

引用格式:严翔,成长春,贾亦真. 中国城镇化进程中产业、空间、人口对能源消费的影响分解[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 216-225. [Yan X, Cheng C C, Jia Y Z. Effect decomposition of industry, space and population on energy consumption during Chinese urbanization[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1): 216-225.] DOI :10.18402/resci.2018.01.20

# 中国城镇化进程中产业、空间、人口对能源消费的影响分解

严翔<sup>1,2</sup>, 成长春<sup>2,3</sup>, 贾亦真<sup>2</sup>

(1. 盐城师范学院商学院, 盐城 224002; 2. 河海大学商学院, 南京 211100;

3. 南通大学江苏长江经济带研究院, 南通 226019)

**摘要:**在文献回顾的基础上构建城镇化进程中产业、空间与人口的交互发展对能源消费的融合传导机制,并基于向量形式的Kaya拓展模型与“多项连乘和加总”的LMDI改进形式,对中国1998—2015年间的能耗总量变化进行因素分解。研究显示:城镇化对生产端能耗的拉动效应远大于生活端;传统能源驱动型产业的转型升级与技术进步缓解了能源压力;近些年除消费支出以外的其他经济单元,因粗放型“三高”发展模式的改善,较居民消费具有能耗比较优势;居民消费效应仍是间接能耗提升的主导因素,城乡居民消费行为趋同对生活能耗波动的正向贡献日趋增强,并随着人口规模的扩张成为能源可持续发展的掣肘;摊大饼式空间低密度蔓延加剧了能源消费,仅人口集聚的规模效应对生活能耗波动具有负向贡献。进一步指出在新型城镇化能源约束强化的情境下,虽然产业层面的结构调整与技术进步对能耗的削减效应仍存在,但更应关注人口层面的居民消费方式及用能习惯的改良,释放空间层面的资源配置对降低能耗的新动能,努力实现共享经济以缓解能耗压力,并据此提出几点建议。

**关键词:**城镇化; 产业; 空间; 人口; 能源消费; LMDI

DOI :10.18402/resci.2018.01.20

## 1 引言

城镇化是社会现代化转型发展的必由之路,是非农产业在城镇入驻、农村人口向城镇迁居而引发产业、空间、人口间的协调适配过程。中国2015年的城镇化水平为56.1%,虽然在近40年的快速发展期间有超5亿人口迁居城镇,但与发达国家平均75%相比,还有约20个百分点的差距。相关研究指出,中国城镇化进程中生产方式与消费行为的变迁对能源消费产生了深远影响<sup>[1,2]</sup>;在政府主导的“摊大饼”式“旧型城镇化”发展阶段,三产间发展不协调,空间分布和规模结构不合理,土地城镇化快于人口城镇化,造成城乡二元结构明显。1998—2015年间

GDP虽增长了4.6倍,但经济快速发展的背后暗藏着3.2倍能耗总量的提升,尤其是居民生活水平与消费结构的变化扩大了能耗需求<sup>[3]</sup>,一个农业人口转入城市人口的能耗水平将提升至原来的3倍以上<sup>[4]</sup>,预计到2030年,超10亿、近70%的中国人口将定居城市,必将产生更多的能源消耗<sup>[5]</sup>。由此可见,目前中国城镇化模式具有高能耗特点,能源问题仍是制约可持续发展的桎梏。部分学者指出发展中国家能源需求远未饱和,能源需求反弹可能性更大<sup>[6]</sup>,因此研究新型城镇化下产业、空间、人口对能源消费的影响分解,寻求其间的协同发展机制是摆脱当前能源约束,对实现中国新型城镇化高效、包容、

收稿日期:2017-08-01 修订日期:2017-10-11

基金项目:国家社会科学基金重点项目(16AJL015);江苏省重点建设学科应用经济学资助;2016年中央高校基本科研业务费专项基金(2016B46314)。

作者简介:严翔,男,江苏盐城人,博士生,讲师,主要研究方向为区域经济。E-mail: yanxiang@hhu.edu.cn

2018年1月

可持续发展具有现实意义。

## 2 文献回顾及述评

### 2.1 国内外文献综述

国内外有关城镇化对能源消耗的关系研究不单局限在因城镇人口比重带来的影响,还涉及到产业结构、空间布局、居民消费等诸多方面,因此两者间的影响及其传导机制可以认为是在产业,空间,人口交织互动下进行的。

从产业发展角度研究表明,不同时期的产业结构变动是能源消费的主要影响因素<sup>[7,8]</sup>,其中二产能耗占能耗总量比重最大<sup>[9]</sup>。部分学者指出,产业结构变化对能源效率的提升作用自20世纪90年代中期开始逐渐消失,仅靠结构调整已很难应付当前巨大的能源压力<sup>[10]</sup>,进一步研究显示,产业的技术进步对能耗影响作用在不同发展阶段呈现较大差别<sup>[11]</sup>,当前更应通过技术进步实现能源强度降低与能源利用效率的提高<sup>[12,13]</sup>。但技术进步带动其他经济单元的发展,使技术节约的能耗量不及经济增长的能耗需求量,最终出现能耗总量的回弹效应<sup>[14]</sup>。

基于空间视角研究显示,能源消费与城市空间结构及规模相关<sup>[15,16]</sup>,城市低密度化诱发的汽车保有量、出行距离等因素导致能耗增加<sup>[17]</sup>;从城市规划角度解释,土地资源开发空间强度低,生活与生产设施分散,基础设施服务功能排他性强等资源布局模式导致能耗加剧<sup>[18]</sup>,提高城市密度可以缩短通勤距离,减少对汽车的依赖性,也可降低能源输配损耗,通过实现公共设施的规模效应以达到节能减排目的<sup>[19]</sup>。在借鉴比较他国发展经验的基础上,中国学者指出节约能源不能单考虑产业结构与技术,应该结合国情从空间节约入手实现节能低碳<sup>[20,21]</sup>。但现实生活中高概率交通堵塞与尾气排放造成的负面效益大于空间紧凑带来的收益,城市高密度发展导致能源消耗不降反升现象引起了学者们对空间紧凑发展的置疑<sup>[22]</sup>。

