

引用格式:王良栋,吴乐英,陈玉龙,等.经济平稳增长下黄河流域相关省区碳达峰时间及峰值水平[J].资源科学,2021,43(11):2331-2341. [Wang L D, Wu L Y, Chen Y L, et al. Carbon peak time and peak level of relevant provinces in the Yellow River Basin under stable economic growth[J]. Resources Science, 2021, 43(11): 2331-2341.] DOI: 10.18402/resci.2021.11.15

经济平稳增长下黄河流域相关省区碳达峰时间及峰值水平

王良栋¹,吴乐英¹,陈玉龙¹,马晓哲^{2,3},杜梦娜¹

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明省部共建协同创新中心,开封 475001;

2. 河南大学地理与环境学院,开封 475004;3. 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室,开封 475004)

摘要:黄河流域作为中国重要的生态安全屏障,研究黄河流域相关省区碳达峰具有重要的现实意义。本文运用经济平稳增长模型测算2020—2050年黄河流域相关省区的经济最优增长率,模拟分析不同情景下各省区碳达峰的时间和水平,并探讨减排情景对区域碳排放公平性的影响。结果表明:①减排情景有利于实现黄河流域相关省区碳排放与经济发展的脱钩,进而促进实现碳达峰;②基准情景和自主减排情景下黄河流域相关省区未能实现2030碳达峰目标;提前达峰情景碳减排量最大;③减排情景能够提高黄河流域相关省区碳排放的公平性,且提前达峰情景的效果最佳,但碳排放的区域间不公平性问题仍然存在。为了尽早实现黄河流域相关省区碳达峰,应进一步强化政策导向,充分考虑区域差异,加强省区间合作,制定更加适宜的减排政策。

关键词:最优经济增长率;碳排放强度;碳达峰;碳排放基尼系数;黄河流域

DOI :10.18402/resci.2021.11.15

1 引言

中国经历了一个经济高速增长的阶段,工业化、城市化和农业现代化迅速发展,促使碳排放量急速上升,自2007年成为全球碳排放量最多的国家^[1]。当前,中国经济已由高速增长转向高质量发展阶段,不仅要保持经济长期持续稳定增长,同时要处理好经济发展和环境质量提升之间的关系^[2]。在2030年前实现碳达峰的目标下,各地应结合地方发展特点制定碳达峰方案,推动高质量发展。黄河流域是中国重要的能源、化工、原材料和基础工业基地,煤炭储量占全国一半以上^[3]。2017年,黄河流域相关省区能源消费总量、碳排放量分别占全国的29.1%、43.5%,全国碳排放强度最高的3个省区(山

西、宁夏、内蒙古)位于黄河流域。因此,研究黄河流域相关省区的碳达峰问题对国家实现“双碳”目标具有重要的现实意义。

长期以来,关于碳达峰的研究取得了丰硕的成果。Li等^[4]通过灰色模型预测碳排放强度评估中国碳达峰的概率,认为在协调中国不同地区、不同省区经济增长的同时,应加大减排力度。Fang等^[5]基于扩展的STIRPAT模型得出中国碳达峰应寻求最合适的排放轨迹。Su等^[6]基于优化的投入产出模型分析经济结构变化对碳排放的影响,认为加快中国经济转型步伐,将有利于更早实现碳达峰。洪竞科等^[7]通过设置情景动态模拟2020—2050年中国碳达峰路径及全球气候变化趋势,认为中国最早在2029

收稿日期:2021-02-23,修订日期:2021-04-06

基金项目:国家自然科学基金项目(41901239;41701632);教育部人文社会科学研究项目(20YJC790017);河南省软科学研究计划项目(192400410085)。

作者简介:王良栋,男,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为区域可持续发展与政策模拟。E-mail: lwd2019@126.com

通讯作者:吴乐英,女,河南长葛人,讲师,硕士生导师,研究方向为区域可持续发展与政策模拟。E-mail: wuleying614@126.com

年达峰。Zeng等^[8]构建多因素支持向量机模型预测中国2020—2030年能源消费结构,表明随着煤炭消耗比例的下降和减排技术的应用,中国能够在2030年达到碳排放峰值。王勇等^[9]通过构建包含七部门的CGE模型,模拟中国在不同阶段实现碳达峰的经济影响,表明2030年是中国碳达峰的最佳时间点。朱永彬等^[10]对中国能源消费结构和不同能源消费品种的碳排放系数进行预测和估计,认为可再生能源比重的提高对碳达峰时间的影响很小。Cui等^[11]基于改进whale算法的能耗预测模型对中国未来能源消费数据进行了预测,表明中国实现碳达峰应尽快制定与能源消耗的相关措施。以上研究均以国家为单位,分析碳排放达峰的经济影响。由于中国不同区域间经济发展水平存在明显的差异,以国家为尺度的研究不能很好地反映各区域碳排放达峰的真实情况,因此关于区域碳排放峰值的研究亟待深入开展。

已有部分学者对中国在区域尺度上实现碳达峰的路径进行研究。Liu等^[12]认为制定区域目标和改进市场机制可以使中国到2030年达到碳达峰。陈志建等^[13]通过经济平稳增长模型预测长江经济带碳排放峰值,表明制定碳减排方案应协调好碳强度与经济增长率之间的有效调控。黄蕊等^[14]利用STIRPAT模型对江苏省能源消费碳排放影响因素进行定量分析,认为保持人口、经济的低速增长有利于控制碳排放量。王勇等^[15]构建门限-STIRPAT模型对中国超大城市(北京、上海、重庆等)碳达峰进行预测,认为加快推动技术进步降低能源强度,是中国超大城市尽快达峰的有效途径。李治国等^[16]发现黄河流域经济聚集与碳排放强度存在显著的“倒U”型曲线关系。Wang等^[17]对黄河三角洲能源消耗和碳排放进行预测,表明碳排放量的上升阻碍了经济的健康发展。以上研究从区域尺度上分析碳达峰对社会经济的影响,忽略了碳达峰政策对区域碳排放公平性产生的影响。Li等^[18]对中国区域和省级碳达峰目标进行分解,认为按照省级公平性分解效果最佳。黄河流域是全国人口活动和经济发展的重要区域,是推动全国区域协调发展的关键区域^[19],但由于资源禀赋差异,黄河流域相关省区长期存在

