

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 \_\_\_\_\_

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

# 硕士学位论文

论文题目 新能源产业发展对碳排放的  
空间溢出效应研究

研究生姓名: 王赛

指导教师姓名、职称: 王学军 教授

学科、专业名称: 应用经济学 产业经济学

研究方向: 企业理论与战略管理

提交日期: 2022年6月6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： 王赛 签字日期： 2022.6.6

导师签名： 王学军 签字日期： 2022.6.6

## 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“我国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《我国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分內容。

学位论文作者签名： 王赛 签字日期： 2022.6.6

导师签名： 王学军 签字日期： 2022.6.6

## 摘要

自2020年9月习近平总书记在联合国大会提出我国“30·60”碳达峰和碳中和愿景目标以来,实现人与自然的和谐相处,经济社会的可持续发展,成为我国当前乃至“十四五”时期国民经济增长和绿色低碳经济转型的关注焦点。与此同时,“碳达峰和碳中和”时间表的排定,对当下的经济发展意味着新的压力和挑战,相较于主要发达国家已经实现排放和经济脱钩的事实,我国当前仍然是世界上最大的能源消费国,碳排放量依然处于增长阶段。因此,在这种情况下,发展新能源产业以减少传统化石能源消费对生态环境的破坏,成为我国兼顾环境保护尤其是控制碳排放和经济发展的重要手段。

本文首先详细梳理了新能源产业与碳排放的相关文献,为后续分析积累文献基础与理论基础。并基于相关经济学理论,发现新能源产业可以通过能源结构效应、产业结构效应、经济规模效应影响碳排放水平。其次,通过构建多元回归模型,对我国2003-2020年30个省级面板数据进行基准回归,实证分析新能源产业对碳排放的影响作用;并对基准回归结果进行多种稳健性检验,以确保基准回归结果的稳健性与可靠性。然后,运用中介效应模型,验证新能源产业对碳排放的影响机制。在此基础上,将我国30个省级单位按不同区域进行样本异质性分析,以求获得更丰富的实证结论。最后,基于地理距离、低碳技术和环保人才三种空间溢出途径,通过构建空间面板模型,验证新能源产业对碳排放空间层面的影响作用,探索新能源产业对碳排放的空间溢出效应。

本文研究结果表明:第一,运用多元面板回归模型测度新能源产业对碳排放的影响作用发现,新能源产业能够有效抑制二氧化碳排放;第二,运用中介效应模型分析新能源产业对碳排放的影响机制为通过能源结构效应、产业结构效应、经济规模效应降低碳排放水平;第三,通过构建空间面板模型测度新能源产业对碳排放的空间溢出效应发现,新能源产业不仅能够降低自身的碳排放水平,也能够有效降低周边省份的碳排放水平。最后,基于这些结论提出相关对策建议,以供部门决策参考。

**关键词:** 新能源产业 碳排放 中介效应 空间溢出效应 影响机制

## Abstract

At the same time, the schedule of "carbon peak and carbon neutralization" also means new pressure and challenges to the current economic development. Compared with the fact that major developed countries have achieved decoupling between carbon emissions and economy, China is still the largest energy consumer in the world, and carbon emissions are still in the growth stage. Therefore, in this case, the development of new energy industry to reduce the damage of traditional fossil energy consumption to the ecological environment has become an important means to give consideration to environmental protection, especially carbon emission control and economic development.

Firstly, this paper combs the relevant literature on new energy industry and carbon emission in detail, and accumulates the literature basis and theoretical basis for subsequent analysis. Based on relevant economic theories, it is found that the new energy industry can affect the carbon emission level through energy structure effect, industrial structure effect and economic scale effect. Secondly, by constructing a multiple regression model, this paper makes a benchmark regression on the panel data of 30 provinces in China from 2003 to 2020, and empirically analyzes the impact of new energy industry on carbon emission; A variety of robustness tests are carried out on the benchmark regression results to ensure the robustness and reliability of the benchmark regression results.

Then use the intermediary effect of carbon emission mechanism to verify the impact on new energy industry. On this basis, the sample heterogeneity of 30 provincial units in China is analyzed according to different regions in order to obtain richer empirical conclusions. Finally, based on geographical distance, low-carbon technology and environmental protection talents, this paper constructs a spatial panel model to verify the impact of the new energy industry on the spatial level of carbon emission, and explore the spatial spillover effect of the new energy industry on carbon emission.

The results of this paper show that: first, the impact of new energy industry on carbon emission is calculated by using multiple panel regression model, which shows that new energy industry can effectively inhibit carbon dioxide emission; Second, using the intermediary effect model to analyze the impact mechanism of new energy industry on carbon emission, it shows that the impact mechanism of new energy industry on carbon emission is to reduce the level of carbon emission through energy structure effect, industrial structure effect and economic scale effect; Third, by constructing a spatial panel model to measure the spatial spillover effect of the new energy industry on carbon emissions, it shows that the new energy industry can not only reduce its own carbon emission level, but also effectively reduce the carbon emission level of surrounding provinces. Finally, based on these conclusions, relevant

countermeasures and suggestions are put forward for department decision-making reference.

**Keywords :** New energy industry; Carbon emission; Spatial spillover effects; Intermediary effect; Influence mechanism

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景和意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究目的 .....	1
1.1.3 研究意义 .....	2
1.2 文献综述 .....	3
1.2.1 新能源产业相关文献 .....	3
1.2.2 碳排放相关文献 .....	5
1.2.3 新能源产业影响碳排放相关文献 .....	8
1.2.4 文献评述 .....	9
1.3 研究思路和内容 .....	10
1.3.1 研究思路 .....	10
1.3.2 研究内容 .....	10
1.3.3 技术路线 .....	12
1.4 研究方法 .....	13
1.5 论文的创新点与不足之处 .....	13
1.5.1 论文的创新点 .....	13
1.5.2 论文的不足之处 .....	14
<b>2 我国新能源产业和碳排放的现状分析</b> .....	<b>15</b>
2.1 我国新能源产业的现状分析 .....	15
2.1.1 新能源的相关概念 .....	15
2.1.2 我国新能源产业发展概况 .....	17
2.1.3 我国新能源产业现存问题 .....	19
2.2 我国碳排放的现状分析 .....	21
2.2.1 我国总体碳排放现状分析 .....	21
2.2.2 我国区域碳排放现状分析 .....	23
2.2.3 我国碳排放的国际比较分析 .....	26

<b>3 新能源产业对碳排放的理论机制分析</b> .....	<b>28</b>
3.1 理论分析 .....	28
3.1.1 环境库兹涅茨曲线理论 .....	28
3.1.2 能源革命理论 .....	29
3.1.3 低碳经济理论 .....	30
3.1.4 可持续发展理论 .....	31
3.1.5 空间经济学理论 .....	32
3.2 新能源产业对碳排放的影响机制分析 .....	32
3.2.1 能源结构效应 .....	32
3.2.2 产业结构效应 .....	33
3.2.3 经济规模效应 .....	33
<b>4 我国新能源产业对碳排放影响机制的实证分析</b> .....	<b>35</b>
4.1 变量与样本的选择 .....	35
4.1.1 变量的选择 .....	35
4.1.2 样本的选择 .....	37
4.1.3 变量的描述性统计 .....	38
4.2 计量模型构建 .....	39
4.3 我国新能源产业对碳排放影响作用的基准回归结果 .....	39
4.4 我国新能源产业对碳排放影响作用的稳健性检验 .....	40
4.4.1 更换被解释变量碳排放的衡量方法 .....	40
4.4.2 内生性检验 .....	42
4.5 我国新能源产业对碳排放影响作用的异质性检验 .....	43
4.6 我国新能源产业对碳排放的影响机制检验 .....	45
4.6.1 能源结构效应检验 .....	45
4.6.2 产业结构效应检验 .....	47
4.6.3 经济规模效应检验 .....	49
<b>5 我国新能源产业对碳排放的空间溢出效应测算分析</b> .....	<b>52</b>
5.1 空间计量模型的设定及空间权重矩阵构建 .....	52



5.1.1 Moran's I指数 .....	52
5.1.2 空间溢出途径分析 .....	53
5.1.3 空间权重矩阵的构建与模型设定 .....	54
5.2 空间溢出效应测算结果分析 .....	56
5.2.1 空间相关性检验 .....	56
5.2.2 空间面板估计 .....	57
5.2.3 空间溢出效应分解 .....	60
<b>6 研究结论及对策建议 .....</b>	<b>62</b>
6.1 研究结论 .....	62
6.2 对策建议 .....	62
6.2.1 政府应根据新能源产业发展阶段采取不同发展战略 .....	62
6.2.2 发展清洁能源，优化能源结构 .....	63
6.2.3 新能源开发与产业发展相互促进 .....	64
6.2.4 发展新能源产业，扩大低碳经济规模 .....	64
6.2.5 加强区域间的合作，实现低碳“共赢” .....	65
<b>参考文献 .....</b>	<b>66</b>
<b>附录 攻读硕士期间发表的学术论文 .....</b>	<b>70</b>
<b>后记 .....</b>	<b>71</b>

# 1 绪论

## 1.1 研究背景和意义

### 1.1.1 研究背景

世界范围内，由碳排放引起的全球变暖已经对生态环境构成严重威胁，气候变暖问题成为当代最严峻的全球挑战之一，它威胁着人类生存发展及子孙后代的福祉，世界各国逐渐就解决气候变暖问题的必要性和紧迫性达成共识，我国也深刻认识到环境质量不断恶化的严峻性。对此，自1997年联合国发布《京都议定书》以后，全球加大了对碳排放问题的关注。例如，世界各国在2015年联合国发展峰会通过了《2030年可持续发展议程》。同年，第21届联合国气候变化大会通过《巴黎协定》，标志着21世纪世界各国在全球气温升高问题上达成政治共识。

改革开放40多年来，我国经济社会发生翻天覆地的变化，工业化带来的“动力引擎”，推动着我国城市建设朝着现代化、智能化方向发展，国内生产总值(GDP)跃居世界第二，能源成为“经济列车”向前推进的燃料动力。这也导致我国经济高速发展的同时，能源消费总量也在不断攀高。暴露出我国能源结构单一，经济结构长期依赖煤炭等传统化石能源等问题。目前我国这种以煤炭消费为主的产业结构产生的大量碳排放，使我国跃居成为全球第一能源消耗国的同时，也造成我国环境质量进一步恶化。并且，近些年我国对能源需求力度有不降反增的趋势，对生态环境造成极大的压力。于是，如何协调温室气体排放和经济发展的双重目标已成为政府亟待解决的重要问题。

### 1.1.2 研究目的

根据1980年联合国召开的“新能源和可再生能源会议”相关概念。本文将新能源产业定义为：开发新能源的单位和企业将已有的可再生能源，通过新技术及新手段重新开发利用，从而形成循环往复，周而复始的能源消耗模式，以替代传统化石能源燃烧带来的环境污染。因此，从新能源产业入手解决碳排放问题被认为是减少二氧化碳排放和缓解气候变暖的重要途径之一。据此，本文研究的主要

目的有：

第一，发展新能源产业以解决传统化石能源燃烧给环境带来的大量污染问题，并在一定程度改变能源消费结构，补充我国能源供给，使新能源成为我国未来能源战略的重要组成部分。d

第二，从新能源产业入手解决碳排放被认为是减少二氧化碳排放和缓解气候变暖的重要途径之一。如何发展新能源产业以实现碳减排，新能源产业对碳排放的影响机制是怎样的。

第三，发展新能源产业不仅影响本地区碳排放，还会通过空间溢出效应影响邻近地区碳排放。那么，新能源产业与碳排放之间是否存在空间层面影响，新能源产业对碳排放的空间溢出效应大小和方向是怎样的。

### 1.1.3 研究意义

本文理论意义主要有：

第一，分析新能源产业与碳排放之间的理论联系。从研究背景、相关文献梳理和基础经济学理论入手分析，并通过多元回归模型验证新能源产业与碳排放之间的变动关系。

第二，分析新能源产业降低碳排放的影响机制。从能源结构、产业结构和经济规模构建中介效应模型，分析新能源产业影响碳排放的理论机制，丰富和发展新能源产业对碳排放的影响机制研究。

第三，空间溢出效应的测度。基于空间经济学理论，通过构建地理距离空间权重矩阵、环保人才距离空间权重矩阵及低碳技术距离空间权重矩阵，探索新能源产业对碳排放的空间溢出效应。

本文的现实意义主要有：

第一，通过探究新能源产业对碳排放影响机制研究，有助于能源管理部门和各级政府部门制定合理的新能源产业政策，从而针对性的从能源结构、产业结构和经济规模入手，优化我国能源政策，发展低碳经济。

第二，通过开展碳排放空间相关性及其影响因素研究，从空间层面入手，在发展低碳经济，实现绿色生产时，要注意各地区空间层面的影响；尤其为欠发达地区根据本地新能源优势，从新能源产业角度实现节能减排，减少二氧化碳等温

室气体排放，助力低碳经济顺利转型；

第三，通过发展新能源产业以替代传统化石能源燃烧，不仅可以大幅度减少碳排放对全球变暖的威胁。同时，发展形成的新能源产业，可以吸收一部分就业，形成经济可持续发展和经济高质量增长。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 新能源产业相关文献

#### (1) 新能源产业的影响因素研究

学术界关于新能源产业的研究时间并不长，是20世纪后半叶发展起来的研究课题。在过去，学者研究新能源产业问题主要集中在对新能源产业政策方面的研究，并且大多数观点停留在理论层面论述。例如，绝大多数学者认为新能源产业是解决经济发展过程中出现的污染问题的最终方式，也是实现绿色、低碳发展的唯一办法。

从国外来看，有学者针对新能源产业的影响因素展开了大量研究。例如，Hayashi等（2016）就借助于投入产出法研究了日本政府环境法规对当地新能源产业的影响。结果显示，火力发电成本的提升和严厉的环境法有助于新能源产业发展。San Cristobal（2011）通过数据包络分析（DEA）论述了新能源技术在新能源产业中的重要性，发现新能源技术是推动新能源产业的重要影响因素。

从国内来看，周亚虹等（2015）分析了政府干预与新能源产业的关系，认为政府补助在不同阶段对新能源产业的影响结果不同。例如，政府补贴在初期能够促进新能源产业发展，而后期会导致产能过剩等问题。齐绍洲等（2017）基于新能源政府补贴视角，论述了风险投资在新能源企业间的异质性问题。结果显示，风险投资能够提升新能源企业的创新能力。此后，林伯强等（2018）通过自回归模型研究了新能源产业与能源消费结构的关系，发现短期内优化能源消费结构有助于新能源产业发展。

## （2）新能源产业与经济增长

新能源产业与经济增长的关系一直是学术界研究的热点问题。然而，关于新能源产业能否促进经济增长，目前学术界并没有达成统一观点与认识。具体来说，国内外学者关于新能源产业与经济增长的关系可分为两类：

新能源产业促进经济增长。该观点核心在于，将新能源产业看作是与资本、劳动等生产要素相同的一种生产要素。因此，通过新能源产业，实现了在生产过程中生产要素补充，成为经济发展、技术进步的重要组成部门，所以持该论点的学者一致认为新能源产业有助于经济增长。例如，Shahbaz等（2015）对1990-2014年南非新能源产业与经济增长的关系做了实证检验，结论显示从长期来看，发展新能源产业的确可以起到提升经济发展动能的效果。此后，Emir和Bekun（2019）研究了1990-2014年罗马尼亚有关能源效率、新能源产业、碳排放与经济增长之间的互动关系，发现新能源产业有助于本地区经济发展。Amir（2017）通过动态面板模型的方法，调查了从1990-2012年全球72个国家的经济增长与新能源产业和贸易开放的情况，发现新能源产业与经济增长之间存在双向促进效果。Zafar等（2019）分析亚太经合组织成员国的1990-2015年的新能源产业与经济增长，得到了同样的研究结论。我国学者徐祎（2017）也利用1991-2014年的数据，发现新能源产业与经济增长之间有相互促进效果。

新能源产业不利于经济增长。我国学者在该观点的研究成果较多，例如齐绍洲和李杨（2017）通过对欧盟新能源产业与经济增长的数据调查发现，尽管欧盟加大了新能源消费，并实现了碳减排的预期目标，但是也相应造成了经济衰退。同年，在齐绍洲和李杨（2017）的另一篇关于新能源产业与经济增长的关系研究中发现，可再生能源与经济增长之间呈现负向非线性关系，尤其是当可再生能源补贴低于门槛值时，二者的负向关系更为显著。此外，方国昌等（2013）认为如果过度加大对新能源产业的政策补助，可能会阻滞经济增长。李强和楚名钦（2013）认为当下传统能源消费对经济增长助力的效果更好，新能源产业可能难以达到预期目标。

## 1.2.2 碳排放相关文献

### (1) 碳排放影响因素分解

通过文献梳理发现,现阶段在碳排放影响因素分解方面的研究,国内外集中于指数分解法和结构分解法两种,具体来说:

指数分解法在碳排放上的应用主要为通过因式分解的方法,将碳排放分解成多个影响因素组合相乘的方式,从而在不同影响因素入手,辨别不同影响因素对碳排放的影响方向及大小。具体来说,指数分解法类型有多种,例如迪氏分解法,最早源于1924年法国学者Divisia使用,该方法借助于对不同影响因素影响程度研究对碳减排的效果。日本学者Kaya(1990)第一次提出应当通过因素分解的方式,对碳排放展开细致的研究。Yang & Schneider(1997)将碳排放的影响因素分解成能源利用效率、二氧化碳排放、人口与经济发展水平发现,上述四种要素在不同国家的排放趋势有着不同影响。Ang(1997)则在迪氏分解法基础上,发展得到平均迪氏分解法,就是当下最常用的LMDI分解模型。林伯强和刘希颖(2010)将城市影响因素加入碳排放研究,分析了我国现阶段新能源产业发展对经济增长和排放的影响,从城市化视角分析城市发展与碳排放的关系。此后,张伟等(2013)通过改进的Kaya模型和LMDI分析法,在陕西省的数据下开展研究,分析影响碳排放的多种因素。研究结果显示,上述要素与碳排放有着正方向对应关系,并以实证结论为基础对陕西省碳排放政策提出了相关建议。张庆宇等(2019)研究显示除人均碳排放与技术创新水平、第三产业占比呈现负相关关系以外,其余影响因素均与碳排放呈现正向变动关系,并根据实证结果不同影响因素的系数大小,对人均碳排放的平均贡献从小到大进行排序。此后,Domingo等(2012)通过LMDI模型将碳排放分解成能源结构、产业结构、人口规模和能源效率四个影响因素。自此之后,LMDI模型对碳排放的分解在研究能源消费上迅速推广。Rustemoglu等(2017)研究了巴西与俄罗斯在能源消费与二氧化碳的关系,并基于LMDI模型对碳排放进行分解,该分解结果证明经济活动是造成碳排放增多的主要来源,并指出经济活动效应对俄罗斯碳排放影响会一直持续到2030年。此外,邵帅等(2017)首次使用GDIM法论述了我国1995-2014年制造业碳排放的驱动因素,并依据实证结果不同驱动因素系数的差异性进行对比研究。此后,李治国等(2017)有对山

