

# 收入增长与家庭能源消费阶梯

——基于中国农村家庭能源消费调查数据的再检验

吴施美 郑新业\*

**摘要** 本文利用中国家庭能源消费调查 (CRECS) 数据考察了中国农村家庭的能源阶梯问题。研究发现家庭用能品种会随着收入提升呈现倒 U 形趋势, 并且收入增长会助力于家庭的能源转型。其中, 炊事用途随着收入增长能自发地进行能源升级, 而“煤改电”政策则限制了收入效应在优化用能结构上的作用。考虑到中国的能源价格黏性, 决策者应杜绝“一刀切”式的能源替代政策, 将提高能源可支付性的重点放在收入增长上, 加强效率瞄准, 聚焦于贫困地区和低收入人群上。

**关键词** 能源阶梯, 家庭能源消费, “煤改电”政策

**DOI:** 10.13821/j.cnki.ceq.2022.01.03

## 一、前言

农村家庭能源消费是我国能源需求的重要组成部分。1980—2018 年间, 农村人均能源消费量从 60 公斤标准煤上升至 434 公斤标准煤, 增长了 7.2 倍。伴随着能源消费量的快速上涨, 中国农村家庭能源消费模式也发生了巨大的变化, 但不充分不平衡现象仍然存在。在结构维度上, 能源消费选择品种日益多元化, 用能模式有所改善, 但仍未完全摆脱薪柴和散煤等传统固体燃料。在空间维度上, 地区间用能结构存在差异。东部地区传统固体燃料的使用率不超过 30%, 且燃气使用率接近 70%; 而东北地区使用柴草燃料的家庭比例高达 84.5%, 使用燃气的比重仅 20.3%, 西部地区亦是如此。<sup>1</sup>

家庭能源消费结构的不合理直接影响居民福利。一方面, 劣质能源的使用会加重经济贫困 (Pachauri and Spreng, 2004)。贫困人群为了获得最基本

\* 吴施美, 湖南大学经济与贸易学院; 郑新业, 中国人民大学应用经济学院。通信作者及地址: 郑新业, 北京市海淀区中关村大街 59 号, 100872; 电话: (010) 82500378; E-mail: zhengxinye@ruc.edu.cn。作者感谢国家自然科学基金项目 (7210031035、72141308、71774165) 和湖南省自然科学基金项目 (2021JJ40139) 对本文的资助。作者特别感谢匿名审稿人的有益建议和编辑老师的帮助。作者为可能的错误和遗漏负责。

<sup>1</sup> 数据来源:《第三次全国农业普查主要数据公报》。

的能源需求,往往需要耗费大量的时间收集秸秆和薪柴。这挤占了贫困户本该用于劳动生产的时间,也耽误了儿童本该用于接受教育的时间和精力。物质资本积累和人力资本积累的双重受限制约了贫困人群收入水平的提高,导致能源贫困和经济贫困的恶性循环(Liddell and Morris, 2010)。另一方面,家庭能源消费结构不合理还会对环境、气候和居民健康问题带来严重威胁(WHO, 2014; Zhang *et al.*, 2013)。WHO (2016)估计2012年中国有430万的过早死亡是由于固体燃料的低效使用所带来的室内空气污染。可见,促进农村家庭能源转型不仅是实现中国能源转型的重要命题,也是提升居民生活水平、加快农村经济发展、缩小城乡差距的客观需要。因而,研究农村家庭的能源消费转型具有重要意义。

为了加快我国农村地区能源转型和环境治理,我国北方在供暖季实施了散煤治理政策。从政策的实施效果来看,政策干预虽然有效改善了环境质量(Wu *et al.*, 2020),但气荒引致的气价上涨,使得家庭对优质能源支出的承受力不足,这给政策制定者带来了巨大的挑战。目前,中国农村地区经济发展水平还较为落后,尽管政府给予了大量的设备购置补贴和用能补贴,但这并不能完全覆盖农村家庭的用能支出,多数家庭仍无力支付高昂的用能成本。在这种困境之下,厘清中国农村家庭能源转型的客观规律显得尤为重要。

一般而言,优质能源价格较高,这加剧了能源转型的难度。在中国社会经济快速发展,而能源价格存在黏性的情况下,考察收入变化对能源选择的影响十分必要。图1显示,随着收入的不断增高,中国城镇人均煤炭消费量呈现下降趋势,而用电量则逐步攀升。<sup>2</sup>这在一定程度上说明了城镇居民用能结

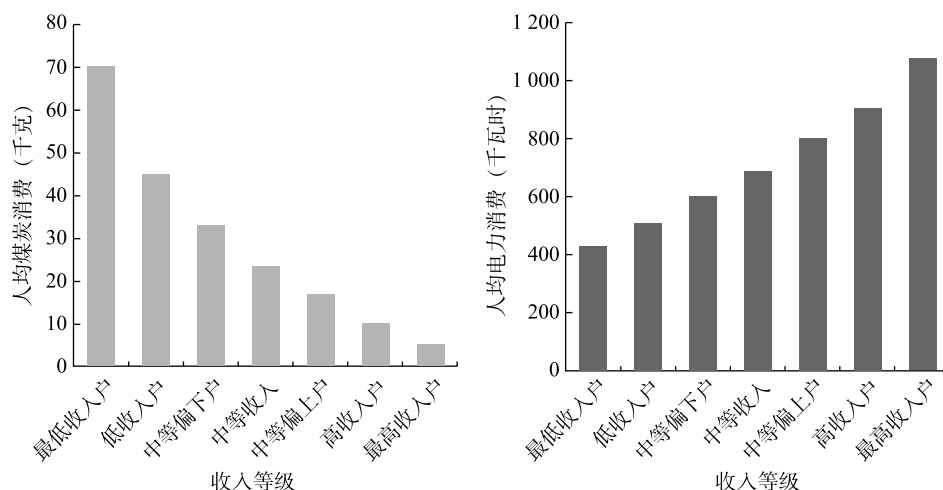


图1 2011年中国城镇居民按收入等级用煤量与用电量

数据来源:《2012中国城市(镇)生活与价格年鉴》。

<sup>2</sup> 官方仅给出了城镇居民按收入等级的能源消费量。

构随着收入的上升而逐渐优化，但农村地区拥有丰富且免费的生物质资源，收入是否仍是影响用能选择的重要因素还需要进一步探讨。对该问题的研究将有助于加深对我国农村家庭能源转型的理解，并为我国未来能源转型政策的制定提供指导。

本文将基于能源阶梯（energy ladder）假说对我国农村居民的用能选择进行研究，考察家庭收入对居民能源选择的影响，以期能为能源、气候环境和贫困问题的研究提供一个新的视角，并为能源转型政策的制定提供科学参考与依据。以往国内学者多将重点放在家庭收入与能源需求的数量关系上，更多的是对能源弹性的估计，而忽略了收入效应在优化用能结构过程中所发挥的作用。事实上，家庭用能行为是一个两阶段的决策过程，用能量的决策应基于事先的用能选择。因此，考察收入对家庭用能选择决策的影响对于事后准确估计需求弹性十分必要。此外，本文提出能源燃料品种数量随收入增长呈现倒“U”形关系的观点，填补了目前关于能源阶梯与能源堆叠关系的研究空白。在现实意义上，本文讨论了在政策干预情况下，能源阶梯的存在性问题，为未来中国农村能源替代提供了路径选择。

