

中国省域碳达峰梯次划分与差异化排放路径 ——基于碳排放与经济发展双重视角的考察

王思博 庄贵阳 窦晓铭

摘 要 中国既要在 2030 年前实现碳达峰,也要在 2035 年基本实现社会主义现代化。中国政府迫切需要做好的碳达峰顶层设计,以此统筹各地区梯次有序地协同实现碳达峰与现代化双目标。鉴于此,运用碳排放驱动因素分解方法与经济增长理论构建中国省域差异化碳达峰路径逻辑分析架构,借助 MK 趋势分析、蒙特卡洛模拟等方法,采用省际宏观经济数据对中国省域碳达峰梯次划分与差异化排放路径进行对比分析,可以发现:第一,根据碳排放与经济发展双维度多指标综合研判,各地区实现碳达峰目标难易程度不同,时间有先后。基于此,中国大陆(除西藏外)30 个省域可被划分为基本实现、提前实现、较提前实现、准时实现、可能推迟实现 5 个碳达峰梯次。第二,相较于生产侧碳排放数据,基于消费侧碳排放数据的政策设计,既有利于收敛区域间能源消费总量与人均 GDP 演化路径,也有助于在碳排放总量峰值降低的前提下,拓宽能源消费总量阈值,助力经济增长速度进一步提升。第三,强化绿色低碳发展能力建设,完善“碳排放强约束强激励、高质量经济增长”发展模式,是顺利实现碳达峰与现代化双目标的关键。展望未来,中国政府应遵循“谁消费、谁负责”的原则,加快建立健全碳排放统计核算体系,并将绿色低碳发展能力建设作为省域差异化碳达峰路径相关政策措施的重要内容,提升适配区域绿色低碳发展能力的经济增速阈值,促使经济增长对碳排放脱钩,推进碳达峰与现代化双目标的实现。

关键词 碳达峰;梯次划分;碳排放;能源消费;绿色低碳经济;气候治理;生态保护

中图分类号 F270 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2023)03-0136-15

基金项目 国家社会科学基金重大项目(21ZDA085);中国社会科学院国家高端智库基础研究项目(GDZK-2021-003)

2020 年中央经济工作会议将“做好碳达峰、碳中和工作”列为推动经济社会发展的重点任务^[1]。政府相关部门相继印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030 年前碳达峰行动方案》等重要文件,推动碳达峰碳中和“1+N”政策体系构建与完善,进而促成各方面共同推进的良好格局,为实现碳达峰目标提供源源不断的工作动能。

中国的碳达峰目标需要重点考虑两个方面的内容:一方面,经济发展、生态禀赋不均衡是我国的基本国情。因此,要求各地区同步碳达峰的政策设计,既不具备科学性,也不具备现实性。如果国家采取“一刀切”的同步碳达峰行动方案,控碳降碳耐受能力弱的地区将因过度超前的政策干预,而进入低速增长或衰退阶段,随之经济社会系统将面临较大的崩溃风险,控碳降碳耐受能力强的地区也可能因此延迟达峰,无法为减碳难度大的地区预留空间。另一方面,碳达峰行动不仅关系全球生态安全,更关系到中国未来能源安全与可持续发展,其最终目的是通过提升全要素生产率、升级产业结构、优化能源结构等方式,促使经济发展对碳排放脱钩,构建并完善现代化经济体系^[2](P16-27)。因此,中国政府必须兼顾碳

减排要求与经济发展诉求,坚持全国统筹部署原则,在省域梯次划分基础上着手制定差异化碳达峰路径。

随着碳达峰目标被正式提出,以主动目标管理为导向的碳达峰研究逐渐兴起。有学者率先针对中国整体层面达峰时间、峰值、驱动因素等问题进行研究^[3](P44-63)。2020年底,随着碳达峰、碳中和目标的确立,学界开始就区域差异化达峰理论进行探讨,认为碳达峰是一场广泛而深刻的系统性变革,中央政府应考虑各地区间生态经济发展水平的较大差异,并基于区域发展特征制定落实碳达峰行动方案,从而加快全国整体碳达峰的进程^[4](P114-121)。在理论研究基础上,更多学者选择MK趋势检验、蒙特卡洛排序、聚类分析等方法判断各省市达峰梯次^[5](P131-137)。学者又在碳达峰梯次排序基础上,尝试采用国家能源技术经济模型、LEAP、蒙特卡洛模拟等方法,较为准确预测中国碳达峰时间与峰值,并描绘出切实可行的区域差异化达峰路径^[6](P639-651)。

综上所述,碳达峰相关研究正处于起步阶段,存在以下不足:第一,鲜有学者基于碳排放与经济发展双重视角对区域达峰梯次排序、相关理论模型构建等问题进行研究。第二,学者在开展区域差异化碳达峰路径预测研究过程中,通常忽略碳排放、能源消费、经济增长间的内在联动关系,未将碳达峰与现代化双目标有机结合。第三,学者在开展省域尺度的相关研究过程中,未考虑电力热力区域间调配产生的间接碳排放,进而采用按照范围1^①核算生产侧碳排放数据。上述不足会有损省域差异化碳达峰路径制定的公正性与可持续性。基于此,我们充分考虑省域生产侧与消费侧碳排放核算数据间存在的差异,进而对省域碳达峰状态进行碳排放与经济发展双维度多指标的综合研判,并通过改进Kaya恒等式与拓展CD生产函数,以能源消费总量为传导变量,构建“碳排放—能源消费—经济增长”系统联动模型,从而将碳达峰与现代化双目标有机结合,利用蒙特卡洛模拟技术描绘出更为全面完整、切实可行的碳达峰路线图,力求研究成果能够为相关施政方针制定调整提供参考。

