

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_ 公开  
编号 \_\_\_\_\_ 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

## 硕士学位论文

论文题目 我国绿色经济效率的时空演进及驱动因素研究

研究生姓名: 史美雪

指导教师姓名、职称: 申社芳 教授

学科、专业名称: 应用经济学 国民经济学

研究方向: 宏观经济管理

提交日期: 2024年6月3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： 史美雪 签字日期： 2024年6月3日

导师签名： 申社芳 签字日期： 2024年6月3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，同意以下事项：

1. 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；

2. 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： 史美雪 签字日期： 2024年6月3日

导师签名： 申社芳 签字日期： 2024年6月3日

# **The impact of urban-rural integration on the income gap of residents**

**Candidate: Meixue Shi**

**Supervisor: Shefang Shen**

## 摘要

改革开放以来,我国经济发展取得了开创性成就,与此同时,环境污染恶劣和资源短缺枯竭等问题也愈发凸显,这对我国社会经济的可持续发展产生了极为不利的影 响,传统粗放型的增长方式亟需优化,在此现状下,提升绿色经济效率,统筹经济与环境资源的良好关系已然成为经济研究的关键问题和热点问题。绿色经济效率更能科学的衡量一个地区的经济发展状况和可持续发展潜力。因此,本文旨在研究我国各省份绿色经济效率的时空演进及其驱动因素,进而为把握我国地区经济和生态平衡的走势、转变经济发展方式、促进我国各地区节约资源、保护环境和经济绿色化发展提供一定的价值参考。

首先,文章多维度构建绿色经济效率的指标体系,并运用超效率 SBM 模型进行测度,然后对测度结果进行综合评价,从时间序列变化和空间分布特点两个角度展开评价。其次,运用 Dagum 基尼系数及其分解法、马尔科夫转移矩阵法、Arcgis 可视化分析、 $\alpha$  收敛和  $\beta$  收敛等,对我国绿色经济效率进行区域差距、动态演进和收敛性研究,具体剖析东、中、西和东北四大地区绿色经济效率的发展现状和演进趋势。再次,根据我国绿色经济效率的时空演进特征,进一步深入研究影响绿色经济效率的驱动因素,使用基准回归对绿色经济效率的各驱动因素进行综合分析,在此基础上,纳入时间因素和空间因素,采用时空地理加权回归 (GTWR) 对绿色经济效率的各驱动因素进行个体分析,摸清理论机制,探析内在机理。最后,提出相应的对策建议。

(1) 测度评价结果表明,第一,我国绿色经济效率逐年提升,绝大部分省份的绿色经济效率属于稳定型和波动上升型。第二,我国绿色经济效率存在空间溢出效应,且空间正向关联性逐步加强。(2) 时空演进结果表明,第一,我国绿色经济效率的总体区域差距有缩小趋势,差距主要来源于区域间差距。第二,我国绿色经济效率呈现两极分化现象,各区域分布呈现显著差异。绿色经济效率不同水平层次较稳定,存在“俱乐部趋同”现象,难以实现“跳跃式”转移,要注意等级下降风险。第三,东部和西部地区绿色经济效率存在  $\alpha$  收敛;中部和西部地区存在绝对  $\beta$  收敛,东部地区加入双固定效应后,存在绝对  $\beta$  收敛,东北地

区不存在绝对  $\beta$  收敛；我国除东北地区外都存在条件  $\beta$  收敛，其中，收敛速度最快的是西部地区，最慢的是东部地区。（3）驱动因素研究结果表明，第一，全国范围来看，人力资本水平和人口规模水平会明显抑制本地区绿色经济效率的提升，经济发展水平、产业结构水平和工业发展水平会显著促进绿色经济效率的发展。第二，与全国范围相比，由于地区经济、环境、地理等方面的差异，各区域绿色经济效率的驱动因素也存在一定的侧重和差异。

基于实证研究，本文从贯彻绿色经济理念、优化产业结构升级、协调匹配人力资源、坚持区域协调发展、注重因地制宜发展等方面提出促进我国绿色经济效率提升的对策。

**关键词：**绿色经济效率 时空演进 驱动因素

## Abstract

Since the reform and opening up, China's economic development has made pioneering achievements, at the same time, the problems of environmental pollution and resource depletion are becoming more and more serious, which have a negative impact on the sustainable development of our social economy, under this present situation, promotes the green economy efficiency, as a whole, the good relationship between economy and environmental resources has become a key and hot issue in economic research. Green economy efficiency can more scientifically measure a region's economic development status and sustainable development potential. Therefore, the aim of this paper is to explore the spatio-temporal evolution of green economic efficiency in each province of our country and its driving factors, this will provide valuable reference for grasping the trend of the regional economy and balance of nature, transform the mode of economic development to promote the conservation of resources, environmental protection and the development of green economy in all regions of China.

Firstly, the paper constructs the green economic efficiency by selecting the index of multi-dimensions and measures it with super-efficiency SBM model, then the measure results are evaluated synthetically and evaluated concretely from time series and spatial distribution characteristics. Secondly, using Gini coefficient and its decomposition method, Markoff transition matrix method, Arcgis visualization analysis,  $\alpha$  convergence and  $\beta$  convergence, this paper studies the regional gap, dynamic evolution and convergence trend of green economic efficiency in China, and analyzes the actual situation and evolution trend of four regions. Thirdly, according to the spatio-temporal characteristics of green economic efficiency in our country, we further

study the driving factors of green economic efficiency, and use benchmark regression to analyze the driving factors of green economic efficiency, on this basis, the time and space factors are added, and the driving factors of green economy efficiency are studied by the time and space weighted regression model (GTWR) , to find out the theoretical mechanism and to explore the internal mechanism. At last, according to the research results, some effective countermeasures and suggestions are put forward.

The measurement and evaluation results show that, firstly, the green economic efficiency of our country is increasing year by year, and most of the provinces are in the stable and fluctuating increasing pattern. Secondly, there is spatial spillover effect in our country's green economy efficiency, and the spatial positive correlation is also increasing gradually. The results of space-time evolution show that, firstly, the overall regional gap of green economy efficiency in China has a tendency to decrease, and the gap mainly comes from the regional gap. Secondly, the green economy efficiency of our country presents the phenomenon of polarization, and the dynamic distribution of each region presents the remarkable difference. The efficiency of green economy is relatively stable among different grades, there is “Club convergence” phenomenon, it is difficult to achieve “Leaping” transfer, attention should be paid to the risk of grade decline. Thirdly, the green economic efficiency in the eastern and western regions has  $\alpha$  convergence, the absolute  $\beta$  convergence exists in the central and western regions, The absolute  $\beta$  convergence exists in the eastern region, but not in the northeast region. In addition to the northeast region, conditional  $\beta$  convergence exists in every region. The convergence speed is fastest in the western region and slowest in the eastern region. According to the results, firstly, the level of human capital and the scale of population will obviously restrain the

improvement of green economy efficiency in the whole country, economic Development, industrial structure and industrial development can promote the development of green economy efficiency. Secondly, compared with the national scale, because of regional economic, environmental, geographical differences, the driving factors of green economy efficiency in different regions also exist certain emphasis and differences.

Based on empirical research, this paper puts forward the countermeasures to promote the efficiency of green economy in China from the following aspects: carrying out the concept of green economy, optimizing the upgrading of industrial structure, coordinating the matching of human resources, insisting on the coordinated development of regions and paying attention to the development in accordance with local conditions.

**Keywords:** green economic efficiency; space-time evolution; driving factors

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 选题背景与研究意义.....	1
1.1.1 选题背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究内容与研究框架.....	2
1.2.1 研究内容.....	2
1.2.2 研究框架.....	3
1.3 可能的创新点.....	5
<b>2 文献综述及相关理论</b> .....	6
2.1 文献综述.....	6
2.1.1 绿色经济的内涵研究.....	6
2.1.2 绿色经济效率的统计测度研究.....	6
2.1.3 绿色经济效率的时空演进研究.....	8
2.1.4 绿色经济效率的驱动因素研究.....	9
2.1.5 文献述评.....	9
2.2 概念界定.....	11
2.2.1 绿色经济.....	11
2.2.2 绿色经济效率.....	11
2.3 理论基础.....	11
2.3.1 可持续发展理论.....	11
2.3.2 经济收敛理论.....	12
2.3.3 投入产出理论.....	12
<b>3 绿色经济效率的测度评价</b> .....	13
3.1 测度指标选取.....	13
3.1.1 指标选取原则.....	13
3.1.2 投入指标选取.....	13
3.1.3 产出指标选取.....	14
3.1.4 指标体系构建与数据说明.....	14
3.2 测度方法研究.....	15
3.2.1 熵值法.....	15
3.2.2 超效率 SBM 模型.....	16
3.3 测度结果及评价.....	17
3.3.1 总体评价.....	18

3.3.2 时序变化评价 .....	19
3.3.3 空间分布评价 .....	20
<b>4 绿色经济效率的时空演进分析 .....</b>	<b>23</b>
4.1 绿色经济效率的区域差距研究 .....	24
4.1.1 区域时空差异研究 .....	24
4.1.2 区域差距及其来源研究 .....	25
4.2 绿色经济效率的动态演进研究 .....	30
4.2.1 基于核密度分析的动态演进研究 .....	30
4.2.2 基于马尔科夫转移矩阵分析的动态演进研究 .....	32
4.2.3 基于 GIS 可视化分析的动态演进研究 .....	34
4.3 绿色经济效率的收敛趋势研究 .....	35
4.3.1 $\alpha$ 收敛趋势研究 .....	35
4.3.2 绝对 $\beta$ 收敛趋势研究 .....	37
4.3.3 条件 $\beta$ 收敛趋势研究 .....	39
<b>5 绿色经济效率的驱动因素研究 .....</b>	<b>42</b>
5.1 驱动因素的作用机制分析 .....	42
5.1.1 驱动因素综合分析框架 .....	42
5.1.2 驱动因素的作用机理 .....	42
5.2 驱动因素的区域整体特征研究 .....	45
5.2.1 模型构建与数据说明 .....	45
5.2.2 区域整体驱动因素研究 .....	46
5.2.3 分位数回归研究 .....	47
5.2.4 稳健性检验 .....	48
5.2.5 区域异质性研究 .....	49
5.3 驱动因素的区域个体特征研究 .....	50
5.3.1 GTWR 模型原理 .....	50
5.3.2 GTWR 模型构建 .....	51
5.3.3 GTWR 回归结果的描述性统计 .....	52
5.3.4 省域个体驱动因素研究 .....	52
5.3.5 稳健性检验 .....	62
<b>6 研究结论与建议 .....</b>	<b>64</b>
6.1 研究结论 .....	64
6.2 政策建议 .....	65
<b>参考文献 .....</b>	<b>68</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>73</b>

# 1 绪论

## 1.1 选题背景与研究意义

### 1.1.1 选题背景

近年来,我国经济发展迅速,取得了一系列重大成就,伴随着城市化进程和工业化发展,环境污染恶劣和资源短缺枯竭等问题也愈发凸显,这对我国社会经济的可持续发展产生了极为不利的影响,传统粗放型经济增长方式亟需向绿色发展转型,在此现状下,提升绿色经济效率,统筹经济发展与环境资源的良好关系已然成为经济研究的关键问题和热点问题。党的二十大报告提出要加快绿色发展方式的转型,积极推动经济社会实现绿色化,建立完善的低碳循环发展经济体系,促进经济社会发展全面绿色转型,在这一背景下,准确测度绿色经济效率,深入剖析我国各区域绿色经济效率的时空分异和演进特征,并全面阐述影响我国绿色经济效率的各个因素,对把握地区经济和生态平衡的走势、转变经济发展方式、促进我国各地区节约资源、保护环境和经济绿色化发展具有重要意义。

新常态下,提高绿色经济效率是贯彻新发展理念的题中之义。在经济发展进程中,提升绿色经济效率对于实现绿色经济发展至关重要,全面而系统的评价绿色经济效率具有重要的理论和现实意义。目前的经济发展更重视生态环境保护和资源有效利用,如何实现绿色发展是中国经济新常态阶段所面临的新要求和新的挑战。因此本文在力求客观准确测度绿色经济效率的基础上,分析其区域时空差异的现状和发展趋势,探究多个驱动因素的作用方向和内在机理,并进一步将区域因素和时间因素纳入研究,探讨驱动因素对绿色经济效率影响存在的时空关联性。在实证分析的基础上,对我国提高绿色经济效率、实现经济绿色发展提出可行性的建议,以期为促进我国节约资源、保护环境、推动粗放型经济向高质量经济转型提供一定的数据支持和理论支撑。

## 1.1.2 研究意义

### (1) 理论意义

第一，厘清绿色经济效率的科学内涵、重要意义以及当前所遇到的机遇与挑战，深入挖掘绿色经济效率给经济高质量发展带来的活力和机遇，丰富该领域的理论研究内容。第二，明确当前我国绿色经济效率的基本态势，准确把握绿色经济效率的区域差异与动态演进规律，摸清各区域实际情况，为各地区因地制宜提供理论依据，为平衡区域走势、推动经济社会持续健康发展提供一定的数据支持。第三，探索影响绿色经济效率的驱动因素，深入研究其作用机理，为政府在后续推动绿色经济发展并制定相关政策，积极落实相应措施，提供一定的理论支撑和参考依据。

### (2) 现实意义

我国各区域处于不同的经济发展阶段，资源环境禀赋也存在一定差异，绿色经济发展处于崭新阶段，合理测度绿色经济效率，并分析我国各区域时空演进差异对建设美丽中国具有重要价值。第一，本文基于绿色经济理论，科学细化指标体系，评估绿色经济效率，使资本的有效利用能够达到最大化，从而使绿色经济能够长期良性发展。第二，运用 Kernel 密度估计方法、马尔科夫转移矩阵法、Arcgis 可视化分析、 $\alpha$  收敛和  $\beta$  收敛等，对我国绿色经济效率进行区域时空演进研究，全面把握我国绿色发展情况，成就区域质量优势和效率优势，为解决经济与环境之间的矛盾提供一定的实践指导意义。第三，综合分析影响我国绿色经济效率的驱动因素，加入时间因素和空间因素，全面把握驱动因素对绿色经济效率的时空效应，并深入探析我国绿色经济发展不平衡的原因，充分挖掘内部发展动力，有效提高绿色经济效率，准确掌握经济发展的关键，实现我国经济由大到强的战略性转变。

## 1.2 研究内容与研究框架

### 1.2.1 研究内容

第一部分：绪论。本部分首先阐述研究背景和意义；接着论述研究内容及框

架；最后说明可能的创新点。

第二部分：文献综述及相关理论。本文首先从绿色经济的内涵研究、统计测度研究、时空演进研究和驱动因素研究四个方面进行梳理；然后对绿色经济和绿色经济效率的概念进行界定；进而对可能涉及的理论进行解释，本文主要从可持续发展理论、经济收敛理论和投入产出理论三个方面来阐述。

第三部分：绿色经济效率的测度及评价。本文通过多维度构建绿色经济效率的指标体系并利用客观的方法进行测度，指标体系中的投入指标从资本、劳动、技术、能源和土地要素五个方面考虑，期望产出指标从经济效应、社会效应和生态效应三个方面考虑，非期望产出指标由熵值法测度的环境污染综合指数进行衡量，使用超效率 SBM 模型进行测度，进行总体评价，然后从时间变化和空间分布这两方面对绿色经济效率进行具体评价。

第四部分：绿色经济效率的时空演进研究。本文运用 Dagum 基尼系数及其分解法、马尔科夫转移矩阵法、Arcgis 可视化分析、 $\alpha$  收敛和  $\beta$  收敛，对我国绿色经济效率进行区域差距、动态演进和收敛性分析。具体剖析东、中、西和东北四大地区绿色经济效率的发展现状和演进趋势，并进一步探究总体区域差距、区域差距来源，进行两两地区差距及其来源的分析和比较，然后使用不同方法探究其动态演进趋势，最后进行收敛性分析。

第五部分：绿色经济效率的驱动因素研究。本文首先对驱动因素的作用机制进行分析，综合考虑多个驱动机制，对驱动因素的区域整体特征和个体特征进行研究，首先使用基准回归对绿色经济效率的各驱动因素进行综合研究，在此基础上，纳入时间效应和空间效应，采用时空地理加权回归模型（GTWR）对绿色经济效率的各驱动因素进行个体研究，深入研究各驱动因素对绿色经济效率的作用方向，摸清理论机制，探析内在机理。

第六部分：研究结论与建议。对研究内容进行归纳和总结，并提出相应的对策建议。

## 1.2.2 研究框架

本文的研究框架如下图所示。

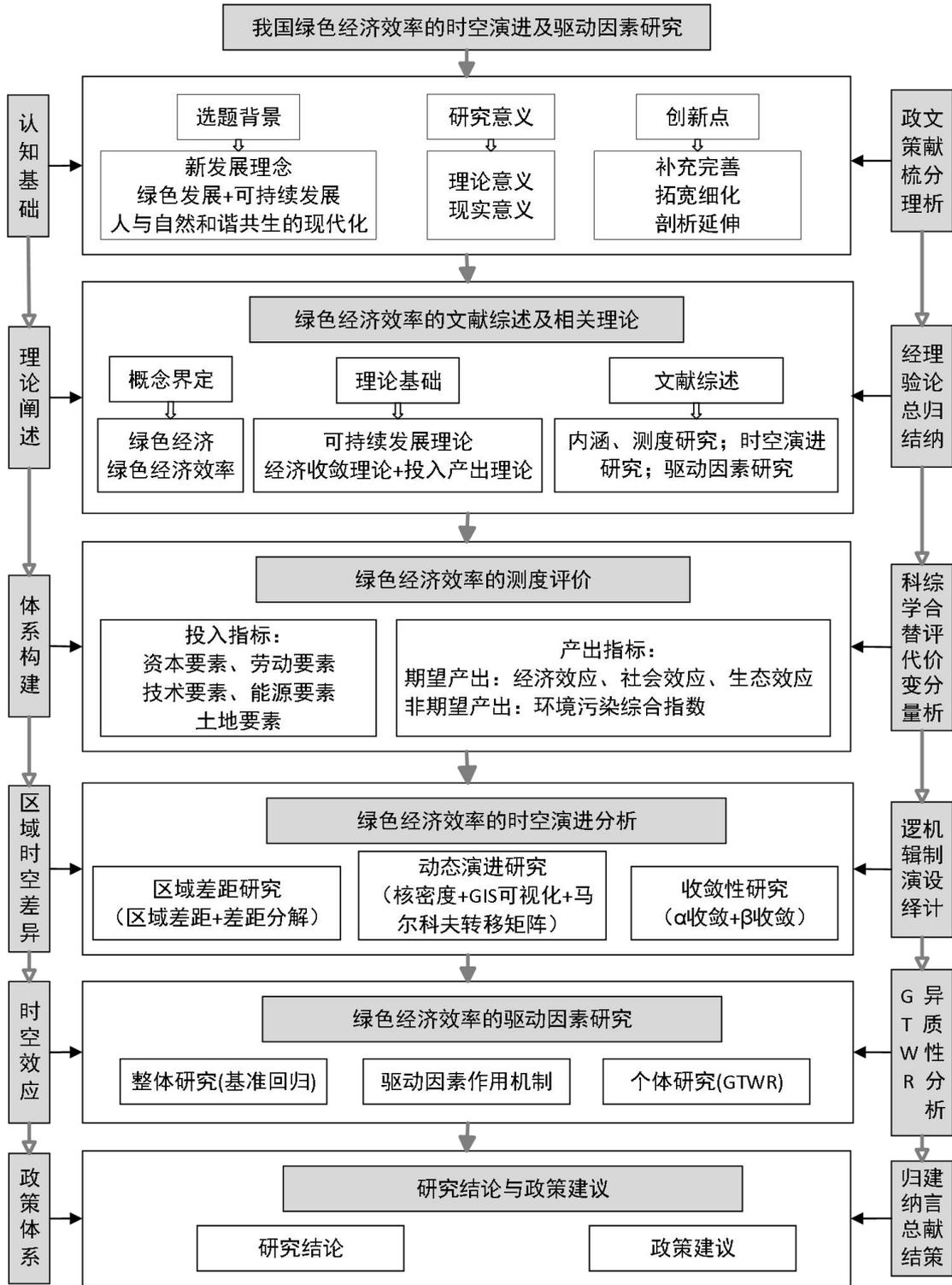


图 1.1 技术路线图

### 1.3 可能的创新点

第一，绿色经济效率测度指标体系的补充和完善。现有研究对绿色经济效率测度指标体系和测度方法尚未统一，所得结果存在较大差异。以往研究往往仅用“国内生产总值”单个指标来衡量期望产出，代表性略显单薄。基于此，本文在充分考虑理论内涵和比较测度方法优缺点的基础上，结合时代发展要求，通过多个维度选取合适的指标，具体为：投入指标从资本、劳动、能源、技术和土地五个要素考虑，期望产出指标从经济效应、社会效应和生态效应三个方面考虑，非期望产出指标由熵值法测度的环境污染综合指数进行衡量，最终使用超效率SBM模型对绿色经济效率进行测度，以期尽可能避免指标选取方面出现划分粗糙、变量使用不全面等问题和测度方法方面出现测度不准确、结果无效性等问题。

第二，绿色经济效率研究视角及范围的拓宽和细化。目前关于绿色经济效率时空方面的研究主要集中于局部区域或城市等微观层面，有必要从宏观层面对现阶段绿色经济效率进行总体把握和全面评价，同时，对于绿色经济效率收敛性、动态演进等方面的研究较少，基于此，本文深入研究我国2009-2021年各省份绿色经济效率的区域差异、动态演进和收敛性，并将全国划分为东、中、西和东北四大地区，以期深入剖析东北老工业基地的绿色经济发展现状，探究区域差距的深层原因，并针对各区域的实际情况提出相应的对策建议，为各地域立足实际，发挥优势提供一定参考价值。

第三，绿色经济效率驱动因素在时间及空间上的剖析与延伸。大部分学者基于单一驱动因素对绿色经济效率的影响进行实证检验，所得结论在机制效应和区域差距的影响下存在明显的差异，本文在文献研究和理论分析的基础上，综合选取多个驱动因素，全面分析其对绿色经济效率的作用方向，深入探析内在机理，并在此基础上，考虑时间效应和空间效应，利用GTWR模型对个体驱动因素进行研究，使所得结论更加稳健可信，为提升绿色经济效率，统筹经济与环境资源的良好关系提供一定的理论支撑与政策依据。

## 2 文献综述及相关理论

### 2.1 文献综述

#### 2.1.1 绿色经济的内涵研究

与过度消耗资源环境、忽略生态保护的“褐色经济”相反，绿色经济是可持续发展的经济发展模式，最早提出绿色经济的是皮尔斯，其出版的《绿色经济蓝图》突出了经济发展必须是人类和自然环境可承受的（PearceDW, 1989）。随着绿色发展观念的深入人心，“绿色经济”的内涵研究不断被丰富和扩展。绿色经济更加注重社会公平和人类福祉（UNEP, 2012），也不断兼顾环境持续友好特点和社会包容性特征（NEXTIO, 2012）。在绿色经济系统理论不断完善和实践的过程中，绿色经济被定义为以效率、和谐、持续为发展目标，以生态农业、循环工业和持续服务产业为基本内容的经济结构、增长方式和社会形态（季铸, 2018），获得了学界较为广泛的认同。

除此之外，还有众多学者从不同视角对绿色经济的内涵进行了补充和完善。绿色经济集环境、社会和经济三重底线效应于一体（诸大建, 2012），这种经济形态是多层次的，除了强调经济与环境层面的协调和平衡，还应该重视社会层面的难题（AlbertMerino-Saum, 2020），注重常态化的社会和稀缺性的资源保护的和谐统一（商迪, 2020），从根本上将旧生产力转变为包括创新、生态、公平、发展和效率的新型生产力（徐晓光等, 2021），绿化经济，为实现可持续经济培养新的增长点（凤亚红和陈舒, 2022）。