经济发展不充分、区域碳排放不公平现象。科学评估经济平稳增长下不同减排情景对于达峰时间、峰值水平及区域碳排放公平性产生的影响,对黄河流域相关省区实现国家“双碳”目标具有重要意义。

本文以黄河流域相关省区为研究区域,运用经济平稳增长模型,设置不同的减排情景,对黄河流域相关省区2020—2050年的经济总产值、碳排放量进行估算,一方面模拟分析黄河流域相关省区碳达峰的时间和水平,另一方面构建碳排放基尼系数探讨减排方案对区域碳排放公平性的影响,以期为黄河流域生态保护和高质量发展提供科学合理的碳排放治理方面的政策建议。

2 研究区概况

黄河流域横跨中国东、中、西部,考虑到统计数据的行政区完整性,按照黄河水利委员会划定的流域行政区划范围和黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要,本文将山西、内蒙古、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏沿黄八省份作为研究区域。黄河流域拥有丰富的自然资源,但各省区经济发展水平和生态环境存在巨大差异,主要表现为区域经济格局两极化明显且下游省区的经济水平明显高于中、上游省区,上游省区生态环境更加脆弱。2017年,黄河流域相关省区的GDP与人口数分别为184238.7亿元、335.4百万人,占全国的21.8%、24.2%;山东和河南共占黄河流域相关省区总体经济总产值的63.6%;产业结构层次较低,部分地区仍存在粗放型经济发展方式且能源利用率低(表1)。

3 研究方法与数据来源

3.1 研究方法

3.1.1 最优经济增长率

基于刘晓等^[20]构建的经济平稳增长模型,测算最优经济增长率 g :

$$g = \left(n - \frac{\rho}{\sigma} \right) + \frac{1}{\sigma} (\varepsilon - \theta \tau) (A_0 e^{\nu t})^{\frac{1}{\alpha}} \tau^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} (\omega N_0 e^{nt})^{\frac{\gamma}{\alpha}} \quad (1)$$

式中: n 为基期的人口增长率; ρ 、 σ 为效用函数的参数; ε 为资本折旧后比例; θ 为能源综合成本; τ 为能源强度,即能源投入与经济产出的比; A_0 和 ν 分别表示基准年全要素生产率和技术进步率; t 为

2021年11月

表1 2017年黄河流域相关省区基本情况(%)

Table 1 Basic situation of relevant provinces in the Yellow River Basin, 2017 (%)

	GDP 全国占比	人口 全国占比	能源消费 全国占比	碳排放 全国占比	区域三次产业 增加值结构
总体	21.8	24.2	29.1	43.5	8.1: 45.1: 46.8
山西	1.8	2.7	4.4	13.2	5.2: 41.3: 53.5
内蒙古	1.9	1.8	4.4	6.6	11.1: 39.4: 49.5
山东	8.6	7.2	8.5	9.5	6.7: 45.3: 48.0
河南	5.3	6.9	5.0	4.8	9.6: 47.7: 42.7
陕西	2.6	2.8	2.8	5.5	8.0: 49.7: 42.3
甘肃	0.9	1.9	1.7	1.5	11.5: 34.4: 54.1
青海	0.3	0.4	0.9	0.4	9.7: 39.6: 50.7
宁夏	0.4	0.5	1.4	2.0	7.3: 45.9: 46.8

年份; α 、 γ 分别表示资本产出弹性和劳动力产出弹性; ω 为劳动参与率,即就业人口与总人口之比; N_0 为初始期总人口。

3.1.2 能源消耗碳排放量

能源消费的种类主要包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油及天然气,碳排放量 C 的计算公式:

$$C_i = \sum E_i \times \delta_i \quad (2)$$

式中: i 为能源种类; E 为能源消耗量; δ 为IPCC《国家温室气体排放订单指南》^[21]中的能源排放因子。

3.1.3 碳排放情景设计

本文的模拟时期为2020—2050年,3种模拟情景设置如下:

基准情景:结合“十三五”控制温室气体排放方案^[22]中各省区碳排放强度下降指标,碳排放强度下降率的计算公式如下:

$$Ce_T = Ce_{T_0}(1 - \mu) \quad (3)$$

$$v = \left(\frac{Ce_T}{Ce_{T_0}} \right)^{\frac{1}{T-T_0}} - 1 \quad (4)$$

式中: Ce 为碳排放强度; μ 为“十三五”期间碳排放强度下降指标; v 为碳排放强度下降率; T_0 、 T 分别

表示2015年、2020年。

自主减排情景:中国国家自主贡献(NDCs)中承诺“2030年单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降60%~65%”^[23],本文设置碳排放强度下降目标为65%^[24],碳排放强度下降率的公式参照基准情景。

提前达峰情景:以中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值”为目标^[25],碳排放强度下降率 v 的计算公式^[13]如下:

$$v \in \left[\ln \frac{GDP_{b+1}}{GDP_b}, \ln \frac{GDP_{d+1}}{GDP_d} \right] \quad (5)$$

式中: GDP 为地区经济总产值; $b \in [2030, 2049]$, $d \in [2020, 2029]$;为确保各省区顺利完成2030年碳达峰目标, v 取最大值。

根据以上情景,计算黄河流域相关省区的碳排放强度下降率(表2)。

以2020年为基期,计算不同情景下黄河流域相关省区2020—2050年的碳排放量 C :

$$Ce = Ce_0 \times (1 - v)^{t-t_0} \quad (6)$$

$$C = GDP \times Ce \quad (7)$$

式中: Ce 、 Ce_0 为当期、基期的碳排放强度; t_0 为基

表2 3种情景下黄河流域相关省区碳排放强度年均下降率(%)

