

绿色矿山

JOURNAL OF GREEN MINE

厚植绿色底色
打造一流期刊

中国煤炭行业双碳战略推进系统性评估

陈浮 潘许玥 骆占斌 夏依 郭维红 马静

Systematic evaluation of promoting the dual carbon strategy in China's coal industry: A fsQCA configuration analysis based on the practices of coal listed enterprises

CHEN Fu, PAN Xuyue, LUO Zhanbin, XIA Yi, GUO Weihong, MA Jing

在线阅读 View online: [http://lks.xml-](http://lks.xml-journal.net/article/shaid/bcde2741f0485f1b85f2277f51f39e01787b8035c34970fc048bac2646bdd62b)

[journal.net/article/shaid/bcde2741f0485f1b85f2277f51f39e01787b8035c34970fc048bac2646bdd62b](http://lks.xml-journal.net/article/shaid/bcde2741f0485f1b85f2277f51f39e01787b8035c34970fc048bac2646bdd62b)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[双碳战略下陕西能源工业转型路径](#)

Transformation path of Shaanxi energy industry under double carbon strategy

绿色矿山. 2025, 3(1): 73-84.

[碳中和语境下绿色矿山建设的逻辑、要义与方略](#)

Logic, essentials and strategies of green mine construction under the context of carbon neutrality

绿色矿山. 2024, (3):

[煤炭开采技术的人工智能应用](#)

Artificial intelligence applications in coal mining technology

绿色矿山. 2025, 3(1): 63-72.

[中国绿色低碳经济政策: 进展与展望](#)

China's green and low carbon economic policies: Progress and prospects

绿色矿山. 2023, (1):

[低碳选矿技术发展现状及发展策略研究](#)

Development status and development strategy research of low carbon mineral processing technology

绿色矿山. 2023, (1):



关注微信公众号，获得更多资讯信息

中国煤炭行业双碳战略推进系统性评估

——基于煤炭上市企业实践的 fsQCA 组态分析

陈浮¹, 潘许玥¹, 骆占斌¹, 夏依¹, 郭维红², 马静¹

(1. 河海大学公共管理学院, 江苏南京 211000; 2. 中国矿业大学公共管理学院, 江苏徐州 221116)

摘要: 煤炭企业是我国能源生产主体, 也是能源消耗大户。推进煤炭企业低碳发展与绿色转型是中国实施碳中和行动的关键环节, 对促进煤炭高质量发展以及“双碳”目标实现具有重要意义。然而, 对煤炭企业究竟采用哪些策略或技术来响应国家“双碳”战略一直缺少系统性评估。为此, 本研究基于 25 家煤炭上市企业公开数据, 采用 fsQCA 组态分析方法, 探究经营规模、投入水平、技术创新和政策规范对企业碳排放强度下降的多元组态路径及差异性特征。研究表明: ① 环保投资、研发人员等单一要素无法构成煤炭上市企业实现高水平碳减排效应的必要条件; ② 煤炭上市企业碳减排存在 5 条组态路径, 环保投资、研发投入占比和绿色专利数量作为核心条件介入多条组态路径, 加大环保投资、研发投入及技术升级改造是当前降低煤炭企业碳强度的有效措施; ③ 不同地区、不同规模煤炭上市企业碳减排效应组态存在显著差异。东部地区煤炭上市企业碳减排受环保投资和政策规范的共同影响; 中部地区煤炭上市企业推进碳减排多为单一因素主导, 其中政策规范驱动尤为突出; 西部地区煤炭上市企业推进碳减排受环保投资和技术创新共同作用。巨型煤炭上市企业推进碳减排受环保投资、研发投入占比、技术创新和政策规范等多因素共同驱动; 不考虑营业收入的作用, 边缘条件综合作用也能够驱动大型煤炭上市企业实现碳减排, 尤其是环保投资和研发投入占比; 一般煤炭上市企业推进碳减排主要为环保投资驱动型。本研究系统梳理了煤炭上市企业应对“双碳”战略的复杂组态路径, 为全行业绿色发展提供科学依据。

关键词: 煤炭行业; 减排路径; 组态分析; 碳达峰; 碳中和

中图分类号: TK9 文献标志码: A 文章编号: 2097-3357(2025)02-0052-12

Systematic evaluation of promoting the dual carbon strategy in China's coal industry: A fsQCA configuration analysis based on the practices of coal listed enterprises

CHEN Fu¹, PAN Xuyue¹, LUO Zhanbin¹, XIA Yi¹, GUO Weihong², MA Jing¹

(1. School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211000, China; 2. School of Public Policy and Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Coal enterprises are the main producers and consumers of energy in China. Promoting low-carbon development

收稿日期: 2025-04-23 策划编辑: 常明然 责任编辑: 钱小静 DOI: 10.26940/j.cnki.10-1912/TD.2511

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52374170, 42377465); 江苏省基础研究计划——碳达峰碳中和科技创新专项资金资助项目 (BK20231515)

作者简介: 陈浮 (1974—), 男, 江苏射阳人, 教授, 博士生导师。E-mail: chenfu@hhu.edu.cn

引用格式: 陈浮, 潘许玥, 骆占斌, 等. 中国煤炭行业双碳战略推进系统性评估——基于煤炭上市企业实践的 fsQCA 组态分析[J]. 绿色矿山, 2025, 3(2): 52-63.

CHEN Fu, PAN Xuyue, LUO Zhanbin, et al. Systematic evaluation of promoting the dual carbon strategy in China's coal industry: A fsQCA configuration analysis based on the practices of coal listed enterprises[J]. Journal of Green Mine, 2025, 3(2): 52-63.



移动阅读

and green transformation of coal enterprises is a key link of carbon neutrality actions in China, which is of great significance for promoting coal high-quality development and achieving the “dual carbon” goals. However, there has been a lack of systematic assessment of the strategies or technologies adopted by coal companies in response to the “dual carbon” strategy. Therefore, based on the public data of 25 listed coal companies, this study uses a fsQCA configuration analysis method to explore the multiple configuration paths and differences of business scale, investment level, technological innovation and policy norms on the reduction of enterprise carbon emission intensity. The results show that: ① Single element, such as environmental protection investment and R&D personnel, cannot constitute the necessary conditions for listed coal companies to achieve high-level carbon emission reduction; ② There are five configuration paths for carbon emission reduction of listed coal enterprises, and environmental protection investment, the proportion of R&D investment and the number of green patents are the core conditions to intervene in multiple configuration paths, and increasing environmental protection investment, R&D investment and technological upgrading are effective measures to reduce the carbon intensity of coal enterprises; ③ There are significant differences in the configuration of carbon emission reduction effects of listed coal enterprises in different regions and scales. The carbon emission reduction of listed coal companies in the eastern region is affected by environmental protection investment and policy norms. The promotion of carbon emission reduction by listed coal companies in the central region is mostly dominated by a single factor, among which the policy normative drive is particularly prominent; The promotion of carbon emission reduction by listed coal enterprises in the western region is affected by the combined effect of environmental protection investment and technological innovation. The promotion of carbon emission reduction by giant listed coal companies is driven by multiple factors such as environmental protection investment, proportion of R&D investment, technological innovation and policy norms. Regardless of the role of operating income, the comprehensive effect of marginal conditions can also drive large listed coal companies to achieve carbon emission reduction, especially the proportion of environmental protection investment and R&D investment. In general, the carbon emission reduction promoted by listed coal companies is mainly driven by environmental protection investment. This study comprehensively sorts out the complex configuration path of coal leading enterprises to cope with the dual carbon strategy, and provides a scientific basis for the green development of the whole industry.

