

# 国家能源转型的价格机制: 兼论新冠疫情下的可再生能源发展

◎ 马丽梅 史丹 高志远

**内容提要** 本文主要探讨价格在能源转型中的作用及其影响机制。主要创新在于全面阐述了面向可再生能源转型的微观经济机制,特别区分一次能源和二次能源、市场机制和政府管制,分层次、分情景实证分析化石能源价格上涨引发可再生能源消费变动的行业效应及总效力。通过大时间尺度的历史观察及微观机制分析得到,当前可再生能源仍处于政府补贴阶段,可再生能源价格无法完全实现与化石能源的“正面竞争”。针对中国的实证研究显示:(1)从结构效应看,煤炭价格上涨主要对传统行业的能源转型产生影响,而石油价格上涨主要集中于交通业及现代工业。(2)从总效应看,一次能源价格波动的影响效应小于终端能源。(3)政府管制在很大程度上弱化了价格波动的传导效应。新冠病毒疫情下,化石能源价格呈非正常下跌趋势,使可再生能源成本竞争力存在下降风险,政府应采取积极的激励政策和必要的价格管制措施,确保短期政策行为与中长期能源规划目标相一致,持续推进国家能源转型。此外,当前疫情对能源供需的冲击或将由短期间接效应转化为长期直接影响,国家层面的合作与对话显得至关重要。

**关键词** 能源价格 能源转型 可再生能源 政府管制 新冠疫情

(中图分类号)F812.2 (文献标识码)A (文章编号)0447-662X(2020)07-0104-13

## 一、引言

所谓能源转型,是指能源生产和消费结构发生根本性改变,并对一国社会经济发展乃至全球地缘政治格局产生深刻影响。至今为止,人类历史上已经历了两次能源转型,当前已进入第三次能源转型时期,主要表现为可再生能源对化石能源的替代,历次能源转型中各类能源的更替见图1。前两次能源转型,在技术进步的作用下,在以英美为代表的工业发达国家分别经历近百年或几十年的时间率先完成,实现了人类对煤炭、石油等化石能源的大规模开发利用,在创造巨额财富的同时,也对生态环境与气候产生了较大的负面影响。当前进行的第三次能源转型,除了技术进步推动外,更重要的是可持续发展理念得到广泛的认同,世界各国普遍参与,以建立清洁、低碳、高效、可持续的能源供给与能源消费体系为目标,政策引导作用突出。

能源作为一种商品,具有普通商品的一般属性,同时具有其独有的特征,这是由能源价格的形成机制决定的,主要表现为:一是能源产品资源稀缺性极强,所以长期价格走向趋高,而且能源价格要同时受到国际

\* 基金项目:国家社会科学基金重大项目“习近平生态文明思想研究”(18ZDA004);中国社会科学院登峰战略优势学科(产业经济)项目;深圳大学中国经济特区研究中心项目“新冠疫情对中国能源经济安全的影响研究”(CCSEZR2020)



市场与产地市场的双重影响;二是国家能源价格管制机制,由于能源生产的规模经济效应导致的自然垄断性,以及能源安全与国家军事、经济的紧密联系,各国均对能源市场从法律及规制角度采取一定程度的管制措施。改革开放40年来,我国经济市场化改革进程不断加快,绝大部分产品价格实现由市场决定,能源价格改革也取得了重要进展,化石能源的上中游价格基本实现了市场化,即煤炭、原油基本实现由市场决定的价格体制,但电力、成品油、燃气仍实行政府管制。能源价格作为一种杠杆调节手段,有利于形成对能源消费结构调整的倒逼机制,促进企业增加研发投入,推动能源消费结构调整,实现能源转型目标。党的十九大报告也同样指出,要加快要素价格市场化改革,推进能源生产和消费革命,构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系。

特别值得关注的是2020年伊始,新冠肺炎疫情爆发,叠加地缘政治因素,导致国际油价暴跌,全球原油市场出现罕见的“负油价”现象。与此同时,国际煤价承压下行,电力需求放缓,国内电力交易价格明显下降。能源价格的剧烈震荡将对能源经济运行乃至宏观经济产生深远影响,进而影响国家能源转型进程。鉴于此,本文通过大时间尺度的历史观察分析能源转型特征,以可再生能源为切入点,研究一次能源(煤炭、原油、天然气)及二次能源(火电、成品油、燃气)在市场机制和政府管制两种机制下,价格变动对能源消费结构的影响,以期为持续推动能源转型及疫情下的能源政策调整提供参考建议。

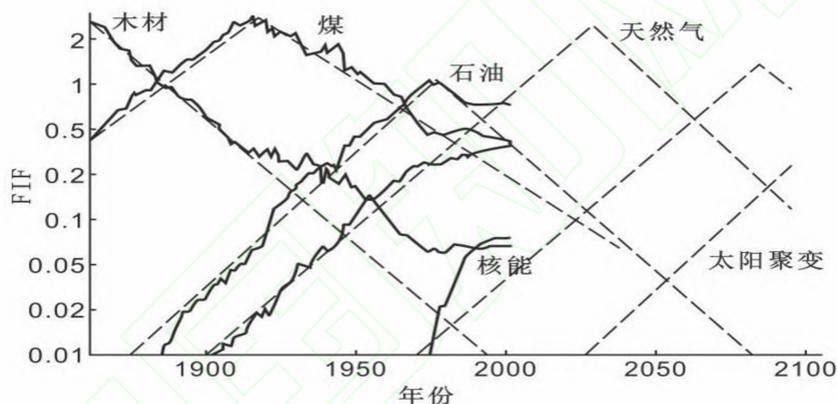


图1 世界主要能源的更替<sup>①</sup>

注:  $FIF = F / (1 - F)$ , 其中  $F$  表示各类能源在能源消费中的份额;实线代表实际值,虚线代表调整后的预测值。

## 二、文献回顾

关于能源价格的研究,可以大致分为两类:一是对能源价格行为的研究,即能源价格自身的波动行为及其趋势的预测;二是能源价格的影响研究,主要包括对宏观经济、碳排放以及金融市场的影响。在以往的研究中,能源价格被分为以下几类进行研究:煤炭价格、石油价格、天然气价格和电力价格,也有部分研究关注碳价格、新能源电价等问题。<sup>②</sup>

关于能源转型的研究,主要体现为两类:一是能源转型的历史及转型方向研究。当前,人类已经经历了

<sup>①</sup> 资料来源 [美]卡罗·A. 达哈尔《国际能源市场:价格、政策与利润》,丁晖、王震、郭海涛译,石油工业出版社2008年,第17页。

<sup>②</sup> 王朝阳、陈宇峰、金曦《国际油价对中国新能源市场的传导效应研究》,《数量经济技术经济研究》2018年第4期;M. Geiger, J. Scharler, “How Do Consumers Assess the Macroeconomic Effects of Oil Price Fluctuations? Evidence from U. S. Survey Data,” *Journal of Macroeconomics*, vol. 62, no. 3, 2019, pp. 103 ~ 134;任泽平《能源价格波动对中国物价水平的潜在与实际影响》,《经济研究》2012年第8期;S. Nick, S. Thoenes, “What Drives Natural Gas Prices? —A Structural VAR Approach,” *Energy Economics*, vol. 45, no. 1, 2014, pp. 517 ~ 527;张希栋、娄峰、张晓《中国天然气价格管制的碳排放及经济影响——基于非完全竞争CGE模型的模拟研究》,《中国人口·资源与环境》2016年第7期;史丹、杨帅《完善可再生能源价格的政策研究——基于发电价格补贴政策与实践效果的评述》,《价格理论与实践》2012年第6期;K. L. Phillips, D. W. Hine, W. J. Phillips, “How Projected Electricity Price and Personal Values Influence Support for a 50% Renewable Energy Target in Australia,” *Energy Policy*, vol. 129, no. 4, 2019, pp. 853 ~ 860.