#### 2.1.2 绿色经济效率的统计测度研究

随着资源浪费、环境污染等问题的愈发严重，国内外学者将对经济发展的研究逐步转向绿色经济，其中效率研究处于主体地位，关于“绿色经济效率”的概念研究，大多数是在“经济效率”的基础上进一步深化，普遍认为“绿色经济效率”是全面考虑资源和环境损失的综合经济效率，是经济绿色化发展、绿色产业化发展。随着学者们对绿色经济效率的广泛关注，其测度指标体系的构建也一直

是研究的关键和重点。

绿色经济效率的核心理念是在投入要素一定时,追求最多的期望产出,并将非期望产出控制到最少,大多数学者从投入、期望产出和非期望产出来进行绿色经济效率指标体系的构建,投入主要包括资本、劳动等方面,产出包括以GDP为代表的期望产出和以污染状况衡量的非期望产出,主要以“工业三废”衡量(张红霞等,2022;杨广晖等,2023;刘照德和聂普焱,2024)。随着研究的深入,绿色经济效率的测度体系不断丰富和完善。在投入方面,作为影响绿色经济效率的关键要素,创新要素(张钟元等,2020)、水资源要素(朱洁西和李俊江,2023)、电力资源要素(赵亚雄等,2023)、土地要素(胡莉娜和程刚,2023)均被细化其中;在期望产出方面,创新产出(张钟元等,2020)、预算收入(王东和李金叶,2021)、居民生活质量(陈海盛等,2023)、空气优良天数比(胡莉娜和程刚,2023)的补充更加丰富了绿色经济效率的内涵;在非期望产出方面,除了使用“工业三废”来衡量,学者们还从CO<sub>2</sub>排放量(任阳军等,2022)、空气中SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>含量(张应武等,2022)、PM<sub>2.5</sub>浓度(陈海盛等,2023)、污水排放量(胡莉娜和程刚,2023)等具体衡量环境污染程度。

在测度方法上,国内外学者对绿色经济效率的测度方法层出不穷,主要采用参数分析法的随机前沿分析法(SFA)和非参数分析法的数据包络分析法(DEA)。

SFA充分考虑随机误差的存在对结果造成的影响,以灵活的生产函数研究生产过程可以提高测度效率的准确性、合理性和有效性,还可以分析效率与影响因素间的相关性(曲亮等,2015),具体使用共同前沿的方向性距离函数(汪克亮等,2013)、构建超越对数生产函数(范建双等,2017;朱爱方和平瑛,2023)来测度我国绿色生产效率。与SFA相比,DEA无需设定具体函数形式,有效避免了因生产函数误设而导致的结构偏差,且能够将污染产出纳入统一的投入——产出生产系统(黄庆华等,2020),找到最优的生产方式。鉴于以上优点,DEA被广泛应用于绿色经济效率的测度中(Lahouel,2016;刘钊,2019;马宇鹏,2023)。在DEA模型中,相对于以CCR、BCC模型为代表的径向模型,非径向模型SBM不仅能够避免角度度量和径向导致的误差问题,而且还可以考虑生产过程中非期望产出因素的影响,更能反映效率评价的本质(Tone,2001),但SBM模型存在可能出现多个决策同时有效的情况,即效率值均为1,不利于决

策单元进行良好的区分和排序（李根等，2019），故为能使出现的多个决策单元同时有效，且更准确地识别，学者们开始广泛使用超效率 SBM 模型测度绿色经济效率（睢党臣，2023；孔令章和李金叶，2023）；在此基础上，还有部分学者使用 EBM-GML 指数模型（李汝资等，2024）、SBM-ML（马志超等，2022）、加权 SBM-DEA 模型（徐妍，2022）、GML 指数（曾繁华和肖苏阳，2022）、混合距离函数模型 EBM（石映昕和杨云霞，2023）、SBM-DDF 方法（梁雯等，2023）、GS-SBM 模型（姚进才和袁晓玲，2023）来测度绿色经济效率。除此之外，还有部分学者采取了生态足迹法（ManciniMS 等，2017）、投影寻踪模型（程钰等，2019）、熵值法（ZhangH 等，2020）、主成分分析（TongC 等，2020）和指标法（周杰琦和张莹，2021）等多种方法进行测量。

### 2.1.3 绿色经济效率的时空演进研究

关于绿色经济效率的区域差距研究，学者们进行了较为广泛的探讨，且研究结论较为相似，认为绿色经济效率的变化趋势呈现“S”型，且空间上分布不均衡（赵林等，2021），具体表现为东部>西部>中部（韩剑尘和周良，2022），但中西部的增长速度却要大于东部（郭炳南，2021）。研究方法也由早期的描述统计方法、探索性空间数据分析发展为如今的核密度估计法、泰尔指数、Dagum 基尼系数等。关于绿色经济效率的动态演进研究，学者们近年来开始进行分析和探索，研究区域大多数局限于局部区域，长江经济带地区的绿色经济效率变化趋势明显，具体表现为先上升后下降（吴传清和周西一敏，2022），黄河三角洲县域绿色经济规模效率先快速提升后保持平稳，而综合效率和纯技术效率则波动上升（曹乃刚，2021）。关于绿色经济效率的收敛性研究，目前学者未达成统一见解，且从经济收敛视角研究我国各区域绿色经济效率问题的文献较少。长江经济带地区的敛散性质表现为  $\beta$  绝对收敛和  $\beta$  条件收敛，且各区域内部存在俱乐部收敛（郭炳南等，2021），黄河流域绿色经济效率存在绝对  $\beta$  收敛（相征和顾元吉，2022）、条件  $\beta$  收敛和俱乐部收敛（姚进才和袁晓玲，2023）。

#### 2.1.4 绿色经济效率的驱动因素研究

关于绿色经济效率的驱动因素研究，目前学者们从不同的角度进行讨论，部分学者的研究针对内容的侧重点呈现出差异性，关于驱动因素的研究方法，学者们主要使用的有空间计量模型（车磊等，2018；汪彬等，2022）、地理探测器模型（邹磊等，2022）、面板 Tobit 模型（刘浩然，2023）、灰色关联分析（吴旭晓，2014）等方法；关于驱动因素的研究内容，学者们主要从经济发展水平、教育投入、科研投入、产业结构、城镇化、经济开放程度、外商投资、环境规制（徐晓光等，2021；马志超等，2022；姚进才和袁晓玲，2023）等驱动要素出发研究其对绿色经济效率的作用机理，除此之外，还有众多学者从数字经济（孔令章和李金叶，2022；尹天宝等，2023）、产业聚集（孙华平等，2022）、金融聚集（朱广印和王思敏，2022）、全球价值链（尹天宝等，2023）等深入剖析。

具体而言，技术创新在供给层提供政府支撑和资金保障，在需求层有利于产品创新和技术升级，使产品先进化、绿色化，显著促进经济绿色发展（石映昕和杨云霞，2023）。经济发展水平是绿色经济效率提升的物质基础和经济前提（钱龙，2018），能够推动绿色经济效率的提升（巩灿娟和张晓青，2020）。城市发展水平通过聚集劳动力、资本等要素，推动生产规模化和高效化，提升绿色经济效率（杨航英和强永昌，2022）；但也不可避免的由于拥堵效应造成资源浪费和供给不足，加剧环境污染，降低绿色经济效率（任阳军和汪传旭，2017；丁玉龙，2021）。人力资本水平的提升能够承担绿色技术研发与应用的智力支撑，增强经济能力和环保意识，促进绿色经济效率的提升（沙依甫加玛丽·肉孜和邓峰，2020）。对外开放水平可以显著加速资本积累，产生的集聚效应可以优化资源配置、更新环保技术，对绿色经济效率产生显著的正向作用（宋晓玲和李金叶，2021），同时拥堵效应也会使社会-经济-生态超负荷，对绿色经济效率产生抑制作用（周杰琦和张莹，2021）。工业发展水平的提高往往是以污染环境和能源消耗为代价，对绿色经济效率产生抑制作用（商思争和许道乾，2022）。

#### 2.1.5 文献述评

通过梳理上述有关绿色经济效率的文献可发现：

绿色经济效率已成为推进可持续发展的新思路,其内涵也随着时代的进步不断丰富和拓展。第一,对绿色经济效率进行准确测度,需要指标和方法的双重支持,就测度指标而言,宏观上较为统一,从投入、期望和非期望产出三部分展开,但微观上存在明显的差异和侧重;就方法而言,目前尚未统一,学者们广泛使用DEA模型的具体拓展。第二,学者们对绿色经济效率的区域不平衡问题已基本达成共识,各区域存在明显差异,但对于区域敛散状况,现有研究仍未达成一致,且收敛性研究大多局限于局部地区。同时,学者们对绿色经济效率的时空演进研究近年来才逐步开始,相关方面的分析和探索存在着较大的研究空间。第三,学者们从不同的角度对绿色经济效率的驱动因素进行研究,部分学者的研究结论针对内容的侧重点而存在差异,这为本文的研究提供了一定的借鉴和参考价值。

纵观上述研究,对绿色经济效率的研究尚存在以下研究空间:

(1) 在绿色经济效率的测度方面:本文在内涵研究和方法分析的基础上,通过多个维度尽可能选取合适的指标构建绿色经济效率并利用客观方法进行测度,充分考虑指标选取的合理性和方法使用的科学性,既要避免指标选取方面出现划分粗糙、变量使用不合理等问题,又要避免测度方法存在测度不准确、结果无效性等问题。

(2) 在绿色经济效率的时空演进分析方面:目前关于相关方面的研究主要集中于局部区域或城市等微观层面,有必要从宏观层面对现阶段绿色经济效率进行总体把握和全面评价,基于此,本文深入研究我国2009-2021年各省份绿色经济效率的区域差距、动态演进和收敛性,并针对各区域的实际情况提出相应的对策建议。

(3) 在绿色经济效率的驱动因素方面:大部分学者基于单一驱动因素对绿色经济效率的影响进行实证检验,所得结论在机制效应和区域差距的影响下存在明显的差异,本文在文献研究和理论分析的基础上,综合选取多个驱动因素,考虑时间效应和空间效应,全面分析其对绿色经济效率的作用方向,深入探析其内在机理,并在此基础上,考虑时间因素和空间因素,更加客观准确的对整体和个体的驱动因素进行研究。

## 2.2 概念界定

### 2.2.1 绿色经济

在绿色经济系统理论不断完善和实践中,通过梳理文献,在顺应时代发展的背景下,本文将绿色经济界定为:以市场为导向,以传统产业经济为基础,以兼顾经济、社会和生态一体化发展的良性发展模式,以维护人类生存环境,合理保护资源和能源,实现经济可持续发展的平衡式经济。

### 2.2.2 绿色经济效率

绿色经济效率是在经济效率基础上的进一步深化,旨在全面评价区域经济的综合效率,在追求经济效率的同时,协调社会公平与生态环境,使经济系统、环境系统和社会系统达到高效和统一。本文认为绿色经济效率是一种综合考虑资源与环境代价后的经济效率,涵盖生态意义、社会意义和经济意义,追求最优的投入产出效果,即消耗最少的资本、劳动、能源和技术等投入,产生最少的环境污染,获得最多的经济、社会和生态产出。

## 2.3 理论基础

### 2.3.1 可持续发展理论

为积极应对环境污染、资源浪费、经济发展形式单一等问题,联合国环境规划署提出“可持续发展”理论,旨在追求经济增长的同时也要关注生态和谐与社会公平,实现社会文明持续性发展。可持续发展兼顾公平性、持续性和共同性,是动态、复杂、开放的系统。其中,公平性是指在经济发展过程中,不能盲目追求速度,要思考经济发展理念背后的困境与挑战,着眼于子孙后代经济社会的发展,提高当代人社会财富的同时兼顾后代人的福利水平;持续性是指经济发展要注重全面性与长远性,遵循各区域资源禀赋状况和环境承受能力,采取合理有效的经济发展方式,协调经济、资源与环境的均衡发展;共同性是指可持续发展的目标应符合国家经济发展状况,追求整体发展和协调发展,最终实现全球可持续发

展的目标。

### 2.3.2 经济收敛理论

经济收敛理论以经济增长理论为基础,在经济发展过程中,相继产生了两种思想,分别为新古典增长理论的收敛观和新经济增长理论的收敛观。新古典增长理论下的经济收敛依赖于“规模效益不变”等五个关键性假设,若假设成立,则表明穷国与富国之间存在着经济收敛,随着市场机制的完善,经济要素趋向于高报酬,进而达到要素收益均衡,地区之间经济差距逐步缩小,经济增长将收敛。但实际生产活动并不与之完全相符,富国越富,穷国越穷的情况多有发生,为此,新经济增长理论下的收敛观更强调经济体系内部力量决定的经济增长,重视人力资本水平、劳动分工专业化、知识外溢等内生方面的研究,经济发达的国家收益递增效应较高,弥补了资本边际收益递减效应,经济增长并未减速,反而加快。经济落后国家的经济发展也并未增速,反而变缓,甚至停滞不前。

### 2.3.3 投入产出理论

投入产出理论用于研究经济系统中各个环节投入与产出间的相互作用和影响,广泛用于经济活动的分析、预测、控制等,帮助企业、政府等制定合理的决策。作为一种科学的分析理论,在生产过程中,投入涉及各种生产要素的消耗和利用,包括有形资产如原材料以及无形资产如劳动力和技术。而产出则是生产活动的结果和分配去向,包括中间产出和最终产品。通过投入和产出的对比分析,可以评估生产活动的效率和成果,为企业决策和资源配置提供依据。随着研究的深入和生产力的发展,投入产出理论不断完善,应用的领域也越来越广泛,在环境污染治理、经济效益测评、社会效益评估等方面都得到了广泛的运用。

## 3 绿色经济效率的测度评价

### 3.1 测度指标选取

#### 3.1.1 指标选取原则

本文充分考虑构建指标体系的科学性、可行性、系统性和区域性，在查阅大量相关文献的基础上，深入阐述绿色经济效率的相关理论，确保指标体系的全面准确、客观可行，不可以偏概全，也不可重复使用，综合构建科学合理的测算指标，既要考虑到投入指标和产出指标，又要考虑到驱动因素指标，避免两者发生混乱。

#### 3.1.2 投入指标选取

在投入指标的选取中，本文综合考量，选择从资本、劳动、技术、能源和土地要素五个方面展开。

在资本要素方面，学者们普遍使用资本存量或固定资产投资额，由于资本存量更能反映地区生产活动投入，本文选用资本存量，测算资本存量最常用的方法是永续盘存法，参考张军（2004）的研究方法，利用如下公式测算我国各区域2009-2021年的资本存量。

$$K_{it} = K_{it-1}(1 - \delta) + I_{it} \quad (1)$$

其中，折旧率 $\delta$ 为9.6%。 $K$ 为资本存量， $I$ 为固定资产形成总额，根据固定资产投资价格指数折算成以2008年为基期的不变价格进行计算。

在劳动要素中，本文充分考虑劳动在人与自然中的重要作用，通过劳动，生产进行得以持续，物质变换得以实现，年末从业人数可以反映实际进行生产经营活动的人员数量，是人类社会生存和发展的基础，能够从宏观上反映一年的劳动力，故本文选取年末实际就业人口数衡量劳动力投入指标。

在技术要素中，衡量指标不尽相同，这也是绿色发展的一种体现，技术发展主要依赖于技术人才和经费支撑，而技术人才和经费支撑通常由R&D人员全时当量和R&D经费内部支出表示，故本文以此衡量技术要素投入。

在能源要素中,能源一直是重要的生产资料,能源消费总量能较为全面的反映各部门多种能源的使用情况,是表征能源消费水平的总量指标,能够一定程度上避免区域间能源结构差异带来的误差,故本文选用折算成标准煤的能源消费总量来衡量。

在土地要素中,国民经济的发展和生产生活的运行依赖于土地的承载和支撑,作为衡量土地要素的指标,建成区面积反映了区域建设用地的规模和大小,故本文选用建成区面积衡量土地投入要素。

### 3.1.3 产出指标选取

在产出指标的选取中,本文从经济、社会和生态效应三个方面表征期望产出,采用环境污染指数表征非期望产出。

在期望产出的指标选取中,部分学者直接选用地区生产总值来表示,没有较好展现出“绿色”特征。本文综合考量绿色经济理论,以“经济-社会-生态”为目标导向,全面衡量。关于经济效益,GDP能够反映各地区经济发展水平,本文根据各地区不同年份GDP平减指数调整为2009年可比价,用实际GDP来衡量;关于社会效应,居民人均可支配收入反映了居民收入水平,是衡量居民生活水平、福祉状况的主要指标,为了全面考量城市和农村的成果,本文选用城镇和农村的居民人均可支配收入来衡量;关于生态效应,基于绿色与环保理念,本文采用建成区绿化覆盖率和生活垃圾无害化处理来衡量。

在非期望产出中,工业生产所产生的废气、废水、废渣污染是我国主要的污染来源,相关数据较为完善,是国家重点检测的对象,故本文采用工业三废来衡量,另外,工业三废间产生的相关性和统计口径的不一致可能会带来一定影响,因此本文采用熵值法对工业三废进行测度,构建环境污染综合指数。

### 3.1.4 指标体系构建与数据说明

基于绿色经济理论,本文在参考已有研究基础上,综合考虑我国各地区的经济增长、社会效益、资源节约、能源利用和环境优化,以期科学准确的对绿色经济效率进行测度,其中,投入指标主要包括资本、技术、能源、土地和劳动要素,

期望产出指标主要包括经济效应、社会效应和生态效应，非期望产出指标用环境污染综合指数表示，具体测度指标体系如表 3.1 所示。

表 3.1 绿色经济效率测度指标体系

指标类型	一级指标	二级指标	单位
投入指标	资本要素	资本存量	亿元
	劳动要素	年末实际就业人口数	万人
	技术要素	R&D 人员全时当量	人年
		R&D 经费内部支出	万元
	能源要素	能源消耗总量	万吨标煤
	土地要素	建成区面积	平方公里
期望产出指标	经济效应	实际 GDP	亿元
	社会效应	城镇居民人均可支配收入	元
		农村居民人均可支配收入	元
	生态效应	建成区绿化覆盖率	%
生活垃圾无害化处理		%	
非期望产出指标	环境污染综合指数 (由熵值法测度)	工业废水排放量	万吨
		工业二氧化硫排放量	万吨
		工业烟尘排放量	万吨

本文以我国内陆 30 个省份（除西藏、港澳台）为研究对象，数据来源于国家统计局、《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、wind 数据库以及各省份统计年鉴等，个别变量中的缺失值以线性插值法补齐。

## 3.2 测度方法研究

### 3.2.1 熵值法

熵值法是颇有代表性的客观赋权法，基于熵权法的客观性，本文按照熵值法对环境污染综合指数进行测度，具体步骤如下：

- 1) 整理原始数据，形成原始数据矩阵

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中， $m$  代表评价对象， $n$  代表评价指标， $x_{ij} (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n)$  代

表第  $i$  个评价指标在第  $j$  个指标中的值。

### 2) 坐标平移和指标比重

标准化处理的数据可能会使数据出现为零或负的情况，需要经过平移处理，通过对矩阵进行平移  $k$ ，得到  $y'_{ij} = x'_{ij} + k$ ，得到比重矩阵  $Y = (y_{ij})_{mn}$

$$Y = \frac{y'_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (3)$$

### 3) 指标信息熵的计算

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (4)$$

其中， $k = \frac{1}{\ln m}$  是非负常数， $0 \leq e_j \leq 1$

### 4) 计算第 $j$ 项指标的信息熵冗余度

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

### 5) 第 $j$ 项的指标权重

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

### 6) 各评价对象的指标得分

$$U_i = \sum_{i=1}^m y'_{ij} \times w_j \quad (7)$$

## 3.2.2 超效率 SBM 模型

与传统 DEA 模型相比较，超效率 SBM 模型能够有效处理投入和产出变量的松弛问题；而与传统 SBM 模型相比较，超效率 SBM 模型又能够改善多个为 1 的决策单元不能有效区别和排序的问题，同时，资源等要素的投入，除了产生期望的经济效应、社会效应和生态效应外，还会不可避免的产生工业废水排放等一些非期望产出。基于此，为了对我国绿色经济效率进行真实而较为准确的测度，本文选择使用超效率 SBM 模型，具体公式如下。

$$\rho = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \frac{\bar{x}}{x_{sk}}}{\frac{1}{r_1+r_2} \left( \sum_{d=1}^{r_1} \frac{y^{-q}}{y_{dk}^q} + \sum_{i=1}^{r_2} \frac{z^{-u}}{z_{ik}^u} \right)} \quad (8)$$

$$s.t. \left\{ \begin{aligned} x_{sk} &\geq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j x_{sj} \\ y_{dk}^q &\leq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j y_{dj}^q \\ z_{ik}^u &\geq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j z_{ij}^u \\ \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j &= 1 \\ \bar{x} \geq x_k, \bar{y}^{-q} \leq y_k^q, \bar{z}^{-u} \leq z_k^u, \bar{y}^{-q} \geq 0, \theta_j &\geq 0 \end{aligned} \right. \quad (9)$$

其中， $\rho$ 为测度的效率值， $x$ 、 $y^q$ 、 $z^u$ 依次为投入、期望产出和非期望产出的要素， $m$ 、 $r_1$ 、 $r_2$ 依次表示这三个要素的个数， $\bar{x}$ 、 $\bar{y}^{-q}$ 、 $\bar{z}^{-u}$ 依次表示这三个要素的松弛变量， $\theta_j$ 为权重向量， $k$ 为决策单位数。

### 3.3 测度结果及评价

根据上述指标体系，本文基于超效率 SBM 模型对我国内陆 30 个省份 2009-2021 年的绿色经济效率进行测度，测度结果如表 3.2 所示。

表 3.2 我国绿色经济效率的测度水平

地区	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
北京	1.21	1.21	1.19	1.19	1.21	1.21	1.22	1.19	1.16	1.16	1.17	1.15	1.14
天津	1.01	1.00	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02
河北	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03
山西	0.39	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.03	1.04	1.04	1.05	1.07
内蒙古	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.04	1.03	1.03	1.04
辽宁	0.23	0.21	0.23	0.25	0.23	0.24	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	0.86
吉林	0.29	0.32	0.36	0.50	0.61	0.61	0.38	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01
黑龙江	0.23	0.25	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.54	0.62	0.79	1.00	0.68	0.52
上海	1.07	1.07	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.14	1.11	1.13	1.15	1.16
江苏	0.47	0.38	0.40	0.36	0.33	0.32	0.35	0.31	0.38	0.42	0.45	1.01	1.12
浙江	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01
安徽	1.01	1.01	1.01	1.00	0.60	0.43	0.34	0.42	0.47	0.49	0.47	0.48	0.48
福建	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

续表 3.2 我国绿色经济效率的测度水平

地区	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
江西	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.02	1.01	1.00	0.47	0.38	0.63	1.30
山东	0.23	0.17	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.20	0.25	0.36	1.00	1.02	1.03
河南	0.21	0.22	0.19	0.23	0.23	0.24	0.39	1.01	1.04	0.44	1.03	1.04	1.02
湖北	0.33	0.32	0.28	0.30	0.32	0.32	0.32	0.68	0.62	0.60	0.57	0.48	0.54
湖南	1.00	0.36	0.33	0.35	0.35	0.38	0.41	0.73	0.57	0.58	0.58	0.63	0.60
广东	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.04	1.02	0.43
广西	0.27	0.23	0.32	0.33	0.44	1.00	1.01	1.04	1.03	1.03	1.02	1.03	1.02
海南	1.67	1.68	1.66	1.62	1.71	1.66	1.64	1.52	1.51	1.47	1.45	1.41	1.42
重庆	0.32	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.49	0.45	0.44	0.44	0.48	0.50
四川	0.18	0.18	0.22	0.21	0.22	0.21	0.24	0.37	0.41	0.43	0.39	0.40	0.41
贵州	0.35	0.35	0.38	0.42	0.42	0.42	0.43	0.34	0.32	0.31	0.36	0.43	0.42
云南	1.00	0.35	0.34	1.00	1.01	1.01	0.38	0.29	0.45	0.45	0.48	0.53	0.48
陕西	0.32	0.29	0.31	0.31	0.32	0.31	0.29	0.33	0.35	0.38	0.36	0.41	0.53
甘肃	0.23	0.25	0.26	0.29	0.30	0.31	0.30	0.32	0.35	0.38	0.39	0.45	0.46
青海	1.17	1.17	1.18	1.21	1.16	1.20	1.26	1.26	1.19	1.32	1.29	1.31	1.30
宁夏	1.03	1.06	1.02	1.02	1.03	1.02	1.03	1.03	1.02	1.03	1.04	1.05	1.08
新疆	0.45	0.60	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.03	1.03	1.04	1.06	1.09
均值	0.69	0.67	0.69	0.72	0.72	0.73	0.74	0.81	0.82	0.82	0.84	0.87	0.87