本文结构安排如下：第二部分梳理了居民用能选择行为的相关文献，第三部分为本文实证模型和数据介绍，第四部分为实证结果分析，最后是结论与政策建议。

## 二、文献回顾

推进农村居民能源转型的关键在于识别出影响农村居民燃料选择的因素。众多文献提出居民在用能选择行为中存在能源阶梯现象（Hosier and Dowd, 1987），如图2。该假说认为随着社会经济地位的不断提高，居民对于能源的选择会出现相应的变化，并将其划分为三个阶段。第一阶段是初始阶段，该阶段的特征是居民用能以薪柴、秸秆、禽畜粪便等传统生物质能为主；第二阶段为转型阶段，居民放弃使用传统生物质能，开始转向木炭、煤炭和煤油等化石燃料；第三阶段为高级阶段，居民用能以电力、天然气、液化石油气等现代商品能源为主，这类能源的能源效率和成本都高于先前阶段。

国外对居民用能选择等问题的研究起步较早<sup>3</sup>，积累了大量的研究成果。但国内学者多集中于对居民能源需求收入弹性的探讨，而对居民收入与用能选择的研究较为缺乏。本部分将根据研究地区、研究方法和研究结论三个方

<sup>3</sup> 对于居民用能选择的研究主要分为两类：一类是对居民用能选择影响因素的研究，另一类则是对能源阶梯适用性的验证。这两类研究在一定程度上会有重叠。因此，本文未对两者进行严格区分。

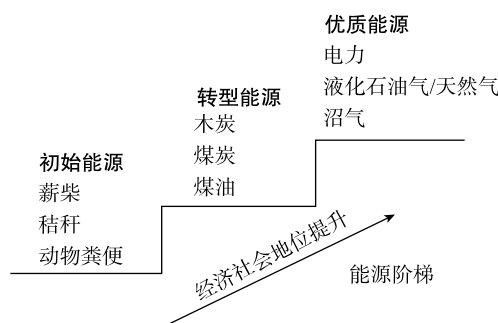


图 2 能源阶梯理论示意图

资料来源：Kroon, B. V. D., R. Brouwer, and P. J. H. V. Beukering, “The Energy Ladder: Theoretical Myth or Empirical Truth? Results from a Meta-Analysis”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 20 (4), 504-513.

面对以往文献进行梳理。

根据以往文献来看，众多学者对发展中国家的居民用能选择问题进行了研究，主要集中在印度、泰国等南亚和东南亚国家以及加纳、埃塞俄比亚、尼日利亚等非洲国家和地区（Alem *et al.*, 2016; Joshi and Bohara, 2017; Nansaior *et al.*, 2011）。例如：Gupta and Köhlin (2006) 对印度地区 500 户家庭的炊事用能选择进行研究，在估计出各类能源弹性基础上，对能源优劣进行了排序。Hanna and Oliva (2015) 通过津贴实验的方式考察了印度农村居民福利增加对用能选择的影响。Karimu (2015) 利用加纳微观调查数据对炊事用能选择的影响因素进行研究。

从研究方法来看，二值选择模型和多值选择模型较为常见（Jumbe and Angelsen, 2011; Karimu, 2015; Rao and Reddy, 2007）。对于特定能源品种的研究，主要使用 Probit 模型。而对于能源转换策略的研究，则更多地采用多值选择模型。例如 Mensah and Adu (2015) 将薪柴、木炭、液化石油气和其他固体能源设置为分类变量，利用多项 Probit 模型进行估计；Alem *et al.* (2016) 采用随机多项 Logit 模型研究了埃塞俄比亚城市居民能源选择的影响因素。与此同时，部分学者开始采用定序选择模型研究居民用能选择（Filippini *et al.*, 2007; Zhang and Hassen, 2017）。值得注意的是，从实证估计方法来看，以往对能源阶梯问题的研究多集中于能源管理和能源工程学科，这些领域的研究往往忽略了收入增长在能源阶梯模型中的内生性。

从研究结论来看，多数研究均认为社会经济因素（例如家庭收入、能源价格和受教育程度等）、行为文化因素（民族等）、外部因素（能源可获得性和政府政策等）都是影响家庭能源消费模式的重要因素（Heltberg, 2006; Malla and Timilsina, 2014; Ouedraogo, 2006）。而对于能源阶梯存在性的验

证，学者们并未得出一致的结论。Masera *et al.* (2000) 利用墨西哥的案例评估了能源阶梯模型，发现能源阶梯模型并不成立，取而代之的是能源堆叠模型，即多种燃料共存的情况更能准确描述农村地区炊事用途的燃料选择问题。Nansaior *et al.* (2011) 通过对泰国居民的能源消费模式进行分析，认为生物质能将长期存在，因此用能选择的变化仅仅是更多样化，而非绝对的能源阶梯。Alem *et al.* (2016) 也得出类似的结论，认为尽管收入会促进能源的转型，但并不是线性的能源阶梯，而是能源堆叠。

一般来说，对居民用能选择问题的研究多基于微观数据。但对中国而言，国家官方统计机构并未针对居民用能进行单独的统计，并且《中国能源统计年鉴》中对于生活能源消费的统计也未包括生物质能。而现实中，薪柴、秸秆等生物质能在农村居民用能中占到极高的比重。由于数据的限制，大多数文献采用小范围的问卷调查数据对居民能源问题进行研究。目前，国内关于居民用能选择和能源阶梯的研究较少，已有研究主要集中于对能源消费的描述性分析，且多基于特定省份和地区，样本数量较小，无法完整刻画中国居民能源消费现状 (Cai and Jiang, 2008; Niu *et al.*, 2012)。不同于以上提到的小样本微观数据，Han *et al.* (2018) 将《中国能源统计年鉴》与《中国农村能源年鉴》的数据合并，构造了包含生物质能在内的各省能源消费的历史数据。但本文认为，要刻画家庭微观行为，仅通过省级面板数据进行分析还是稍显不足。

据笔者所知，仅有以下几篇文章利用全国数据对居民用能选择问题进行了较为系统的研究。这类调查尽管样本量较大，但调查所涉及的能源问题较少，主要是对家用电器和电力支出的统计。Hou *et al.* (2016) 利用2008年和2011年中国健康与养老追踪调查 (China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS) 数据对城乡居民炊事用能结构进行了描述，并对影响居民用能的因素进行了初步分析。Zhang and Hassen (2017) 利用中国健康与营养调查 (China Health and Nutrition Survey, CHNS)，数据并采用考虑相关随机效应的广义定序模型，对中国城市的炊事用能选择进行了研究，文章发现旨在提升家庭收入的政策将有助于减少煤炭相对于液化天然气的价格优势。Ma and Liao (2018) 利用中国人口普查数据和 Tobit 模型，对中国农村居民炊事用途中不同能源品种的收入弹性进行了估计，被解释变量为各类能源占比，其发现清洁能源的收入效应为正，而固体燃料收入效应为负。Tao *et al.* (2018) 利用大规模的家户调查数据对中国农村的能源变化情况进行历史恢复。但其中1992年、2002年和2007年能源消费数据均是由受访者回忆得到，且其他历史年份的数据则是凭统计推断得出，其准确性无法得到保证。尽管

本文验证的假说与 Tao *et al.* (2018) 所得到的结论是一致的, 但研究范式有所差异, 本文更多的是探讨收入与用能选择间的因果关系。

综上, 已有众多学者对居民用能选择问题进行了研究。从实证估计来看, 多值选择模型和定序选择模型最为常见, 但都忽视了对收入内生性的考虑, 仅仅是相关关系的探讨; 从数据来源来看, 对中国居民用能选择问题的研究缺乏翔实的数据支撑; 从研究对象来看, 国内外研究均集中于对炊事用能的分析, 取暖用途的分析往往被忽视, 但实际上取暖用途和炊事用途在用能模式上有很大的差异, 2013年中国农村家庭取暖比重高达36.9% (Wu *et al.*, 2017)。不同于以往仅对能源需求弹性和炊事用途的燃料选择进行分析, 本文采用中国家庭能源消费调查 (Chinese Residential Energy Consumption Survey, CRECS) 数据, 在厘清能源阶梯与能源堆叠之间关系的基础上, 全方位考察收入增长对家庭炊事和取暖用途用能选择的影响。相较于现有文献, 该数据库对中国居民能源问题的刻画更加全面且更具代表性。进一步地, 本文还将考察能源阶梯在能源政策中的应用问题。

