

分类号：  
学号：20222016035

密级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 双碳目标下数字金融对西部地区城市能源效率 的影响研究

学位申请人	邓鑫懿
指导教师	孙志红 教授
申请学位门类级别	经济学硕士
学科、专业名称	应用经济学
研究方向	金融学
所在学院	经济与管理学院

中国·新疆·石河子  
2025年5月

分类号：  
学号：20222016035

密级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 双碳目标下数字金融对西部地区城市能源效率 的影响研究

学位申请人	邓鑫懿
指导教师	孙志红 教授
申请学位门类级别	经济学硕士
学科、专业名称	应用经济学
研究方向	金融学
所在学院	经济与管理学院

中国·新疆·石河子

2025年5月

**Research on the Impact of Digital Finance on Urban Energy Efficiency  
in Western Regions under the Dual Carbon Goals**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Economics**

**By**

**Deng Xinyi**

**(Finance)**

Dissertation Supervisor: Prof. Sun Zhihong

May, 2025

# 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：邓鑫懿

时间： 2025 年 5 月 26 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：邓鑫懿

时间： 2025 年 5 月 26 日

导师签名：孙玉红

时间： 2025 年 5 月 26 日

## 摘要

党的二十大报告中指出：“积极稳妥推进碳达峰碳中和”，为把握能耗“双控”、提高能源效率、推动绿色低碳发展指明了前进方向。2020年习总书记提出“双碳”目标以来，西部地区不断推动传统能源产业转型，风电、光伏、水电等新能源产业蓬勃发展，但是受到西部地区地理环境复杂、生态环境脆弱、经济发展落后等因素的影响，西部地区生态环保建设的任务仍然十分艰巨。数字金融的广覆盖面、强渗透力、高技术性等特征，为传统金融服务提供了新动能。随着大数据、云计算、物联网等新型数字技术的发展，通过数字金融带动西部地区能源效率的有效提高，成为了推动西部地区经济高质量发展、实现我国“双碳”目标战略的重要抓手。

本文以梅特卡夫定律、网络外部性、长尾理论、资源禀赋理论、可持续发展理论、循环经济理论等理论为指导基础，层层递进、逐步深入进行研究。首先，系统论述了双碳目标下数字金融对西部地区能源效率的影响效应，从时序效应、结构化效应和网络效应三个方面进行研究，从产业升级、技术创新和要素配置分析数字金融对能源效率影响机制；再者，梳理西部地区数字金融和能源效率的发展现状，构建西部地区城市能源效率的指标体系，测评其发展水平；并且，基于2013-2022年我国西部地区83个地级市的面板数据，利用固定效应模型等计量模型检验了数字金融对西部地区城市能源效率的影响效应，利用中介模型实证研究了两者的影响机制，并划分资源型与非资源型城市、西南与西北地区进行异质性分析；最后，有针对性地提出双碳目标下数字金融促进西部地区城市能源效率的建议。得到以下主要结论：

第一，关于西部地区城市能源效率的测度水平。基于超效率SBM模型和ML生产率指数，投入指标选取劳动力、能源和资本投入，产出指标选取地区生产总值和“三废”排放量，来构建全要素能源效率。测度结果显示，部分城市存在能源效率低下的现象，但大部分西部地区城市能源效率在2013-2022年有较大提高。

第二，检验数字金融对西部地区城市能源效率的时序效应、结构性效应和网络效应，从实证结果可以看出，数字金融对西部地区城市能源效率发展的回归系数在各分位数上均显著为正，表明数字金融为西部地区城市能源效率提供持续动力；数字金融分维度的覆盖广度、使用深度和数字化程度指数，对西部地区城市能源效率存在显著的结构性效应；门槛效应检验看出，较低水平的数字金

融不能充分发挥对西部地区城市能源效率的激励，数字金融对西部地区城市能源效率的影响不是简单的线性关系，而是存在一种边际效应递增的趋势。

第三，中介效应模型实证分析可以看出，产业升级的中介效应占比为 23.35%，表示数字金融可以通过推动产业结构升级提高西部地区城市能源效率；技术创新的中介效应占比为 17.66%，表示数字金融可以通过提高技术创新水平带动西部地区城市能源效率；要素配置的中介效应占比为 24.32%，表示数字金融可以通过优化资源要素配置来推动西部地区城市能源效率发展。

