

能源经济预测与展望研究报告

FORECASTING AND PROSPECTS RESEARCH REPORT

CEEP-BIT-2026-003 (总第 92 期)



全球能源转型指数研究（2015-2024 年）

2026 年 1 月 11 日

北京理工大学能源与环境政策研究中心

<http://ceep.bit.edu.cn>

能源经济预测与展望研究报告发布会

主办单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心
碳中和系统工程北京实验室
碳中和系统与工程管理国际合作联合实验室（教育部）
能源经济与环境管理北京市重点实验室
国家自然科学基金“能源与气候变化”基础科学中心
中国煤炭学会碳减排工程管理专业委员会

协办单位：北京理工大学管理学院
北京经济社会可持续发展研究基地
华中科技大学电力能源系统转型研究中心
南京大学环境学院
北京运筹学会
中国“双法”研究会能源经济与管理研究分会
中国能源研究会能源经济专业委员会
《能源与气候变化》编辑部
《煤炭经济研究》编辑部

特别声明

本报告是由北京理工大学能源与环境政策研究中心研究团队完成的系列研究报告之一。如果需要转载，须事先征得中心同意并注明“转载自北京理工大学能源与环境政策研究中心系列研究报告”字样。

全球能源转型指数研究(2015-2024 年)

执 笔 人：吴 郢、王崇州、徐焱昭、张嘉苒、邹颖、唐葆君
作者单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心
联 系 人：吴 郢
研究资助：国家自然科学基金项目（72293600）。



北京理工大学能源与环境政策研究中心
北京市海淀区中关村南大街 5 号
邮编：100081
电话：010-68918551
传真：010-68918651
E-mail: 575746817@qq.com
网址：http://ceep.bit.edu.cn

Center for Energy and Environmental Policy Research
Beijing Institute of Technology
5 Zhongguancun South Street, Haidian District
Beijing 100081, China
Tel: 86-10-68918551
Fax: 86-10-68918651
E-mail: 575746817@qq.com
Website: http://ceep.bit.edu.cn

全球能源转型指数研究(2015-2024 年)

地缘政治动荡与技术快速迭代正在重塑全球能源格局，加剧了供应链的外部不确定性。然而，现有能源转型评估体系多聚焦于国家内部要素，忽视了全球贸易网络演化下的动态溢出效应。本报告引入复杂网络理论和机器学习方法，构建了融合内部多维驱动与外部网络影响的综合评估框架，系统量化了2015-2024年全球115个国家的能源转型绩效。结果显示：2024年全球能源贸易网络呈现高效率、高极化特征，推高了系统脆弱性。2024年全球整体转型水平虽优于2015年，但能源公平处于历史低值，且受制于资金与制度支持短板，国家间转型差距反弹。中国综合排名全球第13位，较2015年提升21%，得益于技术成本优势和政策驱动，但在可持续性维度仍具提升潜力。各国需统筹内部发展与外部网络位势，以保障能源转型的稳健与安全。

一、全球能源转型现状及挑战

能源转型既关乎减排与气候治理，也对经济增长与产业升级至关重要。在地缘政治动荡、技术迭代加速及发展鸿沟扩大的多重张力下，全球能源转型步入深水区，呈现高度的非线性和复杂性。从内部视角看，资源禀赋与发展阶段的差异，导致各国转型分化。发达经济体展开全球能源产业战略竞争，而欠发达国家受融资约束更易陷入碳锁定。从外部视角看，转型并非孤立存在，而是嵌入全球能源贸易网络，受到关系重组带来的溢出与风险传导。能源贸易日益成为地缘博弈的关

键筹码，无论是俄欧能源断联引发的供应危机，中美贸易摩擦造成的投资阻滞，还是中东冲突导致的市场震荡，均表明贸易网络的演变会以不同方式冲击各国的安全、成本与低碳进程。

