

我国城镇化进程对能源消费的异质性影响

——基于线性面板模型和 PSTR 模型

付云云, 沈永昌

(滁州学院 数学与金融学院, 滁州 239000)

[摘要] 中国城镇化与能源消费关系问题备受关注,特别是近年来,有关城镇化对能源消费存在单纯线性关系的研究备受质疑。文章依次构建线性模型和非线性模型,深入探寻城镇化对能源消费存在的真实关系。文章选取2006—2016年全国30个省份的面板数据,运用线性面板回归模型进行实证初探,然后运用PSTR模型进行深入研究。研究发现:首先,传统的线性面板模型中系数不显著且非稳态,可认为城镇化对能源消费不存在线性关系,而文章构建的PSTR模型不仅通过异质性检验且模型系数显著稳定,表明城镇化对能源消费存在非线性关系;其次,当我国省域城镇化率达到65.61%门槛值时,城镇化对能源消费的影响系数由正转负,表明城镇化与能源消费之间存在“U”型关系;最后,人均GDP、产业结构和人口等控制变量都显著非线性关系,其中人口对能源消费正向影响最大,产业结构和人口对能源消费呈现倒“U”型关系。根据以上结论,提出相关政策建议。

[关键词] PSTR; 能源消费; 城镇化

[中图分类号] F061.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-6973(2019)03-0100-08

一、引言

研究城镇化对能源消费的影响具有很强的现实意义,特别是在我国城镇化飞速发展的现阶段。2016年我国城镇常住人口已经接近8亿,城镇化率已经达到57.35%。目前,我国已经成为全球第一大能源消费国,而我国城市的能源消耗已经占到全国的70%左右。2006年至2016年期间,我国城镇化率从44.34%提升到了57.35%,人均能源消费也从1153千克标准煤增加到3161千克标准煤。因此,探寻城镇化进程中对能源消费的内在影响机制,对我国推进城镇进程和能源安全都有较大意义。

伴随着城镇化进程,我国能源消费压力在不断提高。不少学者研究我国城镇化与能源消费之间的关系。一方面认为城镇化会促进能源消费,城镇化导致了人口快速聚集,能源消费需求也随之剧

增;另一方面认为城镇化会减少能源消费,由于城镇化带动产业结构升级以及资源利用效率提高,能源消费量反而降低;同时还有学者认为城镇化对能源消费影响是不确定的。由于我国不同区域城镇化发展差异较大,区域之间存在经济发展不均衡、资源禀赋差异大等问题,所以,我国不同区域的城镇化与能源消费的关系存在着明显的异质性。在西部地区正在进行“西部大开发”战略的同时,东部地区一些大城市的“城市病”问题则日益凸显,由于人口源源不断地涌入,城市空间过度开发、交通拥堵严重、城市排污压力过大等问题层出不穷。因此,从异质性角度探究城镇化对能源消费的影响具有实际意义。

针对现有文献的局限性,本文的创新在于充分考虑了城镇化对能源消费的异质性问题,尝试从线性和非线性两个角度出发研究中国城镇化进程对能源消费的影响机制。选取我国2006—2016年30

[收稿日期] 2018-12-08

[基金项目] 安徽省教育厅人文社科一般项目“绿色金融与安徽省产业结构优化策略”(SK2018B10);国家自然科学基金项目“面向大数据的环境绩效评价理论、方法及其应用研究”(71471001);安徽省高校自然科学基金重点项目“面向实时环境监测数据的函数型统计模型研究”(KJ2018A0424)。

[作者简介] 付云云(1990—),女,安徽滁州人,研究方向:能源、环境;沈永昌(1990—),男,安徽石台人,博士,研究方向:统计方法与应用。

个省、直辖市和自治区的面板数据,依次建立线性面板模型和面板平滑转换模型,研究我国城镇化对能源消费的真实影响。这不仅有利于厘清我国城镇化对能源消费的关系,更是对我国进一步实现城镇化和保障能源安全具有一定意义。