东制造业的碳排放情况做了分析,发现能源结构、能源强度及资产占比均对碳排放有不小影响。并且,王丽萍和刘明浩(2018)对上述研究结论表示支持,并从物流角度追踪碳排放路径。闰庆友等(2019)在前人分析北京地区碳排放影响因素的基础,利用GDIM研究京津冀地区碳排放影响因素,发现京津冀地区在碳排放具有同质性。例如,在碳排放分解上,发现包括对能耗、产值、人口等在内的碳排放效应在京津冀排序保持一致。后来,马晓君等(2019)则对我国工业整体碳排放的驱动因素做了较为详细分解,并在此基础上进行因式分解和脱钩效应分析。

结构分解法是一种借助投入产出数据为基础的分解方法,即将被解释变量分解成不同影响因素,最终找到造成被解释变量变动的的影响效应。Leontief等(1972)最先利用投入产出模型核算美国能源消费过程中对环境的破坏程度,并从分解模型出发找到不同影响因素的污染程度,并据此提出一系列能源管控措施。此后, Richard(2009)针对澳大利亚的能源投入产出数据,对本地的温室气体排放进行结构分解,研究发现工业效率、能源需求结构和能源出口结构是影响本地区二氧化碳等温室气体排放的主要影响因素。Sun等(2016)利用环境扩展投入产出模型重点分析了台湾旅游业碳排放与观光经济的关系,发现台湾借助观光经济技术科技的手段成功抵消了温室气体排放对环境的影响。

## (2) 碳排放测算方法

对碳排放的测算是开展碳减排,发展低碳经济等相关问题的基础和前提。如果无法得到科学、合理的碳排放数据,任何有关碳排放的相关研究均无法顺利展开。当前,我国官方并未就碳排放数据的核算开展官方统计工作。因此,有关碳排放数据的获取需要计算得出。截至目前,国内外学者和在核算碳排放数据的方法上面做了大量研究,梳理主要有投入产出法、碳排放系数法、实测法三种。其中,由于实测法在数据搜集和整理时的工作量极大,并且极易出现数据偏差等问题,在实际测算碳排放过程中实测法并不常用。

关于投入产出法的研究,最早见于《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中对投入产出法应用于碳排放数据计算。例如, MORAN & GONZALEZ(2007)在研究西班牙不同经济部门经济关系与碳排放影响因素上面,就利用了投入产出法对碳排放关系展开研究。Vinuya & Difurio(2010)就使用投入产出法分析了1990-2004

年美国分年度碳排放的相关数据。结果显示,能源效率、碳排放强度、能源消费结构、人口和人均GDP均对碳排放有重要的影响。此外,Geels(2017)等还提出了应当从低碳创新技术方面减少碳排放。此后,王安静(2017)通过投入产出法核算了4种能源行业的二氧化碳排放量。之后,又有大量学者基于投入产出法测算了不同温室气体的排放数据。

关于碳排放系数法的研究,胡艳兴等(2015)基于不同种能源种类的碳排放系数,测算了我国省级区域的能源消费数据,其中就有将8种不同化石能源通过折算标准煤的方法辅助计算。此后,蒋金荷(2011)考虑到国家与地方在碳排放统计数据上的偏差,用碳排放系数法方法分别测算了国家与地区间的碳排放数据。Liu(2015)根据碳排放系数法对不同国家和地区的碳排放数据做了测算,并指出我国由于在数据统计上的问题,更适用于在省级层面对二氧化碳进行测算。

### (3) 碳排放预测

关于未来二氧化碳排放状况,国内外学者均从不同角度和方法展开一系列研究。例如,Kei等(2010)通过情景分析手段,对日本京都市2030年碳排放状况做了预测,并基于该研究结果提出京都市要在2030前实现比1990年碳排放量少一半的建议,同时整个城市的发展要保持1.3左右的正向增长。此后,Tudor(2016)通过7种预测方法,预测了巴黎2012-2021年二氧化碳排放状况。实证结果显示,巴黎2020年人均碳排放总量达到20.96吨标准煤,与其预定的碳排放标准有较大差距。Green等(2017)通过数据模拟预测中国在未来20年在能源消费产生的碳排放数据的增长速度会放缓,直到2035年左右达到预期峰值,此后碳排放量会呈现逐年下降趋势。Wakiyama等(2017)研究了日本房地产行业电力碳排放的数据,结果显示日本将在2030年左右实现电力碳排放的峰值,之后日本整体因发电产生的碳排放数值逐年下降。Gallagher等(2019)通过研究认为中国在2030年就能够碳达峰目标,比预计的2035年碳减排目标提前5年,并据此提出相关政策建议。

国内关于碳排放预测的研究虽然起步晚,但也取得了大量的研究成果。例如,张乐勤等(2012)利用情景预测的方法对安徽省“十三五”碳减排效果做了预测,认为安徽省能够保持2012年的碳减排强度,就能够在2020年完成碳减排目标,实



现比2005年降低45%左右的碳排放量。此后，岳超等（2012）通过情景预测法研究我国2050年左右的碳排放量，发现碳排放的最优峰值将出现在2035年。黄蕊等（2016）在8种不同的情景下，研究了经济增速与技术水平之间的关系。韩楠（2018）从供给侧结构性改革出发，认为碳排放数据与经济、劳动和科技强度密切相关，有助于实现碳排放的“倒U型”变动。此后，李虹等（2016）设计了32种不同情景下对碳排放的测算，研究发现产业结构优化是实现碳减排的重要途径。

### 1.2.3 新能源产业影响碳排放相关文献

现阶段，学术界关于新能源的开发与利用的普遍观点认为，优化能源消费结构可以推动二氧化碳减排工作的顺利实施。该观点也是目前学术界认同的主流观点。对此，本文在新能源产业通过能源消费结构实现碳减排的基础上，探究新能源产业对碳排放的其他传导机制。

#### （1）国外关于新能源产业与碳排放的研究

目前，学术界主流观点均认为新能源产业有助于碳减排。从国外学者来看，例如，Syed等（2018）通过1991-2016年G7国家的数据，验证了发展新能源产业能够显著降低二氧化碳排放，实现低碳经济发展。Dogan等（2016）则利用实证检验可再生能源消费对碳减排的效果大小。此外，Dong等（2018）梳理1990-2014年全球128个国家新能源产业、能源效率与碳排放数据发现，以清洁能源为代表的新能源产业增多对碳排放有显著抑制效果。

#### （2）国内关于新能源产业与碳排放的研究

从国内学者来看，李荣杰等（2016）在实证检验的基础上，指出扩大新能源产业强度是解决污染问题，实现碳减排的有效手段。王钰和张连城（2015）在研究了我国1995-2013年的数据得出结论，认为我国清洁能源消费与碳排放之间存在倒“U”型关系，经济发展阶段在新能源产业对碳减排效果有显著差异性。

除此之外，还有学者认为新能源产业对碳排放没有影响。其中，具有代表的学者为Kahia等（2016）在分析中东和东非24个国家后，发现新能源产业对碳减排效果不显著。徐斌、陈宇芳和沈小波（2019）对我国30个省级单位的新能源产

业与碳排放关系进行检验，发现新能源产业在不同区域下的碳减排效果不同。

#### 1.2.4 文献评述

本文通过梳理新能源产业、碳排放及新能源产业与碳排放关系的相关文献发现：

首先，关于新能源产业的相关文献，本部分主要讨论了新能源产业的影响因素和新能源产业与经济增长的关系。在新能源产业影响因素方面，学术界集中在新能源产业政策方面的研究，并且大多数观点停留在理论层面的论述，对新能源产业影响因素的研究结论并不统一；在新能源产业与经济增长关系研究方面，学术界主要持两种观点：一种观点认为，新能源产业作为新的生产要素投入生产，在促进经济增长的同时，还会改善环境、降低碳排放；而反对者认为，由于新能源产业前期成本投入巨大，会引致政府部门大规模资金投入，反而会拉跨经济，导致高污染、高耗能企业扩大生产规模，致使碳排放量增加。可见，目前学术界关于新能源产业与经济增长之间的研究，已涉及碳排放、环境污染的联系，这也是该领域进一步研究的重点。

其次，关于碳排放的相关文献，本部分主要讨论了碳排放的含义、影响因素以及衡量。具体来说：①测算方法上。目前大多数学者在研究碳排放影响因素时，多使用单一方法测算碳排放数据，其研究结果并不适用于多种情况。与此同时，缺少对碳排在空间层面的研究；②研究内容上。现有研究多从传统能源消费与碳排放关系展开研究，很少从新能源产业视角研究与碳排放的关系；③研究方法上。缺少对碳排放空间层面的研究；现有新能源产业对碳减排的研究多集中在影响因素上，缺少新能源产业对降低碳排放的空间溢出效应研究。

最后，关于新能源产业影响碳排放的相关文献中，尽管学术界对于新能源产业能否实现碳减排没有定论，但绝大多数学者均认为新能源产业能够显著降低二氧化碳排放，即新能源产业对碳排放有显著抑制效果。基于此，本文在现有文献基础上，通过我国30个省的面板数据，结合多元回归模型和中介效应模型详细检验了新能源产业对碳排放水平的影响机制、以及不同区域的异质性差异。此外，运用空间计量模型，基于我国2003-2020年30个省的数据，构建地理距离、环保人才及低碳技术空间权重矩阵，探索新能源产业对碳排放的空间溢出效应。最终，

本文以期为我国推进经济绿色低碳转型及实现“双碳”战略目标做一点学术参考。

## 1.3 研究思路和内容

### 1.3.1 研究思路

本文主要遵循“问题提出—现状分析—理论机制分析—实证分析—对策建议”这一逻辑的研究思路展开，具体来说：

首先，基于研究背景，从问题提出及研究现状分析新能源产业与碳排放之间的关系。

其次，基于相关文献梳理及相关经济学理论基础分析，从理论机制分析新能源产业与碳排放之间的关系。

最后，通过新能源产业对碳排放的实证分析，从影响作用、影响机制和空间溢出效应的视角分析新能源产业对碳排放的影响，并结合研究结论给予本文对策建议。

### 1.3.2 研究内容

第一章是绪论部分，着重分析本文选题背景、研究意义及文献回顾，并在此基础上，交代本文整体研究思路和文章框架结构。此外，交代前人研究成果，介绍本文研究可能的边际贡献有哪些，及研究过程中可能存在的难点。

第二章为有关新能源产业、碳排放的现状分析。主要介绍我国新能源产业现状和碳排放现状。在我国新能源产业现状方面主要包括，新能源的相关概念、我国各类新能源产业现状以及我国新能源产业的国际比较分析；在我国碳排放现状方面主要包括，我国总体碳排放现状、我国区域碳排放现状以及我国碳排放的国际比较分析。

第三章是新能源产业对碳排放的理论机制分析。基于前文对新能源产业和碳排放相关文献及现状分析，本章从理论和机制两方面探究新能源产业与碳排放关系。在理论方面，主要包括有环境库兹涅茨曲线理论、能源转型理论、能源革命理论、低碳经济理论、可持续发展理论和空间经济学理论；在影响机制分析方面，

主要包括能源结构效应、产业结构效应和经济规模效应。

第四章是新能源产业对碳排放影响的实证分析。首先，介绍本文的变量及样本选择，并基于此构建新能源产业与碳排放的多元回归模型；其次，根据实证模型验证新能源产业对碳排放的影响作用，并根据基准回归结果，对新能源产业与碳排放之间的关系进行稳健性检验、内生性检验和异质性检验；最后，通过构建中介效应模型，从能源结构效应、产业结构效应和经济规模效应，验证新能源产业对碳排放的影响机制。

第五章为新能源产业与碳排放空间溢出效应测算分析。具体可分为三部分：第一部分为在空间关联性验证的基础上，构建本文的空间面板模型；第二部分，依据研究新能源产业与碳排放的理论及文献，设计地理距离、低碳技术和环保人才空间权重矩阵；第三部分为空间溢出效应测算分析。根据整理得到的数据与前文设定的空间计量经济学模型测度空间溢出效应。

第六章为基于本文的实证检验结果，总结和整理本文得到的结论，有针对性的提出相关建议，以及本文的研究对发展新能源产业有怎样的启示。

### 1.3.3 技术路线

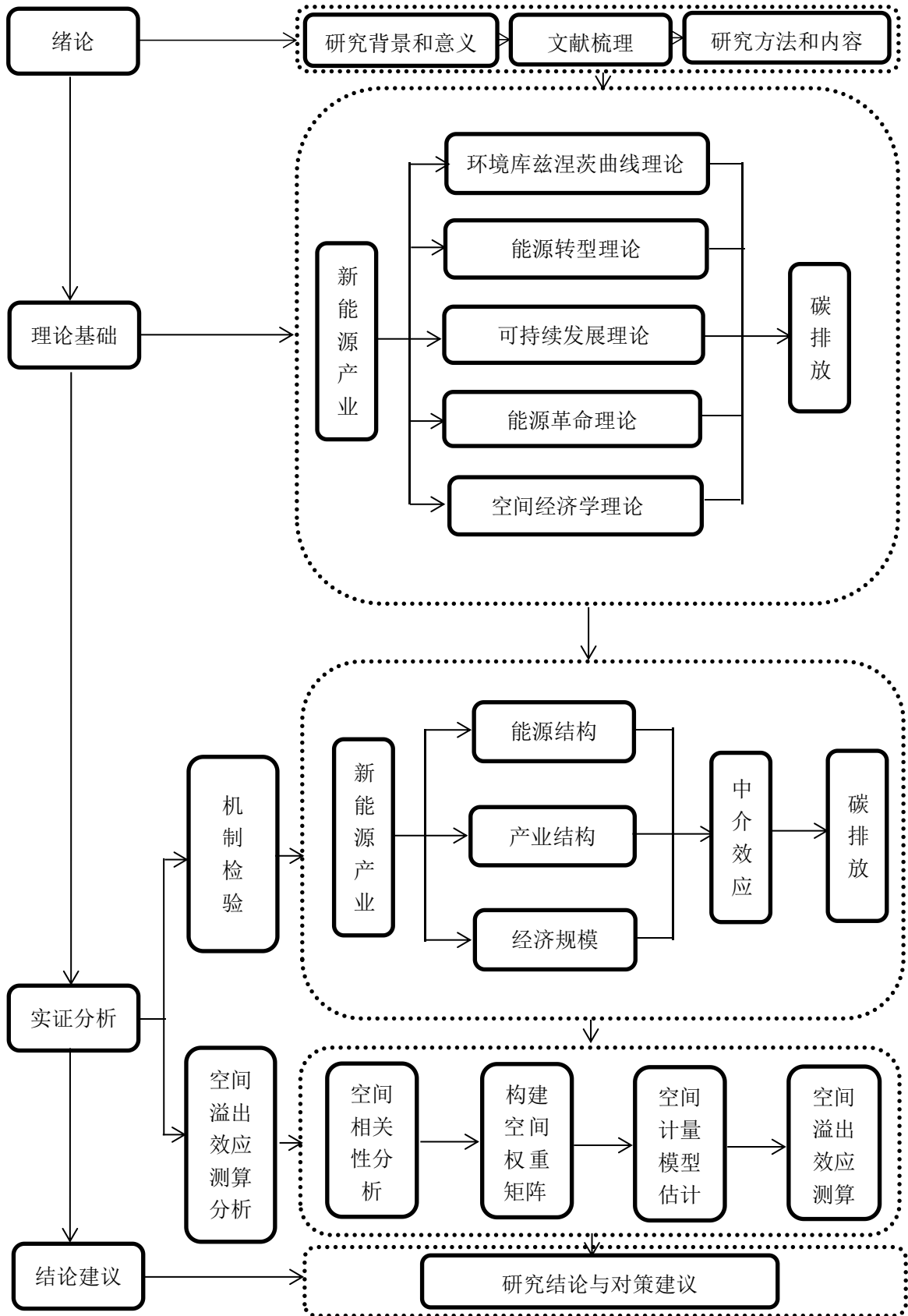


图 1.1 “新能源产业对碳排放影响研究”技术路线图

## 1.4 研究方法

1. 定性分析法。首先，梳理我国新能源产业发展历程，重点介绍我国新能源产业的相关概念；其次，梳理我国新能源产业与碳排放的相关情况；最后，基于经济学理论视角梳理新能源产业影响碳排放的相关理论，并基于上述理论，分析新能源产业对碳排放的影响机制为通过能源结构效应、产业结构效应、经济规模效应影响碳排放水平。

2. 定量分析法。首先，确定实证分析中需要的相关变量以及具体样本；其次，通过构建多元回归模型对2003-2020年的30个省级面板数据进行基准回归，实证分析新能源产业对碳排放的影响作用；并对基准回归结果进行多种稳健性检验，以确保基准回归结果的稳健性与可靠性。然后，并运用中介效应模型进一步分析新能源产业对碳排放的影响机制，在此基础上将30个省级单位按照不同的区域进行样本异质性分析，以求获得更丰富的实证结论。最后，基于地理距离、低碳技术和环保人才三种空间溢出途径，并通过构建空间面板模型验证新能源产业对碳排放的空间层面的影响，探索新能源产业对碳排放的空间溢出效应。

3. 归纳总结法。在本文的第六章结论与对策建议部分，首先将文章各部分得出的结论进行梳理，并基于这些结论提出最终的对策建议，以供决策部门参考。

## 1.5 论文的创新点与不足之处

### 1.5.1 论文的创新点

本文创新点主要有：

第一，本文运用多元回归模型，并基于我国2003-2020年30个省的数据，实证检验了我国新能源产业对碳排放的抑制作用，相比于以往大多数纯经济学理论分析有了一定拓展。

第二，本文运用中介效应模型深入分析了我国新能源产业对碳排放抑制作用的影响机制，发现新能源产业对碳排放的影响机制为通过能源结构效应、产业结构效应、经济规模效应抑制二氧化碳排放，并将影响机制与经济学理论分析相对应。

第三，本文运用空间计量模型，通过构建地理距离空间权重矩阵、环保人才距离空间权重矩阵及低碳技术距离空间权重矩阵，探索新能源产业对碳排放的空间溢出效应。

### 1.5.2 论文的不足之处

第一，鉴于样本数据的可获得性，本文的实证分析时间区间为2003-2020年，时间跨度并不长，可能存在样本的时效性不足导致的研究结果不充分。

第二，在实证部分的异质性分析中，只是按东部、中部和西部的不同区域进行了分类，希望未来可以基于更多分类方式，使得实证结论更加丰富。

## 2 我国新能源产业和碳排放的现状分析

### 2.1 我国新能源产业的现状分析

#### 2.1.1 新能源的相关概念

##### (1) 能源的概念及分类

截至目前，学术界对于能源定义并没有一个统一定论。据统计，目前世界上正式对能源的解释超过20种。其中，接受度最广的为《大英百科全书》对能源的界定：“能源借助于合适的技术和手段，将存在于自然世界的阳光、化石材料、水流等转变为可以控制和利用的能量形式。”此外，美国在《科学技术百科全书》中也对能源的含义给出了解释，认为能源就是从自然界获取光、热和动力的行为。日本在《日本大百科全书》中对能源的定义则解释为人类生产生活中所用到的一切热能、光能、机械能和电能等能源形态。与此同时，我国在《能源百科全书》中将能源定义为通过直接或间接的手段实现人类对光、热、电等能源形式的掌控。具体来说，可以根据分类标准的不同，将能源分成以下几大类，具体如表2.1所示。

表 2.1 能源分类

分类标准	类型	能源种类
能量来源	地球自身蕴藏的能源	地球内部或原子之间的能量，常见有核能、地热能等
	直接或间接来自地球以外的能源	直接来自外部天体：太阳能 间接来自外部天体：煤炭、石油、天然气、水能、风能等
	地球与不同天气间相互作用形成的能量	潮汐能
能源形态	固定能源	煤炭、铀矿石



