

doi:10.3969/j.issn.1005-8141.2020.04.006

# 中国家庭能源消费的空间分布及影响因素研究

丁永霞<sup>1</sup>, 彭守璋<sup>2</sup>

(1. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119;

2. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以省级行政区为基本研究单元,采用空间分析法和面板数据模型分析了我国家庭能源消费的空间分布与影响因素。结果表明:①家庭能耗总量呈以京津冀为中心向四周递减态势,电力消费比重和煤炭比重分别具有南高北低和西高东低的分布特点。②家庭能耗和电耗的“热点”位于京津冀地区和江浙闽地区,“冷点”位于华中地区、广东省和西部地区。③收入和人口是家庭用能的主要驱动因子,城市化与家庭能耗之间呈非线性关系,价格上涨、温度上升抑制了家庭能耗的增加。

**关键词:**家庭能源消费;空间分布;影响因素;面板数据模型

**中图分类号:**F063.4;F206 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8141(2020)04-0366-05

## Study on Spatial Pattern and Influencing Factors of Household Energy Consumption in China

DING Yong-xia<sup>1</sup>, PENG Shou-zhang<sup>2</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&amp;F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** On the provincial scale, spatial analysis method and panel data model were selected to study the spatial distribution of household energy consumption (HEC) and its influencing factors. The results showed that: ① The total HEC presented a decreasing trend from Beijing-Tianjin-Hebei Region to the surrounding regions. There was a higher distribution of electricity consumption proportion in the south than the north, and a higher distribution of coal consumption proportion in the west than the east. ② The Beijing-Tianjin-Hebei Region was the “hot spot” of per capita energy consumption, and the central China and Guangdong Province were the “cold spot”. Jiangsu, Zhejiang and Fujian Province were the “hot spot” of per capita electricity consumption, and the western region was the “cold spot”. ③ Income and population were the main driving factors of HEC. There was a non-linear relationship between urbanization and energy consumption. In addition, it showed a descending trend of the HEC with increasing of the energy costs and local temperature.

**Key words:** household energy consumption; spatial distribution; influencing factor; panel data model

目前,全球家庭的能源消费约占终端总用能的35%,在我国的比例则为10.6%,成为仅次于工业用能的第二大能耗部门<sup>[1]</sup>。过去20年,我国家庭能源消费的年增长速率达到8%<sup>[2]</sup>,随着快速城市化和经济社会发展,家庭能源消费将加速增长<sup>[3]</sup>。然而,我国家庭的能源消耗主要依赖于化石燃料,这加剧了全球变暖和环境污染等问题,对可持续发展造成了严重挑战<sup>[4]</sup>。

家庭能源消费的数量、结构及方式是经济发展水平和社会生活方式的反映<sup>[5]</sup>。众多因素影响着我国家庭能源消费的数量、结构和模式,如提高人均收入可促使家庭商品能源逐渐替代生物质能<sup>[6,7]</sup>,并产生新的终端用能方式<sup>[8,9]</sup>,进而显著提高现代商品能源消

费<sup>[10,11]</sup>。然而,城市化对家庭能源消费的作用方向是不一致的。有研究认为,农村地区的用电家庭迁移到城市后,会增加已有电器的使用时间并添置新的电器,由此带来家庭能源消费增长<sup>[12]</sup>。也有研究认为,城市人口高度聚集能提高公共基础设施的利用效率,进而减少家庭能源消费<sup>[13]</sup>。此外,温度变化对家庭能源消费的影响主要体现在冬季采暖能耗和夏季制冷能耗两个方面。自20世纪80年代以来,气候变暖显著减少了我国北方地区家庭冬季采暖能耗<sup>[14]</sup>,但同时也导致家庭的电力消费呈净增长态势<sup>[15]</sup>。

