

【区域绿色发展】

区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素识别与数智化策略研究*

杜明军

摘要:基于XGBoost模型及对接SHAP算法,2003—2022年区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素作用价值存在异质性。绿色金融、经济基础条件及政策环境类变量,对能耗“双控”转向碳排放“双控”的总量和强度等目标变量的影响,具有多元作用共性,也表现出多元差异性。新能源发展与能源送储系统的统筹衔接矛盾突出,政府补贴激励新能源发展的模式有待改善,新能源产业链发展面临着抢占战略竞争制高点与突破技术缺陷及破解收益不佳等多重瓶颈,绿色金融规制亟须满足区域能耗“双控”转向碳排放“双控”投融资需求。要紧抓数智化赋能区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的新机遇,推进数智化赋能政府引领新能源发展的激励新模式,推进数智化赋能新能源产业链发展多元目标间的和谐共进,推进数智化赋能绿色金融规制区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的投融资诉求。

关键词:能耗“双控”;碳排放“双控”;影响因素识别;数智化

中图分类号:F062.9 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2025)04-0109-09 **收稿日期:**2024-07-25

***基金项目:**河南省软科学计划项目“持续完善黄河流域生态大保护大协同格局研究”(252400411257)。

作者简介:杜明军,男,河南省社会科学院统计与管理科学研究所研究员,经济学博士(郑州 451464)。

一、引言

区域能耗“双控”转向碳排放“双控”是实现“双碳”战略的关键之处与重中之重。2020年化石能源占我国能源结构的85%,风光水电及核电等非化石能源占比15%。按碳中和目标要求,到2060年,非化石能源的占比将达85%以上^①。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”亟须顺应数智化发展趋势,实现数智化变革与能源变革持续融合,构建区域能源转型的数字能源产业链。最早见于北大“知本财团”课题组的数智化^②,逐渐演化为:利用数字技术和数据驱动方法,打造智能化、自动化和优化决策的能力,获取见解、指导决策或创新业务模式。区域能源转型战略目标落地,亟须识别区域能耗“双

控”转向碳排放“双控”的影响因素,发现各影响因素的作用价值,确定应对措施方案。同时,区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素识别尝试采用在数据挖掘和风控等领域广泛应用的XGBoost与SHAP算法相结合的模式方法。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”亟须对接数智化赋能能源革命的时代洪流。以代表新时代潮流趋势的数智化为增量改革抓手,可避免短期对区域能源转型既有利益结构的较大冲击,有利于形成一致性激励,快速发现区域能耗“双控”转向碳排放“双控”帕累托最优解。必须以增量改革的思维来推进区域能耗“双控”转向碳排放“双控”,从数智化视角探析区域能源转型的深层障碍与机遇转化,处理好新旧动能转换成本问题,以最小代价推进区域能耗“双控”转向碳排放“双控”。

本文的边际贡献:一是回顾评析区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素作用价值及其数智化赋能的相关研究进展。二是借力XGBoost模型并对接SHAP算法,尝试多视角比较识别区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素作用规律。三是探析区域能耗“双控”转向碳排放“双控”数智化的深层障碍。四是尝试提出区域能耗“双控”转向碳排放“双控”数智化的推进策略。

二、文献回顾与研究框架

与本研究相关的文献回顾主要涉及区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素分析和数智化赋能区域能耗“双控”转向碳排放“双控”两个方面。

(一)区域能耗“双控”转向碳排放“双控”影响因素的相关研究

相关研究主要沿着以下角度展开。

首先,区域能源效率视角。如赵晓丽等(2022)基于非平衡面板数据,验证区域能源转型影响因素的差异性。

其次,区域能源效率时空格局视角。如岳立等(2024)使用面板Tobit回归和地理加权回归(GWR)模型,检验区域能源转型影响因素的影响。

再次,区域能耗“双控”转向碳排放“双控”战略路径视角。如黄子桓等(2024)运用信息熵影响因素指标体系;验证区域能源转型影响因素(周丽等,2025)。

(二)区域能耗“双控”转向碳排放“双控”数智化的相关研究

相关研究主要沿着以下角度展开。

首先,数智化与区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的作用关系视角。如余紫菱等(2023)检验数字经济与能源安全之间的倒“U”型关系。