	液体能源	石油
	气体能源	天然气、风能
	电能	——
	太阳能	——
	生物质能	——
	地热能	——
可再生性	可再生能源	太阳能、水能、风能、生物能源、地热能等
	不可再生能源	煤、石油、天然气等
基本形态	一次能源	太阳能、地热能、煤炭、石油等
	二次能源	焦炭、电能、柴油等

## (2) 新能源的概念及分类

关于新能源和可再生能源的定义，来自1978年12月20日在联合国召开的第33届大会中所提出的专业名词，特别是第148号决议决定将传统化石能源以外的所有能源都定义为新能源，这是全世界范围内首次从广义角度界定新能源。此后，在1981年8月联合国在肯尼亚首都内罗毕召开的新能源与可再生能源会议中，对可再生能源的定义给予正式解释，即通过新技术和新手段，实现对已有可再生能源的现代化开发与利用，从而减少对环境的破坏，实现能源与经济的可持续发展。通过定义可知，相比于传统化石能源，新能源的重点在于可再生性和可持续性。从新能源种类来看，包括有水能、风能、核能、太阳能等。总的来说，新能源包括一切可再生的能源，并具备以下几种特点：（1）存量特别大，且可以循环往复使用；（2）能源密度低，开发新能源时往往需要占用较大空间；（3）低碳或无碳化，新能源产业不会对环境造成破坏；（4）开发成本高，开发和传输新能源所需的成本巨大。

从国内来看，随着我国社会主义市场经济的建立，国家计委在1997年首次将

生物质能、风能和海洋能源等可再生能源定义为新能源，并将开发和利用上述能源企业和行业定义为新能源产业。此后，2005年2月，我国出台《可再生能源法》，进一步要求可再生能源消费是指在生产生活种对太阳能、生物质能、风能等非化石能源消费。

## 2.1.2 我国新能源产业发展概况

现阶段，世界各国为减少化石能源消耗对生态环境造成的不利影响，全球各国都在大力发展新能源产业。其原因主要为，发展新能源产业既能满足经济社会对能源不足的需求，同时新能源又具备清洁高效特点。此外，根据统计数据显示，2018年全世界的标准煤消耗量超过46.4亿吨，该数值较2017年增加了3.3%。可以发现，我国的能源消费需求不断提高，其中发展新能源产业为我国新能源的使用起到了积极的促进作用。

在“30·60”碳达峰和碳中和愿景目标影响下，我国政府出于环境保护与经济发展的双重目标，大力支持新能源产业发展。据我国能源统计署显示，到2017年底，全球各个国家的新能源消耗增加比平均为10.4%，而我国新能源增加比为11.7%，超过同期大部分国家。此外，在我国在新能源装机容量方面，我国还拥有6.5亿千瓦的新能源总装机容量与1.7万亿千瓦时的新能源发电量。

### （1）风能产业发展现状

风能方面，我国是风能大国，风能储量巨大，随着近些年我国政府和社会强化了对风力发电的扶持力度，我国风力发电获得快速增长。从风力发电在我国的重要程度来看，风能产业是我国调整能源消费结构，发展低碳经济，形成低碳产业的压舱石。例如，在《风电发展“十三五”规划》中，就明确指出要在十三五期间，继续优化我国的风力发电布局，强化我国中部和东南部区域的风能开发力度，加强海上风力发电基础设施建设。此外，从风力发电的成本来看，未来随着技术进步，风力发电所需的成本优势将日渐显现，在我国新能源产业发展中具有广阔的发展前景，是我国未来清洁能源的主要供应来源。

从实际情况分析来看，当下低风速与大容量仍然是我国风能产业发电的主要方式。此外，随着我国风力发电技术的成熟，风能企业和产业增加了大容量发电

机组数量。例如，从2011年开始，大容量风电机组开始加入到风能源产业发电布局规划中去，比如2011年的2500-3000千瓦的大容量发电机组的数量占比仅不到4%，而3000千瓦以上的发电机组总数占比更是低于3%。此后，根据2017年的统计，2500-3000千瓦的大容量发电机组的数量占比超过14%，同时，3000千瓦以上的发电机组总数占比达到8%。最后，在风力发电机组生产方面，我国成为全球最大的风力发电机组生产基地。截至2020年底，全球90%的风力发电机组整机由TOP15的生产厂家提供，值得一提的是，其中有8家企业是来自中国的企业。

### （2）太阳能产业发展现状

水能是我国最大的清洁能源，在新能源产业中占有举足轻重的地位。根据历年《中国低碳发展报告》显示，我国水能发电在“十二五”期间2016年、2017年的增长率分别达到了6.2%和6.5%。此后，依据国家能源局出台的《水电“十三五”规划》，计划我国在十三五期间内实现5.6万亿KWh的水力发电，以满足我国不同区域对能源的需求，换算成标准煤可以减少约16.8亿吨标准煤的燃烧，减少碳排放超35亿吨，提高了对环境的保护力度。

从实际情况来看，我国光伏发电量逐年提高。据2016年的统计数据显示，我国2016年的光伏发电总额超过3153亿元。此后的2017年，该金额突破3500亿元。此外，在太阳能发电规模来分析，仅2017年我国共计有5306千瓦的新增装机，和1.3亿千万的累计发电量。除此之外，我国太阳能发电覆盖范围逐年提高，光伏发电企业每年能够生产1182千万时的电量以及78.5%的增加幅度。可以发现，我国太阳能产业发展迅速，并且具有较大发展潜力。

### （3）核能产业发展现状

核能在我国开发和应用技术的成熟，使我国核能发展迅速，已经在全球范围内的核电建设规模处于领先地位。例如，仅2017年，我国核电发电总量较去年增长17%，超过以往平均增速的15%，全部核能发电占总发电量约11%左右，占全球核能总发电的4%。从未来发展趋势来看，我国核能发电还有较大发展空间，是推动我国绿色发展，治理环境污染的有效手段。与此同时，核能发电所带来的安全性也是制约我国核电规模化的主要因素。

从实际情况来看，核能产业中的装机总数的提高，进一步促进了我国新能源产业的发展。然而，从整体上来看，我国核能产业的发电机组利用率并不高。据统计数据显示，2013年，核能产业的每小时利用率开始下降。到2014年，全国核能产业的发电设备利用率仅有83.3%。而到2016年，该数字降至79.55%。其原因主要受到我国发电具有季节性的影响，导致前期核能产业的发电机组无法有效利用。此外，由于核电产业的安全性问题，需要定时维护核电机组，这就导致核电机组的实际利用率较低。在这种情况下，我国采取相应政策调整，到2020年，我国核能产业的发电利用时间达到8937.2小时，平均利用率达到85.32%。



图 2.1 我国历年主要新能源产业发展现状 (亿千瓦时)

数据来源：历年《中国低碳发展报告》整理所得。

### 2.1.3 我国新能源产业现存问题

从实际情况来看，目前制约我国新能源产业发展的主要问题有能源成本高、融资难度大核补贴依赖性强三个方面，具体说明如下。

#### (1) 能源成本高

在新能源产业发展过程中，成本问题一直是影响新能源替代传统化石能源的重要因素。例如，核能发电由于安全性问题，导致研发周期较长，同时核能发电的建设周期较长，前期成本投入巨大。此外，新能源产业中的光伏产业也是同样的情况，尽管随着生产力水平的提高，光伏发电的设备成本逐年降低，然而光伏

发电的消纳成本却始终居高不下，最终致使光伏产业的总成本一直较高，阻碍了光伏发电产业的进一步发展。

现阶段，由于我国的煤炭禀赋现状，煤电一直低于核电成本、上网电价以及工程投资成本。根据统计数据显示，煤电生产成本仅为光热发电的十分之一左右，约为太阳能发电的二分之一不到，海风发电的四分之一，以及陆风发电的47%。如果，我们用上网电价作比较，那么，2020年我国海风发电、光热发电、太阳能发电、陆风发电的单价分别为0.85元/千瓦时、1.15元/千万时、0.75元/千瓦时核0.49元/千瓦时，而煤电单价为0.40元/千瓦时（见表2.2）。可见，传统能源发电成本仍低于新能源发电，能源成本问题成为制约新能源产业发展的重要影响因素。因此，鉴于新能源产业发电的成本问题，科研人员要尽量控制发电成本，解决新能源发电的成本问题。

表 2.2 2020 年我国各类能源发电单价（元/千瓦时）

类型	海风发电	陆风发电	太阳能发电	光热发电	煤炭发电
单价	0.85	0.49	0.75元	1.15	0.40

## （2）融资难度大

融资难度大也是一直制约我国新能源产业发展的重要影响因素。现阶段，由于国内有关新能源产业的融资渠道较少，导致新能源产业行业难以实现扩大再生产的规模优势。其原因分析主要在于，新能源产业的周期较短，市场对待短周期的能源行业没有相应的配套资金项目，导致新能源产业难以及时融资。此外，新能源产业的盈利性存在不确定性也是影响新能源产业发展的重要影响因素。由于电力的难以存储性，导致新能源产业发电的盈利能力受到严重制约，各大融资机构需要考虑到风险问题，往往会拒绝新能源产业的融资要求。根据统计数据显示，新能源产业的融资成本约在8%–10%之间。最后，我国新能源产业的获得的海外融资也较为困难，其项目计划书难以得到海外资本青睐。

### （3）补贴依赖强

现阶段，为促进我国新能源产业进一步发展，政府会根据我国新能源产业发展特点颁布一系列扶持政策。例如，这些扶持政策包括无息贷款、税务减免以及退税补贴等。其中需要注意的是，新能源产业补贴并非是一项，它包括地方政府的地方性补贴，还有国家的政策补贴，以及各类项目补贴构成。造成新能源产业补贴如此繁多的主要原因为，新能源产业前期投资成本巨大，本身的市场竞争力较低，就需要靠政府的政策倾斜给予帮助。但这也造成了大量新能源产业“骗补”事件发生。最著名的案例就是新能源汽车企业本身盈利能力差，但大量“骗补”营造假营收的假象，这也侧面反映我国新能源产业存在较强的补贴依赖性。若按这种形式发展下去，政府会减少相应的补贴，造成新能源产业的正常经营困难。因此，我国新能源产业要依托技术加大研发力度，逐步降低新能源开发成本，从而增强市场竞争力，扩大市场占有率。

## 2.2 我国碳排放的现状分析

### 2.2.1 我国总体碳排放现状分析

#### （1）碳排放总量

根据我国2005-2019年碳排放数据可知，在整体上，我国碳排放呈现逐年递增态势（如图2.2）。其中，从2007年开始，我国在碳排放总量方面超过美国，成为世界第一大二氧化碳排放国。这是源于过去我国选择大量化石能源消费的发展模式造成的。换句话说，我国经济增长奇迹在很大程度上是以牺牲环境换来的。此后，在2012年以后，我国开始注意到二氧化碳等温室气体排放的持续增加对环境的危害，碳排放的增长速度有所放缓。究其原因，主要是随着我国经济社会的进一步发展，国家开始转变经济发展模式，不再依托于不合理的能源消费和产业发展模式以换取经济增长。与此同时，人们也提高了对生活质量的重视程度，全社会的环保意识相对有所提高，这使得我国尽管在全球范围内的碳排放量仍在增长，但是碳排放增速开始逐年下降。

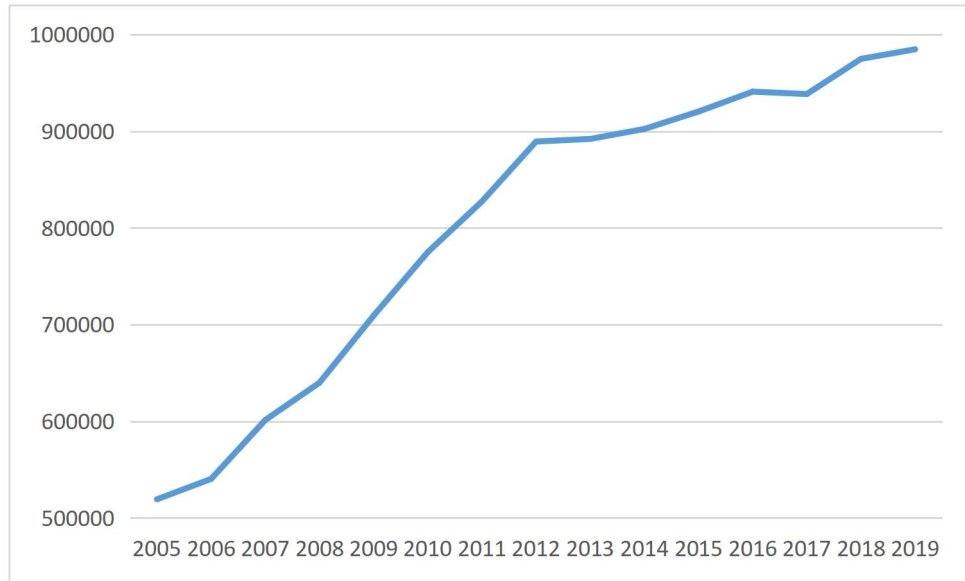


图 2.2 2015-2019 年碳排放总量 (万吨)

数据来源: 根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

## (2) 人均碳排放量

人均碳排放量能够反映一国或一地区二氧化碳排放的实际增速。具体来说,人均碳排放量是二氧化碳排放总量和总人口的比值。近些年,由于我国在人口总数变化幅度较小,使我国人均碳排放量与碳排放总量变动趋势保持一致。从图2.3可以看出,我国在2012年前后人均碳排放量增幅有明显变化,这与我国2012年后开始重视二氧化碳等温室气体的排放有关,也与碳排放总量保持一致的变动态势。

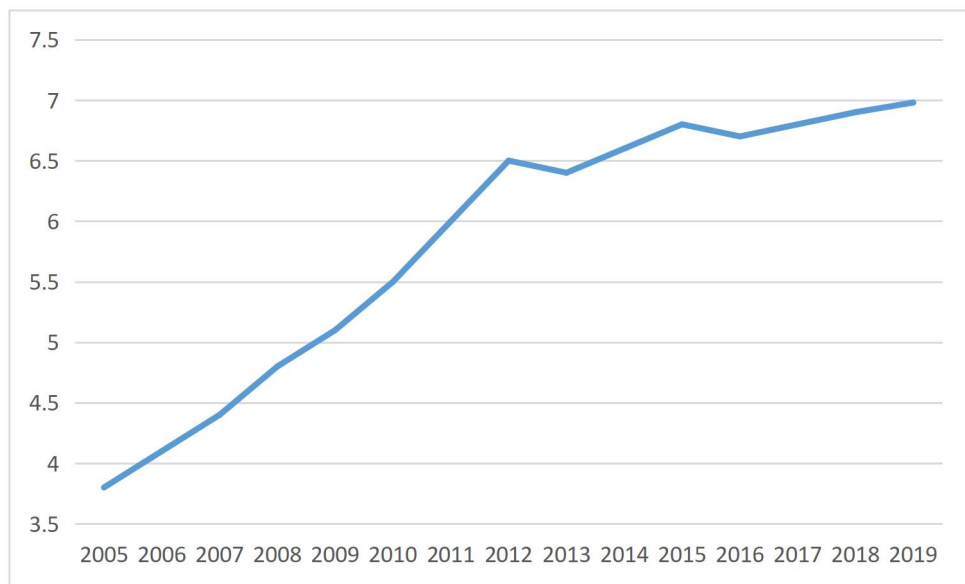


图 2.3 2005-2019 年人均碳排放量 (吨)

数据来源: 根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

### （3）碳排放强度

所谓碳排放强度是二氧化碳排放总量与经济产出GDP的比值，即生产一单位的GDP需要释放多少二氧化碳的指标。因此，该数值越小说明在既定碳排放水平下，可以获得更多的GDP产出。对此，本文据此绘制我国2005-2019年碳排放强度变化图，具体如图2.4所示。

从图中可以发现，从2005年开始，我国碳排放强度一直处在不断走低趋势。例如，我国碳排放强度从2005年的2.63万吨/亿元降至2019年的1.76万吨/亿元，15年间降低了0.87万吨/亿元，表示我国虽然在碳排放总量和人均碳排放量依旧维持较强的增长势头，但在经济发展上正在逐步降低不合理、滥用化石能源的情况，也表明我国长期内一直坚持发展低碳经济，落实节能减排的政策有效。因此，从我国碳排放强度的下降趋势也可以相信，我国在2030年可以实现比2005年碳排放强度降低60%-65%的碳减排目标。

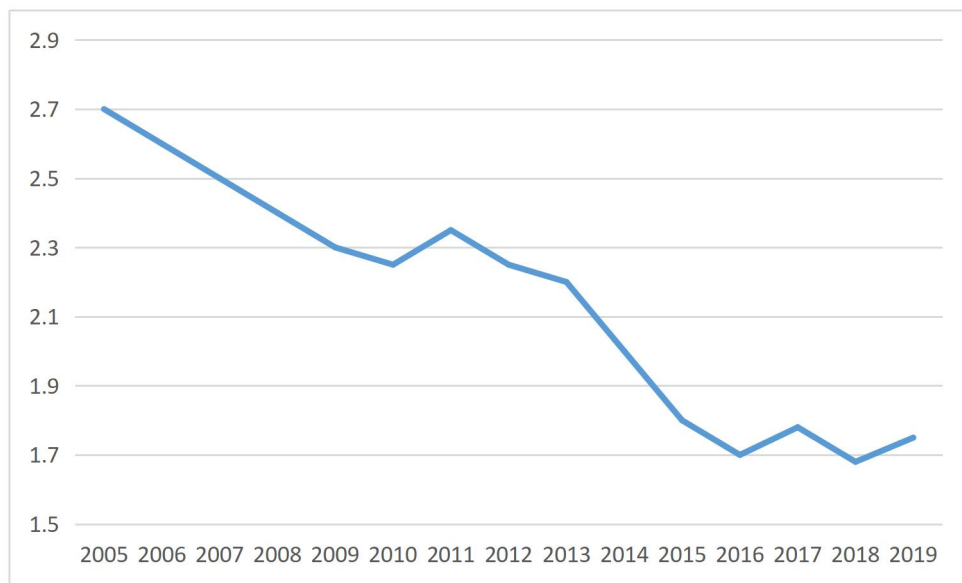


图 2.4 2005-2019 年碳排放强度（万吨/亿元）

数据来源：根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

## 2.2.2 我国区域碳排放现状分析

由于我国在区域经济发展上的差异，我国不同区域的二氧化碳排放水平存在较大差异。对此，本文基于我国地理和经济因素，将我国分成东、中、西三大区域，并据此进行区域研究，从而分析我国2005-2019年区域碳排放现状。



### （1）碳排放总量

通过对比我国2005-2019年三大区域碳排放总量变化情况可以发现，在碳排放总量方面，东、中、西三大区域的碳排放变动区域大致一致。如图2.5所示，其中只有2013年中部和2016年东部出现碳排放总量的负增长以外，其余各个时期的碳排放始终维持递增态势。此外，在东、中、西三大区域的总量上面，东部地区的碳排放总量显著高于中西部区域。究其原因主要为东部地区经济发达，对能源的需求力度也较高，例如，东部地区的快速城市化和产业规模化均需要大量能源支持，这导致东部地区的能源消费总量居高不下。