### 3.3.1 总体评价

总体而言，我国各地区的绿色经济效率存在着明显的差距，且随着绿色发展理念的推动，绿色经济效率也在逐年提升。

从时间层面来看，2009-2021年的绿色经济效率总体呈现上升趋势，效率值从0.69增长到0.87，这说明随着绿色发展理念的逐步推动和持续深化，我国越来越重视经济效率与资源利用和环境污染，不断致力于经济与环境的协同发展。

从地区层面来看，绿色经济效率最高的是海南，作为旅游胜地，海南自然生态环境良好，始终致力于在生态优先的基础上实现经济的稳步健康发展；其次经济效率最高的是青海，作为全国乃至全世界的生态引擎，青海属于低能耗、低排放模式，生态环境质量高，生态效益好；再次绿色经济效率最高的是上海和北京，作为经济的繁华地区，上海和北京占据了更为丰富的资本、人才和技术优势，在发展的过程中更有能力去平衡经济、环境和资源，最终实现了较高的绿色经济效率；其次是宁夏、河北、内蒙古、福建、天津等地区，值得注意的是，宁夏、新疆和青海的绿色经济效率位居前列，这些地区地理位置偏远，经济相对落后，究

其原因,很有可能是这些地区地域辽阔,资源丰富,工业发展程度不高,使得其环境污染程度较低,绿色经济效率相对较高;江苏、黑龙江、湖北、重庆、山东、贵州、陕西、甘肃和四川效率较低,究其原因,很有可能是这些地区经济增长出现了失衡,过度看重经济发展,而忽视了环境和资源的重要性。

### 3.3.2 时序变化评价

为清晰直观地看出 2009-2021 年我国各区域绿色经济效率的趋势情况,将我国绿色经济效率根据测度结果的变化趋势分为 6 种类型,具体如表 3.3 所示。

表 3.3 我国各区域绿色经济效率分组情况

类型	地区
稳定型	北京、上海、浙江、福建、天津、河北、宁夏、内蒙古
波动上升型	吉林、河南、山西、青海、新疆、山东、江苏、 重庆、陕西、广西、四川、甘肃
波动下降型	海南, 广东
持续波动型	云南、湖南、湖北
先升后降型	黑龙江、辽宁
先降后升型	安徽、江西、贵州

由表 3.3 可得,绝大部分省份的绿色经济效率处于稳定型和波动上升型,我国绿色经济效率总体在不断提升和进步。

东部地区绿色经济效率发展更为平稳,北京等六个省份处于稳定型,这些地区在经济发展和环境保护等方面都很均衡,海南虽处于波动下降型,但波动趋势较为平缓,从 2009 的 1.67 下降到 2021 年的 1.42,下降了 0.25,仍居于最高水平,广东 2009-2020 年一直较为平稳,2021 年呈现一定程度的下降,从 2020 年的 1.02 下降到 2021 年的 0.43,山东和江苏处于上升型,经济发展的同时能够高效利用资源,充分保护环境。

中部地区绿色经济效率的类型存在明显的差异,其中最为明显的是湖北和湖南,属于持续波动型,这两个地区绿色发展呈现多个升降趋势,波动状态不规律,其绿色经济效率的提升策略还处于探索阶段。除此之外,安徽和江西属于先降后升型,这两个省份绿色经济效率的提升策略有见成效,虽存在一定滞后,但终会走上可持续发展道路。

西部地区绿色经济效率总体来说较为平稳,内蒙古和宁夏属于稳定型,陕西、广西、四川、甘肃、青海、新疆、重庆属于上升型,这类地区逐步认识到过度追求经济发展,忽视资源浪费和污染排放的严重性,开始平衡经济与环境,使得绿色经济发展效率逐步上升。除此之外,贵州在小幅度内先降后升,云南波动幅度较大,从2009-2015年,经历了两次大幅度下降和一次大幅度上升,最后开始稳步上升,由初期探索到步入正轨,云南逐步找到了适合自身发展的绿色经济之路。

东北地区处于上升趋势,吉林从0.29下降到1.01,黑龙江从0.23增长到2019年的1.00,后又逐步下降到0.52,辽宁从2009年的0.23波动增长到2019年的1.01,后又逐步下降到0.86,虽黑龙江和辽宁上升稳定后出现一定的下降趋势,但总体上东北三省呈现波动复苏趋势,经济运行的内生动力和韧性不断增强。

### 3.3.3 空间分布评价

我国各省份地理边界规则不一、邻近省份复杂多样,随着社会经济的逐步发展,区域间联系密切,某地区的绿色发展水平往往会依赖周边地区,尤其在特定区域经济政策的引导下,地区间的绿色发展水平会存在一定的空间依赖性(郭付友等,2022),因此本文采用通过全局和局部莫兰指数来分析各省份间绿色经济效率的相关性特征,如表3.4。

表 3.4 2009-2021 年我国绿色经济效率 Moran's I

年份	Moran's I	Z(I)	p-value	年份	Moran's I	Z(I)	p-value
2009	0.094	1.140	0.127	2016	0.206	2.132	0.016
2010	0.191	2.004	0.023	2017	0.230	2.343	0.010
2011	0.197	2.055	0.020	2018	0.028	0.015	0.004
2012	0.141	1.550	0.061	2019	0.287	2.847	0.002
2013	0.181	1.918	0.028	2020	0.330	3.237	0.001
2014	0.211	2.180	0.015	2021	0.105	1.230	0.109
2015	0.266	2.660	0.004	—	—	—	—

由表3.4可得,我国绿色经济效率的全局莫兰指数除2009年和2021年外均通过了显著性检验,Moran's I值一直为正,表明我国绿色经济效率存在空间溢出效应,且2010-2020年空间正向关联性逐步加强,并具有一定的波动状态。

为进一步探究我国各区域间可能存在的局部不稳定,本文采用局部空间自相关分析各省绿色经济效率的空间异质性,鉴于篇幅有限和 Moran's I 值的特点,本文选取 2010、2015 和 2020 年绘制 Moran's I 散点图,如图 3.1 所示。

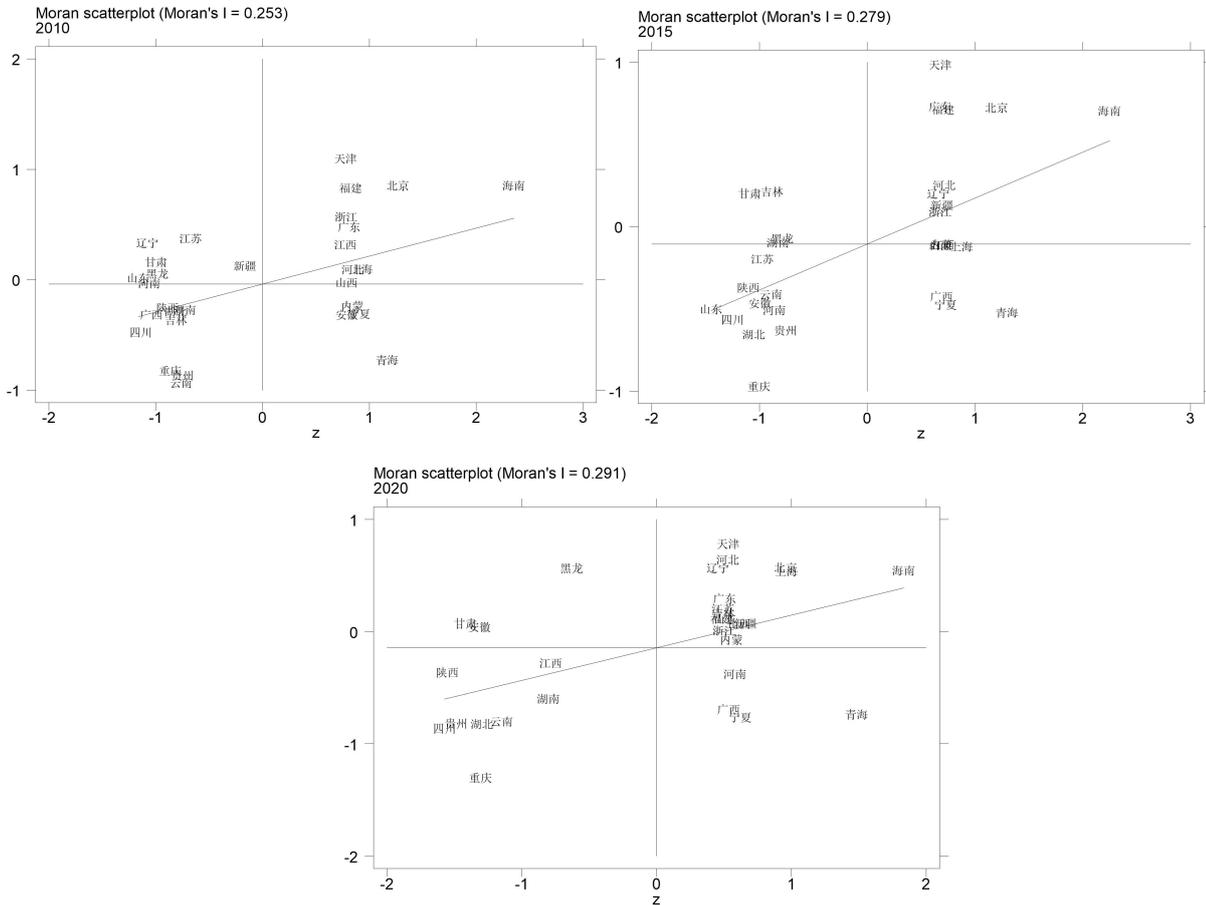


图 3.1 2010、2015 和 2020 年局部 Moran's I 散点图

根据图 3.1 的局部 Moran's I 散点图绘制我国 2010、2015 和 2020 年绿色经济效率局部空间聚类表,如表 3.5 所示。

表 3.5 我国 2010、2015 和 2020 年绿色经济效率局部空间聚类表

年份	高高 (H-H)	低高 (L-H)	低低 (L-L)	高低 (H-L)
2010 年	北京、海南、广东、浙江、福建、天津、河北、江西、浙江、山西 (10)	辽宁、江苏、黑龙江、甘肃、河南、山东、新疆 (7)	云南、重庆、湖北、四川、陕西、贵州、湖南、吉林、广西、(9)	宁夏、青海、内蒙古、安徽 (4)
2015 年	北京、海南、广东、浙江、福建、天津、河北、辽宁、江西、新疆、上海、内蒙古、山西 (13)	吉林、黑龙江、甘肃、湖南 (4)	云南、重庆、湖北、四川、陕西、贵州、江苏、安徽、山东、河南 (10)	宁夏、青海、广西 (3)
2020 年	北京、海南、广东、浙江、福建、上海、天津、河北、辽宁、内蒙古、江苏、新疆、山西、吉林、安徽 (15)	甘肃、黑龙江、湖南 (3)	云南、重庆、湖北、四川、陕西、贵州、湖南、江西 (8)	宁夏、青海、河南、广西 (4)

由表 3.5 可得，总体而言，我国高高集聚区 (H-H) 由 2010 年的 10 个地区发展到 2020 年的 15 个地区，低低集聚区 (L-L) 由 2009 年的 9 个地区发展到 2020 年的 8 个地区，说明我国绿色经济效率空间上呈现越来越强的关联性，各地区周边辐射带动作用逐步增强。

具体而言，高高集聚区 (H-H) 表明各区域与相邻地区的绿色经济效率都较高，大部分地处于东部，北京、海南、广东、浙江、福建等经济发展水平较高，交通便利，设施齐全，可以发挥良好的空间溢出效应，以自身较高的绿色经济效率带动周边地区；低高集聚区 (L-H) 表明各区域绿色经济效率较低，但是相邻地区发展水平较高，这些地区存在着很大的发展潜力，比如经常居于此区位的甘肃、黑龙江、湖南。如果各区域能积极应对工业拓展、产业转移等带来的环境污染与资源破坏，有效利用空间扩散效应，有望跃迁至高高集聚区 (H-H)，比如辽宁；低低集聚区 (L-L) 表明各区域与相邻地区的绿色经济效率都较低，这些地区大多数以资源密集型产业为主，对资源依赖性强，技术水平有所欠缺，绿色经济效率排名靠后，脱离低低集聚区仍需要进一步优化产业、进行可持续发展、实现人与自然和谐共生的现代化；高低集聚区 (H-L) 表明各区域绿色经济效率较高，但是相邻地区发展水平较低，宁夏、青海等省份环境污染较少、资源较为丰富，使得自身绿色经济效率较高，但其经济发展水平较为落后，一定程度上难以带动周边地区，这些地区周边区域辐射带动作用较弱，存在较大的提升空间。

## 4 绿色经济效率的时空演进分析

通过对绿色经济效率测度结果时空特征方面的分析,可以发现我国各区域存在着明显的差异,基于此,本文从“区域差异研究-动态演进研究-收敛趋势研究”三个方面对我国绿色经济效率展开详细分析。首先,对东部、中部、西部和东北绿色经济效率发展趋势的客观存在情况进行研究,进一步利用 Dagum 基尼系数分解法对总体区域差距进行研究,并对其来源进行分解,精确了解各差异的贡献度。其次,在宏观视角上,利用核密度分析和 GIS 可视化分析研究我国绿色经济效率的整体分布形态的演变规律;在微观视角上,利用马尔科夫转移矩阵详细阐述我国各省份绿色经济效率的动态信息和演进状况。最后,立足于绿色经济均衡化、协调化发展目标,进一步探究绿色经济效率差异随时间推移趋于收敛的可能性,通过  $\alpha$  收敛和  $\beta$  收敛来探索检验我国绿色经济效率的收敛态势和演进趋向。具体逻辑框架如图 4.1 所示。

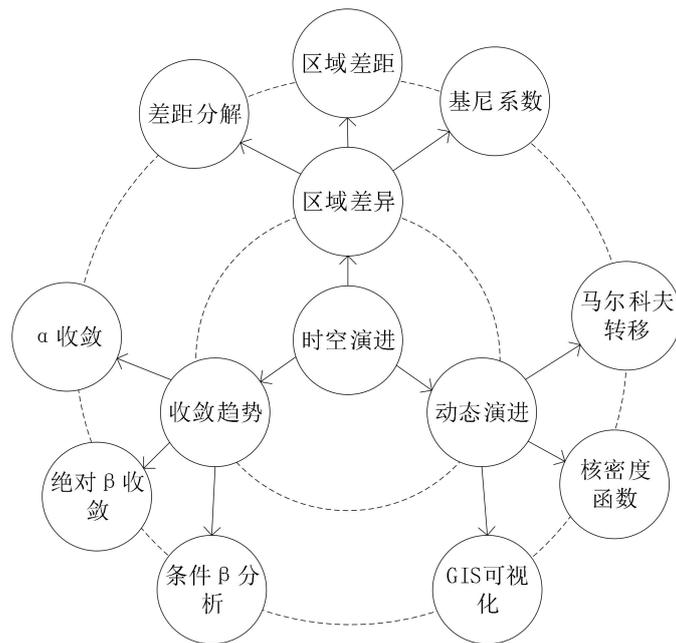


图 4.1 我国绿色经济效率时空演进的框架思路图

## 4.1 绿色经济效率的区域差距研究

### 4.1.1 区域时空差异研究

按照国家统计局公布的划分办法将全国分为东部、中部、西部和东北四大地区<sup>①</sup>，为研究我国四大地区绿色经济效率的内在差异和变化趋势，并深入挖掘其深层原因，本文在测度结果的基础上制作了表格并绘制了折线图，如表 4.1 所示。

表 4.1 我国四大地区绿色经济效率测度水平

地区	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
东部	0.976	0.961	0.955	0.946	0.954	0.949	0.952	0.942	0.952	0.963	1.032	1.084	1.037
中部	0.658	0.654	0.641	0.654	0.587	0.566	0.580	0.811	0.789	0.704	0.679	0.719	0.834
西部	0.580	0.528	0.578	0.649	0.658	0.714	0.664	0.680	0.694	0.712	0.713	0.742	0.756
东北	0.252	0.262	0.282	0.348	0.390	0.406	0.602	0.849	0.879	0.936	1.004	0.899	0.796

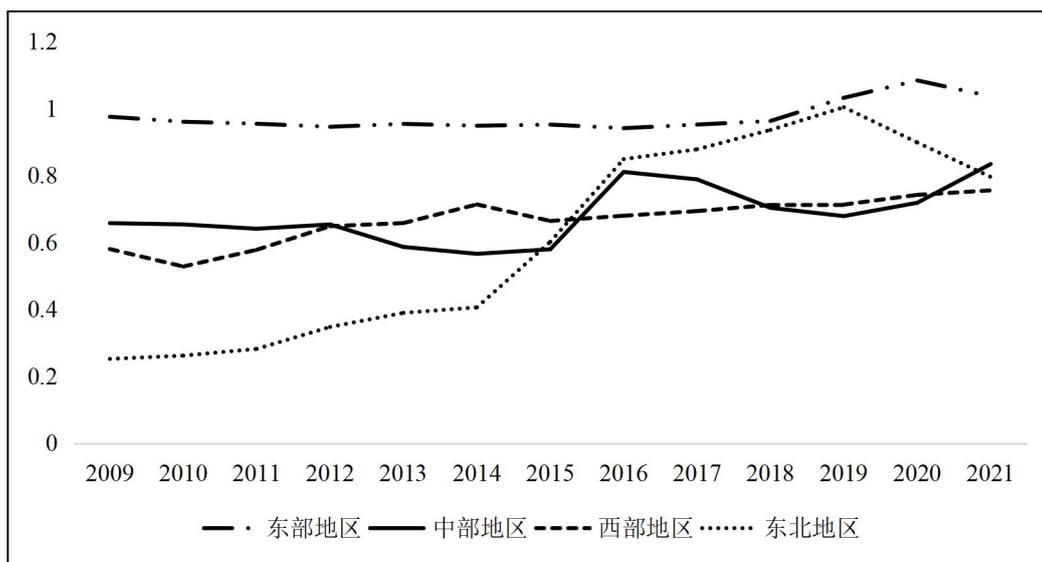


图 4.2 我国四大地区 2009-2021 年绿色经济效率变化趋势

由表 4.1 和图 4.2 可得，东部地区绿色经济效率位居首位，东北地区位居末位，中部地区和西部地区排名第二和第三。由变化趋势图可得，我国四个区域的绿色经济效率值总体上呈现上升的趋势，东部地区变化趋势较为平稳，西部和中

<sup>①</sup> 东部包括：北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南。中部包括：山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南。西部包括：内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。东北包括：辽宁、吉林和黑龙江。

部地区的效率值则在曲折中不断提升，变化幅度最为明显的是东北地区，其从 2014 年实现了绿色经济效率的大幅度提升。东三省为我国老工业区，主要支柱为钢铁和石油化工等重工业，其环境生态效率不甚理想，历史发展策略聚焦于发展重工业，但对环境污染抑制并未予以足够重视，引发了资源和环境极大损害。为实现绿色经济高效发展，东三省亟须加大环境治理力度，实现经济和生态的良性互动，转变经济发展模式，推动产业结构升级。

究其原因，东部地区地理位置优越，发展更是遥遥领先，更加注重节能环保技术的引进和开发，不断推动绿色发展，实现了绿色经济效率的稳步前进。中部地区经济基础薄弱，在“中部崛起”的推动下寻求新的发展出路，但其引进产业大多数耗能高、排放大，使得环境污染日趋严重。而西部地区虽发展较为落后，但稀疏的产业造成的环境污染小，使得前期绿色经济效率位居第三。作为老工业基地，东北地区曾经掌握着工业命脉，重工业生产使其资源消耗、环境污染，绿色经济效率低下，随着传统行业发展缓慢，东北也进入消沉期，但东北地区沿边沿海，区位条件非常优越，工业基础极为完善，随着东北老工业振新的崛起，东北地区凭借先天优势不断发展，积极推动产业结构改造升级和绿色质量提升，尤其是 2013 年新一轮工业振兴的赋能，使得东北地区可持续发展实现了突破，后期绿色经济效率持续上升，超过中部和西部地区。

#### 4.1.2 区域差距及其来源研究

##### (1) 基尼系数法介绍

Dagum 基尼系数广泛应用在区域间或区域内的差距测度上，并且在处理非平衡性问题、组间突变因素问题上要优于泰尔指数方法。本文采用 Dagum 基尼系数法分解测算我国绿色经济效率，整体分析各省之间的差距同时探讨差距形成的原因，根据下式可计算出我国绿色经济效率的基尼系数  $G$ 。

$$G = \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}| / 2n^2 \bar{y} \quad (10)$$

$$G_{jj} = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| / 2\bar{y}_j n_j^2 \quad (11)$$

$$G_{jh} = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}| / n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h) \quad (12)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (13)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (14)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (15)$$

其中， $k$  表示划分区域个数， $n_j(n_h)$  表示第  $j(h)$  区域内包括的省份数量， $y_{ji}(y_{hr})$  分别为  $j(h)$  区域内各省的效率值， $\bar{y}$  为效率水平的均值。将基尼系数分解为区域内和区域间贡献，分别为  $G_{jj}$  和  $G_{jh}$ ， $G_w$ 、 $G_{nb}$  和  $G_t$  分别表示区域内差异贡献、区域间差异贡献和超变密度贡献。

### (2) 总体区域差距分析

文本基于已有数据，利用 Dagum 基尼系数分解法对我国绿色经济效率的总体区域差距进行研究，并按东部、中部、西部和东北地区划分，以对我国总体区域差距的来源进行分解，精确了解各差异的贡献度，深入挖掘内在原因，结果如表 4.2 所示。

表 4.2 总体区域差距及其来源分解表

年份	总差距	区域内差异				贡献度 (%)		
		东	中	西	东北	区域内差距	区域间差距	超变密度
2009	0.324	0.191	0.278	0.342	0.058	24.408	53.138	22.454
2010	0.339	0.206	0.283	0.354	0.097	24.034	54.242	21.724
2011	0.327	0.206	0.302	0.328	0.103	24.677	49.906	25.418
2012	0.304	0.206	0.285	0.309	0.161	25.913	42.702	31.384
2013	0.306	0.216	0.297	0.295	0.218	25.917	45.001	29.081
2014	0.297	0.213	0.297	0.277	0.200	26.048	44.948	29.005
2016	0.233	0.197	0.145	0.286	0.122	27.855	31.982	40.163
2017	0.219	0.183	0.163	0.260	0.098	27.713	33.768	38.519
2018	0.219	0.163	0.180	0.266	0.054	27.076	34.859	38.065
2019	0.203	0.104	0.205	0.259	0.002	24.839	48.799	26.361
2020	0.181	0.049	0.176	0.240	0.083	22.630	53.073	24.297
2021	0.196	0.106	0.203	0.232	0.137	25.644	37.546	36.809