Key words: coal industry; emission reduction pathways; configuration analysis; carbon peaking; carbon neutral

0 引 言

经济发展与人口增长引发的化石能源消费加剧了全球气候变化^[1-3],导致人类生存环境受到极大的威胁。第6次联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《Climate change 2021: The physical science basis》预测,人为产生的温室气体排放可能会导致未来全球变暖1~5℃^[4-5]。为控制全球气温进一步升高,亟需各国共同努力减少温室气体排放^[6]。当前,中国是全球第一大碳排放国家^[7],必须承担共同但有差别的减排义务。2020年,习近平主席在第75届联合国大会上宣布:中国力争2030年前二氧化碳排放量达到峰值,争取2060年前实现碳中和目标^[8]。这意味着,中国只能用40a时间走完其他发达国家过去50~70a时间走完的路^[9],中国碳减排任务艰巨且刻不容缓。煤炭作为我国主体能源,也是碳排放的主要来源^[10]。统计显示,煤炭消费产生的碳排放量约占我国能源消费碳排放总量的75%^[11]。因此,“双碳”目标约束下,煤炭行业碳排放压力与日俱增,碳排放约

束迫使煤炭行业不得不主动变革^[11-12]。煤炭上市企业作为行业龙头,不仅要为能源安全和经济发展保驾护航,更要为国家“双碳”战略自觉担责和奉献力量。

当前,煤炭行业绿色转型与高质量发展已成为全社会关注的焦点,一些学者对中国煤炭消费趋势^[13-14]和煤炭企业碳减排技术方法^[15-17]等开展了系列研究。例如,康红普等^[18]分析了我国煤炭行业面临的主要问题,从不同维度评价了煤炭行业绿色发展水平,并指明未来发展方向;陈浮等^[19]从“脱碳”与“去煤”非对等关系着手厘清了煤炭行业与下游产业间的减排责任,并预测了不同情景下未来30a中国煤炭消费需求;张利等^[20]提出煤炭企业环境成本核算必须遵循4步走方法,指导企业实时管理和干预行为达成碳减排目标;焦焘等^[21]分析了煤炭企业绿色低碳发展战略的内外部因素,通过定量评价确定优化产能结构战略为最优战略方向;高云飞等^[22]探究了“双碳”目标下煤炭企业绿色矿山建设路径,提出要加大科技支撑、推动清洁生产工艺升级,推进煤矿区生态治理等建设零碳矿区工程;祖秉辉等^[6]从煤炭产品特点、开采流程、涉排

类型等视角,分析了煤炭企业碳减排潜力,构建了煤炭生产全周期的碳减排技术路径;王利宁等^[23]和曾诗鸿等^[24]研究碳中和目标下我国能源转型路径,提出强化节能战略,大力发展可再生能源。目前,关于煤炭行业转型和煤炭企业低碳发展的研究已非常丰富,国家也先后颁布了一系列政策规范,推进煤炭行业科学发展和节能减排。然而,多数研究从单一因素,如技术更新^[6,15]、新能源替代^[25]或智能化监测^[26]来实现单个煤炭企业碳减排,对煤炭企业如何响应双碳战略的整体行为及复杂性缺少系统研究。

尽管煤炭行业低碳转型与绿色发展是大势所趋,但对煤炭企业碳减排的关注主要集中于技术方法,忽略了碳减排可能受多种因素协同影响,且存在多因并发的复杂关系。定性比较分析法(QCA)是一种整合量化和质化双重取向的中小样本案例研究方法,具有量化与质化分析的双重优势^[27],不仅可以识别事件中的复杂因果关系,还可以对多种条件组合进行比较分析,判别路径的异质性。此外,相关研究表明煤炭企业的经营规模和对碳减排的投入力度直接影响其碳排放量^[15,20],而技术创新和政策规范等则是推动碳强度降低的关键^[6,22]。因此,笔者采用QCA方法从经营规模、投入力度、技术创新和政策规范等4个维度,探究25家煤炭上市企业碳减排效应及路径组态异质性,为我国煤炭行业绿色转型与高质量发展提供可靠依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源和处理

鉴于数据的可获取性及准确性,本研究选取我国全部25家煤炭上市企业为案例,采用模糊集定性比较分析法,探究煤炭上市企业碳减排路径。一是我国2020年9月才明确提出“双碳”目标以及2021年12月“碳排放双控”等政策,对促进能源企业转型和碳减排行动具有重要意义;二是煤炭上市企业是我国煤炭行业的标杆、同时也是重要的生产者。其碳减排行动和成效对整个行业具有巨大的示范效应,采纳的碳减排技术和方法对推动全行业绿色转型具有重要意义。因此,本研究选择目前煤炭上市企业公布的最新(2023年上市企业年报)环境、社会和公司治理(ESG)数据作为研究变量,其中碳排放数据、营业生产、低碳研究投入等相关数据分别来源于《煤炭行业上市公司发展研究报告》、煤炭上市企业官网、煤炭上市企业年报以及中国科学院知识服务平台CSMAR数据库(<https://data.csmar.com/>);煤炭上市企业绿色专利数据来源于国家知识产权局的专利申请

查询系统中心(<https://lin.wxjyxwt.cn/gj/>);当地政府碳减排政策规范来源于地方政府官网。根据研究需要和碳强度定义,将碳排放量/煤炭产量计算得煤炭上市企业碳排放强度。

1.2 研究方法

1.2.1 定性比较分析法

定性比较分析(QCA)是RAGIN 1987年提出的一种定性定量相结合的理论集合分析方法,通过案例比较和集合论逻辑探索多条件与结果之间的复杂因果关系^[28],它强调从组态视角(即条件组合)而非单一变量角度解释特定结果产生的条件组态,适合处理中小样本(10~50个案例)且关注并发因果性。该方法适用于解决以下3类问题^[29]:一是导致同一结果产生的多种路径问题,即条件变量组合 $A \times B \times C$ 和 $D \times E \times F$ 等都可以引致结果 y 的产生^[30];二是因果非对称性问题,如前因组合中包括单一因素 x ,也就是 x 的存在导致结果 y 的产生,但并不能认为 x 的缺失会导致结果 y 消失^[31];三是多重条件并发因果关系;四是多个前因条件影响特定被揭示结果的作用机制问题。

与传统的定性或定量研究方法相比,QCA具备显著优势:一是将量化和质化分析相结合;二是对样本数量和数据来源要求低;三是较好解决了前因条件的复杂性和因果关系的非对称性问题;四是适用于涉及多层变量问题分析。目前,QCA主要包括清晰集定性比较分析(csQCA)、模糊集定性比较分析(fsQCA)和多值集定性比较分析(mvQCA)^[32]。其中,fsQCA引入了模糊集概念,通过模糊集整合和真值表,不需要对研究样本的条件和结果变量再进行二元划分,从而拓展了QCA的使用范围与适用性。

考虑到煤炭上市企业推进碳减排涉及多个因素及交互作用关系,本研究选择应用最广且赋值更精准的fsQCA方法开展煤炭上市企业碳减排效应的组态分析。一是fsQCA尤其适合中小样本(10~50个)的复杂因果关系研究,我国煤炭上市企业仅有25家,恰好符合样本数量的要求;二是煤炭上市企业是行业领军企业,绿色技术创新和碳减排等方面具有引领作用;三是煤炭上市企业每年按时公布ESG数据,数据获取较容易、透明度高。

1.2.2 变量选取

1) 结果变量。碳排放强度是衡量单位GDP产生的二氧化碳排放量的核心指标,可有效反映经济增长与碳排放之间的关系。煤炭企业碳强度是指生产单位产品所排放的二氧化碳量,可以直接反映企业低碳发展水平^[33]。考虑到煤炭企业以开采、生产煤炭为主以及数据完整性,本研究以各企业碳排放量与煤炭产

