

引用格式:曲建升,刘莉娜,曾静静,等. 中国居民生活碳排放增长路径研究[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2389-2398. [Qu J S, Liu L N, Zeng J J, et al. A study on growth path for China's household CO₂ emissions[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2389-2398.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.17

中国居民生活碳排放增长路径研究

曲建升^{1,2}, 刘莉娜^{1,2}, 曾静静^{1,2}, 李恒吉^{1,2}

(1. 中国科学院兰州文献情报中心, 兰州 730000;

2. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要:随着居民消费水平提高,居民生活部门成为中国第二大排放主体,居民生活碳排放问题成为国内外的研究热点。本文结合IPAT扩展模型和情景分析方法对中国整体、城镇、农村三个层面居民生活碳排放增长路径进行情景预测,探究中国居民生活碳排放达峰时间及达峰数值。研究结果表明:基准情景和高碳情景下,到2050年,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量均难实现达峰;低碳情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量达峰时间分别是2046年,2045年和2046年,碳排放峰值分别为73亿t、56亿t和17亿t;强化情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量达峰时间均在2040年,碳排放峰值分别为63亿t、47亿t和16亿t。中国居民生活碳排放峰值研究是中国能否实现减排目标的基础之一。基于此,提出中国居民生活部门专门性减排举措,如提高居民人口素质、提升居民绿色理念等有助于中国整体实现2030峰值目标。

关键词:居民生活碳排放;城镇;农村;峰值;IPAT模型;情景分析;中国

DOI: 10.18402/resci.2017.12.17

1 引言

人类活动产生温室气体增加尤其是CO₂排放增加是导致气候变暖的主要原因^[1]。国际层面,UNEP(联合国环境规划署)发表的碳排放差距报告(The Emissions Gap Report)^[2]指出:世界各国基于实现2℃温升目标出台不同减排举措。国内层面,2009年,在哥本哈根气候大会上,中国政府提出2020年努力实现碳排放强度较2005年下降40%~45%的目标。2015年,在巴黎气候大会上,中国政府提出2030年努力实现CO₂排放达峰目标。如何应对和减缓气候变化,节能降碳是关键。基于中国政府提出的低碳减排目标,碳排放峰值研究是中国未来能否实现减排目标的基础条件之一^[3]。

关于中国碳排放峰值研究的方法主要包括两种:模型预测方法,如LEAP模型、IPAT模型、STIRPAT模型、灰色预测模型等;情景分析方法,即

根据不同情景模式,对碳排放未来趋势进行情景模拟。而多数学者采用模型预测和情景分析相结合的方法对碳排放发展态势进行模拟预测。

根据不同模型预测,国际上,Kumar等采用LEAP模型对印度电力能源系统碳排放进行预测,结果表明,在强化可再生能源技术情景下,到2050年,印度电力能源系统具有74%的减排潜力^[4]。Ko等基于历史数据对韩国客运车辆碳排放进行预测,结果显示,到2020年,韩国新增客运车辆碳排放比例下降3%~7%,将会减少CO₂排放量36.5Mt~38.6Mt^[5]。Hamzacebi等采用灰色关联模型对土耳其能源碳排放进行预测,结果显示,国家政策和气候变化行动对土耳其实现排放达峰至关重要^[6]。在国内,关于碳排放峰值的研究主要集中在能源领域、工业部门和交通部门。渠慎宁等采用STIRPAT模型对中国碳排放峰值进行预测,结果表明达峰时间

收稿日期:2017-09-07;修订日期:2017-11-20

基金项目:中华人民共和国科学技术部国家重点研发计划项目(2016YFA0602803);国家自然科学基金项目(41371537)。

作者简介:曲建升,男,山东莱阳人,博士,研究员,博士生导师,研究方向为全球环境战略与气候变化研究。E-mail:jsqu@lzb.ac.cn

通讯作者:刘莉娜,E-mail:liulin2015@163.com

在2020—2045年之间^[7]。杜强等采用IPAT模型对中国能源碳排放的未来趋势进行预测,结果表明,中国碳排放峰值出现在2030年左右^[8]。Li等基于LMDI模型对中国交通部门碳排放的潜在影响因素进行探讨,并对未来变化趋势进行预测^[9]。

基于不同情景分析模式,国内学者关于碳排放预测的研究主要集中在国家层面、省份层面和地级市层面。Yuan等构建中国2050年能源消耗和能源碳排放不同情景,结果显示,中国能源消耗和能源碳排放分别在2035—2040年和2030—2035年达峰^[10]。Hao等采用情景分析方法对中国货物运输部门的能源消耗和温室气体排放进行预测,结果显示,中国货物交通部门在强化情景下有望2030年之前达峰^[11]。朱宇恩等结合IPAT模型和情景分析方法对山西省能源碳排放峰值进行研究,结果显示,在低速发展和中速发展情景下,山西省碳排放有望2030年左右达峰^[12]。Wen等采用模型预测与情景分析相结合的方法构建京津冀地区碳排放增长路径,结果表明,低碳政策对京津冀地区碳排放达峰路径起到重要作用^[13]。黄蕊等基于不同政策情景探讨长三角地区(苏浙沪)能源碳排放达峰时间,结果表明,苏、浙、沪地区碳排放峰值出现在2030年左右^[14]。

基于上述文献,模型应用与情景分析相结合的方法可以更准确地对碳排放峰值进行预估。IPAT模型应用简单,能够反映人口、经济、技术水平对碳排放的影响^[15,16]。情景分析可以对未来碳排放变化趋势设置不同情景,更有利于针对不同碳排放增长路径模式提出针对性政策建议。