此外，在2012年之前，中部地区的碳排放总量一直高于西部地区，而在2012年及2012年之后，中部地区的碳排放总量低于西部地区的碳排放总量。其原因分析可能为，我国为促进西部经济发展，提出了以“西部大开发”战略为主的一系列政策，并鼓励东部部分产业向西部转移，这在一定程度上强化了西部地区重化工业占比，导致西部地区碳排放总量增多。

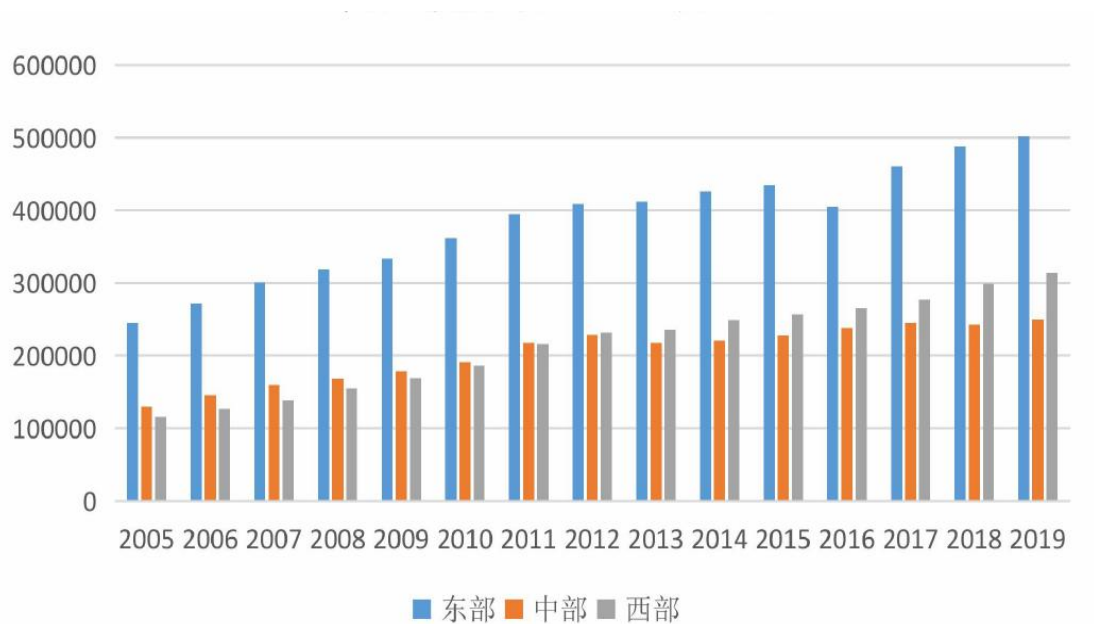


图 2.5 2005-2019年我国各区域碳排放总量（万吨）

数据来源：根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

### （2）人均碳排放量

相比于各区域碳排放总量来说，东、中、西各区域人均碳排放量更能反映出

不同区域的碳排放状况。从图2.6可以发现，在2012年以后，各个区域的碳排放量增幅出现下降态势，有些甚至出现了负增长，而前提是各个区域的人口规模的变化幅度却很小。其中，人均碳排放量从高到底的排序依次为东部、西部和中部，并且东部和西部地区在人均碳排放量上的差距正在缩小。此外，在2016年之后，西部地区的人均碳排放量超过东部地区，这表示西部地区在承接东中部的产业转移之后，在经济建设上面取得了较大的发展，其人均碳排放量也有所增加。

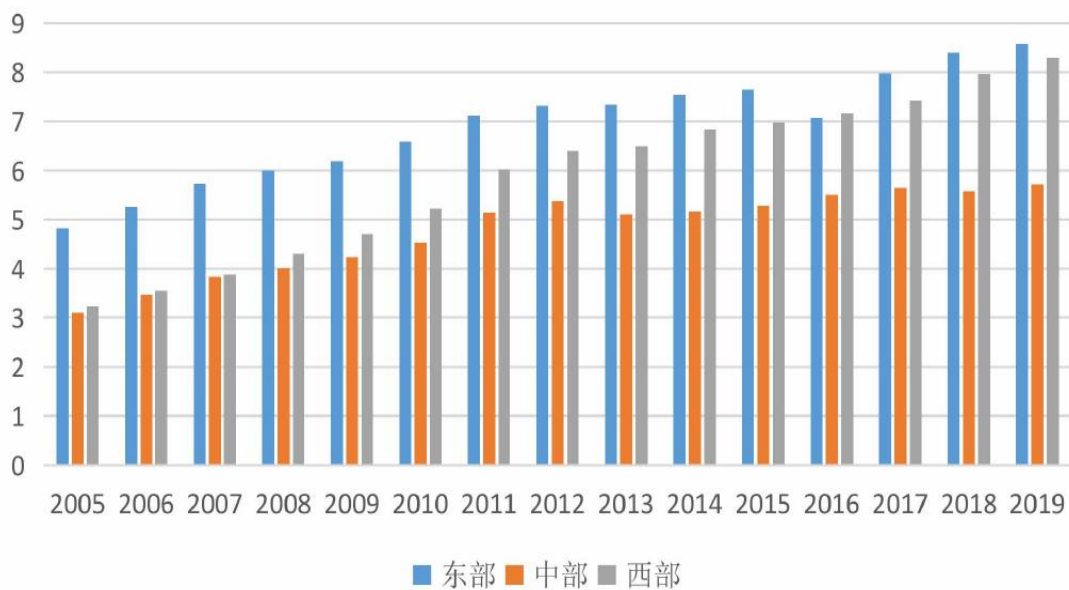


图 2.6 2015-2019 年我国各区域人均碳排放量（吨）

数据来源：根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

### （3）碳排放强度

在区域碳排放强度方面，其整体走势与全国碳排放强度变化保持一致。并且，东、中、西各区域的碳排放强度呈现逐年下降的趋势。具体变化趋势如图2.7所示。这说明，我国近些年发展低碳经济、实行节能减排政策的环境保护政策，在全国各地取得了积极效果，促使各个地方的能源利用效率提高，碳排放强度正在不断下降。

从图2.7还能够看出，碳排放强度的排序依次为西部、中部和东部。这说明碳排放强度与区域经济发展水平密切相关，这反映在能源技术、经济水平和产业结构等多个方面。因此，东、中、西各区域之间在能源利用上面依旧存在差距。具

体来说，东部地区能源强度低于中西部，能源效率高于中西部。这也与中西部地区经济发展模式单一，对传统化石能源的依赖性较强的现状吻合。

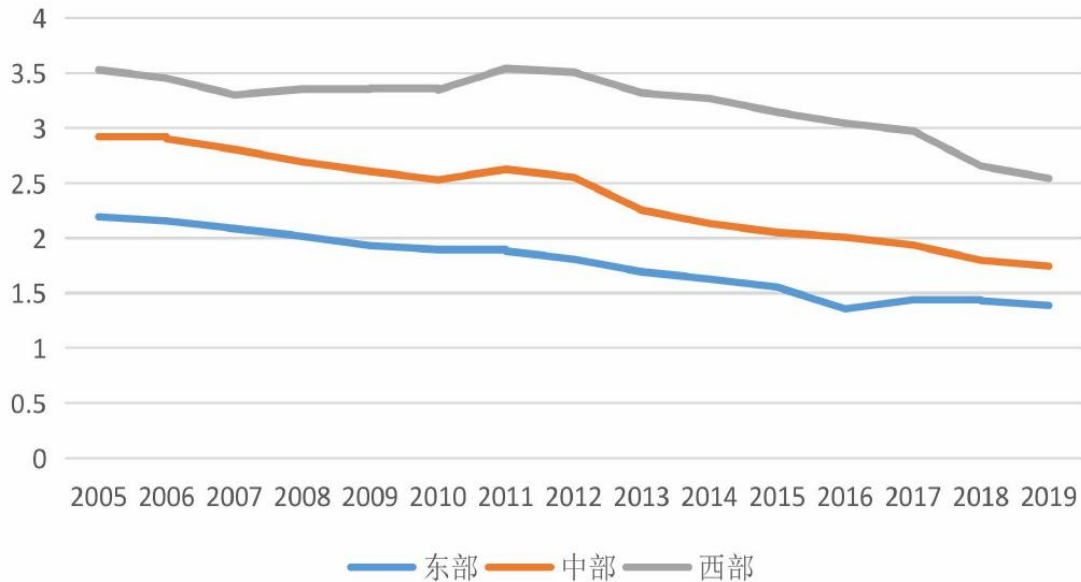


图 2.7 2015-2019 年我国各区域碳排放强度（万吨/亿元）

数据来源：根据《中国能源统计年鉴》、Wind 数据库整理所得。

### 2.2.3 我国碳排放的国际比较分析

在我国碳排放的国际比较分析方面，主要选取与中国主要贸易伙伴做比较，包括美国、澳大利亚等国家以及与中国发展背景相似的印度。对此，本文依据2020年国际能源部署（IEA）的1971-2018年的统计结果显示（如图2.8）。从总体来看我国的碳排放总量在2000年以前并没有较大的增长，而在2000年以后，我国碳排放量有急剧增长，这与我国进入21世纪后在生态环境上面临的威胁不断加深状况相一致。从美国来看，从1991-2004年中，美国整体二氧化碳排放量一直高于中国，但是美国逐年增长幅度较低，这与美国的科学技术发展不无关系。此后，在2007-2016年间，美国碳排放总量呈现逐年下降的趋势。此外，由于澳大利亚是地处南半球的发达国家，其有限的资源和人口等因素限制，其碳排放总量一直处在较低水平。印度与我国同属于世界上主要的发展中国家，但我国经济总量一直高于印度，从碳排放量也可以看出，印度碳排放水平在我国之下。因此，从世界来看，我国仍旧是全球最大的碳排放国，面临着较大的节能减排压力。

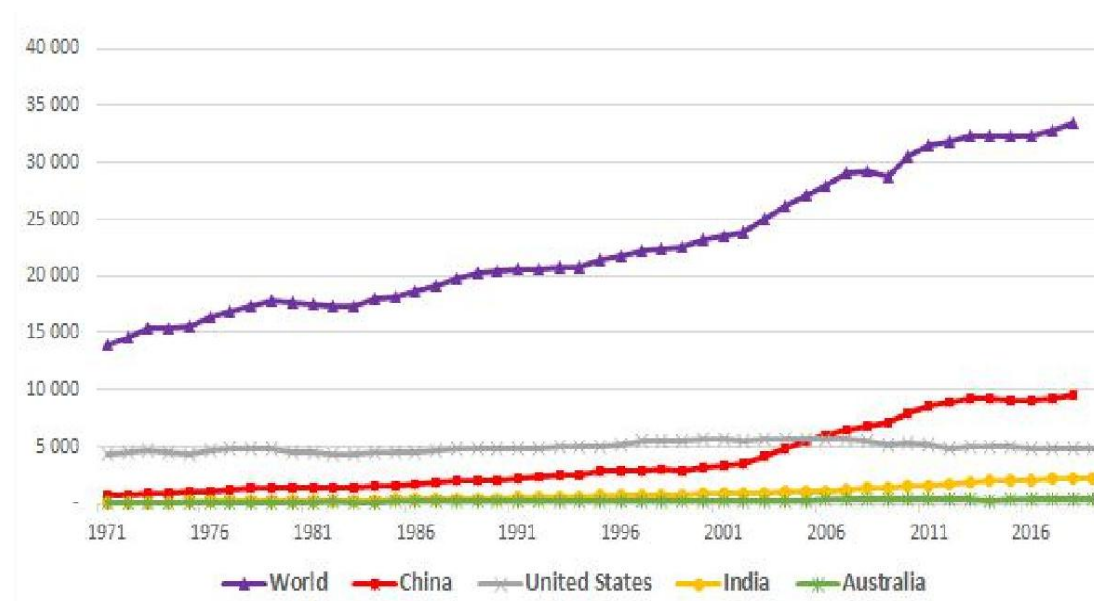


图 2.8 我国与国际碳排放趋势图（百万吨）

### 3 新能源产业对碳排放的理论机制分析

#### 3.1 理论分析

##### 3.1.1 环境库兹涅茨曲线理论

###### (1) 环境库兹涅茨曲线的内涵

关于环境库兹涅茨曲线概念的讨论，最早可以追溯至Grossman和Krueger（1991）关于环境污染与经济增长之间联系的分析，他们认为环境污染与社会经济增长的发展曲线可以用一条“倒U型”曲线描述。此后，Stem（2015）针对影响环境污染的因素开展了一系列讨论，最终形成环境库兹涅茨曲线理论。根据环境库兹涅茨曲线理论的解释：在经济发展的初始阶段，经济发展不可避免的以牺牲环境为代价，但随着社会生产力的提高与社会财富的积累，经济发展带来的高增长促使人们反思以污染环境带来的经济增长利弊，社会开始朝着改善环境的关系发展，环境恶化程度也随之降低。从另外角度来看，当经济发展进入高级阶段，新能源代替化石能源消费而发展形成新能源产业，所带来的经济增长开始与环境污染脱钩。换句话说，新能源产业发展带来的经济增长有利于环境改善。因此，当经济发展进入高级阶段，人们加强了对生活质量的重视程度，并着手于发展新能源产业以替代传统化石能源消费，从而确保发展新能源产业带来的经济增长与不断改善的环境相适应。

###### (2) 环境库兹涅茨曲线的形成原因

Grossman和Krueger根据环境经济学理论，认为“倒U型”结构的形成会受到包括规模效应、技术效应与结构效应三种途径的影响，具体来说：

①规模效应。根据环境经济学的相关理论，新能源产业会从两个方向对生态环境质量产生影响。例如，在经济发展初期，政府和个人均默认借助于大量化石能源燃烧的方式，以实现经济的高速增长，最终导致能源的大量使用，和生态环境的破坏；另一方面，随着产出不断增多，经济发展对能源的消耗量也在日渐增加，进而导致生态环境整体面临更大威胁。

②技术效应。通常来说，居民的高收入与高环保技术水平呈正向变动关系。例如，当一国在开展新能源技术研发时，在提高整体技术进步的同时，也会产生两方面的影响：一方面，技术水平会带来技术手段的提升，提高能源利用效率，减少单位产出所需的能源消耗，从而大幅度减少企业生产对自然和环境的影响；另一方面，通过清洁技术的开发和使用，大幅度减少和替代污染严重的技术，从而实现资源的循环利用，降低单位产出的污染排放。

③结构效应。伴随居民收入水平的提高，整体产业结构和投入结构也会相应产生改变。比如，在经济发展早期阶段，经济结构重心在农业，后来随着工业革命的推进，工业的流水线式生产在扩大了生产效率的同时，也增加了对环境的污染。此后，经济进一步发展，由工业转向第三产业的服务业和知识密集型产业的转移，单位污染排放下降，环境质量开始改观。

### 3.1.2 能源革命理论

关于解决经济社会发展中遇到的能源和环境不协调问题，能源经济学家做了大量研究，一致认为利用新能源取代煤炭化石能源是解决能源和环境危机的主要手段。最早涉及到能源革命理论的讨论来自于，1913年英国首相丘吉尔关于石油取代煤炭作为海军主要的动力设想，他认为：“一国海军不能长时间依赖于一种能源、一种工艺和一个国家的来源，应当实现能源多渠道供给的原则”。丘吉尔关于能源利用的观点是最早关于能源革命的直观解释，即保证自身能源供给稳定的同时，实现多种技术、多种途径提高自身的能源安全。发展到今天，随着新能源的蓬勃发展，能源革命已经不再局限于传统化石能源，例如煤炭、石油、天然气之间的相互替代和使用，也包含水能、核能、风能和太阳能为主的新能源对传统化石能源的替代革命。因此，本文所指的能源革命理论是从狭义的角度论述新能源对传统化石能源替代的能源革命。

此后，关于能源革命理论的研究，美国经济学家霍华德·格尔勒在其著作《能源革命——通向可持续未来的政策》中，系统地论述了发展中国家在实现自身国家工业化过程中在能源政策方面的选择问题。格尔勒指出应当根据国家自身发展阶段的不同，合理选择清洁能源使用。书中着重强调了能源革命对未来社会和经济环境发展的重要性，又分析了新能源和清洁能源革命对社会经济、环境的好处。

格尔勒的能源革命观点在很大程度上聚焦于清洁能源革命,能源革命的核心就在于加大清洁能源的使用,实现经济社会的可持续发展。

此外,关于工业革命与能源革命的关系,P.N 斯蒂恩斯认为:“工业革命与能源革命之间是不可分割的整体,工业革命本质就是能源革命,就是新能源对旧能源的替代”。罗伯特·B·马斯克甚至认为,工业革命本质就是发展基于那个时代的新能源,通过新技术、新理论实现一次又一次的能源革命,像蒸汽机的广泛传播就离不开煤炭的开采和使用,电气时代的开拓离不开石油的大规模开采。对此,有关能源革命理论讨论,世界各国均在世界经济论坛上呼吁成立“全球能源架构”。其中,德国就在欧盟框架下发起“2020——安全、有竞争力、可持续发展战略”,美国国会也通过了关于“未来能源安全蓝图”的计划书。

从我国来看能源革命理论的发展。目前,我国关于能源革命理论的探讨集中在如何进一步优化能源消费革命,从我国能源禀赋现状和未来能源发展前景角度入手,逐步降低煤炭、石油等传统化石能源在我国能源消费结构中的占比,加大以清洁能源或新能源在能源总消费中的比例,从而建构起安全、高效、清洁的能源供应保障体系,实现碳减排和发展低碳经济的目的。值得注意的是,能源革命的实现关键在于处理好新能源与传统化石能源的关系,一方面,政府相关部门要为前期新能源的开发和产业化生产提供必要的政策支持。同时,市场要为新能源产业发展提供必要的资金支持,为新能源产业的市场化提供便利;另一方面,发展新能源以实现传统化石能源的能源革命,并不意味着完全放弃对煤炭、石油等化石能源的使用。因此,要在能源替代的过程中做好能源跨期配置工作,政府要给予能源革命过程中的部分帮助。

### 3.1.3 低碳经济理论

关于低碳经济理论的提出,最早可在我国2003版的《能源白皮书》中找到有关论述。低碳经济理论的内涵核心在于,在维持经济产出规模不变的前提下,通过减少环境污染和降低能源消耗的方式,实现经济增长与二氧化碳排放之间的平衡。从本质上来说,低碳经济理论是经济学众多研究方向的一个分支,是结合传统经济学理论与环境经济学的产物,其研究目的在于解决过去依赖高耗能、高污染方式发展经济时产生的各种问题。现阶段,发达国家是低碳经济发展的主要倡

导者，低碳经济也是世界未来经济发展追求的方向和着力点，发展中国家也就自身发展阶段和未来发展方向，寻求向低碳经济发展的过度，从而保证在经济增长势头不变的同时，实现绿色化和低碳化发展。

当前国际社会对于低碳经济发展的重点集中于碳减排的讨论。例如，英国学者Johnston（2005）就提出到21世纪50年代，英国房地产行业的80%碳减排力度可以借助于技术进步得以实现。此外，Treffers等（2005）认为荷兰要赶在21世纪中叶之前，实现温室气体排放维持在可控范围内，并着重探讨了能源供应和需求技术的战略性转变。