其次,国际竞争与数智化融合趋势视角。如孙宏斌(2023)认为能源互联网是能源数智化转型(徐杰等,2025)的新引擎。

再次,智慧能源与数智化赋能价值视角。如张福征等(2020)认为低碳化智能化将成为能源转型方向。

最后,数字化与赋能价值视角。如伍心怡等(2024)剖析数字技术赋能现代能源体系的理论

机制。

(三)研究反思

学者们关于区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素与数智化赋能的相关研究,提供了继续深入研究的借鉴参考。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”面临系列短期难以化解的问题障碍,特别是需要慎重处理的利益再平衡挑战,亟须探析区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素,特别是尝试使用在数据挖掘等领域有着广泛应用的XGBoost与SHAP算法相结合的模型方法,重新认知区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素作用规律,有助于发现区域能源转型的破局方向和政策着力点,具有重要的研究意义。探析区域能耗“双控”转向碳排放“双控”数智化的深层障碍与机遇转化,重新发现区域能源转型数智化的努力方向,是破局区域能源转型的新思维,也是确保“双碳”战略目标落地的有效抓手,具有重要的研究视角价值。

三、区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素识别与实证结论分析

区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素识别涉及调控目标依据、指标选择与数据支撑、模型识别过程与结果、实证结论分析。

(一)调控目标依据

中央全面深化改革委员会第二次会议提出的《关于推动能耗“双控”逐步转向碳排放“双控”的意见》^③,提供了区域能耗“双控”转向碳排放“双控”影响因素识别的目标依据,需从能耗“双控”与碳排放“双控”的总量和效能共计四个维度来刻画区域能源转型的现实动态特征。

(二)指标选择与数据支撑

影响区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的因素指标数据见表1。

目标变量。能耗“双控”转向碳排放“双控”的总量和效能共四个变量,与区域能源转型的进程、与经济发展的规模和水平及环境直接相关。

绿色金融类。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”需要依托绿色金融的产品工具支持,选用表征绿色产业、绿色投资、绿色信贷等绿色金融类3个指标。

表1 区域能耗“双控”转向碳排放“双控”影响因素识别指标

指标类别	指标表征	指标名称
绿色金融类	绿色产业	水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比(%)
	绿色投资	工业污染完成投资占GDP比重(%)
	绿色信贷	六大高耗能工业产出利息支出占比(%)
经济发展背景变量	经济发展主要指标	人均GDP(万元/人)
		财政收支比(%)
		城镇人口所占比率(%)
		第二产业所占比重(%)
		专利申请授权数(件)
		电力消费量(亿千瓦小时)
政策环境	保护工具	环保保护财政支出占GDP比重(%)
	治理工具	环境污染治理投资占GDP比重(%)
“双控”变量	能源	能源消费量(万吨标煤) 单位GDP能耗(吨标准煤/万元)
	碳排放	表观二氧化碳排放总量(公吨) 碳强度(吨/万元)

资料来源:作者整理。

经济发展背景变量。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”与经济基础背景条件直接相关,选用6类指标。

政策环境。区域能耗“双控”转向碳排放“双控”需要依托政策环境的引导。指标选用上,一是

环保保护财政支出占GDP比重(%),以表征保护工具;二是环境污染治理投资占GDP比重(%),以表征治理工具。

数据支撑。数据来自中国统计年鉴、省(区、市)统计年鉴、能源统计年鉴;涉及年份:2003—2022年。

(三)模型识别过程与结果

基于XGBoost模型自带的5个特征重要性识别算法,依据能耗“双控”转向碳排放“双控”的控制指标,分别以能源消耗总量、能源消耗强度、碳排放总量、碳排放强度为目标变量,进行影响因素价值作用识别(见表2—表4)。同时,嫁接SHAP算法,进一步解释XGBoost模型的结果,比较发现区域能耗“双控”转向碳排放“双控”影响因素的特征重要性。

对于能耗“双控”转向碳排放“双控”的4个维度指标,一是运用XGBoost模型自带的5类算法,计算各影响因素的重要性得分。二是利用SHAP算法,进一步分析XGBoost模型的结果,聚焦影响因素的重要性。三是计算分析各类算法中影响因素重要性的结构布局。四是比较并列举各类算法中影响因素重要性典型指标。

