

高耗能企业能源转型意愿核算、验证与实证分析

陈洪飞^{1,2,*}, 牛东晓^{1,2,*}

1. 华北电力大学 经济与管理学院, 北京 102206;
2. 新能源电力与低碳发展北京市重点实验室, 北京 102206



摘 要 : 社会各界关于能源转型的重要性已基本达成共识, 但对企业能源转型测度的工作还有待开展。本文聚焦微观层面能源转型的测度难题, 运用文本大数据挖掘技术, 从能源转型意愿视角构建了一套新的企业能源转型意愿词谱。本文首先运用改进的隐含狄利克雷分配模型识别 2021—2023 年能源政策文本, 初步构建企业能源转型意愿词谱; 然后提出一种文本识别算法对 2007—2023 年高耗能上市公司年报文本进行词谱词频统计, 通过过滤和优化形成最终企业能源转型意愿词谱。理论分析和交叉数据检验均验证了企业能源转型意愿词谱的科学可靠性。在此基础上, 本文实证检验了能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响。研究表明: 能源转型意愿对高耗能企业高质量发展具有显著的推动作用; 能源转型意愿可以通过企业环境、社会和公司治理表现以及颠覆性技术创新两种机制推动高耗能企业高质量发展; 能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的促进效应在非国有企业、传统能源类企业与非能源类企业中更为显著。

关 键 词 : 能源转型意愿; 高耗能企业; 大数据挖掘技术; 词谱; 企业高质量发展

中图分类号 : F426; X322 **文献标志码 :** A **文章编号 :** 2097-4981(出版年)0期-fpage-16
DOI: 10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2026-0025

0 引言

相关研究表明, 中国能源部门碳排放量约占整体排放量的70%^[1]。根据欧盟委员会联合研究中心发布的《2025年世界各国温室气体排放》报告, 中国、美国和印度的温室气体排放量仍处在上升阶段。2024年, 中国的温室气体排放量约为155.36亿吨, 约占全球温室气体排放总量的29.20%^[2], 这一统计数据凸显了能源转型的迫切需求。中国作为新兴的工业增长中心和全球环境治理的关键参与者, 已经开始了重塑全球能源架构之旅^[3]。2020年, 中国正式提出了碳达峰碳中和(“双碳”)目标, 旨在为全球气候

治理贡献中国力量。在此之后, 中国陆续出台了《“十四五”可再生能源发展规划》《中华人民共和国能源法》《“十五五”碳达峰行动方案》《可再生能源发展“十五五”规划》等, 这一系列举措彰显了中国实现能源转型的决心。

能源转型的重要性已在社会各界达成共识, 相关研究也从国家^[4]、省际^[5]、城市^[6]等多个层级分析了能源转型水平及其相关性关系。然而, 对于能源消费与污染物排放重点来源的高耗能企业, 其能源转型水平的测度与相关性检验研究仍存在一定空白。一方面, 现有研究聚焦于财务指标(资产回报率、营业收入增长率和专利申请数)^[7]间接测度企业

收稿日期: 2026-04-20; **接受日期:** 2026-06-10

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(22ZD&103)

作者介绍: 陈洪飞(1996—), 男, 博士研究生, 研究方向为能源政策与能源转型、区域经济预测与评价等。E-mail: hfchenhf2022@163.com

通讯作者: 牛东晓(1962—), 男, 博士, 教授, 研究方向为能源政策与能源转型、大数据分析 with 预测等。
E-mail: niudx126@126.com

引用格式: 陈洪飞, 牛东晓. 高耗能企业能源转型意愿核算、验证与实证分析[J]. 能源与气候变化, 出版年, 卷(期): 1-16.

CHEN H F, NIU D X. Calculation, Verification, and Empirical Analysis of Energy Transition Willingness Among High-Energy-Consuming Enterprises[J]. Journal of Energy and Climate Change, 出版年, 卷(期): 1-16.

能源转型绩效，尽管这种测度方式在一定程度上能反映企业能源转型的现象，但难以覆盖企业能源消费结构转变、能源利用效率提升等核心内涵。另一方面，截至目前，尚未有官方平台或科研机构发布微观企业层面的能源消费数据，高耗能企业能源消费数据的匹配、口径与连续性依然存在很大的挑战。

因此，本文在充分明晰企业能源转型测度工作难题的基础上，立足能源转型的现状，利用文本大数据挖掘技术，基于国家能源局的能源政策文本构造能源转型意愿词谱，并结合2007—2023年中国高耗能上市企业年报文本词谱主题词词频，以及理论分析和交叉数据检验，形成最终企业能源转型意愿词谱。此外，为验证文本大数据挖掘技术构建的企业能源转型指标的适用性，本文实证检验了能源转型意愿与高耗能企业高质量发展的关系，并得到3点新发现：1）能源转型意愿显著促进了高耗能企业高质量发展；2）能源转型意愿可以通过环境、社会 and 治理（Environmental, Social, and Governance, ESG）表现和颠覆性技术创新两种机制，推动高耗能企业高质量发展；3）能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的促进效应在非国有企业、传统能源类企业与非能源类企业中更为显著。

本文可能的边际贡献在于：1）提供一种测度企业能源转型意愿的新方法，弥补企业能源转型测度的研究空白；2）揭示能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响，并甄别不同类别的高耗能企业能源转型的必要性；3）丰富大数据挖掘技术在学习、管理学研究中的应用。

1 文献综述

1982年，德国应用生态研究所出版《能源转型：没有石油与铀的增长与繁荣》，首次提出了能源转型的概念，倡导能源要从石油和核能转向可再生能源。进入21世纪以来，能源转型逐渐达成共识，学者分别从新技术应用、能源结构、能量原动机、能源体制变革等角度对能源转型的概念展开进一步研究。在全球气候变暖问题日益严峻的背景下，能源转型成为各国政府和学术界的热点。

1.1 能源转型测度

能源体制可被视为一种特殊的社会-技术体制，包括围绕特定技术体系的开发、支持技术开发和使用这些技术的制度集合^[8]。Kemp等^[9]、Geels等^[10]观察到能源转型是经济、环境、技术、制度和文化等因素共同作用的结果，其过程与社会系统结构性变迁十分接近。基于以上学者的研究，李相远等^[11]、梁栋等^[6]、侯建朝和陈静静^[12]、郝继哲^[13]分别构建了城市层面的能源转型指标体系，测度了城市能源转型状况，为政府和企业适配“双碳”目标而调整相应的能源转型和减排策略提供了宝贵意见。宏观层面的能源转型数据相对充足，可供参考的依据丰富。例如，曹明明^[4]统计了149个国家2003—2018年的能源消费数据；刘芳璐^[14]、缪鹭江^[15]运用可再生能源消耗占地区总能源消耗比值衡量省级能源转型水平；杨光磊等^[16]依据综合能源平衡表考察城市能源转型等。然而，微观层面的能源转型数据相对匮乏。微观企业的财务数据尽管在某种程度上能够体现企业在能源消费方面的动态，但更多体现的是企业生产经营的内容，关于能源消费的识别尚不足以明晰。作为一种社会-技术体制变迁^[8]，推动企业能源转型，有助于激发城市能源转型活力，对早日实现“双碳”目标具有自下而上的推动作用。

1.2 能源转型相关性分析

能源转型的相关研究集中于宏观层面，集中探讨了能源转型对中国环境的影响^[17]、能源转型人力资本增进效应^[18]、能源转型对经济结构的影响^[19]、能源转型的城乡能源公平效应^[20]、能源转型对收入不平等的影响^[6]、能源转型对碳达峰拐点的影响^[5]以及能源转型路径^[21-22]等。例如，任松彦等^[23]以粤港澳大湾区为例，通过碳约束机制下的3种情景（基准情景、转型情景和深度转型情景）研究了能源转型传导机制、路径以及对宏观经济的影响。范英和衣博文^[24]对中国能源转型面临的现实挑战和驱动机制进行了深入探究，分析了碳中和目标引导下的能源转型新趋势，剖析了能源转型面临的体制机制障碍和外部性定价障碍，探讨了能源转型的中国路径。然而，关于能源转型的微观影响效应研究尚不多见。

