

多层次视角下能源低碳转型因素组态研究

——基于我国30个省域的模糊集定性比较分析

李 慧,涂家豪

(西北工业大学人文与经法学院,西安710072)

摘 要:推动能源低碳转型是缓解我国资源环境压力,支持经济社会可持续、高质量发展的关键。论文基于社会-技术转型理论,从集合思想和组态思维角度,将社会-技术转型多层次视角的分析框架与模糊集定性比较分析(fsQCA)方法相结合,基于我国能源系统发展实际,研究提炼出包括景观层、体制层和利基层3个层级的7个前因条件。进而,以能源低碳转型为结果要素,以我国30个省域为案例对象,采用fsQCA方法,进行实证分析,归纳提炼出了影响我国能源低碳转型的多元化因素组态,并基于南北区域差异,构建了多种能源低碳转型模式,提出了相应的对策建议。

关键词:多层次视角;能源低碳转型;因素组态;模糊集定性比较分析

中图分类号:F426; F407.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)8—0152—09

能源是人类社会生存发展的重要物质基础,面对当前全球范围严峻的资源环境问题,必须处理好经济社会发展、环境保护与能源安全之间的关系。多国能源治理的实践表明,推动能源系统低碳转型是有效、可行的路径^[1]。作为能源生产和消费第一大国,我国近年来多元发力、多措并举,着力推进能源生产和消费革命,努力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。然而,在资源环境的双重约束下,能源转型不仅仅是技术层面的问题,必然涉及政治冲突、产业抵制、社会认同等非技术问题,需要基础设施配套、私人部门支持、用户知识调整等的协同跟进^[2]。多层次视角(multi-level perspective, MLP)面向环境与社会可持续发展,以整个社会-技术系统为对象,以社会功能实现为目标,重视非技术因素的重要作用,强调社会、技术、文化、政治、经济等多重发展在宏观景观(landscape)、中观体制(regime)和微观利基(niche)3个层级上的相互作用、协同演进,从而推动系统变革和创新,成为当前研究的主流分析框架^[3-5]。基于MLP的治理模式和政策设计在许多国家和地区获得了广泛成功应用^[6]。

能源系统作为典型的社会-技术系统,其创新发展是多重因素在上述3个层级相互作用、协同演进的过程。而且,不同国家之间,同一国家不同区域之间,由于能源资源禀赋、经济发展水平、产业结构、气候条件等方面存在较大差异,因此,不同区域的能源低碳转型可能面临着不同的因素组合,且作用关系复杂。这种情况下,基于还原论的传统分析方法难以解释这种多重并发且非对称性的复杂因果关系。定性比较分析方法(qualitative comparative analysis, QCA)从整体论视角,基于集合思想和组态思维,能够更好地解释要素之间的相互依赖性和因果关系的复杂性、非对称性问题,尤其是在此基础上发展起来的模糊集定性比较分析方法(fuzzy-set qualitative comparative analysis, fsQCA)进一步拓展了定性比较分析的应用范围及适用性。

综上,本文基于社会-技术转型多层次视角,运用模糊集定性比较分析方法,充分考虑我国区域间差异,研究探讨影响不同区域能源低碳转型的因素,系统分析各因素之间的交互作用,从而深入把握不同的因素组态对能源低碳转型的作用机理及基于区域差异的能源低碳转型的多元路径。

一、能源低碳转型的多层级分析框架

多层次分析框架构建了社会-技术转型多层次互动演化的理论模型,认为创新的关键不只是技术问题,而是多重因素在宏观景观、中观体制和微观利基3个层级相互作用、协同演进,从而打破和改变社会-技术系统固有的、稳定的演化路径和方向,形成新的演化路径和方向^[2,7]。能源系统作为典型的社会-技术系统包括以下3个层级。

收稿日期:2020—03—02

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金“社会-技术转型多层次视角下我国能源系统可持续转型路径及对策研究”(19YJAZH042);陕西省社科界重大理论与现实问题研究项目“社会-技术转型多层次视角下陕西新能源产业发展路径研究”(2019C156)

作者简介:李慧(1978—),女,河南永城人,博士,西北工业大学人文与经法学院副教授,研究方向:产业创新战略与政策;涂家豪(1996—),男,安徽无为,西北工业大学人文与经法学院硕士研究生,研究方向:产业创新战略与政策。

(一)体制层(regime)

体制层在3个层级中处于最核心的位置,保持着相对的稳定性和自身的演化路径^[7-8],在社会-技术系统平稳运行过程中发挥支撑性作用^[9]。体制层不仅仅是物质要素与技术要素构成的系统,也包括正式和非正式规则构成的制度体系,以及受这些规则调节的社会群体与网络^[10]。参照Verbong和Geels^[8]对体制层的分类,可以将能源系统的体制层划分为3个维度:①行为主体维度,主要包括能源系统产业部门、能源生产企业、监管机构、终端消费群体(能源消费企业、家庭用户)等;②制度规范维度,如法律、法规、规制、专业惯例、价值观念、行为准则等;③要素维度,包括生产要素、产品要素、知识和技术要素、流通网络、市场、基础设施等。其中,行为主体在制度规范的约束下,调动各种社会资源,创造出最能获得直观感受的诸多要素。

(二)景观层(landscape)

