

城市化进程中居民能源消费的阶段性效应^{*}

杨先明 王巧然

内容提要:能源经济史表明,城市化是推动一个国家能源结构转型、效率调整和能源消费总量变化的基本动因,能源消费与城市化阶段密切相关。基于此,本文在构建城市化与居民能源消费关系框架的基础上,提出了城市化对居民直接能源消费、间接能源消费的阶段性效应假设,并在SITRPAT模型框架下运用门槛回归检验了我国的城市化与能源消费变化的动态关系。实证结果表明:城市化对居民直接能源消费和间接能源消费具有不同的门槛效应,其中,城市化与居民直接能源消费呈现U型关系,拐点位于城市化率55.26%处;城市化对居民间接能源消费在城市化率超过48.33%后表现出显著的正向促进作用;北京和上海当前已处于城市化发展和居民能源消费脱钩的阶段,但是大部分省市城市化和居民能源消费没有脱钩。

关键词:城市化阶段 直接能源消费 间接能源消费 低碳发展

一、引言

截至2015年底,我国已有56.10%的人口居住在城市,城市化率在15年间增长了55%(2000年的城市化率为36.22%),预计到2030年城市化率将接近70%(国务院发展研究中心和世界银行联合课题组,2014)。伴随着城市化迅速推进的是能源消费的迅猛增长,从2000年至2015年,我国能源消费总量由146964万吨标准煤激增到430000万吨标准煤,其中生活能源消费从16695万吨标准煤上升到47212万吨标准煤,增加了近两倍。能源消费总量的激增表明我国推行绿色、低碳的可持续发展已刻不容缓,在继续推进城市化的过程中实现能源总量的控制是其中重要内容。

城市作为人口与经济活动高度集中的地区,既是能源的消耗主体,也是实现绿色发展的突破口(Stone et al, 2012; Williams, 2013)。因此对能源经济的研究,不能忽视了城市化进程中居民能源消费结构、效率和数量的变迁。作为社会终端单元,居民的能源消费分为直接消费和间接消费两部分。直接能源消费反映了城市居民对电、汽油、天然气等能源产品的获取,间接能源消费则反映了居民对隐含在非能源类商品生产过程中能源投入的占用,因此,居民能源消费实际上关联了整个消费与生产环节,对居民能源消费的研究必然涉及整个经济系统的能源消费。

从居民视角出发,城市化不仅是农业人口向非农业人口转变的过程,而且是全体城市居民(包括新迁入居民和原城市居民)生活方式和价值观念不断由传统向现代转变、社会地位和生活质量不断提高的过程(周丽萍, 2011)。城市化的过程会通过居民生活方式、空间分布和消费行为的变化影响居民能源消费。但是,城市化和居民能源消费的关系的实质究竟如何?现有研究主要有三种不同的结论:一种观点认为城市化推高了居民能源消费。一方面,城市化过程伴随着居民收入水平的提高,从而刺激消费欲望,带来消费增长,导致较高的能源使用量和更多的碳排放(Park & Heo, 2007; Poumanyong & Kaneko, 2010);另一方面,城市化过程中居民的生活方式会向更为耗能的城市居

^{*} 杨先明、王巧然,云南大学发展研究院,邮政编码:650091,电子邮箱:xmyang1953@163.com, wqr891006@foxmail.com。本文受国家自然科学基金项目“不确定环境下经济区的企业行为与企业集聚研究”(71362026),云南大学世川基金项目“基于低能耗的中国贸易结构优化研究”(km150006)的资助。感谢审稿人意见,文责自负。

民模式看齐,从而导致生活能耗水平的提高。还有一种观点认为城市化缓解了居民能源消费。持此观点的学者的解释是,城市化本身就是集约化的发展,其集聚效应和规模效应有助于控制居民能源消费,从而有助于缓解人口增长对能源消费产生的负面影响(Jiang et al,2008;Liu,2009;Chen et al,2008;Larivière & Lafrance,1999;Glaeser & Kahn,2010)。除了以上两种观点,也有一些学者发现城市化与居民能源消费之间并非线性关系,二者关系会因人均收入(Poumanyong & Kaneko,2010)、工业化程度(陈诗一等,2010;魏巍贤、杨芳,2010;林伯强、孙传旺,2011)和地理位置(郑思齐等,2009)等变量的变化而变化。

当前学术界对此问题的分歧,说明对城市化和居民能源消费的研究还有待进一步深化:其一,改革开放以来我国城市化突飞猛进的超常规发展,跨越了城市化发展的多个阶段。诺瑟姆(Northam,1979)将城市化阶段划分为城市化初期、城市化中期和城市化后期,城市化不同发展阶段对居民能源消费的影响是否相同呢?据发达国家经验,经济增长与能源消费之间一般符合环境库兹涅茨曲线(EKC)的变化规律,这种关系是否也体现在城市化与居民能源消费之间呢?其二,根据现有研究,城市化对居民能源消费有正反两方面的作用,那么这两种相反的作用力在城市化的不同阶段呈现出怎样的态势?孰大孰小?抑或是势均力敌?城市化不同阶段的居民能源消费驱动因素存在什么差异?其三,城市化和居民能源消费是否存在脱钩(Decoupling)的阶段?随着城市化进程的推进,城市化与居民能源消费之间的关系是否会不再存在,出现脱钩状态?其四,城市化进程中居民直接能源消费和间接能源消费分别是怎样发展变化的?居民能源消费由直接能源消费和间接能源消费两部分构成,但这两种能源消费的内部结构和驱动因素有实质性的区别,现有研究要么只分析了其中一种,要么将二者加总进行研究,忽略了二者的差异性。在不同的城市化阶段,居民的这两种能源消费呈现出怎样的特征和趋势?其五,中国区域发展水平差异较大,各地区城市化在同一时期呈现出多种发展阶段并存的特点(秦佳、李建民,2013),城市化发展的区域差异实际上反映了城市化发展的不同阶段,城市化对居民能源消费的阶段性效应是否存在区域差异?如果存在,区域差异反映了我国城市化发展怎样的现状和趋势?有何政策含义?本文尝试构建城市化阶段与居民能源消费关系的分析框架,并在此基础上实证探究中国城市化进程中居民能源消费的阶段性效应,分析其内在机制与发展趋势,以期为我国经济绿色发展提供理论支撑与政策依据。

二、理论分析与假设

(一)城市化对居民能源消费的作用路径

为了清晰阐述城市化和居民能源消费之间的关系,将居民能源消费分为直接能源消费和间接能源消费进行分析。直接能源消费表现为居民对能源产品的直接购买和消费,如用于照明、炊事、取暖、交通等的能源消费;间接能源消费是指居民对所消费的非能源类商品和服务生产过程中的能源投入的消费,属于嵌入式的能源消费。

在直接能源消费方面,结合 Friedmann & Alonso(1964)、Leach(1992)和王桂新(2012)等学者的研究,城市化会从生活方式和空间分布两个层面引发居民生活能源、交通能源和公共能源的变化。

其一,城市化过程中居民生活方式的改变会引发居民生活能源消费结构和效率的改变。农村人口向城市人口的转变,不仅是身份上的“非农化”,更是生活方式上的城市化。城乡居民生活能源消费结构存在很大差异,城市居民能源消费以能效较高的商品能源(如天然气、煤气、电力等)为主,而农村地区对低效能源(如薪柴、煤炭等)的依赖程度较高,在城市化过程中,农村居民向城市转移,这部分人口的能源消费结构也将向城市居民趋同,从而带动能源消费结构的转变(Sathaye & Meyers,1985;Gates & Yin,2004;Pachauri & Jiang,2008;黄飞雪、靳玲,2011)。并且,城市化过程中公共服务的普及使得居民可以享受更加完备的能源配套服务,带动居民消费能源的工具改变和能源效率的提升,如城市化过程中家用电器的更广泛使用,提高了电力的使用效率(陈婧,2012)。