因此，构建一套纳入全球贸易网络视角、兼顾系统绩效与过程影响的全景式评估框架，已成为科学认知全球能源转型规律、指导各国差异化转型的迫切需求。

二、全球能源转型指数现状及不足

能源转型在技术、环境与公平等维度上非线性耦合，跨学科特征使统一评估标准更为困难，全球格局快速重塑背景下，既有体系的短板更加突出。一方面，现有指数多聚焦于特定能源或特定维度，例如电力供应韧性指数、能源脆弱性指数等。少数综合框架如“能源三角指数”与“能源转型指数”，分别以安全、公平、可持续及转型准备为核心维度，但多采用等权线性加总，易受指标冗余影响，难以刻画维度间动态权衡与非线性取舍。另一方面，一国的转型成效不仅取决于内因，更受制于全球贸易网络的外部约束，体现在供应安全、技术扩散及成本冲击等溢出效应上。然而，现有体系仅基于“进口依赖度”、“能源多元化”等单向、线性指标来表征外部影响，难以识别拓扑位势差异，如中心度、中介能力以及多边关系的级联效应，在贸易风险上升时解释力明显不足。

因此，本研究突破传统局限，构建了一套融合能源贸易网络特征与传统转型指标的新型评估体系，不仅能全景式监测各国转型轨迹与

差距，还能精准识别阻碍因素与提升路径。对于深度融入全球能源格局的中国而言，这一工具更能有效研判外部贸易风险，为在保障能源安全的前提下平稳推进双碳战略，提供关键的数据支撑与决策参考。

三、指数构建方法及数据

为突破现有研究孤立分析国家单元的局限，本指数基于机器学习构建了一个深度融合全球能源贸易网络特征的综合评估框架。该模型依托全球能源贸易关联图谱，把国家内部驱动与贸易伙伴传导的风险暴露、技术溢出等网络效应共同编码，形成同时反映直接绩效与网络间接影响的综合指数。

首先，基于指标体系构建模型的国家节点特征矩阵。研究基于系统性、科学性与可比性原则，设置能源安全、能源公平、可持续性、转型支持与转型成本 5 个关键维度。具体子指标如表 1 所示，包括能源产销比、能源价格、能源碳排放、清洁能源规模等界定能源安全、公平和可持续；转型支持维度聚焦于政府制度效能、商业环境与技术储备，反映推动转型的后备软实力；而转型成本维度则关注技术成本、融资利率与经济负担。

表 1 能源转型指标体系

维度	子指标	单位
能源安全	人均发电量	kWh
	可再生电力占比	%
	石油产量/消费量	%
	煤炭产量/消费量	%
	天然气产量/消费量	%
	进口依赖度	%
能源公平	居民电力可得性	%
	居民烹饪清洁燃料可得性	%
	电力价格	\$ PPP/kWh
	天然气价格	\$ PPP/kWh
可持续性	能源强度	MJ/GDP \$ PPP
	单位发电碳排放	kg/kWh
	人均 CO ₂ 排放量	KT
	人均光伏发电容量	MW
	人均风力发电容量	MW
转型支持	政府效能	得分
	法律效力	得分
	商业环境便利性	得分
	可再生能源专利	个
转型成本	风电装机单位成本	\$/GW
	光伏装机单位成本	\$/GW
	国民生产总值增长率	%
	贷款利率	%

其次，构建模型的邻接矩阵基础。本研究选取石油、天然气、煤炭及电力四类核心能源品类的双边贸易额，构建加权的全球能源贸易网络。同时，引入对数化加权重度（Weighted Degree）、加权接近中心性（Weighted Closeness Centrality）与随机游走介数（Random Walk Betweenness）三个互补的拓扑指标，解构网络结构对能源转型的放大或抑制作用。其中，对数化加权重度侧重于贸易的绝对量级，衡量一国在贸易网络中的吞吐规模与连接强度；加权接近中心性刻画贸易流转的成本与速度指标越高意味着贸易调度成本越低，资源扩散更有效率；随机游走介数则衡量一国对随机贸易路径的掌控力，数值越大表明贸易越依赖少数枢纽，网络的极化程度越高、断链风险与脆弱性越高。

