

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 10741



## 硕士学位论文

论文题目 黄河流域产业集聚对碳排放效率的影响研究

研究生姓名: 耿思凡

指导教师姓名、职称: 杨芳 副教授

学科、专业名称: 应用经济学 产业经济学

研究方向: 企业理论与战略管理

提交日期: 2024年5月31日

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 耿思凡 签字日期： 2024年5月31日

导师签名： 杨芳 签字日期： 2024年5月31日

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意 选择“同意”/“不同意”以下事项：

- 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；
- 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 耿思凡 签字日期： 2024年5月31日

导师签名： 杨芳 签字日期： 2024年5月31日

# **Research on the impact of industrial agglomeration on carbon emission efficiency in the Yellow River Basin**

**Candidate : Geng Sifan**

**Supervisor: Yang Fang**

## 摘要

面对全球气候变暖问题，中国展现大国担当，于2020年提出“30·60”的减碳目标，经验表明，提高碳排放效率是实现该目标的有效途径。在产城融合背景下，产业集聚日益成为影响一个地区经济增长和碳排放的重要因素。同时，考虑到黄河流域作为能源流域，是我国减排降碳的重点区域。因而本文聚焦于黄河流域，采用理论分析和实证检验相结合的研究方法，对产业集聚与碳排放效率之间的关系进行深入研究。通过动态面板计量模型，结合替换被解释变量、缩短样本时间窗口的稳健性检验方法，验证了产业集聚与碳排放效率之间的关系。并通过中介效应模型检验了劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应路径的存在性。进一步，从资源—非资源型城市视角分析了产业集聚对碳排放效率的异质性影响，以及政府干预和市场化水平在产业集聚影响碳排放效率中的调节作用。

经深入研究与实证检验，本文主要的研究结论如下：

一是，产业集聚对碳排放效率的改善具有显著的促进作用，这主要是源于多样化集聚，专业化集聚则抑制碳排放效率的提高。二是，专业化集聚通过抑制劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应，导致碳排放效率下降，而多样化集聚通过促进劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应进而改善碳排放效率。三是，非资源型城市适合多样化集聚，而资源型城市的专业化集聚为正，但不显著；政府过度干预显著抑制产业集聚、多样化集聚的碳减排效应，而市场化水平能够显著提高产业集聚和专业化集聚的碳减排效应，但对多样化集聚的促进作用不显著。

基于以上研究结论，本文从加强黄河流域多样化集聚、人力资本积累、分区域管理、构建有效市场、打造有为政府等视角，提出促进黄河流域产业集聚经济发展和碳减排的建议。

**关键词：**黄河流域 产业集聚 碳排放效率 中介效应

## Abstract

In the face of global warming, China has shown its responsibility as a major country and put forward the "30·60" carbon reduction target in 2020, and experience has shown that improving carbon emission efficiency is an effective way to achieve this goal. In the context of industry-city integration, industrial agglomeration has increasingly become an important factor affecting the economic growth and carbon emissions of a region. At the same time, considering that the Yellow River Basin, as an energy basin, is a key area for pollutant emission reduction and carbon reduction in China. Therefore, this paper focuses on the Yellow River Basin, and uses a combination of theoretical analysis and empirical testing to conduct an in-depth study on the relationship between industrial agglomeration and carbon emission efficiency. The relationship between industrial agglomeration and carbon emission efficiency is verified by the dynamic panel econometric model, combined with the robustness test methods of replacing the explanatory variable and shortening the sample time window. The existence of the labor reservoir effect, the intermediate input sharing effect and the knowledge spillover effect path is tested by the mediating effect model. Furthermore, from the perspective of resource-non-resource-based cities, the heterogeneous impact of industrial agglomeration on carbon emission efficiency is analyzed, and the moderating role of government intervention and marketization level in the impact of industrial agglomeration on carbon emission efficiency is analyzed.

After in-depth research and empirical testing, the main conclusions of this paper are as follows:

First, industrial agglomeration has a significant role in promoting the improvement of carbon emission efficiency, which is mainly due to

diversified agglomeration, and specialized agglomeration inhibits the improvement of carbon emission efficiency. Second, specialized agglomeration leads to the decline of carbon emission efficiency by inhibiting the labor reservoir effect, intermediate input sharing effect and knowledge spillover effect, while diversified agglomeration improves carbon emission efficiency by promoting the labor reservoir effect, intermediate input sharing effect and knowledge spillover effect. Third, Non- resource-based cities are suitable for diversified agglomeration, while resource-based cities are positive but not significant. And excessive government intervention significantly inhibits the carbon emission reduction effect of industrial agglomeration and diversified agglomeration, while the marketization level can significantly improve the carbon emission reduction effect of industrial agglomeration and specialized agglomeration, but has no significant effect on promoting diversified agglomeration.

Based on the above research conclusions, this paper puts forward suggestions for promoting the industrial agglomeration economic development, and carbon emission reduction in the Yellow River Basin from the perspectives of strengthening diversified agglomeration, human capital accumulation, subregional management, effective construction of promising market, and effective government.

**Keywords:** Yellow River Basin; Industrial agglomeration; Carbon emission efficiency; Intermediary effect

# 目 录

<b>1 绪 论</b> .....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究方法与内容.....	2
1.2.1 研究方法.....	2
1.2.2 研究内容.....	3
1.2.3 技术路线图.....	4
1.3 国内外文献综述.....	5
1.3.1 概念界定.....	5
1.3.2 碳排放效率的相关研究.....	7
1.3.3 产业集聚影响碳排放效率的相关研究.....	7
1.3.4 文献述评.....	9
1.4 可能的创新点和不足之处.....	10
1.4.1 研究可能的创新点.....	10
1.4.2 研究的不足之处.....	11
<b>2 理论分析</b> .....	12
2.1 相关理论基础.....	12
2.1.1 产业集聚的理论基础.....	12
2.1.2 碳排放效率的理论基础.....	14
2.2 产业集聚影响碳排放效率的理论机制分析.....	16
2.2.1 产业集聚对碳排放效率的影响效应分析.....	16
2.2.2 产业集聚模式对碳排放效率的传导路径.....	16
2.2.3 产业集聚影响碳排放效率的调节效应分析.....	18
<b>3 产业集聚和碳排放效率的测算方法及发展特征分析</b> .....	20
3.1 产业集聚的测算方法与特征分析.....	20
3.1.1 产业集聚的测算方法与分类.....	20

3.1.2 产业集聚时空演化特征 .....	21
3.2 碳排放效率测算及特征分析 .....	23
3.2.1 碳排放效率测算方法及指标选取 .....	23
3.2.2 碳排放效率的特征分析 .....	24
<b>4 黄河流域产业集聚影响碳排放效率的实证分析 .....</b>	<b>28</b>
4.1 计量模型设定和变量选取 .....	28
4.1.1 模型设定 .....	28
4.1.2 变量选取与数据说明 .....	28
4.2 黄河流域产业集聚对碳排放效率的影响效应分析 .....	30
4.2.1 基准回归结果 .....	30
4.2.2 稳健性检验 .....	32
4.2.3 传导路径分析 .....	34
4.3 黄河流域产业集聚对碳排放效率的调节效应分析 .....	36
4.3.1 基于不同的城市类型 .....	36
4.3.2 基于政府干预和市场化水平视角 .....	38
<b>5 结论与建议 .....</b>	<b>40</b>
5.1 研究结论 .....	40
5.2 对策建议 .....	41
<b>参考文献 .....</b>	<b>43</b>
<b>后记 .....</b>	<b>50</b>



# 1 绪论

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景

联合国政府间气候变化委员会（IPCC）第六次报告指出，化石燃料燃烧以及不合理的能源和土地利用导致全球气候变暖，加剧了冰川融化、海平面上升、极端天气频发等多重风险，给人类的生产生活带来了严重威胁。为了应对气候变化，中国展现大国担当，相继提出一系列减污降碳政策。2020年9月，习近平总书记在第75届联合国大会上更是明确地提出了“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的发展目标（以下简称“双碳”目标）。作为节能减排领域的主流指标和环境绩效评估的重要内容，全要素碳排放效率能够将能源消耗、经济增长和二氧化碳排放三者有机统一，以准确反映经济增长和节能减排能否“珠联璧合”。因此，提高碳排放效率是实现“双碳”目标的有效途径，也是我国推动绿色低碳转型的关键。

经济理论表明，产业集聚作为一种紧凑型的空间组织形式，既是区域经济增长的重要推动力，又能对环境污染产生减排作用。产业集聚正外部效应的发挥有利于经济发展质量和效率的改善；过度集聚则会导致生产规模扩大、要素需求增加，从而加剧能源消耗，致使其成为二氧化碳排放的重要聚集地。在国内经济发展和碳排放问题日益突出的背景下，深入探讨产业集聚与碳排放效率之间的关系对于我国推进结构调整和环境效率的内涵式发展、实现“双碳”目标具有重要的现实意义。

黄河流域在我国推进产业结构转型升级和绿色低碳发展中具有重要地位。受地区自然资源禀赋和新中国初期工业布局的影响，黄河流域现已形成以能源原材料为主的产业结构和以煤炭为主的能源结构，这导致流域内碳排放量居高不下。已有研究表明，2000—2019年，宁夏、山西、陕西、内蒙古这四个省份的二氧化碳排放增速位于全国前列。因此，黄河流域产业集聚与碳排放效率之间存在何种联系？其中的作用机制如何？科学研判产业集聚与碳排放效率之间的关系，对黄河流域地区产业发展和生态环境改善具有重要意义。本文通过对黄河流域产业

集聚与碳排放效率的关系进行分析, 以期为黄河流域地区产业合理布局和绿色发展, 进而协同推进“降碳、减污、扩绿、增长”提供启示。

### 1.1.2 研究意义

生态脆弱是黄河流域高质量发展面临的重大问题, 因而黄河流域发展必须坚持生态优先、走绿色发展之路。绿色发展不仅需要优化产业布局, 把经济活动限制在环境承载能力之内, 还应节能减排, 提高碳排放效率。因此, 本文在已有研究的基础上, 重点考察黄河流域产业集聚与碳排放效率之间的关系, 并分析不同集聚模式对碳排放效率的传导路径和异质性影响, 具有一定的理论和现实意义。

#### (1) 理论意义

本文从黄河流域角度出发, 运用动态面板模型分析产业集聚对碳排放效率的影响, 有利于增强对特定区域条件下产业集聚碳减排效应的认识。进一步从中介效应和调节效应的双重视角, 考察不同集聚模式对碳排放效率的传导路径和异质性分析, 拓展了产业集聚和碳排放效率的研究视角。

#### (2) 现实意义

作为一种有效的经济活动组织形式, 产业集聚对经济效率的提高具有重要的促进作用。通过研究黄河流域不同集聚模式对碳排放效率的影响, 识别产业集聚的碳减排效应的作用机理, 有助于从产业布局角度出发, 优化区域间产业组织方式、调整产业集聚水平, 统筹黄河流域区域间的产业发展, 更好地促进黄河流域经济绿色低碳转型。

## 1.2 研究方法 with 内容

### 1.2.1 研究方法

(1)文献分析法。本文搜集整理产业集聚和碳排放效率方面的相关文献, 了解黄河流域产业发展和低碳发展现状, 找到文章的研究切入点, 明确研究方向和研究意义, 为后续研究提供理论基础。

(2)投入产出法。基于投入产出视角, 选取资本、劳动、能源作为投入要素, 城市实际 GDP 和二氧化碳分别作为期望产出和非期望产出, 运用考虑非期望产

出的超效率 SBM 模型测算黄河流域 99 个城市的碳排放效率，综合考量黄河流域城市碳减排成效和低碳经济发展水平。

(3)面板回归模型。研究选取产业集聚、专业化集聚、多样化集聚、经济发展水平、人口密度、政府干预程度、科技创新水平、环境规制等因素，构建动态面板模型实证分析产业集聚对碳排放效率的影响，并检验不同集聚模式影响碳排放效率的传导路径，最后从资源型和非资源型城市角度分析产业集聚对碳排放效率影响的异质性以及政府和市场在产业集聚影响碳排放效率中所发挥的调节作用。

## 1.2.2 研究内容

第一部分，绪论。主要介绍本文的研究背景、研究意义、研究方法、文献综述，可能的创新点和不足之处等。

第二部分，产业集聚与碳排放效率的概念界定和理论基础。一是阐述产业集聚和碳排放效率的理论基础，如马歇尔的产业区位论、新经济地理学规模报酬递增理论、胡弗的产业集聚最佳规模理论、专业化集聚和多样化集聚理论、环境库兹涅茨曲线假说、低碳经济发展理论等。二是分析产业集聚影响碳排放效率的理论机制。首先，分析产业集聚对碳排放效率的正向促进作用；其次，经典的产业集聚理论认为，集聚经济主要来源于劳动力蓄水池、中间投入共享和知识溢出效应三个外部性，因而深入分析不同集聚模式影响碳排放效率的作用路径；最后，从城市类型、政府干预和市场化水平视角进一步探究产业集聚的碳减排效应的异质性影响。

第三部分，对产业集聚和碳排放效率进行测度和分析。关于产业集聚的衡量方法主要包括区位熵、赫芬达尔指数、泰尔指数、EG 指数等，鉴于区位熵方法测度的优势和数据的可得性，本文采用区位熵指数衡量地区层面的产业集聚、专业化集聚和多样化集聚水平。考虑到 DEA 模型所具有的限制性，本文采用超效率 SBM 模型测度黄河流域的碳排放效率。并制作图表分析黄河流域及其上中下游地区产业集聚及其模式和碳排放效率的时间演化趋势，使用 ArcGIS10.2 软件将数据可视化，分析黄河流域碳排放效率的空间分布。

第四部分，黄河流域产业集聚影响碳排放效率的实证分析。首先介绍本文所使用的模型和变量；其次，运用系统 GMM 模型检验黄河流域城市产业集聚及其

模式对碳排放效率的影响；再次，通过构建中介效应模型，深入分析专业化集聚、多样化集聚通过劳动力蓄水池、中间投入共享、知识溢出效应对碳排放效率的作用机制；最后，进一步探讨黄河流域资源—非资源型城市产业集聚对碳排放效率的异质性影响，并从政府和市场的角度评估政府干预和市场化水平在产业集聚影响碳排放效率中的调节作用。

第五部分，结论与建议。总结本文的研究结论，并立足于加强黄河流域多样化集聚、人力资本积累、分区域管理、构建有效市场、打造有为政府等多方面提出促进黄河流域产业集聚的碳减排效应的对策建议。