微观人口层面研究指出,城镇化带动了移居城市人口的收入水平<sup>[23]</sup>,也改变了他们的能源消费行为与生活方式<sup>[3,4]</sup>:日常丰富的能源设备与消费种类,加之能源宣传带来的节能意识提升,降低了原本以薪柴、秸秆等为主的生活直接能耗<sup>[24]</sup>;另一方面,虽然城镇基础设施完善可以因规模效应降低一部分能

耗,但由于更接近消费市场,居民消费结构的升级推动了商品与服务生产过程中的间接能源消费<sup>[25]</sup>,这已逐渐上升为中国居民能耗增长的主要因素<sup>[26]</sup>。随着中国人口城镇化的进一步发展,新一代消费者在经济上更独立,消费欲望与需求比上一代更强,巨大的人口基数及其结构变化将对能源消费造成长期压力<sup>[27-30]</sup>。

### 2.2 影响机制分析

基于文献回顾可知,城镇化进程中的人口集聚与空间拓展,使得生产要素在空间上集聚与重置,加剧了区域间人员与物资的互动转移:为工业化发展提供了人力、土地等要素输入与消费市场输出;有助于土地流转后的规模种植,为现代化农业发展提供契机;城镇化也直接影响人们的消费购物、交通出行等生活方式,促进第三产业协同发展,在此进程中对能耗的影响存在因产业、空间与人口的交互发展的传导机制,如图1所示。

产业结构调整与技术进步降低了能耗,但反哺其他经济单元发展的同时亦会引起能源需求反弹;土地高密度紧凑开发形成的规模效应可以降低能耗,但配套基础设施建设、交通拥堵等问题也消耗了部分能源;人口迁居引起的消费结构与生活水平的提升一定程度上优化了能源消费结构,但也会因城镇居民更接近市场而拉动内需,间接提升能源消费。因不同区域在各自的城镇化发展阶段,产业、空间、人口间

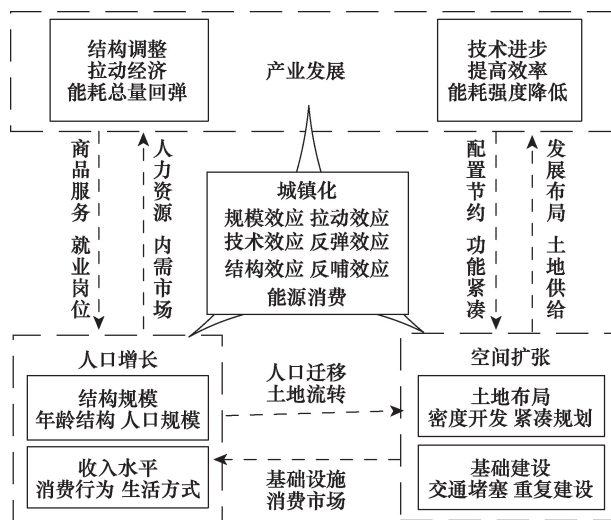


图1 城镇化下产业-空间-人口对能耗的传导机制

Figure 1 Transmission mechanism of energy consumption on industry-space-population in urbanization process

的互动机制不同,造成对能源消费的互动机制及影响路径存在差异,因此城镇化与能耗间的影响关系究竟是规模集聚效应带来的负向减少,还是拉动反弹效应引起的正向增加,现有研究并无统一结论<sup>[31,32]</sup>。

### 2.3 文献述评

综上文献整理,在研究视角方面,现有城镇化对能耗及其影响因素的研究大都集中在宏观经济与产业层面,从空间层面及微观行为主体层面的研究不多,鲜有多方位综合考量的定量研究;研究载体方面,部分文献采用截面数据对某一时间点的区域间能耗进行静态横向比较,缺乏时间序列的阶段性能耗演进分析,忽略了城镇化动态变迁这一本质;研究方法部分,因素分解法因其适用性被很多相关研究采纳,但现有文献普遍采用“单项连乘和”的形式,一定程度上限制了表达式涵盖的内容,造成效应分析同质化,忽略了更多的影响因素。本研究认为,不应仅从产业、人口、空间的某一方面考量对能耗的影响,而应结合中国城镇化的现实场景,综合考虑多因素间的互动传导机理,进一步动态剖析能源消耗源由。

因此,本文在文献梳理基础上剖析能耗影响因素间的互动影响机制,将微观居民消费行为置于宏观城镇化背景下的生产与生活能耗动态变迁情境中,结合城乡二元结构差异及空间粗放扩张实情,构建向量形式的Kaya恒等式拓展模型,并将LMDI法改进为“多项连乘和加总”的形式,探析中国城镇化进程中产业、人口、空间对能源消费波动的阶段性动态贡献,旨在分析中国新型城镇化下的能源问题提供参考。