两次能源转型,第三次能源转型正在逐步发生,围绕前两次能源转型的历史规律以及对第三次能源转型的方向预测,大量学者展开了广泛的探讨。<sup>①</sup>二是针对能源转型的量化研究。主要体现在两个方面:一方面是能源转型对宏观经济的影响,包括经济增长、就业、居民福利以及产业结构的变动,主要是运用可计算一般均衡(CGE)模型进行探讨;另一方面,针对第三次能源转型的重要能源——可再生能源,近20年来诸多学者对其发展的影响因素展开了讨论,这些影响因素包括资源禀赋、国际油价、可再生能源装机容量、CO<sub>2</sub>排放、政策驱动、公众支持度、能源自给率以及经济发展水平等。<sup>②</sup>由于不同国家的驱动因素存在一定的差异,均未得出一致的结论。值得注意的是,对于非水可再生能源的发展,由于与现有经济系统的冲突,可再生能源发展初期,往往给经济带来负向冲击,需要较高的经济发展水平予以缓冲支撑,因此,相关研究认为经济发展水平在可再生能源发展过程中具有重要作用,较高的经济水平可能更易于在发展可再生能源过程中受益。<sup>③</sup>

综上所述,可以看到,关于能源价格的探讨已经基本形成体系,国内外形成了大量的研究,但对于能源价格在能源转型中所发挥的作用,特别是对可再生能源发展的影响,现有的研究还不是很充分,只是部分研究涉及减少化石能源补贴来影响化石能源价格,进而影响可再生能源发展。<sup>④</sup>对于价格在能源转型中如何发挥微观调节机制,以及不同类别能源价格变动对能源转型的影响大小及差异,尚未有研究给出比较详细的探讨和说明,本文尝试在此有所突破。主要创新在于:一是通过大时间尺度的跨国历史数据描述能源转型过程,从能源服务视角阐述推动能源转型的根本动力机制;二是完整解析能源转型的微观价格作用机制,从微观视角将能源转型划分为四个阶段,判断当前能源转型所处时间节点;三是以中国为研究对象,特别区分一次能源和二次能源,市场机制和非市场机制,分层次、分情景探讨价格变动对能源结构的影响;四是特别探讨新冠疫情下价格震荡对可再生能源发展的影响,以期为保障能源经济健康运行及持续推进能源转型提供政策建议。

### 三、价格在能源转型中的作用及机理:历史经验与微观机制

#### 1. 能源转型的历史经验

从历史观的视角进行分析,能源可被视为一种服务或是一种商品,其价格反映了能源的服务价值或商品价值。Fouquet基于英国能源转型200年的历史,<sup>⑤</sup>从服务视角,将能源分为四种类型:加热、动力、交通和照明。他指出,能源转型过程中呈现出三个重要特征,表现为能源供应网络、能源来源和能源所提供的服务转变,其中,更便宜或更好的服务是能源转型的关键,即价格是能源转型中不可忽视的重要因素。Foell通过研究欧洲和美国近200年家庭部门的能源转型历史发现,能源供应系统的转变不是驱动能源转型的唯一因素,能源终端设备的资本投资,即向能源用户提供“能源服务”的提升也是能源转型的重要一环。<sup>⑥</sup>

近50年的可再生能源发展历程,是价格在能源转型中发挥关键作用的又一例证。以丹麦为例,当前丹麦已成为全球可再生能源特别是风能发展的领军国家,其风电的“起飞”得益于固定电价制(Feed-in Tariffs,简称FIT)。<sup>⑦</sup>

① R. Fouquet, “The Slow Search for Solutions: Lessons from Historical Energy Transitions by Sector and Service,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, 2010, pp. 6586 ~ 6596; 朱彤、王蕾《国家能源转型:德、美实践与中国选择》,浙江大学出版社2016年,第1~20页。

② 姚树洁、张帅《可再生能源消费、碳排放与经济增长动态关系研究》,《人文杂志》2019年第5期; I. H. Shah, C. Hiles, B. Morley, “How do Oil Prices, Macroeconomic Factors and Policies Affect the Market for Renewable Energy?” *Applied Energy*, vol. 215, no. 1, 2018, pp. 87 ~ 97.

③ P. Sadorsky, “Renewable Energy Consumption, CO<sub>2</sub> Emissions and Oil Prices in G7 Countries,” *Energy Economics*, vol. 31, no. 3, 2009, pp. 456 ~ 462; 齐绍洲、李杨《可再生能源消费影响经济增长吗?——基于欧盟的实证研究》,《世界经济研究》2017年第4期。

④ 林伯强、刘畅《中国能源补贴改革与有效能源补贴》,《中国社会科学》2016年第10期。

⑤ R. Fouquet, “The Slow Search for Solutions: Lessons from Historical Energy Transitions by Sector and Service,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, 2010, pp. 6586 ~ 6596.

⑥ W. K. Foell, “A Two-Century Analysis of Household Energy Transitions in Europe and the United States: From the Swiss Alps to Wisconsin,” *Energy Research & Social Science*, vol. 54, no. 2, 2019, pp. 96 ~ 112.

⑦ 固定电价制是指政府根据各类可再生能源的发电成本,设置一定时间内固定不变的可再生能源电力的上网价格,并强制性要求电网企业用此固定价格购买可再生能源电力,以补偿可再生能源发电企业生产可再生能源电力时额外支付的成本。



1990年,丹麦和德国在欧洲最早正式引入FIT机制。在FIT引入前,1980-1989年,油价从90美元/桶跌至30美元/桶,低廉的油价使风能的发展受到严峻挑战,丹麦的多家风力涡轮机制造商几乎面临破产。FIT的引入,使通过法律担保为风力涡轮机制造商向银行借款成为可能,到1994年,丹麦的风能逐步走出低迷,开始规模化发展。<sup>①</sup>1999年,丹麦政府在风能领域取消了FIT机制,转向可再生能源配额制,价格的作用被弱化,风能进入了低速发展的8年,到2009年丹麦政府重新启动FIT机制后,风能发电才又重新恢复了活力,使丹麦成为领跑欧盟乃至全球的面向可再生能源转型的典范国家。<sup>②</sup>美国是最早使用FIT的国家,见于1978年美国发布的《公共事业管理政策法》(The Public Utility Regulatory Policies Act)。与欧洲的可再生能源市场相比,美国的可再生能源市场具有排他性,但价格仍然在可再生能源发展初期发挥关键性作用。在过去的几十年间,由于政治原因,美国的可再生能源税收抵免(Tax Credit)政策发生了很多变化,处于“反复状态”,但税收抵免一直是主要激励措施,被称为美国可再生能源行业特别是太阳能和风能发展的“命脉”。1992年,美国为大型风力发电项目建立了1.5美分/千瓦时(kWh)的生产税收抵免(Production Tax Credit,简称PTC)。1999年,PTC政策第一次到期,第二年风电发展下降了93%。此后,PTC相继在2001年和2003年被执行到期,从而导致2002年和2004年的风电下降70%以上。<sup>③</sup>PTC为风能在美国的前期规模化发展提供了持续支持,直至2016年才逐步被降低,预计于2020年全部取消,可再生能源配额制逐渐发挥作用。<sup>④</sup>

