

新疆火电企业节能减排效率评价及影响因素分析

曼丽丹·泽尔民别克^{1,2}, 丁杨杨¹, 王松江¹

(1. 昆明理工大学管理与经济学院, 昆明 650093; 2. 新疆维吾尔自治区计量测试研究院, 乌鲁木齐 831400)

摘要: 基于新疆 26 家年综合能耗在 20 万吨标准煤以上火电企业的实地调研数据, 运用非期望产出松弛量测算的数据包络分析(SBM-DEA)模型测算了 26 家企业的节能减排效率值, 通过 Tobit 模型实证探索了各火电企业的节能减排效率产生差异的原因。结果表明, 新疆火电企业总体节能减排效率较低, 其中北疆地区平均节能减排效率低于南疆地区; 企业技术进步、成立时间、政府补贴及地区经济发展等因素均可显著提高火电企业的节能减排效率, 针对研究结果从政府、企业两个层面提出相应对策建议。

关键词: 节能减排效率; 非期望产出 DEA; 技术进步

中图分类号: X **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)06-0180-07

2020 年 9 月, 在第七十五届联合国大会上, 中国首次向世界承诺要在 2030 年前实现碳达峰, 2060 年前实现碳中和, 这意味着中国将在 40 年内完成发达国家近一个世纪的任务目标。这一“双碳”目标的提出, 对以化石燃料为基础的电力系统向零碳电力系统的转变提出了更高的要求^[1]。

现有的发电方式主要有火力发电、水力发电、核能发电和风力发电, 其中火力发电是中国历史最久、最重要的一种发电方式。从能源转换效率来看, 大型热电厂的热能利用率只能达到 60%~70%, 在实现“双碳”目标的背景下, 火力发电行业成为 CO₂ 的主要排放源, 是节能减排的重点领域。据统计, 2014—2021 年火力发电量占全国发电总量的比例从 75% 连续下降至 68%^[2], 虽然发电量比例逐年下滑, 但受能源结构、历史电力装机布局等因素影响, 火力发电仍将是主要发电方式。为此, 2021 年 7 月, 发电行业成为首个被纳入碳排放交易市场的行业, 2022 年全年, 总成交量逾 5 088.9 万 tCO₂。在此背景下, 火电企业更应积极提高企业节能减排效率, 通过技术革新、调整经营项目等手段及时开展自我改造, 最终减少化石能源的消费量和 CO₂ 的排放量。

新疆是能源大省, 石油、煤炭等化石能源储量丰富, 就地取材, 火力发电具有天然优势, 据国家统

计局数据, 2012—2021 年新疆火力发电量占总发电量比例最大且逐年递增, 于 2021 年达到 80.18%^[2]。该研究立足新疆地区实际, 通过计算火电企业的节能减排效率, 从投入和产出角度比较不同企业间能源利用和污染物排放的优劣关系, 衡量不同企业的竞争能力和可持续发展状况, 由此探寻影响火电企业节能减排效率的因素, 有针对性地对企业 and 地方政府提出相应措施来提高管理水平, 促进企业发展与环境保护共同前进。

1 文献综述

数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型自 1978 年被提出以来, 已成为衡量企业投入产出效率最常用方法之一^[3]。DEA 方法相较于随机变量方法具有无须事先假设生产函数, 避免参数加权带来的主观性, 且能从投入产出端建立较系统的评价指标体系等优点。随着全球节能降碳工作的不断推进, 越来越多的国内外学者运用 DEA 模型考察全要素能源利用效率, 且针对不同的应用环境, DEA 已衍生出不同的评价模型。例如, Amowine 等^[4]采用动态的基于松弛值测算的 DEA (slacks-based measure DEA, SBM-DEA) 模型, 对非洲 25 个国家的能源效率进行了测算; Zhang 等^[5]使用基于超效率松弛的测量模型计算能源效率; 王家明^[6]创新性地提出同质共权 DEA (homogeneous-

收稿日期: 2023-12-09

作者简介: 曼丽丹·泽尔民别克(1987—), 女, 哈萨克族, 新疆乌鲁木齐人, 博士, 工程师, 研究方向为项目管理; 丁杨杨(1997—), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生, 研究方向为项目管理; 王松江(1960—), 男, 云南昆明人, 二级教授, 博士研究生导师, 研究方向为项目管理。

common set of weights-data envelopment analysis, HCSW-DEA)模型对城市碳排放配额的初始分配进行测度;王群勇和李海燕^[7]通过构建一种基于机会约束规划的不确定 DEA 模型对能源效率和碳排放效率进行评价;文军和刘朱敏^[8]在传统的 DEA 中加入合作博弈,建立合作前和合作后的效率评价模型。