### 三、模型设定与数据介绍

#### (一) 对能源阶梯假说的讨论

除能源阶梯假说外, 有学者提出能源堆叠 (energy stack) 假说, 该假说认为用能阶段的跳跃并不会出现优质能源对初始能源的完全替代。受能源价格等多种因素的影响, 居民可能会同时使用多种能源。在对我国农村地区能源阶梯的存在性进行验证前, 我们需要先对能源阶梯假说与能源堆叠假说两者的关系进行讨论以确定模型形式。能源阶梯假说提出随着收入的增加, 居民会逐渐转向使用更加清洁和便利的优质商品能源, 但这并不意味着单调的置换关系, 优质能源并不会完全替代传统固体燃料。在家庭能源选择过程中, 我们不可否认收入效应对居民能源升级的正向促进作用, 但能源价格变化带来的替代效应以及燃料供需状况都会使得居民仍然保留对其他能源的使用。居民会根据现实情况有选择性地使用各类能源, 而非完全淘汰传统生物质能, 也就是说能源阶梯过程与能源堆叠过程是共生的。

例如2017年北方“煤改气”政策, 尽管补贴的存在会提高农户收入, 但由于对天然气供需关系的错误估计, 天然气短缺倒逼农村居民选择使用更加劣质的能源进行取暖。只有在收入达到足够高的水平、优质能源供给充足、用能设备完备等因素全都具备的情况下, 优质能源才有可能实现对劣质能源的完全替代。图3(a)为利用局部加权回归得到的人均收入与燃料数量的关系图。可以发现, 随着收入的增长, 燃料数量呈现先上升后下降的倒“U”形

变化趋势，这与我们的直觉是一致的。同样地，为了更详细地刻画能源等级与收入间的关系，我们对不同收入分组的能源使用情况进行考察（见图 3（b））。图中显示薪柴使用频率随着收入的增加而减少；煤炭这类转型能源的消费频率则随着收入增加出现了先增加后减少的趋势；电力消费频率则是随着收入的增加而增加，这进一步验证了能源阶梯的存在。因而，本文将构建研究能源阶梯问题的概率模型，以更科学地验证该问题。

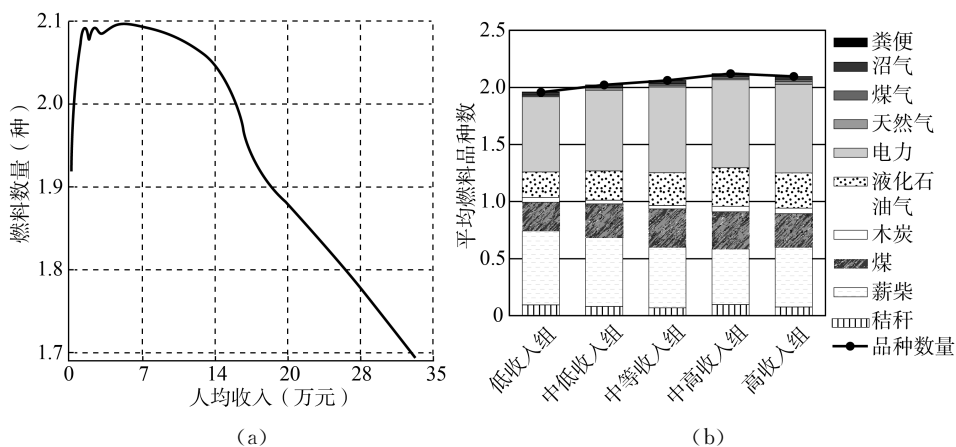


图 3 燃料数量与人均收入关系

（二）居民用能选择模型设定

现有研究对居民用能选择的分析多采用多项选择模型，包括多项 Logit 模型（MNL）和多项 Probit 模型（MNP）。其中，MNL 模型要求满足无关选择独立性（IIA），否则估计量可能是有偏且不一致的。而 MNP 模型会忽略数据内在的排序，导致排序信息的缺失，无法反映出能源间的效用高低。许多学者都曾从能源可获得性、可支付性、清洁性、便捷性等多个方面对能源品种进行排序。若使用 OLS 模型，则会将这类定序变量视为连续变量处理，导致人为的信息膨胀。因此，本文将选择定序 Probit 模型进行分析。

假定用能选择隐变量  $Y^*$  的值取决于家庭人均收入（Income）以及控制变量（Z），即有  $Y_i^* = \gamma Income_i + Z_i \beta + \mu_i$ 。观察到的用能选择  $j$  由  $Y^*$  决定，即如果连续性随机变量  $Y^*$  超过某个临界值  $\alpha$ ，则对应  $Y$  的一个确定性选择。根据本文假设，有

$$\begin{aligned}
 Y &= 1 \text{ (初始能源)}, \text{ if } -\infty < Y_i^* \leq \alpha_1; \\
 Y &= 2 \text{ (转型能源)}, \text{ if } \alpha_1 < Y_i^* \leq \alpha_2; \\
 Y &= 3 \text{ (优质能源)}, \text{ if } \alpha_2 < Y_i^* \leq +\infty.
 \end{aligned}$$

给定误差项  $\mu \sim N(0, 1)$ ，那么

$$\begin{aligned}
 P(Y=j | Income, \mathbf{Z}) &= P(Y^* \leq \alpha_j | Income, \mathbf{Z}) \\
 &= P(\gamma Income + \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \mu \leq \alpha_j | Income, \mathbf{Z}) \\
 &= \Phi(\alpha_j - \gamma Income - \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta}). \quad (1)
 \end{aligned}$$

通常来说,受到能源可获得性、可支付性、可靠性、便捷性和清洁性等因素的影响,居民的用能选择是受约束的,家庭收入并不是影响家庭用能选择的唯一因素。根据以往文献的分析,本文控制变量( $\mathbf{Z}$ )包括家庭特征、能源价格与气候条件。其中,家庭特征指家庭规模、户主受教育年限、户主年龄、户主民族、户主性别和家庭面积;能源价格,包括液化石油气价格和居民电价。气候条件即采暖度日数( $HDD18$ )<sup>4</sup>,一般来说,采暖度日数越高,说明该地区温度越低,对于取暖的需求越大。

### (三) 数据介绍

本文所采用的数据来自中国人民大学开展的第二次和第三次全国家庭能源消费调查(CRECS)。该数据库通过入户调查,搜集消费者拥有的用能设备信息和设备使用情况信息。其中,用能设备信息包括每种设备的物理参数;设备使用情况包括居民对该设备的使用频率、使用时间等行为特征等。数据的样本代表性可见 Wu *et al.* (2017)。

炊事和取暖用途在中国居民用能中所占比重较高且涉及的能源品种较为丰富,同时由于多数城市已实现从传统生物质能到煤炭等能源的转型,因此本文样本范围为 CRECS 2013 和 CRECS 2014 数据中的农村样本。考虑到 2013 年和 2014 年时间间隔较短,本文将两年数据作为混合样本进行分析,并删除了集中供暖以及炊事取暖用途能源消费量为零的样本观测值,最后剩余样本总量为 4 256 户农村家庭。从剩余数据样本的地区分布来看,两次调查的农村样本不包括天津、上海、海南、内蒙古、西藏、新疆和港澳台地区。其中,东部地区、中部地区和西部地区的样本数分别占样本总数的 31.2%、36.8% 和 32%。

