

引用格式:申俊,孙涵,成金华.中国城镇居民完全能源消费的空间计量分析[J].资源科学,2016,38(3):0439-0449. [Shen J, Sun H, Cheng J H. Spatial econometric analysis of the total energy consumption of urban residents in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(3):0439-0449]. DOI: 10.18402/resci.2016.03.07

# 中国城镇居民完全能源消费的空间计量分析

申俊<sup>1,2</sup> 孙涵<sup>1,2</sup> 成金华<sup>1,2</sup>

(1.中国地质大学(武汉)经济管理学院,武汉 430074;

2.中国地质大学(武汉)资源环境经济研究中心,武汉 430074)

**摘要:**中国正面临能源消费总量控制和碳减排的双重压力,合理引导和控制城镇居民能源消费至关重要。文章从地理特征和社会经济特征两个方面分别构建空间权重矩阵,建立空间计量模型来分析2008-2012年中国30个省域城镇居民完全能源消费的空间效应及其影响因素。研究表明:基于社会经济特征的经济距离权重空间计量模型能够较好地解释中国城镇居民完全能源消费的空间效应及其区域差异;中国城镇居民完全能源消费具有显著的正向空间相关性,且东部沿海地区形成了城镇居民完全能源消费的高-高集聚区;生活能源价格和城镇人口规模是城镇居民完全能源消费的重要影响因素,而又以生活能源价格的影响最大。因此,政府在进行政策制定时,需要针对不同区域采取差别化的能源政策,同时优化能源价格机制,积极引导居民绿色能源消费。

**关键词:**城镇居民完全能源消费;空间计量;经济距离权重;生活能源价格

DOI: 10.18402/resci.2016.03.07

## 1 引言

为实现哥本哈根气候峰会上的减排目标,中国已将节能减排纳入国民经济和社会发展的长期规划,而控制能源消费总量是中国实现节能减排的关键。目前,中国主要的能源消费包括工业能源消费、居民能源消费和其他能源消费等,其中,居民能源消费约占能源总消费的10%,是中国第二大类能源消费,其对居民生活、生态环境以及碳排放等的影响引起广泛地关注<sup>[1]</sup>。居民能源消费是工业、服务业和交通运输业等行业能源消费的重要驱动因素,能够直接或间接影响其他行业或部门的能源消费。中国现阶段正处于工业化与城镇化发展的中期阶段,社会经济发展面临着能源需求快速增长、消费结构不断调整以及生态环境亟待改善等众多挑战。城镇居民能源消费约占中国居民生活能源总消费的63%,未来城镇居民能源消费仍将会持续快速增长。因此,合理调节和控制居民能源消费将

是中国实现节能减排的重要一环。

居民能源消费是指家庭居民用于取暖降温、炊事、照明、出行等方面的能源消费<sup>[2]</sup>,居民完全能源消费包括直接与间接能源消费两方面。居民直接能源消费主要包括家用电器、家庭交通工具、住房取暖等直接产生的能源消费,居民间接能源消费主要指由于居民对住房、汽车、家电等需求的增长,带动的其他产业的能源消耗,包括钢铁、水泥等高耗能产业<sup>[3,4]</sup>。已有研究表明,居民间接能源消费占居民能源消费总量的40%~50%,并且这一占比有不断增加的趋势<sup>[5]</sup>。

影响居民能源消费的因素较多,包括经济因素、地理因素、生活方式、政府政策等(表1)。居民收入水平的提高是导致居民能源消费增长的重要因素<sup>[6-12]</sup>,收入提高使得居民消费观念和消费行为发生了变化,增加了对电气化类设备的需求来改善生活质量,进而加大了对能源的需求。Riley在研究时

收稿日期:2015-06-10;修订日期:2016-01-05

基金项目:国家自然科学基金项目(71103164)。

作者简介:申俊,男,山西高平人,博士生,研究方向为资源能源环境经济。E-mail: shenjun130@hotmail.com

通讯作者:孙涵, E-mail: sunhan2004@126.com

表1 居民能源消费影响因素的相关研究

Table 1 The related literatures on influence factors of residential energy consumption

作者	国家	方法	主要影响因素
Blasco Lucas et al. <sup>[6]</sup>	美国	综合交叉分析	家庭规模、在家时间、家庭房间、收入水平
Chunsheng Yao et al. <sup>[7]</sup>	中国	指数分解分析	收入、能源政策、消费结构、能源效率
Tao Zhang et al. <sup>[15]</sup>	英国	三阶指数分解分析	家庭规模、收入、取暖类型、居住温度、住宅面积、住宅能源效率
Aparna Das et al. <sup>[18]</sup>	印度	投入产出分解分析	消费支出结构、能源消费强度、人均能源消费支出、人口规模
Dalia Štreimikienė <sup>[8]</sup>	立陶宛	综述对比分析	收入、能源价格、科技水平、政府效率、法规政策
Chonghui Fu et al. <sup>[16]</sup>	中国	宏观分解分析	年龄结构、人口结构、城市化水平、自然人口变动率
Vincenzo Bianco et al. <sup>[14]</sup>	意大利	计量分析	人均GDP、供暖时间、能源价格
樊茂清,任若恩 <sup>[9]</sup>	中国	计量分析	家庭设备、家用汽车、收入水平、消费支出、居民住房
李艳梅,张雷 <sup>[9]</sup>	中国	结构分解分析	居民消费总量、消费结构变化、城乡比例
冯玲等 <sup>[23]</sup>	中国	计量分析	人均GDP、恩格尔系数、家庭可支配收入、人均住宅面积
赵晓丽,李娜 <sup>[4]</sup>	中国	LMDI	居民生活水平、居民购买力、居民消费支出、能源价格
牛云翥等 <sup>[11]</sup>	中国	计量分析	人均收入、能源结构、能源效率
薛丹 <sup>[17]</sup>	中国	多元回归计量	GDP、人均可支配收入、人均住宅面积、城市化率
王文蝶等 <sup>[2]</sup>	中国	面板回归分析	收入水平、地区温度、生活方式