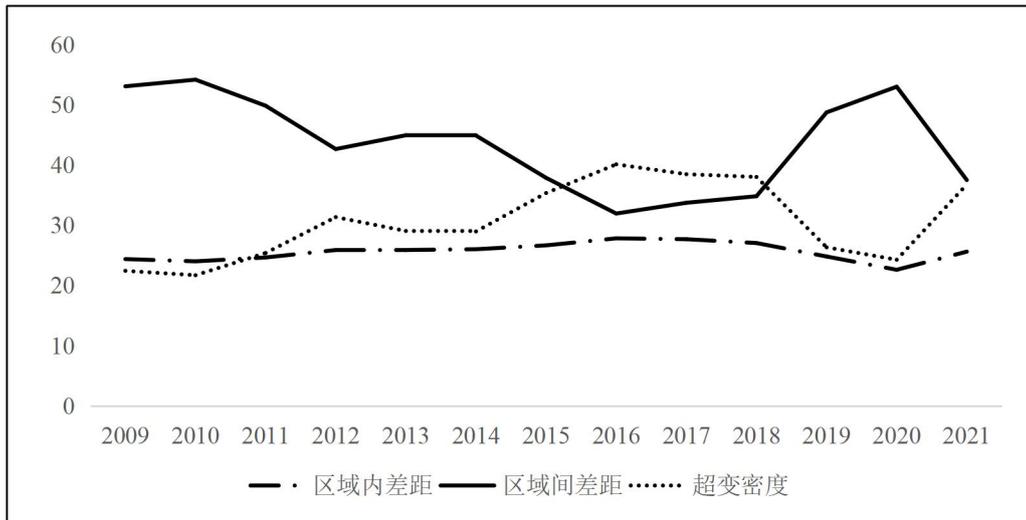


图 4.3 我国绿色经济效率的区域差距动态变化趋势

由表 4.2 和图 4.3 可得,我国绿色经济效率总体差异主要来源于区域间差距,区域间差距对总体差距的贡献率为 31.982%-54.242%,平均贡献率为 43.683%,贡献率较大,变动情况较为不稳定,从 2009 年开始逐步下降到 31.982%,后从 2016 年开始逐步上升到 2020 年的 53.073%,紧接着下降到 2021 年的 37.546%,这反映了综合水平区域间差距的变化态势是在波动中逐渐缩小的;而区域内差距对总体差距的贡献率为 22.630%-27.855%,平均贡献率为 25.649%,对总体差异的贡献最小,变动情况也相对平稳,无明显波动;区域间超变密度的贡献率处于中等水平,在 21.724%-40.163%波动,这说明区域间交叉项存在问题对我国绿色经济效率的总体差距产生了一定的影响。

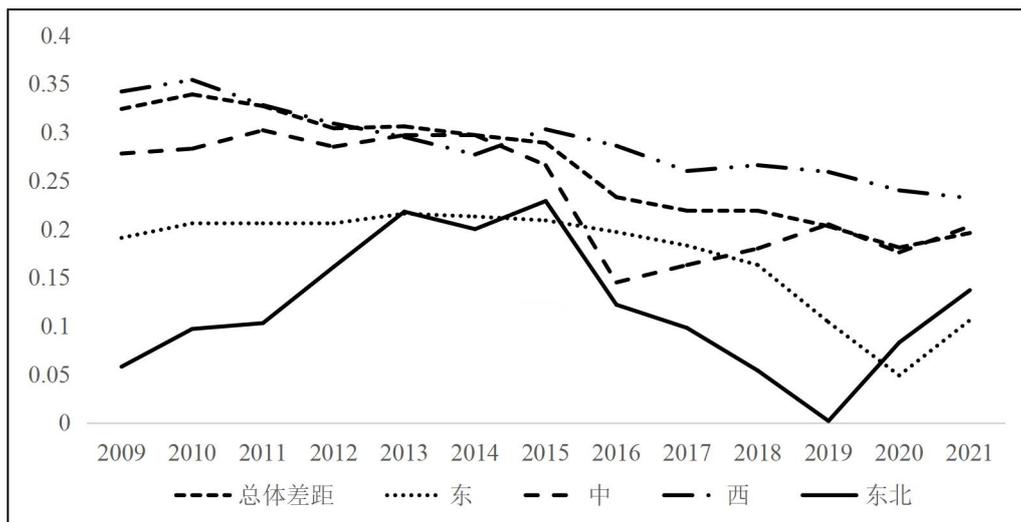


图 4.4 我国绿色经济效率的总体差距及区域内差距

由表 4.2 和图 4.4 可得，从总体发展状况来看，Dagum 基尼系数呈现出波动下降态势，从 0.324 下降到 0.196，说明我国绿色经济效率的总体区域差距有缩小的趋势。从区域发展状况来看，四大地区差距明显，西部地区差距最大，基尼系数均值达到了 0.289，其次是中部地区，基尼系数均值达到了 0.237，再次是东部地区，基尼系数均值达到了 0.173，最后是东北地区，区域差距最小，基尼系数均值达到了 0.120，但波动幅度较大，从 2009 年开始，东北地区基尼系数由 2009 年的 0.058 上升到 2015 年的 0.229，区域差异性逐渐加剧，随着东北三省绿色经济效率的逐步提升和不断发展，2015 年开始，东北地区基尼系数呈现明显的下降态势，并于 2019 年下降到 0.002，此时区域差距缩小到最小状态，随后又开始差距拉大，基尼系数开始增加。值得注意的是，2015 年开始，各区域差距都呈现出明显的缩小趋势，此时各区域开始重视生态环境问题，关注绿色经济发展，促进我国经济可持续发展。

### (3) 区域间差距分析

为了深入了解我国不同区域之间绿色经济效率的差异，本文对东-中、东-西、东-东北、中-西、中-东北和西-东北进行基尼系数区域间差异分析。

表 4.3 我国绿色经济效率的区域间差距

年份	东-中	东-西	东-东北	中-西	中-东北	西-东北
2009	0.240	0.298	0.297	0.325	0.337	0.356
2010	0.251	0.323	0.307	0.338	0.336	0.353
2011	0.258	0.302	0.303	0.324	0.342	0.336
2012	0.251	0.278	0.289	0.302	0.316	0.325
2013	0.275	0.276	0.290	0.299	0.302	0.312
2014	0.279	0.258	0.284	0.293	0.293	0.302
2015	0.269	0.276	0.244	0.297	0.257	0.295
2016	0.193	0.262	0.189	0.248	0.142	0.261
2017	0.191	0.241	0.172	0.234	0.146	0.238
2018	0.197	0.232	0.145	0.245	0.166	0.237
2019	0.175	0.207	0.086	0.246	0.177	0.226
2020	0.134	0.177	0.065	0.224	0.162	0.219
2021	0.156	0.193	0.129	0.225	0.189	0.219

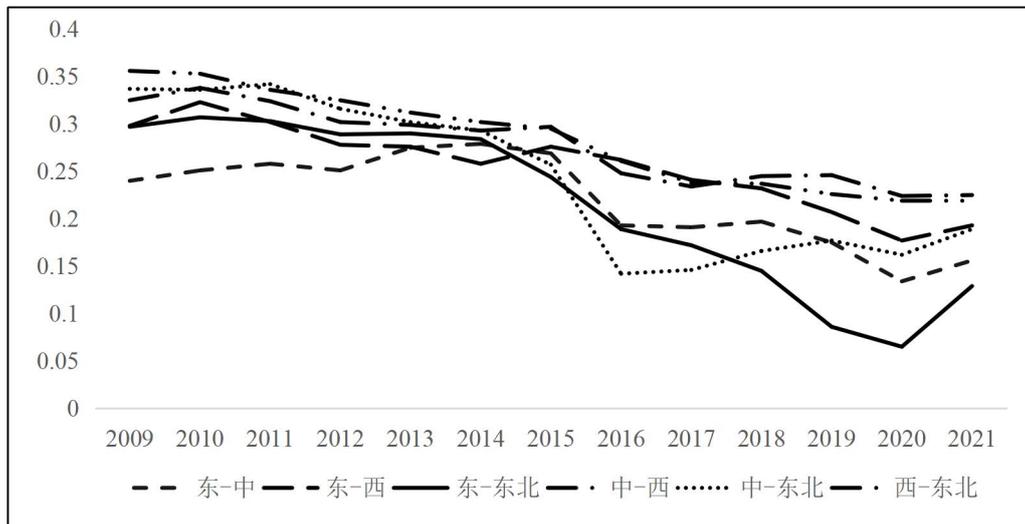


图 4.5 我国绿色经济效率的区域间差距变化趋势图

由表 4.3 和图 4.5 可知，整体而言，各区域间差距较为均衡，并未出现大幅度差异，且变化趋势较为相似，从 2009-2021 年基尼系数呈现波动下降态势，可见区域协调发展一直在稳步推进，区域间差距也在逐步缩小。具体而言，西-东北、中-西区域间差距较大，变化趋势相似，基尼系数均值分别为 0.283、0.277，东-中、东-东北区域间差距较小，基尼系数均值分别为 0.221、0.215，其中变化趋势最为明显的是东-东北和中-东北，东-东北的基尼系数从 2010 年的 0.307 下降到 2020 年的 0.065，差距缩小幅度最为明显，中-东北的基尼系数从 2019 年的 0.337 下降到 2016 年的 0.142，后又逐步上升到 2021 年的 0.189。值得注意的是，各区域基尼系数在 2020 年均呈现一定的上升趋势，区域差距在一定程度上被拉

大，究其原因，很有可能是受新冠疫情的影响，我国整体绿色经济效率发展受到巨大打击，不论是全国还是各区域，在 2021 年区域差距均呈现明显上升趋势。

## 4.2 绿色经济效率的动态演进研究

### 4.2.1 基于核密度分析的动态演进研究

为深入分析我国绿色经济效率的动态演进趋势，本文用 MATLAB 软件绘制我国各个时期绿色经济效率的核密度图，展示其分布动态，如图 4.6 所示。

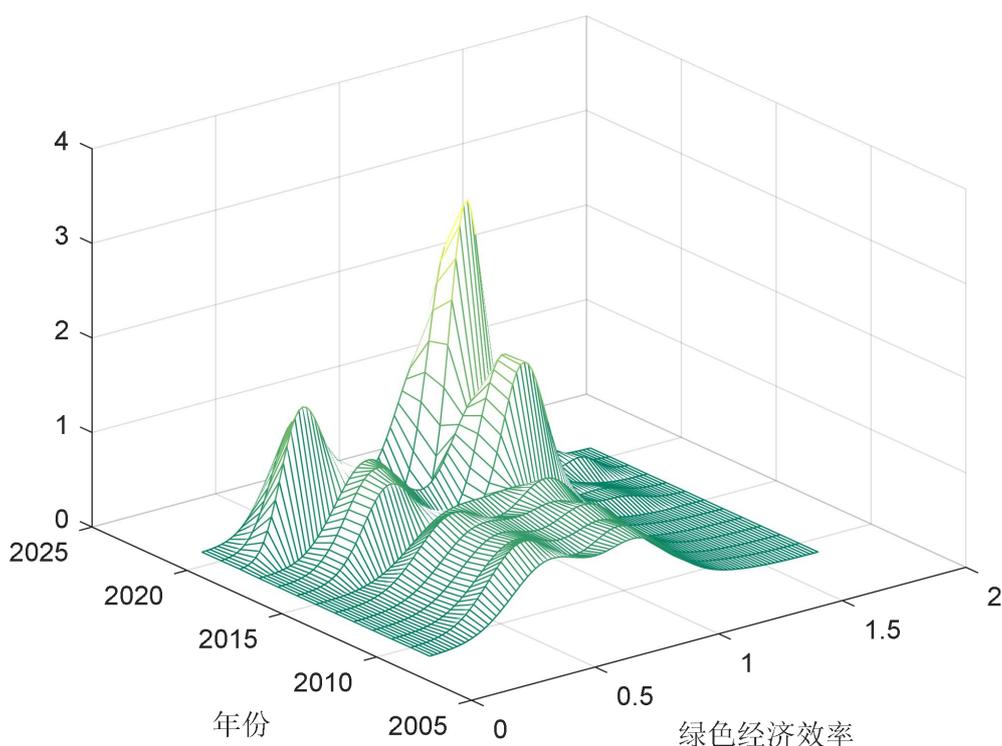


图 4.6 我国绿色经济效率的分布动态

由图 4.6 可得，我国绿色经济效率总体呈现向右偏移态势，表明我国绿色经济效率逐步上升，整体上呈现良好的势头，党的十八大以来，我国积极走绿色发展道路，经济发展的“含绿量”显著提升；从分布形态来看，右拖尾存在逐年缩短的现象，且主峰宽度逐渐缩小，高度不断上升，表明我国各区域的绿色经济效率差距逐步减小；从峰值数来看，核密度图呈现双峰状态，表明我国绿色经济效率呈现两极分化的现象，这是因为我国各个地区地理位置、资源环境和经济发展不尽相同，使得绿色经济效率存在一定的差异。总体而言，我国绿色经济效率整体

呈现上升趋势，且在某些方面存在一定的波动性和不稳定性。

为进一步探索各个区域的分布形态、极化现象及动态发展趋势，本文深入分析东、中、西和东北地区绿色经济效率的动态演化特征，如图 4.7 所示。

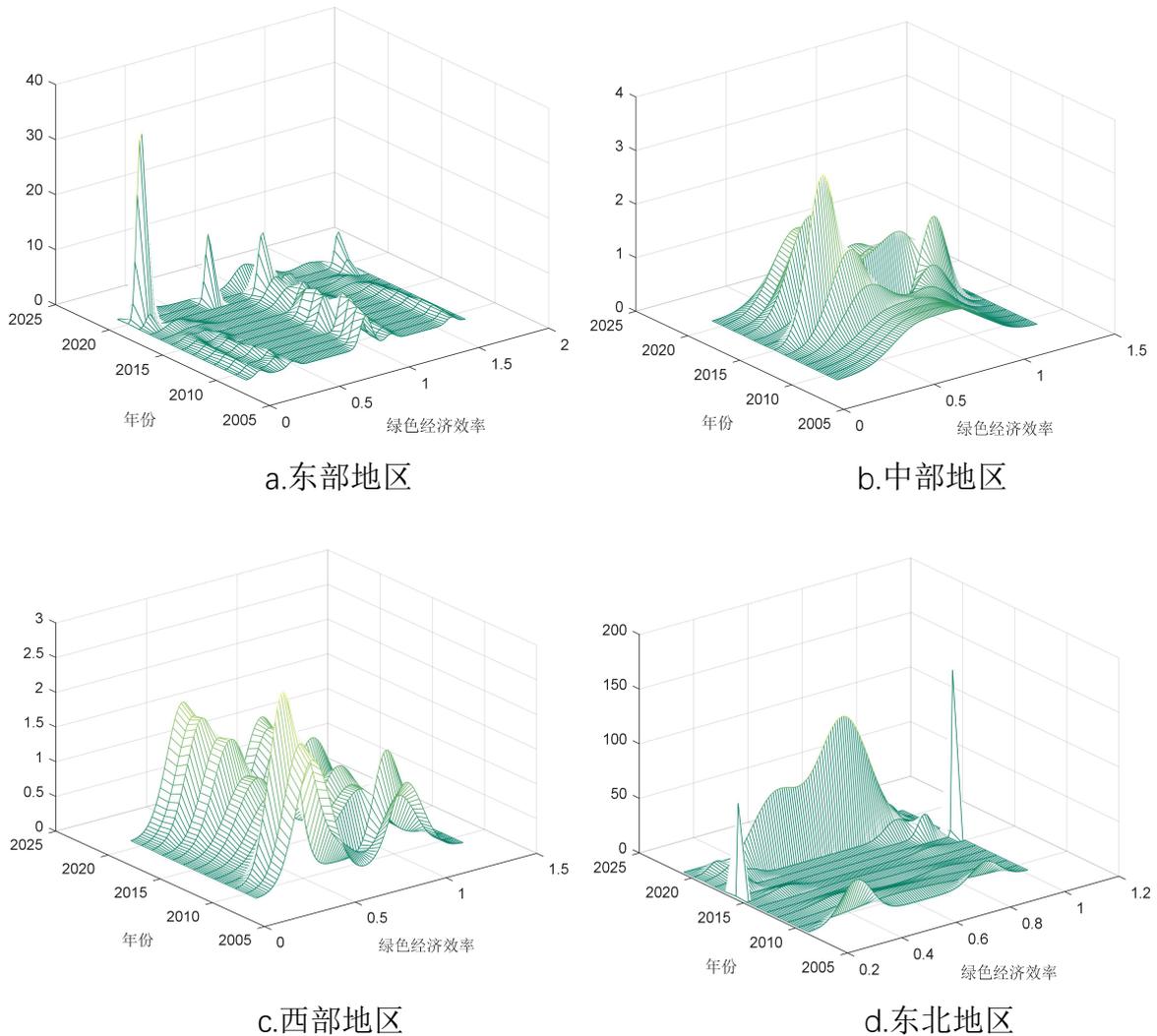


图 4.7 各区域绿色经济效率的分布动态

由图 4.7 可得，各区域绿色经济效率分布动态呈现显著差异。东部地区 2009 年到 2018 年分布形态较为均衡，主峰基本趋于一致，可见东部地区这段时间绿色经济效率较为平稳，从 2019 年开始主峰发生明显改变，呈现向左移动趋势且峰值不断上升，主峰位高度上升宽度变窄，于 2020 年达到最高峰值，2021 年开始趋于稳定水平，东部地区绿色经济效率差异逐步缩小；中部地区由前期的单峰向后期的双峰状态变动，说明我国中部地区绿色经济效率出现极化现象，随着绿色发展水平的提升，个别省份效率值处于领先地位，主峰位呈现先上升后下降态

势；西部地区一直呈现双峰状态，绿色经济效率存在明显的极化现象，主峰位先下降后上升，后期主峰宽度缩小，表明西部地区绿色经济效率的绝对差异进一步缩小；东北地区前期基本处于无峰状态，说明这段时期东北三省绿色经济效率不存在极化现象，后期开始呈现单峰或双峰状态，主峰位宽度扩大，此时东北三省绿色经济效率逐步提升，某些年份存在极化现象，绿色经济效率差异有扩大趋势。

#### 4.2.2 基于马尔科夫转移矩阵分析的动态演进研究

核密度曲线能够阐述效率分布的非均衡特征，但无法具象化演绎各区域效率的转移变化。因此，本文基于马尔科夫转移矩阵分析绿色经济效率的动态信息，分析其转移特征，揭示其演进规律，结果如表 4.4 所示。

表 4.4 我国绿色经济效率的马尔科夫转移概率矩阵

	I	II	III	IV	观测值
I	0.745	0.226	0.028	0.000	106
II	0.188	0.584	0.218	0.010	101
III	0.000	0.102	0.684	0.214	98
IV	0.000	0.000	0.105	0.895	95

由表 4.4 可得，对角线上的转移概率均大于非对角线上的，说明绿色经济效率不同等级间较稳定，存在“俱乐部趋同”现象。具体来看，低水平区 1 年后维持原等级的概率为 74.5%，中低水平等级的地区为 58.4%，中高水平等级的地区为 68.4%，高水平等级的地区为 89.5%，可见，在任意相邻年份我国绿色经济效率类型不改变的可能性至少为 58.4%， $P_{I,I}$  和  $P_{IV,IV}$  明显大于  $P_{II,II}$  和  $P_{III,III}$ ，且在全表中概率值最大，说明处于最低水平和最高水平的转移概率最大，低水平和高水平趋同的俱乐部现象更明显。同时，低、中低和中高水平在相邻年份向上跃迁的可能性分别为 22.6%、21.8% 和 21.4%，可见绿色经济效率的提升是一个循序渐进的长期发展过程，不同等级都面临着一定困难，难以在短时间内实现“跳跃式”转移。中低、中高和高水平向下转移一级的可能性分别为 18.8%、10.2% 和 10.5%，说明绿色经济效率的提升存在一定的等级下降风险。因此，各地区要积极维持现有绿色发展成果，避免绿色经济效率发生向低水平转移的风险，努力实现等级上

移。

由上文可得，我国绿色经济效率存在空间溢出效应，因此本文充分考虑空间因素，建立我国绿色经济效率的空间马尔科夫转移概率矩阵，如表 4.5 所示。

表 4.5 我国绿色经济效率的空间马尔科夫转移概率矩阵

滞后类型	t/t+1	I	II	III	IV	观测值
I	I	0.889	0.083	0.028	0.000	36
	II	0.250	0.500	0.250	0.000	20
	III	0.000	0.091	0.545	0.364	11
	IV	0.000	0.000	0.500	0.500	4
II	I	0.700	0.300	0.000	0.000	60
	II	0.173	0.654	0.173	0.000	52
	III	0.000	0.156	0.594	0.250	32
	IV	0.000	0.000	0.211	0.789	19
III	I	0.500	0.300	0.200	0.000	10
	II	0.172	0.517	0.276	0.034	29
	III	0.000	0.074	0.759	0.167	54
	IV	0.000	0.000	0.060	0.940	67
IV	I	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	II	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	III	0.000	0.000	1.000	0.000	1
	IV	0.000	0.000	0.000	1.000	5

由表 4.5 可得，不同空间滞后状态下各转移概率矩阵均不同，说明在不同区域背景下绿色经济效率的空间溢出效应强度不同。表中对角线上的转移概率均大于非对角线上的，说明在空间溢出效应下绿色经济效率保持原有状态的可能性是最大的。此外，对角线两侧都有非零转移概率，说明绿色经济效率发展不稳定，存在一定的向下转移风险，实现理想状态下的向上转移也只限于相邻类型，难以进行跨级跃迁。具体来看，不同空间滞后状态对绿色经济效率状态转移的影响具有差异性。某地区被高水平省份包围，其向高水平转移的可能性就会越大，例如低水平地区的绿色经济效率向上转移的可能性为 22.6%，当其被中等水平包围时，其向上转移的可能性就变成了 30%。同时，同一滞后类型对不同等级的影响也不同。比如在中高水平滞后条件下，低、中低和中高水平实现向上转移一级的可能性分别为 30%、27.6%和 16.7%，呈现逐步下降的趋势，说明转移概率还会受到绿色经济效率初始等级的影响。

### 4.2.3 基于 GIS 可视化分析的动态演进研究

为全面分析和掌握我国省域层面的绿色经济效率的时空演变特征,清晰地反映出我国绿色经济效率在时间和空间上的分布差异和演变态势,对科学合理地制定绿色发展相关政策具有重要的指导意义。本文利用 Arcgis10.8 的自然断点法,分别绘制了我国内陆 30 个省份 2009 年、2013 年、2017 年和 2021 年的绿色经济效率时空演变图,如图 4.8 所示。