纵观已有研究,对我国家庭能源消费的研究主要集中在一些典型区域,如东北地区<sup>[11,16]</sup>、黄土丘陵区<sup>[17,18]</sup>、高原农牧地区<sup>[19-21]</sup>。为了全面认识家庭能源消费的空间分布特征,需要在全国尺度上进行深入研究。此外,电力作为主要能源消费品种,具有清洁性、高效性和便捷性等特征,并对其他能源类型具有较强的替代性,其消费量与人们生活质量改善、福

收稿日期:2019-08-12;修订日期:2020-01-14

基金项目:中国博士后科学基金面上项目(编号:2017M623111);中央高校基本科研业务资助项目(编号:GK201803048)。

第一作者及通讯作者简介:丁永霞(1986-),女,甘肃省定西人,博士,助理研究员,研究方向为区域可持续发展。

· 366 ·

利增加和生活方式改变密切相关<sup>[22]</sup>。本文以我国省级行政区为单元,利用 1997—2016 年的面板数据,分析了家庭能源消费的空间分布特征及其影响因素,为分区制定能源管理策略提供科学依据。

### 1 研究方法 with 数据来源

#### 1.1 研究方法

首先,使用 ArcMap 软件对 2016 年我国 30 个省区(不包括香港和澳门特别行政区、台湾地区和西藏自治区,下同)的家庭能源消费总量、人均能源消费量、煤炭消费比重、电力消费比重进行可视化分析,以研判家庭能源消费的空间分布特征。其次,使用空间自相关分析家庭能源消费的空间分布情况,所用的指数为 Moran's I。采用全局空间自相关分析家庭能源消费的空间关联和差异程度,并采用局部空间自相关观测具体的地区分布状况。第三,基于 1997—2016 年面板数据,分别构建家庭能源消费和家庭电力消费关于其影响因素的数学关系式,探讨相关因素对家庭能源消费的影响。计算公式为:

$$\ln Y_{i,t,h} = \alpha_i + \beta_j \sum_j \ln X_{i,t,j} + u_{it} \dots \dots \dots (1)$$

式中,Y 为被解释变量;X 是解释变量; $\alpha$  为截距项; $\beta$  为解释变量的回归系数; $u$  为随机扰动项;下标  $i$  为 30 个省级行政区, $i=1,2,\dots,30$ ;  $t$  为 20 年的时间序列数据, $t=1,2,\dots,20$ ;  $j$  为第  $j$  个解释变量, $j=1,2,\dots,6$ ;  $h$  为第  $h$  个被解释变量, $h=1,2$ ;  $\ln$  为对原始数据取自然对数,以消除时间序列变量的不稳定性和可能存在的异方差现象。

在指标选取时,参考相关文献<sup>[23]</sup>,选取 5 项指标作为解释变量(表 1)。研究发现,城市化对能源消费的影响具有阶段性特征。即在城市化发展的不同阶段,对能源消费的影响程度和作用方向不同<sup>[24]</sup>,因此本文将城市化的平方项作为一个解释变量纳入方程。

表 1 各指标说明

指标	说明	单位	符号
家庭总能源消费	家庭用于生活消费的能源总量	万吨标准煤	EN
家庭电力消费	家庭用于生活消费的电力总量	亿 kW·h	ELE
收入水平	人均 GDP	元	GDP
城市化水平	城市人口数/年末总人口	%	URB
能源价格	采用水电燃料价格指标	-	PRI
地区温度	省会城市的年均温度	℃	TEM