数据来源:文献统计。

发现经济的快速发展与私人汽车限购政策的放宽是中国机动车辆增长的首要因素<sup>[13]</sup>。人口较多的家庭能源消费高于人口较少的家庭<sup>[14,15]</sup>。城镇化使得更多的农村居民走向城市,而这必然会增加城镇居民能源消费<sup>[8,16,17]</sup>。但城镇化不仅使得城镇人口增加,同时也使得居民的生活方式和能源消费结构发生变化。居民不断追求更优质的生活质量,进而会增加对能源的消费需求<sup>[2,7,18,19]</sup>。家庭住宅用能方式也是影响居民能源消费的重要因素<sup>[15]</sup>,通过提高能源利用效率可以降低能源消费<sup>[7,11,15]</sup>,但能源回弹效应的存在使得能源效率提高产生的能源节约并不明显<sup>[17]</sup>。从经济学价格与需求的角度,能源价格是影响居民能源需求的关键因素<sup>[10,20]</sup>,但目前并没有通用指标来反映居民生活能源价格。生活能源价格的变动不仅取决于市场供求关系,还应当充分考虑居民消费水平的影响<sup>[21]</sup>。

中国地域广阔,地区间经济发展存在很大差异,不同地区居民对生活能源的需求不尽相同<sup>[12]</sup>。同时,居民能源消费对气候差异反应敏感,能源消费的区域差异显著。尽管已有很多关于居民能源消费方面的研究,但并没有研究考虑居民能源消费可能存在的空间相关性。除地理、气候、资源禀赋等可能导致空间差异外,能源技术扩散和区域经济依赖作用,也是居民能源消费存在空间相关性上的

重要驱动力。现阶段,本地区居民能源消费不仅会受到本地经济、社会等经济地理因素的影响,也可能还会受邻近区域居民能源消费的影响。社会经济、科技交通等方面的发展与进步已经使得区域之间交流更加频繁,联系更加紧密,因而很多经济、环境、生态等要素都可能存在空间相关性,已有很多学者运用空间经济学来对这些因素进行分析,但目前关于居民能源消费空间计量方面的研究尚有欠缺。鉴于此,本文运用生活方式分析法来核算中国城镇居民完全能源消费,从计量经济学的角度,构建空间计量模型,来分析城镇居民完全能源消费的空间效应及其影响因素。

2 研究方法

2.1 城镇居民完全能源消费核算

中国城镇居民完全能源消费( $T\_REC$ )包括直接能源消费( $D\_REC$ )与间接能源消费( $ID\_REC$ ),直接能源消费是指居民直接购买和消费能源类商品产生的能源消费。城镇居民生活直接使用的能源主要有原煤、其他各类洗煤、煤气、汽油、柴油、液化石油气、天然气、热力和电力等。城镇居民完全能源消费的核算公式<sup>[22]</sup>如下:

$$T\_REC = D\_REC + ID\_REC \tag{1}$$

城镇居民直接能源消费的核算公式如下:

$$D\_REC = \sum_i FC_i \cdot EF_i \tag{2}$$

2016年3月

式中  $T\_REC$  为城镇居民完全能源消费;  $FC_i$  为城镇居民第  $i$  种能源的消费量;  $EF_i$  为第  $i$  类能源的标准煤折算系数。

间接能源消费是指居民日常生活中购买的非能源类产品间接产生的各类能源消耗。目前关于居民间接能源消费的核算方法主要有两类,即投入产出分析法(Input-Output Analysis,简称IOA)和生活方式分析法(Consumer Life-cycle Analysis,简称CLA)。投入产出分析法是从部门之间错综复杂的投入产出关系出发,将经济系统的实物运动与价格运动有机融为一体,来核算能源消费的方法,这种方法在能源消费建模等方面有独特优势,但是缺点在于数据的不连续性且计算较为繁琐。Bin S等<sup>[24]</sup>最早利用生活方式分析法(CLA)研究了1997年美国消费者行为与能源利用以及碳排放之间的关系。该方法建立在投入产出—生命周期评价(EID-LCA)分析法的基础上,按照统计年鉴中城镇居民的八大类消费支出进行核算(表2),包括食品、衣着、居住、家庭设备用品及服务、医疗保健、交通和通信、教育文化娱乐服务、其他商品和服务等。通过这种方法可以得到中国居民间接能源消费的长时间序列数据,且计算较为简便、数据可得性高。目前国内已有很多学者采用这种方法来计算居民间接能源消费,因此,本文选用CLA方法来计算中国城镇居民间接能源消费。

城镇居民间接能源消费的核算公式如下:

$$ID\_REC = \sum_i (IE_i \cdot X_i) \cdot PU \quad (3)$$

式中  $ID\_REC$  为城镇居民间接能源消费;  $IE_i$  为城镇居民第  $i$  种消费所对应行业的能源强度;  $X_i$  为第  $i$  类消费的消费支出;  $PU$  为城镇人口规模。

