

分类号
U D C

密级
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 长三角城市群绿色创新效率评价及
影响因素研究

研究生姓名: 邱义勋

指导教师姓名、职称: 柴娟娟 教授

学科、专业名称: 应用经济学 区域经济学

研究方向: 城镇化与城市经济

提交日期: 2024年6月5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： 邵义勋 签字日期： 2024年6月5日

导师签名： 朱明 签字日期： 2024年6月5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：

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： 邵义勋 签字日期： 2024年6月5日

导师签名： 朱明 签字日期： 2024年6月5日

Research on Corporate Governance of Southeast Asian Corporations

Candidate : Di Yixun

Supervisor: Chai Juanjuan

摘要

在我国经济发展方式发生转变的新时代背景下,新发展理念成为引领经济增长与社会发展的指挥棒。党的二十大报告中指出加快发展方式绿色转型与实施创新驱动发展战略。绿色创新成为贯彻落实新发展理念,融合绿色转型与创新驱动的重要手段,能够有效破解资源与环境束缚,为促进经济高质量发展提供强大动力。长三角城市群作为我国经济发展与改革开放的排头兵,经济总量约占全国1/4,以其为对象研究绿色创新在该区域的发展情况有助于为东部地区乃至全国的绿色创新发展提供良好范例。

基于此,本文首先从长三角城市群41个地级市的绿色创新投入、期望产出、非期望产出现状出发,利用超效率-SBM模型测度出长三角城市群的绿色创新效率并利用K-均值聚类方法将41个地级市的绿色创新效率划分为高、中、低效率地区;接着利用核密度估计分析长三角城市群整体与江苏、浙江、安徽的绿色创新效率的动态演变与绝对差异变化;利用Dagum基尼系数分析上述区域的相对差异变化并对差异来源进行分解;其次构建面板Tobit模型,从经济、制度、技术三个角度筛选出七个影响因素,在对七个影响因素对绿色创新效率的作用机理进行分析的基础上,实证分析出影响因素对长三角城市群整体以及高、中、低效率地区绿色创新效率的影响结果。主要得出如下结论:

(1) 长三角城市群各地区绿色创新的投入与期望产出均在逐步增长,非期望产出大幅下降,同时也存在如部分城市创新资源投入不足、资源投入不平衡、发展差异较大等问题;

(2) 长三角城市群整体与上海市、江苏省、浙江省绿色创新效率处于增长趋势,正逐步接近有效值,安徽省绿色创新效率有小幅下降。上海市绿色创新效率始终高于其他地区,接下来依次是江苏省、安徽省、浙江省;

(3) 通过核密度估计发现,长三角城市群绿色创新效率呈现“中心小幅右移,但峰度较宽”的特征,说明域内各地区绿色创新效率呈增长趋势,但绝对差异仍然较大。通过测算Dagum基尼系数发现,长三角城市群整体以及江苏省和浙江省内绿色创新效率相对差异有所下降,安徽省内绿色创新效率相对差异有所上升,江苏省与浙江省之间相对差异缩小,但安徽省与其余两省相对差异扩大,对差异来源进行分解发现,2015年之前,造成绿色创新效率区域差异的来源按贡

献率依次为：区域间差异、区域内差异、超变密度；2015年之后变为超变密度、区域内差异、区域间差异；

（4）在对影响因素进行实证分析时发现，对长三角城市群整体来说，经济发展、对外开放、政府支持对绿色创新效率呈负向显著影响，产业结构、环境规制、受教育水平、信息化水平呈正向显著影响；在分区域分析时，经济发展对高效率地区起正向显著影响，对中、低效率地区起负向显著影响；对外开放对中、低效率地区起负向显著影响，对高效率地区影响不显著；产业结构对高效率地区起正向显著影响，对中、低效率地区影响不显著；环境规制对所有区域都呈显著正向影响；政府支持对高效率地区起正向显著影响，对中、低效率地区起负向显著影响；受教育水平对中、低效率地区起正向显著影响，对高效率地区不显著；信息化水平对高、中效率地区起正向显著影响，对低效率地区不显著；

（5）基于上述结论，本文提出如下建议：第一，加强区域协调能力；第二，优化经济结构；第三，提高对外开放水平；第四，提高技术创新能力；第五，建立和完善绿色创新政策体系。

关键词：长三角城市群 绿色创新效率 超效率-SBM 模型 Tobit 模型 影响因素

Abstract

In the contemporary era marked by the transition of China's economic development paradigm, the novel developmental paradigm has emerged as the guiding principle for promoting economic prosperity and societal progress. The lecture of the 20th National Congress of the Communist Party of China underscored the imperative of Expediting the environmental-friendly reorientation of our development approach and fostering a strategy driven by innovation. Embodying the novel developmental paradigm, green innovation has emerged as a pivotal approach for integrating environmental sustainability with innovation-led progress, thus effectively implementing the new development concept., which can effectively break the constraints of resources and environment, and provide a strong impetus for promoting high-quality development. As the vanguard of China's reform and opening up , the study of green innovation in the Yangtze River Delta city cluster is helpful to provide a good example for the development of green innovation in the eastern region and even the whole country.

Drawing upon the present circumstances regarding green innovation inputs, anticipated outputs, and unintended outputs across 41 prefecture-level cities within the Yangtze River Delta urban .the paper use the Super-SBM model to assess the efficiency of green innovation within this region. And uses the K-means clustering method to divide the green

innovation efficiency of 41 prefecture-level cities into high, medium and low efficiency areas. Secondly, to further investigate the dynamic evolution and absolute variation in green innovation efficiency among the study area, as well as Jiangsu, Zhejiang, and Anhui provinces, kernel density estimation was utilized. Additionally, the Dagum Gini coefficient was employed to explore the variations in relative differences within these regions and dissect the sources of these disparities. Secondly, a panel Tobit model is constructed to screen out seven influencing factors from the three perspectives of economy, system and technology. After analyzing the influence mechanism of seven factors on green innovation efficiency, an empirical study is conducted to explore the impact of these factors on the green innovation efficiency of the study area, as well as on the high, medium, and low efficiency regions within it. The main conclusions are as follows:

(1) Within the various regions of the study area, the input and anticipated outputs related to green innovation are exhibiting a gradual upward trend, whereas the unintended outputs are experiencing a notable decrease. At the same time, there are also some problems, such as insufficient input of innovation resources in some cities, imbalance of resource input, and large differences in development.

(2) The green innovation efficiency of the study area as a whole is in a growing trend with that of Shanghai, Jiangsu and Zhejiang provinces,

and is gradually approaching the effective value, while the green innovation efficiency of Anhui Province has a slight decline. Shanghai's green innovation efficiency is always higher than other regions, followed by Jiangsu Province, Anhui Province and Zhejiang Province.

(3) Utilizing kernel density estimation, it is observed that the green innovation efficiency within the study area exhibits a distinct pattern of "a slight shift of the center towards the right, accompanied by an increase in kurtosis." indicating that the green innovation efficiency of all regions in the region shows an increasing trend, but the absolute difference is still large. By calculating Dagum Gini coefficient, it is found that the relative difference of green innovation efficiency in the Yangtze River Delta urban agglomeration as a whole and in Jiangsu and Zhejiang provinces decreases, while the relative difference of green innovation efficiency in Anhui Province increases, and the relative difference between Jiangsu and Zhejiang Province narrows, but the relative difference between Anhui and the other two provinces expands. The decomposition of the sources of difference shows that, before 2015, According to the contribution rate, the sources of regional differences in green innovation efficiency are: inter-regional differences, intra-regional differences, and super-variable density; After 2015, it became super-variable density, intra-regional difference and inter-regional difference;

(4) In the empirical analysis of the influencing factors, It is

discovered that, in terms of the Yangtze River Delta urban agglomeration as a collective entity, the level of economic development, opening up and government support have a significant negative impact on green innovation efficiency. Meanwhile, the industrial composition and educational attainment exert a noteworthy positive influence. In the sub-regional analysis, it is evident that economic prosperity has a positive and substantial impact on the regions with high efficiency, and a negative and significant impact on the medium and low efficiency areas. Exposure to external markets has a notable negative influence on regions with medium and low efficiency, but has no significant impact on the high efficiency areas. The industrial composition exhibits a positive and significant influence on regions with high efficiency, but has no significant effect on the medium and low efficiency areas. Government support has a positive and significant impact on high efficiency areas and a negative and significant impact on medium and low efficiency areas. The education level has a positive and significant effect on the middle and low efficiency areas, but not on the high efficiency areas. The information level has a significant positive effect on the high and low efficiency areas, but not on the medium area;

(5) Drawing upon the aforementioned conclusions, this paper offers the following recommendations.: First, strengthen regional coordination ability and shorten regional differences; Second, optimize the economic

structure; Third, expand our openness to the external world further; Fourth, enhance technological innovation capabilities; Fifth, establish and improve the green innovation policy system.

Keywords: Yangtze River Delta urban agglomeration; Green innovation efficiency; Super-SBM model; Tobit model; Influencing factor

目 录

1 绪 论	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 有关绿色创新内涵的研究.....	2
1.2.2 绿色创新效率评价研究.....	3
1.2.3 绿色创新效率影响因素研究.....	5
1.2.4 文献评述.....	7
1.3 研究内容、方法与框架.....	8
1.3.1 研究内容.....	8
1.3.2 研究方法.....	9
1.4 创新点与技术路线.....	9
1.4.1 创新点.....	9
1.4.2 技术路线.....	9
2 概念界定与理论基础	11
2.1 概念界定.....	11
2.1.1 绿色创新效率.....	11
2.1.2 城市群.....	11
2.2 理论基础.....	12
2.2.1 增长极理论.....	12
2.2.2 要素禀赋理论.....	13
2.2.3 创新理论.....	13
2.2.4 可持续发展理论.....	14
2.3 绿色创新效率影响因素机理分析.....	14
3 长三角城市群绿色创新现状	19

3.1 绿色创新投入现状	19
3.1.1 R&D 人员投入	19
3.1.2 R&D 经费支出	21
3.1.3 工业用电	22
3.2 绿色创新产出现状	24
3.2.1 期望产出	24
3.2.2 非期望产出	26
4 长三角城市群绿色创新效率测度	32
4.1 研究方法	32
4.2 指标选取与数据来源	33
4.2.1 指标选取	33
4.2.2 数据来源	34
4.3 长三角城市群绿色创新效率测度结果分析	35
4.4 长三角城市群绿色创新效率分类	39
5 长三角城市群绿色创新效率地区差异分析	40
5.1 绿色创新效率动态演进及绝对差异分析	40
5.1.1 核密度估计	40
5.1.2 绿色创新效率动态演变及绝对差异分析	40
5.2 绿色创新效率相对差异分析	43
5.2.1 Dagum 基尼系数	43
5.2.2 绿色创新效率总体及区域内差异	44
5.2.3 绿色创新效率区域间差异	45
5.2.4 绿色创新效率差异空间来源分解	45
6 长三角城市群绿色创新效率的影响因素分析	47
6.1 模型构建	47
6.2 指标选取与数据来源	47
6.3 描述性统计及共线性诊断	48
6.4 绿色创新效率影响因素的回归结果分析	49

6.4.1 整体分析	50
6.4.2 分区域分析	52
7 研究结论及政策建议	55
7.1 研究结论	55
7.2 政策建议	57
参考文献	60
致谢	67

1 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

自改革开放以来，依靠丰富的自然资源和劳动力资源，中国经济迅速发展，整体实力不断增强，社会现代化水平持续提高。但与此同时，生态环境保护的忽视导致了一系列严重问题，如环境污染日趋严峻，自然资源迅速耗竭。这种发展模式对生态环境造成的危害日益凸显，亟待我们深入反思并寻求可持续的发展路径，这种不可持续的发展理念给生态环境带来了严重破坏。十八大以来我国大力推进生态文明建设，经济由高速增长模式逐步转为高质量发展模式。“两山论”的提出为经济社会发展指明了方向，经济增长的目的是为了提高人民生活水平，增进人民福祉。唯有坚持绿色发展的道路，方能确保经济与环境之间的和谐共生与可持续发展，从而切实提升民众的幸福感和获得感。

创新作为经济发展的内在驱动力，在当前我国经济增速放缓，经济发展逐渐步入新常态的时代背景下，已逐步成为转变经济发展方式、推动传统产业转型升级、实现新旧动能转换、提高全球竞争力的最重要因素。党的十九大报告明确提出要贯彻落实绿色发展和创新驱动发展理念，绿色创新作为两大理念的结合，可以有效摆脱资源约束，推动可持续发展，带来经济与生态的双重收益。党的二十大报告明确指出，要加快发展方式绿色转型与创新驱动发展战略，到2035年基本实现美丽中国目标，进入创新型国家前列。绿色创新成为区域破解资源环境约束下经济社会发展瓶颈的重要选择。

长三角城市群是中国经济发展水平、创新水平与制造业集聚程度最高的地区之一，是我国参与国际竞争的重要平台，在国家现代化进程中发挥着重要作用。2016年国务院通过的《长江三角洲城市群发展规划》明确提出将长三角城市群建设为具有全球影响力的世界级城市群。2019年10月《国务院关于长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案的批复》印发实施指出长三角地区要以生态优先、绿色发展为导向，立足区域资源禀赋，促进形成开放式、绿色化的区域空间格局。

2019年12月,《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》正式印发,规划中部署了强化生态环境共保联治、创新一体化发展体制机制等七个方面重要任务。然而由于长三角城市群前期高强度的开发过程造成了较为严重的生态问题,传统产业占比较大,与其他世界级城市群存在明显差距,推动绿色创新成为实现经济的高质量与提高竞争力的必要途径。因此,以长三角城市群为例研究绿色创新具有代表性,能够在探究提高本地区绿色创新效率路径的同时为其他地区提供参考。

1.1.2 研究意义

绿色创新作为同时实现经济效益与生态效益的发展方式,从理论和现实两个层面进行研究有助于对其形成更为清晰的认识。目前,尽管有关绿色创新效率的研究已颇为丰富,主要集中在省域和产业层面,然而针对城市群层面的整体研究尚显不足。本文选取长三角城市群作为研究对象,旨在对其绿色创新效率进行科学深入的评价。此项研究不仅有助于填补现有研究的空白,而且对于丰富和深化城市群绿色创新理论具有显著的学术价值和实践意义。其次,本文对测算出的地区绿色创新效率结果从静态与动态及地区差异三方面展开分析,考察绿色创新效率的时空演化趋势,把握绿色创新效率的演化脉络,有利于深入掌握绿色创新效率变化趋势以及空间分布特征,丰富绿色创新的研究视角。由于不同地区发展水平的差异,本文在全面探究影响绿色创新效率的因素时进行异质性分析,以更精准地识别不同层面绿色创新效率的影响因素。在研究基础上,结合长三角城市群的发展实际,为提升该区域绿色创新效率提供理论支撑和政策建议。同时,本文的研究也可为其他地区在经济增长新常态下,通过绿色创新推动经济高质量发展提供实践启示和经验借鉴,为经济发展注入新的动力。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 有关绿色创新内涵的研究

绿色创新的概念最早可追溯至《驱动绿色创新》一书。该书将绿色创新界定为一种能够为企业带来经济效益的同时降低环境负担的产品或技术。绿色创新是一种具有实际操作性的具体模式,旨在实现经济与环境的和谐共生。Blättel - M

ink (1998) 等认为绿色创新的内涵不仅局限于企业层面的产品和技术创新, 还应充分考虑外部创新的导向作用。如市场创新和营销创新等外部因素同样应当被纳入绿色创新的范畴之中, 共同构成绿色创新的整体框架^[1]。Kemp (2007) 则从系统角度定义绿色创新, 他认为绿色创新不是单一系统内的创新, 而是组织创新系统、产品服务创新系统、环境技术创新系统及生产消费创新系统交互作用结果^[2]。经济合作与发展组织 (2008) 将绿色创新定义为有意识无意识的技术进步、环境效率提升的创新活动, 通过创新过程中的技术溢出、环境外部效应实现生产与生活资源节约^[3]。Giilli (2014) 认为绿色创新是在传统创新基础上与生态相结合的互补性创新^[4]。韩晶 (2012) 认为区域绿色创新是区域创新中纳入了环境污染和资源消耗因素的创新研究^[5]。刘薇 (2012) 将绿色创新分解为技术创新、制度创新与文化创新三个维度, 而技术创新是绿色创新的核心部分^[6]。张钢等 (2013) 认为绿色创新有别于其他创新的原因为其拥有经济和生态效益的双重溢出作用, 通过绿色创新理念使得生产、生活方式向绿色低碳化转型, 进一步提高资源的利用效率^[7]。贯君 (2017) 基于企业视角提出了企业绿色持续创新的定义, 即企业在一个相当长的时间内, 以节能降耗低碳为目标, 在产品、技术、管理方面进行创新来实现创新经济效益的目标^[8]。

1.2.2 绿色创新效率评价研究

当前文献常对某一特定对象的绿色创新效率进行研究, 所研究的对象一般为三种: 第一种是对某一具体的省份进行研究; 第二种是针对某一特定的区域, 如国家经济战略区划中包含的若干城市展开研究; 第三种是对某一产业绿色创新效率进行测度。

对某一具体的省份进行研究中, 罗立科等 (2023) 测算了广东省各市的绿色创新效率, 发现广东省各市之间绿色创新效率差距较大, 呈现不平衡的发展格局, 绿色创新效率较高的城市主要集中在珠三角与粤东地区^[10]。程文君 (2021) 测算了湖南省 13 个地级市的绿色创新效率与绿色全要素生产率的变化, 发现湖南省整体绿色创新效率较高, 效率最高的为省会长沙市, 除三市绿色全要素生产率有所下降外, 其余各市均呈上升趋势, 绿色全要素生产率的提升主要由技术进步主导^[11]。吕岩威等 (2020) 测算了我国 30 个省份 2006-2016 年的绿色创新效率,

发现我国绿色创新效率的空间差异较大,另存在显著的空间相关性;绿色创新效率时空演变存在明显的路径依赖特征,在收敛性检验中发现各地区绿色创新效率的存在显著的空间收敛^[12]。田贵贤等(2021)测算了我国286个地级市的城市绿色创新效率,研究发现我国城市整体绿色创新效率较低,且呈东部跃迁、中部塌陷、东北停滞的态势,提升城市绿色创新效率的主要路径为规模效率,而技术效率对城市绿色创新的拉动作用不明显^[13]。

针对某一特定的区域的测度中,张长江等(2022)测算了长江经济带108个城市的绿色创新效率并分析了其时空演变特征,发现该地区绿色创新效率前期呈倒“V”型发展趋势,下游效率最高,上游和中游地区交替领先,空间格局呈现上游和下游高于中游的“U”型特征^[14]。程刚等(2023)测算了我国三大经济圈的绿色创新效率,发现三大经济圈绿色创新效率均呈波动上升趋势,但发展水平不一,长三角经济圈绝对领先与其他经济圈,环渤海经济圈最低;三大经济圈均具有正向空间溢出效应^[15]。鲍涵等(2022)测算并刻画了长三角地区城市绿色创新效率,发现长三角地区城市绿色创新效率总体呈波动上升趋势,区域差异逐渐缩小,高效率分布区逐渐由自然禀赋地区向高技术水平区转移^[16]。在城市群绿色创新效率研究中,李金滢等(2016)研究长江中游城市群28个地级市的城市绿色创新,发现湖北域内大部分城市出现技术效率与边际效率下降的问题,另认为技术效率需与技术进步同步发展,单纯依靠技术进步无法实现城市的可持续发展^[17]。滕堂伟等(2010)构建了城市尺度绿色创新效率测度模型,研究发现长三角城市群绿色创新效率整体呈上升趋势,技术效率为主要驱动力,各城市绿色创新效率差异缩小,趋向协同化^[18]。王保林等(2023)测度京津冀城市群的绿色创新效率,结果显示在该期间各城市绿色创新效率差距缩小,但整体上仍不平衡,城市群绿色创新效率存在空间正相关^[19]。王星等(2022)研究黄河流域沿线城市的绿色创新效率,发现该区域绿色创新效率总体呈“阶梯式”分布格局,黄河流域下游效率最高,中游、上游依次下降,收敛性研究中,上游呈收敛,中游、下游呈强收敛-弱极化的发展态势^[20]。

针对某一产业绿色创新效率的测度中,陈瑶(2018)测算我国工业绿色发展全要素生产率,发现我国工业绿色发展的创新要素较于传统要素利用效率更高,但波动较大。同时,东部地区的效率均值远高于其他地区,技术进步在2009-2013

年对工业绿色发展作用显著，2013年以后技术效率的作用更大^[21]。向云波等（2021）测度分析长江经济带化工产业的绿色发展效率及其空间分异特征，发现研究期内该产业绿色发展效率显著提升，但空间分异明显，区域间差异逐步缩小，区域内差异逐步扩大。提出化工产业因地制宜，实行差异化转型的绿色发展策略^[22]。袁茜等（2017）测算了30个省份大型制造业的创新效率，发现我国大型制造业整体创新效率较低，平均创新效率最高的为东部地区，多数大型制造业企业均存在一定提升空间，并据此对不同地区大型制造业企业的创新效率提出提升路径意见^[23]。高广阔等（2018）测度发现京津冀地区高耗能产业绿色创新效率水平较低，但整体呈上升趋势；各市间的高耗能产业绿色创新效率存在明显差异，但差异随着时间演变呈现收敛态势^[24]。吴超等（2018）对我国16个重污染行业绿色创新效率进行研究，发现当前我国重污染行业处于转型期，创新活动与环境污染同时显著存在，重污染各行业绿色效率低于创新效率，从而拖累绿色创新效率的提高，据此明应加大资金投入，促进绿色技术的研发与应用^[25]。刘佳等（2018）研究发现我国旅游产业绿色创新效率整体关联强度不高，但保持上升态势；东部地区在空间网络中由较强的影响，发挥领导着的作用，中部和西部地区发挥中枢和传导作用^[26]。

1.2.3 绿色创新效率影响因素研究

1.2.3.1 绿色创新效率影响因素研究方法

对绿色创新效率的影响因素的研究，主要采用空间计量、门槛效应、双重差分模型。由于绿色创新可通过溢出效应对周边地区产生影响，所以部分学者采用空间计量模型来分析影响因素，如王保林等（2023）^[19]；游达明（2020）等使用了空间杜宾模型^[26]，吕岩威（2020）使用了空间误差与空间滞后模型。有的学者采用了门槛模型来检验变量的门槛效应^[12]，如Liang Liu（2023）^[28]；张杰飞（2022）等^[29]。在验证政策因素对绿色创新效率时，学者多使用双重差分模型，如吴鸣然（2023）^[29]；Zhou Di（2023）等^[30]；除上述方法外，还有固定效应模型卢建霖（2023）^[31]，系统GMM动态面板模型肖仁桥等（2020）^[33]，双边随机前沿模型康鹏辉等（2020）^[34]，由于绿色创新效率属于受限变量，有部分学者使用了Tobit模型，考虑本文研究需要，本文选用面板Tobit模型进行实证检验。

