

转型期内中国能源产业如何升级？ 基于面板数据的实证研究

刘平阔, 卢存禹, 黑朝晖

(上海电力大学 经济与管理学院, 上海 200090)

摘要:在“双碳”目标下,中国能源产业升级不仅体现制度层面的要求,而且成为行为层面的必然。界定了“能源产业比较优势”“能源产业优势演进”及“能源产业升级 Motivation-Ability-Opportunity(MAO)”,选取了2009—2019年的相关数据,从区域及全国两个层面构建计量经济模型;聚焦转型期内“产业升级的主要影响因素”和“产业升级路径选择的主要影响因素”。研究表明:制度层面,中国能源产业虽有优势,但仍存在发展“惰性”,应选择“渐进式”升级路径;组织层面,各区域能源产业仍普遍处于“升级未成功”或“保持比较优势”的非理想状态;产品层面,中国能源产业的能源替代-互补关系存在明显的区域差异,且化石能源产业未能达到发展预期。因此其仍需继续推进转型升级。

关键词:能源产业升级;显性比较优势;面板数据;路径选择;影响因素分析

中图分类号:F273.1;F426 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)11—0094—18

一、引言

随着全球能源安全问题和环境保护问题日益严峻,以“可持续转型”为核心的能源发展模式已经引起了各国政府、企业与学者的高度关注(史丹和王蕾,2015;Safari et al,2019);2020年9月22日,习近平主席在第七十五届联合国大会上重申了“应对气候变化《巴黎协定》代表了全球绿色低碳转型的大方向”,提出了中国2060年的“碳中和”目标;12月12日,在气候雄心峰会上进一步宣布了“非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右”以及“风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上”的目标,并重点指出:将以新发展理念为引领,在推动高质量发展中促进经济社会发展全面绿色转型,脚踏实地落实上述目标,为全球应对气候变化作出更大贡献。与此同时,在“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进”的新发展格局中,实现经济高质量发展、能源安全、环境保护和生态建设的愿望日益迫切。然而,中国能源产业发展也正经历着能源体制改革阵痛期、能源转型加速期、环境保护关键期及经济发展换挡期,产业结构尚未优化、产能过剩依然突出,能源产业升级面临重重困难。因此,在中观层面,中国能源产业成为责任主体,其在转型期内如何推进的升级已然成为当今经济社会发展过程中迫在眉睫的问题之一。

主流经济管理领域讨论产业升级问题多依赖于产业组织经济学的一般范式,通常关注于生产要素投入(Muhamamd et al,2018)、技术创新扩散(Samira,2019)、价值链模式(魏龙和王磊,2017)、经济结构变化(Zhang,2018)、产业高级化(张文彬等,2019)、制度安排(Elango和Karthik,2020)及政策影响(Shorena,2020)等方面。但由于能源产业基础性、保障性与支柱性的角色定位(Edomah,2019),加之能源可持续转型过程具有长期性、多维性和不可逆性等特征(Fischer-Kowalski et al,2019),使得“能源转型”更侧重于系统模式和业务功能的量变(Moallemi和Malekpour,2018),且高效的转型不仅限于能源基础设施的转变,还会影响到“围绕能源生产和消费所建立的更广泛社会经济组合”的转变(Miller et al,2013)。因此,本质上看,能源产业升级过程更为复杂(Haakonsson和Slepnirov,2018),虽然对于能源产业升级问题的权衡兼顾了先进产能优先发

收稿日期:2021—02—02

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目“绿色低碳发展中能源转型的路径匹配选择机制:产业激励的视角”(72103128);上海市“科技创新行动计划”软科学研究领域重点项目“‘新基建’与‘产业数字化’框架下长三角电力行业‘多站融合’的业务场景匹配策略与可行性评估”(21692109400)

作者简介:刘平阔,博士,上海电力大学经济与管理学院副教授,硕士研究生导师,研究方向:能源转型与电力产业发展动力机制、能源系统优化理论与技术经济决策、能源经济数量模型分析与决策;卢存禹,上海电力大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:能源电力技术经济分析、多站融合商业模式;黑朝晖,上海电力大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:能源转型与电力产业发展机制、多站融合商业模式。

展(贺玲等,2019)、清洁能源消纳持续推进(Krishman et al,2019)、普遍服务水平着力提升(郑新业和吴悠,2018)及节能减排技术推广应用(Habib et al,2016)等问题,但是各国(地区)的能源产业升级的条件、方向及侧重仍存在明显差异(Zheng和Wang,2019)。尤其是中国能源可持续转型的过程中,能源结构性失衡问题突出(宋辉等,2019)、行为与制度之间矛盾依然存在(俞萍萍,2018)、安全保障力度有待提高(刘建和方荷琴,2019)、替代能源发展相对缓慢(刘平阔和王志伟,2019)及监管与治理能力仍需强化(金碚,2019)等,使得有序、协同、可持续的能源产业升级问题成为当前中国经济社会“高质量发展”过程中不可避免且亟待解决的任务之一(刘平阔等,2018)。

在产业升级的量化分析问题上,学者们已探索性地选用了计量经济模型(袁航和朱承亮,2019)、空间优化模型(Zhou et al,2017)、模拟仿真模型(丁莹莹和李铮,2019)及量化评价模型等方法。如:从产业发展的“雁行”模式角度,Kiyota(2014)利用多锥赫克歇尔-俄林模型(multiple-cone version of the Heckscher-Ohlin model)检验了产业出现—繁荣—衰落—消失的过程,并解释了产业升级一个重要原因——资本积累;钱颜文和顾元勋(2019)从动态竞争力的角度,构建了产业升级元区域模型,对空间优化、规模变化及要素升级的影响效果进行了重点分析;Wies和Baldini(2018)在评估了替代性和依赖性的基础上,构建了一个自下而上的能源产业系统模型,并通过能源部门变化分析,提出了一套运营方法。但值得注意的是,现有模型针对较为复杂的能源产业升级路径选择问题仍未给出科学合理的解释(刘平阔等,2019);于是Liu et al(2018)从空间结构和产业强度的角度进行了扩展和建模,提出了能源产业升级的未来方向和发展路径,并关注到了“区域能源产业的比较优势”问题;刘守英和杨继东(2019)也基于产品空间理论对产业升级的演进展开了实证分析。

分析目前已有的相关研究,国内外的学者都提出了富有洞见的论断,但依然存在一些不足:首先,针对较为特殊的能源产业升级问题,目前仍存在较为广阔的研究空间;尤其是在“高质量发展”的可持续转型过程中,能源产业升级存在诸多不确定性。其次,目前对于产业升级的研究理论依据较为单一;甚至在缺少必要理论支撑的情况下,并未提炼分析结果或总结产业升级一般性规律,从而导致部分探索性建模过程失去了理论意义和应用价值。最后,已有的研究并未严格区分“产业升级的影响因素”和“产业升级路径选择的影响因素”,分析过程存在盲目性,导致所提政策建议出现“难以落地”或“短期有效、长期失效”的问题。与已有文献相比,本文的主要贡献和创新在于:①区别于早期研究仅侧重4大类能源“产量”,本文聚焦9类能源“产品”,并将“比较优势”作为切入点分析能源产业升级问题,以提高结果析出的指导性;②区别于早期研究宏观视角的建模思路,本文既考虑了转型期的“时间”维度,又结合了经济区的“空间”维度,分析比较了时空维度的差异性,以增强能源产业升级方案的针对性;③为克服早期研究中经济学经典理论的约束和限制,本文参考产业转型升级理论的先进概念,严格界定能源产业升级路径选择主要影响因素,以期政府决策和企业实践提供技术支持和决策参考。

二、研究方法

(一)概念界定

1. 能源产业比较优势

根据“产出”导向的衡量方式,定义“能源产业可持续转型的比较优势”;用区域内能源产业的“显性比较优势指数”(revealed comparative advantage index, RCA)衡量(French,2017):

$$RCA_{a,e,t} = \frac{co_{a,e,t} / \sum_e co_{a,e,t}}{\sum_a co_{a,e,t} / \sum_{a,e} co_{a,e,t}} \quad (1)$$

其中: $RCA_{a,e,t}$ 表示区域 a 能源产品 e 在时间 t 的显性比较优势指数; co 表示能源产品消费量;则 $co_{a,e,t}$ 表示区域 a 能源产品 e 在时间 t 的消费量; $\sum_e co_{a,e,t}$ 表示区域 a 在时间 t 内主要能源产品的消费量之和; $\sum_a co_{a,e,t}$ 表示能源产品 e 在时间 t 内所有区域的消费量之和; $\sum_{a,e} co_{a,e,t}$ 表示在时间 t 内所有区域主要能源产品的消费量之和。通常:①将 $RCA_{a,e,t}=1$ 定义为能源产品 e 所属产业在区域 a 、时间 t 中是否具有较显性比较优势的临界点;②将 $RCA_{a,e,t} > 1$ 定义为存在显性比较优势;③将 $RCA_{a,e,t} < 1$ 定义为不存在显性比较优势。且 $RCA_{a,e,t}$ 越大,则在区

域 a 时间 t 中的能源产品 e 相较于所有区域所有时期各主要能源产品的比较优势越明显。

2. 能源产业优势演进

根据 Hausmann 和 Klinger(2007)的理论模型,定义“能源产业可持续转型的升级衡量标准”,得到:

$$sta_{a,e,t} = \begin{cases} 1, & RCA_{a,e,t} > 1 \\ 0, & RCA_{a,e,t} \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

其中: $sta_{a,e,t}$ 表示区域 a 能源产品 e 在时间 t 的产业优势演进过程中,所体现的升级状态,即能源产业升级衡量指标;且状态指标 $sta_{a,e,t}$ 为虚拟变量:①当 $RCA_{a,e,t}$ 大于 1,即与其他能源相比,在区域 a 时间 t 的能源产品 e 具有显性比较优势时,则 $sta_{a,e,t}$ 取 1;②反之,当 $RCA_{a,e,t}$ 不大于 1,则 $sta_{a,e,t}$ 取 0。