一、中国省域差异化碳达峰路径理论模型构建

中国省域差异化碳达峰路径逻辑分析架构如图1所示。碳排放总量、经济产出总量、能源消费总量是碳达峰相关问题研究的三大核心要素。在其它条件一定的情况下,三大要素间呈现相互促增关系:碳排放总量应呈现减速增长趋势,以便中国在2030年前实现碳达峰;经济产出总量应呈现上升趋势,以便中国在2035年基本实现社会主义现代化;能源消费总量是联系碳排放总量与经济产出总量的关键变量,其既是碳排放的主要来源,也是经济生产重要投入要素。三者间相互促增的关系看似使得两大目标的协同实现相互矛盾,然而,这种矛盾仅存在于碳排放子系统低碳调节能力与经济发展子系统投入产出能力不变的基础上。

随着全要素生产率提升,以及物质资本、人力资本等投入要素由数量型增长向质量型增长转变,经济发展子系统的投入产出能力得到增强。经济增长主要驱动力由固定资产存量与能源消费总量等传统资源依赖性动能向人力资本存量与科技进步等可持续发展新动能转变。能源投入产出率会得到较大提升,单位产出引致能源消费显著降低。同时,随着能源结构清洁化、产业结构优化、能源效率提升,碳排放子系统的低碳调节能力得到增强,单位能源消费引致碳排放量也会显著降低。碳排放子系统低碳调节与经济发展子系统投入产出“双能力”的增强,既是绿色低碳发展能力建设主要目标,也是促使碳排放强度降低的关键途径。此外,合理的经济增长目标规划是实现碳达峰与现代化双目标的重要前提。

综上,中国正同时面临基本实现社会主义现代化发展诉求与碳达峰可持续发展目标,决策者只有基于碳排放与经济发展双重视角,才能够制定出切实可行的省域差异化碳达峰路径。因此,我们选择以能源消费总量为传导变量,构建“碳排放—能源消费—经济增长”系统分析数理模型,并将其作为制定中国

① 范围1是温室气体核算领域常用概念,具体是指不考虑区域间热力、电力等能源调入调出,区域边界内主体使用化石能源的直接排放。

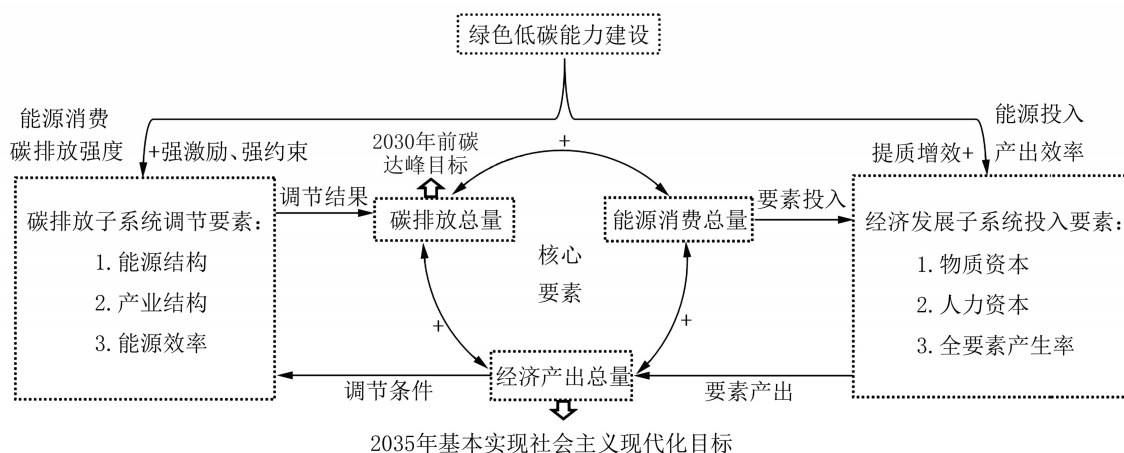


图1 中国省域差异化碳达峰路径逻辑分析架构

省域差异化碳达峰路径的数理基础:

$$\begin{cases} c_{it} = h_{it}(ener_{it}, X_{it}^c) & (1) \\ y_{it} = f_{it}(ener_{it}, X_{it}^y) & (2) \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, 30; t = 1997, 1998, \dots, 2035)$$

模型(1)、模型(2)分别是以能源消费为纽带的碳排放与经济发展两大子系统的数理模型,并共同构成上述系统分析数理模型。其中, i 表示省际单位, t 表示年份。被解释变量 c_{it} 、 y_{it} 分别表示碳排放总量与生产总值。核心解释变量 $ener_{it}$ 表示能源消费总量, X_{it}^c 、 X_{it}^y 分别为碳排放子系统与经济发展子系统数理模型中控制变量元素集合。

碳达峰过程一般需要经历“部分地区达峰→整体相对动态达峰→全部地区绝对达峰”三个阶段。当全国在第 d 年碳排放总量 $C_d \geq C_t$ 时(对于任意年份 t 均成立),表示全国碳排放总量在 d 年整体相对动态达峰,即已经实现碳达峰目标。中国需要在2030年前实现碳达峰目标,故碳达峰年份 $d \leq 2030$ 。全国碳排放总量一般需要经历较长时期的整体相对动态达峰阶段,才能实现由部分地区达峰向全部地区绝对达峰的转变。当任意省际 i 碳排放总量在第 u 年均满足 $C_{iu} \geq C_t$ (对于任意年份 t 均成立),表示全部地区在 u 年实现绝对达峰,绝对达峰年份 u 可能稍迟于整体相对动态达峰年份 d 。