### 1.2.3 技术路线图

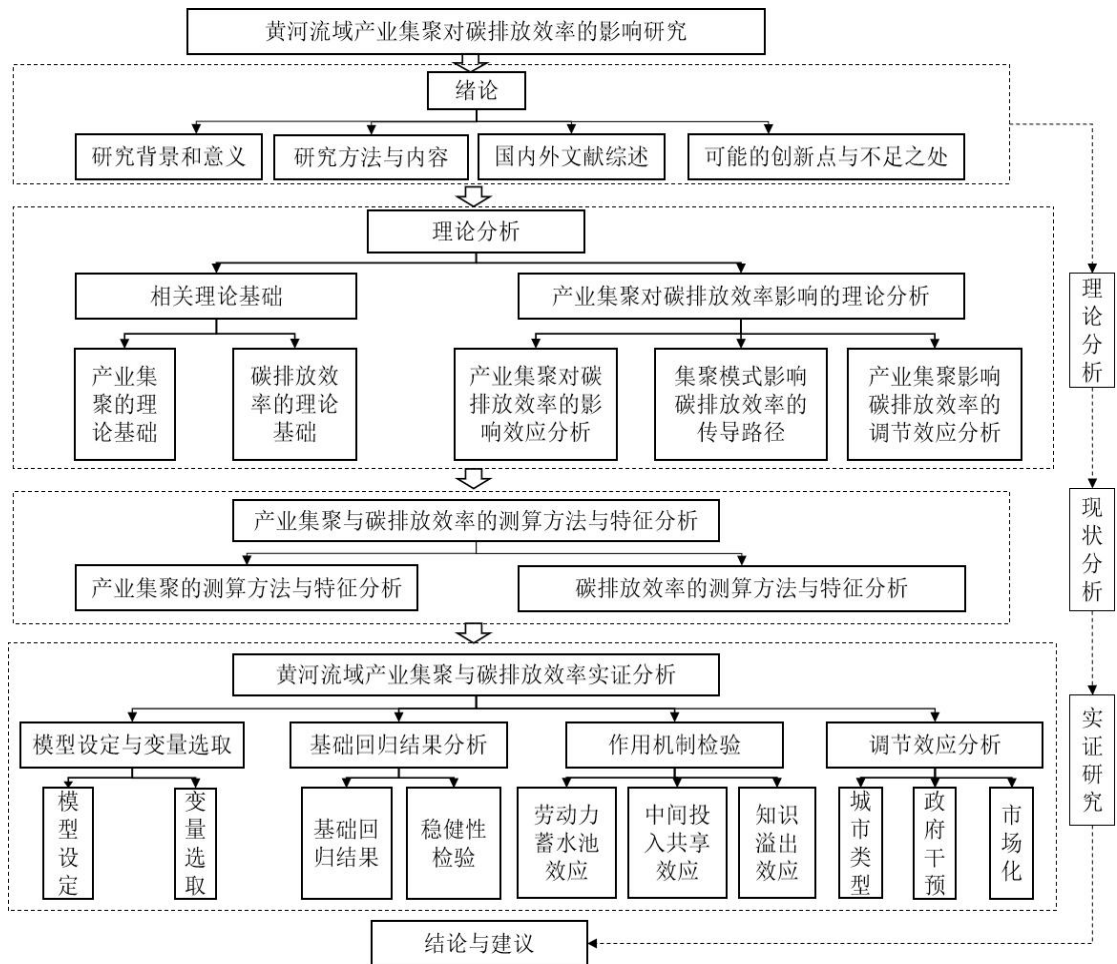


图 1.1 技术路线图

## 1.3 国内外文献综述

### 1.3.1 概念界定

#### (1) 产业集聚的内涵

阿尔弗雷德·马歇尔在《经济学原理》中首次提出产业集聚的概念，认为产业集聚的本质是同行业企业倾向于在特定区域内集中，企业在集聚区域内容易获得更多的技术人员、供应商支持并得到知识交流和学习机会，从而推动了技术创新。早期关于产业集聚概念的界定更偏向于从产业的生产联系视角进行阐释，忽视了地理邻近性这一条件，随着产业集聚呈现出高度的地理集中现象，产业集聚概念逐渐与地理特征结合到一起。德国经济学家韦伯最早提出集聚经济一词，强调外部经济性对企业地理集中上的重要作用。在 20 世纪 90 年代，以保罗·克鲁格曼 (Paul R. Krugman) 为代表的新经济地理学派将地理因素纳入经济学分析中，探讨了产业集聚的动因，指出产业集聚是企业规模报酬递增、运输成本和生产要素移动通过市场机制相互作用而形成的结果。迈克尔·波特 (Michael E. Porter) 从国家竞争优势的角度研究产业集聚，并在其《产业集聚和新竞争经济学》一文中指出“产业集聚是特定产业中互有联系的公司或机构集聚在特定地理位置的现象”。

《中华人民共和国国情词典》对产业集聚的定义如下：“产业集聚是工业化过程的必然选择，是特定产业及其关联支撑产业在一定空间地理范围上的高度集中”。《新编经济金融词典》将产业集聚定义为：“一定空间范围内生产同类产品的企业以及与这些企业相关的配套企业持续不断集聚的动态过程”。产业集聚的本质是同行业抑或不同行业的生产要素集聚 (白东北等, 2019)。

综上，虽然国内外学者界定产业集聚概念的视角不同，但均表达了“产业在一定地理范围内的集中”这一核心思想。本文借鉴中国商务部在《产业集聚形成与发展的五大要素》中对产业集聚概念的界定，“产业集聚是相同或相近产业在特定地理区域的高度集中、产业资本要素在特定空间范围不断汇聚的过程。”

#### (2) 碳排放效率的内涵

效率概念。在明确碳排放效率概念之前要先厘清效率的含义。经济学上通俗的“效率”是指社会从稀缺资源中所能获得最多东西的特性 (牛秀敏, 2016)，

其一般包括两部分：配置效率和技术效率。前者是指在一定的要素价格条件下，通过优化要素组合进而获得最大产出。而后者可以从投入角度和产出角度进行定义。Farrell（1957）基于投入视角对技术效率进行界定，认为技术效率指的是生产过程中实际要素投入与最优要素投入之比；Leibenstein（1966）基于产出视角对技术效率进行界定，认为技术效率是在要素投入保持不变的情况下最大产出与实际产出的比率。总的来说，较之于配置效率，技术效率更能直观反映在既定投入或产出下经济主体的最优生产能力，因而在更多情况下对效率的考察和测度是针对技术效率的，本文所研究的效率也遵循这一思路。

目前学界关于“碳”的界定有广义和狭义之分。就广义视角而言，《京都议定书》中碳排放包含二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化合物、全氟碳化合物、六氟化硫这六种温室气体，而从狭义视角来说，“碳”仅仅指二氧化碳。联合国政府间气候变化委员会（IPCC）第六次报告指出，未来升温很大程度上取决于大气系统中累积二氧化碳的多少。因而本文涉及的碳排放仅仅指狭义上的二氧化碳气体的排放。

作为衡量环境绩效的重要指标，碳排放效率具有较强的复杂性，故学术界尚未给出统一的定义。从相关文献可知，碳排放效率主要分为两类：

第一类是单要素视角下的碳排放效率，主要以碳排放总量与单一要素的比值关系来表示。Mielnik and Goldemberg（1999）率先提出单位能源消耗的碳排放量即碳指数的概念，以此来评估发展中国家的碳排放效率；Sun（2005）以单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量即碳排放强度表示碳排放效率。仅仅考虑 CO<sub>2</sub> 与经济或能源指标之间的关系，虽然易于操作和理解，但比值关系多样，其能否全面准确地衡量碳排放效率也存在很大的争议。

第二类是全要素视角下的碳排放效率。经济生产系统是一个复杂的系统，较之于单要素碳排放效率，基于投入产出理论的全要素碳排放效率更能全面准确地对其进行评估（查建平等，2012；王少剑，2020）。本文借鉴马大来等（2015）学者对全要素碳排放效率的定义，即全要素碳排放效率指的是在既定投入下，所能得到的最大经济产出和最少二氧化碳排放。由此可见，在全要素碳排放效率框架下，产出要素不仅包含经济总量这一“好”的产出还包含二氧化碳排放量这一“坏”的产出，因而其暗含的政策含义强调在控制碳排放总量的同时增加产出的经济价值。

### 1.3.2 碳排放效率的相关研究

实现“双碳”目标，必须要在促进社会经济发展的同时减少二氧化碳排放量，其关键在于提高碳排放效率。目前学者们主要聚焦于碳排放效率的测量方法、影响因素等方面。

#### （1）碳排放效率的测算方法

学者们大多采用数据包络分析法（Data Envelopment Analysis, DEA）测度全要素碳排放效率。Ramanathan（2002）利用数据包络分析法构建了包含二氧化碳排放、能源消耗和经济活动变量的投入产出指标体系，来比较各国的碳排放效率水平。继而学者们沿着这一思路，研究不同地区或行业的碳排放效率水平。王群伟等（2010）和张华（2014）利用 DEA-Malmquist 指数测算了我国各省市的二氧化碳排放效率。鉴于该模型未考虑投入产出松弛和非期望产出的问题，故 Tone 提出的超效率 SBM 模型（Tone, 2002）在近年来得到了广泛应用。如王少剑等（2020）、邓荣荣和张翱翔（2021）和宁论辰等（2021）运用此方法对全国各城市和省域碳排放效率进行测定。

#### （2）碳排放效率的影响因素

现有研究表明，影响碳排放效率的因素主要有研发投入、经济发展水平、环境规制、对外贸易、产业结构升级等。王智新等（2013）研究发现科技投入效率和经济发展程度对碳排放效率具有显著的促进作用；张华（2014）研究发现环境规制与碳排放效率之间呈现先上升后下降的倒“U”型；王惠等（2016）基于空间模型分析了出口贸易对工业碳排放的影响，结果表明出口贸易能够促进本地工业碳排放效率的提升，但对邻近地区具有抑制作用；周杰琦和汪同三（2017）研究发现外商直接投资对碳排放效率有正反两方面的影响；刘志华等（2022）通过构建 PVAR 模型研究发现科技创新、产业结构升级和碳排放效率相互间能产生正向的促进作用。

### 1.3.3 产业集聚影响碳排放效率的相关研究

自新古典经济学时代，产业集聚的研究就已引起诸多学者的关注。早期研究多聚焦于产业集聚与区域经济增长、劳动生产率、技术创新之间的关系（范剑勇，2006；郑江淮等，2008；张宇和蒋殿春，2008；潘文卿和刘庆，2012；孙浦阳等，

2013)。近年来,随着生态环境问题受到高度重视,大多数学者们研究了产业集聚与绿色经济效率(孙华平等,2022;李晓阳等,2023;Liu et al.,2024)、绿色全要素生产率(张贺和许宁,2022;韩海彬和杨冬燕,2023;Wang et al.,2023)、能源效率(师博和任保平,2019;纪玉俊和王芳,2021;秦晓丽和侯跃,2023)、环境污染(韩晶等,2019;寇冬雪,2021;Pei et al.,2021)等之间的关系。但考虑到全球气候变暖问题日益严峻,为降低经济发展过程中的二氧化碳排放,部分学者聚焦于产业集聚的碳减排效应。其中,现有文献多研究产业集聚对碳排放效率的影响、产业集聚的碳减排效应的作用路径和异质性分析等方面。

### (1) 产业集聚对碳排放效率的影响

作为产业和环境领域存在广泛争议的话题,学者们在产业集聚的碳减排效应这一问题上并未得出一致的结论。一种观点认为产业集聚促进碳减排。王凯等(2019)、任晓松等(2020)研究发现产业集聚水平提高有助于碳减排,降低碳排放强度。易艳春等(2018)利用我国2003—2015年的108个地级市的面板数据发现,产业集聚能够显著促进碳减排。另一种观点认为产业集聚不利于碳减排。张翼和卢现祥(2015)利用中国省级面板数据,从制造业、建筑业和服务业三大行业视角,研究发现产业集聚不利于碳减排。随着对产业集聚碳减排效应的深入研究,也有学者认为产业集聚的减排效应存在着复杂的作用机理,两者之间的关系并不确定。李炫榆等(2015)、张华明等(2021)分别基于省级、城市面板数据,实证分析集聚与二氧化碳、人为二氧化碳之间的关系,发现二者之间均呈现倒“U”型曲线。Liu and Zhang(2021)采用中国工业部门面板数据,研究发现产业集聚对碳生产率呈现显著的倒“U”型影响。与之不同的是,何文举等(2019)、毛小明和钟诚(2022)利用省域数据,研究发现产业集聚与碳排放呈现“N”型关系。

目前,较少有文献对产业集聚模式进行细分。苏丹妮和盛斌(2021)基于企业层面数据,将产业集聚进一步划分为专业化集聚与多样化集聚,研究发现产业集聚水平的提高对碳排放强度具有显著的抑制作用,这主要是源于专业化集聚的作用,而多样化集聚不显著。赵凡和罗良文(2022)基于产业集聚类型和集聚外部性的角度,发现制造业集聚Porter外部性对碳排放强度抑制作用更显著,产业协同集聚的Jacobs外部性呈现“U”型关系。



### （2）产业集聚影响碳排放效率的作用机制

现有文献多从环境规制、城镇化水平、能源效率、技术创新等视角深入探究产业集聚的碳减排效应的传导路径。任晓松等（2020）发现经济集聚通过促进环境规制和城镇化水平提高，进而抑制碳排放强度。杨庆等（2021）探讨了高技术产业集聚与区域碳生产率之间的关系，发现高技术产业集聚通过提高能源效率促进碳生产率的提升。Yuan et al.（2023）研究发现，产业集聚能够通过技术创新提高全要素碳排放效率。张平淡和屠西伟（2023）研究发现制造业集聚通过抑制绿色技术创新，导致碳全要素生产率的下降。

### （3）产业集聚对碳排放效率影响的异质性

产业集聚对碳排放效率的影响可能因地理区位、城市特征的不同而有所差异。曲晨瑶等（2017）从区域异质性视角，探究制造业集聚与碳排放效率之间的关系，同样，毛晓明和钟诚（2022）也从该视角分析 2007—2019 年省域面板数据产业集聚对碳排放的空间特征。易艳春等（2019）基于不同城市人口规模，分析产业集聚的减排效应。任晓松等（2020）利用京津冀、长三角、粤港澳大湾区和成渝城市群的 61 个城市的面板数据，从经济密度视角分析产业集聚对碳排放强度的异质性影响。张平淡和屠西伟（2023）从数字经济发展水平、制造业集聚水平和政府干预力度三个方面分析制造业集聚对碳全要素生产率的异质性。

## 1.3.4 文献述评

随着国内外关于产业集聚分析的深入开展，产业集聚的碳减排效应研究体系逐步形成。通过对现有文献观点的梳理与总结，发现关于产业集聚的碳减排效应研究仍有一些问题值得进一步探讨。一是，已有国内外文献大多数考虑了产业集聚与碳排放、碳排放强度等单要素碳排放效率之间的关系，较少考虑资本、劳动、能源等经济投入要素的综合作用，未能全面反映经济发展与碳排放之间的关系；二是，现有文献大多采用静态面板模型进行研究，较少考虑到碳排放效率存在时间上的路径依赖特征；三是，在探索影响机制时，现有文献多考虑能源效率、技术创新等中介变量的影响效果，而产业集聚外部性的中介效应却少有文献进行探索；四是，在分析异质性影响时，已有文献大多考虑地理区位、经济发展水平、集聚水平、政府干预力度等的差异，较少有文献分析自然资源禀赋对产业集聚影

响碳排放效率的异质性，以及政府和市场在二者之间所发挥的调节作用。

综上，本文将通过理论和实证分析深入探讨黄河流域产业集聚对碳排放效率的影响机理、传导路径及异质性，并评估政府干预和市场化水平对产业集聚影响碳排放效率的调节作用。本文将使用 2011—2021 年黄河流域地级及以上城市数据，采用超效率 SBM 模型测度黄河流域城市碳排放效率；以碳排放效率作为回归模型的被解释变量，运用系统广义矩估计方法实证分析黄河流域城市产业集聚对碳排放效率的影响；采用中介效应模型检验劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应对产业集聚模式影响碳排放效率的作用机制；从资源—非资源型城市视角分析黄河流域产业集聚对碳排放效率的异质性影响；利用调节效应模型分析政府和市场在产业集聚对碳排放效率影响中所起的作用，以期为推动黄河流域产业合理布局和绿色低碳发展提供参考。