1.2.3.2 绿色创新效率影响因素变量选取

参考已有文献,由于研究对象的不同,学者们对影响因素的选取及实证结果也有所不同,主要有环境规制、产业集聚、数字化、外商投资等因素:环境规制方面游达明(2020)研究发现“行政命令型”环境规制对本地工业企业绿色创新效率具有显著正向作用,但对周围地区企业存在显著抑制作用;“市场激励性”环境规制对本地工业企业绿色创新效率具有空间异质性,仅在东部地区存在显著正作用,对周围地区不存在溢出或抑制效应,据此对东部与中西部地区提高企业绿色创新效率提出建议^[27]。康鹏辉等(2020)对比分析了环境规制对绿色创新效率的三种效应,研究发现环境规制的创新补偿效应大于遵规成本效应,使得环境规制的总体有效,在样本内验证了“波特假说”;环境规制的驱动效用与市场化水平呈反向变动关系,市场化水平越高,驱动效应越弱^[34]。刘章生等(2018)发现环境规制对绿色技术创新存在“门槛效应”,两者之间呈明显的“倒N型”关系,在环境规制处于中等强度时,对绿色技术创新的促进作用是最优的^[35]。产业集聚方面刘丙泉等(2023)研究了制造业与生产性服务业的协同集聚在绿色创新研发与绿色创新成果两个阶段的影响,发现上述两种产业集聚在绿色创新成果转化阶段有显著影响,但在研发阶段的作用不明显^[36]。王超群(2022)发现生产性服务业集聚对绿色创新效率的作用呈现显著的“U”型特征,其通过知识溢出、改善资源配置这两条路径来促进绿色创新效率提高^[38]。数字化方面刘畅等(2023)以A股制造业上市公司为样本,实证分析数字化转型对制造业绿色创新效率具有显著影响,对国有企业与重污染企业的作用更为明显,数字化转型通过媒体监督与应用虚拟仿真技术作用于制造业企业^[39]。郭爱君等(2023)通过空间杜宾模型研究发现数字经济产业发展对城市绿色创新效率中的科技研发效率和成果转化效率均起到显著地促进作用,但在绿色成果转化阶段会对其产生负向溢出效应^[40]。外商直接投资方面,岳立等(2022)发现FDI对绿色发展效率存在先抑后扬的作用,FDI对自主创新存在显著的外溢作用,对技术引进作用较弱^[41]。韩先锋等(2023)研究了我国双向直接投资即对外直接投资与外商直接投资的动态绿色创新效应,研究表明双向直接投资并未对绿色创新效率产生协调或者互补效应,而是一种显著地负向交互效应,我国对外直接投资还未达到能够促进本国绿色创新效率提升的水平,外商直接投资会阻碍绿色创新效率提升^[42]。上述因素为目前对

绿色创新效率产生作用的主要研究对象,除此之外,也有一些学者研究了其它因素对绿色创新效率的影响。李军(2021)发现融资约束会降低企业环境治理的动力,从而减少对绿色行为的资金支持,另外由于企业自发开展绿色行为的动机较低,因此需要政府缓解企业资金约束的同时,通过环境规制加强对企业的监督管理^[43]。贺子欣等(2022)发现要素市场扭曲会抑制绿色创新效率,而高技术产业集聚会削弱这种影响,在到达一定集聚程度时这种负向影响能够被扭转^[44]。吴鸣然等(2023)发现智慧城市建设对城市绿色创新效率有激励作用,但激励作用主要来源于时间效应,城市绿色创新效率的提高目前主要依靠的是经济发展与城市建设^[29]。

另外有部分学者对多种因素进行了研究,王保林等(2023)分析出对外开放、基础设施建设和信息化对京津冀城市群绿色创新效率具有直接效应,另外对外开放、城市人口、劳动力素质等因素具有显著的溢出效应^[19]。陈蓓等(2022)发现产业结构会抑制绿色创新发展,环境规制、财政支出、交通水平等会提高绿色创新效率,但除了环境规制外,其余因素不存在空间溢出效应^[45]。许玉洁等(2022)发现人均收入、师资力量、外资利用、产业结构均是影响黄河流域绿色创新效率的重要因素^[46]。肖仁桥等(2020)发现贸易开放度、研发人员流入、基础设施完善程度会正向影响绿色研发效率,知识产权保护会抑制绿色研发效率,贸易开放度会抑制绿色成果转化效率^[33]。

1.2.4 文献评述

依据上述文献得出:第一,目前国内外对测度绿色创新效率的方法以DEA及其衍生模型和SFA模型为主,但除超效率-SBM模型外,其余模型不能对达到有效绿色创新效率的地区进行比较,无法完整的表示地区绿色创新效率的变化。第二,目前对绿色创新效率的相关研究主要以省域层面和产业层面为主要研究对象,也已确立了较为成熟的产业绿色创新效率的指标体系,而城市群层面的绿色创新的研究较少。第三,尽管绿色与创新的研究日益受到关注,但将两者同时兼顾的研究仍显不足。特别是在城市群层面,对于绿色创新活动的深入研究亟待补充。当前多数研究仍然仅局限于片面地考虑绿色城市或单纯关注创新型城市,这

种局限性使得我们难以全面理解绿色创新在城市群发展中的重要性和复杂性。

基于此，本文基于超效率-SBM 模型、核密度估计与 Dagum 基尼系数分别对长三角城市群总体与各区域绿色创新效率的水平、动态演进过程以及地区间差异进行分析；最后，利用 Tobit 回归分析影响长三角绿色创新效率的因素，基于研究结果提出促进长三角城市群绿色创新效率的政策建议。

1.3 研究内容、方法与框架

1.3.1 研究内容

第一章，绪论。简要介绍研究的选题背景、研究意义；从绿色创新效率内涵、评价以及影响因素三方面梳理相关文献。通过梳理已有文献，并结合选题实际确定本文研究方法以及路线。

第二章，概念界定及理论基础。该部分主要对绿色创新的概念进行界定同时梳理相关理论，并分析长三角城市群绿色创新效率的影响因素的作用机理。

第三章，现状描述。对长三角城市群 2011-2021 年的绿色创新投入、期望产出和非期望产出发展现状进行描述，初步了解长三角城市群绿色创新的基本情况。

第四章，长三角城市群绿色创新效率评价。构建效率评价指标体系，然后将指标体系代入含非期望产出的超效率-SBM 模型测算长三角城市群绿色创新效率，并利用 K-均值聚类法将长三角城市群 41 个城市分为高效率、中效率与低效率地区。

第五章，利用核密度估计与 Dagum 基尼系数对长三角城市群绿色创新效率的动态演进与地区差异进行分析。

第六章，长三角城市群绿色创新效率影响因素实证研究。对第二章绿色创新效率影响因素作用机理进行实证检验，将筛选出的影响因素代入面板 Tobit 模型对其进行实证研究。

第七章，结论及政策建议。根据各部分研究结果提出相应的政策建议，有效提升长三角城市群绿色创新效率。

1.3.2 研究方法

1.3.2.1 文献分析法

梳理国内外相关文献，归纳绿色创新效率内涵、评价及影响因素三方面的研究现状，总结已有研究的优势和不足，为确定本文研究方法提供了思路。

1.3.2.2 实证分析法

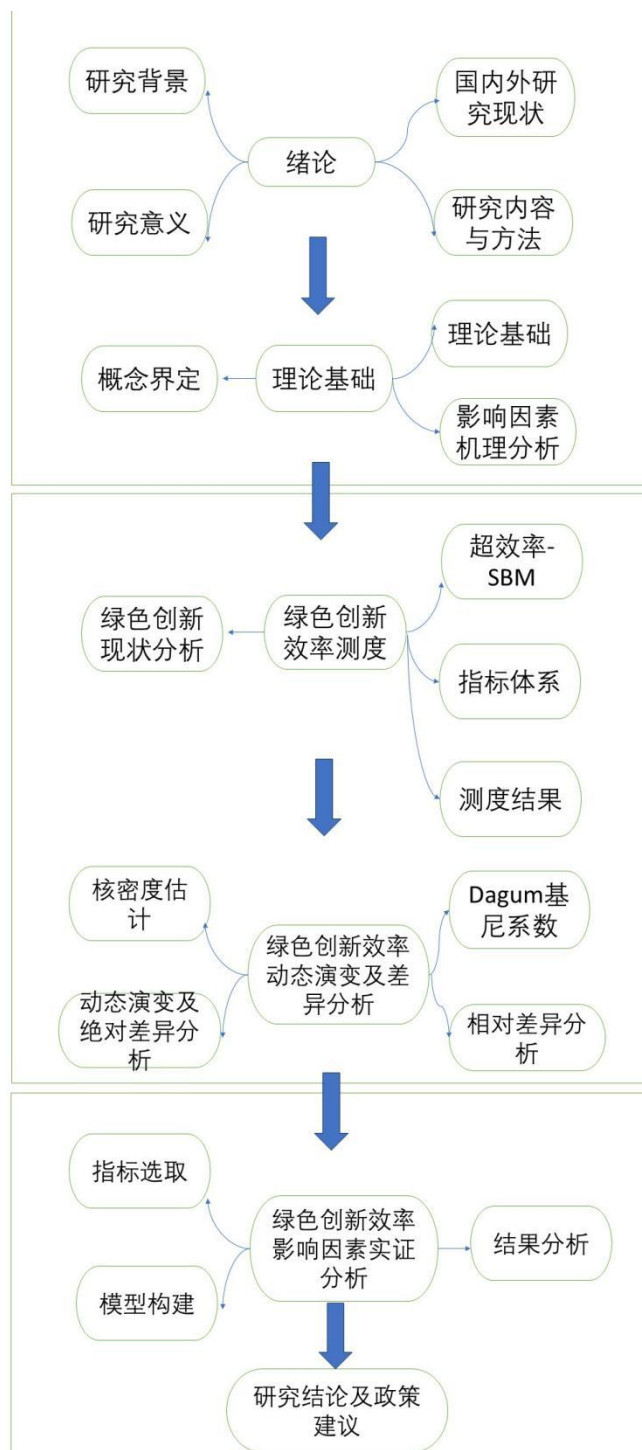
本文首先从投入、期望产出以及非期望产出三个维度，构建出效率评价指标体系。随后，借助超效率-SBM 模型对长三角城市群的绿色创新效率进行测算。为深入研究绿色创新效率的动态演变趋势及其地区间的差异，本文进一步采用了核密度估计与 Dagum 基尼系数法。在探讨绿色创新效率的影响因素时，本文基于绿色创新效率的影响机理，选取了相关的影响因素变量，并将其代入面板 Tobit 模型进行实证研究，从而确定影响绿色创新效率的显著因素。

1.4 创新点与技术路线

1.4.1 创新点

通过对文献的梳理发现，对长三角城市群绿色创新效率的研究较少，已有的文献仅在某一产业绿色创新效率层面，本文基于整体视角对长三角城市群绿色创新效率进行研究。同时，已有文献多是从静态角度对绿色创新效率进行评价，从动态演变角度对绿色创新效率进行研究，本文利用核密度估计与 Dagum 基尼系数法对长三角城市群整体与各区域的绿色创新效率的动态演进和差距进行研究，能更清晰地反映长三角城市群各地区绿色创新效率的发展现状与特征，从而为不同地区绿色创新效率的提升提供现实依据。

1.4.2 技术路线



2 概念界定与理论基础

2.1 概念界定

2.1.1 绿色创新效率

亚当·斯密在《国富论》中最早提出了效率的概念，他认为市场经济中的效率是指资源的最佳配置，以实现最大的总产出和社会福祉。一般意义上，效率被定义为在特定目标或资源约束下，如何以最佳方式利用资源或时间，以实现最大的产出、效益或价值。绿色创新效率是在效率的概念基础上加入了绿色创新的理论，来衡量绿色创新的发展水平，目前学术界对绿色创新效率没有形成一个完全统一的定义，本文在参考以往学者的研究后，总结出绿色创新效率所考量的几个主要方面：第一是资源利用效率，评估绿色创新过程中是否能更有效地使用资源，包括能源、水资源、原材料等。高绿色创新效率意味着更少的资源消耗；第二是碳排放和污染减少，绿色创新是否能够减少碳排放、空气污染、水污染等环境影响。高绿色创新效率将有助于改善环境质量；第三是可持续产品和服务，绿色创新是否导致了更环保、更可持续的产品和服务的开发，以满足市场需求；第四是生命周期分析：考虑绿色创新产品或服务的整个生命周期，包括生产、使用和处置阶段的环境影响，以确定其绿色创新效率；第五是社会和经济效益，绿色创新是否有助于提高社会福祉、降低成本、增加就业机会等社会和经济效益。

2.1.2 城市群

城市群的概念起源于 20 世纪初关于城市化和区域发展的研究。这一时期，学者们开始关注城市间的相互作用和区域网络。这也是早期城市化理论。20 世纪 30 年代，德国地理学家沃尔特·克里斯塔勒（Walter Christaller）提出的中心地理论解释了城市如何根据服务和商品的供应范围在空间上分布，对城市群的理解产生了深远影响。50 - 60 年代，经济学家和地理学家开始研究城市体系和城市等级，关注城市之间的经济和社会联系。80 年代，随着全球化的加速，学者们开始关注城市群在全球经济中的作用。萨斯金（Saskia Sassen）等学者对全球城市进行了研究，强调金融和服务业在城市群发展中的重要性。1980 年，中国地理

学家宋家泰在其《城市—区域与城市区域调查研究--城市发展的区域经济基础调查研究》一文中首次提出了“城市群”这一术语，并对城市群进行了界定：“多经济中心的城市区域”。21世纪初，随着信息技术的发展和全球化的深入，城市群理论进一步演变。学者们开始重视城市群内部的多样性和复杂性，以及城市群与全球网络的互动。近年来的研究开始集中在如何使城市群可持续发展，包括环境友好、经济效率和社会包容性。智能城市群的概念也随着技术的发展而兴起，强调数据和技术在城市管理和发展中的作用。通过梳理相关学术研究，并从本文研究视角出发，界定城市群是指以数个大型城市为核心，依托特定的自然环境条件，借助高度发达的交通和信息网络，将数量可观、性质和类型各异的城市有机地联系在一起，构成一个经济上紧密互动的城市集合体。这些城市之间的产业分工与合作明显，同时，交通、社会生活、城市规划以及基础设施建设都在一定程度上相互影响。

2.2 理论基础

2.2.1 增长极理论

增长极理论，最初源于法国经济学家弗朗索瓦·佩鲁在1950年的研究，该理论在西方区域经济学中被视为经济区域观念的重要基石，同时也是不平衡发展理论的关键支撑。佩鲁认为，实现国家平衡发展仅是一种理想化的构想，在现实中难以实现。因此，在经济发展中应选择特定的地区，这些地区具有吸引资源和投资、培育新产业和创新的能力，让这些地区首先成为增长极，再通过各种传导机制来带动周边区域的经济发展。具体来说，增长极是指在某一特定地理区域内，一组推进性的产业和经济活动所发生的空间聚集现象。这些具有推进性的产业与活动能够产生主导效应，进而构建一个类似于力量场域的经济空间。在这一力量场中，那些具有推进作用的单元，我们可以称之为增长极。增长极是以推进性主导工业部门为核心，组织起来的一组充满活力且高度协同的产业群体。它不仅能够实现自身的迅速增长，更能够通过乘数效应，推动整个区域经济的蓬勃发展。长三角城市群内部在绿色创新的过程中必然会有处于不同阶段发展水平的地区，形成不均衡的发展格局。通过增长极理论，能够更科学地分析形成不均衡发展格局的原因。

2.2.2 要素禀赋理论

要素禀赋理论，又称赫克歇尔-俄林理论，该理论强调一个国家或地区的经济表现与其拥有的要素禀赋（生产要素，如劳动力、土地、资本等）密切相关。它的核心思想是，不同地区或国家由于拥有不同的生产要素而在产业结构和经济表现上存在差异。该理论假设生产要素可以自由流动。这意味着，如果一个地区或国家在某个要素上有相对的短缺，那么它可以通过吸引外来要素投资来弥补这种不足，从而促进经济增长。要素禀赋理论中的一个关键概念是“比较优势”，根据该理论，一个地区或国家会在拥有相对丰富的生产要素上表现出比较优势，这意味着它更容易、更有效地生产与其生产要素相关的商品和服务。长三角城市群涵盖了四个省市，内部各地区的发展情况各异，在绿色创新方面也有较大的不同，想要实现绿色创新效率的提升，既要依靠长三角城市群发挥集群作用，也需要根据不同地区的资源禀赋来因城施策。

2.2.3 创新理论

在 1912 年问世的《经济发展理论》一书中，经济学家熊彼特（Joseph Schumpeter）首次提出创新理论，他强调创新是将一种新的生产要素与生产条件构成的“新组合”引入生产体系的过程。熊彼特的创新理论涵盖了五种主要创新形式，即产品创新、生产技术创新、市场创新、要素创新以及组织管理创新，这些创新形式共同构成了其理论框架的核心内容。之后，美国学者贝里(B.J.L.Berry)又提出了区域创新扩散理论，贝里认为城市中心在发展中会起到创新渗透作用与增长利益扩展作用，经济增长起源于企业和家庭采用了创新的生产方式。他提出，创新会依据城市等级体系的顺序由上至下逐渐渗透，并且会向城市周边区域进行横向的拓展与延伸。同时，创新的收益存在时间递减效应，同时也被扩散的门槛范围所制约，这成为区域发展不平等的原因。

区域创新理论的核心是区域创新系统，英国学者库克教授在其 1996 年主编出版的《区域创新系统-全球化背景下区域政府管理的作用》一书中深入探讨了区域创新系统的概念。他提出，这一系统是指在特定地理区域内，与创新投入密切相关的创新网络与制度性支撑安排的互动体系。在这个体系中，创新网络涵盖

了企业、大学、研究机构以及政府等多个主体。区域创新系统的核心机制涵盖了利益驱动、学习培训、决策信息以及竞争协作等多个方面。该系统主要承载着六大功能：引导并推进有针对性的创新活动、增强区域的自主创新能力、促进区域产业结构的优化升级、构建区域竞争优势、以及推动区域经济实现跨越式发展。本文认为绿色创新即是在促进形成一种区域创新系统，它具备着上述区域创新系统的六种功能。

2.2.4 可持续发展理论

1992年联合国环境与发展大会通过的《21世纪议程》，将可持续发展定义为“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其自身需求能力构成危害的发展”。它的本质是人类的经济活动不能超过现实科技水平和社会发展水平条件下的资源与环境的承载能力。目前对可持续发展的理解主要集中在全面发展和公平发展两方面：全面发展的意思是发展的目的不只是为了生产财富，而是包括经济发展、环境改善和社会进步三个方面；公平发展的核心是构建和谐社会，它包括人类与自然界的公平与当代人与后代人发展机会的公平。

孙久文教授在上述内容的基础上定义了区域可持续发展：在特定的区域空间内，以自然和社会资源的合理利用为前提，借助区域经济增长的推动，通过积极应对环境问题，从而实现国家各个区域的科学、合理、持久、安全和协调的发展。该理论的内涵包括统一现实发展与未来发展；兼顾区域经济发展与社会进步；注重保护生态环境；保证所有区域的平等发展^[56]。本文认为绿色创新的目的就是实现区域的可持续发展，或者说是绿色创新是实现区域可持续发展的手段之一。

2.3 绿色创新效率影响因素机理分析

绿色创新活动是一个复杂的过程，它受到内外部多方面因素的影响，且在不同区域同一影响因素可能也存在不同的影响结果。因此，对绿色创新效率影响因素的研究能够为进一步提升绿色创新效率提供路径支持。本文基于前期文献及相关理论的分析，结合长三角城市群绿色创新发展特点，总结出三个主要层面，并基于此做进一步分析。

第一是经济层面。经济因素是绿色创新活动的基础，它为绿色创新提供了必需的经济环境，全过程的影响着绿色创新。经济因素既可以促进绿色创新效率的

提升，也会在一一定的条件下抑制绿色创新效率。

第二是技术层面。技术是提升绿色创新效率的主要动力来源，其主要从内部与外部两条路径来促进绿色创新效率。内部路径主要通过自身教育水平积累人力资本，外部路径主要通过吸引外来先进技术，通过技术溢出来促进绿色创新效率。

第三是制度层面。制度因素对绿色创新效率既能够起到激励作用，也可能会约束绿色创新效率。当一项制度或政策的正外部性大于负外部性时，其对绿色创新效率起到激励作用，能够为提升绿色创新效率消除显性或潜在的障碍；相反，如果一项制度或政策的正外部性小于负外部性时，那这项制度或政策就会成为绿色创新效率的障碍因子，抑制绿色创新效率的提升。

综上，本文首先在经济层面选取经济发展、产业结构、对外开放三个代表因素，在技术层面选择受教育水平、信息化水平两个代表因素，在制度层面选择环境规制、政府支持两个代表因素，继而对上述因素对绿色创新效率的影响机理进行分析。

(1) 经济发展

经济发展水平是影响绿色创新效率的基础因素，其主要从资源配置与技术支持两方面作用于绿色创新效率。一方面，人才、资本等生产要素具有逐利性，会自动向经济发展水平较高或潜力较大的地区集中，经济发展也可以使用非市场化手段来调配各项生产要素，形成要素集聚，从而为绿色创新提供资源支持，以此提高绿色创新效率；另一方面，由环境库兹涅茨曲线可知，地区经济发展与环境污染水平具有倒U型关系。当经济发展水平较低时，地区经济主要以“三高”的传统产业为主，环境污染严重，技术力量薄弱，绿色发展水平与创新能力低，当经济发展水平上升到一定程度时，产业结构开始转变，新兴产业开始发展，经济实力能够提供技术支持，来促进绿色发展与创新能力提高，从而提高绿色创新效率。综上，本文认为经济发展对绿色创新效率的影响可以是正向也可以是负向。

(2) 对外开放

我国自改革开放以来不断提高对外开放水平，以东部地区为桥头堡，不断加强与外国企业的经济贸易往来，外商投资对我国经济发展包括绿色创新有很大的影响。具体而言，外商投资主要从以下两方面作用于绿色创新效率。一方面是“污染天堂”假说，我国与外资企业的经贸之初以承接产业转移为主，东道国出于成

