

分类号：  
学号：20232116188

密级：  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### “双碳”背景下数字经济对西部地区工业绿色低碳转型的影响研究

学位申请人	闫世伟
指导教师	王力 教授
申请学位门类级别	专业硕士
学科、专业名称	应用统计
研究方向	社会经济统计
所在学院	经济与管理学院

中国·新疆·石河子  
2026年5月

分类号：  
学号：20232116188

密级：  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文

### “双碳”背景下数字经济对西部地区工业绿色低碳转型的影响研究

学位申请人	闫世伟
指导教师	王力 教授
申请学位门类级别	专业硕士
学科、专业名称	应用统计
研究方向	社会经济统计
所在学院	经济与管理学院

中国·新疆·石河子  
2026年5月

**The Impact of Digital Economy on Industrial Green and  
Low-Carbon Transformation in Western China Under the “Dual  
Carbon” Background**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Applied Statistics**

By Yan Shi-wei

**(Social and Economic Statistics Research)**

Dissertation Supervisor: Prof. Wang Li

May, 2026

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：

时间：2026年5月22日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：

时间：2026年5月22日

导师签名：

时间：2026年5月22日

## 摘要

当前，我国正处于高质量发展转型的关键时期，“双碳”目标为工业转型划定了清晰的低碳发展方向，“东数西算”工程给西部地区工业发展提供了重要契机。推动工业绿色低碳转型不仅是减少能源消耗、改善生态环境的重要方式，更是促进经济社会可持续发展的重大举措。数字经济作为推动绿色发展的新动能与新路径，正全面融入我国经济社会发展各领域。我国西部地区具有丰富资源与战略优势，长期以资源型产业和高耗能产业为主导，工业领域存在能源结构偏煤、碳排放强度偏高等现象，绿色低碳转型的任务艰巨。然而，现有研究多聚焦于全国或东部地区，缺乏对西部地区的探讨。因此，在“双碳”背景下系统揭示数字经济赋能西部地区工业绿色低碳转型的内在机理、传导路径与实践效应，对于统筹西部地区生态保护与工业产业高质量发展、实现数字经济与工业产业绿色低碳转型的协同发展，具有重要的理论价值与现实意义。

本文聚焦西部地区，选取 2011 年至 2023 年各省市及自治区的面板数据，深入研究数字经济对工业绿色低碳转型产生的影响。首先，构建数字经济赋能工业绿色低碳转型的分析框架，阐释数字经济影响工业绿色低碳转型的内在机理与传导路径；接着，基于对西部地区数字经济与工业绿色低碳转型的现状分析，采用熵值法与 Super-SBM 模型分别测算西部地区的数字经济发展水平与工业绿色低碳转型水平，结合 Kernel 密度估计法进一步揭示二者时空演变特征；最后，运用双向固定效应模型、中介效应模型、门槛效应模型等开展实证检验，系统识别数字经济赋能工业绿色低碳转型的基准效应、中介效应与门槛效应。

研究发现：第一，西部地区数字经济与工业绿色低碳转型水平研究期内整体呈上升趋势，川渝陕处于领先梯队，甘宁青发展滞后；区域间存在明显分化，且数字经济分化领先于工业绿色低碳转型；空间上呈现西南高于西北的分布格局，先进省份和落后地区的差距还在进一步扩大。第二，数字经济对西部地区工业绿色低碳转型具有显著促进作用，且赋能效应在不同区域、不同时期、不同发展条件下呈现出显著的异质性特征。第三，中介检验发现数字经济可通过产业结构升级、技术创新水平提升与人力资本积累三条路径实现中介传导，有效推动西部地区工业绿色低碳转型。第四，门槛模型显示，西部地区数字经济对工业绿色低碳转型存在单一门槛特征，当数字经济发展水平跨越门槛值后，其赋能效应显著增强。

最后，本文基于实证研究，结合西部地区数字经济发展与工业绿色低碳转型现实，提出夯实数字基建底座、强化“东数西算”政策牵引等针对性对策建议。为促进西部地区数字经济与工业绿色低碳转型可持续健康发展，实现经济高质量发展与生态环境保护双赢提供决策参考与实证依据。

**关键词：**西部地区；数字经济；工业绿色低碳转型；中介效应；门槛效应

## Abstract

China is currently undergoing a critical transition toward high-quality development. The “Dual Carbon” goals (carbon peaking and carbon neutrality) have set a clear low-carbon direction for industrial transformation, while the East–West Data Computing Project has created a pivotal opportunity for industrial advancement in western China. Promoting green and low-carbon industrial transformation is essential for reducing energy consumption, improving the ecological environment, and fostering sustainable socioeconomic development. As a new driver of green development, the digital economy has become deeply integrated across all sectors of China’s economy and society.