Table 2 Decline rate of carbon emission intensity in relevant provinces of the Yellow River Basin under three scenarios (%)

	山西	内蒙古	山东	河南	陕西	甘肃	青海	宁夏
基准情景	3.97	3.73	4.59	4.34	3.97	3.73	2.56	3.73
自主减排情景	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11
提前达峰情景	5.97	6.86	5.88	4.87	5.27	6.01	6.92	5.30

准年。

3.1.4 碳排放弹性系数

本文引入碳排放弹性系数(E_c)^[26],衡量在一定时间内碳排放与经济增长之间的依存关系。计算公式如下:

$$E_c = \frac{\Delta C_{(t,t-1)}/C_{t-1}}{\Delta GDP_{(t,t-1)}/GDP_{t-1}} \quad (8)$$

式中: $\Delta C_{(t,t-1)}$ 为 $t-1$ 年到 t 年的碳排放变化量; C_{t-1} 为 $t-1$ 年的碳排放量; $\Delta GDP_{(t,t-1)}$ 为 $t-1$ 年到 t 年的 GDP 变化量; GDP_{t-1} 为 $t-1$ 年的 GDP 。

3.1.5 碳排放基尼系数

本文选择碳排放基尼系数($GINI_c$)分析减排情景对黄河流域相关省区碳排放公平性的影响。计算公式^[27]如下:

$$GINI_c = 1 - \sum_{i=1}^8 (x_i - x_{i-1})(y_i + y_{i-1}) \quad (9)$$

式中: x_i 、 y_i 分别表示第 i 个省的累计 GDP 、碳排放比例。

3.2 数据来源

GDP 、年末人口数取自 2005—2017 年《中国统计年鉴》,劳动力、固定资产投资额取自各省 2005—2017 年统计年鉴;资本存量采用张军等^[28]的永续盘存法进行核算;各省区固定资本形成总额的经济折旧率为 9.6%^[28];效用函数的参数参考朱永彬等^[10];各能源种类的消费量来源于 CEADs 数据库 (https://www.ceads.net/data/province/energy_inventory/);能源强度下降率来自“十三五”温室气体排放方案^[22];就业下降率参考向晶等^[29];人口增长率来源于联合国人口展望数据库 (<https://www.un.org/>)。

4 结果与分析

4.1 碳排放与经济发展的关系分析

碳排放弹性系数指 GDP 每增加 1 个百分点,对应的碳排放量增加(或减少)的变化量,通常用来反映经济增长与碳排放的脱钩情况。如表 3 所示,当碳排放弹性系数的值为正时,表示 GDP 与碳排放量同步增长;当碳排放弹性系数的值为负时,表示增加 GDP 会使碳排放量减少,即经济增长与碳排放脱钩。需要注意的是,提前达峰情景下山西、青海在 2050 年的碳排放弹性系数分别为 -9.43、-9.70,这是

表 3 3 种情景下黄河流域相关省区碳排放弹性系数

Table 3 Elasticity coefficient of carbon emission of relevant provinces in the Yellow River Basin under three scenarios

地区	年份	基准情景	自主减排情景	提前达峰情景
山西	2020	0.86	0.86	0.86
	2030	0.31	0.29	-0.03
	2040	-0.35	-0.40	-1.03
	2050	-5.94	-6.19	-9.43
内蒙古	2020	0.15	0.15	0.15
	2030	0.44	0.38	-0.03
	2040	0.06	-0.03	-0.73
	2050	-1.87	-2.16	-4.28
山东	2020	0.42	0.42	0.42
	2030	0.20	0.28	-0.03
	2040	-0.16	-0.04	-0.49
	2050	-1.02	-0.81	-1.58
河南	2020	0.60	0.60	0.60
	2030	0.09	0.14	-0.02
	2040	-0.02	0.03	-0.14
	2050	-0.07	-0.01	-0.20
陕西	2020	0.19	0.19	0.19
	2030	0.23	0.20	-0.03
	2040	-0.38	-0.43	-0.83
	2050	-2.13	-2.24	-3.15
甘肃	2020	0.73	0.73	0.73
	2030	0.36	0.30	-0.03
	2040	-0.06	-0.17	-0.72
	2050	-3.32	-3.77	-5.97
青海	2020	0.52	0.52	0.52
	2030	0.62	0.39	-0.04
	2040	0.23	-0.24	-1.08
	2050	-2.95	-5.35	-9.70
宁夏	2020	0.08	0.08	0.08
	2030	0.28	0.20	-0.03
	2040	-0.07	-0.19	-0.53
	2050	-1.01	-1.22	-1.86
总体	2020	0.56	0.56	0.56
	2030	0.30	0.29	-0.03
	2040	-0.15	-0.16	-0.63
	2050	-1.10	-1.11	-1.80

经济增长与碳排放出现的强负脱钩现象^[30]。

3 种情景下,黄河流域相关省区 2020—2050 年的碳排放弹性系数均呈下降趋势。基准情景下,各省区的碳排放弹性系数在 2040 年左右降为负值(内蒙古 2042 年、青海 2043 年),陕西的碳排放弹性系

2021年11月

数降为负值的时间最早(2035年);自主减排情景下,各省区的碳排放弹性系数基本在2040年前降为负值(河南2040年的值为0.03);提前达峰情景各省区的碳排放弹性系数下降速度最快,均在2029年前降为负值。为了更清楚地显示黄河流域相关省区总体的脱钩情景,计算了黄河流域相关省区总体的碳排放弹性系数,3种情景的脱钩时间分别为2038年、2036年和2029年。由基准情景和自主减排情景的结果可以看出,黄河流域相关省区不能在2030年前实现经济增长与碳排放脱钩,即各省区的经济增长与碳排放将仍处于同步增长阶段。