(四)实证结论分析

依据区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影

表2 能源消耗总量与能源消耗强度的影响因素重要性五类指标

变量重要性指数(Importance)	能源消耗总量(energy_total)					能源消耗强度(energy_efficiency)				
	weight	gain (×10 ⁶)	cover	total_gain (×10 ⁸)	total_cover (×10 ⁴)	weight	gain	cover	total_gain	total_cover (×10 ⁴)
水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比(%)	535	2.50	23.48	13.4	1.26	398	0.01	36.76	5.62	1.42
六大高耗能工业产出利息支出占比(%)	374	6.37	35.98	23.8	1.35	271	0.15	76.47	41.3	2.04
工业污染完成投资占GDP比重(%)	201	0.799	32.91	161	0.66	230	0.03	55.41	7.85	1.25
环保保护财政支出占GDP比重(%)	237	3.48	46.44	8.25	1.10	267	0.04	48.17	11.46	1.25
环境污染治理投资占GDP比重(%)	227	4.97	49.53	11.3	1.12	209	0.03	113	6.95	2.33
电力消费量(亿千瓦小时)	473	30.9	165.52	1460	7.83	163	0.07	42.17	11.83	0.67
人均GDP(万元/人)	161	1.64	64.16	2.65	1.03	210	0.1	90.31	21.86	1.87
财政收支比(%)	232	8.04	58.34	18.7	1.35	185	0.09	69.89	17.59	1.27
城镇人口所占比率(%)	136	5.96	65.85	8.10	0.90	152	0.02	94.72	4.25	1.42
第二产业所占比重(%)	121	1.92	51.02	2.32	0.62	148	0.04	83.64	6.51	1.21
专利申请授权数(件)	157	3.77	89.62	5.92	1.41	199	1.12	116.16	222.13	2.28
表观二氧化碳排放总量(公吨)	256	9.95	85.21	25.5	2.18	205	0.14	79.98	29.88	1.61
碳强度(吨/万元)	158	2.87	93.41	4.54	1.48	287	2.02	175.6	577.81	4.99
均值	255.71	268	68.25	1160	1.80	220.57	0.28	85.62	70.28	1.82
标准差	126.44	812	36.21	3860	1.84	68.59	0.57	37.99	157.47	1.02
变异系数	0.49	3.04	0.54	3.32	1.03	0.31	2.03	0.44	2.26	0.56

数据来源:作者计算整理。

表3 碳排放总量与碳排放强度的影响因素重要性五类指标

变量重要性指数(Importance)	碳排放总量(carbon_total)					碳排放强度(carbon_efficiency)				
	weight	gain ($\times 10^2$)	cover	total_gain ($\times 10^5$)	total_cover ($\times 10^4$)	weight	gain	cover	total_gain ($\times 10^3$)	total_cover ($\times 10^4$)
水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比(%)	431	0.28	17.55	1.20	0.74	404	0.14	16.16	0.06	0.61
六大高耗能工业产出利息支出占比(%)	300	0.17	25.65	0.50	0.75	288	0.41	25.12	0.12	0.69
工业污染完成投资占GDP比重(%)	237	1.17	21.37	2.78	0.49	144	0.05	29.74	0.01	0.41
环保保护财政支出占GDP比重(%)	189	0.44	58.37	0.82	1.09	178	0.26	79.66	0.05	1.39
环境污染治理投资占GDP比重(%)	175	1.86	40.19	3.26	0.69	208	0.79	35.42	0.16	0.71
电力消费量(亿千瓦时)	226	0.66	71.39	1.48	1.60	193	0.18	101.29	0.04	1.93
能源消费量(万吨标煤)	381	44.83	95.53	170.79	3.62	111	0.15	109.27	0.02	1.19
单位GDP能耗(吨标准煤/万元)	199	0.08	85.13	0.15	1.68	334	12.36	194.92	4.12	6.46
人均GDP(万元/人)	185	0.33	44.75	0.61	0.82	122	21.52	131.43	2.60	1.58
财政收支比(%)	139	0.41	59.34	0.57	0.82	82	0.17	76.46	0.01	0.61
城镇人口所占比率(%)	106	0.96	55.5	1.02	0.58	99	0.03	98.71	0.00	0.96
第二产业所占比重(%)	249	1.61	158.74	3.99	3.94	110	0.5	66.86	0.06	0.72
专利申请授权数(件)	105	0.68	90.57	0.71	0.95	93	0.16	103.3	0.02	0.94
均值	241.43	7.05	69.9	28.21	1.77	195	3	88.69	0.65	1.75
标准差	113.88	16.10	45.2	68.47	1.87	110.29	6.32	54.71	1.28	2.00
变异系数	0.47	2.28	0.64	2.43	1.05	0.56	2.11	0.61	1.96	1.14

数据来源:作者计算整理。

响因素的调控目标依据,借力XGboost模型及对接SHAP方法,可发现能耗“双控”转向碳排放“双控”的总量和效能共计四个维度的目标变量的影响因素作用特征,得到启示。