以能源消费量为传导变量,联立数理模型(1)与数理模型(2),实现碳排放、能源消费、经济发展间内在关系的有效联结,揭示碳达峰过程与地区经济发展内在关联。通过加总模型(2),可获得碳排放内在关联的国内生产总值的数理模型(3):

$$Y_t = y_{1t} + y_{2t} + \dots + y_{30t} \quad (3)$$

基本实现社会主义现代化目标中明确提出“人均GDP达到中等发达国家水平”,即2035年国内人均GDP至少超过2万美元。假设地区人口总数为 P ,经过汇率与价格指数调整的国内生产总值 Y_t' ,与地区人口总数为 P 相除,可获得以美元为单位的国内人均生产总值 Y_t'/P_t ,即碳排放内在关联的全国人均GDP数理模型(4):

$$Y_t'/P_t = (y_{1t} + y_{2t} + \dots + y_{30t})/(p_{1t} + p_{2t} + \dots + p_{30t}) \quad (4)$$

由于中国在2035年基本实现社会主义现代化目标,国内人均GDP需要满足数理模型(5):

$$Y_t'/P_t \geq 20000 \text{ 美元} (t \geq b, b \leq 2035) \quad (5)$$

学者研究发现,地区碳排放总量不仅与上述已经阐明的经济产出总量、能源消费总量等直接驱动因素有关。同时,产业结构、能源消费强度、能源消费结构能够通过降低碳排放强度,从而降低既有经济产出量的碳排放总量^[7](P804-814)。鉴于未来中国人口增长速度将会长期处于较低水平,加之人口规模不易在政策层面调控,碳排放驱动因素模型选取的变量有别于Kaya恒等式等传统碳排放驱动因素模型,

前者不再纳入人口规模变量。借鉴经典内生经济增长理论,经济增长驱动因素模型需要相继纳入物质资本、人力资本、技术进步等变量^[8](P71-102)。因此,控制变量元素集合 X_u^c 需要纳入地区生产总值 gdp 、第二产业产值 $twgdp$ 、化石能源消费总量 $hsener$;控制变量元素集合 X_u^y 需要纳入物质资本存量 inv 、人力资本存量 edu 、技术水平或全要素生产率 tec ;借助改进的Kaya恒等式与拓展的三要素经济增长模型^{[9][10]}(P3-19),数理模型(1)与(2)可以进一步整理为数理模型(6)与(7)。

$$c_{it} = c_{it}/hsener_{it} * hsener_{it}/ener_{it} * ener_{it}/twgdp_{it} * twgdp_{it}/gdp_{it} * gdp_{it} \quad (6)$$

$$y_{it} = tec_{it} inv_{it}^{\alpha} edu_{it}^{\beta} \quad (7)$$

α, β, γ 分别为物质资本存量、人力资本存量、能源消费总量产出弹性,并且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。模型(7)的研究样本来自相同碳达峰梯次省域加总的时间序列数据。序列相关检验的结果显示,样本数据间普遍存在序列相关问题。因此,我们在假定各梯次内省域产出弹性相似的基础上,采用广义差分法对各梯次省域组合相应产出弹性进行分别估计,以此合理简化研究工作,并且增强研究结论稳健性与可信性。

数理模型(7)两边取对数,获得回归分析模型(8):

$$\ln(y_{it}/edu_{it}) = \ln(tec_{it}) + \alpha \ln(inv_{it}/edu_{it}) + \gamma \ln(twgdp_{it}/edu_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中, ε_{it} 为误差扰动项。我们根据数理模型(8)的回归分析结果,估算获得各要素产出弹性系数,再根据欧拉定理获得全要素生产率变化,如数理模型(9)所示:

$$tec = \dot{y} - (\alpha \dot{inv} + \beta \dot{edu} + \gamma \dot{ener}) \quad (9)$$

通过对数理模型(6)与(7)进行对数运算,可获得蒙特卡洛模拟关系式:

$$\dot{c}_{it} = (\dot{chsener}_{it} + 1) * (\dot{enerstruc}_{it} + 1) * (\dot{etwgdp}_{it} + 1) \quad (10)$$

$$* (\dot{gdpstruc}_{it} + 1) * (\dot{gdp}_{it} + 1) - 1$$

$$\dot{ener}_{it} = (\dot{etwgdp}_{it} + 1) * (\dot{gdpstruc}_{it} + 1) * (\dot{gdp}_{it} + 1) - 1 \quad (11)$$

$$\dot{y}_{it} = \dot{tec}_{it} + \alpha \dot{inv}_{it} + \beta \dot{edu}_{it} + \gamma \dot{ener}_{it} \quad (12)$$

其中, $\dot{ener}_{it}$ 、 $\dot{chsener}_{it}$ 、 $\dot{enerstruc}_{it}$ 、 $\dot{etwgdp}_{it}$ 、 $\dot{gdpstruc}_{it}$ 、 $\dot{gdp}_{it}$ 分别表示能源消费总量、单位化石能源消费碳排放强度、能源消费结构、单位第二产业产值能耗、第二产业产值占比、地区生产总值的变化率, $\dot{y}_{it}$ 、 $\dot{inv}_{it}$ 、 $\dot{edu}_{it}$ 、 $\dot{tec}_{it}$ 分别表示地区经济总产出、物质资本存量、人力资本存量、能源消费总量、技术水平或全要素生产率的变化率。预测过程中,数理模型(10)需要以数理模型(11)为中介与数理模型(12)联立。可见,在预测过程中,能源消费总量 $ener$ 在两大系统间发挥联动关系。