结合邓向荣和曹红(2016)的产业升级动态变化分类研究成果,将能源产业升级分为:“升级未成功 I”“升级成功 II”“失去比较优势 III”及“保持比较优势 IV”(表 1)。

表 1 可持续转型中能源产业升级状态分类

类别	$t-1$ 期	t 期	状态
I	$sta_{a,e,t-1}=0$	$sta_{a,e,t}=0$	升级未成功
II	$sta_{a,e,t-1}=0$	$sta_{a,e,t}=1$	升级成功
III	$sta_{a,e,t-1}=1$	$sta_{a,e,t}=0$	失去比较优势
IV	$sta_{a,e,t-1}=1$	$sta_{a,e,t}=1$	保持比较优势

3. 能源产业升级 MAO

参考 Mohsen 和 Eng(2016)的研究成果,定义“能源产业可持续转型的动机-能力-机会(motivation-ability-opportunity, MAO)”;用产业升级 MAO 表示组织演进过程中,能源产品所属产业的升级潜力(Yildiz et al, 2019)。MAO 越大,则表示能源产业升级动力越强劲、能力越突出、机会越明显;同时,随着 MAO 的增多,能源产业升级的成本也会减小,即转型升级过程中,在某个子产业(子部门)进行大规模、高成本投资的概率会降低。

$$\alpha_{a,e,t} = \frac{\sum_f (sta_{a,e,t} \cdot \theta_{a,e,t}^f)}{\sum_f \theta_{a,e,t}^f} \quad (3)$$

其中: $\alpha_{a,e,t}$ 为区域 a 时间 t 的能源产品 e 的产品密度,表示能源产业升级 MAO 的观测指标; $\theta_{a,e,t}^f$ 为能源产品临近度,表示所有区域在时间 t 内能源产品 e 与能源产品 f 之间所具生产能力的相似程度。“临近度”的数学含义为:一类产品(A 或 B)存在比较优势的前提下,另一类产品(B 或 A)也存在比较优势的条件概率最小值。“条件概率最小值”反映了:条件概率中,理论上 $p(A|B)$ 与 $p(B|A)$ 不相等,其关系为 $p(A|B)p(B) = p(B|A)p(A)$;但 AB 与 BA 之间的临近度是固定且对称的;且同时生产 A 和 B 两种产品而获得“范围经济”的条件较难满足。因此利用条件概率最小值得出临近度。此时:

$$\theta_{a,e,t}^f = \min \left[p(sta_{a,f,t} | sta_{a,e,t}), p(sta_{a,e,t} | sta_{a,f,t}) \right] \quad (4)$$

其中: $p(sta_{a,f,t} | sta_{a,e,t})$ 表示区域 a 时间 t ,在能源产品 e 存在比较优势的条件下,能源产品 f 也存在比较优势的条件概率;同理解释 $p(sta_{a,e,t} | sta_{a,f,t})$ 。 $\min[\cdot]$ 可说明能源产品 e 和 f 同时存在显性比较优势的可能性。当 $e=f$ 时,则 $\theta_{a,e,t}^f=1$;临近度越大,说明:①产业中能源产品 e 和 f 的生产能力的相似程度越高;②能源产品 e 和 f 的置换成本较低,产业“ $e \rightarrow f$ ”或“ $f \rightarrow e$ ”进行升级的可能性就越大。

在能源可持续转型的产业升级过程中:①当能源产品密度 $\alpha_{a,e,t}$ 给能源产业 e 升级带来的影响越大,则区域 a 时间 t 内能源可持续转型的产业升级越依赖于比较优势;②反之,当能源产品密度 $\alpha_{a,e,t}$ 的影响越小时,则产业升级过程中对比较优势的依赖性越少。

(二)模型构建

根据产品空间理论,参考刘晓静等(2017)的研究成果,设定用以检验产业升级 MAO 与产业升级观测指标之间关系的表达式:

$$y_{a,e,t} = g(\alpha_{a,e,t}) \quad (5)$$

其中: $y_{a,e,t}$ 表示区域 a 时间 t 的能源产品 e 所属产业的升级状态可观测指标; $g(\cdot)$ 表示单一变量的待估函数形式。能源产业升级的影响因素包括:①累积性因素,能源产品 e 自身不断发展导致所属产业演进,即考虑滞后期($t-1$)的能源产业升级指标;②禀赋性因素,主要指产业显性比较优势所带来的影响。

$$sta_{a,e,t} = k + v \times sta_{a,e,(t-1)} + \mu \times \alpha_{a,e,(t-1)} + \delta \times STA + \varepsilon \quad (6)$$

其中： k 为截距； STA 为虚拟变量，表示不随时间变化的能源产业属性控制变量，即体现“固定效应”的非实验因素； ε 为随机误差值； v 为累积效应的经济参数，表示区域 a 时间 $(t-1)$ 的能源产品 e 存在显性比较优势时，对时间 t 的能源产品 e 也存在着较显性比较优势的影响程度； μ 为禀赋优势的经济参数，表示在可持续转型过程中能源产品 e 所属产业所具有的升级MAO对其继续保持显性比较优势或转变产业升级状态的作用大小； δ 为待估系数。

根据产业转型升级理论(industrial transformation and upgrading theory)，“渐进式”产业升级路径选择遵循比较优势的一般原理，表现为能源产业升级幅度越大，则能源产品密度越大；“突进式”的能源产业升级路径选择则是偏离比较优势的一般性原理；借鉴 Hausmann 和 Klinger(2007)的思路，检验能源产业升级路径过程中的比较优势，公式(6)变形为

$$sta_{a,e,t} = k + v \times sta_{a,e,(t-1)} + \mu_1 \times sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)} + \mu_2 \times [1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)} + \delta \times STA + \varepsilon \quad (7)$$

由公式(2)可知， $sta_{a,e,t}$ 为0-1变量。因此在公式(7)中：

①当 $sta_{a,e,(t-1)}=0$ 时，则在时间 $(t-1)$ 的能源产品 e 不存在显性比较优势，且 $[\mu_1 \times sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}]$ 为0， $\{\mu_2 \times [1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}\}$ 不为0，此时能源产品 e 产业升级的影响因素依赖于时间 $(t-1)$ 的能源产品密度 $\alpha_{a,e,(t-1)}$ 与 μ_2 的影响，其中， μ_2 表示能源产品密度在能源产业升级中的作用大小与其他能源产业升级MAO的大小关系。当 $\mu_2 > 0$ 时，则其他能源产业升级MAO驱动了能源产品 e 所属产业的升级；若 μ_2 显著为正，则表示能源产品 e 产业升级路径遵循着比较优势，且 μ_2 越大，产业升级对显性比较优势与能源产业升级MAO的依附性越强、能源产品 e 可持续转型的跳跃幅度相对越小。

②当 $sta_{a,e,(t-1)}=1$ 时，则时间 $(t-1)$ 能源产品 e 存在显性比较优势，且 $[\mu_1 \times sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}]$ 不为0， $\{\mu_2 \times [1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}\}$ 为0，即 μ_1 表示能源产品密度 $\alpha_{a,e,(t-1)}$ 阻止能源产品 e 失去比较优势或保持已有比较优势的作用。当 $\mu_1 > 0$ 且相关性显著时，则在区域 a 的能源产品 e 的累积潜力对其失去比较优势具有抑制作用，或是对其已有的比较优势状态具有维持作用；当 $\mu_1 < 0$ 或统计上相关性不显著时，则能源产品 e 的累积潜力与其失去比较优势或保持已有比较优势之间的相关性较小。

三、数据及分析

(一)数据来源

根据中国国家统计局公开数据(2020)、《中国能源统计年鉴(2018)》及各省市自治区统计年鉴中的能源产业相关数据，将能源划分为9类：煤炭、焦炭、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、天然气及电力。为提高测算的精确性，根据《中国能源统计年鉴(2018)》中各能源的标准煤折标系数进行单位换算。由于数据筛选需体现能源产业发展水平及显性比较优势，为分析中国能源可持续转型过程中的产业升级路径选择问题，本文选取2009—2019年(主要集中于“十二五”和“十三五”期间)中国30个省份(除港、澳、台地区及西藏自治区^①)主要能源消费量作为基础数据，构建中国8大综合经济区9×9产业空间结构，对折算后的数据指标进行统计性描述，见表2。

表2 2009—2019年中国30个省市主要能源消费量的数据特征描述(单位：万吨标准煤)

指标	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
均值	14024.45	1274.71	2435.52	613.81	134.27	857.12	283.30	79.98	225.29
中位数	11611.91	831.13	1504.18	481.81	69.29	778.87	53.27	60.84	175.25
最大值	45333.90	8161.97	17856.23	2251.11	1129.15	2643.67	7514.80	376.02	803.16
最小值	276.11	0.02	0.00	29.49	0.00	126.93	0.04	1.61	16.44
标准差	10338.60	1501.94	2856.39	441.47	200.32	510.20	870.21	66.37	164.35

注：面板数据包括2009—2019年30个截面单位的时间序列数据，样本容量330。

① 由于统计口径的问题，目前港澳台地区及西藏地区的数据存在缺失；在上述地区数据缺失的情况下，现有数据不影响分析结果。

(二)实证结果

1. 演进趋势分析

利用软件 MATLAB r2019b 编程计算,通过测算各个区域存在显性比较优势的能源产品数量占有所有能源产品数量的比值,得到中国 8 大综合经济区“能源产品类别”的显性比较优势演进趋势,结果如图 1 所示。