1.能源消耗总量目标的影响因素作用分析

(1)基于XGBoost模型识别的综合比较

首先,影响因素重要性分布结构特征。一是基于变异系数,数据分散程度最高的为gain算法,最低的为weight算法。二是能源消耗总量的影响因素重要性得分,位于均值以上的指标最多的为:weight算法和cover算法,意味着能源消耗总量影响因素作用发挥的取值分布,位居高位运行的指标较多。位于均值以下的指标最少的为:gain算法和total_gain算法,意味着能源消耗总量影响因素作用发挥的取值分布,位居低位运行的指标较少。

其次,影响因素重要性典型指标。能源消耗总量的影响因素重要性得分,位居前5位的指标,且在5种算法中均出现的是表观二氧化碳排放总量、单位GDP能耗、电力消费量,且在3种算法中均出现的是碳强度、专利申请授权数;位居后3位的指标,且在4种算法中均出现的是第二产业所占比重、工业污染完成投资占GDP比重。

(2)与SHAP算法的综合对比

对能源消耗总量影响大的因素:电力消费量、表观二氧化碳排放总量、单位GDP能耗。

对能源消耗总量影响不大的因素:人均GDP、工业污染完成投资占GDP比重。

2.能源消耗强度目标的影响因素作用分析

(1)基于XGBoost模型识别的综合比较

首先,影响因素重要性分布结构性特征。一是分散程度最高的为total_gain算法,最低的为weight算法。二是能源消耗强度的影响因素重要性得分,位于均值以上的指标最多的为:cover算法和total_cover算法,意味着能源消耗强度影响因素作用发挥的取值分布,位居高位运行的指标较多。位于均值以下的指标最少的为:gain算法和total_gain算法,意味着能源消耗强度的影响因素发挥作用的取值分布,位居低位运行的指标较少。

其次,影响因素重要性典型指标。能源消耗强度的影响因素重要性得分,位居前5位的指标,且在5种算法中均存在的是碳强度,且在4种算法中均存在的是六大高耗能工业产出利息支出占比、专利申请授权数;位居后3位的指标,且在3种算法中均存在的是城镇人口所占比率、水利、环境和公共设

施管理业固定资产投资占比、第二产业所占比重、电力消费量。

(2)与SHAP算法的综合对比

对能源消耗强度影响大的因素:专利申请授权数,碳强度,六大高耗能工业产出利息支出占比,能源消费量。

对能源消耗强度影响小的因素:电力消费量,环保保护财政支出占GDP比重。

3.碳排放总量目标的影响因素作用分析

(1)基于XGBoost模型识别的综合比较

首先,影响因素重要性分布结构特征。一是数据分散程度最高的为total_gain算法,最低的为weight算法。二是碳排放总量的影响因素重要性得分,位于均值以上的指标最多的是cover算法,意味着碳排放总量影响因素作用发挥的取值分布,位居高位运行的指标较多。位于均值以下的指标最少的为total_gain算法,意味着碳排放总量影响因素作用发挥的取值分布,位居低位运行的指标较少。

其次,影响因素重要性典型指标。碳排放总量的影响因素重要性得分,位居前5位的指标,且在5种算法中均出现的是第二产业所占比重、能源消费量、碳强度;位居后3位的指标,且在4种算法中均存在的是六大高耗能工业产出利息支出占比,且在3种算法中均存在的是财政收支比。

(2)与SHAP算法的综合对比

对碳排放总量影响大的因素:碳强度,能源消费量,水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比。

对碳排放总量影响小的因素:六大高耗能工业产出利息支出占比,城镇人口所占比率。

4.碳排放强度目标的影响因素作用分析

(1)基于XGBoost模型识别的综合比较

首先,影响因素重要性分布结构特征。一是数据分散程度最高的为gain算法,数据分散程度最低的为weight算法。二是碳排放强度的影响因素重要性得分,位于均值以上的指标最多的是cover算法,意味着碳排放强度的影响因素发挥作用的取值分布,位居高位运行的指标较多。位于均值以下的指标最少的为gain算法;total_gain算法和total_cover算法,意味着碳排放强度的影响因素发挥作用的取值分布,位居低位运行的指标较少。

其次,影响因素重要性典型指标。碳排放强度

的影响因素重要性得分,位居前5位的指标,且在5种算法中均出现的是表观二氧化碳排放总量、单位GDP能耗,且在4种算法中均存在的是人均GDP,且在3种算法中均存在的是环境污染治理投资占GDP比重;位居后3位的指标,且在3种算法中均存在的是财政收支比、城镇人口所占比率、工业污染完成投资占GDP比重、水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比。