## 3 研究方法 & 数据说明

### 3.1 模型构建

本研究在经典Kaya恒等式<sup>[33]</sup>的基础上进行扩展,从宏观到微观细化能源消费的驱动因素,综合反映生产端产业发展、生活端行为变迁及其空间土地扩张三方面对能耗的交互影响。在前文影响因素传导机制基础上构建的能源消费影响模型如下:

$$\begin{aligned} E &= EP + EL = \sum_i EP_i + \sum_j EL_j \\ &= \sum_i \frac{EP_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times \frac{G}{HC} \times HC \\ &\quad + \sum_j \frac{EL_j}{P_j} \times \frac{P_j}{P} \times \frac{P}{A} \times A \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $E$ 为能耗总量; $EP$ 为生产端能耗量( $i=1,2,3$ 分

别代表第一、二、三产业); $EL$ 为生活端能耗量( $j=1,2$ 分别代表城镇、农村); $G$ 为国民生产总值; $HC$ 为居民消费; $P$ 为人口量; $A$ 为土地面积。将居民消费纳入生产能耗影响式中以体现消费需求对生产端间接能耗影响,将空间扩张纳入生活能耗影响式中以反映空间布局对居民直接生活能耗影响。考虑到中国城镇化进程中的城乡二元结构差异,对居民消费进一步向量分解如下:

$$\begin{aligned} HC &= \left( \frac{P_u}{P} \quad \frac{P_r}{P} \right) \times \left( \frac{HC_u}{P_u} \quad \frac{HC_r}{P_r} \right) \times P \\ &= (PS_u \quad PS_r) \times \begin{pmatrix} hc_u \\ hc_r \end{pmatrix} \times P \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $P_u$ 和 $P_r$ 分别表示城镇和农村人口数; $PS_u = P_u/P$ 和 $PS_r = P_r/P$ 表示城镇和农村人口各占总人口的比重; $HC_u$ 和 $HC_r$ 分别表示城镇和农村居民消费总额; $hc_u = HC_u/P_u$ 和 $hc_r = HC_r/P_r$ 分别表示城镇和农村的居民人均消费额。将式(2)代入式(1)可得:

$$\begin{aligned} E &= \sum_i \frac{EP_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times \frac{G}{HC} \times (PS_u \quad PS_r) \\ &\quad \times \begin{pmatrix} hc_u \\ hc_r \end{pmatrix} \times P + \sum_j \frac{EL_j}{P_j} \times \frac{P_j}{P} \times \frac{P}{A} \times A \end{aligned} \quad (3)$$

用符号简化为:

$$\begin{aligned} E &= \sum_i EP_i + \sum_j EL_j \\ &= \sum_i I_i \times S_i \times CR \times (PS_u \quad PS_r) \\ &\quad \times \begin{pmatrix} hc_u \\ hc_r \end{pmatrix} \times P + \sum_j LP_j \times PS_j \times HD \times A \end{aligned} \quad (4)$$

式中生产端: $I_i = EP_i/G_i$ 为第 $i$ 产业的能耗强度,体现产业技术发展; $S_i = G_i/G$ 为第 $i$ 产业生产总值占GDP的比重,反映产业结构调整; $CR = G/HC$ 为GDP与居民消费总额比值,表示消费抑制程度;生活端: $LP_j = EL_j/P_j$ 为城乡人均生活能耗; $PS_j = P_j/P$ 为城镇化率; $HD = P/A$ 为城乡人口密度。将加号左右两项分别进行微分转换:

$$\begin{aligned} d \ln EP &= d \ln \sum_i EP_i = d \ln \left( \sum_i I_i \times S_i \times CR \times PS_u^a \right. \\ &\quad \left. \times PS_r^{(1-a)} \times hc_u^a \times hc_r^{(1-a)} \times P \right) \end{aligned} \quad (5)$$



2018年1月

$$\begin{aligned} d \ln EL &= d \ln \sum_j EL_j \\ &= d \ln \left( \sum_j LP_j \times PS_j \times HD \times A \right) \end{aligned} \quad (6)$$

式中  $\alpha = PS_u hc_u / (PS_u hc_u + PS_r hc_r)$ ,  $(1 - \alpha) = PS_r hc_r / (PS_u hc_u + PS_r hc_r)$  分别表示城镇及农村居民消费总额占居民消费总额的比重。由此得到最终能耗总量的影响关系式：

$$\begin{aligned} E &= \sum_i I_i \times S_i \times CR \times PS_u^\alpha \times PS_r^{(1-\alpha)} \times hc_u^\alpha \\ &\quad \times hc_r^{(1-\alpha)} \times P + \sum_j LP_j \times PS_j \times HD \times A \end{aligned} \quad (7)$$

本文采用多项连乘和加总形式的对数平均迪氏分解法(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)<sup>[34,35]</sup>对公式(7)进行分解,剖析各驱动因素对能耗变动的影响效应,避免其他分解模型因存在残差项及零值而影响分析结果的情况。以0和T分别表示基期和考察期,各能耗效应贡献值表达式如下：

$$\text{技术效应: } TE = \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \ln \frac{I_i^T}{I_i^0} \quad (8)$$

$$\text{结构效应: } SE = \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \ln \frac{S_i^T}{S_i^0} \quad (9)$$

消费抑制效应：

$$CRE = \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \ln \frac{CR^T}{CR^0} \quad (10)$$

生产城镇化效应：

$$\begin{aligned} UE &= \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \\ &\quad \left[ \alpha^T \ln PS_u^T - \alpha^0 \ln PS_u^0 + \right. \\ &\quad \left. (1 - \alpha^T) \ln PS_r^T - (1 - \alpha^0) \ln PS_r^0 \right] \end{aligned} \quad (11)$$

居民消费效应：

$$\begin{aligned} HCE &= \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \\ &\quad \left[ \alpha^T \ln hc_u^T - \alpha^0 \ln hc_u^0 + \right. \\ &\quad \left. (1 - \alpha^T) \ln hc_r^T - (1 - \alpha^0) \ln hc_r^0 \right] \end{aligned} \quad (12)$$