其二,城市化过程会引起城市空间重构和城市规模扩张,城市规模、密度、形态的变化会引发居

民交通能源和公共能源使用效率和结构的变化,从而引起其消费总量的变化。一方面,城市化过程中城市发展可能呈现出分散、紧凑等不同模式,不同模式下居民交通能源和公共能源消费的结构、效率和总量存在显著差异。例如,紧凑型城市中居民通勤距离较短,因而其交通通勤主要以步行、自行车、电动车和汽车为主,而分散型城市中居民通勤距离较长,就可能引入地铁、轻轨等轨道交通,居民交通能源结构也因此而改变。此外,一些学者认为紧凑型城市会因集聚效应和规模效应的存在而更有利于发挥公共基础设施的规模经济,降低对汽车通行的依赖度,并降低通行距离及电力输送的损耗,因此高密度、紧凑型的城市可以集中利用能源,提高能源利用效率(Jenks et al,1996);而分散型的城市化必然导致通行距离的增加和公共基础设施能源利用效率的降低(Glaeser & Kahn,2010; Chen et al,2008;Zheng et al,2010;范进,2011;程开明,2011;滕飞等,2013)。另一方面,城市规模也会对居民交通能源消费和公共能源产生影响。不断扩张的城市规模会引致更多的交通需求,导致更多的能源消费,但过小的城市规模会引起拥堵,导致居民的通勤能源消费上升(Parikh & Shukla, 1995;洪丽璇等,2011;武俊奎,2012)。

在间接能源消费方面,城市化主要是通过改变居民收入水平,进而改变居民消费总量和消费结构实现的。一方面,间接能源消费是一种嵌入式能源消费,取决于居民日常消费的总量和结构,而城市化将促进经济发展、提升居民收入。根据传统消费需求理论,在消费倾向不变甚至递减的条件下,居民消费需求也会增加,因此城市化能刺激居民的消费需求,从而改变居民的间接能源消费量。另一方面,消费行为存在示范效应,城市化过程中城市化人口消费方式会向城市居民靠拢,消费的商品和服务的层次、结构会发生变化,间接能源消费也因此改变。

(二)城市化对居民能源消费的总量效应与结构效应

城市化分别从生活方式、空间分布和消费行为三个方面影响居民能源消费的结构和效率,但城市化引发的这种能源结构和效率的改变究竟是提升还是降低了居民能源消费量呢?这主要取决于两种效应:第一种效应直接影响了居民能源消费的总量,即总量效应;第二种效应通过改变居民能源消费的结构和效率而间接影响居民能源消费的总量,即结构效应。

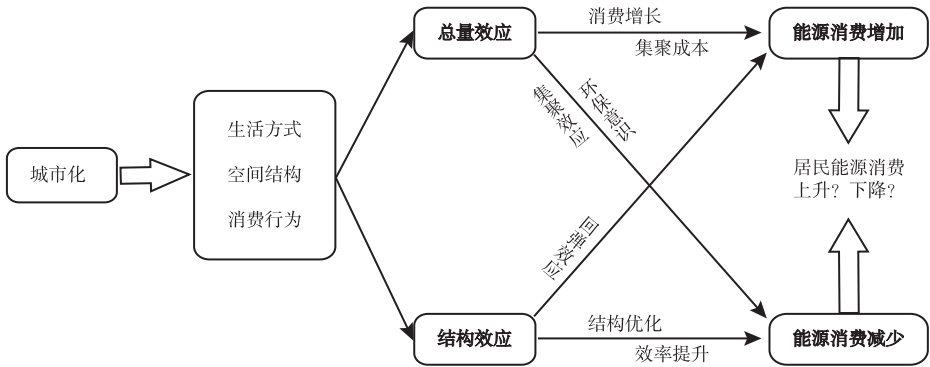


图1 城市化对居民能源消费的总量效应与结构效应

城市化对居民能源消费的总量效应主要取决于以下因素:一是居民消费行为。城市化过程伴随着居民收入水平的提高,收入水平的提高又将刺激消费欲望,带来消费增长和消费水平的提高,从而导致较高的能源使用量(Park & Heo,2007; Poumanyong & Kaneko,2010)。但城市化过程中城市文明传播、环保意识提高也会影响居民的消费行为,从而引发居民的节能消费行为,促使能源消费减少(Sadorsky,2013)。二是集聚和规模经济。城市化过程中人口与要素的集聚、人口规模扩大,推进了能源集中供给模式发展,以及由集聚所产生的知识创新和技术进步会直接引发居民能源消费的节约。但当集聚成本高于集聚收益时,集聚反而会导致居民能源消费的上升。

城市化对居民能源消费的结构效应依赖的因素有:一是“能源转变”。能源转变是城市化人口用清洁能源替代传统能源、用高效的能源消费行为替代低效的能源消费行为,从而实现能源结构优化

和用能效率提高的过程(Leach,1992)。有学者认为,城市化具有促使能源转变的基因,即使在政策缺位的情况下,城市化也会带来居民部门能源结构的优化和能源使用效率的提高(Pachauri & Jiang,2008),从而降低居民能源的消费量。二是“回弹效应”。城市化对居民能源消费结构的优化可以提升能源效率,但能源效率提高会引致能源回弹效应,因此能源效率提高所节约的能源有可能被替代效应、收入效应和产出效应等机制所产生的新的能源需求部分甚至完全抵消(Greening et al,2000),从而再次推高居民能源消费。

由以上分析可知,城市化与居民能源消费的关系最终取决于三种力量的作用:一是总量效应中居民消费能力的高低和环保意识的强弱;二是总量效应中城市发展的集聚成本和集聚效益的均衡;三是结构效应中能源转变的力度和回弹效应的大小。在城市化不同阶段,这三种力量产生的效应完全不同。

(三)城市化阶段与居民能源消费:内在机理与假说

上述三种作用力的大小很难量化,但是,影响居民能源消费的因素是随着城市化阶段的推进而改变的。根据城市转型理论,城市能源环境与城市化发展阶段密切相关,处于低发展阶段的都市往往面临同贫困相关的能源环境问题,当城市化发展到一定程度后则将面临同消费相关的能源环境问题(Mcranahan et al,2001)。许多学者的研究支持这一观点,认为城市化对能源消费的影响因城市化阶段差异而不同(Bernardini & Galli,1993;刘江华等,2015)。概言之,城市化对居民能源消费的影响是总量效应和结构效应共同作用的结果:在两效应推动居民能源消费增长的城市化阶段,居民能源消费将随着城市化的发展而增加;但在两效应抑制居民能源消费的城市化阶段,居民能源消费将随着城市化的发展而降低。因此,提出以下假说:

假说1:城市化与居民直接能源消费的关系受城市化发展阶段的影响,不同的阶段城市化对居民直接能源消费的影响不同。

假说2:城市化与居民间接能源消费的关系受城市化发展阶段的影响,不同的阶段城市化对居民间接能源消费的影响不同。

居民的生活能源消费、交通能源消费和公共能源消费构成居民直接能源消费的主要内容。这三类能源消费随着城市化发展阶段的推进而变化。在此对这一过程进行机理分析,提出进一步的假说。

首先,居民生活能源消费变化主要源于结构性原因。(1)在城市化初期,城市和农村居民的能源消费在结构和效率上差异都较大,当居民从农村迁移到城市,就可以享受到更优质的能源供应、能源服务和能源技术。城市化使得居民能源消费结构大大改善、能源消费效率大大提高,居民能源消费量随着城市化的推进而降低。因此,在城市化初期,城市化发展将减少居民生活能源消费。(2)当城市化发展到一定阶段,原本只能在城市享受到的能源供应、能源服务和能源技术也在农村普及,所以当城市化发展到一定阶段时,居民从农村迁移到城市,在生活能源的供应、服务和技术上不会发生较大改变,也就是说,城市化优化居民生活能源结构的边际贡献越来越小。与此同时,随着城市化的发展,居民收入水平显著提升,对能源的消费量也会水涨船高;并且,随着城市化的发展,城市化人口与城市原有人口的生活方式也愈加趋同,而城市居民的生活方式相对于农村居民更为耗能,从而城市化发展到一定阶段时,城市化会导致生活能耗水平的提高(Zha et al,2010),能源效率提升所节约的能源也将被这部分新增能源部分或全部抵消。因此,在城市化中期,城市化发展将推进居民生活能源消费的增长。(3)随着城市化的进一步发展,当城市化水平达到较高的阶段时会发生两种改变:一是在城市化的高级阶段,人口与要素的集聚所产生的知识创新和技术进步将进一步引发能源结构的优化和技术水平的提升,促进能源节约,能源技术进步引发的可再生能源对不可再生能源的替代也将减缓能源效率提升导致的回弹效应(Ouyang et al,2010)。二是在城市化的高级阶段,居民低碳节能的意识更强了,因为只有在高收入水平和高城市化水平下节能减排的主张才更容易被接受(Sadorsky,2013),这种意识的转变不仅将促使居民自觉地减少直接能源消费、提升能源使用效率,还能有效遏制家庭部门的能源回弹效应(Moezzi,1998;Polimeni & Polimeni,2006;Ouyang et al,2010)。