最后，采用关系图卷积神经网络方法（Relational Graph Convolutional Network, R-GCN）进行指数合成。其核心机制在于消息传递与邻域聚合，即视每个国家为图节点，使其通过贸易网络连接，从贸易伙伴处接收特征信息并产生互动。通过多层卷积的迭代更新，模型能够捕捉贸易活动下隐含的溢出效应与高阶影响。在训练过程中，模型采用有监督学习策略，将各国的基础指标值与网络拓扑结构进行非线性融合，产出综合指数。该方法既修正了传统加权法的主观性，又确保了指数的排序分布符合全球能源转型的客观现实规律。

研究覆盖全球 115 个国家，时间跨度为 2015-2024 年。数据采集自多源权威数据库，主要包括：世界银行（World Bank Group），国际能源署（International Energy Agency），国际可再生能源机构（International Renewable Energy Agency），《世界能源统计年鉴》，《BP 世界能源年鉴》，《全球创新指数》，Wind 数据库，美国专利商标局专利数据库（USPTO），欧洲银行数据库以及各国国家央行数据库等。

四、全球能源转型指数结果分析

（一）全球能源贸易网络特征演变

图1显示，2015-2024年全球能源贸易结构从平稳均衡向高极化演变。具体而言，2015-2019年为平稳期，贸易密度与效率高位运行（约0.85-1.0），极化度在0.2-0.4的低位波动，表明该阶段网络紧密通畅，连接关系多元。2020年受疫情扰动，密度与效率短暂下落后修复；但2022年受俄欧能源断供等地缘冲击，网络格局遭遇断崖式重创。进入

2023-2024年，虽然贸易密度与效率迅速回升，但极化度仍持续攀升至0.8高位，较2015年水平激增约4倍。当前全球能源贸易网络呈现高联通、高效率但脆弱性特征，系统对枢纽国家的依赖性与内部不平衡性显著增强，需防范阵营化导致的能源级联断供风险。

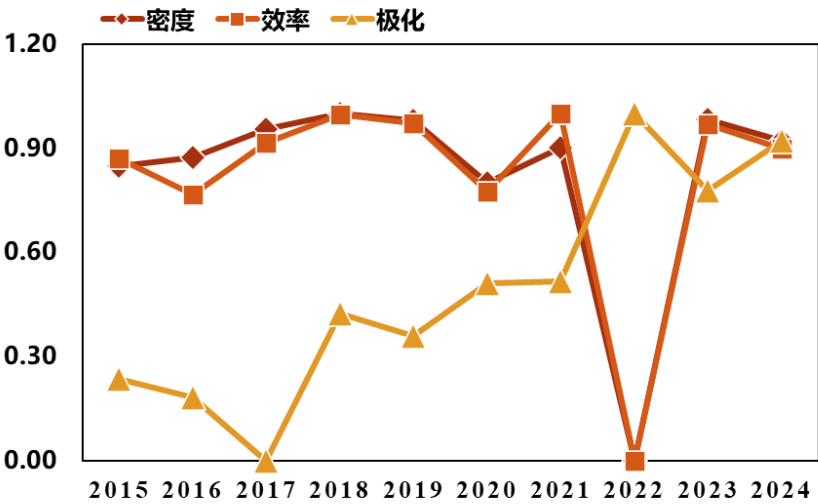


图 1 全球能源贸易结构特征演变（2015-2024）

（二）全球能源转型水平及结构演变

纳入外部贸易影响的综合评估显示（见图2），各国能源转型在波动中上升，但存在国家间差距反弹的分化问题。2015至2019年，各国处于稳步积累期，得分重心有序上移，分布相对集中。2020-2021年转型受疫情冲击下沉后强劲反弹，分布上限突破90分，达到历史峰值。然而，2022年至2024年进入震荡调整期，增长动能放缓，整体得分虽仍显著优于2015年水平，但较2021年高点有所回落。更为严峻的是，2024年各国得分跨度扩大至近40分，较2015年翻了一番。这表明头部国家进步迅速，而尾部国家提升缓慢。当前全球能源转型不仅面临高位回调压力，日益扩大的国家间鸿沟更不容忽视。