**关键词：**双碳目标；数字金融；城市能源效率；西部地区

## Abstract

The report of the 20th National Congress of the Communist Party of China states: "Promote carbon peaking and carbon neutrality in an active and prudent manner," providing a clear direction for balancing energy consumption "dual control," improving energy efficiency, and advancing green and low-carbon development. Since General Secretary Xi Jinping proposed the "dual carbon" goals in 2020, western regions have been accelerating the transformation of traditional energy industries, with renewable energy sectors such as wind, solar, and hydropower experiencing robust growth. However, due to complex geographical environments, fragile ecosystems, and underdeveloped economies, the task of ecological environmental protection in western regions remains arduous. The extensive coverage, strong penetration, and high technological nature of digital finance have injected new momentum into traditional financial services. With the development of emerging digital technologies such as big data, cloud computing, and the Internet of Things, leveraging digital finance to effectively enhance energy efficiency in western regions has become a critical lever for promoting high-quality economic development in these regions and achieving China's "dual carbon" strategic goals.

Guided by theories including Metcalfe's Law, network externality, long-tail theory, factor endowment theory, sustainable development theory, and circular economy theory, this study progresses in a structured and incremental manner. First, it systematically examines the impact of digital finance on urban energy efficiency in western regions under the dual carbon goals, analyzing time-series effects, structural effects, and network effects. The influencing mechanisms are explored through industrial upgrading, technological innovation, and factor allocation. Second, it reviews the development status of digital finance and energy efficiency in western regions, constructs an index system for urban energy efficiency in these regions, and evaluates their development levels. Third, based on panel data from 83 prefecture-level cities in western China from 2013–2022, fixed-effect models and other econometric models are used to test the impact of digital finance on urban energy efficiency. Mediation models are employed to empirically analyze the underlying mechanisms, with heterogeneity analyses conducted by categorizing cities into resource-based vs. non-resource-based and dividing regions into Southwest vs. Northwest China. Finally, targeted recommendations are proposed for digital finance to promote urban energy efficiency in western regions

under the dual carbon goals. The main findings are as follows:

First, regarding the measurement of urban energy efficiency in western regions. Using the super-efficiency SBM model and ML productivity index, with input indicators including labor, energy, and capital inputs, and output indicators including regional GDP and "three wastes" emissions, total-factor energy efficiency was constructed. The results show that while some cities still face low energy efficiency, most western cities have achieved significant improvements in energy efficiency from 2013–2022.

Second, testing the time-series, structural, and network effects of digital finance on urban energy efficiency in western regions. Empirical results indicate that the regression coefficients for the development of urban energy efficiency in western regions are significantly positive across all quantiles, demonstrating that digital finance provides sustained momentum for energy efficiency improvements. The sub-dimension indices of digital finance coverage breadth, usage depth, and digitalization degree exhibit significant structural effects on urban energy efficiency. Threshold effect tests reveal that lower levels of digital finance cannot fully activate energy efficiency incentives, and the relationship between digital finance and urban energy efficiency in western regions is not simply linear but demonstrates an increasing marginal effect.

Third, mediation model analysis shows that industrial upgrading accounts for 23.35% of the mediating effect, indicating that digital finance improves urban energy efficiency by promoting industrial structural optimization. Technological innovation contributes 17.66%, reflecting that digital finance enhances energy efficiency through technological advancement. Factor allocation accounts for 24.32%, suggesting that digital finance drives energy efficiency improvements by optimizing resource allocation.

**Key words:** Dual carbon goals; Digital finance; Urban energy efficiency; Western regions

# 目录

第一章 导论.....	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 国内外研究综述.....	3
1.2.1 数字金融相关研究.....	3
1.2.2 能源效率相关研究.....	5
1.2.3 数字金融对能源效率影响的相关研究.....	8
1.2.4 文献综述.....	9
1.3 研究思路及内容.....	10
1.3.1 研究思路.....	10
1.3.2 研究内容.....	10
1.4 研究方法与技术路线.....	11
1.4.1 研究方法.....	11
1.4.2 技术路线.....	12
1.5 创新点与不足之处.....	14
1.5.1 创新点.....	14
1.5.2 不足之处.....	14
第二章 概念界定与理论支撑.....	15
2.1 相关概念界定.....	15
2.1.1 双碳目标的界定.....	15
2.1.2 数字金融的界定.....	15
2.1.3 能源效率的界定.....	16
2.2 相关理论基础.....	16
2.2.1 数字金融相关理论.....	16
2.2.2 能源效率相关理论.....	18
2.3 双碳目标下数字金融对能源效率的影响效应分析.....	20
2.3.1 双碳目标下数字金融对能源效率的时序效应.....	20
2.3.2 双碳目标下数字金融对能源效率的结构化效应.....	21