Western China, endowed with abundant resources and strategic advantages, has long been dominated by resource-intensive and high-energy-consuming industries. The region exhibits a coal-centric energy mix and high carbon emission intensity in its industrial sector, making the task of green and low-carbon transformation particularly challenging. However, existing research has mainly focused on the national level or eastern China, with limited attention to the western regions. Therefore, systematically uncovering the internal mechanisms, transmission channels, and practical effects of the digital economy in driving industrial green and low-carbon transformation (IGLT) in western China under the “Dual Carbon” framework is of great theoretical and practical significance. Such an investigation helps coordinate ecological protection with high-quality industrial development and promotes the synergistic advancement of the digital economy and IGLT.

This thesis focuses on western China (excluding Tibet due to data availability) and uses provincial-level panel data from 2011 to 2023 to examine the impact of the digital economy on IGLT. First, it constructs an analytical framework that explains how the digital economy influences IGLT through internal mechanisms and transmission paths. Second, based on a status quo analysis of the digital economy and IGLT in western China, it applies the entropy method and the Super-SBM model to measure the development levels of the digital economy and IGLT, respectively, and further explores their spatiotemporal evolution using kernel density estimation (KDE). Third, it employs two-way fixed effects, mediating effect, and threshold effect models to empirically identify the baseline effect, transmission mechanisms, and threshold characteristics.

The main findings are as follows. First, both the digital economy development level and IGLT level in western China show a general upward trend during the sample period. Sichuan, Chongqing, and Shaanxi lead the region, while Gansu, Ningxia, and Qinghai lag behind. Significant

regional differentiation exists, with the divergence in digital economy development preceding that in IGLT. Spatially, a “higher in the southwest, lower in the northwest” pattern is observed, and the gap between leading and lagging provinces continues to widen. Secondly, the digital economy exerts a significant positive effect on IGLT in western China, and this driving effect exhibits substantial heterogeneity across different regions, time periods, and development conditions. Thirdly, the mediating effect test reveals that the digital economy promotes IGLT indirectly through three channels: upgrading industrial structure, enhancing technological innovation, and accumulating human capital. Fourthly, the threshold effect test confirms a single threshold in the digital economy’s impact on IGLT: once the digital economy development level crosses the threshold, its driving effect is significantly enhanced.

Finally, based on the empirical findings and the development reality of western China, this thesis proposes targeted policy recommendations, including strengthening digital infrastructure and enhancing policy guidance for the East–West Data Computing Project. These proposals offer empirical support and policy implications for advancing the sustainable development of digital economy and industrial green and low-carbon transition in western China, and for striking a balance between high-quality economic growth and ecological conservation.

**Key words:** Western regions; Digital economy; Industrial green and low-carbon transformation; Mediating effect; Threshold effect

# 目录

摘要 .....	I
Abstract .....	II
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景与研究意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	2
1.2 文献综述 .....	3
1.2.1 数字经济相关研究 .....	3
1.2.2 工业绿色低碳转型相关研究 .....	5
1.2.3 数字经济对工业绿色低碳转型的影响相关研究 .....	6
1.2.4 文献述评 .....	7
1.3 研究内容与研究方法 .....	8
1.3.1 研究内容 .....	8
1.3.2 研究方法 .....	8
1.4 可能的创新点 .....	9
1.5 技术路线图 .....	10
第 2 章 概念界定及理论基础 .....	11
2.1 相关概念界定 .....	11
2.1.1 数字经济 .....	11
2.1.2 工业绿色低碳转型 .....	11
2.2 理论基础 .....	12
2.2.1 可持续发展理论 .....	12
2.2.2 绿色发展理论 .....	12
2.2.3 产业融合理论 .....	13
2.2.4 产业升级理论 .....	14
2.2.5 人力资本理论 .....	14
2.3 数字经济对工业绿色低碳转型的影响机理 .....	15
2.3.1 直接影响 .....	15