综上，学者从能源转型的测度、影响、路径等

方面开展了系列研究,为推动能源转型做出了不可忽视的贡献。然而,现有研究聚焦于从宏观层面揭示能源转型的发展历程或影响。事实上,微观层面的企业能源转型实践是宏观层面能源转型发展的基础支撑,研究微观能源转型更具实践意义。从实践来看,测度企业能源转型水平存在明显的紧缺性。一方面,现有研究聚焦于利用资产回报率、营业收入增长率和专利申请数等财务指标^[7]测度企业能源转型绩效。尽管这种测度方式在一定程度上能反映企业进行能源转型的现象,但难以覆盖企业能源转型的核心内涵,即企业能源消费结构转变、能源利用效率提升等。尤其对具有“高污染、高能耗和高物耗”特征的企业而言,测度其能源转型水平不能只停留于转型的现象,更应该贯穿“投入-过程-产出”的全过程,推动高耗能企业能源消费观念转变及能源利用效率的提升,实现高耗能企业可持续发展。另一方面,截至目前,没有任何一个官方平台或科研机构发布微观企业层面的能源消费数据。微观企业层面能源转型数据具有典型的多源分散特征,收集与统计难度大。因此,构建高耗能企业能源转型意愿的测度体系,有助于揭示高耗能企业能源消费转型的现象,明晰行业发展现状。

2 基于文本大数据挖掘技术的新测度方法

2.1 数据来源及说明

能源政策文件来源于国家能源局官方网站^①。能源转型词谱主题词词频数据均来源于高耗能上市企业年报,通过Wind数据库、巨潮资讯网^②或上市公司官网获取。上市公司的财务数据(公司规模(Size)、企业年龄(Age)、股东持股比例(Top)等)来源于国泰安数据库。地区经济发展水平(Gdp)、地区产业结构(Ris)、行业规模经济(Scale)、行业竞争程度(Ic)等数据来源于《中国城市统计年鉴》。本次统计涉及308家高耗能上市企业,其中代码为000012和000027的上市公司均存在1年的数据缺失,本文对缺失数据采用插值方式补齐。为减少极端值对研究

结果的干扰,本文对连续变量进行了1%和99%的缩尾处理。

2.2 文本分析对象确定

尽管高耗能企业具有高污染、高能耗和高物耗的特性已成为社会共识,但无论是中小企业,还是上市公司,均未系统性地在官方网站或公共场合披露企业用能情况。政府部门、社会公众等无法确认企业是否充分响应能源转型政策,实现企业清洁、高效用能。在“双碳”目标、《中华人民共和国能源法》的要求下,厘清高耗能企业能源转型情况对适配碳减排要求、达成减碳目标尤为关键。基于以上诉求,本文设计如下:

(1)根据国家能源局的定义,能源转型不仅是技术和政策的变革,更是经济结构和消费模式的深刻变革。具体目标包括:1)提高非化石能源的比例,推动可再生能源(如风能、太阳能等)的开发和利用,逐步减少对化石能源的依赖。2)根据《2030年前碳达峰行动方案》,力争在2030年前实现碳排放达峰,并在2060年前实现碳中和。3)推动绿色低碳发展,通过政策引导和市场机制,促进能源消费革命和供给革命,推动经济社会发展全面绿色转型。因此,本文以国家能源局2021—2023年能源主题的政策文件(60份,分别定义为 $D_1 \sim D_{60}$)为基础文本,识别、训练和筛选能源转型词谱,具体政策文件详见附录^③。

(2)根据《中华人民共和国2017年国民经济和社会发展统计公报》,本文将石油加工、炼焦和核燃料加工业,化学原料和化学制品制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,电力、热力生产和供应业等6大行业划分为高耗能产业。此外,本文通过行业代码C25、C26、C30、C31、C32、D44识别沪深A股上市公司高耗能企业,并运用Python和人工采集两种途径收集其企业年报。2007年1月1日起施行的新《企业会计准则》对企业财务指标要求有较大变化,因此本文搜集2007—2023年披露的上市公司年报,最终获取了4 709份年报文本进行分析。

① 资料来源: <http://www.nea.gov.cn>。

② 资料来源: <http://www.cninfo.com.cn/new/index>。

③ 因篇幅所限,相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录。

2.3 改进的隐含狄利克雷分配模型

隐含狄利克雷分配（Latent Dirichlet Allocation, LDA）模型作为一个典型的词袋模型，是文本大数据挖掘领域的基础方法之一^[25]。传统LDA模型将若干文档自动编码为一定数量的主题，每个主题的概率分布为 θ ，通过概率分布 ϕ 对固定词汇表 W 中的单词建模确定每个主题 Z ^[26]， α 和 β 分别控制一个狄利克雷分布。改进的LDA模型基于传统LDA模型，引入潜在特征模型进行融合建模，加强了传统LDA模型的特征学习能力，其吉布斯采样程序如图1所示。

改进的LDA模型在原LDA模型的基础上添加新的约束项，其分类分布CatE如下：

$$\text{CatE} = \frac{\exp(\Gamma \cdot \mu)}{\sum_{\mu \in W} \exp(\Gamma \cdot \mu)} \quad (1)$$

式中：CatE为具有对数空间参数的分类分布； Γ 为与 T 主题相关的潜在向量； μ 为与单词 W 相关的潜在向量； $\Gamma \cdot \mu$ 为由词语索引“分数”组成的向量； W 为固定值。

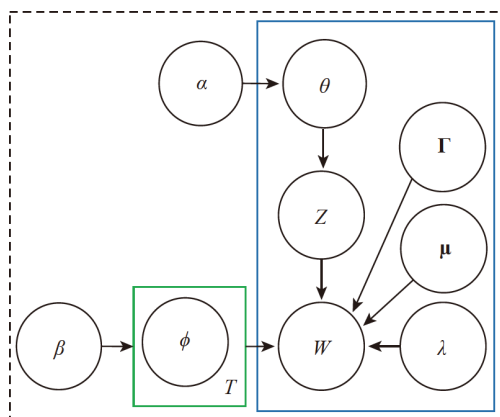


图1 改进的LDA模型

Fig.1 Improved LDA model

注： λ 表示潜在特征主题生成单词的概率参数。

最优主题数将直接影响改进的LDA模型的性能和可解释性，本文选取困惑度指标评价最优主题数。当主题数的点困惑度与前一个点的困惑度差值极大，并与后一个困惑度差值极小时，为最优主题数。其计算公式如下：

$$\text{Perplexity} = \exp \left(- \frac{\sum_{D=1}^n \log P(w_D)}{\sum_{D=1}^n N_D} \right) \quad (2)$$

式中： n 为文档数量； N_D 为第 D 个文档中出现的词语总数； $P(w_D)$ 表示第 D 篇文档所有观测词汇的边缘似然，代表模型生成文档 D 词汇集合的概率。

本文基于改进的LDA模型分析2021—2023年60个能源主题的政策文件，判断Jieba分词后的词语或词组是否属于能源转型范畴，并最终构建能源转型意愿词谱。

2.4 文本识别算法

文本识别以数理统计学和计算语言学为理论基础，利用计算机发现某些文字出现的规律以及文字与语义、语法间的联系，从非结构化的文本中抽取潜在的、研究者感兴趣的重要知识和信息。文本识别最重要的特征在于获取非结构化的文本中所蕴含的信息，这些信息往往难以用结构化或半结构化的数据形式来表示，因此文本识别在信息检索、新闻推送、商业需求预测等领域有着广泛的应用。

基于高耗能上市企业文本数据，本文首先运用词频快速统计和Jieba分词词频统计两种方式统计能源转型词谱中主题词词频数量，并比较两者大小；然后通过随机抽样手动验证词谱中主题词的词频数量，实现对两种方式统计的噪声过滤和修正；最后输出能源转型词谱中主题词的词频数量。值得注意的是，企业年报词频与能源政策词谱并非一一匹配，因此需要进一步根据企业年报词频结果优化词谱，最终形成企业能源转型意愿词谱。

2.5 变异系数指数合成法

高耗能上市企业年报中包含能源转型词谱主题词的词频越高，表明高耗能上市企业对能源转型越重视。因此，能源转型词谱主题词词频结果均为正向指标，仅需要对能源转型词谱主题词词频进行无量纲化和归一化处理。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})} \quad (3)$$

式中： y_{ij} 为无量纲化和归一化处理后的值； x_{ij} 为能源转型词谱主题词的词频； i 表示高耗能企业； m 表示被统计的高耗能企业总量。

本文参考黄顺春和陈洪飞^[27]的做法，建立变异

系数赋权法, 计算高耗能上市企业年报中能源转型意愿词谱主题词词频的变异系数 V_j 和权重 ω_j 。

$$V_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\omega_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: $\bar{x}_j$ 和 σ_j 分别表示词谱主题词词频均值和标准差。