(2)与SHAP算法的综合对比

对碳排放强度影响大的因素是表观二氧化碳排放总量、人均GDP、单位GDP能耗、专利申请授权数、电力消费量。

对碳排放强度影响小的因素是水利、环境和公共设施管理业固定资产投资占比,六大高耗能工业产出利息支出占比。

5.启示

能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素的作用价值共性,意味着需要保持政策的连续性,兼顾能耗“双控”与碳排放“双控”。能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素的作用价值差异性,意味着需要分类施策,也意味着需要动态跟踪政策效果,及时优化政策工具结构(邱海洋等,2025)。特别是,能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素的作用效果变动,意味着能源转型已进入需要根据经济基础条件、绿色金融发育程度实施针对性调控阶段,需要突破惯性转型路径,融入信息化智能化趋势。

四、区域能耗“双控”转向碳排放“双控”面临的深层障碍约束

区域能耗“双控”转向碳排放“双控”在生产、传输、储存及消费等环节面临系列障碍挑战。

(一)可再生能源发展与能源送储系统的统筹衔接矛盾突出

由于区域能源转型所需的能源输送和存储调度系统的结构性限制,以及外送通道建设滞后,风电、光伏等可再生能源发展集中开发的地区面临着消纳不足和限电的可能,且局部地区可再生能源存在浪费的风险,导致可再生能源禀赋富足地区的资源优势难以发挥,可再生能源发展与能源送储系统的统筹衔接矛盾较为突出。

其一,很多地区尚未布局完善的保障可再生能源优先调度上网的共赢规则,兼顾区域能耗“双控”转向碳排放“双控”相关方利益诉求的市场化的运行机制尚未建立完善。部分地区的电力等能源调度运行仍然采取平均分配式的传统计划安排,使得国家《可再生能源法》的保障收购条款难以落实,导致区域能源转型发展可再生能源的实际效果欠佳。

其二,国家能源送储系统的硬件和软件规划建设与电力工业规划编制的同步推进存在不协调,并受到特高压建设等重大未决事项的影响,加之电网系统改革创新亟须加力推进,区域能耗“双控”转向碳排放“双控”发展可再生能源的目标设定,与配套建设的电网等能源输送和存储系统之间存在明显的时间滞后和空间错配矛盾,导致“大范围、常态性”的“弃风弃光”限电现象的风险骤升。

其三,受到国际经济不景气的大背景影响,加之国内经济转型发展增长放缓,电力等能源需求不足,区域能源转型发展可再生能源与能源输送存储调度系统统筹衔接存在消纳不足、流转不畅的矛盾的概率加剧,有可能遭遇严重危机。

(二)政府补贴激励支持新能源发展的模式有待改善

甄别优化功能不足的政府补贴激励新能源发展的模式缺乏持续性,补贴效率不高,将影响新能源发展的目标诉求。

其一,政府补贴激励新能源发展的模式持续性不足,在经济发展态势高涨阶段,富余的地方财政能力可补贴激励新能源发展;但在经济发展态势不景气阶段,地方财政可用于支持新能源发展的补贴激励显得捉襟见肘。

其二,地方政府补贴激励新能源发展的传统模式,没有形成可持续的内生激励动能。特别是经济发展大环境不景气,传统能源价格波动加大,不确定性加剧,而处于初创期的可再生能源的相关技术优势相对不足,亟须打造政府补贴激励新能源发展的内生“造血”功能,激励发现与打造可再生能源发展的新模式。

其三,地方政府补贴激励新能源发展的传统模式,易造成新能源发展成效的“面子过程”,导致许多新能源企业为了套取政府补贴,规划建设新能源设施不计可持续效能,甚至出现新能源设施建成不

用的现象。

其四,地方政府补贴激励新能源发展的传统模式,易形成可再生能源补贴资金的巨大缺口,出现较为严重的补贴拖欠问题。同时,可再生能源补贴申报程序过于烦琐,补贴发放不及时,易形成新能源发展企业资金链的流转拥堵和债务拖欠严重,约束正常经营和经济效益及技术创新。

(三)新能源汽车产业链发展面临抢占战略竞争制高点与技术缺陷挑战及收益不佳的多重瓶颈

其一,新能源汽车产业链发展面临难以在短期内突破完全替代油和气的先天性技术难题。与燃油汽车产业链相比,在极冷或极热的气候条件下,新能源汽车产业链的耐候性技术仍然难以达到理想境界,特别是在气温降至零下十几摄氏度时,耐候性技术仍然缺乏,新能源汽车产业链的耐候性技术能力尚有艰难的瓶颈要攻克。