2.3.2 间接影响 .....	17
2.3.3 门槛效应 .....	19
2.4 本章小结 .....	20
第 3 章 数字经济与工业绿色低碳转型的发展现状及测度分析 .....	21
3.1 西部地区数字经济发展现状分析 .....	21
3.1.1 数字基础设施 .....	21
3.1.2 数字产业化 .....	22
3.1.3 产业数字化 .....	23
3.2 西部地区工业绿色低碳转型现状分析 .....	23
3.2.1 工业规模 .....	24
3.2.2 工业二氧化碳 .....	25
3.2.3 工业污染物 .....	26
3.3 西部地区数字经济发展水平测度及结果分析 .....	28
3.3.1 指标体系构建 .....	28
3.3.2 数据来源 .....	28
3.3.3 熵值法 .....	29
3.3.4 测度结果分析 .....	30
3.4 西部地区工业绿色低碳转型水平测度及结果分析 .....	34
3.4.1 指标体系构建 .....	34
3.4.2 数据来源 .....	34
3.4.3 Super-SBM 模型 .....	34
3.4.4 测度结果分析 .....	36
3.5 西部地区数字经济与工业绿色低碳转型的分布动态演进分析 .....	38
3.5.1 核密度估计法 .....	38
3.5.2 测度结果分析 .....	39
3.6 本章小结 .....	41
第 4 章 数字经济影响工业绿色低碳转型的实证分析 .....	42
4.1 研究设计 .....	42
4.1.1 双重固定效应模型 .....	42
4.1.2 变量选取 .....	42
4.1.3 数据来源 .....	43
4.2 基准回归 .....	43
4.3 内生性检验 .....	45
4.4 稳健性检验 .....	46

4.4.1 被解释变量滞后一期 .....	46
4.4.2 替换解释变量 .....	46
4.4.3 分位数回归 .....	47
4.5 异质性分析 .....	47
4.5.1 地理区位异质性 .....	48
4.5.2 时期异质性 .....	49
4.5.3 数字经济发展水平异质性 .....	50
4.5.4 经济发展水平异质性 .....	50
4.5.5 “东数西算” 枢纽节点异质性 .....	51
4.6 本章小结 .....	52
第 5 章 数字经济对工业绿色低碳转型的传导机制与非线性效应检验 .....	53
5.1 研究设计 .....	53
5.1.1 中介效应模型 .....	53
5.1.2 门槛效应模型 .....	53
5.1.3 变量选取 .....	54
5.1.4 数据来源 .....	54
5.2 数字经济对工业绿色低碳转型的中介效应 .....	55
5.2.1 产业结构的中介效应检验 .....	55
5.2.2 技术创新的中介效应检验 .....	56
5.2.3 人力资本的中介效应检验 .....	57
5.3 数字经济对工业绿色低碳转型的门槛效应 .....	58
5.3.1 门槛效应检验 .....	58
5.3.2 门槛回归结果分析 .....	58
5.4 本章小结 .....	59
第 6 章 结论与建议 .....	60
6.1 结论 .....	60
6.2 建议 .....	61
参考文献 .....	63
附录 .....	71
附录 A .....	71
附录 B .....	72

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景与研究意义

#### 1.1.1 研究背景

随着全球新一轮科技与产业革命的发展，以大数据、人工智能、云计算为核心驱动力的数字经济，正在凭借前所未有的深度和广度重塑当今全球发展格局。在世界信息化、数字化的历史机遇下，我国精准把握经济发展阶段性特征，加快构建全国一体化数据市场，数字经济实现了跨越式发展。《中国互联网络发展状况统计报告》中指出，如今数字经济规模我国连续多年位居全球第二，互联网普及率于2025年已超过80%，数字经济核心产业增加值占GDP的比重跃升至10.5%<sup>[1]</sup>。与此同时，国内数字经济发展不平衡不充分的问题愈加突出，西部地区在数字经济发展水平上与东部存在较大差距<sup>[2]</sup>。在新时代推动西部大开发座谈会上，习近平总书记强调要深化东中西部科技创新合作，明确西部地区数字经济发展的必要性。西部地区具有丰富资源和优越的地理空间，具备发展数字经济的独特优势，“东数西算”等国家级重点项目应运而生，旨在引导西部地区从能源基地向数字高地转型。