研究数据来源说明如下:第一,兼顾数据完整性与数据最大可得性,研究样本主要包括1997-2019年间中国省域相关数据。第二,碳排放数据采用中国碳核算数据库(下文简称“CEADs”)根据范围1核算的生产侧碳排放数据,与世界资源研究所(下文简称“WRI”)依据“谁消费、谁负责”的原则,考虑热力电力区域调配核算的消费侧碳排放数据。两套碳排放数据对比分析的结果有助于揭示碳排放数据核算范围对省域差异化碳达峰路径设计公正性造成的影响。第三,地区生产总值、能源消费总量等经济社会相关统计数据来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、CEIC、EPSDATA等权威数据库。第四,物质资本存量核算参照张军的永续盘存法^[11](P35-44)。人力资本存量核算参照彭国华综合考虑地区劳动力数量、平均受教育程度以及教育回报率的核算方法^[12](P19-29)。第五,地区生产总值、第二产业产值、物质资本存量等涉及价格样本数据以1997年价格作为基期价格进行调整。

二、中国省域碳达峰梯次多指标综合研判

2030年前实现碳达峰的目标获得各界广泛响应,然而未立先破的“运动式减碳”情绪,导致部分地区

出现拉闸限电、盲目上马两高项目、虚喊口号等政策扭曲行动。中央对此进行紧急纠正,并提出在国家统一的政策框架下坚持全国一盘棋,引导各地区梯次有序开展碳达峰行动。随着差异化碳达峰议题研究升温,各省域碳达峰梯次判别成为学界研究热点与难点。另外,我国省域间能源交易较为频繁。热力电力区域调配引致的间接排放,导致多数省域生产侧与消费侧碳排放数据间存在较大差异。鉴于此,以下研究均采用生产侧与消费侧两套碳排放数据进行对比分析,以便在服务论文主题的同时,兼论两套碳排放数据间差异的政策含义。

综上分析,中国省域碳达峰状态的双维度多指标综合研判结果如表1所示。首先,碳排放维度的综合研判主要采用Mann-Kendall趋势分析法与Tapio碳脱钩指数法。生产侧碳排放数据分析结果显示,北京、天津、重庆、上海4个直辖市已经基本实现碳达峰目标,江苏、福建、浙江、广东等21个省域处于碳达峰平台期,内蒙古、陕西、新疆、宁夏、青海5个西部能源富集区未实现碳达峰。消费侧碳排放数据分析结果与生产侧碳排放数据略有不同,一方面,部分省域历史碳排放峰值年份存在稍许差异,其中上海、黑龙江、湖南、广东差异较大;另一方面,上海需要被调整至平台期,而黑龙江、山东需要被调整至未实现碳达峰,其余省域碳排放维度判断结果不变。第二,经济维度划分研判工作主要依据人均GDP水平。基于“中等收入陷阱”相关理论,结合中国区域经济发展特征,本文将人均GDP7000美元以下、7000-10000美元、10000美元以上分别划分为较低收入水平、中等收入水平及较高收入水平三组。北京、天津、重庆、上海、江苏等11个省域属于较高收入水平组,安徽、湖南、辽宁、江西等13个省域属于中等收入水平组,河北、贵州、广西、吉林等6个省域属于较低收入水平组。

基于上述研判,按照碳排放与经济发展双维度,30个省域可被进一步分类。基于生产侧碳排放数据分析结果显示,基本实现碳达峰目标与较高收入水平组包括北京、天津、重庆、上海;碳达峰平台期与较高收入水平组包括江苏、福建、浙江、广东、湖北、山东,共6个省域;未实现碳达峰与较高收入水平组仅有内蒙古自治区;碳达峰平台期与中等收入水平组包括安徽、湖南、辽宁、江西、海南、山西、四川、河南、云南,共9个省域;未实现碳达峰与中等收入水平组包括陕西、新疆、宁夏、青海;碳达峰平台期与较低收入水平组包括河北、贵州、广西、吉林、黑龙江、甘肃,共6个省域。基于消费侧碳排放数据的分析结果相较于生产侧碳排放数据略有不同,上海被调整至碳达峰平台期与较高收入水平组,山东被调整至未实现碳达峰与较高收入水平组,黑龙江被调整至未实现碳达峰与较低收入水平组。

借鉴中国省域碳排放与经济发展双维度评价分组结果,我们通过评估各省域组合实现碳达峰目标的难易程度,推测各组碳达峰目标实现时间先后,从而对中国省域碳达峰梯次综合研判。生产侧碳排放数据分析结果显示,基本实现碳达峰目标与较高收入水平组、碳达峰平台期与较高收入水平组、碳达峰平台期与中等收入水平组、碳达峰平台期与较低收入水平组、未实现碳达峰与中等收入水平组被分别确定为第一到第五达峰梯次,内蒙古被并入与其具有相似能源富集特征的第五达峰梯次。其中,第一达峰梯次已经基本实现碳达峰,第二、第三达峰梯次能够提前实现碳达峰,第四达峰梯次能够准时实现碳达峰,第五达峰梯次可能推迟实现碳达峰。基于消费侧碳排放数据分析结果相较于生产侧碳排放数据略有不同,除上海需要被调整至第二达峰梯次,其余省域达峰梯次均无调整。虽然山东、黑龙江的碳排放与经济发展双维度评价分组结果存在差异,但是山东属于东部沿海经济发展水平较高的省,其经济社会发展特征与江苏、福建、浙江等省域相似,故仍被保留在第二碳达峰梯次。黑龙江较低收入水平的关键特征并未改变,故被保留在第五碳达峰梯次。

三、中国省域差异化碳达峰路径动态情景分析

基于“碳排放—能源消费—经济增长”系统联动模型以及对中国各省域碳达峰梯次的综合研判结果,运用蒙特卡洛模拟技术对碳排放总量、经济产出总量、能源消费总量未来变化趋势进行动态情景模拟分析,可以获得各省域差异化碳达峰路径。