基于词谱主题词的权重 ω_j , 本文对无量纲化和归一化处理后的数据 y_{ij} 进行线性加权, 得到客观权重方式的企业能源转型意愿指数(EET_i)。

$$EET_i = \sum_{j=1}^n \omega_j y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

3 企业能源转型意愿词谱及有效性检验

3.1 企业能源转型意愿词谱

基于前文确定的文本分析对象, 本文运用改进的LDA模型计算能源转型政策不同主题数下的困惑度, 并进行主题词提取。如图2所示, 当主题数为13个时, 困惑度取局部最小值, 能较好地解释文档主题。当主题数继续增加时, 困惑度下降幅度减小。因此, 本文的最优主题数目设定为13个。根据

Heinrich^[28]的研究结论, 本文设置LDA模型中的参数 $\alpha=50/13$, $\beta=0.1$ 。

基于最优主题数, 本文整理60个文档中的TOP13主题, 部分结果如表1所示。可以发现, 文档1(《2021年能源工作指导意见》)中, 能源、技术、科技、绿色、产业、转型等词汇的提及次数较多; 文档2(《2022年能源监管工作要点》)中, 能源、发展、绿色、高质量、转型、政策等词汇的提及次数较多; 文档3(《“十四五”新型储能发展实施方案》)中, 能源、储能、信息化、新能源、产业、转型等词汇的提及次数较多。本文结合能源转型的特征手动筛选与能源转型相关的主题, 并依据主题命名含义所属类型, 构建6×82的能源转型意愿词谱。

进一步地, 本文根据6×82的能源转型意愿词谱匹配高耗能上市企业词频, 部分结果如表2所示。可以发现, 上市公司的“减损减碳”“去煤”等主题词的词频均为0, 说明此类主题词为无效主题词, 无法有效衡量高耗能上市企业能源转型意愿水平。因此, 需要对能源转型意愿词谱进行优化, 最终形成6×79的具有高耗能企业特征的企业能源转型意愿词谱(表3)。

3.2 企业能源转型意愿词谱有效性验证

3.2.1 文档-主题概率匹配

本文利用改进的LDA模型, 得到60×13的“文

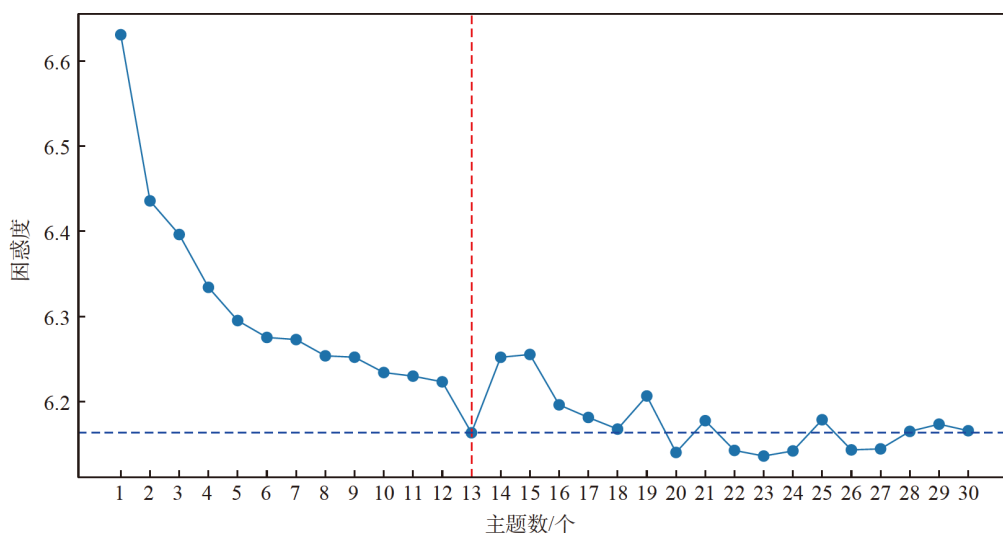


图2 主题数-困惑度折线图

Fig.2 Line chart of number of themes-confusion index

表 1 最优主题词汇（部分）
Table 1 Optimal keywords (excerpt)

文档	主题 1	主题 2	主题 3	主题 4	主题 5	主题 6	...
1	能源	技术	科技	绿色	产业	转型	...
2	能源	发展	绿色	高质量	转型	政策	...
3	能源	储能	信息化	新能源	产业	转型	...
...	...	...	...	...	...	...	...
60	能源	绿色	转型	生态	发展	产业	...

表 2 主题词词频（部分）
Table 2 Frequency of keywords (excerpt)

上市公司	能源	新能源	能源转型	减损减碳	去煤	低碳	...
000012	461	212	2	0	0	17	...
000565	253	43	0	0	0	46	...
002162	329	0	0	0	0	6	...
300665	164	89	1	0	0	6	...
600408	348	6	0	0	0	15	...
...	...	...	...	...	...	...	...
603268	83	0	0	0	0	3	...

表 3 企业能源转型意愿词谱
Table 3 Word cloud of enterprises energy transition willingness

类型	主题词
常规能源	能源、天然气、水电、石油、煤炭、汽油、柴油
清洁能源	清洁能源、新能源、可再生能源、非化石能源、新型能源、绿色能源、太阳能、生物质能、风能、地热能、波浪能、洋流能、潮汐能、氢能、沼气、酒精、甲醇、化工能、核能、页岩气、风电、核电、光伏、分布式
能源转型	能源转型、煤炭退出机制、加大清洁能源利用、能源转换、电能替代、储能、电力、能源结构、清洁能源技术、废弃物资源化利用、能源价格、能源安全、能源政策、节能
绿色环保	绿色、环保、污染、循环利用、治理、清洁、废物利用、电动汽车、绿证、环境
废物排放	双碳、碳达峰、碳中和、碳排放、减排、减污降碳、降损减碳、碳捕获、减碳、低碳、零碳、环境代价
技术创新	技术创新、技术改进、升级、创新、标准、改善、提升、开发、技术进步、高效、发展、高质量

档-主题”矩阵，部分结果如表4所示。可以发现，在“文档-主题”矩阵中，一个文档有多个主题，每个主题在文档中出现的概率不同，因此可以根据各个主题出现概率的高低筛选文档的词频情况。以文

表 4 文档-主题概率（部分）
Table 4 Document-topic probabilities (excerpt)

文档	主题	概率	主题	概率	主题	概率	...
1	5	0.029 0	32	0.647 6	41	0.021 3	...
2	5	0.048 0	21	0.123 3	34	0.138 7	...
3	21	0.123 8	31	0.344 8	33	0.401 1	...
...	...	...	...	...	...	...	...
60	33	0.274 0	41	0.109 3	44	0.610 2	...

档1为例，文档中第5个主题词的概率为0.029 0，第32个主题词概率为0.647 6，第41个主题词概率为0.021 3，这表明在文档1中，第32个主题的词频最高，侧面说明了该文档以第32个主题词为核心内容。为检验输出结果，本文从改进的LDA模型的分词结果中查找第32个主题词，第32个主题词为“能源”，而文档1的文档名为《2021年能源工作指导意见》，可见这一结果是正确的。

3.2.2 时间趋势

本文对主题词词频按年份进行统计，并计算每一年主题词词频占比。以主题词“能源”为例，2023年高耗能企业年报“能源”词频为18 526次，2007—2023年词频为153 901次，则2023年“能源”主题词词频占比为 $18\,526/153\,901\times100\%=12.04\%$ ，以此类推。部分主题词占比如图3所示，可以发现时间越早，高耗能上市企业能源转型主题词词频占比越低。这说明中国在推动经济发展的过程中，难以摆脱对不可再生能源的依赖。不过随着经济高质量发展、“双碳”目标的相继提出，以“碳排放”“能源转型”“储能”等为代表的主题词占比呈现跨越式提升，“清洁能源”“光伏”等主题词占比也稳步增加。这说明在多项政策的指引下，高耗能企业正在全力推动企业层面的能源转型，支持中国“双碳”目标尽早达成，为缓解全球气候变暖贡献自身力量。通过观察2007—2023年主题词词频占比变化发现，该变化特征符合现实逻辑，且与国家能源政策实施节奏相契合，这凸显了本文所构建词谱的可靠性。