二、文献综述

目前,已有不少文献研究城镇化对能源消费的影响,但是,城镇化对能源消费到底产生怎样的影响,学者们对此并没有得出较为一致的结论。

一方面,有些学者的研究表明城镇化提高了能源消费。Jones(1991)通过对59个发展中国家1980年的截面数据进行线性回归分析,发现城镇化对能源消费具有显著的促进作用^[1]。Parikh等(1995)认为城镇化主要从传统能源消费转变、产品和服务需求增加以及居民生活与交通需求增加这三个方面来提高能源的需求量^[2]。York(2007)利用STIRPAT模型(环境压力随机模型)对14个欧盟国家1960—2000年期间的面板数据进行分析,发现城镇化对能源消费具有显著正效应^[3]。近年来,也有不少国内学者开始研究城镇化对能源消费的影响。王蕾等(2014)选取中国31个省1985—2010年的面板数据,构建固定效应面板模型,发现中国城镇化和工业化共同推动能源消费的提升,但是城镇化的推动作用更为明显^[4]。刘洪涛等(2015)定量分析我国城镇化对居民直接和间接能源消费因素的作用,发现城镇化进程推动了我国居民直接能源消费的持续增长^[5]。马远等(2017)则利用新疆15个地州市2004—2012年的面板数据,建立静态面板和动态面板模型,发现城镇化进程中基础建设和交通运输的建设投入在短期内会提高能源消耗量^[6]。

另一方面,也有学者认为城镇化减缓甚至削弱了能源需求。Burton(2000)和Capello(2000)提出紧凑型城市理论——通过高密度且合理的城市规划建设,可以提高公共资源的利用效率从而降低能源消耗和二氧化碳的排放^[7,8]。Glaeser(2011)的研究证实了这一理论,他发现美国中心城市由于汽油消耗和电力消费较低,家庭能源消耗和交通用能往往比郊区更低^[9]。同样地,我国的学者也得出了相同的结论。肖宏伟(2014)运用空间计量经济模型测算了城镇化发展及其他影响因素对能源消费的影响程度,研究结果发现城镇化会造成能源消费减少^[10]。汪泽波(2016)基于VAR模型(结构向量自回归模型)分析京津冀地区城镇化对能源消费的影响,发现天津市的城镇化进程对能源消费的影响显

著为负^[11]。

还有一些文献则揭示了城镇化对能源消费影响的不确定性。Poumanyong等(2012)基于跨国面板数据的研究,发现城镇化对能源消费的影响因收入水平的不同而不同,低收入组的城镇化水平与能源消费负相关,但中、高收入组的城镇化水平与能源消费呈正相关^[12]。靖学青(2014)则从城镇化的三个不同层面研究其对西部能源强度的影响,结果表明产业城镇化对西部地区能源强度呈现显著负向效应,人口城镇化与地域城镇化对能源强度存在正向影响效应^[13]。马海良等(2017)选取2003—2012年长江经济带11个省份(直辖市)的相关数据,运用门槛模型研究发现城镇化对工业能源消费存在显著的门槛效应^[14]。

综上所述,现有文献运用不同计量模型从国家层面、区域层面以及城市层面探究了城镇化对能源消费的影响,研究成果颇丰,但还存在几点不足:第一,现有研究大多将城镇化水平作为影响能源消费量增长的单一指标,分析两者间的关系;第二,国内文献更多的是假设城镇化与能源消费之间存在线性关系,考虑两者之间可能存在的非线性关系的文献较少;第三,我国区域经济发展水平不平衡等区位差异因素也导致东中西地区的城镇化发展水平和能源消费情况的异质性。尽管已有学者关注到经济发展水平的差异对两者关系的影响,但结论并不一致。故本文为厘清城镇化对能源消费的影响,尝试从线性模型和非线性模型出发,通过建立线性面板模型和PSTR模型深入探讨二者关系。

三、实证模型及数据来源

基于文献综述分析可知城镇化对能源消费的影响可能不是简单的线性关系。为探讨城镇化与能源消耗之间的关系,本文首先建立线性面板模型来探究城镇化对能源消耗的影响是否存在简单线性关系,并分析二者之间关系是否稳定;其次,建立PSTR模型来进一步研究城镇化对能源消耗的非线性关系。

(一)线性模型

本文运用Dietz等(1997)提出的SIRPAT模型($I_{it} = aP_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d u_{it}$)来检验城镇化对能源消耗的影响^[15]。SIRPAT模型是由IPAT模型演进而来,IPAT模型最初被广泛用于研究人类活动对环境的影响,其中的I、P、A、T分别表示环境影响(the environmental impact)、人口规模(population size)、财富(affluence)和技术进步(technology)。因为城镇化变量对能源消耗具有重要的影响,所以,本文