表1 中国省域碳达峰状态双维度多指标综合研判

省域	碳排放维度							经济维度	
	MK趋势分析法		Tapio碳脱钩指数法					综合研判结果	经济发展水平评价
	峰值年份	趋势显著	1997-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019		
北京	2010(+2)	显著	弱脱	弱脱	弱脱	强脱	强脱(弱脱)	达峰	较高水平
天津	2012(+1)	显著	弱脱	弱脱	弱脱	弱脱	弱脱(强脱)	达峰	较高水平
河北	2019(-1)	—	弱脱	扩连	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较低水平
山西	2019	—	强脱	扩连	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	中等水平
内蒙古	2019	—	弱脱(强脱)	扩负(扩连)	扩连	弱脱	扩负	未达峰	较高水平
辽宁	2019	—	强脱	弱脱	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	中等水平
吉林	2011(+1)	显著	强脱	扩连(扩负)	弱脱	弱脱	强脱	平台期	较低水平
黑龙江	2012(+5)	显著	强脱	弱脱(强脱)	扩连	扩连(弱脱)	弱脱(扩连)	平(未)	较低水平
上海	2013(+4)	显著(—)	弱脱	弱脱	弱脱	强脱(弱脱)	强脱(弱脱)	达(平)	较高水平
江苏	2019	—	弱脱(强脱)	扩连(弱脱)	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较高水平
浙江	2018	—	弱脱	扩连(扩负)	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较高水平
安徽	2019(-1)	—	弱脱	弱脱	扩连(弱脱)	弱脱	弱脱	平台期	中等水平
福建	2019	—	扩负(扩连)	扩负	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较高水平
江西	2019	—	强脱	扩连	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	中等水平
山东	2019	—	弱脱	扩负	弱脱	弱脱	弱脱(扩连)	平(未)	较高水平
河南	2011	显著	弱脱(强脱)	扩负(弱脱)	弱脱	弱脱	强脱	平台期	中等水平
湖北	2011	显著	弱脱	弱脱	弱脱	强脱	弱脱	平台期	较高水平
湖南	2017(-5)	显著	强脱	扩负(扩连)	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	中等水平
广东	2019(-3)	—	弱脱	弱脱(扩连)	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较高水平
广西	2019	—	弱脱	扩连	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较低水平
海南	2019(-1)	—	弱脱	扩负	扩连	扩连(弱脱)	弱脱	平台期	中等水平
重庆	2012(-1)	显著	扩负	强脱(弱脱)	扩连(弱脱)	弱脱	强脱	达峰	较高水平
四川	2013(-1)	显著	强脱	扩负	弱脱	弱脱	强脱	平台期	中等水平
贵州	2019(-2)	—	弱脱(扩连)	扩连(扩负)	弱脱	弱脱	弱脱	平台期	较低水平
云南	2012(-1)	显著	强脱	弱脱	弱脱	弱脱(强脱)	弱脱	平台期	中等水平
陕西	2019	—	强脱	扩连	扩连(扩负)	弱脱	弱脱	未达峰	中等水平
甘肃	2014(-1)	显著	弱脱	弱脱	弱脱	弱脱	弱脱(强脱)	平台期	较低水平
青海	2016	—	扩连(弱脱)	扩负	扩负(扩连)	扩负	弱脱(强脱)	未达峰	中等水平
宁夏	2019	—	弱脱	扩负	扩连	扩连(弱脱)	扩负(扩连)	未达峰	中等水平
新疆	2019	—	强脱(弱脱)	弱脱	弱脱	扩负	扩连	未达峰	中等水平

注:当基于消费侧与生产侧碳排放数据的计算结果不一致时,括号内表示基于消费侧碳排放数据的计算结果。利用Tapio碳脱钩指数法计算的过程中,按照我国历次五年规划纲要规划起止时间将考察时间段划分为5个子阶段。

(一) 情景设计与模拟思路

若研究方案设计为对30个省域碳达峰路径进行逐一模拟,不仅会导致工作量大,而且会弱化结论稳健性。因此,基于中国省域碳达峰梯次综合研判结果对研究样本进行分组归类,能够合理简化研究工作,并增强研究结论稳健性与可信性。模型(10)(11)(12)的演变关系,可被用于预判各碳达峰梯次省域组合碳排放、经济增长、能源消费的演化趋势,进而识别碳达峰的可行路径。我们基于各相关影响因素历史整体发展趋势、党的十八大后的发展趋势以及潜在路径优化空间,分别设置基线、绿色发展、强化绿色发展三种情景。

1. 基线情景,即假定政府不采取任何措施与政策调整,制度、技术、经济环境等方面演变平均趋势保持不变,延续过去20年经济社会发展惯性,外推获得的发展情景。已有研究表明,经济社会发展相关影响因素的未来变化趋势对历史变化特征存在显著的路径依赖惯性^[13](P688-697),中国的经济周期变化

特征对未来相关因素变化趋势的影响程度会随着周期临近而增强^[14](P80-94)。鉴于此,“九五”(1997-2000年)、“十五”(2001-2005年)、“十一五”(2006-2010年)、“十二五”(2011-2015年)、“十三五”(2016-2019年)这五个时期相关因素年均变化率的最大值与最小值被分别作为对应因素潜在变化率的最大值与最小值。剩余的三个时期中,距离当前最近时期的年均变化率,被作为对应因素潜在变化率中间值。模型模拟过程中,能源消费总量变化在两系统间的联动作用的构建,有助于完善子系统间整体的有机链接。经济发展子系统中能源消费总量潜在变化率是根据演变关系模型(11),结合碳排放子系统中地区生产总值(*gdp*)、产业结构(*gdpstru*)、能源效率(*etwgd*)潜在变化率设定,估算获得^①。