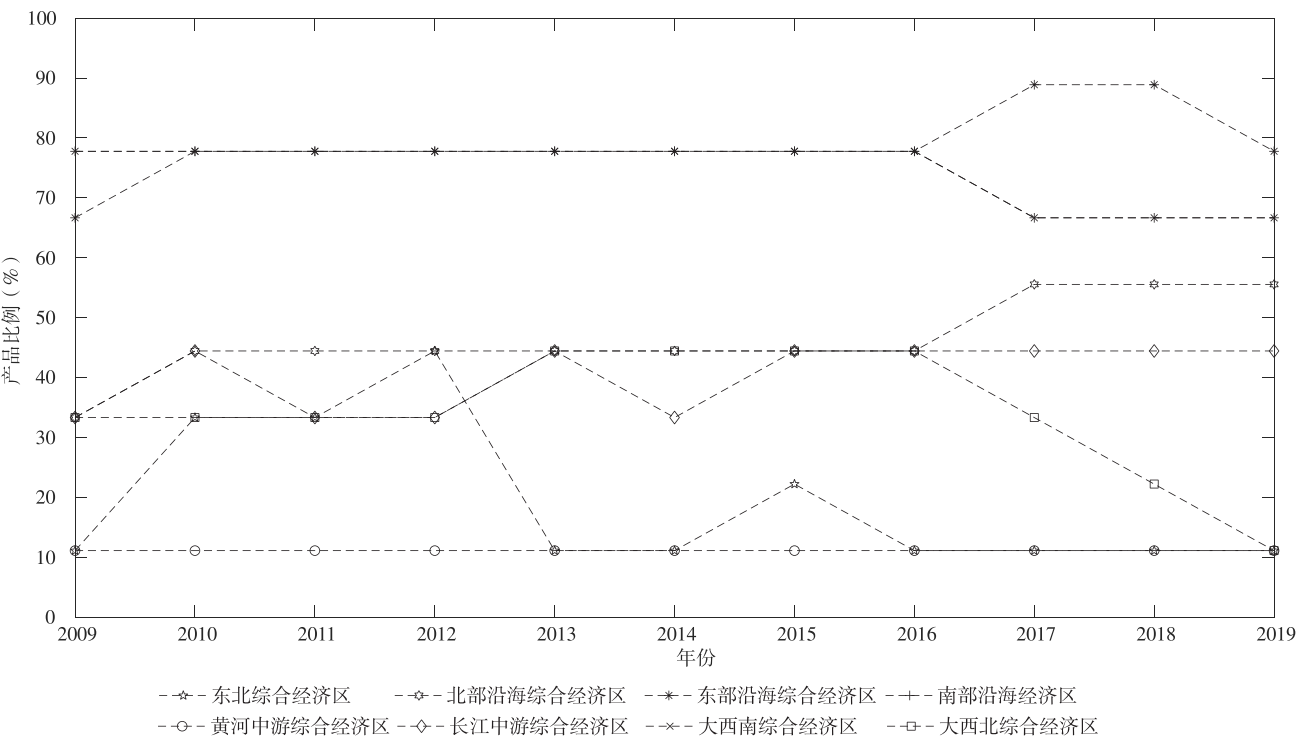


图 1 8 大经济区存在显性比较优势的能源产品比例变化趋势

由各区域产业比较优势演进趋势的对比,分析中国整体能源产业的发展趋势:①4 个区域能源的比较优势呈下降趋势,分析其原因,东北综合经济区囿于“低碳经济”发展目标;南部沿海经济区存在船舶低硫燃料油等政策约束;大西南综合经济区推行“关闭产能”;大西北综合经济区要求煤电行业减缓建设;②三个区域能源的比较优势具有较为明显上升趋势,分析其原因,东部沿海综合经济区一方面将高耗能产业逐步转移向中西部;另一方面能源“双控”政策抑制了能源的超额需求;北部沿海综合经济区由于“京津冀”一体化进程推动了其快速发展,一方面引进了先进技术和外部资源;另一方面传统重工业生产效率得到改善;③黄河中游综合经济区的能源产业比较优势变化较为特殊,近十年并未出现明显波动。总体而言,西部及东北部地区的能源产业存在显性比较优势的产品数量呈下降趋势,而沿海发达地区的能源产业比较优势有提高趋势,中部地区的能源产业比较优势相对稳定。

2. 升级状态分析

根据表 1 的产业升级分类标准,将 8 大综合经济区 2009—2019 年间能源产业升级衡量指标进行时间维度的分解,得出各能源产业升级状态的变化趋势(除基期 2008 年和截止期 2019 年),见表 3~表 10。

表 3 东北综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	整体
煤炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
焦炭	II	IV	IV	III	II	III	I	I	I	I	III
原油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
汽油	I	II	IV	IV	III	I	I	I	I	I	I
煤油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
柴油	II	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	I	I	III
燃料油	IV	III	II	IV	III	I	I	I	I	I	III
天然气	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
电力	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

表4 北部沿海综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
焦炭	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
原油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
汽油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
煤油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
柴油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
燃料油	I	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II
天然气	I	I	I	I	I	I	I	I	II	IV	II
电力	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

表5 东部沿海综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
焦炭	I	I	I	I	I	I	I	I	II	IV	II
原油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
汽油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
煤油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
柴油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	I	III
燃料油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
天然气	III	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II
电力	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

表6 南部沿海综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
焦炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
原油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
汽油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
煤油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
柴油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
燃料油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	III
天然气	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
电力	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

表7 黄河中游综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
焦炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
原油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
汽油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
煤油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
柴油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
燃料油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
天然气	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
电力	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

表8 长江中游综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
焦炭	III	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
原油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
汽油	IV	III	I	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
煤油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
柴油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
燃料油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
天然气	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
电力	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

表9 大西南综合经济区能源产业升级状态分析结果

产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	I	I	I	III
焦炭	III	I	I	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II
原油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
汽油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
煤油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
柴油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
燃料油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
天然气	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
电力	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV

表10 大西北综合经济区能源产业升级状态分析结果

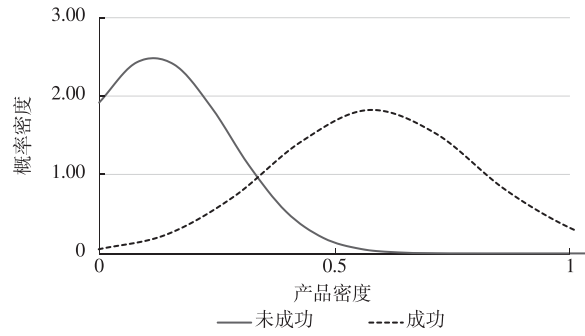
产品	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	整体
煤炭	I	I	I	I	I	II	IV	IV	IV	IV	II
焦炭	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
原油	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	III
汽油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
煤油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
柴油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
燃料油	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
天然气	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
电力	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	III

从表3~表10可知:2009—2018年间,中国能源产业“升级成功II”的区域主要包括4个综合经济区;①北部沿海综合经济区升级成功的能源产业为燃料油和天然气等传统化石能源产业;②东部沿海经济区升级成功的部门为传统能源产业焦炭;③长江中游综合经济区的电力产业处于升级成功的状态;④大西北综合经济区转型升级成功的部门为传统能源产业煤炭。由此得知:一方面,中国传统化石能源产业在可持续转型过程中所表现的产业升级能力相对突出,而电力能源产业的升级相对滞后;另一方面,各区域大多数能源产业升级处于“升级未成功I”的状态,中国能源产业升级已成为目前能源安全领域亟待解决的问题之一。

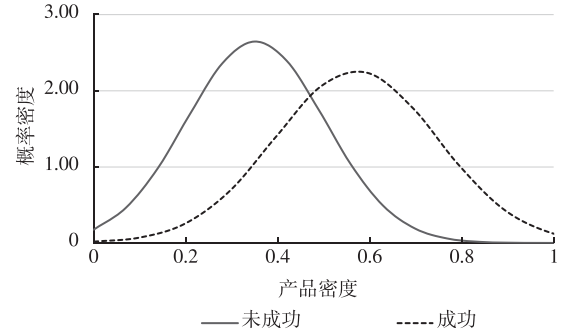
3. 转型效果分析

根据对“能源产业升级MAO”的定义,需先验证中国8大综合经济区的能源产业升级与产业升级MAO之间的关系是否符合理论规律。图2为中国8大综合经济区能源产业“升级成功II”和“升级未成功I”概率密度分布:①各区域能源产业“升级成功”的能源产品,其产业密度值均处于高值位置;②各区域能源产业“升级未成功”的能源产品,其产业密度处于低值位置;③“升级成功”能源产业密度值的均值高于“升级未成功”能源产业密度值的均值。由此检验:中国8大综合经济区的能源产业升级均符合产品空间理论的一般性规律;且在升级过程中体现出不同能源产品的替代性与互补性。