人口规模效应：

$$PE = \sum_i \frac{EP_i^T - EP_i^0}{\ln EP_i^T - \ln EP_i^0} \ln \frac{P^T}{P^0} \quad (13)$$

人均生活效应：

$$LPE = \sum_j \frac{EL_j^T - EL_j^0}{\ln EL_j^T - \ln EL_j^0} \ln \frac{LP_j^T}{LP_j^0} \quad (14)$$

生活城镇化效应：

$$PSE = \sum_j \frac{EL_j^T - EL_j^0}{\ln EL_j^T - \ln EL_j^0} \ln \frac{PS_j^T}{PS_j^0} \quad (15)$$

人口密度效应：

$$HDE = \sum_j \frac{EL_j^T - EL_j^0}{\ln EL_j^T - \ln EL_j^0} \ln \frac{HD^T}{HD^0} \quad (16)$$

空间扩张效应：

$$AE = \sum_j \frac{EL_j^T - EL_j^0}{\ln EL_j^T - \ln EL_j^0} \ln \frac{A^T}{A^0} \quad (17)$$

总效应：

$$\begin{aligned} \Delta E &= E^T - E^0 = \Delta EP + \Delta EL = (EP^T - EP^0) \\ &\quad + (EL^T - EL^0) = (TE + SE + CRE + UE \\ &\quad + HCE + PE) + (LPE + PSE + HDE \\ &\quad + AE) \end{aligned} \quad (18)$$

### 3.2 数据来源与说明

在保证数据可获得性及连续性的基础上,选取1998—2015年全国面板数据进行实证分析,数据来源于《中国统计年鉴》<sup>[36]</sup>与《中国能源统计年鉴》<sup>[37]</sup>,相关经济数据均以1998年为基期进行平减处理以消除价格因素影响;消费抑制效应即居民消费率的倒数,GDP支出法的核算由居民消费、政府购买、投资支出以及净出口额构成,当GDP一定时,消费抑制效应与固定资产投资、政府购买及净出口这三经济成分同向发展,不仅反映区域经济运行状态,也可体现能源消费的环境、观念及政策的改变;城镇化通常使用城镇人口占总人口比重来反映;区域空间扩张既体现经济发展程度,也反映公共设施、交通运输、人口迁徙等诸多能耗因素的发展水平,本文选取建成区面积作为空间变化衡量参数。为避免LMDI效应分解过程中对数计算“0”值的出现,一方面在原始数据录入时,个别缺失数据采用插值法估得;另一方面在对数计算前,对相关参数加一个很小的正数( $100^{-16}$ ),不会影响最终计算结果。

### 4 实证结果分析

中国能源消费总量在1998—2015年间由13亿tec煤提升至43亿tec,增幅30.83亿tec,年增长率约7%,其中生产能耗变动幅度是生活能耗的7.74倍。进一步通过上述LMDI模型对考察期内的能耗变动量进行分解,并计算各影响效应当年比上年的变化率。具体结果如表1、图2所示,其中产业方面能耗

表1 1998—2015中国能源消耗因素变化量及贡献度

Table 1 Variables and contribution of China's energy consumption from 1998 to 2015

因子效应	$\Delta TE$	$\Delta SE$	$\Delta CRE$	$\Delta UE$	$\Delta HCE$	$\Delta PE$	$\Delta LPE$	$\Delta PSE$	$\Delta HDE$	$\Delta AE$	$\Delta Total$
总量/亿tec	-13.10	-2.60	2.14	5.49	33.13	2.25	2.94	0.31	-2.38	2.66	30.83
比例/%	-42.51	-8.45	6.95	17.81	107.46	7.29	9.54	1.00	-7.71	8.61	100.00

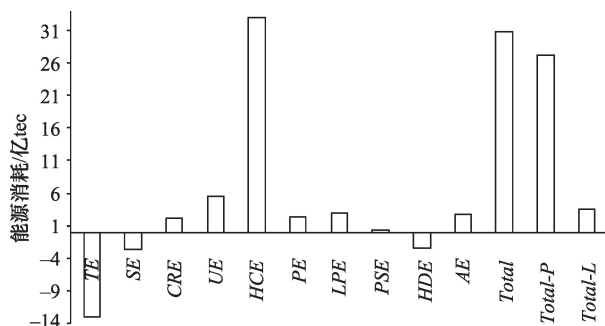


图2 各能耗效应的累积贡献量

Figure 2 Cumulative contribution of energy consumption effects

包括技术效应,结构效应与消费抑制效应。人口方面能耗包括居民消费效应,人口规模效应与人均生活效应。空间方面能耗包括生产城镇化效应,生活城镇化效应,人口密度效应及空间扩张效应。

生产端能耗累计贡献27.30亿tec标准煤,占总能耗变动的88.56%,其中产业发展在技术进步与结构调整两方面成效显著,对能源消费起到显著抑制作用,技术进步的负向贡献度高达-42.51%。消费抑制效应、生产城镇化效应、居民消费效应,人口规模效应对生产能耗变化皆为正向贡献,其中由居民消费拉动产业发展引发的生产能耗增加值最大,其33.13亿tec的正向贡献度为107.46%。其他影响因素的能耗累计贡献度排序依次为17.81%城镇化生产效应、7.29%的人口规模效应及6.95%的消费抑制效应;生活端能耗增长3.53亿tec,占总能耗变动的11.45%,其中居民人均生活效应累计贡献2.94亿tec,虽仅占总量变化的9.54%,但占生活能耗变动的83.34%,正向影响率最高。其次为空间扩张效应引起的累积2.66亿tec的能耗增幅,城镇化生活效应为总效应的1%,累计带来0.31亿tec增幅。相对而言,人口密度提升则对能耗有-7.71%的贡献度,因人口集聚而形成的能源规模效应累计节约2.38亿tec。下文将对城镇化进程中的产业、人口及空间三方面对能耗的综合影响趋势进行分解。