本与相关污染标准不达标的考虑将产业转移至我国,这些产业主要以劳动密集型产业为主,同时伴随着技术水平低,污染程度高的特征,这不仅不会提高我国绿色创新效率,反而会抑制绿色创新效率提升;另一方面是“污染光环”假说,我国对外开发可以引进外国先进技术,如清洁环保技术,来降低企业生产的污染水平。同时外商投资可以通过技术溢出使我国本土企业能够模仿外国先进技术,也可以激励本土企业与外国企业竞争,来提升自己的创新能力。综上,本文认为对外开放对绿色创新效率的影响可以是正向也可以是负向。

(3) 产业结构

产业结构可以从产业结构合理化与产业结构高级化两方面作用于绿色创新效率。第一,产业结构合理化是指各个产业之间的合理配置以及各种生产要素的合理调配。产业结构合理化可以加强各个产业和各个行业间的关系,产生协同效应和集聚效应。协同效应能够使资源分配更加合理,提高要素流动速度,从而提升生产效率;集聚效应能够提高资源利用效率,减少资源消耗,降低生产成本,促进知识溢出,提升区域绿色创新效率。第二,产业结构高级化是指经济发展中的主导产业依次变为第一、二、三产业,由低技术附加值产业主导升级为高技术附加值产业主导。生产要素方面体现为从劳动密集型产业升级为资本密集型再升级为技术密集型产业。产业结构高级化过程中,一方面体现在低附加值产业的淘汰,产业价值链的延长,经济产出增加,另一方面体现在产业中技术含量与技术水平提高,创新能力不断提升。因此产业结构合理化与高级化均能够提高绿色创新效率。综上,本文认为产业结构对绿色创新效率能够产生正向作用。

(4) 环境规制

环境规制对绿色创新效率存在正向和负向两种影响,最终作用决定于哪种影响取得优势。首先是负向影响,其主要通过“成本效应”体现出来,第一,环境规制为遵守法律法规会增加企业污染治理方面的投入成本,增加企业负担;第二,由于经济发展水平的提高,市场包括消费者逐渐倾向于选择绿色环保的产品,这迫使企业进行转型升级,转变生产方式,大幅增加企业成本;第三,随着生态文明建设的理念上升到国家战略层面,企业为取得竞争优势、占据市场份额会主动参与到绿色建设中。这些成本包括显性成本与隐性成本,会大幅增加企业成本,降低企业效益,反过来又会减少企业的技术创新投入。

环境规制对绿色创新效率的正向影响通过“创新补偿”体现出来,根据波特假说,环境规制能够提升企业的技术创新能力与绿色发展水平,增强企业竞争力,提高企业利润,这些利润能够部分或全部抵消为遵循环境规制所发生的成本。企业出于遵守相关规定与增强市场竞争力和市场份额的目的,将企业战略重心和资源倾向于绿色创新,为提升绿色创新提供了良好的发展环境。企业在生产过程中通过使用清洁技术或者减少资源浪费来减少企业生产成本,提高资源利用率,这是过程补偿。企业生产出的环保型产品在更受市场的青睐,竞争力更强,这是产品补偿。综上,本文认为环境规制对绿色创新效率的影响可以是正向也可以是负向。

(5) 政府支持

政府作为绿色创新的重要主体之一,因此政府支持在绿色创新的过程中发挥了不可替代的作用。第一,绿色创新既是一种发展方式,也是一种发展理念或政策的延续,政府主导了相关政策的制定、执行和监管;第二,政府为绿色创新提供资金支持。政府通过建设相关平台,提供资金支持,帮助企业或研究机构进行创新研发活动。通过财政补贴,税费减免等政策减轻企业研发成本。第三,政府为绿色创新提供技术和人才支持,通过加大科技和教育支出,一方面引进先进技术与人才,另一方面支持培养本土的科技与人才力量,提高绿色创新效率。综上,本文认为政府支持对绿色创新效率能够产生正向作用。

(6) 受教育水平

教育水平积极影响着绿色创新效率,第一,人才是绿色创新的重要生产要素,绿色创新的关键在于对技术人才的培养,人才也是提升创新能力的基础。受教育水平越高的地区往往能够更多的培养出技术创新人才,形成人才集聚,为绿色创新提供智力支持;第二,受教育水平越高,人口素质越高,环保意识也更加强烈。一方面能够改变人们的生活方式和生活理念,推动绿色环保的生活方式,维护生态环境。另一方面能够让人们在消费中选择绿色环保的产品,这能够倒逼企业进行绿色生产,激发企业的绿色创新活力,同时也可以监督企业的日常生产活动。综上,本文认为受教育水平对绿色创新效率能够产生正向作用。

(7) 信息化水平

信息作为现代经济发展的新生产要素,在绿色创新中起到关键性作用。第一,

信息化建设需要大量的人力资本，能够吸引到高素质人才，产生“集聚效应”，为绿色创新提供智力支持；第二，信息化可以强化“知识溢出”效应，绿色创新既需要强大的自我研发水平，也需要及时获取外部的先进技术和信息，信息化可以打破信息传播壁垒，拓宽传播渠道，促进知识传播；第三，企业通过信息化建设能够优化管理方式与生产方式，提高企业整体效率，同时，能够及时获取市场信息，调整生产计划，宣传企业新产品，提高企业效益；第四，政府提高信息化水平能够更加及时、精准、智能履行政府职能，强化政府对环境的监管力度，也能够及时为绿色创新活动提供相关支持。综上，本文认为信息化水平对绿色创新效率能够产生正向作用。

3 长三角城市群绿色创新现状

绿色创新包含绿色发展与技术创新两个目标，其过程分为要素投入与产品生产两个阶段。其中在产出阶段增加非期望产出用以体现创新的绿色效应，因此本章将此投入、期望产出和非期望产出三部分来对长三角城市群的绿色创新现状进行描述。

3.1 绿色创新投入现状

绿色创新的投入主要为劳动投入、资本投入、能源投入，其投入水平的高低直接影响着绿色创新效率的水平。

3.1.1 R&D 人员投入

绿色创新的劳动投入主要通过 R&D 人员投入来表现，其是指研究期内企业内部参加科学研究活动的人员。如图 3-1 为 2011 年-2021 年长三角城市群 R&D 人员投入情况。

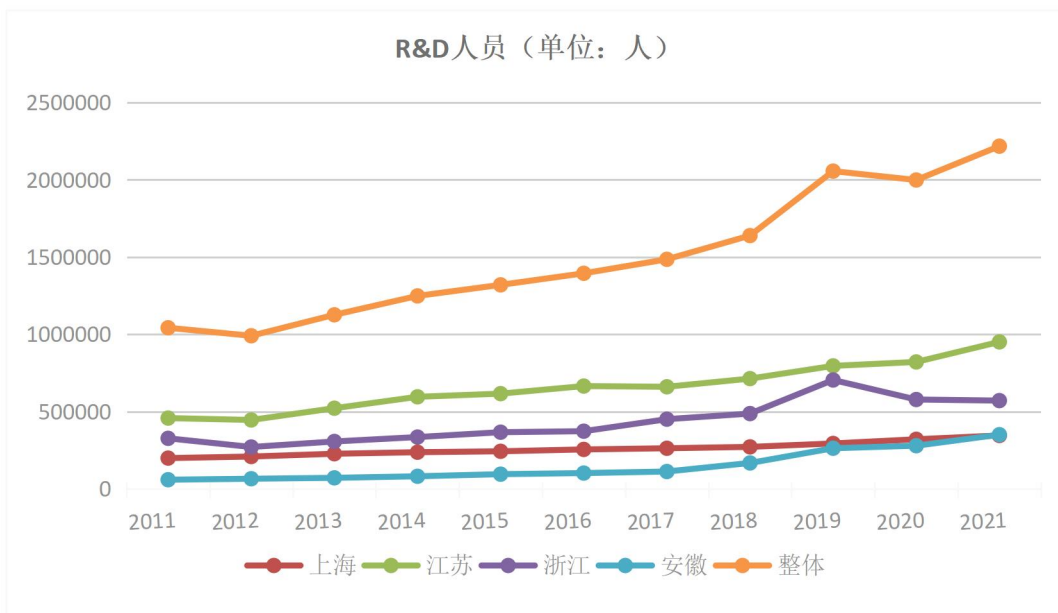


图 3-1 2011-2021 年长三角城市群 R&D 人员投入

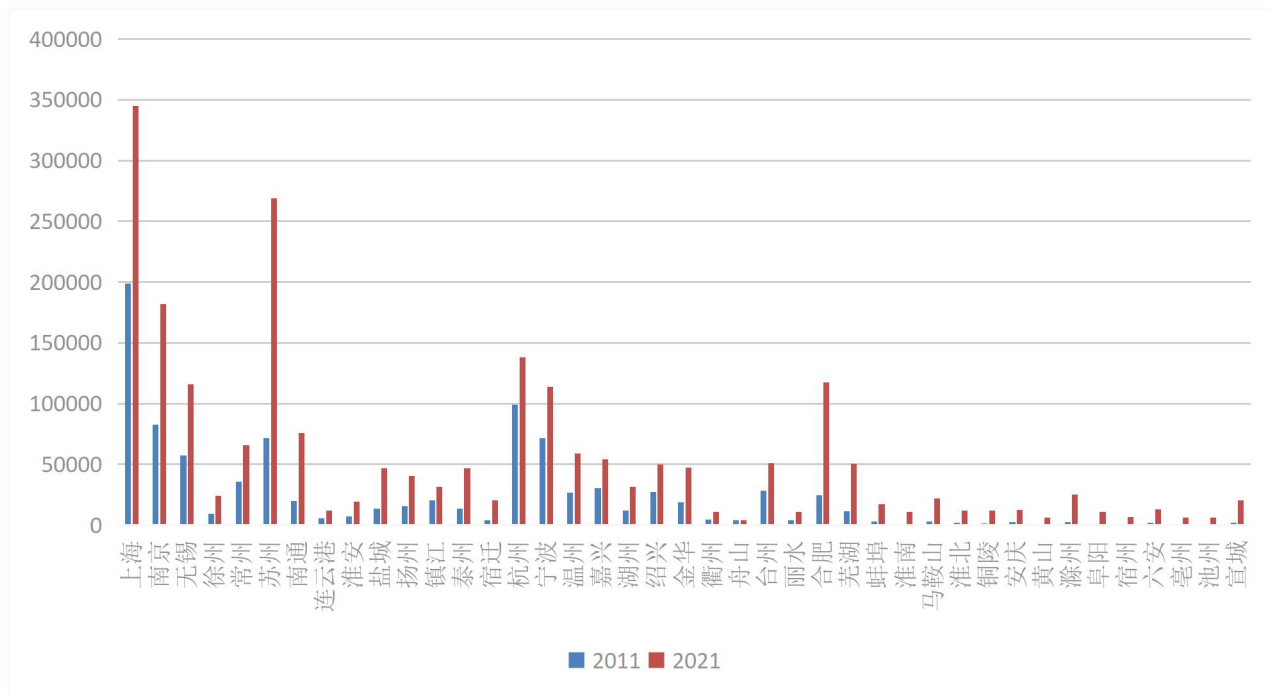


图 3-2 2011 年与 2021 年长三角城市群各市 R&D 人员投入

由图 3-1 可知，长三角城市群 R&D 人员除个别年份外基本呈逐年上升趋势，由 2011 年的 1041571 人上升到 2021 年的 2216157 人，增长了 113%，年均增长 106780 人。从各省情况看，四省市在研究期内 R&D 人员数皆呈增长趋势。总量上，江苏省 R&D 人员数量始终高于其余三个省市，余下依次为浙江、上海、安徽。各省市增长率方面，安徽省增长最快，为 295%，接下来是江苏 108%、浙江 74.7%、上海 73.6%。

图 3-2 为长三角城市群 41 个城市 2011 年与 2021 年的 R&D 人员数，可以看出研究期内各城市 R&D 人员都有所增加，但增加幅度不一，各省市间差异明显。上海在研究期内 R&D 人员数始终处于第一，由 198700 人增加到 345000 人。江苏省内增速与总量最高的城市为苏州，由 71587 人增加到 269148 人，接下来是南京，由 82881 人增加到 181916 人，第三是无锡，由 57616 人增加到 115835 人，然后是常州与南通，连云港、淮安和宿迁市总量与增速都较小。浙江省内总量最大的城市为杭州市，由 99100 人增加到 138100 人，接下来是宁波，由 71400 人增加到 113900 人，衢州、舟山与丽水总量最少，其余城市基本一致。安徽省内增速与总量最高的城市为合肥，由 24703 人增加到 117307 人，第二为芜湖，由 11625 人增加到 50511 人，其余城市总量都较小。可以看出，安徽省内各城市间

的差异较大，R&D 人员主要集中在合肥与芜湖，其余城市在研究期内的增长并不明显。江苏与浙江省内差异也比较明显，资源主要集中与经济发达城市。

3.1.2 R&D 经费支出

绿色创新的资本投入主要通过 R&D 经费支出来表示，其是指企业用于开展科学研究活动的经费支出。如图 3-3 为长三角城市群 2011-2021 年 R&D 经费支出情况。

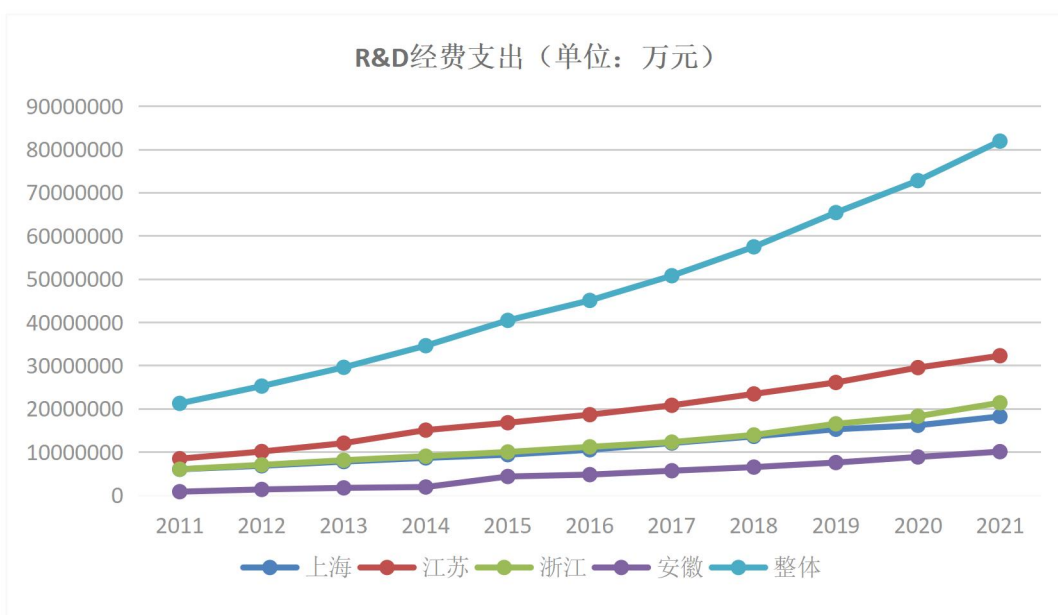


图 3-3 2011-2021 年长三角城市群 R&D 经费支出

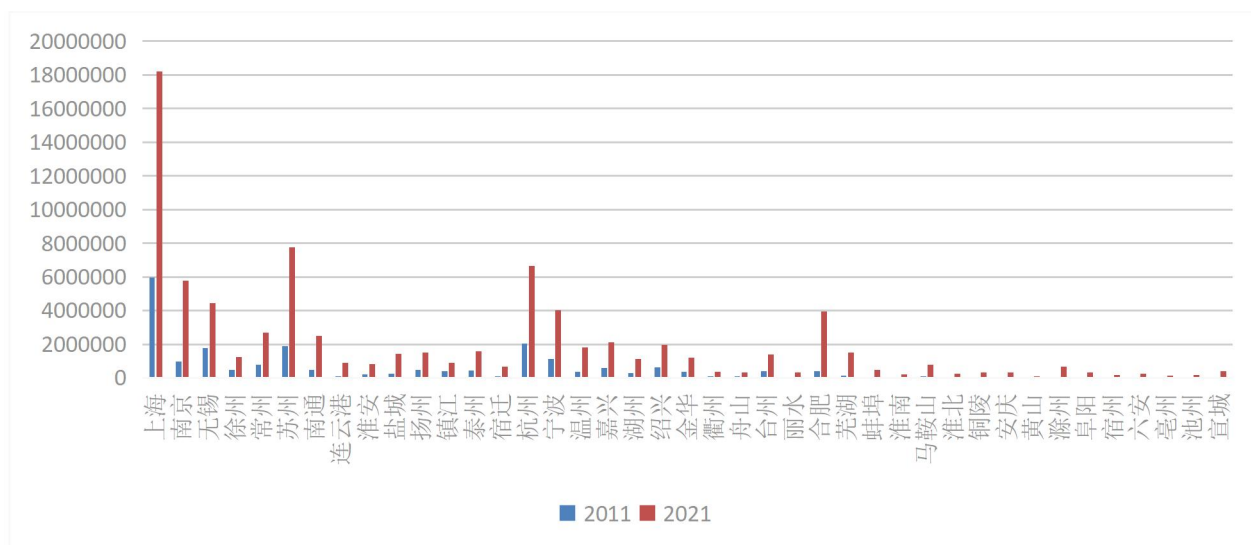


图 3-4 2011 年和 2021 年长三角城市群各市 R&D 经费支出

由图 3-3 可以看出,长三角城市群各省市 R&D 经费支出逐年平稳增加,整体 R&D 经费支出由 2011 年的 21224006 万元增长到 2021 年的 81870914 万元,增长了 3.85 倍。上海市由 2011 年的 5977100 万元增长到 2021 年的 18197700 万元,增长了 3.04 倍,江苏省由 2011 年的 8436458 万元增长到 2021 年的 32241569 万元,增长了 3.82 倍,浙江省由 2011 年的 6004900 万元增长到 2021 年的 21370400 万元,增长了 3.56 倍,安徽省由 2011 年的 805548 万元增长到 2021 年的 10061245 万元,增长了 12.49 倍,虽然安徽省的增速远高于其余省市,但在总量上与其余省市仍存在较大差距。

图 3-4 为各市 2011 年与 2021 年的 R&D 经费支出,可以看出其变化情况与 R&D 人员变化情况基本一致,R&D 经费支出主要集中在上海、苏州、南京、无锡、杭州、宁波、合肥等几市,其余城市在增速与增量上变化不明显。

3.1.3 工业用电

绿色创新活动中需要消耗能源,同时能源消耗也能体现地区的能源利用方式及合理程度,在此用工业用电量来表征能源消耗。如图 5 为 2011-2021 年长三角城市群工业用电量。

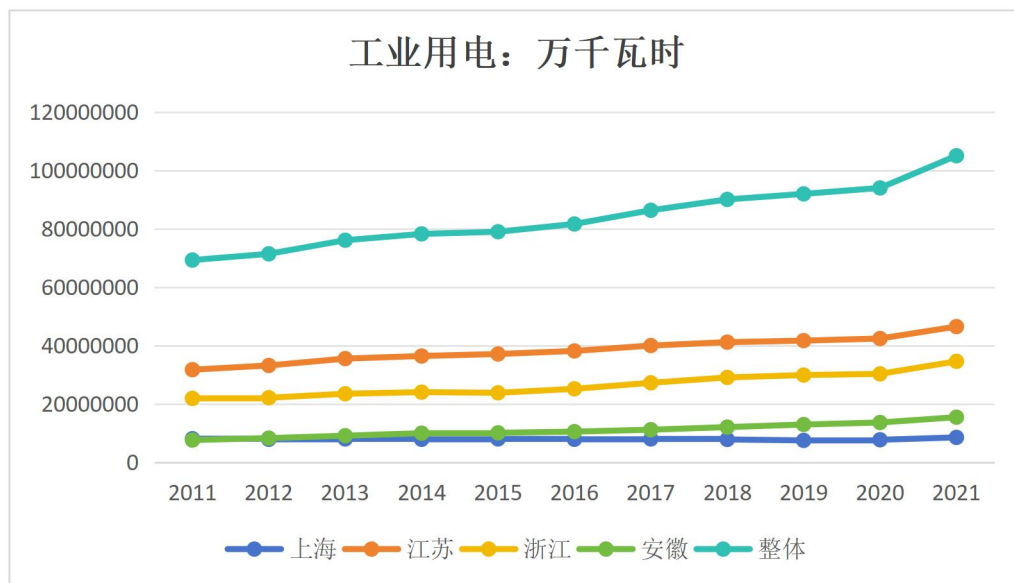


图 3-5 2011-2021 年长三角城市群工业用电量

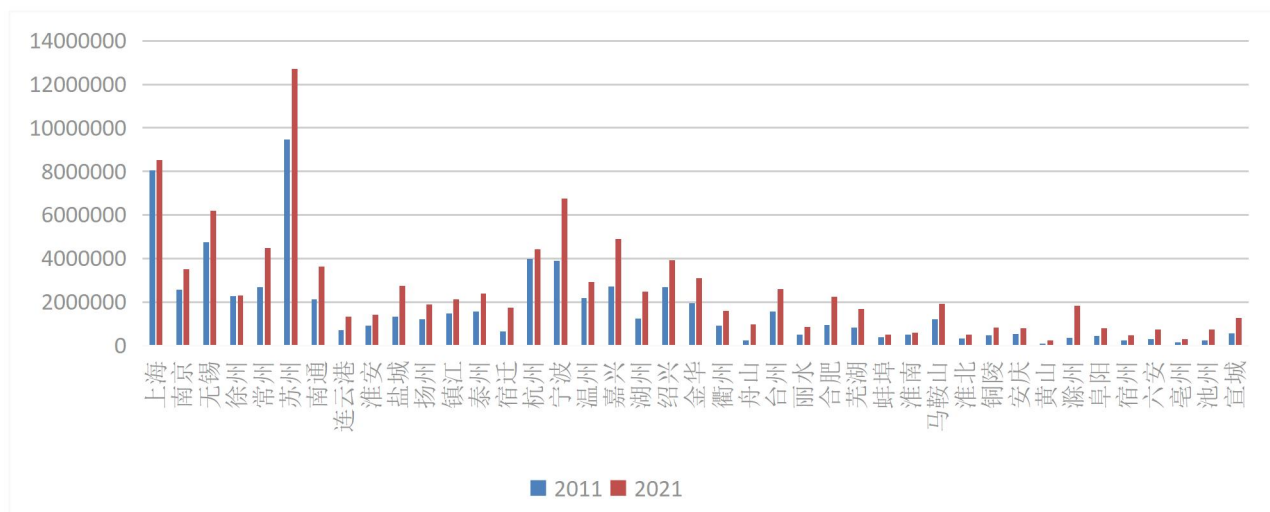


图 3-6 2011 年和 2021 年长三角城市群各市工业用电量

由图 3-5 可以看出，长三角城市群工业用电量缓慢增加，整体工业用电量由 2011 年的 69256000 万千瓦时增长到 2021 年的 104991169 万千瓦时，增长 1.5 倍。上海工业用电量由 2011 年的 8057600 万千瓦时增长到 2021 年的 8514900 万千瓦时，增长 1.05 倍。江苏省工业用电量由 2011 年的 31709600 万千瓦时增长到 2021 年的 46477891 万千瓦时，增长 1.46 倍。浙江省工业用电量由 2011 年的 21890200 万千瓦时增长到 2021 年的 34566078 万千瓦时，增长 1.57 倍。安徽省工业用电量由 2011 年的 7598600 万千瓦时增长到 2021 年的 15432300 万千瓦时，增长 2.03 倍。安徽省工业用电量增速与总量均高于其他三个省市，接下来是浙江、江苏、上海。这一方面说明安徽省经济结构中工业占比持续增加，同时在产业升级与优化方面可能进展缓慢，另一方面说明上海、浙江、江苏在产业结构升级与优化方面在持续跟进。