通过引入城镇化变量扩展 SIRPAT 模型。模型两边取自然对数,扩展后的模型如下所示:

$$\ln I_{it} = \ln \alpha + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + \beta \ln \text{urban}_{it} + u_{it} \quad (1)$$

其中, I 用能源消耗量 (En) 表示, P 用总人口 (pop) 表示, A 用人均 GDP (pgdp) 表示。参考 Shi (2003) 等对技术进步 T 的表示方式^[16], 最终用第二产业占 GDP 的比例 (indus) 作为代理变量来衡量 T。urban 表示城镇化率。为更好地展示本文使用的变量, 模型调整如下:

$$\ln \text{en}_{it} = \alpha_i + \beta_{0,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{0,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{0,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{0,4} \ln \text{urban}_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

(二) 非线性模型

Poumanyong 等 (2012) 和 马海良等 (2017) 指出城镇化对能源消耗的影响作用并不明确^[12,14], 而这种不明确性可以通过非线性模型或门槛模型得到解决。本文选取 PSTR (Panel Smooth Transition Regression) 模型进行分析, PSTR 模型作为三大非线性模型之一, 且此模型依据平滑转换函数, 能够更好地刻画非线性关系。因此, 为了准确把握转型国家城镇化对能源消耗的影响, 本文运用 PSTR 模型研究城镇化和能源消耗间的非线性关系。

基础的 PSTR 模型包含两个极限制度, 定义如下:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_0 x_{it} + \beta_1 x_{it} g(q_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (3)$$

其中, $i=1, \dots, N$ 和 $t=1, \dots, T$, N 和 T 分别表示面板数据的截面个数和时间维度; 被解释变量 y_{it} 是一个标量; x_{it} 是 k 维的外生变量; μ_i 代表固定的个体效应; μ_{it} 为误差项; 转换函数 $g(q_{it}; \gamma, c)$ 是关于转换变量 q_{it} 的一个连续有界函数, 其值域在 $[0, 1]$, 表明两种极端的区制, 一般来说, 转换变量 q_{it} 决定了转换函数 $g(q_{it}; \gamma, c)$ 的值, 从而导致在 T 时刻对于个体 i 的有效回归系数值为 $\beta_0 + \beta_1 g(q_{it}; \gamma, c)$ 。参考 González 等 (2005), 选择逻辑函数形式来表示转换函数^[17]。

$$g(q_{it}; \gamma, c) = (1 + \exp(-\gamma \prod_{j=1}^m (q_{it} - c_j)))^{-1} \quad (4)$$

$$\gamma > 0, c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_m$$

其中, c 是一个 m 维向量的位置参数, m 表示位置参数的个数, 转换系数 γ 决定了转换的平滑度。约束条件 $\gamma > 0$ 和 $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_m$ 的目的是为了使模型可识别。

本文使用 PSTR 模型, 以城镇化率作为转换变

量, 讨论城镇化与能源消耗之间的关系, 同时也考虑了人口、经济发展、技术进步因素等控制变量对能源消耗的影响, 其中城镇化指标为城镇化率。

模型 1:

$$\ln \text{en}_{it} = \mu_i + \beta_{0,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{0,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{0,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{0,4} \ln \text{urban}_{it} (\beta_{1,1} \ln \text{urban}_{it}) g(\ln \text{urban}_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (5)$$

模型 2:

$$\ln \text{en}_{it} = \mu_i + \beta_{0,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{0,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{0,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{0,4} \ln \text{urban}_{it} (\beta_{1,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{1,2} \ln \text{indus}_{it}) g(\ln \text{urban}_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (6)$$

模型 3:

$$\ln \text{en}_{it} = \mu_i + \beta_{0,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{0,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{0,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{0,4} \ln \text{urban}_{it} (\beta_{1,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{1,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{1,3} \ln \text{pop}_{it}) g(\ln \text{urban}_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (7)$$

模型 4:

$$\ln \text{en}_{it} = \mu_i + \beta_{0,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{0,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{0,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{0,4} \ln \text{urban}_{it} (\beta_{1,1} \ln \text{pgdp}_{it} + \beta_{1,2} \ln \text{indus}_{it} + \beta_{1,3} \ln \text{pop}_{it} + \beta_{1,4} \ln \text{urban}_{it}) g(\ln \text{urban}_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (8)$$