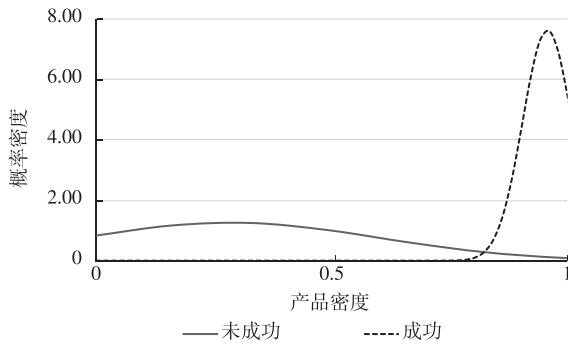
由此,根据8大综合经济区各时段的能源产品密度,计算其各年的概率密度,如图3所示。从时间发展的维度分析:①各区域能源产品密度分布演进趋势曲线随时间的推移而趋于平缓;其中,北部沿海综合经济区、南部沿海经济区、黄河中游综合经济区、长江中游综合经济区及大西北综合经济区等区域的能源产品密度均值平稳增加;②各区域能源产品密度分布随时间发展而呈现略有震荡、右向推移的变化趋势;其中,东北综合经济区、东部沿海综合经济区、南部沿海经济区、长江中游综合经济区及大西北综合经济区等区域聚集性的能源产业富集导致了显性比较优势逐渐凸显,能源产业升级MAO得以增强。值得注意的是:图3(c)中2010—2018年的能源产品密度分布曲线相对集中甚至重合,表明该时间段内东部沿海综合经济区能源产业升级MAO的变化并不显著;图3(d)中2009—2016年的能源产品密度分布曲线完全重合,2017—2019年的密度分布曲线亦然,表明南部沿海经济区的能源产业升级MAO具有较为明显的梯级演进趋势;图3(g)中2011—2015年的能源产品密度分布曲线重合,表明在“十二五”期间大西南综合经济区产业升级MAO相对乏力。由此检验:中国八大综合经济区的能源产业升级均符合产业转型升级理论的一般性规律;且在能源产业升级的过程中体现出一定的有序性和协同性。



