

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.10.013

# 中国能源消费碳排放时空动态变化<sup>①</sup>

钱 萍<sup>1</sup>, 马彩虹<sup>1,2</sup>

1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 银川 750021

**摘要:** 运用碳排放计算方法对 1995—2015 年中国能源消费碳排放进行核算, 同时引入碳排放压力指数分析碳排放压力时空动态变化特征。结果表明: 近 21 年来, 中国能源消费碳排放总量由 38.57 亿 t 增至 125.16 亿 t, 人均碳排放由 3.23 t 增至 9.15 t, 碳排放强度由 6.7 t/万元下降至 2.62 t/万元, 碳排放压力指数由 0.13 波动增至 0.40, 从较低等级(I<sub>b</sub>)上升至中下等级(II<sub>a</sub>); 空间分布上, 各省碳排放压力具有显著差异, 2015 年沪、津、鲁、苏、晋、京、辽、宁、冀、浙、豫为很高等级(III<sub>b</sub>), 粤、蒙、陕、皖为较高等级(III<sub>a</sub>), 闽、琼、渝、鄂为中上等级(II<sub>b</sub>), 贵、新、吉、湘、赣为中下等级(II<sub>a</sub>), 桂、黑、甘、川、青、云为较低等级(I<sub>b</sub>)。

**关键词:** 能源消费; 碳排放; 碳排放压力; 时空动态

**中图分类号:** X22

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)10-0093-08

随着全球经济的快速发展, 能源需求不断增加, 温室气体排放与日俱增, 这无疑成为全球变暖最重要的人为因素。全球变暖所带来的气候变化、环境恶化将导致一系列的自然与社会经济问题, 威胁着人类的生存和发展<sup>[1-3]</sup>。中国作为世界上最大的发展中国家, 伴随着社会经济的快速发展, 化石能源消耗排放的大量温室气体, 在全球气候变化方面有着不小的份额<sup>[4-5]</sup>。本着主动、负责的态度, 在 2015 年巴黎气候峰会上中国政府做出郑重承诺, 二氧化碳排放量到 2030 年左右争取达到峰值, 实现单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%。在“十三五”规划目标中, 中国政府提出到 2020 年万元 GDP 能耗比 2015 年降低 15%、能源消费总量低于 50 亿吨标准煤的减排目标。上述目标的达成, 涉及我国作为一个负责任大国的尊严, 对中国实现低碳绿色发展、建设美丽中国具有重要意义, 这依赖于政府和社会各界的共同努力<sup>[6]</sup>。

能源消耗碳排放作为最主要的碳排放来源, 近年来受到学术界的重点关注, 学界从碳足迹、碳排放总量、碳排放强度等不同指标对能源消耗碳排放的时空动态变化及影响因素等进行研究<sup>[7-9]</sup>。基于碳足迹指标, 卢俊宇等<sup>[10]</sup>认为近年来省级碳足迹压力的空间差异逐渐增大; 赵先贵等<sup>[11]</sup>对山西省 1999—2010 年的能源消费碳足迹进行核算, 发现研究时段内山西省的碳足迹不断增大, 减排任务艰巨。基于碳排放总量指标, 马彩虹等<sup>[12]</sup>发现近年来西北五省碳排放总量大幅度增长, 空间聚集特征明显; 高长春等<sup>[13]</sup>分析了 1995—2014 年中国碳排放的时空耦合动态, 发现碳排放呈现空间整合性减弱、局部空间关

① 收稿日期: 2018-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41761034); 宁夏大学引进人才科研启动项目(BQD2016005)。

作者简介: 钱 萍(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事空间信息技术与分析。

通信作者: 马彩虹, 教授, 硕士研究生导师。

联性增强的特点;胡艳兴等<sup>[14]</sup>的研究则表明 1997—2012 年中国能源消费碳排放量在省域尺度上存在显著的空间正相关,排放重心位于河南省南部;邓吉祥等<sup>[15]</sup>按照中国八大区域的分区进行分析,发现八大区域碳排放总量均逐年上涨,且中部地区占比最大.碳排放强度是研究碳排放的另外一个重要指标,如程叶青等<sup>[16]</sup>的研究表明,中国能源消费碳排放强度呈逐年下降趋势,省区碳排放强度空间聚集具有显著地域特征,认为能源结构的转变是降低能源消费强度的重要手段;赵荣钦等<sup>[17]</sup>发现江苏省 2000—2010 年的碳排放强度呈波动下降趋势.