## 2.2 Moran's I 指数及其散点图

要了解城镇居民完全能源消费存在的空间集聚与相关特性,需要对被解释变量进行空间自相关检验,通常用Moran's I 或者Geary 指数C来表示全域空间自相关性。Moran's I是最早用于全局聚类检验的方法,它用来检验整个研究区中邻近地区之间是相似、相异(空间正相关、负相关),还是相互独立的,而Geary 指数主要强调的是观测值之间的离差。因此,本文这里选用空间统计学相关指数Moran's I对其进行检验。Moran's I计算公式如下:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ ,  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ ,  $S^2$  为样本方差;  $\bar{Y}$  为样本均值;  $Y_i$  为第  $i$  个地区的观测值;  $n$  为地区总数;  $W$  为二进制的空间权重矩阵,表示地区之间是否具有邻近关系。若两个地区邻接,矩阵元素取1,否则取0。Moran's I值的取值范围为  $-1 < I < 1$ 。若Moran's I值大于0,则说明存在空间正相关,Moran's I值越大,正相关程度越强,Moran's I值等于0说明不存在空间自相关,Moran's I值小于0说明存在空间负相关,其绝对值越大,空间排斥现象越严重。

此外,Moran's I散点图用来研究局部的空间不

表2 城镇居民八大类消费行为对应的行业部门

Table 2 The corresponding sectors of urban residential consumption of 8 kinds of commodities

消费支出项目	对应行业部门
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、羽毛及其制品和制鞋业
居住	电力、煤气及水生产和供应业,电力、热力生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业,非金属矿物制品业,金属制品业
家庭设备用品及服务	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业,家具制造业,电气机械和器材制造业
医疗保健	医药制造业
交通和通信	汽车制造业,铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业,计算机、通信和其他电子设备制造业
教育文化娱乐服务	造纸和纸制品业,印刷和记录媒介复制业,文教、工美、体育和娱乐用品制造业
其他商品和服务	烟草制品业,批发、零售业和住宿、餐饮业

注:该分类参考了文献[10,19]的研究。



稳定性,其中:第Ⅰ象限为高高(HH)型区域,第Ⅱ象限为低高(LH)型区域,第Ⅲ象限为低低(LL)型区域,第Ⅳ象限为高低(HL)型区域。第Ⅰ、Ⅲ象限存在空间正相关,第Ⅱ、Ⅳ象限存在空间负相关。

### 2.3 空间计量模型

在对被解释变量城镇居民完全能源消费进行 Moran's I 指数空间自相关性检验之后,本文需要建立空间数据计量模型,来分析各解释变量对被解释变量的影响程度。现有的空间计量模型主要可以分为两种基本模型,即空间自回归模型(Spatial Auto-Regressive Model, SAR)和空间误差模型(Spatial Error Model, SEM)。SAR 模型中变量之间的空间依赖性导致了空间自相关,SEM 模型中,模型的误差项导致了空间自相关。

空间自回归模型(SAR):

$$y = \rho W y + \beta X + \varepsilon \quad (5)$$

式中  $y$  为因变量;  $X$  为外生解释变量;  $\rho$  为回归系数,用来反映空间依赖程度;  $W$  经过行标准化处理后的空间权重矩阵;  $\beta$  为自变量对因变量的影响系数;  $\varepsilon$  为随机误差向量。

空间误差模型(SEM):

$$y = \beta X + \varepsilon, \quad \varepsilon = \lambda W \varepsilon + \mu \quad (6)$$

式中  $\varepsilon$  为随机误差向量;  $\lambda$  为截面因变量的空间误差系数;  $\mu$  为随机误差向量。模型中  $\lambda$  反映了样本值的空间依赖程度,其可以用来度量邻近区域关于误差冲击对于本地区的影响程度。

空间权重矩阵表征了各个空间元素之间存在关联与相互影响程度,正确合理地选用空间权重矩阵对于中国城镇居民完全能源消费的空间计量至关重要。现有的空间计量实证,一般采用邻接或距离标准来定义空间权重矩阵。为了研究需要,本文从地理特征和社会经济特征两个方面建立空间权重矩阵,来更好地分析城镇居民完全能源消费的空间效应及其影响因素。

#### 2.3.1 地理特征空间权重矩阵

国外空间计量模型的空间权重矩阵最早是从空间邻接权重矩阵  $W_1$  开始的<sup>[25]</sup>。空间邻接权重矩阵认为空间元素之间的联系仅仅取决于二者相邻与否,即只要不同的空间元素相邻,则认为它们之间具有相同的影响强度,但这是不符合事实的。北

京与天津、河北相邻,但北京对天津、河北的影响并不是完全相同的,由于北京与天津之间的交通运输更加便捷,可能北京对天津的影响要略强于北京对河北的影响。同时,北京同其他与之不相邻的地区之间实际上也是存在相互影响的。基于这样的事实,按照地理学第一定律<sup>[26]</sup>构建地理距离空间权重矩阵  $W_2$  (Inverse-distance Based Spatial Weights Matrix),即空间效应的强弱取决于空间元素间的空间距离,空间元素之间的距离越近则空间效应越强。权重矩阵表达式如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij}^2 & (i \neq j) \\ 0, & (i = j) \end{cases} \quad (7)$$

式中  $d_{ij}$  为空间元素  $i$  与  $j$  之间的空间距离。

#### 2.3.2 社会经济特征空间权重矩阵

地理特征权重仅仅表征了城镇居民能源消费的地理邻接特征,这是相对简单的处理,城镇居民能源消费必然会受到其他各种非地理因素的影响。因此,需要从不同角度来构建空间权重矩阵,以全面客观反映城镇居民能源消费的空间特征。

考虑到不同地区的经济发展水平存在显著的空间相关性,经济发展水平较高的地区对经济发展水平较低的地区有更强的空间作用,如北京对河北的空间作用要显著高于河北对北京的空间作用。基于此,经济距离空间权重矩阵如下<sup>[27]</sup>:

$$W_3 = W_d \cdot \text{diag}(\bar{X}_1/\bar{X}, \bar{X}_2/\bar{X}, \dots, \bar{X}_n/\bar{X}) \quad (8)$$