在火电能源效率研究领域,DEA 模型的应用也可谓百花齐放。例如,丁晗等^[9]基于规模收益可假设条件下投入导向的 DEA 方法,对全国 30 个省份 2020 年的火电能源经济系统效率进行了全面分析;张吉岗和杨红娟^[10]基于 2008—2017 年省级统计数据,用 DEA-Tobit 模型研究全国火电企业生产效率与影响因素;张明斗和席胜杰^[11]采用三阶段超效率 SBM-DEA 模型对全国 2004—2019 年的 114 个资源型城市的碳排放效率进行评价。由此可见,在对火电行业能源效率的相关研究中,多数是观察地区异质性对其火力发电总体效率的影响,鲜有就某个地区火电行业节能减排效率开展针对性研究。鉴于新疆地区的火力发电在全国范围占比较高,且总体节能减排效率较低,开展针对新疆地区火电重点企业节能减排效率评价及影响因素分析具有研究价值。因此,根据火力发电行业的特点,采用包含非期望产出的 SBM-DEA 模型,选取处于同一行业的多个企业作为研究对象,有利于比较在同一环境规制条件下企业的节能减排效率,再利用 Tobit 模型探究其节能减排效率的影响因素,更有利于提出有针对性的政策建议。

2 研究方法的研究设计

2.1 非期望产出 SBM-DEA 模型

数据包络分析是运筹学和研究经济生产边界的一种常用于测量决策部门生产效率的方法。传统的 DEA 模型从径向和角度两方面研究效率,要求尽可能地减少资本、劳动力、基础设施等投入,而增加期望产出,未考虑碳排放、粉尘、污水等企业非期望产出。与传统 DEA 模型不同,通过减少非期望产出而分析决策单元(decision making units, DMU)的自身节能减排水平,采用 Tone^[12]提出的非期望产出 SBM-DEA 模型对新疆重点火电企业进行节能减排效率测度,其数学表达式为

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F \frac{s_f^r}{x_{k'f}}}{1 + \frac{1}{G+H} \left(\sum_{g=1}^G \frac{s_g^y}{y_{k'g}} + \sum_{h=1}^H \frac{s_h^b}{b_{k'h}} \right)} \quad (1)$$

约束条件为

$$\text{s. t} \begin{cases} X\lambda + s^- = x_{k'} \\ X\lambda + s^+ = y_{k'} \\ B\lambda + s^{b-} = b_{k'} \\ \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ρ 为企业的节能减排效率; x, y, b 分别为企业生产经营过程中投入、期望产出及非期望产出; F, G, H 分别表示资源投入量,期望产出量以及非期望产出量; s_f^r, s_g^y, s_h^b 分别为投入的资源、期望的产出以及非期望产出的松弛变量; $x_{k'f}, y_{k'g}, b_{k'h}$ 分别为第 k 个企业的投入产出向量。

2.2 Tobit 模型

经过非期望产出 SBM-DEA 模型求出新疆火电企业的节能减排效率后,还需对影响企业节能减排效率的内外部环境因素开展进一步分析。因 SBM-DEA 模型求得效率值为 0~1,有截尾性质,为避免最小二乘回归造成的偏差,该研究选用 Tobit 模型进行回归,其数学表达式如下:

$$\text{jnj}p_i = \beta_0 + \beta_j X_j + \theta_i \quad (3)$$

式中:jnj p_i 为第 i 个企业的节能减排效率因变量; β 为常数项; β_j 为回归系数; X_j 为第 j 个自变量; θ_i 为随机扰动项。

2.3 样本选择及数据来源

研究对象选取新疆年综合能耗在 20 万吨标准煤以上的 26 家国家级重点火电企业,这些企业主要分布在新疆的北疆地区(18 家)和南疆地区(8 家),故将北疆地区企业名称以 $N_1 \sim N_{18}$ 表示,南疆地区企业名称以 $S_1 \sim S_8$ 表示。同时,为充分获取企业真实有效的数据,特深入企业开展实地调研,为保证数据范围的一致性,选取 2019 年度的相关企业数据。在借鉴张吉岗和杨红娟^[10]提出的“节能减排效率为在能源消耗不变的情况下, GDP 产生的越多越好,废气排放越低越好”的定义基础上,采用王艳和苏怡^[13]提出的“投入产出指标衡量节能减排效率”。将企业综合能源消费量、电力消费量、从业人员数量作为投入变量;将企业工业总产值、CO₂ 排放量作为产出变量,如表 1 所示。