可以看出,当前的研究以采用某个单一指标的核算与分析较多<sup>[18-20]</sup>,综合视角的研究成果偏少.尽管碳排放的每一个指标在度量碳排放问题上都有各自的优势,但在我国碳减排与绿色发展进入攻坚阶段下,对上述多个指标开展综合的、多视角的分析,对于碳排放问题的认知以及为有效减排提供决策参考十分必要.本文运用 IPCC 方法,采用碳排放总量、人均碳排放、碳排放强度、碳排放压力指数等多个指标,开展中国能源消费的碳排放时空动态变化特征和等级评估,以为低碳减排政策提供行之有效的决策依据.

## 1 研究方法

### 1.1 能源消费碳排放核算方法

根据 IPCC 碳计算方法,将原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气 8 种化石能源消费转换为标准煤耗,计算中国 1995—2015 年能源消费碳排放,其公式如下<sup>[21]</sup>:

$$C_e = \sum E_i \times Q_i \times C_i \times B_i \times 10^{-3} \times 44/12 \quad (1)$$

式中:  $C_e$  为能源消费碳排放总量;  $E_i$  为  $i$  种化石能源的消费量(t);  $Q_i$  为  $i$  种能源净发热值(TJ/Gg 1 Gg =  $10^{-3}$  t);  $C_i$  为  $i$  种能源的含碳量(kg/GT);  $B_i$  为  $i$  能源的缺省氧化率;  $Q, C, B$  均采用 IPCC 值;  $10^{-3}$  为单位折算系数; 44/12 为  $\text{CO}_2$  与 C 分子量之比.

### 1.2 碳排放压力指数

碳排放压力指数是由人均碳排放和碳排放密度构建而成,用来测算区域碳排放对全球气候变化贡献的大小.公式如下<sup>[22]</sup>:

$$CEI = 0.5001 \times \frac{C_p}{C_{p\max}} + 0.4999 \times \frac{C_a}{C_{a\max}} \quad (2)$$

式中:  $CEI$  为区域碳排放压力指数;  $C_p$  为区域人均碳足迹与该指标应对全球气候变化目标值(2 t $\text{CO}_2\text{e}$ , Stern, 2007)之比;  $C_a$  为区域碳足迹密度与该指标应对全球气候变化目标值(1.18 t/hm<sup>2</sup>, WWF, 2014)之比;  $C_{p\max} \cdot C_{a\max}$  分别为全球人均碳足迹最大值 15 和碳足迹密度最大值 20,相应等级划分如表(1).

表 1 碳排放等级划分标准

等级	I <sub>s</sub>	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	II <sub>a</sub>	II <sub>b</sub>	III <sub>a</sub>	III <sub>b</sub>
$CEI$	<0	0~0.06	0.07~0.25	0.26~0.40	0.41~0.55	0.56~0.70	>0.70
表征状态	碳汇	很低	较低	中下	中上	较高	很高

注:各国承担减排义务的目标为人均 2 t  $\text{CO}_2\text{e}$ ,表 1 中  $CEI=0.06$  对应于此值;当  $CEI<0$  时为碳汇,用 I<sub>s</sub> 表示.

### 1.3 数据来源

本文以中国 30 个省区为研究对象(由于西藏、台湾、香港和澳门数据统计不全,不在研究范围内),所用的 8 种能源消费、人口和 GDP 数据主要来自《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》(1996—2016 年).GDP 采用 1990 年不变价.排放因子来自《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南》.