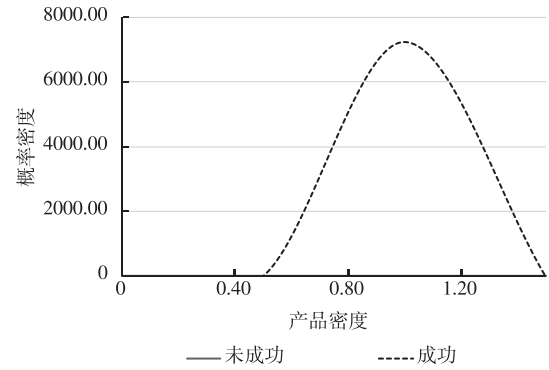
(a) 东北综合经济区



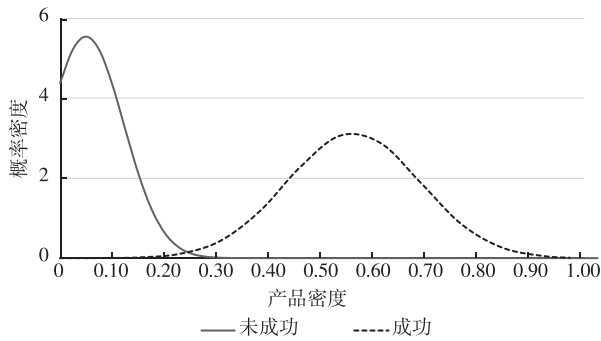
(b) 北部沿海综合经济区



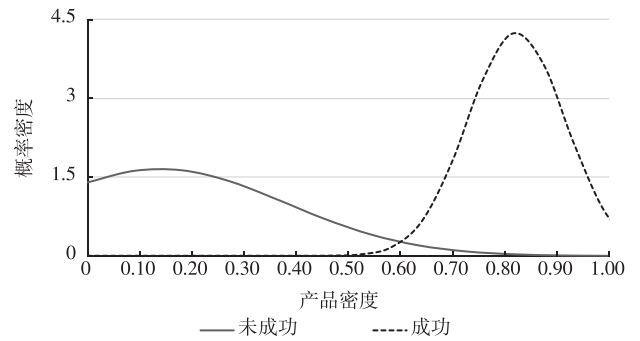
(c) 东部沿海综合经济区



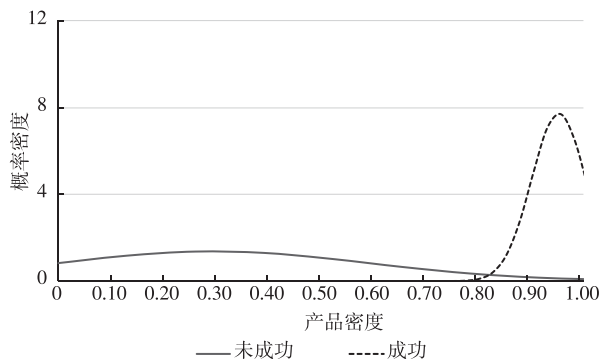
(d) 南部沿海经济区



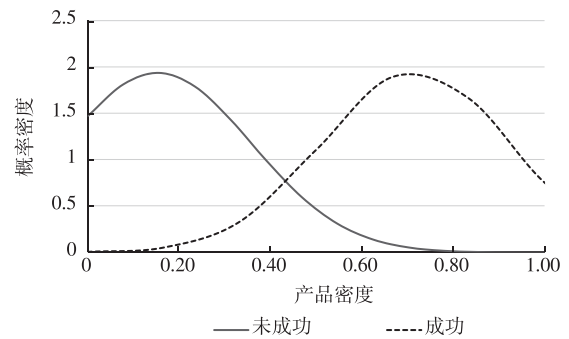
(e) 黄河中游综合经济区



(f) 长江中游综合经济区

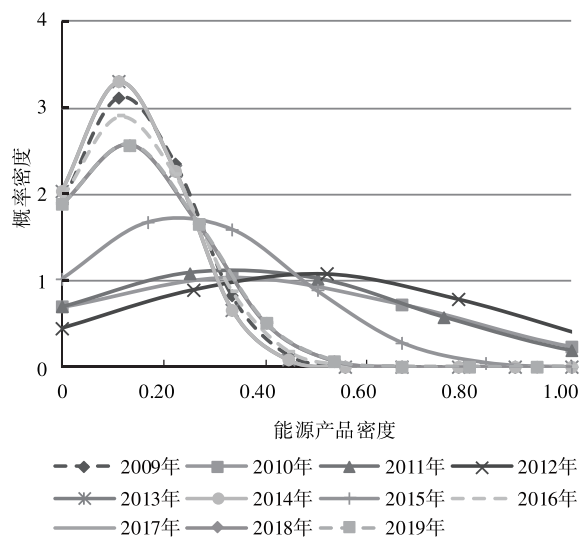


(g) 大西南综合经济区

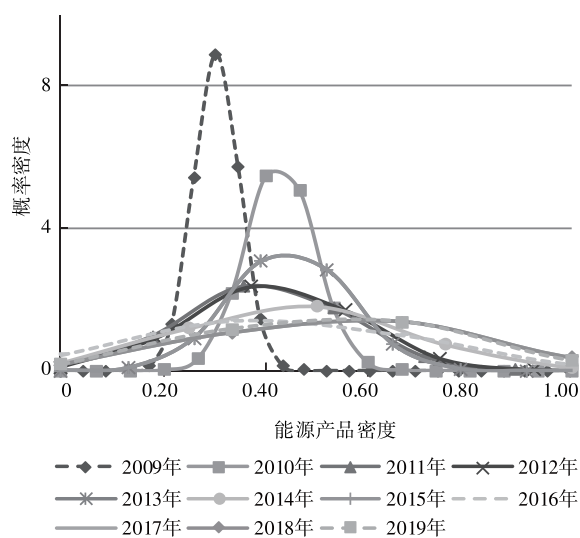


(h) 大西北综合经济区

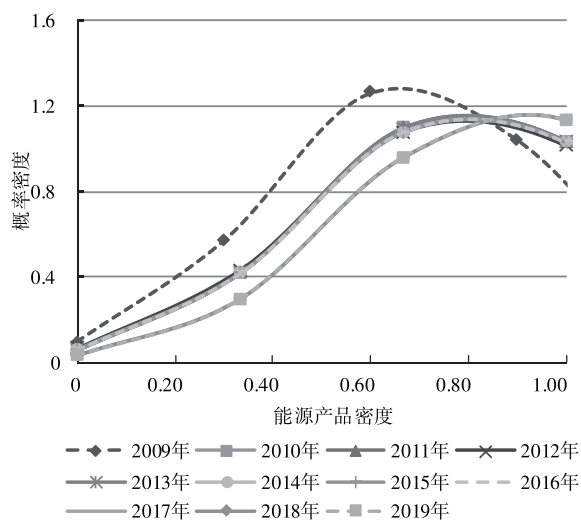
图2 中国8大综合经济区能源产业“升级成功”与“升级未成功”的概率密度分布



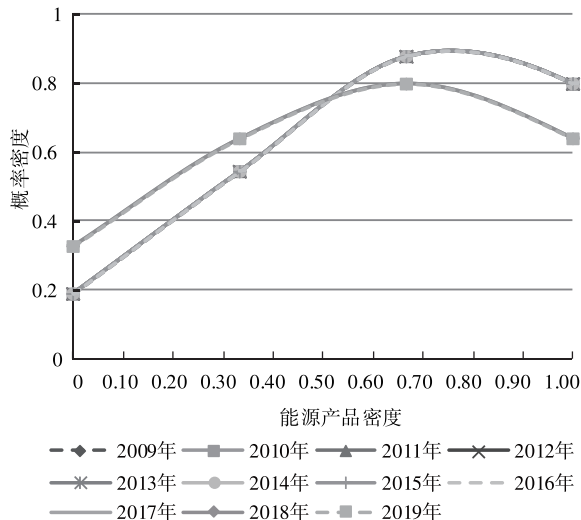
(a) 东北综合经济区



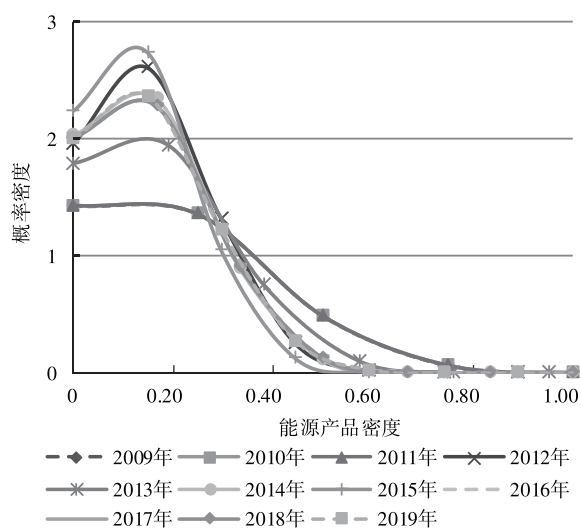
(b) 北部沿海综合经济区



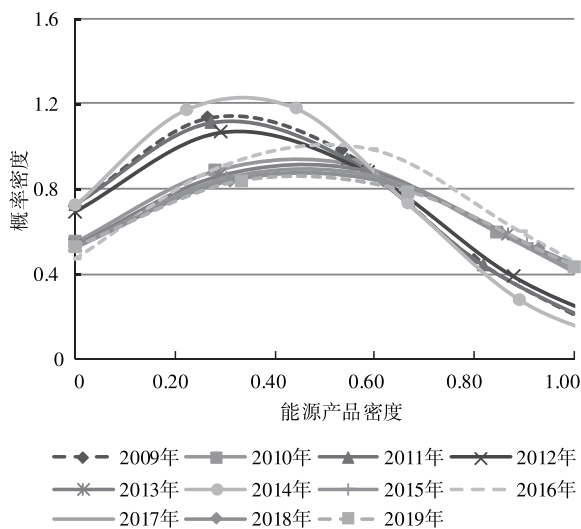
(c) 东部沿海综合经济区



(d) 南部沿海经济区



(e) 黄河中游综合经济区



(f) 长江中游综合经济区

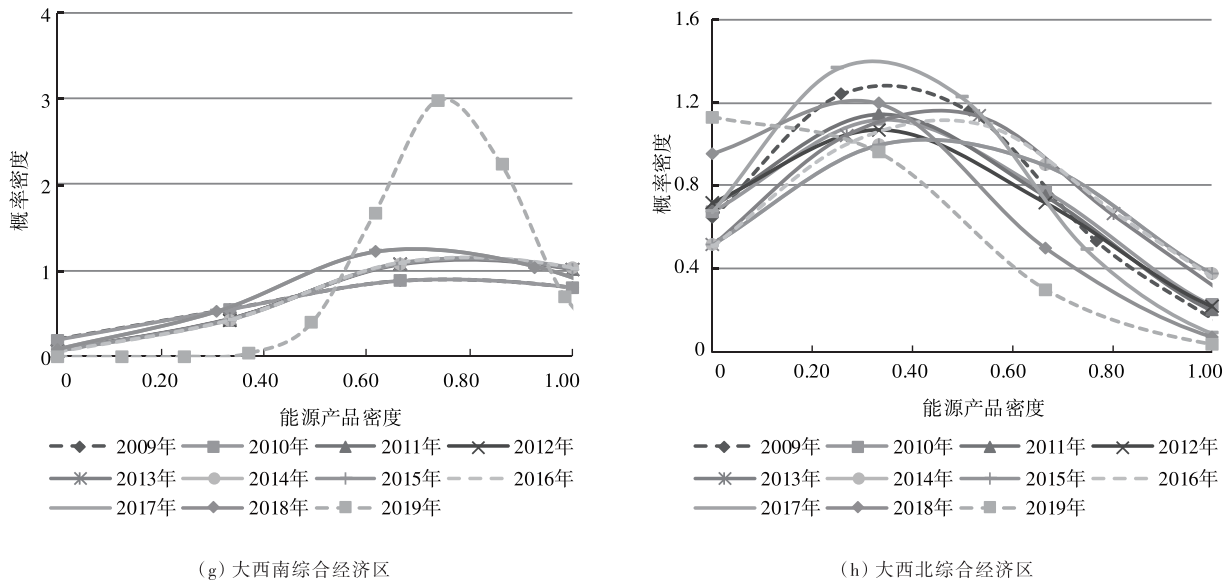
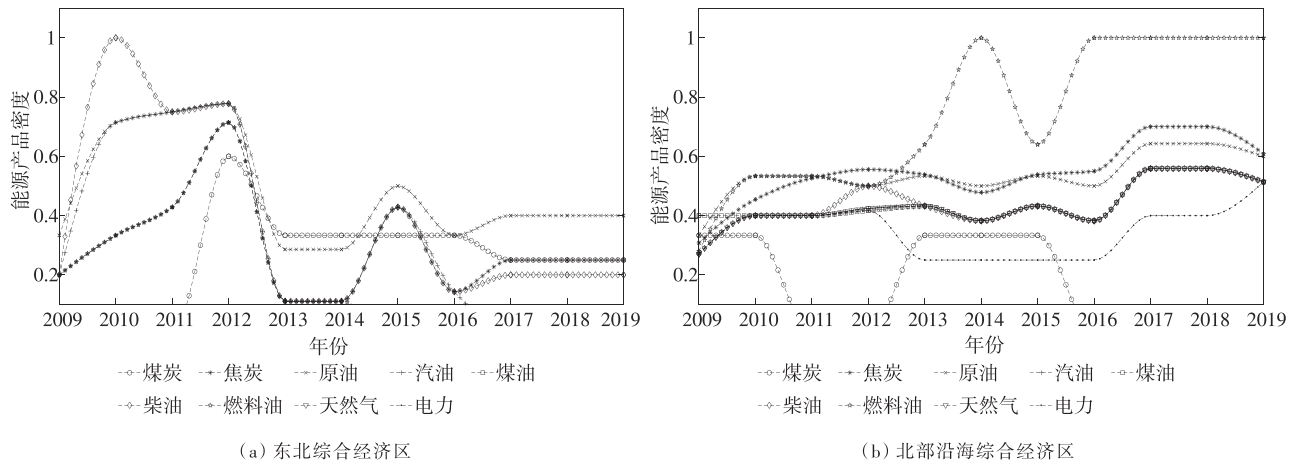


图3 2009—2019年中国8大综合经济区能源产业的概率密度分布

根据 MATLAB 编程计算结果,得到中国 8 大综合经济区主要能源产品密度分布趋势,如图 4 所示。从产业细分的维度,分析各区域存在显性比较优势的能源产业:①东北综合经济区的原油产业具有较为明显的比较优势,虽属于传统化石能源部门,但却成为该区域能源可持续转型的重点领域;②北部沿海综合经济区的焦炭、原油和燃料油等产业的密度值较高,且显性比较优势仍有增强趋势,成为未来该区域能源可持续转型的最大潜力;③东部沿海综合经济区的天然气、原油和电力等三类能源产业的密度值较高,且始终保持显性比较优势,为该区域能源可持续转型提供了区别于其他区域的发展途径;④南部沿海经济区的燃料油逐渐失去显性比较优势,其产业密度值呈逐年下降趋势。因此传统化石能源部门不宜继续作为该区域未来可持续转型的战略部署对象;⑤黄河中游综合经济区的电力和煤炭等产业的显性比较优势突出,虽然在“十二五”期间煤炭产业的升级潜能大幅度下降后趋于稳定,但其仍然高于其他能源产业;⑥长江中游综合经济区的煤炭、汽油、柴油及电力等 4 类的产业密度较高,且从动态发展的角度看,此 4 类能源产业的显性比较优势仍有较为明显上升趋势;⑦大西南综合经济区的煤油、电力和天然气等产业的密度值处于较高的水平,同时三类能源也具有较为突出的显性比较优势;⑧大西北综合经济区煤炭产业密度值较高,且显性比较优势呈上升发展趋势,成为未来该区域实现能源可持续转型的主要部门。由此检验:中国 8 大综合经济区的能源产业升级均符合可持续转型理论的一般性规律;且体现出能源产业升级过程中的结构性动态调整;同时旁证了能源产业对于各区域经济社会发展的支柱性作用。



