

基于碳收支核算的河南省碳排放峰值预测

赵荣钦¹, 刘薇^{1,2}, 刘英³, 丁明磊¹, 张战平¹, 王杰¹

(1. 华北水利水电大学 资源与环境学院, 河南 郑州 450045; 2. 华东师范大学 地理科学学院, 上海 200241; 3. 郑州航空工业管理学院 土木建筑工程学院, 河南 郑州 450046)

摘要: [目的] 对河南省碳排放及碳足迹峰值进行了预测,旨在了解河南省未来碳减排潜力,寻求低碳发展的对策。[方法] 基于省域层面,以河南省为例,对历年的碳收支和碳足迹状况进行了核算和评估,并通过 STIRPAT 模型和情景分析方法对河南省碳排放峰值进行预测。[结果] (1) 河南省碳排放总量从 2000 年的 6.83×10^7 t 上升到 2012 年的 1.77×10^8 t,涨幅为 159.2%,其中碳排放的行业差异性大,工业占主导地位,不同途径碳排放的增幅具有明显差异,生态系统的碳汇能力呈明显下降趋势。(2) 河南省 2000—2012 年能源消费的碳足迹呈逐年增加态势,从 2000 年的 1.71×10^7 hm^2 上升到 2012 年的 4.42×10^7 hm^2 。碳足迹的扩大造成了 1.68×10^8 hm^2 的生态赤字。(3) 在基准和低碳情景下,河南省碳排放峰值有望出现在 2040 和 2035 年,在考虑区域碳吸收补偿的前提下,碳排放峰值将分别提前到 2035 和 2025 年。[结论] 河南省碳收支呈现明显的不匹配状态,但在考虑碳补偿的基础上,河南省具有较大的碳减排潜力空间。

关键词: 碳收支; 碳足迹; 碳排放峰值; 河南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0078-06

中图分类号: F062.1

文献参数: 赵荣钦, 刘薇, 刘英, 等. 基于碳收支核算的河南省碳排放峰值预测[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 78-83. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.014

Prediction of Carbon Emission Peak Value of He'nan Province Based on Carbon Budget Estimation

ZHAO Rongqin¹, LIU Wei^{1,2}, LIU Ying³, DING Minglei¹, ZHANG Zhanping¹, WANG Jie¹

(1. School of Resource and Environment, North China University of Water

Resources and Electric Power, Zhengzhou, He'nan 450045, China; 2. School of Geographic

Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 3. College of Civil Construction

Engineering, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou, He'nan 450046, China)

Abstract: [Objects] Carbon emission and carbon footprint of He'nan Province were predicted in order to understand the potential of carbon emission reduction in the future and to find low-carbon development strategies. [Methods] Based on the provincial level, taking He'nan Province as an example, this paper analyzed the carbon budget and carbon footprint of He'nan Province, and predicted the carbon emission peak value by STIRPAT model and scenario analysis approach. [Results] (1) The total amount of carbon emissions in He'nan Province increased from 6.83×10^7 t in 2000 to 1.77×10^8 t in 2012 with the increasing rate of 159.2%. The carbon emissions were quite different among different industries, in which, the manufacturing industries contributed the most of total carbon emission. The increasing rate of different types of carbon emissions were obviously different from each other. The carbon sink capacity of terrestrial ecosystems of He'nan Province decreased since 2000. (2) The carbon footprint of energy consumption of He'nan Province increased from 1.71×10^7 hm^2 in 2000 to 4.42×10^7 hm^2 in 2012. The expansion of carbon footprint caused the ecological deficit of 1.68×10^8 hm^2 . (3) Carbon emissions will reach to its peak value in 2040 or 2035 under benchmark or low-carbon scenario, respectively. If the regional carbon compensation was considered, peak values of carbon emissions under benchmark and low-carbon scenario will arrive in advance, in 2035 and 2025, respectively. [Conclusions] The carbon sinks of He'nan Province do not match carbon emissions. If carbon compensation is applied, there is huge room for carbon emission reduction in the future.