## 2 结果与分析

### 2.1 碳排放动态变化特征分析

#### 2.1.1 碳排放总量、人均、强度的动态变化分析

1995—2015 年, 中国能源消费碳排放总量快速增长, 由 1995 年的 38.57 亿 t 增至 2015 年的 125.16 亿 t, 增幅 224.48%, 年均增长率 6.06%。人均碳排放持续增加, 从 1995 年的 3.23 t 增至 2015 年的 9.15 t, 增幅 183.64%, 年均增长率 5.35%。碳排放强度逐年下降, 由 1995 年的 6.70 t/万元降至 2015 年的 2.62 t/万元, 降幅 60.9%, 年均下降率 4.59%(表 2)。

表 2 1995—2015 年中国碳排放总量、人均、强度的动态变化

年份	碳排放总量/ 亿 t	人均碳排放/ t	碳排放强度/ (t·万元 <sup>-1</sup> )	年份	碳排放总量/ 亿 t	人均碳排放/ t	碳排放强度/ (t·万元 <sup>-1</sup> )
1995	38.57	3.23	6.70	2006	81.69	6.32	4.37
1996	39.87	3.22	6.20	2007	89.25	6.86	4.16
1997	39.98	3.28	5.60	2008	93.63	7.14	3.90
1998	39.88	3.25	5.09	2009	99.02	7.99	3.69
1999	39.89	3.23	4.67	2010	108.59	8.16	3.58
2000	41.91	3.33	4.47	2011	120.41	9.00	3.55
2001	43.65	3.46	4.24	2012	123.76	9.20	3.31
2002	47.40	3.73	4.15	2013	123.34	9.12	3.01
2003	54.45	4.27	4.25	2014	124.96	9.19	2.82
2004	63.21	4.91	4.34	2015	125.16	9.15	2.62
2005	74	5.77	4.49				

依据 1995—2015 年碳排放总量变化趋势, 可分为 3 个动态变化阶段: 1995—2001 年为缓慢递增阶段, 碳排放总量由 38.57 亿 t 缓慢增至 43.65 亿 t, 增幅仅为 13.17%; 2002—2011 年为快速增长阶段, 由 47.40 亿 t 增至 120.41 亿 t, 增幅 154.03%, 碳排放量增长率急增; 2012—2015 年为均衡阶段, 碳排放总量由 123.76 亿 t 增至 125.16 亿 t, 增幅仅为 1.14%, 期间 2013 年比 2012 年略有下降。人均碳排放量的变化趋势与碳排放总量几乎一致, 不再赘述。究其原因, 碳排放动态变化与国内经济发展、政府宏观调控密切相关, 2000 年以前国内经济发展缓慢, 能源消耗量小, 碳排放较少。2001 年中国加入 WTO, 经济较快发展, 其中经济增长主要依靠第二产业产值增加, 第二产业能源消耗量大, 导致碳排放急剧攀升。2009 年中国超越美国成为世界碳排放第一, 本着“共同但有区别”的减排责任, 中国低碳减排政策相继出台, 2011 年开展碳排放试点, 建立自愿减排机制, 全面部署减排重点工作, 碳排放得到控制, 呈现较平稳态势。

研究时段内, 碳排放强度整体呈波动下降趋势(图 1), 1995—2002 年快速下降, 由 1995 年的 6.70 t/万元下降至 2002 年的 4.15 t/万元, 降幅 37.99%; 2003—2005 年小幅上升, 由 2003 年的 4.25 t/万元增至 2005 年的 4.49 t/万元, 增幅 5.66%, 其中 2005 年达到一个小峰值; 2006—2015 年波动下降, 从 2006 年的 4.37 t/万元下降至 2015 年的 2.62 t/万元, 降幅 40.01%。能源作为生产和发展最重要的动力来源, 随着社会经济发展、人口增长和人民生活水平的提高, 人们对能源的需求量不断增加。相反, 能源利用率的提高、新能源的使用增加以及国内生产总值的快速增长, 使得单位 GDP 所担负的碳排放量不断下降, 碳排放的经济效益增强, 期间由于新能源成本高、技术条件不成熟等因素, 能源消耗量波动变化, 碳排放强度呈波动下降趋势。