从减排成本上看,黄河流域相关省区的碳排放弹性系数逐年降低,一方面表明黄河流域相关省区未来因减排造成的经济损失会越来越小,当经济增长与碳排放实现脱钩,经济增长反而会带动碳减排;另一方面表明黄河流域相关省区在碳减排的道路上逐渐优化产业结构和能源消费结构。因此,加快调整产业结构、能源消费结构,对黄河流域相关省区早日实现碳脱钩意义重大。

4.2 碳峰值预测结果分析

基准情景下黄河流域相关省区碳排放趋势如

图1所示。黄河流域相关省区在“十四五”“十五五”期间依旧处于经济发展与碳排放同步增长阶段,即不能实现2030年前碳达峰目标,这与上文碳排放弹性系数的结果相一致。其中,青海出现碳峰值的时间最晚(2042年),主要由碳排放强度下降率低导致的。内蒙古出现碳峰值的时间为2040年,原因在于内蒙古的终端消费主要集中在电力、化工等部门^[31],碳排放量随经济增长而增加。甘肃、宁夏由于人口规模不断扩大,促使能源消费量增加,碳排放随之上升,达峰时间均为2038年。河南的碳达峰时间为2037年,主要是河南经济增长较快,煤炭在能源消费结构中占很大比重。陕西、山西、山东的达峰时间分别是2034年、2035年、2036年,碳峰值分别为8.75亿t、28.21亿t、15.43亿t。黄河流域相关省区总体达峰时间为2037年,峰值为80.17亿t。从以上结果可以发现,基准情景下黄河流域下游省区(河南、山东)碳达峰的时间早于上游省区(甘肃、宁夏、内蒙古和青海)。

自主减排情景下黄河流域相关省区碳排放趋势如图2所示。自主减排情景下,山西的达峰时间与基准情景相同,碳峰值较基准情景下降了0.62亿t。

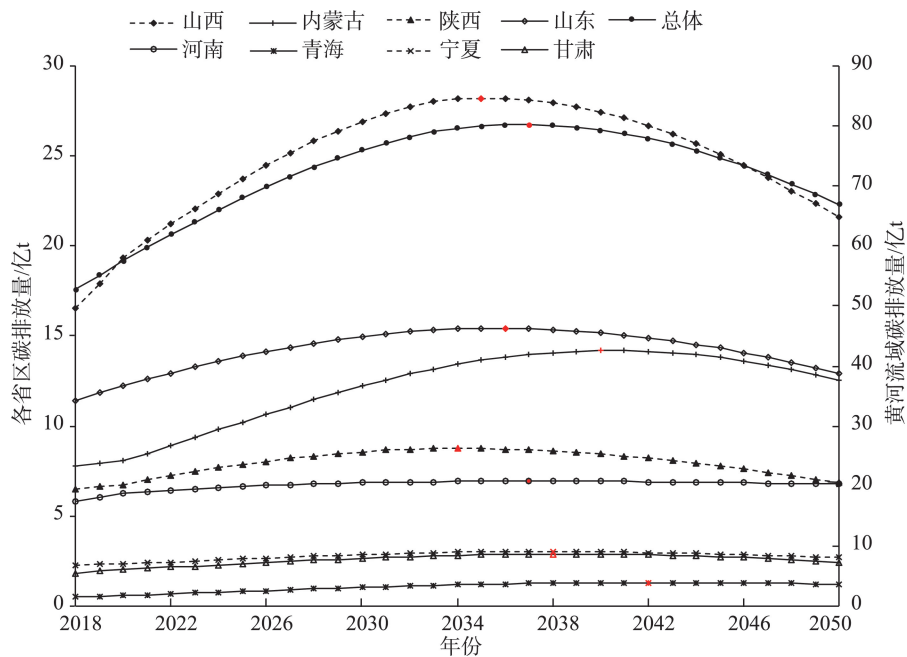


图1 2018—2050年基准情景碳排放趋势

Figure 1 Trend of carbon emissions under the baseline scenario, 2018-2050

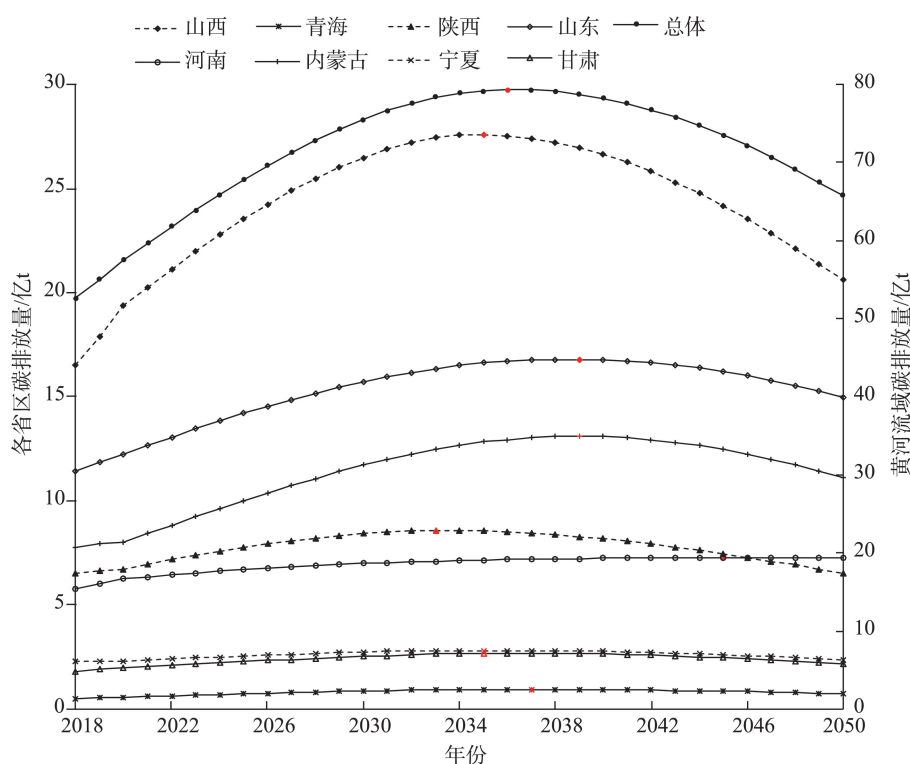


图2 2018—2050年自主减排情景碳排放趋势

Figure 2 Trend of carbon emissions under the nationally determined contributions (NDCs) scenario, 2018-2050