为了充分研究城镇化对能源消费的异质性影响, 本文依次加入不同的随转换函数变化而变化的变量, 其中模型 1 中只有城镇化率随转换函数 g 变化; 模型 2 中增加了人均 GDP 指标随转换函数 g 变动; 模型 3 中增加了工业增加值占比指标随转换函数 g 变动; 模型 4 中增加了人口指标随转换函数 g 变动。通过四个不同类别模型, 如果能够得到一致结论, 则表明城镇化对能源消费的异质性影响稳定, 若不能够得到一致结论, 则表明城镇化对能源消费的异质性影响尚不明确。

(三) 数据来源及描述性统计分析

为了分析城镇化和能源消费之间关系, 本文选取了 2006—2016 年全国 30 个省、直辖市和自治区的相关指标, 其中, 由于西藏地区数据严重缺失, 所以未包含在内。能源消费指标选取各省份能源消费总量, 用 en 表示 (单位: 万吨标准煤); 城镇化指标选取城镇人口^① 占常住人口的比重, 用 urban 表示 (单位: %); 技术进步指标选取工业增加值占 GDP 的比例, 用 ind 表示 (单位: %); 人口指标选取地区总人口, 用 pop 表示 (单位: 万人); 财富指标选取人均 GDP, 用 pgdp 表示 (单位: 元), GDP 数据按 2006 年不变价进行处理。以上五个变量数据均来自 2007—2017 年《中国统计年鉴》《中国人口统计

① 城镇人口依据中国国家统计局的定义, 具体说明详见 http://www.stats.gov.cn/tjsj/zbjs/201310/t20131029_449552.html。

年鉴》和《中国能源统计年鉴》，其中部分数据参考了各省 2007—2017 年度统计年鉴。

本文五个变量的描述性统计分析见表 1，表 1 中给出了 en、urban、pgdp、ind、pop 指标的均值、中位数、最小值、最大值和标准差。我们发现能源消费差异较大，其最大值为 2012 年山东省能源消费

量(38899 万吨标准煤)，而最小值为 2006 年海南省能源消费量(920 万吨标准煤)，二者相差 43 倍有余。城镇化率指标差异也很显著，反映出各省份城镇化进程有所不同，城镇化率最大值为 2014 年上海市的 89.6%，而最小值为 2006 年贵州省的 27.46%。

表 1 变量描述性统计分析

Tab. 1 The descriptive statistics of variables

变量	样本数	均值	中位数	最小值	最大值	标准差
en	330	13121.22	10639.5	920	38899	8147.881
urban	330	52.9532	50.585	27.46	89.6	13.8001
pgdp	330	38663.19	34204	6338.699	118198	22658.83
ind	330	0.3987	0.4135	0.11929	0.5288	0.0807
pop	330	4452.992	3818	548	10999	2670.181

四、实证结果

本文再对第三部分建立的 SIRPAT 模型和 PSTR 模型的结果进行分析。线性模型——SIRPAT 实证分析中包括模型显著性检验和模型估计结果分析；非线性模型——PSTR 实证分析中包括模型同质性检验、非剩余的异质性检验以及模型估计结果分析。

(一)线性回归的实证结果

在上文中，我们分析出我国区域城镇化进程差

异显著，故本文分别对全国、东部、西部和中部地区分别进行线性面板回归。线性回归模型的估计结果如表 2 所示。其中，4 个模型依次为全国模型、东部模型、中部模型和西部模型。表 2 的倒数第二行显示了 Hausman 检验的结果，全国、东部和西部模型均在 10% 的显著性水平下拒绝原假设，因此，均采用固定效应的线性回归估计；而中部模型接受原假设，因此，采用随机效应模型。

表 2 面板模型估计结果

Tab. 2 Results from the linear panel model

变量	全国	东部	中部	西部
lnpop	0.4597*** (3.41)	0.1002 (0.74)	0.3341 (1.44)	2.3149*** (4.45)
lnpgdp	0.3956*** (12.57)	0.4696*** (10.24)	0.3459*** (10.33)	0.5421*** (5.26)
lnind	0.0249 (0.55)	0.1099* (1.74)	0.1284** (2.51)	-0.1268 (-0.96)
lnurban	0.0279 (0.22)	-0.1358 (-0.69)	0.043 (0.28)	-0.6977* (-1.76)
常数项	1.1983 (0.96)	3.7027*** (2.67)	2.4134 (1.25)	-11.5087** (-2.48)
F 统计量	488.58	278.17	732.36	212.82
R ²	0.8685	0.9056	0.8937	0.9082
Hausman 检验(p value)	0.0000	0.0000	0.4996	0.0016
结 论	固定效应	固定效应	随机效应	固定效应