3.2.3 地区差异

进一步地，本文运用变异系数指数合成法拟合2007—2023年高耗能企业能源转型意愿指数，如图4所示。2007—2023年，所有高耗能企业样本散点呈波动上升趋势，但整体水平偏低，且企业间异质性



图3 部分主题词占比分布

Fig.3 Proportion distribution of selected subject terms

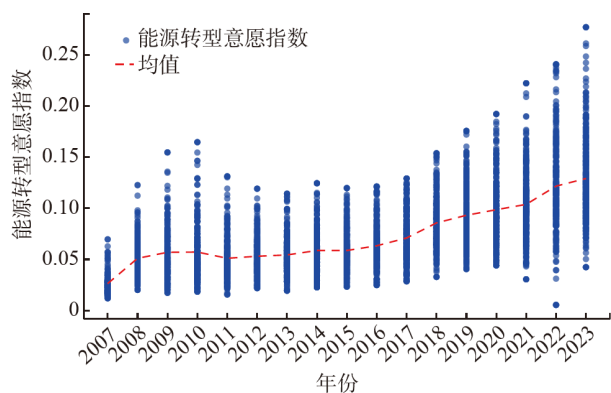


图4 2007—2023年企业能源转型意愿指数

Fig.4 Enterprises energy transition willingness index from 2007 to 2023

较大。高耗能企业能源转型意愿指数最高可达0.277 1, 最低仅为0.005 6。从均值可以看出, 高耗能企业能源转型意愿指数上升趋势明显。这说明在多项能源政策的激励下, 企业转型不仅关注企业自身技术的提

升, 也在不断优化自身能耗的问题。

省级层面的能源转型水平可通过历史数据测算, 本文以(总装机容量-火电装机容量)/总装机容量 $\times 100\%$ 来衡量各省级行政区(下文简称省份)的能源转型水平。计算结果显示, 河北、福建、甘肃、海南的能源转型水平(清洁能源装机占比)较高, 对应的企业能源转型意愿指数均值(河北(0.122 0/541/4 709)^④、福建(0.135 2/361/4 709)、甘肃(0.139 0/324/4 709)等)也均位于样本的前10%水平。上海的清洁能源装机容量占比最低, 这与其地理位置、资源禀赋密切相关。氯碱化工企业能源转型水平也不高, 企业能源转型意愿指数最低, 为0.012 8。本文进行了分区域比较, 东部、中部、西部、东北地区四大区域的能源转型水平(清洁能源装机占比)均呈稳定上升趋势, 而企业能源转型意愿指数也呈现同样的趋势。这一系列的比较分析均证明了本文的词谱构建是科学有效的。

④ 0.122 0/541/4 709指企业能源转型意愿指数为0.122 0, 在2007—2023年的4 709个高耗能样本中排第541名, 其他同理。

3.2.4 前瞻性偏差比较

自2020年中国“双碳”目标提出以来，各行各业加强了对碳排放的关注，碳排放管控上升为强约束指标。因此，本文在构建能源转型意愿词谱时，将“碳”相关的指标纳入废物排放维度。然而，这一做法可能存在严重的前瞻性偏差，造成对早年样本的不公平。为克服或降低这种前瞻性偏差的影响，本文将全维度测算结果（EET）与废物排放维度的测算结果（EET1）进行比较，如图5所示。

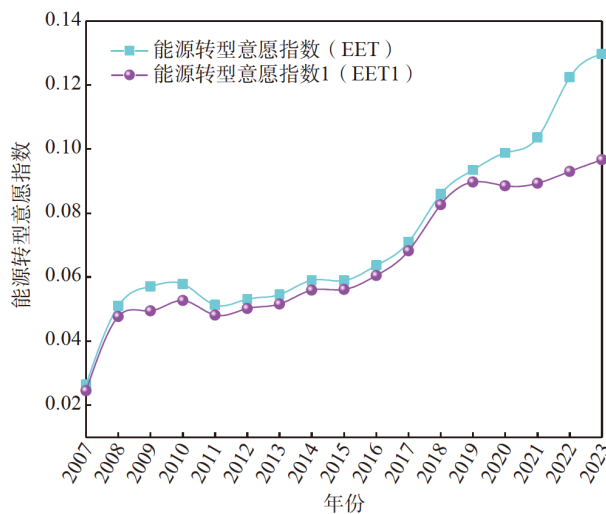


图5 废物排放维度的影响偏差比较

Fig.5 Comparison of impact biases in the waste disposal dimension

2020年前，EET和EET1两条曲线基本保持一致；2020年后，随着“双碳”目标的实施，与“碳”相关的指标被赋予了更重要的价值，EET1曲线较EET曲线略有下降，但能够清晰地看到，企业能源转型意愿指数仍呈波动上升趋势。这表明，2020年“碳”指标的纳入虽降低了企业能源转型意愿指数，但不会对其演变趋势产生较大的影响，因此，“碳”指标所带来的前瞻性偏差并不是绝对的。此外，尽管“碳”相关的指标在2020年后才被广泛提及，但从长远来看，“碳”被赋予重要责任，“碳”相关的指标应当被纳入能源转型意愿的词谱。考虑到数据的可比性，所有企业应当在统一范式下进行测量与比较。综合来看，“废物排放”这一单一维度的前瞻性偏差较低，对早年样本不公平的影响相对较弱。

4 能源转型意愿与高耗能企业高质量发展：实证分析

4.1 模型构建与变量定义

一个好的指标不仅要能准确表达其含义，更要具备适用性。适用是指运用该指标进行实证分析时，能够得到符合经济学理论的结果^[29]。因此，为进一步验证基于文本大数据挖掘技术构造的企业能源转型意愿指标的合理性，本文分析能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响。受限于数据可获得性，现有关于能源转型的研究多停留于区域层面，如能源转型对浙江碳达峰的影响^[5]、能源转型对城市收入不平等的影响^[6]、能源转型路径研究^[21]等。本文对打破数据壁垒、深耕企业能源转型具有重要意义。

为考察企业能源转型意愿与企业高质量发展的关系，本文参考虞义华等^[30]的研究设计，构建如下模型：

$$GTFP_{it} = \chi_0 + \chi_1 EET_{it} + \chi_2 Controls_{it} + \chi_4 t_i + \chi_5 v_i + \chi_6 g_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$Controls_{it} = \pi_1 Size_{it} + \pi_2 Age_{it} + \pi_3 Top_{it} + \pi_4 Growth_{it} + \pi_5 Cashflow_{it} + \pi_6 Fixed_{it} + \pi_7 Mshare_{it} + \pi_8 Gdp_{it} + \pi_9 Scale_{it} + \pi_{10} Ris_{it} + \pi_{11} Ic_{it} \quad (8)$$

式中： $GTFP_{it}$ 为企业*i*在第*t*年的高耗能企业高质量发展水平，采用企业绿色全要素生产率衡量； EET_{it} 为核心解释变量，表示企业*i*在第*t*年的能源转型意愿水平； $Size_{it}$ 、 Age_{it} 、 Top_{it} 、 $Growth_{it}$ 、 $Cashflow_{it}$ 、 $Fixed_{it}$ 、 $Mshare_{it}$ 、 Gdp_{it} 、 $Scale_{it}$ 、 Ris_{it} 、 Ic_{it} 为一系列控制变量； ε_{it} 为扰动项； t 表示企业所属年份固定效应； v_i 、 g_i 分别表示企业所属行业固定效应和地区固定效应，本文在回归分析中控制以上3种效应； χ 、 π 为一系列回归系数。具体变量定义如下。

被解释变量：高耗能企业高质量发展水平。依据弋亚群和刘云立^[31]的研究，并充分考虑绿色发展理念在企业高质量发展中的重要性，本文采用企业绿色全要素生产率衡量。企业绿色全要素生产率包括投入要素、期望产出和非期望产出。其中，投入要素包括劳动力和资本存量，参照现有文献的做法，投入要素中的劳动力投入采用企业员工规模衡量；

资本存量测算参照董娟^[32]的研究,以企业初期实际资本存量为基础,对各期固定资产净值变化进行价格平减,然后再累加到各期的实际资本存量当中。事实上,以各期固定资产净值的变化进行平减后累加存在一个天然优势,即不需要考虑折旧的问题,因为各期固定资产净值的变动量并未包括折旧。相比于固定资产原值,采用固定资产净值进行存量计算能够有效克服折旧率所带来的内生性影响,所以以累加法核算企业资本投入的方式也更为可靠。具体表达式如下:

$$C_{\text{real},i,t} = (C_{\text{nom},i,t} - C_{\text{nom},i,t-1})/p_t + C_{\text{real},i,t-1} \quad (9)$$