### 2.1.2 碳排放压力动态变化分析

1995—2015 年, 中国碳排放压力指数呈上升趋势, 从 0.13 上升到 0.40, 由“较低”等级( $I_b$ )上升至“中下”等级( $II_a$ )(图 2). 其中, 1995—2005 年碳排放压力指数在 0.13~0.25 波动变化, 处于“较低”等级( $I_b$ ); 2006—2015 年碳排放压力指数由 0.27 增至 0.40, 期间 2012—2015 年碳排放压力指数稳定在 0.40, 处于“中下”等级( $II_a$ ). 中国碳压力等级的升高, 主要与以煤为主的能源消费结构有关, 近年来, 中国一直提倡低碳减排, 致力于绿色发展, 碳排放压力指数得到有效控制, 保持在“中下”等级( $II_a$ ), 减排工作取得成效.

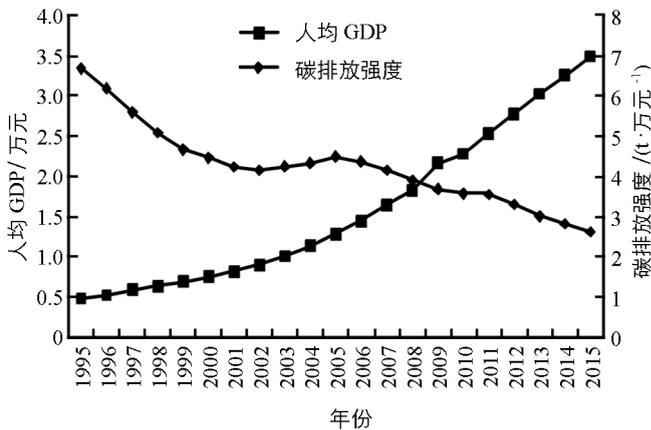


图 1 1995—2015 年中国人均 GDP、碳排放强度变化趋势

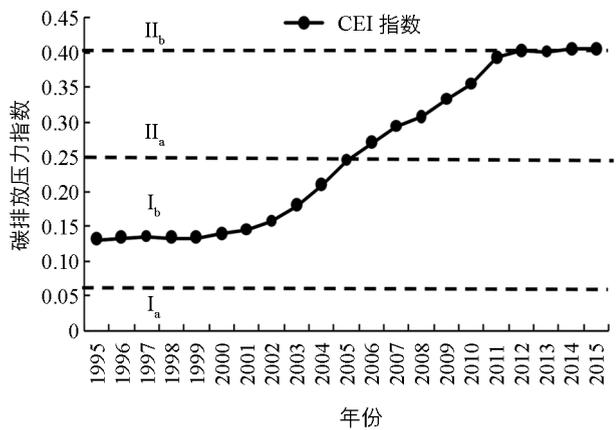


图 2 1995—2015 年中国碳排放压力变化趋势

## 2.2 碳排放空间格局特征分析

### 2.2.1 碳排放总量、人均、强度空间差异分析

本文采取等间距法将数据分成 5 级, 发现 2015 年碳排放总量、人均碳排放和碳排放强度均呈现出较大空间差异(图 3). 碳排放总量方面, 2015 年中国碳排放总量最高的省份是山东省(13.32 亿 t), 占全国碳排放总量的 10.64%; 其次是内蒙古、河北、山西和江苏(7.51~10 亿 t); 辽宁、河南和广东碳排放总量位于第三等级一类(5.01~7.5 亿 t); 黑龙江、吉林、新疆、陕西、四川、湖北、安徽、上海、福建、浙江、湖南和贵州碳排放靠后(2.51~5 亿 t); 北京、天津、宁夏、甘肃、青海、重庆、江西、云南、广西、和海南最低(小于 2.5 亿 t).