注：括号内的值是 t 值，*、** 和 *** 分别表示 0.1、0.05 和 0.01 的显著水平

如表 2 所示，对于全国模型，面板回归模型整体是显著的，但是城镇化和工业增加值占 GDP 的比例对能源消费的影响不显著，只有总人口和人均 GDP

对能源消费的影响是显著为正的；对于分区域模型，虽然面板回归模型整体是显著的，但是东部和中部地区城镇化对能源消费的影响不显著，只有西部地

区城镇化在 10% 的显著性水平上与能源消费负相关。但从城镇化系数看,全国为正的 0.0279、东部为负的 0.1358、中部为正的 0.043、西部为负的 0.6977,表明系数有正有负,从侧面反映出单纯用线性模型刻画城镇化对能源消费影响出现的结果混乱且不稳定。

因此,从整体来看,面板回归模型的结果并不理想——我国城镇化水平与能源消费之间不存在单纯的线性关系,同时,不同区域城镇化与能源消费之间的关系存在明显的异质性。

(二)PSTR 模型检验

建立 PSTR 需要对模型的同质化检验和非剩余的异质性检验。本文参照沈永昌和余华银(2016)

文献进行 PSTR 检验^[18],其中,同质性检验方法参照 Luukkonen 等(1988)的方法^[19],其检验目的是确定能否建立非线性模型,即确定位置参数的个数;而非剩余的异质性检验参照 González 等(2005)的方法,其检验目的是确定 PSTR 模型中转换函数的个数^[17]。

表 3 是四个模型的同质性检验表。当 $m=1,2,3$ 时,四个模型均显著拒绝原假设,表明可以选用非线性模型。参照 González 等(2005)选择 m 的方法,认为拒绝原假设越强,位置参数越准确^[17]。其中模型 1、模型 2、模型 3 和模型 4 中 m 应该选 1,表明四个模型中只有一个位置参数。

表 3 同质性检验结果
Tab. 3 Results of homogeneity test

	模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
	F 统计量	P 值	F 统计量	P 值	F 统计量	P 值	F 统计量	P 值
$m=1$	5.260	0.000	3.481	0.009	2.534	0.008	5.260	0.000
$m=2$	4.162	0.000	2.611	0.036	2.551	0.020	4.162	0.000
$m=3$	4.165	0.000	2.907	0.032	2.327	0.075	4.165	0.000

表 4 是四个模型非剩余的异质性检验表。本研究首先检验是否存在转换函数,若确定存在转换函数,再检验存在几个转换函数。表中原假设 $H_0:r=0$,表示没有转换函数。由检验结果可知,四个模型均在 1% 的显著水平下拒绝了原假设,故认为四个

模型均存在至少 1 个转换函数。表中原假设 $H_0:r=1$,表示转换函数个数为 1,备择假设为至少有 2 个转换函数。由检验结果可知,模型 1、模型 2、模型 3 和模型 4 均在 1% 的显著水平下拒绝了备择假设,则认为四个模型中转换函数应该选择 $r=1$ 。

表 4 非剩余的异质性检验结果
Tab. 4 Results of none-residue heterogeneity test

		模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
		F 统计量	P 值	F 统计量	P 值	F 统计量	P 值	F 统计量	P 值
$m=1$	$H_0:r=0vsH1:r\geq 1$	2.827	0.000	3.481	0.009	2.534	0.008	5.260	0.000
	$H_0:r=1vsH1:r\geq 2$	0.143	0.934	0.249	0.960	0.551	0.837	0.879	0.569
$m=2$	$H_0:r=0vsH1:r\geq 1$	1.065	0.364	2.611	0.036	2.551	0.020	4.162	0.000
	$H_0:r=1vsH1:r\geq 2$	0.136	0.938	0.146	0.986	0.499	0.875	0.936	0.511
$m=3$	$H_0:r=0vsH1:r\geq 1$	1.046	0.307	2.907	0.032	2.327	0.075	4.165	0.000
	$H_0:r=1vsH1:r\geq 2$	0.201	0.207	0.596	0.733	0.388	0.940	0.033	1.000