Keywords: carbon budget; carbon footprint; carbon emission peak value; He'nan Province

2014年的《中美气候变化联合声明》提出我国将于2030年左右达到碳排放峰值,这是中国应对全球变化的庄严承诺。在中国经济社会发展的新常态下,尽可能控制和减少CO₂的排放成为当前中国面临的突出难题,对于我国的碳排放峰值预测也是当下的研究热点之一。目前国内外学术界对碳排放峰值预测大都根据能源消耗量计算碳排放量、碳排放强度对碳排放峰值的研究,主要运用STIRPAT模型、LEAP模型、MARKAL-MACRO模型和EKC曲线等方法预测全国^[1]、区域^[2]和地方省市^[3]的碳排放峰值,在省级层面的峰值预测较少,而且主要是结合碳排放强度等因素设置不同情景下的碳排放峰值,没有有效地结合区域碳收支状况对碳排放峰值进行预测。在碳排放研究领域,近年来关于省域层面碳排放研究较多,如碳排放因素分解^[4]、能源消费碳排放^[5]、土地利用碳排放^[6]等,但大多数研究主要集中在碳排放的时空变化方面,区域碳收支核算体系还不够完整,比如缺少农村生物质能源消费、食物消费和农业耕作活动等过程的碳排放核算等。因此,如何在省级层面开展更为全面的碳排放核算是需要进一步研究的内容,这也是区域低碳经济发展科学决策的前提。碳足迹是对某种活动引起的直接或间接CO₂排放量的度量^[7]。近年来分别从国家^[8]、都市^[9]、农作物^[10]等方面对碳足迹开展了相关研究,国内一些学者从碳足迹核算^[11-12]、碳足迹影响力和感应力^[13]、不同产业的碳

足迹^[14]、土地利用的碳足迹^[15]等角度开展了相关研究,使碳足迹成为应对气候变化背景下开展人类活动的环境影响评估的重要手段和方法。总体而言,前期研究更多关注区域能源消费的碳排放,而对区域碳收支核算及其对碳排放峰值的影响则较少关注。本研究将碳收支核算、碳足迹分析与碳排放峰值研究相结合,采用情景分析方法对河南省碳排放及碳足迹峰值进行了预测,旨在了解河南省未来碳减排潜力,寻求低碳发展对策。探索河南省低碳发展路径和前景。

1 数据来源与计算方法

1.1 数据来源

采用河南省2000—2012年能源消费、食物消费、土地利用和社会经济等相关数据,主要来自于历年的《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国交通年鉴》《河南省统计年鉴》和《河南省环境统计年报》等。

1.2 计算方法

1.2.1 碳收支的核算方法 结合国内外相关研究,对河南省工业能源消费、生活能源消费、食物消费、交通能源消费、农业生产活动、废弃物等的碳排放以及陆地生态系统碳汇进行了定量核算。其中碳排放主要包括工业能源消费、生活能源消费、交通能源消费、城镇食物消费、农村食物消费、肠道发酵、动物粪便、灌溉、农机、固体废弃物和废水等的碳排放(表1)^[16]。

表1 河南省碳收支核算方法

项目	计算公式	参数说明
能源消费碳排放	$C_{EE} = \sum(Q_{Ei} \cdot \gamma_i \cdot a_i)$	C_{EE} 为能源消费碳排放量(10^4 t); Q_{Ei} 为第 <i>i</i> 类能源消费量(10^4 t); γ_i 为第 <i>i</i> 类能源折标煤系数; a_i 为第 <i>i</i> 类能源单位标准煤的碳排放系数
食物消费碳排放	$C_{EF} = \sum Q_{Fi} \cdot b_i$	C_{EF} 为食物消费碳排放(10^4 t); Q_{Fi} 为第 <i>i</i> 种食物消费量(10^4 t); b_i 为第 <i>i</i> 种食物的碳排放系数
稻田甲烷碳排放	$C_{EP} = \sum S_i \cdot c \times 12/16$	C_{EP} 为稻田(甲烷)碳排放量(10^4 t); c 为水稻甲烷排放系数; S_i 为水稻播种面积(10^4 hm ²)
农业活动 农作物耕作 碳排放	$C_{EA} = C_{EM} + C_{EW}$ $C_{EM} = S_M \cdot p + P_M \cdot q$ $C_{EW} = S_W \cdot r$	C_{EA} 、 C_{EM} 、 C_{EW} 为农业耕作的碳排放总量、农业机械使用碳排放和灌溉过程的碳排放(10^4 t); S_M 为农作物种植面积(10^4 hm ²); P_M 为农业机械总动力(10^4 kW); S_W 为灌溉面积(10^4 hm ²); p 、 q 、 r 为碳排放系数
动物肠道发酵和 粪便碳排放	$C_{Ei} = C_{Ea} \cdot C_{EQ}$ $C_{Ee} = C_{Eb} \cdot C_{EQ}$	C_{Ei} 为动物肠道发酵的碳排放(10^4 t); C_{Ea} 为动物肠道发酵碳排放甲烷排放参数; C_{Eb} 为动物粪便碳排放甲烷排放参数; C_{EQ} 为动物数量(万头)
废弃物 碳排放	$C_{ER} = C_{Eb} \times 0.99945 \times 45\%$ $C_{ES} = C_{EL} \times 0.167 \times 28.5\%$ $C_{EO} = COD \times 0.25 \times 12/16$	C_{ER} 为垃圾焚烧碳排放(10^4 t); C_{ES} 为垃圾填埋碳排放(10^4 t); C_{Eb} 为垃圾焚烧量(10^4 t); C_{EL} 为垃圾填埋量(10^4 t); C_{EO} 为废水碳排放量(10^4 t);COD为化学需氧量(10^4 t)