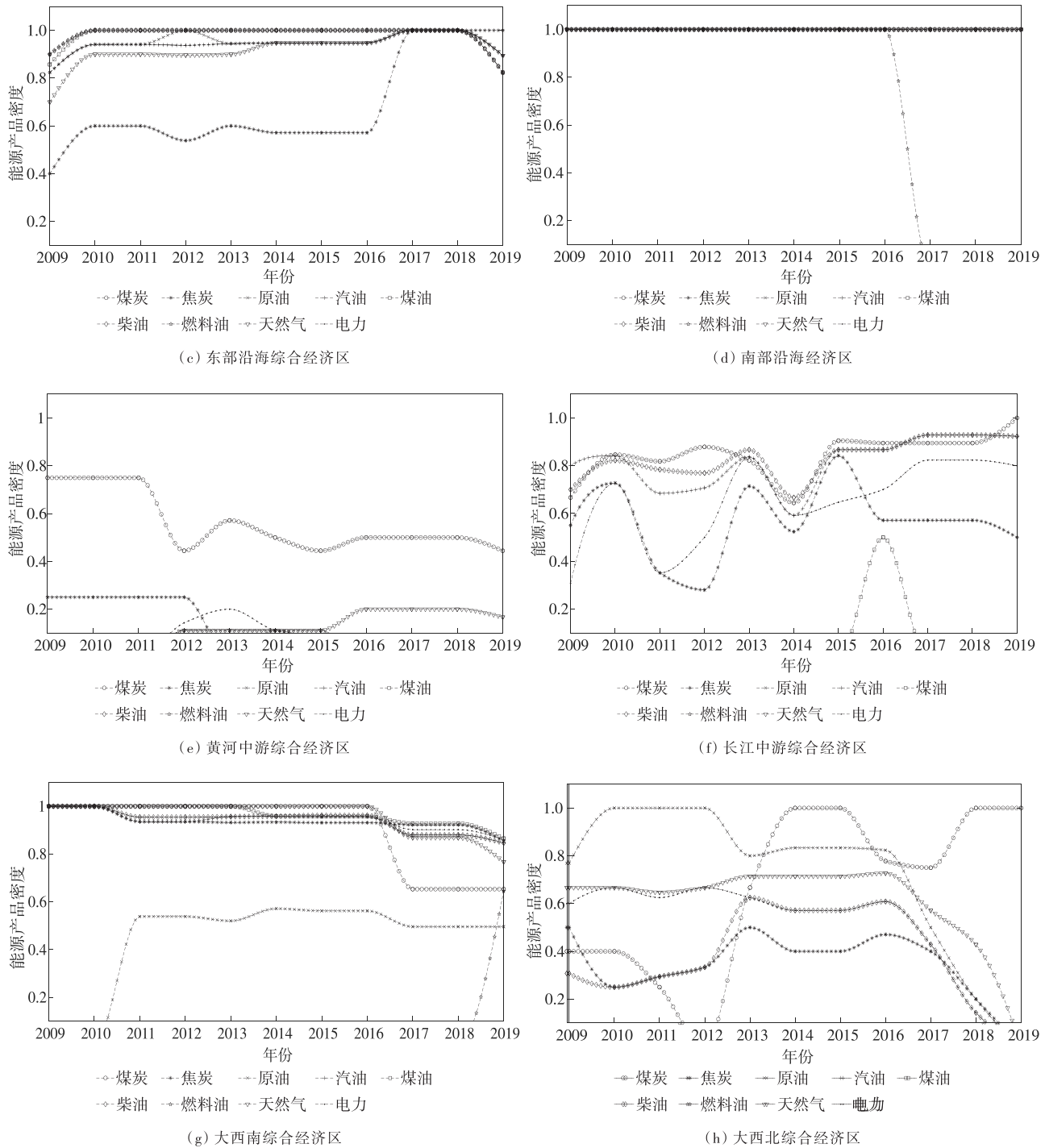


图4 中国八大综合经济区主要能源产品密度的趋势分布图

(三)结果分析

利用软件Stata 16.0对离散选择模型进行检验。由于在进行极大似然估计(maximum likelihood estimate, MLE)时,Probit模型和Logit模型对样本容量有要求。因此需通过最小二乘法(OLS)来确保估计量的有效性、无偏性及模型的稳定性。

1. 显性比较优势对能源产业升级的影响

对式(6)进行拟合估计(表11~表18),回归模型中各区域的 F 检验精确 P 值均小于0.01(置信度达到99.99%以上),此时拒绝原假设;在统计意义上,指标选取和模型构建可体现有效性和一致性。由表11~表18可知:①除南部沿海经济区,其他区域能源产业升级滞后一期系数在1%的显著性水平下为正,说明其他7

大区域能源产业升级的上一期状态对下一期状态存在显著影响；表明各区域能源产业升级状态的变化幅度较小，能源产业仍处于“升级未成功 I”或“保持比较优势 IV”的状态。该结果不仅佐证了张建清和程琴（2020）部分区域未能实现能源发展预期的结论，而且在明确状态之间滞后影响的基础上进一步测算了现实状态；②东部沿海综合经济区、南部沿海经济区、黄河中游综合经济区及大西南综合经济区的禀赋优势经济参数 μ 显著为正，说明该区域能源产业升级 MAO 对能源产业升级具有正向影响，即能源产业升级潜力逐渐增强表现为该区域能源产品密度值逐渐增加，能源产业升级依赖显性比较优势。该结果不仅验证了张颖和张婷（2020）对于“能源产业区域性差异”的结论，而且在其“政策扶持力度”的基础上进一步补充了“产品密度”的市场导向对能源产业转型升级的检验。

表 11 东北综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	1.78125*** (3.19)	3.189257*** (3.19)	0.6174934*** (5.44)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	0.7790366 (0.77)	1.035278 (0.58)	0.0968148 (0.50)
常数项	-1.335031*** (-2.63)	-2.131325** (-2.34)	0.0986606 (1.13)
χ^2 检验	38.74 [0.0000]	38.75 [0.0000]	
F 检验			26.74 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 12 北部沿海综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	2.994482*** (6.01)	5.254936*** (5.19)	0.8620023*** (11.8)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	-0.7381774 (-0.65)	-1.367667 (-0.62)	-0.1411069 (-0.76)
常数项	-0.8744459* (-1.88)	-1.467206* (-1.74)	0.174252** (2.21)
χ^2 检验	83.08 [0.0000]	83.07 [0.0000]	
F 检验			76.7 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 13 东部沿海综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-0.20029 (-0.15)	-1.309303 (-0.47)	0.4285204*** (4.21)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	8.023096** (2.07)	18.1974** (1.97)	0.5456539*** (4.01)
常数项	-5.578979** (-2.39)	-12.1269** (-2.23)	-0.0491112 (-0.84)
χ^2 检验	76.8 [0.0000]	77.62 [0.0000]	
F 检验			109.13 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 14 南部沿海经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-60.87479 (-0.01)	-165.4742 (-0.01)	-7.852953*** (-4.71)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	64.06866 (0.01)	171.3398 (0.01)	8.707424*** (5.19)
常数项	-1.880956*** (-3.33)	-3.588353*** (-2.88)	0.0481156 (1.22)
χ^2 检验	89.02 [0.0000]	89.56 [0.0000]	
F 检验			183.48 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 15 黄河中游综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-0.0484051 (-0.50)	3.465928 (1.48)	0.8053532*** (11.72)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	-0.9942721 (-2.20)	-12.08567 (-3.68)	0.1896692* (1.75)
常数项	28.39342 (2.78)	-138.7288 (-2.21)	0.0000799 (0.00)
χ^2 检验	48.7 [0.0000]	48.96 [0.0000]	
F 检验			317.68 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 16 长江中游综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	1.431559** (2.48)	2.366228** (2.35)	0.5411793*** (3.89)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	1.15674 (1.49)	2.06386 (1.45)	0.2567644 (1.45)
常数项	-1.168028*** (-2.73)	-2.001787** (-2.44)	0.1332542 (1.43)
χ^2 检验	59.78 [0.0000]	59.62 [0.0000]	
F 检验			37.39 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 17 大西南综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-0.7177068 (-0.47)	-1.307574 (-0.48)	0.4636671*** (3.93)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	8.361073** (2.04)	14.90019* (1.95)	0.5598132*** (3.53)
常数项	-6.244777*** (-2.44)	-11.11911** (-2.35)	-0.126216 (-1.46)
χ^2 检验	79.82 [0.0000]	79.61 [0.0000]	
F 检验			90.29 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 18 大西北综合经济区能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	3.020435*** (3.39)	5.168739*** (2.84)	0.8274767*** (6.60)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	-0.6805163 (-0.55)	-1.078565 (-0.43)	-0.0673376 (-0.38)
常数项	-1.606089*** (-3.02)	-2.927293*** (-2.62)	0.0339673 (0.39)
χ^2 检验	69.78 [0.0000]	69.7 [0.0000]	
F 检验			57.26 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

对中国整体能源数据进行拟合回归(表 19)可知:①中国能源产业升级滞后一期系数在 1% 的显著性水平下为正,说明中国整体能源产业升级存在自相关性,能源产业升级存在“累积效应”;②禀赋优势经济参数 μ 在 1% 的显著性水平上为正,说明总体上中国能源产业升级依赖于显性比较优势,且显性比较优势对其给予了必要的支持作用。此处的测算结果,不仅从能源领域的产业升级角度验证了牛志伟和邹昭晞(2020)对于中国制造业崛起态势的预判,而且也检验了比较优势动态转换与能源产业升级的必要性。

表 19 中国能源产品密度影响能源产业升级的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	2.115295*** (9.53)	3.559842*** (8.79)	0.7098604*** (19.61)
$\alpha_{a,e,(t-1)}$	1.334348*** (4.37)	2.652257*** (4.45)	0.2110787*** (4.71)
常数项	-1.835977*** (-10.42)	-3.316209*** (-9.14)	0.0250889 (1.13)
χ^2 检验	709.42 [0.0000]	709.39 [0.0000]	
F 检验			760.86 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

2. 显性比较优势对能源产业升级路径的影响

对式(7)进行拟合估计(表 20~表 27),各区域的回归模型 F 检验精确 P 值均小于 0.01;在统计意义上,指标选取和模型构建可体现有效性和无偏一致性;由于个别区域的样本容量较小,存在多重共线性的问题,导致部分系数的估计值标准误差较大。由表 20~表 27 可知:①从回归估计结果看,中国 8 大综合经济区能源产业升级显性比较优势的自相关程度较高,能源产业升级 MAO 的“累积效应”显著;②从抑制性系数 μ_1 看,南部沿海经济区、黄河中游综合经济区及大西南综合经济区等区域的系数显著且分别为 8.707、0.445 和 0.790,表明该区域能源产业升级 MAO 对能源产品失去比较优势具有较强的抑制作用;③从驱动性系数 μ_2 看,东部沿海综合经济区、长江中游综合经济区及大西南综合经济区的系数显著且均为正,说明该区域能源产业升级路径选择遵循显性比较优势,路径选择属于“渐进式”升级;但其余区域驱动性系数 μ_2 并不显著,说明其余区域产业升级 MAO 并非决定能源产业升级路径选择的主要因素,其能源产品在产业升级过程中偏离了显性比较优势,路径选择应尝试“突进式”升级。

