

DOI: 10.19666/j.rlfed.202305057

# 基于熵权-TOPSIS法的发电企业低碳转型 进程评价研究

汪红<sup>1</sup>, 郭恒<sup>2</sup>, 武静云<sup>1</sup>, 张哲侨<sup>3</sup>

(1.西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054;

2.陕西省人力资源和社会保障厅, 陕西 西安 710000;

3.俄亥俄州立大学商学院, 俄亥俄州 哥伦布市 43210)

[摘要] “双碳”目标的提出为我国能源电力行业带来了深刻变革, 五大发电集团作为我国电力龙头企业更要发挥示范引领作用, 分析评价其低碳转型成效, 对我国发电行业如期实现“双碳”目标具有重要意义。运用熵权-TOPSIS法, 对我国五大发电集团2017—2021年的指标数据进行了实证研究与分析。实证结果表明: 从纵向维度来看, 在2017—2021年, 五大发电集团的低碳转型均取得了良好的成绩, 各发电集团的低碳转型绩效均有逐年提高的趋势, 这说明五大发电集团调结构、促减排、重转型等有关政策的实施, 取得了积极显著的效果; 从横向维度来看, 2017—2021年五大发电集团的排名一直在变动, 表明各发电集团在低碳转型方面都有不同程度的进展。

[关键词] 发电企业; 低碳转型; 熵权-TOPSIS法; 综合评价

[引用本文格式] 汪红, 郭恒, 武静云, 等. 基于熵权-TOPSIS法的发电企业低碳转型进程评价研究[J]. 热力发电, 2023, 52(7): 26-32. WANG Hong, GUO Heng, WU Jingyun, et al. Research on evaluation of low-carbon transformation process of power generation enterprises based on entropy weight TOPSIS method[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(7): 26-32.

## Research on evaluation of low-carbon transformation process of power generation enterprises based on entropy weight TOPSIS method

WANG Hong<sup>1</sup>, GUO Heng<sup>2</sup>, WU Jingyun<sup>1</sup>, ZHANG Zheqiao<sup>3</sup>

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

2. Shaanxi Provincial Department of Human Resources and Social Security, Xi'an 710000, China;

3. The Ohio State University, Columbus 43210, USA)

**Abstract:** The proposal of the “dual carbon” has brought profound changes to the development of China's energy and power industry. As the leading enterprises in China's power industry, the five major power generation groups should play a demonstration and leading role, analyze and evaluate their low-carbon transformation achievements have important significance for the power generation industry to achieve the “dual carbon” goal as scheduled. This article uses the entropy weight TOPSIS method to conduct empirical research and analysis on the indicator data of the five major power generation groups in China from 2017 to 2021. The empirical results show that from a vertical dimension, it is found that the low-carbon transformation of the five power generation groups has achieved good results in 2017 to 2021, and the low-carbon transformation performance of each power generation group has shown an increasing trend year by year. This indicates the implementation of policies related to structural adjustment, emission reduction, and re transformation of the five power generation groups, achieved positive and significant results; from a horizontal perspective, the rankings of the five major power generation groups have been constantly changing from 2017 to 2021, indicating that each power generation group has made varying degrees of progress in low-carbon transformation.

**Key words:** power generation enterprises; low-carbon transition; entropy weight TOPSIS method; comprehensive evaluation

收稿日期: 2023-05-22

第一作者简介: 汪红(1988), 女, 硕士, 高级经济师, 主要研究方向为企业管理, wanghong@tpri.com.cn.

根据国际能源署(IEA)的统计,2022年我国二氧化碳排放总量在116亿t,能源活动产生的二氧化碳排放量占总排放量约85%,其中电力碳排放占比在40%左右。我国是世界上最大的能源生产国和消费国,要如期实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标,能源电力行业任务最重,承担着主力军的作用<sup>[1]</sup>。“双碳”目标的提出为我国能源电力行业发展带来了深刻的变革,我国碳达峰、碳中和面临着减排幅度比较大、转型任务比较重的严峻形势,倒逼发电企业加快实现绿色低碳转型。在我国煤电行业持续大面积亏损、能源保供压力不减的大背景下,立足我国富煤贫油少气的基本国情,我国电力行业逐步形成了以煤电为主、气电为辅、生物质发电为补充的电力发展格局,而且清洁能源发电已然成为我国发电行业的主要利润来源和关键支撑。截至2022年底,我国全口径发电装机容量25.6亿kW。从投资类型、发电装机增长速度及结构变化等情况来看,我国电力行业绿色低碳转型成效显著<sup>[2]</sup>。然而由于火电经营亏损和资金紧张,火电行业的进一步系统性研发投入处于低位,从而延缓了火电低碳转型的进程。