式中: $C_{\text{real},i,t}$ 和 $C_{\text{real},i,t-1}$ 分别表示企业 i 在第 t 年和第 $t-1$ 年的实际资本存量; $C_{\text{nom},i,t}$ 和 $C_{\text{nom},i,t-1}$ 分别表示企业 i 在第 t 年和第 $t-1$ 年的固定资产净值; p_t 为企业 i 所在省份在第 t 年的固定资产投资价格指数。

通常情况下,基准年份越早,以永续存盘法计算的初始估计量误差对后期的影响越小,即以公司成立年份为基准年份估计企业资本存量初始值最佳。但考虑到每个高耗能上市企业在上市前后资本量的差距,以及数据的可获取性,本文参照已有研究的做法^[32],以企业上市时间为基准年份,并依次计算2007—2023年高耗能上市企业各年的资本存量。

期望产出采用高耗能企业营业收入表示,并依据《中国价格统计年鉴》的生产者出厂价格指数进行平减修正。

非期望产出采用污染物排放量表示。由于上市企业的环境污染物排放信息披露不完整,所能获取的上市企业污染物排放量信息十分有限。不可忽视的是,高耗能企业的特征与行业密切相关,从行业视角梳理企业污染物排放信息从逻辑上来说是可行的。通常情况下,高耗能企业的主要污染物包括废水、废气和固废,但《中国环境统计年鉴》自2017年起不再分行业披露废水、废气排放量数据。因此,本文将高耗能企业废水、废气和固废指标统计转换为工业废水中化学需氧量排放量、工业废气中二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量统计。具体计算如下:

第1步:参照董娟^[32]的研究,计算高耗能行业各污染指标的调整系数 ξ 。

$$\xi_{k,h} = (\text{Poll}_{k,h} / \sum \text{Poll}_{k,h}) / (\text{MBR}_k / \sum \text{MBR}_k) \quad (10)$$

式中: $\xi_{k,h}$ 表示 k 行业 h ($h=1, 2, 3$, 分别表示工业废水中化学需氧量排放量,工业废气中二氧化硫排放量,工业烟(粉)尘排放量。)污染物指标的调整系数; $\text{Poll}_{k,h}$ 表示 k 行业 h 污染物的排放量; $\sum \text{Poll}_{k,h}$ 表示所有高耗能行业 h 污染物排放总量; MBR_k 表示 k 行业主营业务收入; $\sum \text{MBR}_k$ 表示高耗能行业主营业务收入。

第2步:引入行业权重,计算加权调整后的 k 行业 h 污染物排放量 $\text{Poll}_{k,h}'$ 。

$$\text{Poll}_{k,h}' = \text{Poll}_{k,h} \times W_{k,h} \quad (11)$$

第3步:计算行业中 i 企业的 h 污染物的排放量 $\text{Poll}_{i,h}$ 。

$$\text{Poll}_{i,h} = \text{Poll}_{k,h}' \times (\text{MBR}_i / \sum \text{MBR}_i) \quad (12)$$

式中: MBR_i 表示 i 企业主营业务收入; $\sum \text{MBR}_i$ 表示高耗能企业主营业务收入。

第4步:将各个企业工业废水中化学需氧量排放量、工业废气中二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量进行加总,得到高耗能企业的非期望产出总量。

$$\text{Poll}_i = \sum_{h=1}^3 \text{Poll}_{i,h} \quad (13)$$

式中: Poll_i 表示高耗能企业 i 的非期望产出总量。

依据投入要素、期望产出和非期望产出的测算结果,本文通过超效率模型(Super-Slacks-Based Measure model, Super-SBM)和全球-Malmquist-Luenberger 生产率指数(Global-Malmquist-Luenberger Productivity Index, GML)相结合的方法测度2007—2023年高耗能企业绿色全要素生产率,以此表征高耗能企业高质量发展水平。具体建模过程参照附录^⑤。

解释变量:高耗能企业能源转型意愿。能源转型意愿指企业在推进能源转型过程中所表现的特定价值观、优先事项和战略选择,具体测算过程参照前文。

机制变量:企业ESG表现与颠覆性技术创新。本文基于ISO26000、GRI Standards、SASB Standards等

国际ESG披露标准和国内外知名ESG数据库的设计思路，结合中国ESG信息披露的相关政策，构建了适合中国国情的高耗能企业ESG评分体系^⑤，并运用层次分析法对指标进行赋权，得到最终的ESG综合得分。本文基于专利申请的分类号匹配结果构建颠覆性技术创新指标：将企业当年专利申请的分类号与其前5年专利申请的分类号进行比对，若当年出现的分类号在前5年未曾出现过，则认定企业在该技术领域具备颠覆性技术创新能力；并以当年新增分类号的数量为基础取对数，作为企业当年的颠覆性技术创新水平指标。

控制变量：参照现有研究基础^[33-34]，本文模型中的控制变量包括公司规模、企业年龄、企业成长能力、股东持股比例、现金流比率、固定资产占比、管理层持股比例、地区经济发展水平、地区产业结

构、行业规模经济、行业竞争程度。变量定义和描述性统计结果如表5所示。

4.2 基准回归分析

能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的基准回归结果如表6所示。可以看出，能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的回归系数显著为正（列（1）），这表明在经济政策的引导下，具有能源转型意愿的高耗能企业更利于推动企业高质量发展。在加入一系列控制变量后，企业能源转型意愿的系数呈现出合理的下降趋势，能源转型意愿系数为0.241 5，且在1%的水平上显著（列（2）），这说明能源转型意愿显著推动高耗能企业高质量发展。然而，上述基准回归结果可能存在逆向因果关系，即高质量发展水平越高的企业在环保意识 and 现金流等方面越有

表5 变量定义及描述性统计结果
Table 5 Variable definitions and descriptive statistic results

变量类型	变量	变量定义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	绿色全要素生产率（GTFP）	通过 Super-SBM 和 GML 相结合的方法进行测算	4 709	0.98	0.13	0.72	1.20
解释变量	能源转型意愿指数（EET）	通过改进的 LDA 模型结合指数合成法测算	4 709	0.08	0.04	0.01	0.28
机制变量	ESG 治理（ESG）	企业 ESG 表现	4 709	0.29	0.12	0.04	0.64
	颠覆性技术创新水平（DTI）	颠覆性技术创新水平	4 709	1.44	1.24	0.00	4.43
控制变量	公司规模（Size）	年总资产的自然对数	4 709	22.72	1.44	19.71	26.65
	企业年龄（Age）	企业年龄的自然对数	4 709	2.91	0.35	1.39	2.71
	企业成长能力（Growth）	本年营业收入/ 上一年营业收入-1	4 709	0.14	0.34	-0.58	3.05
	股东持股比例（Top）	第一大股东持股数量/总股数	4 709	0.36	0.16	0.05	0.84
	现金流比率（Cashflow）	经营活动产生的 现金流量净额/总资产	4 709	0.06	0.07	-0.24	0.34
	固定资产占比（Fixed）	固定资产净额/总资产	4 709	0.38	0.18	0.02	0.86
	管理层持股比例（Mshare）	董事、监事、高管持股数量/ 总股本数量	4 709	0.07	0.15	0.00	0.69
	地区经济发展水平（Gdp）	人均地区生产总值	4 709	11.11	0.64	8.62	12.76
	地区产业结构（Ris）	第三产业增加值与 人均地区生产总值比值	4 709	0.47	0.14	0.09	0.84
	行业规模经济（Scale）	行业从业人数与规模以上 工业企业比值	4 709	0.03	0.02	0.00	0.13
	行业竞争程度（Ic）	所在行业中企业固定资产 占比平方和	4 709	0.07	0.06	0.01	0.57

