

【生态文明与区域发展】

中国区域能源转型基础与转型绩效的适配性研究^{*}

李长胜 王重博 雷仲敏

摘要:加快推进中国区域能源转型是有效应对经济增长、能源安全和环境可持续发展等诸多挑战,实现区域高质量发展的重要突破点。在对中国各省(区、市)能源转型基础和能源转型绩效进行综合评价的基础上,应用两维度象限分析模型,研究不同区域能源转型基础和能源绩效之间的适配性,结果发现:2015年以来,中国区域能源转型基础稳步提升、区域能源转型绩效持续改进,区域能源转型绩效与转型基础的适配性有所改善,但不同区域之间的能源转型依然存在较大的差异性。

关键词:区域能源转型;转型绩效;转型基础;适配性;两维度象限分析模型

中图分类号:F062.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2022)04-0132-13 **收稿日期:**2022-05-05

***基金项目:**国家自然科学基金项目“我国混合减排机制经济效率研究”(71303126);山东省高等学校青创科技支撑计划“山东省资源环境综合承载力与产业布局优化研究”(2019RWE003);青岛市社会科学规划项目“中国——上海合作组织地方经贸合作示范区建设发展研究”(QDSKL200272)。

作者简介:李长胜,男,青岛科技大学气候变迁与能源可持续发展研究院副院长,教授,博士(青岛 266061)。

王重博,男,青岛科技大学经济与管理学院硕士生(青岛 266061)。

雷仲敏,男,青岛科技大学城市可持续发展研究中心主任,教授,青岛市城市经济学会会长(青岛 266061)。

一、引言

在全球气候变化风险持续升温、能源地缘政治加剧等多重因素共同推动下,实现碳中和,加快能源转型已成为世界各国的普遍战略抉择,中国政府于2020年提出了二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和的远景目标,这必将加速中国能源结构向更加清洁、更加可持续的方向转型。考虑到能源在国民经济和社会发展中的基础性战略地位,能源转型不能简单地将其局限在一次能源结构优化的范畴,既应包括经济发展、环境可持续性、能源安全为主的转型绩效,还应包括经济社会发展、产业结构调整、技术水平提升、生态环境改善、生产要素完善、

治理能力提升等多重维度的能源转型基础演进。在这一背景下,统筹安排和有序推进处于不同发展阶段、不同发展水平、承载国家不同发展使命的各类区域能源转型,提升区域能源转型基础和转型绩效的适配性,提高区域间的生产要素配置效率和水平,重塑不同地区参与国际合作和竞争新优势。

“能源转型”一词最早来源于德国,1982年,德国应用生态学研究所出版了《能源转型:没有石油与铀的增长与繁荣》一书,首次提出了能源转型的概念。随着气候变化议题持续升温,能源转型行动共识在全球范围内形成。进入21世纪,推进能源转型逐渐成为各国共识,吸引了大量学者的关注,也成为跨学科研究的一个热点,诞生了一批有价值的研究成果。

(一)关于能源转型内涵

部分学者认为能源转型是指能源结构发生根本性的变革,即新能源和可再生能源主导的低碳能源替代由化石能源主导的高碳能源。随着人们对能源转型复杂性认识的不断深入,越来越多的学者认识到,能源转型不仅涉及能源结构或能源品种的转换,还涉及更广泛的社会经济和政治变化。

(二)关于能源转型路径

目前,能源转型路径在全球层面、国别层面以及行业层面都已形成较为丰富的研究成果。在全球层面,代表性的成果主要有:IEA 讨论了在全球升温 1.5 摄氏度情景下,全球如何实现快速的能源转型,到 2050 年打造实现零排放的能源系统的路线图。从国别层面,Foxon et al. 使用综合方法评估了英国低碳能源路径的影响,同时对整体系统使用能源分析和环境生命周期评估;Shafiei et al. 建立包括能源供应、能源价格、加油站和燃料需求四个模块的冰岛能源和运输系统的系统动力学模型,对比了电力、氢能和生物燃料传统路径到未来可持续陆路运输的情景;Mc Dowall 通过定性社会技术情景和定量能源系统模型,评估了英国氢转型,探索了三种可能的转型路线以及不同不确定性和可能的决策点;Ashina et al. 分析日本 2050 年低碳社会可行性和路线图,为了实现 2050 年相比 1990 年下降 80% 的减排目标,日本 2020 年、2030 年和 2040 年减排目标最好分别设定在 16%—20%、31%—35% 和 53%—56%。从行业层面,代表性的成果主要有:Tsai 使用 MRAKAL 能源工程模型,研究了台湾地区电力、工业、家庭和服务、运输部门等主要经济部门,在 2050 年大量碳减排目标和低碳发展情景下,采用技术和税收措施的减排效果。

中国能源转型路径的研究也形成比较丰富的成果。中国国家经济交流中心课题组认为,中国能源革命路线要做好三个运算,一是加法——增量革命,二是减法——减量革命,三是乘法——效率革命。马丽梅和史丹将中国能源转型的可行路径分为三个阶段:能源转型温和期(2015—2025 年)、能源转型确定期(2025—2035 年)、能源转型成熟期(2035—2050 年)。范英和衣博文在分析中国能源转型的现实挑战和驱动机制基础上,从市场驱动、政策驱动、创新驱动、行为驱动等多个维度提出了中国能源转型路径。黄莹等人基于长期能源替代

规划系统模型,对粤港澳大湾区交通运输能源转型路径进行了研究,提出了大力推进清洁能源的应用、大力发展铁路和水路运输以及城市公共交通、强化技术节能和管理水平提升,推进粤港澳大湾区交通运输能源转型。曾诗红等研究了“双碳”目标下中国能源转型发展路径:分阶段加大节能减排力度,大力发展可再生能源,集成应用示范绿色低碳技术,构建现代能源体系,以助力“双碳”目标的实现。

(三)关于能源转型评价方法

鉴于对能源转型概念认识的不同及不同的研究目的,能源转型评价方法也各不相同,如:长期能源替代规划系统模型、能源系统模型、随机动态模型、结构分解模型、随机网络模型、主体仿真模型、指数和综合指数法等。其中,综合指数法由于能够为决策者提供更加全面认知,并提供权衡和改进领域选择的灵活性,因而被世界银行、国际能源署、国际可再生能源署、世界经济论坛等国际机构广泛应用(Neofytou et al., 2020)。其中,世界经济论坛从 2012 年以来连续发布的《推动能源系统有效转型》系列报告,构建了能源转型指数(Energy Transitions Index, ETI),对全球 115 个国家和地区能源转型进行定量评估。世界经济论坛与埃森哲联合发布的全球能源架构绩效指数(energy architecture performance index, EAPI),从经济增长与发展、环境可持续发展、能源获取与安全三个维度,评估和分析政府和能源价值链中的其他利益相关方确定自身能源系统各要素的相对绩效。世界能源理事会采用能源三难困境指数(energy trilemma index, ETI),从能源绩效和关系绩效两个层面建立分析体系,其中,能源绩效包括能源安全、能源平等(可获得性和可负担性)、环境可持续性三个维度,关系绩效包括政策强度、社会强度、经济强度三个维度。