由图 3-6 可看出，总量方面，工业用电量最高的地区主要为苏州、上海、宁波、无锡、嘉兴、杭州、南京，其余江苏与浙江的城市用电量基本一致，安徽城市相对较小。这与各城市的产业规模与产业结构有很大的关系。增速方面，在高工业用电量城市中苏州与宁波的工业用电增速较快，其余城市增速缓慢。安徽省如芜湖、芜湖、滁州等几市虽然总量很低，但在研究期内增速较快。

3.2 绿色创新产出现状

3.2.1 期望产出

3.2.1.1 创新产出

期望产出是创新活动知识成果的主要体现，是科研成果的反映，专利申请数能够有效体现创新活动的知识成果。如图 3-7 为 2011-2021 年长三角城市群专利申请数情况。

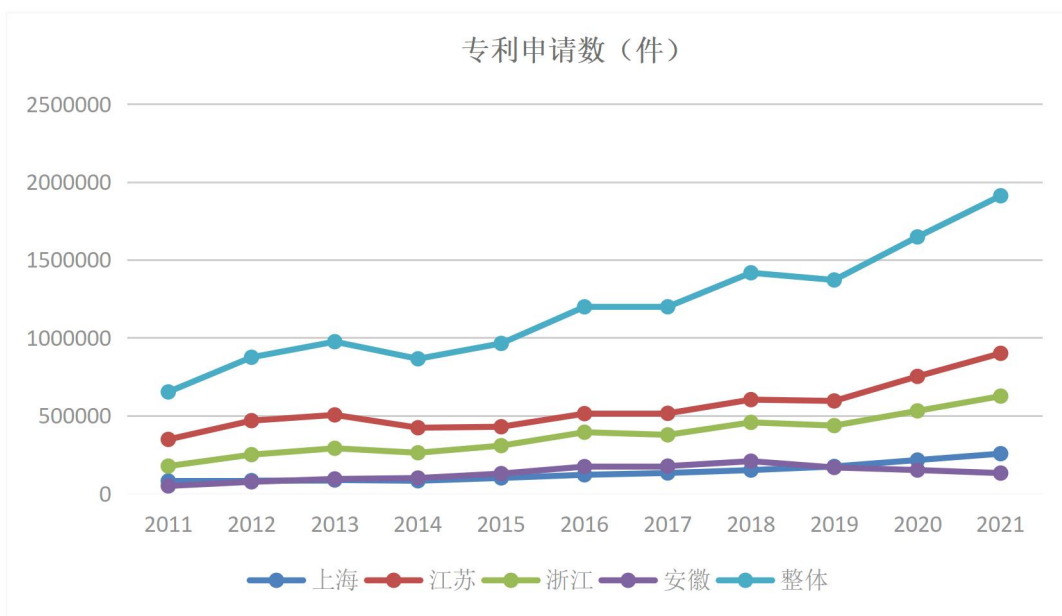


图 3-7 2011-2021 年长三角城市群专利申请数

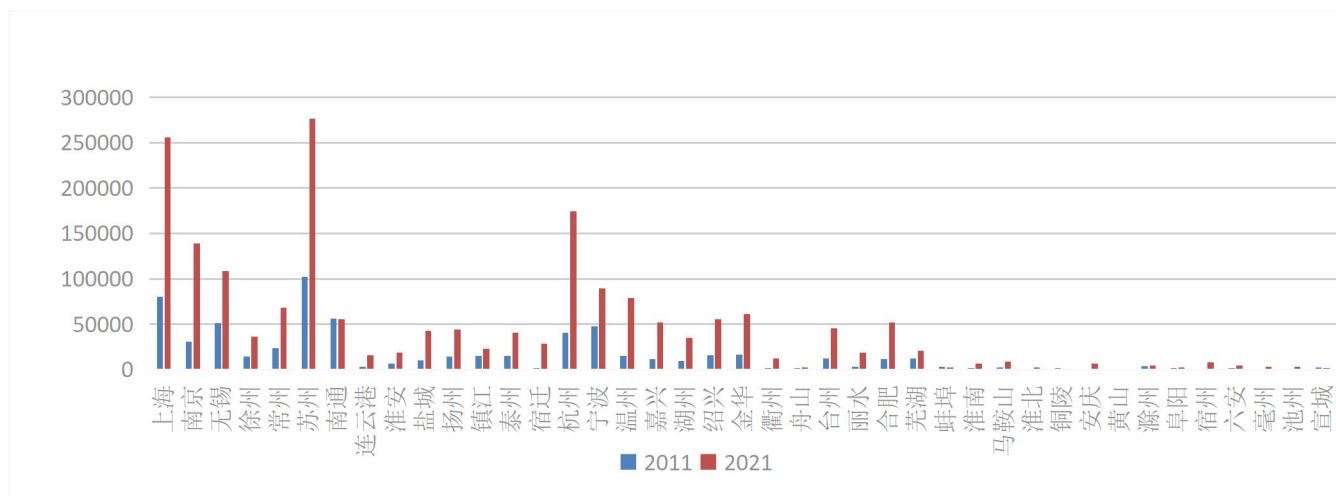


图 3-8 2011 年和 2021 年长三角城市群各市专利申请数

由图 3-7 看出，长三角城市群整体与江苏、上海、浙江的专利申请数总体呈上升趋势，在 2019 年后增长速度加快，安徽在上升一段时期后有所下降。长三角城市群整体专利申请数由 2011 年的 651890 件增加至 2021 年的 1911119 件，增长了 2.93 倍；上海市专利申请数由 2011 年的 80215 件增加至 2021 年的 255616 件，增长了 3.18 倍；江苏省专利申请数由 2011 年的 347132 件增加至 2021 年的 899711 件，增长了 2.59 倍；浙江省专利申请数由 2011 年的 175987 件增加至 2021 年的 624899 件，增长了 3.55 倍；安徽省专利申请数由 2011 年的 48556 件增加至 2021 年的 130893 件，增长了 2.69 倍。

图 3-8 为各市 2011 年与 2021 年的专利申请数，可以看出，在总量方面，专利申请主要集中在上海、苏州、杭州、南京、无锡、宁波几个城市，在增速方面，大多数城市都有不同程度的增长，但在规模方面与上述城市有较大的距离。安徽省除了合肥市相对较高外，其余城市专利申请在增长规模与增速方面都较小。

3.2.1.2 经济产出

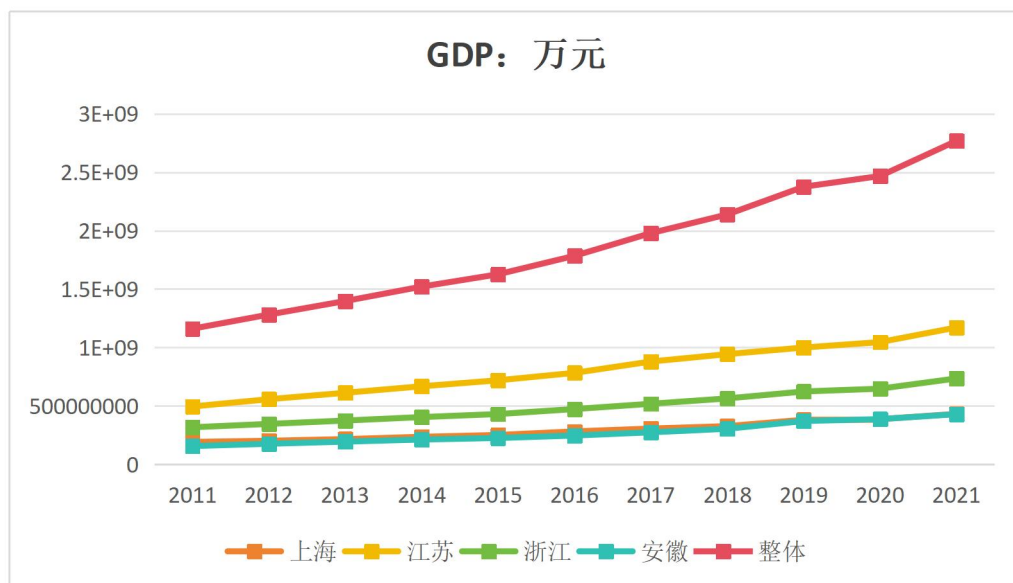


图 3-9 2011-2021 年长三角城市群专利申请数

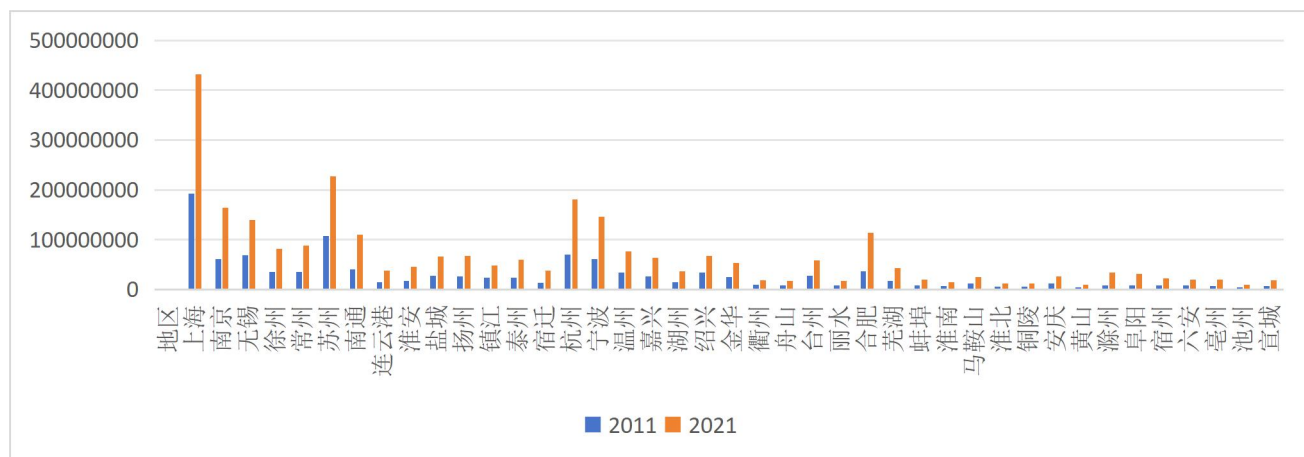


图 3-10 2011 年和 2021 年长三角城市群各市 GDP

由图 3-9 可以看出，长三角城市群各省市 GDP 均保持匀速增长。长三角城市群整体 GDP 由 2011 年的 11.6 万亿元增加至 2021 年的 27.7 万亿元，增长了 2.38 倍；上海市 GDP 由 2011 年的 1.9 万亿元增加至 2021 年的 255616 亿元，增长了 2.25 倍；江苏省 GDP 由 2011 年的 4.95 万亿增加至 2021 年的 11.7 万亿，增长了 2.38 倍；浙江省 GDP 由 2011 年的 3.17 万亿增加至 2021 年的 7.35 万亿，增长了 2.32 倍；安徽省 GDP 由 2011 年的 1.56 万亿增加至 2021 年的 4.29，增长了 2.75 倍。江苏省领先于其他三省市，浙江省位于第二，上海市与安徽省基本保持一致。

由图 3-10 可以看出，长三角城市群内各市 GDP 均有增长，但差距明显。从总量方面可以看出，上海、苏州、杭州、南京、无锡、宁波、南通、合肥经济规模较大，江苏省内苏南地区 GDP 高于苏北地区，浙江省内 GDP 有三个层次，第一是杭州、宁波市，第二层次是温州、嘉兴、绍兴、金华、台州，第三层次是湖州、衢州、舟山、丽水。安徽省合肥市 GDP 远高于省内其余地市，其余地市 GDP 差距不大，且多数地区 GDP 小于江、浙两省地市。从增速方面可以看出，所有地市 GDP 增速均有超过 2 倍的增速，GDP 总量翻了一番。

3.2.2 非期望产出

非期望产出是绿色创新活动的负向产出，在绿色创新过程中同样会有资源消耗并带来环境污染，绿色创新非期望产出通常使用工业二氧化硫排放量、工业废水排放量以及工业粉尘排放量来表示。

3.2.2.1 工业二氧化硫排放量

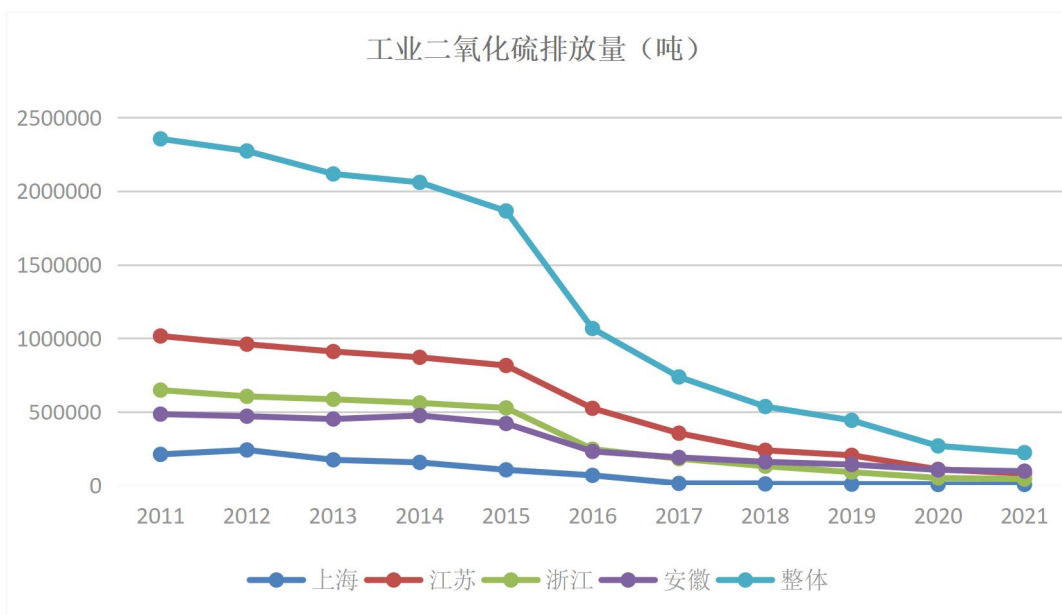


图 3-11 2011-2021 年长三角城市群工业二氧化硫排放量

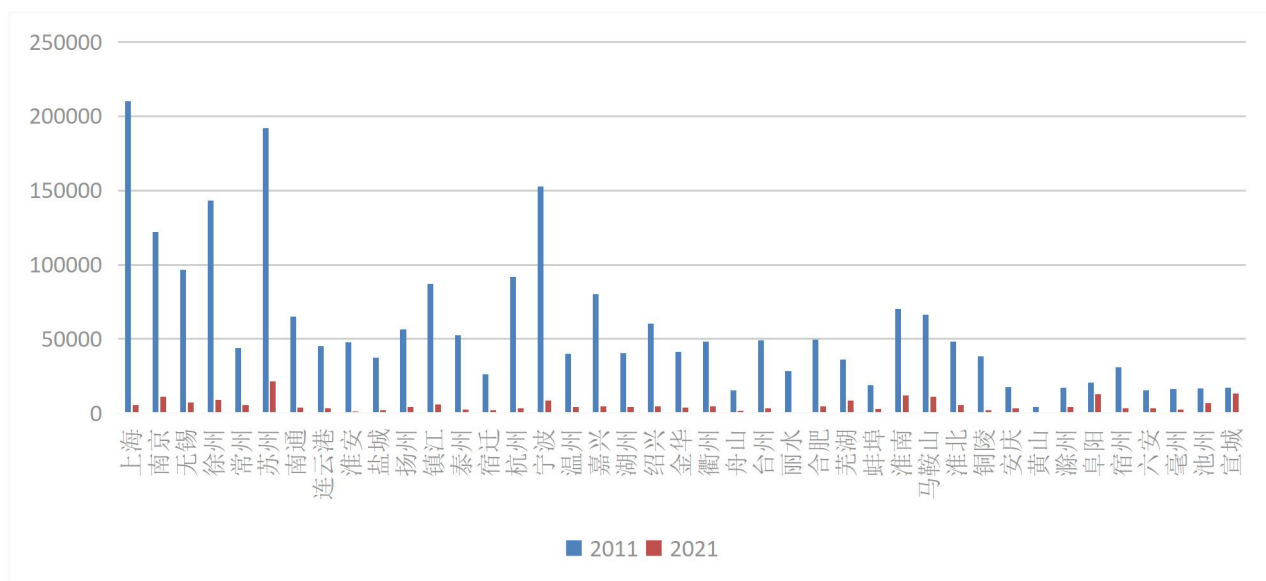


图 3-12 2011 和 2021 年长三角城市群各市工业二氧化硫排放量

由图 3-11 看出，长三角城市群整体与江苏、上海、浙江、安徽的工业二氧化硫排放呈明显下降趋势，在 2015 年后下降速度加快。长三角城市群整体工业二氧化硫排放由 2011 年的 2355951 吨减少至 222099 吨，减少了 91%；上海市工业二氧化硫排放由 2011 年的 210091 吨减少至 5500 吨，减少了 97%；江苏省工业二氧化硫排放由 2011 年的 1015104 吨减少至 78426 吨，减少了 92%；浙江省工业二氧化硫排放由 2011 年的 647048 吨减少至 42200 吨，减少了 93%；安徽省

工业二氧化硫排放由 2011 年的 483708 吨减少至 95973 吨，减少了 80%。

图 3-12 为长三角城市群各市 2011 年与 2021 年的工业二氧化硫排放情况，可以看出在 2011 年，大部分城市的工业二氧化硫排放较高，其中如上海、苏州这类经济发达城市的排放量异常突出，说明了当时的产业结构对环境的破坏性较强。在 2021 年，所有城市的排放量都大幅下降，说明了十八大以来的生态文明发展理念得到了很好的执行，也说明了 2015 年我国开始的供给侧结构性改革取得了较好的成绩。

3.2.2.3 工业废水

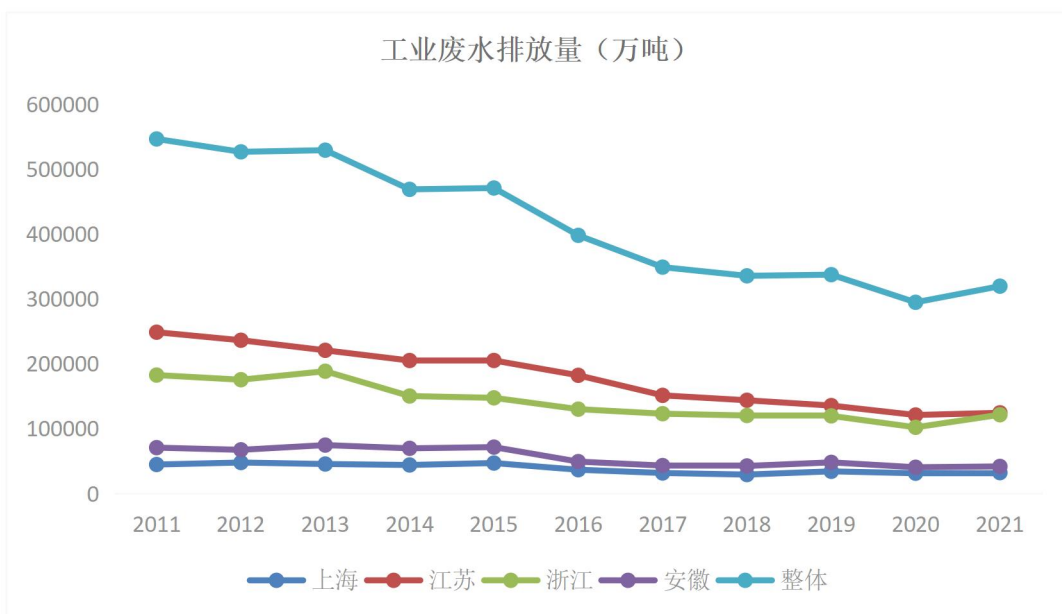


图 3-13 2011-2021 年长三角城市群工业废水排放量

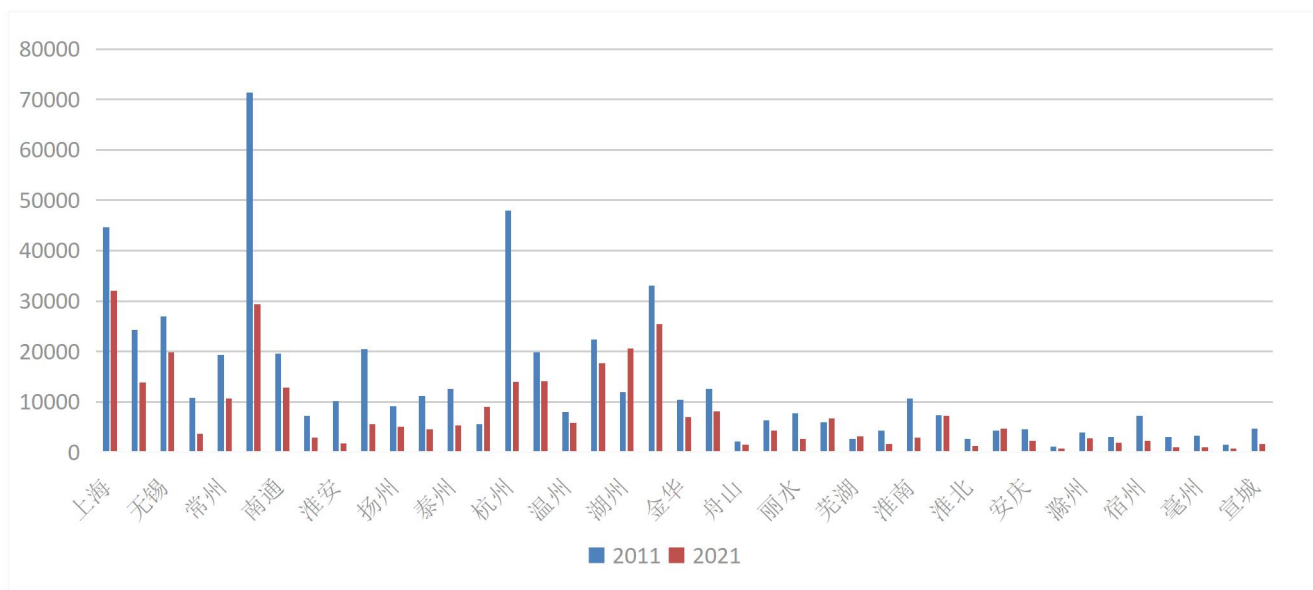


图 3-14 2011 和 2021 年长三角城市群各市工业废水排放量

由图 3-13 看出，长三角城市群整体与江苏、上海、浙江、安徽的工业废水排放呈下降趋势，江苏与浙江下降明显，上海与安徽由于在研究期内一直处于低水平排放量，因此下降趋势不明显。长三角城市群整体工业废水排放由 2011 年的 546176 万吨减少至 319389 万吨，减少了 41%；上海工业废水排放由 2011 年的 44626 万吨减少至 32100 万吨，减少了 28%；江苏工业废水排放由 2011 年的 248480 万吨减少至 124265 万吨，减少了 50%；浙江工业废水排放由 2011 年的 182426 万吨减少至 121309 万吨，减少了 34%；安徽工业废水排放由 2011 年的 70644 万吨减少至 41714 万吨，减少了 41%。