工业部门是中国最大的能源消耗部门和最大的碳排放部门,因此,近年来的碳排放研究主要关注能源领域、工业部门。然而,随着中国工业化进程不断推进,中国城镇化发展不断完善,中国居民生活水平有所提升,居民生活消费产生的碳排放问题逐步引起学术界、政府部门的广泛关注。居民生活部门已经成为继工业部门的第二大能源消耗部门和第二大碳排放部门^[17]。

Wei等通过对中国1999—2002年城乡居民生活碳排放进行评估,结果显示碳排放总量的30%来自居民生活^[18]。曲建升等从居民生活能耗视角对中国西北地区碳排放进行评估,结果表明中国居民生

活碳排放存在较大地域差异^[19]。刘莉娜等^[20]、Liu等^[21]采用空间计量模型对中国居民生活碳排放影响因素进行分析,结果显示不同地区的居民生活水平和发展水平对地区居民生活碳排放的差异和增加起到正向推动作用^[20,21]。Ma等利用IOA方法对中国和美国居民消费间接产生的碳排放进行评估和比较^[22]。

目前,居民生活碳排放的研究主要集中在碳排放评估方法、碳排放影响机制等方面,居民生活碳排放的预测研究及峰值研究较少。低碳生活、绿色消费是发达国家和发展中国家共同应对和减缓气候变化的重要措施^[23]。居民生活碳排放峰值研究可以为我国提出的2030峰值目标提供数据支撑和科学参考。

本文从居民生活消费视角出发,采用IPAT模型和情景分析相结合的方法对中国居民生活碳排放总量峰值路径进行探究。基于居民生活碳排放不同增长路径,提出中国居民生活部门专门性低碳减排建议,为我国整体实现减排目标提供数据支撑和政策参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 IPAT 模型

20世纪70年代,美国生态学家Ehrlich等^[15,16]首次提出IPAT模型用来分析人口、经济、技术对环境的影响。IPAT模型的一般形式为:

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

式中 I 、 P 、 A 、 T 分别表示环境影响(Impact)、人口(Population)、财富(Affluence)和技术水平(Technology)。

2.2 IPAT 扩展模型

基于IPAT模型理论基础,本研究构建适合中国居民生活碳排放的IPAT扩展模型,即CPAT模型。CPAT模型的计算公式为:

$$C = P \times A \times T \quad (2)$$

式中 C 为环境影响,用碳排放总量表示; P 为人口,用人口数量表示; A 为财富,用人均收入表示; T 为技术,用碳排放强度,即单位收入产生的居民生活碳排放表示。

$$C = \sum C_i \quad (3)$$

2017年12月

$$C_i = P_i A_i T_i = P_i \times \frac{I_i}{P_i} \times \frac{C_i}{I_i} \quad (4)$$

式中 i 为区域类型, $i=1$ 时表示城镇, $i=2$ 时表示农村; C_i 为 i 区域碳排放总量; P_i 为 i 区域人口总量 ($P_1=P \times U$, $P_2=P \times R$, P 为中国人口总量, U 为城镇人口比例, 代表城镇化率, R 为农村人口比例); I_i 为 i 区域居民收入; $A_i=I_i/P_i$ 为 i 区域人均收入; $T_i=C_i/I_i$ 为 i 区域排放强度。

将中国城镇居民生活碳排放的 CPAT 模型进行变形:

$$C_{10} = P_{10} \times A_{10} \times T_{10} = P_0 \times U_0 \times A_{10} \times T_{10} \quad (5)$$

$$C_{1t} = P_{1t} \times A_{1t} \times T_{1t} = P_t \times U_t \times A_{1t} \times T_{1t} \quad (6)$$

式中 0, t 分别为基期和 t 期; C_{10} , C_{1t} 分别为基期和 t 期城镇居民生活碳排放总量; P_0 , P_t 分别为基期和 t 期中国人口总量; U_0 , U_t 分别为基期和 t 期城镇化率; A_{10} , A_{1t} 分别为基期和 t 期城镇人均收入; T_{10} , T_{1t} 分别为基期和 t 期城镇技术水平。

假设城镇居民生活碳排放控制变量 P (人口总量)、 U (城镇化率)、 A (人均收入)、 T (技术水平) 的 t 期与基期变化率分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 , 则控制变量 t 期与基期的变化关系如下:

$$P_t = P_0 \times (1 + \lambda_1) \quad (7)$$

$$U_t = U_0 \times (1 + \lambda_2) \quad (8)$$

$$A_{1t} = A_{10} \times (1 + \lambda_3) \quad (9)$$

$$T_{1t} = T_{10} \times (1 + \lambda_4) \quad (10)$$

因此, 中国城镇居民生活碳排放的 CPAT 扩展模型为:

$$C_{1t} = C_{10} \times [(1 + \lambda_1) \times (1 + \lambda_2) \times (1 + \lambda_3) \times (1 + \lambda_4)]^t \quad (11)$$

将中国农村居民生活碳排放的 CPAT 模型进行变形:

$$C_{20} = P_{20} \times A_{20} \times T_{20} = P_0 \times R_0 \times A_{20} \times T_{20} \quad (12)$$

$$C_{2t} = P_{2t} \times A_{2t} \times T_{2t} = P_t \times R_t \times A_{2t} \times T_{2t} \quad (13)$$

式中 C_{20} , C_{2t} 分别为基期和 t 期农村居民生活碳排放总量; P_0 , P_t 分别为基期和 t 期中国人口总量; R_0 , R_t 分别为基期和 t 期农村人口比例; A_{20} , A_{2t} 分别为基期和 t 期农村人均收入; T_{20} , T_{2t} 分别为基期和 t 期农村技术水平。