#### 1.2 数据来源

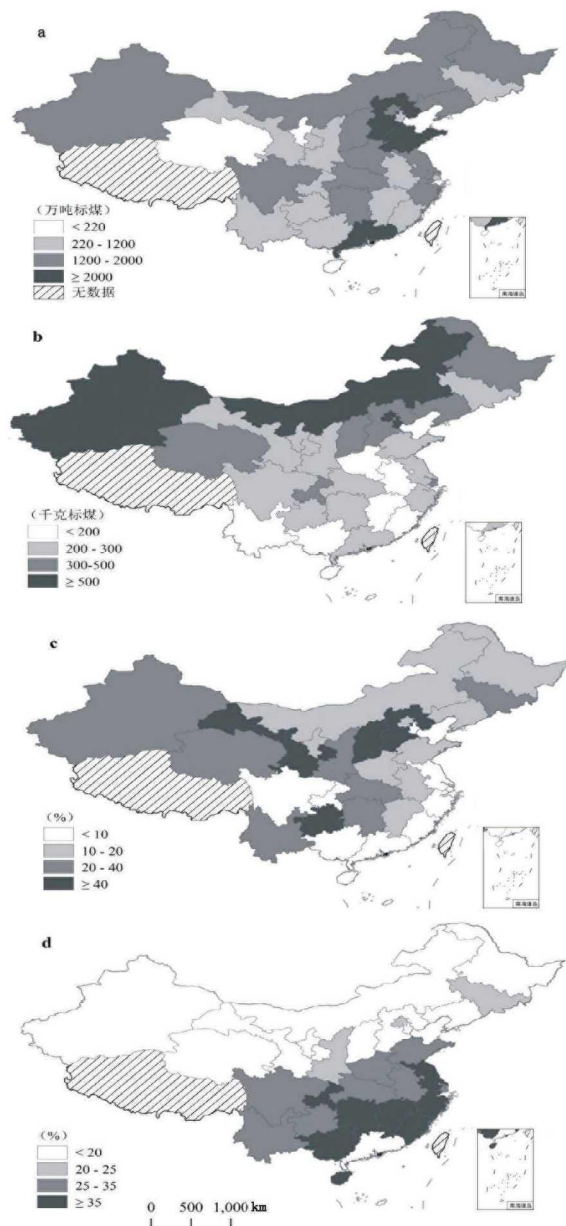
本文采用的数据类型为平衡面板数据,范围涵盖 1997—2016 年我国 30 个省级行政区。其中,家庭能源消费数据来自 1998—2017 年的《中国能源统

计年鉴》中的地区能源平衡表,相关人口数据、收入数据、能源价格均来自 1998—2017 年的《中国统计年鉴》。各省年均温度来自国家气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。计算前,根据各类能源的折标准煤系数,将各能源品种的单位统一折算为标准煤。为消除价格变动的影响,将各年的人均 GDP、能源价格折算为以 2000 年为基期的可比价格。

### 2 结果及分析

#### 2.1 家庭能源消费的空间分布特征

以 2016 年我国 30 个省区的家庭能源消费数据为例,分析空间分布状况,见图 1。



注:a 为总量;b 为人均量;c 为煤炭比重;d 为电力比重。

图 1 2016 年家庭能源消费的空间分布

从总量上看,我国家庭能源消费总体呈现出以京津冀为中心,向四周扩散的态势(图 1a),其中河北、山东和广东 3 省的家庭能源消费总量占全国家庭总能耗量的 20.86%。从图 1b 可见,我国家庭人均用能呈现出北高南低的分布格局,其中人均能耗最高的内蒙古达到 577.7kg 标准煤,人均能耗最低的广西仅为 138.6kg 标准煤,两者差距了 439kg 标准煤。从图 1c 可见,我国家庭煤炭消费比重呈现西高东低的态势,贵州、河北、山西、甘肃的煤炭比重超过 40%,而江浙沪、两广和川渝地区的比重不到 5%。从图 1d 可见,家庭电力消费比重呈现南高北低的态势,南方大部分省份的家庭电力消费比重在 30% 以上,即家庭用能约 1/3 依赖于电力,其中福建高达 63%;北方大部分省份的电力消费比重则不到 20%,其中新疆仅为 7%。

无论是消费水平还是消费结构,我国家庭能源消费均表现出明显的空间差异,这是由于各地区在资源禀赋条件、经济发展水平、气候条件等方面的差异所导致的。人口密集、经济发达的地区往往是终端能源消费较高的区域,占全国人口 2/3 的东中部区域是家庭能源消费较多的区域。高纬度、高海拔地区冬季温度低,居民需消耗更多的燃料进行取暖;低纬度、低海拔地区,相对需要更多的降温用能使电力消费比重更高。相比东部地区,中西部地区经济发展普遍滞后,从而制约了该地区能源消费转型步伐,表现出以煤炭为主导的能源消费结构特征。