图 3-14 为长三角城市群各市 2011 年与 2021 年的工业废水排放情况，可以看出，各城市的工业废水排放情况不一。第一种情况为像杭州、苏州等城市排放量较大，但是排放量减少的规模也较大，还有像徐州、连云港、淮南、宿州这类排放量较小，但减少规模相对与自身在研究期初的规模相对较大，减少的效果都较为明显；第二类情况为像上海、南京、绍兴等城市排放量大，减少规模较小，还有像温州、台州、金华等城市排放量较小，减少量也较小，减少的效果不明显；第三类情况为宿迁、马鞍山、合肥、铜陵四个城市，在此期间排放量有小幅增加，但规模较小。

3.2.2.3 工业粉尘排放量

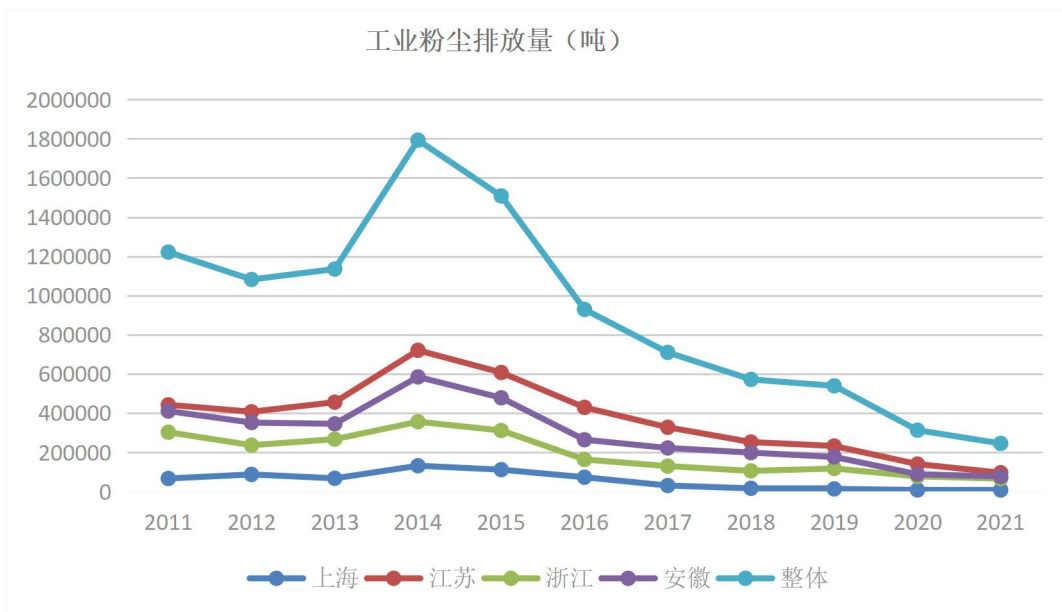


图 3-15 2011-2021 年长三角城市群工业粉尘排放量

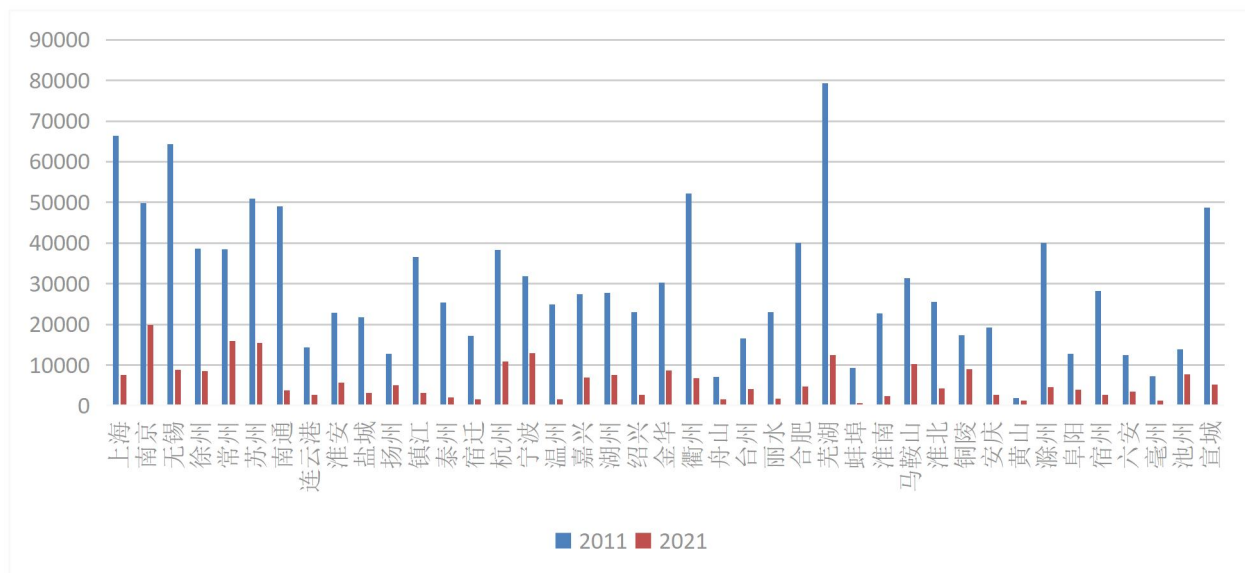


图 3-16 2011 和 2021 年长三角城市群各市工业粉尘排放量

由图 3-15 可以看出，长三角城市群整体与江苏、上海、浙江、安徽的工业废水排放呈下降-上升-下降趋势，在 2014 年后持续下降，长三角城市群整体工业粉尘排放由 2011 年的 1221282 吨减少至 245229 吨，减少了 80%；上海工业粉尘排放由 2011 年的 66446 吨减少至 7600 吨，减少了 89%；江苏工业粉尘排放由 2011 年的 442186 吨减少至 95836 吨，减少了 78%；浙江工业粉尘排放由 2011 年的 302410 吨减少至 65400 吨，减少了 78%；安徽工业粉尘排放由 2011 年的 410240 吨减少至 76393 吨，减少了 81%。

图 3-16 为长三角城市群各市 2011 年与 2021 年的工业粉尘排放情况，可以看出，在 2011 年，工业粉尘的排放量相对于工业二氧化硫与工业废水，在排放规模方面都比较明显，除个别排放量较大或较小的城市外，大部分城市的工业粉尘排放量的差异不大。至 2021 年，基本所有城市的工业粉尘排放都呈现出大规模的减少，取得的效果也非常明显。

综上所述，通过对长三角城市群绿色创新的各个投入与产出方面分析可以看出，近年来，长三角城市群加大了绿色创新的投入，在人力资本与经费支持方面都有长足的进步，为绿色创新提供了有力的支持。在期望产出方面，专利申请数保持着较高的增长率，逐步提高的创新水平有助于经济高质量发展与产业结构优化升级。在非期望产出方面，工业三废尤其是工业二氧化硫与工业粉尘量大幅下降，这既能够说明长三角城市群在绿色发展与生态文明建设方面取得了显著成效，也为经济高质量发展创造了良好的环境。但同时，长三角城市群绿色创新也存在一些问题：第一，绿色创新资源投入不均，区域间差异较大。R&D 人员与 R&D 经费支出主要集中于经济发达城市，部分城市受限于经济发展水平投入资源较少，不能够支持绿色创新；第二，工业废水处理进展缓慢。由上述图表可以看出，长三角城市群在大气污染治理方面取得的成绩较为显著，但在工业废水处理方面进展缓慢，部分城市工业废水减少规模小，个别城市有所增加。除此之外，还存在一些问题，需要通过测度长三角城市群的绿色创新效率来进一步分析。

4 长三角城市群绿色创新效率测度

4.1 研究方法

已有文献对绿色创新效率的测算方法主要有两种,第一种是以随机前沿分析法(SFA)为主的参数法,其能够解决随机误差问题,如 Chenglin Miao (2017)^[54]; Miao Chenglin (2018)^[55]; 肖黎明等学者^[57]采用了这种方法,第二种是以数据包络分析法(DEA)为主的非参数法。数据包络分析法在效率测算中使用较为广泛,因为其能够规避参数法的多种限制,并且相较于固定的随机前沿分析法,数据包络分析法形式较为多样并且在逐步改进。部分学者用传统 DEA 模型测算创新效率,如李勋来(2019)^[61]; 卢建霖(2023)^[32]。在传统 DEA 方法的基础上采用两阶段 DEA,将绿色创新效率分为投入阶段和研发阶段。然而,传统的 DEA 模型存在两大不足。首先,它仅聚焦于经济效率,忽略了环境影响,对此, Chung 和 Ramanathan 将能源和环境因素加入 DEA 模型中;其二,传统 DEA 模型仅关注技术效率的测算,却忽视了要素“松弛”现象,并且在非期望产出存在时无法有效进行效率评价^[64],为了解决这些问题,一些学者引入了非径向、非角度的 SBM-DEA 模型,如张节(2020)等人在研究中便采用了此模型^[65]。此外,还有学者考虑了非径向、非角度以及结构性特点,提出了 DEA-RAM 模型。如任耀(2014)等学者^[69]。由于 SBM-DEA 模型计算出的有效效率值只能为 1,不能进一步对效率有效的地区进行比较,为此,对此 Tone 提出非径向的 SBM 模型,创新涵盖了变量间等比例改进及松弛改进部分,随后 Tone 又提出超效率-SBM 模型,其模型解决了以往有效决策单元(DMUs)难以比较的问题,并允许其效率值 ≥ 1 。部分学者采用超效率-SBM 模型,如张纪凤(2023)等^[73]。考虑到本文研究内容需要,本文采用超效率-SBM 模型来测算长三角城市群绿色创新效率。

超效率-SBM 模型假设有 n 个有效决策单元,包含投入、期望产出与非期望产出,其分别是 $x \in R_f, y^g \in R_p, y^c \in R_s$ 。模型中向量 $X=[x_1, \dots, x_n] \in R_f \times n, Y_g=[y_1^g, \dots, y_n^g] \in R_p \times n, Y_c=[y_1^c, \dots, y_n^c] \in R_s \times n$,且生产可能性集合为: $p(x_0, y_0^g, y_0^c) = \{(\bar{x}, \bar{y}^g, \bar{y}^c) \mid \bar{x} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^g, \lambda_j \geq 0\}$,则模型的表达式为:

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{f} \sum_{i=1}^f \frac{\bar{x}_0}{x_{i0}}}{\frac{1}{p+s} \left(\sum_{r=1}^p \frac{\bar{y}^g}{y_{r0}^g} + \sum_{u=1}^s \frac{\bar{y}^c}{y_{u0}^c} \right)}$$

$$\text{s. t.} \left\{ \begin{array}{l} \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j, j = 1, \dots, f \\ \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, r = 1, \dots, p \\ \bar{y}^c \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^c, u = 1, \dots, s \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^c \leq y_0^c \\ \lambda \geq 0, \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1 \end{array} \right.$$

式中： ρ^* 为绿色创新效率， λ 为权重向量，下标 o 为决策单元。一般而言，绿色创新效率值 $\rho^* > 0$ ，且 ρ^* 值越大，表明该决策单元的效率越高。

4.2 指标选取与数据来源

4.2.1 指标选取

本文基于科学性、可得性、代表性等指标选取原则，结合绿色创新的内涵以及长三角城市群发展现状，参考以往学者研究，基于三方面设立指标体系，分别是投入、期望产出、非期望产出，并确定了八个相关指标。

投入方面，参考张贵（2016）^[76]、何育静（2021）^[79]、段永峰（2020）^[80]、田红彬（2020）^[47]等学者的指标设计，选择 R&D 人员、R&D 经费支出作为人力和资本投入；参考余奕杉（2021）、滕堂伟（2023）^[16]等学者选择工业用电量作为能源投入。

期望产出方面,参考张玉丽(2020)^[82]、严翔(2021)^[89]等学者选择专利申请数作为创新产出;参考以往学者研究,多数学者使用新产品销售收入作为经济产出,本文认为绿色创新活动存在于经济活动的全过程,其产出也应由衡量经济活动总产出的地区生产总值所表示,同时也由于本文研究对象为地级市,该指标在部分城市数据查询过程中缺失严重,无法满足研究需要,因此本文参考骆灿(2021)^[90]、陈蓓(2022)^[49]、许玉洁(2022)^[46]等学者的做法选择地区生产总值为经济产出。

非期望产出方面,参考何雄浪(2023)^[81]、吴传清(2021)^[37]、吴鸣然等(2023)^[50]选择工业二氧化硫排放量、工业废水排放量、工业粉尘排放量作为非期望产出。并参考韩晶(2012)^[5]、陈东景(2023)^[51]、沈路(2023)^[52]、光峰涛(2022)^[93]等学者做法,使用熵值法将上述工业三废指标拟合成环境污染指数。

表 4.1 长三角城市群绿色创新效率评价指标体系

类别	名称	说明	单位
投入指标	人力投入	R&D 人员	人
	资本投入	R&D 经费支出	万元
	能源投入	工业用电量	万千瓦时
期望产出	创新产出	专利申请数	件
	经济产出	地区生产总值	万元
非期望产出	环境污染	工业二氧化硫	吨
		工业废水	万吨
		工业粉尘	吨

4.2.2 数据来源

本文根据 2019 年发布的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,将研究对象设定为长三角城市群 41 个城市,研究数据来自《各市统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《各省统计年鉴》,缺失数据通过咨询当地统计局获得。

4.3 长三角城市群绿色创新效率测度结果分析

表 4-2 长三角城市群绿色创新效率测度结果

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	均值
上海市	1.247	1.196	1.638	1.430	1.279	1.338	1.838	1.292	1.354	1.329	2.001	1.449
南京市	1.080	1.053	1.108	1.157	1.213	1.018	1.070	1.050	1.052	1.047	1.137	1.089
无锡市	0.896	0.754	1.004	1.039	1.443	0.792	0.734	0.671	0.760	0.818	0.733	0.877
徐州市	1.137	1.004	1.066	1.056	1.075	1.054	1.040	1.052	1.307	1.228	1.199	1.111
常州市	0.397	0.483	0.639	0.723	0.675	0.726	0.618	0.593	0.672	0.668	0.664	0.623
苏州市	1.298	1.341	1.316	1.251	1.255	1.190	1.250	1.545	1.132	1.222	1.172	1.270
南通市	1.339	1.238	1.179	0.704	1.012	1.012	1.169	1.090	1.032	1.057	1.009	1.076
连云港	0.420	0.500	0.689	0.531	0.594	0.489	0.530	0.629	0.551	0.444	0.738	0.556
淮安市	0.472	0.618	1.028	1.024	1.028	1.023	1.027	0.752	0.617	0.477	0.696	0.796
盐城市	0.403	0.558	1.032	0.911	0.790	0.730	0.860	0.691	0.570	0.805	0.857	0.746
扬州市	0.532	0.584	0.869	0.941	0.803	0.769	1.003	1.030	0.849	1.058	1.004	0.858
镇江市	0.575	0.482	0.804	0.840	0.642	0.606	0.814	0.655	0.703	0.721	1.018	0.715
泰州市	0.624	0.555	1.004	1.073	0.898	0.723	0.659	0.911	0.857	0.810	1.062	0.834
宿迁市	1.000	0.438	0.543	0.654	1.022	0.534	0.616	0.654	0.533	0.719	0.874	0.690
杭州市	0.796	0.831	0.746	0.818	1.030	1.012	0.863	1.142	1.053	1.067	1.123	0.953
宁波市	1.212	1.137	1.079	1.030	1.017	1.193	0.789	0.670	0.799	0.719	1.009	0.968
温州市	0.698	1.070	1.026	1.091	1.119	1.073	1.078	1.078	1.422	1.079	1.062	1.073
嘉兴市	0.269	0.528	0.541	0.569	0.531	0.528	0.468	0.601	0.557	0.605	0.572	0.525
湖州市	0.346	0.672	0.535	0.734	0.736	0.706	0.762	1.017	0.816	0.641	0.609	0.689
绍兴市	0.362	0.541	0.728	0.705	1.101	1.120	1.060	0.686	0.508	0.731	0.785	0.757
金华市	0.440	0.595	1.022	0.705	0.656	0.609	1.062	1.061	1.095	1.179	1.100	0.866
衢州市	0.215	0.381	0.350	0.301	0.313	0.317	0.427	0.598	0.528	0.788	0.708	0.448
舟山市	1.042	0.483	1.028	1.030	1.024	1.041	1.096	1.124	1.051	0.835	0.888	0.967
台州市	0.465	0.490	0.669	0.826	1.031	0.986	1.011	1.145	1.204	0.901	0.825	0.868
丽水市	0.400	0.407	0.642	0.462	0.746	0.885	0.929	1.114	1.031	1.015	1.150	0.798
合肥市	1.126	1.138	1.149	1.186	1.215	1.259	1.257	1.068	1.087	1.015	1.010	1.137
芜湖市	1.008	0.865	1.058	1.045	1.046	1.045	1.036	1.160	0.488	0.484	0.476	0.883
蚌埠市	0.633	0.636	1.016	1.083	1.128	0.542	0.507	0.497	1.178	1.275	0.371	0.806
淮南市	1.095	0.829	1.017	0.480	0.387	0.439	0.516	1.031	1.081	1.035	0.611	0.775
马鞍山	0.371	0.611	1.010	0.516	0.343	0.390	0.431	0.400	0.408	0.386	0.289	0.469
淮北市	0.309	0.420	1.057	0.691	0.391	0.368	0.692	0.652	0.397	1.020	1.023	0.638
铜陵市	0.363	0.412	0.536	1.090	0.352	0.227	0.364	0.325	0.273	0.376	0.230	0.413
安庆市	1.081	1.083	1.130	1.048	1.167	1.174	1.159	0.669	0.695	0.632	1.223	1.006
黄山市	1.106	1.097	1.015	1.002	1.246	1.232	1.312	1.232	1.174	1.283	1.295	1.181
滁州市	0.793	0.621	0.824	0.713	0.627	0.417	0.414	0.514	0.483	0.413	0.318	0.558
阜阳市	1.005	1.093	1.126	1.103	1.207	1.041	1.341	1.060	1.101	0.678	0.384	1.013
宿州市	1.004	1.043	1.079	1.145	1.133	1.052	1.047	1.093	1.114	1.061	1.196	1.088

续表 4-2 长三角城市群绿色创新效率测度结果

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	均值
六安市	0.726	1.117	1.058	1.007	1.063	1.096	1.128	0.867	0.839	0.535	0.447	0.898
亳州市	1.041	1.121	1.001	1.075	1.120	1.010	1.062	1.158	1.129	1.132	1.152	1.091
池州	1.232	1.785	1.430	1.074	1.126	1.011	1.121	1.313	1.259	1.200	0.531	1.189
宣城市	0.446	0.490	0.619	0.658	0.428	0.324	0.371	0.369	0.327	0.302	0.139	0.407

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	均值
整体	0.756	0.788	0.937	0.891	0.903	0.832	0.891	0.884	0.856	0.848	0.846	0.857
上海	1.247	1.196	1.638	1.430	1.279	1.338	1.838	1.292	1.354	1.329	2.001	1.449
江苏	0.783	0.739	0.945	0.916	0.958	0.820	0.876	0.871	0.818	0.852	0.936	0.865
浙江	0.568	0.649	0.761	0.752	0.846	0.861	0.868	0.930	0.915	0.869	0.894	0.810
安徽	0.834	0.898	1.008	0.932	0.874	0.789	0.860	0.838	0.815	0.802	0.668	0.847

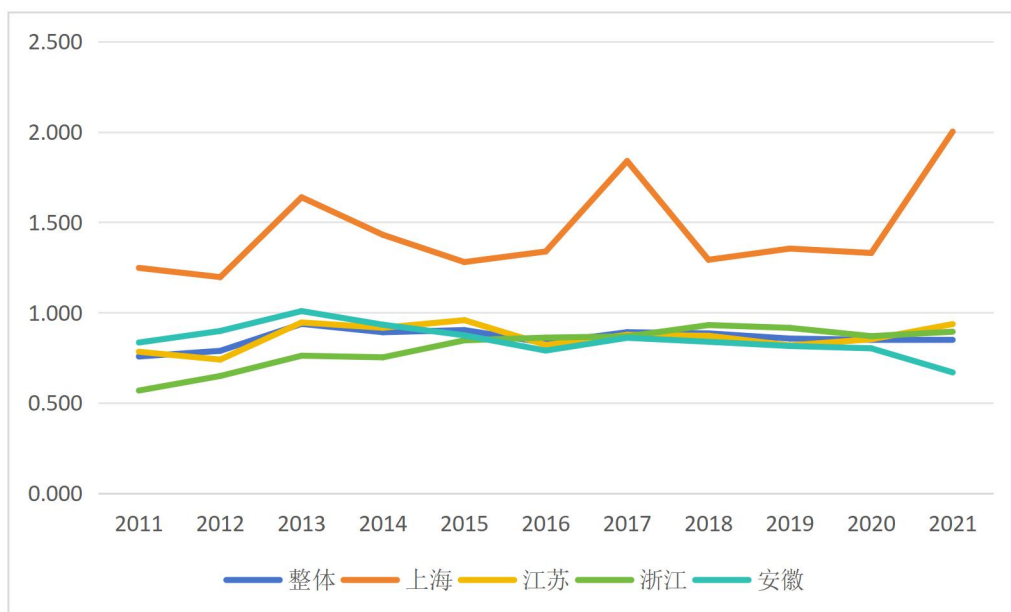


图 4-1 长三角城市群绿色创新效率变化趋势

由表 4-1 和图 4-1 可以看出,长三角城市群绿色创新效率总体呈波动上升趋势,绿色创新效率值从 2011 年的 0.756 上升到 2021 年的 0.846,年均增速 0.8%,效率均值 0.857。在研究期内,在 2013 年效率值达到最高点 0.937,接近有效值,之后虽有波动,但幅度较小,基本在 0.85-0.95 之间浮动。总体来看,研究期内