其二,新能源汽车产业链面临各环节经济收益共赢共进不均衡的瓶颈制约,亟须提升产业链发展内在经济性均衡激励。新能源汽车的充换电装置的收益激励不理想,设备设施的普及化推进仍需时日。加之,新能源汽车充换电导致运力可能减损问题,充换电设施投融资缺乏经济性。

其三,新能源汽车产业链发展亟须未来电池技术进步的弥补与跃升。新能源汽车产业链发展的长期重点,是希望通过电池技术创新,逐步完善新型电池性能,以使用正在研发的容量、性能和使用寿命大幅提升的亚氨基锂电池,性能还在提升的铝、镁、钠等电池,逐步取代技术瓶颈难以破局的锂电池。新能源汽车产业链发展关键在于电池供电能力与充电频数等方面的技术飞跃,面临着重点前沿技术创新方向统筹兼顾与关键核心技术装备攻关优化布局的挑战。

(四)绿色金融规制亟须满足“双碳”目标下区域能源转型投融资需求

其一,“双碳”目标下区域能源转型的投融资诉求冲动与债务负担渐进提升的矛盾。受限于能源绿色转型投资多依赖于银行贷款和专业债券等间接投融资渠道,易出现债务负担压力。而且,区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的战略诉求,多将不可再生能源发展打造成区域经济的战略新高地,极易增加区域性债务金融风险,制约能源转型项目的长效收益。

其二,“双碳”目标下区域能源转型多维度资金诉求与绿色金融的供给结构难以匹配的矛盾。绿色金融的资金供给结构多偏重信贷和债券部分,对区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的多元化金融资源需求难以满足。而且,对于绿色科技研发、储能技术创新等领域,资本市场的信息甄别和估值功能不足,债权融资工具无法满足项目资金的长期化诉求。

其三,融资成本和投融资交易预期阻碍“双碳”目标下区域能源转型的融资诉求。融资成本高阻碍“双碳”目标下区域能源转型的经济性发展。国内多数光伏能源的融资成本大约在8%,部分甚至高达10%,而境外融资成本多在3%—5%^④。另外,受制于可再生能源发展的不确定性,在不良贷款率位居高位时,普遍收紧信贷融资,削弱区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的融资信心。

五、数智化赋能区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的政策着力点

要依托数智化赋能破局“双碳”目标下区域能源转型。充分利用区域能耗“双控”转向碳排放“双控”的影响因素识别特征与规律性发现,应对“双碳”目标下区域能源转型的障碍约束挑战,借力数智化赋能矛盾缓解和机遇转化大趋势,完善区域能耗“双控”转向碳排放“双控”数智化的推进保障策略。

(一)积极研究紧抓数智化赋能“双碳”目标下区域能源转型的新机遇

首先,研究抓住智能化赋能可再生能源与能源送储系统协调衔接发展新机遇。智能化赋能对可再生能源发展有重大促进作用,同时,智能化代表了能源送储系统的发展趋势,是“互联网+”在能源领域的创新性应用,为可再生能源发展打通扩增外输通道,推进可再生能源与能源送储系统的协调发展,打造“双碳”目标下区域能源转型发展可再生能源的新机遇。

其次,研究抓住智能化赋能政府管理模式与新能源发展的共进共赢新机遇。随着智能化赋能政府管理手段的不断探索和完善,不断改进充实基于智能化赋能的可再生能源补贴政策,持续优化政府补贴激励新能源发展,在提高政府补贴激励新能源发展的效果和效率的进程中,形成智能化赋能政府

管理模式效能的正反馈,打造政府补贴激励模式与新能源发展的共进共赢新机遇。

再次,研究抓住数智化赋能新能源汽车产业链升级改造与多元矛盾瓶颈有效破局的新机遇。数智化赋能拓展新能源汽车产业链的信息化、数字化发展,开辟更多新领域新赛道,构建数智化的现代汽车产业链体系。数智化赋能借力信息技术、人工智能增长引擎,催生新能源汽车产业链的新产品新业态新模式,推动生产方式及产业形态深刻变革,提高全要素生产率,有效破局发展瓶颈,缓解多元矛盾,实现新能源汽车产业链高质量发展。

最后,研究抓住数智化赋能绿色金融规制打造区域能源转型投融资新便利。数智化作为赋能绿色金融规制的典型工具手段,为金融机构和区域能耗“双控”转向碳排放“双控”提供了新的投融资渠道与发展机遇。