#### 4.1 产业方面能耗分析

1998—2015年间,中国产业发展对能耗波动累计正向贡献44.00%,趋势如图3所示,其中技术进步对生产能耗波动的负向贡献累计高达42.51%。产业结构调整总体负向贡献8.45%。考察期内消费抑制效应虽总体对生产能耗正向贡献6.95%,但自2010年开始的持续负向运行一定程度上缓解了能源压力。

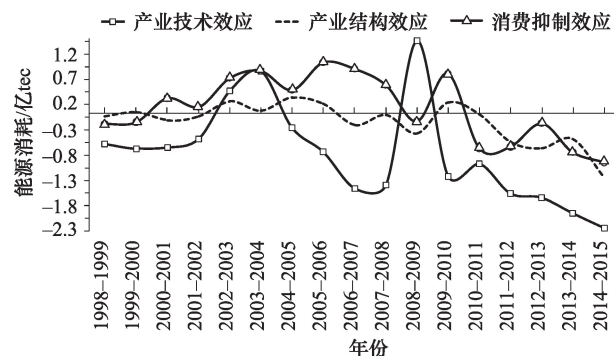


图3 产业层面各效应变化趋势

Figure 3 Trend of various effects on the industrial level

究其原因,自中国加入WTO,国家相继出台多项产业技术政策,加之考察期内新增了3.6亿城镇人口,庞大的新兴市场形成了倒逼效应,致使传统能耗资源型产业的转型升级与技术进步提高了能源效率,降低了能耗强度。虽因2008年金融危机而出现能耗较大幅度的提升,但总体上技术进步对生产能耗降低的贡献最大;我国产业结构也在积极调整优化中,三产比率由1998年的17.2:45.8:37.2转为2015年的8.9:40.9:50.2,总体上表现为二三产业对一产份额的逐渐取代,尤其自2005年传统工业比重降低与现代服务业比重提升使产业发展对能源依赖减弱,促使能耗明显下行波动。

消费抑制效应的能耗正负向贡献阶段性明显,早先中国GDP中政府购买、投资、净出口等经济成分主要集中在建筑、交通、资源等方面,资源要素驱动具有高能耗特征,尤其在2008年后期,国家扩大

2018年1月

内需政策提出的4万亿计划刺激了基础设施建设,短期内能耗凸升,但随后国家对绿色环保产业日趋重视,除消费支出以外的其他经济成分发展都以能耗为约束,传统粗放型“三高”发展模式得以改善,加之共享经济的方兴未艾,所以近些年消费抑制效应一定程度上减缓了整体能耗的上升趋势。

#### 4.2 人口方面能耗分析

考察期内人口方面各能耗效应如图4所示,累计正向贡献124.29%,其中生产端107.46%的能耗上涨来自城镇化进程中居民消费引起的内需拉动,而全国新增1.3亿人口的规模效应则对生产能耗波动影响平稳,正向贡献7.29%仅占居民消费效应的6.78%。人均生活效应对生活能耗的正向贡献率累计9.54%,总体呈波动上升趋势。

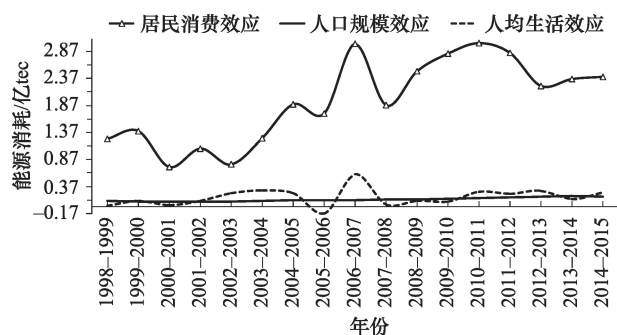


图4 人口层面各效应变化趋势

Figure 4 Trend of various effects on the population level

究其原因,早先城乡居民生活方式和生活水平差异造成能源利用与消费行为迥异,1998年城乡人均用能比高达3.1,但居民生活水平的提升伴随着城乡消费行为同质化,农村能耗大幅度提升致使城乡人均用能比率逐年下降至2015年的1.1,生活用能差距近乎消失<sup>1)</sup>,所以人均生活效应对生活能耗变动的贡献最高。另外,因早先的计划生育政策而使人口变化幅度较低,增长率多年维持在0.5%左右,虽然目前对生产能耗的正向贡献较低,但随着2016年二孩政策的实施,人口大幅度提升可能为产业发展提供更广阔的消费市场,进而为能源消费提供更强驱动力。

1997年的亚洲金融危机之后,中国出台以增发国债和加大政府支出为主的相关财税政策,居民消

费的抑制一定程度上放缓了能源需求。但2003年往后实施的经济财政政策又刺激了居民消费,出现了能耗在波动中持续上升。同时,城镇居民收入的增加也伴随着城乡消费差距不断扩大,2015年中国城镇居民消费支出占总消费支出达78.7%,而占总人口43.9%的农村居民消费支出占总消费支出比例仅为21.9%,城乡居民消费支出比由1998年的1.7:1,增加至2015年的3.6:1。加之近些年城乡家庭恩格尔系数一直在36%左右,虽较1998年的49%有明显下降,但距欧美国家20%左右仍有很大提升空间。由此可以预测,随着城镇化的深入,更多的城镇居民将扩大对商品与服务的需求,这将成为未来促进间接能源消费的主要因素。