式中  $W_d$  为地理距离空间权重矩阵; 对角元素中

$$\bar{X}_i = \sum_{t_0}^{t_1} X_{it} / (t_1 - t_0 + 1), \text{为时间段 } t_0 \text{ 到 } t_1 \text{ 内空间界面 } i$$

的地区经济产值  $X$  的均值,而  $\bar{X} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_0}^{t_1} X_{it} / n(t_1 - t_0 + 1)$ ,为考察期所有地区经济产值的均值。通过上述矩阵可以发现,若一个地区的经济产值相对较高(即  $\bar{X}_i/\bar{X} > \bar{X}_j/\bar{X}$ ),其对周边地区的空间效应也相对较大。本文这里采用省会城市之间的中心距离建立地理空间权重  $W_d$ ,用地区生产总值表征地区经济发展水平。

## 3 变量与数据

### 3.1 变量选取

运用空间计量经济模型研究中国城镇居民完

2016年3月

全能源消费确定适合的影响因素变量十分关键。本文引言部分已经分析了现有关于居民能源消费影响因素的文献研究。在此基础上,结合经济学理论及现有相关文献,本文选取生活能源价格( $EP$ )、城镇居民消费支出( $RC$ )、城镇人口规模( $PS$ )、省域年均温度( $TEMP$ )和城镇居民家用汽车拥有量( $CAR$ )5个指标来研究中国城镇居民的能源消费。

生活能源价格对于居民能源消费具有较为直接的影响,但目前并没有通用指标来反映居民生活能源价格。生活能源价格不仅取决于市场供求关系,还应当考虑居民消费水平的影响<sup>[21]</sup>,现有文献中一般用居民生活水电燃料价格来反映居民生活能源价格<sup>[28]</sup>。城镇居民消费支出是指用于个人或家庭日常生活的全部支出,包括食品、衣着、居住、家庭设备用品及服务、医疗保健、交通和通信、教育文化娱乐服务、其他商品和服务八大类等,包括用于赠送的商品或服务。不同省域城镇居民消费支出与消费结构差异很大,这是由于各个地区的消费习惯、地理位置、饮食结构、气候条件、经济发展程度等不同所导致的<sup>[29]</sup>。为了衡量城镇人口规模对居民能源消费的影响,本文选取地区家庭户数作为城镇人口规模指标来进行分析。省域年均温度用省会城市的温度数据来表示。城镇居民家用汽车拥有量是指城镇居民每百户家庭拥有的汽车数量。近年来,家用汽车数量的大幅增长在方便居民出行的同时,也导致了居民能源消费的快速增长。

表3给出了被解释变量、解释变量指标以及空间权重矩阵构建的内容与含义。

### 3.2 数据来源

本文选取了中国30个(台湾、香港、澳门和西藏除外)省、市、自治区作为研究样本,数据主要来自2009–2013年的《中国统计年鉴》<sup>[30]</sup>、《中国能源统计年鉴》<sup>[31]</sup>及《中国人口与就业统计年鉴》<sup>[32]</sup>。居民直接能源消费选取原煤、其他各类洗煤、煤气、汽油、柴油等19类能源消费,间接能源消费按八大行业消费支出核算,地理距离以省会城市为中心计算。

## 4 结果分析与讨论

### 4.1 空间自相关检验

城镇居民完全能源消费的Moran's I指数是用来解释城镇居民完全能源消费的空间自相关性。表4给出了城镇居民完全能源消费2008–2012年的Moran's I指数及其影响因素的Moran's I指数。从表中可以看出,中国城镇居民完全能源消费存在显著的空间自相关(Moran's I在0.11~0.18之间,且均通过了显著性检验),这表明2008–2012年间中国城镇居民完全能源消费在空间上具有显著的相关性,城镇居民完全能源消费并不是呈现完全的随机分布,而是存在某些空间上的集聚。从各影响因素的Moran's I值可以看出显著存在空间自相关,其中省域年均温度的Moran's I值最高(0.682 1),这也表明中国区域温度差异明显。

为了更好地描述城镇居民完全能源消费的空间相关性,这里用Moran's I散点图进一步说明城镇居民完全能源消费的空间特征。为消除年度波动影响,用2008–2012年城镇居民完全能源消费的均值数据来绘制Moran's I散点图,这里权重矩阵选用

表3 变量及空间权重说明

Table 3 Description of variables and spatial weights

变量	指标	符号	定义
被解释变量	城镇居民完全能源消费	$T\_REC$	包括城镇居民直接与间接能源消费两部分
解释变量	生活能源价格	$EP$	城镇居民生活水电燃料价格指数
	城镇居民消费支出	$RC$	城镇居民用于个人或家庭日常生活的全部支出
	城镇人口规模	$PS$	城镇家庭人口户数
	省域年均温度	$TEMP$	省会城市全年平均温度
	城镇居民家用汽车拥有量	$CAR$	城镇居民每百户家庭汽车拥有量
地理特征权重	空间邻接权重	$W_1$	空间元素相邻取1,不相邻取0
	地理距离权重	$W_2$	空间元素为两地区中心距离平方倒数
社会经济特征权重	经济距离权重	$W_3$	空间元素为两地区省会距离平方倒数与地区产值的乘积

表4 基于空间邻接权重的城镇居民完全能源消费及其影响因素Moran's I值

Table 4 Moran's I of urban residential total energy consumption and its influence factors based on spatial linear weight