为了更进一步描述价格在能源转型历史中的作用,本文将英国能源转型过程中不同部门的转型列示在表1中,可以看到,价格在加热部门、照明部门的能源转型过程中发挥关键或催化剂作用,而在交通和动力部门中更为优质的服务发挥关键作用。实际上,从历史视角观察,能源转型涉及多个部门及这些部门所提供的服务(动力、照明、加热和运输等),但现实的研究往往将其认为是单一事件。能源转型的过程可以描述为:新能源或技术通常会以更为优良的方式(例如,更方便、更清洁或更灵活的使用)提供相同的服务(即加热、动力、运输或照明)。但是,服务的高价格仅能被一部分消费者所接受,新能源消费市场被限制在愿意为这些优良特性支付溢价的“利基市场(Niche Market)”。<sup>⑤</sup>随着市场份额的增长,能源价格或技术的效率必须在“利基市场”得到改善才能实现与现有技术的竞争。能源价格的下降或更高的效率成为技术推广的催化剂,使新能源通过更广泛的市场传播,能源转型不断推进。综上所述,能源转型最重要的过程表现为“新能源”与“传统能源”的竞争,能源价格是其中最关键的竞争因素之一,或发挥催化剂作用,突出体现在涉及加热、照明的服务部门。而在涉及动力、交通的服务部门,更优质的服务质量最为关键。从转型的时间看,转型的时间周期最短也需要30年,这表明能源转型是一个长期累积的过程,而非某一时间节点的跨越式转变。

## 2. 能源转型的微观经济机制

从微观机制进行分析,首先假定能源消费市场呈现不饱和特征,<sup>⑥</sup>其次假定化石能源为劣等品,可再生能源为正常品。主要考虑三种情景:(1)化石能源价格上涨,可再生能源价格保持不变;(2)可再生能源价格下降,化石能源价格保持不变;(3)两种能源价格同时发生变动,表现为化石能源价格上涨,可再生能源价格下降。

<sup>①</sup> M. Mendonca, S. Lacey, F. Hvelplund, “Stability, Participation and Transparency in Renewable Energy Policy: Lessons from Denmark and the United States,” *Policy and Society*, vol. 27, no. 4, 2009, pp. 379 ~ 398; D. Toke, H. Nielsen, “Policy Consultation and Political Styles: Renewable Energy Consultations in the UK and Denmark,” *British Politics*, vol. 10, no. 2, 2015, pp. 454 ~ 474.

<sup>②</sup> F. Mey, M. Diesendorf, “Who Owns an Energy Transition? Strategic Action Fields and Community Wind Energy in Denmark,” *Energy Research & Social Science*, vol. 35, no. 3, 2017, pp. 108 ~ 117.

<sup>③</sup> L. Hirth, “The Market Value of Variable Renewables: The Effect of Solar Wind Power Variability on Their Relative Price,” *Energy Economics*, vol. 38, no. 3, 2013, pp. 218 ~ 236.

<sup>④</sup> A. D. Mills, T. Levin, R. Wiser, et al., “Impacts of Variable Renewable Energy on Wholesale Markets and Generating Assets in the United States: A Review of Expectations and Evidence,” *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, no. 1, 2020, pp. 1 ~ 20.

<sup>⑤</sup> 利基市场是在较大的细分市场中具有相似需求的一小群顾客所占有的市场空间。

<sup>⑥</sup> 在不饱和市场中,能源消费增量不受限制,能源消费总量非既定不变,将持续保持增长。



表1 基于服务视角的英国能源转型过渡信息<sup>①</sup>

替代过程	服务部门	关键因素与催化剂	从发现到主导的时间周期	从推广(政策推动)到主导的时间周期
木材-煤炭 (家庭部门)	加热	D: 能源价格; C: 发明	1500-1800年(300年)	1580-1800年(220年)
木材-煤炭 (钢铁行业)	加热	D: 能源价格; C: 发明、效率提升	1709-1790年(81年)	1750-1790年(40年)
木材-煤炭 (制造业)	加热	D: 能源价格; C: 发明	1300-1700年(400年)	1550-1700年(150年)
煤炭-天然气 (家庭部门)	加热	D: 更好的服务; C: 能源价格	1880-1975年(95年)	1920-1975年(55年)
马队-铁路	陆地交通	D: 更好的服务; C: 服务的价格	1804-1860年(56年)	1830-1960年(30年)
帆船-蒸汽船	海上交通	D: 更好和不同的服务; C: 效率提升	1815-1890年(75年)	1830-1890年(60年)
动物-蒸汽机	动力	D: 不同的服务; C: 效率提升	1710-1920年(210年)	1830-1920年(90年)
蒸汽机-电力	动力	D: 更好和不同的服务; C: 规模经济	1821-1950年(129年)	1920-1950年(30年)
蜡烛-天然气	照明	D: 更好和不同的服务; C: 能源价格、效率提升	1800-1850年(75年)	1810-1850年(40年)
蜡烛-煤油	照明	D: 能源价格; C: 发明	1850-1900年(50年)	1860-1900年(40年)
天然气-电力	照明	D: 更好的服务; C: 能源价格、效率提升	1810-1935年(125年)	1880-1935年(55年)

注: D表示转型的关键因素, C表示转型的催化剂。

情景(1)时如图2(a)第I象限所示,化石能源价格发生变化前后,消费者效用最大化的均衡点分别为c点和b点。当化石能源价格上升时,消费者对两种能源的消费量都有所降低,其中对化石能源的消费量从 $ON_1$ 减少到 $ON_2$ ,减少了 $N_1N_2$ 。根据斯勒茨基方程(Slutsky Equation)<sup>②</sup>,价格变化将产生替代效应和收入效应,通过作与预算线 $AB'$ 平行且与无差异曲线 $U_1$ 相切(切点为a)的补偿预算线 $l$ 区分替代效应与收入效应。替代效应显示,化石能源价格上升,消费者将增加对可再生能源的消费以替代化石能源,因而对化石能源的消费量会减少,化石能源的替代效应与价格呈反方向变动( $c \rightarrow a$ );收入效应显示,化石能源价格上升,表现为实际收入的减少,由于化石能源为劣等品,消费者反而会增加对化石能源的需求量,收入效应与价格呈同方向变动( $a \rightarrow b$ )。但整体看,对化石能源消费量而言,替代效应大于收入效应,此时消费者会减少化石能源的消费量( $c \rightarrow b$ )。而对可再生能源消费而言,化石能源价格上升时其替代效应小于收入效应,最终消费者对可再生能源的需求量也有所减少。

情景(2)下图示呈现在图2(a)中的第II象限。可再生能源价格发生变化前后,消费者效用最大化的均衡点分别为 $c'$ 点和 $b'$ 点,补偿预算线与无差异曲线 $U_2$ 的切点为 $a'$ 。当可再生能源价格下降时,作为正常品的可再生能源的替代效应与价格呈反方向变动( $c' \rightarrow a'$ ),收入效应也与价格呈反方向变动( $a' \rightarrow b'$ )。最终,可再生能源的消费总量增加,显示为 $c' \rightarrow b'$ 。而对于化石能源来说,收入效应和替代效应均会导致化石能源需求量减少。最终,可再生能源的价格下降将导致可再生能源消费量增加,而消费者会减少对化石能源的需求。

情景(3)时,化石能源价格上升的同时,可再生能源价格下降,在两种价格变动的叠加作用下,市场中能源消费者的行为决策为:与情景(1)和情景(2)相同的是,消费者减少化石能源的使用量,且会减少更多;不同的是,由于不饱和市场的假定,总能源消费量保持增长,那么在化石能源消费量减少的情况下,可再生能源消费量一定是增加的(表现为情景(2)产生的效应大于情景(1)产生的效应),且增加幅度大于化石能源减少的幅度。因此,整个能源消费市场中可再生能源消费增速大于能源消费总量的增速,最终表现为可再生能源的消费结构占比不断上升。

进一步拓宽微观视角,两类能源的不断替代将对行业产生影响,可以从产业商业化进程进行分析。价格在行业中以成本的形式体现,图2(b)展示了成本与可再生能源商业化进程的关系。<sup>③</sup> $MC^{RE}$ 表示可再生能源

① 资料来源: R. Fouquet, "The Slow Search for Solutions: Lessons from Historical Energy Transitions by Sector and Service," *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, 2010, pp. 6586-6596.