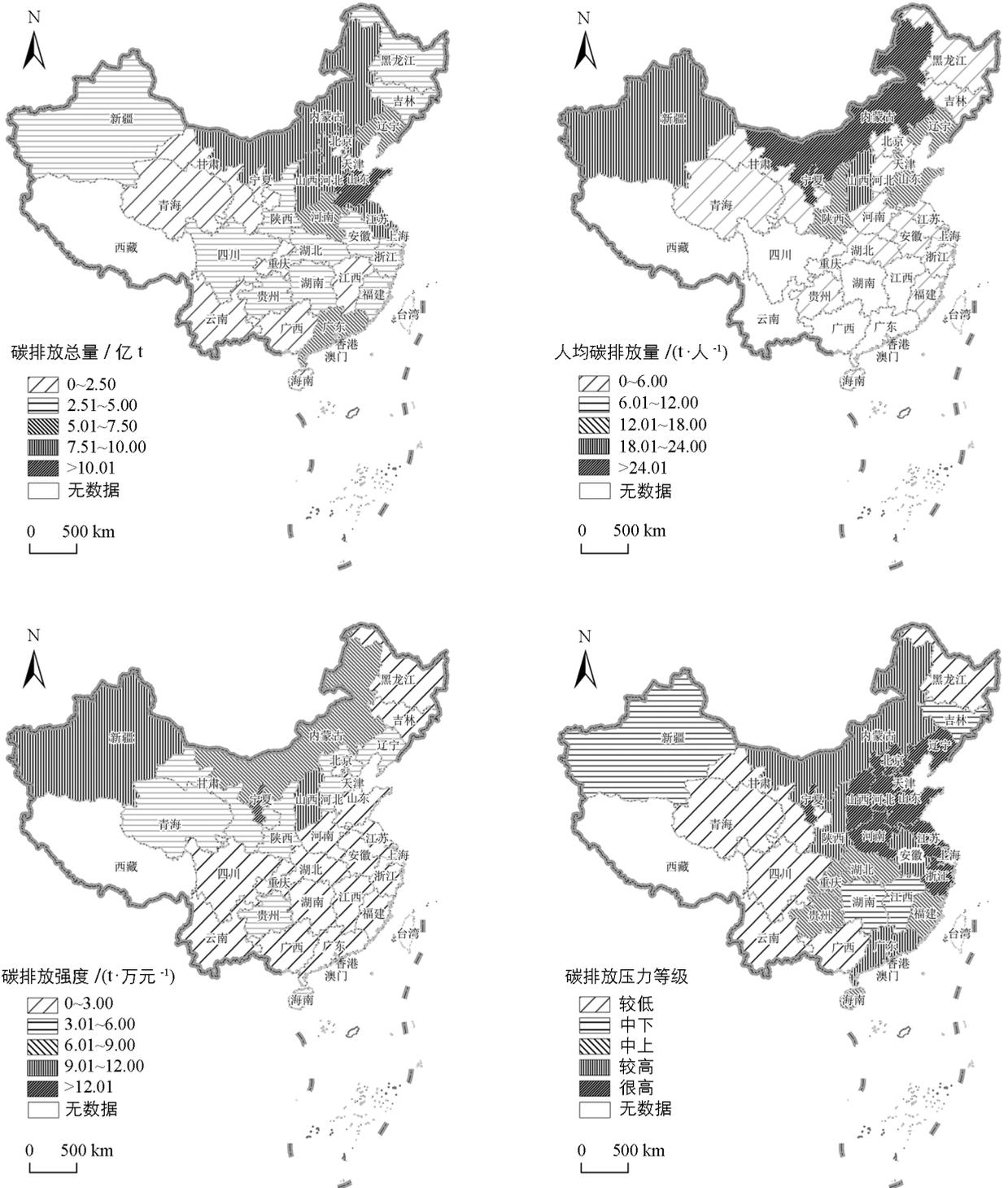
人均碳排放方面, 2015 年宁夏和内蒙古居全国最高等级一类(大于 24.01 t); 山西和新疆人均碳排放略低(18.01~24 t); 其次是辽宁、天津、山东、陕西和上海(12.01~18 t); 黑龙江、吉林、河北、甘肃、青海、河南、湖北、安徽、江苏、福建、浙江、贵州和海南人均碳排放量靠后(6.01~12 t); 其余省份人均碳排放最低(小于 6 t). 西北地区人均碳排放普遍较高, 超过全国平均水平(9.15 t), 这与该地区资源优势和经济发展方式分不开.