因此,在城市化后期,居民生活能源消费与城市化发展将脱钩。

其次,居民交通能源和公共能源消费主要受总量效应的影响。(1)在城市化初期,人口、要素向规模报酬递增的空间集聚,原本分散的要素在城市的集聚大大减少了居民通勤的距离,减少了居民交通能源消费。同时,城市化初期要素的集聚使得公共基础设施更易于产生规模经济,电力、燃料等输送的损耗也更小。因此,在城市化初期,城市化发展将减少居民交通能源和公共能源消费。(2)随着城市化的推进,城市的规模会逐渐扩大,尤其是在中国,土地城市化的速度大大超过了人口城市化的速度(李强等,2012;中国经济增长前沿课题组等,2011),城市规模的扩张拉长了居民通勤距离,增加了对汽车的依赖性;城市规模的扩张还增加了对公共能源的消费,当城市规模的扩张速度大于城市人口增长的速度时,城市公共基础设施的利用效率会降低,公共能源消费的效率也会降低,居民人均公共能源的消费量将上升。在城市化中期,城市化发展将推进居民交通能源和公共能源消费的增长。(3)但是随着城市化的进一步发展,规模报酬递增的城市空间内会聚集更多的要素,人口城市化的加速可以弥补上一阶段城市扩张过快导致的能源浪费。城市化进一步发展导致的人口密度提升可以增加公共能源的使用效率,而城市中心与郊区之间公路路网与轨道交通等交通基础设施的跟进也会提升交通能源使用的效率,减少居民人均交通能源消费。因此,在城市化后期,居民交通能源和公共能源消费与城市化发展将脱钩。

综合以上分析,进一步完善假说1,得到:

假说1.1:在城市化水平较低的阶段,城市化发展会减少居民直接能源消费。

假说1.2:当城市化发展到一定阶段,城市化发展会增加居民直接能源消费。

假说1.3:当城市化发展到成熟阶段,城市化发展与居民直接能源消费将脱钩。

再次,总量效应和结构效应共同作用于居民间接能源消费。一方面,城市化发展会促进居民收入水平的提升,进而刺激居民消费,从而增加居民间接能源消费总量;另一方面,居民收入水平的提高不仅会增加居民消费总量,还会引发居民消费结构的变化。当收入水平较低时,居民消费的恩格尔系数较大,对食品的消费占居民消费的比重较高,而当居民收入水平提高,居民对食品之外其他商品和服务的消费会增加,恩格尔系数也会下降。居民消费的商品和服务来自不同的产业,由于不同产业的能源消费结构和能耗系数不同,三次产业的能源强度也存在明显差异,因此居民消费结构变化必然对能源消费产生重要影响(刘畅,2012)。通常情况下,第一产业的能耗要低于第二、三产业,因此生活水平提高引致的居民能源消费结构改变也会增加居民间接能源消费总量。但也应注意到,城市化对居民收入水平的提升作用不是立竿见影的,城市化发展的初期,居民生活水平没有显著变化,因此居民间接能源消费也不会显著提升;当城市化发展到一定水平,居民整体的消费能力和消费结构会发生显著改变,间接能源消费也会因此增加;但是当城市化继续发展,居民收入达到较高水平时,居民的低碳消费意识会逐渐提升(Sadorsky,2013)(一些城市化发展到较高水平的高收入国家的经验也证明了高收入水平下居民消费意识的变化)这种变化会促使居民自觉地减少高能耗商品和服务的消费。综合以上分析,进一步完善假说2,得到:

假说2.1:在城市化水平较低的阶段,城市化发展对居民间接能源消费并无显著影响。

假说2.2:当城市化发展到一定阶段,城市化发展会增加居民间接能源消费。

假说2.3:当城市化发展到成熟阶段,城市化发展与居民间接能源消费将脱钩。

三、模型构建与数据来源

(一)模型构建与估计方法

1. 模型构建。本文采用STIRPAT模型验证城市化不同阶段对居民能源消费的影响。Ehrlich & Holden(1971)提出的IPAT模型可用来量化经济活动对环境的影响,但该模型不支持假设检验,而且未包含影响环境的最重要的驱动因素。Dietz & Rosa(1994)为克服这些缺陷,提出了更加灵活的STIRPAT模型:

$$I_{it} = a P_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d e_{it} \quad (1)$$

式中, I 、 P 、 A 和 T 分别代表环境影响、人口规模、人均富裕程度和技术进步, a 是常数项, b 、 c 、 d 分别代表 P 、 A 、 T 对环境影响的弹性, e 为随机干扰因素。方程两边同时取对数后,模型可以表示为:

$$\ln I_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + e_{it} \quad (2)$$

STIRPAT模型允许对各影响因素进行适当的改进,本文根据研究目的对该模型作以下调整:(1)参照刘江华等(2015)、York et al(2003,2007)、Liddle & Lung(2010)和 Poumanyong et al(2012)的做法,将城市化水平作为 T 的代表变量引入STIRPAT模型。(2)考虑到居民能源消费与居民消费结构、城市人口密度、城市基础设施等因素关系密切,因而将这些因素也加入STIRPAT模型。因此,式(2)可以表示为:

$$\ln Energy_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c \ln Inc_{it} + d \ln Urb_{it} + f \ln Eng_{it} + g \ln Den_{it} + h \ln Inf_{it} + e_{it} \quad (3)$$

其中, i 和 t 表示省份和时间,STIRPAT模型中的环境影响 I 用各省居民能源消费总量来衡量,用 $Energy_{it}$ 表示;人口规模 P 用各省城镇人口数衡量,用 P_{it} 表示;人均富裕程度 A 用城镇居民人均可支配收入衡量,用 Inc_{it} 表示。此外, Urb_{it} 表示城市化水平, Eng_{it} 表示消费结构, Den_{it} 表示城市人口密度, Inf_{it} 代表基础设施。

式(3)是标准的线性模型,而第二部分的分析得出,城市化会对居民能源消费产生促进或者抑制两种不同的作用,导致两种作用的因素会随着城市化水平的推进而变化,因此城市化与居民能源消费之间存在非线性关系。为识别城市化阶段对居民能源消费的影响,可将城市化水平按一定标准分组,并在各组中研究两者之间的关系,但人为地根据城市化水平来划分样本区间往往带来估计偏误。因此,本研究从数据驱动的角度出发,运用Hansen(1999)面板门槛模型来检验不同城市化水平下城市化对居民能源消费的影响,该模型根据数据本身的特点来内生地划分区间并找出门槛值,主旨思想是将门槛值作为一个未知变量纳入一般的计算模型中构建分段函数,并对门槛值及门槛效应进行估计和检验。根据这一思想,首先假设存在“单门槛效应”,在上式基础上构建单门槛模型,多门槛模型可由单门槛模型扩展得到。

用城市化水平作为门槛变量,在式(3)的基础上构建初始的单门槛模型:

$$\ln Energy_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln Urb_{it} + \beta_2 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} \leq \gamma) + \beta_3 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln Inc_{it} + \beta_6 \ln Eng_{it} + \beta_7 \ln Den_{it} + \beta_8 \ln Inf_{it} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

其中, Urb_{it} 表示城市化水平和门槛变量, $I(\cdot)$ 为示性函数, γ 为门槛值,当城市化水平低于 γ 时, $I(\cdot)=0$,当城市化水平高于 γ 时, $I(\cdot)=1$ 。 β_1 和 β_2 分别为门槛变量 $Urb_{it} \leq \gamma$ 、 $Urb_{it} > \gamma$ 两个区间内城市化水平对居民能源消费的影响系数。

本文研究的居民能源消费是由直接能源消费和间接能源消费两部分组成的,这两种能源消费的总量和结构差异都较大,城市化对这两种能源消费的影响机制也是不相同的,因而本文分别讨论不同城市化阶段对不同居民能源消费的影响,在基准模型的基础上构建直接能源消费和间接能源消费的面板门槛模型:

$$\ln DE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln Urb_{it} + \beta_2 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} \leq \gamma) + \beta_3 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln Inc_{it} + \beta_6 \ln Eng_{it} + \beta_7 \ln Den_{it} + \beta_8 \ln Inf_{it} + \beta_9 \ln Wtem_{it} + \beta_{10} \ln Stem_{it} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln IE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln Urb_{it} + \beta_2 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} \leq \gamma) + \beta_3 \ln Urb_{it} \cdot I(\ln Urb_{it} > \gamma) + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln Inc_{it} + \beta_6 \ln Eng_{it} + \beta_7 \ln Den_{it} + \beta_8 \ln Inf_{it} + \epsilon_{it} \quad (6)$$