② 斯勒茨基方程将某商品价格变动所引起该商品需求量的变动区分为两部分,即替代效应和收入效应。

③ 宋辉《我国可再生能源供给的市场特征与激励机制研究》,博士学位论文,中国矿业大学管理学院,2011年,第25页。



的供给时间成本,在“干中学”的推进下,曲线呈现下降的趋势; $MC^{FE}$ 表示化石能源的供给时间成本,由于资源的有限性以及未来国家对环境质量要求的逐步提高,该成本曲线呈现不断上升趋势; $S$ 点表示资源配置达到最佳状态,两种能源的边际产出成本在此处达成一致。可再生能源的发展主要经历四个阶段:(1) $T_0 \rightarrow T_B$ 阶段,表现为 $MC^{RE} \gg MC^{FE}$ ,即可再生能源的价格远远高于化石能源的价格,此时可再生能源的供给边际成本超出了实际经济体可以承受的范围,可再生能源消费只能仅存在于小范围的“利基市场”内;(2) $T_B \rightarrow T_S$ 阶段,表现为 $MC^{RE} > MC^{FE}$ ,即可再生能源的价格高于化石能源价格,此时通过政府的激励及补贴等措施,可再生能源已经可以进入市场运作范围,原有的“利基市场”得以扩大;(3) $T_S \rightarrow T_F$ 阶段,表现为 $MC^{RE} \leq MC^{FE}$ ,即可再生能源价格小于等于化石能源的价格,此时在市场条件下可再生能源实现规模化经营,化石能源的部分市场被可再生能源挤占,面向可再生能源的转型进入成熟期,表现为可再生能源占总能源消费比重的显著增加;(4) $T_F \rightarrow T$ 阶段,表现为 $MC^{RE} \ll MC^{FE}$ ,可再生能源成为绝对主导能源,这可能需要很长一段时间也可能无法实现(表现为化石能源与可再生能源维持在固定的比例各自发挥作用),或出现新的与可再生能源竞争的能源,进入下一轮能源转型。值得一提的是,在第二阶段,也是当前全球可再生能源发展所处的实际阶段,要实现时点 $T_D$ 的可再生能源供给既定规模( $MC_D^{RE} - MC_D^{FE}$ )即是政府为实现可再生能源供给的激励价格。

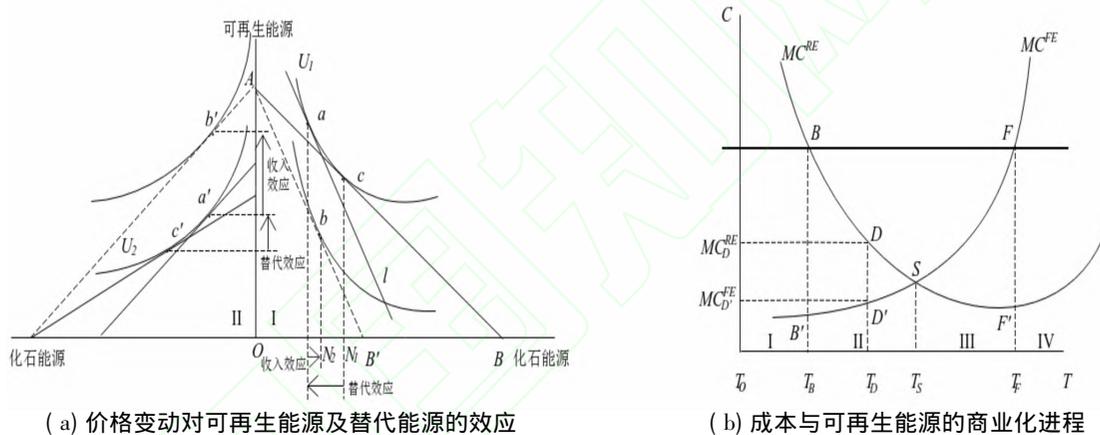


图2 价格在能源转型中的微观机制

#### 四、能源价格 CGE 模型的构建

##### 1. SAM 表构建及参数设定

(1) 宏观 SAM 表。SAM 表包括宏观 SAM 表和微观 SAM 表,宏观 SAM 表不但是 CGE 模型的数据基础,而且是微观 SAM 表进行总量控制的依据。2015 年投入产出表是本文宏观 SAM 表的主要数据来源,<sup>①</sup>SAM 表中的“活动”“商品”“要素”账户的数据可以从 2015 年投入产出表中获得,而税收、各项转移支付以及资本账户的数据来源则为《中国统计年鉴》《中国财政年鉴》、2015 年中国资金流量表和一些海关统计数据,另一些账户数据则是根据 SAM 表中的行列平衡原则计算得到。

(2) 微观 SAM 表及弹性参数标定。基于 2015 年中国投入产出表,经过对部门的拆分与合并,微观 SAM 表共分为 21 个部门,具体见表 2。其中,根据我国能源发展现状,将能源部门分为煤炭开采和洗选业、炼焦业、石油开采业、石油加工业、天然气开采业、燃气生产和供应业、火电、可再生能源行业,共 8 个部门。CGE 模型中参

<sup>①</sup> 国家统计局已于 2019 年将投入产出表更新至 2017 年,但本文仍采用 2015 年中国投入产出表,主要是出于两方面考虑:一是本文主要研究各产业部门能源投入的动态替代关系,并不拘泥于具体数值,而中国 2015 年与 2017 年各部门的产值比重并未发生显著变化;二是 2017 年数据为延长表,需要进行各行业部门的合并,因合并参数当前存在争议,容易造成计算误差。



数包括生产要素替代弹性参数、Armington 替代弹性参数和常数替代弹性( CES) 参数 根据已有研究设定替代弹性。<sup>①</sup> 其中, 要素与中间投入替代弹性参数为 0.6, 资本 - 能源与劳动之间的替代弹性参数为 0.8, 资本与能源之间的替代弹性参数为 0.6, 化石能源与电力之间的替代弹性参数为 1.2, 火电与可再生能源的替代弹性参数为 2。

## 2. 模块设置

本文建立的 CGE 模型共包含 7 个模块, 分别为生产模块、贸易模块、居民模块、企业模块、政府模块、社会福利模块和均衡模块, 其中生产模块将生产函数分为 7 层次嵌套, 贸易模块采用恒转换函数( CET) 形式, 居民消费函数采用希克斯函数。均衡模块中包括国际收支平衡、储蓄投资平衡、产品市场均衡、劳动力市场均衡和资本市场均衡。限于篇幅, 这里仅介绍价格模块的设置。<sup>②</sup>

价格模块。与生产模块相对应, 价格模块层级设置与生产模块相同, 由部门逐级合成。能源价格波动影响能源产品投入, 通过不同能源之间的替代效应对可再生能源产生影响, 本模型将能源分为化石能源和电力能源, 化石能源分为煤炭和油气, 煤炭分为原煤和焦炭, 油气分为石油和天然气, 石油分为原油和成品油, 天然气分为天然气开采和燃气, 电力分为火电和可再生能源。对于煤炭和油气合成, 总成本为:

$$C = \frac{1}{A} (\delta_{coal}^{\varepsilon_{fos}} PE_{coal_i}^{1-\varepsilon_{fos}} + \delta_{pg}^{\varepsilon_{fos}} PE_{pg_i}^{1-\varepsilon_{fos}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{fos}}} \cdot q \quad (1)$$

在规模报酬不变的情况下, 厂商在边际成本等于边际收益的产量上进行生产, 由此得到:

$$PE_{fos_i} = (\delta_{coal}^{\varepsilon_{fos}} PE_{coal_i}^{1-\varepsilon_{fos}} + \delta_{pg}^{\varepsilon_{fos}} PE_{pg_i}^{1-\varepsilon_{fos}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{fos}}} \quad (2)$$