景观层是推动系统转型的外部环境和背景^[11],是影响体制层与利基层运行的外部宏观条件。基于Driel和Schot^[12]的研究,按照景观层因素变化的强度和速度,可以划分为缓慢性外部影响(如气候变化、资源禀赋等),长期性外部变化(如人口密度、宏观经济走势、社会意识形态、文化价值观念等),突发性外部冲击(如战争、重大事故等)。景观层因素独立性强、变化缓慢,一旦发生变化将会扰乱体制层内部要素的联动性,对现有体制层形成巨大压力,从而削弱体制层的稳定性,同时为创新利基的产生、发展和扩散创造“机会窗口”。“富煤缺油少气”的能源资源禀赋使得我国当前能源消费结构仍然是煤炭为主导。截至2018年底,煤炭消费占我国能源消费的比重为59%,较上一年度下降1.4个百分点,处于下行通道,但仍远高于全球平均水平。我国当前的能源生产和消费结构所引发的严峻的资源与环境问题,对现有能源系统形成巨大压力,倒逼着能源系统低碳转型。

(三)利基层(niche)

突破性创新(radical innovation)虽然有可能带来经济社会的巨大变化,但在发展初期,很可能被屏蔽在主流市场之外,很难与现有的相对成熟的技术和产品进行竞争。因此,为了鼓励创新,需要建立一个适合突破性创新发展的小环境,即人为地为突破性创新提供暂时的保护性空间,从而使技术创新能够暂时避开竞争,生存并发展起来。这种保护性空间即创新利基,创新利基孕育了具有未来社会-技术系统特征的技术和产品^[13]。创新利基的存在对现有体制层形成了威胁,因此往往会引发体制层的抵制,导致创新利基的发展和扩散面临巨大阻力。经过多年发展,我国能源系统内部的创新利基已经逐渐培养出一批成熟的突破性创新成果,如煤化工、光伏发电和储能节能技术、新能源汽车、智慧能源、新发展理念等。随着突破性创新不断涌现,创新利基将逐步丰富和完善并进入体制层,从而对旧的社会-技术体制形成替代,最终推动能源低碳转型。

二、能源低碳转型因素组态的模糊集定性比较分析

(一)研究方法

定性比较分析基于集合思想和组态思维,是一种案例导向型的研究方法^[14]。该方法致力于解决“多重复杂并发因果”诱致的复杂社会议题,关注多个原因条件与特定结果之间的复杂因果关系,旨在找到导致特定结果的多种条件组合。这种思路下,产生同一结果的方案(路径)是多样和等效的,不存在唯一的最佳战略。定性比较分析方法适用于解决如下类型的问题:①引致同一结果的多种路径问题,如前因组合 $A \times B \times C$ 和 $D \times E \times F$ 都可以导致结果 X 出现($A \times B \times C + D \times E \times F = X$)^[15];②因果非对称性问题,如前因组合中包括单一因素 A ,当 A 的存在导致了结果 X 出现,这时并不能认为失去因素 A 就会导致结果 X 消失^[15-16];③多重并发因果关系问题;④多个前因条件影响特定被解释结果的作用机制问题^[17]。

相比于传统量化研究方法和质性研究方法,QCA具有如下优势:①对样本数量和数据来源要求相对较低;②能够应对前因条件的复杂性和因果的非对称性;③无须对跨层变量进行特殊处理,特别适用于涉及多层变量问题的研究^[18-19]。

随着QCA研究的逐步深入,形成了清晰集定性比较分析(csQCA)、多值集定性比较分析(mvQCA)、模糊集定性比较分析(fsQCA)等多种具体的分析方法。其中,fsQCA引入模糊集概念,通过整合模糊集与真值表,使得研究中对案例条件和结果的分类不再局限于简单的二元划分,极大地拓展了定性比较分析的应用范围及其适用性,能够更为精确地界定研究案例在各集合中的属性。

能源系统作为复杂的社会-技术系统,影响能源低碳转型的因素复杂多样,且具有跨层次、多重并发等特征。同时,我国幅员辽阔,不同区域在气候、人口、能源资源禀赋、经济发展水平等方面存在较大差异。因此,

相较于传统的统计分析方法和质性研究方法,fsQCA具有更好的适用性^[20]。

(二)数据选取

本研究针对中国大陆地区31个省级行政区域展开研究,由于西藏自治区数据缺失,故将西藏剔除,以其余30个省域为研究案例,案例数量为30个。另外,由于各省域推动能源低碳转型的起始时间不同,为了统一研究的时间跨度,将《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》的开始时间(2016年)作为案例研究的起始时间。同时,以全国及各省域的年鉴数据作为研究数据的主要来源渠道,但截至目前绝大多数省域的数据只更新到2017年,因此,本文基于2016年与2017年数据进行实证研究。研究数据主要来源于《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国煤炭工业年鉴》、各省市统计年鉴和真气网平台^①。

(三)要素确定

在fsQCA中,前因条件个数增加会导致因素组态数量呈指数速度上涨(2^n),由此可能出现很多缺乏实际案例支撑的因素组态,研究结论的可靠性将会下降。为了保证研究结果的有效性,QCA方法一般允许在15~80个样本规模下开展研究^[17],同时将前因条件个数控制在5~9个。