我国要如期实现“双碳”目标,能源是主阵地,电力是主战场,发电企业是主推手,五大发电集团作为我国发电龙头企业更要发挥示范引领作用<sup>[3]</sup>。在此背景下,为了在实现“双碳”目标的同时完成能源电力转型,为发电企业带来新的利润增长点,五大发电集团纷纷对公司发展战略进行重新调整和规划,大规模发展清洁能源,积极推动清洁能源装机成为电力装机增量主体。近年来,五大发电集团的清洁能源装机占比显著攀升,电源结构不断优化。尽管如此,五大发电集团的低碳转型进程却不尽相同,分析评价其低碳转型成效、进一步了解各发电集团的转型战略实施情况,能够明确未来转型工作的发展方向,对发电行业如期实现碳达峰、碳中和具有重要意义。

目前,国内外学者对能源低碳转型已经有了较多的研究。通过对现有文献进行梳理发现,学者们对低碳转型的研究多以区域城市和行业为研究对象<sup>[4]</sup>,研究企业层面的学者只有极少数。张宁<sup>[5]</sup>以中国93家大型火力发电企业作为研究样本,研究结果表明低碳技术创新是提高碳全要素生产率的关键因素,火电企业节能减排效率有待提升。徐砥中等<sup>[6]</sup>通过对企业低碳管理绩效的分析,建立了基于

熵理论的企业低碳管理绩效模型,形成了企业低碳绩效评价指标体系,通过实证分析最终验证了熵理论在评价企业低碳管理绩效中的可行性。张荣光等<sup>[7]</sup>以攀枝花市为例,从经济、社会、环境、能耗排放、低碳技术与应用5个层面构建评价指标体系分析其低碳转型效率,采用熵权-TOPSIS法对低碳转型效果进行评价。Jiang等人<sup>[8]</sup>运用改进的TOPSIS法从人力资源、技术水平、市场运营、管理水平和文化等5方面构建了企业低碳竞争力评价模型。

在低碳转型评价研究方面,国内外学者多为关注低碳转型路径选择和低碳转型技术方面的研究,通过综合运用定性、定量等多种不同的方法,构建了较为全面的低碳转型评价指标体系,但是对于发电企业层面低碳转型进程评价的研究文献较少;已有的研究文献中也多是对纵向维度的研究分析,对横向维度的对比分析较为稀缺。发电集团通过调整业务组合等方式实现低碳转型有着重要的经济意义和社会意义。本文通过构建发电企业低碳转型绩效评价指标体系,运用熵权-TOPSIS法分别从纵向维度和横向维度进行研究分析,分析其低碳转型进展,能够丰富企业层面低碳转型绩效评价方法,同时也为深入研究发电集团低碳转型路径提供参考。

## 1 构建指标体系与评价模型

### 1.1 评价指标体系的构建

参考其他学者<sup>[6,9-12]</sup>构建的指标体系,本文从财务指标、低碳发电水平、污染物排放利用、清洁能源占比和低碳技术创新5个层面选取16项指标来构建发电企业低碳转型评价指标体系。指标的各项数据来源于社会责任报告、跟踪评级报告、企业官方网站、相关报道等,不可直接获取的数据通过计算得出。研究样本为我国五大发电集团(分别简称A集团、B集团、C集团、D集团和E集团),时间范围为2017—2021年。指标类型分为效益类型和成本类型,分别用“+”“-”表示。效益型指标表示对低碳转型绩效有利的指标,数据值越大越好,成本型指标则相反。表1为发电企业低碳转型评价指标体系。

### 1.2 基于熵权的改进TOPSIS法

在评价方法上,本文采用基于熵权的改进TOPSIS法系统的分析五大发电集团转型效果与理想状态的差距。熵权-TOPSIS法是指先利用熵权法确定评价体系内各指标的权重,然后构造出指标标准化的