长三角城市群绿色创新效率整体呈增长趋势，与有效值之间的距离逐步缩短，其中在连续年份呈有规律小幅上升或下降趋势。一方面，这表明十八大以来的生态文明建设与绿色发展理念在逐步得到落实。长三角城市群在发展过程中绿色创新越来越得到重视，科技创新与环境保护力度在加大，资源利用效率在提高。另一方面，绿色创新发展过程中出现一些波动，这与经济发展中出台的某些政策有关，如 2013 年起我国出台了一系列环保政策，包括在 2015 年施行了修订后《中华人民共和国环境保护法》、指导我国全面开展生态文明建设的顶层设计文件《关于加快推进生态文明建设的意见》以及被称为“史上最严”的《中华人民共和国大气污染防治法》，另外如 2015 年开始的供给侧结构性改革，长三角地区受到的影响较大，这也是造成绿色创新效率波动的重要原因。加之我国经济发展方式转变，正处于制造业转型升级期，因此对绿色创新造成较大影响。

上海市绿色创新效率值在研究期内始终大于 1，持续处于有效状态，并呈波动增长态势，效率均值为 1.449，年均增速 6.8%。期间，效率值除了在 2016-2018 年与 2021 年波动较大外，其余年份效率值波动不大且均保持着较高水平的绿色创新，上海市较高的绿色创新效率也拉动了长三角城市群整体绿色创新效率值。上海市作为中国经济发展的桥头堡，拥有丰富的科技、资本和人才资源，完善的产业结构与先进的发展理念。较强的城市吸引力吸引着各种优势资源在此聚集，其绿色创新水平对其他地区有着良好的示范意义。

江苏省绿色创新效率值呈增长态势，从 2011 年的 0.783 增长到 2021 年的 0.936，年均增速 1.3%，效率均值为 0.865。期间，除 2012、2016、2019 年有短暂下降外，其余年份均为增长状态。具体到地级市，江苏省各市绿色创新效率均值较高的城市为苏州市（1.270）、徐州市（1.111）、南京市（1.089）、南通市（1.076）、无锡市（0.877），上述城市也是江苏省经济发展水平前列的地区，良好的经济发展水平能够给予更多的资源支持。其中，徐州市经济发展水平低于其他城市，但绿色创新效率均值为第二名，主要原因是一方面虽然在 R&D 人员投入与经费支出方面徐州市与苏州等城市差距较大，但是创新成果转换率较高，说明资源利用效率较高，另一方面在环境治理上徐州市相较于其他城市取得的效果更明显，“三废”排放量降低速度较快。效率均值较低的城市为连云港市（0.647）、宿迁市（0.69）、常州市（0.696）、镇江市（0.715）、淮安市（0.796），这

些城市一方面经济发展水平水平相对较低,在产业结构上,第三产业与第二产业占比基本一致,如在镇江市 2021 年地区生产总值中,第二产业产值为 2319.73 亿元,第三产业产值为 2286.67 亿元,另一方面创新成果转换率较低,资源投入与利用水平都有所欠缺。江苏省各市的绿色创新效率差异较大,基本保持着苏南大于苏中,苏中大于苏北的状态,且区域极化效应较强,不利于均衡发展。

浙江省绿色创新效率值同样呈增长态势,从 2011 年的 0.568 增长到 2021 年的 0.894,年均增速 0.7%,效率均值为 0.810,浙江省与江苏省情况相似,在除 2016 和 2019 年外,其余年份效率值均为增长趋势。具体到地级市,浙江省各市绿色创新效率均值较高的城市为温州市(1.073)、宁波市(0.968)、杭州市(0.953)、金华市(0.866)、舟山市(0.845),上述城市除舟山市外,都是经济发展水平较好的城市,舟山市经济发展水平低但绿色创新效率较高的原因为第一产业占比相对较高,工业基础薄弱,造成的环境污染较轻,生态环境好,如 2021 年舟山市空气质量优良天数比例为 98.1%。效率均值较低的城市为衢州市(0.448)、嘉兴市(0.525)、湖州市(0.670),三个城市效率较低的共同原因为环境污染程度较高,如湖州市 2021 年空气污染质量优良天数比例为 84%,处于全省最低。嘉兴市经济发展水平较高但效率较低,原因与第二产业占比较高,超过了该市生产总值的 50%,过于依赖高能耗产业,环境污染治理缓慢。衢州市除环境污染外,主要原因是经济发展水平相对较低,不能为绿色创新提供良好的支持。浙江省各市的绿色创新效率相对上海和江苏省较低,主要原因在于传统制造业的比重较高,资源消耗相对较大。但浙江省绿色创新效率除个别城市外,多数城市在同一年份的差异较小,基本保持着均衡发展。

安徽省绿色创新效率先上升然后自 2015 年后有小幅下降,从 2011 年的 0.834 下降到 2020 年的 0.802,2021 年安徽省绿色创新效率骤降为 0.668,效率均值为 0.847。总体来说,安徽省绿色创新效率均值高于浙江省,略低于江苏省,可以看出虽然安徽省在长三角城市群中发展相对落后,但能够在资源利用方面发挥出较好的水平,以此提高了绿色创新效率,另一方面,安徽省产业基础相对上海、江苏和浙江比较薄弱,传统产业造成的环境污染弱于长三角其他地区,非期望产出较小,因此绿色创新效率高于浙江省。具体到地级市,效率均值最高的是亳州市(1.448)、黄山市(1.386)、合肥市(1.137)、宿州市(1.170)、阜

阳市(1.073),合肥市由于近年来高新产业的快速聚集,并在2017年成立了综合性国家科学中心,技术创新水平持续提升,与上海、江苏和浙江不同的是,安徽省绿色创新效率高的城市与经济发展水平并不完全匹配,如黄山市经济发展水平处于全省倒数的位置,亳州市、宿州市等城市经济发展水平一般。其主要原因在于,第一,安徽省内经济发展不均衡,经济资源主要集中于省会合肥市,如2021年合肥市生产总值为11412.8亿元,而第二名芜湖市生产总值为4363亿元,相差近7000亿元,与其他城市差距更大;第二,包括亳州市、黄山市在内的部分城市,生态资源较为丰富,第三产业发展较好,生态环境良好,同时有着贴合实际发展战略,如黄山市提出的“生态立市,工业强市,文化惠市”的发展战略,因此,虽然创新水平可能较低,但良好的生态环境提高了该市的绿色创新效率。安徽省绿色创新效率均值较低的城市为铜陵市(0.413)、宣城市(0.488)、马鞍山市(0.469)、淮北市(0.638),上述城市经济发展水平较低,第二产业占比均高于第三产业,过于依赖工业,如铜陵市主导产业为铜产业,淮北市以煤为主导产业,马鞍山以钢铁为主导产业。同时这些城市多属于资源枯竭型城市,其在资源与经济系统方面有着一定的脆弱性。传统产业转型升级进度缓慢,技术创新水平低,资源利用效率较低,环境污染程度重,降低了绿色创新效率。

4.4 长三角城市群绿色创新效率分类

K-均值聚类方法是将一组N个样本的特征矩阵X划分为K个无交集的簇,在一个簇中的数据被认为是同一类。簇就是聚类的结果表现。K-均值聚类方法优点为原理简单、收敛速度快、聚类效果较优,算法的可解释度比较强。

因此,基于上节绿色创新效率测度结果,本文利用SPSS软件,通过K-均值聚类方法将长三角城市群41个城市分为高效率、中效率、低效率地区。如表4-2所示,高效率地区有三个,中效率地区有22个,低效率地区有16个。高效率地区上海市、江苏省、安徽省各一个;中效率地区江苏省7个,浙江省6个,安徽省9个;低效率地区江苏省5个,浙江省5个,安徽省6个。

表 4-2 绿色创新效率聚类结果

高效率地区	上海	苏州	黄山					
中效率地区	南京	无锡	徐州	南通	淮安	扬州	泰州	杭州
	宁波	温州	金华	舟山	台州	合肥	芜湖	蚌埠
	安庆	阜阳	宿州	六安	亳州	池州		
低效率地区	常州	连云港	盐城	镇江	宿迁	嘉兴	湖州	绍兴
	衢州	丽水	淮南	马鞍山	淮北	铜陵	滁州	宣城

5 长三角城市群绿色创新效率地区差异分析

5.1 绿色创新效率动态演进及绝对差异分析

5.1.1 核密度估计

核密度估计 (Kernel Density Estimation, KDE) 是一种非参数检验技术, 旨在概率论中估测未知的密度函数。该方法通过运用核作为权重, 对随机变量的概率密度函数进行估算。可以看做是分布函数的一阶导数。该方法将研究对象的分布格局通过连续的密度曲线表现出来, 分析其随时间演变的特征以及研究对象样本间的绝对差异。核密度可分为高斯核、矩形核、三角核等, 本文使用高斯核密度进行分析。其密度函数如下:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left[\frac{X_i - x}{h}\right]$$

其中, n 表示样本数量, X_i 表示观测值, x 为均值, h 为带宽, k 为核密度。考虑上海仅包含一个城市, 且绿色创新效率水平相较于其他城市显著, 有学者将上海市纳入江苏省进行分析, 但本文考虑到上海市绿色创新效率与其他地区差距较大, 纳入到江苏省会使得结果失真, 因此本文仅对浙江、安徽和江苏三个省份所包含城市的绿色创新效率动态演变及绝对差异进行分析。

5.1.2 绿色创新效率动态演变及绝对差异分析

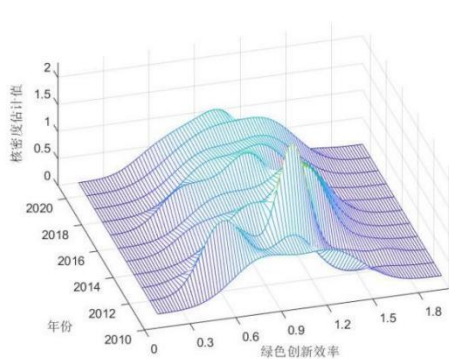
如图 5-1 为长三角城市群整体及各省绿色创新效率分布动态, 本文从分布位置、分布态势及极化现象三方面进行分析。

第一, 从分布位置看, 长三角城市群整体绿色创新效率分布位置向右小幅偏移, 这表明其绿色创新效率总体呈现上升态势。在 2017 与 2021 年, 其分布曲线向左移动, 绿色创新效率有所下降, 但不影响整体向右移动的趋势, 其余年份均逐年向右移动; 江苏省绿色创新效率分布位置总体移动幅度不大, 除在 2015、2018 年向左移动外, 其余年份分布曲线位置向右小幅移动, 这表明江苏省绿色创新效率在研究期内增长速度较为缓慢; 浙江省绿色创新效率分布位置波动较大, 总体小幅向右移动, 其分布曲线在 2016-2018 年向左移动且幅度较大, 其余年份分布曲线位置均向右移动, 说明浙江省绿色创新效率在研究期内有所增长, 但增速同样比较缓慢但略高于江苏; 安徽省绿色创新效率分布位置无明显变化, 其分布曲线在 2011-2015 年波动较大, 在此之后位置基本不变, 表明安徽省绿色创新效率在研究期内效率整体无明显变化。

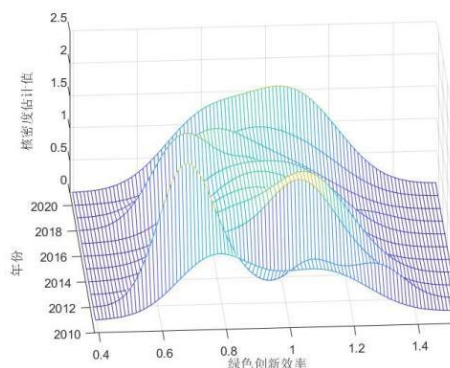
第二, 从分布态势看, 长三角城市群整体及江苏、浙江绿色创新效率的绝对差异变化波动较大, 安徽除 2011-2015 年波动较大外, 其余年份变化情况不明显。具体来看, 长三角城市群主峰峰值在 2011-2015 年逐步增高, 主峰宽度缩小, 说明此阶段区域内绿色创新效率绝对差异减小, 2016-2020 年主峰峰值下降后又开始上升, 同时宽度扩大, 此时效率绝对差异变大, 在 2021 年峰值增大, 宽度缩小, 绝对差异缩小; 江苏省在 2012、2018-2020 年出现主峰峰值增大, 主峰宽度缩小所表现出的绿色创新效率绝对差异缩小的情况, 其余年份基本呈现出主峰峰值增大, 主峰宽度扩大的现象, 在 2021 年时峰值最高, 宽度最大, 相应绝对差异也最大, 这说明总体江苏省内各地区的绿色创新效率在增加, 但绝对差异也在增大; 浙江省绿色创新效率的绝对差异变化较大, 在 2011-2012 年以及 2015-2018 年呈峰值增大, 宽度缩小的绝对差异变小的趋势, 2013-2014 以及 2019-2021 年呈峰值增大同时宽度也扩大的绝对差异变大的趋势, 这与江苏省的变化情况相似, 说明此阶段浙江省内各地区绿色创新效率的绝对差异与效率增减趋势一致; 安徽省绿色创新效率的绝对差异在 2013 年最小, 在此之后, 主峰峰值减小, 主峰宽度扩大, 绝对差异扩大, 在 2015-2021 年间除 2019 年外绝对差异基本保持不变, 在 2019 年峰值小幅增大, 宽度缩小, 绝对差异减小。安徽省绿色创新效率绝对

差异在长三角城市群中最大，情况也最为严重，绿色创新的协同性较差。

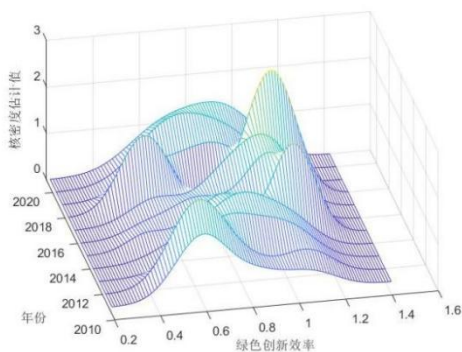
第三，从极化现象看，长三角城市群整体及江苏、浙江没有明显的拖尾现象，基本呈单极化分布，安徽在 2011-2015 年呈多极化分布，但无明显向右或向左拖尾。具体来看，长三角城市群仅在 2011 和 2012 年有向右拖尾现象，呈两极分化，2012 年时主峰与侧峰高度差距较大，自 2013 年开始，呈明显的单极化分布；江苏在 2011、2012 和 2018 年有向右拖尾现象，其中，在 2012 年呈三极分布，但两个侧峰高度较低，其后一年就呈单极分布，2011 和 2018 年呈两级分布，主峰与侧峰高度差距较小，2020 年主峰侧峰融合呈单极分布；浙江在 2011-2012 年、2015-2018 年呈两极分布，其中，在 2011 和 2012 年中，侧峰高度较低，与主峰高度差距较大，2018 年中，主侧峰高度差距较小呈明显双极化分布；安徽在 2011-2015 年与 2018 年呈两极或三极分布，除 2013 与 2014 年有明显的主峰外，其余年份存在两个主峰或各峰高度差别不大。其余年份无明显极化现象，也说明安徽省内各地区绿色创新效率后期基本不存在明显的阶梯效应，分布比较分散。



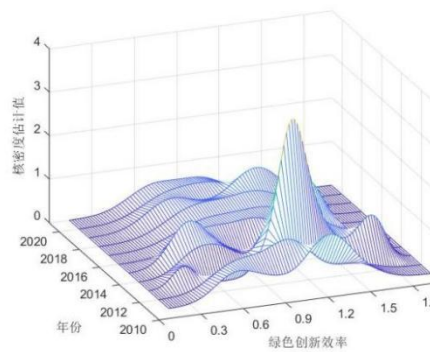
长三角城市群



江苏省



浙江省



安徽省

图 5-1 长三角城市群整体及各省绿色创新效率分布动态

5.2 绿色创新效率相对差异分析

5.2.1 Dagum 基尼系数

Dagum 基尼系数及其分解是将基尼系数按子群进行分解的方法，它有效解决了数据间交叉重叠以及区域差异来源问题，所得结论更加精确。本文在分析长三角城市群相对差异时主要采用这一方法，同时与核密度估计分析绝对差异问题相互补充。同时，与核密度估计一样，由于上海仅包含一个城市，无法将其分解，因此不将上海纳入此次分析。相关公式如下：

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

其中， k 代表地区数量， n 代表城市总数， y_{ji} (y_{hr}) 表示地区 j (h) 内省份 i (r) 的融合发展程度， \bar{y} 表示绿色创新效率的平均值。按照分解原理， $G = G_w + G_{nb} + G_t$ ，其中， G_w 表示区域内差异贡献， G_{nb} 表示区域间差异贡献， G_t 表示超变密度。 G_{jj} 表示 j 地区的基尼系数， G_{jh} 表示地区 j 和 h 之间的基尼系数，计算过程如下所示：

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

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)} \quad (式 3)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (式 4)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (式 5)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (式 6)$$

其中， $p_j = n_j/n$ ， $s_j = n_j \bar{y}_j / n \bar{y}$ ， $j=1, 2, \dots, k$ ， D_{jh} 为地区 j 和 h 之间绿色创新效率的相对影响，计算公式如下：

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}} \quad (式 7)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y - x) dF_h(x) \quad (式 8)$$

$$p_{jh} = \int_0^{\infty} dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (\text{式 9})$$

其中, F_j 和 F_h 为地区 j 和地区 h 绿色创新效率的的累计密度分布函数, d_{jh} 是地区 j 和地区 h 中所有 $y_{ij}-y_{hr}>0$ 的数学期望, 为地区之间绿色创新效率的的差值, p_{jh} 是地区 j 和地区 h 中所有 $y_{ij}-y_{hr}<0$ 的数学期望, 为超变一阶矩阵。

5.2.2 绿色创新效率总体及区域内差异

图 5-2 呈现了长三角城市群绿色创新效率的总体差异的演变趋势, 可以看出, 长三角城市群绿色创新效率总体差异在 2011-2013 年下降了 0.12, 2013-2016 年有所上升, 2016 年之后开始小幅波动, 基尼系数保持在 0.2-0.25 之间。

图 5-3 为三省的省内差异演变趋势, 可以看出, 江苏省和浙江省基尼系数在研究期内基尼系数呈下降趋势, 安徽省基尼系数在研究期内呈上升趋势。江苏省省内差距变动较为平缓, 在一些连续年份系数基本一致, 如 2013-2014 年、2015-2017 年。浙江省省内差距呈波动下降趋势, 2011 年系数为峰值, 之后呈“W”型变化。浙江省省内基尼系数下降幅度最大, 说明浙江省内绿色创新效率差异正在逐渐缩小, 也说明了浙江省内各地区协同发展水平逐步提高。江苏与浙江省近年来大力推动绿色创新发展战略, 通过政策引导和市场机制, 鼓励企业加大绿色技术研发和投入, 促进了绿色创新能力的提升。其次, 两省在产业结构调整 and 能源消费结构优化方面取得了显著成效, 减少了高污染、高能耗产业的比重, 提高了清洁能源的使用比例, 降低了环境污染和资源消耗, 进而提升了绿色创新效率。安徽省省内基尼系数呈波动上升, 省内差距逐步增大。首先, 安徽省在绿色创新方面的投入和政策支持相对不足, 导致绿色创新能力和效率提升缓慢。其次, 安徽省的产业结构相对单一, 高污染、高能耗产业比重较大, 对环境和资源的压力较大, 这也制约了绿色创新效率的提升。最后, 近年来安徽省部分城市凭借地理优势, 依靠长三角城市群带动, 发展水平有所提高, 同时安徽省在发展过程中资源向少数城市集中, 与省内其他城市发展差距逐步拉大, 造成基尼系数上升。

5.2.3 绿色创新效率区域间差异

图 5-4 为江苏省、浙江省、安徽省三省绿色创新效率的省间差距,可以看出,江苏省与浙江省之间的基尼系数呈下降趋势,江苏省与安徽省、浙江省与安徽省的基尼系数呈上升趋势。具体来看,江苏省与浙江省的基尼系数在 2011-2015 年下降,2015-2018 年呈上升-下降-上升形态,2018 年以后持续下降,两省间差距逐步缩小。江苏省与浙江省都为经济大省,两省区域差异相对较小,协调性较好。人才、技术等生产要素存在相似性且流动性强,联系紧密,能够有效加强绿色创新的协同效应。江苏省与安徽省的基尼系数在 2012-2013 年较大幅度下降、2016-2018 年、2019-2020 年小幅下降,其余年份均为上升状态。江苏省与安徽省虽然在地理位置上紧密相邻,但在区域协同发展上进展缓慢,安徽省只有少部分城市享受到江苏省快速发展过程中的溢出效应。另外,加之安徽与江苏省内在发展过程中内部的差异较大,因此两省之间的差距逐步扩大。浙江省与安徽省的基尼系数在 2011-2013 年、2016-2018 年、2019-2020 年有所下降,其余年份上升,总体呈上升趋势,两省差距逐步扩大且较江苏省与安徽省间的差距也略大。浙江省与安徽省在地理位置上也有部分地区接壤,但由于两省间的产业结构差异较大,要素流动性较差,造成两省间差距逐步扩大。

5.2.4 绿色创新效率差异空间来源分解

图 5-5 为绿色创新效率区域差异来源及贡献率,可以看出地区内差异的贡献率始终稳定在 30%-33%左右,在研究期内基本无变化。地区间差异的贡献率在 2015 年之前最高,省间超变密度贡献率在 2015 年之前最低。2015 年以后,超变密度贡献率成为造成区域差异的首要来源,贡献率在多数年份 40%-50%之间,地区间差异的贡献率最小。超变密度贡献率与地区间差异贡献率存在此消彼长的关系,变动趋势完全相反。可见,在 2015 年之后的区域差异主要来自于超变密度,说明在此阶段不同区域间绿色创新效率的交叉重叠问题愈加严重。超变密度是划分子群体时由于交叉项的存在而对总体差距产生影响的贡献,用于识别地区间的交叉重叠现象。因此未来发展中需要重点解决省内低效率城市的绿色创新效率提升问题,比如江苏省的镇江市、连云港市,浙江省的湖州市、衢州市,安徽省的