然而，西部地区在迎来数字经济发展机遇的同时，也承受着巨大的工业压力。工业作为我国能耗最大的产业，碳排放量占全国总量的70%左右<sup>[3]</sup>。我国西部地区地域辽阔，占全国国土面积的72%，是国家能源安全战略基地，2023年能源产品产量中，西部地区的原煤、天然气、焦炭分别约占全国的61%、79%、39%<sup>[3]</sup>。然而，西部地区长期以来以能源化工等高耗能产业为支柱，产业结构偏重、层次较低，碳排放占全国比重持续提升<sup>[4]</sup>。由于低碳技术基础薄弱，西部地区产业发展长期处于高碳锁定困境。以煤化工为例，西部地区拥有全国大部分现代煤化工项目，其生产过程不仅能耗强度高，且工艺流程复杂，碳排放密集<sup>[5]</sup>。西部地区建材行业中水泥、平板玻璃等产品的生产需要高温煅烧，燃料燃烧和工艺过程均产生大量二氧化碳排放<sup>[6]</sup>。这些高耗能产业在西部地区的集聚，形成了典型的“高碳锁定”效应，产业结构固化于高能耗路径，低碳技术替代成本高昂，绿色生产要素难以有效配置，导致工业碳排放持续攀升。

“双碳”战略目标对西部地区工业绿色低碳转型提出了迫切要求，面对这一严峻形势，“东数西算”工程等战略布局能够推动西部地区从能源基地向数字高地转型，助力数字经济成为西部地区工业高能耗困境的关键突破口。数字经济通过数字技术深度嵌入工业生产全过程，从源头上推动高能耗行业的绿色化改造。一方面，物联网、工业互联网等数字技术能够实时监测能源消耗数据，构建全流程能耗管控体系，依靠大数据分析人工智能算法提高能源利用效率。另一方面，数据要素作为新型生产要素，

能够与资本、劳动、能源等传统要素深度融合，引导资源向低能耗部门集聚。同时，通过数字化设计等方式替代部分物质要素投入，从源头降低资源消耗强度。此外，工业互联网平台打破传统线性生产模式，推动跨主体、跨区域的资源协同，汇聚节能技术供应商与绿色金融服务商，降低企业节能改造的信息成本和交易成本。当前，西部地区已涌现出一批数字经济赋能高耗能行业降碳的实践案例。新疆维吾尔自治区克拉玛依市从“石油之城”向“算力之城”的转型，实现了数字基础设施的跨越式发展，更重要的是为石油石化产业的数字化改造提供了强大的算力支撑，使传统能源产业能够借助人工智能算法优化勘探开发、炼化生产、物流运输等环节的能耗水平<sup>[7]</sup>。青海积极探索“算电协同”模式，将数据中心的高能耗需求与本地风光绿电资源相结合，同时推动电力系统与工业生产的协同优化，为高耗能企业提供更清洁、更经济的能源解决方案<sup>[8]</sup>。新疆科研团队利用大数据为玉米种植提供精准水肥配比方案，实现农业领域的节能增效。这些实践表明，数字经济正在开辟一条“降碳”与“发展”双赢的新路径。

在此背景下，数字经济对实现西部地区工业绿色低碳转型具有重要意义。通过数字技术赋能、数据要素配置、数字平台协同等核心路径，推动工业产业向低能耗、低排放、高效率的绿色低碳模式转型。然而，在西部地区特殊的资源禀赋和生态约束下，“双碳”背景之下数字经济能否促进西部地区工业绿色低碳转型？其作用机制如何？赋能效应是否存在非线性特征？基于此，本文立足西部地区，以2011年至2023年省级面板数据为样本，系统考察数字经济对工业绿色低碳转型的直接影响效应、中介效应与门槛效应，以期推动西部地区数字经济与工业绿色低碳发展的可持续健康发展，提供理论依据与实证支撑。

### 1.1.2 研究意义

#### (1) 理论意义

丰富数字经济赋能西部地区工业绿色转型的异质性研究，优化多维指标体系的测度精度。现有文献多聚焦于全国层面或东部发达地区，对西部地区的针对性分析不足。本文将“双碳”目标量化纳入工业转型水平的测度体系，构建适用于西部特征的评价指标，有助于揭示数字经济影响工业绿色低碳转型的影响路径，丰富数字经济与工业绿色升级之间因果机制的理论成果，为相关理论的深化提供了微观层面的实证依据。突破传统单一指标的局限，综合运用熵值法、Super-SBM模型与双向固定效应模型。通过引入工业二氧化碳排放量为非期望产出，深化了对工业绿色低碳转型内涵的理论认知，更精准地测度了西部工业绿色低碳转型的真实水平。这不仅为西部地区相关研究提供了可参考的统计测度框架，也验证了计量模型在处理西部特殊面板数据时的适用性与稳健性。