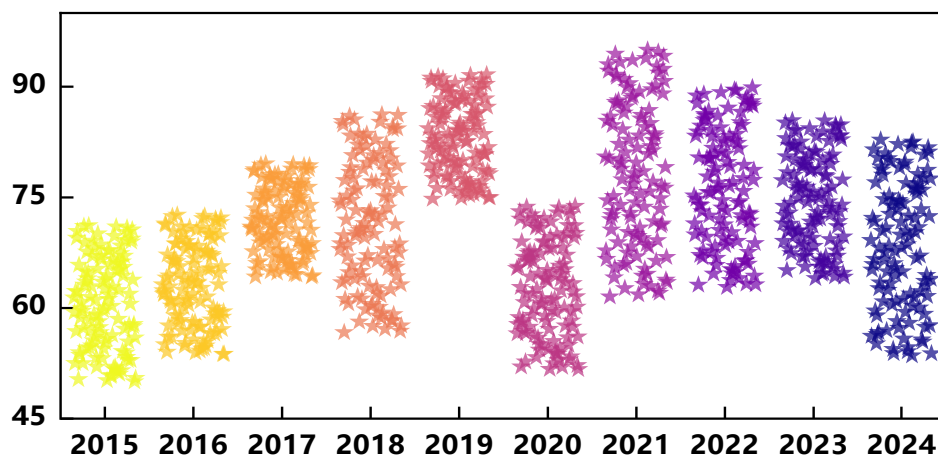


图 2 全球各国能源转型得分（2015-2024）

注：每颗五角星为一个国家

（三）全球能源转型各维度差异与区域分化

从五个维度分析全球能源转型的驱动力和阻碍，各维度分布差异显著，如图 3 所示。一方面，得益于全球风光等新能源产业链的成熟与成本大幅下降，可持续性^①与转型成本^②维度得分领跑，成为推升全球指数的核心引擎。但另一方面，能源公平已成为明显短板，通胀波动与能源贸易、供应不稳定使得能源可及性与可负担性在全球范围内造成普遍压力。此外，转型支持维度呈现出最大的离散度，国家间能源转型的“软实力”差距悬殊。发达国家在基础设施、政策环境和资金支持上条件优渥，而欠发达国家严重滞后，这也是导致国家间转型差距反弹的核心原因。