宣城市、铜陵市等城市。

表 5-1 长三角城市群绿色创新效率的基尼系数及其分解

年份	整体基尼系数	地区内基尼系数			地区间基尼系数			贡献率		
		江苏	浙江	安徽	江苏-浙江	江苏-安徽	浙江-安徽	地区内	地区间	超变密度
2011	0.26	0.199	0.296	0.225	0.27	0.216	0.284	30.561	33.864	35.575
2012	0.237	0.215	0.202	0.214	0.213	0.233	0.24	31.282	39.919	29.399
2013	0.147	0.127	0.172	0.096	0.158	0.117	0.155	28.172	51.252	20.576
2014	0.176	0.127	0.178	0.176	0.155	0.163	0.196	31.974	37.362	30.664
2015	0.19	0.145	0.158	0.227	0.155	0.198	0.206	33.252	9.458	57.289
2016	0.236	0.144	0.224	0.288	0.186	0.238	0.266	33.423	7.570	59.007
2017	0.204	0.146	0.155	0.252	0.152	0.217	0.226	33.457	7.673	58.870
2018	0.211	0.159	0.206	0.231	0.19	0.206	0.226	32.559	20.125	47.316
2019	0.241	0.171	0.201	0.290	0.186	0.252	0.265	33.765	11.316	54.919
2020	0.219	0.166	0.149	0.283	0.164	0.236	0.241	33.843	12.812	53.976
2021	0.242	0.109	0.163	0.365	0.137	0.269	0.295	31.503	26.018	42.479



图 5-2 整体差异演变趋势

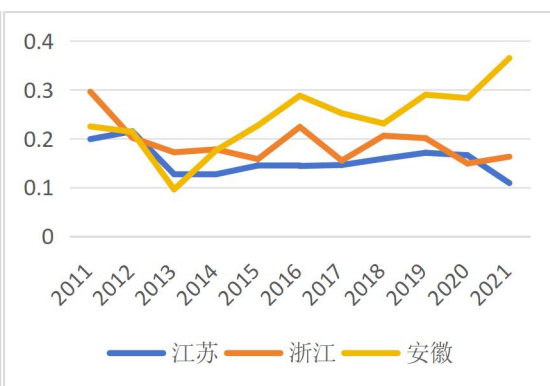


图 5-3 省内差异演变趋势

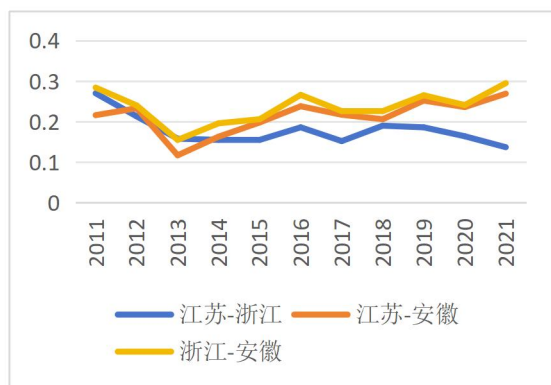


图 5-4 省间差异演变趋势

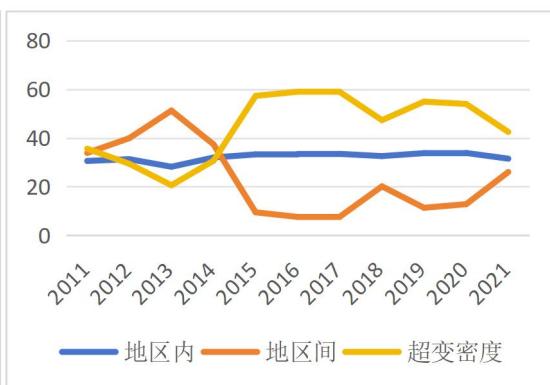


图 5-5 地区差异来源贡献率演变趋势

6 长三角城市群绿色创新效率的影响因素分析

6.1 模型构建

Tobit 模型, 全称为 James Tobin 模型, 是由经济学家詹姆斯·托比特在 1958 年提出的, 主要用于解决存在截断数据的情况下的统计分析问题。该模型的特点是因变量虽然在正值上大致连续分布, 但包含一部分以正概率取值为零的观察值。Tobit 模型也被称为受限因变量模型, 因为它是因变量满足某种约束条件下取值的模型。由于本文使用超效率-SBM 模型测算出的绿色创新效率始终大于 0, 属于左截断数据, 因此适用于 Tobit 模型。

基本 Tobit 模型的形式为:

$$y^* = \beta x_i + \mu_i + \varepsilon_i \quad \varepsilon_i \sim (0, \delta^2) \quad \text{式 1}$$

在式 1 中 y^* 是潜在因变量, 在本文中为绿色创新效率, 当 $y^* > 0$ 时被观察到, 取值为 y_i , 当 $y^* < 0$ 时, 在 0 处截尾, β 为回归系数向量, x_i 为自变量向量, ε_i 为误差项, μ_i 为个体效应。Tobit 更为一般化的形式为:

$$y_i = \begin{cases} C_1, & y^* \leq C_1 \\ y^*, & C_2 \leq y^* \leq C_1 \\ C_2, & y^* \geq C_2 \end{cases} \quad \text{式 2}$$

在式 2 中, C_1, C_2 代表截取点, 可取任意常数, 在本文中, 取下限值 C_1 为 0, C_2 趋于无穷。

基于第四章测算得出的长三角城市群绿色创新效率以及第三章绿色创新效率影响因素机理分析中选取的影响因素, 得到 Tobit 面板数据回归模型, 具体形式如式 3 所示:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \mu \quad \text{式 3}$$

式 3 中, i 代表城市, t 代表年份, y 代表绿色创新效率, x_1 至 x_7 分别代表 7 个影响因素。

6.2 指标选取与数据来源

本文选择经济发展水平、对外开放、产业结构、环境规制、政府支持、受教育水平、信息化水平七个解释变量, 研究对长三角城市群绿色创新效率的影响, 数据均来源于《各市统计年鉴》与《城市统计年鉴》。

(1) 绿色创新效率: 采取第三章测算的绿色创新效率值;

(2) 经济发展水平：经济发展水平越高的地区能够吸引更多的绿色创新要素，同时能够为该地区的绿色创新供给丰富的资源，从多层次支持地区绿色创新效率的提升，本文选取人均 GDP 来衡量；

(3) 对外开放：对外开放水平可以体现地区发展中与其他国家的交流程度，在提高经济发展水平的同时也影响地区生态环境，绿色创新活动中引进外国先进技术与产业能够有效支持效率提升，但如果引进高污染高能耗产业会破坏地区环境，本文选取外商直接投资占 GDP 比重来衡量；

(4) 产业结构：产业结构决定了地区经济发展水平，也较大的影响地区绿色创新的水平，产业结构优化升级能够促进绿色创新效率的提高，本文选取第三产业增加值与第二产业增加值之比来衡量；

(5) 环境规制：环境规制作为促进绿色创新的政策性因素，通过行政性要求促使企业绿色生产，提升绿色创新水平，但在水平提升的同时也易造成企业成本增加的负面影响，因素环境规制对不同企业的影响也存在不同的结果，本文选取环境污染治理投资占 GDP 比重来衡量；

(6) 政府支持：政府作为绿色创新活动的重要参与者，一方面能够为绿色创新提高多方面的指导与支持，另一方面可以弥补企业作为绿色创新主体时易造成的负外部性，本文选取政府科技教育支出占财政支出比重衡量；

(7) 受教育水平：受教育水平代表了地区人才资源的丰裕水平，良好的受教育水平能够为绿色创新提供足够的智力支持和平台支撑，本文选取普通高等学校学生数来衡量；

(8) 信息化水平：信息化水平能够打破部分要素流动的时空限制，促进要素流动，降低要素流通成本，信息化水平提高是绿色创新效率提高所必需的条件，本文选取每百人互联网宽带用户来衡量。

6.3 描述性统计及共线性诊断

6.3.1 描述性统计

为直观了解各个解释变量的数据分布情况，所作描述性统计如下表所示，包含各个指标的均值、标准差、最小值与最大值。

表 6-1 解释变量描述性统计

变量	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
经济发展	451	11.05043	0.585623	9.323848	12.14108
对外开放	451	0.0272171	0.0177895	0.0001522	0.093172
产业结构	451	1.010786	0.3560754	0.313	2.832
环境规制	451	0.012799	0.0041876	0.0046014	0.0238106
政府支持	451	0.209688	0.0362931	0.0565785	0.3140251
受教育水平	451	11.06559	1.011835	8.652773	13.73011
信息化水平	451	30.85244	19.02733	3.22675	92.29134

6.3.2 共线性诊断

在使用回归模型时,如果各个解释变量之间存在多重共线性会使参数估计值的方差增大,难以区分自变量对因变量的影响作用,造成结果偏误,因在回归前需进行多重共线性诊断。常用诊断方法为判断方差膨胀因子(VIF)的值,若 $VIF < 5$,则不存在严重的多重共线性。如下表所示,本文中选取的7个解释变量的VIF值均小于5,说明不存在严重的多种共线性,适合进行回归分析。

表 5-2 解释变量共线性

变量	VIF	1/VIF
经济发展	4.19	0.238463
信息化水平	3.88	0.257741
受教育水平	1.89	0.528938
产业结构	1.71	0.584794
环境规制	1.52	0.657908
政府支持	1.19	0.838682
对外开放	1.14	0.879986

6.4 绿色创新效率影响因素的回归结果分析

本文利用 stata16 软件使用 Tobit 回归对长三角城市群整体及在第四章中按

照绿色创新效率测度结果对长三角城市群分类为高、中、低效率的地区进行影响因素分析。结果如下：

表 6-3 长三角城市群绿色创新效率影响因素回归分析结果

解释变量	长三角	高效率	中效率	低效率
经济发展	-0.1653*** (-2.92)	0.3019* (1.87)	-0.1629*** (-2.66)	-0.0389 (-0.46)
对外开放	-3.2879*** (-3.30)	-4.2851 (-0.86)	-2.4445* (-1.85)	-3.2432*** (-3.05)
产业结构	0.1741*** (3.24)	0.2972** (2.4)	0.1145 (1.59)	0.0635 (0.65)
环境规制	1.4277*** (0.26)	1.6579*** (1.4)	2.5042*** (0.5089)	0.6224** (2.18)
政府支持	-2.0617*** (-4.87)	5.1433* (1.77)	-1.7958*** (-3.52)	-1.2345* (-1.85)
受教育水平	0.1388*** (4.52)	-0.1243 (-1.21)	0.0930*** (3.12)	0.0688* (1.72)
信息化水平	0.0501** (2.16)	0.1121*** (2.55)	0.1215*** (3.37)	0.0017 (0.85)
Constant	1.4877*** (2.67)	-1.6662 (-1.16)	2.0517*** (3.66)	0.5121 (0.67)

z-statistics in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

基于表 1 得到长三角城市群绿色创新效率的影响因素的回归结果：

6.4.1 整体分析

(1) 经济发展在 1%水平下显著，且呈现负相关关系，这说明经济发展水平对长三角城市群绿色创新效率起抑制作用。可能的原因有以下几点：第一，长三角城市群是我国经济最发达的区域之一，但是发展过程中的绿色效益低于经济效益；第二，在经济发展过程中，没有充分发挥资源优势，长三角城市群有着相较于其它地区丰富的人才、资金、技术资源，但没有充分利用，导致了低效率；第三，存在内部差异，长三角城市群包含四个省市 41 个城市，其中各个地区发展水平层次不一，差距明显。发展水平较低的城市仍旧依靠高污染高耗能的产业发展经济，抑制了长三角城市群整体绿色创新的水平。

(2) 对外开放在 1%水平下显著，且回归系数为负，表明对外开放抑制了长

长三角城市群绿色创新效率,可能的原因有,第一,“污染天堂”效应大于“污染光环”效应,长三角城市群是我国最早对外开放也是对外开放程度最深的地区之一,在开放之初,主要以承接产业转移为主,这些产业主要为劳动密集型产业和高污染的传统低端产业,在促进经济增长的同时对生态环境也造成了破坏;第二,在接受外来投资时没有选择性,为实现经济增长盲目接受投资,技术型投资较少,在投资过程中得不到外来先进技术;第三,外商投资中,出于各种因素,对关键性和先进性技术设置出口障碍,阻止投资地区获取投资方技术,抑制投资地区技术发展。

(3) 产业结构在 1%水平下显著,且回归系数为正,说明产业结构有助于提升绿色创新效率。随着经济发展水平的提高,产业结构中主导产业依次成为一、二、三产,产业内部也会由低端产业逐步转为高端产业。长三角城市群作为我国先进制造业与服务业最发达地区之一,产业结构较为合理,能够为提升绿色创新效率提供技术与经济支持。产业升级一方面需要且能够带来技术创新,提高产业中技术含量,另一方面可以改变生产方式,由劳动密集型或资源密集型向资本密集型与技术密集型产业转变。绿色创新中在很大程度上依靠着产业结构的升级,两者相互交叉,因此,产业结构升级能够显著正向作用于绿色创新效率提升。

(4) 环境规制在 1%水平下显著,且回归系数为正,说明环境规制对长三角城市群绿色创新效率的作用明显,能够积极促进长三角城市群的绿色创新,同时在样本内验证了“波特假说”。十八大以来,随着国家针对生态环境的各种政策文件的出台,长三角城市群在发展过程中对生态环境加强了治理力度。同时,长三角城市群能够依靠较为丰富的资源,使得受到环境规制影响的企业在生产中的“创新补偿效应”大于“遵循成本效应”,激励着企业的绿色创新行为。

(5) 政府支持在 1%水平下显著,但回归系数为负,说明政府支持对绿色创新效率起显著地抑制作用。可能的原因有,第一,政府通过增加科技教育支出为绿色创新活动提供支持,但是相关资金并没有被分配到绿色创新活动中,甚至可能被用于维持高污染的生产活动中,加重了生态环境的恶化;第二,政府的相关活动影响到企业正常的技术创新,挤占了企业的活动空间,打击了企业的绿色创新积极性,抑制了绿色创新效率提升。

(6) 受教育水平在 1%水平下显著,且回归系数为正,说明受教育水平显著

地促进了绿色创新效率的提高。受教育水平代表着一个地区的人力资本,受教育水平越高,人力资源转换为人力资本的效率越高,越能够不断为绿色创新提供智力支持。同时,受教育水平越高,人口素质越高,无论是对自身的环保要求,还是对企业的环保要求都会提高,能够对绿色生产起到督促作用。长三角城市群的教育资源丰富,能够为绿色创新提供源源不断的人才资源。

(7) 信息化水平在 5%水平下显著,且回归系数为正,说明信息化水平对绿色创新效率提高的作用明显。信息化水平是地区发展水平的代表因素之一,长三角城市群拥有较为完善且先进的信息化基础设施,云计算平台、大数据应用等信息设施助力着长三角城市群经济社会发展,也有效助力了绿色创新效率的提升。良好的信息化水平一方面有助于促进知识溢出,提升要素流动速度,促进产业结构升级;另一方面,企业借助于信息化的优势能够有效整合资源,增强技术水平,降低生产成本,提升管理效能与生产效率,共同促进绿色创新效率提升。

6.4.2 分区域分析

(1) 经济发展水平对高效率地区起正向显著影响,对中效率地区起负向显著影响,对低效率地区起负向影响但不显著。说明经济发展水平对绿色创新效率起到的作用可能具有一定的门槛,需要达到一定的水平才能实现绿色效益大于经济效益。经济实力越强,越能够实现资源利用的最大化。同时,适宜自身的发展方式也能够有效促进绿色创新,过于依赖高耗能高污染产业会抑制绿色创新,阻碍绿色创新要素的流动。

(2) 对外开发对高、中、低效率区域的影响均为负,其中高效率地区的影响不显著,可能的原因一方面是高效率地区自身技术创新水平较高,在绿色创新中受到外部影响程度较轻。中效率地区与低效率地区的影响显著,低效率地区在 1%水平下显著,说明对外开放抑制了绿色创新的发展,可能的原因为,一方面为获取短期经济利益,为外国企业设置优惠政策,外商凭借资本与技术优势占据了市场,对本土企业造成冲击;另一方面,在接受外来投资时,仍以高污染、高耗能、技术含量水平低的产业为主,较少接受到先进技术产业的投资。

(3) 产业结构对高效率地区起正向显著影响,对中效率与低效率地区起正向影响但不显著。说明产业结构优化对绿色创新效率能够起到促进作用,在中低

效率地区的多数城市第二产业尤其是其中的传统制造业占比仍然较高,相比第三产业,二产中的多数产业能源消耗较大,增加了环境污染等非期望产出。第三产业相对消耗资源较少,且第三产业中如先进服务业需要大量的技术创新,这也促进了绿色创新效率的提升,也说明了高效率地区中产业结果对绿色创新效率的显著性影响。

(4) 环境规制在三种地区都呈正向显著影响,高、中效率地区显著性强于低效率地区,说明环境规制能够在不同效率地区都带来绿色创新效率的提升。环境规制的目的不仅是实现污染减排,而是在保证企业正常发展的过程中促进企业的绿色生产,实现企业发展与环境良好的共赢。长三角城市群作为我国经济发展的排头兵,政策制定与执行效果相对于优于其他地区,因此,长三角城市群应继续加强环境规制,制定与经济发展水平相适应的环境规制政策。

(5) 政府支持在高效率地区呈正向显著影响,在中效率与低效率地区呈负向显著影响。高效率地区能够将政府资金使用到合理的途径,有效利用资源。而中低效率部分地区在接收到政府支持后可能没有用于绿色创新活动,而是继续维持原本的生产活动,抑制了绿色创新。

(6) 受教育水平在中低效率地区呈正向显著影响,在高效率地区呈负向影响但不显著。说明在中低效率地区,教育水平的提高能够不断为绿色创新提供优质的人才支持,促进绿色创新效率,高效率地区呈负向不显著的原因一方面可能是受到边际效应的影响,上海、苏州自身教育水平较高,拥有丰富的人力资本,其教育水平的提高对绿色创新效率的边际提升效果是递减趋势;另一方面,高效率地区虽然受高等教育人口较多,但受到内外部环境的影响,例如房价等因素,无法满足在地区长期生活的条件,因此人口流动性较大。在中低效率地区,一方面生活成本相对高效率地区较低,另一方面,长三角城市群多数城市近年来持续出台人才引进优惠政策,吸引高素质人才流入,为地区绿色创新提供了较丰富的人力资本。

(7) 信息化水平在高效率与中效率地区起正向显著影响,在低效率地区不显著且回归系数较低。高效率地区拥有较完善的基础设施与信息流通渠道,信息协同水平较好,信息化水平的提升加速了知识传播与要素流动的速度。在低效率地区一方面可能由于信息协同平台不够健全,要素流通渠道存在阻碍,信息化水

平促进绿色创新效率效果不明显。另一方面，在部分经济不发达地区，现有产业即使获取到先进知识，也无法快速的吸收并与产业融合，信息发挥的作用较弱，因此无法有效提高绿色创新效率。

7 研究结论及政策建议

7.1 研究结论

本文基于相关理论指导,参考借鉴有关学者的研究,首先分析了长三角城市群 41 个城市的绿色创新现状,并基于此利用超效率-SBM 方法测算出长三角城市群的绿色创新效率;继而利用核密度估计法与 Dagum 基尼系数对长三角城市群绿色创新效率的动态演进特征、绝对差异与相对差异特征进行了研究;最后构建 Tobit 模型对长三角城市群绿色创新效率影响因素进行研究,得出以下结论:

(1) 从绿色创新投入、期望产出、非期望产出三个角度对长三角城市群绿色创新现状进行分析,可以看出近年来,长三角城市群各地区绿色创新的投入与期望产出均在逐步增长,非期望产出大幅下降,尤其是上海市、江苏省与浙江省的变化较为明显。同时长三角城市群绿色创新发展也存在一些问题,如部分城市创新资源投入不足、资源投入不平衡、发展差异较大等问题。

(2) 从绿色创新效率测算结果看,长三角城市群整体绿色创新效率处于增长趋势,正逐步接近有效值,从绿色创新效率测算结果来看:整体层面,长三角城市群绿色创新效率处于波动增长趋势,总体有所上升。研究期内均值为 0.882,接近有效值,在研究期内效率始终维持在 0.8 以上,相对来说属于较高水平,发展趋势较好,能够在全国的绿色创新方面起到一定的示范作用;

具体到各省市,(1)上海市绿色创新效率均值为 1.449,始终处于有效值并高于城市群内其他地区,上海市的高绿色创新效率值也带动提升了长三角城市群的整体效率值;(2)江苏省绿色创新效率呈“M”型增长趋势,效率均值为 0.865,略高于整体均值,江苏省绿色创新效率均值较高的城市为南京市、苏州市、徐州市、无锡市、南通市,基本与该市在省内经济发展水平保持一致。省内各市绿色创新效率差异较大,基本保持着苏南大于苏中,苏中大于苏北的状态,协调发展水平较弱;(3)安徽省绿色创新效率在研究期内呈先上升后下降的趋势,总体有下降,效率均值为 0.847,略低于江苏省。安徽省绿色创新效率在 2015 年之前略高于江苏省与浙江省,在此之后逐步被两省反超。省内效率均值较高的城市为合肥市、黄山市、阜阳市、池州市、安庆市,上述城市绿色创新效率与经济发展水平并不完全一致,部分城市经济发展水平一般但绿色创新效率较高。安

徽省内各城市效率差异在四省市中最为严重；（4）浙江省绿色创新效率除 2014 年与 2020 年有小幅下降外，其余年份均呈持续上升趋势，效率均值为 0.81。省内效率均值较高的城市为杭州市、宁波市、温州市、舟山市。省内各市间效率同样存在差异，但随着低效率城市效率的逐步提高，差异正在逐渐缩小。