表 20 东北综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	2.894689*** (2.69)	4.819485*** (2.57)	0.824935*** (3.89)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-0.6591115 (-0.43)	-0.939305 (-0.37)	-0.2048346 (-0.63)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	2.118997 (1.43)	3.39409 (1.23)	0.2870845 (1.13)
常数项	-1.831554*** (-2.66)	-3.039843** (-2.30)	0.0374651 (0.37)
χ^2 检验	40.3 [0.0000]	39.92 [0.0000]	
F 检验			20.46 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 21 北部沿海综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	3.346617*** (3.22)	5.842876*** (2.97)	0.9280231*** (5.55)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-1.075102 (-0.75)	-1.882427 (-0.73)	-0.2085815 (-0.87)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-0.2742587 (-0.17)	-0.5041891 (-0.15)	-0.0577001 (-0.22)
常数项	-0.9913427* (-1.76)	-1.667909 (-1.58)	0.1497986 (1.55)
χ^2 检验	83.23 [0.0000]	83.2 [0.0000]	
F 检验			57.09 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 22 东部沿海综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	10.11774 (0.98)	14.26907 (0.71)	0.4699944 (1.08)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	4.918833 (1.00)	13.04694 (1.15)	0.5046086 (1.15)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	19.9457 (1.38)	35.48964 (1.32)	0.5504701*** (1.17)
常数项	-12.4564 (-1.47)	-22.12483 (-1.40)	-0.0501562 (1.17)
χ^2 检验	78.19 [0.0000]	78.36 [0.0000]	
F 检验			81 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 23 南部沿海经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-60.87479 (-0.01)	-165.4742 (-0.01)	-7.852953*** (-4.71)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	64.06866 (0.01)	171.3398 (0.01)	8.707424*** (5.19)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$			
常数项	-1.880956*** (-3.33)	-3.588353*** (-2.88)	0.0481156 (1.22)
χ^2 检验	89.02 [0.0000]	89.56 [0.0000]	
F 检验			183.48 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表 24 黄河中游综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	0.6322706 (0.00)	-15.20424 (-0.00)	0.6430295*** (-0.79)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-3.037839 (-0.01)	40.93494 (0.00)	0.44462*** (2.73)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-8.428037 (-0.00)	-83.69165 (0.00)	-0.0025493 (-0.02)
常数项	-3.856058 (-1.75)	-7.767157 (-1.65)	0.010587 (0.38)
χ^2 检验	49.34 [0.0000]	49.21 [0.0000]	
F 检验			247.64 [0.0000]

注：小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值；方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值；***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表25 长江中游综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	6.392329** (2.30)	12.27954** (2.13)	1.526632*** (3.23)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	-4.622256 (-1.43)	-9.435283 (-1.43)	-0.9199595 (-1.62)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	1.653362** (2.02)	2.946096** (1.96)	0.3738139** (2.05)
常数项	-1.26695*** (-2.86)	-2.183569** (-2.51)	0.1165852 (1.27)
χ^2 检验	64.1 [0.0000]	64.1 [0.0000]	
F 检验			30.3 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表26 大西南综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	-2.204814 (-0.38)	-3.510455 (-0.32)	0.2387434 (0.50)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	9.106975* (1.82)	16.20165 (1.64)	0.7897969 (1.59)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	6.971522-1.08	13.16873-1.24	0.538075***-3.23
常数项	-5.459877 (-1.45)	-10.11077 (-1.59)	-0.1189698 (-1.35)
χ^2 检验	79.89 [0.0000]	79.65 [0.0000]	
F 检验			67.36 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

表27 大西北综合经济区显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	0.5183509 (0.33)	0.0015593 (0.00)	0.3759202 (1.28)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	2.462842 (1.16)	5.452528 (1.28)	0.5084911 (1.33)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$			-0.1599097 (-0.88)
常数项	-1.858527*** (-3.24)	-3.483969*** (-2.95)	-0.006317 (-0.07)
χ^2 检验	48.27 [0.0000]	48.61 [0.0000]	
F 检验			44.51 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

2009—2019年间全局层面,从中国整体的能源产业显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果(表28)分析:①中国能源产业升级的显性比较优势具有时空连续性和自相关性,能源产业升级 MAO 与“失去比较优势 III”或“保持比较优势 IV”等状态之间存在内生性关系;②驱动性系数 μ_2 大于抑制性系数 μ_1 ,说明中国能源产业升级 MAO 促进产业升级的引导潜能大于 MAO 抑制产业失势的支撑潜能。此时,不仅要重视培育新需求、创造新机制(常俸瑞和曾子豪,2018),更应正确权衡“引导”和“支撑”的关系,惟其如此才能科学表现“供给侧结构性改革”的一般性规律;为持续发挥能源产业升级的显性比较优势,中国能源产业应基于实际(区域内的能源“产品”情况),平稳有序地选择“渐进式”升级路径。

表28 中国能源显性比较优势对能源产业升级路径选择影响的模型估计结果

解释变量	Probit	Logit	OLS
$sta_{a,e,(t-1)}$	2.323542*** (5.68)	4.097757*** (5.20)	0.7439746*** (11.97)
$sta_{a,e,(t-1)} \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	1.121232** (2.41)	2.11565** (2.37)	0.1757289** (2.55)
$[1 - sta_{a,e,(t-1)}] \times \alpha_{a,e,(t-1)}$	1.499164*** (3.65)	3.106929*** (3.79)	0.2373332*** (3.98)
常数项	-1.883858*** (-9.68)	-3.482235*** (-8.19)	0.0192188 (0.80)
χ^2 检验	709.78 [0.0000]	710.04 [0.0000]	
F 检验			570.34 [0.0000]

注:小括号内的数值分别表示 Probit 和 Logit 系数的 z 值和 OLS 系数的 t 值;方括号内的数值为 F 检验统计量的 P 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。

四、结论及政策含义

根据实证分析结果,总结观点如下。

(1)制度层面,转型期内中国能源产业虽然体现了一定的显性比较优势,但仍存在较为根深蒂固的产业发展“惰性”,应选择“渐进式”升级路径。一方面,个别区域“累积性因素”对能源产业升级的影响效果比“禀赋性因素”的影响效果明显,使得能源产业发展过程中表现出对于自身条件的先天依赖性;但随着东部沿海综合经济区、南部沿海经济区、黄河中游综合经济区及大西南综合经济区等区域的能源产品密度值逐渐增加、能源产业升级潜力逐渐增强,产业升级依赖性也出现了由“累积性因素”向“禀赋性因素”转移的趋势,能源产业升级依赖显性比较优势的情况日趋明显;另一方面,中国能源产业升级的显性比较优势具有时空连续性和自相关性,能源产业升级路径选择与产业“失去比较优势”或“保持比较优势”的状态存在着明显的内生性关系;且由于“驱动产业升级的引导潜能”强于“抑制产业失势的支撑潜能”,此时,中国能源产业升级的路径选择仍遵循显性比较优势的一般性规律,因势利导地选择“渐进式”升级路径。

(2)组织层面,转型期内中国各区域能源产业仍普遍处于“升级未成功”或“保持比较优势”的状态。南部沿海经济区、黄河中游综合经济区及大西南综合经济区等三个区域的能源产业更不易失去比较优势;除东部沿海综合经济区、长江中游综合经济区及大西南综合经济区等区域外,其余区域能源产业升级过程均已偏离了显性比较优势。可持续转型的过程中,中国8大综合经济区能源产业升级显性比较优势的自相关性较高,同时能源产业升级动机、能力和机会的“累积效应”显著,从而限制了能源产业发展的盲目性;与此同时,中国8大综合经济区能源均有“升级成功”的领跑者,对其他“升级未成功”或“保持比较优势”能源产业具有一定的刺激性提振效果,从而巩固了能源产业发展的合理性。相较于“升级成功”和“失去比较优势”的极端状态情况,虽然各区域能源产业升级处于“升级未成功”或“保持比较优势”的上一期状态对下一期状态存在显著影响,但下一期状态的变化幅度仍不明显,导致大部分区域的能源产业将长期处于此两类状态之中。

(3)产品层面,转型期内中国能源产业的能源替代-互补关系存在明显的区域差异,且化石能源产业未能达到发展预期。因此其仍需继续推进转型升级。在“30·60”目标的约束下,化石能源的“发展潜力”小于可再生能源,但“升级潜力”大于可再生能源,证明化石能源产业的“进步”空间较大、“升级”愿望更迫切。总体而言,北方地区的能源替代-互补关系相对单一,而中部和南方地区的能源替代-互补关系具有较大的空间;西部及东北部地区的能源产业存在显性比较优势的产品数量呈下降趋势,而东南沿海发达地区的能源产业存在显性比较优势的产品数量有提高趋势,中部地区则相对稳定。具体而言,东北综合经济区的传统化石能源产业已处于“升级成功”的状态,能源产品的比较优势明显;北部沿海综合经济区、东部沿海综合经济区及大西北综合经济区等区域能源可持续转型的重点为提高传统化石能源的利用效率;南部沿海经济区不宜推广传统化石能源产业集群,适合推广替代性能源产品;黄河中游综合经济区及大西南综合经济区等区域能源可持续转型具有较为明显的“多能互补”潜力;而长江中游综合经济区能源可持续转型电力产业显性比较优势可助力“电能替代”的有序推进。

根据结论,总结政策建议:“产品”是能源部门推进产业升级的决定性要素;8大经济区存在显性比较优势的能源产品比例具有显著的差异性,尤其是在“十三五”期间又出现了比例分化的现象;且各区域能源产业升级状态并不同步,“不平衡不充分”的现象明显存在于各区域的转型效果之中。因此,为保证升级的有效性,中国能源产业应充分权衡产业的比较优势及主体的动机、能力和机会;既应做到全国宏观层面的“统筹兼顾”,也应做到区域中观层面的“因势利导”。一方面,转型期内,能源产品密度的调节必须以市场为导向、升级路径的选择必须以协调化石能源与非化石能源的关系为原则、产业结构的优化必须以国家能源安全为目的;另一方面,必须考虑各区域资源禀赋的显性比较优势和现有体量的存量累积,遵循“供给侧结构性改革”的一般规律,做好“渐进式”能源产业发展的统筹规划,尤其是在产业驱动性较为明显的东部沿海综合经济区、长江中游综合经济区及大西南综合经济区等;但在各区域落实的过程中,还应考虑“突进式”的升级情况,避免由“一刀切”而带来的治理成本损失。

参考文献

- [1] 常俸瑞,曾子豪,2018.供给侧改革下能源产业结构转型路径研究[J].煤炭经济研究,2018(12):12-16.
- [2] 邓向荣,曹红,2016.产业升级路径选择遵循抑或偏离比较优势——基于产品空间结构的实证分析[J].中国工业经济,2016(2):52-67.