1. 结果要素

回溯人类社会能源转型历史可以发现,“低碳化”一直伴随着能源转型发展的全过程,即替代能源碳元素含量下降,氢元素含量上升,故能源转型也称为能源低碳转型。迄今为止,人类社会正在经历第三次能源转型,前两次能源转型分别为煤炭取代生物质能源,以及石油、天然气和核能取代煤炭,第三次能源转型以可再生能源与低碳技术的广泛应用为特征^[21]。可见,随着能源转型的逐步推进,能源系统“低碳化”特征日益凸显。我国目前正处于第二次能源转型与第三次能源转型的并行时期。参考全球能源转型一般规律,结合我国能源资源禀赋和能源生产、消费结构的现状,以及能源发展规划,我国能源转型的最终目标将是推动可再生能源与低碳技术的广泛应用,以替代能源取代煤炭在能源消费结构中的主导地位。由此,本研究采用2016年与2017年两年间煤炭占一次能源消费比例的差值来测量能源低碳转型的效果。

2. 前因条件要素

(1)能源低碳转型的景观层因素。从我国现实情况来看,国内尚未出现能够直接推动能源低碳转型的突发性外部冲击,而缓慢性外部影响与长期性外部变化正在对能源低碳转型发挥着潜移默化的作用。参考陈诗一和陈登科^[22]、林伯强和李江龙^[23]的研究,同时结合我国能源系统发展的现状,本文重点关注如下3个方面的景观层因素:第一,大气污染。煤炭的大量使用与各地日益恶化的空气质量密切相关^[23],这不仅直接影响居民健康水平^[24],也为劳动力就业(如环境污染地区在吸引高层次人才方面存在劣势)带来一定的负面效应,最终导致经济发展受阻。本文选择PM2.5年平均浓度衡量大气污染水平。当大气污染物浓度超过一定水平时,会对人体健康产生不利影响,民众负面情绪也会随之上升。基于此,本研究使用各省域2016年和2017年的PM2.5年平均浓度衡量大气污染程度。第二,煤炭资源禀赋。“富煤缺油少气”是我国能源资源禀赋的总体特征,但煤炭资源区域分布极不均衡,区域间煤炭储量差异巨大。煤炭资源丰富的地区在进行资源开发与利用过程中,逐渐积累了大量的前期投资,形成了路径依赖和制度锁定现象,简单进行技术轨道转换,可能会导致大量“沉没成本”^[4]。此外,以煤炭资源开发作为支柱产业的区域,能源低碳转型在短期内可能会对区域经济增长、劳动就业、社会稳定等形成冲击,为此地方政府和相关产业部门往往对此持谨慎态度,甚至存在一定的抵触。因此,能源资源禀赋存在差异的区域,面对能源转型可能会出现不同反应。本文选取2016年与2017年各省域年平均原煤产量衡量各地煤炭资源禀赋状况,相对于煤炭探明储量数据而言,原煤产量数据更加准确,原煤产出过程也更能代表煤炭资源禀赋作为景观因素对能源低碳转型产生的影响。第三,人口密度。我国幅员辽阔、人口众多,但空间分布极不平衡,由东到西,人口密度逐渐下降,存在着典型的人口疏密区分界线^[25]。人口密度不同的地区在同样面对逐渐恶化的环境时,可能会对能源低碳转型表现出不同的愿景。一定规模的人口环境范围内,人口密度上升能够推动经济发展^[26],但当经济发展水平达到一定程度后,居民可能会对环境质量提出更高的要求。因此,本文选用各省域2016年和2017年平均人口密度数据衡量人口密度水平。

当然,在景观层中还存在着宏观经济形势、社会意识形态、文化价值观念、政治体制、国际碳减排压力、战争等诸多因素,这些因素同样也会影响到我国能源低碳转型的进程。但深入考量可以发现,以上所提及的诸多因素对于我国内部各省域的影响是全国性的,并没有成为地区间影响各地能源低碳转型的条件。如自2016以来,国际经济环境复杂严峻,国内经济平稳运行基础薄弱,不确定因素频现,经济下行压力较大。这

① 真气网是在国家“千人计划”PM2.5科学实验专家小组的支持下成立的,专注于环境大数据的互联网化运用的网络平台。

些全国性的客观经济形势给各省域带来了类似的影响,对各地能源低碳转型影响的具体差异并不明确,因此,本文不将宏观经济形势纳入待探究的能源低碳转型景观层因素中。由于社会意识形态、文化价值观念等因素也同样存在着这一特征,在此,本文不将这些因素纳入研究中。而上文选择的大气污染、人口密度与煤炭资源禀赋,在各省域之间存在明显的差异,能够对各地能源低碳转型效果产生直接影响。因此,本文将这些因素纳入研究中,深入探究其中可能存在的机理。