加权矩阵, 再将该矩阵代入 TOPSIS 模型中对待评价对象进行评价。TOPSIS 法又叫“理想点法”, 它通过将多个评价对象与理想值之间的贴适度进行排序, 获

得各评价对象之间的相对优劣, 评价结果比较直观。具体评价步骤如下。

1) 对原始数据矩阵  $X = (x_{ij})_{m \times n}$  标准化处理。

表 1 发电企业低碳转型评价指标体系  
Tab.1 Evaluation index system for low-carbon transformation of power generation enterprises

目标层	准则层	指标层	指标属性	指标解释/定义
发电企业低碳转型进程评价	财务指标	人均营业收入 $X_1$ /万元	+	反映企业当年人均创造的经济效益
		销售利润率 $X_2$ %	+	利润总额/营业收入
		净资产收益率 $X_3$ %	+	平均净利润/平均净资产
		资产负债率 $X_4$ %	-	负债总额/资产总额
	低碳发电水平	总装机容量 $X_5$ /万 kW	+	反映企业的最大发电能力
		发电量 $X_6$ (亿 kW·h)	+	反映发电企业的实际生产能力
		火电设备利用小时数 $X_7$ /h	+	火电发电设备生产能力利用程度及水平
		供电标准煤耗 $X_8$ (g·(kW·h) <sup>-1</sup> )	-	衡量企业能源转化率
	污染物排放利用	二氧化硫排放率 $X_9$ (g·(kW·h) <sup>-1</sup> )	-	评价二氧化硫减排能力
		氮氧化物排放率 $X_{10}$ (g·(kW·h) <sup>-1</sup> )	-	评价氮氧化物减排能力
		烟尘排放率 $X_{11}$ (g·(kW·h) <sup>-1</sup> )	-	评价烟尘减排能力
	清洁能源占比	清洁能源装机占比 $X_{12}$ %	+	清洁能源发电量/总发电量
		超低排放机组占比 $X_{13}$ %	+	清洁能源装机容量/总装机容量
	低碳技术创新	科技投入比例 $X_{14}$ %	+	科技投入/营业收入
		获得省级国家级奖数量 $X_{15}$	+	反映企业对科技创新的重视程度
		知识产权数量 $X_{16}$	+	反映企业低碳技术竞争力

正向指标为:

$$y_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (1)$$

负向指标为:

$$y_{ij}^- = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (2)$$

进行归一化处理:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}}, (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (3)$$

2) 计算指标熵值  $E_j$ , 并确定指标权重  $W_j$ 。

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n E_j}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

3) 由标准化矩阵和各指标权重建立标准化加权矩阵。

$$Z_{ij} = W_j \times Y_{ij} \quad (6)$$

4) 确定正理想值和负理想值。

$$\begin{cases} S_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{z_{ij}\}, (j = 1, 2, \dots, n) \\ S_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{z_{ij}\}, (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (7)$$

5) 计算各年份评价对象到正理想解的距离  $D_i^+$  和到负理想解的距离  $D_i^-$ 。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^+ - z_{ij})^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^- - z_{ij})^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

6) 计算评价对象与理想解的贴适度。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

## 2 评价结果与分析

本文的评价结果包括横向维度评价和纵向维度评价 2 个部分。横向维度评价指通过对 5 家发电集团 2017—2021 年的截面数据进行赋权, 然后采用 TOPSIS 法对每年的发电企业分别计算贴适度并进行排序, 从而评价每年发电企业低碳转型的优劣。纵向维度评价指通过对 5 家发电集团 2017—2021 年的各项数据进行综合赋权计算得分, 满分为 100 分, 根据得分来评价每个企业在 2017—2021 年之间低碳转型绩效的变化。

### 2.1 评价结果

2 个维度评价的指标综合权重见表 2。由表 2 可

以看出：

1) 科技投入比例  $X_{14}$ 、获得国家奖数量  $X_{15}$ 、知识产权数量  $X_{16}$  3 项指标所占权重较大，在 0.075~0.117，占比较高，说明低碳技术创新对发电企业低碳转型的影响较大，低碳技术创新水平越高，发电企业的低碳转型成效越好。

2) 总装机容量  $X_5$ 、发电量  $X_6$ 、火电设备利用小时数  $X_7$ 、供电标准煤耗  $X_8$  的指标权重在 0.072~0.124，占比也相对较高，说明发电企业的低碳发电水平也是影响其低碳转型绩效评价的重要因素，低碳发电水平越先进，发电企业的低碳转型做的越好。