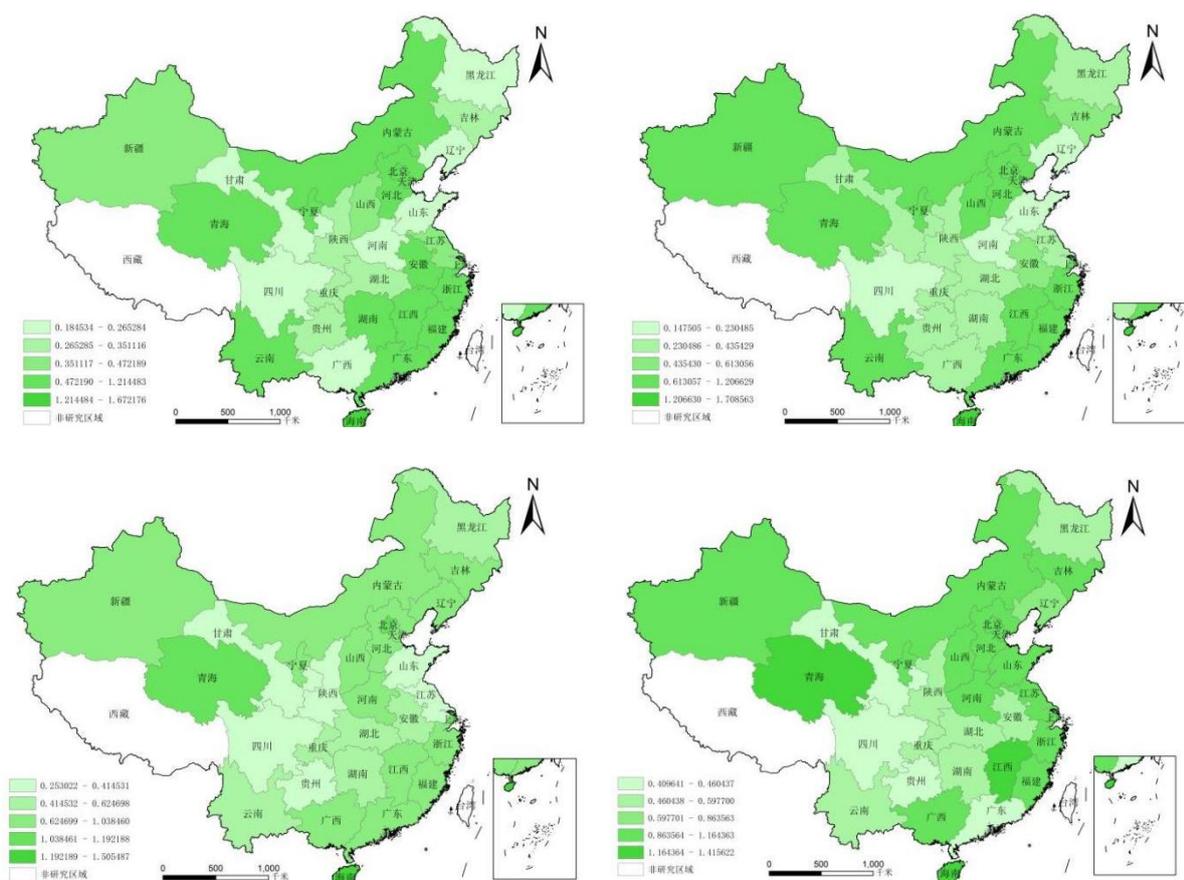


图 4.8 2009、2013、2017 和 2021 年我国绿色经济效率的时空演变

由图 4.8 可得,就整体而言,我国大部分地区的绿色经济效率处于中等及以下水平,存在着很大的提升空间,且 30 个省份存在着明显的差异,并随着时间的变化,各地区的绿色经济效率差距在明显缩小,这与各个省份的区域地理位置、资源丰富程度、经济发展水平和生态改善状况等有着很大的关系。

具体而言,在演化进程中,很多区域保持着原有格局,海南、上海和北京一

直处于高效率区域，这些地区在实现经济稳步增长的过程中，也在持续利用自然资源，坚持改善生态环境，另外，新疆，青海和宁夏也处于较高效率及高效率区域，这与其低污染、低耗能有着明显的关系；除此之外，很多区域发生着明显的演变，湖南、湖北、安徽由中等效率和较低效率逐步向低等效率演变，这些地区都位于中部，经济较为滞后，在“中部崛起”战略的指引下一直在追赶经济，力图发展，如今这些地区依旧使用高资源消费和高污染排放的生产方式，这不可避免地造成了环境破坏和资源浪费，要想提升绿色经济效率，中部崛起必须要实现可持续发展，以绿色发展推进工业化和城市化。山东和江苏在演化过程中经历着绿色经济效率逐步降低又开始升高的趋势，这说明这些地区经济发展方式逐渐转变，开始重视生态环境保护和资源优化节约，积极寻求新的经济发展模式。

### 4.3 绿色经济效率的收敛趋势研究

通过对我国绿色经济效率的测算及时空演变特征分析，发现 2009-2021 年我国绿色经济效率区域间差距较大，区域发展较为不均衡。随着社会的发展，这种差距的演变趋势如何？是否存在收敛趋势？基于此，本文利用  $\alpha$  收敛和  $\beta$  收敛探究我国绿色经济效率的趋同趋势或发散趋势，为解决区域发展不平衡，促进绿色经济协调发展提供有效建议。

#### 4.3.1 $\alpha$ 收敛趋势研究

$\alpha$  收敛通常是采用一定的指标来衡量数据间差距是否会随时间的变化而减小，从而呈现收敛趋势。如果随着时间推移，不同区域绿色经济效率呈现逐渐减小的趋势，则存在  $\alpha$  收敛，否则说明绿色经济效率存在  $\alpha$  发散。本文参考以往研究，采用标准差法和变异系数法来检验  $\alpha$  收敛。

标准差的表达公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (effic_i - \overline{effic})^2} \quad (16)$$

变异系数的表达公式如下：

$$CV_t = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (effic_{it} - \frac{1}{n} \sum effic_{it})^2}}{\frac{1}{n} \sum effic_{it}} \quad (17)$$

式中， $effic_i$  表示  $i$  省份我国绿色经济效率， $\overline{effic_i}$  表示我国绿色经济效率平均值， $n$  表示本文研究的省份个数， $S$  表示我国绿色经济效率的相对差异， $CV_t$  表示我国第  $t$  年绿色经济效率的变异系数。

$\alpha$  收敛的约束较为严格，又称强收敛，如果随着时间变化呈逐渐下降趋势，就认为发生了收敛。根据上文分析可知，我国绿色经济效率各地区和区域间差异都在逐渐变小，符合经济收敛假说。基于此，本文采用变异系数和标准差来判别我国不同区域内各省份绿色经济效率的收敛性，收敛结果图 4.9 和图 4.10 所示。

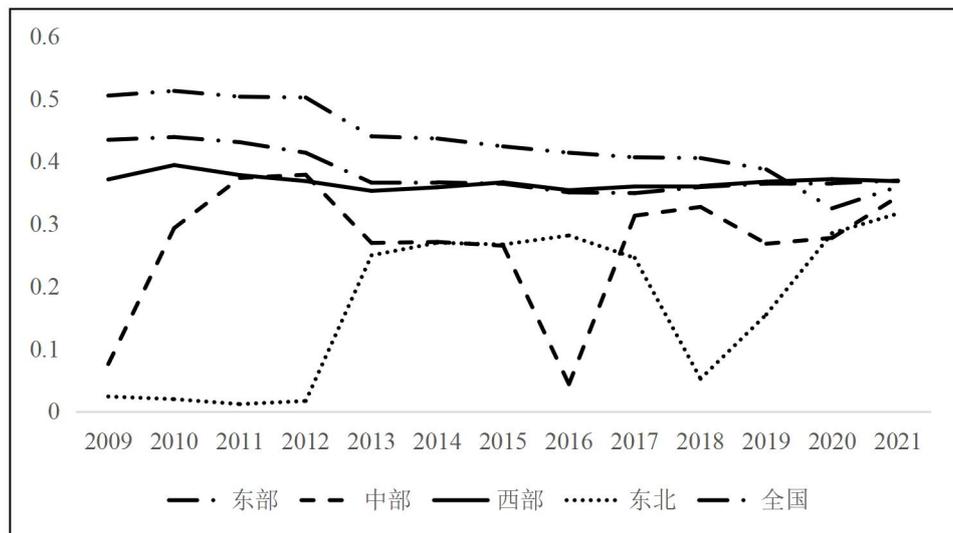


图 4.9 我国及各区域绿色经济效率的  $\alpha$  收敛（标准差）

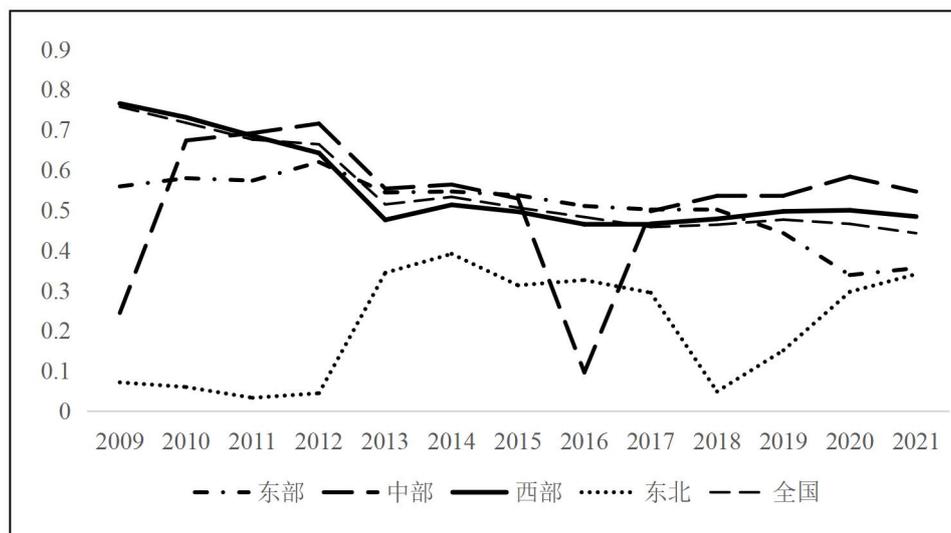


图 4.10 我国及各区域绿色经济效率  $\alpha$  收敛 (变异系数)

由图 4.9 和图 4.10 可得,我国绿色经济效率的标准差和变异系数变化趋势大体相似。整体来看,我国绿色经济效率的标准差和变异系数呈现波动下降趋势,存在  $\alpha$  收敛。分地区来看,东部地区和西部地区绿色经济效率标准差和变异系数整体存在缩小趋势,存在  $\alpha$  收敛;东北地区经历“缓慢下降—急剧上升—缓慢上升—缓慢下降—急剧下降—急剧上升”的变化趋势,中部地区经历“快速上升—缓慢上升—缓慢下降—急速下降—急速上升—缓慢上升”的变化趋势,期末值大于期初值,不存在  $\alpha$  收敛。这可能是因为在新技术不断推广和新产业实行有限的条件下,绿色经济效率较高的省份具有更高的效率,并且其进步速度高于落后地区。

### 4.3.2 绝对 $\beta$ 收敛趋势研究

$\alpha$  收敛只能说明整体区域一段时期内存在的收敛情况,为更准确直观的了解我国各区域绿色经济效率的具体变化情况,本文继续进行了  $\beta$  收敛,研究收敛情况以及收敛速度。

$\beta$  收敛是指发展落后的区域往往会以更快的发展速度追赶发展较好的区域,最终所有区域趋于相同的稳态,也就是说绿色经济效率落后的地区会以更快的发展速度追赶发展较好的区域。本文主要研究绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛,条件  $\beta$  收敛是在绝对  $\beta$  收敛的基础上加入相关的控制变量,具体公式如下:

$$\ln\left(\frac{effic_{i,t+1}}{effic_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln(effic_{i,t}) + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \tag{18}$$

$$\ln\left(\frac{effic_{i,t+1}}{effic_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln(effic_{i,t}) + \lambda \sum_{j=1}^n \ln Control_{it}^j + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \tag{19}$$

$$v = -\ln(1 - |\beta|) / T \tag{20}$$

$$S = \ln(2) / v \tag{21}$$

式中， $effic_i$  表示  $i$  省份我国绿色经济效率， $\alpha$  表示常数项， $v$  表示收敛速度， $S$  表示半程收敛周期， $T$  表示观察期的时间跨度。

为避免伪回归问题和无协整关系的单整变量回归问题，在进行  $\beta$  收敛分析之前，进行了平稳性检验，结果如表 4.6 所示。

表 4.6 变量平稳性检验结果

变量	Fisher-ADF 检验		IPS 检验		LLC 检验	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
$\ln\left(\frac{effic_{i,t+1}}{effic_{i,t}}\right)$	9.013	0.000	-6.789	0.000	-9.208	0.000

由表 4.6 可得，绿色经济效率增长量对数的 P 值小于 0.1，均通过显著性检验，表明收敛模型中涉及到的变量是平稳的。本文检验了我国及四大地区绿色经济效率的绝对  $\beta$  收敛，表 4.7 同时给出了各固定效应模型及其估计结果，通过比较检验数据，说明控制模型固定效应的必要性。

表 4.7 我国绿色经济效率的绝对  $\beta$  收敛

变量	全国	全国	全国	全国
$\beta$	-0.289*** (0.036)	-0.289*** (0.051)	-0.104*** (0.021)	-0.325*** (0.048)
cons	-0.109*** (0.022)	-0.109*** (0.027)	-0.018 (0.046)	-0.193*** (0.055)
个体固定	no	yes	no	yes
时间固定	no	no	yes	yes
$R^2$	0.161	0.161	0.167	0.227
$v$	0.026	0.026	0.008	0.030
$S$	26.419	26.419	82.055	22.926

注：Standard errors in parentheses \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ ，下同

由表 4.7 可得, 绝对  $\beta$  收敛模型中, 双固定效应模型中  $R^2$  最大。我国整体  $\beta$  回归系数小于 0, 且通过了 1% 的显著性水平检验, 说明在全国层面绿色经济效率存在绝对  $\beta$  收敛, 其收敛速度达到 0.030, 这表明在不考虑城市化水平、工业发展水平等因素时, 我国整体的绿色经济效率是趋于地区平衡的, 高水平省份绿色经济效率发展速度会低于低水平省份, 最终达到稳态。

表 4.8 我国各区域绿色经济效率的绝对  $\beta$  收敛

变量	东部	东部	中部	中部	西部	西部	东北	东北
$\beta$	-0.076 (0.068)	-0.100* (0.053)	-0.443*** (0.093)	-0.416*** (0.089)	-0.333*** (0.054)	-0.423*** (0.091)	-0.209** (0.093)	-0.423 (0.321)
cons	-0.008 (0.027)	-0.071 (0.041)	-0.313*** (0.083)	-0.275 (0.243)	-0.138*** (0.034)	-0.308*** (0.064)	-0.017 (0.062)	-0.488 (0.422)
个体固定	no	yes	no	yes	no	yes	no	yes
时间固定	no	yes	no	yes	no	yes	no	yes
$R^2$	0.011	0.145	0.261	0.360	0.243	0.425	0.138	0.608
v	0.006	0.008	0.045	0.041	0.031	0.042	0.018	0.042
S	114.000	85.525	15.398	16.753	22.251	16.386	38.433	16.386

由表 4.8 可得, 各区域的双向固定效应模型拟合优度更高。中部地区和西部地区的绝对  $\beta$  收敛检验中, 其系数均小于 0, 且都通过了 1% 的显著性水平检验; 东部地区的绝对  $\beta$  收敛检验中, 在加入时间和个体固定效应之前, 未通过显著性水平检验, 加入双固定效应后, 通过了 10% 的显著性水平; 东北地区的绝对  $\beta$  收敛检验中, 系数小于 0, 加入双固定效应后, 没有通过显著性水平, 可见东北地区不存在绝对  $\beta$  收敛, 究其原因, 东北地区产业结构相对单一, 需要较长时间和大量投资来进行产业结构调整和技术创新。从收敛速度来看, 收敛速度最快的是西部地区, 其收敛周期小于全国水平, 收敛速度最慢的是东部地区, 收敛周期比较长。这充分体现了西部地区的后发优势, 西部地区不断致力于优化产业结构、提升创新能力等发展, 收敛速度大大提升。

### 4.3.3 条件 $\beta$ 收敛趋势研究

绝对  $\beta$  收敛是基于外界条件恒定的情况下进行的检验, 但是地区绿色经济效率会受到其他控制条件的影响, 即存在地区经济发展异质性。周杰文等 (2020)

认为城市化水平的提升对绿色经济效率具有显著的正向影响，彭继增等（2019）认为工业发展水平对绿色经济效率产生抑制作用，在推动经济进步的同时，工业生产也不可避免的产生了三废等，既消耗大量资源，又破坏自然环境，曹乃刚等（2021）认为人口集聚因素能够产生规模效应，倒逼环境保护力度，提高资源利用效率，进而对绿色经济效率产生促进作用，因此本文考虑城市化水平、工业发展水平和人口集聚水平，并对其进行平稳性检验，结果如表 4.9 所示。

表 4.9 变量平稳性检验结果

变量	Fisher-ADF 检验		IPS 检验		LLC 检验	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
$\ln\left(\frac{effic_{i,t+1}}{effic_{i,t}}\right)$	9.013	0.000	-6.789	0.000	-9.208	0.000
<i>town</i>	7.647	0.000	-6.081	0.000	-5.933	0.000
<i>lnente</i>	3.720	0.000	-2.562	0.005	-8.975	0.000
<i>lndens</i>	2.241	0.013	-2.000	0.023	-8.104	0.000

由表 4.9 可得，绿色经济效率增长量对数、城市化水平、工业发展水平对数和人口集聚水平对数的 P 值小于 0.1，均通过显著性检验，表明收敛模型中涉及到的变量是平稳的。在此基础上，进行条件  $\beta$  收敛分析，结果如表 4.10 所示。

表 4.10 我国及四大地区绿色经济效率的条件  $\beta$  收敛

变量	全国	东部	中部	西部	东北
$\beta$	-0.370*** (0.049)	-0.196* (0.092)	-0.416*** (0.076)	-0.451*** (0.115)	-0.776 (0.374)
<i>town</i>	1.556* (0.797)	2.896 (1.629)	-11.657 (7.884)	7.904*** (1.520)	-2.899 (4.095)
<i>lnente</i>	-0.266** (0.113)	-0.530* (0.288)	-0.317*** (0.534)	-0.410*** (0.110)	-0.355* (0.108)
<i>lndens</i>	-0.092 (0.068)	0.088 (0.099)	-1.045 (0.532)	-0.045 (0.070)	-0.643** (0.069)
<i>cons</i>	2.073** (0.946)	2.495 (1.826)	16.295* (9.643)	-0.087 (1.146)	8.998** (2.099)
个体固定	yes	yes	yes	yes	yes
时间固定	yes	yes	yes	yes	yes
$R^2$	0.252	0.255	0.406	0.509	0.742
<i>v</i>	0.036	0.017	0.041	0.046	0.115
<i>S</i>	19.503	41.305	16.753	15.027	6.023

由表 4.10 可得, 加入控制变量之后调整  $R^2$  显著提高, 全国总体  $\beta$  系数依然显著为负, 且在 1% 的显著性水平下显著, 说明我国绿色经济效率存在条件  $\beta$  收敛。各区域收敛速度分别达到 0.036、0.017、0.041、0.046 和 0.115, 较绝对  $\beta$  收敛有所提升, 即纳入地区的城市化水平等条件后, 绿色经济效率收敛趋势更加明显, 城市化水平的提升、工业发展水平和人口集聚规模的下降加快了绿色经济效率的收敛速度, 同时缩短了相应的收敛周期, 模型结果也更加贴合实际。另外, 收敛速度最快的是西部地区, 最慢的是东部地区, 究其原因, 西部地区整体发展较为落后, 发展空间更广阔, 提升速度更容易, 而东部地区本身发展较为充分, 进步空间不足, 提升速度受限, 因而收敛速度最慢。

## 5 绿色经济效率的驱动因素研究

我国绿色经济效率时空分异明显,不同地区呈现一定的区域差异性和空间关联性,为深入研究提升绿色经济效率的路径,弱化地区发展差异,为各区域实现绿色发展提供一定的对策建议,本文进一步研究我国绿色经济效率及其区域差距的影响因素,从多方面明确推动绿色经济效率发展的作用效果,为后续制定提高我国各区域乃至各省份绿色经济效率的对策建议提供依据。

### 5.1 驱动因素的作用机制分析

#### 5.1.1 驱动因素综合分析框架

依据现实经济运行规律,区域发展复杂多变,许多外生不可控驱动因素会对地区绿色经济效率产生影响,参考已有的研究成果,本文基于“经济发展—人力资源—产业发展”三个维度,从经济发展水平、人力资本水平、产业结构水平、人口规模水平和工业发展水平五个方面阐述其作用机理及绿色经济效率区域异质性的原因,同时为解决和优化现存问题提供一定的理论支撑。

#### 5.1.2 驱动因素的作用机理

##### (1) 经济发展水平

经济发展水平是影响绿色经济效率的重要驱动因素,经济发展所处阶段不同,对绿色经济效率的影响程度和方向都存在差异性。一方面,区域发展初期,经济发展方式基本为粗放型,虽引发一定的环境污染问题,但各区域不断实现资源和物质的积累,为绿色经济发展提供了良好的发展前提,对绿色经济效率产生了显著的推动作用。另一方面,根据环境库兹涅茨曲线理论分析,粗放型模式的发展会随着环境恶化而导致经济发展水平降低,效益递减,此时经济发展达到一定程度,环境问题得到关注,经济发展逐步向绿色方向发展,技术的转型进步与资源的有效利用推动了绿色经济效率的提升,此时经济发展水平对绿色经济效率的发展起推动作用,在此阶段中,两者呈现“U”型关系。基于此,本文借鉴以往参

考文献，采用剔除价格因素的实际人均 GDP 来表示。

### (2) 人力资本水平

人力资本理论源于经济学，相对于“物资资本”，人力资本又被称为“非物质资本”，是人力资源中蕴含的各种知识、技能、经验、健康和能力等方面的资本。人力资本水平对绿色经济效率的提升至关重要。一方面，人力资本水平的提升有助于提升劳动者综合素质和环保意识，进而提高劳动资源利用率和绿色消费理念，建立绿色生产方式，注重生态效应和经济效应的协调发展，引导生产者绿色生产，激励消费者低碳消费，进而对绿色发展产生积极影响。另一方面，人力资本的培育和积累能够实现人力资源与产业技术的高效匹配，提升技术创新能力和规模效益，促进产业结构升级与产能转型，进而提升绿色经济效率。值得注意的是，技术存在锁定效应，人力资本水平的发展容易导致外来技术溢出与内部技术革新，诱发人力资本增长效应与能源清洁节约效应的矛盾，产生“回弹效应”；除此之外，“侵蚀效应”会降低人力资本对绿色经济效率的适应性，从而抑制绿色经济的发展。参考相关研究，本文选用每十万人口高等学校平均在校生数进行表示。

### (3) 产业结构水平

产业结构水平能够反映经济布局，由各产业的构成及其比例关系决定，第一产业环境污染小，但对经济发展的促进作用较为微弱；第二产业能够显著带动各区域经济发展，但产业消耗多、污染高、排放大，对绿色经济效率也产生一定的抑制作用；第三产业作为服务业污染排放低、资源消耗小，明显推动绿色经济效率。可见，产业结构的优化和升级能够发展绿色经济，节约资源，保护环境，促进绿色经济效率的提升，解决区域发展不平衡问题。第二产业和第三产业对绿色经济效率的发展发挥了至关重要的作用，产业结构重心向第三产业倾斜是一个长期的过程。基于此，本文采用第三产业增加值与第二产业增加值的比值来表示。

### (4) 人口规模水平

人口要素是最基础最重要的生产要素，人口规模水平反映了区域的建设状况和发展潜力，有利于人力资源的聚集，促进劳动力提升，产生一定的规模效应，倒逼环境保护力度，提高资源利用效率，促进技术进步，进而对绿色经济效率产生促进作用。与此同时，人口规模增加也不可避免的带来了挑战，由于人口密度

增加,城市负担加重,生态环境承受过重的负荷,造成交通堵塞、资源受限、环境污染等一些列问题,特别是我国正处于城市化发展进程中,人口涌入城市是一种必然趋势,人口规模增加使得外卖、快递等高耗费产业快速发展,导致过度包装问题严重,一次性消费品需求旺盛,产生更多的生活垃圾,破坏生态环境,进而影响绿色经济效率的提升。本文参考相关学者的研究,选用各区域年末人口总人数来表示。

### (5) 工业发展水平

工业发展水平对绿色经济效率具有双向影响,一方面,在推动经济进步的同时,工业生产不可避免的产生了废气、废水、废渣等,既消耗大量资源和能源,又破坏自然生态环境,抑制了绿色经济效率的提升,工业化程度越高,各区域排放的污染物也会越多,同时产生很多环境负外部性问题,而且一个地区的工业化程度越高,第三产业占 GDP 的比重就会越小,难以实现产业的转型升级和智能化自动化产业的发展,进一步抑制了区域绿色经济效率的提高。另一方面,很多地区现阶段依旧处于工业化发展阶段,工业发展是国民经济的重要引擎,并且可以创造大量的就业机会,提高产品的质量和效率,推动经济水平的发展,同时,在工业化阶段,环境污染问题也很有可能通过产业结构的绿色化和高级化来解决,进而推动各区域绿色经济效率的提升。参考以往研究,本文采用各区域规模以上工业企业数量来表示。