(2)能源低碳转型的体制层因素。在社会-技术系统内部,当体制层感受到来自景观层和利基层的双重压力时,体制层也会进行主动性变革和适应性调整,这一过程中,体制层的3个维度都会受到影响。其中,要素维度的变化往往是行为主体维度和制度规范维度变化之后所导致的直接结果。自此,不同要素重新组合形成新的功能系统^[7],并承担起新的社会功能。基于此,本文参考吕涛等^[9]、郭丕斌等^[27]的研究,主要关注如下3个方面的体制层因素:第一,新增能源基础设施。能源基础设施为社会生产和居民生活提供了基本公共服务,在能源系统的发展过程中发挥着重要作用。为满足能源低碳转型的需要,能源基础设施也必须进行相应调整,能源基础设施投资额也将大幅度上升。由于我国能源产业领域多为国有性质,为此,本文选取2016年与2017年各省域国有经济能源工业年平均固定资产投资来表示能源基础设施变化程度。第二,集中供暖。在能源低碳转型的大背景下,能源基础设施除了满足各区域的共同社会需求外,还需要满足区域间的差异化社会需求。我国疆域南北跨度大,南北方气候差异也很大。为此,中央政府将秦岭-淮河一线以北地区划定为强制集中供暖区域,大规模建设集中供暖设施,推行冬季集中供暖。而秦岭-淮河以南地区没有配置集中供暖设施,这就造成了南北地区在取暖选择上的历史性差异。北方地区冬季取暖用能仍以煤炭为主,燃煤取暖面积占总取暖面积的83%^[28]。煤炭为主的取暖用能结构在满足北方地区取暖需求的同时,也产生了大量能源消耗和污染排放。第三,能源生产技术。能源生产技术作为能源系统中最为活跃的因素之一,是能源转型的基础性动力^[28]。人类社会经济活动中大量使用了需要经过转换形成的二次能源,但在不同的技术水平条件下,能源转换过程可能会产生不同的影响。由于电能在我国生产生活中已经得到广泛运用,而且电能不像其他类型能源容易受到区域间差异的影响,在能源转型过程更是发挥着直接能源替代的作用^[29]。加之火力发电总量在我国发电总量中居于绝对主导地位(截至2018年,仍占73.32%)。因此,本文选择2016年与2017年各省域火电平均转换效率来衡量不同省域的能源生产技术水平。

(3)能源低碳转型的创新利基。创新利基的发展与扩散能够为能源低碳转型创造有利条件。当现有“高碳锁定”的能源系统体制层的稳定性被打破,“机会窗口”出现后,创新利基能够从“机会窗口”中完成突破,最终取代现有体制。可见创新利基为新技术、新产品的形成和发展创造了条件,提高了突破性创新在“新生”阶段存活和在“成长”阶段发展壮大可能性。本文参考沈俊鑫等^[30]的研究,选择研发投入强度、每万人中研发人员数量两个指标来衡量创新利基为“新生事物”的产生和发展所提供的外部支持,避免了不同区域由于经济发展水平和人口总量差异对指标的偏向性影响。同时,由于研发从投入到产出往往存在一定的滞后性^[31]。因此,本文选取2016年的研发投入强度与每万人中研发人员数量进行分析。

综上,本文构建了如图1所示的能源低碳转型多层级驱动模型。

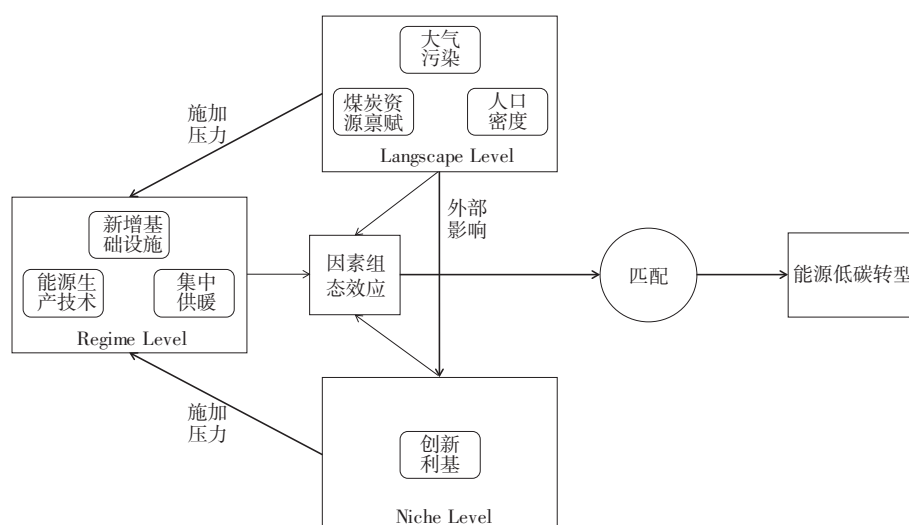


图1 能源低碳转型多层级驱动模型

(四)数据校准

为了满足 fsQCA 的布尔逻辑要求,在进行实证分析之前,需要将前因条件要素与结果要素转化成模糊集,即进行数据校准。未经校准的原始数据只能反映案例数据在具体数值上的差异,无法反映各案例在集合中的相对位置。需要说明的是,在对原始数据进行校准之前,必须确定各要素的校准阈值。从已有研究来看,进行模糊集定性比较分析可以采用“三值模糊集校准法”(完全隶属点 1、交叉隶属点 0.5 和完全不隶属点 0 三个临界点)和“四值模糊集校准法”(完全隶属点 1、偏隶属点 0.67、偏不隶属点 0.33 和完全不隶属点 0 四个临界点)确定校准阈值。基于本研究的问题特点,论文运用 fsQCA 3.0 软件“Calibrate”功能,混合运用上述两种校准方法进行阈值确定和数据校准。

1. 结果要素的阈值

本研究的结果要素是能源低碳转型(energy low carbon transformation, ET)。基于 Fiss^[16]的研究,结合本研究实际情况,将结果要素的前两个阈值(完全隶属点、交叉隶属点)设定为数据的四分位数点,将完全不隶属点确定为 0,当数值高于 0 时,则认为该案例不属于能源低碳转型集合。从具体数据来看,高于上四分位数点数值的案例有 8 个,包括北京、天津等能源低碳转型效果明显的省域,高于中位数点数值的案例有 14 个,包括山东、云南等省域。数据基本均匀分布在中位数点两侧,模糊度理想。