1.2.2 碳足迹的测度方法 碳足迹是指吸纳碳排放所需要的生产性土地(植被)的面积,即碳排放的生态

足迹^[15]。NEP反映了植被的固碳能力,即每1 hm²的植被1 a吸收的碳量^[17]。森林和草原的NEP采用

谢鸿宇^[17]等计算结果(表 2)。本研究考虑了农村生物质能的碳排放,因此,在碳足迹计算中也同样考虑农作物的碳吸收,计算方法为:

$$C_s = \sum_i C_d$$

$$C_d = C_a D_w = C_a Y_w / H \quad (1)$$

式中: i ——第 i 种农作物类型; C_d ——某种作物全生育期对碳的吸收量(10^4 t); C_a ——作物合成单位有机质(干重)所需要吸收的碳,即碳吸收率; Y_w ——经济产量(10^4 t); D_w ——生物产量(10^4 t); H ——经济系数,中国主要农作物的经济系数和碳吸收率见文献^[18-19]。对每种作物的碳吸收进行汇总得到碳吸收总量,除以播种面积即得单位面积碳吸收率,本文采 2000—2012 年的河南省农作物单位面积碳吸收的平均值(4.05 t/hm²)作为农田生态系统的 NEP。另外,根据谢鸿宇等^[17]的研究思路,计算出河南省森林、草地和农田的碳吸收总量及其比例关系,再根据各自的 NEP 计算出每吸收 1 t 碳所需要的相应生产性土地的面积(表 2)。

表 2 主要植被类型的碳吸收系数

项目	森林	草地	农田
NEP/(t·hm ⁻²)	3.81	0.95	4.05
消耗 1 t 碳的土地面积/hm ²	0.26	1.05	0.25
平均碳吸收总量/ 10^4 t	1 144.22	1.37	5 644.73
吸收碳的比例	0.17	0.000 2	0.83
吸收 1 t 碳的土地面积/hm ²	0.04	0.00	0.21

采用 NEP 指标来反映不同植被的碳吸收量,并以此计算出消纳碳排放所需的生产性土地的面积(碳足迹),计算方法为:

$$CF = C_t \times \left(\frac{P_f}{NEP_f} + \frac{P_g}{NEP_g} + \frac{P_a}{NEP_a} \right) \quad (2)$$

式中:CF——碳排放总量(C_t)带来的碳足迹(hm²); P_f, P_g, P_a ——森林、草地和农田碳吸收在总量中的比重; NEP_f, NEP_g, NEP_a ——森林、草地和农田的 NEP(t/hm²)。通过公式(2)可以计算出各类用地能源消费的碳足迹(包括森林、草地和农田 3 类),汇总后可以得到河南省能源消费的碳足迹。

1.2.3 碳排放峰值的预测方法 以人口、人均 GDP、城市化水平为变量参数构建 STIRPAT 模型对河南省碳排放峰值进行模拟和预测。具体扩展模型为:

$$\ln I = \ln P + \ln A + \ln C \quad (3)$$

式中: I ——碳排放量(10^4 t); P ——人口(万人); A ——人均 GDP(万元/人); C ——城市化率(%)。根据建立的 STIRPAT 扩展模型,在 SPSS 软件环境

下进行岭回归拟合达到岭迹图。结果发现,当 $K=1$ 的时,各变量回归系数变化趋于稳定,此时拟合的岭回归方程为:

$$\ln I = 1.988 5 \times \ln P + 0.303 2 \times \ln A + 0.442 7 \times \ln C - 10.533 0 \quad (4)$$