## 1.4 可能的创新点和不足之处

### 1.4.1 研究可能的创新点

在阅读相关文献的基础上，总结文献的研究方向及内容，对比本文研究，发现可能的创新点有：

(1) 研究视角。较之于单要素方法测算的碳排放效率，基于投入产出角度的全要素碳排放效率方法更能准确反映一个地区的碳排放状况和经济发展水平。因而本文以资本、劳动、能源为投入要素，以城市实际 GDP 和 CO<sub>2</sub> 排放量分别为期望和非期望产出，采用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型测算黄河流域城市全要素碳排放效率，并在此基础上比较不同地区之间的差异，以期全面了解黄河流域低碳经济的发展现状。

(2) 研究内容。一是厘清了产业集聚影响碳排放效率的作用机制。基于马歇尔外部性理论，从劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应三个角度探究不同集聚模式影响碳排放效率的作用机制。二是拓展了产业集聚影响碳排放效率的调节效应分析视角。不仅关注产业集聚对碳排放效率的影响在资源型和非资源型城市之间的差异，还探讨了政府和市场所发挥的调节作用，发现政府的过度干预抑制多样化集聚的碳减排效应，市场化水平有助于提高专业化集聚的

碳减排效应。

#### 1.4.2 研究的不足之处

研究可能存在以下两方面的不足。

(1) 产业的差异性和多样性决定了其细分行业集聚对碳排放效率的影响存在异质性。本文主要从产业集聚两种模式——专业化集聚和多样化集聚系统分析产业集聚的碳减排效应,未能从行业视角分析其细分行业集聚对碳排放效率的影响。

(2) 根据集聚促进效应和拥挤效应的发生机制,产业集聚与碳排放效率之间可能呈现先促进后抑制的倒“U”型关系。考虑到实证模型可能出现严重的多重共线性问题,本文着重探讨了产业集聚和碳排放效率的线性影响,未分析两者之间的非线性问题。

## 2 理论分析

本章对研究所需的基础理论进行详细阐述。首先，阐释产业集聚与碳排放效率的相关理论，主要包括马歇尔的产业区位论、新经济地理学规模报酬递增理论、胡弗的产业集聚最佳规模理论、环境库兹涅茨曲线和低碳发展理论；其次，从理论方面，阐述产业集聚影响碳排放效率的作用机制。

### 2.1 相关理论基础

#### 2.1.1 产业集聚的理论基础

##### (1) 马歇尔的产业区位论

1890年，马歇尔从新古典经济学角度出发，在亚当·斯密分工理论的基础上，把引起生产规模扩大的原因分为内部规模经济和外部规模经济两类，前者是指企业内部通过提高生产过程中的资源利用效率和管理效率进而形成规模经济，后者是强调基于某种产业集聚发展所引起的区域内各企业的生产成本降低(李春风, 2022)。马歇尔认为相较于内部规模经济，外部规模经济对产业集聚的发展更为重要。具体来讲，外部规模经济是指当企业规模和数量达到一定程度时，将会促使集聚在一定区域的企业生产成本不断降低和劳动生产率不断提升。

进一步，马歇尔将产业集聚的原因归结为六个方面：协同创新的环境、辅助性工业的存在、对有专门技能的劳动力的需求与供给、劳动力需求结构的不平衡、区域经济的健康发展、顾客的便利。而后被归结为三类：第一，就劳动力而言，大量企业在某一地理位置上的集聚便吸引了许多具有相关生产技能的劳动力，缩短了劳动力匹配的时间和成本，即劳动力蓄水池效应；第二，就中间品而言，中间投入品的生产企业通过收集各企业的需求，扩大生产规模，从而降低中间投入品成本，同时节约运输成本，即中间投入共享效应；第三，就知识和信息溢出而言，地理距离是影响知识和信息传播的关键因素，企业在某一特定空间的集中分布将会降低交易成本，从而加快信息的传播速率，优化集聚企业的生产函数。

然而，马歇尔对产业集聚的研究尚处于萌芽阶段，存在一定的局限性。一是其研究对象只针对同类工业企业之间，未考虑到不同类型企业之间的情况；二是只从理论上阐述产业集聚形成的原因，未深入分析产业集聚微观作用机制。

## （2）新经济地理学规模报酬递增理论

新经济地理学于 1991 年由保罗·克鲁格曼（Paul R. Krugman）提出，认为生产某种产品企业间的规模报酬递增、运输成本和生产要素移动三者之间的相互作用是形成产业集聚的主要原因，这种作用的循环往复，使得产业集聚现象一旦产生，就能自我增强而持续下去。

克鲁格曼基于国家层面，建立“中心—外围”模型分析产业集聚形成的动因。在该模型中，假设存在南北两个地区和工业、农业两个部门，具有规模递增特征的工业部门位于中心地区，而具有规模报酬不变特点的农业部门位于外围地区。区位因素主要取决于因地理距离带来的交通运输成本和集聚带来的经济（张娜，2023）。克鲁格曼对集聚产业的原因做了总结：一是偶然的集聚，将最初的产业优势归因于偶然因素，二是“历史依赖性”，产业集聚区的形成具有路径依赖，产业一旦在一定空间形成集聚，在路径依赖的作用下会自我延续，因此某一地区最初的产业优势将被路径依赖作用放大，最终产生锁定效应，且随着集聚产生的规模效应这一特征将会被强化。新经济地理理论强调了产业政策对促进地方产业集聚形成的重要作用（张佳音，2023）。

## （3）胡弗的产业集聚最佳规模理论

美国经济学家胡佛（Hoover）在其著作《经济活动的区位》中提出产业集聚最优规模理论，认为产业集聚区内企业的数量要遵循适度的原则，过多或过少都会影响产业集聚最优效果的发挥。如果集聚规模过小，未达到特定的规模，就无法发挥出产业集聚应有的效果；如果集聚规模过大，则会受到资源和环境承载能力的限制，导致产业区整体福利水平下降，进而使集聚产生的外部规模经济大打折扣。胡弗将马歇尔的外部经济分为两类：一类是地方化经济，又被称之为“块状经济”，是指同类企业聚集于某一特定区域，通过提高劳动力匹配效率、共享基础设施、增强知识和信息的传播速率，从而降低单个企业生产的平均成本。另一类是城市化经济，与地方化经济不同的是，这类集聚主要是指不同产业之间的正向溢出效应（范剑勇，2006）。城市化经济是城市形成、功能和结构问题的基础（胡晨光等，2011）。

## （4）专业化集聚与多样化集聚

根据集聚经济是否发生在同一产业内，可以将外部性分为两种：第一种是专业化集聚，又被称之为 MAR 外部性、马歇尔外部性或地方化经济，是由 Marshall

(1890)、Romer (1986) 提出, 由 Glaeser et al. (1992) 归纳总结。该观点认为专业化集聚是指相同产业的众多企业在某一区域内集中。一方面, 专业化集聚具有积极影响。专业化集聚能够通过吸引大量高技能劳动力、促进知识外溢和扩散等方式形成具有特色的生产网络体系, 有利于充分发挥当地的优势核心技术, 提高资源利用效率。另一方面, 专业化集聚具有消极影响。一是相同产业的大量集中容易形成“区域发展锁定效应”, 制约新发展路径形成和产业结构升级; 二是随着集聚规模的不断扩大, 企业之间可能会争夺特定生产要素, 进而引发产业发展的同构化及恶性竞争, 而产业的同质性所形成的低产业关联, 会阻碍互补经济主体之间的交流协作, 不利于先进知识和技术扩散。第二种是多样化集聚, 又可以称为 Jacobs 外部性或城市化经济, 由 Jacobs 于 1969 提出。该观点认为多样化集聚是指生产不同产品的企业在某一特定地理空间上的集聚。多样化集聚能够为不同行业的跨界沟通与合作提供便利条件, 能够促进互补知识背景的企业之间交流协作, 有利于技术溢出和创新活动的产生, 促进资源、知识和技术在不同行业间延伸和扩散, 进而细化劳动分工, 推动新路径产生和产业结构转型升级。

现有研究大多认为多样化集聚在促进经济社会发展方面具有更积极的效果, 而专业化集聚则可能会产生阻碍作用 (张佳音, 2023)。

## 2.1.2 碳排放效率的理论基础

### (1) 环境库兹涅茨曲线假说

库兹涅茨曲线表明经济增长与收入差距之间呈倒“U”型关系。Grossman and Krueger (1991) 在对人均收入和环境质量指标进行研究时发现, 在经济发展初期, 随着人均收入的增加, 人类的生产生活活动伴随着大量能源的消耗和废弃物的产生, 环境问题不断凸显; 当经济发展达到一定水平后, 人们的环保意识逐渐增强, 从而更加注重生存环境的可持续发展。之后, Arrow et al. (1995) 研究发现经济增长与环境压力之间也呈现倒“U”型关系。这与库兹涅茨曲线呈现出的变化趋势相似, 因此, 学界将环境压力与经济增长之间呈现出的倒“U”型曲线称之为环境库兹涅茨曲线假说 (EKC 假说) (Richard et al, 2003)。

EKC 假说指出, 当一个地区处于经济发展初期时, 工业刚刚起步, 劳动密集型和资源密集型产业正蓬勃发展, 其生产方式以高投入、高污染、高排放为主

要特征，严重威胁着自然环境系统的可持续发展；在经济发展高度成熟的阶段，国家经济实力得到显著提高，政府通过淘汰落后产业、发展战略性新兴产业，使经济结构较之于以往发生了巨大变化，转向知识密集型和技术密集型产业，同时，物质生活水平的提高也促使人们更加重视生存环境的可持续发展，其环境保护意识不断增强，从不同程度上消弭对环境的持续性伤害。

## （2）低碳经济理论

为应对全球气候变化给人类生存环境带来的严重威胁，低碳经济概念应运而生。2003年英国政府在发布的《能源白皮书》中首次提出低碳经济的概念，指出低碳经济是通过尽可能少地消耗自然资源、尽可能小地损害生态环境，获得经济产出的最大化。低碳经济不仅仅意味着经济发展与温室气体排放之间关系的“脱钩”，更是一场涉及经济发展方式、能源消费方式、人类生活方式等在内的全方位变革，它将推动以煤炭等化石能源为基础性原材料的工业文明向生态文明转变。

虽然目前学者们对于低碳经济概念的界定尚未统一，但考虑到付允等(2008)的研究得到了众多学者的一致认可，故本文借鉴该研究对低碳经济的定义。低碳经济是一种以“三低三高”，即低能耗、低排放、低污染和高效能、高效率、高效益为主要特征的新型经济发展模式，在宏观层面要以低碳发展为导向，在中观层面要注重生产生活过程中的节能减排，在微观层面要加快碳中和技术的研发与创新。其中，低碳发展，重点是低碳，目标在发展，是在保障经济社会平稳运行和可持续发展条件下，通过优化能源结构、调整产业结构、增强绿色技术创新等措施最大可能地减少温室气体排放，是实现经济发展和气候变化双赢目标的首选发展模式；节能减排是实现低碳经济发展的重要方式和手段，其含义是减少能源消耗和提高非化石能源消费占比，前者属于节约能源范畴，后者属于减少温室气体排放范畴，这两者本质上都是为了减少二氧化碳产生（鲍健强等，2008）；技术创新是支撑清洁能源开发利用和化石能源低碳化的关键，其中，温室气体的减少量取决于碳中和技术（也称为低碳和无碳技术）的研发规模和速度，碳中和是指通过植树造林、二氧化碳捕捉和埋存等方式，冲抵人类活动直接或间接产生的温室气体，从而实现二氧化碳相对“零排放”。

## 2.2 产业集聚影响碳排放效率的理论机制分析

### 2.2.1 产业集聚对碳排放效率的影响效应分析

随着城镇化和工业化进程的不断加快,城市之间逐渐显现出产业集聚的特征,对碳排放效率产生了显著的影响。一方面,产业集聚促进碳排放效率提高,即集聚的促进效应。产业在某一空间上集聚能够通过合作分工形成专业化的生产流程与劳动力市场、共享基础设施、促进技术创新,从而提高生产效率和劳动力匹配效率,减少生产成本,提高资源利用效率,从而节约能源以降低碳排放量,改善碳排放效率。另一方面,产业集聚抑制碳排放效率提高,即集聚的拥堵效应。过度集聚会导致人口膨胀和企业扩张,产生“拥堵效应”,增加区域内能源需求和能源消耗,造成碳排放总量上升(任晓松等,2020)。Brakman et al. (1996)首次提出了集聚可能产生的拥堵效应,并认为造成这一现象的原因可能是环境污染加剧、空间和资源限制以及基础设施发展滞后。

综合而言,产业集聚对碳排放效率会产生何种影响,取决于在其发展阶段中究竟是规模效应还是拥挤效应占据主导地位。考虑到黄河流域产业集聚水平较低,集聚优势尚未显现,经济发展水平还存在很大的提升空间和吸纳能力,因而本文推测产业集聚还处于促进碳排放效率提升阶段。

因此,提出假设 H1:黄河流域产业集聚促进碳排放效率提高。

### 2.2.2 产业集聚模式对碳排放效率的传导路径

专业化集聚和多样化集聚是产业集聚的两种不同模式,其外部性的产生机理和作用机制也存在差异(谢荣辉和原毅军,2016)。因此,立足于产业内部结构特征,进一步梳理专业化集聚、多样化集聚通过劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应这三个外部性渠道影响碳排放效率的作用机理。

#### (1) 专业化集聚对碳排放效率的传导路径

受区域自然特征以及新中国成立以来国家战略布局的影响(韩海燕和任保平,2020),黄河流域专业化集聚较高的城市产业结构主要以采矿业、制造业、电力、燃气及水生产和供应业、建筑业等行业为主,这些行业均是二氧化碳的主要贡献者,具有高污染、高能耗和资源性的特点,因而黄河流域专业化集聚不利于碳排



放效率的提高。

同类企业在特定区域内的专业化集聚可以通过提高企业与劳动力之间的匹配效率、共享相关配套基础设施以及促进专业知识溢出进而实现经济增长和碳减排。然而，随着专业化集聚逐步加强，可能会形成因果累计式的“自我强化”效应，从而造成对某一产业的过度依赖，形成“区域锁定”，进而产生专业化集聚的“拥挤效应”（胡志强等，2021）。考虑到黄河流域高端人才流失严重与贫困低素质人口存量现象并存，专业化集聚可能会存在企业需求与劳动力供给不匹配的问题，从而抑制劳动力蓄水池效应的发挥。集聚产业同质化也会导致特定生产要素成为稀缺资源，形成企业间的过度竞争，抑制中间投入共享效应的发挥。虽然同类企业集聚在一起，容易产生知识和技术溢出效应，但随着技术发展到一定水平，同时又缺乏新知识和新技术的形成，往往可能会产生恶性竞争，导致专业化集聚的技术溢出作用十分有限（吕大国，2016）。

因此，提出假设 H2：专业化集聚通过抑制劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应，进而阻碍碳排放效率的提高。

## （2）多样化集聚对碳排放效率的传导路径

多样化产业空间集中有利于企业间的跨界合作与交流，充分发挥不同行业的知识溢出效应，有利于推动要素重组、激发协同创新和集成创新，提高区域内及相邻区域企业的劳动生产效率和全要素生产率，推动节能环保技术扩散和清洁技术进步，促使集聚区内产业绿色低碳转型，提高集聚区内的碳排放效率。