3) 清洁能源装机占比  $X_{12}$ 、超低排放机组占比

$X_{13}$  的指标权重在 0.063~0.110，说明清洁能源结构对发电企业低碳转型绩效评价的地位也很重要。

4) 二氧化硫排放率  $X_9$ 、氮氧化物排放率  $X_{10}$ 、烟尘排放率  $X_{11}$  的指标权重在 0.031~0.084，且从横向维度看，指标权重随时间推移权重呈现走高的趋势，这也是发电企业重视低碳转型的直接体现，污染物排放率越低，说明发电企业的发电能耗越小，低碳转型绩效越好。

5) 人均营业收入  $X_1$ 、资产负债率  $X_4$  指标的权重也很高，表明发电企业在进行技术创新、大力进行科技研发的同时，也需兼顾低碳转型的经济性，且五大发电集团资产负债率居高不下，高负债率的威胁不容忽视。

表 2 指标综合权重  
Tab.2 The comprehensive weight of the index

	纵向维度指标权重					横向维度指标权重				
	A 集团	B 集团	C 集团	D 集团	E 集团	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
$X_1$	0.054	0.049	0.048	0.043	0.052	0.057	0.058	0.059	0.043	0.042
$X_2$	0.003	0.002	0.056	0.009	0.002	0.013	0.010	0.010	0.010	0.008
$X_3$	0.004	0.012	0.036	0.005	0.003	0.016	0.015	0.013	0.014	0.011
$X_4$	0.032	0.051	0.055	0.068	0.047	0.085	0.084	0.076	0.072	0.074
$X_5$	0.077	0.073	0.072	0.079	0.073	0.079	0.081	0.090	0.091	0.092
$X_6$	0.081	0.075	0.074	0.081	0.080	0.082	0.083	0.085	0.088	0.088
$X_7$	0.075	0.072	0.078	0.085	0.074	0.073	0.075	0.073	0.078	0.076
$X_8$	0.124	0.110	0.084	0.076	0.094	0.079	0.076	0.078	0.079	0.075
$X_9$	0.038	0.036	0.031	0.062	0.037	0.045	0.046	0.048	0.047	0.049
$X_{10}$	0.037	0.035	0.053	0.071	0.035	0.036	0.037	0.038	0.035	0.037
$X_{11}$	0.035	0.084	0.036	0.039	0.084	0.046	0.047	0.048	0.053	0.054
$X_{12}$	0.063	0.102	0.067	0.064	0.110	0.073	0.075	0.078	0.079	0.080
$X_{13}$	0.076	0.064	0.069	0.063	0.065	0.064	0.063	0.064	0.066	0.068
$X_{14}$	0.085	0.077	0.081	0.088	0.083	0.085	0.082	0.079	0.081	0.082
$X_{15}$	0.099	0.080	0.083	0.087	0.082	0.085	0.083	0.082	0.082	0.083
$X_{16}$	0.117	0.078	0.077	0.080	0.079	0.081	0.085	0.080	0.081	0.082

### 2.2 纵向维度评价结果分析

根据指标的无量纲化处理结果，即指标的标准值，结合各个指标的综合权重(表 2)，采用式(11)计算得到五大发电集团 2017—2021 年的低碳转型绩效评价结果见表 3。

$$F = \sum z_{ij} \times y_{ij} \tag{11}$$

式中： $F$  为纵向维度评价结果； $z_{ij}$  为指标无量纲化处理后的规范化数值； $y_{ij}$  为指标综合权重。

从纵向维度(表 3)看，2017—2021 年间，五大发电集团的低碳转型取得了良好的绩效，各企业

均有逐年提高的趋势。五大发电集团虽然都在积极进行低碳转型，但是由于侧重点和转型力度的不同，转型进程有所差异，整体来说，B 集团的低碳转型绩效最为突出。

### 2.3 横向维度评价结果分析

采用 TOPSIS 法计算每年 5 个发电企业的贴近度  $C^*$ ，根据结果进行排序，结果见表 4。由表 4 可以看出，2017—2021 年各发电集团之间的排序在不断变化，这反映了五大发电集团都在进行着不同程度的低碳转型。

表 3 纵向维度样本企业低碳转型绩效分数  
Tab.3 Performance score of low-carbon transformation in vertical dimension