模型的可决系数 $R^2 = 0.919$,拟合优度较高,表明本研究的拟合方程能够较好地模拟区域未来的碳排放特征。

2 结果分析

2.1 河南省碳收支核算分析

通过对碳排放项目进行核算,可以得到河南省历年的碳排放情况,城市生活能源消费 2000—2005 年的数据缺失,考虑到年际变动趋势类似,用 2006—2012 年的数据的平均增长率前推得到。

2.1.1 河南省碳排放总量快速上升 碳排放总量从 2000 年的 6.83×10^7 t 上升到 2012 年的 1.77×10^8 t,涨幅为 159.2%,表明随着河南省经济发展和人口增加,能源消费、食物消费和废弃物的增多等使河南省碳排放总量大幅增加。

2.1.2 河南省碳排放的行业差异性大,工业主导特征明显 就碳排放构成来看,2012 年工业能源消费碳排放占 73%,其次为生活能源和废弃物碳排放,分别为 10.0% 和 8.37%,紧接着交通能源消费,为 4.52%。其他各项碳排放所占比重相对较低,城镇和农村食物消费碳排放比重合计为 2.88%;剩余各项的比重都在 1% 以下,合计仅占 1.38%。工业能源、交通能源和生活能源的碳排放合计占 85% 以上,表明能源消费特别是工业领域的碳排放是河南省的主要碳排放源。其中,电力、热力的生产业和供应业的碳排放最多,为 6.93×10^7 t,其次是石油加工、炼焦及核材料加工业和煤炭开采和洗选业,碳排放分别为 1.85×10^7 t 和 1.08×10^7 t。这是河南省工业碳排放的重要行业排放源。2012 年河南省三次产业结构比例为:12.74 : 56.33 : 30.94,对碳排放项目按三次产业进行归并发现,2012 年三次产业的碳排放强度分别为 0.32, 1.30, 0.43 t/万元(2012 年河南省生产总值按 2000 年的可比价进行推算),其中,第二产业碳排放强度明显高于第一和第三产业。按照当前的碳排放强度水平进行预测,未来第二产业比重每降低 1%(同时第三产业比重增加 1%),河南省碳排放总量将会减少 1.71×10^6 t。因此,在未来河南省低碳经济发展规划中,工业领域应成为碳减排的重点,应着重通过产业结构调控来降低区域碳排放水平。另外,应通过改善能源结构和发展新能源的措施来进一

步加强河南省交通能源和生活物质能源的碳减排,并积极发展废弃物碳排放控制技术,来推动废弃物碳减排。相对而言,食物碳消费属于刚性的碳排放,减排空间不大,不应作为河南省碳减排的重点。

2.1.3 河南省不同途径碳排放的增幅具有明显差异

2000年以来,各项碳排放中增幅最大的为固体废弃物的碳排放(171%),其次为交通能源消费碳排放,生活能源碳排放的增幅和工业能源碳排放增幅次之。其他各项碳排放的增幅相对较低,包括肠道发酵和农机碳排放等,另外,农村食物碳排放反而出现了不同程度的下降趋势(图1)。固体废弃物80%以上来源于工业生产的废弃物,因此,未来应进一步加强对固体废弃物的低碳化处理,并通过调控产业结构来降低工业生产废弃物的碳排放。按照废弃物产生量与工业产值比重的关系预测,未来第二产业比重每降低1%点,固体废弃物碳排放将会降低 1.17×10^5 t。可见,产业结构调整是约束废弃物碳排放大幅增长的重要措施。