量的比值来衡量企业碳强度。它直接反映了企业生产单位数量煤炭所产生的全过程碳排放量,与企业绿色生产技术采纳、技术升级等密切相关,代表了煤炭上市企业的碳减排水平(表1)。

表1 煤炭上市企业推进碳减排变量选取

Table 1 Selection of variables for coal listed companies to promote carbon reduction

变量	指标释义
碳排放强度(CI)	企业碳排放总量/煤炭总产量
环保投资(EI)	企业环保投资总额
单位成本环保费用支出比(EE)	企业环保费用总支出/总成本
营业收入(OR)	企业销售商品、提供劳务等取得的总收入
研发投入占比(RD)	企业研发投入总额/营业总收入
研发人员占比(RDP)	企业研发人员占总人数的比例
绿色专利数量(GP)	近3a企业取得的绿色专利授权数
碳减排政策数量(CP)	政府颁布的碳减排政策规范文件

2) 条件变量。选取企业经营规模、投入力度、技术创新和政策规范作为条件变量。① 企业经营规模。可用企业营业收入来表征,一定程度上反映了企业产出水平,企业规模与盈利能力直接影响对碳减排技术研发投入力度。② 投入力度。可用环保投资、单位成本环保费用支出比、研发投入占营业收入比例和研发人员占比4个指标来表征,环保投资包含企业在环保设施、节能减排技术等方面的投入,是碳减排的关键指标。单位成本环保费用支出比反映企业经营中环保资金的投入率,研发投入占营业收入比例代表了企业对科技投入的重视程度,是企业技术创新和绿色转型的核心动力。研发人员占比是企业技术创新和技术应用的动力源泉。③ 技术创新。技术创新是企

业推进碳减排的关键因素,近3a授权的绿色专利数量可作为衡量企业技术创新能力的标志性指标。④ 政策规范。政策规范可以通过经济激励、制度激励、法规约束和市场引导等促进煤炭企业碳减排、降低碳强度,是衡量地方政府对企业实施碳减排支持力度的重要指标。

2 结果与分析

2.1 中国煤炭上市企业主要技术指标一般性描述和变量校准

2.1.1 主要技术指标一般性描述

图1显示主要变量的一般性描述统计结果。结果变量——碳排放强度(CI)平均值为0.24 t/(CO₂/煤炭),总体水平较好,但不同煤炭上市企业之间碳排放强度差异巨大,最小仅为0.04,最大高达1.09。条件变量中,环保投资(EI)平均值为7.42亿元,总体投入较多,但最大值与最小值的比值达592.31,表明不同企业对环保投资的差异非常巨大,尤其是巨型企业与中小型企业之间的差距;单位成本环保费用支出比(EE)平均值为1.29%,最大值为4.4%,最小值为0.15%,不同企业之间差异同样巨大;营业收入(OR)平均值为5.25×10¹⁰元,最大值和最小值分别为34×10¹⁰元和4.3×10⁹元;研发投入占营业收入比(RD)平均值为2.03%,最大值和最小值分别为5.25%和0.02%,不同企业之间差异非常巨大;研发人员占比(RDP)平均值为7.57%,最大值为25.96%,最小值仅为0.13%;近3a绿色专利数量(GP)平均值为57个,最大值和最小值分别为455和0;当地碳减排政策数量(CP)平均值为2.92,最大值和最小值分别为11和0,差异显著。可以发现,经营规模、投入力度、技术创新和政策规范等方面数据差异巨大,受这些因素的复合影响,导致煤炭上市企业碳排放强度差异显著。

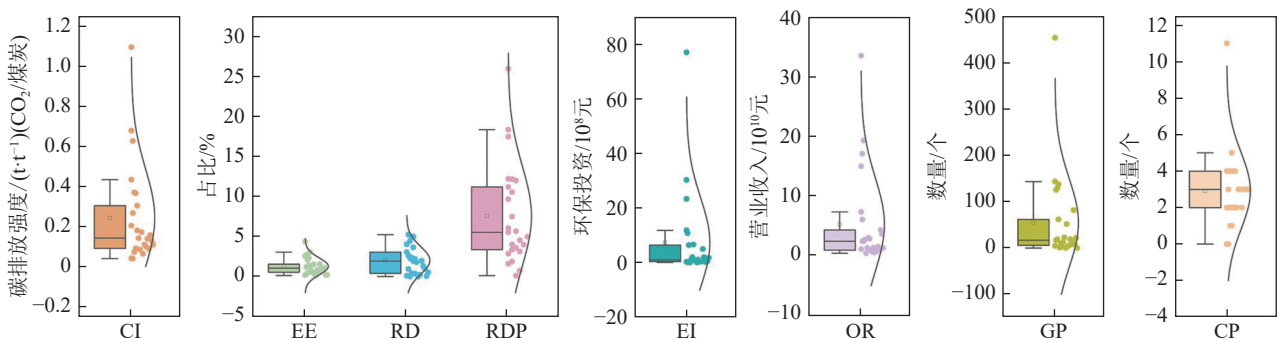


图1 中国煤炭上市企业主要技术指标一般性描述统计

Fig.1 General description and statistics of the main technical indicators of listed coal enterprises in China

2.1.2 变量校准

采用 fsQCA 模型开展必要性和充分性分析前,需

要对所有变量进行校准,将指标数据转换为模糊集隶属分数。一般根据研究案例实际分布情况选择对应

的隶属分数,校准后模糊集隶属分数范围为[0, 1]。本研究采用直接校准法设定完全隶属、交叉点和完全不

隶属 3 个定性锚点,分别对应样本总数的 0.95、0.50 和 0.05 分位点,校准结果见表 2。

表 2 条件变量和结果变量校准

Table 2 Calibration of condition variables and outcome variables

指标	结果变量			条件变量					
	CI	EI	EE	OR	RD	RDP	GP	CP	
校准点	完全隶属	0.97	62.99	4.00	29.25	5.17	23.68	36.17	9.20
	交叉点	0.14	1.10	1.06	2.43	1.94	5.54	1.70	3.00
	完全不隶属	0.04	0.13	0.16	0.47	0.02	0.31	0	0

2.2 煤炭上市企业碳减排路径的 fsQCA 组态分析

2.2.1 条件变量的必要性检验

按照一致性要求,条件组态分析前应逐一判断单个条件变量是否为结果变量产生的必要条件。一般认为,当一致性水平高于 0.90 时表明该条件变量通过必要性检验,能够成为结果变量产生的必要条件。由

表 3 检验结果可知,所有变量一致性水平都低于 0.90,反映煤炭上市企业碳减排路径具有综合性、协同性的复杂特征,受经营规模、投入力度、技术创新和政策规范等多重因素的复合影响。单一条件无法决定煤炭上市企业碳减排效应,多条件组合是推进碳减排的关键,采用 fsQCA 组态分析碳减排效应非常必要且科学合理。

表 3 煤炭上市企业碳减排效应的必要性检验结果

Table 3 The necessity test results of carbon emission reduction effect of coal listed enterprises

项目	EI		EE		OR		RD		RDP		GP		CP		
	高	非高	高	非高	高	非高	高	非高	高	非高	高	非高	高	非高	
高水平 效应	一致性	0.515	0.786	0.668	0.651	0.462	0.817	0.617	0.636	0.629	0.691	0.545	0.745	0.574	0.759
	覆盖度	0.762	0.735	0.838	0.687	0.695	0.756	0.773	0.671	0.774	0.741	0.782	0.710	0.796	0.740
非高水 平效应	一致性	0.621	0.784	0.602	0.827	0.647	0.728	0.582	0.757	0.676	0.754	0.592	0.796	0.643	0.803
	覆盖度	0.684	0.547	0.563	0.650	0.725	0.502	0.544	0.595	0.620	0.602	0.633	0.566	0.665	0.584