2. 前因条件的阈值

大气污染(air pollution, AP)使用世界卫生组织(WHO)提出的标准,当某案例中 PM2.5 年平均浓度大于 35,认为其完全隶属于“大气污染严重”集合,小于 15 时,认为其完全不属于该集合,25 为交叉隶属点。集中供暖(central heating, CH)参考《北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021)》,将全省各地市城区均推行集中供暖的省域,赋值为 1,全省均不进行集中供暖的省域赋值为 0。对处于强制供暖线上的河南、陕西、和江苏等省域,将只有少数地市不进行集中供暖的省域(如河南的信阳、驻马店,陕西的安康、汉中等),赋值为 0.67,只是个别地市集中供暖的江苏省(如徐州),赋值为 0.33。对于煤炭资源禀赋(coal endowment, CE)、人口密度(population density, PD)、新增基础设施(new infrastructure, NI)、能源生产技术(production technology of energy, EPT)和创新利基(niche, NIC),采用 Fiss^[16]设定的标准,将 3 个锚点分别设定为上四分位数、下四分位数与中位数。从具体数据来看,在原煤产量数据集中,位于上四分数点以上的省域(如山西、内蒙古等)拥有我国绝大多数的煤炭资源,而处于下四分位数点数值以下的省域(如上海、浙江等)煤炭资源匮乏,处于中位数点数值上下的省域比较集中,数值变化小,这与实际情况相一致。在新增基础设施数据集中,上下四分位数值与原始数值的“天然间断点”差距较小,处在合理范围内,且中位数点附近真实数据集中,赋值合理。平均人口密度、火电平均转换效率、R&D 投入强度及每万人中 R&D 人员等数据集亦满足标准。本研究各前因和结果要素的阈值信息见表 1。

表 1 多层次视角下能源低碳转型前因条件与结果的阈值

前因与结果		阈值		
		完全隶属	交叉隶属	完全不隶属
能源低碳转型(ET)		-2.8575	-1.426	0
大气污染(AP)		35	25	15
煤炭资源禀赋(CE)		1.0725	0.345	0.09125
人口密度(PD)		524.8975	287.815	152.0675
新增基础设施(NI)		903.25	527.5	391.75
能源生产技术(EPT)		0.4275	0.39	0.36
创新利基(NIC)	R&D 投入强度	2.135	1.365	0.9425
	R&D 人员数量 (每万人)	28.945	17.465	11.2625
集中供暖(CH)		完全隶属	偏隶属	偏不隶属
		1	0.67	0.33
				完全不隶属
				0

(五)单因素必要性分析

运用 fsQCA 3.0 进行分析时所输出的简约解结果可能会自动剔除必要条件,而必要条件所代表的前因条件在因素组态中又承担着核心条件的角色,因此,需要先进行单因素必要性分析。单因素必要性分析用于探索单个前因集合及其非集能否成为结果(能源低碳转型)的必要条件,即当结果出现时,某一前因是否始终存在。在模糊集定性比较分析中,一致性(consistency)和覆盖度(coverage)是衡量前因条件是否为必要条件的重要指标。一致性指隶属于结果集合的案例,多大程度上也隶属于某一前因集合,一般将一致性数值大于 0.9 的前因条件确定为必要条件^[31]。覆盖度(coverage)表示前因条件对结果的解释程度,若某前因在进行必要性检验时,一致性数值较高,但覆盖度数值偏低,则表明该前因条件在因果关系解释中没有实际意义^[32]。

能源低碳转型必要条件的检验结果见表 2。由表 2 可知,仅有大气污染(AP)满足必要条件的要求(consistency>0.9),覆盖度数值也大于 0.5,表明大气污染严重的地区更加倾向于推动能源低碳转型。其他前

因条件的一致性均未达到必要条件的临界值,都不能作为能源低碳转型的必要条件。

(六)因素组态充分性分析

在必要条件分析的基础上,本部分进一步通过真值表分析检验因素组态的充分性,也就是检验不同前因条件形成的新集合与结果集合是否满足子集与母集的关系。这一过程仍然通过一致性(consistency)指标进行测量。本研究使用的案例样本数量为30个,属于中小样本。参考Schneider和Wagemann^[33]的研究,将频数阈值设定为1。在设定一致性阈值时,通过分析fsQCA 3.0软件在阈值设定界面所提供的信息,将一致性阈值(raw consistency)设定为0.83,高于常规使用的阈值0.8,提高了对真值表中原始因素组态的一致性要求。值得一提的是,存在一个原始因素组态(安徽省)的PRI(proportional reduction in consistency,起辅助判断作用)一致性数值为0.72,虽低于0.75,但数值差距较小。在后续的案例分析时,发现其在能源低碳转型集合与某低碳转型前因组态集合中的隶属度较高(分别为0.93和0.69),由此可以认为软件给予该原始组态的赋值是合理的。因此,本研究在此阶段保留该原始因素组态的软件初始赋值。

通过前述单因素必要性分析,大气污染(AP)已明确是能源低碳转型的必要条件,其余6个前因条件与能源低碳转型的关系尚不明朗。因此,在产生中间解的过程中,当选择前因条件通过何种状态影响能源低碳转型时,仅AP选择“存在(Present)”,其余均选择“存在或缺席(Present or Absent)”。在选择中间解简约组合时,“~EPT×CE×~CH”与“~NIC×CE×~CH”两个备选组合同时出现,进一步对2个组合进行超集(superset analysis)分析发现,前者的一致性高于后者(0.94,0.89),故选择“~TL×CO×~CH”作为中间解简约组合。前因条件形成的能源低碳转型的组态见表3。参考Rihoux和Ragin^[14]的结果表达方式,用●代表条件变量存在,大圈表示核心条件,小圈表示边缘条件,空格代表该条件存在与否对结果没有影响。