⑤ 因篇幅有限，相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录。

表6 基准回归结果
Table 6 Benchmark regression results

变量	(1) GTFP	(2) GTFP	(3) L.GTFP
EET	0.434 9*** (0.027 0)	0.241 5*** (0.020 3)	0.237 2*** (0.020 5)
Size	—	0.000 1 (0.000 6)	0.000 1 (0.000 6)
Age	—	0.040 0*** (0.003 1)	0.041 7*** (0.003 4)
Growth	—	-0.002 2* (0.001 2)	-0.002 5* (0.001 3)
Top	—	-0.007 6* (0.004 5)	-0.009 8** (0.004 5)
Cashflow	—	-0.015 7** (0.007 3)	-0.016 4** (0.007 7)
Fixed	—	-0.036 3*** (0.003 7)	-0.036 2*** (0.003 8)
Mshare	—	0.075 7*** (0.004 7)	0.083 4*** (0.005 0)
Gdp	—	0.074 1*** (0.003 7)	0.072 5*** (0.004 0)
Scale	—	-0.177 5*** (0.052 3)	-0.264 8*** (0.052 6)
Ris	—	0.340 0*** (0.016 5)	0.369 9*** (0.017 2)
Ic	—	-0.107 8*** (0.019 9)	-0.131 1*** (0.022 9)
<i>t</i>	0.023 8*** (0.000 2)	0.013 9*** (0.000 5)	0.013 8*** (0.000 5)
_cons	0.832 4*** (0.009 9)	-0.075 5* (0.044 2)	-0.051 1 (0.046 5)
年份固定效应	是	是	是
行业固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
<i>R</i> ²	0.903 3	0.946 8	0.941 3
Obs	4 709	4 709	4 400

注：***、**、* 分别代表在 1%、5%、10% 的统计水平上显著；括号内为稳健标准误，余表同。

优势，越有能力推进企业能源转型。为处理逆向因果引致的问题，本文将GTFP滞后一期（列（3）），发现能源转型意愿仍能显著地正向影响高耗能企业高质量发展。这初步表明，企业能源转型意愿提升总体上推进了高耗能企业高质量发展，即提升企业能源转型意愿有利于企业实现绿色价值，符合经济学

的逻辑。这一研究结论与部分宏观层面的研究发现^[19,35]基本一致，即能源转型对绿色金融、技术进步、企业利润等均有正向影响。

4.3 稳健性检验

除逆向因果关系外，本文还可能存在遗漏变量问题。为了更好地处理内生性问题并验证结论可靠性，本文开展一系列稳健性与内生性检验。

（1）替换变量。本文更换绿色全要素生产率的测算方式，将绿色全要素生产率的非期望产出替换为企业碳排放量，运用Super-SBM和GML相结合的方法重新估计高耗能企业绿色全要素生产率（GTFP1）水平，结果如表7列（1）所示。更换绿色全要素生产率的测算方式后，能源转型意愿与高耗能企业绿色全要素生产率之间仍是显著的正向相关关系，这表明对被解释变量重新估计后结果依旧稳健。

（2）切分样本时段。考虑到研究样本期从2007年开始，时间跨度较大，为避免能源转型意愿水平测度在时间维度上的偏差，本文采用2019—2023年的数据重新进行回归检验，结果如表7列（2）所示。可以看出，核心解释变量系数在1%的水平上显著为正，这表明本文的研究结论依旧稳健。

（3）建立双重机器学习模型。参照Bodory等^[36]、张涛和李均超^[37]的研究，本文采用双重机器学习模型进行重新估计，结果如表7列（3）所示。可以看出，在控制时间趋势、行业固定效应和地区固定效应的基础上，逐步加入控制变量一次项、二次项和三次项，核心解释变量系数在1%的水平上显著为正，与基准回归结果保持一致，这表明利用双重机器学习模型处理潜在的内生性问题后，本文的研究结论依旧稳健。

（4）建立双重差分（Difference-in-Differences, DID）模型。在“双碳”目标下，新能源示范城市政策会加速地区高耗能企业能源应用转型，因此其可以被视为一项准自然实验。参考黄先海和高亚兴^[38]的研究，本文利用DID模型对内生性问题进行控制，将新能源示范城市的高耗能企业作为实验组，其他企业作为对照组，建立DID模型：

$$GTFP_{it} = \eta_0 + \eta_1 Treat_i \times Post_{it} + \sum \eta_n Controls_{it} + t_i + v_i + g_i + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

表 7 稳健性检验结果
Table 7 Robustness test results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	CTFP1	切分样本时段	双重机器学习	DID 模型	IV1	IV2
EET	0.280 1*** (0.022 7)	0.162 5*** (0.028 3)	0.271 6*** (0.026 5)	—	—	1.891 8*** (0.067 8)
Treat × Post	—	—	—	0.023 1*** (0.001 4)	—	—
IV	—	—	—	—	23.172 8*** (0.617 0)	—
t	0.014 4*** (0.000 5)	0.005 7*** (0.000 6)	—	0.014 0*** (0.000 4)	0.014 2*** (0.000 5)	—
_cons	-0.042 0 (0.050 2)	0.312 1*** (0.093 4)	—	-0.035 1 (0.041 3)	-0.057 0** (0.022 9)	0.223 7*** (0.027 9)
Controls	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
Kleibergen-Paap rk LM statistic	—	—	—	—	—	457.091 0 [0.000 0]
Cragg-Donald Wald F statistic	—	—	—	—	—	4 828.096 0 {16.380 0}
R^2	0.935 6	0.662 0	—	0.948 1	0.737 1	0.994 7
MSE	—	—	0.026 0	—	—	—
Obs	4 709	1 540	4 709	4 709	4 400	4 400

注：[]内为 p 值，{ }内为 Stock-Yogo 弱识别检验 10% 水平的临界值。

式中：Treat _{i} 表示企业是否属于实验组，若属于实验组，取值为1，若属于对照组，则取值为0；Post _{it} 表示新能源示范城市的实施年份，处于政策实施年份及以后取值为1，否则取值为0。

DID模型结果可靠的关键前提是满足平行趋势假设，即在未进行能源转型政策干预之前，实验组和对照组的高耗能企业绿色全要素生产率应具有平行的变化趋势，以保证政策执行带来的差异^[39]。参考现有研究，本文采用事件分析法检验。如图6所示，在能源转型政策正式实施前，各期待估参数的政策动态效应均未达到显著水平，这说明无法拒绝原假设，即满足平行趋势前提。待政策生效后，各期待估参数普遍显著为正，且随时间推移呈现先振荡后递减的趋势。这首先说明能源转型政策对高耗能企业绿色全要素生产率具有显著的正向推动作用，支持基准回归的结果，通过了平行趋势检验；其次，这说明能源转型政策的影响效应并不是永久的，而

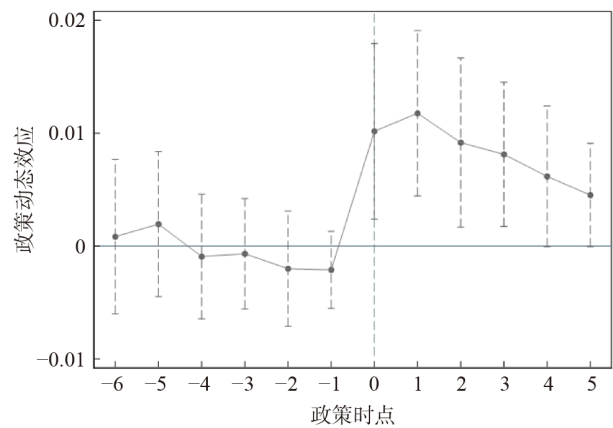


图 6 平行性趋势检验结果
Fig.6 Parallelism trend test results

是具有边际效应递减的特征。具体回归结果如表7列（4）所示，交互项Treat × Post的系数显著为正，这表明能源转型政策对高耗能企业高质量发展具有显著的正向影响。DID检验结果同样支撑本文的基准结论。

(5) 构建工具变量(IV)。本文结合工具变量的适用条件,以同年度同行业其他企业的能源转型意愿指数均值乘以滞后一期能源转型意愿指数作为工具变量。主要依据在于,该均值既与能源转型意愿具有强相关性,又满足绿色全要素生产率的排他性约束。

本文采用两阶段最小二乘法进行工具变量回归,第1阶段(IV1)、第2阶段(IV2)回归结果分别如表7列(5)、列(6)所示。EET的工具变量结果显示,LM统计量 p 值为0.000 0,拒绝工具变量识别不足的原假设;Wald F 统计量为4 828.096 0,大于10%水平临界值(16.380 0),这表明无弱工具变量问题。在列(5)中,工具变量的回归系数显著为正,这表明符合相关要求。列(6)结果显示,EET的系数在1%的水平上显著为正,这表明在控制潜在的内生性问题干扰后,本文的结果仍然成立。