炊事和取暖用途涉及的能源品种和样本量见表 1。根据能源阶梯的定义,能源转型是一个由初级向高级进阶的过程。所以,我们将转型过程看作是有序的,并将能源转型过程定为三个阶段,分别为初始能源、转型能源和优质能源。由于家庭炊事和取暖用能通常会同时选择多种能源,因此选取该家庭在该用途中用量最高的能源(根据标准量进行比较)作为其主要使用能源。

<sup>4</sup> 采暖度日数( $HDD18$ )是指一年中当某天室外日平均温度低于 $18^{\circ}\text{C}$ 时,将该日平均温度与 $18^{\circ}\text{C}$ 的差值度数乘以1天,所得出的乘积的累加值为全年采暖度日数。计算公式为 $HDD = \sum_j \max(0, 18 - temp_j)$ ,其中 $temp_j$ 为各日温度。



表 1 能源品种分类

转型过程	能源品种	全样本量	炊事用途样本量	取暖用途样本量
初始能源	秸秆、薪柴、粪便	2 150	2 261	772
		(50.52%)	(53.72%)	(35.20%)
转型能源	煤炭、木炭	983	206	1 132
		(23.10%)	(4.89%)	(51.62%)
优质能源	电力、管道煤气、液化	1 123	1 742	289
	石油气、天然气、沼气	(26.39%)	(41.39%)	(13.18%)
合计		4 256	4 209	2 193

注：括号内为使用该类型能源作为主要能源的家庭所占比重。

表 2 为本文涉及变量的描述性统计。其中，家庭人均收入的缺失值以各省人均收入填补，数据来源为《中国统计年鉴》。液化石油气价格、居民电价数据和家庭特征数据均来自 CRECS 数据库。采暖度日数以 18 度为基准度数进行计算，气温数据来自中国气象数据网。样本家庭人均收入为 1.20 万元；户主受教育年限普遍较低，大部分户主仅接受小学教育；房屋面积均值为 132.35 平方米；液化石油气价格和居民电价分别为 7.37 元和 0.56 元。除户主性别与户主民族外，其他连续变量均取自然对数进行估计。

表 2 各变量描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
家庭人均收入（万元）	4 256	1.2	1.708	0.001	33.333
家庭规模（人）	4 256	3.32	1.468	1	16
户主受教育年限（年）	4 256	6.49	3.728	0	19
户主年龄（岁）	4 256	51.871	13.964	4	99
房屋面积（平方米）	4 256	132.351	73.724	15	800
液化石油气价格（元/公斤）	4 256	7.373	2.041	1.7	11.429
居民电价（元/度）	4 256	0.559	0.078	0.267	0.95
采暖度日数（基准度数=18）	4 256	2 167.589	1 326.966	249.1	6 343.9
户主民族（汉族=1，其他=0）	4 256	0.913	0.282	0	1
户主性别（男性=1，女性=0）	4 256	0.753	0.431	0	1

## 四、实证结果分析

### （一）能源品种数量的变化分析

如前所述，本文认为燃料品种数量会随着收入的增长呈现倒“U”形趋

势。为进一步验证该假说,本文利用计数模型对该问题进行分析。对这一问题的讨论分析有助于厘清目前中国农村家庭能源转型所处的阶段,加深对后文家庭用能选择的理解。

在数据清理过程中,本文删除了能源品种数量为零的样本,最终得到观测样本数量为4 256户家庭,每个家庭平均使用2.05种能源用于炊事取暖用途。考虑到收入和家庭用能都与区域地理位置高度相关,为更好地识别收入对家庭用能品种数量和用能选择的影响,我们在所有回归中控制了区县固定效应<sup>5</sup>。这就相当于文章的回归考察的是在同一区县内,家庭收入的变化对用能品种数量和用能选择的影响。

表3中列(1)和列(2)均为泊松模型估计的边际效应结果。在线性模型中,人均收入对能源品种数量的影响较为显著。在加入平方项后,人均收入平方项系数显著为负且一次项系数显著为正,家庭的燃料品种数量随着收入的提高呈现先增加后减少的倒“U”形变化趋势,且拐点为3.48万元。根据《中国统计年鉴2015》,2014年我国农村家庭人均收入大致为1.71万元,我国农村显然仍处于拐点左侧的爬坡阶段。

这种倒“U”形关系具体表现为,在收入较低且不存在外部行政干预的情况下,居民基于其对用能成本的考量,会选择成本较低甚至无成本的薪柴和秸秆;随着收入的增加,居民逐渐增加其用能设备并选择更高质量的燃料,但此时不会完全抛弃对较差能源的使用;而当收入达到一定高度时,居民基于对时间成本和健康成本等多方面的考虑,会放弃使用收集时间长、燃烧效率低且会造成室内污染的劣质能源。因此,收入的增长并未带来家庭燃料使用种类的减少,反而促进家庭能源选择的多样化。这也说明随着收入增长,农村居民会对家庭用能结构进行优化。

表3 收入增长对燃料品种数量的影响

变量	泊松模型(边际效应)	
	(1)	(2)
ln 人均收入	0.050** (0.021)	0.154** (0.068)
(ln 人均收入) <sup>2</sup>		-0.052* (0.028)

<sup>5</sup> 本文将固定效应控制在区县层面而非村庄层面,有以下两个原因:一是2014年数据缺失村庄信息,若控制村庄固定效应,会损失2014年的数据样本;二是尽管2013年数据包含村庄信息,但分布于63个区县中的64个村庄,仅有两个村庄同属一个县。综合以上两个原因,本文认为尽管控制村庄层面固定效应有助于加强识别的可靠性,但就本文数据的实际情况来看,控制村庄固定效应与控制区县固定效应的结果差异不大。

(续表)

变量	泊松模型 (边际效应)	
	(1)	(2)
其他控制变量	是	是
区县固定效应	是	是
观测值	4 256	4 256

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著，括号内为区县层面聚类标准误。

## (二) 家庭用能选择分析

由表 3 可知，我国农村家庭还未完全实现能源结构的转型，本节将对收入如何影响能源转型进行分析。表 4 中结果为利用定序 Probit 模型对农村居民用能选择进行回归的估计系数，回归系数的符号仅说明变量对能源选择的影响方向。列 (1) 为控制区县固定效应的结果，该列均在区县层面进行了标准误聚类；列 (2) 至列 (4) 为基于列 (1) 结果的各项变量平均边际效应，即各变量变化对各类能源选择概率的影响程度。结果显示，本文的核心解释变量人均收入变量符号为正且十分显著。从边际效应来看，人均收入每增加 1%，初始能源选择概率会降低 7.4%，而选择转型能源和优质能源的概率分别提高 1.7% 和 5.7%。这在一定程度上验证了能源阶梯理论，即人均收入的提高会促进家庭能源转型。选取表 4 所得拐点左侧的样本进行分析，该部分样本数为 4 024，为总样本的 94.5%。如表 4 列 (5)，该结果与列 (1) 无显著差异。而拐点右侧 (列 (6)) 数据样本较少，除收入变量仍显著为正外，其他变量均不再显著。这说明能源阶梯假说不适用于解释该部分人群的用能选择。此外，表中 *Cut* 值相当于截距，用来区分家庭能源种类是属于初始能源、转型能源还是优质能源。当各解释变量的值均为 0 时，若隐变量的值小于 -3.061，那么该家庭被划分为使用初始能源的组别；若隐变量的值在 -3.061 到 -2.214 之间，则该家庭属于转型能源组别；若隐变量值大于 -2.214，则为优质能源组别。