变量	Moran 值	平均值	标准差	z 值	p 值
<i>T_REC_2008</i>	0.177 2	-0.036 5	0.110 4	1.936 5	0.038 0
<i>T_REC_2009</i>	0.173 3	-0.030 1	0.116 2	1.751 4	0.047 0
<i>T_REC_2010</i>	0.156 1	-0.036 4	0.110 1	1.748 2	0.050 0
<i>T_REC_2011</i>	0.117 9	-0.025 6	0.109 4	1.402 5	0.085 0
<i>T_REC_2012</i>	0.112 1	-0.037 8	0.114 3	1.309 1	0.059 0
<i>EP</i>	0.228 3	-0.029 2	0.114 8	2.243 0	0.021 0
<i>PS</i>	0.208 6	-0.034 4	0.116 2	2.091 4	0.030 0
<i>RC</i>	0.162 8	-0.034 0	0.098 1	2.005 4	0.035 0
<i>TEMP</i>	0.682 1	-0.029 9	0.114 1	6.241 4	0.001 0
<i>CAR</i>	0.266 4	-0.032 3	0.118 0	2.531 0	0.010 0

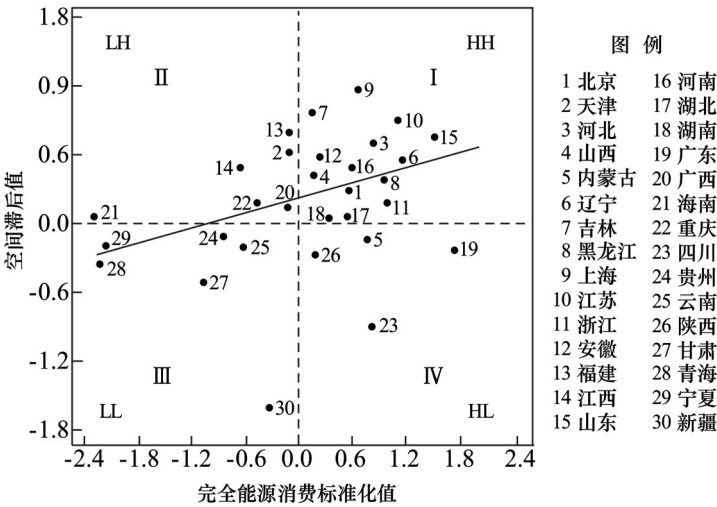


图1 城镇居民完全能源消费的Moran's I散点图

Figure 1 Moran's I scatter plot of urban residential total energy consumption

空间邻接rook 权重矩阵。

从图1中可以看出,中国城镇居民完全能源消费主要集中在第I、III象限,第I象限(47%)为高高(HH)集聚包括上海、江苏、浙江等地,主要为东部沿海城市,第III象限(20%)为低低(LL)集聚包括宁夏、甘肃、新疆等地,主要为中西部城市。原因主要有以下几个方面:①区域经济发展较好地区的居民对电器设备和生活质量提出了更高的要求(直接能源消费),由此导致了本地区居民家庭用能的增加;②经济发展较好地区的居民在购物、饮食等非直接能源消费方面的消费要高于经济发展较差地区的居民(间接能源消费),这进一步导致了本地区居民完全能源消费的增加;③受经济发展较好地

区的居民直接能源消费以及购物、饮食等间接能源消费方面的消费习惯影响,其相邻地区居民的直接能源消费和间接能源消费同样较高,由此导致了经济发展较好地区的居民生活能源消费与邻近地区居民生活能源消费的高-高集聚。低-低集聚地区的居民在生活能源消费习惯等方面也相互影响。此外,中国高-高集聚的地区之间也存在区域差异。从第I象限可以看出,以上海、吉林为代表的省域的空间正相关性高于以北京、黑龙江为代表的省域,这主要是由受地区经济发展与产业结构影响,而吉林异于黑龙江、辽宁表现出的高空间相关性可能同其自身近年来的转型发展战略有关。中国城镇居民区域能源消费的区域差异一定程度上反映

2016年3月

了中国区域经济发展的不平衡现象。

#### 4.2 空间计量回归模型

由 Moran's I 指数以及 Moran's I 散点图可以看出,中国城镇居民完全能源消费存在显著的正空间自相关性,因此,需要建立空间计量模型来分析中国城镇居民完全能源消费的空间效应及其影响因素。在已有文献研究的基础上,本文考虑了生活能源价格等5个影响因素,为了消除异方差的影响,建立双对数空间计量模型:

$$\ln(T\_REC) = \beta_1 \ln(RC) + \beta_2 \ln(EP) + \beta_3 \ln(PS) + \beta_4 \ln(TEMP) + \beta_5 \ln(CAR) + \varepsilon \quad (9)$$

$$\varepsilon = \lambda W \ln(T\_REC) + \mu \quad (10)$$

式中  $\beta$  为回归参数,反映了各影响因素对城镇居民完全能源消费的影响程度; $\varepsilon$  为随机误差向量; $\lambda$  反映了邻近区域城镇居民完全能源消费的误差冲击对本地区的影响程度; $W$  为空间权重矩阵; $\mu$  为正态分布的随机误差向量。

关于空间模型的选择,按照 Anselin<sup>[33]</sup>等提出的判别准则,城镇居民完全能源消费 LM-Error 和 Robust LM-Error 检验均显著,而 LM-Lag、Robust LM-Lag、SARMA 检验不显著,故本文选用空间误差

模型(SEM)。表5分别为中国城镇居民完全能源消费的普通 OLS 估计以及根据地理特征和社会经济特征设置的空间权重矩阵建立的空间计量误差模型估计。其中,模型1为普通 OLS 估计,模型2、模型3和模型4分别为基于空间邻接权重( $W_1$ )、地理距离权重( $W_2$ )和经济距离权重( $W_3$ )的空间误差(SEM)估计结果。