(四)关于适配性研究

适配性主要反映不同主体或系统之间的适应性与匹配关系,广泛应用于研究公共资源与人口分布、产业结构与基本经济条件、固定资产投资结构与产业结构、人力资本与技术选择、水资源、能源和粮食系统等协调一致性。其中,黄炎采用两维度象限分析模型,将中国经济增长的动力分为基本经济条件和产业结构两大方面,根据这两个方面将经济增长划分为四个象限,分别代表不同的发展方式和阶段,用来研究中国产业结构与基本经济条件的适配性。

综上所述,国内外学界对能源转型的概念、实施路径以及支撑政策等方面进行了研究,但是区域能源转型研究成果相对较少,更鲜有针对区域能源转型基础和转型绩效适配性的研究文献。基于此,本文拟在对各省(区、市)能源转型基础和转型绩效进行综合评价的基础上,应用两维度象限分析模型,研究不同地区能源转型基础和转型绩效之间的适配性,并分别提出不同适配类型区域能源转型的对策建议。

二、区域能源转型评价指标体系与方法

(一)区域能源转型评价指标体系

区域能源转型有狭义和广义之分,狭义的能源转型一般是指一次能源供给侧发生根本性的结构性变革,当前主要是指以新能源和可再生能源替代为标志的能源结构调整。而广义的能源转型则从能源在国民经济和社会发展中的基础性战略

地位出发,不仅包括一次能源结构优化,还包括了经济社会发展、产业结构调整、技术水平提升、生态环境改善、生产要素完善、治理能力提升等多重维度。为此,本文构建了由转型基础和转型绩效两个维度所组成的区域能源转型评价指标体系(见表1)。

(二)权重方法

本文指标体系权重采用主观确权和客观确权相结合的方法。第一,参照《能源转型评论》中关于国际能源转型准则层确权方法,在征询部分专家意见的基础上,利用主观确权法确定准则层权重(等权);第二,利用熵值法确定指标层权重,充分考虑基期和末期数据信息不一致性,将基期和末期的熵值权重平均后再做归一处理,最终得到指标层权重(见表1)。

(三)数据来源

经济社会发展指标,如:GDP、人均GDP、城市化率等数据来自国家统计局网站;能源类指标,如

表1 中国区域能源转型评价指标体系

目标层	准则层	指标层	具体计算指标	权重	指标属性
能源转型基础	资源禀赋 (1/5)	生态禀赋	森林覆盖率	0.375	正向指标
		石化能源储量	煤炭资源储量占比	0.073	负向指标
		能源结构	火电发电量占比	0.552	负向指标
	经济社会	城市化	城市化率	0.315	正向指标
		经济发展水平	人均GDP	0.366	正向指标
		产业结构	高技术产业占比	0.319	正向指标
	生态环境 (1/5)	碳排放水平	CO ₂ 排放量在全国的占比	0.151	负向指标
		空气质量水平	全年环境空气质量良好天数的比例	0.849	正向指标
	生产要素 (1/5)	人力资源水平	高技术产业R&D人员人数占比	0.540	正向指标
		教育质量	每万人大专及以上人员的人数	0.073	正向指标
		融资能力	金融机构本外币存款余额占比	0.239	正向指标
		投资水平	全社会固定资产投资占比	0.148	正向指标
	政府治理 (1/5)	营商环境	省级营商环境指数	0.015	正向指标
		民营经济发展水平	民营企业数量占比	0.599	正向指标
能源转型绩效	经济发展 (1/3)	经济比重	GDP规模/全国GDP	0.517	正向指标
		经济发展水平	人均GDP	0.483	正向指标
	环境可持续性 (1/3)	温室气体排放	人均CO ₂ 排放量	0.344	负向指标
		能源经济效率	单位GDP能耗	0.224	负向指标
		碳排放强度	单位GDP二氧化碳排放量	0.278	负向指标
		空气质量	年均PM2.5浓度	0.154	负向指标
	能源供应质量与可及性 (1/3)	供应质量	一次能源生产中清洁能源占比	0.448	正向指标
		能源可及性	能源自给率	0.552	正向指标

数据来源:作者整理所得。

一次能源生产中清洁能源占比、煤炭资源储量占比、火电发电量占比、单位GDP能耗、能源自给率等主要基于中国能源统计年鉴(2016年和2020年);各省(区、市)二氧化碳排放量主要参照中国碳核算数据库^①中省级排放清单,然后根据省(区、市)人口和GDP测算各自的人均CO₂排放量和单位GDP二氧化碳排放量。环境类指标,如年均PM2.5浓度、全年环境空气质量良好天数的比例主要来自各省(区、市)相应年份环境质量状况公报;科技类指标,如每万人大专及以上人员的人数、高技术产业占比、高技术产业R&D人员人数占比、全社会R&D投入占比根据中国科技统计年鉴计算得出。2019年省级营商环境指数数据采用北京大学光华管理学院发布的2020年中国31省(区、市)营商环境研究报告,而2015年采用2017年各省(区、市)的省会城市营商环境指数^②近似代替。

三、实证结果

(一)中国区域能源转型基础基本特征

1.整体特征

根据区域能源转型基础指数及其测算方法,对2015年和2019年全国30个省(西藏数据缺失)(区、市)的能源转型基础进行了综合评价(见表2)。

总体来看,2015年以来全国区域能源转型基础综合指数平均值有了明显改善,从2015年的30.90增长到了2019年的35.14,提高了13.72%。分区域来看,能源转型基础与区域经济社会发达程度和可再生能源资源禀赋密切相关。2019年,东部沿海经济发达地区领跑全国,在全国前10中占据6席,广东表现尤为突出,以58.08的总指数高居榜首。西南地区等可再生能源资源丰富的地区表现不凡,重庆、云南持续保持在全国能源转型基础综合指数(FRET)前10。部分中部和西部省份尽管能源转型基础相对薄弱,但追赶势头强劲,河南、宁夏、新疆、甘肃、青海、四川等能源转型基础指数增幅都超过了20%,河南、宁夏、新疆能源转型基础提高尤为显著,增幅都超过了30%。东北地区省份能源转型基础有待进一步提升,吉林增幅(14.91%)低于全国平均增幅。煤炭资源丰富地区能源转型基础整体偏弱,内蒙古、新疆、山西和河南能源转型基础综合指数排在全国最后(见表3)。