碳排放强度方面, 2015 年宁夏碳排放强度位居全国最高(大于 12.01 t/万元); 其次是山西和新疆(9.01~12 t/万元); 内蒙古碳排放强度略低(6.01~9 t/万元); 辽宁、河北、陕西、甘肃、青海和贵州碳排放强度靠后(3.01~6 t/万元); 其余省份碳排放强度最低(小于 3 t/万元). 东部大部分地区碳排放强度均低于全国平均水平(2.62 t/万元), 说明东部地区经济发达, 能源结构优化, 利用效率普遍较高.

### 2.2.2 碳排放压力空间差异分析

按碳排放压力评价等级, 2015 年各省份碳排放压力等级整体较高(图 3), 其中上海、天津、山东、江苏、北京、山西、辽宁、宁夏、河北、浙江和河南碳排放压力为很高等级( $III_b$ ); 其次是广东、内蒙古、陕西、

安徽为较高等级(Ⅲ<sub>a</sub>); 福建、海南、重庆、湖北处于中上等级(Ⅱ<sub>b</sub>); 贵州、新疆、吉林、湖南、江西处于中下等级(Ⅱ<sub>a</sub>); 黑龙江、广西、云南、四川、甘肃和青海碳排放压力处于较低等级(Ⅰ<sub>b</sub>)。各省碳排放压力等级空间差异较大, 且较大部分省份的碳排放压力等级均高于全国平均水平(Ⅱ<sub>a</sub>), 其中上海、天津等省碳排放压力指数快速增长, 碳排放压力等级居全国前列, 低碳减排任务依然严峻。



该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务系统的标准地图(审图号: GS(2016)1698 号)制作, 底图无修改。

图 3 2015 年中国能源消费碳排放的空间差异

## 3 讨论

### 3.1 碳排放核算方法分析

碳排放作为生态安全关注的重点,国内专家、学者做了大量研究,关于碳排放的研究方法和评判标准,学术界还没有较为统一的规范.本文根据 IPCC 提出方法,计算了 1995—2015 年中国及各省份能源消费碳排放,对碳排放总量、人均碳排放、碳排放强度、碳排放压力进行等级划分,初步探讨了省级碳排放和碳排放压力的空间区域格局,较客观的揭示中国碳排放现状.针对碳排放压力评价等级标准划分是基于全球统一水平,并依据国家、省、市区域实际试建立,能较好的对生态安全进行评价,但对评价指标逐步细化、整合和等级划分标准还需日后进行不断完善.由于受数据限制,文中主要以省级区域为研究对象进行分析,数据尺度较大,未能深入到市级等小尺度,未来在碳排放方面的研究应更多关注尺度效应,进行多尺度对比分析,挖掘碳排放尺度差异特征和影响因素等信息.

### 3.2 低碳减排策略建议

我国经济保持中高速平稳发展,对能源仍存在较高需求,由于各省社会经济发展水平、发展方式不同,对能源的需求不同,碳排放现状存在差异,“一刀切”式的减排策略无法公平有效地实现国家减排目标.针对能有效完成低碳减排任务,降低碳排放压力,本文结合各省发展客观现实和国家减排政策,充分考虑碳排放空间差异及驱动因素,提出以下体现区域特色、契合发展现实的低碳减排建议.

1) 就整体能源消耗以煤为主的全国范围而言,应促进工业化、城镇化与经济发展水平相协调.中国经济的快速发展得益于工业化进程的加快和城市化水平的提高,由此带来的碳排放总量也在不断增长,在长期保持稳定的能源消费结构和既有的经济发展状态下,全面、充分考虑控制和综合治理的管理体系,优化产业能源结构,推动工业从能源密集型向资金密集型和劳动密集型转变,联动自主创新的低碳工业产品结构,采用差异化的清洁能源技术支持机制,促进城镇化人口、资金和技术等要素与新型工业化的融合,以城镇化的快速发展带动市场的扩大,市场自我的调节和政府的调控促进工业的转型升级,督促以产业政策优化各要素的配置,培育和支持新兴产业发展,提高第三产业在国民经济中的比重,优化工业化、城镇化与经济发展体系,减少碳排放.