从集聚的外部性来看，这主要是由于：一是不同类型企业集聚形成的劳动力蓄水池能够有效提高劳动力匹配效率，稳固劳动力市场。二是多样化产业集聚丰富了集群内的中间品供给，扩大了企业的可选择性，提高了企业的自主性，使企业能够灵活挑选与高水平污染处理技术相匹配的中间品。此外，不同行业企业集聚通过产业间的前后向关联使得一个企业的副产品或废弃物可能恰好是另一个企业所需的中间投入品，从而形成产业共生网络，提高物质和能量的循环利用效率，有助于企业以更低的价格获取中间品，降低生产成本（苏丹妮和盛斌，2021）。三是不同企业之间互补知识的交流与碰撞则更有可能促进创新搜索（谢荣辉和原毅军，2016），从而推动新技术包括绿色创新技术的产生，从而提高企业生产率和碳减排技术水平。因而一个地区较高的产业多样化程度，可能会在该地形成产业集聚效应。

因此，提出假设 H3：多样化集聚通过促进劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应，进而改善碳排放效率。

### 2.2.3 产业集聚影响碳排放效率的调节效应分析

#### （1）基于不同城市类型

黄河流域横跨我国东、中、西三大战略区域，存在显著的区域异质性。自然资源禀赋的差异影响着城市产业集聚模式，对碳排放效率的作用呈现出鲜明的分异特征。资源型城市因具有天然的资源禀赋优势，城市产业结构呈现趋同化、专业化指数较高等特征，寇冬雪（2021）研究发现专业化集聚对资源型城市的环境污染改善作用更大，而多样化集聚则更有益于非资源型城市。从异质性视角分析产业集聚对碳排放效率的影响，以期探索适宜资源和非资源型城市发展所需的集聚模式，寻求因地制宜的发展道路，释放城市发展潜力，平稳有序推进黄河流域绿色低碳转型（张凤超和黎欣，2021）。

因此，提出假设 H4：专业化集聚有助于资源型城市的碳排放效率改善，多样化集聚有助于非资源型城市的碳排放效率提高。

#### （2）政府干预程度和市场化水平的调节作用

产业集聚离不开区域间资源的有效配置，而政府与市场作为资源要素配置的两大主体，在经济发展中的作用不可忽视（纪玉俊，2021），系统探讨政府与市场在产业集聚影响碳排放效率的作用，有助于推动有效市场和有为政府更好结合。

我国市场化改革是计划经济向市场经济转型的体制变革过程。市场化的产业集聚是指经济主体在效率最大化原则的指导下，自发选择最优的区位形成集聚。这种注重上下游企业的内在关联性 & 企业行为与当地比较优势的相关性，因而能够有效降低企业交易成本、促进技术溢出。随着黄河流域工业化和城市化进程不断加快，市场在资源配置中的优势不断显现，在供求机制、竞争机制和价格机制的作用下市场可以自发进行调节，实现对资源的有效配置，从而促进碳排放效率的提高。

政府主要以经济社会的整体利益为基准，依靠行政权力和体制机制配置资源，实现经济总量平衡与经济结构优化（黄永斌和曹蒙，2023）。但相关研究发现，在财政分权的背景下，地方政府为了提升政绩对辖区内产业集聚的干预较为普遍，

通过向投资本地的企业提供各种优惠政策,主动诱导形成了表面的产业集聚——“企业扎堆”,这种政府干预下的产业集聚不仅难以诱发严格意义上的技术外溢,更会在地区间低水平竞争的恶性循环中导致重复建设、过度投资和严重的资源浪费,要素配置扭曲、能源利用效率恶化,这在一定程度上会阻碍碳排放效率的提高。

因此,提出假设 H5: 政府过度干预对产业集聚的碳减排效应具有抑制作用,市场化水平的提高则具有促进作用。

### 3 产业集聚和碳排放效率的测算方法及发展特征分析

#### 3.1 产业集聚的测算方法与特征分析

##### 3.1.1 产业集聚的测算方法与分类

总的来说,已有研究主要采用行业集中度、EG 指数、赫芬达尔指数、泰尔指数以及区位熵等方法测度产业集聚水平(师博和任保平,2019)。考虑到行业集中度在行业空间集聚水平的刻画上有所欠缺,赫芬达尔指数和 EG 指数需要将数据精确到企业层面,数据获取难度较大,因而采用区位熵方法度量产业集聚(孟望生等,2023)。区位熵因具有能够消除区域规模差异、客观反映产业的空间分布状态等优势,被广泛用于相关研究(朱东波和李红,2021)。本文借鉴韩晶等(2019)的做法,采用各城市就业人员数计算产业集聚区位熵。社会从业人员数量不仅反映了社会经济发展的“量”的变化,还能体现出社会福利分配的“质”的变化。本文选择 18 个行业:采矿业,制造业,电力、热力、燃气及水生产和供应业,建筑业,批发和零售业,交通运输、仓储和邮政业,住宿和餐饮业,信息传输、软件和信息技术服务业,金融业,房地产业,租赁和商业服务业,科学研究和技术服务业,水利、环境和公共设施管理业,居民服务、修理和其他服务业,教育,卫生和社会工作,文化、体育和娱乐业,公共管理、社会保障和社会组织(朱纪广和李小建,2022)。具体计算方法如下:

$$Agg_{it} = \frac{t_{ijt}}{\sum_j t_{ijt}} \bigg/ \left( \frac{\sum_i t_{ijt}}{\sum_i \sum_j t_{ijt}} \right) \quad (1)$$

其中,  $t_{ijt}$  为  $i$  城市  $j$  产业第  $t$  年的就业人数,  $\sum_j t_{ijt}$  表示在所有城市中  $j$  产业第  $t$  年的就业人数,  $\sum_i t_{ijt}$  为  $i$  城市所有产业第  $t$  年的就业人数,  $\sum_i \sum_j t_{ijt}$  则表示就业人口总和。区位熵指数越大,表明产业集聚水平越高;当  $Agg$  大于 1 时,说明该区域内产业集聚水平高,竞争优势明显;当  $Agg$  小于 1 时,表明产业集聚趋势较弱,呈现分散发展态势(柯延焰,2020)。

进一步,本文将集聚分为专业化集聚和多样化集聚。李金滢和宋德勇(2008)认为由于经济发展水平、资源禀赋、历史文化等差异,不同城市各自的优势产业有所差别,其专业化集聚体现在若要比城市间不同产业部门的专业化程度,则需比较每个城市中占比最大的就业部门。多样化集聚水平以赫芬达尔指数的倒数

表征（胡志强等，2021），为获得不同城市间的多样化的横向比较，我们采用相对多样化指数，即每一个产业在本地从业人数与该产业在黄河流域从业人数差值的绝对总和来计算。具体计算方法分别如下：

$$Mar_i = \max_j (s_{ij}/s_j) \quad (2)$$

$$Jac_i = 1/\sum_j |s_{ij}-s_j| \quad (3)$$

其中， $s_{ij}$ 表示*i*城市*j*产业的就业人数占总就业人数的比重， $s_j$ 表示该产业在黄河流域的就业人数与黄河流域总就业人数之比。

### 3.1.2 产业集聚时空演化特征

#### (1) 产业集聚

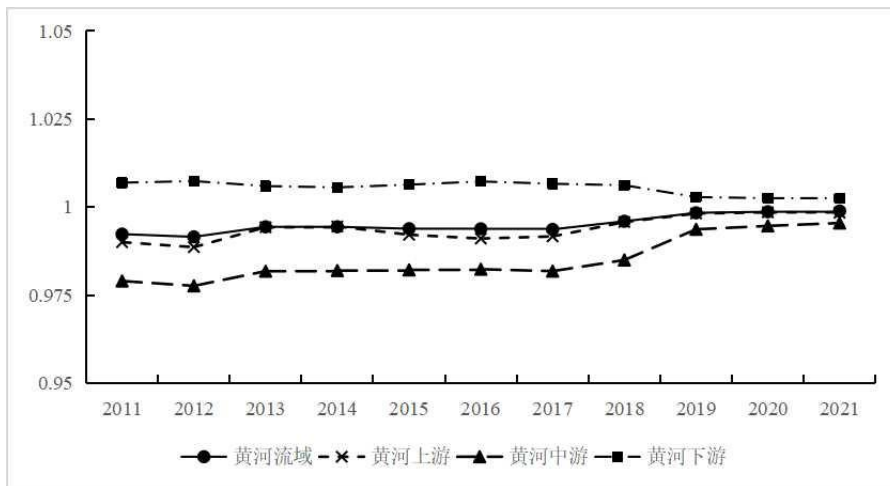


图 3.1 2011—2021 黄河流域整体及上中下游产业集聚变化趋势

图 3.1 显示了黄河流域及其上、中、下游产业集聚的整体变化趋势。黄河流域产业集聚呈现平稳上升的演变特征，但上升幅度不大，年均增幅为 0.6%。整体产业集聚区位熵均值为 0.995，小于 1，表明黄河流域产业集聚优势尚未显现。

分区域来看，黄河下游的产业集聚水平最高，上游次之，中游最低。其中，黄河下游产业集聚区位熵均值为 1.005；黄河上游产业集聚水平与流域水平变动趋势基本一致，其区位熵均值为 0.994；黄河中游地区产业集聚水平最低，位于流域水平之下，其区位熵值均值为 0.985。这表明较之于黄河上游和中游地区，黄河下游地区的产业呈现出显著的集聚优势，产业竞争力较强。

#### (2) 专业化集聚

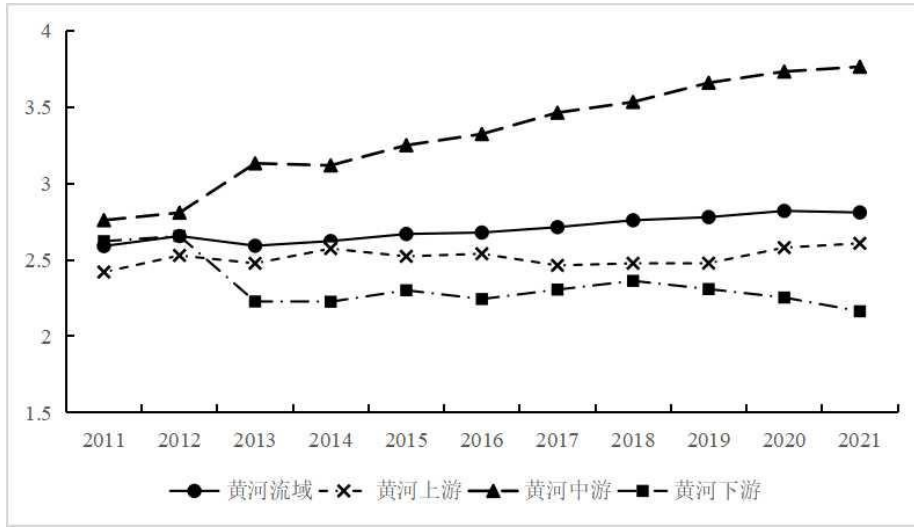


图 3.2 2011—2021 黄河流域整体及上中下游专业化集聚变动趋势

图 3.2 表明黄河流域整体及上、中、下游专业化集聚的变化趋势。可以看出，黄河流域整体及上中游地区专业化集聚水平表现出上升态势，其中，黄河中游的增幅较大；与之不同的是，黄河下游地区专业集聚呈现波动下降的趋势。从黄河上、中、下游专业化集聚的均值来看，黄河中游专业化集聚水平最高，为 3.321，且高于流域整体水平；黄河下游最低，为 2.334，均处于流域整体水平之下。这可能是由于黄河中游地区山西、陕西、内蒙古三省（区）煤炭资源丰富，致使该地区聚集了大量专业化指数较高的资源消耗型能源工业。

(3) 多样化集聚

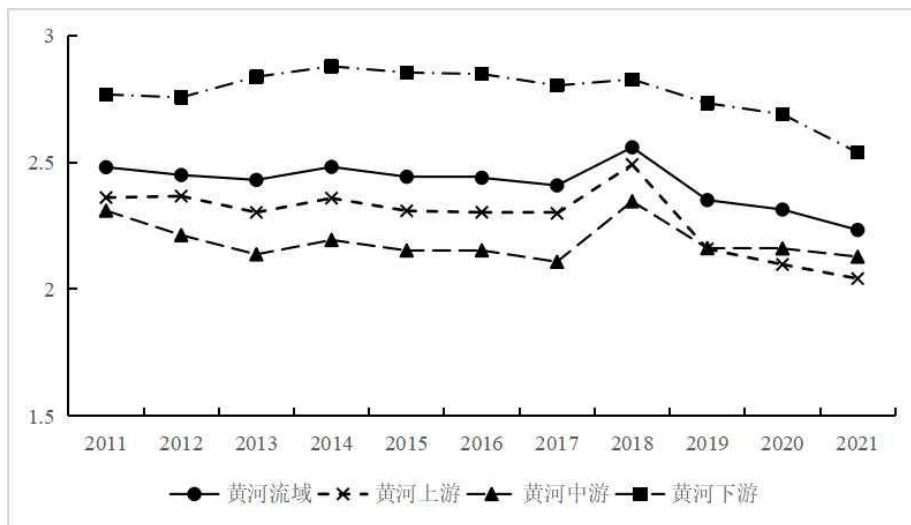


图 3.3 2011—2021 黄河流域整体及上中下游多样化集聚变化趋势

图 3.3 显示了黄河流域整体及上、中、下游地区多样化集聚的变化趋势。可以看出，2011—2021 年，流域整体及上、中、下游多样化集聚区位熵均呈现波动下降的趋势，且变动趋势基本一致。以 2018 年为分界点，2011—2018 年多样化集聚呈现波动上升趋势，而 2019—2021 年则呈现下降趋势。其中，黄河下游的多样化集聚水平最高，为 2.775，高于流域整体水平；黄河上游和中游地区均低于流域整体水平。这表明黄河上游和中游地区的能源化工、冶金等能源产业和重化工业在吸收所在地区的大部分资源的同时，制约着新兴产业的发展（姜长云等，2019）；而黄河下游地区市场化水平高，人才和资金充足、基础设施完善，能够给新生企业发展在金融、科研、公共管理等方面提供有效支持，因而成为其发展的首选之地。

综上，可以看出，黄河下游地区多样化集聚水平最高，专业化集聚水平最低，而黄河中游地区则与之完全相反。这表明一个城市的集聚水平是专业化还是多样化，更多地取决于城市自身的资源禀赋、基础设施、劳动力资源等资源配置因素。

### 3.2 碳排放效率测算及特征分析

#### 3.2.1 碳排放效率测算方法及指标选取

##### (1) 测算方法

本文采用 Tone 提出的包含非期望产出的超效率 SBM（Tone，2002）模型测度黄河流域碳排放效率，其表达式为（徐英启等，2023）：

$$\tau^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{x_{i0}}}{\frac{1}{q_1 + q_2} \left( \sum_{r=1}^{q_1} \frac{y_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{q_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

$$\text{s. t. } \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \theta_j x_j$$

$$\bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \theta_j y_j^g$$

$$\bar{y}^b \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \theta_j y_j^b$$

$$\bar{x} \geq x_0, 0 \leq \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b, \theta \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n (j \neq 0)$$

式中：假设有 n 个决策单元（DMU），每个 DMU 由投入 m、期望产出  $q_1$  和

非期望产出 $q_2$ 构成； $\bar{x}_i$ 、 $\bar{y}_i^g$ 和 $\bar{y}_i^b$ 分别为投入要素、期望产出和非期望产出的松弛量； $\theta$ 是权重向量； $\tau^*$ 为研究目标的效率值，其值大于0且可能超过1，值越大表示决策单元的效率越高。