基于对以往研究成果的梳理和借鉴,本文选取经济发展水平等指标验证影响我国绿色经济效率的驱动因素,具体变量见表 5.1。

表 5.1 变量说明

变量名称	变量说明	变量符号
经济发展水平	人均 GDP(万元)	<i>pcgdp</i>
人力资本水平	每十万人人口高等学校平均在校生数(人)	<i>lnhuman</i>
产业结构水平	第三产业增加值与第二产业增加值之比	<i>indu</i>
人口规模水平	年末人口总人数(万人)	<i>lnpeop</i>
工业发展水平	规模以上工业企业数量(家)	<i>lnente</i>

## 5.2 驱动因素的区域整体特征研究

### 5.2.1 模型构建与数据说明

本文以我国内陆 30 个省份（除西藏、港澳台）为研究对象，数据来源于国家统计局、数据库以及各省份统计年鉴等，个别变量中的缺失值以线性插值法补齐，其中人力资本水平、人口规模水平和工业发展水平进行了取对数处理，表 5.2 为描述性统计结果，由表 5.2 可得，各变量数值分布较均匀，无异常值出现，表明所选取样本代表性良好。

表 5.2 描述性统计结果

<i>Variable</i>	<i>mean</i>	<i>Std.Dev</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>effic</i>	0.768	0.378	0.138	1.709
<i>pcgdp</i>	5.201	2.896	1.090	18.751
<i>lnhuman</i>	7.832	0.312	6.950	8.766
<i>indu</i>	1.293	0.716	0.527	5.244
<i>lnpeop</i>	8.201	0.743	6.323	9.448
<i>lnente</i>	8.201	1.201	5.814	11.102

为提高回归结果的准确性，本文运用 stata.16 来计算各驱动因素的方差膨胀因子和容忍度，检验多重共线性问题，结果如表 5.3 所示。

表 5.3 数据多重共线性检验结果

变量	<i>VIF</i>	<i>1/VIF</i>
<i>pcgdp</i>	3.310	0.302
<i>lnhuman</i>	1.990	0.502
<i>indu</i>	2.870	0.348
<i>lnpeop</i>	5.880	0.170
<i>lnente</i>	8.330	0.120

由表 5.3 可得，变量的方差膨胀因子处于 1.99-8.33，均小于 10，故初步认为各驱动因素的选取是恰当的，不存在多重共线性。

为分析各驱动因素对绿色经济效率的影响，本文建立以下基准回归模型：

$$\begin{aligned}
\text{effic}_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \text{pcgdp}_{it} + \beta_2 \text{lnhuman}_{it} + \beta_3 \text{indu}_{it} \\
& + \beta_4 \text{lnpeop}_{it} + \beta_5 \text{lnente}_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}
\end{aligned}
\tag{22}$$

式中,  $\text{effic}$  表示 30 个省份 2009-2021 年的绿色经济效率,  $\text{pcgdp}$ 、 $\text{lnhuman}$ 、 $\text{indu}$ 、 $\text{lnpeop}$ 、 $\text{lnente}$  为驱动因素,  $\beta_0$  为截距,  $\beta$  为各驱动因素的回归系数,  $\mu_i$  为地区  $i$  的固定效应,  $\lambda_t$  为时间  $t$  的固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

## 5.2.2 区域整体驱动因素研究

本文通过逐步添加驱动因素的方式对面板数据进行基准回归分析, 结果如表 5.4 所示。

表 5.4 基准回归结果

变量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)	模型 (5)
$\text{pcgdp}$	0.038*** (0.005)	0.058*** (0.007)	0.034*** (0.008)	0.045*** (0.007)	0.034*** (0.008)
$\text{lnhuman}$		-0.281*** (0.073)	-0.357*** (0.068)	-0.265*** (0.057)	-0.302*** (0.059)
$\text{indu}$			0.202*** (0.033)	0.088*** (0.026)	0.129*** (0.030)
$\text{lnpeop}$				-0.209*** (0.020)	-0.297*** (0.042)
$\text{lnente}$					0.073** (0.035)
$\_cons$	0.570*** (0.036)	2.664*** (0.553)	3.128*** (0.508)	4.207*** (0.390)	4.579*** (0.419)
$N$	390	390	390	390	390
$R^2$	0.085	0.115	0.208	0.346	0.352

由表 5.4 可得, 经济发展水平 ( $\text{pcgdp}$ ) 和产业结构水平 ( $\text{indu}$ ) 在 1% 的水平上显著为正, 我国整体上实现了经济发展稳步增长, 经济发展水平越高, 绿色经济效率越大; 同时, 产业结构的提升也对绿色经济效率产生了显著的推动作用。人力资本水平 ( $\text{lnhuman}$ ) 和人口规模水平 ( $\text{lnpeop}$ ) 在 1% 的水平上显著为负, 人力资本水平虽提升, 但却没有较高层次的产业结构与之匹配, 导致人力资本水平和区域经济发展规模没有达到良好的匹配效应, 所以对绿色经济效率产生了一定的抑制作用; 人口规模的扩大加剧了环境污染与资源消耗, 不利于绿色经济效率的提升。工业发展水平在 5% 的水平上显著为负, 因此各地区可以通过优化产业结构、有效利用人力资源等方式实现经济的稳步推进, 不断提升绿色经济效率。

### 5.2.3 分位数回归研究

为更加精确地阐述变化范围及其条件分布形状的影响,使结果更稳健,本文使用分位数回归模型进一步分析不同等级下各驱动因素对绿色经济效率的影响程度,本文采用分位数进行回归分析,选取 0.1、0.25、0.5、0.75 和 0.9 这五个分位点,并将省域绿色经济效率划分为三个等级,0.1 分位点为低等效率区域,0.5 分位点为中等效率区域,0.9 分位数为高等效率区域,为使结果更稳健,本文采用 Bootstrap 法重复 400 次来计算标准误,如表 5.5 所示。

表 5.5 分位数回归结果

被解释变量	分位点				
	0.1 effic	0.25 effic	0.5 effic	0.75 effic	0.9 effic
<i>pcgdp</i>	0.054*** (0.007)	0.039** (0.016)	0.039*** (0.015)	0.002 (0.003)	0.004 (0.005)
<i>lnhuman</i>	-0.364*** (0.078)	-0.298*** (0.593)	-0.388*** (0.074)	-0.131*** (0.033)	-0.149*** (0.036)
<i>indu</i>	0.089*** (0.029)	0.094** (0.046)	0.144*** (0.037)	0.089*** (0.020)	0.153*** (0.036)
<i>lnpeop</i>	-0.397*** (0.073)	-0.477*** (0.047)	-0.515*** (0.070)	-0.052*** (0.018)	-0.034** (0.016)
<i>lnente</i>	0.089** (0.040)	0.149*** (0.042)	0.235*** (0.063)	0.008 (0.011)	-0.027* (0.015)
<i>_cons</i>	5.322*** (0.759)	5.137*** (0.395)	5.484*** (0.495)	2.297*** (0.311)	2.579*** (0.328)
<i>N</i>	390	390	390	390	390

由表 5.5 可得,影响我国绿色经济效率的各驱动因素在不同的分位点下回归系数存在差异性,基准回归模型与分位数回归模型变量估计系数的正负号基本一致,不同的是,工业发展水平 (*lnente*) 在 0.9 分位点上在 10%的水平上显著为负,究其原因,随着工业化水平的发展,环境污染问题与能源消耗问题日益凸出,抑制了绿色经济效率的提升。

具体来看,经济发展水平 (*pcgdp*) 的回归系数为正,对绿色经济效率产生一定的促进作用。基准回归的系数为 0.034,当分位数  $\tau \leq 0.5$ ,分位数回归的参数估计值大于 0.034,分位数  $\tau > 0.5$ ,分位数回归的参数估计值小于 0.034,且未通

过显著性检验,这说明不同分位点上,经济发展水平对绿色经济效率的影响存在差异,随着分位点的增加,经济发展水平对绿色经济效率的推动作用有所降低。人力资本水平 (*lnhuman*) 在各分位点上均通过了 1% 的显著性检验,说明人力资本水平会显著抑制绿色经济效率的提升,且在 0.5 分位点的抑制作用最强,因此要积极调整人力资本水平的发展,使其与区域经济发展规模达到良好的匹配效应,进而促进绿色经济效率的提升。产业结构水平 (*indu*) 在各分位点显著促进绿色经济效率的发展,促进作用呈现“N 型”分布,说明产业结构水平对中等效率区域和高等效率区域的正向驱动作用要大于对低效率区域的影响,可见调整产业结构,实现产业结构升级是推动绿色经济效率提升的重要路径。人口规模水平 (*lnpeop*) 的回归系数显著为负,表明人口集聚对绿色经济效率具有负向影响,人口集聚每增加 1% 使得低效率区、中效率区和高效率区分别降低 0.397%、0.515% 和 0.034%, 呈现“倒 U 型”分布,因为高效率区的经济和环境发展更加平稳协调,受人口规模影响较小。工业发展水平 (*lnente*) 在低效率区和中效率区显著为正,且影响程度逐渐上升,从 0.5 到 0.75 分位点,工业发展水平对绿色经济效率的促进作用逐步减弱,在 0.9 分位点上通过了 10% 的显著性检验,显著抑制绿色经济效率的提升。

#### 5.2.4 稳健性检验

面板回归中,结论可能会出现偶然性,为保证回归结果更稳健,本文进行了稳健性检验。(1) 为双缩尾法,剔除变量中可能存在的极端情况,对绿色经济效率和各驱动因素进行 1% 的双缩尾处理,重新进行回归分析;(2) 为滞后一期处理,各驱动因素对绿色经济效率可能存在滞后效应,因此本文将绿色经济效率滞后一期,对数据重新回归处理;(3) 为更改样本周期处理,考虑到 2019-2021 年爆发的新冠疫情对绿色经济效率和各驱动因素存在的影响,本文剔除 2019-2021 年的数据,对 2009-2018 的数据进行回归分析,结果如表 5.6 所示。

表 5.6 稳健性检验

变量	模型 (1) 双缩尾法	模型 (2) 滞后一期	模型 (3) 更改样本周期
<i>pcgdp</i>	0.035*** (0.008)	0.034*** (0.008)	0.043*** (0.013)
<i>lnhuman</i>	-0.316*** (0.059)	-0.352*** (0.062)	-0.414*** (0.071)
<i>indu</i>	0.133*** (0.029)	0.146*** (0.031)	0.152*** (0.040)
<i>lnpeop</i>	-0.296*** (0.042)	-0.296*** (0.048)	-0.323*** (0.057)
<i>lnente</i>	0.074** (0.035)	0.074* (0.040)	0.078 (0.048)
<i>_cons</i>	4.664*** (0.421)	4.9 18*** (0.444)	5.530*** (0.500)
<i>N</i>	390	360	300
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.356	0.361	0.383

由表 5.6 可得, 经济发展水平和产业结构水平在 1%的水平上显著为正, 人力资本水平和人口规模水平显著为负, 工业发展水平对绿色经济效率的提升也产生了一定的促进作用, 这与原回归结果相吻合, 证实了原回归结果的稳健性。

### 5.2.5 区域异质性研究

不同地区资源禀赋、经济状况等具有差异性, 可能导致影响各区域绿色经济效率的因素有所区别。因此进行区域异质性分析, 结果如表 5.7 所示。

表 5.7 区域异质性检验

变量	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
<i>pcgdp</i>	0.010 (0.009)	-0.002 (0.047)	0.090*** (0.016)	0.293*** (0.078)
<i>lnhuman</i>	-0.423*** (0.106)	0.216 (0.351)	-0.525*** (0.084)	-0.829 (0.541)
<i>indu</i>	0.078** (0.038)	0.105 (0.196)	0.164 (0.111)	0.101 (0.165)
<i>lnpeop</i>	-0.194** (0.079)	0.119 (0.284)	-0.314*** (0.072)	-0.572 (0.365)
<i>lnente</i>	-0.063 (0.048)	-0.367** (0.141)	0.068 (0.067)	-0.056 (0.065)
<i>_cons</i>	6.353*** (1.022)	1.326 (3.271)	6.064*** (0.640)	11.071 (6.690)
<i>N</i>	130	78	143	39
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.561	0.268	0.602	0.751

由表 5.7 可得, 经济发展水平在东部地区为正, 没有通过显著性检验, 这可能是因为东部地区经济发展水平较高, 经济结构和发展模式存在一定惯性, 难以显著推动绿色经济效率的提升; 经济发展水平在中部地区为负, 没有通过显著性检验, 这可能是因为中部地区的传统产业往往是高耗能、高污染模式, 面临着技术转型困难、资源禀赋限制、市场需求不足等问题, 使经济发展水平难以显著推动绿色经济效率的发展。人力资本水平在东部和西部地区显著为负, 在中部地区为正, 没有通过显著性检验, 在东北地区为负, 没有通过显著性检验, 究其原因, 东部地区经济较发达, 高水平的人力资本可能在技能匹配、技术创新等方面存在不足, 产生回弹效应和侵蚀效应; 西部地区较低的人力资本水平可能导致绿色技术和创新能力的缺乏, 限制了绿色经济效率的提升。产业结构水平对绿色经济效率产生推动作用, 且对东部地区的促进作用更为显著。人口规模水平对东部地区和西部地区绿色经济效率产生了显著的负向影响, 在中部地区和东北地区未通过显著性检验。工业发展水平显著抑制中部地区绿色经济效率的提升, 工业发展水平的提高往往是以污染环境和能源消耗为代价的, 这不利于提升绿色经济效率。

### 5.3 驱动因素的区域个体特征研究

面板回归从整体层面和区域层面分析了绿色经济效率的驱动因素, 但不能从更加细致的省域层面进行分析, 为此, 本文使用时空地理加权回归 (GTWR) 探究 30 个省份绿色经济效率的驱动因素影响程度, 在全局分析的基础上进行局部探析, 分析各个驱动因素在空间位置上的变化情况。

#### 5.3.1 GTWR 模型原理

GTWR 是时空地理加权回归模型, 充分考虑时间和空间效应, 从而提高模型准确度, 基本公式为:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (23)$$

式中,  $Y_i$  表示 30 个省份 2009-2021 年的绿色经济效率,  $X_{ik}$  为影响因素,  $\varepsilon_i$

为残差,  $\mu_i$  和  $\nu_i$  分别是第  $i$  个区域的纬度和经度,  $t_i$  为第  $i$  个区域的时间坐标,  $\beta_k(\mu_i, \nu_i, t_i)$  为第  $k$  个驱动因素在时空坐标上第  $i$  点的回归系数, 表达式如下:

$$\beta(\mu_i, \nu_i, t_i) = [X^T W(\mu_i, \nu_i, t_i) X]^{-1} X^T W(\mu_i, \nu_i, t_i) Y \quad (24)$$

式中:  $\beta(\mu_i, \nu_i, t_i)$  为  $\beta_k(\mu_i, \nu_i, t_i)$  的估计值,  $W(\mu_i, \nu_i, t_i)$  为空间权重矩阵,  $X$  是时空坐标中驱动因素构成的矩阵,  $Y$  是时空坐标中绿色经济效率构成的矩阵。

$$W_{ij} = -\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2 \quad (25)$$

式中,  $h$  为带宽, 本文采用有限高斯函数, 表达式如下:

$$d_{ij} = \sqrt{\lambda[(\mu_i - \mu_j)^2 + (\nu_i - \nu_j)^2] + \mu(t_i - t_j)^2} \quad (26)$$

式中:  $d_{ij}$  为两值间的距离;  $h$ 、 $\mu$ 、 $\lambda$  采用  $CV$  法确认。

本文选择自适应带宽, 使拟合的回归系数值更准确。各区域间的空间位置关系对绿色经济效率发展存在影响, 因此, 有必要将 GTWR 模型引入对绿色经济效率驱动因素的分析。

### 5.3.2 GTWR 模型构建

本文以测算得出的绿色经济效率 ( $effic$ ) 为因变量, 以经济发展水平 ( $pcgdp$ )、人力资本水平 ( $lnhuman$ )、人口集聚水平 ( $lnpeop$ )、产业结构水平 ( $indu$ )、工业发展水平 ( $lnente$ ) 为自变量, 构建 2009-2021 年全国内陆 30 个省份绿色经济效率水平影响因素的时空地理加权回归模型。最终构建的 GTWR 模型为:

$$\begin{aligned} effic_i = & \beta_0(\mu_i + \nu_i + t_i) + \beta_1(\mu_i + \nu_i + t_i)pcgdp_i + \\ & \beta_2(\mu_i + \nu_i + t_i)lnhuman_i + \beta_3(\mu_i + \nu_i + t_i)lnpeop_i + \\ & \beta_4(\mu_i + \nu_i + t_i)indu_i + \beta_5(\mu_i + \nu_i + t_i)lnente_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (27)$$

式中, 第  $i$  个样本点表示观测期内某一时期的某个省份,  $effic_i$  表示样本点  $i$  的绿色经济效率水平,  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 、 $\beta_5$  表示样本点  $i$  处的回归系数估计值。

### 5.3.3 GTWR 回归结果的描述性统计

在进行省域个体驱动因素分析之前，需要对模型进行检验，本文利用 Arcgis10.8 软件中的时空地理加权回归进行分析，选取最值、中位数等变量对各驱动因素的回归系数进行统计性描述，结果如表 5.8 所示。

表 5.8 GTWR 模型参数估计结果

影响因素	最小值	1/4 分位数	中位数	3/4 分位数	最大值	均值
<i>pcgdp</i>	-0.022	0.023	0.0431	0.07	0.527	0.057
<i>lnhuman</i>	-2.021	-0.575	-0.294	0.013	1.145	-0.288
<i>indu</i>	-0.969	-0.006	0.116	0.329	1.778	0.196
<i>lnpeop</i>	-1.219	-0.354	-0.117	0.119	0.817	-0.109
<i>lnente</i>	-0.795	-0.201	-0.045	0.134	0.404	-0.051
截距	-12.04	1.246	3.659	6.59	16.27	3.826
$R^2$				0.828		
调整 $R^2$				0.826		
残差平方和				9.553		
<i>AIC</i>				-173.053		
<i>Sigma</i>				0.157		
带宽				0.115		

由表 5.8 可得，时空地理加权回归的拟合优度为 82.60%，优于面板回归的回归结果，各驱动因素对不同时期各省绿色经济效率表现出不同的作用效果。具体而言，各驱动因素回归系数有正有负。其中，经济发展水平回归系数最小值为 -0.022，最大值为 0.527；人力资本水平回归系数最小值为 -2.021，最大值为 1.145；产业结构水平回归系数最小值为 -0.969，最大值为 1.778；人口规模水平回归系数最小值为 -1.219，最大值为 0.817；工业发展水平回归系数最小值为 -0.795，最大值为 0.404。这表明各驱动因素对不同时期的绿色经济效率存在双向作用，作用效果存在显著的时空差异。

### 5.3.4 省域个体驱动因素研究

进一步从省域角度分析不同驱动因素对绿色经济效率的驱动作用，利用 Arcgis10.8 中的自然间断点分级法将不同省级影响因子的系数分为 5 类并进行可视化展示，通过颜色的深浅来判别影响因子的大小，描述其空间分异特征并分析

其形成原因。

(1) 经济发展水平对绿色经济效率影响的空间分异特征

表 5.9 2009-2021 年经济发展水平回归系数

年份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2009	0.036	0.040	0.036	0.054	0.139	0.114	0.140	0.132	0.066	0.035
2013	0.017	0.017	0.014	0.023	0.086	0.073	0.088	0.074	0.036	0.017
2017	0.015	0.018	0.016	0.018	0.058	0.055	0.065	0.055	0.034	0.026
2021	0.024	0.024	0.025	0.033	0.044	0.045	0.051	0.053	0.032	0.047
年份	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2009	0.085	0.037	0.017	-0.014	0.107	0.111	0.062	0.066	0.022	0.037
2013	0.065	0.005	0.009	0.007	0.074	0.061	0.043	0.051	0.008	0.028
2017	0.044	0.013	0.026	0.033	0.059	0.051	0.040	0.042	0.029	0.015
2021	0.032	0.021	0.073	0.059	0.055	0.067	0.040	0.051	0.065	0.019
年份	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
2009	-0.022	0.045	0.090	-0.012	0.023	0.044	0.152	0.151	0.062	0.505
2013	0.000	0.019	0.095	0.016	0.096	0.026	0.124	0.165	0.024	0.393
2017	0.039	0.028	0.097	0.055	0.107	0.031	0.116	0.145	0.039	0.098
2021	0.063	0.011	0.105	0.065	0.139	0.015	0.116	0.092	0.038	0.049

由表 5.9 可得，从 2009 年的经济发展水平回归系数来看，江西、海南和贵州为负数，其经济发展水平对绿色经济效率产生一定的抑制作用。北京、天津、广东、重庆、浙江、上海、福建等地区回归系数为正，影响程度较小。内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、甘肃、青海等地区等回归系数为正，且影响程度较大。从 2013 年、2017 年和 2019 年的经济发展水平回归系数来看，所有省域的经济发展水平为正。值得注意的是，2009-2021 年，绝大多数省份的经济发展水平对绿色经济效率的影响程度越来越小，主要有以下几个原因，第一，随着科技的不断进步和创新，绿色技术的研发和应用逐渐成熟，使绿色经济更加高效。新的技术进步可以减少资源的使用和环境的污染，使经济在较低的资源消耗和环境损害下实现较高的增长。第二，各地区日益关注环境问题，出台了一系列的环境保护政策和法规。这些政策措施鼓励企业和个人采取绿色节能的生产和消费模式，推动了绿色经济的发展。政策的引导和激励使得企业更加注重环境友好型经济发展，降低了绿色经济与经济发展水平的相关性。第三，人们对环境保护的意识不断提高，越来越多的人注重经济问题和环境问题。在消费和投资中，人们更倾向于选择绿色、环保的产品和服务，这进一步推动了绿色经济的发展。随着环境意识的

普及，人们对经济发展水平与绿色经济效率关联的要求逐渐降低。

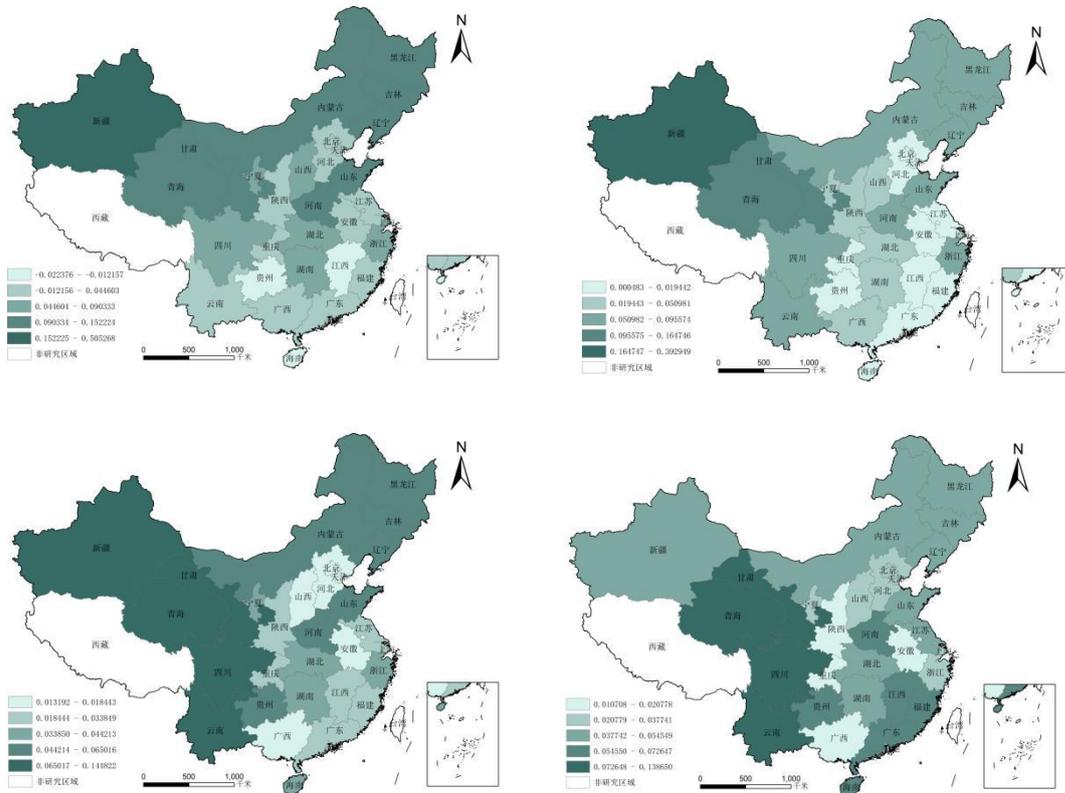


图 5.1 2009、2013、2017、2021 年经济发展水平回归系数

由图 5.1 可得，总体来看，2009-2021 年间经济发展水平对各省绿色经济效率的影响表现出明显的时空异质性。研究期间，经济发展水平对绿色经济效率影响较大的区域主要集中在西部地区。这可能是由于西部地区发展较为落后，经济发展方式基本为粗放型，虽引发一定的环境污染问题，但各区域不断实现资源和物质的积累，为绿色经济发展提供了良好的发展前提，对绿色经济效率产生了显著的推动作用。东部地区在研究期间经济发展水平回归系数均处于较低水平，究其原因，可能是东部地区发展更为迅速，受经济水平、地理位置、人才流动、政策实施等多种因素综合影响较大，弱化了经济发展水平因素对东部地区绿色经济效率的影响。