2.2.2 条件组态的充分性分析

与单一条件必要性检验相比,组态分析可量化多个条件组合是否为结果变量产生的充分条件。从集合角度看,多个条件变量构成的组态对应的集合为最终结果的子集即为充分性分析,组态分析的本质是评估不同条件变量组合能否充分解释碳减排目标的实现。组态充分性可通过每个单一条件的一致性来表征, SCHNEIDER 等^[34]研究表明,一致性水平来衡量充分性最低不得低于 0.75,条件变量组合的阈值及计算规则与必要性分析不同。本研究根据样本量及案例的异质性,设定单一条件的一致性阈值为 0.80,频数阈值为 1.00。表 4 显示了真值表分析结果,7 个条件变量构建了 5 种条件组态 (Z₁~Z₅),各条件组态的一致性和解的唯一性都大于 0.80,表明该模型具有良好的解释力。模型解的覆盖度为 0.663,说明这 5 种条件组态能够解释 66.3% 的样本案例碳减排效应。

Z₁ 显示: EE 和 RD 为核心条件存在、RDP 为边缘条件存在、OR 为核心条件缺失、GP 和 CP 为边缘

表 4 中国煤炭上市企业碳减排效应的组态分析

Table 4 Configuration analysis of carbon emission reduction effects of coal listed enterprises

条件组态	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
EI		●	⊗	⊗	●
EE	●	●	●	●	⊗
OR	⊗	⊗	⊗	⊗	●
RD	●	⊗	●	●	●
RDP	●	⊗	⊗	⊗	⊗
GP	⊗	●	●	⊗	●
CP	⊗	⊗	⊗	●	⊗
一致性	0.995	0.981	0.962	0.922	0.922
原始覆盖度	0.266	0.282	0.265	0.265	0.296
唯一覆盖度	0.120	0.080	0.040	0.080	0.040
解的唯一性			0.908		
解的覆盖度			0.663		

注: ●表示核心条件存在; ●表示边缘条件存在; ⊗表示核心条件不存在; ⊗表示边缘条件不存在; 空白表示条件是否存在不明。

条件缺失的条件组态能够驱动煤炭上市企业碳强度下降,可定义为 EE-RD 双轮驱动型。它表明中小规模煤炭上市企业为减少碳排放,倾向于加大环保费用支出和研发投入从而推动绿色技术、清洁生产来实现企业碳减排目标。此外, Z_1 的原始覆盖度为 0.266,唯一覆盖度为 0.120,说明 26.6% 的煤炭上市企业碳减排效应能够被这一组态路径来科学解释,其中 12.0%

的高水平碳减排效应企业运用该路径,如山西焦煤、恒源煤电和晋控煤业(图 2a)。山西焦煤积极推广矿井智能化升级改造和绿色开采技术,加大三废治理力度,推动煤炭生产降能耗、提能效;恒源煤电实施生物质掺烧和绿氨掺烧,推动碳排放水平显著下降;晋控煤业采取节能降耗、优化机组运行,推进技术升级改造,进一步减少碳排放量。

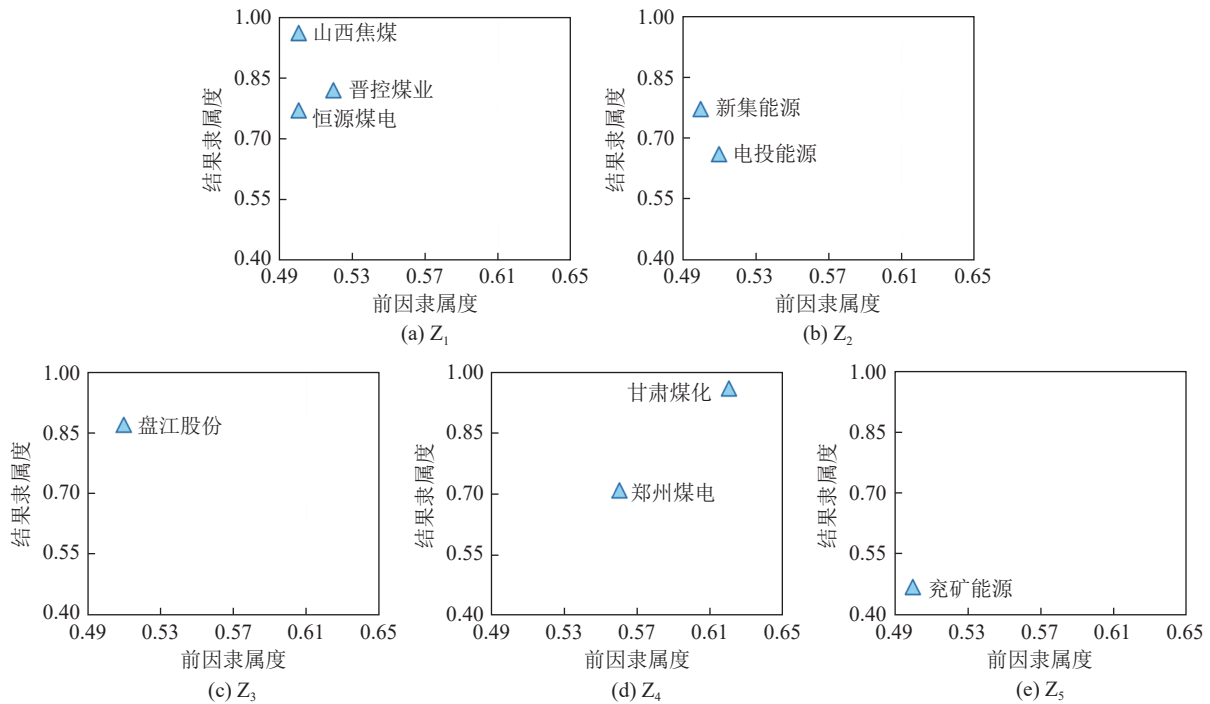


图 2 条件组态下的典型案例解释

Fig.2 Typical case explanation under conditional configuration

Z_2 显示: EI、EE 和 GP 为核心条件存在、OR 和 RDP 为核心条件缺失、RD 和 CP 为边缘条件缺失的条件组态能够驱动煤炭上市企业碳强度下降。可定义为 EI/EE-GP 双轮驱动型。它表明中小规模或研发人员少的煤炭上市企业为减少碳排放,倾向于加大环保投资、环保费用支出和技术改造升级来推动碳强度下降。此外, Z_2 的原始覆盖度为 0.282,唯一覆盖度为 0.08,说明 28.2% 的样本案例碳减排效应能够被这一组态路径来科学解释,其中 8.0% 的高水平碳减排效应企业运用该路径,如电投能源和新集能源(图 2b)。电投能源开展了碳捕集、利用与封存技术研发和应用,积极探索核能小堆、氢能、储能等新技术、新产业和新业态发展,有效减少碳排放、降低碳强度;新集能源研发低碳技术、优化能源结构,促进碳减排。

Z_3 显示: EE、RD 和 GP 为核心条件存在、OR 和 RDP 为核心条件缺失、EI 和 CP 为边缘条件缺失的条件组态能够驱动煤炭上市企业碳排放强度下降,可定义为 EE-RD-GP 综合驱动型。该路径与 Z_2 有一定的

相似,主要发生于经营规模小和研发人员少的研究案例,不同之处为除了加大环保费用支出和技术创新等措施外,还增加了研发投入力度。该组态路径的典型案例为盘江股份(图 2c),它通过引入先进开采技术和设备,降低了单位产量能耗和排放量,从而实现了节能减排的发展目标。