表2 2015年和2019年的能源转型基础综合指数、排名及变化

地区	2019		2015		增幅 (%)
	基础综合 指数	排名	基础综合 指数	排名	
全国平均	35.14	—	30.90	/	13.72
广东	58.08	1	54.71	1	6.16
福建	49.45	2	44.74	2	10.51
北京	48.65	3	41.28	3	17.86
上海	44.83	4	38.21	6	17.32
云南	44.11	5	40.64	5	8.56
四川	43.84	6	34.30	12	27.81
重庆	42.39	7	36.64	9	15.70
江苏	42.12	8	36.91	8	14.11
浙江	41.31	9	40.69	4	1.51
广西	38.62	10	37.49	7	3.01
江西	38.56	11	34.79	10	10.86
海南	37.88	12	34.39	11	10.12
贵州	37.60	13	33.61	14	11.88
湖南	36.75	14	33.72	13	9.00
青海	36.73	15	30.00	17	22.42
湖北	36.56	16	31.17	15	17.30
辽宁	33.57	17	27.47	19	22.20
吉林	31.01	18	26.99	20	14.91
陕西	30.66	19	29.60	18	3.61
黑龙江	30.36	20	23.89	23	27.10
天津	30.23	21	30.82	16	-1.91
安徽	28.79	22	24.87	21	15.73
宁夏	28.72	23	21.07	26	36.35
甘肃	28.12	24	22.19	24	26.73
内蒙古	26.45	25	24.66	22	7.25
山东	24.95	26	21.57	25	15.66
河南	22.95	27	15.91	30	44.26
新疆	22.24	28	16.68	29	33.31
河北	20.37	29	19.03	27	7.02
山西	18.32	30	19.00	28	-3.56

数据来源:作者计算整理所得。

2.分区特征

根据2019年能源转型基础综合指数的四分位数,可以将中国30个地区的能源转型基础划分为良好区、中等区、较弱区和薄弱区等四大区域(见表4)。

良好区。能源转型基础良好区的省(区、市)大部分位于中国东部地区,这展现出了东部地区整体雄厚的经济实力和较高的社会发达程度。从各二级指数来看,良好区在经济社会、生产要素和政府治理维度表现尤为突出,但能源转型基础在资源禀赋和生态环境方面仍需进一步提高。

表3 2019年中国区域能源转型基础各维度指数及排名

地区	资源禀赋		经济社会		生态环境		生产要素		政府治理	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
广东	55.89	10	65.45	3	69.45	15	81.65	1	17.98	4
福建	71.79	3	47.44	7	96.32	1	20.72	10	10.97	15
北京	31.83	19	87.76	1	55.56	21	29.38	5	38.73	1
上海	14.82	29	81.46	2	78.98	10	24.35	7	24.53	2
云南	91.90	1	16.79	28	95.40	3	10.62	19	5.86	24
四川	79.51	2	34.39	11	70.10	14	23.69	8	11.52	14
重庆	49.31	13	57.58	5	79.29	9	13.56	16	12.23	12
江苏	21.81	25	62.30	4	53.96	23	55.21	2	17.30	5
浙江	57.76	9	40.76	8	53.21	24	38.24	3	16.58	6
广西	68.01	4	18.11	27	91.66	6	10.47	20	4.87	27
江西	53.17	12	30.44	14	83.11	8	16.58	15	9.52	17
海南	62.15	5	29.19	15	92.19	5	2.41	30	3.43	29
贵州	53.63	11	23.94	20	95.70	2	9.45	21	5.30	25
湖南	59.22	7	27.59	16	65.75	18	19.05	13	12.15	13
青海	61.18	6	20.76	23	93.50	4	3.98	29	4.23	28
湖北	58.65	8	34.53	10	54.95	22	21.80	9	12.86	9
辽宁	45.20	14	30.78	12	66.74	17	12.63	17	12.52	10
吉林	43.44	15	19.13	24	77.86	11	6.84	26	7.79	20
陕西	38.22	18	35.88	9	48.34	25	16.97	14	13.92	7
黑龙江	41.14	17	18.76	26	76.63	12	8.66	24	6.63	23
天津	14.03	30	56.97	6	47.47	26	12.55	18	20.10	3
安徽	25.71	21	27.08	17	58.42	20	20.22	11	12.50	11
宁夏	22.91	24	23.00	21	84.29	7	4.54	28	8.88	19
甘肃	42.44	16	9.83	30	74.66	13	5.95	27	7.72	21
内蒙古	23.54	23	26.88	18	67.50	16	9.05	23	5.28	26
山东	20.69	26	30.77	13	26.69	29	33.52	4	13.05	8
河南	25.35	22	26.05	19	29.14	28	25.18	6	9.04	18
新疆	20.16	27	14.82	29	65.28	19	8.05	25	2.89	30
河北	29.65	20	18.93	25	23.76	30	19.56	12	9.96	16
山西	16.81	28	21.98	22	36.76	27	9.15	22	6.89	22

数据来源:作者计算整理所得。

表4 2019年中国区域能源转型基础划分类型

地区	良好区	中等区	较弱区	薄弱区
东部	广东、北京、上海、福建、江苏	浙江、海南	天津	山东、河北
中部	—	江西、湖南	湖北、安徽	河南、山西
西部	四川、云南、重庆	广西、贵州、青海	陕西	甘肃、宁夏、内蒙古、新疆
东北	—	—	黑龙江、辽宁、吉林	—

数据来源:作者计算整理所得。

具体来看,从经济社会维度来看,良好区占据了经济社会指数排行榜前10中的5席,北京、上海、广东、江苏和重庆包揽了经济社会指数全国的前5,北京更是以87.76的经济社会指数领跑全国;从生产要素集聚来看,良好区6个省市进入了该指数排

行榜前10,广东、江苏雄踞该榜单的前2位;从政府治理维度来看,良好区占据了该指数排行榜前10中的4席,北京、上海、广东和江苏进入政府治理指数全国的前4,北京以38.73的得分领跑全国政府治理指数榜。在资源禀赋方面,除了福建、四川和云南

排名进入全国前10外,上海和江苏排名均位列全国的20名之后。从生态环境来看,除了福建、云南和重庆排名进入全国前10外,该区域其他的省(区、市)排名都有待进一步提升。

中等区。能源转型基础中等区省份分布较为分散。其中,东部地区的有浙江和海南,西部地区有广西、贵州和青海;中部地区的有江西和湖南。其中浙江占据了中等区榜首位置。从各二级指数来看,中等区省(区、市)在资源禀赋和生态环境维度表现不错,但经济社会、生产要素和政府治理仍需进一步提升,且各维度分化较为明显。

具体来看,资源禀赋和生态环境分别有五个省份进入全国资源禀赋指数和生态环境指数前10。这些省份大都水力资源丰富、森林覆盖率高,都为能源转型提高了良好的基础。经济社会、生产要素和政府治理维度,除浙江表现较好外,中等区其他省份表现整体较差;特别是在生产要素维度和政府治理维度,不少省份排名在20名以外。

较弱区。能源转型基础较弱区的省(区、市)主要以中部、东北和西部省份为主,东部地区的天津也落入该区域。相比较而言,该类型省份在经济社会和社会治理方面表现相对较好,其中,湖北在各维度表现较好。