其中, DE_{it} 和 IE_{it} 分别代表居民直接能源消费和居民间接能源消费, 其他变量同基准模型。考虑到居民直接能源消费有很大一部分用于取暖和制冷, 因此在直接能源消费的模型中加入了冬季和夏季平均气温, 分别用 $Wtem_{it}$ 和 $Stem_{it}$ 表示。

2. 估计方法说明。根据 Hansen(1999)的面板门槛技术来评估上述两个模型。首先, 对计量方程进行参数估计, 通过固定效应模型转换, 求得门槛值 γ 。其次, 检验门槛系数的显著性。原假设为不存在门槛效应, $H_0: \beta_1 = \beta_2$ 。Hansen(1999)建议采用“自抽样法”(Bootstrap)来模拟似然比检验的

渐进分布。在不存在门槛效应的原假设下, 似然比检验基于以下统计量: $F_1 = \frac{S_0 - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}_e^2}$ 。其中, S_0

为原假设成立下不存在门槛效应时的残差平方和, S_1 是原假设不成立下存在门槛效应的残差平方和。Hansen(1999)研究表明, 采用自抽样法 Bootstrap 可以获得其一阶渐进分布, 基于此构造的 P 值也将是渐进有效的, 如果得到的 P 值小于设定的临界值, 那么就拒绝原假设, 从而认为存在门槛效应。接着进行双门槛以及多门槛效应的检验, 以确定采纳的模型是否存在多个门槛值。最后, 需要对面板门槛模型的真实性的真实性进行检验, 其原假设 H_0 是 $\gamma = \gamma_0$, 相应的统计量为: $LR_1(\gamma) = \frac{S_1(\gamma) - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}_e^2}$ 。 LR_1 的分布也是非标准的, Hansen 提出了非拒绝域的概念, 在 $1 - \alpha$ 的置信水平上,

非拒绝域是指一系列满足 $LR_1 \leq c(\alpha)$ 的 γ 值, 其中, $c(\alpha) = -2\ln(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{2}})$, α 为显著性水平。如果接受原假设, 则说明面板门槛的参数估计是准确的。

(二) 变量度量与数据收集

本文构建了中国 29 个省、直辖市、自治区(除去西藏和新疆)1998—2014 年的面板数据, 收集、计算了城镇居民直接能源消费、间接能源消费、城市化率、城镇人口总量、城镇居民可支配收入、恩格尔系数、城市人口密度、基础设施建设、冬季/夏季平均温度等数据。数据收集及计算的具体过程如下。

1. 居民直接能源消费与居民间接能源消费测算。(1)直接能源消费量。居民直接能源消费数据来源于历年《中国能源统计年鉴》。《中国能源统计年鉴》收录了各地区的能源平衡表(实物量), 依据《中国能源统计年鉴(2014)》提供的能源实物量的标准量折算系数(如表 1 所示), 将各类能源折算为标准量再进行加总, 得到各省城市居民直接能源消费总量。

(2)间接能源消费量。目前测算居民间接能源消费的方法主要有三种:混合能源分析法、家庭代谢法、消费者生活方式分析法。本文采用 Bin & Dowlatabadi(2005)提出的消费者生活方式分析(Consumer Lifestyle Approach, 简称 CLA)来测算 1998—2014 年我国各省城市居民间接能源消费量。消费者生活方式分析法建立的基础是居民家庭间接能源消费是在人们满足日常活动需求的消费行为过程中产生的。本文选取与人们生活相关的 8 类消费部门, 见表 2。

表 1 各类能源的折标准煤系数

能源名称	折标准煤系数	能源名称	折标准煤系数
原煤	0.7143 千克标准煤/千克	原油	1.4286 千克标准煤/千克
洗精煤	0.9 千克标准煤/千克	燃料油	1.4286 千克标准煤/千克
洗中煤	0.2857 千克标准煤/千克	汽油	1.4714 千克标准煤/千克
煤泥	0.2859~0.4286 千克标准煤/千克	煤油	1.4714 千克标准煤/千克
焦炭	0.9714 千克标准煤/千克	柴油	1.4571 千克标准煤/千克
焦炉煤气	0.5714~0.6143 千克标准煤/立方米	液化石油气	1.7143 千克标准煤/千克
热力	0.03412 千克标准煤/百万焦耳	炼厂干气	1.5714 千克标准煤/千克
电力	0.1229 千克标准煤/千瓦时	天然气	1.33 千克标准煤/立方米

数据来源:《中国能源统计年鉴(2014)》。

表2 居民间接能源消费部门及相关行业

消费部门	相关行业
食品	农副食品加工业,食品制造业,酒、饮料和精制茶制造业
衣着	纺织业,纺织服装、服饰业,皮革、毛皮、羽毛及其制品业,制鞋业
居住	电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业
家庭设备及用品	木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业,家具制造业,橡胶和塑料制品业
交通通信	通信设备、计算机及其他电子设备制造业,交通运输、仓储和邮政业
文教娱乐	造纸及纸制品业,印刷业和记录媒介的复制,文教体育用品制造业
医疗保健	医药制造业
其他消费	商品与服务批发、零售业和住宿、餐饮业,烟草制品业

注:“交通通信”一栏中“交通运输”代表汽车制造业和铁路、船舶、航天和其他运输设备制造业,并非直接能源消费中的交通能源。

根据消费者生活方式分析法,这些产业的消费中产生的间接能源消费计算公式如下:

$$DE = \sum_i (EI_i \cdot P_i) = \sum_i (E_i / G_i \cdot P_i) \quad (7)$$

式中, DE 为城镇居民间接能源消费总量, EI_i 为第*i*类消费部门的能源强度, P_i 为居民在第*i*类消费部门中的人均支出,其中 $EI_i = E_i / G_i$, E_i 为第*i*类消费部门所包含的相关行业能耗之和, G_i 为第*i*类消费部门所包含的相关行业增加值之和。

居民在各个消费项目中的支出数据来源于历年《中国统计年鉴》,分行业能耗来源于历年《中国能源统计年鉴》,分行业增加值来源于《中国工业统计年鉴》《中国统计年鉴》和 Wind 数据库。为剔除价格因素影响,将居民消费、分行业增加值以 1998 年为基期进行统一价格指数折算。

2. 其他变量的度量及数据来源。(1)城市化率,用年末城镇人口在总人口中所占的比重来衡量,《中国统计年鉴》提供了 2005—2012 年城镇人口比重。但是其他年份的人口统计数据中城镇人口并没有考虑到常住人口,周一星、田帅(2006)利用第五次人口普查的数据对 1982—2000 年城市化率水平进行了修正。对于 1998—2000 年的城市化率水平,直接采用周一星、田帅(2006)修正后的数据。另外,参考周一星、田帅(2006),利用联合国法对 2001—2004 年各省的人口数据进行修正,从而

表3 各变量的描述性统计(N=493)

变量说明	变量	均值	标准差	最小值	最大值
居民直接能源消费(万吨标准煤)	DE	440.829	344.725	17.248	1757.916
	$\ln DE$	5.763	0.879	2.848	7.472
居民间接能源消费(万吨标准煤)	IE	74285.46	61703.89	4989.401	365623.5
	$\ln IE$	10.901	0.865	8.515	12.809
城市化(%)	Urb	47.563	15.806	21.890	89.600
	$\ln Urb$	3.810	0.322	3.086	4.495
人口总量(万人)	P	1992.807	1291.764	176.919	7292.320
	$\ln P$	7.358	0.768	5.176	8.895
人均可支配收入(元)	Inc	13276.460	7844.432	4009.610	47500.658
	$\ln Inc$	9.332	0.569	8.296	10.768
恩格尔系数(%)	Eng	37.813	4.315	26.100	55.000
	$\ln Eng$	3.626	0.113	3.262	4.007
人口密度(人/平方千米)	Den	791.587	564.235	149.790	3295.000
	$\ln Den$	6.462	0.654	5.009	8.100
基础设施投资(亿元)	Inf	3012.018	3669.374	29.623	25024.217
	$\ln Inf$	7.241	1.385	3.389	10.128