山东、河南的达峰时间分别为2039年、2045年,较基准情景推迟3年、8年。山东的经济增长快,产业结构呈现“高碳化”趋势^[32],达峰时间推迟的原因是其碳排放强度下降率较基准情景减少0.48%。而河南的碳排放强度下降率较基准情景减少0.23%,但达峰时间比山东推迟的时间更久,主要原因是河南GDP增长率下降缓慢,河南碳排放弹性系数下降速度逐渐低于山东省,导致达峰时间后延。由此可看出,较高的碳排放强度下降率对地区尽早实现碳达峰具有积极的作用。陕西、内蒙古、甘肃、青海、宁夏的达峰时间分别为2033年、2039年、2035年、2037年、2035年,碳峰值分别为8.59亿t、13.12亿t、2.67亿t、0.95亿t、2.82亿t。黄河流域相关省区总体达峰时间为2036年,较基准情景提前1年,碳峰值下降0.84亿t。由以上结果可知,碳排放强度下降率不能直接影响碳达峰的时间,经济增长率与碳排放强度下降率协同影响碳达峰的时间和水平。通过对比基准情景,“中国国家自主减排”方案的减排效果显然比“十三五”减排方案更加有效,但相同的碳

排放强度下降率不利于2030年实现碳达峰的目标。因此,实现2030年碳达峰目标,必须按照共同但有区别的碳减排原则,科学合理制定碳减排方案,让有条件的地方先达到碳排放峰值,为其他地区获取更大的减排空间。

提前达峰情景下,黄河流域相关省区均可实现2030年前碳达峰目标。由图3可知,河南、甘肃于2028年达峰,碳排放强度下降率分别为4.88%、6.01%,碳峰值分别为6.46亿t、2.07亿t;山西、内蒙古、山东、陕西、青海、宁夏的达峰时间为2029年,碳排放强度下降率分别为5.97%、6.86%、5.88%、5.27%、6.92%、5.30%,碳峰值分别为21.84亿t、8.78亿t、13.09亿t、7.48亿t、0.65亿t、2.42亿t;黄河流域相关省区总体达峰时间为2029年,碳峰值为62.79亿t。由碳峰值水平可见,山西和山东的碳峰值超过了黄河流域相关省区总体碳峰值的一半以上,明显高于上游省区(内蒙古、甘肃、青海和宁夏)。

黄河流域相关省区的达峰时间如表4。从3种情景的达峰时间差看,黄河流域上游省区(青海、甘

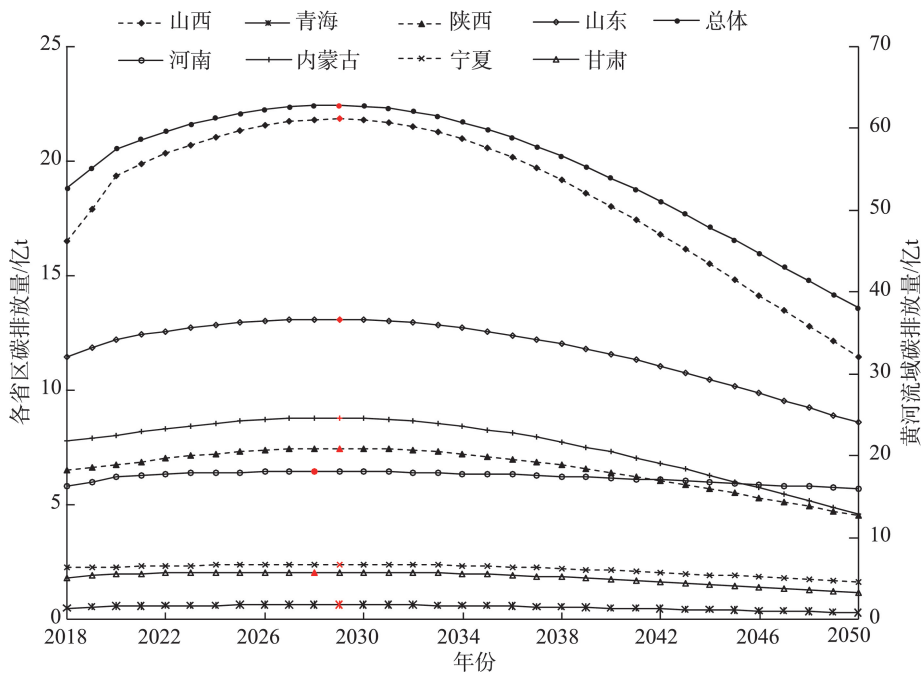


图3 2018—2050年提前达峰情景碳排放趋势

Figure 3 Trend of carbon emissions under the early peaking emissions scenario, 2018-2050

表4 3种情景下黄河流域相关省区达峰时间

Table 4 Peaking time of carbon emissions of relevant provinces in the Yellow River Basin under three scenarios

	山西	内蒙古	山东	河南	陕西	甘肃	青海	宁夏	总体
基准情景/年	2035	2040	2036	2037	2034	2038	2042	2038	2037
自主减排情景/年	2035	2039	2039	2045	2033	2035	2037	2035	2036
提前达峰情景/年	2029	2029	2029	2028	2029	2028	2029	2029	2029