2.2 家庭能源消费的空间相关性

本文对 1997—2016 年 30 个省份的家庭人均能源消费和人均电力消费进行空间自相关分析,结果见表 2。

表 2 家庭能源消费全局自相关 Moran's I 及检验值

年份	人均能源消费		人均电力消费	
	Moran's I	Z(I)	Moran's I	Z(I)
1997	0.318	2.8419	0.3447	3.0313
2000	0.428	3.8049	0.2409	2.1949
2002	0.396	3.4963	0.2616	2.4341
2004	0.430	3.6595	0.2918	2.6939
2006	0.379	3.3012	0.3508	3.1601
2008	0.424	3.6680	0.3690	3.3109
2010	0.424	3.8573	0.4142	3.7135
2012	0.350	3.2555	0.4038	3.6013
2014	0.403	3.5315	0.3738	3.3639
2016	0.457	3.9360	0.4533	3.9588

注:Z(I) > 2.58 表示通过 90% 的显著性水平检验。

表 2 可见,1997—2016 年所有年份的 Moran's I 值为正,且均在 90% 的置信水平上通过显著性检验,说明家庭能源消费存在着空间正相关。即某地

区家庭能源消费的集聚水平与其邻近地区具有相同的变化趋势,家庭能源消费相似的地区在地理位置上邻近,家庭能源消费的空间集聚状况在时间上的变化较为稳定。

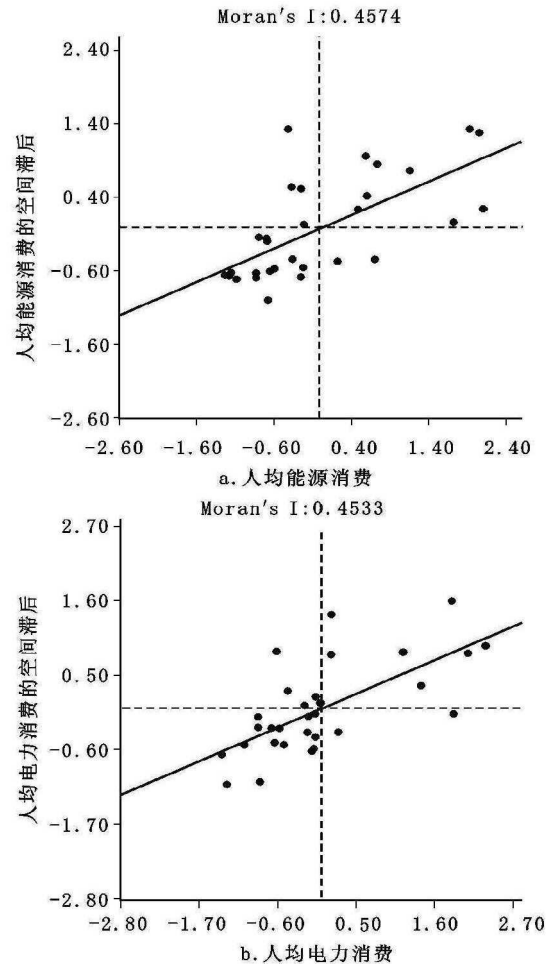
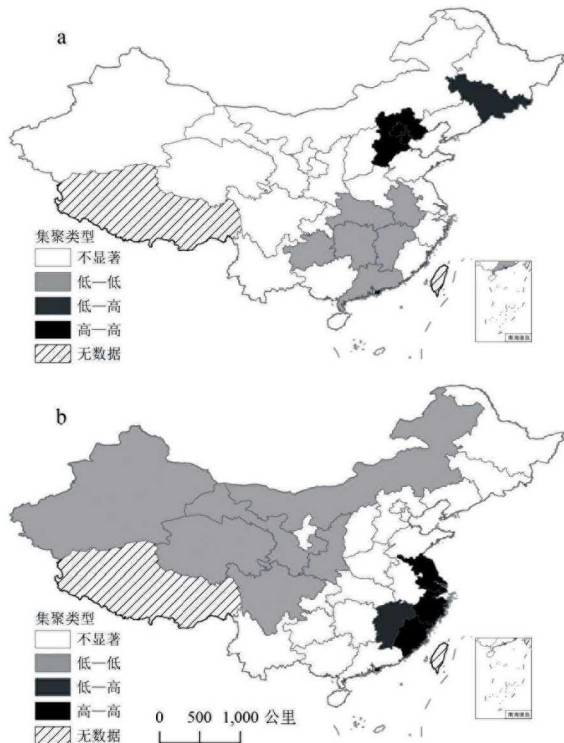