具体来看,资源禀赋方面,该类型省份产业结构偏重,能源转型的资源禀赋劣势明显,该类型省份只有湖北进入了全国前10的;从经济社会来看,天津、陕西和湖北进入了全国前10;生态环境方面,整体表现相对较差,均进入了全国前10;生产要素方面,只有湖北进入了全国前10,位居全国第9位;天津、山西、湖北和辽宁则进入了政府治理全国前10,其中,天津位居全国政府治理指数的第3位。

薄弱区。能源转型基础薄弱区的省(区、市)主要以西部地区和中部地区省份为主,东部地区山东和河北也落入该区域。整体而言该区域能源转型基础薄弱,宁夏和河南为该区域为数不多的亮点,分别进入了全国生产要素指数排行榜和生产要素指数排行榜的前10,分列全国的第4位和第6位;而在政府治理维度,山东进入全国政府治理指数排行榜的前10,位列第8位。

(二)中国区域能源转型绩效综合评价结果

1.总体特征

根据区域能源转型绩效综合指数及其测算方

法,对全国30个省(区、市)2015年和2019年的能源转型绩效进行了综合评价(见表5)。

表5 2015年和2019年的能源转型绩效综合指数、排名及变化

地区	2019年		2015年		增幅(%)
	绩效综合指数	排名	绩效综合指数	排名	
全国	52.91	—	46.99	—	12.60
广东	72.61	1	65.83	1	10.30
四川	71.30	2	60.47	3	17.91
北京	69.11	3	52.75	9	31.00
江苏	68.45	4	55.71	7	22.88
浙江	68.27	5	62.29	2	9.61
福建	67.57	6	55.56	8	21.61
上海	65.20	7	56.85	5	14.69
湖北	64.89	8	56.68	6	14.48
云南	64.46	9	58.15	4	10.86
重庆	56.66	10	44.14	18	28.36
海南	55.51	11	50.66	11	9.57
湖南	55.24	12	48.24	14	14.53
广西	54.87	13	52.22	10	5.09
青海	52.96	14	45.94	16	15.27
江西	52.43	15	40.65	23	28.99
陕西	52.29	16	47.28	15	10.58
贵州	50.82	17	44.58	17	14.01
甘肃	49.82	18	40.27	24	23.70
山东	49.10	19	48.53	12	1.17
安徽	48.56	20	43.25	20	12.27
河南	47.79	21	40.91	21	16.81
天津	46.49	22	48.33	13	-3.80
吉林	43.84	23	38.64	26	13.45
黑龙江	43.67	24	43.78	19	-0.25
新疆	40.71	25	35.85	27	13.55
辽宁	40.04	26	40.80	22	-1.85
山西	37.58	27	33.17	28	13.28
河北	36.72	28	32.06	29	14.55
内蒙古	33.79	29	39.10	25	-13.58
宁夏	26.54	30	26.95	30	-1.53

数据来源:作者自行整理所得。

从能源转型综合绩效综合指数变化看,2015年以来,全国能源转型绩效指数平均值有明显提高,从2015年的46.99提高到了2019年的52.91(满分100),增长了12.60%。能源转型综合绩效与区域经济社会发展程度和可再生能源资源禀赋密切相关。东部沿海地区能源转型综合绩效表现亮眼,北京、广东、四川、浙江、福建、上海、江苏进入了全国能源转型绩效前10;可再生能源资源丰富地区能源转型综合绩效表现非凡,四川、云南、湖北和重庆进入了全国能源转型绩效综合指数排行榜前10,其

中,四川以70.50的得分位列全国排行榜第3名。西部地区省份能源转型绩效提升显著,其中重庆、甘肃、四川、青海等地区能源转型综合绩效指数增幅都超过了15%。黑龙江、吉林、辽宁等老工业基地以及河北等重工业地区能源转型综合绩效较差,均排在全国的后10名;与2015年相比,黑龙江和辽宁能源转型绩效还出现了微弱劣化。2019年区域能源转型绩效综合指数各维度指数得分及排名如表6所示。

表6 2019年中国区域能源转型绩效分项指数及排名						
地区	经济发展 绩效指数	排名	环境可持 续性指数	排名	能源供应质量 与可及性指数	排名
广东	68.20	2	92.75	2	56.89	12
四川	30.52	11	89.57	6	93.82	1
北京	61.98	3	93.17	1	52.18	15
江苏	75.46	1	83.66	14	46.24	22
浙江	52.02	5	89.19	7	63.61	8
福建	44.74	7	91.66	4	66.31	6
上海	60.55	4	88.17	10	46.87	20
湖北	37.59	8	86.94	12	70.13	4
云南	17.84	20	88.62	8	86.93	2
重庆	26.56	14	90.14	5	53.28	13
海南	11.27	26	92.30	3	62.97	9
湖南	28.86	12	87.30	11	49.58	17
广西	14.66	23	85.11	13	64.84	7
青海	9.16	29	62.82	25	86.89	3
江西	20.44	19	88.32	9	48.53	18
陕西	24.55	15	80.05	17	52.27	14
贵州	13.00	24	79.59	18	59.88	10
甘肃	6.37	30	75.25	21	67.82	5
山东	46.41	6	75.78	20	25.11	30
安徽	28.05	13	83.46	15	34.17	25
河南	33.57	9	82.55	16	27.24	28
天津	31.92	10	74.03	23	33.53	27
吉林	12.25	25	78.45	19	40.81	24
黑龙江	10.99	27	74.64	22	45.39	23
新疆	14.89	21	47.45	28	59.78	11
辽宁	21.69	18	64.80	24	33.64	26
山西	14.88	22	51.04	27	46.81	21
河北	22.40	17	60.72	26	27.05	29
内蒙古	22.76	16	31.24	29	47.38	19

数据来源:作者自行计算整理所得。

2.分区特征

根据2019年能源转型绩效综合指数的四分位数,将中国30个地区的能源转型绩效划分为优秀区、良好区、中等区和较差区四大区域(见表7)。

表7 2019年中国区域能源转型绩效划分类型				
地区	优秀区	良好区	中等区	较差区
东部	广东、北京、江苏、浙江、福建、上海	海南	天津、山东	河北
中部	湖北	湖南、江西	河南、安徽	山西
西部	四川	云南、重庆、青海、广西	贵州、甘肃、陕西	新疆、宁夏、内蒙古
东北	—	—	—	黑龙江、吉林、辽宁

数据来源:作者自行计算整理。

优秀区。能源转型绩效优秀区的省(区、市)主要分布于中国经济发达地区和西北、西南可再生能源资源丰富的地区。其中,东部地区表现抢眼,占据了全国能源转型绩效优秀区8席中的6席(广东、北京、江苏、浙江、福建、上海);中西部可再生能源资源丰富地区也表现不错,四川、湖北占据了全国能源转型绩效优秀区其他2席。