4.4 机制检验

4.4.1 能源转型意愿、企业 ESG 表现与高耗能企业高质量发展

由表8列(1)可以看出,能源转型意愿显著推动高耗能企业高质量发展。列(2)是企业ESG表现机制检验结果,核心解释变量系数在1%的水平上显著为正,这表明能源转型意愿对高耗能企业ESG表现具有显著的促进作用,即在政策引导下,企业能源转型意愿有助于提升企业ESG表现,促进高耗能企业高质量发展。

表8 机制检验结果
Table 8 Mechanism test results

变量	(1) CTFP	(2) ESG	(3) DTI
EET	0.241 5*** (0.020 3)	0.662 5*** (0.049 9)	1.029 0* (0.561 5)
t	0.013 9*** (0.000 5)	0.001 2* (0.000 7)	0.048 5*** (0.009 2)
_cons	-0.075 5* (0.044 2)	-0.161 9** (0.078 1)	-9.584 0*** (0.998 7)
Controls	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
行业固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
R^2	0.946 8	0.562 0	0.466 4
Obs	4 709	4 709	4 709

4.4.2 能源转型意愿、颠覆性技术创新与高耗能企业高质量发展

表8列(3)是颠覆性技术创新机制检验结果,核心解释变量系数在10%的水平上显著为正,这表明能源转型意愿对高耗能企业颠覆性技术创新具有显著的促进作用,即能源转型意愿可以通过推动企业进行颠覆性技术创新,促进高耗能企业高质量发展。

4.5 异质性分析

4.5.1 企业性质: 国有企业和非国有企业

企业性质可能对能源转型水平与高耗能企业高质量发展的关系产生影响。基于资源获取视角,国有企业更容易获得政府部门的帮助,获取更丰厚的资源。然而,如果这些丰厚的资源没有带来应有的收益,国有企业可能变成“僵尸企业”。而非国有企业则不同,企业获取资源的有限性和竞争环境的选择性决定了企业必须将有限的资源用于培育自身核心竞争力,从而在竞争激烈的营商环境中存活下来。因此,企业性质可能影响企业的能源转型意愿与转型行为,对其高质量发展产生重大影响。本文按照企业所有制特征,将企业划分为国有企业和非国有企业,进一步检验能源转型意愿是否影响高耗能企业高质量发展。表9列(1)、列(2)结果显示,非国有企业的能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响更为显著(0.223 9>0.190 3),且组间系数差异通过了显著性检验。具体来看:一方面,国有企业和非国有企业获取资源的渠道和方式等均有所不同,相较于国有企业,非国有企业更关注实施能源转型政策后的激励,如补贴、融资资格、技术交流等;另一方面,随着新能源产业市场化程度持续提高,非国有企业能够凭借其较为灵活的市场机制不断提高市场参与度。

4.5.2 企业类别: 传统能源企业、新能源企业和非能源类企业

企业类别会对其能源转型意愿产生不同程度的影响,能源类(传统能源和新能源)企业和非能源类企业对能源的需求程度明显不同,推动其能源转型的难易程度也不同。在经济高质量发展、“双碳”目标的背景下,推动高耗能企业能源转型刻不容缓,有必要进一步探究不同企业类别的能源转型意愿对

表9 异质性检验结果
Table 9 Heterogeneity test results

变量	(1) 国有企业	(2) 非国有企业	(3) 传统能源企业	(4) 新能源企业	(5) 非能源类企业
EET	0.190 3*** (0.025 0)	0.223 9*** (0.032 3)	0.248 6*** (0.031 8)	0.038 0 (0.031 1)	0.179 4*** (0.025 1)
<i>t</i>	0.015 9*** (0.000 8)	0.014 5*** (0.000 5)	0.015 1*** (0.000 6)	0.026 8*** (0.000 5)	0.020 2*** (0.000 6)
_cons	-0.001 8 (0.066 3)	-0.073 2 (0.065 0)	0.110 9* (0.059 8)	0.742 8*** (0.050 2)	0.235 9*** (0.052 7)
Controls	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.964 3	0.938 8	0.954 0	0.984 8	0.965 5
系数差异 <i>p</i> 值	0.000 0			0.000 0	
Obs	2 822	1 887	1 999	725	1 985

高耗能企业高质量发展的影响。高耗能企业中，能源类企业代码包括C25、C26、D44，本文进一步手工整理区分传统能源（煤、石油、煤电等）和新能源（水电、风电、太阳能发电等）；非能源类企业代码包括C30、C31、C32。表9列（3）～列（5）汇报了EET分组回归的结果，可以看出，EET系数在传统能源企业（0.248 6）和非能源类企业（0.179 4）中显著为正，传统能源企业>非能源类企业，而在新能源企业中不显著，且组间系数差异通过了显著性检验，这说明能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响为传统能源企业>非能源类企业>新能源企业。在碳中和背景下，高耗能企业能源转型是企业转型的重点之一，尤其是传统能源企业和一些化工企业（非能源类企业），其需要完成的转型较新能源企业更大，对企业绿色高质量发展的影响也将更为显著。

5 结论与政策启示

5.1 结论

中国能源部门碳排放量约占整体排放量的70%^[1]。在经济高质量发展、“双碳”目标引领与《中华人民共和国能源法》等法规战略的共同推动下，企业能源转型是非常重要的微观基础。然而，目前学术界对企业能源转型的研究多停留于理论或宏观层面，

微观企业能源转型测度的工作还有待深化。为拓宽能源转型的研究范畴，更好地推进企业能源转型研究，解决高耗能企业能源转型难题，本文基于前沿的文本大数据挖掘技术，开发了一套全新的企业能源转型意愿指标体系。

本文首先收集国家能源局2021—2023年能源政策文本，运用改进的LDA模型识别和筛选企业能源转型意愿主题词，构建6×82的企业能源转型意愿词谱；其次收集2007—2023年中国高耗能上市公司的年报文本，运用文本识别算法匹配企业能源转型意愿词谱并输出主题词词频，验证文本大数据挖掘技术词谱的有效性，优化并输出6×79的企业能源转型意愿词谱；最后通过变异系数指数合成法测算高耗能企业能源转型意愿指数，用以表征企业能源转型意愿水平。在此期间，本文对词谱的有效性进行了多次检验——文档-主题概率匹配、时间趋势、地区差异、前瞻性偏差比较等，检验结果表明本文构建的企业能源转型意愿词谱是科学可靠的，符合中国高耗能企业能源转型实践。

本文实证检验了能源转型意愿对高耗能企业高质量发展的影响及机制。结果表明：1）能源转型意愿显著促进了高耗能企业高质量发展；2）企业ESG表现和颠覆性技术创新是能源转型意愿与高耗能企业高质量发展之间的重要传导机制；3）非国有企

业、传统能源类与非能源类高耗能企业提升能源转型意愿,更有利于推进企业高质量发展。

5.2 政策启示

(1) 政府、学术界、企业应加强协同合作,共同为企业能源转型提供数据支撑与基础研究保障。当前企业能源转型之所以面临挑战,原因之一在于高耗能企业用能数据透明度不足,这既会阻碍有关部门对企业能源转型的监管,也使得企业自身能源转型能力难以显现。为早日达成“双碳”目标和充分践行《中华人民共和国能源法》精神,需要构建一套全面、统一、准确的企业能源转型指数体系和能源转型数据库,掌握高耗能企业的煤炭、石油、天然气、电力、热能等消费信息,通过固定标准衡量和监督企业能源转型。目前关于能源转型的测度研究还停留于宏观层面,微观企业能源转型的测算工作亟待开展。鉴于企业用能数据获取的难题,本文运用文本大数据挖掘技术构造企业能源转型意愿词谱,为前期基础工作提供可行方向,但仍需客观的数据验证。只有政府、学术界、企业通力合作,才能精确量化高耗能企业能源转型的“底数”,进而为企业能源转型提供方向指导和政策支持。

(2) 高耗能企业应坚定不移地推动企业能源转型。本文的研究表明,企业能源转型意愿显著地推进了企业高质量发展,且这一促进作用在传统能源类与非能源类高耗能企业中更为显著。因此,高耗能企业,尤其是传统能源企业和化工企业等,要看清当前发展形势,克服“不敢转、不愿转”的心理,坚定不移推动企业能源转型。在全球呼吁减排的场景下,中国作为新兴的工业增长中心和全球环境治理的关键参与者,将不遗余力地推进重塑能源架构的变革^[3]。高耗能企业要充分利用政策优势,加大企业能源转型力度,以此提高企业核心竞争力。能源密集型产业早期作为国民经济发展的支柱性产业,底蕴深厚,而属于能源密集型产业的高耗能企业,应利用自身的前期优势,大力推进自身能源转型。

参考文献

[1] Fang K, Li C L, Tang Y Q, et al. China's pathways to peak carbon emissions: New insights from various industrial sectors[J]. Applied Energy, 2022, 306: 118039.