通过表5可以有如下发现:

(1)从  $Adj-R^2$ 、 $Sigma$ 、 $LogL$  等统计量来看,模型1-模型4均具有较好的拟合优度,这表明本文所构建的计量模型能够较准确地描述中国城镇居民完全能源消费的空间效应及其区域差异。从模型中解释变量的估计系数来看,模型4(基于经济距离权重的空间误差估计)的各项解释变量系数均通过了1%的显著性检验,估计结果显著优于模型1、模型2和模型3。事实上,中国居民能源消费存在结构性差异,东部沿海地区的居民能源消费和经济发展水平普遍高于中西部地区,普通 OLS、邻接权重和距离权重显然不能很好体现城镇居民能源消费的区域差异,而经济距离权重矩阵则可以从社会经济、空间地理等方面来反映城镇居民能源消费存在的区

表5 城镇居民完全能源消费的计量回归结果

变量	模型1	模型2	模型3	模型4
_CONS	42.124** (2.40)	30.044 (1.43)	42.359** (2.01)	44.770*** (8.38)
EP	-9.891*** (-2.67)	-8.813** (-1.707)	-9.940*** (-2.24)	-10.011*** (-9.63)
RC	0.370*** (3.08)	0.415*** (3.83)	0.367*** (3.17)	0.279*** (2.63)
PS	0.891*** (17.55)	0.917*** (14.84)	0.893*** (14.45)	0.750*** (10.35)
TEMP	-0.816*** (-7.09)	-0.754*** (-5.03)	-0.826*** (-6.40)	-0.832*** (-10.18)
CAR	0.340** (2.46)	0.327** (3.01)	0.356*** (2.01)	0.413*** (5.12)
Lambda	/	0.409* (1.98)	0.172 (0.18)	0.458*** (2.17)
Adj-R <sup>2</sup>	0.894	0.916	0.913	0.905
Sigma	/	0.220	0.230	0.190
logL	/	1.302	1.424	4.370
AIC	/	17.801	13.151	7.261

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的显著性水平; /表示无内容; 括号内为z值。



域差异。

(2)从模型的效应估计结果来看,模型4的空间相关系数(0.458)为正且通过了1%的显著性检验,模型2和模型3的空间相关系数也为正(模型3估计结果不显著),这表明中国城镇居民能源消费存在显著的正向空间相关效应,一个地区的居民能源消费一定程度上会影响其他与之具有相似空间特征地区的居民能源消费。模型2、模型3反映了地理特征上区域邻近对城镇居民能源消费具有正向作用。地理上的邻近一方面使得地区之间的信息与物质流动更加便捷通畅,一方面也使得邻近地区的居民能源消费行为更加具有趋同性,这进一步导致了城镇居民能源消费空间集聚的形成。模型4中空间相关系数显著为正,这表明社会经济特征对地区居民能源消费具有正向作用。经济发展较好的地区,居民会追求更好地生活质量,因而会增加使用更多的耗能设备及相关产品消费(间接能源消费);同时,这些地区的城镇居民,由于其经济条件允许,生活品质追求度更高,可能有更多的意愿来调整室内温度,并使其维持在一个相对舒适的温度下,因此会延长空调等温控设备的工作时间,使得室内耗能设备工作时间更长<sup>[34]</sup>,促进能源消费的空间溢出与区域空间集聚。从模型估计的空间相关系数来看,地理特征和社会经济特征均会对城镇居民完全能源消的空间效应产生重要影响,而又以社会经济特征的影响最大。

(3)从影响因素的显著性水平来看,模型4的估计结果最优。模型1的常数项与城镇居民家用汽车拥有量在5%的水平上显著,且未考虑空间因素;模型2的生活能源价格与城镇居民家用汽车拥有量在5%的水平上显著,空间相关系数在10%的水平上显著且常数项不显著;模型3的常数项显著性水平5%,空间相关系数不显著。模型4的各项估计结果均在1%的水平上显著,模型估计最优。从影响因素的相关系数来看,生活能源价格与省域年均温度对城镇居民能源消费的影响为负,而其他变量对城镇居民能源消费的影响为正。其中,生活能源价格是影响城镇完全居民能源消费的重要因素,这同薛丹<sup>[17]</sup>的研究是一致的。生活能源价格的上涨会降低居民生活能源的消费需求,有利于中国实现能源的

总量控制目标。但是,这会对一些地区的居民正常生活造成影响,特别是对经济发展较差的地区。生活能源价格的上涨,一方面有利于控制经济发展较好地区居民能源的过度消费,一方面也会对经济发展较差地区居民的基本生活能源消费需求形成冲击。在生活能源价格较高的情况下,受经济水平的制约,经济发展较差地区的居民只能减少基本生活能源消费。因而,这些地区的居民日常生活必然会受到一定程度影响。这也是近年来中国居民能源价格改革逐步推进价格听证会的一方面原因。省域年均温度和城镇人口规模对城镇居民完全能源消费的影响系数分别为-0.832、0.750,这意味着省域年均温度和城镇人口规模每增长1%,城镇居民完全能源消费分别下降0.832%和上升0.750%。室内取暖是中国城镇居民最主要的用能方向<sup>[11]</sup>,这一程度解释了省域年均温度指标为负。近年来,随着中国新型城镇化、工业化速度的加快,大量农村人口涌入城市,城市人口规模激增。因此,城镇人口规模成为影响城镇居民能源消费的重要因素。城镇居民家用汽车拥有量和城镇居民消费支出对城镇居民完全能源消费的影响分别为0.413、0.279。城镇居民家用汽车拥有量的快速增长,一方面会导致汽油消费的增长,另一方面过多的家用汽车会造成城市拥堵,经常出现的堵车现象导致大量的能源浪费。城镇居民消费支出的增加会导致城镇居民直接和间接能源消费的增长。