从分项绩效来看,东部地区的广东、北京、江苏、浙江、福建、上海等省份在经济发展绩效和环境可持续性指数绩效表现突出,其中,江苏、广东、北京、上海、浙江雄踞全国经济发展绩效排行榜的前四五名。在环境可持续性绩效方面,东部省份表现依旧亮眼,其中,北京、广东、福建、浙江和上海进入全国排行榜的前10。但该区域省份的能源供应质量与可及性绩效相对一般,只有福建和浙江进入了全国能源供应质量与可及性绩效排行榜的前10,上海和江苏排名甚至在20名之后。

与东部地区表现不同,四川、湖北进入能源转型绩效优秀区主要凭借着在能源供应质量与可及性绩效和环境可持续性绩效方面的出色表现。其中,四川和湖北雄踞全国能源供应质量与可及性绩效排行榜第1位和第4位;四川的环境可持续性绩效也进入了全国排行榜的前10。

良好区。能源转型绩效良好区主要来自可再生能源资源丰富省份。其中,西部可再生能源资源丰富的云南、重庆、广西和青海进入了该区域。东部地区的海南和中部经济崛起的湖南和江西也落入该区域。

从分项绩效来看,良好区在环境可持续性和能

源供应质量与可及性维度表现相对较好,经济发展绩效有待进一步提升。其中,云南、重庆和海南在环境可持续性绩效表现亮眼,均进入了全国环境可持续性绩效榜单的前5,海南以92.30的得分雄踞全国环境可持续性指数排行榜的第3位;在能源供应质量与可及性维度,云南、海南、广西、青海均进入了全国能源供应质量与可及性指数榜单的前10,其中,云南和青海更是以86.93和86.89的得分,分别位列全国能源供应质量与可及性指数榜单的第2位和第3位。在经济社会方面,该类型省份没有进入全国前10的。

中等区。能源转型绩效中等区主要来自中西部省份和部分东部省(区)。其中,中西部省份包括陕西、贵州、甘肃、安徽和河南;东部省(区)包括山东和天津也落入该区域。

从分项绩效来看,该类型中的东部省份在经济发展绩效表现不错,其中,山东和天津进入了全国经济发展绩效指数榜单的前10名;在能源供应质量与可及性绩效方面,甘肃表现抢眼,进入了全国能源供应质量与可及性绩效指数榜单的前10。但该类型省份环境可持续性绩效表现一般,没有进入全

国环境可持续性绩效指数榜单的前10。

较差区。能源转型绩效较差区的省份主要来自东北地区、中西部地区。东北三省全部位于该区,西部省份包括新疆和内蒙古;东部的河北和中部的山西也落入该区域。从分项绩效来看,处于较差区的省份,经济发展绩效和环境可持续性绩效普遍较差;新疆能源供应质量与可及性绩效表现不错,位列该榜单第11位,但其他省(区)的能源供应质量与可及性绩效亟待提升。

(三)区域能源转型绩效和转型基础的适配性

为了进一步科学全面评价中国区域能源转型状态,本文建立了“能源转型基础——能源转型绩效”对应的分析框架,将各地区能源转型基础综合指数和能源转型绩效综合指数分别绘入同一平面坐标系中,以平均值将坐标平面分成四个象限。其中,第一象限和第三项象限为能源转型基础与转型绩效的适配区,第二象限和第四项象限为能源转型基础与能源转型绩效的错配区。2015年和2019年,各地区能源转型的适配情况分别见图1和图2。