得到 2001—2004 年的城市化率。(2)人口总量,用各省城镇人口数表示,数据来源于《中国统计年鉴》和各省统计年鉴。(3)人均富裕程度,用城镇居民可支配收入衡量,数据来源于《中国统计年鉴》,为剔除价格因素影响,以 1998 年为基期进行统一价格指数折算。(4)居民消费结构,用恩格尔系数表示,数据来源于各省市历年统计年鉴。(5)城市人口密度,用市辖区每平方公里人口数衡量,用市辖区年末总人口除以市辖区土地面积算得,单位为人/平方千米,数据来源于《中国城市统计年鉴》。(6)城市基础设施建设,用城市固定资产投资数额表示,数据来源于《中国城市统计年鉴》。(7)冬季、夏季气温,用各省省会城市的 1 月平均气温和 7 月平均气温表示,数据来源于各省统计年鉴和《中国统计年鉴》。

由表 3 给出的各变量的描述性统计可以看出,居民直接能源消费相对于居民间接能源消费是很小的。从样本均值上看,居民间接能源消费占居民能源消费总量的 99.41%,其均值是直接能源消费的 168 倍多,总量差距如此之大,若将二者合并分析会忽略了直接能源消费的特征,因此本文将二者分开研究。

四、实证分析

(一)门槛模型估计结果

本文用 Statal3 估计面板模型,在模型估计之前,首先要检验面板门槛模型并确定门槛值。表 4 依次列出了直接能源消费和间接能源消费两个模型的单一门槛检验结果。直接能源消费模型的门槛值在 10%的水平上显著,间接能源消费模型的门槛值在 5%的水平上显著,门槛值分别为 4.012 和 3.878,代表城市化率分别为 55.26%和 48.33%。

表 4 门槛估计值和自抽样检验结果

模型	门槛估计值	95%置信区间	F 值	P 值	临界值		
					1%	5%	10%
直接能源消费	4.012 (55.26%)	[3.671,4.019]	21.837*	0.077	48.897	26.180	17.992
间接能源消费	3.878 (48.33%)	[3.875,3.895]	25.387**	0.040	34.288	24.556	18.501

注:P 值和临界值采用 300 次 bootstrap 得到,*,**,***分别表示在 10%,5%,1%的显著性水平上显著。

实证检验结果见表 5。其中,模型 D 是对居民直接能源消费单一门槛模型的固定效应回归,模型 I 是对居民间接能源消费单一门槛模型的固定效应回归。模型 D 的估计结果显示城市化与居民直接能源消费之间存在非线性关系,城市化对居民直接能源消费的作用受城市化阶段的影响,假说 1 得到验证。模型 I 的估计结果显示城市化与居民间接能源消费之间存在非线性关系,城市化对居民间接能源消费的作用受城市化阶段的影响,验证了假说 2。

模型 D 中,门槛值 4.012(即城市化率为 55.26%)将城市化水平划分为两个区间:(1)当城市化水平低于 55.26%时,城市化的系数在 5%的水平上显著为负($\beta = -0.963, t = -2.47$),说明在这一区间,城市化的发展会减少居民直接能源消费,证明了假说 1.1;(2)当城市化水平高于 55.26%时,城市化与虚拟变量的交互项系数在 5%的水平上显著为正($\beta = 0.053, t = 2.63$),说明城市化水平超过 55.26%时,城市化的发展对居民直接能源消费具有显著的正向影响,证明了假说 1.2。在这一区间,当城市化水平增加 1 个百分点时,居民直接能源消费将增长 0.053 个百分点,即居民直接能源消费关于城市化的弹性为 0.053。模型 D 的其他变量中,人均可支配收入的系数在 1%的水平上显著为正($\beta = 0.749, t = 3.57$),说明居民人均可支配收入每提高一个百分点,直接能源消费将增长 0.749 个百分点,在收入对直接能源消费的总量效应中,提升直接能源消费的作用力占主导。冬季气温的系数在 1%的水平上显著为负($\beta = -0.093, t = -2.85$),说明冬季气温越低,居民直接能源消费越高,取暖是推高居民直接能源消费的一个重要因素。

模型 I 中,门槛值 3.878(即城市化率为 48.33%)将城市化水平划分为两个区间:(1)当城市化水

平低于 48.33% 时,城市化的系数不显著($\beta = 0.237, t = 1.27$),说明在这一区间,城市化的发展对居民间接能源消费没有显著影响,证明了假设 2.1; (2) 当城市化水平高于 48.33% 时,城市化与虚拟变量的交互项系数在 1% 的水平上显著为正($\beta = 0.027, t = 2.81$),说明城市化水平超过 48.33% 时,城市化的发展对居民间接能源消费具有显著的正向影响,证明了假设 2.2。在这一区间,城市化水平每增加 1 个百分点,居民间接能源消费将增长 0.027 个百分点,即居民间接能源消费关于城市化的弹性为 0.027。模型 I 的其他变量中,恩格尔系数的估计系数在 1% 的水平上显著为负,这一结果也符合我们的预期,说明富裕程度越高,居民消费结构越多样化,居民间接能源消费就越高。基础设施的估计系数在 1% 的水平上显著为负,说明基础设施投资越多,居民间接能源消费越少。但模型 I 中与预期不相符的是居民可支配收入的估计结果,模型中居民可支配收入的系数不显著,说明居民间接能源消费并未受居民消费水平的显著影响,结合前文的分析,城市化通过总量效应和结构效应影响居民间接能源消费,实证结果说明当前中国影响居民间接能源消费的主要是结构效应,总量效应对居民间接能源消费的影响并不显著。

表 5 门槛模型回归结果(分居民直接能源消费和居民间接能源消费)

因变量		居民直接能源消费	居民间接能源消费
门槛值		4.012(55.26%)	3.878(48.33%)
		模型 D	模型 I
城市化对居民能源消费的影响	<i>Urb < thr</i>	-0.963**(-2.47)	0.237(1.27)
	<i>Urb > thr</i>	0.053**(2.63)	0.027*** (2.81)
其他变量对居民能源消费的影响	<i>P</i>	0.064(0.17)	0.409* (1.86)
	<i>Inc</i>	0.749*** (3.57)	0.063(0.83)
	<i>Eng</i>	0.611(1.48)	-0.865*** (-8.17)
	<i>Den</i>	0.037(0.28)	-0.006(-0.11)
	<i>Inf</i>	0.120(0.95)	-0.124*** (-3.63)
	<i>Wtem</i>	-0.093*** (-2.85)	
	<i>Stem</i>	0.448(1.41)	
	截距项	-2.579(-0.81)	10.426*** (10.26)
	N	493	493
	R ²	0.782	0.415

注:括号中数值为 t 检验值;* , ** , *** 分别表示在 10% , 5% , 1% 的显著性水平上显著。

观察模型 D 与模型 I 的回归结果可以发现:(1)假说 1.3 未得到证实。模型 D 的回归结果表明城市化对居民直接能源消费的作用呈现 U 型,当城市化低于 55.26% 时,城市化对居民直接能源消费具有抑制作用,超过这一门槛时,城市化的发展会推高居民直接能源消费。根据前文的假说,当城市化进一步推进时,基于城市规模或空间结构的新能源技术进步与居民节能意识增强,可以有效提升能源使用效率并控制能源回弹效应,从而使得城市化发展与居民直接能源消费脱钩,但实证结果表明这一阶段尚未出现。(2)假说 2.3 也未得到证实。模型 I 的回归结果说明当城市化低于 48.33% 时,城市化对居民间接能源消费作用不显著,但超过这一门槛时城市化对居民间接能源消费具有显著的推进作用,仅仅证实了假说 2.1 和 2.2,城市化发展与居民间接能源消费的脱钩阶段也未能出现。

(二) 门槛区间的构成和变化

根据模型 D 和 I 计算出的两个门槛值,可以将各省份 1998—2014 年城市化水平划分为三个区间:第一区间的城市化水平低于 48.33%。这一区间内城市化发展会减少居民直接能源消费,对间接能源消费的影响则不显著,因此第一区间内城市化发展对居民能源消费总量具有抑制作用。第二区间的城市化水平高于 48.33% 但低于 55.26%。这一区间内城市化发展会减少居民直接能源消费,同时推高居民间接能源消费。因此,第二区间内城市化发展对居民能源消费总量的影响是不明确的,作用方向取决于直接能源消费和间接能源消费各自的变化幅度。考虑到居民能源消费总量中间接能源消费占了非常大的比重(样本均值测得比重为 99.41%),因此,第二区间减少的直接能源消费