假设农村居民生活碳排放控制变量 P (人口总量)、 U (城镇化率)、 A (人均收入)、 T (技术水平) 的 t 期与基期变化率分别为 λ_1 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 , 则控制变量 t 期与基期的变化关系如下所示:

$$P_t = P_0 \times (1 + \lambda_1) \quad (14)$$

$$R_t = R_0 \times (1 + \lambda_5) \quad (15)$$

$$A_{2t} = A_{20} \times (1 + \lambda_6) \quad (16)$$

$$T_{2t} = T_{20} \times (1 + \lambda_7) \quad (17)$$

因此, 中国农村居民生活碳排放的 CPAT 扩展模型为:

$$C_{2t} = C_{20} \times [(1 + \lambda_1) \times (1 + \lambda_5) \times (1 + \lambda_6) \times (1 + \lambda_7)]^t \quad (18)$$

2.3 数据来源

(1) 1997—2014 年中国居民生活碳排放总量的计算数据。该数据来源于刘莉娜等^[20]、Liu 等^[21]、1998—2015 年的《中国能源统计年鉴》^[24] 和 1998—2015 年的《中国统计年鉴》^[25]。

(2) 1997—2014 年人均收入、人口总量和城镇化率的统计数据。1997—2014 年人均收入统计数据来源于 1998—2015 年的《中国统计年鉴》^[25]。1997—2014 年人口总量和城镇化率统计数据来源于 1998—2015 年的《中国人口和就业统计年鉴》^[26]。

3 中国居民生活碳排放峰值路径情景设置

人口总量、城镇化率、人均收入、技术水平等诸多因素都会对中国居民生活碳排放产生不确定性影响。随着中国居民生活条件改善, 城市化水平提高, 以及居民生活收入水平提升, 在未来一段时间, 中国居民生活直接和间接的能源需求及产生的 CO₂ 排放随之增加。本研究以近年来居民生活碳排放不同控制变量的增长速率和发展规律作为依据, 参照“十二五”期间各变量变化速率以及年均变化率, 设置基准、高碳、低碳和强化四种情景模式 (表 1), 对中国未来居民生活碳排放进行推测。

基于 IPAT 扩展模型, 中国城镇居民生活碳排放的控制变量人口总量、城镇化率、人均收入、排放强度的历年变化趋势如图 1 所示。中国人口总量从 1997 年的 12.36 亿增长到 2014 年的 13.68 亿, 增长了 10.64%, 年均变化率为 0.60%。“九五”、“十五”、

表1 中国居民生活碳排放峰值情景具体描述

Table 1 The description of scenario analysis on household CO₂ emissions in China

| 情景设置 | 情景描述 |
|------|---|
| 基准情景 | 主要以中国近年来人口规模、城镇化率、人均收入以及排放强度的变化规律为依据,依照中国努力实现国家提出的“两个一百年”奋斗目标,在现有国家应对气候变化政策下,不提出居民生活部门专门性减排举措。 |
| 高碳情景 | 在基准情景基础上,对低碳减排政策考虑欠佳,更加注重居民生活水平提升和居民生活质量提高。 |
| 低碳情景 | 针对基准情景和高碳情景,低碳情景不仅考虑目前现有低碳减排政策,还提出针对性的居民生活部门专门性减排政策。该情景下,一方面通过鼓励政策促进生产部门生产更多低碳产品,实现低碳生产、低碳经济;另一方面通过技术水平提高各种高碳产品向低碳转化,实现低碳消费、低碳交易。 |
| 强化情景 | 该情景综合考虑各控制变量发展态势,在提升中国居民生活水平和消费水平的同时,更加重视居民生活绿色消费理念。不仅在政策、技术方面提出居民生活部门专门性减排措施,还在教育层面上提升中国人口素质,从理念上引导居民向低碳生活方式和低碳消费模式转变。 |