## (2) 指标选取

参考邓荣荣和张翱翔（2021）的研究，以劳动力、资本、能源为投入要素，以经济增长为期望产出，以 $CO_2$ 排放量为非期望产出测算碳排放效率。

资本存量。本文参考张军等（2004）的方法进行估算。计算公式为 $K_{i,t} = I_{i,t} + (1 - \delta)K_{i,t-1}$ ，其中 $K_{i,t}$ 是第 $t$ 年地区 $i$ 的资本存量， $I_{i,t}$ 是第 $t$ 年地区 $i$ 的固定资产投资总量， $\delta$ 表示固定资产折旧率，为9.6%。将资本存量换算到以2003年为基期的相应数据以保证投入—产出变量统计口径一致。

劳动力。本文以各个城市的年末单位从业人数来表示。

能源。由于地级市尚未发布能源平衡表，本文参考吴建新和郭智勇（2016）的做法，基于《中国城市统计年鉴》提供的供气、液化石油气、全社会用电量和供热的能源消耗量，并乘以各自的标准煤折算系数，最后加总得出能源消耗总量。

期望产出。本文使用各城市的实际GDP（以2003年为基期）表示。

非期望产出。以二氧化碳排放量表示非期望产出。 $CO_2$ 数据来自人为二氧化碳开源数据库化石燃料排放数据集，该数据由多源夜间灯光数据和全球点源数据库生成，同时考虑了夜间灯光和发电站点源，因而相较于单纯使用夜间灯光数据模拟碳排放足迹更为全面，能够有效匹配全球、区域和城市范围内的二氧化碳排放量。

## 3.2.2 碳排放效率的特征分析

### (1) 黄河流域碳排放效率的时间演变特征



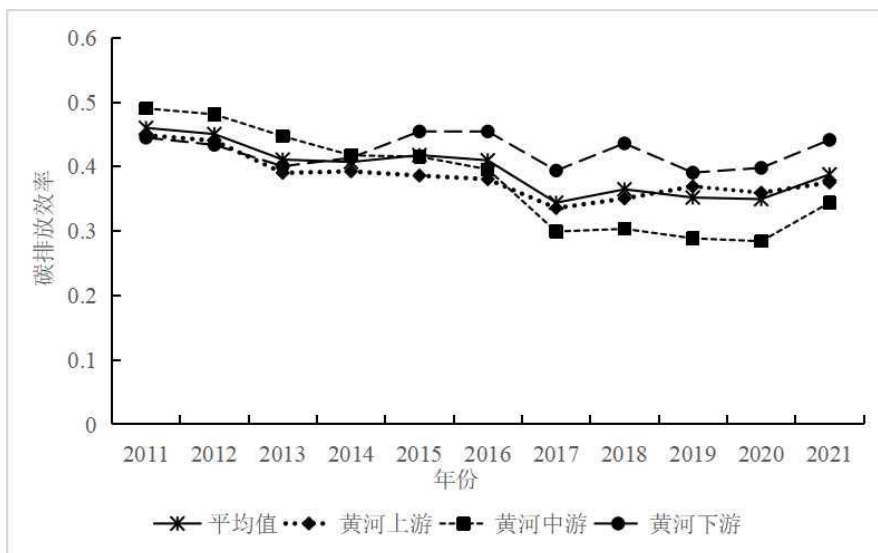


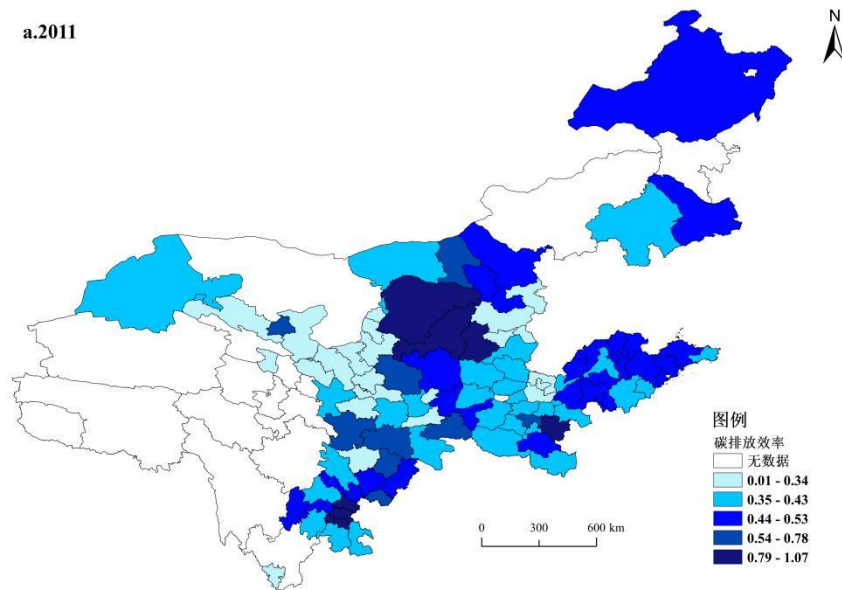
图 3.4 2011—2021 年黄河流域及其上中下游的碳排放效率

基于超效率 SBM 模型测度 2011—2021 年黄河流域 99 个城市的碳排放效率，并利用流域整体和上中下游子样本的历年均值观察碳排放效率的时间演变特征。由图 3.4 可知，研究期内黄河流域及其不同区域的碳排放效率整体水平偏低，年度效率均值在 0.344~0.460 之间，表明黄河流域存在着较大的节能减排潜力和效率提升空间。

从整体来看，黄河流域碳排放效率在波动中保持稳定，存在两个明显的时间节点。第一个节点是 2013 年，此前碳排放效率明显下降，此后平稳上升。这是因为进入 21 世纪的第二个十年，经济增速减慢，地方政府为刺激经济增长而相对放松了环境管制，使得水泥、钢材等高耗能产业的产值大幅增长，带来了严重的产能过剩和能耗增加。针对这些问题，2013 年党的十八届三中全会提出“紧紧围绕建设美丽中国深化生态文明体制改革，加快建立生态文明制度，……”并于同年发布了《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的意见》，要求相关部门加快落后产能淘汰，发展绿色低碳产业。环境政策产生了明显效果，扭转了碳排放效率下降的趋势。不过由于黄河流域能源结构“偏重”，经济转型难度较大，碳排放效率上升速度较为缓慢。第二个节点是 2017 年，碳排放效率明显下降，此后在波动中上升。2017 年全球经济平稳复苏，国内外需求显著增加，导致中国能源消费特别是电力消费迅速增加。这种宏观经济环境变化波及到黄河流域，致使流域内碳排放效率降低。该问题引起了政府和社会各界的高度关注，在多方努力下碳排放效率又很快恢复到之前的水平。

分区域看，黄河流域碳排放效率存在区域异质性，下游最高、上游次之、中游最低，在 2014 年后这种差异更加显著。区域分异源于国家政策集中发力的次年，2014 年以前上中下游碳排放效率水平相当、变化趋同，此后下游效率上升速度明显加快，中游显著下降，上游则在波动中保持了稳定。究其原因，下游借助山东半岛城市群和中原城市群的区位优势，实施新旧动能转换，在区位和政策双重优势的驱动下，有力推动产业转型，因而落实国家环保政策、淘汰落后产能、推动传统产业转型升级、发展战略性新兴产业的成效显著。中游地区因地理位置与东部地区邻近，在全国性产业转移中成为高污染产业转入的首选，加之中游地区煤炭储量丰富，产业在发展过程中难以摆脱对传统能源的依赖，因而碳排放效率位于黄河流域整体水平之下。对于上游地区，工业化水平总体偏低，重化工业占比较高，技术创新动力不足，碳排放效率虽有所提升但较为缓慢，与黄河流域整体水平保持一致。

## (2) 黄河流域碳排放效率的空间分异特征



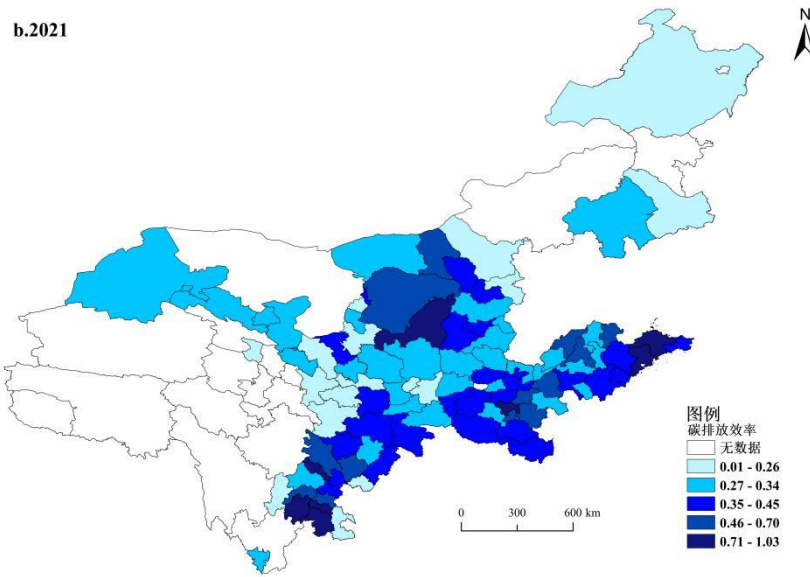


图 3.5 黄河流域 2011 和 2021 年碳排放效率的空间分布图

注：基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（审图号：GS(2022)1873 号）绘制，底图边界无修改。

采用 ArcGIS10.2 软件绘制碳排放效率的空间分布图以探析黄河流域碳排放效率的空间分布特征。借鉴滕堂伟等（2021）采用的自然断裂法，依据年度碳排放效率值将流域内城市分为高效率、中高效率、中效率、中低效率和低效率 5 类地区，并在可视化图用由深到浅的颜色表示，如图 3.5 所示。2011 年，碳排放中效率及以上等级城市有 43 个，上中下游城市所占比重依次为 32.6%、30.2%和 37.2%，呈现“下游最多、上游次之、中游最少”特征；其中，高效率城市分散在四川、河南、山西、内蒙古、陕西五省（区）。2021 年，碳排放中效率及以上等级的城市数量增加为 47 个，48.9%的城市位于下游，25.5%的城市位于中游地区，23.4%的城市位于上游地区的四川省，仅有 2.1%的城市位于上游地区的宁夏回族自治区，上游地区碳排放效率省际差异非常之大。从上述分析可以看出，经过十余年的发展，黄河流域碳排放效率的集聚趋势增强、空间分异特征更加明显，且呈现出“南高北低”的特征，这与我国经济发展水平趋势相同，表明可以通过发展解决减排问题。

## 4 黄河流域产业集聚影响碳排放效率的实证分析

在前文，已从理论方面分析产业集聚及其模式与碳排放效率之间的关系。本章节从实证层面予以验证。首先，构建动态面板模型分析产业集聚及其模式与碳排放效率之间的关系，并采用替换被解释变量、缩短样本时间窗口方法进行稳健性检验；其次，进行中介效应检验，以深入分析集聚模式影响碳排放效率的传导路径；最后，从不同城市类型分析产业集聚影响碳排放效率的异质性，并从政府和市场视角，进一步探析产业集聚影响碳排放效率的调节效应。

### 4.1 计量模型设定和变量选取

#### 4.1.1 模型设定

考虑到碳排放效率可能存在时间维度上的“路径锁定”特征，即前一期的碳排放效率可能会对当期的碳排放效率存在影响，故在模型中加入被解释变量的滞后项，从而控制模型中可能产生的动态效应。构建如下动态计量模型：

$$Eff_{i,t} = \gamma_0 + \delta_1 Eff_{i,t-1} + \gamma_1 Agg_{i,t} + \gamma_2 \sum X_{i,t} + \mu_i + \omega_t + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

在式（5）中， $i$ ， $t$ 分别表示省份、年份， $\mu_i$ 、 $\omega_t$ 分别表示个体效应与时间效应； $\varepsilon_{i,t}$ 表示随机扰动项； $Eff_{i,t}$ 表示碳排放效率， $Agg_{i,t}$ 代表产业集聚， $\sum X_{i,t}$ 表示一系列控制变量。

#### 4.1.2 变量选取与数据说明

本文采用2011—2021年黄河流经青海、宁夏、甘肃、四川、陕西、山西、内蒙古、河南和山东9个省（区）的99个城市作为研究样本。这些省份中虽然有些城市未包含在黄河流域范围内，但考虑到各省级行政区对辖区内城市在节能、碳减排方面的统筹规划，故将各省级行政区的地级市均纳入本文的研究对象。考虑到数据的可得性，删除海东市、莱芜市、阿拉善盟、兴安盟等17个城市。数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国统计年鉴》以及各城市国民经济和社会发展统计公报，部分城市缺失数据采用平均增速或均值予以替代。

（1）被解释变量。本文以碳排放效率(Eff)作为被解释变量，在第三章已经

对其进行充分说明，这里不再赘述。

(2) 解释变量。以产业集聚(Agg)、专业化集聚(Mar)和多样化集聚(Jac)作为解释变量，在第三章已经对其进行充分说明，这里不再赘述。

(3) 中介变量：①劳动力蓄水池效应(LP)。人力资本集聚是形成规模经济和规模报酬递增的必要条件之一。现有研究表明，有效提高经济绩效和环境绩效的关键因素不是劳动数量，而是劳动质量。因而本文借鉴詹新宇和刘文彬(2020)的研究，采用每万人高等学校在校生数来刻画劳动力蓄水池效应。②中间投入共享效应(IS)。已有研究表明，经济集聚度高的地方，基础设施建设也更加完善，有助于降低企业之间的运输成本和交易成本，其中，运输成本的节约作用在实际运行过程中更加凸显，因而借鉴袁华锡等(2022)的研究，采用城市道路长度与城市面积之比来衡量中间投入共享效应。③知识溢出效应(KS)。知识溢出效应有助于加快先进知识的传播和新技术的研发，这意味着产业集聚高的地方能够促使研发能力强的企业通过溢出效应影响缺乏自主研发能力的企业，带动其生产效率的提升。借鉴叶静怡等(2019)的研究，本文采用专利申请数衡量知识溢出效应。

(3) 控制变量：①经济发展水平(lnpgdp)。经济发展水平越高的地区能源利用效率越高(史丹等, 2008)，有助于推动节能减排，促进碳排放效率的提升，借鉴岳立和苗菊英(2022)的研究，本文采用以2003年为基期的人均GDP的对数表征经济发展水平；②人口密度(lnpopu)。由于人类活动会产生大量二氧化碳，因而人口规模及其空间分布可能会对碳排放效率产生一定的影响。考虑到不同城市的人口数量、区划面积等绝对指标存在明显差异，不具有可比性，本文采用城市每平方公里上的人口数量衡量人口密度(邓荣荣和张翱翔, 2021)；③政府干预(gove)。政府对市场的过度干预会造成要素配置扭曲，导致生产效率不高，碳排放效率低下，本文采用政府支出在GDP中所占比重表征政府干预程度(张治栋和陈竞, 2020)；④科技创新水平(rd)。根据内生增长理论，加大企业研发资金的投入有助于促进技术创新和技术进步，提高资源利用效率，缓解资源错配问题，进而改善碳排放效率(林伯强和谭睿鹏, 2019)。本文采用科技支出占GDP的比重表征科技创新水平；⑤环境规制(er)。“波特假说”认为，适当的环境规制可以刺激企业技术革新，提高能源的利用效率。文献中一般使用污染治理投资来衡量环境规制程度，考虑到中国城市级别的污染治理投资数据难以获取，本文参考张建鹏和陈诗一(2021)的做法，采用环境词汇词频数与地级市政府工作报告词频