单位	2017	2018	2019	2020	2021
A 集团	39.562	50.357	68.846	75.459	83.026
B 集团	51.264	60.865	71.232	82.258	91.472
C 集团	36.215	44.659	56.287	67.587	79.562
D 集团	42.156	54.628	71.329	81.347	87.568
E 集团	48.865	55.649	60.245	72.597	85.648

表 4 横向维度样本企业 TOPSIS 贴近度  $C^*$  和排序  
Tab.4 Sample enterprises TOPSIS close degree  $C^*$  and ranking in horizontal dimension

单位	2017 年		2018 年		2019 年		2020 年		2021 年	
	贴近度 $C^*$	排序								
A 集团	0.356	3	0.338	3	0.414	2	0.471	2	0.446	2
B 集团	0.390	2	0.409	2	0.489	1	0.552	1	0.526	1
C 集团	0.274	5	0.263	5	0.255	5	0.427	4	0.349	4
D 集团	0.297	4	0.268	4	0.383	3	0.443	3	0.347	3
E 集团	0.698	1	0.690	1	0.312	4	0.329	5	0.229	5

B 集团在 2017—2021 年间的排名较为稳定,是我国发电企业低碳转型的领跑者。B 集团大力推进清洁能源大基地业务发展,与其他 4 家企业重风电而轻光伏的清洁能源发展模式不同,B 集团风电、光伏发展并重,实现光伏装机全球第一、风电装机全球第二的优越成绩。2015 年 7 月,B 集团由 2 家能源央企重组成立,成立当年的发电资产中清洁能源占比为 40%,居业内第一。此后,2 家能源央企强强联合,其电力装机规模快速增长,清洁能源占比显著跃升。B 集团同时拥有风、光、水、火、核、气、生物质发电,是全球最大的光伏发电装机企业。无论是从电源结构还是从清洁能源占比看,B 集团均具有明显竞争优势。过去 10 余年,B 集团针对光伏产业链各环节优化创新平台布局,推进关键核心技术攻关,实现了“从 0 到 1”的突破。B 集团紧紧围绕国家“双碳”目标,于 2021 年 10 月 22 日成立了碳资产管理有限公司,以碳资产管理和低碳服务两大业务为核心,充分发挥碳资产管理公司的协同和牵引功能,构建碳产业链协同发展的“2+4+10”的碳业务版图,推动 B 集团绿色低碳转型发展战略落地。

A 集团的低碳转型呈现出向好的趋势,低碳转型绩效属于中等偏上。由于前期拥有较高份额的火电资产,所以 A 集团的火电设备经济性和技术均属于较高水平。2021 年,A 集团清洁能源装机占比仅为 38.1%,在五大发电集团中排名中间;与 2017 年底相比,A 集团灵活性机组改造容量新增 1 100 万 kW,

有力支撑了新能源大规模高效开发利用。A 集团不断加快构建新能源、核电、水电“三大支撑”,大力发展新能源,因地制宜发展水电,积极安全有序发展核电,建设多能互补大型综合能源基地。此外,A 集团积极培育绿色低碳产业,加强碳资产管理,推进温室气体自愿减排项目开发,开展火电机组碳盘查,建立公司碳排放清单,强化碳排放数据管理。近 5 年,A 集团向社会提供绿色电能超过 8 500 亿 kW·h,累计减少二氧化碳排放 7.3 亿 t,电源结构调整成效显著。近年来,在绿色低碳领域,A 集团加快清洁能源产业发展和低碳技术研发应用,推进企业绿色转型,为助力实现“双碳”目标做出积极贡献,2022 年成为首批中国工业碳达峰“领跑者”企业。2021 年,A 集团煤电超低排放机组占比达到 99%,供电煤耗率降至 294 g/(kW·h),处于全国领先水平,转型力度颇大。

D 集团的低碳转型绩效处于中等,这与其秉持的新发展理念密不可分。D 集团一直以清洁能源为主攻方向,积极推进风光电全面发展,推动清洁能源基地规划建设,坚持低耗能、低排放、高效率的节能减排方式。近年来,D 集团不断加快现役机组超低排放改造,二氧化硫、氮氧化物、烟尘等污染物排放指标同比大幅降低;供电煤耗率由 2017 年的 300.81 g/(kW·h)降至 2021 年的 297.21 g/(kW·h),减排成效显著。截至 2021 年底,D 集团风电、水电、太阳能发电等清洁能源装机容量达到 5 832 万 kW,占集团总装机容量的 32.58%。D 集团清洁能源装机