(二)积极推进数智化赋能政府引领可再生能源发展的激励新模式

首先,积极推进数智化赋能可再生能源发展与能源送储系统之间的协同衔接。依托数智化赋能政府激励新模式打造,一要引领智能化赋能能源输送储存系统的调度支持系统建设。二要引领智能化赋能能源输送储存系统的跨省跨区协调调度能力建设,构建灵活调度动态优化送能曲线,实现可再生能源消纳。三要引领智能化赋能能源输送储存系统的调度运行机制。四要引领智能化赋能多能源品种和源网荷储协同调度机制,促进源网荷储和相关主体的行为选择与利益诉求共赢优化。

其次,积极推进智能化赋能政府补贴激励方案打造。智能化赋能引领云计算、AI和大数据等技术运用于从咨询顶层设计、云网底座构建到运维集成的端到端方案打造,助力政府补贴激励新能源发展的财政业务规范化、资金监管精准化、辅助决策科学化等需求。

再次,积极推进智能化赋能政府补贴激励体系安全韧性效率提升。智能化赋能聚焦财政用户接入环境复杂、云网割裂、资金数据隐患大等难题,打造基础安全、数据安全、零信任安全、云网协同、安全服务等场景化安全方案,提供政府补贴激励解决方案端到端纵深全方位防御。

最后,积极推进智能化赋能政府补贴激励公共服务平台建设。智能化赋能引领统一的财政技术

中心平台布局,打造用户、权限、认证、流程、日志、功能等公共服务能力中心平台系统,实现统一门户入口、统一认证、统一授权、统一流程、统一待办。

(三)积极推进数智化赋能新能源汽车产业链发展多元目标之间的和谐共进

首先,积极推进数智化赋能新能源汽车产业链智能创新。依托数智化赋能,聚焦感知、控制、决策、执行等环节,促进产学研用联合创新,加强新能源汽车产业链“卡脖子”领域关键核心技术攻关;面向产品全生命周期和制造全过程的核心软件联合开发,打造集成化软件平台,推动新能源汽车产业链的知识软件化和架构开源化。

其次,积极推进数智化赋能新能源汽车产业链升级改造。依托数智化赋能,推动人工智能等新技术创新应用,加快先进工艺、信息技术与装备制造深度融合,带动新能源汽车产业链迭代升级;同时,促进中小企业工艺流程优化、技术装备改造升级,推进新能源汽车产业链上专精特新企业的示范带动作用发挥。

再次,积极推进数智化赋能新能源汽车产业链规模经济集群园区建设。依托数智化赋能,引领AI在研发设计、生产制造、供应管理等核心环节应用,实现泛在感知、数据贯通、集成互联、人机协作和分析优化,打造新能源汽车产业链的智能场景、智能车间和智能工厂的规模经济效应;同时,示范引领地方政府、行业组织、龙头企业联合推广提升新能源汽车产业链集群智能化应用水平,推动相应集群园区建设。

最后,积极推进数智化赋能新能源汽车产业链基础设施建设优化升级。数智化赋能引领工业互联网、物联网、5G等新型网络基础设施规模化部署,驱动工业数据中心、智能计算中心等算力基础设施建设布局优化,统筹汽车智能制造标准和技术应用标准体系打造,提升现场感知和数据传输能力及安全能力。

(四)积极推进数智化赋能绿色金融规制“双碳”目标下区域能源转型的投融资诉求

首先,积极推进数智化赋能畅通区域能源转型融资业务流程。运用机器学习、大数据分析等手段,引领区域能耗“双控”转向碳排放“双控”业务智能认定、环境效益自动测算、绿色客户分层分类等特色功能开发,建立绿色客户分类标准,实现“双

碳”目标下区域能源转型绿色投融资业务自动认定和分类,有效防范“漂绿”“洗绿”风险,以智能化提升区域能耗“双控”转向碳排放“双控”融资效能。

其次,积极推进数智化赋能夯实区域能源转型融资数据根基。依托监管部门的绿色金融业务分类标准,对接环保评级、安全生产、微观征信等多维度大数据,融合业务数据,共同构建绿色金融数据库,运用机器学习与深度学习等算法,实现绿色数据的可追溯、可验证、可比较,为“双碳”目标下区域能源转型融资的业务管理、监管报送、对外信息披露提供数据支持。

再次,积极推进数智化赋能完善区域能源转型“碳资信”体系构建。聚焦碳减排市场重点领域,引领“双碳”目标下区域能源转型碳账户核算模型研发,打造“碳账户”和“碳资信”体系(杨虎涛等,2025)。实施风险识别、评估和管理的“碳画像”,精准核算碳排放,推动降低资产组合的碳强度,针对性支持区域能耗“双控”转向碳排放“双控”融资。