### 3.1.4 可持续发展理论

可持续发展理论是21世纪世界经济发展的主流理论之一。该理论最早成型于1980年出台的《世界自然保护纲要报告》，文中集中讨论了社会经济发展于自然资源使用的关系，并从长期和可持续发展的角度论述了全球经济未来的发展方向。此后，在1987年刊印的《我们共同的未来》中，正式使用可持续发展一词，并将可持续发展定义为：在维持已有经济社会正常发展需要的前提下，又不影响未来人类社会的发展。可见，可持续发展理论的核心在于，经济发展不能以损害环境为基本，确保人类社会与自然社会的和谐发展。

此后，1992年6月相继发布的《21世纪议程》、《关于环境与发展宣言》，在全世界范围得以广泛传播，各个国家均提高了对环境与发展问题的关注度，可持续发展的理念逐渐受到全世界人民的认可。在上述发表的两份报告中，强调了发达国家与发展中国家在不同发展阶段上的特点，认为发达国家应当多承担环境保护的责任，并考虑到发展中国家在发展阶段的特殊性，认为应当重点放在经济与环境的协调上，逐渐减少发展经济对环境造成的破坏，为子孙后代的生存发展留下足够的生存和发展空间，从而在全世界范围内形成经济-社会-资源-生态的可持续发展模式。由此可见，可持续发展就是生态与经济的可持续发展，而为保障生态环境的不再恶化，世界各国应当集中讨论对温室气体的排放的控制，在碳减排方面达成世界范围内的一致。



### 3.1.5 空间经济学理论

空间经济学的发展离不开区位论的研究,从1826年开始,就出现了关于农业区位的研究。此后,到1882年,韦伯论述了工业区位论,实现了区位论从农业到工业的递进。20世纪末,克鲁格曼将国际贸易理论和区位论相结合,改变了国际贸易理论仅研究经济理论的局限性,带动了区位论和空间经济学的研究。

相比于传统经济学,空间经济学在研究经济问题时,会在经济学一般模型中考虑空间方面的影响因素。因此,空间经济学学者认为,社会中的不同经济活动不可避免的受到地理空间的干预,这种空间差异是经济系统内部自生的影响因素,经济主体之间在追逐不同市场优势时,会本着成本最小化和经济利润最大化的目的,形成规模化的产业集聚,而这种集聚活动就会在地理上受到经济活动发展模式的影响。

可见,空间经济学家在研究空间的区位因素上面,需要将空间要素加入到经济模型的构建,而引入地理因素基础的空间经济特征又被称作是“路径依赖”。此后,随着经济社会的进一步发展与全球经济范围内的分工合作,不同经济活动之间的发展模式越来越受到空间因素这一“影响路径”的影响。例如,产业的聚集形成产业集聚化,金融的服务化加强,形成金融租金的集聚等等。因此,受空间地理经济的影响,不同行业模式均会受到地理因素的影响,通过空间经济的分析可以发现新的经济结论。

## 3.2 新能源产业对碳排放的影响机制分析

### 3.2.1 能源结构效应

增加新能源产业,能够动摇化石能源在能源结构中的地位,从能源结构效应出发实现降低碳排放的效果。具体来说,我国“富煤少油贫气”的能源禀赋状况决定了煤炭在我国早期工业化建设有着不可替代的作用。从另外的角度来说,我国在过去的经济增长奇迹在很大程度上是靠牺牲生态环境换来的,这也导致二氧化碳等温室气体排放提高了极端天气出现的概率,威胁到人们正常的生产生活。然而,近年来随着新能源产业的增多和煤炭消费占比逐步下降,反映出我国能源

消费结构正不断优化。维持经济发展的稳定增长是我国社会主义建设的既定目标,此时,通过增加新能源产业比例以优化能源结构,其原因在于,如果将不同能源种类转换成煤当量并相加作为总能源消耗量时,这种量化总能源消耗量的方法有一个隐含假设,即相同煤当量的不同能源将产生相同的经济产出。然而,这种假设在现实的经济体系中并不总是如此。一个正常运行经济系统包括不同类别的产业,这些产业又由不同的能源种类支持。例如,随着新能源在能源消费结构的比重不断上升,新能源将发挥调整能源产业、推进战略性新兴产业发展,最终实现碳减排的目标。因此,通过丰富太阳能、风能、生物能等新能源产业,降低煤炭在能源结构中的比重,可以在既定煤当量下维持经济增长的同时,形成更加清洁、低碳、高效的能源产业体系,大量降低二氧化碳的排放量。

### 3.2.2 产业结构效应

新能源产业会带来产业结构整体转变,实现碳减排的既定目标。传统产业以高污染、高耗能的重化工为主,在带来经济增长的同时,也加重了全社会的碳排放负担。因此,发展新能源产业,有助于在全社会降低二氧化碳排放。然而,增大水能、风能、太阳能等新能源产业在社会能源消费中的占比,并非直接改变人们的用能方式,更多是通过发展新能源产业,优化现有产业结构,间接实现消费新能源的目标。例如,当发展新能源产业促使能源产业规模及相关产业链变动,会直接影响第二产业布局;而能源运输及仓储过程会间接影响第三产业规模。原因在于,能源作为地区经济发展的源动力,其与生产要素匹配形式的不同会带来社会分工水平变动,促使以化石能源为基础的传统产业链,向以新能源为基础的现代产业链更替演变。可见,新能源产业会通过产业结构效应,实现降低碳排放的效果。

### 3.2.3 经济规模效应

经济发展离不开生产要素的投入,而能源作为社会化大生产中不可或缺的原材料,决定着经济发展的方式和方向。因此,当新能源作为生产要素投入到生产中去时,在扩大经济规模,促进低碳经济发展的同时,有利于碳减排效果的实现。具体来说,新能源产业体现了经济发展的可持续性,而可持续发展的重要体现之

一就是减少化石能源的燃烧，增加新能源产业以降低碳排放。因此，关于新能源产业能否实现降低碳排放的效果一直是学术界研究的热点话题。现阶段，大部分学者均认为，新能源产业能够通过扩大经济规模的方式实现碳减排。在过去，尽管新能源一直存在（如太阳能、风能、水能、生物质能和潮汐能等），但由于技术水平和开发成本的原因，新能源无法像化石能源一样，作为生产要素投入到生产。因此，依托化石能源发展而来的产业带来经济增长的同时，排放的二氧化碳等温室气体也严重破坏了周边的生态环境。如今，随着科技进步和新能源市场化运作的成熟，新能源作为生产要素发展新能源经济，扩大新能源产业规模就成为新的经济增长点。因此，新能源产业通过经济规模效应，能够在实现经济发展的同时，大幅度降低我国的碳排放水平。

## 4 我国新能源产业对碳排放影响机制的实证分析

### 4.1 变量与样本的选择

#### 4.1.1 变量的选择

##### (1) 被解释变量的选择

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）认为，煤炭、石油等化石能源燃烧会向自然界释放大量的二氧化碳气体，这也是导致全球气温上升，生态环境恶化的关键。对此，IPCC特意针对化石能源燃烧时产生的二氧化碳程度，分门别类的用估算的方法计算他们的碳排放系数（如表4.1）。因此，若碳排放从狭义上去看专指二氧化碳的排放总量，而从广义上去看，凡是化石燃料的燃烧都算是都算作碳排放。基于此，本文选取我国30个省份在2003-2020年在焦炭、汽油等十一种能源的终端消费量来估算。具体的碳排放公式如下所示：

$$CE = \sum_{i=1}^{11} CE_i = \sum_{i=1}^{11} E_i \times NCV_i \times CC_i \times COF_i \times \frac{12}{44} \quad (1)$$

表 4.1 CO<sub>2</sub> 排放系数表

能源种类	碳含量 (TC/TJ)	热值 (TJ/万吨)	碳氧化因子	碳排放系数 (吨碳/吨)	CO <sub>2</sub> 排放系数 (吨碳/吨或 吨碳/亿m <sup>3</sup> )
煤炭	27.280	178.240	0.923	0.449	1.647
焦炭	29.410	284.350	0.928	0.776	2.848
汽油	18.900	448.000	0.980	0.830	3.045
煤油	19.600	447.500	0.986	0.865	3.174
柴油	20.170	433.300	0.982	0.858	3.150
燃料油	21.090	401.900	0.985	0.835	3.064
天然气	15.320	3893.100	0.990	0.905	21.670
水泥	—	—	—	—	0.527

$CE_i$ 表示上述是一种化石能源燃烧所释放出的二氧化碳总量， $i$ 是不同的能源种类； $E_i$ 是不同能源的消耗情况； $NCV_i$ 表示不同能源种类不同的能源转换因子，即燃烧1kg所有能源产生的总热量；而 $CC_i$ 代表每种能源种类燃烧时产生的单位热量中包含的二氧化碳含量；而 $COF_i$ 代表不同种的化石能源燃烧时产生二氧化碳的氧化率；最后，12与44用来代表碳原子和二氧化碳分子的分支量。

### （2）核心解释变量的选择

新能源产业（LNCE）。由于发展新能源产业本身都属于清洁能源的燃烧，其过程中不产生任何的二氧化碳等温室气体。所以，发展新能源产业被公认为是实现碳减排的有效手段和重要措施。然而，现阶段新能源产业受制于开发成本的限制，从整体上来看新能源产业的成本比传统化石能源要高，各地发展新能源产业及新能源产业等均需要来自大量的政府财政补贴，这就极易给政府造成一定的财政负担。换句话说，新能源产业有时需要依赖传统化石能源消费所创造的财富“供血”。因此，若单纯选择新能源的能源消费量来表示新能源产业，会造成对碳排放影响的不确定性。对此，本文选择各省从事新能源设备制造的上市公司生产总值与年度生产总额的比值作为新能源产业的指标，并出于量纲的考虑，对二者的比值做取对数处理。

### （3）控制变量的选择

①环境规制程度(LNENV)。当前，为实现“绿色经济”高质量发展目标，政府需要通过政策调整迫使企业拿出部分资金治理污染等问题，可以实现间接降低碳排放的目的。因此，本文选取工业污染治理投资额与名义GDP的比值表示地区环境规制程度。②外商直接投资水平(LNFDI)。与东道国合资办厂以及设立分公司是当下跨国公司进行外商直接投资的主要手段。通过上述方式，国内企业在获得一定资金支持的同时，实现对低碳技术的掌握，进而减少碳排放的释放。因此，本文选取实际利用外商直接投资额占名义GDP比重表示外商直接投资水平。③城镇化水平(LNUL)。随着中国城镇化水平的加深，大量剩余劳动力从农村流入到城镇，改变了当地能源消费环境，居民从整体上提高了对生态环境的重视程度，进而选择更为低碳的出行和生活方式，有利于碳减排实现。因此，本文用城镇人

口占总人口比重表示城镇化水平。④自主创新程度(LNTC)。为避免国外技术引进带来的负面影响,国内自主创新针对本国技术难点做到有的放矢的提升与改进;有助于突破技术壁垒,实现自身的“低碳革命”,提前完成既定的碳排放标准。本文选取R&D活动经费支出占GDP的比重代表自主创新程度。⑤对外依存度(LNOpen)。中国自2001年加入WTO,中国对外开放程度逐年扩大,通过对外开放有助于国内进出口企业更好地与世界接轨,学习国外先的绿色发展经验和低碳生产技术,从而降低自身的二氧化碳排放量。因此,选取进出口货物总额占本省GDP比重作为对外开放程度的指标。具体各类变量的名称、表示符号、计算方法与单位如表4.2所示:

表 4.2 变量名称、符号、计算方法

变量类型	变量名称	表示符号	计算方法
被解释变量	碳排放	LNCE	IPCC 法
核心解释变量	新能源产业	LNNEC	各省新能源设备制造的上市公司生产总值/年度生产总值
	外商直接投资水平	LNFDI	实际利用外商投资额依照年度汇率换算为人民币,再与名义GDP作比
控制变量	自主创新程度	LNTC	R&D经费支出占名义GDP的比值
	地区环境规制程度	LNENV	工业污染治理投资额与名义GDP的比值
	城镇化水平	LNUL	城镇人口占总人口比例
	对外依存度	LNOpen	进出口贸易总额与名义GDP的比值

同时,为避免量纲不同对已有变量造成的影响,对上述变量做取对数处理,得到环境规制程度(LNENV)、外商直接投资水平(LNFDI)、城镇化水平(LNUL)、自主创新程度(LNTC)、对外依存度(LNOpen)。

#### 4.1.2 样本的选择

本文考察的对象是我国30个省级行政单位的新能源产业与碳排放之间的影响机制和空间溢出效应分析,选用我国2003-2020年省级面板数据,包括30个省

(市)级行政单位,西藏、香港、澳门与台湾因数据缺失严重与不易获取而未统计在内,其余缺失数据通过软件Stata15.0插值法补齐。数据具体来源包括2003-2020年各地区《统计年鉴》以及《中国能源统计年鉴》、《A股上市公司数据》《中国环境保护数据库》、《Incopat专利数据库》、《CEADs数据库》,分别提供了区域经济特征与能源消耗数据。

### 4.1.3 变量的描述性统计

将上述选定的被解释变量、核心解释变量与控制变量计算平均值、标准差、最大值、最小值、样本量得到如表4.3所示的变量描述性统计分析表。

表 4.3 变量描述性统计分析

变量类型	变量名称	含义	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	LNCE	碳排放	540	10.2226	0.7936	7.3626	11.9385
解释变量	LNNEC	新能源产业	540	7.0061	0.8141	3.9686	8.8109
	LNENV	环境规制程度	540	0.0015	0.0013	0.0008	0.0100
	LNFDI	对外直接投资	540	0.0240	0.0194	0.0000	0.1052
控制变量	LNUL	城镇化率	540	3.9537	0.2752	2.9668	4.5573
	LNOpen	对外依存度	540	0.2927	0.3356	0.0062	1.6682
	LNTC	自主创新程度	540	0.0143	0.0106	0.0017	0.0601

数据来源: stata15.0 软件计算而得。

通过表4.3新能源产业对碳排放影响作用相关变量的描述性统计分析,可以发现整体样本选择符合实证分析要求。具体来说,被解释变量碳排放的平均值为10.2226,而最大值为11.9385,即两者间区别不大,说明在被解释变量方面,各省在碳排放方面的数据差距不大。此外,从标准差来看,碳排放的标准差为0.7936,进一步说明在省级碳排放水平上面,各个省的碳排放水平在整体上差距较小。在解释变量方面,新能源产业的值最大、最小值分别是8.8109和3.9686,并且标准差为0.8141,是所有变量中最大的,说明各省在新能源产业方面存在较大差距,这与我国现有的实际情况相符合。在其余的控制变量上面,仅城镇化率和对外依

存度的标准差较大,分别为0.2752和0.3356,表示上述两变量在各省的情况有所不同,不同省份在城镇化率和对外开放程度情况有差距。

## 4.2 计量模型构建

根据前文的相关分析构建基准回归模型,具体如下:

$$\begin{aligned} \text{LNCE}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{LNNEC}_{it} + \alpha_2 \text{LNENV}_{it} + \alpha_3 \text{LNFDI}_{it} + \alpha_4 \text{LNUL}_{it} \\ & + \alpha_5 \text{LNOpen}_{it} + \alpha_6 \text{LNTC}_{it} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

其中,下标*i*、*t*代表不同的地区与时间,  $\text{LNCE}_{it}$ 表示碳排放水平,  $\text{LNNEC}_{it}$ 表示新能源产业;其余的控制变量 $\text{LNENV}_{it}$ 、 $\text{LNFDI}_{it}$ 、 $\text{LNUL}_{it}$ 、 $\text{LNOpen}_{it}$ 和 $\text{LNTC}_{it}$ 分别为环境规制程度、对外直接投资、城镇化率、对外依存度和自主创新程度; $v_i$ 和 $v_t$ 分别代表地区与时间固定效应; $\varepsilon$ 表示随机扰动项。

## 4.3 我国新能源产业对碳排放影响作用的基准回归结果

通过对表4.4分析的新能源产业对碳排放影响作用的回归结果可以发现,无论是否加入控制变量,核心解释变量新能源产业系数均显著为负,即能够有效降低二氧化碳的释放。例如,在表4.4中的列(1)是未加入控制变量的回归结果,结果显示,新能源产业的系数为-0.1666,且在1%水平上显著,说明新能源产业能够有效降低我国碳排放水平,验证了新能源产业是解决二氧化碳等温室气体的有效手段。之后,在表4.4的列(2),是加入控制变量后的回归结果,可以发现新能源产业的系数为-0.1635,且在1%水平上显著,与上述未加入控制变量的回归结果相一致,验证了新能源产业对碳排放的减排效果。

在控制变量方面,列(2)是加入控制变量后的回归结果,控制变量环境规制程度、对外直接投资、城镇化、对外依存度和自主创新程度的系数均为负,说明所选的控制变量均能对碳排放起到降低的效果。其中,除环境规制程度系数不显著以外,其余4个控制变量的系数均在1%水平上显著,均对碳排放水平起到减缓效果。



表 4.4 新能源产业对碳排放影响作用的回归结果

变量名称		被解释变量：LNCE	被解释变量：LNCE
		(1)	(2)
核心解释变量	LNNEC	-0.1666*** (-5.43)	-0.1635*** (-5.50)
	LNENV	——	-8.5610 (-0.88)
	LNFDI	——	-3.0085*** (-3.74)
控制变量	LNUL	——	-0.3782*** (-3.98)
	LNOpen	——	-0.3083*** (-3.37)
	LNTC	——	-11.3597*** (-4.14)
地区及时间		是	是
R-sq		0.7031	0.3984
N		540	540

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

## 4.4 我国新能源产业对碳排放影响作用的稳健性检验

### 4.4.1 更换被解释变量碳排放的衡量方法

现阶段，学术界衡量碳排放水平的方法有很多。其中，最为常用的方法是根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)编制的14种化石能源的碳排放系数，进而计算碳排放水平。因此，本文为验证在不同的碳排放衡量方法下，能否得到在IPCC测算方法一致的结果。对此，本文选用《CEADs数据库》中，已有的碳排放数据，从而构建实证模型检验前文新能源产业对碳减排影响作用的实证结果。具体模型构建如模型(3)所示。

$$\begin{aligned} \text{LNCE2}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{LNNEC}_{it} + \alpha_2 \text{LNENV}_{it} + \alpha_3 \text{LNFDI}_{it} + \alpha_4 \text{LNUL}_{it} \\ & + \alpha_5 \text{LNOpen}_{it} + \alpha_6 \text{LNTC}_{it} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

其中，下标*i*、*t*代表不同的地区与时间，LNCE2<sub>it</sub>是被解释变量，表示碳排放水平，LNNEC<sub>it</sub>是解释变量，表示新能源产业；其余的控制变量LNENV<sub>it</sub>、LNFDI<sub>it</sub>、LNUL<sub>it</sub>、LNOpen<sub>it</sub>和LNTC<sub>it</sub>分别为环境规制程度、对外直接投资、城镇化率、对外依存度和自主创新程度；*v<sub>i</sub>*和*v<sub>t</sub>*分别代表地区与时间固定效应； $\varepsilon$ 表示随机扰动项。

表 4.5 更换被解释变量衡量方法的稳健性检验

变量名称		被解释变量：LNCE2	被解释变量：LNCE2
		(1)	(2)
解释变量	LNNEC	-0.7221*** (-36.07)	-0.7346*** (-36.40)
	LNENV	——	-0.2241 (-0.03)
	LNFDI	——	-2.3252*** (-4.26)
控制变量	LNUL	——	-0.0584 (-0.90)
	LNOpen	——	-0.1058* (-1.70)
	LNTC	——	-3.3554* (-1.80)
地区及时间		是	是
R-sq		0.7494	0.7497
N		540	540