会被增加的间接能源抵消,城市化发展对居民能源消费总量具有推动作用。第三区间的城市化水平高于55.26%。这一区间内城市化发展会同时推高居民直接能源消费和间接能源消费,因此,第一区间内城市化发展对居民能源消费总量具有推动作用。

各个区间内的省份个数如图2所示。从图中可以看出,第一区间的省份急剧减少,截至2014年,仅有6个省份落在这一阶段;第二和第三区间的省份呈现逐渐增多的趋势,2012年以后,第三区间的省份数量跃居第一位,截至2014年,已有12个省份位于第三区间,11个省份位于第二区间。第二和第三区间内城市化和居民能源消费总量之间存在正向关系,而当前中国绝大多数省份都位于这两个区间,这一方面表明我国大多数省份的居民能源消费还有很强的增长趋势,另一方面,也意味着我国急需探索一条低碳城市化发展道路。可以预见的是,在当前或今后相当长的一段时期内,居民能源消费还将伴随着我国城市化的快速发展而持续增长。

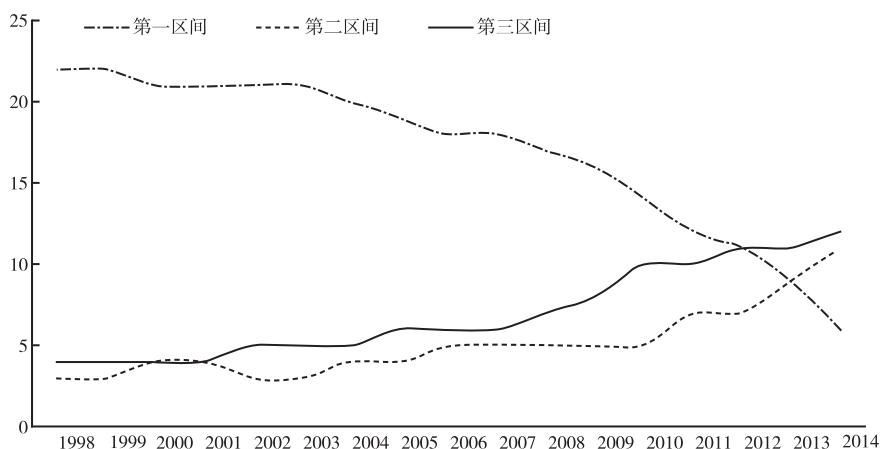


图2 1998-2014年城市化三个区间内的省份数量变化

由于我国区域发展水平差异较大,各地区城市化在同一时期呈现出多种发展阶段并存的特点,不同区域的城市化差异实质上体现了城市化不同的发展阶段。因此,分析城市化阶段与居民能源消费关系的地区差异,其实也是对城市化对居民能源消费的阶段性效应进行分析。本文分东中西三个地区对模型做进一步分析,估计结果见表6。模型E、M、W分别是对东部、中部和西部地区居民能源消费的门槛回归模型。三个模型的估计结果均显示居民能源消费差异与城市化的阶段相关,且三个模型的门槛值各不相同,说明在中国东部、中部和西部地区,城市化对居民能源消费的阶段性效应是存在差异的。

表6 门槛模型回归结果(分地区)

因变量:居民能源消费		模型E	模型M	模型W
门槛值		86.31%	45.11%,55.65%	51.01%
城市化对居民能源消费的影响	$Urb < thr$	0.813*** (4.58)		-0.352* (-1.87)
	$Urb > thr$	0.067 (1.24)		0.046** (2.73)
	$Urb < thr1$		0.048 (0.06)	
	$thr1 < Urb < thr2$		-0.024** (-2.42)	
	$Urb > thr2$		0.050** (2.94)	
其他变量对居民能源消费的影响	P	-0.259* (-1.95)	1.069 (1.26)	0.633* (2.11)
	Inc	0.225** (2.59)	-0.192* (-1.96)	0.296* (1.84)
	Eng	-0.571*** (-3.78)	-1.096*** (-6.29)	-1.127*** (-7.92)
	Den	-0.204*** (-7.16)	0.080 (0.76)	0.043 (0.66)
	Inf	-0.132** (-3.00)	-0.098** (-2.45)	-0.180** (-2.99)
截距项		12.516*** (10.38)	8.678** (2.49)	9.548*** (4.99)
N		170	136	187
R ²		0.499	0.575	0.509

注:括号中数值为t检验值;*、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平上显著。

模型 M 和 W 的结果表明在中部和西部,城市化与居民能源消费之间的关系呈现 U 型,与总样本估计的结果一致,说明在中部和西部城市化发展与居民能源消费的脱钩阶段还未出现,城市化发展仍未找到能源消费的收敛值,未找到一条可行的路径使城市化发展和居民能源消费脱钩。但注意到东部的模型 E 中,当城市化水平低于 86.31% 时,城市化的发展对居民能源消费具有显著的正向影响,但越过门槛之后,城市化发展与居民能源消费之间的关系不显著,说明东部地区已经开始出现城市化发展与居民能源消费的脱钩,即城市化率的提升并不必然地推进相应的能源消费水平,而脱钩的门槛值是 86.31%。当前东部地区越过这个门槛值的仅有北京和上海两个直辖市,其他东部地区,天津和广东的城市化水平也已接近脱钩门槛值。但应当指出,随着城市化的质量提升,低碳经济模式的推行,脱钩的门槛值会进一步降低。脱钩门槛值的存在,体现了我国城市化可持续发展的潜力。如果中部、西部和东部其他地区在加速城市化的同时,能源消费并没有随之相应增加,实现城市化发展与居民能源消费的脱钩,那么政策就应当鼓励此类城市的城市化发展,从而实现城市化推进与能源消费总量控制的双赢。

(三) 稳健性分析

为了验证模型的稳健性,本文用地级市数据对模型进行再次估计,考虑到地级市行政区划的不稳定性以及数据可得性等原因,本文选取的样本为 2000—2013 年 14 年间 214 个地级市的面板数据,总计 2996 个样本。变量度量及数据收集过程为:(1)居民能源消费量。省级层面的居民能源消费量分为直接能源消费量和间接能源消费量,但计算这两种能源消费量所用的统计数据尚未覆盖到地级市层面。因此,本文运用夜间灯光数据作为居民能源消费量的代理变量,以地级市人均灯光亮度衡量居民能源消费量。灯光亮度值指标来自美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration,NOAA)公布的全球夜间卫星灯光数据,由美国防卫性气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program,DMSP)中 OLS(Operational Linescan System)传感器采集得到,简称 DMSP/OLS。DMSP/OLS 稳定灯光数据由美国国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center,NGDC)经过一系列的噪声处理后得到,并对一年的数据进行平均化处理,最后将灯光亮度转化为灰度值(DN, $0 \leq DN \leq 63$)。本文将稳定灯光数据图片与中国国家基础地理信息中心提供的 1:400 万地级市行政区划矢量图叠加,并进行边界裁剪,得到 2000—2013 年中国地级市的灯光亮度点数据,经过加权平均得到各地级市年度灯光亮度值。此外,为了提高数据的准确性,我们对灯光数据进行了内部校准和同年份综合修正(Liu et al,2012)。(2)城市化率。我国部分地级市的城镇人口与农村人口数量可从各省统计年鉴中获得,但由于已公布的数据质量较差,各省统计口径不一致,并且存在大量的数据缺失和异常值,因此直接用城镇人口/总人口来衡量地级市的城市化水平误差较大。本文借鉴孙久文、周玉龙(2015)的做法,采用非农就业人口(总就业人口减去农林牧渔业就业人口)占总就业人口的比重来间接体现地级市城市化水平,数据来源于《中国城市统计年鉴》。(3)人口总量、人均 GDP、恩格尔系数、城市人口密度、城市基础设施建设等控制变量的数据来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》,其中,为消除价格因素对宏观经济变量的影响,以 2000 年为基期用各省 GDP 平减指数对其所辖县的人均 GDP 变量进行统一价格指数折算。运用 Stata13 估计面板模型,在模型估计之前,首先检验面板门槛模型并确定门槛值。表 7 依次列出了模型的单一门槛和双重门槛检验结果。单一门槛和双重门槛值均在 1% 的水平上显著,门槛值分别为 4.553 和 4.394,代表非农就业率分别为 94.63% 和 80.64%。