肃和宁夏)的减排压力较重,以青海为例,基准情景和自主减排情景分别需要提前13年、8年完成2030年前碳达峰目标。从碳排放与经济发展脱钩角度,碳排放强度下降率高于经济增长率时,碳达峰才能实现。因此在保持经济最优增长的条件下,通过合理调整碳排放强度下降率,是黄河流域相关省区顺利实现2030年前碳达峰目标的有效途径。

4.3 区域碳排放公平性分析

碳排放基尼系数能够反映碳减排方案的公平性,本文采用碳排放基尼系数对区域碳排放的公平性进行测算,结果如图4。基准情景与自主减排情景下,黄河流域相关省区的碳排放基尼系数呈现先升后降的趋势,即2020—2027年碳排放基尼系数上升,在2027年达到最高值(0.524、0.525),其中自主减排情景的碳排放基尼系数上升幅度略高于基准情景;在达到最大值后,碳排放基尼系数分别由2027年的0.524、0.525下降至2050年的0.508、0.510,下

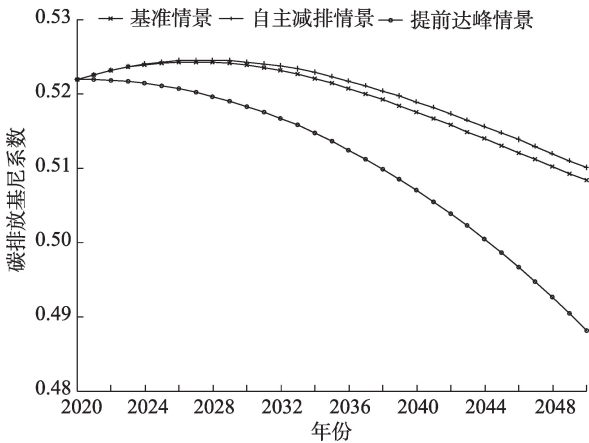


图4 3种情景下黄河流域相关省区总体碳排放基尼系数

Figure 4 Gini coefficient of carbon emissions of relevant provinces in the Yellow River Basin under three scenarios

景;在达到最大值后,碳排放基尼系数分别由2027年的0.524、0.525下降至2050年的0.508、0.510,下

降幅度逐步加快。从基准情景、自主减排情景的下降情况看,短期内减排政策的实施会加剧区域碳排放的不公平性,长期实施能够提高区域碳排放的公平性,表明减排政策对促进区域碳排放的公平性具有一定的滞后性。同时,基准情景的区域碳排放公平性始终高于自主减排情景,表明差异化的减排政策能够促进区域碳排放的公平性。模拟期间,提前达峰情景的碳排放基尼系数始终低于基准情景和自主减排情景,处于持续下降状态,由0.522(2020年)降至0.488(2050年),表明“2030年前实现碳达峰”能够在一定程度上缓解黄河流域相关省区的碳排放不公平现象。

需要注意的是,3种情景下黄河流域相关省区的碳排放均处于“高度不平均”状态,意味着黄河流域相关省区的累积碳排放在空间分配上存在不公平性,这一结果与周迪等^[33]一致。黄河流域相关省区的碳排放不公平性主要体现在,黄河流域相关省区的碳排放与经济发展状况不相适,下游省区(山东、河南)的碳排放远高于上游省区(青海、宁夏)。区域碳排放的不公平性侧面反映了黄河流域相关省区经济发展的不均衡性,提高碳排放的公平性,不仅有利于保障减排压力大的省区的发展权益,也能够提高各省区实现减排目标的积极性,并推动区域协同发展。

5 结论与建议

5.1 结论

本文通过经济平稳增长模型计算黄河流域相关省区的最优经济增长率,以国家“十三五”减排方案、“国家自主减排”方案以及中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值”为依据,模拟分析各省区碳达峰的时间和水平,探讨减排情景对区域碳排放公平性的影响。主要结论如下:

(1)3种减排情景均有利于促进黄河流域相关省区经济增长与碳排放的脱钩,提前达峰情景效果最好。在最优经济增长前提下,碳排放强度下降速率决定了脱钩时间和达峰时间。

(2)基准情景下,黄河流域相关省区总体碳达峰时间为2037年,下游省区(河南、山东)碳达峰的时间早于上游省区(甘肃、宁夏、内蒙古和青海);加

快调整产业结构与能源消费结构,是黄河流域相关省区早日实现经济增长与碳排放脱钩的重要推动力。

(3)自主减排情景下,黄河流域相关省区总体碳达峰时间较基准情景提前1年,但山东、河南的达峰时间分别推迟了3年、8年;提前达峰情景下,黄河流域相关省区总体将在2029年实现碳达峰,碳峰值比基准情景和自主减排情景分别下降17.38亿t和16.54亿t,减排效果显著。

(4)黄河流域相关省区的碳排放存在不公平现象。3种情景均能够提高黄河流域相关省区碳排放的公平性,提前达峰情景的影响更显著,但碳排放基尼系数仍在警戒线之上。

5.2 政策建议

在中国承诺“2030年前碳达峰”的背景下,黄河流域相关省区需要通过合理调整碳排放强度下降率,实现碳达峰的目标,助力碳中和。具体的政策建议如下:

(1)进一步强化碳排放强度下降目标。本文碳排放弹性系数表明,黄河流域相关省区仍处于经济增长与碳排放同步增长阶段,应积极推进经济发展与碳排放实现脱钩,对“十四五”“十五五”期间的碳排放强度下降目标提出更高的要求。

(2)持续推进产业结构调整升级。构建以低碳产业为主导的产业体系,推动高质量发展。其中,随着山西、内蒙古、青海的经济发展变缓,应积极转变经济发展方式、加快产业结构调整,结合地方优势大力发展绿色产业;人口规模扩大是甘肃、宁夏碳排放上升的主要原因,因此应加大教育投入,培养创新型人才,以创新技术驱动低碳发展;陕西的碳排放状况相对较好,但仍存在产业结构不合理的现象,应注重优化产业结构、促进产业结构多元化发展,积极推广低碳产业发展。