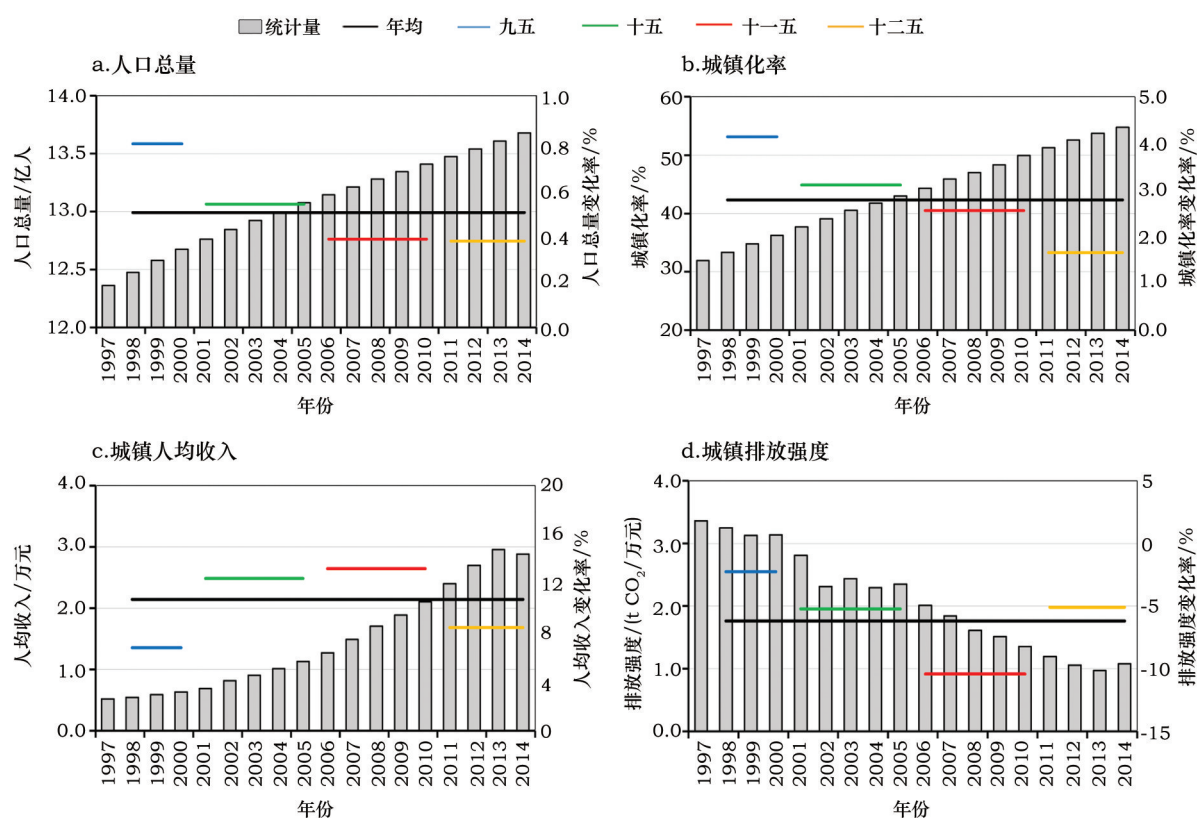


图1 1997—2014年中国城镇人口总量、城镇化率、人均收入和排放强度变化趋势

Figure 1 The variation tendency of population, urbanization, per capita income and carbon intensity in urban China areas from 1997 to 2014

“十一五”、“十二五”期间城镇人口总量平均变化率分别为0.83%、0.63%、0.50%、0.50%,变化率呈现缓慢下降趋势。城镇化率从1997年的31.91%增长到2014年的54.77%,增长了71.64%,年均变化率为3.23%。“九五”、“十五”、“十一五”、“十二五”期间城镇化率平均变化率分别为4.31%、3.49%、3.05%、2.33%,变化率呈现缓慢下降趋势。城镇人均收入从1997年的0.52万元/人增长到2014年的2.88万元/人,增长了4.56倍,年均变化率为10.72%。“九

五”、“十五”、“十一五”、“十二五”期间人均收入平均变化率分别为6.78%、12.42%、13.21%、8.41%,变化率呈现波动变化趋势。城镇排放强度从1997年的3.36t CO₂/万元下降至2014年的1.08t CO₂/万元,下降了67.92%,年均变化率为-6.19%。“九五”、“十五”、“十一五”、“十二五”期间城镇排放强度平均变化率分别为-2.26%、-5.22%、-10.42%、-5.09%,变化率呈现波动变化趋势。

中国农村居民生活碳排放的控制变量变化趋

2017年12月

势如图2所示,农村人均收入从1997年的0.21万元/人增长到2014年的1.05万元/人,增长了4.02倍,年均变化率为10.08%。“九五”、“十五”、“十一五”、“十二五”期间人均收入平均变化率分别为2.54%、7.68%、12.74%、15.40%,变化率呈现逐步上升趋势。农村排放强度从1997年的3.18t CO₂/万元下降至2014年的1.53t CO₂/万元,下降了52.00%,年均变化率为-4.05%。“九五”、“十五”、“十一五”、“十二五”期间城镇排放强度平均变化率分别为-0.35%、-1.23%、-7.87%、-5.59%,变化率呈现波动变化。

人口总量情景边界主要以国家人口发展规划(2016—2030年)^[27]预计中国未来总人口在2030年达到14.5亿左右作为情景设置参考。城镇化率情

景边界主要以国家人口发展规划(2016—2030年)^[27]预计中国城镇化率在2030年为70%左右作为情景设置参考。城镇人均收入和农村人均收入情景边界主要以党的十八大提出“两个一百年”奋斗目标(2020年努力实现居民人均收入在2010年基础上翻一番的百年奋斗目标)为情景设置参考。城镇排放强度和农村排放强度情景边界主要以中国政府提出的2030年碳排放强度较2005年下降60%~65%作为情景参考。同时,以人口总量、城镇化率、城镇人均收入、城镇排放强度、农村人均收入和农村排放强度在“十二五”期间的变化率、年均变化率以及各时期变化率的变化趋势(图1和图2)为基准,对中国城镇和农村居民生活碳排放情景进行设置,如

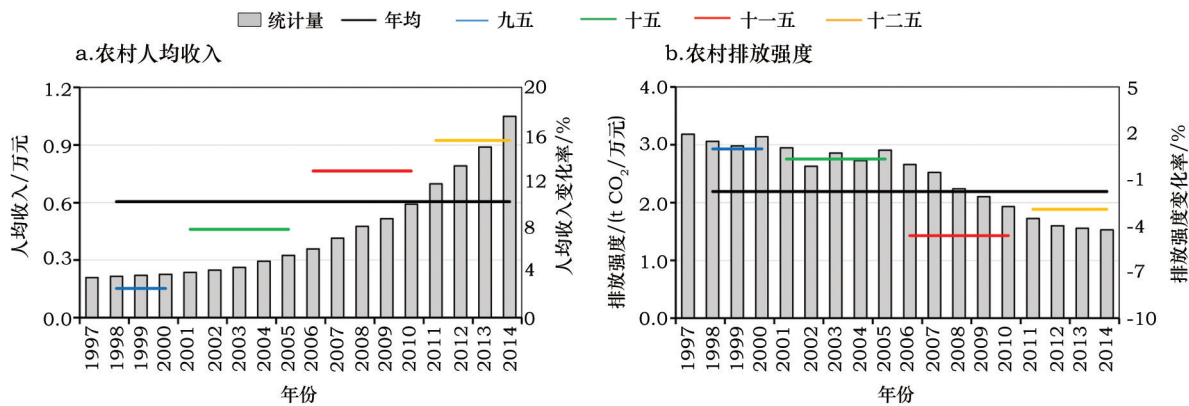


图2 1997—2014年中国农村人均收入和排放强度变化

Figure 2 The variation of per capita income and carbon intensity in rural China areas from 1997 to 2014