2. 绿色发展情景,即假定制度、技术、经济环境等方面演变平均趋势保持不变,延续党的十八大后近五年经济社会发展惯性趋势,从而外推得到的可能情景。2012年党的十八大召开后,生态优先地位得以确立,绿色发展成为社会发展的主基调。政府在应对气候变化、推动绿色低碳发展等方面,采取一些积极有效措施,摒弃忽略生态环境保护而无节制追求经济社会快速发展思想观念,使得生态环境保护对经济发展的约束作用得以增强。经济发展目标设定逐渐适应生态系统承载能力与修复能力科学规律,其与绿色低碳发展能力建设水平间差距日趋收敛。中国生态文明建设进入崭新阶段,绿色低碳经济发展形势前后呈现显著差别。据此,该情境下各因素潜在变化率中间值,应被设定为党的十八大后近五年对应因素平均变化率。政策实施存在不确定性,各因素变化需要设定浮动空间。林伯强、邵帅等将中国整体层面经济增长、投资规模变化的浮动空间均设定为1%^[15](P66-78),鉴于各梯次省域组合经济增长、投资规模平稳性会弱于整体变化平稳性,各梯次省域组合经济增长、投资规模变化率浮动空间需要提升至2个百分点,即中间值上下浮动2个百分点,获得经济增长、物质资本存量潜在变化率最大值和最小值。同时,借鉴上述文献将碳排放强度变化率的浮动空间设定为0.2个百分点,以此获得碳排放强度潜在变化率最大值和最小值;林伯强将能耗强度指标的浮动空间设定为0.3-0.5个百分点^[16](P66-79),能耗强度浮动空间取其平均值,即中间值上下浮动0.4个百分点,获得能源消费强度潜在变化率最大值和最小值;朱民在不同情景下预测我国工业部门结构的降幅为2-4.2个百分点^[17](P149-171)。可见,产业结构上下变动浮动空间约为1个百分点,即中间值上下浮动1个百分点,获得产业结构潜在变化率最大值和最小值。由于长期以来中国能源消费结构调整难度较大,各梯次省域组合年均变化率均不超过1个百分点,相应浮动空间也必然较低。因此,能源消费结构潜在变化率浮动空间被设定为0.1个百分点,即中间值上下浮动0.1个百分点,获得能源消费结构潜在变化率最大值和最小值。朱沛华验证中国制造业全要素生产率估算误差为0.0082^[18](P24-42),即中间值上下浮动0.4个百分点,获得全要素生产率潜在变化率最大值和最小值。孙金山估算2018-2035年我国劳动力资本年增长率为1.38-2.37%^[19](P127-137),劳动力资本潜在变化率浮动空间被设定为0.5个百分点,即中间值上下浮动0.5个百分点,获得劳动力资本总量潜在变化率最大值和最小值。最后,经济发展子系统中能源消费总量潜在变化率设定方法同基线情景相似,需要依靠碳排放子系统估算获得^②。

3. 强化绿色发展情景。近年来,我国碳排放总量仍呈现上升趋势,这说明绿色发展情景未能彻底扭转基线情景中碳排放持续攀升的趋势。究其原因,绿色发展情景下的碳排放强度、能源投入产出效率等关乎绿色低碳发展能力建设的指标改善程度有限。为此,强化绿色发展情景应着力于提升绿色低碳发展能力建设。碳排放强度、能源消费结构、能源消费强度等相关指标改善具有复杂性与长期性特征。加强绿色发展情景,需要按照“碳排放弱约束弱激励、低速经济增长”向“碳排放强约束强激励、高质量经济增长”转变的总体思路,并结合绿色发展情景中相关因素潜在变化率浮动空间分析,确定相应因素潜在

① 受篇幅所限,基线情景下各因素的潜在年均变化率参数不在文中展示,读者可向作者索取。鉴于2020、2021年碳排放核算所需数据可得性有限,2020年碳排放相关参数中,仅经济产出总量及产业结构变化率可直接采用统计数据计算获得,其它三个因素则需要根据各梯次省域组合相关指标近5年平均变化趋势估算获得。2021年碳排放相关参数被并入“十四五”阶段进行整体估算。

② 受篇幅所限,绿色情景下各因素的潜在年均变化率参数不在文中展示,读者可向作者索取。

变化率浮动区间,以及各阶段间递减与递增标准^①。在碳排放子系统中,经济产出总量潜在变化率,需要基于各省域“十四五”经济增长目标与绿色低碳发展能力建设相关因素实际水平进行设定,从而促使经济产出总量变化率与绿色低碳发展能力建设水平变化率间呈现收敛趋势。例如,第一、第二梯次省域组合绿色低碳能力建设水平较高,经济增长率随着绿色低碳发展能力水平提升而同步提升;而第三、第四、第五梯次省域组合绿色低碳发展能力建设水平较低,只有经济增长速度放缓、绿色低碳发展能力建设提速,促使两者变化率收敛,以期实现同步增长,才能满足可持续发展需求。模拟结果显示,经济发展子系统的预测模拟结果均在碳排放子系统中经济产出总量潜在变化率设定范围内,从而印证该因素潜在变化率设定的合理性。最终,强化绿色发展情景下,各因素的潜在年均变化率设定结果如表2所示^②。