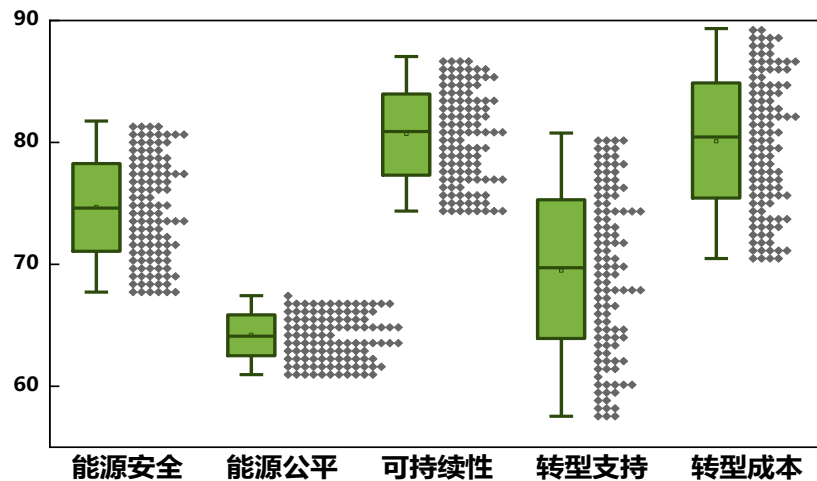


图 3 全球转型各维度得分（2024）

维度的结构性失衡在区域表现上更为明显，如图 4 所示。发达经济体在转型支持上的绝对优势，支撑了其高水平、高韧性的可持续发展。相比之下，新兴与发展中区域虽然普遍受惠于全球技术红利，在转型成本上与发达国家差距缩小，但在转型支持上普遍陷入低分陷阱。如拉美地区，虽凭借资源禀赋在可持续性上贴近发达国家，但**资金与基础设施的短板**限制了其后续潜力挖掘；中东与北非地区在该维度得分最低，化石能源路径依赖与制度僵化制约了其深度去碳化进程。综上所述，全球能源转型正面临技术红利边际递减的挑战。若不加强国际能力建设合作、解决资金与制度能力的鸿沟，“软实力”薄弱将导致南方国家后劲乏力，全球转型可能陷入双速脱节。

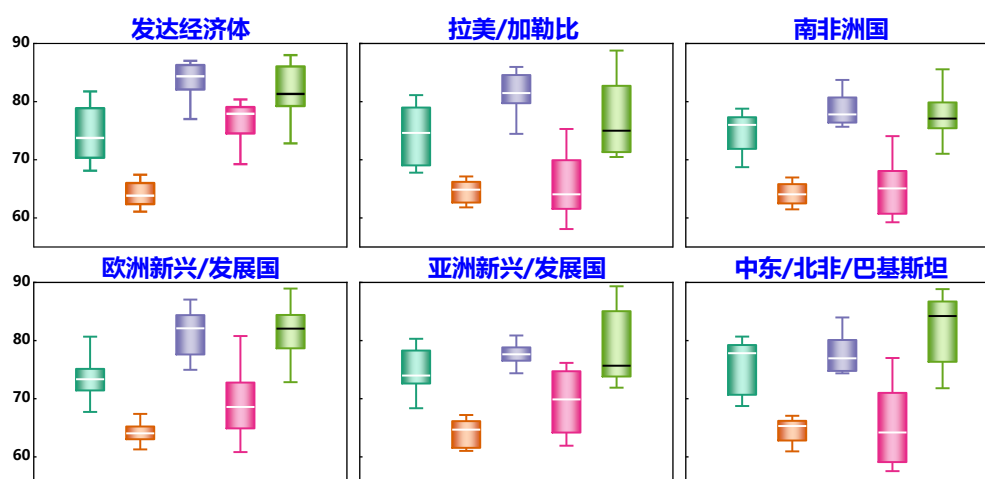


图 4 分区域转型各维度得分（2022-2024 均值）

注：箱体从左到右表示能源安全、能源公平、可持续性、转型支持、转型成本

（四）各国能源转型排名与典型发展路径

在综合排名中（见图 5），前 20 名主要为发达经济体，挪威、加拿大、新西兰等位居前三；中国和巴西是前列极少数的发展中国家，分别排名全球第 13 名和第 14 名，转型水平比 2015 年分别提升了 21% 和 32%；而阿联酋是资源型国家主动转型的标杆，排名全球第 12。以上述几个典型国家为例探讨差异化的能源转型有效发展路径。