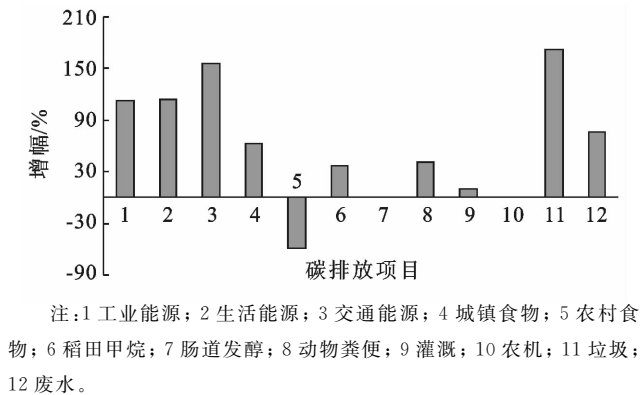


图1 河南省2000—2012年主要碳排放项目的增幅

2.1.4 生态系统的碳汇能力呈现明显的下降趋势

用碳排放总量减去碳吸收,可以得到河南省净碳排放状况。分析结果表明,由于碳汇总水平上升下降再上升的趋势,从2000年的 5.81×10^7 t上升到2002年的 6.01×10^7 t,又下降到2003年的 5.22×10^7 t,然后又上升至2012年的 7.62×10^7 t。而与此同时碳排放总量却大幅增长,导致河南省净碳排放增长速率明显超过了总碳排放的增长,从2000年的 1.03×10^7 t上升到2012年的 1.01×10^8 t,上升了9倍多。总体而言,河南省陆地生态系统碳吸收对于碳排放具有一定的补偿效果,但近年来随着碳汇水平的缓慢上升,以及碳排放量的不断增长,碳补偿率从2000年的85.0%下降到2012年的43.1%,这是值得关注的现象。这表明,随着河南省经济发展和碳排放的大幅增长,河南省碳循环压力在逐渐增大。因此,加强陆地

生态系统的固碳水平和效率能有效补偿区域自身的碳排放,这对于缓解区域应对气候变化的压力具有重要意义。未来,应适当调控土地利用结构和布局,在土地利用规划中引入碳减排理念,一方面尽可能地优化组合各类用地的比例关系(包括第二产业内部各产业用地的比例关系),适当限制高碳足迹用地方式的土地供应;另一方面重视发展生态用地,在保证经济发展的前提下尽可能提高生态空间的比重。

2.1.5 碳排放强度是指单位经济效益的碳排放,反映了经济发展的环境压力程度。对河南省历年的碳排放强度和人均碳排放的变化进行分析(河南省GDP数据采用2000年的可比价)发现,河南省2000年以来碳排放强度呈波动下降趋势,从2000年的1.35 t/万元下降到2012年的0.90 t/万元,降幅达66.7%。这表明河南省经济发展速度超过了碳排放的增长速度,河南省近年来的节能减排工作取得了一定的成效,能源利用效率在逐步提高,河南省人均碳排放呈逐年增加态势,从2000年的0.72 t/人上升到2012年的1.68 t/人。说明随着经济发展和能源消耗量的大幅增长,总碳排放的迅速增长导致了人均碳排放的增加(图2)。

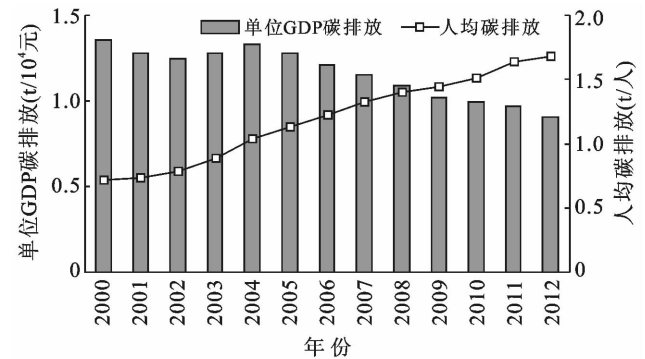


图2 河南省历年碳排放强度和人均碳排放

2.2 河南省碳足迹特征分析

根据研究思路,对河南省的碳足迹及其构成进行了测算分析,结果发现:(1)河南省2000—2012年能源消费的碳足迹呈现逐渐增加的趋势,从2000年的 1.71×10^6 hm²上升到2012年的 4.42×10^7 hm²,是2000年的2.6倍,平均增幅为0.08%,说明河南省的碳足迹压力在不断增加。(2)河南省2000—2012年能源消费的碳足迹都明显大于3类生产性土地的实际面积(表3),说明河南省自身生态系统的碳吸收不足以补偿能源消费的碳排放,并因此造成了 1.68×10^8 hm²的生态赤字,该生态赤字是河南省土地面积(1.67×10^7 hm²)的10倍,说明河南省面临着较大的碳排放压力。(3)河南省农田碳吸收量要显著大于林

地和草地。因此,按照碳吸收的用地比例计算,碳足迹主要以农田为主,占总碳足迹的 82%,为 $2.44 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (表 3)。这一方面是由于河南省是农业大省,河南耕地省耕地和园地的面积明显大于林地和草地的面积;另外,据前文的计算结果,河南省农田单位面积碳吸收水平也较高,这表明农作物生育期的碳吸收