(3)能源供给侧结构调整。黄河流域是中国重要的能源基地,相关省区的发展多以煤等化石能源的消费为主,非化石能源比例较低(2017年河南的煤炭消费量占能源消费总量的73.34%)。山东、河南作为工业大省,区域内传统产业占比较高且多为资源型产业,增加传统产业的科技投入,大力开发

2021年11月

新能源,逐步改变以煤炭消费为主的能源结构。

(4)加强省区合作,建立上下游补偿机制。通过调整各省区碳排放强度下降率,黄河流域相关省区的达峰时间有所提前,应充分考虑区域发展差异,遵循共同但有区别的原则制定减排政策,积极倡导让有条件的地方先达峰,为青海、甘肃和宁夏等上游省区争取缓冲时间。建立上下游补偿机制,通过技术援助、投资诱导、项目合作等,鼓励中下游省区将节能环保技术、绿色产业向上游省区转移扩散,营造合作共赢、互惠互利的发展环境。

参考文献(References):

- [1] Liu Z, Guan D B, Wei W, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China [J]. *Nature*, 2015, 524: 335–338.
- [2] 任保平, 李禹墨. 新时代我国高质量发展评判体系的构建及其转型路径[J]. *陕西师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2018, 47(3): 104–113. [Ren B P, Li Y M. On the construction of Chinese high-quality development evaluation system and the path of its transformation in the new era[J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2018, 47(3): 104–113.]
- [3] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. *求是*, 2019, (20): 1–5. [Xi J P. Speech at a symposium on ecological protection and quality development in the Yellow River Basin[J]. *Qiushi*, 2019, (20): 1–5.]
- [4] Li F F, Xu Z, Ma H. Can China achieve its CO₂ emissions peak by 2030? [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 84: 337–344.
- [5] Fang K, Tang Y Q, Zhang Q F, et al. Will China peak its energy-related carbon emissions by 2030? Lessons from 30 Chinese provinces[J]. *Applied Energy*, 2019, DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.113852.
- [6] Su Y Q, Liu X, Ji J P, et al. Role of economic structural change in the peaking of China's CO₂ emissions: An input-output optimization model[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143306.
- [7] 洪竞科, 李沅潮, 蔡伟光, 等. 多情景视角下的中国碳达峰模拟: 基于RICE-LEAP模型[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 639–651. [Hong J K, Li Y C, Cai W G, et al. Simulating China's carbon emission peak path under different scenarios based on RICE-LEAP model[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 639–651.]
- [8] Zeng S, Su B, Zhang M L, et al. Analysis and forecast of China's energy consumption structure[J]. *Energy Policy*, 2021, 159: 112630.
- [9] 王勇, 毕莹, 王恩东. 中国工业碳排放达峰的情景预测与减排潜力评估[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(10): 131–140. [Wang Y, Bi Y, Wang E D. Scene prediction of carbon emission peak and emission reduction potential estimation in Chinese industry[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(10): 131–140.]
- [10] 朱永彬, 王铮, 庞丽, 等. 基于经济模拟的中国能源消费与碳排放高峰预测[J]. *地理学报*, 2009, 64(8): 935–944. [Zhu Y B, Wang Z, Pang L, et al. Simulation on China's economy and prediction on energy consumption and carbon emission under optimal growth path[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(8): 935–944.]
- [11] Cui X W, Shao J, Niu X D, et al. An improved forecasting method and application of China's energy consumption under the carbon peak target[J]. *Sustainability*, 2021, 13: 8670.
- [12] Liu Z, Guan D B, Moore S, et al. Climate policy: Steps to China's carbon peak[J]. *Nature*, 2015, 524(7565): 335–338.
- [13] 陈志建, 刘月梅, 刘晓, 等. 经济平稳增长下长江经济带碳排放峰值研究: 基于全球夜间灯光数据的视角[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2213–2222. [Chen Z J, Liu Y M, Liu X, et al. Research on carbon emission peak in Yangtze River Economic Zone with steady economic growth: Based on data of global night-time light[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(12): 2213–2222.]
- [14] 黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于STIRPAT模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. *地理研究*, 2016, 35(4): 781–789. [Huang R, Wang Z, Ding G Q, et al. Trend prediction and analysis of influencing factors of carbon emissions from energy consumption in Jiangsu Province based on STIRPAT model[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 781–789.]
- [15] 王勇, 许子易, 张亚新. 中国超大城市碳排放达峰的影响因素及组合情景预测: 基于门限-STIRPAT模型的研究[J]. *环境科学学报*, 2019, 39(12): 4284–4292. [Wang Y, Xu Z Y, Zhang Y X. Influencing factors and combined scenario prediction of carbon emission peaks in megacities in China: Based on Threshold-STIRPAT Model[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, 39(12): 4284–4292.]
- [16] 李治国, 王杰. 黄河流域经济集聚的碳强度时空跃迁效应研究[J]. *华东经济管理*, 2020, 34(9): 61–71. [Li Z G, Wang J. Spatio-temporal transition effects of carbon intensity in the economic accumulation of the Yellow River Basin[J]. *East China Economic Management*, 2020, 34(9): 61–71.]
- [17] Wang W J, Ren L J, Guo Q W, et al. Predicating energy demand and carbon emissions of the Yellow River Delta high-efficiency eco-economic zone[J]. *Energy Procedia*, 2012, 14: 229–234.
- [18] Li Y, Wei Y G, Zhang X L, et al. Regional and provincial CO₂ emission reduction task decomposition of China's 2030 carbon emission peak based on the efficiency, equity and synthesizing