图 2 2016 年家庭人均用能和人均用电的 Moran 散点图

全局空间自相关反映了家庭能源消费的平均集聚程度。2016 年家庭人均能源消费和人均电力消费的 Moran's I 散点图见图 2a、图 2b。根据人均能源消费状况,位于 HH 象限有 9 个省份,分布在东北、华北、西北地区;位于 LL 象限的有 15 个省份,分布在西南、华南、中部地区;位于 LH 象限的有 4 个省份,包括陕西、甘肃、宁夏、吉林;位于 HL 象限的有上海、重庆 2 个直辖市。根据人均电力消费状况,位于 HH 象限的有 7 个省份,位于 LL 象限的有 16 个省份,位于 LH 象限的有 5 个省份,位于 HL 象限的有 2 个省份。

家庭人均能源消费和人均电力消费的 LISA 集聚图见图 3a 和图 3b。图 3a 和图 3b 主要显示了家庭能源消费的局部集聚状况。根据人均能源消费状况,京津冀是“高一高”热点的集聚区,华中地区、广东等是“低—低”的冷点集聚区,吉林为“低—高”的

异质点。根据人均电力消费状况,除了宁夏外,广大西部省份属于“低—低”的冷点集聚区,江浙闽属于“高一高”的热点集聚区,江西属于“低—高”的异质点,可见当前我国家庭能源消费的区域一体化态势十分明显。



注:a为人均用能量;b为人均用电量。  
图3 2016年家庭能源消费空间集聚图

### 2.3 家庭能源消费的影响因素分析

本文基于1997—2016年的面板数据,通过构建面板数据模型,进一步考察了各因素对我国家庭能源消费总量及家庭电力消费总量的影响。根据混合估计、固定效应和随机效应模型的估计结果见表3。F检验和Hausman检验的结果显示,无论是家庭总能源消费还是家庭电力消费,固定效应模型更加有效,因此本文解释将依据基于固定效应模型的回归结果。

根据家庭能源消费状况,人均收入每提高1%,将促使家庭能源消费增加0.83%;总人口每增加1%,家庭能源消费将增长0.422%。城市化变量平方项的系数为正,显示出对家庭能源消费的影响呈“U”形非线性关系。能源价格每上涨1%,家庭能源消费将减少0.436%;地区年均温度每升高1%,家庭能源消费将减少0.323%。

从以上结果可见,人均收入和人口数量增长对家庭能源消费均起到正向的促进作用,是影响家庭能源消费的主要驱动因子,而能源价格和地区温度则对家庭能源消费具有负向影响。对城市化而言,在城市化发展水平较低的阶段,随着广大农村人口向城市地区集聚,产生规模效应,城市化进程减少了家庭的能源消费;在城市化发展水平较高阶段,随着人们生活方式和消费模式的转变,城市化进程则增加了家庭的能源消费。