2.3.3 双碳目标下数字金融对能源效率的网络效应 .....	22
2.4 双碳目标下数字金融对能源效率的影响机制分析 .....	22
2.4.1 双碳目标下数字金融对能源效率的产业升级机制 .....	22
2.4.2 双碳目标下数字金融对能源效率的技术创新机制 .....	23
2.4.3 双碳目标下数字金融对能源效率的要素配置机制 .....	24
第三章 数字金融与西部地区城市能源效率的测评和现状 .....	25
3.1 数字金融发展水平测评 .....	25
3.1.1 数字金融发展水平量化方法的选择 .....	25
3.1.2 数字金融发展水平的指标体系 .....	25
3.2 西部地区数字金融发展现状分析 .....	27
3.2.1 西部地区数字金融的总体发展分析 .....	27
3.2.2 西部地区数字金融分维度发展分析 .....	29
3.3 西部地区能源效率的发展现状 .....	31
3.3.1 能源储备充足，可再生资源丰富 .....	31
3.3.2 能源消费增加，能源结构不合理 .....	33
3.3.3 清洁能源发展，电力市场改革加快 .....	35
3.4 西部地区城市能源效率发展水平测评 .....	37
3.4.1 西部地区城市能源效率量化方法的选择 .....	37
3.4.2 西部地区城市能源效率的指标体系 .....	37
3.5 本章小结 .....	38
第四章 数字金融对西部地区城市能源效率影响效应的实证检验 .....	40
4.1 模型构建 .....	40
4.2 变量选取与描述性统计 .....	40
4.2.1 变量选取 .....	40
4.2.2 数据来源与变量选取 .....	42
4.3 数字金融对西部地区城市能源效率影响效应的实证结果 .....	43
4.3.1 数字金融对西部地区城市能源效率的基准模型检验 .....	43
4.3.2 数字金融对西部地区城市能源效率的时序效应检验 .....	44
4.3.3 数字金融对西部地区城市能源效率的结构化效应检验 .....	45
4.3.4 数字金融对西部地区城市能源效率的网络效应检验 .....	46
4.4 本章小结 .....	48
第五章 数字金融对西部地区城市能源效率影响机制的实证检验 .....	49
5.1 模型构建 .....	49
5.2 数字金融对西部地区城市能源效率影响机制的实证结果 .....	49

5.2.1 数字金融对西部地区城市能源效率产业结构升级机制检验 .....	49
5.2.2 数字金融对西部地区城市能源效率绿色技术创新机制检验 .....	51
5.2.3 数字金融对西部地区城市能源效率要素优化配置机制检验 .....	52
5.3 异质性分析 .....	54
5.3.1 划分资源型与非资源型城市的异质性分析 .....	54
5.3.2 划分西南与西北地区的异质性分析 .....	55
5.4 内生性检验与稳健性检验 .....	56
5.4.1 内生性检验 .....	56
5.4.2 稳健性检验 .....	56
5.5 本章小结 .....	57
第六章 研究结论与政策建议 .....	59
6.1 研究结论 .....	59
6.2 政策建议 .....	60

## 第一章 导论

### 1.1 研究背景和意义

#### 1.1.1 研究背景

2020年9月，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出：“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”党的二十大报告再次强调“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化”，并提出“推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”等指导思想。一系列战略规划都体现出国家对于发展低碳、绿色、可持续经济的重视。如何统筹布局经济增长与节能减排、整体与地区发展之间的关系，助力新型绿色现代化经济发展，成为实现“双碳”目标战略、全面推进经济高质量发展的必经之路。

基于得天独厚的地理和资源优势，西部地区已然成为我国重要的能源生产基地。但是，受制于西部地区地域宽广，需要实施的生态保护和建设工程数量多、投资大、分布广，加之，西部地区省份经济实力偏弱，西部地区生态建设的任务十分艰巨。如何有效平衡西部地区经济发展与生态环保的关系，是推动西部地区可持续性发展的关键难题。