## 5 结论与启示

本文运用CLA方法测算了2008-2012年中国30个省级行政区域(西藏除外)的城镇居民完全生活能源消费,选取生活能源价格、城镇人口规模、城镇居民消费支出、省域年均温度、城镇居民家用汽车拥有量作为解释变量,建立空间计量模型来分析中国城镇居民完全能源消费的空间相关性与集聚效应。同时,本文还分别从地理特征与社会经济特征两个方面设置空间邻接权重、地理距离权重和经济距离权重3种不同类型的空间权重矩阵来考察中国城镇居民完全能源消费的空间影响因素。主要的结论与启示如下:

(1)基于社会经济特征的经济距离权重空间计量模型能够较好地解释中国城镇居民完全能源消



2016年3月

费的空间效应及其区域差异。中国城镇居民能源消费的结构性差异以及空间溢出效应决定了在分析城镇居民完全能源消费时需要从经济地理的角度出发,而本文的模型估计结果也佐证了经济距离空间计量模型的合理性。

(2)中国城镇居民完全能源消费具有显著的正向空间相关性。一个地区的居民完全能源消费会受到与之具有相似空间特征地区的居民能源消费影响,即各地区之间的城镇居民能源消费是相互联系相互影响的。但中国城镇居民能源消费的区域差异也是显著存在的,如东部沿海地区形成了居民能源消费的高集聚区,而西部地区则为居民能源消费低集聚区。因此,政府在进行政策制定时,要同时考虑居民能源消费的空间相关性与区域差异,针对不同的区域采取差别化的能源政策。

(3)生活能源价格和城镇人口规模是中国城镇居民完全能源消费的重要影响因素,而又以生活能源价格的影响最大。生活能源价格关系居民日常生活、居住出行等。优化能源价格机制,逐步实施居民能源阶梯价格改革,在保障居民基本生活用能的基础上,抑制能源的过度浪费。同时随着“单独二胎”政策的实施,城镇人口规模将快速增长,而这必然导致会城镇居民完全能源消费的快速上升。转变居民能源消费观念,提高居民节能减排意识,引导居民绿色低碳能源消费是控制居民能源消费和实现碳减排的有效途径。

## 参考文献(References):

- [1] Zhao X, Li N, Ma C. Residential energy consumption in urban China: A decomposition analysis[J]. *Energy Policy*, 2012, 41: 644-653.
- [2] 王文蝶,牛叔文,齐敬辉,等. 中国城镇化进程中生活能源消费与收入的关联及其空间差异分析[J]. *资源科学*, 2014, 36(07): 1434-1441. [Wang W D, Niu S W, Qi J H, et al. The correlation and spatial differences between residential energy consumption and income in China[J]. *Resources Science*, 2014, 36(07): 1434-1441.]
- [3] 王妍,石敏俊. 中国城镇居民生活消费诱发的完全能源消耗[J]. *资源科学*, 2009, 31(12): 2093-2100. [Wang Y, Shi M J. Energy requirement induced by urban household consumption in China [J]. *Resources Science*, 2009, 31(12): 2093-2100.]
- [4] 赵晓丽,李娜. 中国居民能源消费结构变化分析[J]. *中国软科学*, 2011, (11): 40-51. [Zhao X L, Li N. Analysis of structure change in Chinese civilian energy consumption[J]. *China Soft Science Magazine*, 2011, (11): 40-51.]
- [5] Wei Y, Liu L, Fan Y, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO2 emission: An empirical analysis of China's residents[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(1): 247-257.
- [6] Lucas I B, Hidalgo E, Gomez W, et al. Behavioral factors study of residential users which influence the energy consumption[J]. *Renewable Energy*, 2001, 24(3): 521-527.
- [7] Yao C, Chen C, Li M. Analysis of rural residential energy consumption and corresponding carbon emissions in China[J]. *Energy Policy*, 2012, 41: 445-450.
- [8] Streimikiene D. Housing indicators for assessing quality of life in Lithuania[J]. *Intelektine Ekonomika*, 2014, 8(01): 25-41.
- [9] 樊茂清,任若恩. 我国城镇居民消费结构的实证研究[J]. *统计研究*, 2006, (12): 23-26. [Fan M Q, Ren R E. Empirical research on consumption structure of urban residents in China[J]. *Statistical Research*, 2006, (12): 23-26.]
- [10] 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, (09): 65-75. [Zhang X, Niu S W, Zhao C S, et al. The study on household energy consumption and carbon emissions in China's urbanization[J]. *China Soft Science Magazine*, 2011, (09): 65-75.]
- [11] 牛云翥,牛叔文,张馨,等. 家庭能源消费与节能减排的政策选择[J]. *中国软科学*, 2013, (05): 45-55. [Niu Y Z, Niu S W, Zhang X, et al. Policy options on fuel use, energy conservation and emission reduction in household sector[J]. *China Soft Science Magazine*, 2013, (05): 45-55.]
- [12] 孙岩,冯立芳,庞阿荣. 城市居民能源使用行为的影响因素研究[J]. *科研管理*, 2013, 34(08): 139-146. [Sun Y, Feng L F, Pang A R. Analysis of influencing factors of urban residents' energy use behavior[J]. *Science Research Management*, 2013, 34(08): 139-146.]
- [13] Riley K. Motor Vehicles in China: The impact of demographic and economic changes[J]. *Population and Environment*, 2002, 23(05): 479-494.
- [14] Bianco V, Scarpa F, Tagliafico L A. Analysis and future outlook of natural gas consumption in the Italian residential sector[J]. *Energy Conversion and Management*, 2014, 87: 754-764.
- [15] Zhang T, Siebers P, Aickelin U. A three-dimensional model of residential energy consumer archetypes for local energy policy design in the UK[J]. *Energy Policy*, 2012, 47: 102-110.
- [16] Fu C, Wang W, Tang J. Exploring the sensitivity of residential energy consumption in China: Implications from a micro-demographic analysis[J]. *Energy Research & Social Science*, 2014, 2: 1-11.