表2 强化绿色发展情景下生产侧第一、三梯次省域组合各因素的潜在年均变化率

从属系统	第一梯次	2021-2025			2026-2030			2031-2035		
		最小值	中间值	最大值	最小值	中间值	最大值	最小值	中间值	最大值
经济发展子系统	地区生产总值(<i>gdp</i>)	0.035	0.055	0.075	0.055	0.075	0.095	0.055	0.075	0.095
	能源消费碳排放强度(<i>chsener</i>)	-0.019	-0.017	-0.015	-0.021	-0.019	-0.017	-0.022	-0.020	-0.018
	产业结构(<i>gdpstruc</i>)	-0.044	-0.034	-0.024	-0.054	-0.044	-0.034	-0.059	-0.049	-0.039
	能源投入产出效率(<i>etwgdp</i>)	-0.018	-0.014	-0.010	-0.022	-0.018	-0.014	-0.024	-0.020	-0.016
	能源结构(<i>enerstruc</i>)	-0.006	-0.005	-0.004	-0.007	-0.006	-0.005	-0.008	-0.0065	-0.006
碳排放子系统	全要素生产率(<i>tec</i>)	0.015	0.019	0.023	0.019	0.023	0.027	0.023	0.027	0.031
	物质资本存量(<i>inv</i>)	0.056	0.076	0.096	0.066	0.086	0.106	0.076	0.096	0.116
	人力资本存量(<i>edu</i>)	0.037	0.047	0.057	0.042	0.052	0.062	0.047	0.057	0.067
	能源消费总量(<i>ener</i>)	-0.029	0.005	0.039	-0.024	0.009	0.043	-0.031	0.002	0.036
从属系统	第三梯次	2021-2025			2026-2030			2031-2035		
		最小值	中间值	最大值	最小值	中间值	最大值	最小值	中间值	最大值
经济发展子系统	地区生产总值(<i>gdp</i>)	0.060	0.080	0.100	0.050	0.070	0.090	0.060	0.080	0.100
	能源消费碳排放强度(<i>chsener</i>)	-0.007	-0.005	-0.003	-0.009	-0.007	-0.005	-0.010	-0.008	-0.006
	产业结构(<i>gdpstruc</i>)	-0.038	-0.028	-0.018	-0.048	-0.038	-0.028	-0.053	-0.043	-0.033
	能源投入产出效率(<i>etwgdp</i>)	-0.024	-0.020	-0.016	-0.028	-0.024	-0.020	-0.030	-0.026	-0.022
	能源结构(<i>enerstruc</i>)	-0.008	-0.007	-0.006	-0.009	-0.008	-0.007	-0.010	-0.0085	-0.008
碳排放子系统	全要素生产率(<i>tec</i>)	0.028	0.032	0.036	0.032	0.036	0.040	0.036	0.040	0.044
	物质资本存量(<i>inv</i>)	0.061	0.081	0.101	0.071	0.091	0.111	0.081	0.101	0.121
	人力资本存量(<i>edu</i>)	0.008	0.018	0.028	0.013	0.023	0.033	0.018	0.028	0.038
	能源消费总量(<i>ener</i>)	-0.005	0.029	0.063	-0.028	0.005	0.038	-0.026	0.007	0.040

注:表格所展示的蒙特卡洛模拟所需参数是根据上述情景设计与模拟思路设定的。

基于上述三种情景中各因素潜在变化率设定,按照取值区间三角形概率分布合理假定^[20](P8263-8272),我们分别对相应因素潜在年均变化率进行随机取值,从而突破传统特定取值范式,增强结果模拟仿真能力,并在随机取值的基础上,利用Matlab软件,结合演变关系模型(10)(11)(12),采用蒙特卡洛模拟技术分别对三种情景碳排放总量、经济产出总量、能源消费总量未来变化趋势进行1万次模拟,最终获

① 鉴于碳排放子系统中绿色低碳发展能力建设相关因素属于递减改善,受到改进空间制约,“十六五”(2031-2035年)较“十五五”(2026-2030年)阶段,各梯次相关因素潜在变化率按照浮动空间减半递减。

② 受篇幅所限,文章仅展示加强绿色发展情景生产侧中第一与第三梯次各因素潜在变化率,其余梯次参数可向作者索取。

得所有可能结果及概率分布。

(二) 中国省域差异化碳达峰路径动态模拟结果

上述三种不同情景下各梯次省域组合碳排放、经济增长、能源消费演化趋势图绘制如图2至图9所示^①,纵坐标为概率,横坐标为各概率对应的排放量。模拟演变结果显示,基线情景下,各梯次省域组合概率最大碳排放均呈现快速上升演化趋势,如图2所示。绿色发展情景下,除第一梯次省域组合概率最大碳排放呈现下降的演化趋势外,其余梯次省域组合概率最大碳排放的演化趋势与图3所示该情景下第二梯次省域组合概率最大碳排放演化趋势相似,均呈现上升趋势。故在两类情景下,中国碳排放总量极有可能始终呈现上升趋势,无法实现2030年碳达峰目标。