降低能源消耗、提升能源效率是推动西部地区经济高质量发展、实现我国“双碳”战略目标的必要手段。优化能源利用效能已成为推进西部区域绿色经济转型的关键着力点。金融体系作为现代经济的核心驱动力，其资源配置效率的优化对于构建低碳发展长效机制具有战略价值。伴随数字经济浪潮的兴起，技术创新深度赋能传统金融体系，催生出数字金融这一新兴业态。该模式通过突破传统服务边界，显著提升了中小微企业及微观主体的金融服务可得性，从而有效激发市场创新动能。需要指出的是，微观主体层面的经营决策与消费行为构成了经济高质量发展的微观基础，而依托数字技术构建的新型金融服务体系，能够通过精准的资源配置机制，系统性地引导企业实施清洁生产，同时培育公众的环保投资理念与可持续消费偏好。鉴于此，本研究聚焦西部地区，系统研究数字金融与能源效率之间的作用机理，深入探究数字金融如何促进西部地区能源效率提升。

为此，基于数据的可得性，本文利用2013—2022年西部地区83个地市级的面板数据，进行数字金融对西部地区城市能源效率的机制和效应分析检验，为推动西部地区低碳转型发展提供一定的政策启示。

## 1.1.2 研究意义

### （一）理论意义

第一，丰富并拓展了数字金融的生态社会效应的研究。关于数字金融的研究，大部分集中在数字金融的经济社会效应上，如：数字金融与包容性增长（张勋等，2019）、城乡收入差距（周利等，2020）、创业机制（谢绚丽等，2018）、减贫效应（何燕和李静，2021）、区域创新（梁榜和张建华，2019）等方面，少数学者从带动环境保护（许钊，2023）、提高绿色全要素生产率（范欣等，2023）等方面进行生态效益评价。本文系统研究数字金融对能源效率的影响效应，并进一步探讨了其传导机制，拓展了数字金融研究领域的生态效益研究。

第二，丰富了能源效率影响因素的相关研究，拓展了“数字金融影响能源效率”的研究框架。已有文献表明金融体系与绿色发展之间的协同效应得到了学术界的广泛关注，金融系统可以直接通过优化信贷资源配置，有效抑制传统化石能源的使用规模，加速清洁能源的渗透，推动能源消费结构向低碳化转型（孙浦阳等，2011）。同时，金融系统也可以通过拉动产业升级、催化技术创新等途径，显著降低单位 GDP 能耗（任力和朱东波，2017）。当前，学术界达成了金融能够对能源效率发展产生积极影响的共识，但是关于数字金融对能源效率提升的关联性讨论仍存在明显空缺。本文在双碳目标的背景下，探究数字金融对能源效率的影响，进一步丰富和发展了数字金融与能源效率的相关研究。

### （二）实践意义

第一，本文为提高西部地区能源效率和推动西部地区绿色高质量发展提供了一定的思考。西部地区拥有丰富的能源资源，但是在能源消耗和环境污染方面仍需努力，随着可持续发展和生态环境保护的呼声不断增强，推动西部地区能源消费转型、提高能源利用效率是实现西部地区绿色高质量发展的重要途径。本文研究得出数字金融对提高西部地区能源效率具有积极影响的结论，为推动西部地区绿色高质量发展提供了思考。

第二，本文为实现双碳目标的现实路径提供了有益启示。作为能源生产和消费“大户”，大力发展低碳经济，推动由高碳能源向低碳能源转型，实现“碳达峰、碳中和”目标刻不容缓。西部地区在新能源发电、清洁能源利用等方面具有巨大的发展潜力，本文从数字金融角度切入研究，为西部地区实现能源结构转型、提高能源利用效率探求切实可行的现实路径，对西部大开发战略和双碳目标的实现提供了有益启示。

## 1.2 国内外研究综述

### 1.2.1 数字金融相关研究

作为新兴的金融业态,数字金融对于社会各方面的发展都具有重要影响,对实现“双碳”目标也起着不可或缺的作用。关于数字金融的内涵、业态演进、指标测度、作用机制以及对经济社会的影响等多个方面,多位学者进行了分析研究。