#### 4.3 空间方面能耗分析

考察期内空间方面各因素引起的时序能耗波动如图5所示,累计正向贡献1.91%,人口空间迁移带来的城乡人口比率变化对生产能耗影响较大,除2008年略有下行外,总体持续上升,这得益于农村人口迁居城镇后,消费市场的扩大刺激了生产端能源消费。城镇化率对生活能耗波动的正向影响甚微,仅占能耗波动总量的1%,这仍源于城乡消费行为日益同质,空间差异对人均用能影响越来越小,以上与前文实证结果吻合。与此同时,空间扩张引起能耗趋势的小幅波动,总体正向贡献8.61%,人口密度效应则与之相反,呈同步异向波动,累计负向抵消7.71%,一定程度上缓解了能源压力。由此可

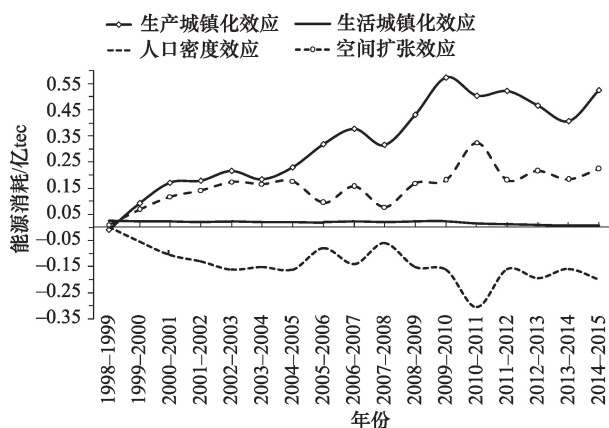


图5 空间层面各效应变化趋势

Figure 5 Trend of various effects on the space level

1)农村能源消费中的薪柴、秸秆、沼气等非商品能源可能占能源消费结构的比比较大,且此部分未在统计数据中体现,可能出现农村生活能耗被低估的情况。



见,我国城镇化前期空间拓展的绿色节能效用较弱,但人口集聚产生的能源利用规模效应对能耗波动具有负向贡献。

究其原因,自1998年开始,国家对房地产调控及土地利用政策就在持续优化调整中,考察期间的建成区面积增加了143.7%,远高于85.3%的城镇人口增幅,土地城镇化快于人口城镇化,因空间扩张对资本依赖较强,2008年金融危机前后对能耗波动贡献达到最低值,但之后国家扩大内需政策与基础设施建设使得对空间层面的能耗影响呈持续正向促进。具体分析,一方面中国城镇化进程中产业结构的空间布局协同性不高,消费市场与原始资源空间错位,生产与生活区分离规划。要素配套不合理引发的物资长距离调运、人员通勤距离增长、交通长期堵塞、基础设施重复建设等诸多问题提高了经济运行成本,消耗了大量能源;另一方面,旧城镇化阶段地方为保增长而过度依赖土地出让收入和土地抵押融资,造成空间“摊大饼”式低密度蔓延。综上所述,土地布局分散,利用开发强度低,基础设施功能排他性强等问题造成空间综合承载能力差,用能模式不节约。

## 5 结论与建议

本文基于向量形式的Kaya拓展模型与多项连乘和加总的LMDI改进形式,对1998年-2015年间的能耗变化进行三方面因素分解。研究表明,对生产能耗波动正向贡献最高的是居民消费效应,其余依次为生产城镇化效应、人口规模效应及消费抑制效应,而技术进步与产业结构调整对能耗呈持续抑制效应;对生活能耗增长贡献最大的是人均生活效应,其次为空间扩张效应,而生活城镇化效应的促进作用较小,仅人口密度效应对生活能耗波动具有负向贡献;城镇化效应对生产端的能耗促进作用远大于生活端。由此提出如下3点建议:

(1)强化生态能源约束,发展知识密集产业。城镇化初期的产业以劳动密集型为主,对能源依赖较强,低端劳力的涌入与工业粗放式发展使能源强度远高于欧美国家,而这些国家在城镇化进程中的工业占GDP比重却高达55%以上,高科技产业占比凸出且能耗较低。所以在新型城镇化进程下的产业发展不可简单降低二产比重,而是要加大生态与

能源约束,升级发展模式,将注意力放在产业提质增效上,发展高科技产业和高端服务业,实现经济发展与能源消费的脱钩。

(2)推进生态文明建设,倡导绿色用能方式。居民既是消费者亦是生产者,而二孩政策的实施也意味着人口规模可能加剧未来的能源压力,因此,一方面要提高节能降耗意识,培养绿色消费习惯,同时要发挥价格杠杆的市场调节作用,通过价格调整促进节能消费,引导消费从非清洁能源向清洁能源、从化石能源向非化石能源、从高碳能源向低碳能源转移;另一方面通过向需求侧消费者宣传诸如绿色建筑、能效标识产品等节能技术与商品,倒逼供给侧产业调整,研发节能产品、完善节能生产体系,推广循环用能模式。

(3)空间格局紧凑规划,实现低碳共享模式。不能一味向产业结构与技术索求能源可持续化发展动力,应在审视诸多大城市病的基础上对空间进行集约化布局,借助城镇化集聚效应,以共享经济实现能耗降低:一方面严守土地红线,提高空间开发强度,形成立体化、集群化布局,避免摊大饼式平面扩充;另一方面盘活空间存量,恪守空间规划,通过城市旧改释放产业空间。同时,拓展基础设施兼容性,提高公共设施利用率,避免功能紊乱及重复建设,发展以共享单车为代表的运营模式,降低通勤能耗,减少基建能耗,集约生活能耗。