2.3.1 投入变量

(1) 企业综合能源消费量:综合能源消费量是企业生产活动中实际消费的各种能源的总和净值,可反映火电企业一个报告期内的实际能源消耗情况。根据对 26 家重点火电企业的现场实地调研,通过核实、计算出 2019 年度的综合能源消费量。

(2) 企业电力消费量:电力消费量作为火电企

业生产过程中消耗的主要能源之一,可反映企业一个报告期内的实际电力消耗情况。根据对26家重点火电企业的现场实地调研,通过核实、计算出2019年度的电力消费量。

(3)企业从业人员:人力资源是企业在生产过程中投入的重要变量之一,根据“国家企业信用信息公示系统缴纳职工基本医疗保险人数”指标,确定26家重点火电企业2019年度的从业人员数量。

2.3.2 产出变量

(1)企业工业总产值:工业总产值可反映企业的生产经营情况,是企业产出的重要变量之一。根据对26家重点火电企业的现场实地调研,得到其2019年度的工业总产值。

(2)CO₂排放量:企业在生产活动中,会排放出工业污染物,其中企业的CO₂排放量是工业污染程度的量化指标。根据对26家重点火电企业的现场实地调研,拟采用《联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)清单指南》中以详细技术为基础的部门方法(即IPCC方法2)计算得到CO₂排放量。该方法基于分部门、分燃料品种、分设备的燃料消费量等活动水平数据,以及相应的排放因子等参数,通过逐层累加综合计算得到总排放量,其计算公式为

$$E = \sum \sum \sum (EF_{i,j,k} \times Activity_{i,j,k}) \quad (4)$$

式中: E 为温室气体排放总量,kg; EF 为排放因子,kg/TJ; $Activity$ 为燃料燃烧的活动水平,TJ; i 为燃料类型; j 为部门活动; k 为技术类型。

表1 投入产出指标构建

变量	指标名称	指标来源
投入	2019年综合能源消费量/tce	实地调研
	2019年企业电力消费量/万kWh	实地调研
	2019年企业从业人数/人	2019年企业年报
产出	2019年工业总产值/万元	实地调研
	2019年CO ₂ 排放量/t CO ₂	实地调研

2.4 新疆火电企业节能减排效率驱动因素分析

中国火电行业的节能减排效率呈现东部大于中部大于西部的发展格局,从省域火力发电节能减排效率来看,新疆的节能减排效率在全国各省份中居于落后水平^[14]。形成这种格局的原因不仅在于影响企业节能减排效率的能源消费结构、技术进步等内部因素,更在于影响节能减排效率的经济、政策等外部因素。因此,结合文献研究及实地调研,从企业所处的内外部环境探索企业节能减排效率差异的形成原因。其中,选取“能源消费结构”“技

术进步”“企业成立时间”三个因素探究企业内部环境的节能减排效率产生差异的原因;选取“政府补贴”“经济发展”“产业结构”“工业集聚度”四个因素探究企业外部环境对节能减排效率产生差异的影响,具体如表2所示。

(1)能源消费结构。火电是目前及未来一段时间最主要的发电方式,且其动力源主要来自一次能源煤炭,有研究显示,能源消费结构的变化会影响节能减排效率^[15]。因此,将实地调研中获取的企业2019年度煤炭消费量占综合能源消费量的比例作为衡量能源消费结构的指标。

(2)技术进步。企业技术进步是其开展各类创新的动力,同时也是节能减排效率提高的基础,技术的提高有助于在提高资源利用效率的同时,降低污染物排放量^[16],结合实地调研中企业衡量技术进步的标准,将截至2019年企业实际拥有的发明和实用新型专利的数量作为衡量技术进步的指标。

(3)企业成立时间。根据文献研究,企业成立时间的长短会对其节能减排效率产生影响,企业成立时间长,可能会形成成本优势、规模优势及技术优势,这些优势会进一步促进企业节能减排效率的提高^[17]。因此,将企业截至2019年的成立时间年数作为企业成立时间指标来探究其对节能减排效率的影响。