表 4 定序 Probit 模型回归基准结果

解释变量	回归系数 (1)	边际效应			拐点左侧 (5)	拐点右侧 (6)	不含价格 (7)
		初始能源 (2)	转型能源 (3)	优质能源 (4)			
人均收入	0.251*** (0.055)	-0.074*** (0.016)	0.017*** (0.004)	0.057*** (0.013)	0.305*** (0.077)	0.747* (0.393)	0.250*** (0.055)

(续表)

解释变量	回归系数 (1)	边际效应			拐点左侧 (5)	拐点右侧 (6)	不含价格 (7)
		初始能源 (2)	转型能源 (3)	优质能源 (4)			
液化石油气价格	-0.078 (0.192)	0.023 (0.057)	-0.005 (0.013)	-0.018 (0.044)	-0.126 (0.191)	1.418 (2.812)	
电力价格	-0.106 (0.634)	0.031 (0.186)	-0.007 (0.042)	-0.024 (0.144)	-0.237 (0.648)	-0.567 (3.558)	
家庭规模	0.079 (0.075)	-0.023 (0.022)	0.005 (0.005)	0.018 (0.017)	0.096 (0.078)	-0.370 (0.461)	0.078 (0.075)
户主受教育年限	0.147*** (0.034)	-0.043*** (0.010)	0.010*** (0.002)	0.033*** (0.008)	0.144*** (0.034)	0.239 (0.245)	0.148*** (0.034)
户主年龄	-0.258*** (0.083)	0.076*** (0.024)	-0.017*** (0.006)	-0.059*** (0.019)	-0.229*** (0.083)	-0.455 (0.582)	-0.258*** (0.083)
户主民族 (汉族=1,其他=0)	0.178 (0.130)	-0.052 (0.038)	0.012 (0.009)	0.040 (0.030)	0.164 (0.127)	1.114 (0.988)	0.175 (0.130)
户主性别 (男性=1,女性=0)	-0.060 (0.063)	0.018 (0.018)	-0.004 (0.004)	-0.014 (0.014)	-0.060 (0.066)	-0.241 (0.420)	-0.061 (0.063)
房屋面积	0.336*** (0.054)	-0.099*** (0.016)	0.022*** (0.004)	0.076*** (0.012)	0.338*** (0.056)	0.464 (0.293)	0.337*** (0.054)
HDD18	-0.605* (0.320)	0.178* (0.094)	-0.040* (0.022)	-0.137* (0.073)	-0.696** (0.324)	9.468 (6.584)	-0.603* (0.318)
Cut1	-3.061 (2.324)				-3.659 (2.368)	67.912 (45.730)	-2.864 (2.194)
Cut2	-2.214 (2.330)				-2.800 (2.373)	68.888 (45.699)	-2.016 (2.197)
区县固定效应	是	是	是	是	是		是
观测值	4 256	4 256	4 256	4 256	4 024	232	4 256

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,括号内为区县层面聚类标准误。

对于价格变量,液化石油气价格和电力价格的系数尽管并不显著,但系数符号均为负,与预期一致,即优质能源价格上升会降低使用优质能源的概率。两类价格系数均不显著可能是因为在控制区县固定效应后,价格变量在区县内的差异较小,这使得我们无法得到对价格变量较为准确的估计系数。列(7)为不包含能源价格变量的估计结果,很明显可以看到其与列(1)不

存在显著差异。

对于家庭特征变量，户主受教育程度和家庭面积的增加都会使得居民更倾向于选择优质能源。其中，户主受教育程度在一定程度上与家庭的经济社会地位相关，因此受教育年限每提高 1%，家庭使用优质能源的概率提高 3.3%；家庭面积也与家庭经济状况关系十分密切，面积每扩大 1%，选择优质能源的概率会显著提升 7.6%。而户主年龄越高的家庭使用优质能源的概率越低。就年龄对能源选择的影响来说，一方面，新技术使用瓶颈会约束年龄较高人群对优质能源的使用。例如老年人对优质能源的设备使用并不熟练，这大大降低了家庭选择优质能源的概率。调研中曾有老年受访者提到使用燃气灶不安全的问题，即使家中安装了燃气灶也仍会继续使用柴火灶。另一方面，老年户主的成本意识更强，优质能源的高价特征可能也是阻碍老年户主选择的主因之一。采暖度日数的估计系数符号显著为负说明气候越寒冷地区采暖需求越大，家庭考虑到成本负担，选择优质能源概率则越低。另外，户主性别与户主民族对能源选择的影响并不明显。

此外，本文还利用分数回归模型 (fractional model) 重新构建了实证模型，考察各因素分别对各种能源占比的影响，结果如表 5 所示。由于被解释变量为  $[0, 1]$  的比重值，因此采用分数响应回归模型 (Fractional Response Regression) 进行估计，表中边际效应表示各变量每变动一个单位，各类能源所占比重的变化。如表 5 所示，收入的增加会降低初始能源消费比重并提高优质能源占比，对转型能源比重的影响并不显著。总体来看，结果与定序 Probit 模型结果差异不大。

表 5 比重回归模型估计结果

解释变量	初始能源比重		转型能源比重		优质能源比重	
	回归系数	边际效应	回归系数	边际效应	回归系数	边际效应
人均收入	-0.246***	-0.070***	0.016	0.003	0.264***	0.064***
	(0.053)	(0.015)	(0.060)	(0.011)	(0.045)	(0.011)
常数项	-1.982		-10.202***		4.253**	
	(1.954)		(2.091)		(2.081)	
其他控制变量	是	是	是	是	是	是
区县固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	4 256	4 256	4 256	4 256	4 256	4 256

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著，括号内为区县层面聚类标准误。

### (三) 家庭用能选择的异质性分析

表6为区分炊事用途和取暖用途分别进行分析的结果。结果显示,收入增长会减少家庭在烹饪过程中使用秸秆的概率,增加使用优质能源的概率;从边际效应来看,人均收入每增加1%,初始和优质能源的选择概率分别为降低8.9%和提高8.6%。对于取暖用途来说,收入对用能选择的影响并不显著,但符号与预期一致。笔者认为该现象的原因在于取暖用途呈现很强的路径依赖。室内温度通常需要通过持续取暖来维持,但长期使用像空调和电暖器这类大功率取暖设备,其成本会远高于农村家庭可负担水平。而收入只是影响可负担性的一个方面,另一方面还取决于能源价格与能源可获得性。因此,取暖用途中收入对能源升级的影响有限,很难像炊事用途那样出现自发性的能源爬坡。非自发性的能源升级更多地还是需要政府从成本负担角度着手,一方面降低居民用能成本,另一方面从技术创新角度出发,提高取暖用电设备效率,降低用电量。

表6 不同用途下收入对能源选择的影响

解释变量	炊事用途边际效应				取暖用途边际效应			
	初始能源	转型能源	优质能源		初始能源	转型能源	优质能源	
人均收入	0.320*** (0.058)	-0.089*** (0.016)	0.003*** (0.001)	0.086*** (0.015)	0.057 (0.088)	-0.015 (0.024)	0.007 (0.011)	0.008 (0.012)
其他控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
区县固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	4 209	4 209	4 209	4 209	2 193	2 193	2 193	2 193