构成了区域碳汇的主要来源。(4) 河南省 2000—2012 年能源消费的单位面积碳足迹达到 $1.75 \text{ hm}^2/\text{hm}^2$,即对河南省平均而言,每 1 hm^2 土地上能源消费碳排放被吸收掉需要的生产性土地面积为 1.75 hm^2 ,说明河南省的土地碳排放压力较大,生态系统的碳汇能力有待提高。

表 3 河南省 2000—2012 年碳足迹分析

年份	碳排放/ 10^4 t	碳足迹/ 10^4 hm^2			总计	生产性土地实际 面积/ 10^4 hm^2	生态赤字/ 10^4 hm^2
		森林	草地	农田			
2000	6 830.72	304.78	1.44	1 399.88	1 706.10	1 598.30	107.79
2001	7 054.49	314.77	1.49	1 445.74	1 761.99	1 597.55	164.44
2002	7 515.55	335.34	1.58	1 540.22	1 877.15	1 627.43	249.71
2003	8 550.51	381.52	1.80	1 752.33	2 135.65	1 670.56	465.09
2004	10 073.87	449.49	2.12	2 064.52	2 516.13	1 683.96	832.17
2005	11 055.80	493.30	2.33	2 265.76	2 761.39	1 695.61	1 065.78
2006	12 010.78	535.91	2.53	2 461.47	2 999.91	1 721.94	1 277.97
2007	13 088.62	584.01	2.76	2 682.36	3 269.12	1 712.12	1 557.00
2008	13 861.77	618.50	2.92	2 840.81	3 462.23	1 721.46	1 740.77
2009	14 394.32	642.27	3.03	2 949.95	3 595.24	1 725.97	1 869.27
2010	15 775.73	703.90	3.32	3 233.05	3 940.28	1 734.23	2 206.05
2011	17 172.27	766.22	3.62	3 519.25	4 289.09	1 738.30	2 550.78
2012	17 705.79	790.02	3.73	3 628.59	4 422.34	1 741.77	2 680.58

2.3 河南省碳排放和碳足迹峰值预测分析

2.3.1 碳排放情景参数设置 在碳收支和碳足迹的基础上,结合中国政府 2009 年提出的碳减排目标(2020 年碳排放强度比 2005 年下降 40%~45%)对模型中各变量的变化速率进行设定,并设计出基准情景和低碳情景的碳排放量,以及与之对应的基准情景和低碳情景下的碳足迹。基准情景是根据河南省 2000—2012 年的碳收支情况,结合发达国家经济社会发展规律和我国未来经济社会发展政策的改变,人口、人均 GDP、城市化率和碳吸收的自然增长水平进行各因素变化率的设定而得到的结果;低碳情景是在经济社会新常态下社会经济发展指标预测的基础上,考虑到碳排放的主要影响因素在未来年份的可能变化情况,在基准情景的基础下对主要参数的变化率进行调整的结果。本研究的基准年为 2012 年,并根据前文设定的碳排放变化速率对 2013—2050 年的碳排放进行预测。其中,各指标参数的变化率与中国经济社会发展的 5 a 规划期相对应,将预测分为 8 个阶段,对应参数从第 1 阶段到第 8 阶段的变化率变化情况详见表 4。在碳足迹的峰值预测中,森林、草地、农田的碳吸收分别以 2000—2012 年的平均增长率 9%、-2%、3%为变化率计算的。

表 4 不同情景下参数的变化趋势

情景	人口	人均 GDP	城市化率	碳吸收
基准情景	9%~-4%	7%~9%	3%~5%	3%
低碳情景	7%~-5%	7%~7%	3%~3%	3%~3.7%

2.3.2 碳排放及碳足迹峰值预测结果分析 依据设置的两种情景模式,运用 STIRPAT 扩展模型,对河南省的碳排放、净碳排放、碳足迹峰值进行拟合,得出不同情景下的碳排放和碳足迹的峰值大小和时间(图 3)。(1) 基准情景下,河南省碳排放峰值出现在 2040 年,为 $3.52 \times 10^8 \text{ t}$,而低碳情景下,碳排放量的峰值出现在 2035 年,为 $2.64 \times 10^8 \text{ t}$,分别是 2012 年的 1.99 倍和 1.49 倍,低碳情景下的碳排放量峰值比基准情景减少了 $8.84 \times 10^7 \text{ t}$,下降比率为 25%。表明在低碳发展模型下,河南省具有较大的碳减排空间。(2) 考虑到碳吸收的补偿作用,基准情景下净碳排放量峰值和低碳情景下的净碳排放量峰值分别提前出现在 2035 和 2025 年,在时间和数量上将很大程度上限制了碳排放量的增长,尤其是低碳情景下的净碳排放量峰值是基准情景的 70%,仅为 2012 年的 1.43 倍,甚至在 2049 年出现了负值。这表明,在考虑低碳情景的减排潜力和区域碳吸纳水平的基础上,2050