Z_4 显示: EE 和 RD 为核心条件存在、CP 为边缘条件存在、OR 和 RDP 为核心条件缺失、EI 和 CP 为边缘条件缺失的条件组态能够驱动煤炭上市企业碳排放强度下降,可定义为 EE-RD 双轮驱动型。该路径与 Z_1 有一定的相似,经营规模较小和研发人员少的煤炭上市企业通常会增加环保费用支出和加大研发投入力度来提升碳减排效率。该组态路径的典型案例有甘肃能化和郑州煤电(图 2d),甘肃能化积极推进行业绿色发展和能源转型,加大节能降碳和污染治理力度;郑州煤电利用储存和洗选过程优化以及节能减排等技术有效减少了碳排放。

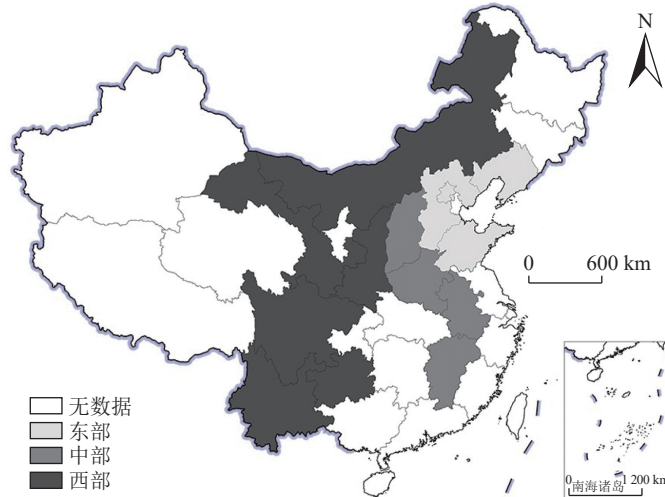
Z_5 显示: EI、OR、RD 和 GP 为核心条件存在、

EE 和 RDP 为核心条件缺失、CP 为边缘条件缺失的条件组态能够驱动煤炭上市企业碳排放强度下降,可定义为 EI-OR-RD-GP 综合驱动型。该组态路径表明,规模较大的煤炭上市企业倾向于选择加大环保投资和研发投入,推进技术创新和产业转型升级来降低碳排放强度。该路径的典型案列为兖矿能源(图 2e),它加大绿色低碳技术研发力度,推动高效节能技术和清洁能源应用,实现绿色低碳高质量发展。

2.3 煤炭上市企业碳减排效应组态异质性分析

2.3.1 组态空间异质性分析

鉴于自然资源禀赋、经济社会发展以及政策环保要求等存在区域差异,对煤炭上市企业碳减排效应做空间异质性分析意义重大。本研究按样本案例所在区域分为东部、中部和西部 3 个地区来深入挖掘不同区域煤炭上市企业碳减排组态路径。具体结果如图 3 所示。



(a) 煤炭企业分布

条件组态	东部		中部			西部	
	E ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	W ₁	W ₂
EI	⊗	⊙	●	●	⊙	⊙	●
EE	●	⊙	●	●	●	●	●
OR	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊙	●
RD	⊗	⊙	⊙	⊙	●	●	⊙
RDP	⊗	⊙	●	⊙	●	⊙	●
GP	⊗	⊙	⊙	●	●	●	●
CP	●	●	⊙	●	●	⊙	●
一致性	0.986	0.962	0.962	0.963	9.960	0.936	0.992
原始覆盖度	0.228	0.200	0.200	0.165	0.155	0.198	0.209
唯一覆盖度	0.228	0.128	0.120	0.089	0.080	0.134	0.145
解的唯一性	0.986		0.984			0.986	
解的覆盖度	0.228		0.050			0.343	

(b) 不同地区煤炭企业碳减排效应的组态分析

图 3 不同区域煤炭上市企业碳减排效应的组态分析(审图号:GS(2023)2767号)

Fig.3 Configuration analysis of carbon emission reduction effects of coal listed companies in different regions (Map review number: GS(2023) 2767)

① 东部地区仅形成了 1 条组态路径,为 EE-CP 双轮驱动型。这表明东部地区煤炭上市企业在“双碳”战略驱动下,倾向于加大环保费用支出来减少碳排放,如购买清洁设备、采用清洁能源和优化生产流程等。该组态的覆盖度为 0.228,说明有 22.8% 的煤炭上市企业能够被这一组态路径所解释。② 中部地区主要形成了 4 条组态路径,包含 CP 驱动型(C₁和 C₃)、

RDP 驱动型(C₂)和 CP-RDP 双轮驱动型(C₄)。其中,C₁代表政策法规主导驱动了中部地区煤炭上市企业碳强度降低;C₃表示除政策法规外,环保投资、环保费用支出和绿色专利等对煤炭上市企业碳减排效应存在影响;C₂代表研发人员占比主导了煤炭上市企业碳减排效应,反映高研发人员占比煤炭上市企业依靠技术创新帮助自身实现碳减排目标;C₄代表中部地区

一部分煤炭上市企业在政策法规驱动下依靠研发人员优势促进自身碳排放强度降低。③西部地区主要形成2条组态路径,为EE-GP双轮驱动型,表明环保费用投入和技术创新是推动西部地区煤炭上市企业碳强度降低的主要因素。总体来看,东部地区煤炭上市企业在政策驱使下倾向于增加环保费用投入来实现碳减排,中部地区多数煤炭上市企业依靠政策引导来加大研发投入和技术创新等提高煤炭利用效率、减少碳排放,西部地区煤炭上市更多依赖技术引进与创新来推动清洁生产。

2.3.2 组态规模异质性分析

生产规模是煤炭上市企业最核心的技术指标,对企业采用何种策略来推动碳减排影响巨大。因此,依据样本案例的生产规模,划分3个类型,分别为I类巨型企业,II类大型企业和III类中小型企业,分别探究不同规模煤炭上市企业碳减排组态路径。具体结果见表5。

①I类巨型企业主要形成了2条组态路径。其中,II₁形成以EE、RD和RDP作为核心条件存在、EI、OR、GP和CP作为核心条件缺失的条件组态能够降

低巨型上市企业碳排放强度,说明环保费用支出、研发投入以及研发人员规模是I类巨型上市企业碳减排效应的重要影响因素;II₂形成以EE、RD、GP和CP作为核心条件存在、EI、OR和RDP作为核心条件缺失的条件组态能够降低巨型上市企业碳排放强度,说明环保费用支出、研发投入、技术升级和政策规范组合对巨型上市企业碳减排产生积极作用。②II类大型企业主要形成了3条组态路径,II₁形成以RDP作为边缘条件存在、OR作为核心条件缺失、其他变量作为边缘条件缺失的条件组态会促进企业碳强度降低;II₂形成以EI、EE和RDP作为边缘条件存在、OR作为核心条件缺失、RD、GP和CP作为边缘条件缺失的组态能降低大型企业碳强度;II₃形成以EE、RD和CP作为边缘条件存在、OR作为核心条件缺失、其他条件变量作为边缘条件缺失的组态会促进企业碳减排。③对于III类企业,主要形成了1条组态路径,表现为EE驱动型。即以EE作为核心条件存在、CP作为边缘条件存在、OR作为核心条件缺失、其余变量作为边缘条件缺失的组态会促进较小煤炭企业的碳强度降低。

表5 不同规模煤炭上市企业碳减排效应的组态分析

Table 5 Configuration analysis of carbon emission reduction effects of coal listed enterprises of different scales