表3 面板数据模型估计结果

项目	家庭能源消费总量			家庭电力消费总量		
	混合估计	固定效应	随机效应	混合估计	固定效应	随机效应
LnGDP	0.014	0.830***	0.754***	0.426***	0.840***	0.764***
LPOP	0.979***	0.422***	0.800***	1.064***	1.054***	1.023***
LnURB	-10.507***	-5.051***	-4.107***	0.428	4.372***	3.768***
LnURB <sup>2</sup>	1.481***	0.681***	0.538***	0.036	-0.541**	-0.458***
LnPRI	1.084***	-0.436**	-0.259***	0.653**	-0.040	0.136*
LnTEM	-0.671***	-0.323**	-0.601***	0.185***	0.181	0.146**
cous	13.037***	7.328***	3.214***	-4.947***	-11.978***	-10.707***
R <sup>2</sup>	0.8450	0.8205	0.8152	0.9565	0.9457	0.9453
观测值	600	600	600	600	600	600
省份	30	30	30	30	30	30
F 检验	40.04***			F 检验	25.28***	
Hausman 检验	153.06***			Hausman 检验	26.59***	

注: \*为p<0.1, \*\*为p<0.05, \*\*\*为p<0.01。

根据家庭电力消费状况,人口总量每增加1%,将促使家庭电力消费增加1.054%;人均收入每提高1%,将促使家庭电力消费增长0.84%。能源价格和年均温度的回归系数没有通过90%的显著性水平检验,说明这两个变量对家庭电力消费的影响不明显,反映出目前能源价格对我国家庭电力消费

的调节作用有限;城市化对家庭电力能源消费的影响呈倒“U”型非线性关系,即在城市化水平较低的阶段,城市化进程增加了家庭电力消费量,而在城市化水平较高阶段,城市化进程减少了家庭电力消费量,这反映出在城市化进程中我国家庭能源消费趋向清洁化、高效化转变<sup>[25]</sup>。



### 3 结论

根据以上分析,得到以下结论:①我国家庭能源消费的空间分布差异显著。总体上,我国家庭用能总量以京津冀为中心向四周递减,人均用能呈现“北高南低”的趋势,煤炭消费比重呈现“西高东低”的态势,家庭电力消费比重呈现“南高北低”的态势。②1997—2016年我国人均家庭能源消费具有显著的空间正相关关系,人均家庭能源消费的热点主要分布在京津冀地区,而冷点主要分布在广东、华中地区;人均电力消费的热点位于江浙闽地区,冷点分布在西部地区。③对家庭能源消费总量而言,收入水平和人口规模是主要驱动因子,人均收入每提高1%,将导致0.83%的家庭能源消耗增加;总人口每增加1%,将促使家庭能源消费增长0.422%。城市化对家庭能源消费的影响存在“U”型的非线性关系。能源成本提高后,家庭能源消费的数量出现明显下降,即能源价格上涨1%,可减少家庭能源消费0.436%;地区温度升高1%,将使家庭能源消费减少0.323%。④对家庭电力消费而言,人口总量每增加1%,可导致家庭电力消费总量增加1.054%;人均收入每提高1%,将促使家庭电力消费增长0.84%,能源价格、地区温度两个变量对家庭电力消费的影响不明显,城市化对家庭电力能源消费的影响存在倒“U”型非线性关系。

#### 参考文献:

- [1] Zhao X, Li N, Ma C. Residential Energy Consumption in Urban China: A Decomposition Analysis[J]. Energy Policy, 2012, 41(11): 644 - 653.
- [2] Zheng X, Wei C, Qin P, et al. Characteristics of Residential Energy Consumption in China: Findings from a Household Survey[J]. Energy Policy, 2014, 75(7): 126 - 135.
- [3] Yuan B, Ren S, Chen X. The Effects of Urbanization, Consumption Ratio and Consumption Structure on Residential Indirect CO<sub>2</sub> Emissions in China: A Regional Comparative Analysis [J]. Applied Energy, 2015, 140(2): 94 - 106.
- [4] Chen Q. The Sustainable Economic Growth, Urbanization and Environmental Protection in China[C]. Forum on Public Policy, 2012.
- [5] 牛叔文, 赵春升, 张馨, 等. 兰州市家庭用能特点及结构转换的减排效应[J]. 资源科学, 2010, 32(7): 1245 - 1251.
- [6] 梁育填, 樊杰, 孙威, 等. 西南山区农村生活能源消费结构的影响因素分析——以云南省昭通市为例[J]. 地理学报, 2012, 67(2): 221 - 229.
- [7] 孙威, 胡望舒, 闫梅, 等. 限制开发区域农户薪柴消费的影响因素分析——以云南省怒江州为例[J]. 地理研究, 2014, 33(9): 1694 - 1705.
- [8] 周曙东, 崔奇峰, 王翠翠. 农牧区农村家庭能源消费数量结构及影响因素分析——以内蒙古为例[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 696 -