由表3可知,6组因素组态(可归纳为3组主要因素组态)一致性数值均大于0.75,满足能源低碳转型充分条件的要求。总体解一致性为0.909,高于标准值0.8,结果较为理想。总体解覆盖度(solution coverage,类似回归分析中R²的作用)为0.546,表示因素组态总体能够解释超半数的能源低碳转型的原因,进一步证明了能源低碳转型路径的多重并发特征。

(七)理论解释

依据3组主要因素组态的核心条件,可以认为大气污染(AP)已成为推动能源低碳转型的全国性动力。基于上述研究,可以构建两大类能源低碳转型模式,即北方地区多策略复杂作用型能源低碳转型模式与南方地区能源清洁化型能源低碳转型模式。

1. 北方地区多策略复杂作用型转型模式

依照不同核心条件可以进一步划分为清洁取暖主导型(H1)与能源技术改造型(H2)两种转型模式。

(1)清洁取暖主导型转型模式。因素组态H1表明,在大气污染的环境背景下,加强取暖能源清洁化调整有助于推动能源低碳转型,该种转型模式下,经济发达地区与欠发达地区又会表现出不同的形态。

H1a代表经济欠发达地区,如青海省。青海省地处青藏高原地区,冬季气候寒冷,供暖时间长,能源消耗总量大。该省大力推行冬季清洁取暖政策,充分发挥油气资源与可再生资源优势,通过加快实施分散式清洁取暖、并行有序发展电能供暖和可再生能源供暖,有效推动了该地区能源结构低碳化进程。

H1b代表经济发达地区,如北京和天津。该组态说明同样在面临大气污染的宏观背景下,人口密度、能源生产技术、集中供暖(核心条件)与创新利基等多条件共同作用,也能够推动能源低碳转型。这些地区人口密度大,民众对大气污染

表2 能源低碳转型的必要条件分析

前因条件	能源低碳转型		前因条件	能源低碳转型	
	consistency	coverage		consistency	coverage
AP	0.922000	0.502544	~AP	0.107333	0.649194
CE	0.570000	0.614224	~CE	0.526667	0.491294
PD	0.552667	0.579720	~PD	0.582667	0.556688
NI	0.502667	0.505023	~NI	0.564667	0.562044
CH	0.585333	0.598500	~CH	0.446000	0.436399
EPT	0.570600	0.540068	~EPT	0.534067	0.566068
NIC	0.540333	0.553431	~NIC	0.595333	0.581570

注:含“~”符号的表示前因变量集合的非集。

表3 能源低碳转型的组态

前因条件	解					
	H1		H2		H3	
	H1a	H1b	H2a	H2b	H3a	H3b
大气污染(AP)	●	●	●	●		●
煤炭资源禀赋(CE)			●	●	●	●
人口密度(PD)		●	●	●		
新增基础设施(NI)			●		●	
能源生产技术(EPT)		●	●			
集中供暖(CH)	●	●		●		
创新利基(NIC)		●	●	●		
一致性	0.838	0.994	0.900	0.948	0.915	0.922
原始覆盖度	0.155	0.107	0.205	0.073	0.064	0.110
唯一覆盖度	0.129	0.071	0.127	0.017	0.013	0.059
总体解的一致性	0.909					
总体解的覆盖度	0.546					

注:●代表条件变量存在,大圈表示核心条件,小圈表示边缘条件,空格表示该条件存在与否对结果没有影响。

的感知程度高,能源低碳转型愿景强烈。另外,这些地区经济发达、科技水平高、产业结构高级化程度高、对创新的支持度高。因此,这些区域在能源选择上要求更高,大量使用天然气等清洁能源,并且强调技术对提高能源生产效率的重要性,注重培养能源系统创新利基。值得一提的是,创新利基在经济发达地区以边缘条件的形式出现,未能成为H2b组态的核心条件。这可能意味着虽然该区域整体上对创新比较重视,但对能源领域创新的支持力度相对有限,也可能是能源系统的创新由于受到制度、文化、价值观、社会接受程度等的影响,未能发挥出应有的作用。总而言之,该区域能源创新利基仍有较大发展空间。

(2)能源技术改造型转型模式。因素组态H2表明同样处在大气污染的宏观背景下,重工业发达地区在煤炭资源禀赋(核心条件)、人口密度(核心条件)与创新利基(核心条件)等前因条件要素的共同作用下,形成了独具特色的能源低碳转型路径。不过,同处于该路径下的华东地区与东北地区又存在一定差异,具体可以细分为H1a和H2b两种组态。

H2a为华东地区的能源低碳转型组态,典型代表如山东省。山东省工业基础良好,重工业发达,工业生产能耗大。同时,山东省人口密度较大,居全国前列,民众对大气污染的感知程度高,能源低碳转型愿景强烈。近年来,山东省着力推动煤炭清洁高效利用,加大能源基础设施投资,深度开发核能、风能等新能源,持续进行能源系统技术改造,努力提高能源利用效率。另外,天然气热电联产、“光伏+生态农业”及新能源共享汽车等为代表的技术创新、模式创新在创新利基的保护与支持下,已成长为推动该地区能源低碳转型的重要动力。