占比从2017年的38.6%提高到2021年的44.4%，仅次于B集团，说明D集团低碳转型成效显著。2021年6月，D集团成立了碳资产运营有限公司，聚焦“双碳”目标，提升碳资产管理水平，圆满完成全国碳市场碳排放上线首日交易，实现了在全国碳市场首个履约期100%履约，有力助推了D集团绿色低碳发展。2021年12月14日完成全部重点排放单位配额清缴工作，提前实现D集团全国碳市场首个履约期的碳配额清缴，实现全国首笔国家核证自愿减排量（CCER）抵销配额清缴，实现100%履约，彰显了D集团践行“双碳”战略的责任担当。

C集团连续3年位列第5名，主要原因在于C集团装机以火电机组为主，对火电的大量投资造成了火电资产份额过重，煤炭需求量大，这几年由于煤炭价格上涨，同时清洁能源挤占市场等多重因素的影响，火电厂经营愈发困难，大幅亏损，C集团迫切需要加快绿色转型。根据规划，2025年实现“碳达峰”，新能源装机占比提升到50%以上，C集团明显需要加快动作。可惜的是，在可再生能源装机方面，相比其他4家发电集团，C集团明显落后。为了加快发展清洁能源，提高非化石能源装机占比，完成从传统电力企业向绿色低碳能源企业转型升级，近几年，C集团大力推进风电光伏规模化、基地化开发，加快建设海上风电项目，优先发展大容量、高参数机组，积极发展风电等清洁能源，进一步优化电源结构，以此来追赶其他集团的低碳转型速度，但因布局较晚，C集团的低碳转型成效在五大发电集团中略显靠后。

E集团是于2017年11月由2家发电集团重组而成，原2家发电集团发展重心各有侧重，E集团成立后将风电发展排在首位。合并当年，E集团总资产达到1.8万亿，营业收入约5104亿元，净利润435亿元。E集团在2017—2018年为第1名，而2019—2021年排名比较靠后，这主要是因为重组后E集团的规模优势凸显，拥有大规模水电、风电等清洁能源机组，电源结构丰富，短期呈现出低碳转型绩效较好的局面。但与其他4家发电集团相比，重组后的E集团发电资产规模巨大且其火电存量较为突出，截至2021年，其清洁能源装机占比仍仅为28.5%。重组以来，E集团各火电企业主动扛起央企责任使命，深入研判自身优劣势和区域能源产业发展态势，加快推动企业转型升级。2021年底，E集团交出了装机5000万kW，保持世界第一的风电

成绩单，是其在新能源发展赛道上奋力奔跑的生动写照。E集团是全球最大的风力发电公司，在多年领跑风电行业发展的基础上，E集团瞄准“双碳”目标要求，绿色低碳转型步伐不断加快，有序布局氢能、储能等新兴产业。尽管如此，E集团的火电存量仍相对较为突出，发展重心聚焦在风电领域，光伏是其短板，如何在光伏领域“弯道超车”将成为E集团未来的发展方向。

### 3 结论与建议

本文运用熵权-TOPSIS方法，对五大发电集团2017—2021年的指标数据进行了实证研究。通过对实证结果的分析，可以得出如下结论：

1) 五大发电集团整体低碳转型成绩不错，新能源装机占比大幅提升，各发电集团的电源结构都在向低碳化、清洁化方向发展，整个电力行业绿色低碳转型成效显著。

2) 总体而言，B集团的低碳转型绩效最好，主要原因在于无论布局时间，还是从电源结构、产业发展分布来看，B集团均具有明显竞争优势，一系列的创新布局使其蜕变成为了发电行业转型的“尖子生”。

同时，从研究结果中也总结了未来发展的一些建议：

1) 构建发电行业系统化的、较为统一的低碳管理制度或者指导意见，完善各单位碳排放管理组织体系，监管碳排放各项重点任务的落实，进一步提高碳排放管理工作的效率。

2) 深入挖掘降碳减排潜力，开展基于碳排放的运行优化和燃料优化工作，不断降低机组能耗，全力推动构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

3) 加强煤电清洁低碳技术研发，加快推进碳捕集、利用与封存（CCUS），多污染物一体化近零排放等技术创新与工程应用，持续推动煤电向低碳、零碳乃至负碳转变。

4) 进一步优化电源结构，积极开展电量替代和提升机组经济运行效率，降低碳排放，促使发电行业向“低能耗、低排放、高效率”的清洁能源和高效煤电倾斜。

#### [参考文献]

- [1] 打赢电力行业绿色低碳转型硬仗[N]. 经济日报, 2021-06-15(001).  
Winning the tough battle of green and low-carbon