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 *t* 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

通过更换碳排放的衡量方式后,从表4.5分析的新能源产业对碳排放影响作用的回归结果可以发现,无论是否加入控制变量,核心解释变量新能源产业系数均显著为负,即能够有效降低二氧化碳释放。例如,在表4.5中的列(1)是未加入控制变量的回归结果,结果显示,新能源产业的系数为-0.7221,且在1%水平上显著,说明新能源产业能够有效降低我国的碳排放水平,验证了新能源产业是解决二氧化碳等温室气体的有效手段。之后,在表4.5的列(2),是加入控制变量后的回归结果,可以发现新能源产业的系数为-0.7346,且在1%水平上显著,与上述未加入控制变量的回归结果相一致,验证了新能源产业对碳排放的减排效果。因此,本文通过用《CEADs数据库》中已有的碳排放数据,替换IPCC测算法得到的碳排放数据,实现对被解释变量的替换。结果显示,尽管新能源产业对碳排放的抑制效果在数值上有差别,但在方向和显著性上面与前文均保持一致。

#### 4.4.2 内生性检验

##### (1) 内生性检验模型的构建

前文实证分析可能存在某种内生性问题,造成本文内生性问题原因可能有:第一,遗漏变量。在分析影响碳排放的因素时,可能遗漏了重要影响变量。第二,互为因果关系。新能源产业会影响碳排放,反过来碳排放提高也可能会影响到新能源产业的方向和规模。对此,本文通过互换新能源产业与碳排放的因果关系,以验证新能源产业与碳排放之间是否存在内生性问题,具体的模型如模型(4)所示。

$$\begin{aligned} \text{LNNEC}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{LNCE}_{it} + \alpha_2 \text{LNENV}_{it} + \alpha_3 \text{LNFDI}_{it} + \alpha_4 \text{LNUL}_{it} \\ & + \alpha_5 \text{LNOpen}_{it} + \alpha_6 \text{LNTC}_{it} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

其中,下标*i*、*t*代表不同地区与时间,  $\text{LNNEC}_{it}$ 是被解释变量,表示新能源产业,  $\text{LNCE}_{it}$ 是解释变量,表示碳排放水平;其余控制变量  $\text{LNENV}_{it}$ 、 $\text{LNFDI}_{it}$ 、 $\text{LNUL}_{it}$ 、 $\text{LNOpen}_{it}$ 和 $\text{LNTC}_{it}$ 分别为环境规制程度、对外直接投资、城镇化率、对外依存度和自主创新;  $v_i$ 和 $v_t$ 分别代表地区与时间固定效应;  $\varepsilon$ 表示随机扰动项。

## (2) 内生性检验实证结果分析

表4.6是验证新能源产业与碳排放之间是否存在互为因果的内生性的检验，结果显示，当被解释变量碳排放换成新能源产业，而解释变量换成碳排放时，基准回归结果的解释变量碳排放系数值为0.9959，但系数并不显著，即说明当互换新能源产业与碳排放的变量关系后，不存在互为因果的问题，说明本文研究的新能源产业对碳排放的影响作用不存在内生性问题。

表 4.6 互为因果验证的内生性检验

变量名称		被解释变量: LNNEC
解释变量	LNCE	0.9959 (0.22)
	LNENV	1.2741 (0.17)
	LNFDI	2.6803*** (4.21)
控制变量	LNUL	0.1592** (2.13)
	LNOpen	-0.0640 (-0.88)
	LNTC	7.1463*** (3.33)
地区及时间		是
R-sq		0.7612
N		540

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

## 4.5 我国新能源产业对碳排放影响作用的异质性检验

本部分将样本按照区域进行分类，即将全国数据分成东部、中部和西部三部

分，基于不同区域的差异，实证检验新能源产业对碳排放的影响效果。其中，东部区域包括的省份有北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南，共计12个省级行政单位；中部区域包括的省份有山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南，共计9个省级行政单位；西部区域包括的省份有四川、贵州、云南、重庆、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆，共计9个省级行政单位。分区域的异质性检验结果如表4.7所示。

表 4.7 分区域的异质性检验结果

变量名称		全国	东部地区	中部地区	西部地区
		(1)	(2)	(3)	(4)
解释变量	LNNEC	-0.1635*** (-5.50)	-0.0810* (-1.67)	-0.0163 (-0.19)	-0.3133*** (-6.43)
	LNENV	-8.5610 (-0.88)	-40.1148* (-1.94)	-2.5296 (-0.11)	-4.6376 (-0.40)
	LNFDI	-3.0085*** (-3.74)	-4.7833*** (-4.65)	-6.4983** (-2.08)	-2.8627 (-1.53)
控制变量	LNUL	-0.3782*** (-3.98)	-0.6460*** (-2.83)	-1.1242*** (-5.51)	-0.0443 (-0.29)
	LNOpen	-0.3083*** (-3.37)	-0.4060*** (-3.41)	-3.1160*** (-4.40)	-0.6292* (-1.85)
	LNTC	-11.3597*** (-4.14)	-4.6747 (-1.01)	-5.4692 (-0.75)	-17.7301*** (-3.29)
地区及时间	是	是	是	是	
R-sq	0.3984	0.1494	0.1183	0.1527	
N	540	540	540	540	

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

根据表4.7的分区域的异质性检验结果可以发现，一方面，从整体上来来看，除了中部地区以外，东部和西部区域，新能源产业均在显著降低当地的碳排放水

平。其中，中部地区系数不显著的原因可能在于，中部地区是我国重要的传统化石能源的生产基地，其固有的生产惯性和能源惯性，导致短时间内发展新能源产业无法起到碳减排效果，长时间内碳减排可能有效；另一方面，从系数大小来看，西部地区的新能源产业系数为-0.3133，为三个区域中的最大值，说明西部地区的新能源产业在碳减排上的效果最为明显。该结果与西部地区是我国风能、水能和太阳能等新能源蕴藏基地相一致。

## 4.6 我国新能源产业对碳排放的影响机制检验

本部分的机制检验借鉴温忠麟（2014）提出的中介效应模型检验，首先，根据前文中对新能源产业对碳排放的理论机制分析，分别从能源结构效应、产业结构效应和经济规模效应设计中介效应检验模型。其次，根据中介效应模型进行中介效应的实证检验；最后，根据中介效应检验的实证结果，分析中介效应的实证结果。

### 4.6.1 能源结构效应检验

#### (1)能源结构中介效应模型构建

根据前文的理论机制发现，新能源产业与碳排放之间存在密切相关性。对此，本文选取碳排放作为被解释变量，新能源产业作为核心解释变量构建实证模型。同时，根据能源结构效应可知，新能源产业可借助于能源结构对碳排放产生影响。因此，将能源结构指标作为中介变量。相应的，在前人研究的基础上，选取地区环境规制程度（LNENV<sub>it</sub>）、对外直接投资（LNFDI<sub>it</sub>）、城镇化率（LNUL<sub>it</sub>）、对外依存度（LNOpen<sub>it</sub>）和自主创新程度（LNTC<sub>it</sub>）作为控制变量。具体模型设定如下：

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\text{LNENG}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta_2 \text{LNENG}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中，下标i、t代表不同的地区与时间，LNCE<sub>it</sub>表示碳排放水平，LNNEC<sub>it</sub>为新能源产业，LNENG<sub>it</sub>为能源结构， $\bar{X}$ 表示控制变量的集合；v<sub>i</sub>和v<sub>t</sub>分别代表地

区与时间固定效应； $\varepsilon$  表示随机扰动项。根据温忠麟（2014）中介效应检验流程，如果模型（4）、模型（5）、模型（6）估计结果中新能源产业系数显著时。那么，说明新能源产业对碳排放的影响机制中存在中介效应。

## （2）能源结构变量的选取

由于我国“富煤少油贫气”的能源禀赋基本盘，使我国成为为数不多以煤为主要能源消费的国家。因此，本文借鉴顾阿伦等（2016），将煤炭消费在能源消费总量中的占比表示能源结构。其中计算原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气和其他煤气共七种折标煤系数表示煤炭消费总量（如表4.8）。

表 4.8 具体能源的折标煤系数

原煤 (万吨)	洗精煤 (万吨)	其他洗煤 (万吨)	型煤 (万吨)	焦炭 (万吨)	焦炉煤气 (亿立方米)
0.7143	0.9000	0.2857	0.6000	0.9714	6.1530
其他煤气 (亿立方米)	原油 (万吨)	汽油 (万吨)	煤油 (万吨)	柴油 (万吨)	燃料油 (万吨)
3.5701	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286
液化石油气 (万吨)	炼厂干气 (万吨)	其他石油制品 (万吨)	天然气 (亿立方米)	热力 (千焦)	电力 (小时)
1.7143	1.5714	1.2000	1.3300	0.0341	1.2290

资料来源：《省级温室气体清单编制通则》（GB/T2589-2008）。

## （3）能源结构中介效应实证结果分析

根据前文的基准回归结果发现，新能源产业的确可以有效降低能碳排放。鉴于此，本文需进一步对其影响机制做中介效应检验，其结果如表4.9所示。在能源结构中介效应检验中：第一，模型（5）系数显著，则按中介效应立论展开分析；第二，模型（6）系数a显著，且统一后的模型（7）的系数b依旧显著，说明存在显著的间接效应；第三，模型（7）系数c'显著，说明存在直接效应，表明模型中可能存在其他中介变量；第四， $a \times b$ 与c'的符号相一致，证明存在能源结构的中介效应，即新能源产业会通过能源结构影响碳排放。从而证明影响机制的能源结构中介效应通过，表明新能源产业对碳排放的影响会通过能源结构效应实现，即增加新能源产业，能够动摇化石能源在能源结构中的地位，从能源结构效应出发实现降低碳排放的效果。进一步的，随着新能源在能源消费结构的比重

不断上升，新能源将发挥调整能源产业、推进战略性新兴产业发展，最终实现碳减排目标。因此，通过丰富太阳能、风能、生物能等新能源产业，降低煤炭在能源结构中的比重，可以在既定煤当量下维持经济增长的同时，形成更加清洁、低碳、高效的能源产业体系，大量降低二氧化碳的排放量。

表 4.9 能源结构的中介效应实证结果

	模型 (5)	模型 (6)	模型 (7)
被解释变量	LnCE	LNENG	LnCE
LNNEC	-0.8636***[c] (-31.52)	0.0467***[a] (6.70)	-0.7852***[c'] (-30.41)
LNENG	——	——	-1.6770***[b] (-10.89)
控制变量	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

## 4.6.2 产业结构效应检验

### (1) 产业结构中介效应模型构建

根据前文理论机制发现，新能源产业与碳排放之间存在密切相关性。对此，本文选取碳排放作为被解释变量，新能源产业作为核心解释变量构建实证模型。同时，根据产业结构效应可知，新能源产业可借助于产业结构对碳排放产生影响。因此，将产业结构指标作为中介变量。相应的，在前人研究的基础上，选取地区环境规制程度（LNENV<sub>it</sub>）、对外直接投资（LNFDI<sub>it</sub>）、城镇化率（LNUL<sub>it</sub>）、对外依存度（LNOpen<sub>it</sub>）和自主创新程度（LNTC<sub>it</sub>）作为控制变量。具体模型设定如下：

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\text{LNIS}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta_2 \text{LNIS}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$



其中，下标*i*、*t*代表不同的地区与时间， $LNCE_{it}$ 表示碳排放水平， $LNNEC_{it}$ 为新能源产业， $LNIS_{it}$ 为产业结构， $\bar{X}$ 表示控制变量的集合； $v_i$ 和 $v_t$ 分别代表地区与时间固定效应； $\varepsilon$ 表示随机扰动项。根据温忠麟（2014）中介效应检验流程，如果模型（8）、模型（9）、模型（10）估计结果中新能源产业系数显著时。那么，说明新能源产业对碳排放的影响机制中存在中介效应。

## （2）产业结构变量的选取

本文借鉴于春晖等（2011）用泰尔指数表示的产业合理化来衡量产业结构，可以更好的表示三次产业占比的合理化程度，记为(is)。可表示为：

$$is = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{Y} \right) \ln \frac{Y_i/L_i}{Y/L} \quad (11)$$

用 $Y_i/L_i=Y/L$ 表示产业合理化程度，当 $\ln \frac{Y_i/L_i}{Y/L} = 0$ ，即TL=0时，产业结构越趋于合理。因此，泰尔指数值越小表示产业结构越合理，反之亦然。

## （3）产业结构中介效应实证结果分析

根据前文的基准回归结果发现，新能源产业的确可以有效降低能碳排放。鉴于此，本文需进一步对其影响机制做中介效应检验，其结果如表4.10所示。在能源结构中介效应检验中：第一，模型（8）系数显著，则按中介效应立论展开分析；第二，模型（9）系数a显著，且统一后的模型（10）的系数b依旧显著，说明存在显著的间接效应；第三，模型（10）系数c'显著，说明存在直接效应，表明模型中可能存在其他中介变量；第四， $a \times b$ 与c'的符号相一致，证明存在产业结构的中介效应，即新能源产业会通过产业结构影响碳排放。从而证明影响机制产业结构的中介效应通过，表明新能源产业对碳排放的影响会通过产业结构效应实现，即新能源产业会带来产业结构整体转变，实现碳减排的既定目标。传统产业以高污染、高耗能的重化工为主，在带来经济增长的同时，也加重了全社会的碳排放负担。因此，发展新能源产业，有助于在全社会降低二氧化碳排放。进一步的，当发展新能源产业促使能源产业规模及相关产业链变动，会直接影响第二产业布局；而能源运输及仓储过程会间接影响第三产业规模。原因在于，能源作为地区经济发展的源动力，其与生产要素匹配形式的不同会带来社会分工水

平变动,促使以化石能源为基础的传统产业链,向以新能源为基础的现代产业链更替演变。可见,新能源产业会通过产业结构效应,实现降低碳排放的效果。

表 4.10 产业结构的中介效应实证结果

	模型 (8)	模型 (9)	模型 (10)
被解释变量	LnCE	LNEE	LnCE
LNNEC	-0.8636***[c] (-31.52)	0.1698***[a] (7.54)	-0.9213***[c'] (-33.27)
LNEE	——	——	-0.3400***[b] (-6.72)
控制变量	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性,括号内为 t 值。

数据来源: stata15.0 软件计算而得。

### 4.6.3 经济规模效应检验

#### (1) 经济规模中介效应模型构建

根据前文理论机制发现,新能源产业与碳排放之间存在密切相关性。对此,本文选取碳排放作为被解释变量,新能源产业作为核心解释变量构建实证模型。同时,根据经济规模效应可知,新能源产业可借助于经济规模对碳排放产生影响。因此,将经济规模指标作为中介变量。相应的,在前人研究的基础上,选取地区环境规制程度(LNENV<sub>it</sub>)、对外直接投资(LNFDI<sub>it</sub>)、城镇化率(LNUL<sub>it</sub>)、对外依存度(LNOpen<sub>it</sub>)和自主创新程度(LNNTC<sub>it</sub>)作为控制变量。具体模型设定如下:

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

$$\text{LNPGDP}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

$$\text{LNCE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNEC}_{it} + \beta_2 \text{LNPGDP}_{it} + \beta \bar{X} + v_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

其中,下标i、t代表不同的地区与时间,LNCE<sub>it</sub>表示碳排放水平,LNNEC<sub>it</sub>为新能源产业,LNPGDP<sub>it</sub>为经济规模, $\bar{X}$ 表示控制变量的集合; $v_i$ 和 $v_t$ 分别代表

地区与时间固定效应； $\varepsilon$  表示随机扰动项。根据温忠麟（2014）中介效应检验流程，如果模型（12）、模型（13）、模型（14）估计结果中新能源产业系数显著时。那么，说明新能源产业对碳排放的影响机制中存在中介效应。

### （2）经济规模变量的选取

经济规模(LNPGDP)。由于能源在经济社会发展中具有基础性地位，因此，经济发展过程与能源消耗往往呈现正向变动关系。最终，本文选取实际GDP与本省常住人口比值来代表该地区经济规模。

### （3）经济规模中介效应实证结果分析

根据前文的基准回归结果发现，新能源产业的确可以有效降低能碳排放。鉴于此，本文需进一步对其影响机制做中介效应检验，其结果如表4.11所示。在能源结构中介效应检验中：第一，模型（12）系数显著，则按中介效应立论展开分析；第二，模型（13）系数a显著，且统一后的模型（14）的系数b依旧显著，说明存在显著的间接效应；第三，模型（14）系数c'显著，说明存在直接效应，表明模型中可能存在其他中介变量；第四， $a \times b$ 与c'的符号相一致，证明存在产业结构的中介效应，即新能源产业会通过产业结构影响碳排放。从而证明影响机制产业结构的中介效应通过，表明新能源产业对碳排放的影响会通过产业结构效应实现，即经济发展离不开生产要素的投入，而能源作为社会化大生产中不可或缺的原材料，决定着经济发展的方式和方向。因此，当新能源作为生产要素投入到生产中去时，在扩大经济规模，促进低碳经济发展的同时，有利于碳减排效果的实现。进一步来说，随着科技进步和新能源市场化运作的成熟，新能源作为生产要素发展新能源经济，扩大新能源产业规模就成为新的经济增长点。因此，新能源产业通过经济规模效应，能够在实现经济发展的同时，大幅度降低我国的碳排放水平。

表 4.11 经济规模的中介效应实证结果

	模型（12）	模型（13）	模型（14）
被解释变量	LnCE	LNPGDP	LnCE

LNNEC	-0.8636***[c] (-31.52)	0.3879***[a] (13.83)	-0.2741***[c'] (-6.72)
LNP GDP	——	——	-0.9706***[b] (-31.55)
控制变量	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

## 5 我国新能源产业对碳排放的空间溢出效应测算分析

本章基于邻近地区、低碳技术创新、人力资本流动空间溢出途径，对新能源产业对碳排放的空间溢出效应测算分析集中在三个方面的讨论：第一，新能源产业与碳排放的空间相关性分析；第二，新能源产业与碳排放的空间面板回归分析；第三，新能源产业对碳排放的空间溢出效应分析。

### 5.1 空间计量模型的设定及空间权重矩阵构建

#### 5.1.1 Moran's I 指数

通常来说，构建空间计量模型的前提是存在空间相关性。而空间自相关就是空间相关性的重要指标，可以辨别出不同区域之间的观测变量值的相互依赖关系。具体来说，在进行空间计量测算时，需要先作空间自相关检验，从而保证运行空间计量模型时，存在空间溢出效应。具体来说，现有研究多使用Moran's I指数来测算变量间的空间相关性，该指数的计算公式如下：

$$\text{Moran's I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_i \sum_j W_{ij}} \quad (15)$$

$$I_i = \frac{1}{S^2} ((x_i - \bar{x}) \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x})) \quad (16)$$

其中， $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$ ， $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ 。  $W_{ij}$  为空间权重矩阵，用于描述区域  $i$  和区域  $j$  空间关系的权重矩阵；  $n$  为省份数量。  $x_i$  和  $x_j$  分别为区域  $i$ 、区域  $j$  的变量观测值，  $\bar{x}$  为30个省份某变量的平均值。Moran's I指数的值为负时，说明某观测变量区域间的空间关联性呈现负向变动关系，即区域间的空间联系越强，该观测值的空间效应越小；同理，当Moran's I指数的值为正时，说明某观测变量区域间的空间关联性呈现正向变动关系，即区域间的空间联系越强，该观测值的空间效应越大；若该变量的Moran's I指数为零，表示该变量不具有空间相关性。