702.

- [9] Niu SW, Jia YQ, Ye LQ, et al. Does Electricity Consumption Improve Residential Living Status in Less Developed Regions? An Empirical Analysis Using the Quantile Regression Approach [J]. Energy, 2016, 95(1): 550 - 560.
- [10] Yu YH, Zheng XY, Han Y. On the Demand for Natural Gas in Urban China [J]. Energy Policy, 2014, 70(12): 57 - 63.
- [11] Zhou SJ, Teng F. Estimation of Urban Residential Electricity Demand in China Using Household Survey Data [J]. Energy policy, 2013, 61(6): 394 - 402.
- [12] Liddle B, Lung S. Age - structure, Urbanization, and Climate Change in Developed Countries: Revisiting STIRPAT for Disaggregated Population and Consumption - related Environmental Impacts [J]. Population and Environment, 2010, 31(5): 317 - 343.
- [13] Fan JL, Zhang YJ, Wang B. The Impact of Urbanization on Residential Energy Consumption in China: An Aggregated and Disaggregated Analysis [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 75(10): 220 - 233.
- [14] 陈峪, 黄朝迎. 气候变化对能源需求的影响 [J]. 地理学报, 2000, 55(b11): 11 - 19.
- [15] Chen H, Huang Y, Shen H, et al. Modeling Temporal Variations in Global Residential Energy Consumption and Pollutant Emissions [J]. Applied Energy, 2016, 184(2): 820 - 829.
- [16] 石祖梁, 李想, 王飞, 等. 我国东北地区农村生活能源消费结构与变化趋势分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 122 - 127.
- [17] Chen X, Wen Y, Li N. Energy Efficiency and Sustainability Evaluation of Space and Water Heating in Urban Residential Buildings of the Hot Summer and Cold Winter Zone in China [J]. Sustainability, 2016, 8(10): 989.
- [18] Zhang M, Guo F. Analysis of Rural Residential Commercial Energy Consumption in China [J]. Energy, 2013, 52(1): 222 - 229.
- [19] Ping X, Li C, Jiang Z. Household Energy Consumption Patterns in Agricultural Zone, Pastoral Zone and Agro - pastoral Transitional Zone in Eastern Part of Qinghai - Tibet Plateau [J]. Biomass & Bioenergy, 2013, 58(11): 1 - 9.
- [20] 孙永龙, 牛叔文, 胡嫫嫫, 等. 高寒藏区农牧村家庭能源消费特征及影响因素——以甘南高原为例 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(4): 569 - 579.
- [21] 赵雪雁. 生计方式对农户生活能源消费模式的影响——以甘南高原为例 [J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1610 - 1619.
- [22] Wijaya M T, Tezuka T. A Comparative Study of Households' Electricity Consumption Characteristics in Indonesia: A Techno - socioeconomic Analysis [J]. Energy for Sustainable Development. C, 2013, 17(6): 590 - 604.
- [23] 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(7): 1434 - 1441.
- [24] 沈可, 史倩. 人口结构与家庭规模对生活能源消费的影响——基于中国省级面板数据的实证研究 [J]. 人口研究, 2018, 42(6): 100 - 110.
- [25] 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.