之比衡量环境规制程度。

上述变量的描述性统计结果见表 4.1。

表 4.1 描述性统计结果

变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
碳排放效率(Eff)	1089	0.395	0.162	0.140	1.099
产业集聚(Agg)	1089	0.995	0.034	0.703	1.014
专业化集聚(Mar)	1089	2.699	1.281	1.237	12.89
多样化集聚(Jac)	1089	2.417	0.837	0.986	6.322
劳动力蓄水效应(LP)	1089	1.730	2.091	0.005	12.764
知识溢出效应(KS)	1089	0.787	0.679	0.000	3.925
中间投入共享效应(IS)	1089	0.896	1.198	0.009	9.470
经济发展水平(lnpgdp)	1089	10.692	0.563	8.773	12.456
人口密度(lnpopu)	1089	8.101	0.695	5.733	9.619
政府干预(gove)	1089	0.215	0.126	0.067	0.916
科技创新水平(rd)	1089	0.205	0.225	0.029	6.310
环境规制(er)	1089	0.351	0.140	0.000	1.004

## 4.2 黄河流域产业集聚对碳排放效率的影响效应分析

### 4.2.1 基准回归结果

基于上述分析，实证检验产业集聚与碳排放效率的关系。本文以计量模型为基础采用系统广义矩估计法分析产业集聚与碳排放效率之间的关系。从表 4.2 中可以看出，AR 检验的结果表明模型中存在一阶自相关 AR(1)，不存在二阶自相关 AR(2)。此外，由于系统 GMM 模型中使用了多个工具变量，需要进行过度识别检验以判断工具变量的使用是否合理，Hansen 检验结果表明接受“所有工具变量均有效”的原假设。综合来看，选取系统 GMM 模型是合理的。

表 4.2 基础回归结果

变量	(1) Eff	(2) Eff	(3) Eff
L.Eff	0.744*** (12.534)	0.585*** (8.905)	0.625*** (10.033)
Agg	0.122** (2.593)		
Mar		-0.012* (-1.910)	
Jac			0.018* (1.832)
lnpgdp	0.022*** (2.639)	0.031** (2.220)	0.023* (1.878)

续表 4.2 基础回归结果

变量	(1) Eff	(2) Eff	(3) Eff
gove	-0.054 (-1.652)	-0.074* (-1.906)	-0.040 (-0.762)
lnpopu	-0.007 (-1.300)	-0.008 (-1.139)	-0.011* (-1.832)
rd	0.005 (1.050)	0.000 (0.001)	0.004 (0.889)
er	-0.047*** (-2.983)	-0.066** (-3.488)	-0.062*** (-2.932)
_cons	-0.159 (-1.402)	-0.022 (-0.139)	-0.008 (-0.047)
年份固定效应	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
AR(1)	-2.75***(0.006)	-2.65***(0.008)	-2.70***(0.007)
AR(2)	0.52(0.605)	0.45(0.652)	0.50(0.620)
Hausen test	91.56(0.715)	90.91(0.852)	89.39(0.877)
N	990	990	990

注：\*  $p < 0.10$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ , 括号内为 t 值；AR(1),AR(2),Hausen test 括号内的值为 P 值。下同

从表 4.2 的结果中可以看出，碳排放效率的时间滞后项显著为正，这说明在时间维度上，城市碳排放效率存在显著的“路径锁定”特征，即前一期较高的碳排放效率能够助推后一期碳排放效率持续走高。

列（1）—（3）分别表示，产业集聚、专业化集聚和多样化集聚对碳排放效率的影响。结果表明，黄河流域产业集聚对碳排放效率具有正向影响，通过了 5% 的显著性检验，表明产业集聚显著促进黄河流域城市碳排放效率的提高，验证了假说 H1。专业化集聚、多样化集聚分别在 10% 的显著性水平上对碳排放效率的影响为负、正。这表明专业化集聚对碳排放效率呈现显著的负向影响，而多样化集聚对碳排放效率呈现显著的正向影响。其背后的原因是，一方面，黄河流域正处于工业化加速发展阶段，以采矿业、电力和建筑业为主的城市占比较高，其专业化发展在汇集地区生产要素的同时也容易引起大量同质企业的“扎堆”现象（李治国等，2022），容易造成产业分工协作差、重复建设和低水平过度竞争现象严重等，从而影响地区间的分工合作与资源配置效率；加之黄河流域国有企业占比大，其垄断地位的存在导致科技体制改革滞后、难以有效吸收科技成果、创新动力不足等（姜长云等，2019），致使本地产业技术水平较低，不利于碳排放效率的改善，如大同市、阳泉市、晋城市等城市的专业化集聚水平很高，但碳排放效率水平很低。另一方面，多样化集聚作为开放型产业集聚模式，在充分发

挥竞争效应的同时也能推动知识技术交流和商业技术合作，优化资源配置效率，拓宽生产渠道，提高经济部门间协同效率，从而降低企业的能源消耗和治污成本，为企业清洁生产和技术创新提供支撑。可以看出，提升产业集聚的多样化应成为黄河流域城市降碳减排的着力点。

在控制变量方面，经济发展水平估计系数在 1% 的显著性水平下为正，充分说明经济发展水平对碳排放效率改善存在正向的推进作用。原因在于：一个地区较高的经济发展水平，有助于改善居民的生活条件，提高居民的环保意识，改变居民的消费习惯，通过发挥消费者选择的间接配置资源的作用，倒逼企业进行绿色低碳转型。环境规制估计系数在 1% 的水平下显著为负，表明环境规制会抑制碳排放效率的改善。其中可能的原因是：黄河流域资源型和污染密集型企业缺乏较强的技术水平和创新能力，转型难度较大，更倾向于末端处理污染物，从而挤占原本用于技术创新的资本（闫晓和涂建军，2021；姚璐和王书华，2023），抑制碳排放效率的提高。而政府干预、人口密度和科技创新水平对城市碳排放效率的改善尚未发挥显著作用。政府干预程度的系数为负但不显著，说明政府干预在一定程度上抑制了碳排放效率的改善，这是由于地方政府为了提升自身政绩，采取各种优惠政策和降低环境规制门槛的方法进行招商引资，忽视了市场规律和长期可持续发展，容易造成企业的不合理集聚和能源的粗放使用，不利于碳排放效率的提高；人口密度的系数为负，但不显著，说明人口密度增加未能起到改善碳排放效率的作用，这可能是由于黄河流域以不到全国 1/6 的国土面积养育全国大约 1/9 的人口，这导致人口密度增大对碳排放效率产生的拥挤效应逐渐冲抵其所带来的促进效应。科技创新水平的系数为正但不显著，说明科技创新水平一定程度上可以改善碳排放效率，这是由于黄河流域产出规模和经济发展水平相对较低，科技创新水平的增加，更倾向于用于扩大企业生产规模，从而导致绿色技术创新不足，故科技创新水平对黄河流域碳排放效率的提升作用尚未显现。

#### 4.2.2 稳健性检验

（1）更换被解释变量。借鉴吴建新和郭志勇（2016）的做法，使用供热、供气、液化石油气、全社会用电量产生的碳排放加总得到各个城市的 CO<sub>2</sub> 排放量，仍采用超效率 SBM 模型测算碳排放效率，通过回归估计检验 2011—2021 年黄河流域产业集聚对碳排放效率的影响，结果如表 4.3 所示。产业集聚对碳排



放效率的影响存在显著的促进作用,专业化集聚和多样化集聚对其影响显著为负、正,这与基准回归的结果保持一致。

表 4.3 更换被解释变量

变量	(1) Eff	(2) Eff	(3) Eff
L.Eff	0.737*** (20.839)	0.663*** (18.023)	0.677*** (18.882)
Agg	0.064* (1.803)		
Mar		-0.008** (-2.200)	
Jac			0.033** (2.567)
控制变量	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
_cons	-0.148(-1.188)	-0.053(-0.399)	-0.227(-1.576)
AR(1)	-2.63*** (0.008)	-2.62*** (0.009)	-2.67*** (0.007)
AR(2)	0.98(0.325)	0.98(0.329)	1.03(0.304)
Hansen test	95.40(0.115)	94.54(0.203)	92.93(0.253)
N	990	990	990

(2) 缩短样本时间窗口。考虑到 2019 年末新冠肺炎疫情暴发,此后年份的国民经济运行数据较之于以往年份存在一定的差距(付成林和王德新, 2023)。因而剔除 2019 年后的数据,对 2011—2019 年的样本数据重新进行实证估计。回归结果如表 4.4 所示。产业集聚及其模式对碳排放效率的估计系数方向和显著性与表 4.1 的基准回归结果基本保持相同,这表明基准回归结果具有较好的稳健性。

表 4.4 缩短时间窗口

变量	(1) Eff	(2) Eff	(3) Eff
L.Eff	1.045*** (3.382)	0.722*** (3.917)	1.083*** (8.996)
Agg	1.127** (2.168)		
Mar		-0.028* (-1.796)	
Jac			0.043* (1.982)
控制变量	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
_cons	-1.376** (-2.014)	-0.130(-0.686)	-0.620** (-2.277)
AR(1)	-1.98** (0.048)	-2.15** (0.032)	-2.30** (0.021)
AR(2)	0.75(0.452)	0.60(0.552)	0.78(0.437)
Hansen test	8.45(0.391)	9.31(0.503)	20.47(0.116)
N	792	792	792

### 4.2.3 传导路径分析

为了进一步理解专业化集聚和多样化集聚如何影响碳排放效率,本小节采用逐步回归法检验产业集聚影响碳排放效率的作用机制,构建如下模型(林伯强和谭睿鹏,2019):

第一步,检验城市产业集聚模式对劳动力蓄水池、中间投入共享和知识溢出效应的影响:

$$z_{i,t} = \alpha_0 + \delta_1 z_{i,t-1} + \alpha_1 agg_{i,t} + \alpha_2 \sum X_{i,t} + \mu_i + \omega_t + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

第二步,检验劳动力蓄水池、中间投入共享和知识溢出效应与碳排放效率的关联。

$$Eff_{i,t} = \beta_0 + \delta_1 Eff_{i,t-1} + \beta_1 agg_{i,t} + \beta_2 z_{i,t} + \beta_3 \sum X_{i,t} + \mu_i + \omega_t + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

其中,  $z_{i,t}$  表示产业集聚影响碳排放效率可能的路径,依次表示劳动力蓄水池效应(LP)、中间投入共享效应(IS)和知识溢出效应(KS),  $agg_{i,t}$  表示专业化集聚(Mar)、多样化集聚(Jac),并采用系统GMM估计方法进行回归。结果如表4.4所示。

表 4.5 传导路径分析

劳动力蓄水池效应				
变量	LP	Eff	LP	Eff
L.LP	0.955***(29.311)		0.977***(50.571)	
L.Eff		0.428***(6.255)		0.478***(7.093)
Mar	-0.061**(-2.152)	-0.021***(-2.926)		
Jac			0.069*(1.819)	0.031*(1.828)
LP		-0.008**(-2.474)		-0.007**(-2.205)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
AR(1)	-2.51** (0.012)	-2.50** (0.012)	-2.52** (0.012)	-2.58** (0.010)
AR(2)	1.27(0.205)	0.39(0.694)	1.27(0.203)	0.50(0.616)
Hansen test	84.25(0.941)	92.59(0.178)	90.24(0.863)	88.27(0.272)
_cons	-0.868(-1.268)	-0.200(-0.884)	-0.933(-1.429)	-0.185(-0.789)
N	990	990	990	990
中间投入共享效应				
变量	IS	Eff	IS	Eff
L.IS	0.831*** (17.053)		0.829*** (14.039)	
L.Eff		0.782*** (8.493)		0.674*** (12.095)
Mar	-0.066*** (-2.772)	-0.000 (-0.084)		
Jac			0.070* (1.855)	0.008 (1.128)
IS		0.018* (1.934)		0.014* (1.786)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
AR(1)	-2.75*** (0.006)	-2.69*** (0.007)	-2.78*** (0.005)	-2.73*** (0.006)
AR(2)	0.46 (0.648)	0.51 (0.611)	0.45 (0.654)	0.48 (0.631)
Hansen test	95.55 (0.183)	90.75 (0.288)	82.01 (0.154)	86.01 (1.000)

续表 4.5 传导路径分析

变量	IS	Eff	IS	Eff
_cons	-0.936*(-1.800)	-0.018(-0.136)	-0.835(-1.467)	0.122(0.835)
N	990	990	990	990
知识溢出效应				
变量	KS	Eff	KS	Eff
L.KS	0.813*** (16.043)		0.921*** (33.452)	
L.TE		0.489*** (6.844)		0.786*** (14.434)
Mar	-0.046* (-1.940)	-0.019** (-2.506)		
Jac			0.037* (1.820)	0.012* (1.971)
KS		0.005 (0.437)		0.002 (0.334)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
_cons	0.381 (0.515)	-0.076 (-0.388)	0.475 (1.192)	-0.191 (-1.499)
AR(1)	-4.81*** (0.000)	-2.54** (0.011)	-4.92*** (0.000)	-2.77*** (0.006)
AR(2)	-0.28 (0.781)	0.39 (0.697)	-0.17 (0.866)	0.54 (0.591)
Hansen test	92.50 (0.971)	92.07 (0.188)	86.13 (0.706)	90.72 (0.996)
间接效应		[0.0004, 0.0038]		[-0.0082, -0.0002]
N	990	990	990	990

表 4.5 报告了专业化集聚和多样化集聚影响碳排放效率的中介效应回归结果。专业化集聚对劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应的估计分别为-0.061、-0.066 和-0.046，且至少在 10%的水平上显著，多样化集聚对这三种效应的影响的估计系数分别为 0.069、0.070 和 0.037，且在 10%的水平上显著。这表明专业化集聚显著抑制劳动力蓄水池、中间投入共享和知识溢出效应，而多样化集聚则呈现显著的促进作用。其背后的原因是专业化分工对劳动力的要求一般具有对应的产业性要求，而随着大量的劳动力剩余以及需求多样化的出现，专业化集聚充分无法吸收剩余劳动力，致使劳动力蓄水池效应减弱（张凤超和黎欣，2021）；集聚产业同质化也会导致特定生产要素成为稀缺资源，进而形成企业间的过度竞争，抑制中间投入共享效应的发挥；专业化集聚虽具有专业分工协作和同质性知识溢出的创新优势，但由于黄河流域长期以来存在资源过度开发、产业结构单一、技术创新动力不足、工业产能过剩等问题，容易形成知识同化的倾向，加之大量相同企业集中容易造成路径锁定，不利于新路径形成和新知识的产生（耿凤娟等，2020），从而削弱知识外部性。而多样化集聚有利于吸收不断流入的劳动力人口，促进不同行业人才、服务等相互之间的沟通、交流与合作，通过共享基础设施、中间产品投入，提高人才的可得性和匹配效率，助力上下游环节形成一体化的产业集群，深化分工，降低交易成本，进而容易形成企业间的“前向关联”和“后向关联”，加快互补知识的传播。