条件组态	I类		II类			III类
	I ₁	I ₂	II ₁	II ₂	II ₃	III ₁
EI	⊗	⊗	⊗	●	⊗	⊗
EE	●	●	⊗	●	●	●
OR	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
RD	●	●	⊗	⊗	●	⊗
RDP	●	⊗	●	●	⊗	⊗
GP	⊗	●	⊗	⊗	⊗	⊗
CP	⊗	●	⊗	⊗	●	●
一致性	0.986	0.994	0.989	0.997	0.959	0.809
原始覆盖度	0.285	0.427	0.253	0.135	0.153	0.236
惟一覆盖度	0.200	0.360	0.200	0.080	0.120	0.240
解的惟一性	0.994			0.986		0.809
解的覆盖度	0.633 3			0.451		0.236

注:●表示核心条件存在;●表示边缘条件存在;⊗表示核心条件不存在;⊗表示边缘条件不存在;空白表示条件是否存在不明。

3 讨 论

3.1 中国煤炭行业推进双碳战略的逻辑框架

能源是经济发展的命脉^[35],煤炭作为我国主体能源,不仅是国家能源安全的稳定器,也是保障经济持续增长的基石^[36-37]。党的二十大报告强调,要“立足我国能源资源禀赋”“积极稳妥推进碳达峰碳中和”

“加强煤炭清洁高效利用”等^[2],实现经济社会高质量发展。煤炭企业作为能源生产者,在碳中和目标实现过程中扮演着重要角色。但统计显示不同煤炭企业的碳强度相差较大(图4),本研究对煤炭上市企业碳减排路径进行组态分析,结果表明不同区域和不同规模下煤炭企业碳减排路径存在显著差异。因此,为煤炭行业绿色转型、高质量发展和“双碳”目标实现,亟

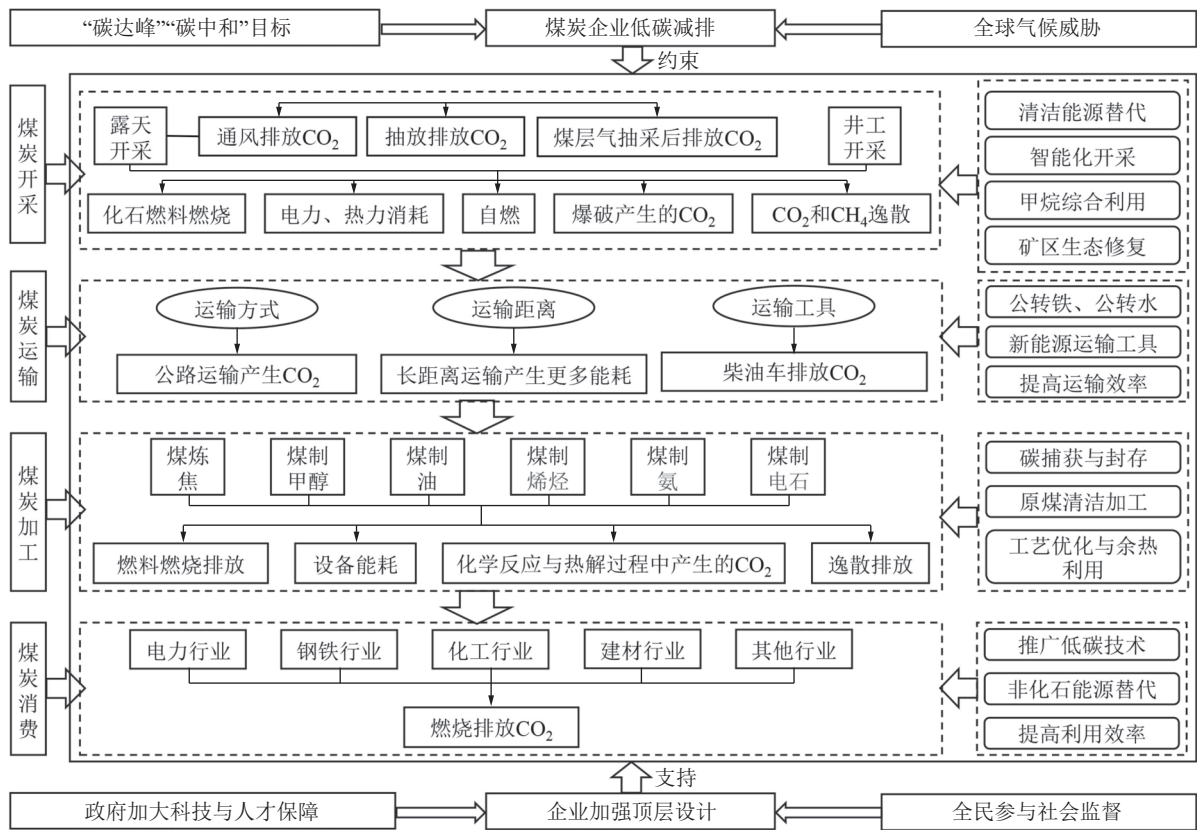


图4 煤炭行业推进“双碳”战略的逻辑框架

Fig.4 Logical framework for promoting the dual carbon strategy in the coal industry

需构建一个适应全行业“双碳”战略的逻辑框架。

通过对相关文献梳理归纳以及煤炭企业已有的低碳减排措施总结^[37-38],发现煤炭企业实现碳中和需要围绕“煤炭开采—运输—加工—消费”等核心环节展开,遵循“源头减排—过程优化—末端治理”的系统思维,构建覆盖“战略规划、技术升级、能源替代、管理协同”的多维路径(图4)。在煤炭开采环节,通过瓦斯技术利用和智能化设备代替柴油机械等,控制甲烷逸散与化石能源消耗,同步布局矿区风光储一体化项目,构建绿电—氢能耦合系统,逐步替代传统能源供应;在运输环节,要求供应商采用低碳物流,推动煤炭运输“公转铁”“公转水”,减少公路运输碳排放强度,通过供应链绿色采购、跨行业技术协同形成减排合力;在加工环节,加速推进能源管理数字化和循环经济模式,实现生产全流程能耗与排放的实时监测与动态优化,减少资源消耗;在消费环节,积极与高耗能行业合作推广低碳技术,如氢冶金、富氧燃烧等,探索“煤炭+CCUS”一体化商业模式,为下游企业提供低碳能源解决方案。该框架以技术创新为引擎、以政策与市场为双轮驱动,企业锚定目标、加强顶层设计,政府加大科技与人才保障,社会参与监督评估,促进煤炭企业从被动合规转向主动减排,在保障能源安全的同时

重塑低碳竞争力。

3.2 基于组态分析的煤炭上市企业碳减排具象化路径

本研究揭示了我国煤炭上市企业实现碳减排的组态路径。首先,必要性检验显示并不存在任何一个必要条件,意味着煤炭企业不会因为经营规模、投入力度、技术创新和政府政策中某种变量的缺失就无法实现高水平碳减排;其次多元路径的存在体现了当下研发投入、技术创新和政策支持多重条件的协同联动作用推动企业实现碳减排的价值所在,尤其是环保、研发和技术3个变量在多条组态路径中作为核心条件存在,更凸显了在企业低碳减排过程中加大环保费用和研发力度以及技术升级改造等措施的重要性和必要性。此外,本研究还探索了不同地区和不同规模下煤炭企业实现碳减排的组态路径差异,从分布地区来看,对于经济较为发达的东部地区,促使煤炭企业碳强度降低的组态路径最少,环保费用投入和政策支持是重要动因;煤炭企业较多且正处于快速发展的中部地区形成的组态路径也最多,但多为单因素主导型,尤其以政策驱动型最为突出;对于煤炭资源较丰富但发展相对落后的西部地区,环保费用投入和技术创新是其实现碳减排的主要动因。从企业规模来看,规模