年河南省生态系统的碳吸收可以完全补偿碳排放,有望在省级尺度上达到零排放。(3) 基准情景下的碳足迹将会在 2040 年达到峰值,为 $8.75 \times 10^7 \text{ hm}^2$;低碳情景下的碳足迹将会在 2035 年达到峰值,为 $6.56 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。2050 年,碳足迹分别为 $8.60 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 和 $6.18 \times 10^7 \text{ hm}^2$,分别是 2012 年碳足迹的 1.94,1.40 倍。据预测,未来碳足迹的增幅将逐渐减少,将有效缓解河南省的土地利用碳排放压力,也是我们追踪碳收支平衡的一个有效方法,将更好地依据区域碳排放压力和生态状况调控碳排放和生态土地利用之间的关系。总体而言,河南省具有较大的碳减排潜力空间,合理控制人口、人均 GDP 和城市扩展速率,以及充分利用农田、森林等的碳汇作用,将在很大程度上减少碳排放量。因此,未来应在保证经济发展质量的基础上,控制经济增长速度,不断优化调整产业结构和能源结构,切实有效地推动区域低碳转型。

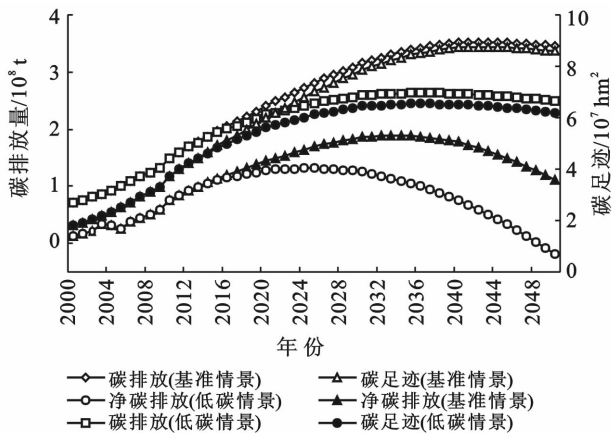


图 3 河南省 2013—2050 年碳排放峰值预测

3 结论

(1) 河南省碳排放总量从 2000 年的 $6.83 \times 10^7 \text{ t}$ 上升到 2012 年的 $1.77 \times 10^8 \text{ t}$,涨幅为 159.2%,其中碳排放的行业差异性大,工业占主导地位,不同途径碳排放的增幅具有明显差异,生态系统的碳汇能力呈现明显的下降趋势。

(2) 河南省 2000—2012 年的碳排放强度呈现逐渐降低的趋势,但人均碳排放强度却在上升。

(3) 河南省 2000—2012 年能源消费的碳足迹呈逐渐增加趋势,且明显大于 3 类生产性土地的实际面积,造成了 $1.68 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的生态赤字,碳排放和碳吸收出现了明显的不匹配现象。