H2b为东北地区的能源低碳转型组态,典型代表如辽宁省。与H2a的具体条件不同,辽宁省地处东北,供暖时间长,采暖耗能量占比更高,因此,集中供暖作为辅助条件出现在了H2b中。但近年来辽宁省将新能源汽车产业作为重点支持领域,从基础研发环节到最终投入使用,出台了一系列支持政策推动新能源汽车产业发展,同时加快培育了一批相关配套产业,努力构建完整的新能源汽车创新利基生态体系。这表明技术利基和产品利基在政府政策的支持下,已在推动该地区能源低碳转型过程中起到了不可或缺的作用。

通过对H1与H2两种组态的比较分析发现,创新利基在不同因素组态中的作用不同,这表明2种组态下处于不同发展阶段的创新利基对能源低碳转型的作用发挥存在差异。

2. 南方地区煤炭清洁化利用型转型模式

因素组态H3可以细分为H3a和H3b,表明煤炭资源禀赋(核心条件)×新增基础设施、大气污染(核心条件)×煤炭资源禀赋(核心条件)这2种前因条件组合都可以实现能源低碳转型。在这一因素组态中,煤炭资源禀赋并没有对能源低碳转型产生类似“资源诅咒”的负面影响,反而成为能源低碳转型的核心条件。与这两种因素组态相对应的是云南省和贵州省,云贵两省的煤炭资源储量位居南方省份前两位,煤炭资源禀赋条件优越。近年来,云南省出台了包括《煤炭产业高质量发展三年行动计划》在内的一系列政策文件,强调煤炭产业绿色发展,同时发挥省内清洁能源丰富的优势,加强能源基础设施建设,水电、风电装机规模居全国前列,逐渐将绿色能源优势转变为绿色经济优势。贵州省在大气污染的压力下,同样也在进行着煤炭绿色开采、清洁利用等一系列行动,能源低碳转型效果明显。

三、研究结论及对策建议

论文结合我国30个省域能源系统发展实际,基于社会-技术转型多层级视角,运用模糊集定性比较分析方法,实证分析了中国情境下能源系统如何通过景观层、体制层与利基层3个层级的多重因素相互作用、动态协同演进,从而推动能源低碳转型的问题。形成了如下研究结论:①大气污染倒逼能源低碳转型已经形成广泛共识,大气污染成为我国能源低碳转型的核心驱动力;②能源低碳转型是不同因素多重并发作用的结果,推动能源低碳转型存在多种实现路径,并且由于不同区域在能源资源禀赋、经济发展水平、气候条件等方面存在较大差异,使得不同区域能源低碳转型的因素组态各异;③煤炭资源禀赋并非一定会对能源低碳转型过程带来类似“资源诅咒”的负面影响,通过技术改造,加强煤炭清洁化利用等创新手段同样能够为能源低碳转型带来正向效应;④创新利基的成长能够给能源低碳转型带来正面影响,且与特定区域的经济发展水平不完全相关。

结合上述研究结论,本文提出以下对策建议。

(1)充分利用区域内能源资源基础和条件。煤炭资源禀赋良好的地区,应着力推动煤炭产业清洁化高效

化改造,不要盲目采取“一刀切”式行政手段。同时,加大能源基础设施投资,大力开发清洁能源,提高可再生能源对煤炭的替代程度,形成“改造+替代”并行的能源低碳转型路径。清洁能源丰富的地区,应当进一步加大技术投入,扩大清洁能源的开发力度和使用范围。

(2)突破技术和监管障碍,推动能源跨区域流动。各地可以加强沟通,协同合作,搭建能源互联系统,构建跨区域能源联盟,力图实现互利互惠的目标。对于清洁能源丰富的经济欠发达地区,可以将区域内富余的清洁能源直接输送或二次转化后输送至东部经济发达地区,在支持其他地区进行能源低碳转型的同时,也能将资源优势转化为经济优势。对于传统能源丰富的经济欠发达地区,可以在坚持传统能源清洁化利用的基础上,不断拓展外来清洁能源的渠道,逐步提高清洁能源使用比重。

(3)鼓励和支持创新利基发展。各地需要改变政策“碎片化”的状况,坚持统筹安排,构建能源最初开发、途中输送和最终使用的全过程智能管理系统。降低资本门槛,鼓励社会资本进入,共同探讨分布式电网构建、能源回收等多种模式,力图实现多元商业模式共存局面。引导主流能源文化观念,同时加强舆论宣传,来增强民众对能源低碳转型的了解程度,以期获得更多的社会支持。