较大的煤炭企业是受环保、研发、技术和政策等因素联合驱动实现碳减排;规模次之的煤炭企业的组态路径表明在不受营业收入的影响下,其他边缘条件的综合作用也会驱动碳减排,尤其是环保和研发投入;规模较小的煤炭企业的碳减排则表现为环保费用驱动型。不同的组态路径揭示了对于不同地区和不同规模的煤炭企业采取差异化措施促进低碳减排的重要性,随着技术进步和能源转型,煤炭企业实现碳减排的路径也会持续变革,因此应定期探索煤炭企业碳强度降低的路径,为其他相关企业绿色发展和双碳目标的实现提供可靠参考。

4 结 论

1) 单一要素无法构成实现高水平碳减排效应的必要条件,说明煤炭企业各条件变量相互联动共同作用影响企业的碳排放强度,揭示了实现企业碳减排内在机制的复杂性。

2) 煤炭企业碳减排效应存在 5 条组态路径,可以归纳为“环保—研发”双轮驱动型、“环保—技术”双轮驱动型、“环保—研发—技术”综合驱动型和“环保—规模—研发—技术”综合驱动型,体现了不同企业的碳减排目标实现方式的复杂性和多样性。其中环保、研发和技术在多条组态路径中出现,说明煤炭企业大多是通过加大环保投入和研发创新力度以及技术升级改造等措施促使碳强度降低。

3) 组态异质性分析表明,不同地区和不同规模的煤炭企业碳减排路径存在显著差异。从分布地区来看,东部地区煤炭企业的碳减排主要受环保费用和政府政策影响;中部地区引致企业碳强度降低的条件组态最多,且多为单因素主导型,尤其以政策驱使型最为突出;西部地区碳减排是受环保支出和技术创新共同作用。从企业规模来看,规模较大的 I 类煤炭企业以 EE-RD-RDP 和 EE-RD-CP-GP 这两大综合驱动型为主;II 类煤炭企业的 3 条组态路径表明在不受营业收入的影响下,其他边缘条件的作用也会减少企业碳排放;III 类煤炭企业是以环保费用为主导因素驱动企业碳强度降低。

参考文献(References):

- [1] 刘峰,郭林峰,赵路正. 双碳背景下煤炭安全区间与绿色低碳技术路径[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 1-15.
LIU Feng, GUO Linfeng, ZHAO Luzheng. Research on coal safety range and green low-carbon technology path under the dual-carbon background[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 1-15.
- [2] 邓久帅,王亮,王若含. 绿色矿山资源与环境平衡体系研究:资源平衡篇[J]. 绿色矿山, 2024, 2(2): 130-135.
DENG Jiushuai, WANG Liang, WANG Ruohan. Research on the resources and environment balance system in the construction process of green mines: Resource balance[J]. Journal of Green Mine, 2024, 2(2): 130-135.
- [3] 康红普,李全生,张玉军,等. 我国煤矿绿色开采与生态修复技术发展现状及展望[J]. 绿色矿山, 2023, 1(1): 1-24.
KANG Hongpu, LI Quansheng, ZHANG Yujun, et al. Development status and prospect of greenmining and ecological restoration technology of coal mines in China[J]. Journal of Green Mine, 2023, 1(1): 1-24.
- [4] QIAO W B, LU H F, ZHOU G F, et al. A hybrid algorithm for carbon dioxide emissions forecasting based on improved lion swarm optimizer[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 244: 118612.
- [5] 潘思佩,梁加乐,陈万旭,等. 新型城镇化何以引致碳失衡?——基于长江经济带三大城市群的组态分析[J]. 中国土地科学, 2024, 38(12): 116-128.
PAN Sipei, LIANG Jiale, CHEN Waxu, et al. How does new-type urbanization induce carbon imbalance? Based on configuration analysis of the three major urban agglomerations in the Yangtze River economic belt[J]. China Land Science, 2024, 38(12): 116-128.
- [6] 祖秉辉,李长松. “双碳”背景下煤炭生产企业碳减排路径研究[J]. 矿业科学学报, 2024, 9(3): 464-474.
ZU Binghui, LI Changsong. Research on carbon emission reduction pathways for coal production enterprises to meet the “dual carbon” targets[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2024, 9(3): 464-474.
- [7] QIAO R L, LIU X C, GAO S, et al. Industrialization, urbanization, and innovation: Nonlinear drivers of carbon emissions in Chinese cities[J]. Applied Energy, 2024, 358: 122598.
- [8] 谭显春,郭雯,樊杰,等. 碳达峰、碳中和政策框架与技术创新政策研究[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 435-443.
TAN Xianchun, GUO Wen, FAN Jie, et al. Policy framework and technology innovation policy of carbon peak and carbon neutrality[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(4): 435-443.
- [9] 李清亮,柳妮. 双碳背景下煤炭企业转型路径与发展方向[J]. 煤炭经济研究, 2021, 41(7): 45-51.
LI Qingliang, LIU Ni. The Discussion of Coal Companies' Transition Pathway under the Backgrounds of peak carbon and carbon neutrality[J]. Coal Economic Research, 2021, 41(7): 45-51.
- [10] 周曙东,雷会妨,葛继红,等. “双碳”背景下中国能源结构转型的碳减排潜力及宏观经济影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(12): 55-63.
ZHOU Shudong, LEI Huifang, GE Jihong, et al. Carbon emission reduction potential and macroeconomic impact analysis of China's energy structure transition in the context of 'dual carbon' goals[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(12): 55-63.
- [11] 李杨,张帆,姜大霖,等. “双碳”目标下我国煤基能源产业挑战及优化发展策略研究[J]. 中国煤炭, 2024, 50(12): 33-39.
LI Yang, ZHANG Fan, JIANG Dalin, et al. Research on the challenges and optimized development strategies of China's coal-based energy industry under the goals of carbon peak and carbon neutrality[J]. China Coal, 2024, 50(12): 33-39.