根据同质性检验和非剩余的异质性检验结果,可以确定四个模型的具体形式。其中, $r=1$ 即转换函数个数为 1, $m=1$,即位置参数个数也为 1。自此三个模型的转换函数个数及位置参数个数均确定,完成了模型设定。

(三)PSTR 模型的实证结果

本文利用 MATLAB 软件对四个模型进行非线性估计,模型 1 默认只有城镇化与能源消费之间存

在非线性关系,模型 2 默认城镇化和经济发展水平都与能源消费之间存在非线性关系,模型 3 默认城镇化、经济发展水平和产业结构三者都与能源消费之间存在非线性关系,而模型 4 默认城镇化、经济发展水平、产业结构和总人口数均与能源消费存在非线性关系,估计结果如表 5 所示。从模型 1 到模型 4,模型的参数逐渐显著,反映出城镇化率、人均 GDP、工业值增加值占比、人口对能源消费都存在

非线性影响。故下文以模型 4 为主,对模型进行深入分析。

表 5 PSTR 模型估计结果

Tab. 5 Estimated results of PSTR model

	模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
	参数估计值		参数估计值		参数估计值		参数估计值	
	(估值下方为 T 值)		(估值下方为 T 值)		(估值下方为 T 值)		(估值下方为 T 值)	
	线性部分	非线性部分	线性部分	非线性部分	线性部分	非线性部分	线性部分	非线性部分
lnurban	-1.1407	0.0708***	-4.2454***	3.1354***	-7.1907***	5.4039***	-0.9979***	1.1501***
	(-1.4921)	(2.1328)	(-4.2103)	(3.2473)	(-4.1242)	(3.6098)	(-4.9109)	(3.8308)
lnpgdp	0.8014***		1.5769***	-1.036***	1.8629***	-1.4641***	0.9268***	-0.6133***
	(8.5986)		(5.9049)	(-3.1001)	(5.0306)	(-3.0653)	(9.4468)	(-4.5631)
lnind	0.5687***		0.5679***		0.8482***	-0.351	0.6597***	-0.2272***
	(9.5598)		(9.4879)		(2.2658)	(-0.7849)	(8.4507)	(-2.1355)
lnpop	0.7421***		0.7315***		0.728***		0.6833***	0.3279***
	(38.2831)		(36.8183)		(37.5779)		(31.9124)	(7.4081)
位置参数	3.7798		3.6776		3.6891		4.1837	
转换系数	9.2921		4.2959		4.5		11.9085	

注:括号内的值是 t 值,*、**和***分别表示 0.1、0.05 和 0.01 的显著水平

首先,城镇化与能源消费的线性部分与非线性部分系数分别为-0.9979 和 1.1501,说明城镇化与能源消费的弹性最大为 0.1522,最小为-0.9979,弹性区间为[-0.9979,0.1522]。可见,我国城镇化对能源消费是存在一个先负后正的影响,两者存在“U”型关系。根据位置参数为 4.1837,EXP(4.1837)计算得 65.84,说明城镇化率在 65.84%之前,城镇化对能源消费的影响为负,只有超过 65.84%这个门槛值,城镇化对能源消费的影响才为正。而 2016 年我国城镇化率为 57.35%,还没有达到门槛值,也就是目前我国城镇化对能源消费的影响为负。根据 2000 年 Burton 和 Capello 等提出的紧凑型城市理论^[7,8],由于集聚效应和规模经济,城市化建设提供的公共交通等公用设施有效利用以及减少人均住宅面积,从而生活用能反而会减少。

其次,总人口对能源消耗量的线性部分和非线性部分系数分别为 0.6833、0.3279,说明人口总量对能源消耗的弹性最小值为 0.3279,最大值为 1.0112,弹性均为正数,这表明人口的增长会增加能源消耗量,这与周敏等(2018)的研究结论一致^[20],且符合实际情况。人均 GDP 对能源消耗量的线性部分和非线性部分系数分别为 0.9268、-0.6133,说明人均 GDP 对能源消耗量的弹性区间在[-0.6133,0.3135],表明地区经济增长对能源消耗量的先正后负的倒“U”关系,即在城镇化水平较低时,人均 GDP 对能源消费有正的影响,当城镇化率达到 65.84%后,人均 GDP 对能源消费的影响由正转负。