## 5.1.2 空间溢出途径分析

### (1) 基于邻近地区的溢出

根据空间效应的基本含义可以发现,首先,空间效应是在地理维度下的空间视角分析解释变量与被解释变量之间的关系。因此,最为常见的用于表示空间矩阵的变量多使用地区间的在地理层面上是否靠近,以及地区间在经济发展上是有联系的,空间权重矩阵表示。而进行空间计量模型构建的空间相关性测算时,需要先就被研究问题——被解释变量的空间相关性做出相关的测算,从而通过空间相关性的测量找到变量间不同地区的差异性,来判断地区间的空间距离影响下是否存在关联性。因此,通过邻近地区的空间溢出是最为常见和直接的空间溢出。

其次,在空间计量经济学中,经济主体与周边经济客体的测量中,距离是衡量二者经济联系的最直观指标。一般来说,当经济主体与周边经济客体的距离越近,那么说明二者在市场上的互动性联系越强;反之,当距离越远时,他们的联系也就越少。

### (2) 基于突破性低碳技术创新的溢出

在研究空间关联性时,有学者从技术创新的角度分析不同地区间的空间溢出效应。例如,魏新颖、王宏伟等人(2019)依托是我国战略性新兴产业的省级数据设计空间权重矩阵,以分析空间计量下的技术创新带来的空间关联性。发现技术创新在经济主体与周边经济客体之间存在空间关联性,即我国高新技术产业会随着技术创新的技术路径实现空间溢出。据此可以得到,低碳技术在地理层面存在空间传导路径,构建突破性低碳技术的方式,能够找到它们之间的空间特征。所以,新能源产业过程中,会根据突破性低碳技术这条路径实现空间效应的溢出,具体来说,新能源产业对碳排放的空间溢出效应可通过突破性低碳技术创新这条路径实现:新能源产业在发展过程中,需要大量低碳技术的支持,从而在技术层面突破低碳产业发展的瓶颈。因此,新能源产业在发展过程中,通过突破性低碳技术的路径在空间层面实现对碳排放的影响。对此,我国已有文献对该路径展开相关分析。例如,倪超军,马雪琴(2017)就通过PVAR的实证分析,从省级层面检验了,提升低碳技术有助于我国碳排放水平的下降,成为我国发展低碳化经济

模式的重要途径。

### （3）基于人力资本流动的溢出

人力资本是经济发展过程中的重要生产要素，同时人力资本本身具有的流动性，也会以空间溢出效应的途径对周边地区产生影响。对此，本文的人力资本主要为新能源产业的相关人才，这是因为新能源产业发展中，离不开人力资本的支持。例如，Lucas（1988）提出人力资本溢出效应模型，认为人力资本是溢出效应的重要组成部分。具体来说，人力资本会借助于人与人之间的相互学习和人才流动，实现人力资本的溢出效应，实现每个人生产效率的提升，最终对团队整体产生正向促进作用。

同理，将人力资本的溢出途径放在新能源产业的发展上也会产生空间溢出效应。在市场经济范围内，随着以劳动力为主的人力资本流动，有关新能源产业的人才随着市场的调节，实现新能源产业的人力资本在不同地区间的流动。因此，从经济主体的新能源产业的人力资本流向周边经济客体时，就会促进周边地区的碳减排。据此，通过上述的人力资本流动的传导路径，新能源产业可以借助于新能源人才的流动实现空间层面的碳减排。

## 5.1.3 空间权重矩阵的构建与模型设定

相比于传统计量经济学，空间经济学的区别在于需要引入空间权重矩阵，进而对模型的变量的空间关系进行测算。具体来说，传统计量经济学仅针对回归模型进行测算，而空间计量经济学需要通过构建空间权重实现变量间的空间测算。

### （1）空间权重矩阵的构建

对此，本文依托2003-2020年新能源产业及碳排放数据进行全局空间自相关检验。并依托三种空间权重矩阵测算空间溢出效应，具体如下：

①地理距离空间权重矩阵。根据空间计量经济学的传统观点，区域间的地理距离是评价不同区域间的重要影响因素，能够衡量区域间的互动联系。通常来说，两区域之间距离越远，那么它们之间的经济联系也就越差。因此，本文通过地理位置构建地理距离空间权重矩阵（ $W_d$ ）其中 $i, j$ 表示两个不同地区， $d$ 表示两地

区之间的距离:

$$W_d = \begin{cases} \frac{1}{d^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (17)$$

②低碳技术距离空间权重矩阵。在空间计量关系上面,要素流动提高了空间密集水平。例如,技术就可以在区域间实现流动,从而在空间层面形成技术传导路径。因此,本文将低碳技术创新作为新能源产业对碳排放空间溢出效应的传导路径,即新能源产业借助于低碳技术实现低碳创新技术的突破。据此,低碳技术距离空间权重矩阵的计算公式如下:

$$W_e = W_d \text{diag} \left( \frac{\text{Tech}_1}{\text{Tech}}, \frac{\text{Tech}_2}{\text{Tech}}, \frac{\text{Tech}_3}{\text{Tech}} \dots \dots \right) \quad (18)$$

③环保人才距离空间权重矩阵。在经济发展过程中,人力资本作为重要的生产要素,对经济增长有着不可替代的重要性。同样,人才也会随着人力资本的流动,由中心地区向周边地区扩散。对此,本文根据白永亮,石磊(2019)的环保人才构建方法,构建环保人才距离空间权重矩阵,具体公式表示为:

$$W_e = W_d \text{diag} \left( \frac{\text{Talent}_1}{\text{Talent}}, \frac{\text{Talent}_2}{\text{Talent}}, \frac{\text{Talent}_3}{\text{Talent}} \dots \dots \right) \quad (19)$$

其中,  $W_d$ 表示地理空间权重矩阵,  $\text{Talent}_i$ 表示第*i*省环保人才的平均数。同时,  $\text{Talent}$ 代表全部省级单位的环保人才总数的平均值。并且,上述环保人才数据均从我国环境保护数据中整理所得。

## (2) 空间溢出效应模型设定

在涉及空间计量经济模型的实证分析中,使用到的模型有空间自回归模型(SAR)和空间误差模型(SEM)。在空间自回归模型(SAR)中,认定为因变量会通过空间相互作用对周边地区产生经济活动的影响;而空间误差模型(SEM)假设模型中的误差项具有空间依赖性的。然而,在许多情况下,个体的解释变量在空间上依赖于其他个体的解释变量。同时包含上述两种空间传导机制的有空间杜宾模型,也被称作空间交互模型(SDM)以及空间交叉模型(SAC)。其中,(20) - (23)式所列的空间计量模型,(20)式(21)式分别为SDM模型和SAC模型,而(22)式(23)式是在对SDM和SAC模型去除一定条件后的SAR模型和SEM模型。

$$\ln \text{CO}_{2it} = \alpha_0 + \delta W \ln \text{CO}_{2it} + \alpha_1 \ln \text{EC}_{it} + \alpha_2 \ln \text{EI}_{it} + \alpha_3 \ln \text{PGDP}_{it}$$



$$+ \beta \bar{X} + \theta_1 W \ln EC_{it} + \theta_2 W \ln EI_{it} + \theta_3 W \ln PGDP_{it} + \theta_4 W \bar{X} + \varepsilon_{it} \quad (20)$$

$$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \delta W \ln CO_{2it} + \alpha_1 \ln EC_{it} + \alpha_2 \ln EI_{it} + \alpha_3 \ln PGDP_{it} + \beta \bar{X} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \lambda W \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (21)$$

如若去除空间杜宾模型（SDM）的空间交互作用，则（20）式变为只保留单向空间相关，即 $\theta_i = 0$ （ $i = 1, \dots, 5$ ）时，或者SAC模型中的空间误差项系数 $\lambda = 0$ ，（21）式则变成空间自回归模型（SAR）。

$$\begin{aligned} \ln CO_{2it} = & \alpha_0 + \delta W \ln CO_{2it} + \alpha_1 \ln EC_{it} + \alpha_2 \ln EI_{it} + \alpha_3 \ln PGDP_{it} \\ & + \beta \bar{X} + \theta_1 W \ln EC_{it} + \theta_2 W \ln EI_{it} + \theta_3 W \ln PGDP_{it} + \theta_4 W \bar{X} \end{aligned} \quad (22)$$

如果空间杜宾模型（SDM）中的空间滞后项系数 $\delta = 0$ ，和（20）式中的空间回归系数 $\beta_i$ 同时符合 $\theta_i = -\delta\beta_i$ 时，抑或空间交叉模型（SAC）的空间滞后项系数 $\delta = 0$ ，便可以得到空间误差模型（SEM）。

$$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \ln EC_{it} + \alpha_2 \ln EI_{it} + \alpha_3 \ln PGDP_{it} + \beta \bar{X} + \varepsilon_{it} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{it} = \lambda W \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

由于，空间计量模型的选择对于具体问题的研究至关重要，为了选取本文拟合效果最合理的空间计量模型。本文先分别设定和报告了SAR、SEM、SAC以及SDM模型的检验结果，在根据相关检验做出模型选择。

## 5.2 空间溢出效应测算结果分析

### 5.2.1 空间相关性检验

在空间相关性检验方面，基于低碳技术距离空间权重矩阵、地理距离空间权重矩阵和环保人才距离空间权重矩阵，用Moran's I指数核算碳排放的空间相关性。具体结果见表5.1。可见，在三种不同的空间权重下，碳排放的Moran's I指数值均通过了显著性检验，其结果也在0以上，说明碳排放之间存在显著的空间相关性，我国在碳排放上面具有空间集聚的特点，这也为后文检验空间溢出效应提出了可能。因此，可以发现新能源产业发展会通过空间传导路径影响其他地区的碳排放。

表 5.1 碳排放的全局自相关Moran's I指数

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
碳排放	地理距离矩阵	I	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
		P	42	45	50	53	39	36	27	29	29	27	22	28	29
	低技术距离矩阵	I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		P	25	23	20	19	27	29	35	33	34	32	32	33	36
	低技术距离矩阵	Z	1.9	1.9	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
		I	64	89	50	79	27	01	12	33	27	22	35	91	33
	人才距离矩阵	I	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.71	0.6	0.6	0.6	0.71
		P	26	22	20	34	37	32	39	41	1	91	92	92	11
	人才距离矩阵	P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0
		Z	14	15	15	14	13	13	12	12	06	1	13	07	14
	环保人才距离矩阵	Z	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.2	2.3	2.2	2.4
		I	00	77	72	09	27	19	53	64	96	31	01	34	31
	人才距离矩阵	I	0.1	0.1	-0.0	0.1	0.1	-0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		P	43	46	4	54	40	5	28	30	30	53	33	54	61
人才距离矩阵	P	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Z	25	23	67	19	27	39	35	33	34	33	32	33	41	
人才距离矩阵	Z	1.9	1.9	-0.0	2.0	1.9	-0.1	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	
	I	66	90	8	80	28	5	13	36	30	22	32	43	12	

## 5.2.2 空间面板估计

### (1) 空间面板模型的检验

在进行空间面板分析之前,需要针对本文的研究问题确定合适的空间计量模型,具体来说:

第一,根据Hausman检验结果,决定应该选择固定效应模型,还是随机效应模型,结果显示三种空间权重矩阵均通过了豪斯曼检验,说明本文应当在固定效应模型下展开空间面板分析。

第二,进一步对选择固定效应下对空间计量模型做LM检验,从SEM、SAR、SAC和SDM模型中选择适合本文分析的模型。结果显示(如表5.2),通过LM检验可知三种空间权重矩阵下,均有可能在空间杜宾模型LM检验。因此,需进一步通过Wald

检验和LR检验来判定空间杜宾模型能否退化回空间滞后模型和空间误差模型。

第三,根据Wald检验和LR检验可知,其均通过了显著性检验,本文决定选择空间杜宾模型(SDM)作为适合本文分析地模型。

表 5.2 三种空间权重矩阵下统计检验结果

	检验统计量	地理距离空间 权重矩阵	低碳技术距离 空间权重矩阵	环保人才距离空间 权重矩阵
Hausman 检验	chi2(3)	8.15	5.35	7.38
	probability	0.033	0.1354	0.0423
	LM lag	0.066	18.912***	3.227**
LM 检验	Robust LM lag	0.072	72.121***	3.022**
	LM error	0.006	35.435***	2.277*
	Robust LM error	0.004	41.282***	3.267*
Wald 检验	chi2(3)	36.12	29.55	36.92
	probability	0.0000	0.0000	0.0000
LR 检验	chi2(3)	29.45	26.33	29.42
	probability	0.0000	0.0000	0.0000

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性,括号内为 t 值。

数据来源: stata15.0 软件计算而得。

根据表5.3的回归结果发现:

第一,在三种空间权重矩阵下,Hausman固定效应检验结果说明本模型有较强的显著性水平,即说明模型通过了Hausman固定效应检验,表明固定效应模型更适合本文的分析,得到的实证结果更具有说服力。

第二,本文在经过Hausman检验结果确定使用固定效应进行实证分析之后,就需要判断本文是否适用于空间自回归模型(SAR)还是空间误差模型(SEM),而用到的检验方法就是LM检验。此时,LM检验是否通过的评价标准:“如果在空间自回归的检验中发现LM-lag比LM-err在统计上更加显著,并且R-LMlag显著而R-LMerr不显著,则可以断定空间自回归模型是恰当的空间自回归表达形式;相反,如果发现空间误差模型的LMerr比LMlag在统计上更加显著,且R-LMerr显著而R-LMlag不显著,则可以断定空间误差是合适的空间自回归模型。”实证结果发现,在三种空间权重矩阵下,无论是空间自回归模型(SAR)还是空间误差模型(SEM)的结果均显著,无法通过LM检验判断出适合本文使用空间自回归模型(SAR)还是空间误差模型(SEM)。因此,就需要在此基础上进行LR检验和Wald检验。

第三, LR检验和Wald检验均是用来判断模型是否适用于空间杜宾模型(SDM)的检验方法, 在大多数情况下, 二者的检验结果高度一致, 并且, 现有阶段常用以LR检验文章是否适用于空间杜宾模型(SDM), Wald检验多用以辅助检验, 结果显示, 在三种空间权重矩阵下, LR检验和Wald检验均通过了显著性, 即说明空间杜宾模型(SDM)无法退化回到空间自回归模型(SAR)或空间误差模型(SEM), 表示本文应当选择空间杜宾模型(SDM)进行实证分析。

## (2) 空间面板估计结果分析

根据表5.3的三种空间权重矩阵下的模型估计结果可以发现, 从整体上来看, 在三种空间权重矩阵下, 新能源产业均在空间层面对碳排放有显著的影响。具体来说, 首先, 在地理距离空间权重矩阵方面, 新能源产业系数为-0.8742, 且在1%的显著性水平上显著, 即新能源产业会通过地区间的邻近关系实现降低碳排放的效果; 其次, 在低碳技术距离空间权重矩阵方面, 新能源产业系数为-0.7822, 且在10%的显著性水平上显著, 即新能源产业会通过地区间的低碳技术实现降低碳排放的效果; 最后, 在在环保人才距离空间权重矩阵方面, 新能源产业系数为-0.5372, 且在5%的显著性水平上显著, 即新能源产业会通过地区间的环保人才实现降低碳排放的效果。

表 5.3 三种空间权重矩阵下的模型估计结果

变量类型	变量名称	地理距离空间权重矩阵	低碳技术距离空间权重矩阵	环保人才距离空间权重矩阵
解释变量	LNNEC	-0.8742*** (-7.32)	-0.7822* (-1.86)	-0.5372** (-1.98)
	LNENV	-2.3432 (-0.34)	-1.7264 (-0.54)	-0.9821 (-0.89)
	LNFDI	-0.0563*** (-2.60)	-0.0982*** (-3.34)	-1.0012*** (-2.90)
控制变量	LNUL	-6.9032** (-2.23)	-7.7623*** (-7.93)	-3.2932* (-1.92)
	LNOpen	-0.9823*** (-10.22)	-0.6433** (-2.47)	-0.6679*** (-11.35)
	LNTC	-1.0932* (-1.89)	-1.0092 (-0.12)	-0.9891* (-0.172)

p	0.023	0.001	0.000
R-sq	0.6722	0.6982	0.5992

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性，括号内为 t 值。

数据来源：stata15.0 软件计算而得。

### 5.2.3 空间溢出效应分解

在表5.3的基础上，分别对三种空间权重矩阵下的空间溢出效应做偏微分分解，具体如表5.4所示。

#### (1) 新能源产业对碳排放的直接效应分析

根据表5.4中三种不同的空间权重矩阵，即地理距离空间权重矩阵、低碳技术距离空间权重矩阵和环保人才距离空间权重矩阵的直接效应系数的实证结果可以发现。在直接效应方面，中心区域的新能源产业能够对本区域的碳排放有显著的影响效果。具体来说，在地理距离空间权重矩阵下，其直接效应系数为-0.8923，且在1%显著性水平上显著；在低碳技术距离空间权重矩阵下，其直接效应系数为-0.1237，且在10%显著性水平上显著；在环保人才距离空间权重矩阵下，其直接效应系数为-0.7678，且在5%显著性水平上显著。例如，北京的新能源产业能够对降低北京本区域的碳排放水平。该结果验证了前文中的基准回归结果，即发展新能源产业是实现节能减排，发展低碳经济的重要手段。

#### (2) 新能源产业对碳排放的间接效应分析

根据表5.4中三种不同的空间权重矩阵，即地理距离空间权重矩阵、低碳技术距离空间权重矩阵和环保人才距离空间权重矩阵的间接效应系数的实证结果可以发现。在间接效应方面，中心区域的新能源产业能够对周边区域的碳排放有显著的影响效果。例如，北京的新能源产业能够降低周边区域的碳排放水平，像对河北、天津的二氧化碳排放有碳减排效果。具体来说，在地理距离空间权重矩阵下，其间接效应系数为-0.5732，且在1%显著性水平上显著；在低碳技术距离空间权重矩阵下，其间接效应系数为-0.2292，且在10%显著性水平上显著；在环保人才距离空间权重矩阵下，其间接效应系数为-0.6689，且在5%显著性水平上显著。进一步来说，新能源产业会通过地理距离、低碳技术距离和环保人才距离

三种空间溢出途径实现空间效应的溢出,从中心区域影响周边区域的碳排放水平。

### (3) 新能源产业对碳排放的总效应分析

根据表5.4中三种不同的空间权重矩阵,即地理距离空间权重矩阵、低碳技术距离空间权重矩阵和环保人才距离空间权重矩阵的直接效应系数的实证结果可以发现。在总效应方面,新能源产业能够对本区域和其他区域的碳排放有显著的影响效果。具体来说,在地理距离空间权重矩阵下,其直接效应系数为-0.8945,且在1%显著性水平上显著;在低碳技术距离空间权重矩阵下,其直接效应系数为-0.3471,且在1%显著性水平上显著;在环保人才距离空间权重矩阵下,其直接效应系数为-0.7832,且在5%显著性水平上显著。例如,北京的新能源产业不仅能够降低北京本区域的碳排放水平,同时还能对其他区域的碳排放水平有抑制效果,即发展新能源产业是实现节能减排,发展低碳经济的重要手段。总体来看,新能源产业对碳排放具有负溢出效应,有助于碳减排及低碳经济的发展。