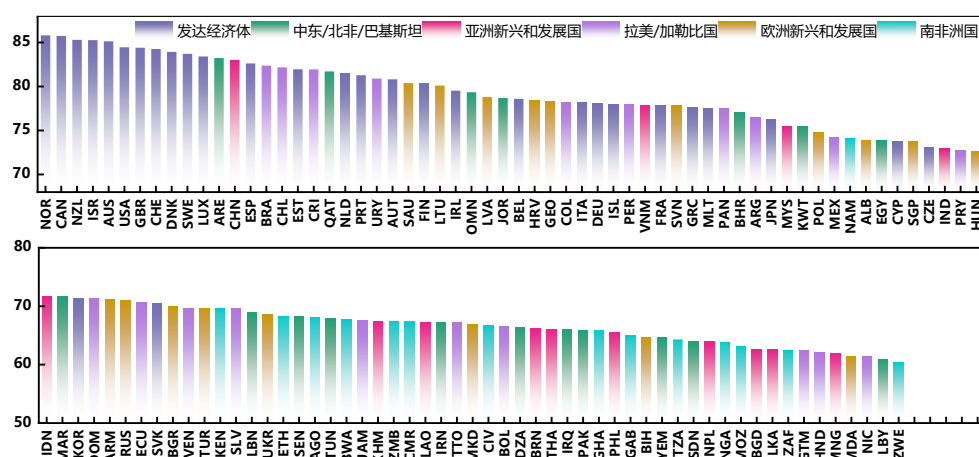


图 5 各国能源转型综合指数得分排名（2022-2024 均值）

注：上排为前 1-60 名国家，下排为 61-115 名国家

如图 6 所示，挪威是发达经济体的转型标杆，除能源公平受大环境影响有波动外，其各项指标较 2015 年均有优化，尤其在可持续性维度全球领先，得益于水电与成熟的油气产业转型。阿联酋凭借雄厚的资金储备与稳定的资源供应，其在能源安全与转型支持上表现强势。利用沙漠地理优势发展成本极低的光伏项目，转型成本维度显著外扩，但可持续性仍处于发展初期。中国主要采用技术与政策驱动模式，2024 年雷达图面积较 2015 年大幅扩张，转型支持维度反映了强大的政策执行能力，转型成本维度也印证了其新能源制造领域的基建优势，但可持续性维度与其他国家相比也仍有提升潜力。巴西可持续性维度与挪威齐平，主要得益于高比例的水电与生物质能，但在转型支持维度相对薄弱，在转型投入与基础设施上还需发力。

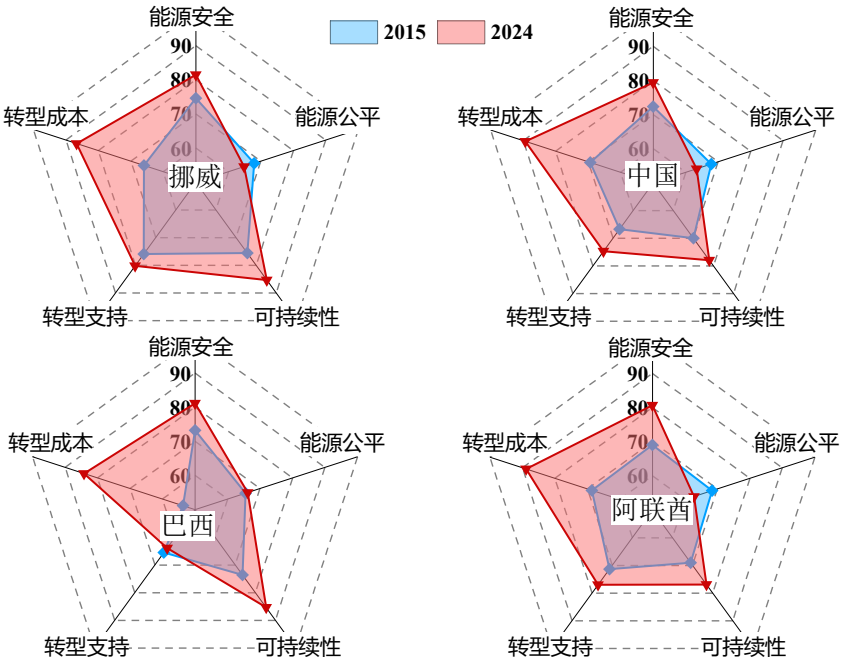


图 6 代表性国家能源转型各维度得分 2015、2024

五、关键结论与建议

本报告引入全球贸易网络视角，量化了传统评估体系忽略的外部非线性影响，指数结果相比于世界经济论坛的 ETI 结论更为审慎，突显了能源安全维度隐忧。基于此，提出以下三点关键结论与建议：