关于数字金融的内涵界定。数字金融这个概念基于数字通信技术和互联网技术高速发展而产生,最早以互联网移动支付服务的金融模式进行。通过早期互联网平台和线上简易电子支付系统来完成金融交易(谢平,2012),数字金融被定义为利用电子信息技术进行金融交易与服务。随着移动通信设备的铺开,大数据、区块链等新兴技术飞速发展,数字金融的概念也随之拓展。依托智能终端设备、个人计算终端及互联网基础设施等数字化载体,数字金融可以实现支付结算与资金融通服务(Manyika et al., 2016)。数字金融既包含传统金融主体开展的电子化服务转型,也涵盖科技企业运用算法模型与网络平台开展的创新性投融资业务(黄益平和黄卓,2018)。随着技术迭代与应用场景拓展,数字金融业态呈现出动态演进特征,其服务形态已从基础功能延伸至全链条金融服务生态(张勋等,2019)。目前,数字金融进入“数智化”阶段,达到了金融、数字通信技术和智能系统的高度融合状态(陆岷峰和欧阳文杰,2024)。基于金融数字化,数字金融进一步提高了数据挖掘能力,结合人工智能系统的决策与执行,达到了数字与技术更高水平的交互融合。

关于数字金融的业态演进。随着数字技术与金融服务的高度融合,数字金融不仅演化出线上支付、数字保险、数字银行等业态,还包括数字货币和区块链服务等新兴业态。针对线上支付业态,史小坤和武琨朝(2023)指出在线处理交易和手机支付等线上支付服务为用户提供了便捷的支付体验。该业态不仅确保了更高效的支付交易,也带动了“无现金”模式发展(林梅和周漱瑜,2020)。线上支付使支付流程变简易,提高了消费者的支付体验(Kang, 2018),促进了居民消费(张永峰和路瑶,2024),同时也降低了消费者对于传统银行机构的依赖(Duarte 等, 2012),具有更高的透明度和安全性(Zavolokina, 2015)。针对数字保险服务,完颜瑞云等(2019)提出借助于新兴的数字技术,数字保险基于保险科技,重塑了传统保险服务业态,优化了保险服务链条,能够提供更加精准和个性化的用户服务,拓展保险公司服务市场。同时,基于人工智能和大数据技术的保险产品,能够实时精确地评估风险,便于优化保险策略,确保保险服务更加科学高效(Eckert 等, 2022)。针对数字银行业态,作为数字金融典型的业态之一,2010年以来在全球范围内悄然崛起(刘津含和章容洲,2022),最早出现在美国、英国、波兰等地(克里斯·斯金纳,2016)。数字银行服务不仅能够提高银行的数字化程度、

降低银行运营成本、清晰银行市场定位，同时可以为客户带来区别于传统银行的使用服务，积累更好的客户基础（李梦宇，2019）。针对数字货币和区块链服务等新兴业态，有学者认为，数字货币能够提高金融服务的覆盖面、提高金融服务质量、降低金融服务成本（焦瑾璞等，2015）。区块链服务的落地提高了金融系统的防欺诈能力，加强了用户对金融市场稳定性的信赖（朱兴雄等，2018）。

关于数字金融的指标测度。一部分学者编制了区域的数字金融指数，郭峰等（2020）利用支付宝的海量用户数据，通过北京大学数字金融研究中心与蚂蚁金服合作，共同编制完成。该指数不仅对数字金融总体进行了测度，还分成覆盖广度、使用深度和数字化程度三个维度来进行分层测度，全面地计量了地区的数字金融发展程度。另一部分学者利用数据挖掘的方式，在网络上抓取与数字金融相关的词汇，构建数字金融指数。王小华等（2023）利用网络爬虫技术，获得与金融科技相关的文本，构建了中国金融科技发展指数。还有部分有关金融的统计分析调查报告中包含了数字金融的部分指标，如《中国普惠金融指标分析报告》中普惠金融指标可以反映数字金融的发展。

关于数字金融的作用机制。首先，数字金融颠覆了传统金融的服务方式，能够有效提升金融服务效率。将业务由物理网点转移到线上，大大简化了支付的流程，提高了金融业务的便捷度和流通效率。数字金融能够基于移动支付形成规模效应，电子货币的应用拓宽了金融业务范围，降低了人们对于现金的需要（谢平和刘海二，2013；张勋等，2021）。同时，数字金融也显著提高了商业银行的全要素生产率（沈悦和郭品，2015）。虽然数字金融高速发展过程中，给商业银行金融服务带来了巨大的冲击，但同时也在倒逼商业银行进行转型升级。研究发现，数字金融能够加快资金的流通效率并降低银行的交易成本（邓瑶和王宇，2023），商业银行利用金融科技手段不仅可以推动自身的转型升级，同时也提高了银行的运作效率（杨望和刘婧然，2020），还能提升银行绩效水平，拉动金融服务的包容性增长（李建军和姜世超，2021），从而促进经济增长。其次，数字金融在解决信息不对称、缓解融资约束和推动数字化转型方面发挥着重要作用。信息不对称时常导致风险评估不准确和市场运行效率低下等问题。数字金融依托智能系统和大数据能够掌握用户资金记录和账单足迹，进一步对客户的信用进行准确评估，有效缓解了信贷双方的信息不对称，提高了金融服务的准确性和便利性。数字金融也能有效缩短贷款审批的流程与时间，提高交易的效率，优化信贷环境（张蕊和余进韬，2021）。并且，数字金融是金融服务向发展落后地区和弱势群体延伸的有效工具（黄浩，2018）。金融业务的普惠发展受到各地区数字技术、经济高质量发展水平、政策倾向性等因素影响，具有明显的地区差异性。基于金融科技的不断发展，5G 技术向基层和偏远地区不断铺开推广，数字金融将重塑传统金融的管理和服务模式，优化整个金融系统运作，跨越时空和地域的局限，促进了生产要素的流动，实现资本与资产的合理配置（刘利，2021）。