(4)政府补贴。政府补贴是指政府无偿对企业开展节能减排工作进行的资助,这种补贴对企业发展起着重要作用,可推进企业配套设施改造升级,在一定程度上激励企业采取节能减排措施^[18]。以实地调研中了解到的2019年各企业到账的政府拨付用于节能减排工作的各类专项资金作为政府补贴指标^[13]。

(5)经济发展。地区经济发展对企业节能减排具有推动作用,有研究显示,经济较发达地区对环境污染的容忍程度更低^[19]。同时,经济发展程度高的地区有较强的实力进行污染防治,提高节能减排效率^[20]。选取2019年各企业所在地区的生产总值作为衡量经济发展的指标。

(6)产业结构。产业结构主要体现为不同产业在各地地区生产总值中的比例,有研究显示,产业结构对节能减排效率的影响,主要是通过各产业占比的改变使得能源流向和消费结构发生改变进而影响节能减排效率,借鉴戴俊和傅彦铭^[21],将2019年度各企业所在地区的第三产业生产总值占工业总产值的比例作为衡量产业结构的指标。

(7)工业集聚度。有研究显示,工业集聚程度在国家层面能提高节能减排效率,但在地区层面的表现不尽相同^[22],也有研究显示工业集聚程度会对制造业能源效率产生负面影响^[23]。因此,以工业集聚度为解释变量,进一步探讨工业集聚对企业能源利用效率的影响情况,考虑到研究数据的可获得性,特选择熵指数作为衡量工业集聚度的指标,其表达式为

$$\text{agg}_c = \frac{\text{value}_{1c}/\text{value}_c}{\text{value}_1/\text{value}} \quad (5)$$

式中: value_{1c} 为各地区工业产值; value_c 为各地区总产值; value_1 代表新疆地区工业产值; value 代表新疆地区总产值。

3 实证结果及分析

3.1 新疆火电企业节能减排效率计算

基于非期望产出 SBM-DEA 模型,通过 StataMP-64 软件计算 26 家新疆火电企业的节能减排效率,结果如表 3 所示。从结果来看,在 26 家火电企业中,节能减排效率最大值为 1.000,最小值为 0.306,说明新疆火电企业存在较明显的个体差异性。同时,从南北疆地区平均效率来看,北疆的火

电企业平均效率为 0.558,南疆的火电企业平均效率为 0.691,效率相差 0.133,说明南疆地区的火电企业节能减排效率较高,节能减排工作做得较好。从企业效率值来看, N_6 、 N_9 、 S_6 、 S_8 四家企业的节能减排效率值都达 1,说明它们的节能减排措施相对于其他企业较好。另外, N_1 、 N_3 、 N_4 、 N_7 、 N_{11} 、 N_{12} 、 N_{15} 、 N_{16} 、 S_2 、 S_7 的节能减排效率值在 0.5 以下,相比于效率值较高的企业,这些是需要提升节能减排效率的重点企业。

3.2 变量描述性统计

通过统计计算,得到 26 家火电企业的节能减排效率驱动因素统计结果(表 4)。综合来看,各火电企业在能源消费结构变量上存在较大差异,煤炭在综合能源消费中还是占比较高。其中,技术进步变量结果显示,最高专利申请数可达 21 个,最低为 0 个,说明一些企业不够重视技术改进,不利于其提高节能减排效率。企业成立时间变量结果显示,火电企业从成立到运营时间最长的可达 26 年,最短的只有 3 年,对于成立已有 26 年的企业可能确实形成了一定的规模优势,对其提升节能减排效率有帮助。政府补贴变量结果显示,各企业间存在近 18 倍

表 2 变量定义及来源

变量类型	变量名称	变量符号	变量描述	变量来源
被解释变量	企业节能减排效率	jpxl	企业经营过程中综合效率/%	非期望产出 SBM-DEA 模型求得
解释变量	能源消费结构	nyxf	2019 年的煤炭消费量/综合能源消费量/(t·tce ⁻¹)	实地调研
	技术进步	jsjb	2019 年以来企业专利申请数量/个	实地调研
	企业成立时间	clsj	2019—企业开始营业年份+1/年	实地调研
	政府补贴	zfbt	2019 年企业到账的节能减排专项资金/亿元	实地调研
	经济发展	jjfz	2019 年企业所在地区生产总值/亿元	新疆统计年鉴
	产业结构	cyjg	2019 年企业所在地区第三产业的生产总值占比/%	新疆统计年鉴
	工业集聚度	gyjj	2019 年企业所在地区工业聚集程度	新疆统计年鉴