那么, 煤炭与焦炭合成、原油与成品油合成、天然气与燃气合成、火电与可再生能源合成的价格分别为:

$$PE_{coal_i} = (\delta_{coalm}^{\varepsilon_{coal}} PE_{coalm_i}^{1-\varepsilon_{coal}} + \delta_{coking}^{\varepsilon_{coal}} PE_{coking_i}^{1-\varepsilon_{coal}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{coal}}} \quad (3)$$

$$PE_{petr_i} = (\delta_{petrm}^{\varepsilon_{petr}} PE_{petrm_i}^{1-\varepsilon_{petr}} + \delta_{petrp}^{\varepsilon_{petr}} PE_{petrp_i}^{1-\varepsilon_{petr}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{petr}}} \quad (4)$$

$$PE_{gas_i} = (\delta_{gasm}^{\varepsilon_{gas}} PE_{gasm_i}^{1-\varepsilon_{gas}} + \delta_{gasp}^{\varepsilon_{gas}} PE_{gasp_i}^{1-\varepsilon_{gas}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{gas}}} \quad (5)$$

$$PE_{pow_i} = (\delta_{fipow}^{\varepsilon_{pow}} PE_{fipow_i}^{1-\varepsilon_{pow}} + \delta_{clpow}^{\varepsilon_{pow}} PE_{clpow_i}^{1-\varepsilon_{pow}})^{\frac{1}{1-\varepsilon_{pow}}} \quad (6)$$

其中  $PE_{fos_i}$ 、 $PE_{coal_i}$ 、 $PE_{petr_i}$ 、 $PE_{gas_i}$ 、 $PE_{pow_i}$ 、 $PE_{pg_i}$  分别为煤炭与油气合成价格、煤炭与焦炭合成价格、原油与成品油合成价格、天然气与燃气合成价格、火电与可再生能源合成价格、石油与天然气合成价格,  $PE_{coalm_i}$ 、 $PE_{coking_i}$ 、 $PE_{petrm_i}$ 、 $PE_{petrp_i}$ 、 $PE_{gasm_i}$ 、 $PE_{gasp_i}$ 、 $PE_{fipow_i}$ 、 $PE_{clpow_i}$  分别表示煤炭、焦炭、原油、成品油、天然气、燃气、火电和可再生能源的价格。

## 五、能源价格波动对能源转型的影响

本文利用 GAMS 软件模拟能源价格相对于基期价格分别上升 5%、10% 情境, 在居民效用( EV) 最大化的情况下分析能源价格上涨对可再生能源投入及行业消费占比的影响。本文的贡献在于将能源的价格市场分为两种情景: 一是市场机制下的价格变动; 二是政府管制下的价格变动。根据我国能源价格市场化现状, 即一次能源( 煤炭、原油、天然气) 基本实现市场化, 二次能源( 火电、成品油、燃气) 在不同程度上受政府管制, 在模型设置中: 在市场机制下, 将二次能源价格设置为内生变量, 模拟市场机制下一次能源价格波动

① 郭正权《基于 CGE 模型的我国低碳经济发展政策模拟分析》, 博士学位论文, 中国矿业大学管理学院, 2008 年, 第 66 ~ 73 页; Q. Bao, L. Tang, Z. X. Zhang, "Impacts of Border Carbon Adjustments on China's Sectoral Emission: Simulations with A Dynamic Computable General Equilibrium Model," *China Economic Review*, vol. 24, no. 1, 2013, pp. 77 ~ 94.

② 详参张欣《可计算一般均衡模型的基本原理与编程》, 格致出版社, 2017 年, 第 25 ~ 28 页。



对能源结构的影响;在政府管制下,将二次能源价格设置为外生变量,模拟政府管制下一次能源价格波动和二次能源价格波动对能源结构的影响。

### 1. 能源价格波动对中国能源转型的行业效应

(1) 煤炭价格的影响。煤炭作为我国的基础能源,一直在经济社会发展中发挥重要作用,煤炭行业作为我国的上游产业,其价格波动所产生的收入效应和替代效应不仅对其他能源行业产生影响,同时也会对整个经济产生重要影响。当前,我国煤炭市场已基本实现市场定价,但是火电作为煤炭产业链最重要的上游部门,其价格在一定程度上仍受政府管制,全面性的煤炭市场并未形成,因此,本文从火电价格政府管制和市场机制两个角度研究煤炭价格波动对可再生能源消费的影响。

由于煤炭价格上涨产生收入效应,导致企业实际收入减少,从而会降低煤炭的消费份额。另一方面,煤炭价格上涨产生替代效应,导致可再生能源相对“便宜”,从而增加可再生能源的消费份额,促进可再生能源的发展。因此,受收入效应和替代效应的综合影响,煤炭价格上涨导致化石能源投入减少。从市场机制进行分析,由表2第2列可知,煤炭价格上涨5%,煤炭产业链的上游部门(金属冶炼业、非金属矿物业、火电业)所受综合效应影响显著,<sup>①</sup>冲击最大,表现为化石能源投入变动幅度依次为-1.5249%、-1.4904%、-1.2934%;产业链中间部门(机械制造业、化学工业)受影响较小,化石能源投入变动幅度依次为-1.1533%、-0.8096%;而产业链的下游部门(农林牧渔业、服务业)受影响最小,<sup>②</sup>化石能源投入变动幅度依次为-0.7166%、-0.7326%。

表2 煤炭价格上涨对各部门能源投入的影响(单位:%)

行 业	火电价格市场机制				火电价格政府管制			
	化石能源		可再生能源		化石能源		可再生能源	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
农林牧渔业	-0.7166	-1.4195	0.5835	1.1026	-0.1564	-0.3304	0.1168	0.1918
其他开采业	-1.0132	-1.9929	1.3400	2.6276	-0.3301	-0.6670	0.1740	0.3090
食品及烟草业	-1.0406	-2.0433	1.0203	1.9568	-0.4943	-0.9853	0.4609	0.8610
纺织制品业	-0.7201	-1.4219	1.3628	2.6333	-0.2535	-0.5167	0.7212	1.3722
木材与造纸业	-1.2141	-2.3773	1.0280	1.9714	-0.6333	-1.2535	0.4810	0.9008
化学工业	-0.8096	-1.5976	0.6716	1.2739	-0.4761	-0.9514	0.3623	0.6718
非金属矿物业	-1.4904	-2.9050	1.5462	2.9901	-1.1496	-2.2517	1.2363	2.3854
金属冶炼业	-1.5249	-2.9729	1.1942	2.2983	-1.0893	-2.1351	0.8327	1.5924
机械制造业	-1.1533	-2.2627	1.5626	2.0414	-0.5078	-1.0116	0.7304	1.1438
通讯、仪表业	-0.6564	-1.3060	1.0545	2.0219	-0.1173	-0.2558	0.4094	0.7590
建筑业	-0.8342	-1.6485	1.2388	2.4281	-0.3883	-0.7834	0.5918	1.1242
交通与邮政业	-0.4944	-0.9892	0.6917	1.1389	-0.3203	-0.6503	0.4797	0.8857
服务业	-0.7326	-1.4500	0.5767	1.0895	-0.2252	-0.4639	0.1050	0.1692
煤炭和洗选业	-1.1448	-2.3327	3.7012	7.1839	-0.8543	-1.6949	3.1495	6.0886
炼焦业	-3.0910	-5.9162	1.5049	2.9484	-2.2267	-4.1856	1.1147	2.1867
石油开采业	0.2046	0.3632	1.2057	2.3222	0.3250	0.6168	0.5235	0.9850
石油加工业	0.1838	0.3272	0.6152	1.1659	0.3033	0.5711	0.3003	0.5526
天然气开采业	0.2007	0.3556	1.2098	2.3300	0.3294	0.6253	0.5279	0.9935
燃气生产业	-0.2022	-0.4210	0.6242	1.1831	-0.3449	-0.7055	0.3409	0.6296
火电	-1.2934	-2.5327	1.6730	3.2362	-0.8562	-1.6843	1.1030	2.1208
可再生能源业	0	0	0.9882	1.9903	0	0	0.4006	0.7885