表 7 门槛估计值和自抽样检验结果

模型	门槛估计值	95%置信区间	F 值	P 值	临界值		
					1%	5%	10%
单一门槛模型	4.55(94.63%)	[4.548,4.583]	21.303***	0.000	16.160	8.585	6.155
双重门槛模型	4.39(80.64%)	[4.381,4.597]	18.204***	0.000	3.321	-3.149	-4.932

注:P 值和临界值采用 300 次 bootstrap 得到,*、**、***分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平上显著。

由于双重门槛模型未能在回归中得到门槛效应,因此本文选用单一门槛模型,表8列出了面板固定效应模型和单一门槛模型的估计结果。模型F为面板固定效应模型,其估计结果显示城市化与能源消费之间并不存在线性关系;模型T为面板门槛模型,其估计结果说明城市化与能源消费之间存在非线性关系,城市化对能源消费的作用受城市化阶段的影响。

表8 门槛模型回归结果(分居民直接能源消费和居民间接能源消费)

因变量		能源消费	
		模型 F	模型 T
城市化对居民能源消费的影响	<i>Urb</i>	0.079(0.97)	
	<i>Urb</i> < <i>thr</i>		0.008(0.10)
	<i>Urb</i> > <i>thr</i>		0.012*** (3.44)
其他变量对居民能源消费的影响	<i>P</i>	0.021(0.58)	0.022(0.61)
	<i>pGDP</i>	0.185*** (9.72)	0.181*** (9.40)
	<i>Eng</i>	-0.227* (-1.96)	-0.257** (-2.26)
	<i>Den</i>	0.013(0.61)	0.012(0.55)
	<i>Inf</i>	0.192*** (14.00)	0.189*** (13.43)
	截距项	-1.088* (-1.69)	-0.642(-1.00)
	N	2996	2996
R ²	0.753	0.755	
F	582.045	520.766	

注:括号中数值为t检验值;* , ** , ***分别表示在10% , 5% , 1%的显著性水平上显著。

模型T中,门槛值4.55(即非农就业人口比例为94.63%)将城市化水平划分为两个区间:(1)当城市化水平低于门槛值时,城市化的系数没有通过显著性检验($\beta = 0.008, t = 0.10$),说明在这一区间,城市化的发展与居民能源消费之间并无显著关系;(2)当城市化水平高于该门槛值时,城市化与虚拟变量的交互项系数在1%的水平上显著为正($\beta = 0.012, t = 3.44$),说明在这一区间,城市化的发展对居民能源消费具有显著的正向影响,居民能源消费关于城市化的弹性为0.012。对比省级面板数据的结果可以发现地级市数据模型的估计结果与省级面板中间接能源消费模型的估计结果完全吻合,证实了模型的稳健。

进一步地,将214个地级市按其在所在省份划分为东中西三个地区做进一步分析,估计结果见表9。模型E1、M1、W1分别是东部、中部和西部城市居民能源消费的门槛回归模型。模型M1和W1的结果与省级面板模型的估计结果一致,在中部和西部,城市化与居民能源消费之间的关系呈现U型。与省级面板数据估计结果不一致的是东部城市的模型E1,E1的结果显示在东部城市,城市化与

表9 门槛模型回归结果(分地区)

因变量:居民能源消费		模型 E1	模型 M1	模型 W1
门槛值		4.58(97.51%)	4.39(80.64%)	4.56(95.58%)
城市化对居民能源消费的影响	<i>Urb</i> < <i>thr</i>	-0.119* (-1.97)	-0.108(-0.52)	-0.435*** (-4.17)
	<i>Urb</i> > <i>thr</i>	0.018*** (3.56)	0.037** (2.54)	0.051*** (4.81)
	<i>P</i>	0.041(0.92)	-0.007(-0.11)	0.066(0.52)
其他变量对居民能源消费的影响	<i>Inc</i>	0.215*** (8.43)	0.173*** (5.00)	0.154*** (4.27)
	<i>Eng</i>	-0.132(-0.68)	-0.351* (-1.77)	-0.615*** (-3.05)
	<i>Den</i>	-0.013(-0.50)	0.020(0.53)	0.052(0.74)
	<i>Inf</i>	0.154*** (7.46)	0.202*** (8.50)	0.222*** (8.11)
	截距项	-0.159(-0.22)	-0.037(-0.03)	1.713(1.19)
N	1246	1106	644	
R ²	0.781	0.719	0.796	
F	270.351	171.518	184.157	

注:括号中数值为t检验值;* , ** , ***分别表示在10% , 5% , 1%的显著性水平上显著。

居民能源消费之间的关系呈现 U 型,而在省级面板估计结果中,东部地区已经开始出现城市化发展与居民能源消费的脱钩。模型 E1 的估计结果与前文模型 E 的估计结果不吻合,其可能的原因是:第一,省级面板数据估计结果中东部省份跨过脱钩门槛值的有上海和北京,占东部 10 省份的比例为 1/5,而在地级市数据中,东部的地级市共有 89 个,即便北京和上海跨过了脱钩门槛值,其占东部地级市数量的比例也仅为 2/89,因而在总体回归中其脱钩效应会被其他地级市的增长效应稀释。第二,我国各个省份内不同城市经济发展水平差异较大,按所属省份将地级市划分为东中西三类,事实上是将能源消费水平不同的城市划分为一个类型,故而回归结果不能完全代表经济发展水平差异对城市化与能源消费关系的影响。

五、结论

本文分析了城市化不同阶段下城市化对居民能源消费的影响,发现我国城市化对居民的直接能源消费和间接能源消费具有不同的阶段性效应,在此基础上进一步实证检验了城市化对居民能源消费影响的区域差异。实证结果表明:

第一,我国城市化与居民直接能源消费呈现 U 型关系,由于我国城市化率已高于 55.26% 这个门槛值,因此我国正处于城市化推进居民能源消费的阶段。在能源技术进步和能源消费行为没有发生根本性变化的情况下,城市化将会推动居民直接能源消费的上升,这对我国实现节能减排目标是一很大的挑战。在顺应城市化这一结构性转型的同时,理解如何在城市化规模和集聚效应、空间结构、节能技术与低碳生活方式之间构建一种新的平衡关系,无疑将推动我国城市化的可持续发展。

第二,当城市化跨越 48.33% 这个门槛值时,城市化与居民间接能源消费呈现正相关关系,城市化发展将推动居民间接能源消费的增长,而在门槛值以下,城市化发展与居民间接能源消费并无显著关系。这表明,城市化过程中居民间接能源消费的增长,更多体现的是收入效应,城市化水平高的地区的人均 GDP 普遍较高,在一定收入阶段对含能耗多的商品和服务的消费量就大。而如何降低居民间接能源消费,涉及消费以外的生产过程和对物质的依存和追求。推行生产过程的生态化,居民生活消费的低碳化,全面贯彻循环经济,将是一长期的过程,因此,居民间接能源消费随城市化发展而增长,是难以回避的代价。降低居民间接能源消费,仍然需要全社会的努力。

第三,以居民直接能源消费门槛值为基准,我国不同区域的城市化显示了绿色发展的三个空间方向:一是超大城市或大城市密集的地区,诸如长三角和珠三角以及京津冀地区,进一步发挥特大城市的集聚效应、利用大城市群的空间结构效应,逐步摆脱城市化推进同时能源消费随之递增的局面;二是在城市化率较低的中西部地区,城市化水平仍然处于能源消费的递减效应区间,加快城市化有助于减少碳排放;三是城市化水平处于前二者之间的地区,构建内生化的城市节能机制是当务之急,城市化的质量应当是关注的重点。

显然,我国大部分省市仍然处于城市化推动居民能源消费增长的区间,样本内 79.31% 的省份仍然深陷城市化发展导致居民高能耗的泥沼。在全国层面上,不论是居民直接能源消费还是间接能源消费,我国城市化发展与居民能源消费的函数均未实现收敛。这一方面表明我国大多数省份的居民能源消费还有很强的增长趋势,另一方面,也意味着急需探索一条低碳城市化发展道路,推动城市化发展与居民能源消费脱钩。