从图1和图2来看,中国区域能源转型绩效与

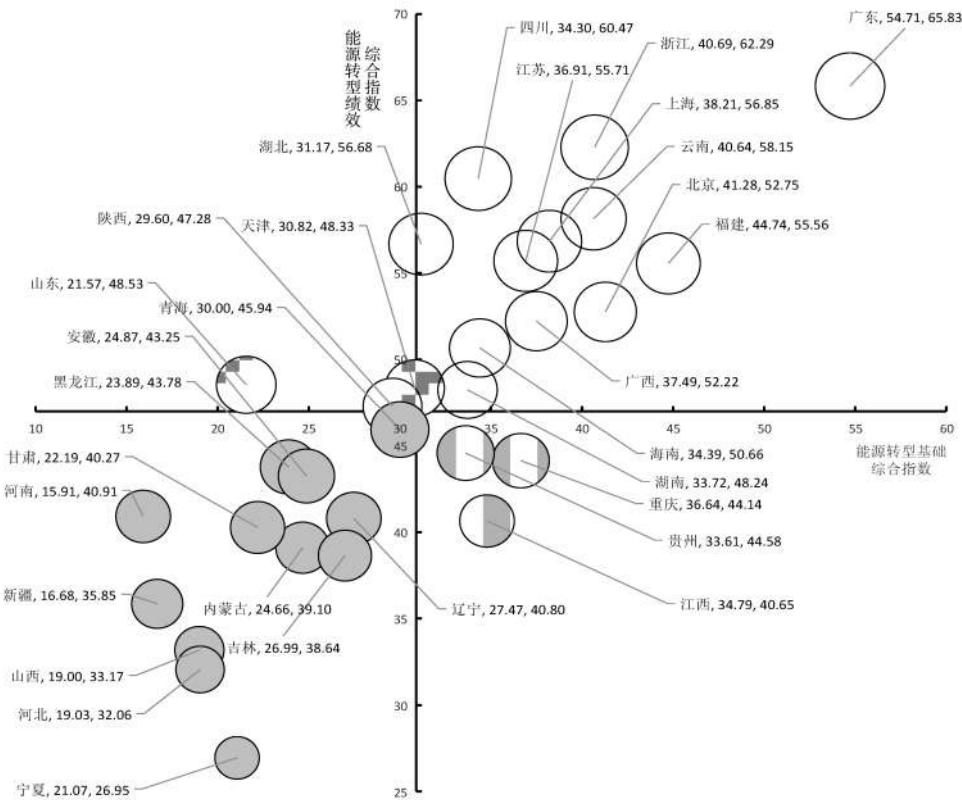


图1 2015年区域能源转型基础与能源转型绩效的适配性

数据来源:作者自行计算整理所得。

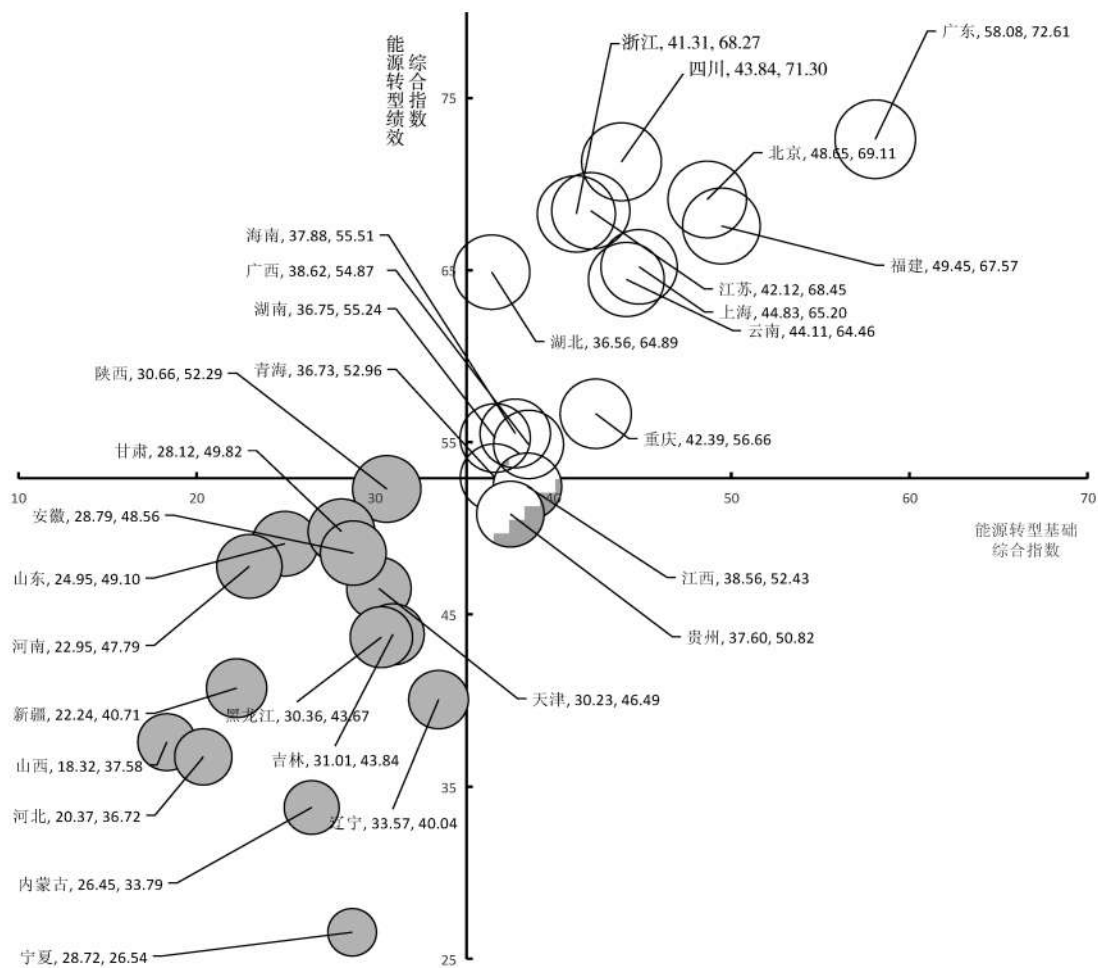


图2 2019年区域能源转型基础与能源转型绩效的适配性

数据来源:作者自行计算整理所得。

表8 2015年和2019年中国区域能源转型基础与能源转型绩效的适配性变化

适配区类别		2015年	2019年
适配区	高基础—高绩效	广东、四川、浙江、上海、云南、北京、福建、江苏、湖北、广西、海南、湖南	浙江、四川、北京、广东、福建、江苏、上海、云南、湖北、湖南、重庆、海南、广西、青海
	低基础—低绩效	青海、黑龙江、安徽、甘肃、河南、新疆、内蒙古、山西、宁夏、河北、辽宁、吉林	天津、陕西、甘肃、贵州、安徽、山东、河南、新疆、山西、内蒙古、河北、宁夏、辽宁、吉林、黑龙江
错配区	高基础—低绩效	重庆、贵州、江西	江西、贵州
	低基础—高绩效	山东、天津、陕西	—

数据来源:作者自行整理。

区域能源转型基础整体上呈正相关性,区域能源转型基础越好,区域能源转型综合绩效表现也越好。但也存在个别地区存在错配问题。

1. 适配区

高适配区:高基础—高绩效。2019年,处于高基础—高绩效适配区的地区有浙江、四川、北京、广东、福建、江苏、上海、云南、湖北、湖南、重庆、海南、广西、青海共计14个省(区、市)。相对2015年,数量多了2个,表明中国区域能源转型基础与能源转

型绩效适配性增强。从具体省(区、市)变化来看,重庆从2015年的低基础—低绩效进阶到2019年的高基础—高绩效错配区。

高基础—高绩效适配区的共同优势主要有:一是能源转型基础好。其无论经济发展整体水平、要素支撑条件、政府治理能力,还是资源禀赋和环境治理都整体明显优于其他地区。二是从能源转型绩效来看,大部分省份经济实力雄厚,经济发展绩效和环境可持续性绩效表现整体优秀,对传统化石

能源依赖性不如其他类型区域高,能源生产结构清洁程度较高。

该类区域能源转型面临的共性挑战:一是在碳达峰、碳中和背景下,如何发挥该类地区资本、人才、创新基础等优势,加大绿色、低碳、节能科技研发,构建低碳产业体系,推进经济体系低碳转型,进一步提升能源转型经济绩效和环境绩效水平。二是能源净输入地区,由于能源自给率普遍不高,如何在能源转型过程中,提升能源供应质量与可及性绩效。

低适配区:低基础—低绩效。2019年,处于低基础—低绩效适配区的省份有天津、陕西、甘肃、贵州、安徽、山东、河南、新疆、山西、内蒙古、河北、宁夏、辽宁、吉林、黑龙江共计15个省(区、市)。相对2015年,从数量方面看,处于低基础—低绩效适配区省份增加了2个。从具体省(区、市)变化来看,天津、陕西从2015年的低基础—高绩效错配区退化为2019年的低基础—低绩效区域。

低适配区省份面临着加快提升能源转型基础和能源转型绩效的双重挑战:一是如何加快提升经济实力,这既是夯实能源转型基础的重中之重,是提高生产要素集聚水平的关键,也是政府治理效能水平的综合体现。特别是如何摆脱传统化石资源依赖,加快新兴产业发展和产业迭代,走出一条经济发展和生态保护“双赢”的道路是这些省份亟待解决的重大难题;二是加快提升能源转型综合绩效,由于该类区域大部分省份能源结构仍然以煤炭为主,资源环境约束依然面临较大压力,加快能源结构向清洁低碳化转型,提升能源转型环境可持续性绩效和能源供给质量,是该类地区面临的又一重大挑战。

2. 错配区

高基础—低绩效错配区。2019年,处于高基础—低绩效错配区的有江西和贵州,相对2015年,从数量方面看,处于高基础—低绩效错配区的省份减少了一个,这说明“十三五”期间,中国区域能源转型错配程度有所降低。主要表现为重庆从2015年的高基础—低绩效错配区进阶为2019年的高基础—高绩效区域。

高基础—低绩效错配区省(市)一般为经济发展水平较高、人力资源等生产要素相对集聚,政府治理能力不错,但能源供应质量与可及性绩效相对

较差,可再生能源资源相对短缺和能源自给率较低,属于典型能源净调入区域。该类区域能源转型的最大挑战是,如何在进一步提升经济发展水平的基础上,进一步推进能源结构清洁化和提升能源自给率。