<sup>①</sup> 表2显示,炼焦业的变化最为显著,炼焦业对应煤炭中的焦煤(煤炭按照功能可分为动力煤、烟煤、焦煤和褐煤),由于焦炭仅占煤炭的一小部分(同时炼焦业在国民经济中所占比例较小),且在一定程度上炼焦业同属于煤炭行业,因此,未将其列示为煤炭产业链代表性上游部门。

<sup>②</sup> 表2显示,除石油开采业、石油加工业、天然气开采业等煤炭产业链行业外,燃气生产业的变化最小,由于燃气生产业属于能源产业部门的一种,燃气不仅可以由天然气直接生产得到,还可以由煤炭和石油在开采过程中产生,例如,煤炭开采过程中伴生的瓦斯气体、煤层气等均可以当作燃气。因此,燃气生产业不能视为严格意义上的煤炭产业链下游部门。



由表2第4列可知,煤炭价格上涨5%导致可再生能源相对价格下降,替代效应发挥重要作用,可再生能源投入增加幅度最多的行业依次为煤炭和洗选业、火电业、机械设各业、非金属矿物业、炼焦业,变动幅度依次为3.7012%、1.6730%、1.5626%、1.5462%、1.5049%。煤炭价格上涨10%,化石能源和可再生能源投入的变动幅度约提升为原来的2倍。而从替代效应视角,观察可再生能源占比的变动幅度,由表3第4列可知,煤炭价格上涨5%时,除可再生能源业外,增加幅度最多的行业依次为火电、其他开采业、化学工业、金属冶炼业、炼焦业、木材与造纸业,变动幅度依次为16.9599%、15.8739%、14.4679%、13.7249%、11.9719%、11.8339%。可以看到,市场机制视角下,煤炭价格上涨对传统高耗能部门的能源转型作用明显。从政府管制视角分析,相较于市场机制,火电价格政府管制严重地弱化了煤炭价格变动所产生的替代效应,面向可再生能源的能源转型受到较大影响。也可以进一步看到,火电作为终端能源,其影响远高于煤炭的价格波动。

综上所述,煤炭价格对能源结构的影响主要集中于煤炭产业链中下游行业,且集中于传统行业,对服务业及以石油为基础的现代工业影响较小。因此,推动传统行业的能源转型,煤炭及其对应的火电价格改革至关重要。

表3 煤炭价格波动对各部门可再生能源占比及变动幅度的影响(单位:%)

行 业	火电价格市场机制				火电价格政府管制			
	所占比例		增长幅度		所占比例		增长幅度	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
农林牧渔业	13.1638	13.9982	8.7916	15.6872	12.1414	12.8785	3.3423	6.4336
其他开采业	14.0207	15.3868	15.8739	27.1636	12.9000	13.3943	6.6112	10.6969
食品及烟草业	12.7346	13.2003	5.2449	9.0932	12.2818	12.5219	1.4552	3.4869
纺织制品业	12.8314	13.7286	6.0449	13.4592	12.5739	13.0251	3.9169	7.6452
木材与造纸业	13.5319	14.2229	11.8339	17.5442	12.8378	13.4958	6.0972	11.5356
化学工业	13.8506	15.0231	14.4679	24.1576	12.9396	13.7336	6.9389	13.5006
非金属矿物业	13.3610	13.6256	10.4216	12.6082	12.6750	12.9270	4.7522	6.8349
金属冶炼业	13.7607	14.6922	13.7249	21.4229	12.9154	13.6009	6.7392	12.4042
机械设各业	13.1233	13.7987	8.4569	14.0386	12.4870	12.8479	3.1982	6.1809
通讯、仪表业	12.7346	13.0618	5.2449	7.9489	12.5605	12.7934	3.8059	5.7306
建筑业	12.7879	13.4247	5.6849	10.9479	12.5325	12.7356	3.5742	5.2532
交通与邮政业	12.5522	13.5757	3.7369	12.1962	12.4290	12.7182	2.7189	5.1089
服务业	12.3976	12.6192	2.4592	4.2909	12.4623	12.7944	2.9942	5.7386
煤炭和洗选业	13.1090	14.0920	8.3392	16.4629	13.1649	14.0434	8.8006	16.0612
炼焦业	13.5486	14.1228	11.9719	16.7176	12.9766	13.7270	7.2446	13.4466
石油开采业	12.5448	13.0797	3.6762	8.0969	12.3394	12.5684	1.9789	3.8712
石油加工业	12.8981	13.4602	6.5962	11.2412	12.3148	12.5274	1.7756	3.5326
天然气开采业	12.5800	13.1249	3.9672	8.4702	12.4536	12.8535	2.9226	6.2269
燃气生产业	12.8028	13.5054	5.8082	11.6146	12.5467	12.8125	3.6919	5.8882
火电	14.1521	15.4554	16.9599	27.7309	13.4284	14.6697	10.9789	21.2369
可再生能源业	33.7471	39.2563	21.7674	34.2353	26.8783	34.8825	13.0434	25.6733

(2) 原油价格的影响。从当前形势看,由于现代社会对石油高度依赖,石油在世界各国均具有重要的战略价值。石油不仅是世界上最大宗的国际贸易商品,而且其金融属性越来越浓烈。我国原油市场已基本实现与国际市场的充分接轨,但是成品油市场仍然采取市场指导价,按照与国际油价比值确定调节窗口,因此,本文模拟在成品油价格市场机制和政府管制下原油价格波动对可再生能源消费及化石能源投入的影响。

由图3可知,整体看,煤炭价格上涨对可再生能源占比变动的影响要远高于原油价格变动,原油价格变动产生影响高于煤炭价格变动影响的行业主要集中于天然气相关行业(燃气生产业、天然气开采业),石油相关行业(石油加工业、石油开采业),交通与邮政业、服务业以及通讯、仪表业。这进一步说明,煤炭价格对



行业能源转型的影响主要集中于传统行业,原油价格的影响则更侧重于现代行业。

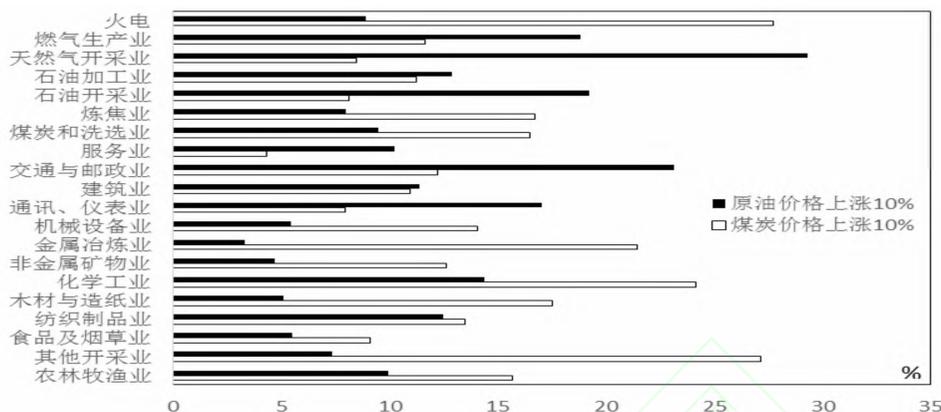


图3 市场机制下原油价格和煤炭价格分别上涨10%时各部门可再生能源占比变动

从化石能源投入变动视角<sup>①</sup>分析,整体看,煤炭价格上涨对化石能源投入的影响要远大于原油价格上涨,且大多数行业的化石能源投入呈现减少趋势。但由于替代效应的存在,原油价格上涨不仅会使可再生能源消费增加,还会使天然气、煤炭的消费增加,可能使相关行业的总效应显示为正。因此,火电、天然气开采业的化石能源投入有所增加;而煤炭价格上涨所带来的替代效应,同时也会使原油、天然气的消费增加,表现为天然气开采业、石油加工业、石油开采业的化石能源投入有所增加。此外,从市场机制与政府管制<sup>②</sup>的效应对比看,市场机制下的价格波动影响高于政府管制下的影响。在所有产业部门中,交通运输业作为原油最重要的下游产业部门,其受原油价格波动影响最大。市场机制下,原油价格上涨10%,交通与邮政业受收入效应影响显著,表现为化石能源投入下降1.61%,但是在成品油受政府管制时,仅下降0.08%。就可再生能源而言,在市场机制下,当原油价格上涨10%时,可再生能源相对价格下降,产生替代效应,交通与邮政业的可再生能源消费占比增加23.15%,而在政府管制下,占比仅增加10.59%。