表2 中国城镇和农村居民生活碳排放情景设置边界

Table 2 The setting boundaries of different scenarios on household CO₂ emissions in urban and rural China

| 情景设置 | 年份 | 人口总量 /亿人 | 城镇化率 /% | 城镇人均收入 增长率/% | 城镇排放强度 下降率/% | 农村人均收入 增长率/% | 农村排放强度 下降率/% |
|------|------|-------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 基准情景 | 2020 | 14.10 | 61.5 | 8.0 | 3.2 | 11.3 | 2.8 |
| | 2030 | 14.55 | 68.5 | 6.0 | 3.1 | 8.3 | 2.7 |
| | 2050 | 14.65 | 74.0 | 3.0 | 2.9 | 3.8 | 2.5 |
| 高碳情景 | 2020 | 14.10 | 62.0 | 7.7 | 3.1 | 12.0 | 2.5 |
| | 2030 | 14.60 | 70.0 | 5.5 | 3.0 | 9.5 | 2.4 |
| | 2050 | 14.85 | 76.5 | 3.0 | 2.9 | 4.5 | 2.2 |
| 低碳情景 | 2020 | 14.08 | 61.0 | 7.2 | 3.2 | 10.5 | 3.1 |
| | 2030 | 14.50 | 67.0 | 5.0 | 3.1 | 7.5 | 3.0 |
| | 2050 | 14.45 | 71.5 | 2.5 | 2.8 | 3.5 | 2.8 |
| 强化情景 | 2020 | 14.08 | 60.5 | 7.0 | 3.3 | 10.0 | 3.4 |
| | 2030 | 14.45 | 65.0 | 4.5 | 3.2 | 6.5 | 3.2 |
| | 2050 | 14.30 | 69.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.9 |

表2所示。基于中国城镇、农村居民生活碳排放总量峰值预测结果,求和得出中国整体居民生活碳排放总量峰值结果。

4 中国居民生活碳排放峰值路径研究

4.1 中国居民生活碳排放现状分析

1997—2014年中国居民生活碳排放总量变化趋势如图3所示。中国居民生活碳排放总量从1997年的12亿t增至2014年的33亿t,增加了1.65倍,呈现先波动上升后平稳快速上升趋势。中国城镇居民生活碳排放总量和农村居民生活碳排放总量均呈现逐渐上升趋势,其中,城镇的增长趋势明显大于农村。1997—2014年,中国城镇居民生活碳排放总量从6亿t上升至2014年的23亿t,中国农村居民生活碳排放总量6亿t上升至2014年的10亿t。中国城乡居民生活碳排放总量的差距呈现逐步扩大趋势。

4.2 中国居民生活碳排放峰值路径分析

根据城镇居民生活碳排放不同情景模式对中国城镇居民生活碳排放总量进行推测,结果如图4a所示。2015年中国城镇居民生活碳排放总量为25亿t。基准情景下,2020年中国城镇居民生活碳排放总量为33亿t,到2050年将达70亿t左右。高碳情景下,2020年中国城镇居民生活碳排放总量为34亿t,到2050年将达80亿t左右。基准情景和高碳情景下,中国城镇居民生活碳排放总量在2050年之

前均难实现达峰。低碳情景下,2020年中国城镇居民生活碳排放为33亿t,2045年中国城镇居民生活碳排放总量达到峰值,峰值为56亿t。强化情景下,2020年中国城镇居民生活碳排放为32亿t,2040年中国城镇居民生活碳排放总量达到峰值,峰值为47亿t。低碳情景和强化情景下,中国城镇居民生活碳排放总量在2050年之前有望达峰,达峰时间在2040—2045年间。

根据农村居民生活碳排放不同情景模式对中国农村居民生活碳排放总量进行推测,结果如图4b所示。2015年中国农村居民生活碳排放总量为10亿t。基准情景下,2020年中国农村居民生活碳排放总量为12亿t,到2050年将达20亿t左右。高碳情景下,2020年中国农村居民生活碳排放总量为12.10亿t,到2050年将达24亿t左右。基准情景和高碳情景下,中国农村居民生活碳排放总量到2050年均难实现达峰。低碳情景下,2020年中国居民生活碳排放为12亿t,2046年中国农村民生活碳排放总量达峰,峰值为17亿t。强化情景下,2020年中国农村居民生活碳排放总量为12亿t,2040年中国农村居民生活碳排放总量达峰,峰值为16亿t。低碳情景和强化情景下,中国农村居民生活碳排放总量在2050年前有望达峰,达峰时间在2040—2046年间。