## 参考文献(References):

- [1] 刘耀彬. 中国城市化与能源消费关系的动态计量分析[J]. 财经研究, 2007, 33(11): 72-81. [Liu Y B. An analysis of dynamic econometric relationship between development of urbanization and growth of energy consumption in China[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2007, 33(11): 72-81.]
- [2] Wang Q. Effects of urbanisation on energy consumption in China [J]. *Energy Policy*, 2014, 65(3): 332-339.
- [3] 李玲玲, 张耀辉. 收入差距视角下居民消费行为对能源消耗的影响[J]. 经济管理, 2013, (4): 1-10. [Li L L, Zhang Y H. The analysis on consumption behavior of residents and the energy consumption in China in view of the income gap[J]. *Journal of Economic Management*, 2013, (4): 1-10.]
- [4] 张馨, 牛叔文, 赵春升, 等. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究[J]. 中国软科学, 2011, (9): 65-75. [Zhang X, Niu S W, Zhao C S, et al. The study on household energy consump-

2018年1月

- tion and carbon emissions in China's urbanization[J]. *Journal of China Soft Science*, 2011, (9): 65-75. ]
- [ 5 ] Normile D. China's living laboratory in urbanization [J]. *Science*, 2008, 319(5864): 740-743.
- [ 6 ] Bergh V D, Jeroen C J M. Energy conservation more effective with rebound policy[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(1): 43-58.
- [ 7 ] 路正南. 产业结构调整对我国能源消费影响的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 1999, (12): 53-55. [Lu Z N. The empirical analysis on the influence of industrial structure adjustment on China's energy consumption [J]. *Journal of Quantitative & Technical Economics*, 1999, (12): 53-55. ]
- [ 8 ] Jacobsen H K. Energy demand, structural change and trade: a decomposition analysis of the Danish manufacturing industry[J]. *Economic Systems Research*, 2000, 12(3): 319-343.
- [ 9 ] 许涤龙, 钟雄, 汤智斌. 产业结构对能源消耗与经济增长的协同影响分析[J]. 经济问题, 2012, (6): 19-24. [Xu D L, Zhong X, Tang Z B. The analysis of industrial structure on synergistic effects of energy consumption and economic growth[J]. *On Economic Problems*, 2012, (6): 19-24. ]
- [ 10 ] 史丹, 张金隆. 产业结构变动对能源消费的影响[J]. 经济理论与经济管理, 2003, (8): 30-32. [Shi D, Zhang J L. The influence of industrial structure change on energy consumption[J]. *Economic Theory and Business Management*, 2003, (8): 30-32. ]
- [ 11 ] 魏艳旭, 孙根年, 李静. 基于技术进步的中国能源消耗与经济增长: 前后两个 30 年的比较[J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1338-1345. [Wei Y X, Sun G N, Li J. Energy consumption and economic growth in China due to technological progress: a comparison of two phases [J]. *Resource Science*, 2011, 33(7): 1338-1345. ]
- [ 12 ] 李廉水, 周勇. 技术进步能提高能源效率吗? 基于中国工业部门的实证检验[J]. 管理世界, 2006, (10): 82-89. [Li L S, Zhou Y. Can technological advances improve energy efficiency? Empirical test based on China's industrial sector[J]. *Management World*, 2006, (10): 82-89. ]
- [ 13 ] 董锋, 谭清美, 周德群, 等. 技术进步对能源效率的影响-基于考虑环境因素的全要素生产率指数和面板计量分析[J]. 科学与科学技术管理, 2010, 31(6): 53-58. [Dong F, Tan Q M, Zhou D Q, et al. The effect of technology progress to energy efficiency: Based on total-factor productivity index including environment factor and panel econometric analysis[J]. *Science of Science and Management of S. & T*, 2010, 31(6): 53-58. ]
- [ 14 ] 严翔, 成长春. 长江经济带科技创新能耗的库兹涅茨曲线效应[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2017, 33(3): 1-8. [Yan X, Cheng C C. The Kuznets Curve effect on energy consumption by science and technology innovation in Yangtze River Economic Zone[J]. *Journal of Nantong University(Social Sciences Edition)*, 2017, 33(3): 1-8. ]
- [ 15 ] Newman P G, Kenworthy J R. Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook[M]. VT: Gower Publishing, 1989.
- [ 16 ] Parikh J, Shukla V. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: Results from a cross-national study of developing countries[J]. *Global Environmental Change*, 1995, 5(2): 87-103.
- [ 17 ] Karathodorou N, Graham D J, Noland R B. Estimating the effect of urban density on fuel demand[J]. *Energy Economics*, 2010, 32(1): 86-92.
- [ 18 ] 王元京. 走“空间节约”之路-不同资源配置、能源消耗模式的差异给我们的启示[J]. 经济理论与经济管理, 2006, (12): 16-20. [Wang Y J. Take the road of space saving[J]. *Economic Theory and Business Management*, 2006, (12): 16-20. ]
- [ 19 ] Burton E. The compact city: Just or just compact? A preliminary analysis[J]. *Urban Studies*, 2000, 37(11): 1969-2006.
- [ 20 ] 顾朝林, 谭纵波, 刘宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展[J]. 城市规划学刊, 2009, (3): 38-45. [Gu C L, Tan Z B, Liu W, et al. A study on climate change, carbon emissions and low-carbon city planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2009, (3): 38-45. ]
- [ 21 ] 程开明. 城市紧凑度影响能源消耗的理论机制及实证分析[J]. 经济地理, 2011, 31(7): 1107-1112. [Cheng K M. Theoretical mechanism and empirical study about the influence of city compactness on energy consumption[J]. *Economic Geography*, 2011, 31(7): 1107-1112. ]
- [ 22 ] Rudlin D, Falk N. Building the 21st Century Home: The Sustainable Urban Neighbourhood [M]. Oxford: Architectural Press, 1999.
- [ 23 ] 宋元梁, 肖卫东. 中国城镇化发展与农民收入增长关系的动态计量经济分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2005, 22(9): 31-40. [Song Y L, Xiao W D. An analysis of dynamic econometric relationship between development of urbanization and income growth of rural residents in China[J]. *Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2005, 22(9): 31-40. ]
- [ 24 ] 王泳璇, 王宪恩. 基于城镇化的居民生活能源消费碳排放门限效应分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(12): 94-102. [Wang Y X, Wang X E. Threshold effect analysis on carbon emissions of household energy consumption based on urbanization[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(12): 94-102. ]
- [ 25 ] Weber C, Perrels A. Modelling lifestyle effects on energy demand and related emissions[J]. *Energy Policy*, 2000, 28(8): 549-566.
- [ 26 ] 李艳梅, 张雷. 中国居民间接生活能源消费的结构分解分析[J]. 资源科学, 2008, 30(6): 890-895. [Li Y M, Zhang L. Structural decomposition analysis of China's indirect household energy consumption[J]. *Resources Science*, 2008, 30(6): 890-895. ]
- [ 27 ] Pfaff A S P, Chaudhuri S, Nye H L M. Household production and