表 3 新疆火电企业节能减排效率

企业	节能减排效率	企业	节能减排效率
N_1	0.378	N_{14}	0.780
N_2	0.517	N_{15}	0.306
N_3	0.442	N_{16}	0.435
N_4	0.441	N_{17}	0.605
N_5	0.574	N_{18}	0.620
N_6	1.000	S_1	0.867
N_7	0.393	S_2	0.489
N_8	0.580	S_3	0.583
N_9	1.000	S_4	0.531
N_{10}	0.561	S_5	0.589
N_{11}	0.401	S_6	1.000
N_{12}	0.466	S_7	0.472
N_{13}	0.551	S_8	1.000
新疆火电企业的平均节能减排效率值			0.599
北疆地区火电企业的平均节能减排效率值			0.558
南疆地区火电企业的平均节能减排效率值			0.691

表 4 变量的描述性统计结果

变量	变量单位	平均值	标准差	最小值	最大值
nyxf	t/tce	2.992	0.794	1.242	5.311
jsjb	个	6.000	7.092	0.000	21.000
clsj	年	11.000	4.982	3.000	26.000
zfbt	亿元	0.098	0.672	0.012	0.210
jjfz	亿元	269.550	138.506	44.136	703.659
cyjg	%	42.942	20.451	21.000	88.300
gyjj	—	1.303	0.782	0.242	2.423

的差异,说明企业所在地政府的环保投入和支持力度存在明显差异,这与地方经济发展直接相关,与经济发展指标相差 16 倍的结果相符。从各地区产业结构的平均值来看,第三产业产值占比近一半,在新疆这样一个资源型省份能达到如此比例,说明新疆向服务业转型的政策取得了较大成绩。从工业集聚度变量来看,各火力发电企业所属地区也存在较大差异。

3.3 Tobit 回归分析

为探究企业所处的内外部环境对其节能减排效率的影响,采用逐步加入各驱动因素的方式,模型如下:

$$\begin{aligned} \text{jnjp} = & \beta_0 + \beta_1 \text{jsjb} + \beta_2 \text{clsj} + \beta_3 \text{nyxf} + \\ & \beta_4 \text{zfbt} + \beta_5 \text{jfz} + \beta_6 \text{cyjg} + \beta_7 \text{gyjj} + \\ & \beta_8 \text{jsjb} \times \text{cyjg} + \theta \end{aligned} \quad (6)$$

由于技术进步变量不仅能够提高行业技术门槛,而且能够增强专利所有权人的市场竞争力,在一定程度上有利于企业优化节能减排效率,因此,为探究技术进步对企业节能减排效率的影响,采用技术进步变量作为基准变量进行回归,建立模型(1)。接着,依次将变量企业成立时间、能源消费结构、政府补贴、经济发展、产业结构和工业集聚度纳入模型,分别建立模型(2)~模型(7)。采用 stataMP-64 软件探究上述各变量的驱动效应,结果显示,产业结构和技术进步变量都对火电企业节能减排效率有着较显著的影响,为进一步明确两者共同影响下对企业产生的驱动效应,建立产业结构和技术进步变量的交互项,即模型(8),回归结果如表 5 所示。

从回归结果来看,技术进步、企业成立时间、政府补贴、经济发展四个变量均会对企业的节能减排效率产生正向作用,且影响显著。其中,技术进步变量在模型(1)~模型(7)中都通过了 1% 的显著性检验,可见对于高耗能、高污染的火电企业,技术进步发展对其节能减排效率的影响尤为重要。企业