2) 就能源碳排放强度高的西北地区而言,应提高能源利用效率来降低碳排放.宁夏、山西、新疆、内蒙古、甘肃、陕西等地区经济发展水平相对滞后,依靠自身的资源禀赋和传统发展方式,能源消费结构以煤炭为主,短期内难以改变,造成碳排放量大、强度高的现状.这些省份可通过提升煤炭利用率来减少碳排放、降低碳强度,政府应逐步加强对煤炭消费制定合理税收政策,控制、降低对煤炭的需求和依赖性;实施对清洁能源财政补贴政策,鼓励企、事业单位使用清洁能源,促进企业引入清洁型生产技术和设备,从排放端尽可能降低碳排放.

3) 就对外贸易、交流频繁的沿海地区而言,应不断优化产业能源结构促进能源高效利用.天津、江苏、上海、浙江、福建、广东等沿海发达省份,早期经济发展依靠生产、出口高耗能的资源密集型产品,能源消耗碳排放总量较大.这些地区应充分利用早期发展的资金、技术优势,转变产业发展模式,促进企业向高、精、尖等技术行业发展;继续加大对节能技术投入,提升能源利用率,控制能源消费总量增长;鼓励清洁能源技术的研究开发,加强核能、潮汐能、风能、太阳能等可再生能源的开发利用,有计划地增加清洁能源在能源消耗结构中的比重,有目的地实现经济发展的低碳转型.

## 4 结论

1) 能源消耗碳排放呈阶段性增长,碳排放增长问题突出.全国能源消耗碳排放总量由 38.57 亿 t 增长

至 125.16 亿 t, 增幅 224.48%, 其中增幅排前五位的是海南、宁夏、内蒙古、新疆、福建, 2015 年碳排放总量山东、北京、河北、江苏、山西居前列。

2) 人均碳排放逐年增加, 省际空间存在显著差异。全国人均碳排放不断增大, 由 1995 年的 3.23 t 增至 2015 年的 9.15 t, 增幅 183.64%, 其中增幅排前五位的是海南、内蒙古、宁夏、陕西、福建, 2015 年宁夏、内蒙古、山西、新疆和辽宁人均碳排放量较高。

3) 碳强度波动下降, 碳排放经济效益明显增强。碳排放强度逐年下降, 由 1995 年的 6.70 t/万元下降至 2015 年的 2.62 t/万元, 降幅 60.9%, 2015 年碳强度宁夏、山西、新疆、内蒙、贵州较大。