## (2) 人力资本水平对绿色经济效率影响的空间分异特征

表 5.10 2009-2021 年人力资本水平回归系数

年份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2009	0.170	-0.130	-0.079	-0.155	-1.031	-0.810	-1.145	-1.261	-0.577	-0.779
2013	0.143	-0.076	-0.042	-0.090	-0.473	-0.314	-0.604	-0.749	-0.287	-0.833
2017	0.085	-0.008	0.020	-0.097	0.179	0.206	0.179	0.091	0.022	-0.404
2021	0.000	-0.033	-0.019	0.053	0.183	0.171	0.212	0.188	0.013	-0.127
年份	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2009	-1.106	-0.750	0.343	0.462	-0.912	-1.117	-0.858	-0.656	-0.239	1.098
2013	-1.284	-0.576	-0.064	-0.005	-0.430	-0.697	-0.611	-0.545	-0.407	1.126
2017	-0.883	-0.370	-0.198	0.389	0.169	0.061	-0.266	-0.233	-0.150	0.680
2021	-0.405	-0.294	0.318	1.012	0.165	0.160	-0.198	-0.136	0.090	0.245
年份	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
2009	0.108	-0.108	-0.350	0.138	-0.045	-0.571	-0.577	-0.938	-0.465	-1.541
2013	-0.187	-0.294	-0.530	-0.272	-0.169	-0.500	-0.578	-1.021	-0.380	-1.349
2017	-0.444	-0.384	-0.721	-0.567	-0.638	-0.490	-0.572	-0.836	-0.411	0.271
2021	-0.365	-0.148	-0.825	-0.350	-0.749	-0.393	-0.521	-0.446	-0.397	0.149

由表 5.10 可得，绝大多数地区人力资本水平对绿色经济效率产生负向影响。北京和广西四年的回归系数均为正数，究其原因，北京作为中国的首都和经济中心，拥有较高的教育水平和优质的教育资源，科研和创新实力也较强，人力资本匹配较好，高技术产业和绿色经济领域的研发活动相对较多，这些创新活动有助于提高绿色经济效率，并推动技术的进步和创新；而广西作为一个经济相对较落后的西部地区，也取得了较大的教育进步，教育水平的提高可以带动人力资本的提升，使得人们具备更多的环境意识和绿色经济知识，从而对绿色经济效率产生积极的影响。山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、山东、河南、广东、新疆地区人力资本水平回归系数由负数逐步转变为正数，说明人力资本和其他生产要素在地区内的流动性特征，会导致所谓的“侵蚀效应”产生。这就造成当地企业在绿色生产方面受到明显影响，难以获得符合绿色生产要求的高素质劳动力。这种情况下，当地企业在绿色生产方面的技术创新和提升会受到直接抑制。同时，由于生产要素的流动性特征，它们也会对周边省份的企业在绿色生产方面产生一定的抑制作用。随着社会经济的发展，人力资本水平与地区发展更为匹配，丰富的人力资源可以加速地区的经济发展，实现人力资本升级。

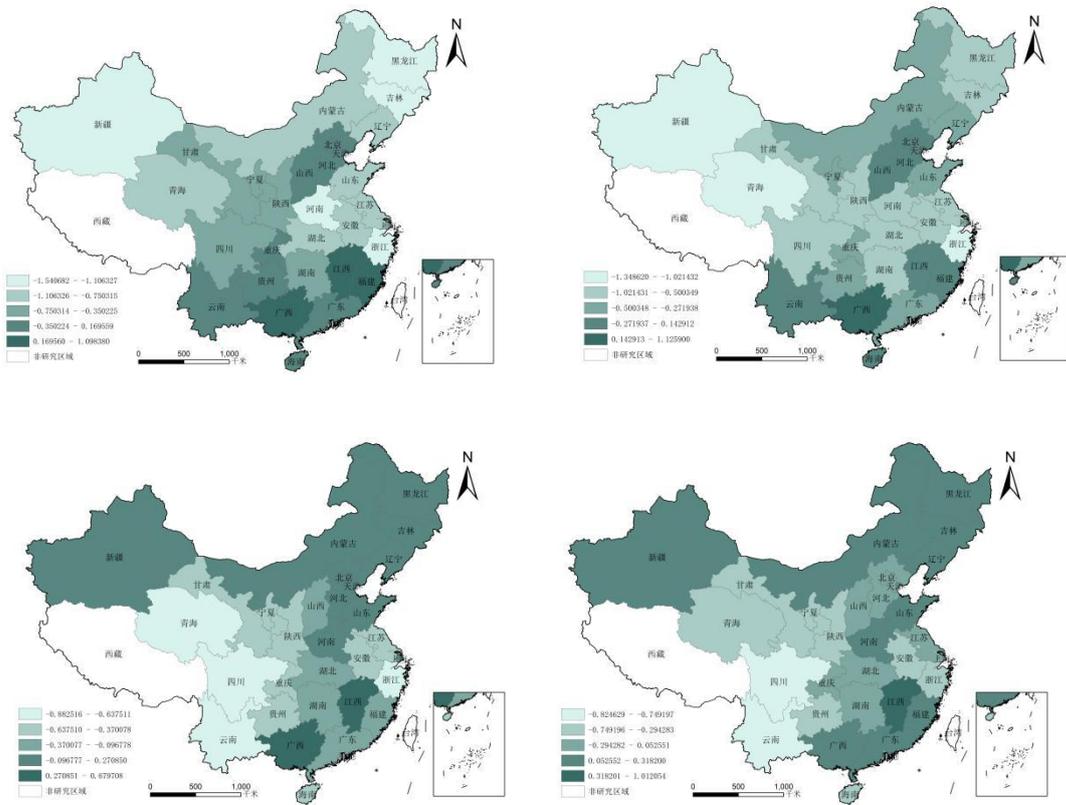


图 5.2 2009、2013、2017、2021 年人力资本水平回归系数

由图 5.2 可得，总体来看，2009-2021 年间人力资本水平对各省绿色经济效率的影响表现出明显的时空异质性。研究期间，人力资本水平对绿色经济效率影响较大的区域是华南地区和华北地区，华南地区拥有较高水平的人力资本，这主要得益于其完善的教育体系和科研机构。高水平的人才培养和教育系统为华南地区的绿色经济发展提供了有力的支持；华北地区人力资本水平相对较低，但逐渐重视人力资本的培养和提升，注重教育培训和技能提升，加强了绿色技术的推广和应用。这促使华北地区的从业人员能够逐步掌握绿色技术，提高生产效率和环保意识，推动绿色经济效率的提升。此外，华北地区还具备一定的资源和产业基础。尽管传统的重工业和资源型产业主导着华北地区的经济发展，但随着环保意识的增强，绿色经济开始逐步崛起，华北地区可以依托自身的资源优势，通过技术升级和绿色转型，提高经济效率，推动绿色经济的发展。

## (3) 产业结构水平对绿色经济效率影响的空间分异特征

表 5.11 2009-2021 年产业结构水平回归系数

年份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2009	0.016	0.069	0.070	0.037	0.163	0.166	0.266	0.472	0.144	0.957
2013	0.014	0.046	0.052	0.027	0.106	0.045	0.268	0.539	0.062	0.747
2017	-0.015	-0.006	-0.008	0.010	-0.046	-0.079	0.000	0.202	-0.037	0.480
2021	-0.047	-0.036	-0.048	-0.069	-0.089	-0.083	-0.119	-0.128	-0.047	0.274
年份	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2009	0.237	0.263	-0.017	-0.144	0.271	0.668	0.289	0.544	1.344	-0.158
2013	0.143	0.236	0.029	-0.270	0.129	0.601	0.201	0.420	0.913	-0.162
2017	0.110	0.137	-0.052	-0.737	-0.041	0.240	0.095	0.290	0.539	-0.093
2021	0.177	0.073	-0.266	-0.900	-0.081	-0.033	0.044	0.163	0.347	-0.071
年份	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
2009	1.310	1.187	0.765	1.778	1.213	0.226	-0.037	0.262	0.093	-0.304
2013	0.628	0.780	0.296	0.848	-0.051	0.211	-0.025	0.099	0.123	0.038
2017	0.481	0.581	0.264	0.616	0.169	0.168	0.050	0.072	0.098	0.149
2021	0.569	0.571	0.359	0.627	0.367	0.163	0.161	0.188	0.081	0.095

由表 5.11 可得，绝大多数地区产业结构水平对绿色经济效率产生正向影响，这表明，优化产业结构，特别是提高第三产业增加值，对提升绿色经济效率具有重要作用。协调平衡产业结构有利于推动资源的有效利用，释放“结构红利”。从 2017 年至 2021 年的回归系数可见，东北和东部一些地区回归系数为负。究其原因，东北地区重工业发达，工业产值占比较高，产业结构转型启动较晚、难度较大，正处于关键的产业结构升级阶段。而东部地区工业产业结构改革，各地区产业结构更为合理，效率提升的潜力逐渐接近阈值，这对第三产业发展提出了更高要求。因此，各地区应积极调整产业结构发展的重心问题，注重对第二产业的清洁生产和有效升级，加快对第三产业的发展持续优化和稳步提升。

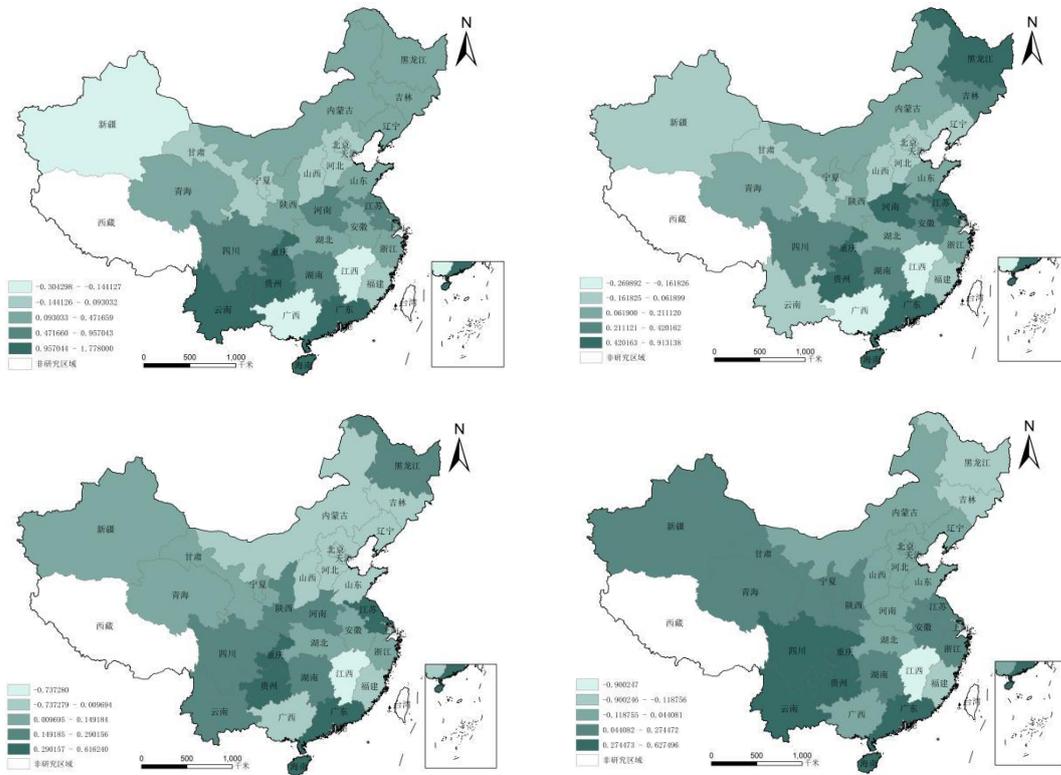


图 5.3 2009、2013、2017、2021 年产业结构水平回归系数

由图 5.3 可得，总体来看，2009-2021 年间产业结构水平对各省绿色经济效率的影响表现出明显的时空异质性。研究期间，西部地区产业结构水平对绿色经济效率的影响程度逐步增大，东部地区和东北地区产业结构水平对绿色经济效率的影响程度逐步减小。值得注意的是，产业结构水平对绿色经济效率影响程度逐步呈现出区域性协调发展特征。由 2009 年的各相邻省份产业结构水平对绿色经济效率影响差异明显，到 2021 年各相邻省份呈现出相同的影响程度，具有明显的区域协调发展特征。因此各区域要积极制定综合发展规划，加强交流合作，优化资源配置，打制基础设施网络，缩小区域差距，促进区域间协调发展。

## (4) 人口规模水平对绿色经济效率影响的空间分异特征

表 5.12 2009-2021 年人口规模水平回归系数

年份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2009	0.031	-0.107	-0.098	-0.054	-0.481	-0.416	-0.441	-0.384	-0.319	-0.447
2013	0.022	-0.071	-0.074	-0.040	-0.197	-0.155	-0.191	-0.147	-0.159	-0.380
2017	0.085	0.052	0.065	-0.002	0.181	0.212	0.207	0.264	0.097	0.102
2021	0.141	0.112	0.145	0.166	0.235	0.267	0.316	0.485	0.138	0.335
年份	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2009	-1.008	-0.437	0.227	0.215	-0.410	-0.302	-0.448	-0.250	-0.012	0.485
2013	-1.022	-0.386	-0.039	-0.182	-0.172	-0.091	-0.328	-0.136	-0.090	0.516
2017	-0.848	-0.140	-0.154	-0.854	0.264	0.391	0.012	0.282	0.401	0.318
2021	-0.481	0.011	0.271	-1.163	0.411	0.697	0.206	0.600	0.817	0.222
年份	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
2009	-0.370	-0.071	-0.189	-0.034	-0.163	-0.411	-0.514	-0.150	-0.609	0.459
2013	-0.566	-0.199	-0.125	-0.334	-0.130	-0.405	-0.492	-0.104	-0.598	0.805
2017	-0.278	-0.170	-0.232	-0.226	-0.231	-0.356	-0.481	-0.292	-0.546	0.435
2021	0.110	-0.182	-0.280	0.025	-0.099	-0.378	-0.484	-0.730	-0.519	-0.121

由表 5.12 可得，人口规模整体上对绿色经济效率产生抑制作用，这证实了在大部分地区，人口规模造成的环境压力大于其引致的经济效益。而北京回归系数为正，呈现逐步增长的趋势，原因可能是作为中心城市，人口流入虽使规模变大，但相对完善的技术能增强污染治理能力，缓解生存环境压力；在广西，回归系数也为正，表明该地区正处在合理的人口收敛阶段，推进城镇化发展，将促进人口聚集效应，提升绿色经济效率；东北地区人口规模回归系数由负数逐步转变为正数，其城镇化进程与生态环境保护呈现一定的“脱钩”现象，人口规模造成的环境压力更小。因此，各地政府应当注重人口规模问题，避免其负外部性，积极引进创新技术，培养高尖人才，最大力度的发挥人口规模的积极作用。

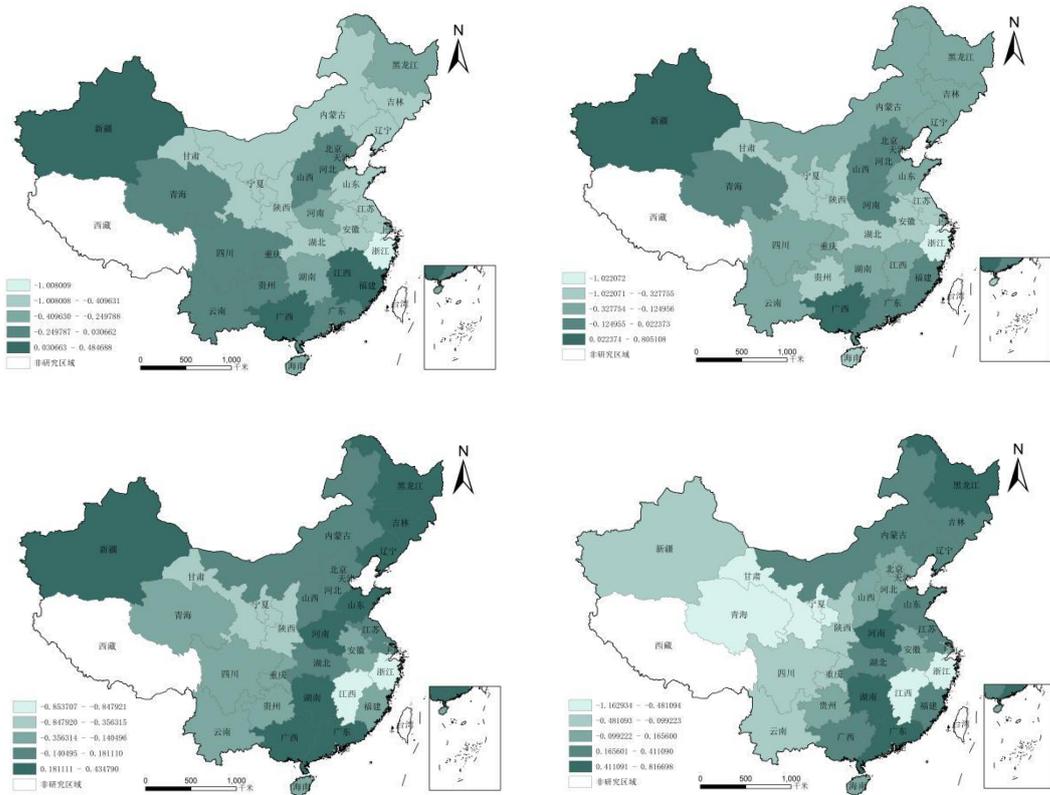


图 5.4 2009、2013、2017、2021 年人口规模水平回归系数

由图 5.4 可得，总体来看，2009-2021 年间人口规模水平对各省绿色经济效率的影响表现出明显的时空异质性。研究期间，西北地区和西南地区人口规模水平对绿色经济效率影响程度逐步变小，究其原因，第一，西北地区和西南地区在资源禀赋上相对较为丰富，包括能源、水资源等，在一定程度上降低了人口规模对绿色经济效率的影响。相比之下，东部沿海地区相对资源紧缺，更加注重高效利用，并更容易受到人口规模的影响。第二，西北地区和西南地区的城镇化程度相对较低，人口集中在农村地区的比例较高，农业仍然是重要的经济支柱，农业生产对绿色经济的影响通常更多是通过资源利用和环境污染等方面，而对人口规模的依赖相对较小。第三，随着社会发展，环境保护意识增强，西北地区和西南地区也在逐步转变发展模式，加大对绿色经济的投入和推动，降低资源消耗和环境污染的程度，使绿色经济效率与人口规模的关系减弱。

## (5) 工业发展水平对绿色经济效率影响的空间分异特征

表 5.13 2009-2021 年工业发展水平回归系数

年份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2009	-0.046	-0.068	-0.025	-0.027	0.012	-0.020	0.032	0.064	-0.085	0.218
2013	-0.118	-0.131	-0.108	-0.057	-0.140	-0.176	-0.083	-0.010	-0.182	0.191
2017	-0.203	-0.199	-0.221	-0.077	-0.313	-0.347	-0.296	-0.242	-0.276	-0.056
2021	-0.241	-0.206	-0.261	-0.179	-0.243	-0.280	-0.291	-0.387	-0.215	-0.212
年份	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2009	0.274	0.193	0.068	0.134	0.033	0.080	0.094	0.117	0.117	0.036
2013	0.279	0.110	0.007	0.020	-0.109	-0.004	0.032	0.043	0.117	-0.144
2017	0.229	-0.072	-0.076	-0.110	-0.349	-0.296	-0.139	-0.183	-0.184	-0.217
2021	0.136	-0.167	-0.366	-0.201	-0.374	-0.510	-0.227	-0.377	-0.454	-0.260
年份	海南	重庆	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
2009	0.257	0.121	0.018	0.193	0.073	0.208	0.197	0.012	0.362	-0.627
2013	0.238	0.149	-0.081	0.186	-0.267	0.181	0.192	-0.017	0.327	-0.745
2017	0.103	0.134	0.025	0.120	-0.095	0.144	0.196	0.110	0.267	-0.608
2021	-0.020	0.175	0.073	0.034	-0.072	0.171	0.185	0.404	0.239	-0.082

由表 5.13 可得, 工业发展水平对大部分地区的绿色经济效率产生负向影响, 这证实了在大部分地区, 传统的工业发展模式往往忽视了资源利用效率和环境保护的重要性, 导致了资源浪费、环境污染等问题的加剧, 从而对绿色经济效率产生了负向影响。为了实现可持续发展和绿色经济, 需要改变以高产出为中心的传统工业发展模式, 转向更加环保和资源节约的发展路径。这包括鼓励节能减排、加强环境管理和制定强制性的环境标准等措施, 以提高工业发展和绿色经济效率的协同发展。值得注意的是, 工业发展水平对陕西、甘肃、青海、宁夏、贵州、四川产生正向影响, 究其原因, 这些地区主要依赖于工业发展, 工业发展通常伴随着资金的增加和投资的增加, 这为绿色经济提供了更多的资本来源, 一定程度上促进了科学技术的进步和创新, 使得绿色经济的发展变得更加可行和高效。同时, 工业发展促进了绿色经济的规模扩大和产业链发展, 能够提升相关基础设施建设和管理水平的升级, 从而提高绿色经济的效率。各区域应积极优化产业结构, 致力于发展智能制造业等第三产业, 推动绿色工业发展, 促进可持续发展产业模式的转型。