最后,积极推进数智化赋能完善区域能源转型客户ESG评级体系构建。数智化赋能引领ESG评级模型研发,打造“双碳”目标下区域能源转型信贷客户ESG评级系统;完善日常维护流程,打造包括历史评级变化趋势、ESG三维雷达图分析等全方位数据可视化功能,提高区域能耗“双控”转向碳排放“双控”信息时效性。

注释

- ①②北大民营经济研究院发起“知本财团”助企工程[EB/OL]。和讯网, https://baike.baidu.com/reference/56172035/533aYdO6cr3_z3kATKXdzar0NSfMNt75uLOBV7BzzqIP0XOpRovyScY65c8q8LlkGwaE4sgzNjtFw6X7ClRE6PMWd-o3R7E8xTKiDw.2014-05-10。③新华社。习近平主持召开中央全面深化改革委员会第二次会议强调:建设更高水平开放型经济新体制推动能耗双控逐步转向碳排放双控[EB/OL]。 <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1771126549874405033&wfr=spider&for=pc>.2023-07-11。④前瞻懂行帝。2020年中国新能源行业融资发展现状分析 融资前景严峻[EB/OL]。 <https://www.163.com/dy/article/F8T3UQC20519811T.html>.2020-03-29。

参考文献

- [1]赵晓丽,张钰琛,杨曦.中国城市能源转型的特征及影响因素分析:基于中国131个城市的经验证据[J].技术经

- 济,2022(4).
- [2]岳立,任婉瑜.黄河流域城市能源综合效率时空分异与影响因素研究[J].地理科学,2024(4).
- [3]黄子桓,林伟芳.中国城市能源电力转型发展战略影响因素量化模型及分析[J].电网技术,2024(3).
- [4]周丽,章姝,王美涵,等.“双碳”目标下中国碳排放控制目标分解思路研究[J/OL].气候变化研究进展.<https://link.cnki.net/urlid/11.5368.P.20250623.1019.002>.
- [5]余紫菱,马莉莉.数字经济与能源安全:基于能源消费和能源转型速率的视角[J].哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2023(6).
- [6]孙宏斌.能源互联网:数智引领能源转型[J].软件和集成电路,2023(9).
- [7]徐杰,胡文,罗春林,等.区块链技术赋能下考虑新能源汽车动力电池梯次利用的定价策略研究[J/OL].中国管理科学.<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.1418>.
- [8]张福征,王长山.综合智慧能源的内涵与能源低碳发展路径[J].中外能源,2020(7).
- [9]伍心怡,何爱平.数字技术助推中国现代能源体系构建:赋能机制、现实问题与实现路径[J].经济问题探索,2024(1).
- [10]邱海洋,李鑫.数字经济和财政支农对农业碳排放双控的影响[J/OL].河南农业大学学报.<https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20250530.003>.
- [11]杨虎涛,唐瑜.数字经济时代的杰文斯悖论:人工智能竞争与双碳目标[J].企业经济,2025(7).

Research on Influencing Factors Identification and Digital-Intelligent Strategies for Regional Transition from Energy Consumption “Dual Control” to Carbon Emissions “Dual Control”

Du Mingjun

Abstract: Employing the XGBoost model and SHAP algorithm, this study reveals the heterogeneous value of influencing factors in the regional transition from energy consumption “dual control” to carbon emissions “dual control” during 2003—2022. Variables related to green finance, economic foundations, and policy environments exhibit both commonalities and divergences in their effects on target total volume and intensity indicators from energy consumption to carbon emissions “dual control”. The coordination between renewable energy development and energy transmission-storage systems remains inadequate. Current government subsidy mechanisms for renewable energy require substantial optimization. The renewable energy industry faces multifaceted challenges, including securing competitive advantages in strategic sectors, overcoming technological bottlenecks, and improving cost-effectiveness. Green finance regulations must be enhanced to meet the investment demands of the regional transition from energy consumption to carbon emissions “dual control”. Emerging opportunities in the digital-intelligent-enabled transition from energy consumption to carbon emissions “dual control” must be seized. Government-led incentive mechanisms for renewable energy should be enhanced through digital-intelligent solutions. Multi-objective coordination within renewable energy industrial chains ought to be achieved via digital-intelligent integration. Green finance regulations need to be aligned with transitional financing demands using digital-intelligent tools.

Key Words: Energy Consumption “Dual Control”; Carbon Emissions “Dual Control”; Influencing Factors Identification; Digital-Intelligence Strategy

(责任编辑:柳 阳)