表 5.4 空间溢出效应的分解

效应	变量名称	地理距离空间权重矩阵	低碳技术距离空间权重矩阵	环保人才距离空间权重矩阵
直接效应	LNNEC	-0.8923*** (-3.45)	-0.1237* (-1.78)	-0.7678** (-2.22)
间接效应	LNNEC	-0.5732*** (-7.91)	-0.2292* (-1.86)	-0.6689** (-2.54)
总效应	LNNEC	-0.8945*** (-7.22)	-0.3471*** (-5.69)	-0.7832** (-2.34)
	p	0.023	0.001	0.000
	R-sq	0.6722	0.6982	0.5992

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表 10%、5%、1%水平下的显著性,括号内为 t 值。

数据来源: stata15.0软件计算而得。

## 6 研究结论及对策建议

### 6.1 研究结论

本文基于我国2003-2020年新能源产业和碳排放数据,从理论和实证两方面探究新能源产业与碳排放之间的关系,并通过构建中介效应模型验证新能源产业对碳排放的影响机制。此外,进一步研究新能源产业对碳排在空间层面的影响。因此,本文结论主要有:

(1) 运用多元面板模型测算新能源产业对碳排放的影响作用,结果显示,新能源产业能够有效抑制二氧化碳排放。并对该基准回归结果进行多种稳健性检验,以确保基准回归结果的稳健性与可靠性。

(2) 运用中介效应模型分析新能源产业对碳排放的影响机制,结果显示,新能源产业对碳排放的影响机制为新能源产业通过能源结构效应、产业结构效应、经济规模效应抑制碳排放。

(3) 对空间溢出效应测算发现,在地理距离、低碳技术和环保人才三种空间溢出途径,新能源产业对碳排放均具有较强的负向空间溢出效应。具体来说:在直接效应方面,新能源产业在三种空间溢出途径下对碳排放的影响显著为负,说明中心地区新能源产业能够对自身碳排放起到抑制效果;在间接效应方面,新能源产业在三种空间溢出途径下对碳排放的影响显著为负,说明中心地区的新能源产业对周围地区的碳排放有显著的抑制效果;在总效应方面,新能源产业在三种空间溢出途径下对碳排放的总效应都显著为负,说明中心地区的新能源产业对整体区域的碳排放有显著的抑制效果。因此,从空间层面来看,发展新能源产业有利于碳减排,有利于促进低碳经济的发展。

### 6.2 对策建议

#### 6.2.1 政府应根据新能源产业发展阶段采取不同发展战略

在经济发展的初始阶段,世界各地均将发展重点放在资源及能源的建设上,政府并默许依靠大量化石能源消耗换取经济的高速增长。此后,随着经济社会进

入中后期，政府开始鼓励引进先进的新能源技术。因此，政府就需选择灵活、多变的措施支持新能源产业发展。具体来说，第一，政府应当重点发展水电能源。在所有的新能源中，绝大部分新能源，包括太阳能、生物能源及核能等，都需要大量的先进技术作为依托，且前期的投入成本较大。然而，我国在新能源技术的应用和开发上仍处在起步阶段，相关新能源技术所需的人力资本与研发投入都无法及时得到满足。此时，水电作为新能源技术中相对简单的一种，其技术应用更为成熟。此外，由于我国三级阶梯式的地势，使我国本就蕴藏了大量的水电资源。所以，我国应当在新能源发展的开始阶段，深度挖掘已有的地势落差，带来的丰富水电资源；第二，积极引进和学习海外先进新能源技术。由于国外在新能源产业发展上具有的先发优势，现有的绝大部分新能源技术均掌握在发达国家手中，我国在短时间内无法攻克的技术难题，就可以选择与国外先进新能源企业合作的方式，提升我国企业的新能源应用技术。最后，随着经济的深入发展，化石能源在环境污染和能源效率上，显露出的问题越来越多。对此，我国各级政府应当积极发挥各地的地理优势，如西藏、青海等，位于我国西南地区，其地势较高，不仅光照充足，并且地底蕴藏大量的地热资源，同时，像甘肃、新疆等，位于我国西北地区，其常年温差大，使该地区拥有充分的风能源资源。总的来说，尽管现阶段新能源价格高于传统火力发电，在一定程度上制约了新能源产业的发展。

### 6.2.2 发展清洁能源，优化能源结构

由结论可知，能源结构是新能源产业影响碳排放水平的重要影响机制。对此，政府应当充分发挥我国已有的新能源优势，并借助于科学技术大力开发新能源，以此实现清洁能源结构的优化。根据已有观点认为，我国在煤炭上具有相当的资源禀赋。与此同时，我国还是太阳能、风能、水能等新能源的储量大国。本文研究发现，新能源能够有效降低二氧化碳的排放，通过发展新能源的方式有助于实现我国能源结构优化。其本质在于，增加清洁能源等新能源产业，能够动摇化石能源在能源结构中的地位，从能源结构效应出发实现降低碳排放的效果。具体来说，第一，构建现代能源体系。要基于我国已有的能源禀赋现状与我国能源结构优化条件，构建新时代能源体系，从而形成绿色能源基地建设，推动能源产业绿色转型、低碳发展。第二，增大清洁能源占比。在优化清洁能源结构过程中，



随着新能源在能源消费结构的比重不断上升,新能源将发挥调整能源产业、推进战略性新兴产业发展,最终实现碳减排目标。因此,通过丰富太阳能、风能、生物能等新能源产业,降低煤炭在能源结构中的比重,可以在既定煤当量下维持经济增长的同时,形成更加清洁、低碳、高效的新能源产业体系,大量降低二氧化碳的排放量;第三,要建设安全、灵活、高效的新型电力系统。目前,新能源并不能直接使用,而是通过转变成一次电力的方式,进而传输至千家万户。因此,我国要基于新能源现有发展阶段和传统能源成本低的优势,建设安全、灵活的高效新型能源电力系统。

### 6.2.3 新能源开发与产业发展相互促进

由结论可知,产业结构是新能源产业影响碳排放水平的重要影响机制。对此,要想真正实现碳排放水平的下降,就要实现新能源开发与产业发展相互促进,发挥好产业结构效应对碳排放的碳减排效果。具体来说,第一,继续壮大新能源产业规模。在发展水能、风能、太阳能等新能源产业时,政府要给予相关金融、政策扶持,从而实现新能源产业的规模化生产;第二,帮助传统企业实现绿色转型升级。现阶段,我国仍旧以传统化工企业为主,产业结构也以重化工企业占主导地位。因此,需要发展低碳产业,优化产业布局。这是源于增大水能、风能、太阳能等新能源产业在社会能源消费中的占比,并非直接改变人们的用能方式,更多是通过发展新能源产业,优化现有产业结构,间接实现消费新能源的目标;第三,加快提升新能源产业技术水平。通过发展新能源的新技术,例如通过风力发电机组、逆变器、高效太阳能电池和集热器、氢燃料电池等研发,使我国在储能技术、充电方式上获得较大的技术突破,从而从科技视角提升新能源产业的广泛应用;第四,巩固已有新能源产业的领先地位。例如,针对已经在新能源产业发展上做出一定成绩的隐形冠军企业,并围绕这些企业,构建稳健的配套产业链体系,形成上下游互补、产业配套的新能源产业发展模式。

### 6.2.4 发展新能源产业,扩大低碳经济规模

政府应当加大对新能源产业的扶持力度,从而快速形成新的经济增长点,进而通过扩大低碳经济规模的方式,实现碳减排的既定目标。这是源于,经济发展

离不开生产要素的投入，而能源作为社会化大生产中不可或缺的原材料，决定着经济发展的方式和方向。因此，当新能源作为生产要素投入到生产中去时，在扩大经济规模，促进低碳经济发展的同时，有利于碳减排效果的实现。具体来说，新能源产业体现了经济发展的可持续性，而可持续发展的重要体现之一就是减少化石能源的燃烧，增加新能源产业以降低碳排放。在过去，尽管新能源一直存在，但由于技术水平和开发成本的原因，新能源无法像化石能源一样，作为生产要素投入到生产。因此，依托化石能源发展而来的产业带来经济增长的同时，排放的二氧化碳等温室气体也严重破坏了周边的生态环境。如今，随着科技进步和新能源市场化运作的成熟，新能源作为生产要素发展新能源经济，扩大新能源产业规模就成为新的经济增长点。因此，政府在能源政策、产业政策以及资金等方面应当给予对新能源产业一定的帮助。从而在低碳产业方面形成经济规模，最终实现大幅度降低我国碳排放水平的目标。

### 6.2.5 加强区域间的合作，实现低碳“共赢”

由结论可知，新能源产业对碳排放的影响作用并非单一，还存在空间层面影响。对此，应当加强区域间合作，实现低碳“共赢”。第一，从整体来说，实现全国范围内的碳减排，并非是单个区域能够独立完成的，它需要各个区域根据自身比较优势进行合作，实现降低碳排放的效果。例如，在技术上，不同省份依托自身技术特点，互相学习和借鉴各自的低碳技术，以实现取长补短，缓解各省经济压力；第二，从政策制定上来说，各个省份之间应当建构起互助学习的模式，从高效地制定符合自身实际情况的低碳政策，降低政策探索成本；第三，从不同区域来看，首先，我国东部地区经济发展早，其对能源的消耗也相对较大，导致东部地区在能源上存在依赖国外能源的问题。对此，东部地区应当有步骤的实施战略转型，提高能源利用效率；其次，根据我国现阶段煤炭禀赋情况，我国中部地区是重要的煤炭产地。因此，中部地区需要着重发展包括太阳能、生物能等清洁能源；最后，西部政府应当制定合理的扶持政策，在资金上面加大扶持力度，减少新能源企业因研发投入不足导致自主创新能力降低。因此，不同区域间要基于自身的低碳优势，加大与其他区域间的合作，从而实现低碳“共赢”的目标。

## 参考文献

- [1] Amri F. Intercourse across economic growth, trade and renewable energy consumption in developing and developed countries[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 69: 527-534.
- [2] Azam M, Othman J, Begum R A, et al. Energy consumption and emission projection for the road transport sector in Malaysia: An application of the LEAP model[J]. *Environment, development and sustainability*, 2016, 18(4): 1027-1047.
- [3] Barnes J A. Class and committees in a Norwegian island parish[J]. *Human relations*, 1954, 7(1): 39-58.
- [4] Bilgili F, Koçak E, Bulut Ü. The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2 emissions: a revisited Environmental Kuznets Curve approach[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54: 838-845.
- [5] Burt R S. *Structural Holes*. Cambridge[J]. MA: HarvardUniversity, 1992.
- [6] Dong K, Hochman G, Zhang Y, et al. CO2 emissions, economic and population growth, and renewable energy: empirical evidence across regions[J]. *Energy Economics*, 2018, 75: 180-192.
- [7] Emir F, Bekun F V. Energy intensity, carbon emissions, renewable energy, and economic growth nexus: new insights from Romania[J]. *Energy & Environment*, 2019, 30(3): 427-443.
- [8] Green F, Stern N. China's changing economy: implications for its carbon dioxide emissions[J]. *Climate policy*, 2017, 17(4): 423-442.
- [9] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement[J]. 1991.
- [10] Hayashi K, Hondo H, Moriizumi Y. Preference construction processes for renewable energies: assessing the influence of sustainability information and decision support methods[J]. *Sustainability*, 2016, 8(11): 1114.
- [11] Jónsson T, Pinson P, Madsen H. On the market impact of wind energy forecasts[J]. *Energy Economics*, 2010, 32(2): 313-320.
- [12] Kahia M, Aïssa M S B, Charfeddine L. Impact of renewable and non-renewable

- energy consumption on economic growth: New evidence from the MENA Net Oil Exporting Countries (NOECs)[J]. *Energy*, 2016, 116: 102-115.
- [13] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[J]. Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, May, 1989.
- [14] Leontief W. Air pollution and the economic structure: empirical results of input-output computations[J]. *Input-output techniques*, 1972.
- [15] Lin B, Xu B. How to promote the growth of new energy industry at different stages?[J]. *Energy Policy*, 2018, 118: 390-403.
- [16] Shahbaz M, Loganathan N, Zeshan M, et al. Does renewable energy consumption add in economic growth? An application of auto-regressive distributed lag model in Pakistan[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 44: 576-585.
- [17] Tudor C. Predicting the evolution of CO<sub>2</sub> emissions in Bahrain with automated forecasting methods[J]. *Sustainability*, 2016, 8(9): 923.
- [18] Wakiyama T, Kuramochi T. Scenario analysis of energy saving and CO<sub>2</sub> emissions reduction potentials to ratchet up Japanese mitigation target in 2030 in the residential sector[J]. *Energy Policy*, 2017, 103: 1-15.
- [19] Zafar M W, Shahbaz M, Hou F, et al. From nonrenewable to renewable energy and its impact on economic growth: the role of research & development expenditures in Asia-Pacific Economic Cooperation countries[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 212: 1166-1178.
- [20] 安虎森, 空间经济学原理[M]. 北京: 经济科学出版社, 2005:38-69.
- [21] 白永亮, 石磊. 长江经济带科技创新的空间溢出——效应测度、路径识别与协同放大[J]. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2019, 72(01):121-134. 2019.01.011.
- [22] 陈前利, 马贤磊, 石晓平, 邹旭, 蓝菁. 工业用地供应行为影响工业能源碳排放吗?——基于供应规模、方式与价格三维度分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(12):57-67.
- [23] 谌微微, 许茂增, 邢青松. 新能源产业发展供给单业态服务链契约设计[J]. *软科*

- 学,2020,34(03):88-95.
- [24]范玉仙.电力空间贸易与地区“能源诅咒”的化解[J].湖南科技大学学报(社会科学版),2019,22(06):57-65.
- [25]冯梅,杨桑,郑紫夫.碳排放影响因素的 VAR 模型分析——基于北京市数据[J].科学管理研究,2018,36(05):78-81.
- [26]干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,46(05):4-16+31.
- [27]宫倩楠,王莹莹,童玉芬.京津冀人口对碳排放的压力:空间格局及变动分析[J].首都经济贸易大学学报,2020,22(02):56-67.
- [28]顾阿伦,吕志强.经济结构变动对中国碳排放影响——基于 IO-SDA 方法的分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(03):37-45.
- [29]郭本海,彭莹,薛会娟.知识互溢视角下新能源产业发展汽车产业链功能演化 GERT 网络模型研究[J].科技进步与对策,2021,38(02):65-74.
- [30]郭扬,李金叶.“社会人”假说下中国新能源产业发展替代化石能源的驱动机制研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(11):30-40.
- [31]韩楠.基于供给侧结构性改革的碳排放减排路径及模拟调控[J].中国人口·资源与环境,2018,28(08):47-55.
- [32]韩媛媛,皮荷杰,时泽楠,吕儒云,廖剑宇.京津冀地区工业 CO<sub>2</sub> 排放测度及其影响因素研究[J].世界地理研究,2020,29(01):140-147.
- [33]洪开荣.空间经济学的理论发展[J].经济地理, 2002,(1):1-4.
- [34]李倩,赵彦云,刘冰洁.新能源产业发展产业政策的量化分析及其环保效应[J].北京理工大学学报(社会科学版),2021,23(04):30-39.
- [35]林伯强,李江龙.环境治理约束下的中国能源结构转变——基于煤炭和二氧化碳峰值的分析[J].中国社会科学,2015(09):84-107+205.
- [36]刘华军,刘传明,孙亚男.中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究[J].中国工业经济,2015(05):83-95.
- [37]罗鄂湘,郭浩威.双重网络与企业创新的交互效应研究——基于中国新能源产业发展汽车企业的考察[J].工业技术经济,2021,40(02):35-41.
- [38]莫建雷,段宏波,范英,汪寿阳.《巴黎协定》中中国能源和气候政策目标:综合评

- 估与政策选择[J].经济研究,2018,53(09):168-181.
- [39]平新乔,郑梦圆,曹和平.我国碳排放强度变化趋势与“十四五”时期碳减排政策优化[J].改革,2020(11):37-52.
- [40]齐绍洲,李杨.可再生能源消费影响经济增长吗?——基于欧盟的实证研究[J].世界经济研究,2017(04):106-119+136.
- [41]齐绍洲,张倩,王班班.新能源产业发展企业创新的市场化激励——基于风险投资和企业专利数据的研究[J].中国工业经济,2017(12):95-112.
- [42]邵帅,张曦,赵兴荣.我国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J].中国工业经济,2017(03):44-63.
- [43]孙耀华.能源资源禀赋对碳排放的影响与传导机制——基于空间计量模型的实证分析[J].商业研究,2020(06):65-74.
- [44]王丽萍,刘明浩.基于投入产出法的我国物流业碳排放测算及影响因素研究[J].资源科学,2018,40(01):195-206.
- [45]王小林,成金华,陈军,肖建忠.天然气消费替代效应与我国能源转型安全[J].中国人口·资源与环境,2021,31(03):138-149.
- [46]温忠麟,叶宝娟.中介效应分析:方法和模型发展[J].心理科学进展,2014,22(05):731-745.
- [47]徐斌,陈宇芳,沈小波.清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J].经济研究,2019,54(07):188-202.
- [48]张庆宇,张雨龙,潘斌斌.改革开放 40 年我国新能源产业发展带来的经济增长与碳排放影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2019,33(10):9-13.
- [49]庄贵阳,窦晓铭.新发展格局下碳排放达峰的政策内涵与实现路径[J/OL].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2021(06):1-10[2021-07-02].

## 附录 攻读硕士期间发表的学术论文

- [1] 王学军,王赛.节能减排:优化双重结构与提高能源效率——兼析“十四五”期间产业结构、能源消费结构与能源效率关系[J].价格理论与实践,2021(02):140-144+175.
- [2] 王赛.黄河流域对外贸易与能源效率——基于三要素 CES 生产函数的中介效应检验[J].三门峡职业技术学院学报,2021,20(02):24-31.
- [3] 马勇,李峻业,张曦,王赛.人力资源对电网企业效率制约因素分析[J].生产力研究,2019(12):141-145.

## 后 记

临近毕业，心中感慨万千。作为一名研究生，三年来的研究生学习生活，让我在理论知识的极大提高，也让我初步了解到写作的重要性。尽管在求学过程中充满着各种苦难，但更多的是充实和满足。三年研究生生活，我学会的不仅是知识，更提高了学习效率和工作技能；我获得的不仅是一份学历，更有浓厚的师生情和同学友谊。即将毕业之际，对所有帮助过我的老师、同学、同事以及家人表示真挚的感谢。

论文写作期间，王学军教授给了我充分的指导，王学军教授为人谦和，学识广博，认真负责，令人敬佩。论文从选题到写作修改，再到最终的定稿，倾注了教授的精力和心血。在此，谨向恩师表示最衷心的感谢和最诚挚的敬意。

感谢我在国际经济与贸易学院学习期间所有的任课老师，老师们在课堂上的精心授课，课堂外的虚心指导使我获益匪浅；感谢兰州财经大学的所有老师在学习和生活中给予我的帮助；感谢学习期间曾经帮助过我的同学们，让我收获了珍贵的友谊；

感谢我的朋友在我学习期间给予我的支持和鼓励，让我顺利完成学业；感谢我的家人，在研究生教育及论文写作过程中全心全力的支持、无私付出。

感谢评审老师百忙中对我论文的审阅。

再次感谢母校和恩师，谢谢你们！