如图4c所示,2015年中国整体居民生活碳排放

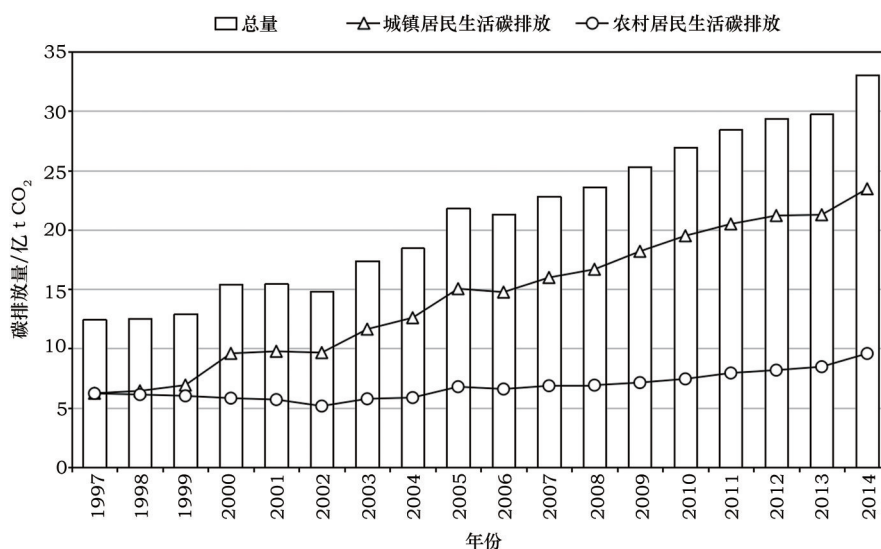


图3 1997—2014年中国居民生活碳排放变化

Figure 3 The variation of household CO₂ emissions in China from 1997 to 2014

2017年12月

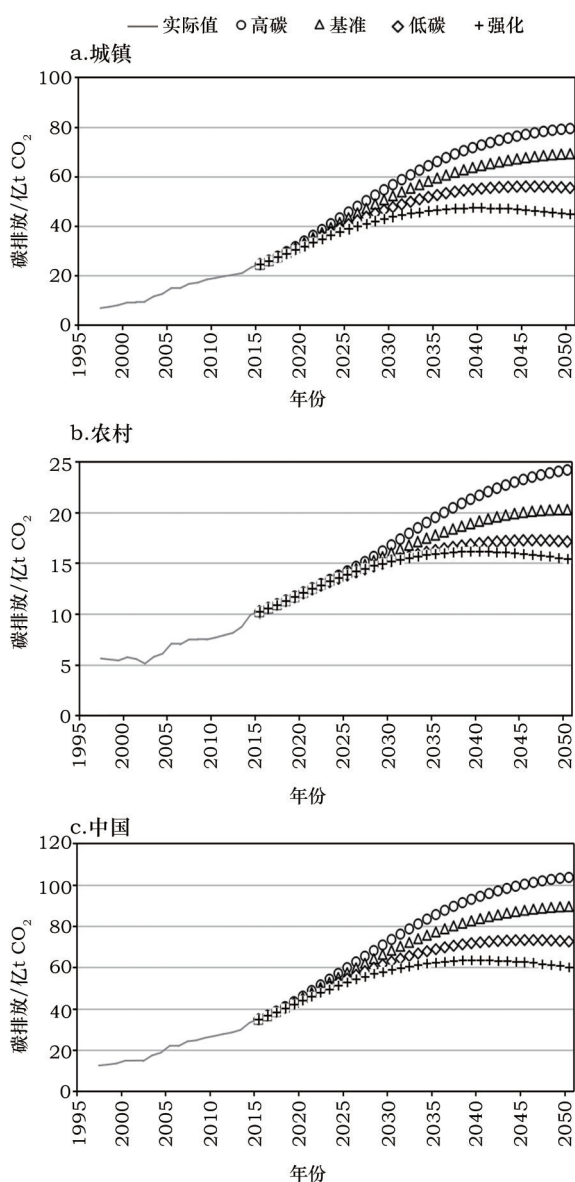


图4 2015—2050年中国城镇、农村及中国整体居民生活碳排放总量情景预测

Figure 4 The scenario prediction of household CO₂ emissions in urban areas, rural areas and the whole China from 2015 to 2050

放总量为35亿t。基准情景下,2020年中国居民生活碳排放总量为45亿t,到2050年将达90亿t左右。高碳情景下,2020年中国居民生活碳排放总量为46亿t,到2050年将达104亿t左右。基准情景和高碳情景下,中国居民生活碳排放总量在2050年均难实现达峰。低碳情景下,2020年中国居民生活碳排放总量为44亿t,2046年中国居民生活碳排放总量达峰,峰值为73亿t。强化情景下,2020年中国居民生活碳排放总量为44亿t,2040年中国居民生活

碳排放总量达峰,峰值为63亿t。低碳情景和强化情景下,中国居民生活碳排放总量在2050年前有望达峰,达峰时间在2040—2046年间。

4.3 讨论

(1)中国居民生活碳排放短期内仍呈现逐渐上升趋势。随着中国经济水平提升,居民生活水平和生活质量不断提升,居民生活的直接和间接能源需求不断增加。在不断满足居民生活消费需求的同时,会导致大量的碳排放来自居民生活部门。此外,尽管中国目前人均收入水平不断提升,但是仍有7000多万贫困人口处于不同程度的贫困状态中。党的十八届五中全会明确提出到2020年中国政府努力实现“现行标准下农村贫困人口脱贫”,这不仅是中国亟需解决的发展问题更是全球需要解决的社会问题。有效解决这一问题的同时,随着贫困人口逐步脱贫,非贫困人口居民生活条件逐步改善,也会直接和间接消耗更多能源,进而产生更多的居民生活碳排放。因此,短期内,中国居民生活碳排放总量仍呈现不断上升趋势。

(2)基准情景和高碳情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量在2050年之前均难实现达峰。与欧美等发达国家相比,中国总体科技水平还是相对落后,通过科学技术提高中国能源效率和排放效率,短时期还不能达到中国想要的成效。因此,在基准情景和高碳情景下,中国经济发展水平和技术提升水平与发达国家相比均有很大差距,来自居民生活部门的居民生活碳排放总量很难实现达峰。