产业结构对能源消耗量的线性部分和非线性部分系数分别为 0.6597、-0.2272,此时产业结构对能源消耗量的弹性区间为[-0.2272,0.4325],结果表明产业结构对能源消耗量的影响是先促进后降低,呈现倒“U”型关系,即在城镇化水平较低时,产业结构对能源消费有正的影响,当城镇化率达到 65.84%后,产业结构对能源消费的影响由正转负。综合上述三个变量,我们发现人口因素对能源消费的促进作用最为明显,且弹性系数值最大,而经济发展和产业结构对能源消费的影响也不是单纯的线性关系,而是呈现倒“U”型关系。

最后,我们的研究发现,当城镇化率为 65.84%时,城镇化、人口规模、产业结构和经济发展对能源消费的影响都会出现不同程度变化,显然不同于上文线性面板模型得出的结论。这些研究表明我们建立的 PSTR 模型是具有实际意义的,且能更好地解释城镇化对能源消费的异质性影响。虽然 2016 年我国的城镇化率为 57.35%,但是根据世界城镇化发展普遍规律,我国仍处于城镇化率 30%~70%的快速发展区间。一旦我国城镇化达到一定门槛值,城镇化的快速扩张,必定会引起能源消费的急剧扩张,这也必须引起重视。

五、结论与政策建议

(一)结论

为厘清城镇化对能源消费的真实关系,本文选取我国 2006—2016 年 30 个省份的面板数据,依次

构建了线性面板回归模型和 PSTR 模型。研究发现:(1)线性面板模型中,全国、东部、中部和西部省份四个模型中城镇化对能源消费的影响有正有负,且模型系数显著均不高,表明我国城镇化与能源消费之间存在单纯的线性关系。(2)PSTR 模型中,首先,模型都通过同质性检验和非剩余的异质性检验,表明城镇化与能源消费者之间可能存在某种非线性关系;其次,建立的四个 PSTR 模型表明城镇化对能源消费的影响呈现先负后正的特征,即两者之间存在“U”型关系,同时得到发生平滑转换的门限值为 4.1837,即城镇化率为 65.84%;最后,经济发展水平、产业结构和人口对能源消费的影响也存在非线性关系,其中人口对能源消费正向影响最大,地区经济增长和产业结构与能源消耗量呈现倒“U”型关系。

(二)政策建议

首先,推进中、西部地区的城镇化建设。由于中、西部地区的城镇化率还较低,大多数省份未达到本文的门限值 65.84%,依据我们的研究,中西部地区城镇化进程会减低能源消费,所以对于中、西部地区应该继续推进城镇化进程。但考虑人口、经济发展和产业结构因素对能源消费的共同作用下,我国在推进中西部城镇化进程中也应提高能源利用率,同时在城镇化建设中也扩大绿色建筑的比例。

其次,加快东部地区城镇化的调整与升级。东部省份城镇化率大多比较高,如江苏 2014 年城镇化率为 67.72%,表明这些省份已经接近甚至超越 65.84%的门限值,此时城镇化的盲目推进会增加能源消费,因此,提高城镇化的质量尤为重要。如东部地区由于人口拥挤不堪、城市排污能力不足、能源消耗负担过重,可以发展高新技术与环保产业等现代服务业,同时控制高能耗、高污染的工业企业发展。

最后,倡导全民绿色低碳的消费理念。我国处在社会主义初级阶段,人民日益增长的物质文化需求不断提升,比如家电、汽车等,这些需求会在不同程度上提高我国能源消费总量。因此,通过制定政策来倡导全民的绿色低碳消费观念日益重要。政府应大力建设公共交通网络倡导绿色出行;提倡光盘行动,节约资源;采取补贴方式,增强新能源汽车和低能耗家电竞争力;建立绿色消费积分制度,促进全面绿色消费新常态。

[参 考 文 献]