(4) 在基准情景和低碳情景下,河南省的碳排放量峰值分别出现在 2040 和 2035 年,在考虑区域碳吸收补偿的前提下,净碳排放量峰值提前为 2035 和

2025 年,在时间和数量上都很大程度地限制了碳排放的大幅增长,可见,河南省具有较大的碳减排潜力空间。

(5) 推动经济社会的低碳转型是今后河南省推动生态文明建设、优化产业结构、创建“两型”社会及适应经济新常态的必然选择。为降低区域碳排放强度和碳足迹水平,可采取相应对策:① 重点加强对碳排放量巨大且增幅较大的部门率先开展低碳技术的应用和推广,如工业能源消耗部门、城市生活能源消费、垃圾焚烧与填埋等,切实降低区域碳排放强度;② 通过调整产业结构和能源结构,提高能源效率,重点推进电力、煤炭及有色金属等重点耗能行业的碳减排,推动区域产业转型升级,并引领区域低碳发展;③ 改善农业生产条件,提高农业土壤的碳蓄积水平,加强植树种草,扩大碳汇,提高陆地生态系统的固碳水平和效率,切实有效地补偿区域自身的碳排放;④ 土地利用是产业活动的载体,土地利用结构调控是实现区域低碳发展的重要措施,未来应通过对土地利用结构、布局、规模和强度的调控,约束高碳土地利用开发利用方式,积极发展碳汇型土地利用方式,切实减少区域生态赤字,引导形成区域低碳土地利用方式和城镇开发格局;⑤ 加强对碳排放的定量监测和预测,寻求经济社会发展与能源消费碳排放控制的最优模式。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 王宪恩,王泳璇,段海燕. 区域能源消费碳排放峰值预测及可控性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(8): 9-16.
- [3] 邵峰祥,屈小娥,席瑶. 陕西省碳排放环境库兹涅茨曲线及影响因素:基于 1978—2008 年的实证分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(8):37-43.
- [4] 李炎丽,梁浩,梁保松. 河南省碳排放因素分解及关联分析[J]. 河南农业大学学报,2010,45(5):605-610.
- [5] 吴彼爱,高建华,徐冲. 基于产业结构和能源结构的河南省碳排放分解分析[J]. 经济地理,2010,30(11):1902-1907.
- [6] 刘英,赵荣钦,焦士兴. 河南省土地利用碳源/碳汇及其变化分析[J]. 水土保持研究,2010,17(5):154-162.
- [7] Wiedmann T, Minx J. A Definition of 'Carbon Footprint' [J]. Journal of the Royal Society of Medicine, 1999, 92(4):193-195.

- 壤颗粒组成分形特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 74-78.
- [10] 曾宪勤, 刘和平, 路炳军, 等. 北京山区土壤粒径分布分形维数特征[J]. 山地学报, 2008, 26(1): 65-70.
- [11] 程先富, 史学正, 王洪杰. 红壤丘陵区耕层土壤颗粒分形研究[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 617-621.
- [12] 贾晓红, 李新荣, 李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征[J]. 地理研究, 2007, 26(3): 518-525.
- [13] GUI Dongwei, LEI Jiaqiang, ZENG Fanjiang, et al. Characterizing variations in soil particle size distribution in oasis farmlands: A case study of the Cele Oasis [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 51(11): 1306-1311.
- [14] 伏耀龙, 张兴昌, 王金贵. 岷江上游干旱河谷土壤粒径分布分形维数特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 120-125.
- [15] 周丽艳, 崔振华, 廖晓芳. 黄河上游西柳沟流域水土保持治理及水沙置换初步探讨[J]. 泥沙研究, 2012(1): 63-67.
- [16] 许炯心. “十大孔兑”侵蚀产沙与风水两相作用及高含沙水流的关系[J]. 泥沙研究, 2013(6): 28-37.
- [17] 刘韬, 张士锋, 刘苏峡. 十大孔兑暴雨洪水产输沙关系初探: 以西柳沟为例[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 18-21.
- [18] 郭彦, 侯素珍, 林秀芝. 近 51 a 西柳沟流域水沙变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10): 176-183.
- [19] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: Analysis and limitations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(2): 362-369.
- [20] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [21] 王国梁, 周生路, 赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 545-550.
- [22] 陈隅, 陈凌. 分形几何学[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [23] 许炯心. 高含沙曲流河床的形成机理[J]. 科学通报, 1989, 34(21): 1649-1651.

(上接第 83 页)

- [8] Kenny T, Gray N F. Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, 29(1): 1-61.
- [9] Sovacool, B K, Brown M A. Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment I Energy Policy, 2010, 38(9): 4856-4869.
- [10] Yoon S Y, Kim Y R, Kim T H et al. Study of Garlic's Carbon Footprint though LCA [J]. Korea Journal of Organic Agriculture, 2012, 20(2): 161-172.
- [11] 黄贤金, 葛扬, 叶堂林, 等. 循环经济学[M]. 江苏南京: 东南大学出版社, 2009.
- [12] 郭运功. 特大城市温室气体排放量测算与排放特征分析: 以上海为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [13] 赖力, 黄贤金, 刘伟良. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析: 以 2002 年江苏为例[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1285-1292.
- [14] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析[J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1048-1057.
- [15] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1639-1649.
- [16] 赵荣钦, 城市系统碳循环及土地调控研究[M]. 江苏南京: 南京大学出版社, 2012.
- [17] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣, 等. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1729-1735.
- [18] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京: 北京气象出版社, 2000.
- [19] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 1-6.