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,括号内为区县层面聚类标准误。

为进一步考察家庭用能选择的异质性特征,本文基于表4中列(1)的结果,估计了不同地理分区对各类燃料的选择概率。如图4所示,对于全样本的估计结果,华南和华东地区经济较为发达,人均收入水平较高,家庭选择优质能源的概率最高,达到了0.4以上;而西南和东北地区由于森林资源和秸秆资源丰富,其选择生物质能进行炊事取暖的概率较高。对于炊事用途,由于多数家庭并不使用散煤烹饪,故各地区使用煤的概率都较低。对于取暖用途,华南地区处于夏热冬暖的气候区,对取暖基本无需求,即使取暖也会选择最为便捷的现代商品能源;而东北和西北地区处于严寒区,若选择优质能源,则面临巨大的用能成本,故东北地区家庭会更多选择初始能源;华北地区与我们直觉一致,燃煤概率最高。燃料选择的地区差异在一定程度上也反映了我国经济发展程度差异对燃料选择的影响。

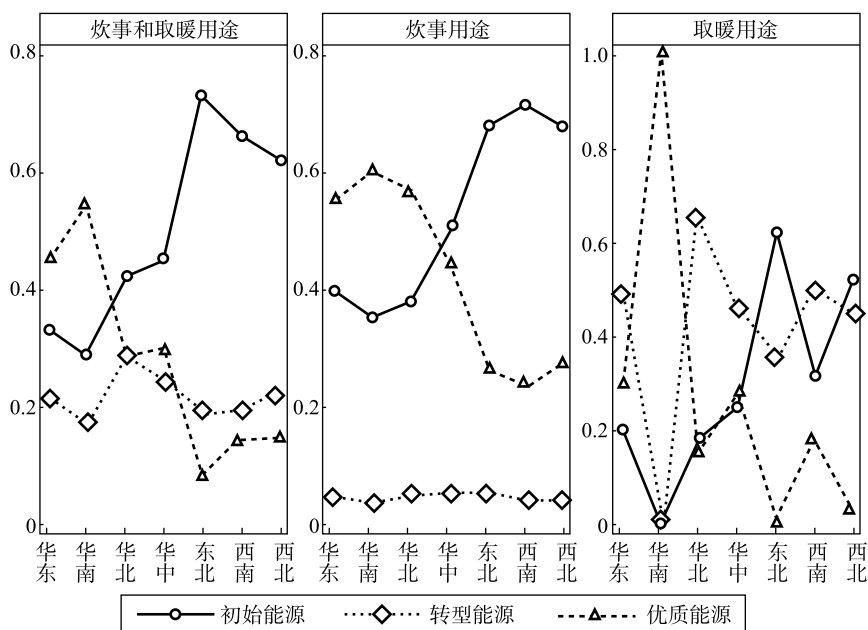


图 4 不同地理分区家庭对各类能源的选择概率

#### (四) “煤改电”政策如何影响能源阶梯

上文的分析均采用 2013 年和 2014 年农村家庭数据，此时散煤治理政策还未大范围推广。因而，本节将采用 CRECS 2016 北京市的农村家庭数据，考察“煤改电”政策对能源阶梯假说存在性的影响，即收入对用能选择的影响在受政策干预与不受政策干预的家庭中是否存在差异。CRECS 2016（北京卷）于 2017 年 6 月至 2017 年 8 月对北京地区农村和郊区家庭开展调查，有效问卷数为 3 949 户家庭。其中仅受“煤改电”政策干预以及不受任何散煤治理政策干预的样本 1 525 户，其中受政策影响的家庭 579 户。本节的估计方程根据式（1）进行修改。为进一步考虑该政策如何调节收入对用能选择的影响，我们加入了两者的交互项。为更方便地看出处理组和控制组受影响的程度，将模型设置如下，其中  $D$  为是否受“煤改电”政策影响， $D=1$  为受政策干预， $D=0$  则不受政策干预。

$$\begin{aligned}
 P(Y=j | Income, \mathbf{Z}) &= P(Y^* \leq \alpha_j | Income, \mathbf{Z}) \\
 &= P(\delta_1 D + \delta_2 Income \times D + \delta_3 Income \times (1-D) \\
 &\quad + \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \mu \leq \alpha_j | Income, \mathbf{Z}) \\
 &= \Phi(\alpha_j - \delta_1 D - \delta_2 Income \times D - \delta_3 Income \\
 &\quad \times (1-D) - \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta}). \tag{2}
 \end{aligned}$$

此时，收入在处理组与控制组中对农村家庭用能选择的影响则分别如下

所示。 $\delta_3$ 和 $\delta_2$ 分别为控制组和处理组中收入对用能选择的影响。此处的估计控制了各村的固定效应,但由于北京市商品能源价格以及采暖度日数在各个村内的差异较小,因而本节的估计未包括能源与价格和气候因素。

$$Y^* = \begin{cases} \delta_3 \text{Income} + \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \mu, & \text{if } D = 0; \\ \delta_1 + \delta_2 \text{Income} + \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \mu, & \text{if } D = 1. \end{cases}$$

估计结果见表7。列(1)为对式(2)的估计结果,式(2)至式(4)为边际效应;列(5)和列(6)分别为收入对电力消费量和煤炭消费量的影响,即被解释变量不再为分类变量,而是消费的连续变量。当不受政策干预时,人均收入对能源阶梯的影响十分显著,且与预期一致,即收入的增长会提高优质能源使用概率,降低其他能源概率;而在政策干预下,人均收入对用能选择的影响虽然符号与预期一致,但都不再显著。从列(5)和列(6)的结果同样可知,受政策干预组别的收入对电力消费和煤炭消费的影响不显著,而控制组的收入增长确实会促进家庭对电力的消费,减少对煤炭的消费。参照Rajan and Zingales (1998)对交互项的讨论,本文认为两个组别存在差异的结果也在一定程度上验证了收入与用能选择间的因果关系。当政策干预时,收入效应不再发挥作用;而不受政策干预的组别,收入增长仍是其进行用能优化的重要驱动力。不同于表6的回归结果,该样本中收入对用能选择的影响变得显著。这可能是由于表6是基于全国样本的分析,而南北方农村家庭的取暖差异较大;表7则仅为北京农村家庭的样本,其他方面的异质性较小,从而导致两者结果出现差异。

从政策效果来看,该结果也说明了政府的能源替换政策,即要求散煤“一刀切”地完全退出并拆除燃煤设备的做法,在一定程度上并不科学,这违背了家庭用能选择的客观规律。在这种情况下,一方面,单纯依靠政府干预来实现能源转换会受到多种能源供给、能源价格等因素的制约,这使得能源转型效果不如预期;另一方面,政府干预耗费了大量的财政资源,这不仅加重了财政负担,也挤出了原本可用于其他领域的支出。而在不受政策干预的情况下,家庭能源阶梯的实现更多的是一个随收入增长变化的渐进式过程。

表7 “煤改电”政策对能源阶梯的影响

解释变量	(1)	边际效应			(5)	(6)
		初始能源 (2)	转型能源 (3)	优质能源 (4)		
<i>D</i>	1.751*** (0.370)	-0.297*** (0.059)	-0.149*** (0.026)	0.446*** (0.079)	4.120*** (0.567)	-3.793*** (0.694)



(续表)

解释变量	(1)	边际效应			(5)	(6)
		初始能源 (2)	转型能源 (3)	优质能源 (4)		
<i>Income</i> × <i>D</i>	0.275 (0.220)	-0.047 (0.038)	-0.023 (0.019)	0.070 (0.057)	0.190 (0.206)	0.111 (0.279)
<i>Income</i> × (1 - <i>D</i> )	0.647*** (0.156)	-0.110*** (0.030)	-0.055*** (0.015)	0.165*** (0.044)	0.556** (0.253)	-0.903*** (0.298)
其他控制变量	是	是	是	是	是	是
村庄固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1 525	1 525	1 525	1 525	1 525	1 525