首先，当前全球能源贸易虽流转高效，但对关键枢纽的依赖显著增强，网络脆弱性攀升，需防范阵营化导致的级联断供风险。建议各国从单一追求供应链效率转向统筹开放与安全，构建多元化进口和自给体系。

其次，2024 年国家间转型差距出现结构性反弹，区域技术降本红利正面临边际递减。建议国际社会加强对南方国家的能力建设合作，弥补其在资金与制度支持上的“软实力”鸿沟，避免全球转型双速脱节。

第三，中国能源转型依靠技术和政策驱动，在多个维度处亚洲和全球前列。未来中国需巩固制造与基建比较优势，持续提升可持续性维度水平，从规模扩张向质量提升跨越。同时，应升级对外输出模式，从装备出口转向标准制定、专业服务和绿色金融等支持能力输出。

北京理工大学能源与环境政策研究中心简介

北京理工大学能源与环境政策研究中心是 2009 年经学校批准成立的研究机构，挂靠在管理学院。能源与环境政策中心大部分研究人员来自魏一鸣教授 2006 年在中科院创建的能源与环境政策研究中心。

北京理工大学能源与环境政策研究中心（CEEP-BIT）面向国家能源与应对气候变化领域的重大战略需求，针对能源经济与气候政策中的关键科学问题开展系统研究，旨在探索能源系统、气候系统、碳减排系统与经济社会系统互动规律的新知，支撑能源转型和气候战略及政策的科学决策，培养建设现代化国家的跨学科复合型高层次人才。

中心近年部分出版物

魏一鸣，沈萌，程九军. 画说能源革命. 北京：科学出版社, 2025.

魏一鸣. 碳减排系统工程：理论方法与实践. 北京：科学出版社, 2023.

魏一鸣，梁巧梅，余碧莹，廖华. 气候变化综合评估模型与应用. 北京：科学出版社, 2023.

廖华，朱跃中. 我国能源安全若干问题研究. 北京：科学出版社, 2023.

刘兰翠，刘丽静. 碳减排管理概论. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

唐葆君，王璐璐. 碳金融学. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

余碧莹. 碳减排技术经济管理. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

唐葆君. 项目管理——能源项目为例. 北京：科学出版社, 2022.

余碧莹，张俊杰. 时间利用行为与低碳管理. 北京：科学出版社, 2022.

沈萌，魏一鸣. 智慧能源. 北京：科学技术文献出版社, 2022.

魏一鸣. 气候工程管理：碳捕集与封存技术管理. 北京：科学出版社, 2020.

魏一鸣，廖华. 能源经济学（第三版）. 北京：中国人民大学出版社, 2020.