## (2) 现实意义

为西部差异化政策制定提供量化依据。实证结果能够量化评估“东数西算”战略对西部地区工业绿色低碳转型的实际贡献，识别出产业结构、技术创新等中介路径的作用强度。这为地方政府如何制定差异化的区域协同政策提供了科学的决策参考，有助于加快西部地区工业减排进程。同时通过数字经济缩小区域发展差距，推动区域协调发展与绿色发展深度融合，为新时代西部大开发形成新格局注入持续的绿色动能。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 数字经济相关研究

伴随全球数字化进程的加速与数字化浪潮的兴起，数字经济已成为学术研究的前沿领域，其概念与内涵不断得到系统的探讨与厘清。本研究主要从数字经济的发展现状、测度方法以及影响因素三方面论述。

#### (1) 数字经济的发展现状

国家层面的研究领域主要集中在对数字经济的战略布局、现存挑战、政策举措以及区域发展等层面。最初，顾海良从构建新发展格局<sup>[9]</sup>和现代化经济体系<sup>[10]</sup>角度提出加快推进数字经济发展能使谋划与变化充分契合。发展阶段中面对数字经济可能遇到的挑战，刘洋分析了数字经济带来传统经济学原理悖论<sup>[11]</sup>，程恩富等通过分析数据垄断的掠夺方式来解释数字经济带来的风险挑战<sup>[12]</sup>。接着张雷声等提出应打造现代化数字产业体系<sup>[13]</sup>，乔晓楠等提出推动其与实体经济融合等方式来促进我国数字经济高质量发展<sup>[14]</sup>。杨文溥通过分区域和分产业研究得出数字经济对第三产业和经济发达的地区促进效果更强，区域性数字经济政策的实行有利于推动当地产业变革<sup>[15]</sup>，毕亚娜等从国际视角出发，认为数字经济能够促进与其相关的国际产业更好地发展<sup>[16]</sup>，协调绿色经济发展，推动兼顾经济、社会和环境的协调发展。西部地区数字经济的研究开展主要从产业链优化、技术升级、政策指引等方面展开。杨小勇等研究得出数字经济通过给西部地区带来全新的绿色技术资源，提供新的经济增长点<sup>[17]</sup>，张倩等提出并证实数字经济为西部地区提供数据要素与数字产品的流通基础，推动绿色产业链优化升级<sup>[18]</sup>，叶堂林等分析得出数字技术能够在资源禀赋相适配的过程中给予西部地区绿色转型的机会窗口<sup>[19]</sup>。汪玉凯研究发现数字经济的崛起是“东数西算”工程的重要引擎，“东数西算”战略对未来西部地区数字经济发展产生深远影响<sup>[20]</sup>。

关于数字经济赋能碳排放的具体路径，现有研究多认为数字经济通过治理数字化、产业升级、创新驱动以及能源转型四个方面赋能。李国柱等在数实结合的最新研究认

为数字经济可以在与实体经济融合的过程中,通过数字化治理直接强化碳领域的执行效率<sup>[21]</sup>,潘长春等认为通过促进绿色创新水平、基于政府管理的环境规制水平等间接提高碳减排效率<sup>[22]</sup>;王奕淇等研究发现通过互联网平台、产业链数字化转型等渠道可以提高碳排放领域效率,多环节共同实现节能降碳<sup>[23]</sup>;谢云飞通过研究数字经济对区域碳排放强度的影响,得出通过创新推动资源优化配置等渠道可以提高能源利用效率,推动能源体系清洁化的结论<sup>[24]</sup>。