集聚的劳动力溢出效应对碳排放效率的影响在 5%的水平上显著为负，中间

投入共享效应在 1%的水平上显著为正，而知识溢出效应对碳排放效率的影响为正，但不显著，进而参照温忠麟和叶宝娟（2014）的做法，采用 bootstrap 法进行检验，结果显示在专业化集聚中其间接效应的置信区间为[0.0004, 0.0038]，不包含零，存在中介效应。其原因主要在于，一是黄河流域经济发展水平较低，市场发展相对缓慢，导致其与东部地区收入和科研条件差距逐渐扩大，造成人才流失严重（任保平，2022），特别是中青年骨干人才大量外流，导致科技创新发展缓慢；同时，随着我国重化工业阶段临近结束，黄河流域电力、化工、钢铁、建材、有色冶金等重化工业正面临着过剩产能消化、落后产业淘汰和产业结构转型升级的挑战（姜长云等，2019），这会导致过剩产能和落后产业的冗余人员会面临失业（张守凤等，2022），人才供需不能有效匹配；加之城镇化进程不断推进，可能会产生“拥挤效应”，致使劳动力蓄水池效应显著抑制碳排放效率的提高；二是集群内支持性产业的不断完善，不仅可以实现公共治污设施的共享，还可能形成专门的环保产业，以进行专业化治污治理，减少集聚区内的碳排放，提高碳排放效率。三是企业在某一特定区域内集中将产生技术溢出效应与竞争效应，并共用基础设施，降低交易成本与研发成本，激励企业研发创新，促进技术进步。技术进步不仅加快新产品出现进而推动企业清洁生产和资源循环利用，还能为高碳行业的绿色低碳化转型提供技术支持，从而转变黄河流域粗放型发展方式，减少能源消耗和碳排放。由此验证了本文的假说 H2 和 H3。

### 4.3 黄河流域产业集聚对碳排放效率的调节效应分析

#### 4.3.1 基于不同的城市类型

黄河流域作为我国的能源、石油化工和原材料基础工业基地，资源型城市占全国总数的 30%（李晓静等，2023）。依据《全国资源型城市可持续发展规划（2013—2020 年）》的划分标准，将样本城市分为资源型城市和非资源型城市两类。结果如表 4.6 所示。

表 4.6 资源和非资源城市下产业集聚影响碳排放效率的估计结果

变量	资源型城市			非资源型城市		
	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚
L.Eff	0.564*** (3.486)	0.679*** (3.818)	0.583*** (3.503)	0.723*** (8.772)	0.628*** (7.575)	0.692*** (6.040)

续表 4.6 资源和非资源城市下产业集聚影响碳排放效率的估计结果

变量	资源型城市			非资源型城市		
	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚
Agg	0.273 (1.361)			0.259* (1.829)		
Mar		0.014 (1.001)			-0.037* (-1.944)	
Jac			-0.018 (-0.911)			0.051** (2.326)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
_cons	-0.487 (-1.525)	0.003 (0.010)	-0.066 (-0.243)	-0.268 (-1.086)	-0.214 (-0.669)	-0.169 (-0.400)
AR(1)	-2.03** (0.042)	-2.14** (0.032)	-1.93* (0.054)	-1.93* (0.053)	-1.89* (0.058)	-1.89* (0.059)
AR(2)	-1.23 (0.219)	-1.13 (0.259)	-1.16 (0.247)	0.96 (0.338)	0.91 (0.364)	1.02 (0.310)
Hansen test	28.64 (0.328)	29.99 (0.268)	23.01 (0.190)	48.48 (0.846)	38.91 (0.939)	41.14 (0.901)
N	500	500	500	490	490	490

表 4.6 结果显示，在资源型城市中，产业集聚和专业化集聚对碳排放效率的估计系数分别为 0.273、0.014，多样化集聚对碳排放效率的估计系数为-0.018，但均不显著。这可能是由于，资源型城市依托自然资源禀赋优势，产业专业化指数较高，以资源开采和加工为主要特征的资源型产业容易形成路径依赖，导致技术创新和溢出水平有限，同时，自然资源禀赋的大量使用会对劳动力、资本等生产要素产生挤出效应（闫晓和涂建军，2021），缺乏产业多样化发展的条件，因而在资源型城市的多样化集聚不仅不会促进碳排放效率提高，反而可能会产生抑制作用。

在非资源城市中，产业集聚对碳排放效率的影响在 10% 的显著性水平上为正，专业化集聚和多样化集聚对碳排放效率的估计系数分别为-0.037、0.051，且至少在 10% 的水平上显著，这表明非资源型城市产业集聚对碳排放效率的促进作用主要源于多样化集聚，非资源型城市专业化集聚不利于碳排放效率的改善。较之于资源型城市，非资源型城市的专业化集聚水平较低，为面对外部环境的不确定性，其产业结构需要上下游不同类型企业发展的均衡支撑，这有利于不同企业之间形成输入、输出关系，即一个企业在生产过程中产生的二氧化碳，可能会成为另一个企业生产所必需的原材料或中间投入品，在不同企业间形成资源的循环利用，从而提高碳排放效率。因此，验证了本文的假说 H4。

### 4.3.2 基于政府干预和市场化水平视角

大量企业在某一地理空间上的平稳有序发展离不开有为政府和有效市场的相互配合、相互作用，因而本部分从政府和市场的视角切入，实证检验分析政府干预程度和市场化水平在产业集聚对碳排放效率的影响中所发挥的作用。

具体而言，本文在基础回归的基础上进一步纳入产业集聚、专业化集聚和多样化集聚分别与政府干预程度或市场化水平的交叉项，并在控制变量中删除政府干预程度这一变量，将其作为调节变量，同时借鉴邵帅等（2013）的研究，采用城镇私营和个体从业人数与劳动总人数的比值衡量市场化水平。回归结果如表 4.7 所示。

表 4.7 政府干预和市场化水平对产业集聚与碳排放效率的调节作用

变量	政府干预			市场化水平		
	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚	产业集聚	专业化集聚	多样化集聚
L.Eff	0.473*** (6.510)	0.560*** (8.418)	0.461*** (6.383)	0.729*** (7.340)	0.622*** (3.935)	0.842*** (10.745)
Agg	0.235** (2.542)			0.219* (1.861)		
Mar		-0.015* (-1.717)			-0.023*** (-2.695)	
Jac			0.041** (2.065)			0.003 (0.156)
Agg*gove	-0.128** (-2.451)					
Mar*gove		-0.007 (-0.337)				
Jac*gove			-0.129** (-2.409)			
Agg*mar				0.074*** (2.908)		
Mar*mar					0.022* (1.916)	
Jac*mar						0.014 (0.666)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
_cons	-0.100 (-0.510)	-0.159 (-0.852)	0.327 (1.234)	-0.320*** (-2.742)	-0.136 (-1.414)	-0.161** (-2.102)
AR(1)	-2.55** (0.011)	-2.63*** (0.009)	-2.48** (0.013)	-2.62*** (0.009)	-2.31** (0.021)	-2.75*** (0.006)
AR(2)	0.41 (0.682)	0.45 (0.653)	0.38 (0.700)	0.48 (0.634)	0.43 (0.667)	0.53 (0.596)
Hansen test	83.66 (0.127)	83.64 (0.812)	59.75 (0.275)	55.71 (0.207)	32.63 (0.173)	72.08 (0.179)
N	990	990	990	990	990	990

由表 4.7 的结果可以看出，产业集聚、多样化集聚与政府干预的交互项系数分别为-0.128、-0.129，且至少通过了 5%的显著性检验，专业化集聚对政府干预

的交互项也为负，但不显著，表明在产业集聚和多样化集聚水平给定的情形下，政府干预程度越大，越倾向有偏的干预经济，资源错配将导致碳排放效率恶化。产业集聚、专业化集聚与市场化水平的交互项系数分别为 0.074、0.022，并至少通过了 10% 的显著性检验，表明在产业集聚和专业化集聚水平给定的情形下，市场化水平越高，越有利于缓解资源错配，提高碳排放效率。师傅和沈坤荣（2013）认为市场机制主导的产业集聚与政府主导型产业集聚产生了不同的效果，前者能显著提高能源效率，而后者因扭曲资源配置而不利于能源效率的提高。因此，验证了假说 H5。

## 5 结论与建议

### 5.1 研究结论

本研究梳理了有关产业集聚与碳排放效率的国内外相关文献，并采用 2011—2021 年黄河流域 99 个城市面板数据分析其产业集聚特征和碳排放效率变化趋势，并运用系统 GMM、中介效应、调节效应方法实证分析黄河流域产业集聚与碳排放效率之间的深层次关系，得出了如下研究结论。

第一，用定性分析和定量分析相结合的方式，分析了黄河流域城市产业集聚与碳排放效率整体和上中下游的变化趋势。从整体上看，黄河流域产业集聚呈现稳定上升的趋势，且年均增幅为 0.6%，专业化集聚呈现平稳上升趋势，且年均增幅为 0.77%，而多样化集聚则在波动中下降；碳排放效率整体呈现波动下降的趋势，但近两年来上升趋势明显。分区域来看，产业集聚和碳排放效率均呈现下游最高，上游次之，中游最低的特点，多样化集聚特征与之相同，而专业化集聚则与之相反，呈现中游最高，上游次之，下游最低。运用 ArcGIS10.2 软件绘制碳排放效率空间分布图发现，碳排放效率高的城市主要分布在黄河流域下游和南部地区，这符合我国经济发展规律。

第二，运用系统 GMM 模型实证检验发现，产业集聚能够显著促进碳排放效率提高，这主要是源于多样化集聚，专业化集聚则显著抑制碳排放效率的改善。通过替换被解释变量和缩短样本时间窗口的方法进行重新估计，结果表明这一实证结果具有稳健性。

第三，通过中介效应方法回归分析发现，黄河流域专业化集聚和多样化集聚能够通过劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应对碳排放效率产生显著影响，但两者的作用方向相反。专业化集聚通过抑制劳动力蓄水池效应、中间投入共享效应和知识溢出效应导致碳排放效率下降；而多样化集聚通过促进这三种途径进而改善碳排放效率。

第四，异质性分析发现，非资源型城市适合发展多样化集聚，而资源型城市专业化集聚为正，但不显著。通过调节效应回归分析可知，政府干预、市场化水平对黄河流域产业集聚的减排效应存在明显的调节作用，且两者作用方向相反。政府过度干预抑制黄河流域产业集聚的碳减排效应，而市场化水平的提升则能加



强黄河流域产业集聚的碳减排效应。

## 5.2 对策建议

根据上述的研究结论，本文的主要政策建议如下：

首先，加强黄河流域产业集聚，尤其是多样化集聚水平的提高。面对黄河流域经济发展水平较低，产业竞争力不强等问题，应通过提高产业集聚水平进而提升地区生产效率。一是要充分意识到产业集聚在提高经济发展质量中的重要作用，加强黄河流域各城市的交流与合作，弱化地方市场分割的动机，消除限制生产要素流动的壁垒，扩大集聚溢出区域边界，加强产业集聚。二是应加快专业化产业集聚区内结构调整，拒绝低质量、盲目扎堆现象；积极发展多样化集聚，基于上下游产业之间的关联搭建协同发展渠道，促进知识和技术溢出，激发新技术产生，提高碳排放效率。

其次，激发人才创新活动，培养“双碳”专业人才；加强数字化基础设施建设，促进知识技术溢出。一是创新的核心要素是人才，创新驱动实质上是人才驱动。黄河流域在科研院所、研究型大学和普通高校数量上具有一定的优势，但如何吸引、培育和用好人才应是其关注的重点所在。二是，增加对教育研发投入，加强传统能源、交通、建筑等相关专业升级改造，加快对储能和氢能，碳捕集、利用与封存，碳金融和碳交易等紧缺人才培养，推动碳减排、碳零排和碳负排等关键核心技术攻关，大力培养“双碳”专业人才。三是加强数字化基础设施建设。俗话说：“要想富先修路”，可见，桥梁、公路、铁路等交通基础设施对于产业发展的重要作用。如今，在以人工智能、新一代信息和通信技术为代表的工业革命浪潮下，光纤网、5G、工业物联网、车联网等新基建是未来产业智能化转型发展不可或缺的基础设施。黄河流域各级政府应尽快加大数字化、信息化基础设施的建设力度，为能够尽快融入工业互联网、智能制造等做好准备，以便能够以数字化、智能化为契机，挖掘各地的优势产业，加强产业集聚，降低交易成本、提高资源利用效率，推动技术创新和技术溢出效应。

再次，找准不同类型城市各自的发展定位，因地制宜、分类施策。要意识到各地区因人口规模、产业结构、资源禀赋等差异而导致碳排放效率有所不同，不能“一刀切”，搞“齐步走”的政策，要有针对性地制定区域减排路径，从实际

情况考量，充分发掘本地区的优势，发展适合本地产业集聚的类型。非资源型城市应借助其创新活动外溢方面的优势，积极推进产业多样化集聚，同时加快调整产业内部结构，淘汰落后产能，促进技术革新，推动产业向高端化迈进，提高资源利用效率，进而改善城市的碳排放效率。对于专业化指数较高的资源型城市，要推动产业结构转型升级、合理布局产业集聚程度，提高产业内企业绿色技术创新的研发效率和成果转化率，同时，加快集聚区内规模化治污行业的形成，推动二氧化碳的治理方式由末端治理转向源头治理。

最后，打造有为政府，构建有效市场。一是黄河流域各级政府应加强顶层设计，做好流域整体发展规划，制定较全面的发展政策，深入“放管服”改革，避免通过指令性很强、很具体的产业规划指导干预企业投资行为，人为设置进入壁垒，造成产业间的重复建设和同质化，导致能源浪费和资源配置扭曲；二是充分发挥市场的主导作用，促进自由竞争，良好的竞争环境给企业带来的压力更能激发企业的创新行为的产生，推动企业间协同创新，加速技术进步，同时，积极建立碳交易市场、完善碳交易体系以规避环境污染的外部性和企业的搭便车行为。

## 参考文献

- [1] Arrow K, Bolin B, Costanza R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment[J]. 1995, 15(2):0-95.
- [2] Brakman S, Garretsen H, Gigengack R, et al. Negative feedbacks in the economy and industrial location[J]. Journal of Regional ence, 2010, 36(4):631-651.
- [3] Farrell M.J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957, 120(3):253-290.
- [4] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a north American free trade agreement[J]. Social Science Electronic Publishing,1991,8(2):223-250.
- [5] Glaeser E L, Kallal H D, Scheinkman J A, et al. Growth in cities[J]. Journal of Political Economy, 1992, 100(6): 1126-1152.
- [6] Hoover E M. Location of Economic Activity[M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1948.
- [7] Jacobs J. The Economy of Cities[M]. New York: Vintage, 1969:96-100.
- [8] Krugman P. Increasing returns and economic geography[J]. The Journal of Political Economy, 1991a,99(3):483-499.
- [9] Leibenstein H. Allovative efficiency vs “X-efficiency”[J]. Am.Econ.Rev, 1966, 56:392-415.
- [10]Liu X, Zhang X. Industrial agglomeration, technological innovation and carbon productivity: Evidence from China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 166: 105330.
- [11]Liu W, Yang X, Zhang J, et al. The spatiotemporal evolution of the effect of industrial agglomeration on industrial green economic efficiency: empirical evidence from pollution-intensive industries in China[J]. Environment, Development and Sustainability, 2024, 26(4): 9945-9972.
- [12]Marshall A. Principles of Economics[M]. New York: Prometheus Books, 1890: 52-56.
- [13]Porter M. The Competitive Advantage of Nations[M]. London: Macmillan, 1990.
- [14]Mielnik O, Goldemberg J. Communication The evolution of the "carbonization index" in de veloping countries[J]. Energy Policy, 1999, 27(5):307-308.
- [15]Pei Y, Zhu Y, Liu S, et al. Industrial agglomeration and environmental pollution: based on the specialized and diversified agglomeration in the Yangtze River Delta[J]. Environment, Development and Sustainability, 2021, 23: 4061-4085.