中心近年“能源经济预测与展望”报告

总期次	报告题目	总期次	报告题目
1	“十二五”中国能源和碳排放预测与展望	49	我国“十四五”能源需求预测与展望
2	2011 年国际原油价格分析与趋势预测	50	基于行业视角的能源经济指数研究
3	2012 年国际原油价格分析与趋势预测	51	全球气候保护评估报告
4	我国中长期节能潜力展望	52	全球气候治理策略及中国碳中和路径展望
5	我国省际能源效率指数分析与展望	53	新能源汽车产业 2020 年度回顾与未来展望
6	2013 年国际原油价格分析与趋势预测	54	碳中和背景下煤炭制氢的低碳发展
7	2013 年我国电力需求分析与趋势预测	55	2021 年国际原油价格分析与趋势预测
8	国家能源安全指数分析与展望	56	中国省际能源效率指数（2010-2018）
9	中国能源需求预测展望	57	后疫情时代中国能源经济指数变化趋势
10	2014 年国际原油价格分析与趋势预测	58	电力中断对供应链网络的影响
11	我国区域能源贫困指数	59	2022 年国际原油价格分析与趋势预测
12	国家能源安全分析与展望	60	全国碳中和目标下各省碳达峰路径展望
13	经济“新常态”下的中国能源展望	61	迈向碳中和的电力行业 CCUS 发展行动
14	2015 年国际原油价格分析与趋势预测	62	中国碳市场回顾与展望（2022）
15	我国新能源汽车产业发展展望	63	全球变暖对我国劳动力健康影响评估
16	我国区域碳排放权交易的潜在收益展望	64	中国上市公司碳减排行动指数研究报告
17	“十三五”及 2030 年能源经济展望	65	2022 年中国能源经济指数研究
18	能源需求预测误差历史回顾与启示	66	省级能源高质量发展指数研究（2012-2022 年）
19	2016 年国际原油价格分析与趋势预测	67	中国电力部门省际虚拟水流动模式与影响分析
20	2016 年石油产业前景预测与展望	68	2023 年国际原油价格分析与趋势预测
21	海外油气资源国投资风险评价指数	69	中国碳市场回顾与最优行业纳入顺序展望（2023）
22	“十三五”北京市新能源汽车节能减排潜力分析	70	我国 CCUS 运输管网布局规划与展望
23	“十三五”碳排放权交易对工业部门减排成本的影响	71	全球变暖下区域经济影响评估
24	“供给侧改革”背景下中国能源经济形势展望	72	迈向中国式现代化的能源发展图景
25	2017 年国际原油价格分析与趋势预测	73	2024 年中国能源经济指数研究及展望
26	新能源汽车推广应用：2016 回顾与 2017 展望	74	低碳技术发展产业链风险评估和展望
27	我国共享出行节能减排现状及潜力展望	75	中国省际能源高质量协同发展测度
28	我国电子废弃物回收处置现状及发展趋势展望	76	实现碳中和目标的 CCUS 产业发展展望
29	2017 年我国碳市场预测与展望	77	2024 年国际原油价格分析与趋势预测
30	新时代能源经济预测与展望	78	2024 年成品油价格分析与趋势预测
31	2018 年国际原油价格分析与趋势预测	79	2024 年国际天然气市场分析与趋势预测
32	2018 年石化产业前景预测与展望	80	中国碳市场建设成效与展望（2024）
33	新能源汽车新时代新征程：2017 回顾及未来展望	81	中国能源经济形势分析与研判（2024）
34	我国电动汽车动力电池回收处置现状、趋势及对策	82	2025 年中国能源经济指数研究及展望
35	我国碳交易市场回顾与展望	83	2025 年国际原油价格分析与趋势预测
36	新贸易形势下中国能源经济预测与展望	84	能源转型关键原材料价格指数研究报告
37	2019 年国际原油价格分析与趋势预测	85	《欧盟新电池法》对我国锂电池产业的潜在影响评估和展望
38	我国农村居民生活用能现状与展望	86	碳捕集技术发展前沿与趋势预测
39	高耗能行业污染的健康效应评估与展望	87	数据中心综合能耗及其灵活性预测报告
40	我国社会公众对雾霾关注的热点与展望	88	人工智能与气候变化治理研究进展与展望
41	我国新能源汽车行业发展水平分析及展望	89	全球和中国碳市场回顾与展望（2025）
42	2019 年光伏及风电产业前景预测与展望	90	“十五五”时期我国能源发展展望
43	经济承压背景下中国能源经济发展与展望	91	2026 年中国能源经济指数研究及展望
44	2020 年光伏及风电产业前景预测与展望	92	全球能源转型指数研究（2015-2024 年）
45	砥砺前行中的新能源汽车产业	93	2026 年国际原油价格分析与趋势预测
46	2020 年国际原油价格分析与趋势预测	94	全球和中国碳市场回顾与展望（2026）
47	二氧化碳捕集利用与封存项目进展与布局展望	95	低碳算力服务发展回顾与展望
48	2020 年碳市场预测与展望		