- [3] 丁莹莹, 李铮, 2019. 产业转型升级与劳动力就业的关系研究——基于系统动力学建模与仿真[J]. 技术经济与管理研究, 2019(8): 13-20.
- [4] 贺玲, 崔琦, 陈浩, 等, 2019. 基于CGE模型的中国煤炭产能政策优化[J]. 资源科学, 41(6): 1024-1034.
- [5] 金磊, 2019. 《中国现代能源监管体系与监管政策研究》评介[J]. 中国工业经济, 2019(1): 194-194.
- [6] 刘建, 方荷琴, 2019. 双边政治关系与我国石油进口安全——基于PPML模型的经验分析[J]. 当代财经, 2019(12): 108-118.
- [7] 刘平阔, 彭欢, 骆赛, 2019. 中国能源转型驱动力的结构性特征研究[J]. 中国人口·资源与环境, 29(12): 45-56.
- [8] 刘平阔, 王绵斌, 陈斌, 2018. 中国发电产业发展有序性基于省际布局和产业组织的实证研究[J]. 系统工程理论与实践, 38(6): 1445-1464.
- [9] 刘平阔, 王志伟, 2019. 中国能源转型是否合理——能源替代-互补关系的实证研究[J]. 中国软科学, 2019(8): 14-30.
- [10] 刘守英, 杨继东, 2019. 中国产业升级的演进与政策选择——基于产品空间的视角[J]. 管理世界, 35(6): 81-94.
- [11] 刘晓静, 李春艳, 陈艺毛, 等, 2017. 东北地区产业升级路径依赖研究——基于比较优势演化视角[J]. 经济问题, 2017(11): 11-19.
- [12] 牛志伟, 邹昭晞, 2020. 比较优势动态转换与产业升级——基于中国制造业发展指标的国际比较[J]. 改革, 312(2): 71-88.
- [13] 钱颜文, 顾元勋, 2019. 产业升级元区域模型及演进路径研究——基于时空经济视角[J]. 宏观经济研究, 2019(11): 74-81.
- [14] 史丹, 王蕾, 2015. 能源革命及其对经济发展的作用[J]. 产业经济研究, 2015(1): 1-8.
- [15] 宋辉, 黄波, 袁征, 2019. 基于LMDI的中国行业节能机制研究[J]. 软科学, 33(7): 106-110.
- [16] 魏龙, 王磊, 2017. 全球价值链体系下中国制造业转型升级分析[J]. 数量经济技术经济研究, 34(6): 71-86.
- [17] 俞萍萍, 2018. 绿色证书交易机制下可再生能源发电定价研究——期权博弈模型及数值模拟[J]. 价格理论与实践, 2018(11): 38-41.
- [18] 袁航, 朱承亮, 2019. 创新属性、制度质量与中国产业结构转型升级[J]. 科学学研究, 37(10): 1881-1891.
- [19] 张建清, 程琴, 2020. 长江经济带产业结构升级对能源效率的影响研究——基于2001—2017年数据[J]. 工业技术经济, 2020(1): 129-135.
- [20] 张文彬, 胡健, 马艺鸣, 2019. 能源化工产业高级化与经济增长——兼论能源化工产业最优匹配[J]. 统计研究, 36(4): 17-28.
- [21] 张颖, 张婷, 2020. 创新产出影响因素的区域差异性比较研究——来自新能源产业的经验数据[J]. 工业技术经济, 2020(7): 144-151.
- [22] 郑新业, 吴悠, 2018. 促进能源体系绿色发展的价格机制创新[J]. 价格理论与实践, 2018(4): 12-16.
- [23] EDOMAH N, 2019. Governing sustainable industrial energy use energy transitions in Nigeria's manufacturing sector[J]. Journal of Cleaner Production, 210(10): 620-629.
- [24] ELANGO B, KARTHIK D, 2020. Does institutional industry context matter to performance an extension of the institution-based view[J]. Journal of Business Research, 115: 139-148.
- [25] FISCHER-KOWALSKI M, ROVENSKAYA R, KRAUSMANN F, et al, 2019. Energy transitions and social revolutions[J]. Technological Forecasting and Social Change, 138: 69-77.
- [26] FRENCH S, 2017. Revealed comparative advantage what is it good for[J]. Journal of International Economics, 106: 83-103.
- [27] HAAKONSSON S J, SLEPNIOV D, 2018. Technology transmission across national innovation systems the role of Danish suppliers in upgrading the wind energy industry in China[J]. The European Journal of Development Research, 30(3): 462-480.
- [28] HABIB M A, HASANUZZAMAN M, HASANUZZAMAN M, et al, 2016. Energy consumption, energy saving and emission reduction of a garment industrial building in Bangladesh[J]. Energy, 112(1): 91-100.
- [29] HAUSMANN R, KLINGER B, 2007. The structure of the product space and the evolution of comparative advantage[R]. CID Working Paper, Boston: Center for International Development and Kennedy School of Government, Harvard University, 146.
- [30] KIYOTA K, 2014. Industrial upgrading in a multiple-cone heckscher-ohlin model the flying geese patterns of industrial development[J]. Review of Development Economics, 18(1): 177-193.
- [31] KRISHMAN V V G, GOPAL S, LIU R, et al, 2019. Resilient cyber infrastructure for the minimum wind curtailment remedial control scheme[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 55(1): 943-953.
- [32] LIU X J, JI Y L, GUAN B F, et al, 2018. Analysis of energy industry upgrading in northeast China[J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Ence, 113(1): 012121.
- [33] MILLER C A, ILES A, JONES C F, 2013. The social dimensions of energy transitions introduction to the special issue[J]. Science and Culture, 22: 135-148.

- [34] MOALLEMI E A, MALEKPOUR S, 2018. A participatory exploratory modelling approach for long-term planning in energy transitions[J]. *Energy Research & Social Science*, 35: 205-216.
- [35] MOHSEN K, ENG T Y, 2016. The antecedents of cross-functional coordination and their implications for marketing adaptiveness[J]. *Journal of Business Research*, 69(12): 5946-5955.
- [36] MUHAMMAD N, MAJID A R, MUHAMMAD I M, 2018. Labor-Capital substitution in the manufacturing industries in punjab a pathway to inclusive growth[J]. *The Pakistan Journal of Social Issues*, 6: 1-9.
- [37] SAFARI A, DAS N, LANGHELLE O, et al, 2019. Natural gas a transition fuel for sustainable energy system transformation [J]. *Energy Science and Engineering*, 7(4): 1075-1094.
- [38] SAMIRA T, 2019. Technological innovation to achieve sustainable development-renewable energy technologies diffusion in developing countries[J]. *Sustainable Development*, 27(3): 537-544.
- [39] SHORENA K, 2020. Influence of multinational enterprises on local industry upgrading in Georgia[J]. *Anduli*, 19: 81-98.
- [40] WIESE F, BALDINI M, 2018. Conceptual model of the industry sector in an energy system model a case study for Denmark [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 203: 427-443.
- [41] YILDIZ H E, MURTIC A, ZANDER U, et al, 2019. What fosters individual-level absorptive capacity in MNCs an extended motivation-ability-opportunity framework[J]. *Management International Review*, 59(1): 93-129.
- [42] ZHANG Y, 2018. Modeling of the stimulating effect of marine circulation industry on the economic development of coastal area of China[J]. *Journal of Coastal Research*, 83(1): 35-40.
- [43] ZHENG H H, WANG Z X, 2019. Measurement and comparison of export sophistication of the new energy industry in 30 countries during 2000-2015[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108: 140-158.
- [44] ZHOU X Y, LEI K, MENG W, et al, 2017. Industrial structural upgrading and spatial optimization based on water environment carrying capacity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 165: 1462-1472.

How to Upgrade China's Energy Industry in the Period of Transition? Empirical Study Based on Panel Data

Liu Pingkuo, Lu Cunyu, He Zhaohui

(College of Economics and Management, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: From the objective of “strive to reach the peak of carbon dioxide emissions by 2030, and strive to achieve carbon neutrality by 2060”, the upgrading of energy industry is the institutional appeal not only, but also the behavioral necessity. Thus, three concepts of the Comparative Advantage of Energy Industry, the Evolution of Energy Industry Advantage, as well as the motivation-ability-opportunity(MAO) of energy industrial upgrading are defined, and an econometric model from both the regional and the national level by selecting relevant statistical data from 2009—2019 is built. The empirical research is aimed at analyzing the “main influencing factors of industrial upgrading” and the “major influencing factors of pathway selection for industrial upgrading” during the transition period. The results show as follows. At the institutional level, although China's energy industry has comparative advantages, there is still “inertia” in its development, making a progressive upgrading pathway accessible. At the organizational level, the regional energy industry as a whole is still in a non-ideal state of “unsuccessful upgrading” or “maintaining comparative advantage”. At the product level, there are obvious regional differences in the energy substitution-complementary relationship, and the fossil energy industry has failed to meet the development expectations hence it still needs to continue to promote the transformation and upgrading.

Keywords: upgrading of energy industry; revealed comparative advantage; panel data; pathway selection; influencing factors analysis