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著，括号内为村层面聚类标准误。

根据《民用水暖煤炉通用技术条件》2016 年报批稿，燃煤取暖采用的传统燃煤炉具，其热效率为 40%，煤的发热值为 5 000 千卡/千克，价格为 600 元/吨，那么煤所带来的每单位发热量价格为 0.0003 元/千卡。对于电取暖，电力的发热值为 860 千卡/千瓦时，电供暖设备热效率为 80%，“煤改电”政策中谷段优惠电价为 0.3 元/千瓦时，此时电取暖的每单位发热量价格为 0.0004 元/千卡。需要说明的是，由于不同设备的热效率存在差异，故此处以每单位有效发热量进行衡量的，即消费者真正能够获得的热量。

假定单个家庭的商品消费分为取暖热量 ( $H$ ) 与其他商品 ( $C$ )， $C$  可以看作消费者用来购买其他所有商品的货币，等同于把其他商品的价格设定为 1，同时家庭消费受收入  $I$  约束。家庭从取暖热量和其他商品组合 ( $H, C$ ) 中获得的效用可以表示为  $U(H, C)$ ，见图 5。在未受政策干预时，家庭的预算约束线为  $I_0$ ，其所面临的无差异曲线为  $U_0$ ，消费者的均衡为  $A$  点，对应的商品消费组合为  $(H_0, C_0)$ 。由于“煤改电”政策的实施，取暖热量的能源提供由煤转为电，此时取暖热量的价格由  $p_0$  上升至  $p_1$ ，进而预算约束线向内旋转，此时受政策干预家庭的均衡点变为  $B$  点。若消费者想要在取暖热量价格上升的情况下，保持现有的效用不比政策干预前更差，则需要一定的收入补偿使收入预算线变为  $I_1$ ，相应的补偿性变化为  $CV = E(p_0, U_0) - E(p_1, U_0)$ 。从图中可以明显看出，在政策干预的情况下，若要使居民效用至少维持在现有水平，就需要一定的资金投入来补偿；而未受政策干预的家庭，其效用仍维持在之前的水平。也就是说，从实际获得的热量来看，“煤改电”在一定程度上恶化了居民的取暖效用，此处并未涉及对空气污染等负外部性的考量。Wu et al. (2020) 也得出了相似结论，即“煤改电”政策确实有效改善了家

庭在取暖季的用能结构,但从居民最终获得的有效能来看,“煤改电”政策并未使家庭的取暖用能达到政策干预前的水平。换句话说,“煤改电”政策在实现能源结构升级方面取得了积极效果,但会对居民自身福利造成一定程度的损失。

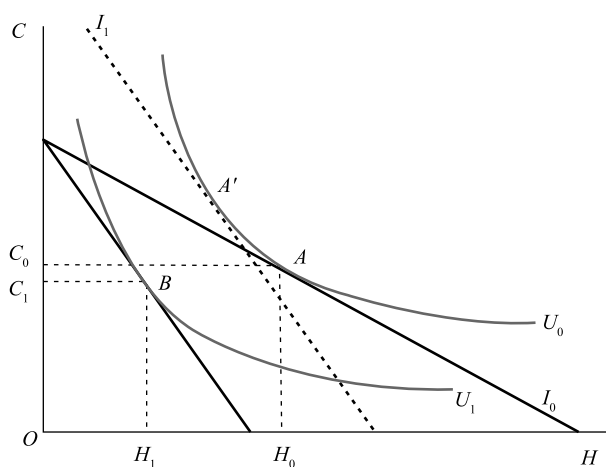


图5 政策干预前后消费者均衡变化

## 五、结论与政策建议

本文利用 CRECS 数据对中国农村家庭的用能选择问题和“煤改电”政策进行了分析。具体而言,本文探讨了能源堆叠与能源阶梯假说,考察了居民能源转型过程中的收入效应对家庭用能选择概率的影响。在此基础上,刻画了收入效应在不同能源用途和政策干预下的影响差异。本文有以下几点发现:(1)随着收入的增加,居民用能品种数量会呈现先上升后下降的倒“U”形趋势,但是不能仅以能源种类的多样性否定能源阶梯的存在。能源阶梯假说与能源堆叠假说并不矛盾,家庭会随着社会经济地位的不断提升趋向于使用更优质的能源,但受限于价格、供给等因素,并不会完全放弃劣质能源。(2)能源阶梯理论在中国农村地区具有适用性,家庭收入的提升能够助力居民用能的转型升级。(3)与已有文献的结论相比,本文发现对于取暖用途来说,考虑到中国居民部门的能源价格黏性,提高价格接受者的支付能力更为重要。炊事用途能随着收入提高自发地进行能源的升级转型,而取暖用途中收入效应并不显著,其能源转型难度较大。(4)政策干预影响了家庭向更优质能源阶梯的爬升。在政策干预情况下,收入增长对用能选择的影响不显著;而在未受政策干预的情况下,收入能够显著促进能源转型。

本文识别出中国能源阶梯的存在性对于决策者做出政策选择具有十分重要的意义。首先，能源阶梯假说的验证意味着高收入地区和高收入人群能够基于自身意愿去选择更加优质的能源；而收入较低的地区和人群由于受到收入水平、能源价格等因素的制约，进行能源升级的难度较大。因此，政策制定者应加强效率瞄准，制定差别化财政和能源政策，将原本用于改善高收入人群和经济发展水平较高地区能源转型的财政资金转移到贫困地区和低收入人群上来，实现财政资金向低收入人群和落后地区的倾斜。这样有助于确保贫困家庭的优质能源有得用并且用得起，帮助贫困家庭摆脱能源短缺和能源劣质的现状，进而补足居民能源转型的短板，推进能源转型的全面实现，使有限的财政资金实现效用最大化，达到能源转型的双赢。

其次，随着中国乡村及偏远地区能源基础设施的不断完善，能源可获得性对中国农村地区能源转型的影响已大幅降低，而能源可支付性仍是阻碍农村地区能源转型的重要障碍。本文发现收入效应在政策干预中并未发挥作用，燃料价格补贴仍是推进转型的重要动力。但是，由于中国能源价格存在黏性，若取消现行煤改政策中的燃料价格补贴，政策效果的可持续性存疑。政府应加强对政策可持续性的考虑，与其依靠价格补贴来推动能源替代进程，更应该让收入效应发挥作用，同时创新价格机制设计，推进技术升级，通过加强能源标识项目的推广提高用能设备的能源效率。放眼目前中国农村地区的能源转型事实，向优质商品能源转型的条件并不完全具备，传统生物质能的清洁利用成为大势所趋。这也就意味着本文所提到的初始能源不应再被统一定义为劣质能源，农村能源转型更加需要具体问题具体分析。

尽管本文利用微观入户的能源调查数据对能源选择问题进行了探讨，但本文结论是基于家庭横截面数据，因此无法追踪农村家庭能源消费的动态变化情况，且数据年份也较为陈旧。在问卷设计上，由于能源部分问题占据较大篇幅，压缩了其他方面问题的空间，这在一定程度上限制了对合适工具变量的选取。此外，笔者并不否认本文在处理内生性问题上的不足，但希冀以本文为起点，引发之后学者对该问题更为深入的探讨。

## 参 考 文 献

- [1] Alem, Y., A. D. Beyene, G. Köhlin, and A. Mekonnen, "Modeling Household Cooking Fuel Choice: A Panel Multinomial Logit Approach", *Energy Economics*, 2016, 59, 129-137.
- [2] Cai, J., and Z. Jiang, "Changing of Energy Consumption Patterns from Rural Households to Urban Households in China: An Example from Shaanxi Province, China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, 12 (6), 1667-1680.