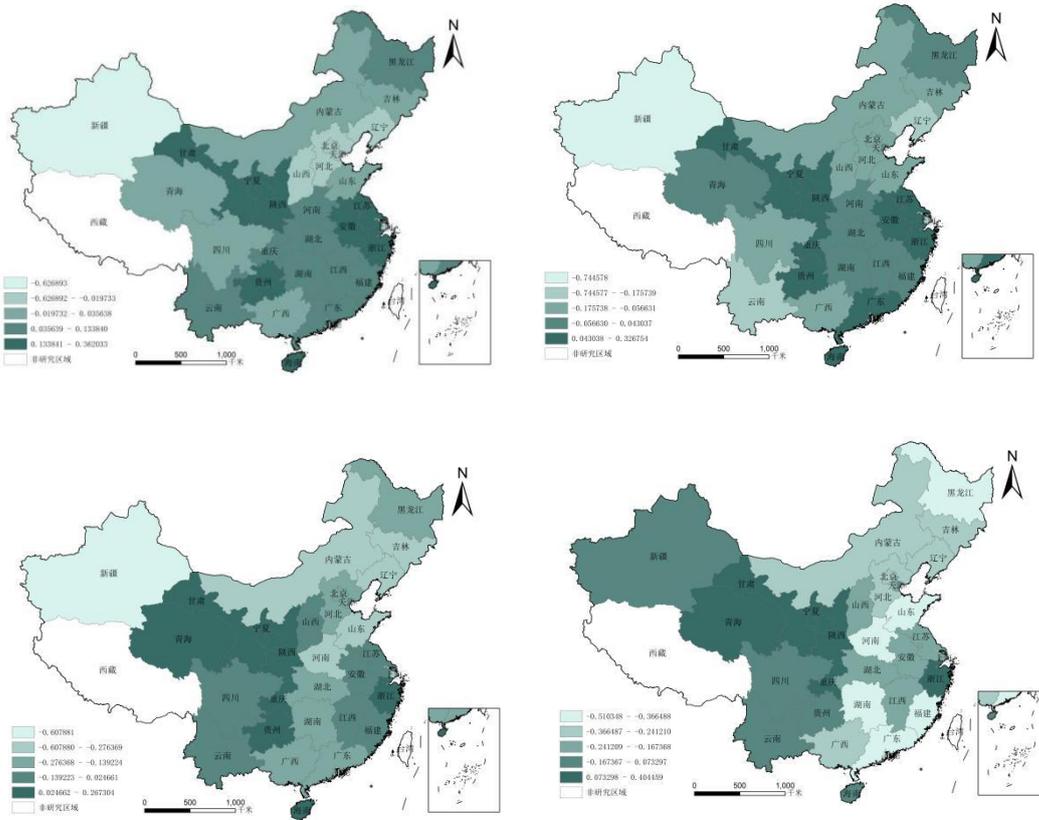


图 5.5 2009、2013、2017、2021 年工业发展水平回归系数

由图 5.5 可得，总体来看，2009-2021 年间工业发展水平对各省绿色经济效率的影响表现出明显的时空异质性。研究期间，工业发展水平对绿色经济效率影响较大的区域由东部和东北地区逐步到西部地区转移，究其原因，这些地区处于工业化发展阶段，工业发展是国民经济的重要引擎，并且可以创造大量的就业机会，提高产品的质量和效率，推动经济水平的发展，同时，在工业化阶段，环境污染问题也很有可能通过产业结构的绿色化和高级化来解决，进而推动各区域绿色经济效率的提升。

### 5.3.5 稳健性检验

为了进一步检验 GTWR 模型的稳健性，本文采用更换变量的方法进行检验，在其他驱动因素不变的情况下，将人力资本水平采用受教育年限来衡量，用 *educa*

来表示，更换变量后的回归结果如表 5.14 所示。

表 5.14 回归结果的描述性统计

影响因素	最小值	1/4 分位数	中位数	3/4 分位数	最大值	均值
pcgdp	-0.121	-0.004	0.024	0.058	0.36	0.032
educa	-0.449	-0.068	0.041	0.138	0.399	0.034
indu	-0.66	-0.036	0.086	0.279	1.65	0.178
lnpeop	-1.176	-0.303	-0.042	0.15	0.922	-0.111
lnent	-0.879	-0.203	-0.084	0.1	0.636	-0.044
截距	-6.803	-0.456	1.358	3.451	8.38	1.382
$R^2$				0.831		
调整 $R^2$				0.828		
残差平方和				9.421		
$AIC$				-173.492		
$\Sigma$				0.155		
带宽				0.115		

由表 5.14 可得，更换变量后，调整  $R^2$  为 0.828，与表 5.8 的分析结果接近，并且其他驱动因素的系数变化很小，且正负方向基本没有变化，能够很好的检验上述结果的稳健性。

## 6 研究结论与建议

### 6.1 研究结论

提升绿色经济效率有利于转变我国经济耗能高、物耗大、污染重、排放多、附加值低的粗放发展模式，推动我国经济的可持续发展，对我国生态文明建设的良好建设和经济水平的高质量发展至关重要，基于此，本文深入探讨各地区绿色经济效率的区域差距、动态演进、收敛趋势和重要驱动因素，以期探寻深层原因，因地制宜，助推我国绿色经济稳步发展。本文研究结论为：

第一，从测度结果来看，我国各地区的绿色经济效率存在着明显的差距，且随着绿色发展理念的推动，绿色经济效率也在逐年提升。绝大部分省份的绿色经济效率处于稳定型和波动上升型。从空间分布来看，我国绿色经济效率存在空间溢出效应，且空间正向关联性逐步加强，具有一定的波动状态，各地区周边辐射带动作用也在逐步增强。

第二，我国绿色经济效率的总体区域差距有缩小的趋势，差距主要来源于区域间差距。从区域发展状况来看，四大地区存在着明显的差距和不平衡，各区域间差距较为均衡，并未出现大幅度的差异，且变化趋势较为相似，从 2009-2021 年基尼系数呈现波动下降态势，可见区域协调发展一直在稳步推进，区域间差距也在逐步缩小。

第三，通过核密度分析可得，我国绿色经济效率逐步上升，差距逐步减小，且呈现两极分化现象，各区域绿色经济效率分布动态呈现显著差异。通过马尔科夫转移矩阵分析可得，绿色经济效率不同等级间较为稳定，存在“俱乐部趋同”现象，绿色经济效率的提升是循序渐进的，难以实现“跳跃式”转移，要注意等级下降风险。另外，空间溢出效应下绿色经济效率也存在“俱乐部趋同”现象。通过 GIS 可视化分析可得，我国大部分地区绿色经济效率处于中等及以下水平，存在很大的提升空间，且区域差异明显。

第四，东部和西部地区绿色经济效率存在  $\alpha$  收敛，东北和中部地区不存在  $\alpha$  收敛；中部和西部地区存在绝对  $\beta$  收敛，东部地区加入双固定效应后，存在绝对

$\beta$  收敛，东北地区不存在绝对  $\beta$  收敛；我国除东北地区外都存在条件  $\beta$  收敛，且西部地区收敛速度最快，东部地区收敛速度最慢。

第五，全国范围来看，人力资本水平和人口规模水平会明显抑制本地区绿色经济效率的提升，经济发展水平、产业结构水平和工业发展水平会显著促进绿色经济效率的发展。与全国范围相比，由于地区经济、环境、地理等方面的差异，各区域绿色经济效率的驱动因素也存在一定的侧重和差异。

## 6.2 政策建议

基于以上结论，为提升我国各地区绿色经济效率并缩小区域差异，本文提出以下建议：

第一，贯彻绿色经济理念。在经济发展过程中，不能只单纯的考虑 GDP，以资源损耗和环境破坏为代价的经济增长是不可取的，应坚持绿色经济理念，提高资源的科学配置和有效利用，改善环境的治理水平和优化水平，多角度推行绿色建设，发展绿色经济，为我国经济的可持续发展赋能增效。首先，要持续推进能源转型，减少对传统能源的依赖，鼓励企业使用清洁能源，并制定更具约束力的能源效率政策。其次，要积极促进循环经济模式，推动资源的循环利用，减少废弃物产生和环境污染，鼓励企业广泛采用再制造、回收利用和产品设计概念，减少资源消耗和环境压力。再次，要加强生态保护和恢复，保护和修复生态系统，促进自然生态与经济社会的协同发展，加大对生态环境的保护投入，建立完善的生态补偿机制，强化生物多样性保护。最后，要推动绿色消费和生活方式，引导公众采用绿色产品和绿色消费方式，倡导低碳、节约、环保的生活方式，通过教育宣传和税收等手段，引导消费者做出环保的消费选择。

第二，优化产业结构升级。走产业升级的绿色化道路，是显著提升绿色经济效率的重要举措。要深入实施强工业行动，优化能源产业结构，增强自主研发能力，提升科技成果的转换率，加快构建现代产业体系，全力打造绿色产业基地，深化绿色制造体系建设，实现产业的绿色化升级。首先，要增加绿色服务业的投资，鼓励对绿色服务行业的投资，政府可以提供财政支持和优惠政策，吸引更多投资。其次，要推动清洁生产和节能减排，鼓励企业采用清洁生产技术，减少污

染物排放，实施节能减排。政府可以提供资金支持和税收激励，鼓励企业投资和采用节能环保技术。再次，要发展节能环保产业，支持节能环保设备制造、废弃物处理和循环利用行业的发展，为企业提供技术支持和研发资金，推动绿色产品的生产和应用。最后，要推广绿色建筑和节能化改造，鼓励建筑业采用绿色材料、节能技术和可再生能源，推广绿色建筑概念。

第三，协调匹配人力资源。人力资源的提升已然成为我国经济走上绿色化的必由之路，本文从人力资本水平和人口规模水平出发，为促进绿色经济效率的提升提供思路和建议。首先，要提升人力资本水平，投资于教育和培训，提高人民的技能和知识水平，以满足绿色经济所需的专业技能和创新能力。同时，鼓励创新创业，并推动跨领域交叉学科的发展以培养具备跨学科素质的人才。其次，促进技能转移，通过政策制度措施，鼓励从传统行业向绿色产业进行技能转移。提供职业培训和再培训机会，帮助劳动者适应绿色经济的需求。再次，引导职业选择，加强职业规划和指导，加强人力资本与绿色经济发展的匹配度。最后，要优化人口结构，根据绿色经济的需求，适度调整人口结构，合理安排人员的分布和流动。例如，在绿色能源领域，适时引进高技能的专业人才，提高绿色能源产业的竞争力。

第四，坚持区域协调发展。积极解决绿色经济效率的区域差异问题，要坚持可持续发展理念，从重点地区、问题区域等视角出发，以生态环境、产业结构等维度开展，构建链接各个区域的网络化格局，促进各区域间资源的协调和优势的互补，缩小区域差距，协调区域发展。首先，政府应制定具有针对性的综合政策，根据不同地区的特点和需求，制定相应的发展规划和政策措施，鼓励并支持不同地区间的经济合作和技术转移，推动资源、人才、科技等要素的流动。其次，促进经济活动的增长，鼓励发展清洁能源，提高资源利用率，促进绿色经济的发展。再次，促进教育和人力资源发展，高等教育资源应合理规划布局，支持弱势地区的教育发展，提高整个区域的人力资源质量，提供职业培训和技能转换机会，促进劳动力的流动和就业机会的均衡分布。最后，加强区域间的合作与交流，推动区域间的产业合作和交流，促进资源有效配置和优势互补，组织区域间的交流活动，分享成功经验和最佳实践，加强合作意识和互信机制。

第五，注重因地制宜发展。不同地区的自然资源、产业基础、人口规模、经

经济发展水平等存在不同程度的差异，导致绿色经济发展的起点和条件不同。东部地区相对发达，具备较好的科技创新能力和市场优势，绿色经济发展较为成熟；而中部、东北和西部地区相对落后，绿色经济发展还需要加大投入和改革力度。东部地区在绿色经济发展中更应发挥辐射效应和示范带动作用，在提高本区域绿色经济效率的同时积极拉动其他地区，可以更多地引进高新技术产业，发展清洁能源、节能环保产业等，鼓励企业创新研发，推广绿色生产方式和循环经济模式，同时，加大对环境保护和生态修复的投入，提高资源利用效率。西部地区要充分发挥区域资源禀赋的优势，从招商引资、特色产业、技术创新等方面寻求新的发展思路，积极弥补经济差异，提升绿色经济效率。中部地区要及时调整产业结构，抓紧经济发展的同时也要兼顾环境保护，积极引进先进技术和绿色产业，缩小与其他地区的效率差异。东北地区要紧跟时代潮流，推进新时代东北振兴，加强黑土地的保护利用，推动工业绿色化发展，促进传统重工业转型升级，发展新的绿色制造业，抓住机遇，超越传统，进一步提升绿色经济效率。

## 参考文献

- [1] Pearce D W, Markandya A, Barbier E. Blueprint for a green economy[M]. Britain: Earthscan, 1989.
- [2] UNEP. Green Economy Indications-Brief Paper[R]. 2012.
- [3] NEXTIO. 2012 California Green Innovation Index[R]. 2012.
- [4] Merino-Saum A, Clement J, Wyss R, et al. Unpacking the Green Economy concept: A quantitative analysis of 140 definitions[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 242:118-339.
- [5] Lahouel B B. Eco-efficiency Analysis of French firms. A Data Envelopment Analysis Approach[J]. Environ Econ Policy Stud, 2016, 18(3):395-416.
- [6] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [7] Mancini MS, Galli A, Niccolucci V, et al. Stocks and flows of natural capital: Implications for Ecological Footprint. Ecological Indicators. 2017, 77:123-128.
- [8] Zhang H, Geng Z, Yin R, et al. Regional differences and convergence tendency of green development competitiveness in China. Journal of Cleaner Production, 2020, 254: 119-922.
- [9] Tong C, Ding S, Wang B, et al. Assessing the target availability of China's investments for green growth using time series prediction. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2020, 537: 122-724.
- [10] 季铸. 以智能经济为突破口, 引领绿色发展潮流[Z]. 遂宁新闻网, 2018.
- [11] 诸大建. 绿色经济新理念及中国开展绿色经济研究的思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(05):40-47.
- [12] 商迪, 李华晶, 姚珺. 绿色经济、绿色增长和绿色发展: 概念内涵与研究评析[J]. 外国经济与管理, 2020, 42(12):134-151.
- [13] 徐晓光, 樊华, 苏应生等. 中国绿色经济发展水平测度及其影响因素研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(07):65-82.
- [14] 凤亚红, 陈舒. 建筑业绿色经济绩效评价研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(01):93-101.
- [15] 张红霞, 李家琦, 李育哲. 生产性服务业集聚与城市绿色经济效率——基于动态空间杜宾模型与门槛模型的实证检验[J]. 华东经济管理, 2022, 36(12):75-86.
- [16] 杨广晖, 郑浦阳, 单燕斐. 能源技术创新对区域绿色经济效率的空间溢出效应[J]. 工业技术经济, 2023, 42(01):129-138.
- [17] 刘照德, 聂普焱. 经济集聚、产业结构升级与绿色经济效率协调发展——基于京津冀与粤港澳大湾区的比较分析[J]. 北京社会科学, 2023(12):29-43.
- [18] 张钟元, 李腾, 马强. 金融集聚对城市绿色经济效率的门槛效应分析——基于我

- 国九个国家中心城市统计数据[J].技术经济与管理研究,2020,No.284(03):98-102.
- [19]朱洁西,李俊江.数字经济、技术创新与城市绿色经济效率——基于空间计量模型和中介效应的实证分析[J].经济问题探索,2023,No.487(02):65-80.
- [20]赵亚雄,王修华,刘锦华.绿色金融改革创新试验区效果评估——基于绿色经济效率视角[J].经济评论,2023,(02):122-138.
- [21]胡莉娜,程刚.成渝双城经济圈高速铁路对绿色经济效率的影响研究[J].铁道运输与经济,2023,45(02):91-99.
- [22]陈海盛,沈满洪,应瑛.信用秩序、制度依赖性与绿色经济效率[J].统计与决策,2023,39(08):142-146.
- [23]任阳军,齐颖秀,梁栋.生产性服务业集聚对城市绿色经济效率的影响[J].统计与决策,2022,38(19):120-123.
- [24]张应武,谭劲,姜雨佳.国家生态文明试验区如何提升海南绿色经济效率?[J/OL].海南大学学报(人文社会科学版):1-8[2023-06-23].
- [25]曲亮,蔡宏波,任国良等.财政分权与中国区域碳减排效率实证研究[J].经济地理,2015,35(05):160-165.
- [26]汪克亮,杨力,程云鹤.异质性生产技术下中国区域绿色经济效率研究[J].财经研究,2013,39(04):57-67.
- [27]范建双,任逸蓉,虞晓芬.人口城镇化影响区域绿色经济效率的中介机制分析——基于随机边界模型的检验[J].宏观质量研究,2017,5(04):52-65.
- [28]朱爱方,平瑛.基于 SFA 模型的我国海洋渔业绿色生产效率时空分异研究[J].海洋开发与管理,2023,40(03):133-143.
- [29]黄庆华,胡梦佳,胡江峰.竞争还是合作?竞合策略对成渝地区双城经济圈产业生产效率的影响[J].重庆理工大学学报(社会科学),2020,34(11):5-18.
- [30]刘钊.基于三阶段 DEA 模型的中国区域绿色投资生态效率分析[J].经济经纬,2019(11):17-23.
- [31]马宇鹏.流通业集聚与绿色经济效率的空间双向通道效应分析[J].商业经济研究,2023,(11):18-21.
- [32]李根,刘家国,李天琦.考虑非期望产出的制造业能源生态效率地区差异研究——基于 SBM 和 Tobit 模型的两阶段分析[J].中国管理科学,2019,27(11):76-87.
- [33]睢党臣,张扬,孟望生.黄河流域经济绿色发展效率测度及其空间分异研究[J].统计与决策,2023,39(02):116-119.
- [34]孔令章,李金叶.高铁开通、时空收敛效应与城市绿色经济效率——基于核心-边缘的异质性视角[J/OL].软科学:1-13[2023-06-23].

- [35]李汝资,陈巧娟,高雄愿等.长江经济带城市绿色经济效率梯度转换规律及其影响因素[J].自然资源学报,2024,39(01):125-139.
- [36]马志超,贾丰源,白宇航等.兰州-西宁城市群绿色经济效率测度及影响因素研究——基于超效率 SBM-ML 和 Tobit 模型的分析[J].地域研究与开发,2022,41(04):89-93.
- [37]徐妍,郑冠群,沈悦.地方政府环境治理目标约束强度与绿色经济效率[J].中国经济问题,2022,No.335(06):165-177.
- [38]曾繁华,肖苏阳.数字金融对城市绿色经济效率的影响[J].统计与决策,2022,38(15):144-148.
- [39]石映昕,杨云霞.协同创新、产业结构升级与绿色经济效率[J].云南财经大学学报,2023,39(01):1-17.
- [40]梁雯,钟惠波,王玲.异质性产业集聚、创新网络与绿色经济效率——来自高技术产业集聚的经验证据[J].管理现代化,2023,43(02):153-160.
- [41]姚进才,袁晓玲.黄河流域城市群绿色经济效率区域差异及收敛性研究[J].贵州社会科学,2023,No.397(01):134-143.
- [42]程钰,王晶晶,王亚平等.中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J].地理研究,2019,38(11):2745-2765.
- [43]周杰琦,张莹.外商直接投资、经济集聚与绿色经济效率——理论分析与中国经验[J].国际经贸探索,2021,37(01):66-82.
- [44]赵林,曹乃刚,韩增林等.中国绿色经济效率空间关联网络演变特征及影响因素[J].资源科学,2021,43(10):1933-1946.
- [45]韩剑尘,周良发.绿色发展效率的地区异质性与因素分解[J].统计与决策,2022,38(14):39-44.
- [46]郭炳南,唐利,张浩.长江经济带绿色经济效率的区域差异与随机收敛[J].生态经济,2021,37(11):46-53.
- [47]吴传清,周西一敏.长江经济带绿色经济效率的时空格局演变及其影响因素研究[J].宏观质量研究,2020,8(03):120-128.
- [48]曹乃刚,赵林,高晓彤.黄河三角洲县域绿色经济效率的时空演变与驱动机制[J].应用生态学报,2021,32(09):3299-3310.
- [49]相征,顾元吉.黄河流域绿色经济效率的测度及收敛性分析[J].人民黄河,2022,44(10):12-17.
- [50]车磊,白永平,周亮等.中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析[J].地理科学,2018,38(11):788-1798.
- [51]汪彬,阳镇,陈洋毅等.绿色经济效率影响机制[J].上海经济研

- 究,2022,No.405(06):62-77.
- [52]邹磊,刘慧媛,王飞宇等.长江中游城市群绿色发展水平的地区差异及其影响因素[J].中国科学:地球科学,2022,52(08):1462-1475.
- [53]刘浩然.京津冀地区绿色经济效率测度及影响因素研究——基于超效率 SBM 和 Tobit 模型的分析[J/OL].生态经济:1-15[2023-02-14].
- [54]吴旭晓.区域绿色经济效率演化及其影响因素研究[J].商业研究,2014,No.449(09):27-33.
- [55]孔令章,李金叶.数字经济发展对中国绿色经济效率的影响[J].经济体制改革,2022,No.237(06):67-73.
- [56]尹天宝,赵红岩,仲颖佳.数字经济对城市绿色经济效率的影响研究——基于空间面板模型的实证分析[J].技术经济与管理研究,2023,No.319(02):18-22.
- [57]朱广印,王思敏.金融集聚影响绿色经济效率的空间机制研究[J].南京财经大学学报,2022,No.237(05):22-32.
- [58]尹天宝,赵红岩,仲颖佳.全球价值链嵌入对中国绿色经济效率的影响研究[J].当代财经,2023,No.458(01):17-28.
- [59]钱龙.中国城市绿色经济效率测度及影响因素的空间计量研究[J].经济问题探索,2018,(08):160-170.
- [60]巩灿娟,张晓青.中国区域间环境规制对绿色经济效率的空间效应及其分解[J].现代经济探讨,2020,No.460(04):41-47+58.
- [61]杨航英,强永昌.城市群扩容对区域绿色经济效率的影响研究——以长三角城市群扩容为例[J].技术经济,2022,41(02):75-85.
- [62]任阳军,汪传旭.中国城镇化对区域绿色经济效率影响的实证研究[J].技术经济,2017,36(12):72-78+98.
- [63]丁玉龙.城市规模对绿色经济效率的影响及空间效应研究——基于我国 285 个地级及以上城市数据的实证分析[J].城市问题,2021,No.317(12):58-68.
- [64]沙依甫加玛丽·肉孜,邓峰.人力资本集聚促进绿色经济效率的非线性影响[J].社会科学家,2020,No.280(08):96-102.
- [65]宋晓玲,李金叶.双向 FDI 协调发展是否促进了绿色经济效率增长——基于技术创新视角[J].国际商务(对外经济贸易大学学报),2021,No.199(02):126-140.
- [66]周杰琦,张莹.外商直接投资、经济集聚与绿色经济效率——理论分析与中国经验[J].国际经贸探索,2021,37(01):66-82.
- [67]商思争,许道乾.中国省际绿色经济测度及影响因素分析[J].商业经济研究,2022,No.843(08):160-165.
- [68]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.

[69]周杰文,赵月,杨阳.“一带一路”沿线省份绿色经济效率时空差异研究[J].统计与决策,2020,36(22):100-103.

[70]彭继增,邓千千,徐丽.OFDI 对绿色经济效率的影响研究:助力抑或阻力?[J].金融与经济,2019,(04):49-54.

## 致谢

韶华易逝，光阴难赶。逐梦财大，永怀感恩。憧憬于2021年的金秋，怀念于2024年的盛夏，三年的研究生生涯在酸甜苦辣中一晃而过，目之所向，心之所想，细说回忆，慢品过往，历经一程山水，却是终要别离。

我要感谢我敬爱的导师申社芳教授。感谢您，对我的鼓励和信任；感谢您，对我的耐心和指导；感谢您，对我的帮助和教诲。学生内心感激不尽，一定会不断努力，对得起老师的辛勤付出。

我要感谢我亲爱的父母。谢谢你们，对我的辛勤养育；谢谢你们，一路上的鼓励和支持；谢谢你们，对我无微不至的关爱和陪伴。我会用一生来感恩。

我要感谢我的同学。三生有幸，得一群知己，感恩相遇，感谢有你。永远铭记，沉甸甸的青春，一起挥洒过的汗水，一起流淌过的泪水，希望我们都可以奔赴美好的前程，依旧热爱，始终挺拔。

我想感谢一直奔跑的自己。很高兴你可以一直坚持初心，做自己真正热爱的事情，努力学习，积极实践，勇于克服困难，敢于追求理想，在用力发光发热的路上越走越远。希望你可以在未来的道路上永远热泪盈眶，永远积极向上。

匆匆的时光不会停歇，这个夏季也终有一别，祝福老师，万事如意；祝福同学，事业顺利；祝福学校，桃李满园。离别已定，但不会结局，我将远远铭记，属于这三年的一切，属于我和这个校园所有的故事。