4) 省级碳排放压力普遍增大, 减排任务艰巨。2015 年上海、天津、山东、江苏、山西碳排放指数居前列, 碳排放压力处于“很高”等级。

## 参考文献:

- [1] 孙 颖, 尹 红, 田沁花, 等. 全球和中国区域近 50 年气候变化检测归因研究进展 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(4): 235-245.
- [2] 秦大河, THOMAS S. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [3] STOCKER T, PLATTNER G K, DAHE Q. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Findings and Lessons Learned [C] // EGU General Assembly Conference. EGU General Assembly Conference Abstracts, 2014.
- [4] 封 珊, 徐长乐. 全球气候变化及其对人类社会经济影响研究综述 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S2): 6-10.
- [5] 林智钦. 中国能源环境中长期发展战略 [J]. 中国软科学, 2013(12): 45-57.
- [6] 李晓西, 郑艳婷, 蔡 宁. 专题二 绿色战略: 美丽中国 [J]. 经济研究参考, 2013(2): 42-68.
- [7] 王少剑, 刘艳艳, 方创琳. 能源消费 CO<sub>2</sub> 排放研究综述 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 151-164.
- [8] LIU Z, GUAN D, WEI W, et al. Reduced Carbon Emission Estimates from Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China [J]. Nature, 2015, 524(7565): 335-8.
- [9] WANG S, FANG C, WANG Y, et al. Quantifying the Relationship Between Urban Development Intensity and Carbon Dioxide Emissions Using a Panel Data Analysis [J]. Ecological Indicators, 2015, 49: 121-131.
- [10] 卢俊宇, 黄贤金, 陈 逸, 等. 基于能源消费的中国省级区域碳足迹时空演变分析 [J]. 地理研究, 2013, 32(2): 326-336.
- [11] 赵先贵, 肖 玲, 马彩虹, 等. 山西省碳足迹动态分析及碳排放等级评估 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(9): 21-26.
- [12] 马彩虹, 邹淑燕, 赵 晶, 等. 西北地区能源消费碳排放时空差异分析及地域类型划分 [J]. 经济地理, 2016, 36(12): 162-168.
- [13] 高长春, 刘贤赵, 李朝奎, 等. 近 20 年来中国能源消费碳排放时空格局动态 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 747-757.
- [14] 胡艳兴, 潘竟虎, 王怡睿. 基于 ESDA-GWR 的 1997—2012 年中国省域能源消费碳排放时空演变特征 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(6): 1896-1906.
- [15] 邓吉祥, 刘 晓, 王 铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(2): 189-200.
- [16] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量 [J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1418-1431.
- [17] 赵荣钦, 黄贤金, 高 珊, 等. 江苏省碳排放清单测算及减排潜力分析 [J]. 地域研究与开发, 2013, 32(2): 109-115.
- [18] 张征华, 彭迪云. 中国二氧化碳排放影响因素实证研究综述 [J]. 生态经济, 2013(6): 50-54.
- [19] 赵爱文, 李 东. 中国碳排放与经济增长间脱钩关系的实证分析 [J]. 技术经济, 2013, 32(1): 106-111.
- [20] 刘华军, 鲍 振, 杨 骞. 中国二氧化碳排放的分布动态与演进趋势 [J]. 资源科学, 2013, 35(10): 1925-1932.

[21] 赵先贵, 马彩虹, 肖玲, 等. 陕西省碳足迹时空变化研究 [J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1537-1542.

[22] 赵先贵, 马彩虹, 肖玲, 等. 西安市温室气体排放的动态分析及等级评估 [J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1982-1990.

## Spatio-Temporal Dynamics of Carbon Emission of Energy Consumption in China

QIAN Ping<sup>1</sup>, MA Cai-hong<sup>1,2</sup>

1. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Ningxia (China-Africa) Key Laboratory of Arid Land Resource Evaluation and  
Environmental Regulation, Yinchuan 750021, China

**Abstract:** Using the computing method of carbon emission, this paper calculated the carbon emission of energy consumption in China from 1995 to 2015, and introduced the “index of carbon emission pressure” to analyze the spatio-temporal dynamics of carbon emission pressure. The results showed that during the 21 years studied, energy consumption carbon emission increased from  $38.57 \times 10^8$  t to  $125.16 \times 10^8$  t in China. Carbon emission per capita increased from 3.23 t to 9.15 t. Carbon emission intensity decreased from  $6.7 \text{ t}/10^4$  Yuan to  $2.62 \text{ t}/10^4$  Yuan. The index of carbon emission pressure increased from 0.13 to 0.40 and from lower grade (I<sub>b</sub>) to below-medium grade (II<sub>a</sub>). In spatial distribution, the provinces of China varied significantly in the pressure of carbon emission. In 2015, the carbon emission pressure of Shanghai, Tianjin, Shandong, Jiangsu, Shanxi, Beijing, Liaoning, Ningxia, Hebei, Zhejiang and Henan was of very high grade (III<sub>b</sub>), that of Guangdong, Inner Mongolia, Shaanxi and Anhui was of higher grade (III<sub>a</sub>), that of Fujian, Hainan, Chongqing and Hubei were of above-average grade (II<sub>a</sub>), that of Guizhou, Xinjiang, Jilin, Hunan and Jiangxi was of below-medium grade (II<sub>b</sub>), and that of Guangxi, Heilongjiang, Gansu, Sichuan, Qinghai and Yunnan was of lower grade (I<sub>b</sub>).

**Key words:** energy consumption; carbon emission; carbon emission pressure; spatio-temporal dynamics

责任编辑 胡 杨