- [3] Filippini, M., M. Farsi, and S. Pachauri, "Fuel Choices in Urban Indian Households", *Environment and Development Economics*, 2007, 12 (6), 757-774.
- [4] Gupta, G., and G. Köhlin, "Preferences for Domestic Fuel: Analysis with Socio-Economic Factors and Rankings in Kolkata, India", *Ecological Economics*, 2006, 57 (1), 107-121.
- [5] Han, H., S. Wu, and Z. Zhang, "Factors Underlying Rural Household Energy Transition: A Case Study of China", *Energy Policy*, 2018, 114, 234-244.
- [6] Hanna, R., and P. Oliva, "Moving Up the Energy Ladder: The Effect of an Increase in Economic Well-Being on the Fuel Consumption Choices of the Poor in India", *American Economic Review*, 2015, 105 (5), 242-246.
- [7] Heltberg, R., "Factors Determining Household Fuel Choice in Guatemala", *Environment and Development Economics*, 2006, 10 (3), 337-361.
- [8] Hosier, R. H., and J. Dowd, "Household Fuel Choice in Zimbabwe: An Empirical Test of the Energy Ladder Hypothesis", *Resources and Energy*, 1987, 9 (4), 347-361.
- [9] Hou, B., X. Tang, C. Ma, L. Liu, Y. Wei, and H. Liao, "Cooking Fuel Choice in Rural China: Results from Microdata", *Journal of Cleaner Production*, 2016, 142, 538-547.
- [10] Joshi, J., and A. K. Bohara, "Household Preferences for Cooking Fuels and Inter-Fuel Substitutions: Unlocking the Modern Fuels in the Nepalese Household", *Energy Policy*, 2017, 107, 507-523.
- [11] Jumbe, C. B. L., and A. Angelsen, "Modeling Choice of Fuelwood Source among Rural Households in Malawi: A Multinomial Probit Analysis", *Energy Economics*, 2011, 33 (5), 732-738.
- [12] Karimu, A., "Cooking Fuel Preferences among Ghanaian Households: An Empirical Analysis", *Energy for Sustainable Development*, 2015, 27, 10-17.
- [13] Liddell, C., and C. Morris, "Fuel Poverty and Human Health: A Review of Recent Evidence", *Energy Policy*, 2010, 38 (6), 2987-2997.
- [14] Ma, C., and H. Liao, "Income Elasticity of Cooking Fuel Substitution in Rural China: Evidence from Population Census Data", *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199, 1083-1091.
- [15] Malla, S., and G. R. Timilsina, "Household Cooking Fuel Choice and Adoption of Improved Cookstoves in Developing Countries: A Review", World Bank Policy Research Working Paper, 2014, No. 6903.
- [16] Masera, O. R., B. D. Saatkamp, and D. M. Kammen, "From Linear Fuel Switching to Multiple Cooking Strategies: A Critique and Alternative to the Energy Ladder Model", *World Development*, 2000, 28 (12), 2083-2103.
- [17] Mensah, J. T., and G. Adu, "An Empirical Analysis of Household Energy Choice in Ghana", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 51, 1402-1411.
- [18] Nansaior, A., A. Patanotai, A. T. Rambo, and S. Simarak, "Climbing the Energy Ladder or Diversifying Energy Sources? The Continuing Importance of Household Use of Biomass Energy in Urbanizing Communities in Northeast Thailand", *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35 (10), 4180-4188.
- [19] Niu, S., X. Zhang, C. Zhao, and Y. Niu, "Variations in Energy Consumption and Survival Status between Rural and Urban Households: A Case Study of the Western Loess Plateau, China", *Energy Policy*, 2012, 49 (10), 515-527.

- [20] Ouedraogo, B., "Household Energy Preferences for Cooking in Urban Ouagadougou, Burkina Faso", *Energy Policy*, 2006, 34 (18), 3787-3795.
- [21] Pachauri, S., and D. Spreng, "Energy Use and Energy Access in Relation to Poverty", *Economic & Political Weekly*, 2004, 39 (3), 271-278.
- [22] Rajan, R. G., and L. Zingales, "Financial Dependence and Growth", *American Economic Review*, 1998, 88 (3), 559-586.
- [23] Rao, M. N., and B. S. Reddy, "Variations in Energy Use by Indian Households: An Analysis of Micro Level Data", *Energy*, 2007, 32 (2), 143-153.
- [24] Tao, S., M. Ru, W. Du, X. Zhu, Q. Zhong, B. Li, G. Shen, X. Pan, W. Meng, Y. Chen, H. Shen, N. Lin, S. Su, S. Zhuo, T. Huang, Y. Xu, X. Yun, J. Liu, X. Wang, W. Liu, H. Cheng, and D. Zhu, "Quantifying the Rural Residential Energy Transition in China from 1992 to 2012 through a Representative National Survey", *Nature Energy*, 2018, 3 (7), 567-573.
- [25] WHO, *Fuel for Life: Household Energy and Health*. Geneva: World Health Organization, 2006.
- [26] WHO, *Indoor Air Quality Guidelines: Household Fuel Combustion*. Geneva: World Health Organization, 2014.
- [27] WHO, *Burning Opportunity: Clean Household Energy for Health, Sustainable Development, and Wellbeing of Women and Children*. Geneva: World Health Organization, 2016.
- [28] Wu, S., X. Zheng, N. Khanna, and W. Feng, "Fighting Coal—Effectiveness of Coal-Replacement Programs for Residential Heating in China: Empirical Findings from a Household Survey", *Energy for Sustainable Development*, 2020, 55, 170-180.
- [29] Wu, S., X. Zheng, and C. Wei, "Measurement of Inequality Using Household Energy Consumption Data in Rural China", *Nature Energy*, 2017, 2 (10), 795-803.
- [30] Zhang, X., and S. Hassen, "Household Fuel Choice in Urban China: Evidence from Panel Data", *Environment and Development Economics*, 2017, 22 (4), 392-413.
- [31] Zhang, X., L. Wu, R. Zhang, S. Deng, Y. Zhang, J. Wu, Y. Li, L. Lin, L. Li, Y. Wang, and L. Wang, "Evaluating the Relationships among Economic Growth, Energy Consumption, Air Emissions and Air Environmental Protection Investment in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 18 (2), 259-270.

## Revisit of Household Energy Ladder —Empirical Evidence from a Household Survey in Rural China

SHIMEI WU

(*Hunan University*)

XINYE ZHENG\*

(*Renmin University of China*)

**Abstract** We investigate energy ladder in China's rural areas by exploiting data from CRECS and find that there is an inverted U-shape relationship between the income and the number of fuel types. We also confirm the existence of energy ladder which residents can climb spontaneously for cooking, whereas "Coal-to-Electricity" policy hinders income effect in the energy structure upgrade. Taking the price stickiness into consideration, these findings imply that the policy-makers should avoid the energy transition of "one size fits all" and try to focus on the income growth in dealing with the energy affordability and strengthen the efficiency targeting.

**Keywords** energy ladder, household energy consumption, "Coal-to-Electricity" policy

**JEL Classification** Q42, O13, R20

---

\* Corresponding Author: Xinye Zheng, School of Applied Economics, Renmin University of China, No. 59 Zhongguancun Street, Haidian District, Beijing 100872, China; Tel: 86-10-82500378; E-mail: zhengxinye@ruc.edu.cn.