城市化进程中能源消费的门槛效应,显性地体现了我国城市可持续发展的潜力。北京和上海的案例表明,跳出城市化与居民能源消费同时推进的怪圈的可能性是存在的,城市与能源的集约发展,应当成为我国城市化的必然选择。跨过脱钩门槛的地区或者已经接近脱钩门槛的地区,能源消费的规模已经不构成城市规模增长的约束。其特征是:以大城市群为基础,处于京津冀、长三角和珠三角,人口和经济集聚程度很高;空间利用结构变动非常剧烈,城市群内部的功能分工明确,而且城市间联系日益紧密、城市间合作不断推进(汪洋红、贾若祥,2014)。这些特征也从另一个角度给了我国城市化的绿色发展和低碳发展些许提示。显然,我国发达地区与落后地区的城市化处在完全不同的阶段(秦佳、李建民,2013),面对这种错综复杂的局面,如果采用一刀切的城市化和能源政策,往往会

出现顾此失彼的情况,因此,我国城市化和能源政策如何因地制宜,针对不同地区设计相应的合理政策,也是一个重要的研究课题。

参考文献:

- 陈婧,2012:《上海高能耗群体的生活方式研究》,复旦大学博士论文。
- 陈诗一 严法善 吴若沉,2010:《资本深化、生产率提高与中国二氧化碳排放变化——产业、区域、能源三维结构调整视角的因素分解分析》,《财贸经济》第12期。
- 程开明,2011:《城市紧凑度影响能源消耗的理论机制与实证分析》,《经济地理》第7期。
- 范进,2011:《城市密度对城市能源消耗影响的实证研究》,《中国经济问题》第6期。
- 国务院发展研究中心和世界银行联合课题组,2014:《中国:推进高效、包容、可持续的新型城市化》,《中国经济报告》第4期。
- 韩文科,2007:《中国能源消费结构变化趋势及调整对策》,中国计划出版社。
- 洪丽璇 梁进社 蔡建明,2011:《中国地级以上城市工业能源消费的增长:基于2001—2006年的数据分解》,《地理研究》第1期。
- 黄飞雪 靳玲,2011:《城市化对中国能源消费的影响机制研究》,《产业经济评论》第1期。
- 李强 陈宇琳 刘精明,2012:《中国城市化“推进模式”研究》,《中国社会科学》第7期。
- 林伯强 孙传旺,2011:《如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标》,《中国社会科学》第1期。
- 刘畅,2012:《中国能源消耗强度变动机制与能源行业周期波动》,科学出版社。
- 刘江华 邵帅 姜欣,2015:《城市化进程对能源消费的影响:我们离世界水平还有多远?——基于国内和国际数据的比较考察》,《财经研究》第2期。
- 秦佳 李建民,2013:《中国人口城市化的空间差异与影响因素》,《人口研究》第2期。
- 孙久文 周玉龙,2015:《城乡差距、劳动力迁移与城镇化——基于县域面板数据的经验研究》,《经济评论》第2期。
- 滕飞 刘毅 金凤君,2013:《中国特大城市能耗变化的影响因素分解及其区域差异》,《资源科学》第2期。
- 王桂新 金瑞庭 潘泽瀚,2012:《人口城市化与碳排放控制——一个分析框架的构建》,《工程研究——跨学科视野中的工程》第4期。
- 汪洋红 贾若祥,2014:《我国城市群发展思路研究——基于三大关系视角》,《经济学动态》第2期。
- 魏巍贤 杨芳,2010:《技术进步对中国二氧化碳排放的影响》,《统计研究》第7期。
- 武俊奎,2012:《城市规模、结构与碳排放》,复旦大学博士论文。
- 张自然 张平 刘霞辉,2014:《中国城市化模式、演进机制和可持续发展研究》,《中国社会科学》第2期。
- 郑思齐 丁文捷 陆化普,2009:《住房、交通与城市空间规划》,《城市问题》第1期。
- 中国经济增长前沿课题组 张平 刘霞辉,2011:《城市化、财政扩张与经济增长》,《经济研究》第11期。
- 周丽萍,2011:《中国人口城市化质量研究》,浙江大学博士论文。
- 周一星 田帅,2006:《以“五普”数据为基础对我国分省城市化水平数据修补》,《统计研究》第1期。
- Bernardini, O. & R. Galli(1993), “Dematerialization long term trends in the intensity of use of materials and energy”, *Futures* 53(1):431—448.
- Bin, S. & H. Dowlatabadi(2005), “Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions”, *Energy Policy* 33(2):197—208.
- Chen, H. et al(2008), “Sustainable urban form for Chinese compact cities:Challenges of a rapid urbanized economy”, *Habitat International* 32(1):28—40.
- Dietz, T. & E. A. Rosa(1994), “Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology”, *Human Ecology Review* 1(2): 277—300.
- Ehrlich, P. R. & J. P. Holdren(1971), “Impact of population growth”, *Science* 171(3977): 1212—1217.
- Friedmann, J. & W. Alonso(eds)(1964), *Regional Development and Planning*, MIT Press.
- Gates, D. F. & J. Z. Yin(2004), “Urbanization and energy in China: Issues and implications”, in: A. Chen et al (eds), *Urbanization and Social Welfare in China*, Burlington VT: Ashgate Publishing.
- Glaeser, E. L. & M. E. Kahn(2010), “The greenness of cities:Carbon dioxide emissions and urban development”, *Journal of Urban Economics* 67(3):404—418.
- Greening, L. A. et al(2000), “Energy efficiency and consumption—the rebound effect: A survey”, *Energy policy* 28 (6):389—401.

- Hansen, B. E. (1999), "Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference", *Journal of Econometrics* 93 (2):345—368.
- Jenks, M. et al(1996), *The Compact City: A Sustainable Urban Form*, Sponser Press.
- Jiang, L. et al(2008), "Population urbanization and the environment", *World Watch* 21(5):34—39.
- Larivière, I. & G. Lafrance(1999), "Modelling the electricity consumption of cities: Effect of urban density", *Energy Economics* 21(1):53—66.
- Leach, G. (1992), "The energy transition", *Energy Policy* 20(2):116—123.
- Liddle, B. & S. Lung(2010), "Age-structure, urbanization and climate change in developed countries: Revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts", *Population and Environment* 31(5):317—343.
- Liu, Y. B. (2009), "Exploring the relationship between urbanization and energy consumption in China using ARDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model)", *Energy* 34(11):1846—1854.
- Liu, Z. et al(2012). "Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008", *Landscape and Urban Planning* 106(1):62—72.
- Moezzi, M. (1998). "The predicament of efficiency", *Proceedings of the 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Vol. 4.
- Mcranahan, G. et al(2001), *The Citizen at Risk from Urban Sanitation to Sustainable Cities*, Earthscan Press.
- Northam, R. M. (1979), *Urban Geography*, John Wiley & Sons.
- Ouyang, J. et al(2010), "Rebound effect in Chinese household energy efficiency and solution for mitigating it", *Energy* 35 (12):5269—5276.
- Pachauri, S. & L. Jiang(2008), "The household energy transition in India and China", *Energy Policy* 36(11):4022—4035.
- Park, H. C. & E. Heo(2007), "The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000: An input-output analysis", *Energy Policy* 35(5):2839—2851.
- Parikh, J. & V. Shukla(1995), "Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: Results from a cross-national study of developing countries", *Global Environment Change* 5(2):87—103.
- Polimeni, J. M. & R. I. Polimeni(2006), "Jevons' Paradox and the myth of technological liberation", *Ecological Complexity* 3(4):344—353.
- Poumanyong, P. & S. Kaneko(2010), "Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? A cross-country analysis", *Ecological Economics* 70(2):434—444.
- Poumanyong, P. et al(2012), "Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries", *Energy Policy* 46:268—277.
- Sadorsky, P. (2013), "Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries?", *Energy Economics* 37:52—59.
- Sathaye, J. & S. Meyers(1985), "Energy use in cities of the developing countries", *Annual Review of Energy* 10 (1):109—133.
- Stone, B. et al(2012), "Managing climate change in cities: Will climate action plans work?", *Landscape and Urban Planning* 107(3):263—271.
- Williams, J. (2013). "The role of planning in delivering low-carbon urban infrastructure", *Environment and Planning B: Planning and Design* 40(4): 683—706.
- York, R. (2007), "Demographic trends and energy consumption in European Union nations, 1960—2025", *Social Science Research* 36(3):855—872.
- Zha, D. et al(2010), "Driving forces of residential CO₂ emissions in urban and rural China: An index decomposition analysis", *Energy Policy* 38(7):3377—3383.
- Zheng, S. Q. et al(2010), "The greenness of China: Household carbon emissions and urban development", *Journal of Economic Geography* 10(6):1—32.

(责任编辑:杨新铭)

(校对:孙志超)