- principles[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2020, 53: 237–256.
- [19] 任保平, 张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J]. 改革, 2019, (10): 26–34. [Ren B P, Zhang Q. The strategic design and supporting system construction of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019, (10): 26–34.]
- [20] 刘晓, 王铮, 邓吉祥. 配额目标约束下区域减排的最优控制率[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1380–1390. [Liu X, Wang Z, Deng J X. The optimal control rate of regional emission reduction targets under the constraint of quotas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1380–1390.]
- [21] IPCC. 2006年IPCC国家温室气体排放清单指南[M]. 神奈川: 全球环境战略研究所, 2006. [IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.]
- [22] 国务院. 国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知[EB/OL]. (2016–10–27) [2020–10–03]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm. [The State Council. Circular of the State Council on the Issuance Of The 13th Five-Year Work Plan for Controlling Greenhouse Gas Emissions [EB/OL]. (2016–10–27) [2020–10–03]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm.]
- [23] 新华社. 强化应对气候变化行动: 中国国家自主贡献[N/OL]. (2015–11–18) [2020–10–04]. <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/2015/20151119/xgbd33811/Document/1455864/1455864.htm>. [Xinhua News Agency. Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contributions[N/OL]. (2015–11–18) [2020–10–04]. <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/2015/20151119/xgbd33811/Document/1455864/1455864.htm>.]
- [24] 中国政府网. 习近平在气候雄心峰会上发表重要讲话[N/OL]. (2020–12–12) [2020–12–15]. http://news.cnr.cn/native/gd/20201212/t20201212_525361086.shtml. [Chinese Government Network. Xi Jinping Delivers an Important Speech at the Climate Ambition Summit[N/OL]. (2020–12–12) [2020–12–15]. http://news.cnr.cn/native/gd/20201212/t20201212_525361086.shtml.]
- [25] 中国政府网. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[N/OL]. (2020–09–22) [2020–11–04]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm. [Chinese Government Network. Xi Jinping Delivers an Important Speech at the General Debate of the 75th Un General Assembly[N/OL]. (2020–09–22) [2020–11–04]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm.]
- [26] 卢俊宇, 黄贤金, 戴靓, 等. 基于时空尺度的中国省级区域能源消费碳排放公平性分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2006–2017. [Lu J Y, Huang X J, Dai J, et al. Spatio-temporal scale analysis on the equality of energy consumption carbon emission distribution in China[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(12): 2006–2017.]
- [27] 王慧慧, 刘恒辰, 何霄嘉, 等. 基于历史累计碳排放视角的碳排放公平性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(5): 22–25. [Wang H H, Liu H C, He X J, et al. Study of carbon emission equity based on the perspective of historical cumulative carbon emission[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(5): 22–25.]
- [28] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952–2000[J]. 经济研究, 2004, (10): 35–44. [Zhang J, Wu G Y, Zhang J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952–2000[J]. Economic Research Journal, 2004, (10): 35–44.]
- [29] 向晶, 蔡翼飞. “十四五”及未来中长期中国劳动力供需趋势及对策分析[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2020, 34(2): 32–44. [Xiang J, Cai Y F. Trends and countermeasures of China's medium and long term labor supply and demand in the 14th Five-Year Plan and in the future[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Social Science), 2020, 34(2): 32–44.]
- [30] 张玉梅, 乔娟. 都市农业发展与碳排放脱钩关系分析: 基于脱钩理论的Tapio弹性分析法[J]. 经济问题, 2014, (10): 81–86. [Zhang Y M, Qiao J. Analysis of urban agriculture development and carbon emissions decoupling relationship based on the theory of decoupling about Tapio Elastic Analysis[J]. On Economic Problems, 2014, (10): 81–86.]
- [31] Lin C, Qi J C, Liang S, et al. Saving less in China facilitates global CO₂ mitigation[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 93–130.
- [32] 徐成龙, 任建兰, 巩灿灿. 产业结构调整对山东省碳排放的影响[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2): 201–210. [Xu C L, Ren J L, Gong C J. The influence of adjustment in industrial structures on carbon emissions in Shandong Province[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(2): 201–210.]
- [33] 周迪, 周丰年, 郑楚鹏. 公平和效率视角的中国碳排放区域差异及其固化研究[J]. 干旱区地理, 2019, 42(6): 1461–1469. [Zhou D, Zhou F N, Zheng C P. Regional differences and its solidification of carbon emission in China: An equity and efficiency perspective[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(6): 1461–1469.]

Carbon peak time and peak level of relevant provinces in the Yellow River Basin under stable economic growth

WANG Liangdong¹, WU Leying¹, CHEN Yulong¹, MA Xiaozhe^{2,3}, DU Mengna¹

(1. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Province and Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475001, China; 2. College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475004, China; 3. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: The Yellow River Basin is an important ecological security barrier in China, and it is of great practical significance to examine the carbon peak of the region. This study adopted the optimal economic growth model to calculate the optimal economic growth rate of relevant provinces in the Yellow River Basin from 2020 to 2050, simulated and analyzed the carbon peak of each province under different emission scenarios, and explored the impact of emission reduction scenarios on the equality of carbon emissions. The results show that: (1) Emission reduction scenarios are conducive to the decoupling of carbon emissions and economic development in relevant provinces of the Yellow River Basin, thereby promoting the achievement of carbon peak; (2) Under the baseline scenario and the intended nationally determined contributions (NDCs), the relevant provinces of the Yellow River Basin cannot achieve the target of carbon emissions by 2030; Early peaking emissions scenario has the largest emission reduction; (3) Emission reduction scenarios can improve the equality of carbon emissions in relevant provinces of the Yellow River Basin., and the effect of the early peaking emissions scenario is more significant. However, the problem of regional inequality of carbon emissions still exists. In order to achieve the carbon peak in the Yellow River Basin as soon as possible, the government should further reinforce its policy orientation, fully consider regional differences, strengthen inter- provincial cooperation, and formulate more appropriate emission reduction policies.

Key words: optimal economic growth rate; carbon emission intensity; carbon emission peak; Gini coefficient of carbon emissions; Yellow River Basin