- [16]Romer P M. Increasing returns and long-run growth[J]. The Journal of Political Economy, 1986, 94(5): 1002-1037.
- [17]Richard York, Eugene A Rosa, Thomas Dietz. STIRPAT, IPAT and IMPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003,46(3): 351-365.
- [18]Ramanathan, R. Combining indicators of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions: a cross-country comparison[J]. International Journal of Global Energy Issues, 2002, 17(3):214.
- [19]Sun J W. The decrease of CO<sub>2</sub> emission intensity is decarbonization at national and global levels[J]. Energy Policy, 2005, 33(8):975-978.
- [20]Tone K. A slacks: Based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [21]Wang Y, Bai Y, Quan T, et al. Influence and effect of industrial agglomeration on urban green total factor productivity — on the regulatory role of innovation agglomeration and institutional distance[J]. Economic Analysis and Policy, 2023, 78: 1158-1173.
- [22]Yuan H, Liu J, Li X, et al. The impact of industrial collaborative agglomeration on total factor carbon emission efficiency in China[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 12347.
- [23]阿尔弗雷德·马歇尔(1890).经济学原理(上)[M].朱志泰,陈良璧译.北京:商务印书馆,2010:284-285.
- [24]白东北,王珏,唐青青. 产业集聚与中国企业出口决策——基于制度质量的视角[J]. 产业经济研究, 2019(02): 50-63.
- [25]鲍健强,苗阳,陈锋. 低碳经济:人类经济发展方式的新变革[J]. 中国工业经济, 2008, (4): 153-160.
- [26]查建平,唐方方,别念民. 结构性调整能否改善碳排放绩效?——来自中国省级面板数据的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, 29(11): 18-33.
- [27]邓荣荣,张翱翔. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. 资源科学, 2021, 43(11): 2316-2330.
- [28]范剑勇. 产业集聚与地区间劳动生产率差异[J]. 经济研究, 2006, (11): 72-81.
- [29]付允,马永欢,刘怡君,等. 低碳经济的发展模式研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, (3): 14-19.

- [30]付成林,王德新. 数字经济与统一大市场的因果效应与作用机制——基于有效市场和有为政府视角[J]. 南方经济, 2023, (12): 107-127.
- [31]耿凤娟,苗长虹,胡志强. 黄河流域工业结构转型及其对空间集聚方式的响应[J]. 经济地理, 2020, 40(6): 30-36.
- [32]韩海燕,任保平. 黄河流域高质量发展中制造业发展及竞争力评价研究[J]. 经济问题, 2020, (8): 1-9.
- [33]韩海彬,杨冬燕. 农业产业集聚对农业绿色全要素生产率增长的空间溢出效应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37 (06): 29-37.
- [34]韩晶,毛渊龙,朱兆一. 产业集聚对环境污染的影响[J]. 经济社会体制比较, 2019, (3): 71-80.
- [35]何文举,张华峰,陈雄超,等. 中国省域人口密度、产业集聚与碳排放的实证研究——基于集聚经济、拥挤效应及空间效应的视角[J]. 南开经济研究, 2019(02): 207-225.
- [36]胡晨光,程惠芳,陈春根. 产业集聚的集聚动力: 一个文献综述[J]. 经济学家, 2011, (6): 93-101.
- [37]胡志强,苗长虹,熊雪蕾,等. 产业集聚对黄河流域工业韧性的影响研究[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 824-831.
- [38]黄永斌,曹蒙. 地方政府竞争与黄河流域水资源利用效率[J]. 经济与管理评论, 2023, 39 (03): 23-34.
- [39]纪玉俊. 制造业集聚变迁与城市绿色全要素生产率——基于政府与市场关系的视角[J]. 吉林大学社会科学学报, 2021, 61(2): 140-149, 238.
- [40]纪玉俊,王芳. 产业集聚、空间溢出与城市能源效率[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23 (06): 13-26.
- [41]姜长云,盛朝迅,张义博. 黄河流域产业转型升级与绿色发展研究[J]. 学术界, 2019, (11): 68-82.
- [42]寇冬雪. 产业集聚模式与环境污染关系研究[J]. 经济经纬, 2021, 38 (04): 73-82.
- [43]柯延焰. 制造业产业集聚对城市绿色效应的影响[D]. 上海财经大学, 2020: 18-22.
- [44]李春风. 中国三大城市群高技术产业集聚对区域创新效率的影响研究[D]. 吉林大学, 2022: 48-53.

- [45]李金滢,宋德勇. 专业化、多样化与城市集聚经济——基于中国地级单位面板数据的实证研究[J]. 管理世界, 2008, (2): 25-34.
- [46]李晓静,郝建花,蔡音飞,等. 黄河流域资源型城市城镇化和产业协同集聚对土地利用效率的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2023, 59(4): 681-694.
- [47]李炫榆,宋海清,李碧珍. 集聚与二氧化碳排放的空间交互作用——基于空间联立方程的实证研究[J]. 山西财经大学学报, 2015, 37(5): 1-13.
- [48]李治国,王杰,王叶薇. 经济集聚扩大绿色经济效率差距了吗?——来自黄河流域城市群的经验证据[J]. 产业经济研究, 2022, (1): 29-42.
- [49]李晓阳,李美雅,李晓雪,等. 产业协同集聚与绿色经济效率的空间效应研究[J]. 西南大学学报(社会科学版), 2023, 49 (03): 98-113.
- [50]林伯强,谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. 经济研究, 2019, 54(02): 119-132.
- [51]刘志华,徐军委,张彩虹. 科技创新、产业结构升级与碳排放效率——基于省际面板数据的 PVAR 分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(02): 508-520.
- [52]吕大国. 中国开发区产业集聚效应研究[D]. 南京大学, 2016: 19-28.
- [53]马大来,陈仲常,王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 67-77.
- [54]毛小明,钟诚. 产业集聚对于中国省域碳排放的影响及空间效应分析[J]. 南昌大学学报(人文社会科学版), 2022, 53(2): 56-65.
- [55]孟望生,郑延钦,张扬. 黄河流域制造业集聚对城市绿色经济效率的影响[J]. 统计与决策, 2023, 39(15): 111-116.
- [56]牛秀敏. 全要素视角下的中国碳排放效率区域差异性及其收敛性研究[D]. 西南财经大学, 2016: 21-23.
- [57]宁论辰,郑雯,曾良恩. 2007—2016 年中国省域碳排放效率评价及影响因素分析——基于超效率 SBM-Tobit 模型的两阶段分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021, 57(01): 181-188.
- [58]潘文卿,刘庆. 中国制造业产业集聚与地区经济增长——基于中国工业企业数据的研究[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2012, 27(01): 137-147+161.
- [59]秦晓丽,侯跃. 产业集聚与城市能源效率: 理论机制与空间经验证据[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2023, 25 (05): 28-39.

- [60]曲晨瑶,李廉水,程中华. 产业聚集对中国制造业碳排放效率的影响及其区域差异[J]. 软科学, 2017, 31 (01): 34-38.
- [61]任晓松,刘宇佳,赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95-106.
- [62]邵帅,范美婷,杨莉莉. 资源产业依赖如何影响经济发展效率?——有条件资源诅咒假说的检验及解释[J]. 管理世界, 2013, (02): 32-63.
- [63]师博,任保平. 产业集聚会改进能源效率么? [J]. 中国经济问题, 2019, (01): 27-39.
- [64]师博,沈坤荣. 政府干预、经济集聚与能源效率[J]. 管理世界, 2013(10): 6-18.
- [65]史丹,吴利学,傅晓霞,等. 中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解[J]. 管理世界, 2008, (2): 35-43.
- [66]苏丹妮,盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据 [J]. 经济学(季刊), 2021, 21(5): 1793-1816.
- [67]孙华平,王玥颖,陈婷婷. 产业集聚提升了城市绿色经济效率吗? [J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2022, 24 (06): 51-64.
- [68]孙浦阳,韩帅,许启钦. 产业集聚对劳动生产率的动态影响[J]. 世界经济, 2013, 36(03): 33-53.
- [69]滕堂伟,谌丹华,胡森林. 黄河流域空气污染的空间格局演化及影响因素[J]. 地理科学, 2021, 41(10): 1852-1861.
- [70]王惠,卞艺杰,王树乔. 出口贸易、工业碳排放效率动态演进与空间溢出[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(1): 3-19.
- [71]王凯,杨亚萍,张淑文等. 中国旅游产业集聚与碳排放空间关联性[J]. 资源科学, 2019, 41(02): 362-371.
- [72]王群伟,周德群,周鹏. 中国全要素二氧化碳排放绩效的区域差异——考虑非期望产出共同前沿函数的研究[J]. 财贸经济, 2010, (9): 112-117.
- [73]王少剑,高爽,黄永源,等. 基于超效率SBM模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1316-1330.
- [74]王智新,梁翠,赵景峰,等. 科技投入效率、产学研合作研发与全要素碳排放绩效 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 100-103.
- [75]温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展 [J]. 心理科学进展, 2014, 22

- (05): 731-745.
- [76]吴建新,郭智勇. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. 统计研究, 2016, 33(1): 54-60.
- [77]谢荣辉,原毅军. 产业集聚动态演化的污染减排效应研究——基于中国地级市面板数据的实证检验[J]. 经济评论, 2016, (2): 18-28.
- [78]徐英启,程钰,王晶晶. 中国资源型城市碳排放效率时空演变与绿色技术创新影响[J]. 地理研究, 2023, 42(3): 878-894.
- [79]叶静怡,林佳,张鹏飞,等. 中国国有企业的独特作用:基于知识溢出的视角[J]. 经济研究, 2019, 54 (06): 40-54.
- [80]阎晓,涂建军. 黄河流域资源型城市生态效率时空演变及驱动因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 223-239.
- [81]杨庆,江成涛,蒋旭东,等.高技术产业集聚能提升碳生产率吗[J].宏观经济研究, 2021(04): 141-159.
- [82]姚璐,王书华. 黄河流域金融集聚对绿色经济效率影响的空间溢出效应研究——兼论环境规制的调节作用[J]. 地理科学, 2023, 43 (10): 1783-1792.
- [83]易艳春,高爽,关卫军. 产业集聚、城市人口规模与二氧化碳排放[J]. 西北人口, 2019, 40(1): 50-60.
- [84]袁华锡,封亦代,余泳泽. 制造业集聚促进抑或阻碍绿色发展绩效?——来自长江经济带的证据[J]. 经济地理, 2022, 42(6): 121-131.
- [85]岳立,苗菊英. 碳减排视角下黄河流域城市能源高效利用的提升机制研究[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2022, 50(1): 13-26.
- [86]詹新宇,刘文彬. 中国式财政分权与地方经济增长目标管理——来自省、市政府工作报告的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(3): 23-39.
- [87]张平淡,屠西伟. 制造业集聚对改进城市碳全要素生产率的影响研究[J]. 城市问题, 2023, (6): 37-45.
- [88]张凤超,黎欣. 产业集聚、城市人口规模与区域经济协调发展——基于我国 12 个城市群的比较研究[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2021, (2): 156-166, 207-208.
- [89]张华. 环境规制提升了碳排放绩效吗?——空间溢出视角下的解答[J]. 经济管理, 2014, 36(12): 166-175.



- [90]张华明,元鹏飞,朱治双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放[J]. 中国环境科学, 2021, 41(05): 2459-2470.
- [91]张佳音. 中部地区第二产业集聚对绿色发展效率的影响研究[D]. 吉林大学, 2023: 26-28.
- [92]张建鹏,陈诗一. 金融发展、环境规制与经济绿色转型[J]. 财经研究, 2021, 47(11): 78-93.
- [93]张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [94]张娜. 中国高技术产业集聚对绿色经济效率的影响研究[D]. 兰州大学, 2023.
- [95]张守凤,孟伟,赵芳. 黄河流域产业结构升级的就业效应研究[J]. 济南大学学报(社会科学版), 2022, 32 (06): 102-113.
- [96]张翼,卢现祥. 技术交易与产业集聚互动视角的区域二氧化碳减排研究——来自中国省域层面的经验证据[J]. 财贸研究, 2015, 26(05): 33-40.
- [97]张宇,蒋殿春. FDI、产业集聚与产业技术进步——基于中国制造行业数据的实证检验[J]. 财经研究, 2008(01): 72-82.
- [98]张治栋,陈竞. 环境规制、产业集聚与绿色经济发展[J]. 统计与决策, 2020, 36(15): 114-118.
- [99]张贺,许宁. 产业集聚专业化、多样化与绿色全要素生产率——基于生产性服务业集聚的外部性视角[J]. 经济问题, 2022, (05): 21-27.
- [100]赵凡,罗良文. 长江经济带产业集聚对城市碳排放的影响: 异质性与作用机制[J]. 改革, 2022, (1): 68-84.
- [101]郑江淮,高彦彦,胡小文. 企业“扎堆”、技术升级与经济绩效——开发区集聚效应的实证分析[J]. 经济研究, 2008(05): 33-46.
- [102]周杰琦,汪同三. FDI、要素市场扭曲与碳排放绩效——理论与来自中国的证据[J]. 国际贸易问题, 2017, (7): 96-107.
- [103]朱东波,李红. 中国产业集聚的环境效应及其作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(12): 62-70.
- [104]朱纪广,李小建. 产业集聚对区域经济高质量增长的影响效应——基于空间溢出效应视角[J]. 经济地理, 2022, 42(10): 1-9.

## 后记

时光荏苒，岁月如梭，转眼间我已经在兰州财经大学度过我人生中最重要的三年时光。这三年来，有遗憾但更有成长。回看刚入学的我，是青涩是稚嫩，眼神中有期待也有迷茫，但经过在兰财三年的学习和生活生涯，让我收获了颇丰。

非常感谢我的导师杨芳老师给予我学习上的指导和支持。在我论文的写作中，杨老师给我非常多的鼓励和肯定，从如何查找文献一步步地教导我，当我在论文写作遇到困难时，杨老师总能及时地给我一些思路和启发，让我有一种豁然开朗的感觉。在杨老师身上我看到了认真严谨的治学态度，学到了遇到困难不要放弃的心态和乐观、积极向上的生活态度。杨老师就像一盏明灯一直照亮着我的道路，让我明确了自己前进的方向。杨老师是我的恩师，更是我的榜样。

非常感谢王思文老师、万永坤老师等教授我专业知识，让我对产业经济学的相关内容有了进一步的认识和理解，使我掌握了丰富的专业知识，具备了一定的专业素养。同时，每位老师渊博的学识，让我心生敬佩，激励着我不断前行。

非常感谢我的室友张蓓、张婷和高亚娜在生活上给予我的帮助。当我遇到学习上的困惑时，他们总能及时帮助我；当我遇到生活上的困扰时，她们能够安慰我、陪伴我，给予我很多建议和支持。

非常感谢爸爸妈妈给予我经济上的支持和生活中的关怀。“儿行千里母担忧”，第一次离家一千多公里，我感受到父母对我的牵挂与担忧，体会到他们的艰辛与不易。虽然学习上他们无法带给我太多的帮助，但他们在经济上给予了我很大的支持，让我安心学习、快乐生活。

伴随着毕业论文的完成，我的硕士研究生生涯也即将画上句号。三年硕士研究生的学习最终汇聚成如今这篇完整的学位论文，感谢自己的努力和付出，感谢在生活和学习中关心我、帮助我的人，感恩与兰财的相遇！