- [2] Crippa M, Guizzardi D, Pagani F, et al. GHG emissions of all world countries-2025 report[R]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025.
- [3] Abdelfattah I, El-Shamy A M. Review on the escalating imperative of zero liquid discharge (ZLD) technology for sustainable water management and environmental resilience[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 351: 119614.
- [4] 曹明明. 能源转型对发电产品出口质量的影响[D]. 大连: 东北财经大学, 2022.
- [5] 刘丹丹, 张燕娟. 能源转型对浙江省碳达峰拐点影响的实证模拟[J]. 资源科学, 2024, 46(9): 1699-1708.
- [6] 梁栋, 刘宇, 张硕. 低碳能源转型对收入不平等的影响: 来自中国城市面板数据的证据[J]. 资源科学, 2024, 46(9): 1753-1767.
- [7] 关路, 杨凯. 金融科技对企业能源转型绩效的影响: 来自中国可再生能源企业层面的证据[J]. 经济问题, 2024(12): 69-77.
- [8] Smith A, Stirling A, Berkhout F. The governance of sustainable socio-technical transitions[J]. Research Policy, 2005, 34(10): 1491-1510.
- [9] Kemp R, Rotmans J, Loorbach D. Assessing the Dutch energy transition policy: How does it deal with dilemmas of managing transitions?[J]. Journal of Environmental Policy & Planning, 2007, 9(3/4): 315-331.
- [10] Geels F W, Schwanen T, Sorrell S, et al. Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates[J]. Energy Research & Social Science, 2018, 40: 23-35.
- [11] 李相远, 高中显, 吴文华, 等. 山东省资源型城市能源转型能力评价与影响因素研究[J]. 中国矿业, 2022, 31(6): 69-78.
- [12] 侯建朝, 陈静静. 能源转型能否降低PM_{2.5}污染?: 基于长三角面板数据的实证分析[J]. 统计与管理, 2024, 39(10): 92-102.
- [13] 郝继哲. “双碳”目标下鄂尔多斯市能源转型研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古财经大学, 2024.
- [14] 刘芳璐. 能源转型对中国绿色发展效率的影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2023.
- [15] 缪鹭江. “双碳”目标下中国能源转型对碳排放强度的影响研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2023.
- [16] 杨光磊, 张国兴, 曹冬勤. 可再生能源技术创新如何驱动城市能源转型?: 基于综合能源平衡表的考察[J]. 系统工程理论与实践, 2025, 45(4): 1113-1130.
- [17] 张雅娟, 王铮, 李双成. 能源电力系统转型对中国环境影响评估[J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1830-1843.
- [18] 焦银亿. 能源转型的人力资本增进效应: 基于农村电气化的研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(8): 197-216.
- [19] 李佳, 周卫征. 技术进步和能源结构转型对经济结构的影响[J]. 统计与决策, 2024, 40(16): 145-150.
- [20] 党牛, 陈达基, 王强, 等. 能源转型对城乡能源公平的影响机制[J]. 资源科学, 2024, 46(9): 1768-1779.
- [21] 缙迅杰, 徐鑫茹, 徐泽水. 基于动态社会网络的能源转型路径评估多属性群决策建模研究[J]. 中国管理科学, 2025, 33(6): 346-359.
- [22] Geels F W, Schot J. Typology of sociotechnical transition pathways[J]. Research Policy, 2007, 36(3): 399-417.
- [23] 任松彦, 汪鹏, 林泽伟, 等. 碳约束机制下能源转型路径和宏观

- 影响评估：以粤港澳大湾区为例[J]. 科技管理研究, 2022, 42(20): 219–226.
- [24] 范英, 衣博文. 能源转型的规律、驱动机制与中国路径[J]. 管理世界, 2021, 37(8): 95–104.
- [25] Wahid J A, Shi L, Gao Y F, et al. Topic2Labels: A framework to annotate and classify the social media data through LDA topics and deep learning models for crisis response[J]. Expert Systems with Applications, 2022, 195: 116562.
- [26] 徐戈, 王厚峰. 自然语言处理中主题模型的发展[J]. 计算机学报, 2011, 34(8): 1423–1436.
- [27] 黄顺春, 陈洪飞. 黔滇桂青民族地区经济增长与经济高质量发展协同度分析[J]. 贵州民族研究, 2021, 42(2): 135–143.
- [28] Heinrich G. Parameter estimation for text analysis[R]. Darmstadt: Fraunhofer IGD, 2009.
- [29] 金星晔, 左从江, 方明月, 等. 企业数字化转型的测度难题：基于大语言模型的新方法与新发现[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 34–53.
- [30] 虞义华, 赵奇锋, 鞠晓生. 发明家高管与企业创新[J]. 中国工业经济, 2018(3): 136–154.
- [31] 弋亚群, 刘云立. 高管数据导向对企业高质量发展的影响机制研究：基于资源编排的理论视角[J/OL]. 研究与发展管理, 2026-04-03. <https://doi.org/10.13581/j.cnki.rdm.20241156>.
- [32] 董娟. 要素投入结构对资源型企业绿色全要素生产率的影响研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2022.
- [33] 方先明, 胡丁. 企业ESG表现与创新：来自A股上市公司的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(2): 91–106.
- [34] Li Y X, Yu C H, Shi J Y, et al. How does green bond issuance affect total factor productivity? Evidence from Chinese listed enterprises[J]. Energy Economics, 2023, 123: 106755.
- [35] 杜明军. 区域能源转型的绿色金融策略研究[J]. 区域经济评论, 2023(5): 108–119.
- [36] Bodory H, Huber M, Laffers L. Evaluating (weighted) dynamic treatment effects by double machine learning[J]. The Econometrics Journal, 2022, 25(3): 628–648.
- [37] 张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距：基于双重机器学习的因果推断[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(4): 113–135.
- [38] 黄先海, 高亚兴. 数实产业技术融合与企业全要素生产率：基于中国企业专利信息的研究[J]. 中国工业经济, 2023(11): 118–136.
- [39] Fu Y, He C Y, Luo L. Does the low-carbon city policy make a difference? Empirical evidence of the pilot scheme in China with DEA and PSM-DID[J]. Ecological Indicators, 2021, 122: 107238.

Calculation, Verification, and Empirical Analysis of Energy Transition Willingness Among High-Energy-Consuming Enterprises

CHEN Hongfei^{1,2}, NIU Dongxiao^{1,2,*}

1. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. Beijing Key Laboratory of New Energy and Low-Carbon Development, Beijing 102206, China

Abstract : There is now a general consensus across society regarding the importance of energy transition, but work on measuring enterprise energy transition remains to be done. Therefore, this paper focuses on the challenges of measuring energy transition at the micro level, employing text big data mining technology to construct a new enterprise energy transition willingness lexicon from the perspective of energy transition willingness. First, we adopted an improved latent Dirichlet allocation (LDA) model to screen energy policy documents issued between 2021 and 2023. Based on these documents, we further built a thesaurus for corporate energy-transition intentions. Then, a text recognition algorithm is proposed to perform lexical frequency statistics on annual reports of high-energy-consuming listed companies from 2007 to 2023, filtering and optimizing the data to form the final enterprise energy transition intention willingness. Theoretical analysis and cross-data validation have confirmed the scientific reliability of the enterprise energy transition willingness lexicon proposed in this paper. Based on this, this paper empirically examines the impact of energy transition willingness on the high-quality development of high-energy-consuming enterprises. The research findings indicate that energy transition willingness significantly promotes the high-quality development of energy-intensive enterprises. This willingness fosters high-quality development through two channels: improved corporate ESG performance and disruptive technological innovation. The positive effect is stronger for non-state-owned enterprises and is more pronounced in firms operating in traditional energy industries and in non-energy sectors.

Key Words : energy transition willingness; high-energy-consuming enterprises; big data mining techniques; word spectrum; high-quality enterprise development