- [17] 薛丹. 我国居民生活用能能源效率回弹效应研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(02): 348-354. [Xue D. Estimating the rebound effect for household energy consumption in China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2014, 50(02): 348-354.]
- [18] Das A, Paul S K. Changes in energy requirements of the residential sector in India between 1993 - 94 and 2006 - 07[J]. *Energy Policy*, 2013, 53: 27-40.
- [19] 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(06): 890-895. [Li Y M, Zhang L. Structural decomposition analysis of China's indirect household energy consumption[J]. *Resources Science*, 2008, 30(06): 890-895.]
- [20] Bianco V, De Rosa M, Scarpa F, et al. Analysis of energy demand in residential buildings for different climates by means of dynamic simulation[J]. *International Journal of Ambient Energy*, 2014 (ahead-of-print): 1-13.
- [21] 张欢, 成金华. 中国能源价格变动与居民消费水平的动态效应——基于VAR模型和SVAR模型的检验[J]. 资源科学, 2011, 33(05): 806-813. [Zhang H, Cheng J H. Dynamic effect of China's energy price fluctuations and resident consumption levels: verification based on the VAR model and SVAR model[J]. *Resources Science*, 2011, 33(05): 806-813.]
- [22] Costanza R. Embodied energy and economic valuation[J]. *Science*, 1980, 210(4475): 1219-1224.
- [23] 冯玲, 吝涛, 赵千钧. 城镇居民生活能耗与碳排放动态特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 93-100. [Feng L, Lin T, Zhao Q J. Analysis of dynamic characteristics of urban household energy use and carbon emissions in China[J]. *China Population, Resources And environment*, 2011, 21(5): 93-100.]
- [24] Bin S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to us energy use and the related CO<sub>2</sub> emissions[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(02): 197-208.
- [25] Getis A. spatial weights matrices[J]. *Geographical Analysis*, 2009, 41(04): 404-410.
- [26] Tobler W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region[J]. *Economic Geography*, 1970: 234-240.
- [27] 李婧, 谭清美, 白俊红. 中国区域创新生产的空间计量分析——基于静态与动态空间面板模型的实证研究[J]. 管理世界, 2010, (7): 43-65. [Li J, Tan Q M, Bai J H. Spatial econometric analysis of regional innovation production in China—an empirical research based on static and dynamic spatial panel model[J]. *Management World*, 2010, (7): 43-65.]
- [28] 申俊, 孙涵, 成金华. 中国城镇居民能源消费及其影响因素[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(01): 45-53. [Shen J, Sun H, Cheng J H. Energy consumption and influence factors of urban residents in China[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2016, 18(01): 45-53.]
- [29] 罗知, 郭熙保. 进口商品价格波动对城镇居民消费支出的影响[J]. 经济研究, 2010, (12): 111-124. [Luo Z, Guo X B. The price effect of imported goods on urban household expenditure[J]. *Economic Research Journal*, 2010, (12): 111-124.]
- [30] 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, 2009-2013. [National Bureau of Statistics of China. China statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009-2013.]
- [31] 国家统计局能源统计司. 《中国能源统计年鉴》[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009-2013. [Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of China. China energy statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009-2013.]
- [32] 国家统计局人口和就业统计司. 《中国人口与就业统计年鉴》[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009-2013. [Department of Population and Employment Statistics, National Bureau of Statistics of China. China population & employment statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009-2013.]
- [33] Anselin L. Spatial econometrics: methods and models[M]. Springer Science & Business Media, 1988.
- [34] Lin B, Liu H. A study on the energy rebound effect of China's residential building energy efficiency[J]. *Energy and Buildings*, 2015, 86: 608-618.

## Spatial econometric analysis of the total energy consumption of urban residents in China

SHEN Jun<sup>1,2</sup>, SUN Han<sup>1,2</sup>, CHENG Jinhua<sup>1,2</sup>

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Research Center of Resource and Environmental Economics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** China is facing the dual pressures of the control of total energy consumption and carbon abatement, guiding and controlling the energy consumption of urban residents becomes very important. Residential energy consumption is China's second largest category of energy consumption. It is important to research residential energy consumption for reducing Chinese resident's energy carbon emissions, completing reduction targets and combatting global warming. Using spatial econometric analysis techniques we established a spatial econometric model with a two spatial weights matrix from geographical and socio-economic characteristics to examine the spatial effect and region difference of provincial urban residential total energy consumption in China from 2008 to 2012. We found that: the economic distance weighted spatial econometric model based on socio-economic characteristics can explain the spatial effect and region difference of Chinese urban residential total energy consumption; a positive spatial correlation in urban residential total energy consumption was significant, and eastern region exhibits a high-high assemble of urban residential total energy consumption; residential energy price and urban population size were important factors of urban residential total energy consumption, while residential energy price was more important. Therefore, the government needs to adopt differentiated energy policies for different regions during policy formulation, while optimizing energy pricing mechanism, implementing stepped residential energy prices, changing residential energy consumption attitudes, increasing awareness of energy conservation and guiding green residential energy consumption.

**Key words:** total energy consumption of urban residents; spatial econometric; economic distance spatial weights; energy price of urban residents