关于数字金融对经济社会的影响。数字金融在许多微观层面起到了正向的作用。例

如增加企业的专利授权数(Zhang 等, 2024)、提升企业创新效率(王伊珂和何锋, 2024)、增强企业风险承担水平(马连福和杜善重, 2021)、优化企业融资模式(解维敏等, 2021)和降低企业违法行为(董小红等, 2024)。尤其对于中小企业来说, 数字金融通过线上借贷和众筹平台, 能够拓宽其融资渠道, 改善它们的融资条件(田秀娟和李睿, 2022), 缓解其融资约束, 提高其抗风险能力, 增强了整体经济的竞争力和活力。在宏观层面, 数字金融能够拓宽金融服务的范围, 增强金融服务的多样性, 促进经济的可持续发展(Chinoda 和 Kapingura, 2024)。同时, 数字金融对于提振实体经济(汪亚楠等, 2020)、减缓相对贫困(孙继国等, 2020)、提升经济韧性(崔耕瑞, 2021)和促进金融新质生产力(张壹帆和陆岷峰, 2024)等方面具有积极作用。

### 1.2.2 能源效率相关研究

降低能源消费、提高能源效率是实现“双碳”目标的重中之重。弄清能源效率的测度体系和影响因素, 将为本文的后续研究打下坚实基础。

关于能源效率的测度。能源效率的测度方法主要分为单要素能源效率和全要素能源效率测度两种。单要素能源效率使用能源有效产出与能源消费量的比值进行衡量, 该比值的倒数也被称为能源强度。这项指标在世界各国的官方报告中均得到了体现, “单位 GDP 能源消耗”指标的内涵就是单要素能源效率。该指标在我国能源战略规划和能源消费度量上得到广泛使用(周起凤, 1997; 史丹, 2002)。基于不同省份的面板数据, 可以测算得出我国各地区的能源强度(齐绍洲和李锴, 2010)。基于不同行业的数据, 可以得到各行业的能源强度水平(彭武元和姚焱亭, 2021), 制造业行业的能源强度水平会受到技术进步、政府预算等多种因素的影响(樊茂清等, 2009)。由于能源价格并不固定, 具有浮动性, 单要素能源效率的测算对于能源效率的测度并不够准确。因此, 国内外学者纷纷趋向于利用全要素能源效率进行测算。全要素能源效率纳入资本、劳动等要素, 采用参数法和非参数法, 全面测度能源的利用效率。Hu 和 Wang (2006) 首次提出利用径向效率模型测算全要素能源效率。目前, 参数法更多用随机前沿分析(SFA)对数据进行处理, 主要处理多输入单输出的检验模型。Aigner、Lovell 和 Schmidt(1977)第一次运用随机前沿分析(SFA)进行全要素效率的测算, 随后被广泛用于能源效率的测算。Lin 和 Wang (2014)认为能源效率应为最新技术水平下, 能源有效投入与实际投入之比。Filippini 和 Hunt (2015)将能源投入指标设置为能源的最小可行量, 测度了十几个国家的能源效率。部分学者也对我国的能源效率进行了测算, 基于 SFA 方法测度了我国各省份能源效率(刘争和黄浩, 2019)、188 个地级市能源效率(张慧等, 2022)、沪苏浙皖地区 41 座城市的能源效率(田成诗和陈雨, 2022)。非参数法不进行任何假设, 可以规避因假设问题带来的偏差, 当前数据包络分析(DEA)最有代表性。比起