成立时间变量在模型(2)~模型(8)中分别在 10%、5%、1% 的水平上显著,表明企业长期经营过程中的积累对企业节能减排的效率有增强作用。政府补贴变量在模型(5)~模型(8)中体现出较大的正向影响,同时,在企业实地调研中了解到地区节能减排专项资金较其他专项资金比例较高,实证结果与实际相符。经济发展变量在模型(7)~模型(8)中在不同水平下显著且为正,但是影响程度较弱,说明从短期来看,不同地区的经济发展与企业节能减排效率呈正相关关系^[24]。另一方面,变量能源消费结构、产业结构、工业集聚度以及产业结构和技术进步的交互作用会对企业节能减排效率产生负向作用。其中,能源消费结构变量在模型(3)~模型(8)中体现出较小的负向影响,说明火电企业对煤炭的消费依赖度越高,企业的节能减排效率越低。负向影响作用较小可能是因为煤炭发电的经济型更高,抵消了部分 CO₂ 排放带来的不利影响。综合考虑,火电企业在未来的经营过程中,应进一步寻找煤炭的替代能源,减少煤炭在能源消费中的占比,达到节能减排高效。产业结构变量在模型(7)和模型(8)中表现出第三产业产值占地区生产总值的比例与节能减排效率呈负相关,表明虽然产业结构优化调整对省域节能减排有正向影响^[25],但对发电企业的能源效率影响刚好相反。第三产业占比的增加会促使地方政府加大对服务业的政策倾斜,从而可能忽视对工业企业的管理和补贴,会对地方整体能源效率有一定提升,但是不利于工

表 5 节能减排效率驱动因素的 Tobit 回归结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)
jsjb	0.020 4*** (3.32)	0.020 7*** (3.57)	0.020 4*** (3.51)	0.023 1*** (3.91)	0.024 4*** (4.03)	0.025 4*** (4.09)	0.031 0*** (4.88)	0.005 2 (0.42)
clsj		0.014 7* (1.91)	0.015 3* (1.93)	0.019 1** (2.37)	0.020 3** (2.54)	0.019 7** (2.48)	0.025 8*** (3.38)	0.031 6*** (4.15)
nyxf			-0.016 0 (-0.32)	-0.013 3 (-0.28)	-0.039 9 (-0.75)	-0.041 5 (-0.79)	-0.042 8 (-0.92)	-0.077 0 (-1.73)
zfbt				0.092 2 (1.53)	0.104 7* (1.73)	0.125 8* (1.86)	0.178 8** (2.81)	0.200 7*** (3.41)
jfz					0.000 3 (1.12)	0.000 3 (1.26)	0.000 8** (2.6)	0.000 9*** (3.02)
gyjj						-0.035 9 (-0.67)	-0.266 1** (-2.7)	-0.251 5** (-2.78)
cyjg							-0.009 6** (2.66)	-0.012 6*** (-3.52)
cyjg×jsjb								-0.000 6** (2.20)
常数项	0.491 1 (9.32)	0.334 8 (3.49)	0.377 9 (2.29)	0.230 6 (1.24)	0.189 8 (1.02)	0.209 0 (1.12)	0.644 5 (2.83)	0.761 1 (3.56)

注:***、**、* 分别表示回归系数在 1%、5%、10% 的水平下显著;括号内为 t 值。

业企业的可持续发展。工业集聚度变量在模型(7)和模型(8)中的结果表明,新疆各地区工业集聚程度对所在地火电企业节能减排效率呈现负相关效应。具体表现为工业集聚程度高,对各地方的基础设施建设要求高,新疆各地区的基础设施建设难以满足劳动力及资源需求,超出资源承载能力。资源及劳动力的紧张进一步引起工业企业之间的恶性竞争,对企业的节能减排效率产生阻碍作用,产生集聚不经济的现象。从回归系数的大小来看,工业集聚度对效率的影响程度最大,所以需要对各地区的工业企业集聚进行调控,杜绝资源浪费,提高企业节能减排效率,为实现国家双碳目标贡献新疆力量。

4 结论与建议

本文通过构建新疆火电企业节能减排效率指标、分析其节能减排效率驱动因素,先运用非期望产出SBM-DEA模型测算出了新疆火电企业的节能减排效率,再运用Tobit回归验证了企业节能减排效率的驱动因素。结果表明,新疆火电企业总体节能减排效率较低,其中北疆地区平均节能减排效率低于南疆地区;企业技术进步、成立时间、政府补贴及地区经济发展等节能减排效率驱动因素均可显著提高火电企业的节能减排效率。根据此结论,为提升新疆火电企业的节能减排效率,现提出如下对策建议。