综上所述,煤炭价格变动的影响最大且最为广泛,然而,从面向可再生能源的行业转型来说,由图3知,原油价格变动的影响对于现代行业(服务业、交通与邮政业、通讯及仪表业)则起到更为关键性的作用。

(3) 天然气及燃气价格的影响。在环境污染的压力下,天然气作为化石能源中比较清洁的能源,近年来被大量开采利用。燃气作为天然气和石油的加工品,对居民生活和交通具有重要影响,因此,燃气价格仍在一定程度上受政府管制。本文模拟燃气价格在市场机制和政府管制下天然气价格波动对可再生能源消费的影响。天然气作为我国能源消费占比最低的一个化石能源部门,其价格波动虽然对各个产业部门的化石能源和可再生能源消费产生影响,但这种影响与煤炭和原油相比,效应要小很多。由图4可知,本文选取的代表性行业——化学工业、非金属矿物业、通讯及仪表业、建筑业、交通与邮政业、服务业以及石油加工业中,在市场机制下,煤炭、原油价格上涨对可再生能源投入的影响均高于天然气价格的影响。从市场机制和政府管制<sup>③</sup>对比看,燃气受政府管制对天然气价格波动向下游产业链的传导影响不大。可能的原因在于,中国工业部门主要是对天然气的消费,燃气消费主要集中在居民部门,因此,政府管制下,天然气价格波动对行业能源转型的影响不大。

(4) 成品油价格的影响。本文模拟成品油在市场机制下其价格波动对可再生能源消费的影响。成品油作为终端能源,其价格波动能够顺利传导到下游产业部门,对各个产业部门的影响要比原油大得多。由图4可知,在选取的代表性行业中,除非金属矿物业、石油加工业外,市场机制下成品油价格上涨10%对其余五

① 限于篇幅,市场机制下原油价格和煤炭价格分别上涨10%引发的化石能源投入变化情况未列示,备索。

② 限于篇幅,政府管制下的石油价格影响结果未列示,备索。

③ 限于篇幅,政府管制下的天然气价格影响结果未列示,备索。



个行业的影响均较为显著,特别是交通邮政业,对成品油价格的敏感性较大,高于其对其他能源的敏感性。

与原油相比,成品油更加靠近产业链终端,因此,成品油价格上涨对各个产业部门的影响较大。成品油影响下游产业部门主要通过两个途径:一是成品油-化学工业,进而推动建筑业、木材与造纸业等产业部门价格上涨,最后对服务业、农林牧渔业也会产生影响;二是成品油-交通运输业,特别是汽车的主要原料为成品油,成品油对交通运输业冲击最大。对煤炭和天然气而言,天然气比煤炭更容易形成对成品油的替代,因此,成品油价格上涨导致的天然气替代效应大于煤炭的替代效应。

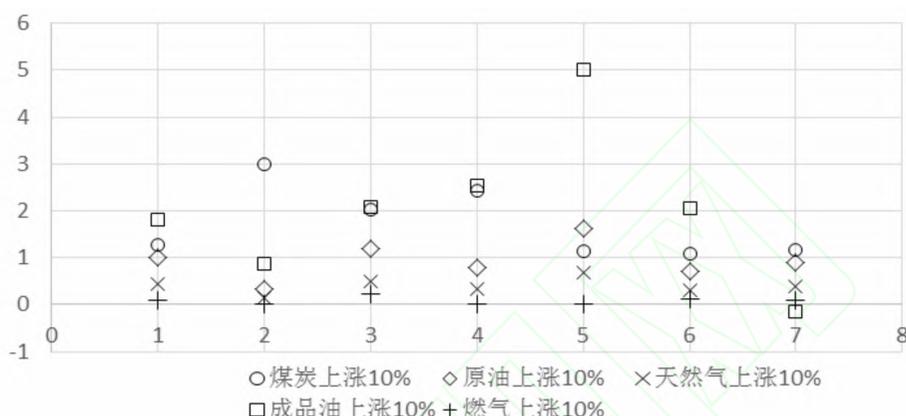


图4 市场机制下主要部门可再生能源投入对能源价格上涨的反应

注:横坐标轴上的1~7依次代表化学工业、非金属矿物业、通讯及仪表业、建筑业、交通与邮政业、服务业、石油加工业。

## 2. 能源价格波动对中国能源转型的总效应

在市场机制下,由表4可知,煤炭、成品油价格上涨对能源结构产生的总效应最大。由表4第4行可知,煤炭价格上涨5%,由于收入效应和替代效应的作用,消费者会改变煤炭与其他能源的购买量,表现为石油与可再生能源占比有较大增幅,二者相较于实际值均高出0.2个百分点,天然气占比则增加了0.05个百分点;由表4第5行可知,原油价格上涨5%,其影响表现为煤炭占比的增幅较大,相较于实际值高出0.21个百分点,天然气与可再生能源的占比分别增加0.02和0.04个百分点;由表4第6行可知,天然气价格上涨5%,其影响表现为煤炭与石油占比的增幅较大,相较于实际值分别高出0.16和0.15个百分点,可再生能源占比则增加了0.05个百分点;由表4第7行可知,成品油价格上涨5%,其影响表现为煤炭占比有较大增幅,相较于实际值高出0.65个百分点,天然气与可再生能源的占比分别增加了0.07和0.12个百分点;由表4第8行可知,燃气价格上涨5%,煤炭、石油占比均未发生变化,可再生能源占比增加了约0.04个百分点。为了进一步验证分析结果的稳健性,本文基于2012年SAM表进行分析研究,同样发现,市场机制下,煤炭、成品油价格上涨对可再生能源占比的影响较大,详见表4。

综上所述,整体看,一次能源(原油、天然气)价格波动的效应小于终端能源(成品油、燃气)。在市场中,一次能源处在上游,价格通过产业链进行传导的过程中发生损耗,对能源结构的影响小于终端能源价格波动。值得关注的是,虽然煤炭属于一次能源,但其价格上涨的效应仍然高于其他二次能源,主要原因在于中国特殊的能源赋存结构,当前我国能源消费中煤炭所占的比重仍然较大,至“十四五”规划末期,煤炭比重仍会维持在50%以上。<sup>①</sup>火电作为我国煤炭产业链最主要的上游部门,煤炭价格的变动会使火电价格发生较大波动,同时,火电与可再生能源在电力行业中属于竞争关系,因此,煤炭价格变动对可再生能源的影响最大。从总效应看,价格上涨在能源结构调整中虽然从目前看作用甚微,但是确实使能源结构发生了变化,在这种细微影响的累积推进下,可再生能源成本竞争力将不断提升,原有“利基市场”不断扩大,进而逐渐推进整个国家的能源转型。