- environmental Kuznets curves—examining the desirability and feasibility of substitution[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2004, 27(2): 187–200.
- [28] 何文举, 陈雄超, 卜赛男. 城镇人口规模与能源资源消费关系的实证研究—以湖南省为例[J]. *经济地理*, 2013, 33(11): 70–76. [He W J, Chen X C, Pu S N. An empirical research on the relations between Urban population scale and energy resource consumption—case in Hunan Province[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(11): 70–76. ]
- [29] 张玉周. 中国人口年龄结构变动对能源消费的影响研究—基于省际动态面板数据的GMM分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(11): 69–74. [Zhang Y Z. Research on the effects of changes in the age structure of China's population to energy consumption: based on the provincial dynamic panel data by GMM[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(11): 69–74. ]
- [30] 郭文, 孙涛. 人口结构变动对中国能源消费碳排放的影响—基于城镇化和居民消费视角[J]. *数理统计与管理*, 2017, 36(2): 295–312. [Guo W, Sun T. Effect of population structure change on carbon emission in China: Based on perspectives of urbanization and residents' consumption[J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2017, 36(2): 295–312. ]
- [31] Fang W S, Miller S M, Yeh C C. The effect of ESCOs on energy use [J]. *Energy Policy*, 2012, 51(4): 558–568.
- [32] 魏楚. 城镇化会增加居民能源需求吗—基于事实与文献的述评[J]. *经济理论与经济管理*, 2017, 36(1): 95–109. [Wei C. Will urbanization increase residential energy demand—a literature review [J]. *Economic Theory and Business Management*, 2017, 36(1): 95–109. ]
- [33] Kaya Y. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Presentation to the Energy and Industry Subgroup[R]. Paris: Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.
- [34] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?[J]. *Energy Policy*, 2004, 32(9): 1131–1139.
- [35] 李京文, 杨正东. “多项连乘和加总”的因素分解法在能源平衡表中的应用[J]. *数量经济技术经济研究*, 2014, (5): 117–132. [Li J W, Yang Z D. "Aggregate the sum of polynomial multiplication" decomposition in energy balance table[J]. *Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2014, (5): 117–132. ]
- [36] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998–2015. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998–2015. ]
- [37] 国家统计局能源统计司. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998–2015. [Energy Statistics Division of Chinese National Bureau of statistics. China Energy Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998–2015. ]

## Effect decomposition of industry, space and population on energy consumption during Chinese urbanization

YAN Xiang<sup>1,2</sup>, CHENG Changchun<sup>2,3</sup>, JIA Yizhen<sup>2</sup>

(1. *Business School of Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China;*

2. *Business School of Hohai University, Nanjing 211100, China;*

3. *Research Institute of the Jiangsu Yangzi River Economic Belt of Nantong University, Nantong 226019, China)*

**Abstract:** On the basis of a literature review, we constructed the fusion mechanism of energy consumption in urbanization on the interactive development of industry, space and population, and analyzed factor decomposition of changes in energy consumption from 1998 to 2015 in China, based on the Kaya expansion model of vector form and the Aggregate the Sum of Polynomial Multiplication of LMDI. We found that the pulling effect of urbanization on production energy consumption is much greater than that of households. The transformation and upgrading traditional energy-driven industries and technological progress alleviate the energy pressure. In recent years, apart from household expenditure, other economic units, because of the improvement of extensive “three-high” development model rather than household consumption, are more energy-conserving. The household consumption effect is still the dominant factor in the promotion of indirect energy consumption, the positive contribution of convergence between urban and rural household consumption behavior to the fluctuation of energy consumption strengthens gradually, and, with the expansion of population, has become a constraint of the sustainable development of energy. The spread of low density sprawling space exacerbates energy consumption, except for the negative contribution to the fluctuation of energy consumption by the scale effect of population agglomeration. Under the situation of strengthening of energy restraint of new urbanization, although the structural adjustment and technological progress at the industrial level still have the effect of reduction of energy consumption, more attention should be paid to improvements on the patterns and habits of energy consumption at the population level, and releasing the new kinetic energy of reducing energy consumption by space distribution of resource, and also strive to achieve sharing economy to ease the energy consumption pressure, and accordingly.

**Key words:** urbanization; industry; space; population; energy consumption; LMDI