都功能定位不符的一般制造业企业的动态退出。三地政府要打破区域利益分割对于资金、信息等因素的限制,建立信息共享机制,整合京津冀碳排放量、能源消耗等生态环境资料和数据,监察生态破坏与环境污染事件,进一步深化联合执法、管理与监督一体化机制建设,从顶层设计中保障京津冀地区城市的互利共赢。同时应强区域产业互动,弱化三地的行政边界,推动河北利用廊坊、保定、石家庄、沧州等地现有商贸物流产业,承接北京批发性市场的转移,使得整体区域之间产业联动加强,从而合力制定有效减污降碳的产业环境优化政策。

### 5.2.2. 加快转变经济发展方式, 促进产业结构升级

城市的发展,不能一味地追求经济最大化,而采用粗放型经济发展方式,应按照统筹城市之间发展的要求,明确区域城市间的产业链条分工,对区域产业结构进行合理规划,并积极促进产业结构的升级。北京要努力培育新兴产业,以智能制造、新能源产业、绿色智慧能源产业等为出发点,进一步夯实产业基础能力,提高产业链的现代化水平,推动京津冀地区产业协同布局。天津要注重发挥港口优势,不断深化津冀港口合作,与秦皇岛港、唐山港等港口形成错位发展,有效互动的港口群。河北省要积极引导邯郸、唐山等城市群中其他城市的工业园区采用清洁能源技术,来促进园区的产业升级,同时利用信息技术,来对园区中企业的生产碳排放进行实时的监控,加强排放监管,促进企业产业结构的优化升级,同时要加强对发展当地特色生态农业,减少当地高耗能产业投入建设,从而推动整个京津冀区域碳排放量减少。

### 5.2.3. 引导企业转变生产方式, 改善能源结构

碳减排需要企业转变生产方式,完善能源结构,提升能源使用效率。京津冀地区各地政府要加大对低碳减排技术的投入,积极引导企业转变高耗能生产方式,对实施产业转型优化升级和研发创新技术的企业给予资金支持与税收优惠。企业要加快产业的转型升级,重点考虑先进技术的引进与研发。改进企业的生产技术,完善能源的投入产出结构,使得能源的利用效率能够得到大幅提升。能源消费结构的改善,还需要加大对清洁能源的使用。京津冀城市各地应考虑本市的资源能耗基础,在保障本地的能源供应前提下,减少化石等高耗能能源的使用,因地制宜地加大对太阳能、风能、氢能等清洁能源的使用。例如河北承德和张家口的风能资源丰富,可以通过建设大量的风能发电站,充分发挥风力发电优势,从而有效减少碳排放。

### 5.2.4. 提高绿色创新技术水平, 促进区域之间合作交流

一方面北京应积极发挥对天津、河北地区的创新辐射与带动作用,形成良好统一的资源产业布局与要素市场。将当地科研院所、高校等机构的绿色人才与技术积极向河北城市地区进行输送,形成城市与城市之间的人才技术桥梁。另一方面,京津冀地区科研院校、厂商、行业协会等单位的专家,要对该区域的产业结构布局进行全面深入调查,制定出重点产业的技术发展路线,着重关注新能源、新材料、新

装备与先进制造等方面的技术要求, 提高技术创新的针对性与有效性, 同时要加强技术信息的沟通交流, 进而推动区域的总体绿色技术发展, 助力企业产业结构的优化升级改造, 减少区域碳排放。

## 基金项目

2022 年度广西文科中心“科学研究工程”专项项目(编号: WKZX2022001); 四川省社会科学重点研究基地系统科学与企业发展研究中心重点项目(编号: XQ22B09)。