基于基准情景和高碳情景下的中国居民生活碳排放峰值研究,虽然2050年左右中国居民生活碳排放没有实现达峰,但是,居民生活碳排放总量增长速率呈现下降趋势,这也意味着,随着中国居民对绿色消费、低碳消费理念的逐步认识,居民生活碳排放总量在低碳情景和强化情景下有望在2050年左右达峰。

(3)低碳情景和强化情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量在2040—2046年左右达峰。加强政策引导、推动科技创新、共享低碳理念是低碳情景和优化情景不同于基准情景和高碳情景的主要区别。

低碳情景的设置更多地考虑现有应对和减缓气候变化政策行动,在此基础上制定居民生活部门专门性减排政策和减排措施。低碳情景下,中国政府一方面通过相关政策鼓励生产部门实现低碳生产,为消费者提供更多的低碳产品;另一方面通过技术研发实现高碳产品低碳化。在此情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放有望在2050年之前实现达峰,达峰时间在2045年左右。

强化情景是在低碳情景基础上,更多地考虑提升居民生活水平和生活质量的基础上加强居民生活绿色理念的推广。强化情景下,政府部门、组织结构不仅在减排政策、技术创新等领域提出针对性减排举措,提高居民生活碳排放利用效率。此外,更加从教育层面上提升人口素质,从理念层面上促进绿色发展,引导居民生活低碳化,绿色化,向低碳生活方式和低碳消费模式转变。在此情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放有望在2050年之前实现达峰,达峰时间在2040年左右。

5 结论

5.1 主要结论

结合IPAT扩展模型和情景分析方法对中国居民生活碳排放增长路径进行研究,并不是对中国居民生活碳排放未来发展的准确预报,而是基于居民生活碳排放控制变量的发展趋势和发展规律在此基础上,建立居民生活碳排放未来情景模拟一种科学推测。通过设定不同情景模式,中国居民生活碳排放放在基准情景、高碳情景、低碳情景和强化情景下,呈现不同碳排放增长路径,结论如下:

(1)基准情景和高碳情景下中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量在2050年之前均难实现达峰。

(2)低碳情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量达峰时间分别在2046年,2045年和2046年,排放峰值分别为73亿t、56亿t和17亿t。

(3)强化情景下,中国整体、城镇、农村居民生活碳排放总量达峰时间均在2040年,排放峰值分别为63亿t、47亿t和16亿t。

基于模型预测与情景分析相结合的方法,采用基准、高碳、低碳和强化四种情景模式对中国整体、城镇和农村居民生活碳排放总量进行情景模拟。

根据研究结果,只有在低碳情景和强化情景下才能实现中国居民生活碳排放总量在2050年之前达峰。

基于低碳情景设置标准,政府部门和政策制定者需要考虑当前应对和减缓气候变化行动框架基础上,更进一步地针对居民生活部门制定专门性减排举措。比如政策制定方面,通过政策鼓励措施促进生产部门生产更多低碳产品,实现低碳生产、低碳经济,进而走向绿色可持续发展之路。比如技术创新方面,通过技术水平提高各种高碳产品低碳化,实现低碳消费、低碳交易进而走向绿色生态文明之路。

5.2 研究展望

基于模型预测和情景分析相结合的方法对中国居民生活碳排放峰值路径进行研究,不仅有助于中国整体实现减排,同时为中国提出的减排目标和峰值目标提供数据支撑和科学依据。同时,本文也有不足之处。比如,中国居民生活碳排放的控制变量很多,基于IPAT扩展模型仅将人口总量、城镇化率、人均收入、排放强度等因素进行考虑,其他控制变量并未涉及。此外,居民生活碳排放情景设置边界主要基于当前国家规划、发展目标以及发达国家的发展经验。未来研究中,还需将更多的人口情景、社会情景、经济情景考虑在内,从系统学角度更详尽地对中国居民生活碳排放峰值进行研究。

参考文献(References):

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [2] UNEP. The Emissions Gap Report 2016: A UNEP Synthesis Report[EB/OL]. (2016-11-04)[2017-11-02]. <http://www.buildup.eu/es/node/50581?gid=50714>.
- [3] Mi Z F, Wei Y M, Wang B, et al. Socioeconomic impact assessment of China's CO₂ emissions peak prior to 2030[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 2227-2236.
- [4] Kumar S, Madlener R. CO₂ emission reduction potential assessment using renewable energy[J]. *Energy*, 2016, 97: 273-282.
- [5] Ko A, Myung C L, Park S, et al. Scenario-based CO₂ emissions reduction potential and energy use in Republic of Korea's passenger vehicle fleet[J]. *Transportation Research Part A*,