## (2) 数字经济的测度方法

关于数字经济测度方法,目前主要有直接核算法、指标体系综合评价法、投入产出测算三种主要的度量方法。直接核算法是最基础的算法,最初 RaiL 等采用社会信息化指数、国民经济核算法对数字经济规模进行直接测算<sup>[25]</sup>,鲜祖德等依据国家统计局官方公布的《数字经济及其核心产业统计分类》对数字经济核心产业增加值进行测算<sup>[26]</sup>。指标体系综合评价法的关键在于指标体系的构建和变量的选取,赵涛等从互联网、数字金融两个维度构建指标体系进行核算<sup>[27]</sup>。随着数字经济发展水平指标体系的不断丰富扩充,王军和陈晓红等学者基于数字化进程的结构特征与演化逻辑,认为数字基础设施反映数字要素供给能力,数字产业化则能够反映出以数字技术为核心的新兴产业发展状况,产业数字化则能够体现数字技术对传统行业的渗透与改造程度,三者是衡量数字经济对经济体系整体影响的重要维度<sup>[28, 29]</sup>。研究方法上,李英杰等通过采用熵值法测度数字经济发展水平<sup>[30]</sup>,还有学者借用聚类分析等分类方法进行数字经济发展参数的比较<sup>[31]</sup>,韩璐等学者利用主成分分析法对数字经济加以衡量<sup>[32]</sup>,蒋抒博等基于 DEA 模型对数字经济的产出效率进行测算<sup>[33]</sup>。

## (3) 数字经济的影响因素

关于数字经济的影响因素,现有研究主要从经济增长、创新效率、区域协调发展等领域展开研究。经济增长方面,彭刚等通过研究数字经济与中国式现代化发展路径的关系,现阶段数字经济发展能够显著促进区域经济协调发展<sup>[34]</sup>;技术创新层面,袁徽文等探究了数字经济对高技术产业技术创新存在双向促进作用<sup>[35]</sup>,肖远飞等认为其催生出全新的增长动力和竞争格局,带来前所未有的发展机遇<sup>[36]</sup>。徐星等基于技术创新效率提升与地理溢出,通过双重视角研究认为数字经济对创新效率起到正向促进作用<sup>[37, 38]</sup>,亚洲区域尤其是中国数字经济发展显著促进了专利申请数量的提升<sup>[39]</sup>;李清华等探究得出数字经济能够显著促进区域协调发展<sup>[40]</sup>,刘伟丽研究得出数字经济在促进共同富裕的同时存在空间异质性的情况<sup>[41]</sup>;人力资本层面,刘洋等得出人力资本效应是数字经济发展影响科技创新效率的重要渠道,有助于数字经济发展<sup>[42]</sup>;产业结构领域,郑展鹏等解释了数字经济作为产业变革的核心引擎<sup>[43]</sup>,显著促进了产业结构升

级并不断促进区域经济结构优化升级<sup>[44]</sup>。

## 1.2.2 工业绿色低碳转型相关研究

工业绿色低碳转型本质是在实现产出增长时污染排放和能源消耗能够减少，本文对工业绿色低碳转型的文献研究主要从实现路径、测度方法、影响因素三方面入手。

### (1) 工业绿色低碳转型的实现路径

工业绿色低碳转型实现路径多集中在技术创新、结构升级、污染转移等方面。张江雪等研究得出工业领域主要通过开展绿色技术的创新迭代来改变传统的生产方式<sup>[45]</sup>。杨岚研究发现环境政策驱动能够促使工业企业开展绿色技术研发，实现产业清洁度的提升<sup>[46]</sup>。袁嘉琪等认为对生产部门的要素配置优化提升，可以显著加强绿色生产的效果<sup>[47]</sup>。时乐乐认为降低工业高污染产业比重，促进结构优化，进而实现优化工业结构，减污降碳<sup>[48]</sup>。余泳泽等发现通过对约束区域政府的环境目标，能够产生提升城市清洁产业的比重和技术创新水平，实现城市的绿色发展<sup>[49]</sup>。有学者基于中美贸易研究，得出欠发达地区会成为污染转移地，面临环境压力；发达地区则会获得生产福利<sup>[50]</sup>。Nejati 等发现在全球化的背景下，贸易往来对新兴市场国家的资源消耗和温室气体排放增长有促进作用<sup>[51]</sup>。