低基础—高绩效错配区。2019年,没有省份处于低基础—高绩效错配区,相对2015年,数量减少三个。从省市变化来看,天津、陕西和山东从2015年的低基础—高绩效错配区退化为2019年的低基础—低绩效区域。

四、主要研究结论与政策建议

(一) 主要研究结论

本文从能源转型基础和能源转型绩效两个维度,对中国各省(区、市)能源转型现状进行了综合评价,在此基础上,应用两维度象限分析模型,研究了不同地区能源转型基础和能源绩效之间的适配性。

一是中国区域能源转型基础稳步提升。2015年以来,全国区域能源转型基础综合指数平均值有了明显改善,从2015年的30.90增长到了2019年的35.14,提高了13.72%。分区域来看,东部沿海经济发达地区能源转型基础领跑全国;部分中部和西部省份尽管能源转型基础相对薄弱,但追赶势头强劲;东北地区省份能源转型基础有待进一步提升。

二是中国区域能源转型绩效持续改进。2015年以来,全国区域能源转型绩效指数平均值有明显提高,综合指数平均值从2015年的46.99提高到了2019年52.91(满分100),增长了12.60%。分区域来看,东部沿海地区能源转型综合绩效表现亮眼,北京、广东、四川、浙江、福建、上海、江苏进入了全国能源转型绩效前十;西部地区省份能源转型绩效提升显著;黑龙江、吉林、辽宁等老工业基地以及河北等重工业地区能源转型综合绩效较差,

三是相对2015年,2019年中国区域能源转型绩效与转型基础的适配性有所改善。其中,高适配性地区(高基础—高绩效)和低适配性地区(低基础—低绩效)的省份分别增加二个,这表明中国区域能源转型基础与能源转型绩效适配性有所改善;处于高基础—低绩效错配区和低基础—高绩效错配区的省份分别比2015年减少了一个和三个,这表

明中国区域能源转型错配程度有所降低。

(二)对策建议

根据中国区域能源转型综合评价结果,结合国家碳达峰、碳中和目标约束,对推进中国“十四五”时期区域能源转型提出如下建议。

1.国家宏观层面

加强顶层设计和统筹谋划。结合国家碳达峰、碳中和目标要求,加强顶层设计和统筹谋划,加快制定中国区域能源转型战略,明确中国不同类型区域能源转型的时间表、路线图,科学设定各区域各阶段目标,确定工作方向、主要任务和工作重点,厘清中央政府和地方政府在推动能源转型过程中的责任边界,鼓励和加快体制机制创新,制定支撑区域能源转型的政策体系。

坚持因地制宜和协同推进。坚持全国能源转型一盘棋,根据不同区域经济发展基础、能源资源禀赋、生态环境治理,及其在国家区域协调发展战略和国家区域重大战略中承载的使命,因地制宜制定区域性差异化能源转型路径,协同推进化石能源资源富集地区、可再生能源资源丰富地区、东部沿海经济发达地区等区域能源转型。

化石能源富集地区,应生态优先、科学开发、清洁利用,优化煤炭生产与消费结构,推动煤炭清洁生产与智能高效开采,积极推进煤炭分级分质梯级利用,强化其能源安全保障作用,打造区域性能源安全保障基地;因地制宜,稳步推进煤制气、煤制烯烃等能源化工产业差异化发展。可再生能源资源丰富地区,应发挥可再生能源资源和土地资源优势,加快可再生能源开发利用,加大绿色电力生产供应,加快培育一批清洁能源基地。东部沿海地区,一方面要加快沿海清洁能源开发,加大国际油气资源利用,打造国家沿海油气储备基地和可再生能源基地。另一方面,应发挥科技、人才、金融、信息等创新要素集聚优势,推进绿色低碳技术创新,引领和推动其他区域能源转型。同时,应强化区域间能源通道互联互通,突出能源系统集成优化,加快推进国家东数西算工程落地,协同推进区域能源转型。

强化机制创新和政策支撑。最大限度发挥市场机制作用,逐步扩大全国碳排放权交易市场行业覆盖范围和区域差异化准入条件,丰富交易品种和交易方式,稳步推进地方碳市场逐步向全国碳市场

过渡,有效发挥碳排放权交易市场在控制温室气体排放、推进清洁能源发展中的重要作用。

进一步完善可再生能源绿色电力证书交易制度,加快建立可再生能源发电配额强制考核办法和绿色电力证书强制约束交易,丰富绿色电力证书强制约束交易产品品种。

进一步健全能源转型的投资机制,建立信贷支持能源转型的绿色低碳发展正面清单,拓宽绿色低碳企业直接融资渠道。培育排污权、用能权、用水权等区域环境权益交易市场,支持基于排污权、用能权、用水权等环境权益金融衍生品开发,支持符合条件企业发行绿色债务融资工具,实现能源转型的金融支持多元化。

进一步完善有利于能源转型的跨区域生态补偿机制。优化区域产业政策,统筹运用财政、税收等政策工具,加快能源转型基础薄弱地区创新发展,加快传统产业改造升级步伐,充分发挥区域比较优势,大力发展先进制造和战略性新兴产业,依托风景名胜区、边境旅游试验区等,大力发展旅游休闲、健康养生等服务业,构建富有竞争力的现代产业体系。

2.区域转型策略

能源转型适配区。高适配区。一是充分发挥该类地区资本、人才、创新基础等优势,聚焦能源转型过程中技术需求,聚焦绿色低碳循环发展关键核心技术,创新科研攻关机制,构建市场导向的绿色低碳技术创新体系,推动低碳前沿技术研究和产业迭代升级,抢占能源转型和碳达峰碳中和技术制高点,以科技创新促进区域能源转型,为国家能源转型和碳达峰碳中和提供强劲支撑。二是深入推进重点领域节能减碳。优先推进工业领域化石能源率先达峰,推广新能源汽车,大力推广建筑能源碳中和技术,提高建筑能效,控制交通、建筑、居民等重点领域能源消费快速增长态势;大力发展分布式能源系统,因地制宜推进分布式清洁供暖。三是强化能源储备能力建设,提升能源应急保障水平。补齐能源储备短板,重点推进天然气储备基础设施建设,建设区域性大型煤炭储配基地,因地制宜推进抽水蓄能电站、风光水火储一体化、风水储一体化等示范项目建设,提升能源运行调节和风险防范能力,切实提升能源应急保障水平。

低适配区。一是尽快提升经济实力,夯实能源

转型经济基础。立足资源优势,严控“两高”(高耗能、高污染)项目,加快特色产业高质量发展,加快实施战略性新兴产业培育工程,建立梯次产业体系,构建一批各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业增长引擎。二是加快提升能源转型基础能力,提高电网的可再生能源电力消纳比例,重点推进基础设施、人力资本、资本与投资、政府治理等方面能力建设。三是加快能源结构清洁低碳化转型,提升环境可持续性绩效和能源供给质量。对可再生资源丰富地区,坚持集中式和分布式并重、电力外送与就地消纳结合,着力增加风电、光伏发电、太阳能热发电、抽水蓄能发电等非化石能源供给,加大风储、光储、分布式微电网储和大电网储等发储用一体化商业应用试点示范力度,形成风光水火储一体化协调发展格局;加强外送通道重点电网工程建设,推动非化石能源持续健康快速增长。对煤炭资源富集地区,推进传统能源绿色清洁高效发展,推进煤炭分质分级梯级利用,大力发展碳基新材料产业,大幅提升煤炭作为原料和材料的使用比例。