（3）长三角城市群绿色创新效率的地区差异研究。（1）绝对差异研究：长三角城市群整体绿色创新效率的分布动态曲线向右移动，但绝对差异在 2015 年后除 2021 年外基本没有变化，依旧保持着较大的绝对差异。江苏省与浙江省绿色创新效率的分布动态曲线位置向右移动，但两省绝对差异存在增大的趋势，浙江省绝对差异相对较小。安徽省绿色创新效率分布动态曲线基本保持不变，绝对差异自 2015 年后处于较大差异的态势，拉大了长三角城市群的绝对差异，说明省内各市的实际发展水平差距较大。（2）相对差异及差异来源研究：区域内基尼系数方面，长三角城市群整体及江苏省与浙江省的基尼系数呈下降趋势，其中浙江省下降幅度最大，相对差异缩小。安徽省基尼系数上升，相对差异变大；区域间基尼系数方面，江苏省与浙江省基尼系数呈下降趋势，相对差异缩小。江苏省与安徽省、浙江省与安徽省间基尼系数呈上升趋势，相对差异拉大；差异来源方面，区域内差异贡献率基本保持在 30%左右，是造成差异的第二来源。区域间差异贡献率与超变密度贡献率存在此消彼长的关系，2015 年之前，区域间差异是差异的主要来源，超变密度是第三来源，2015 年开始，超变密度成为造成差异的主要来源。

（4）长三角城市群绿色创新效率影响因素研究。整体分析中：长三角城市群绿色创新效率与经济发展、对外开发、环境规制、政府支持呈显著负向影响，与产业结构、环境规制、受教育水平、信息化水平呈显著正向影响。分层次分析中：经济发展水平对高效率地区起正向显著影响，对中效率地区起负向显著影响，与长三角整体一致，对低效率地区起负向影响，但不显著；对外开放对高、中、低效率地区均起负向影响，高效率地区不显著，中、低效率地区显著；产业结构对高效率地区起正向显著影响，中、低效率地区起正向影响但不显著；环境规制对高、中、低效率地区均一致，正向显著影响；政府支持对高、中、低效率地区均有显著影响，但在高效率地区为正向，中、低效率地区为负向；受教育水平在中、低效率地区起正向显著影响，在高效率地区起负向但不显著影响；信息化水

平对高、中效率地区起正向显著影响，对低效率地区起正向但不显著影响。

7.2 政策建议

基于上述研究结论，本文从对长三角城市群绿色创新效率的评价以及从经济、技术、政策三方面影响因素出发对推进长三角城市群绿色创新效率提升提出以下政策建议：

（1）加强区域协调能力

长三角城市群绿色创新效率区域差异较大，制约了整体效率的提升，因此，加强区域协调能力是提升整体绿色创新效率的关键。第一，要建立区域协调机制，通过设立区域协调委员会，定期召开区域协调会议，协调解决区域内的绿色创新问题。同时，也可以通过建立区域信息共享平台，实现区域内的信息互通和资源共享；第二，实施区域协调发展战略。根据各城市的实际情况，制定差异化的绿色创新发展战略。同时，也可以通过实施区域协调发展项目，推动区域内的绿色创新发展；第三，加强区域间的绿色创新合作。通过建立区域间绿色创新联盟，促进区域内的绿色创新合作。同时，也可以通过实施区域间绿色创新项目，推动区域内的绿色创新发展。

（2）优化经济结构

经济结构对绿色创新效率有重要影响，政府应优化经济结构，推动绿色发展。第一，要推动产业结构的绿色转型，鼓励传统产业向绿色创新方向转型升级，推动传统产业减少资源消耗和环境污染；第二，长三角城市群应利用自身优势，进一步支持先进制造业等高技术产业发展，形成一条绿色产业链，促进不同城市之间的产业协同发展，提高资源利用效率；第三，提高第三产业在经济结构中的占比，尤其是中效率与低效率地区，增加第三产业比重十分必要。同时，利用数字技术以提升第三产业发展质量。大力发展生产性服务业，深化服务业改革，促进各产业融合发展；第四，推动绿色金融的发展，提供绿色融资渠道，鼓励投资者支持绿色创新项目，推动绿色经济的发展；第五支持小微企业发展。长三角城市群拥有着最大规模的小微企业，其也是长三角城市群经济发展的重要动力，政府应加大对小微企业的支持力度，鼓励其参与绿色创新活动，推动小微企业的绿色发展。

（3）提高对外开放水平

提升绿色创新效率不仅需要完善内部机制,也需要在对外开放方面有所进步。第一,优化对外开放战略。由于以前出于经济发展等原因,对外资进入以及产业承接等相关标准较低,对生态环境造成了破坏。长三角城市群应调整对外开放战略,提高外资准入门槛,更加注重绿色创新和可持续发展。在引进外资和技术的同时,应注重引进环保、低碳、循环经济等领域的先进技术和经验,推动绿色产业的发展;第二,降低对国外技术的依赖,对外开放水平对三种效率地区绿色创新效率都产生负向影响,可能是由于过度依赖外部资源和技术,导致本地绿色创新能力的提升受限,因此,在吸收外来技术的同时,要积极培养提升本土技术能力,尽快由模仿学习过渡到自主研发;第三,加强国际合作与交流平台建设,加强与国际先进城市和机构的合作,建立国际合作与交流平台,推动绿色技术创新和绿色经济发展。通过国际合作与交流平台建设,可以为长三角地区的绿色创新提供更广阔的发展空间和更丰富的资源。

(4) 提升技术创新能力

技术创新是提升绿色创新效率的关键。第一,应加大对绿色科研的投入,鼓励高校、科研机构和企业加强合作,共同开展绿色创新研究。此外,还可以设立专项绿色创新基金,用于支持前沿科技研究项目,以提升科技创新的能力。同时应加强监管,不使专项资金用于其他用途;第二,提升教育水平,增加人才供给。特别是中、低效率的部分地区,由于教育水平较低无法为当地提供技术创新人才,无法满足绿色创新活动的人才需要,另外,可以推动科技创新的国际合作,加强与国际合作伙伴的合作,引进和吸收国际绿色创新领域的高层次人才、先进的绿色创新技术和管理经验,共享绿色创新技术和资源,促进国际绿色创新领域的合作和交流;第三,提高信息化水平,加强信息基础设施建设,完善信息交流平台。高效率地区应提高信息传递质量,加大资源整合力度,积极推动资源共享,扩大知识溢出效应,促进创新技术有效传递到内外部区域。中、低效率地区要提高信息化建设速度,以中心城市带动区域信息化发展,畅通区域间信息交流渠道。增强科技成果转化能力,提高信息利用效率,推动信息化对绿色创新的促进作用。

(5) 建立和完善绿色创新政策体系

政府应建立和完善绿色创新政策体系,制定明确的政策目标和指标,明确长三角城市群在绿色创新领域的发展方向和重点领域,确保政策的针对性和可操作

性。包括绿色创新的政策引导、政策激励和政策监管等。政策引导是通过制定绿色创新的发展规划和战略，引导企业和个人进行绿色创新。政策激励是通过提供财政补贴、税收优惠等激励措施，鼓励企业和个人进行绿色创新，包括降低绿色技术研发和应用的税收负担，设立绿色创新资金，以及支持企业进行绿色创新的财政补贴。政策监管是通过建立绿色创新的监管机制，确保绿色创新的质量和效果，中效率与低效率地区应加强对相关专项资金的监管，确保资金用途，加大政府支持对绿色创新活动的作用。

各级政府应加强协调，建立跨部门合作机制，避免政策之间的冲突和重复，确保政策的一致性和协同效应。此外，可以考虑建立跨地区的政策整合机制，以促进长三角城市群之间的政策协同发展。同时，政府应当建立完善的法律框架和知识产权保护机制，鼓励企业积极投入绿色创新领域，并确保他们的创新成果得到妥善保护。

参考文献

- [1] Birgit Blättel-Mink. Innovation towards sustainable economy the integration of economy and ecology in companies[J]. Sustainable Development, 1998, 6(2).
- [2] Arundel, R Kemp. Measuring Eco-Innovation[J]. Working Papers, 2009(17): 1-40
- [3] OECD. Environmental innovation and global markets[R]. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2008.
- [4] Marianna Gilli, Susanna Mancinelli, Massimiliano Mazzanti. Innovation complementarity and environmental productivity effects: Reality or delusion? Evidence from the EU[J]. Ecological Economics, 2014, 103.
- [5] 韩晶. 中国区域绿色创新效率研究[J]. 财经问题研究, 2012, No. 348(11): 130-137.
- [6] 刘薇. 国内外绿色创新与发展研究动态综述[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2012, 22(05): 17-20.
- [7] 张钢, 张小军. 绿色创新研究的几个基本问题[J]. 中国科技论坛, 2013(04): 12-15+20.
- [8] 向刚, 洪洁, 徐建华. 企业绿色持续创新理论与应用初探[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2002(03): 134-136.
- [9] 贯君. 制造企业绿色创新的影响机理及行为演化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
- [10] 罗立科, 陆思莹, 涂梦媛等. 广东省绿色创新效率的测度评价、影响机制与提升路径研究[J]. 中国市场, 2023, No. 1137(02): 28-30
- [11] 程文君. 湖南省绿色创新效率测度及其影响因素研究[D]. 湘潭大学, 2021.
- [12] 吕岩威, 谢雁翔, 楼贤骏. 中国区域绿色创新效率时空跃迁及收敛趋势研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(05): 78-97
- [13] 田贵贤, 谢子远, 郑长娟. 中国城市绿色创新效率的空间演化及影响因素[J]. 江西社会科学, 2021, 41(08): 60-69.
- [14] 张长江, 侯梦晓, 陈雨晴. 长江经济带绿色创新效率的时空演化趋势[J]. 科技管理研究, 2022, 42(06): 51-58.
- [15] 程刚, 王娜, 李旭辉. 三大经济圈绿色创新效率时空格局演变研究[J]. 河南科

- 技大学学报(社会科学版), 2023, 41 (03) :26-35.
- [16] 鲍涵, 滕堂伟, 胡森林等. 长三角地区城市绿色创新效率空间分异及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31 (02) :273-284.
- [17] 李金滢, 李泽宇, 李超. 城市绿色创新效率实证研究—来自长江中游城市群的证据[J]. 江西财经大学学报, 2016, No. 108 (06) :3-16.
- [18] 滕堂伟, 瞿丛艺, 胡森林等. 长三角城市群绿色创新效率格局分异及空间关联特征[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2019, 51 (05) :107-117+239-240.
- [19] 王保林, 户艳领, 李依弯. 京津冀城市群绿色创新效率测度及空间效应研究[J]. 河北经贸大学学报, 2023, 44 (02) :88-99.
- [20] 王星, 苏志, 赵文娜. 城市绿色创新效率的区域差异、动态演进及收敛性研究—以黄河流域沿线城市为例[J]. 城市问题, 2022, No. 329 (12) :30-41
- [21] 陈瑶. 中国区域工业绿色发展效率评估—基于 R&D 投入视角[J]. 经济问题, 2018, No. 472 (12) :77-83.
- [22] 向云波, 王圣云, 邓楚雄. 长江经济带化工产业绿色发展效率的空间分异及驱动因素[J]. 经济地理, 2021, 41 (04) :108-117.
- [23] 袁茜, 吴利华, 张平. 绿色增长下我国大型制造企业创新效率提升路径研究[J]. 科技进步与对策, 2017, 34 (22) :85-92.
- [24] 高广阔, 王艺群. 京津冀地区高耗能产业绿色创新效率及影响因素分析—基于空间视角的实证研究[J]. 工业技术经济, 2018, 37 (01) :137-144.
- [25] 吴超, 杨树旺, 唐鹏程等. 中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28 (05) :40-48.
- [26] 刘佳, 宋秋月. 中国旅游产业绿色创新效率的空间网络结构与形成机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28 (08) :127-137.
- [27] 游达明, 欧阳乐茜. 环境规制对工业企业绿色创新效率的影响—基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 改革, 2020, No. 315 (05) :122-138.
- [28] Liang Liu, Liang Liu, Yuting Zhao, Yuting Zhao, Xiujuan Gong, Shu Liu, Mengyue Li, Yirui Yang, Pan Jiang, Pan Jiang. Threshold Effect of Environmental Regulation and Green Innovation Efficiency: From the Perspective of Chinese Fiscal Decentralization and Environmental Protection Inputs[J]. International

- Journal of Environmental Research and Public Health*,2023,20(5).
- [29]张杰飞,尚建华,乔彬.数字普惠金融对绿色创新效率的影响研究—来自中国280个地级市的经验证据[J].经济问题,2022, No. 519(11):17-26.
- [30]吴鸣然,黄卫东.智慧城市建设对城市绿色创新效率的直接影响与扩散效应—基于173个城市的“准自然实验”[J/OL].软科学:1-15[2023-06-22].
- [31]Zhou Di,Lu Zihan,Qiu Yuan.Do carbon emission trading schemes enhance enterprise green innovation efficiency? Evidence from China's listed firms[J].*Journal of Cleaner Production*,2023,414.
- [32]卢建霖,蒋天颖,傅梦钰.数字金融对绿色创新效率的影响路径[J].经济地理,2023, 43(01):141-147+235.
- [33]肖仁桥,沈路,钱丽.“一带一路”沿线省份工业企业绿色创新效率及其影响因素研究[J].软科学,2020, 34(08):37-43.
- [34]康鹏辉,茹少峰.环境规制的绿色创新双边效应[J].中国人口·资源与环境,2020, 30(10):93-104.
- [35]刘章生,宋德勇,刘桂海.环境规制对制造业绿色技术创新能力的门槛效应[J].商业研究,2018, No. 492(04):111-119.
- [36]刘丙泉,刘增果,王月等.产业协同集聚对区域绿色创新效率的影响[J].华东经济管理,2023, 37(05):52-61.
- [37]吴传清,申雨琦.中国装备制造业集聚对绿色创新效率的影响效应研究[J].科技进步与对策,2019, 36(05):54-63.
- [38]王超群.生产性服务业集聚对绿色创新效率的影响研究[D].兰州大学,2022.
- [39]刘畅,潘慧峰,李珮等.数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响和机制研究[J].中国软科学,2023, No. 388(04):121-129.
- [40]郭爱君,杨春林,张永年等.数字经济产业发展对城市绿色创新效率的影响—基于两阶段价值链视角的分析[J].城市问题,2023, No. 330(01):49-59.
- [41]岳立,曹雨暄,任婉瑜.外商直接投资、异质型创新与绿色发展效率[J].国际经贸探索,2022, 38(03):68-81.
- [42]韩先锋,宋文飞,李勃昕.中国双向直接投资单边-联动的动态绿色创新效应研究[J].管理科学,2023, 36(01):16-33.
- [43]李军.融资约束下我国企业绿色行为作用机理与影响路径研究[D].西南财经

- 大学, 2021.
- [44] 贺子欣, 惠宁. 要素市场扭曲抑制了绿色创新效率提升吗—高技术产业集聚的调节效应[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(21): 75-84.
- [45] 陈蓓, 彭文斌, 刘奕飞. 长江中游城市群绿色创新效率的时空演变与驱动因素[J]. 经济地理, 2022, 42(09): 43-49.
- [46] 许玉洁, 刘曙光. 黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(03): 627-644.
- [47] 田红彬, 郝雯雯. FDI、环境规制与绿色创新效率[J]. 中国软科学, 2020(08): 174-183.
- [48] 滕堂伟, 潘雅君, 王胜鹏等. 长三角地区城市绿色创新效率网络空间结构演化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(07): 1335-1348.
- [49] 陈蓓, 彭文斌, 刘奕飞. 长江中游城市群绿色创新效率的时空演变与驱动因素[J]. 经济地理, 2022, 42(09): 43-49.
- [50] 吴鸣然, 黄卫东. 智慧城市建设对城市绿色创新效率的直接影响与扩散效应——基于 173 个城市的“准自然实验”[J/OL]. 软科学: 1-15[2023-12-07]
- [51] 陈东景, 冷伯阳. 环境规制、绿色信贷与中国工业绿色创新效率——基于空间杜宾模型[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2023, 22(01): 76-89.
- [52] 沈路, 钞小静, 南士敬. 研发要素流动对区域绿色创新效率的影响——以“一带一路”沿线省份为例[J]. 软科学, 2023, 37(06): 89-96.
- [53] 许玉洁, 刘曙光. 黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(03): 627-644.
- [54] Chenglin Miao, Debin Fang, Liyan Sun, Qiaoling Luo. Natural resources utilization efficiency under the influence of green technological innovation[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2017, 126.
- [55] Miao Chenglin, Yang Li, Du Yu. The Impact of Green Technological Innovation on Natural Resources Utilization Efficiency: Taking High-tech Industries as Example[J]. 2018.
- [56] 孙久文. 区域经济学[M]. 首都经济贸易出版社, 2017.
- [57] 肖黎明, 高军峰, 刘帅. 基于空间梯度的我国地区绿色技术创新效率的变化趋势——省际面板数据的经验分析[J]. 软科学, 2017, 31(09): 63-68.

- [58]肖黎明,张仙鹏.强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J].自然资源学报,2019,34(02):312-324.
- [59]毛华.要素集聚对中国绿色全要素生产率的影响研究[D].华中师范大学,2018.
- [60]张润婕.长三角城市群绿色创新效率空间非均衡及其网络特征[D].山西师范大学,2020.
- [61]李勋来,张梦琦,李泓霖.山东省城市绿色创新效率评价与影响因素研究[J].青岛科技大学学报(社会科学版),2019,35(04):8-12.
- [62]张雄化,张超.深圳经济特区绿色创新及效率研究[J].特区实践与理论,2020(06):56-62.
- [63]钱丽,王文平,肖仁桥.共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(05):27-39.
- [64]郭瑞,文雁兵.高新技术产业绿色创新研究:效率测算与FDI区位选择[J].浙江大学学报(人文社会科学版),2019,49(05):224-239.
- [65]张节,李千惠.智慧城市建设对城市绿色创新效率的影响[J].统计与决策,2020,36(19):83-87.
- [66]王韶华,林小莹,张伟等.绿色信贷对中国工业绿色技术创新效率的影响研究[J].统计与信息论坛,2023,38(04):88-102.
- [67]杨立生,王倩,柴鑫.基于SBM-DEA模型的企业绿色持续创新效率研究[J].云南财经大学学报,2018,34(05):102-112.
- [68]袁润松,丰超,王苗等.技术创新、技术差距与中国区域绿色发展[J].科学学研究,2016,34(10):1593-1600.
- [69]任耀,牛冲槐,牛彤等.绿色创新效率的理论模型与实证研究[J].管理世界,2014, No. 250(07):176-177.
- [70]吴超,杨树旺,唐鹏程等.中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J].中国人口·资源与环境,2018,28(05):40-48.
- [71]张学良,李丽霞.长三角区域产业一体化发展的困境摆脱[J].改革,2018(12):72-82.
- [72]王兵,罗佑军.中国区域工业生产效率、环境治理效率与综合效率实证研究—基于RAM网络DEA模型的分析[J].世界经济文汇,2015, No. 224(01):99-119.

- [73]张纪凤,王宏瑞,孙军.双向 FDI 协调对绿色技术创新效率的影响—基于长三角市场一体化的中介效应[J].科技管理研究,2023,43(09):197-205.
- [74]陈东景,冷伯阳.环境规制、绿色信贷与中国工业绿色创新效率—基于空间杜宾模型[J].北京交通大学学报(社会科学版),2023,22(01):76-89.
- [75]叶文显.基于 SBM-Tobit 模型的中部 6 省环境效率分析[J].西南大学学报(自然科学版),2021,43(03):139-146.
- [76]张贵,梁莹,徐杨杨.生态系统视阈下区域创新效率的多维溢出效应——对面板数据的空间计量分析[J].科技进步与对策,2016,33(15):30-37.
- [77]李雪松,曾宇航.中国区域创新型绿色发展效率测度及其影响因素[J].科技进步与对策,2020,37(03):33-42.
- [78]曲延芬,于楚琪.产业集聚多样化、专业化与企业绿色技术创新效率[J].生态经济,2021,37(02):61-67.
- [79]何育静,蔡丹阳.长三角工业企业绿色技术创新效率及其影响因素分析[J].重庆社会科学,2021(01):49-63.
- [80]段永峰,项文晴,罗海霞.中国省域绿色创新效率与绿色发展效率耦合协调研究[J].科技管理研究,2020,40(17):235-243.
- [81]何雄浪,李俊毅.长江经济带高铁开通能促进城市绿色发展吗?[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2023,44(02):131-143.
- [82]张玉丽.京津冀工业企业绿色创新效率研究[D].河北工程大学,2020.
- [83]吕承超,邵长花,崔悦.中国绿色创新效率的时空演进规律及影响因素研究[J].财经问题研究,2020(12):50-57.
- [84]孙辉,张会恒,孙珊.环境规制、FDI 与长江经济带绿色创新效率[J].河北环境工程学院学报,2021,31(03):47-53.
- [85]邱睿.安徽省城市绿色创新效率评价[J].荆楚理工学院学报,2020,35(06):19-24.
- [86]王姗姗.高技术制造业集聚对绿色创新效率的影响研究[D].华东政法大学,2021.
- [87]吕洪燕,乔朋华.中国工业绿色创新效率地区差异及其驱动因素分析[J].华东经济管理,2020,34(01):28-36.
- [88]光峰涛,邓雅婷,易明.绿色创新效率测度及时空分异特征:以长江经济带制

- 造业为例[J]. 科技管理研究, 2022, 42(06):59-68.
- [89] 严翔, 黄永春, 柏建成等. 长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(06):72-83.
- [90] 骆灿, 陆菊春. 绿色创新效率的空间网络关联特征及形成机理——以长江经济带城市为例[J]. 科技管理研究, 2021, 41(24):195-203.
- [91] 沈清华. 产业结构优化、环境规制对绿色创新效率的影响研究[D]. 中北大学, 2023.
- [92] 陈雪雯. 环境规制、FDI对绿色技术创新效率的影响研究[D]. 江南大学, 2023.
- [93] 李璐. 黄河流域城市绿色创新效率及影响因素研究[D]. 山西财经大学, 2022.

致谢

岁月不居，时节如流。在完成这篇硕士论文之际，也意味着三年的研究生生涯即将走到终章。回首这段求学之路，在兰财走过的七年是人生中最重要也是最难忘的一段路，这期间我也得到了许多人的支持与帮助，心中充满感激之情。

首先，我要衷心感谢我的导师柴娟娟老师以及方来老师，两位老师在这三年的时间给了我很多帮助与教导。无论是参与课题项目还是论文写作，老师都耐心指导，帮助我们顺利完成各项工作。同时，也要感谢这三年给我们授课的所有老师，向老师们表示崇高的敬意。

其次，感谢我的家人。他们的无私付出和坚定支持，是我能够专心学业、追求学术进步的坚强后盾。在我遇到困难和挫折时，他们总是给予我最大的鼓励与安慰，让我能够勇往直前。

此外，我还要感谢我的同学们。我们共同学习、讨论、交流，相互启发、相互支持，一起度过了这段难忘的时光。他们的陪伴与帮助，让我的研究生生涯更加丰富多彩。

最后，感谢所有经历，感恩所有遇见。希望在未来的日子里，能够继续努力，不断进步，成为更好的自己。