### (2) 工业绿色低碳转型的测度方法

目前学术界对于工业绿色低碳转型绩效的评价主要采用两种主要的研究范式，一是用绿色全要素生产率进行量化分析，二是用多维指标体系来考察它的发展过程。关于工业产业的绿色全要素生产率，孙海波等采用 SBM-DDF 方法将投入要素选定为劳动、资本和能源消费，工业增加值当做期望产出，又加入环境污染作为非期望产出加以评价<sup>[52]</sup>；肖远飞等采用 SBM-Malmquist 指数非参数方法，结合投入产出指标进行工业绿色全要素生产率的衡量<sup>[36]</sup>；任嘉敏等根据黄河流域实际情况建立包含发展水平、转换强度的综合评价指标体系，用 SBM 方法分析区域工业绿色发展的现状<sup>[53]</sup>；米国芳等基于非期望产出的 SBM 模型测算工业绿色转型水平，采用工业绿色转型水平表征工业绿色转型程度<sup>[54]</sup>；黄成等采用 Super-SBM 模型测度长江经济带省级工业绿色转型水平，采用二氧化碳排放总量作为非期望产出指标<sup>[55]</sup>。在构建综合评价指标上，不同的学者选取的指标体系存在差异。谭卫华等人主要关注水质污染负荷或者大气污染物浓度等典型的负向效应指标，间接反映区域环境治理的效果<sup>[56]</sup>；韩立达等从工业的节能、减排以及转型三个方面构建指标体系<sup>[57]</sup>；彭星等从节能减排、结构优化、转型和技术创新四个方面构建指标体系，运用熵值法测度工业绿色转型指数<sup>[58]</sup>。

### (3)工业绿色低碳转型的影响因素

研究一般认为工业产业完成绿色转型的关键之处在于解决环境问题、提高能源利用率并控制碳排放总量。目前的相关研究大多使用多元分析的方法,从宏观经济条件、产业结构调整、技术创新突破、人力资本积累等方面来探究工业绿色发展具体的作用机理。杜传忠等在研究工业智能化对工业绿色转型的影响中发现,通过促进技术创新、优化产业结构及人力资本三条渠道可以促进工业绿色转型<sup>[59]</sup>;康诗康和尚煜研究发现产业结构优化和提高技术创新水平是数据要素配置促进工业绿色转型的重要调节机制;肖远飞等认为产业结构优化同高素质劳动力供给一起提高了工业绿色发展水<sup>[36]</sup>;王韶华等研究发现人力资本水平、市场化水平等的升级能对工业绿色发展产生影响<sup>[60]</sup>。研究进程中不同的影响因素作用效果并不一致,有些影响因素,如环境规制效果可能并不显著<sup>[61]</sup>。有些因素不是简单的线性关系,如城镇化会在发展进程中呈现出“U”型曲线效应<sup>[62]</sup>等。

关于低碳转型的影响因素,有学者从分解影响效应的角度展开研究,王勇等研究结果表明工业污染排放的减少主要归因于高污染产业自身排放强度的下降<sup>[63]</sup>,吴静从能源结构优化的角度研究得出技术升级是主要驱动力<sup>[64]</sup>,申晨等检验发现技术效应更有助于推动工业绿色转型<sup>[65]</sup>。在环境治理以及能源结构转型期间,结构效应对工业绿色转型的弱化表现碳减排的相关研究中也得到了类似结论<sup>[66]</sup>。杨莉莎等排除了二氧化碳的反弹效应,发现技术进步是推动碳减排的主要因素之一<sup>[67]</sup>。现有文献中学者们做了许多特定地区工业绿色发展的研究,但主要集中在对长江经济带<sup>[68, 69]</sup>、京津冀<sup>[70, 71]</sup>、沿海地区<sup>[72]</sup>等经济发达区域。

#### 1.2.3 数字经济对工业绿色低碳转型的影响相关研究

关于数字经济促进工业绿色低碳转型的路径研究,目前主要围绕直接影响和间接影响等展开。吴传清等基于数字经济发展对中国工业碳生产率的影响研究,认为数字经济引发的创新要素集聚是工业低碳生产模式出现的重要推动力量<sup>[73]</sup>。杨刚强等通过研究数字经济的碳减排效应,认为数字经济经由全产业链资源整合塑造起绿色价值体系,促进低碳绿色生产<sup>[74]</sup>。郑冰等基于省级面板数据研究得出数字经济有助于降低区域碳排放强度,产业结构低碳转型、绿色技术创新是数字经济降低区域碳排放强度的间接渠道<sup>[27]</sup>。刘启雷等认为数字经济能够直接赋能提升制造业低碳生产效率,且绿色技术创新和企业韧性在影响中有独立中介效应,同时西部地区效率增长率高于东部<sup>[75]</sup>。陈晓东等认为数字经济可直接促使西部地区的传统产业的生产方式从劳动密集型转向知识和技术密集型,通过促进技术创新和优化资源配置间接驱动工业绿色低碳转型<sup>[76]</sup>。刘洋等认为数字经济能够直接促使西部地区产业间优化资源配置和提质增效,间接实现产