2017年12月

- 2014, 59: 346-356.
- [6] Hamzacebi C, Karakurt I. Forecasting the energy-related CO₂ emissions of Turkey using a grey prediction model[J]. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2015, 37(9): 1023-1031.
- [7] 渠慎宁, 郭朝先. 基于STIRPAT模型的中国碳排放峰值预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 10-15. [Qu S N, Guo C X. Forecast of China's carbon emissions based on STIRPAT model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(12): 10-15.]
- [8] 杜强, 陈乔, 陆宁. 基于改进IPAT模型的中国未来碳排放预测[J]. 环境科学学报, 2012, 32(9): 2294-2302. [Du Q, Chen Q, Lu N. Forecast of China's carbon emissions based on modified IPAT model[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(9): 2294-2302.]
- [9] Li W, Li H, Zhang H X, et al. The analysis of CO₂ emissions and reduction potential in China's transport sector[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 2016: 1-12.
- [10] Yuan J H, Xu Y, Hu Z, et al. Peak energy consumption and CO₂ emissions in China[J]. *Energy Policy*, 2014, 68(2): 508-523.
- [11] Hao H, Geng Y, Li W Q, et al. Energy consumption and GHG emissions from China's freight transport sector: Scenarios through 2050[J]. *Energy Policy*, 2015, 85: 94-101.
- [12] 朱宇恩, 李丽芬, 贺思思, 等. 基于IPAT模型和情景分析法的山西省碳排放峰值年预测[J]. 资源科学, 2016, 38(12): 2316-2325. [Zhu Y E, Li L F, He S S, et al. Peak year prediction of Shanxi Province's carbon emissions based on IPAT modeling and scenario analysis[J]. *Resources Science*, 2016, 38(12): 2316-2325.]
- [13] Wen L, Liu Y. The peak value of carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region based on the STIRPAT model and scenario design[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2016, 25(2): 823-834.
- [14] 黄蕊, 陆玉栖, 陆梦秋. 不同能源政策下苏浙沪能源消费碳排放高峰估计[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1): 15-25. [Huang R, Lu Y Q, Lu M Q. Projection of energy consumption carbon emission peak for Jiangsu, Zhejiang and Shanghai under different energy policies[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(1): 15-25.]
- [15] Ehrlich P R, Holdren J P. The impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [16] Ehrlich P R, Holdren J P. One dimensional economy[J]. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 1972, 28(5): 16-27.
- [17] 王莉, 曲建升, 刘莉娜, 等. 1995-2011年我国城乡居民家庭碳排放的分析与比较[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 6-11. [Wang L, Qu J S, Liu L N, et al. Analysis and comparison of urban and rural household carbon emissions in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(5): 6-11.]
- [18] Wei Y M, Liu L C, 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: 247-257.
- [19] 曲建升, 王琴, 曾静静, 等. 中国西北寒旱区农牧民生活碳排放评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(4): 90-95. [Qu J S, Wang Q, Zeng J J, et al. An assessment on the subsistence carbon emissions of peasants and herdsmen in Arid-Alpine regions, China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(4): 90-95.]
- [20] 刘莉娜, 曲建升, 黄雨生, 等. 中国居民生活碳排放的区域差异及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1364-1377. [Liu L N, Qu J S, Huang Y S, et al. Analyze on the spatial-temporal pattern and influence factor of China's per capita household carbon emissions[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(8): 1364-1377.]
- [21] Liu L N, Qu J S, Clarke-Sather A, et al. Spatial variations and determinants of per capita household CO₂ emissions (PHCEs) in China[J]. *Sustainability*, 2017, 9(7): 1277.
- [22] Ma X W, Du J, Zhang M Y, et al. Indirect carbon emissions from household consumption between China and the USA: based on an input-output model[J]. *Natural Hazards*, 2016, 84(1): 399-410.
- [23] 魏一鸣, 刘兰翠, 廖华, 等. 中国碳排放与低碳发展[M]. 北京: 科学出版社, 2017. [Wei Y M, Liu L C, Liao H, et al. CO₂ Emissions and Low Carbon Development in China[M]. Beijing: Science Press, 2017.]
- [24] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴(1997-2014)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2015. [China Energy Statistical Yearbook (1997-2014). Energy Statistics Division of National Bureau of Statistics[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2015.]
- [25] 国家统计局. 中国统计年鉴(1997-2014)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2015. [China Statistical Yearbook (1997-2014). National Bureau of Statistics of China[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2015.]
- [26] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口和就业统计年鉴(1997-2014)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2013. [China Statistical Yearbook (1998-2015). National Bureau of Statistics of China[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2013.]
- [27] 国务院. 国家人口发展规划(2016-2030年)[EB/OL]. (2017-03-04) [2017-11-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content_5163309.htm. [The State Council. National Population Development Plan [EB/OL]. (2017-03-04) [2017-11-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content_5163309.htm.]

A study on growth path for China's household CO₂ emissions

QU Jiansheng^{1,2}, LIU Lina^{1,2}, ZENG Jingjing^{1,2}, LI Hengji^{1,2}

(1. Lanzhou Information Center, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: CO₂ emissions from households increase with improved living standards and a growing population. Analysis of assessments and predictions for household CO₂ emissions is significant to provide effective low-carbon measures for governments. This work explored the peak value of household CO₂ emissions in urban areas, rural areas and the whole China based on IPAT modeling and scenario analysis. From the perspective of peak prediction, we found that household CO₂ emissions will not achieve peak value before 2050 based on the Baseline Scenario and High-carbon Scenario both in China, urban areas and rural areas. Based on the Low-carbon Scenario, peak value time of household CO₂ emissions in China, urban areas and rural areas will be achieved in 2046, 2045 and 2046, respectively; the peak value will be 7.3 billion t CO₂, 5.6 billion t CO₂ and 1.7 billion t CO₂, respectively. Based on the Enhanced Low-carbon Scenario, the peak value time of household CO₂ emissions in China, urban areas and rural areas all will be achieved in 2040; the peak value will be 6.3 billion t CO₂, 4.7 billion t CO₂ and 1.6 billion t CO₂, respectively. Based on the results of the peak value of household CO₂ emissions, low-carbon suggestions, such as to encourage multi-generation members living together, to enhance people's awareness on energy saving and to master the green development plan and low-carbon construction plan, should be provided. Only by considering the current response and mitigation policies to adapt to climate change, special policies and measures needed to be made in the household sector, the peak value of household CO₂ emissions will be achieved based on Low-carbon Scenario and Enhanced the Low-carbon Scenario in China. The results also gave the data support for achieving 40% ~ 45% carbon reduction targets in 2020 and peak value targets around 2030.

Key words: household CO₂ emissions; urban areas; rural areas; peak value; IPAT Model; scenario analysis; China