- [12] 刘峰, 曹文君, 张建国, 等. 我国煤炭工业科技创新进展及“十四五”发展方向[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 1-15.
LIU Feng, CAO Wenjun, ZHANG Jianming, et al. Current technological innovation and development direction of the 14th Five-Year Plan period in China coal industry[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 1-15.
- [13] 陈浮, 华子宜, 骆占斌, 等. 碳中和语境下绿色矿山建设的逻辑、要义与方略[J]. 绿色矿山, 2024, 2(3): 291-304.
CHEN Fu, HUA Ziyi, LUO Zhanbin, et al. Logic, essentials and strategies of green mine construction under the context of carbon neutrality[J]. Journal of Green Mine, 2024, 2(3): 291-304.
- [14] 李君清, 李寅琪. 煤炭产业经济走势及煤炭企业对策研究[J]. 中国煤炭, 2023, 49(3): 16-22.
LI Junqing, LI Yinqi. Study on the development trend of coal industry economy and countermeasures of coal enterprises[J]. China Coal, 2023, 49(3): 16-22.
- [15] 雷朱家华, 罗良文. 企业偏向性技术进步的碳减排效应: 来自碳排放权交易政策的冲击[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(11): 36-51.
LEI Zhujiachua, LUO Liangwen. Carbon emission reduction effects of biased technological change in enterprises: Evidence from the impact of the carbon emission trading policy[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(11): 36-51.
- [16] 徐妍, 宋怡瑾, 邵帅. 低碳转型政策对上市公司环境-社会责任-公司治理的影响及作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(4): 60-75.
XU Yan, SONG Yijin, SHAO Shuai. Low-carbon transition policy and the ESG quality of listed companies: Evidence from low-carbon city pilots[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(4): 60-75.
- [17] 袁亮, 张通, 张庆贺, 等. 双碳目标下废弃矿井绿色低碳多能互补体系建设思考[J]. 煤炭学报, 2022, 47(6): 2131-2139.
YUAN Liang, ZHANG Tong, ZHANG Qinghe, et al. Construction of green, low-carbon and multi-energy complementary system for abandoned mines under global carbon neutrality[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(6): 2131-2139.
- [18] 康红普, 王国法, 王双明, 等. 煤炭行业高质量发展研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(5): 130-138.
KANG Hongpu, WANG Guofa, WANG Shuangming, et al. High-quality development of China's coal industry[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(5): 130-138.
- [19] 陈浮, 于昊辰, 卞正富, 等. 碳中和愿景下煤炭行业发展的危机与应对[J]. 煤炭学报, 2021, 46(6): 1808-1820.
CHEN Fu, YU Haochen, BIAN Zhengfu, et al. How to handle the crisis of coal industry in China under the vision of carbon neutrality[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(6): 1808-1820.
- [20] 张利, 蔡诚功, 杜俊儒, 等. “双碳”目标下煤炭企业环境成本核算与应用探析: 基于作业成本法核算原则[J]. 财会通讯, 2022(4): 170-176.
ZHANG Li, CAI Chenggong, DU Junru, et al. Analysis on accounting and application of environmental cost of coal enterprises under the goal of “double carbon”: Based on the accounting principle of activity-based costing[J]. Communication of Finance and Accounting, 2022(4): 170-176.
- [21] 焦焘, 赵国浩. 煤炭企业绿色低碳发展战略选择研究: 基于层次分析法[J]. 华东经济管理, 2019, 33(5): 168-176.
JIAO Jiao, ZHAO Guohao. Study on strategic choice of green and low-carbon development for coal enterprises: Based on AHP[J]. East China Economic Management, 2019, 33(5): 168-176.
- [22] 高云飞, 王义, 王国青, 等. “双碳”目标下煤炭企业绿色矿山建设路径探究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(1): 16-20.
GAO Yunfei, WANG Yi, WANG Guoqing, et al. Exploring on the construction paths to green mine in coal enterprises towards the goal of carbon peak and carbon neutrality[J]. China Coal, 2022, 48(1): 16-20.
- [23] 王利宁, 彭天铎, 向征艰, 等. 碳中和目标下中国能源转型路径分析[J]. 国际石油经济, 2021, 29(1): 2-8.
WANG Lining, PENG Tianduo, XIANG Zhengjian, et al. Analysis of China's energy transition pathways under the goal of carbon neutrality[J]. International Petroleum Economics, 2021, 29(1): 2-8.
- [24] 曾诗鸿, 李根, 翁智雄, 等. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护, 2021, 49(16): 26-29.
ZENG Shihong, LI Gen, WENG Zhixiong, et al. Research on China's energy transition path towards the goals of carbon peak and carbon neutrality[J]. Environmental Protection, 2021, 49(16): 26-29.
- [25] 吴树畅, 于群生. “双碳”目标下煤炭企业绿色低碳转型探讨[J]. 中国集体经济, 2023(4): 42-45.
WU Shuchang, YU Qunsheng. Discussion on green and low-carbon transformation of coal enterprises under the goal of “double carbon” [J]. China Collective Economy, 2023(4): 42-45.
- [26] 李新华. 神东矿区创建“零碳矿山”路径研究与实践[J]. 中国煤炭, 2022, 48(11): 88-94.
LI Xinhua. Research and practice of construction path of “zero-carbon mine” in Shendong mining area[J]. China Coal, 2022, 48(11): 88-94.
- [27] 孙慧, 杨泽东, 夏学超, 等. 区域创新生态系统对碳减排的影响: 基于QCA的组态路径分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(10): 57-65.
SUN Hui, YANG Zedong, XIA Xuechao, et al. Impact of regional innovation ecosystems on carbon emission reduction: A configuration path analysis based on QCA[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(10): 57-65.
- [28] 董同强, 陈荣龙. 省域政府数据开放绩效的影响因素与组态路径分析: 基于22个省平台案例的组态分析[J]. 信息技术与管理应用, 2024(5): 107-116.
DONG Tongqiang, CHEN Ronglong. Research on the influence factors and generation paths of data openness performance in provincial governments: A configuration analysis based on 22 provincial platform cases[J]. Information Technology and Management Application, 2024(5): 107-116.
- [29] 李慧, 涂家家. 多层次视角下能源低碳转型因素组态研究: 基于我国30个省域的模糊集定性比较分析[J]. 技术经济, 2020, 39(8): 152-160.
LI Hui, TU Jiahao. Research on the configuration of energy low-carbon transformation factors from the multi-level perspective: Based on

- on 30 provinces in China through fsQCA[J]. *Journal of Technology Economics*, 2020, 39(8): 152-160.
- [30] 万筠, 王佃利. 中国邻避冲突结果的影响因素研究: 基于 40 个案例的模糊集定性比较分析[J]. *公共管理学报*, 2019, 16(1): 66-76, 172.
WAN Yun, WANG Dianli. Research on the affecting factors of NIMBY conflict outcomes in China: Based on 40 NIMBY conflicts cases through fsQCA[J]. *Journal of Public Management*, 2019, 16(1): 66-76, 172.
- [31] 曾经纬, 李柏洲. 组态视角下企业绿色二元创新驱动路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(2): 151-161.
ZENG Jingwei, LI Baizhou. Driving paths of enterprise green ambidextrous innovation from the configuration perspective[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(2): 151-161.
- [32] 杜运周, 贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA): 管理学研究的一条新道路[J]. *管理世界*, 2017, 33(6): 155-167.
DU Yunzhou, JIA Liangding. Configuration perspective and qualitative comparative analysis (QCA): A new way of management research[J]. *Management World*, 2017, 33(6): 155-167.
- [33] 傅砾. 基于碳基能源约束的煤化工低碳发展模式研究[J]. *内蒙古石油化工*, 2014, 40(14): 5-8.
FU Li. Research on low-carbon development model of coal chemical industry based on carbon-based energy constraints[J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2014, 40(14): 5-8.
- [34] SCHNEIDER C Q, WAGEMANN C. Set-theoretic methods for the social sciences: A guide to qualitative comparative analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 44-48.
- [35] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长[J]. *经济研究*, 2022, 57(1): 56-71.
LIN Boqiang. China's high-quality economic growth in the process of carbon neutrality[J]. *Economic Research Journal*, 2022, 57(1): 56-71.
- [36] 王奕明, 任祥军, 赵小靖, 等. 碳达峰、碳中和背景下煤炭产业如何发掘新潜能、打造新优势[J]. *煤炭加工与综合利用*, 2025(1): 75-78, 84.
WANG Yiming, REN Xiangjun, ZHAO Xiaojing, et al. How can the coal industry explore new potentials and create new advantages under the background of carbon peaking and carbon neutrality[J]. *Coal Processing & Comprehensive Utilization*, 2025(1): 75-78, 84.
- [37] 袁祥飞, 陆祉营, 孙阳. “双碳”战略背景下循环经济发展的新模式: 以煤基产业为例[J]. *科技与金融*, 2023(12): 12-16.
YUAN Xiangfei, LU Zhiying, SUN Yang. A new model of circular economy development under the background of “double carbon” strategy: Taking coal-based industry as an example[J]. *Sci-tech Finance Monthly*, 2023(12): 12-16.
- [38] 谢和平, 任世华, 谢亚辰, 等. 碳中和目标下煤炭行业发展机遇[J]. *煤炭学报*, 2021, 46(7): 2197-2211.
XIE Heping, REN Shihua, XIE Yachen, et al. Development opportunities of the coal industry towards the goal of carbon neutrality[J]. *Journal of China Coal Society*, 2021, 46(7): 2197-2211.