错配区。低基础—高绩效错配区。一是加快资源优势转变成为产业优势。重点发展光伏、风电、光热、地热等新能源,加快发展高端风电装备、光伏发电系统集成产品,布局氢能、储能等新能源制造产业,打造具有规模优势、效率优势、市场优势的支柱产业,在提升能源转型经济基础的同时,进一步提升能源转型的经济绩效。二是在边远、人口稀少等地区,以生物质能源为重点,大力发展农业农村分布式能源,大力发展移动能源技术,提高能源可及性,推进经济社会与生态环境协调发展。

高基础—低绩效错配区。一是大力发展分布式能源。推进各类工业产业园区公共空间和厂房屋顶等资源,大力布局可再生能源利用项目,推进工业和产业园区绿色和低碳化转型。二是加快调整优化能源结构。大力发展天然气、风能、太阳能等清洁能源,提升天然气在一次能源中占比,大幅降低单位地区生产总值能源消耗、二氧化碳排放,持续提升大气、水体质量和森林覆盖率。加强细颗粒物、臭氧、温室气体协同控制,突出碳排放强度和总量“双控”,切实提升能源转型的环境绩效。三是强化能源区域互济互保。协商制定统一的清

洁能源发展目标和战略规划,完善区域电网主干网架结构,加快区域石油管网建设,完善天然气主干管网布局,推动清洁能源供应通道建设,提高区域能源基础设施互联互通和能源供应互济互保,切实提升能源应急保障水平。

注释

①中国碳核算数据库 <https://www.ceads.net.cn/>。②粤港澳大湾区研究院,2017年中国城市营商环境报告。

参考文献

- [1] Hirsh, R. F., C. F. Jones. History's contributions to energy research and policy[J]. *Energy Research & Social Science*, 2014(1).
- [2] 顾海兵,张帅.中国能源转型的测定研究及与美、德的比较[J].*学术研究*,2017(6).
- [3] 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).
- [4] Fouquet, R., P. J. G. Pearson. Past and Prospective Energy Transitions: Insights from History [J]. *Energy Policy*, 2012,(50).
- [5] 朱彤.如何消化能源转型带来的矛盾:以德国能源转型背景、目标与进展评估[J].*中国石油企业*,2016(5).
- [6] Foxon, T. J., Hammond, G. P., Pearson, P.. Developing transition pathways for a low carbon electricity system in the UK [J]. *Technological forecasting and social change*, 2010,77(8).
- [7] Shafiei, E., Thorkelsson, H., Asgeirsson, E. I., etc.. An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: a case study from iceland [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2012,79(9).
- [8] McDowall, W.. Technology roadmaps for transition management: the case of hydrogen energy [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2012,79(3).
- [9] Ashina, S., J. Fujino, T. Masui, T. Ehara etc.. A roadmap towards a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: Feasible pathways for achieving an 80% reduction in CO2 emissions by 2050 [J]. *Energy Policy*,2012(41).
- [10] Tsai, M.-S., S.-L. Chang. Taiwan's 2050 low carbon development roadmap: An evaluation with the MARKAL mode [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(49).
- [11] 中国国家经济交流中心课题组.中国能源革命的国内外环境及路径研究[J].*中国市场*,2014(32).

- [12] 马丽梅, 史丹, 裴庆冰. 中国能源低碳转型(2015—2050): 可再生能源发展与可行路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2).
- [13] 黄莹, 郭洪旭, 廖翠萍, 等. 基于长期能源替代规划系统模型的粤港澳大湾区交通运输能源转型路径研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(12).
- [14] 曾诗鸿, 李根, 翁智雄, 等. 面向碳达峰与碳中和目标的中国能源转型路径研究[J]. 环境保护, 2021(16).
- [15] Li, F. G. N. Actors behaving badly: Exploring the modelling of non-optimal behaviour in energy transitions [J]. Energy Strategy Reviews, 2017(15).
- [16] Wang, Q., S. Wang. Is energy transition promoting the decoupling economic growth from emission growth? Evidence from the 186 countries [J]. Journal of Cleaner Production 2020(260).
- [17] Hribar, N., G. Simic, S. Vukadinovic, P. Sprajc. Decision-making in sustainable energy transition in Southeastern Europe: probabilistic network-based model [J]. Energy Sustainability and Society, 2021, 11(1).
- [18] Hansen, P., X. Liu, G. M. Morrison. Agent-based modelling and socio-technical energy transitions: A systematic literature review [J]. Energy Research & Social Science 2019(49).
- [19] Singh, H. V., R. Bocca, P. Gomez, S. Dahlke, M. Bazilian. The energy transitions index: An analytic framework for understanding the evolving global energy system [J]. Energy Strategy Reviews 2019(26).
- [20] Neofytou, H., A. Nikas and H. Doukas. Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2020(131).
- [21] 王宏亮, 吴健生, 高艺宁, 等. 管青春. 城市公共资源与人口分布的空间适配性分析: 以深圳市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021, 57(6).
- [22] 黄炎. “双循环”新发展格局下中国产业结构与基本经济条件适配性分析[J]. 兰州学刊, 2021(2).
- [23] 姜雨, 沈志渔. 技术选择与人力资本的动态适配及其政策含义[J]. 经济管理, 2012, 34(7).
- [24] 范德成, 李昊, 方磷. 中国区域固定资产投资结构与产业结构的适配性研究[J]. 统计与决策, 2016(8).
- [25] 支彦玲, 陈军飞, 王慧敏, 等. 共生视角下中国区域“水—能源—粮食”复合系统适配性评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1).

Study on the Matching of China's Regional Energy Transformation Foundation and its Performance

Li Changsheng Wang Chongbo Lei Zhongmin

Abstract: Accelerating China's regional energy transformation is effective way to cope with many challenges such as economic growth, energy security, environmental sustainable development, and an important breakthrough point to achieve high-quality regional development. Based on a comprehensive evaluation of the energy transition foundation and energy transition performance of China's 31 provinces (municipalities and autonomous regions), this paper investigated the regional energy transition foundation, energy performance and their matching by employing a two-dimensional quadrant analysis model. The results show that, despite of large differences in energy transformation among different regions, China's regional energy transformation foundation, transformation performance, and their matching degree have been steadily improved since 2015.

Key Words: Regional Energy Transition; Transition Performance; Transition Foundation; Matching Degree; Two-Dimensional Quadrant Analysis Model

(责任编辑: 平 萍)