- [1] JONES D W. How urbanization affects energy-use in developing countries[J]. *Energy Policy*, 1991,19(7): 621—630.
- [2] PARIKH J, SHUKLA V. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: results from a cross-national study of developing countries[J]. *Angewandte Chemie*, 1995, 54(13): 3932—3936.
- [3] YORK R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960—2025 [J]. *Social Science Research*, 2007,36(3):855—872.
- [4] 王蕾,魏后凯.中国城镇化对能源消费影响的实证研究[J]. *资源科学*, 2014,36(6):1235—1243.
- [5] 刘洪涛,杜娟.城镇化对居民能源消费影响的投入产出分析[J]. *陕西行政学院学报*, 2015,29(4):26—30.
- [6] 马远,徐俐俐.工业化与城镇化对能源强度的影响研究——基于新疆面板数据 FGLS 和 SYS-GMM 的实证分析[J]. *生态经济*, 2017,33(7):66—70.
- [7] BURTON E. The compact city: just or just impact? A preliminary analysis[J]. *Urban Studies*, 2000,37(11): 31—67.
- [8] CAPELLO R, CAMAGNI R. Beyond optimal city size: an evaluation of alternative urban growth patterns [J]. *Urban Studies*, 2000,37(5):1479—1496.
- [9] GLAESER E. Cities, productivity, and quality of life [J]. *Science*, 2011,333(6042):592—594.
- [10] 肖宏伟.新型城镇化发展对能源消费的影响研究——基于空间计量模型的实证检验与影响效应分解[J]. *当代经济管理*, 2014,36(8):12—18.
- [11] 汪泽波.京津冀地区城镇化对能源消费的动态冲击效应——基于 SVAR 模型的分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016,30(9):7—13.
- [12] POUMANYVONG P, KANEBO S, DHAKAL S. Impacts of urbanization national transport and road energy use: evidence from low, middle and high income countries[J]. *Energy Policy*, 2012,46(3):268—277.
- [13] 靖学青.城镇化进程与西部地区能源强度——基于 1996—2011 年省级面板数据的实证分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014,24(S3):261—264.
- [14] 马海良,王若梅,丁元卿,等.城镇化对工业能源消费的门槛效应研究——以长江经济带省份为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017,27(3):56—62.
- [15] DIETZ T, ROSA E A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1997, 94(1):175—179.
- [16] SHI A. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975—1996: evidence from pooled cross-country data [J]. *Ecological Economics*, 2003,44(1):29—42.
- [17] GONZÁLEZ A, TERASVIRTA T. Panel smooth transition regression models[G] *Quantitative Finance*

Resaech Centre, University of Technology Sydey, 2005.

[18] 沈永昌,余华银. 环境库兹涅茨曲线假说的中国检验——基于 PSTR 模型的实证研究[J]. 江南大学学报(人文社会科学版),2016,15(3):117—125.

[19] LUUKKONEN R, SAIKKONEN P, TERASVIRTA T. Testing linearity against smooth transition autore-

gressive models[J]. Biometrika, 1988,75(3):491—499.

[20] 周敏,谢莹莹,孙叶飞,等. 中国城镇化发展对能源消费的影响路径研究——基于直接效应与间接效应视角[J]. 资源科学,2018,40(9):1693—1705.

(责任编辑:蒋萍)

The Heterogeneous Impact of Urbanization on Energy Consumption in China-Based on Linear Panel Model and PSTR Model

FU Yun-yun, SHEN Yong-chang

(School of Mathematics and Finance, Chuzhou University, Chuzhou Anhui, 239000)

Abstract: The relationship between urbanization and energy consumption in China has been paid much attention to. Especially, in recent years, suspicion of the research on the simple linear relationship between urbanization and energy consumption has become popular. This paper constructs linear model and non-linear model to explore the real relationship between urbanization and energy consumption. This paper chooses panel data from 30 provinces in China from 2006 to 2016. Firstly, the linear panel regression model is used for empirical study, and then the PSTR model is used for in-depth study. The results show that: firstly, the coefficients in the traditional linear panel model are insignificant and unsteady. It can be concluded that there is no linear relationship between urbanization and energy consumption. The PSRT model constructed in this paper not only passes the heterogeneity test, but also shows that the coefficients of the model are remarkably stable, indicating that there is a non-linear relationship between urbanization and energy consumption. Secondly, when the provincial urbanization rate reaches the threshold of 65.61%, the impact coefficient of urbanization on energy consumption will change from positive to negative, indicating the “U” relationship between urbanization and energy consumption. Finally, the control variables such as per capita GDP, significant non-linear relationship can be found in industrial structure and population. Population has the greatest positive impact on energy consumption. Industrial structure and population have an inverted U-shaped relationship on energy consumption. Based on the above conclusions, relevant policy will be put forward.

Key words: PSTR; Energy Consumption; Urbanization