## 参考文献

- [1] 李国平, 吕爽. “双碳”目标视角下的京津冀产业结构优化研究[J]. 河北经贸大学学报, 2022, 43(2): 81-89.
- [2] 刘健强, 马晓钰. 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[J]. 金融与经济, 2021(7): 54-62.
- [3] 吴旭晓. 我国区域城镇化的碳排放效率时空动态效应研究[J]. 区域经济评论, 2023(1): 139-148.
- [4] 姜吉坤, 祝胜来, 曹吉昌, 李晓冬, 薛雅伟. 新型城镇化与碳排放水平的耦合协调度分析——以山东省为例[J]. 生态经济, 2023, 39(3): 76-82.
- [5] 周兵, 刘婷婷. 区域环境治理压力、经济发展水平与碳中和绩效[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(8): 100-118.
- [6] 张悦, 王晶晶, 程钰. 中国工业碳排放绩效时空特征及技术创新影响机制[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1435-1448.
- [7] 葛翔宇, 周智敏, 周艳丽. 城市化、外商投资和产业结构因素对中国环境的影响[J]. 中国环境科学, 2020, 40(3): 1374-1385.
- [8] 张同斌, 周县华, 刘巧红. 碳减排方案优化及其在产业升级中的效应研究[J]. 中国环境科学, 2018, 38(7): 2758-2767.
- [9] 孙丽文, 李翼凡, 任相伟. 产业结构升级、技术创新与碳排放——一个有调节的中介模型[J]. 技术经济, 2020, 39(6): 1-9.
- [10] 金贵朝, 王国梁, 何怡然. 数字化水平、产业结构调整与区域碳减排[J]. 统计与决策, 2023, 39(3): 27-32.
- [11] 李子杰, 徐进亮, 王健, 冯雨豪, 吴群. 长江经济带城市碳排放及其影响因素的时空异质性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(3): 525-536.
- [12] 苏方林, 黎文勇. 产业结构合理化、高级化对碳排放影响的实证研究——基于西南地区面板数据[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2015, 36(11): 114-119.
- [13] 潘崇超, 王博文, 侯孝旺, 古月清, 邢奕, 刘育松, 温维, 方娟. 基于 LMDI-STIRPAT 模型的中国钢铁行业碳达峰路径研究[J]. 工程科学学报, 2023, 45(6): 1034-1044.
- [14] Pu, Z.N., Yue, S.J. and Gao, P. (2020) The Driving Factors of China's Embodied Carbon Emissions. *Technological Forecasting & Social Change*, 15, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119930>
- [15] 张金良, 关轶群. 基于 IO-SDA 模型的电力行业碳排放影响因素分析[J]. 华北电力大学学报(社会科学版), 2019(6): 39-46.
- [16] 郭卫香, 孙慧. 西北 5 省碳排放与产业结构碳锁定的灰色关联分析[J]. 工业技术经济, 2018, 37(7): 119-127.
- [17] 何永贵, 于江浩. 基于 STIRPAT 模型的我国碳排放和产业结构优化研究[J]. 环境工程, 2018, 36(7): 174-178+184.
- [18] 冯彦, 祝凌云, 张大红. 中国产业结构调整对碳强度影响的空间计量研究[J]. 软科学, 2017, 31(7): 11-15.
- [19] 赵玉焕, 钱之凌, 徐鑫. 碳达峰和碳中和背景下中国产业结构升级对碳排放的影响研究[J]. 经济问题探索, 2022(3): 87-105.
- [20] 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.
- [21] 王凯, 何静, 甘畅, 席建超. 中国旅游产业结构变迁对旅游业碳排放效率的空间溢出效应研究[J]. 中国软科学, 2022(12): 50-60.
- [22] 王兆峰, 李竹, 吴卫. 长江经济带不同等级城市碳排放的时空演变及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2022, 35(10): 2273-2281.

- 
- [23] 刘鹏振, 张力元, 董会忠. 京津冀及周边“2 + 26”城市碳排放强度时空演变规律及影响因素分析[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(6): 772-776+810.
- [24] 李子杰, 徐进亮, 王健, 冯雨豪, 吴群. 长江经济带城市碳排放及其影响因素的时空异质性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(3): 525-536.
- [25] 庞建刚, 李思思. 成渝双城经济圈县域产业结构升级与碳排放效率的时空耦合及影响因素[J]. 科技管理研究, 2023, 43(2): 101-111.
- [26] 张晨露, 张凡. 生态保护、产业结构升级对碳排放的影响——基于长江经济带数据的实证[J]. 统计与决策, 2022, 38(3): 77-80.
- [27] Zang, J.N., Wan, L., Li, Z.J., Wang, C.Y. and Wang S.Y. (2020) Does Emission Trading Scheme Have Spillover Effect on Industrial Structure Upgrading? Evidence from the EU Based on a PSM-DID Approach. *Environmental Science and Pollution Research International*, **27**, 12345-12357. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07818-0>