4.1 政府层面

(1)加大环保政策与资金扶持力度,培育创新示范性企业。新疆火电行业面临着巨大的减排压力,传统的约谈、问责、环保督察等方式治标不治本,无法从根源上提升企业节能减排效率。建议制定完善的节能减排支持政策和奖惩制度,对三高火电企业落实惩罚性措施,为高效节能企业落实优惠和补贴政策,以此积极引导企业开展节能增效行动。同时,积极组织、培育节能减排创新示范性火电企业,从政策扶持和资金支持两个方面,根本性地强化火电企业在节能减排技术上的创新意愿,鼓励企业积极开展技术研发,加强绿色发展意识。

(2)优化工业集聚,推进企业重组合并。从新疆地区节能减排效率来看,工业集聚产生的堵塞效应超过了其带来的外部经济效益,从而使得产业集聚对企业节能减排的影响表现为抑制效应^[26]。建议建立健全不同地区间的合作共赢机制,充分发挥各地区的资源与区位优势,促进规模效应的形成并防止“要素拥挤”现象的出现。同时,通过上述关于“企业成立时间”因素对节能减排效率的正向显著

性驱动的验证,火电企业在长期的经营过程中可积累技术、经验、人脉等,通过完善的制度和供应链渠道,发挥自身比较优势,从而形成竞争优势。对于煤电产能过剩的现状,可通过促进火电企业间的重组合并,降低成本,提升行业竞争力,提高能源利用效率。

(3)优化升级产业结构,促进经济高质量发展。本文验证了地区经济发展对节能减排效率的正相关性影响,地区经济的高质量发展对提高能源效率具有重要作用。第三产业占比的持续提高,说明地方政府比较重视对第三产业的投入与关注,这虽然能降低地区总体碳排放水平,但并不利于提升火电企业的节能减排效率。在总体降碳的大背景下,需要在大力发展第三产业的同时,鼓励火电等重点行业,实现低碳环保与产业结构升级的双赢局面,强化新能源、新材料等新兴产业的发展,实现高新技术产业转型,从而促进经济的高质量发展。

4.2 企业层面

(1)重视技术创新,加强研发投入力度。本文验证了“技术进步”因素对企业提高节能减排效率呈显著正相关,这进一步说明各火电企业应重视提升内部的科技进步水平,加强对新型技术与资金的投入使用力度,鼓励员工积极投身于技术创新与研发中,将新型技术应用到企业的生产经营活动中,使企业掌握较先进的生产方式和管理经验,提高能源利用效率。同时,积极关注最新节能减排政策与目标方案,在宏观指引下,开展企业内部的提质增效活动,通过行业内的能效对标,加强与不同企业的技术交流,争做创新型、示范性火电企业标杆。

(2)改善能源消费结构,积极探索新能源。新疆地区依托资源禀赋优势,是全国火力发电的主要基地,但在“双碳”目标的大政策背景下,不能依赖于传统化石燃料发电,而是需要通过节能技改,实现能源结构转型升级。在统筹现有煤电清洁发展的基础上,围绕新疆地区的绿色低碳目标定位,借助新疆地区丰富的风能和太阳能资源,大力发展新能源项目,构建能源效率和能源结构的互动机制,助力提升能源使用效率。

参考文献

- [1] 成润婷,张勇军,李立涅,等. 碳边境调节机制下近零碳制造体系建设研究[J]. 中国工程科学, 2024(1): 1-12.
- [2] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [3] ZURANO C P, POZO C, MATEO S J M, et al. Sustain-