- transformation in the power industry[N]. Economic Daily, 2021-06-15(001).
- [2] 电力供需总体紧平衡,用电量增长 6%左右[N]. 中国电力报, 2023-02-01(001).  
The overall balance between electricity supply and demand is tight, with electricity consumption increasing by about 6%[N]. China Electric Power News, 2023-02-01(001).
- [3] 张李琳, 袁家海, 黄辉, 等. 五大发电集团煤电转型的 SWOT 分析[J]. 中国电力企业管理, 2022(25): 62-65.  
ZHANG Lilin, YUAN Jiahai, HUANG Yun, et al. SWOT analysis of coal power transformation in five major power generation groups[J]. China Power Enterprise Management, 2022(25): 62-65.
- [4] 孙丽文, 曹璐, 吕静韦. 基于 DPSIR 模型的工业绿色转型评价研究-以河北省为例[J]. 经济管理评论, 2017, 33(4): 120-127.  
SUN Liwen, CAO Lu, LYU Jingwei. A study of evaluation of industrial green transformation based on DPSIR model: a case study of Hebei Province[J]. Review of Economy and Management, 2017, 33(4): 120-127.
- [5] 张宁. 碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶-来自中国火力发电企业的证据[J]. 经济研究, 2022, 57(2): 158-174.  
ZHANG Ning. Carbon total factor productivity, low carbon technology innovation and energy efficiency catch-up: evidence from Chinese thermal power enterprises[J]. Economic Research Journal, 2022, 57(2): 158-174.
- [6] 徐砥中, 廖培. 基于熵理论的企业低碳管理绩效评价实证研究[J]. 求索, 2010(10): 14-16.  
XU Dizhong, LIAO Pei. An empirical study on performance evaluation of enterprise low-carbon management based on entropy theory[J]. Seeker, 2010(10): 14-16.
- [7] 张荣光, 钱崇斌, 王相悦. 基于熵权-TOPSIS 法的资源型城市低碳转型效率研究-以攀枝花市为例[J]. 学海, 2016(4): 158-162.  
ZHANG Rongguang, QIAN Chongbin, WANG Xiangyue. A study on the efficiency of low carbon transformation in resource-based cities based on entropy weight-TOPSIS method: a case study of Panzhihua City[J]. Academia Bimestris, 2016(4): 158-162.
- [8] JIANG Y G, ZHANG J, ASANTE D, et al. Dynamic evaluation of low-carbon competitiveness (LCC) based on improved technique for order Preference by similarity to an ideal solution(TOPSIS) method: a case study of Chinese steelworks[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 217: 484-492.
- [9] 熊敏鹏, 张春秒. 发电企业低碳转型绩效评价研究析[J]. 华北电力大学学报(社会科学版), 2021(3): 50-59.  
XIONG Minpeng, ZHANG Chunmiao. Research on performance evaluation of low-carbon transition of power generation enterprises in China[J]. Journal of North China Electric Power University (Social Sciences), 2021(3): 50-59.
- [10] 赵国涛, 钱国明, 王盛, 等. “双碳”目标下火电企业绿色低碳转型的对策分析[J]. 华电技术, 2021, 43(10): 11-21.  
ZHAO Guotao, QIAN Guoming, WANG Sheng, et al. Analysis on solution for green and low-carbon transformation of thermal power enterprises to achieve carbon peak and carbon neutrality[J]. Huadian Technology, 2021, 43(10): 11-21.
- [11] 樊超. 基于 DPSIR 模型的上市火力发电企业低碳绩效评价研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2018: 18-21.  
FAN Chao. Research on evaluation of low-carbon performance of listed thermal power generation enterprises based on DPSIR model[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2018: 18-21.
- [12] 熊敏鹏, 雷蕾, 袁家海. 五大发电集团能源低碳转型现状分析[J]. 中国电力企业管理, 2021(13): 84-86.  
XIONG Minpeng, LEI lei, YUAN Jiahai. Analysis of the current situation of low-carbon energy transformation in five major power generation groups[J]. China Power Enterprise Management, 2021(13): 84-86.

(责任编辑 刘永强)