参考文献

- [1] 郭丕斌,李繁荣,吕文栋,等. 社会-技术变迁驱动能源转型研究框架与述评[J]. 科技进步与对策, 2019, 36(10): 153-160.
- [2] GEELS F W. Technological transitions and system innovations: A co-evolutionary and socio-technical analysis [M]. Cheltenham: Edward Elgar, 2005.
- [3] GEELS F W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study [J]. Research Policy, 2002, 31(8-9): 1257-1274.
- [4] GEELS F W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory[J]. Research Policy, 2004, 33(6-7): 897-920.
- [5] GEELS F W, SOVACOL B K, SCHNWAMEN T, et al. Sociotechnical transitions for deep decarbonization[J]. Science, 2017, 357(6357): 1242-1244.
- [6] 李慧. 社会-技术转型多层次视角: 形成背景、理论渊源及构成框架[J]. 中国科技论坛, 2019(4): 42-49.
- [7] 胡卫,徐梦蝶. 系统创新: 基于体制层稳定与失稳的分析[J]. 自然辩证法研究, 2019 35(9): 36-41.
- [8] VERBONG G, GEELS F. The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the dutch electricity system(1960—2004)[J]. Energy Policy, 2007, 35: 1025-1037.
- [9] 吕涛,王春玲,王飞. 社会-技术系统转型理论及其在能源系统转型中的应用[J]. 中国科技论坛, 2015(10): 109-114.
- [10] GEELS F W, SCHOT J W. Typology of sociotechnical transition pathways[J]. Research Policy, 2007, 36(3): 399-417.
- [11] RIP A, KEMP R. Technological change[M]//RAYNER S, MALONE E L. Human choice and climate change. Columbus, Ohio: Bat-telle Press, 1998.
- [12] DRIEL H V, SCHOT J. Radical innovation as a multilevel process: Introducing floating grain elevators in the port of rotterdam[J]. Technology and Culture, 2005, 46(1): 51-76.
- [13] GEELS F W. A Socio-Technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport Studies[J]. Journal of Transport Geography, 2012(24): 471-482.
- [14] RIHOUX B, RAGIN C C. Configurational comparative methods: Qualitative comparative analysis(QCA)and related techniques [M]. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.
- [15] 万筠,王佃利. 中国邻避冲突结果的影响因素研究——基于40个案例的模糊集定性比较分析[J]. 公共管理学报, 2019, 16(1): 66-76, 172.
- [16] FISS P C. Building better causal theories: A fuzzy set approach to typologies in organization research[J]. Academy of Management Journal, 2011(54): 393-420.
- [17] 李蔚,何海兵. 定性比较分析方法的研究逻辑及其应用[J]. 上海行政学院学报, 2015, 16(5): 92-100.
- [18] GRECKHAMER T. Cross-cultural differences in compensation level and inequality across occupations: A set-theoretic analysis[J]. Organization Studies, 2011, 32(1): 85-115.
- [19] 王凤彬,江鸿,王璵. 央企集团管控架构的演进: 战略决定、制度引致还是路径依赖? ——一项定性比较分析(QCA)尝试[J]. 管理世界, 2014(12): 92-114, 187-188.
- [20] 杜运周,贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA): 管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界, 2017(6): 155-167.
- [21] 马丽梅,史丹,裴庆冰. 国家能源低碳转型与可再生能源发展: 限制因素、供给特征与成本竞争力比较[J]. 经济社会体制比较, 2018(5): 70-79.
- [22] 陈诗一,陈登科. 能源结构、雾霾治理与可持续增长[J]. 环境经济研究, 2016, 1(1): 59-75.
- [23] 林伯强,李江龙. 环境治理约束下的中国能源结构转变——基于煤炭和二氧化碳峰值的分析[J]. 中国社会科学, 2015(9): 84-107, 205.

- [24] 许兴龙, 周绿林, 张林荣. 区域经济增长、环境污染与居民健康的实证分析[J]. 统计与决策, 2018, 34(22): 95-98.
- [25] 龚胜生, 陈云. 中国人口疏密区分界线的历史变迁及数学拟合与地理意义[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2147-2162.
- [26] 王金营, 李天然. OECD 国家人口变动对经济发展方式转变的影响[J]. 中国人口科学, 2018(6): 2-16, 126.
- [27] 郭丕斌, 李丹, 周喜君. 技术锁定状态下煤炭资源型经济转型的出路对策[J]. 经济问题, 2015(12): 24-27.
- [28] 国家能源局. 北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021)[EB/OL]. [2020-05-06]. http://www.nea.gov.cn/2017-12/27/c_136854721.htm.
- [29] 刘平阔, 王志伟. 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.
- [30] 沈俊鑫, 李爽, 张经阳. 大数据产业发展能力影响因素研究——基于 fsQCA 方法[J]. 科技管理研究, 2019, 39(7): 140-147.
- [31] 陶冶, 许龙. 我国 R&D 投入与专利产出的关系研究[J]. 科技进步与对策, 2007(3): 7-10.
- [32] 查雯, 吕蕙伊. 东南亚五国对华制衡差异的分析——基于模糊集定性比较分析的解析[J]. 国际政治科学, 2019, 4(1): 116-144.
- [33] SCHNEIDER C Q, WAGEMANN C. Set-Theoretic methods for the social sciences: A guide to qualitative comparative analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

Research on the Configuration of Energy Low-carbon Transformation Factors from the Multi-level Perspective: Based on 30 Provinces in China through fsQCA

Li Hui, Tu Jiahao

(School of Humanities, Economics and Law, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Promoting the low-carbon transformation of energy is the key to relieve the pressure of resources and environment, and to support the sustainable and high-quality development of economy and society. Based on the theory of Socia-Technology transformation, this paper combines the multi-level perspective of Socia-Technology transformation with the method of fuzzy-set qualitative comparative analysis(fsQCA)from the perspective of collective thinking and configuration thinking, and based on the actual development of China's energy system, studies and extracts seven antecedents including the three levels of landscape level, regime level and niche level. Then, taking the low-carbon transformation of energy as the outcome factor, taking 30 provinces and regions of China as the case, using the fsQCA method, empirical analysis is carried out, and the diversified factors configuration that affect the low-carbon transformation of energy in China is summarized and refined. Based on the regional differences between the north and the south, multiple low-carbon transformation modes of energy sources are constructed, and give coping tactics.

Keywords: multi-level perspective; energy low-carbon transformation; factor configuration; fuzzy-set qualitative comparative analysis