<sup>①</sup> 谢和平、吴立新、郑德志《2025年中国能源消费及煤炭需求预测》,《煤炭学报》2019年第7期。

表 4 能源价格变动对中国能源结构的影响

	类别	煤炭	石油	天然气	可再生能源
2015 SAM 表	总消费量(万吨标煤)	273849.49	78672.62	25364.40	52018.51
	实际占比(%)	63.70	18.30	5.90	12.10
	煤炭价格上涨 5% 时占比(%)	63.25	18.50	5.95	12.30
	原油价格上涨 5% 时占比(%)	63.91	18.03	5.92	12.14
	天然气价格上涨 5% 时占比(%)	63.86	18.45	5.56	12.13
	成品油价格上涨 5% 时占比(%)	64.35	17.47	5.97	12.22
	燃气价格上涨 5% 时占比(%)	63.70	18.30	5.85	12.14
2012 SAM 表	总消费量(万吨标煤)	249568.40	62752.75	14425.92	33900.91
	实际占比(%)	69.20	17.40	4.00	9.40
	煤炭价格上涨 5% 时占比(%)	68.75	17.60	4.05	9.60
	原油价格上涨 5% 时占比(%)	69.41	17.13	4.02	9.44
	天然气价格上涨 5% 时占比(%)	69.36	17.55	3.66	9.43
	成品油价格上涨 5% 时占比(%)	69.85	16.57	4.07	9.52
	燃气价格上涨 5% 时占比(%)	69.20	17.40	3.95	9.44

注: 因核能占比较小, 将其归入可再生能源占比内; 能源价格变动为市场机制下上涨 5%。

#### 六、进一步讨论: 新冠疫情下能源价格波动对可再生能源的影响

受新冠疫情影响, 能源价格均呈现下降趋势, 表现为: (1) 地缘政治因素叠加全球疫情, 导致原油供给相对过剩而需求却快速下滑, 全球石油价格延续下降势头且“极端油价”预期持续走强;<sup>①</sup> (2) 煤矿快速复工复产与下游产业需求增长缓慢形成供需矛盾, 国内煤炭价格出现短期下降, 长期随着经济恢复有望回升; (3) 受国际疫情和国内经济整体下行影响, 国内电力交易价格短期下降明显, 新基建或将电力价格拉到正常水平。现有研究显示, 尽管能源价格上涨, 特别是油价对经济增长具有显著负面影响, 但能源价格下跌并不会导致经济扩张, 对制造业就业及汇率将产生明显的负向冲击, 以中低端产业为主的制造业国家可能面临严峻考验。<sup>②</sup>

疫情对能源供需的影响通常为短期间接效应, 但存在长期效应风险。疫情对能源供需造成的冲击一般是间接的, 作用机制表现为疫情通过影响以能源为生产原材料的产业以及能源作为燃料的产业(如交通运输等), 这些产业的供需对能源供需造成直接的影响。<sup>③</sup> 在疫情爆发期间, 由于控制疫情的需要, 企业的生产会受到停工的影响, 企业产量必然下降, 因此对能源的需求也会减少。同时由于交通管制存在, 交通运输流量会较平时有较大的下降, 燃料的需求也会减少。一旦疫情结束, 对能源的需求会快速恢复。当前, 疫情已在全球范围内扩散且尚未得到有效控制, 对能源供需造成的冲击预期将转换为直接的、长期的影响, 必须通过国际合作与对话加以克服。<sup>④</sup>

<sup>①</sup> J. Richardson, “The Coronavirus: Petrochemicals’ Perfect Storm,” *The Oxford Institute for Energy Studies*, 2020, <https://www.oxfordenergy.org/publications/the-coronavirus-petrochemicals-perfect-storm/?v=79cba1185463>.

<sup>②</sup> 联合国开发计划署驻华代表处《新冠肺炎疫情对中国企业影响评估报告》2020年4月。

<sup>③</sup> 国网能源研究院专题研究小组《新冠肺炎疫情对我国能源行业影响初探》,《电力决策与舆情参考》2020年第5、6期。

<sup>④</sup> IEF Insight Brief, “The Impact of COVID-19 on Energy Market Stability,” *International Energy Forum*, 2020, [https://www.ief.org/\\_resources/files/comparative-analysis/ief-insight-brief-the-impact-of-covid-19-on-energy-market-stability.pdf](https://www.ief.org/_resources/files/comparative-analysis/ief-insight-brief-the-impact-of-covid-19-on-energy-market-stability.pdf).



根据微观机制及实证研究得到,化石能源价格上涨将产生收入及替代效应,使可再生能源相对价格降低,各行业将增加可再生能源消费,减少化石能源消费,进而有利于可再生能源发展;反之,化石能源价格下降,将导致可再生能源相对价格升高,由于可再生能源仍处于需要政府补贴来维持与化石能源“正面竞争”的发展阶段,价格上涨将使原有的“利基市场”难以维持,可再生能源消费将面临下滑风险。当前,成本下降和强有力的政策激励使可再生能源投资更具吸引力,但受新冠疫情影响,可再生能源发展将面临严峻挑战:一是中国是全球最大的太阳能设备制造业经济体之一,供应链中断将导致已有投资项目延误或面临严重损失;二是“负油价”将显著降低可再生能源竞争力,叠加疫情造成的项目审批延迟,短期内投资可再生能源面临成本上升的严峻挑战,尤其是受中小投资者青睐的分布式太阳能光伏项目可能遭受巨大冲击。

### 七、结论与建议

价格在能源转型中发挥重要作用已经在历史上被不断证实。通过历史观察得到,价格在涉及照明、加热部门的能源转型过程中发挥关键性作用或催化剂作用,而在涉及交通及动力部门,价格的作用相对减弱,更为优质的服务是转型的关键。能源转型的过程可大致分为三个阶段:(1)在能源转型初期,可再生能源的价格要远高于化石能源,可再生能源消费仅存在于小范围的“利基市场”;(2)随着可再生能源技术效率的不断提高及政府政策的倾斜,可再生能源价格呈下降趋势,原有“利基市场”得以扩大,这一时期,虽然可以进入市场运作范围,但仍然无法全面实现与化石能源的“正面竞争”,当前,面向可再生能源的转型仍处于这一阶段;(3)只有当可再生能源价格进入小于或等于化石能源价格阶段,能源转型才逐步进入成熟期,表现为可再生能源占总能源消费比重的显著增加。

本文通过构建能源价格的CGE模型分析价格波动对中国可再生能源消费的影响,得到以下结论:(1)从结构效应看,煤炭价格上涨影响最大且主要集中于传统行业的能源转型,石油价格上涨主要集中于交通业及现代工业;(2)从总效应看,一次能源价格波动的影响小于终端能源。在市场中,一次能源(煤炭、原油和天然气)处在上游,其产业链传导需要经过终端能源,价格的影响发生损耗,对可再生能源和经济的影响小于终端能源价格波动;(3)政府管制在很大程度上弱化了能源价格波动的传导效应,化石能源价格上涨时期,市场机制更利于面向清洁能源的转型,而化石能源价格下跌时期,特别是非正常下跌导致“极端”价格情境下,适当的政府管制及政策激励可能更利于持续推进能源转型。

综上所述,结合历史经验及基于中国的实证分析得到:(1)当前,可再生能源仍然无法完全实现与化石能源的“正面竞争”,因此,政府仍然需要对可再生能源进行直接或间接的价格补贴,才能够持续推进可再生能源发展;(2)化石能源价格下跌,特别是石油价格跌至负值的极端情境下,将导致可再生能源相对价格上涨,成本竞争力存在下降风险,不利于可再生能源发展,因此,在化石能源价格暴跌时期,政府应适当加强价格管制,弱化能源价格的传导效应,如此方有利于面向可再生能源的转型;(3)新冠肺炎疫情下,政府应采取更为积极的激励措施,推动可再生能源项目的投资和发展,使短期政策行为与中长期能源规划目标相一致。特别地,将刺激政策与资金精准用于尚未商业化但具有显著降低成本潜力的可再生能源技术(例如,浮动式风力发电技术、海洋能发电技术,等等),显得至关重要。

作者单位:马丽梅,深圳大学中国经济特区研究中心;史丹,中国社会科学院工业经济研究所;高志远,北京石油化工学院经济管理学院  
责任编辑:牛泽东