- ability efficiency assessment of the electricity mix of the 28 EU member countries combining data envelopment analysis and optimized projections[J]. *Energy Policy*, 2019, 134: 110921.
- [4] AMOWINE N, MA Z, LI M, et al. Measuring dynamic energy efficiency in Africa: a slack-Based DEA approach[J]. *Energy Science & Engineering*, 2020, 8(11): 3854-3865.
- [5] ZHANG Y, WANG W, LIANG L, et al. Spatial-temporal pattern evolution and driving factors of China's energy efficiency under low-carbon economy[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 739: 140197.
- [6] 王家明. 我国资源型城市碳排放配额分配研究——基于H-CSW-DEA模型[J]. *统计研究*, 2023, 40(9): 31-44.
- [7] 王群勇, 李海燕. 基于不确定环境DEA模型下中国各区域能源效率和二氧化碳排放效率评价[J]. *软科学*, 2022, 36(8): 78-83.
- [8] 文军, 刘朱敏讷. 基于博弈DEA和Shapley值的航空碳排放效率研究[J]. *舰船电子工程*, 2023, 43(8): 170-175.
- [9] 丁晗, 陈守海, 冯连勇. 我国省际火电能源经济系统效率评价研究[J]. *中国煤炭*, 2022, 48(4): 27-35.
- [10] 张吉岗, 杨红娟. 中国火电企业生产效率评价与影响因素研究[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(11): 4910-4920.
- [11] 张明斗, 席胜杰. 资源型城市碳排放效率评价及其政策启示[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(1): 220-237.
- [12] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: a slacks-based measure (SBM) approach[J]. *Presentation at NAPW III, Toronto*, 2004, 38: 44-45.
- [13] 王艳, 苏怡. 绿色发展视角下中国节能减排效率的影响因素——基于超效率DEA和Tobit模型的实证研究[J]. *管理评论*, 2020, 32(10): 59-71.
- [14] 孟璐莎, 张瑞鑫, 张士强, 等. 我国省际电热行业煤炭利用效率测度及影响因素研究[J]. *煤炭工程*, 2020, 52(11): 187-192.
- [15] 毕神浩, 钟晓红, 来宇敏, 等. 基于PVAR模型的能源消费结构与能源效率的关系研究[J]. *工业技术经济*, 2021, 40(7): 65-71.
- [16] 朱风慧, 刘立峰. 中国制造业集聚对绿色全要素生产率的非线性影响——基于威廉姆森假说与开放性假说的检验[J]. *经济问题探索*, 2021(4): 1-11.
- [17] 应瑞瑶, 田聪聪, 张兵兵. “节能减排”政策、出口产品范围调整与企业加成率[J]. *东南大学学报(哲学社会科学版)*, 2020, 22(4): 47-59.
- [18] 武晓利. 环保技术、节能减排政策对生态环境质量的动态效应及传导机制研究——基于三部门DSGE模型的数值分析[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(12): 88-98.
- [19] 年素英, 赵鸿雁. 中国城市经济效率的测度与影响因素分析[J]. *统计与决策*, 2017(5): 150-152.
- [20] 田光辉, 李江苏, 苗长虹, 等. 基于非期望产出的中国城市绿色发展效率及影响因素分析[J]. *经济地理*, 2022, 42(6): 83-91.
- [21] 戴俊, 傅彦铭. 环境规制、产业结构对能源效率的影响[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(9): 55-63.
- [22] LIU J, CHENG Z, ZHANG H. Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China? [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 164: 30-37.
- [23] 程中华, 李廉水, 刘军. 产业集聚有利于能源效率提升吗[J]. *统计与信息论坛*, 2017, 32(3): 70-76.
- [24] 颜云云, 余元冠. 能源效率、二氧化碳排放效率与经济增长的关系分析[J]. *中国管理信息化*, 2011, 14(9): 83-88.
- [25] 胡剑波, 闫烁, 韩君. 中国产业部门隐含碳排放效率研究——基于三阶段DEA模型与非竞争型I-O模型的实证分析[J]. *统计研究*, 2021, 38(6): 30-43.
- [26] BRAKMAN S, GARRETSEN H, VAN MARREWIK C. An introduction to geographical economics: trade, location and growth[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

The Evaluation and Influencing Factors of Energy Conservation and Emission Reduction Efficiency of Xinjiang Thermal Power Enterprises

ZEERMINBIEKE Manlidan^{1,2}, DING Yangyang¹, WANG Songjiang¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Research Institute of Measurement & Testing, Urumqi 831400, China)

Abstract: Based on the field survey data of 26 thermal power enterprises with an annual comprehensive energy consumption of more than 200 000 tons of standard coal in Xinjiang, the energy saving and emission reduction efficiency values of 26 enterprises were calculated by using the non-expected output SBM-DEA model, and the reasons for the differences in energy saving and emission reduction efficiency of various thermal power enterprises were empirically explored by using the Tobit model. The results show that the overall energy saving and emission reduction efficiency of Xinjiang thermal power enterprises is relatively low, and the average energy saving and emission reduction efficiency in northern Xinjiang is lower than that in southern Xinjiang. Factors such as technological progress, establishment time, government subsidies and regional economic development can significantly improve the energy conservation and emission reduction efficiency of thermal power enterprises. According to the research results, corresponding countermeasures and suggestions are put forward from the two levels of government and enterprise.

Keywords: the energy saving and emission reduction efficiency; unexpected output DEA; technical progress