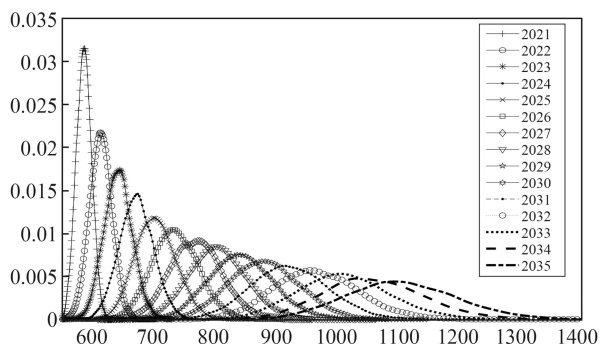


图2 基线情景第一梯次碳排放演化趋势

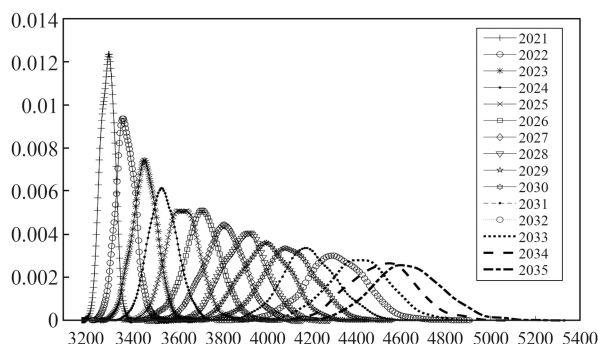


图3 绿色发展情景第二梯次碳排放演化趋势

因此,研究重点是强化绿色发展情景下碳排放、经济增长、能源消费演变路径。限于篇幅,本文仅针对强化绿色发展情景下,生产侧第一梯次与第三梯次省域组合碳排放演化趋势图进行阐释。其中,第一梯次省域组合概率最大碳排放演化趋势如图4所示。在强化绿色发展情景中,第一梯次省域组合碳排放总量极有可能在2021-2035年间呈现持续下降趋势,且下降速度明显快于前两个情景。2021年碳排放范围为5.32-5.68亿吨,概率最大碳排放为5.50亿吨。至2035年,碳排放范围为3.71-4.73亿吨,概率最大碳排放为4.11亿吨,碳排放未来年均下降率约为0.8%-1.4%。

强化绿色发展情景下生产侧第三梯次省域组合碳排放演化趋势如图5所示。同样,在强化绿色发展情景下,第三梯次省域组合碳排放总量极有可能在2025年左右达到峰值,随后呈现显著下降趋势。其它演化趋势图分析方法相似,不再赘述。

事实上,在此类情景下,第一至第五梯次省域组合碳排放总量极有可能分别在2012、2021、2025、

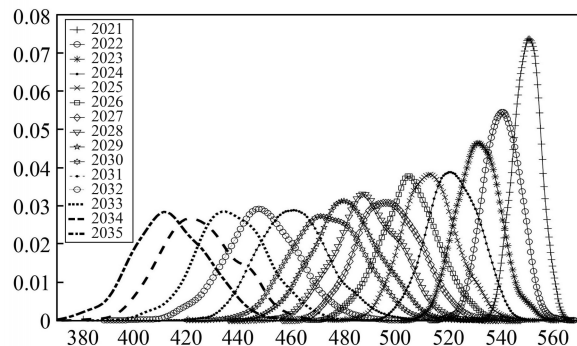


图4 强化绿色发展情景第一梯次碳排放演化趋势

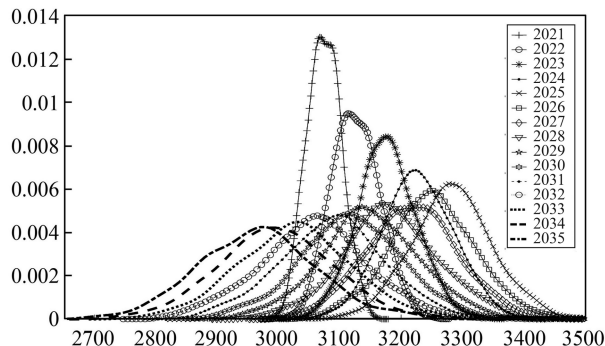


图5 强化绿色发展情景第三梯次碳排放演化趋势

^① 相关演化趋势图共72幅,限于篇幅无法逐一展示,读者可向作者索取。

2029、2031年前后呈现下降趋势,经济产出总量、能源消费总量演化趋势均大概率呈现持续上升,其中概率最大能源消费总量上升速度明显低于前两类情景,而概率最大经济产出总量上升速度介于基线情景与绿色发展情景之间。这表明,绿色低碳发展能力建设政策措施的制定落实,应考虑各梯次省域经济社会发展特点,并将降低能源消费强度、碳排放强度等作为重点任务,进而才能够有效降低碳达峰目标对经济增长速度的锁定效应,促使经济向高质量发展转型,推动碳达峰与现代化双目标得以协同实现,使得生态环境保护与经济发展实现共赢。

本文根据蒙特卡洛模拟识别相关演化路径的概率分布情况,绘制生产侧碳排放总量最大概率演化路径,如图6所示^①,以此呈现强化绿色发展情景下的碳排放总量、经济产出总量、能源消费总量未来变化趋势。可见,在强化绿色发展情景下,能源消费强度、碳排放强度得以降低,绿色低碳发展能力建设水平得以加快提升。此类情景极有可能促使第一至第五梯次省域组合碳排放总量分别在2012、2022、2025、2029、2031年依次达峰。中国整体层面大概率在2028年左右实现碳达峰,预计年碳排放量较目前增长0.08-0.1倍,峰值为108-120亿吨,碳排放总量增长速度得到全面控制。总体而言,在强化绿色发展情景下,虽然个体层面绝对碳达峰可能会延迟至2031年左右,但是我国整体层面在2028年便实现相对动态碳达峰,即能够在2030前实现碳达峰目标。

强化绿色发展情景下,能源消费总量最大化概率演化路径如图7所示。观察可知,探索更为有效的政策措施,促使绿色低碳发展能力建设水平加快提升,能够提高能源投入产出效率。各梯次概率最大能源消费总量增长趋势较前两类情景降至最低,呈现超低速增长,至2035年预计概率最大能源消费总量较目前增长近0.2倍,达到60亿吨标准煤,我国能源安全、经济安全、生态安全得到有效保障。

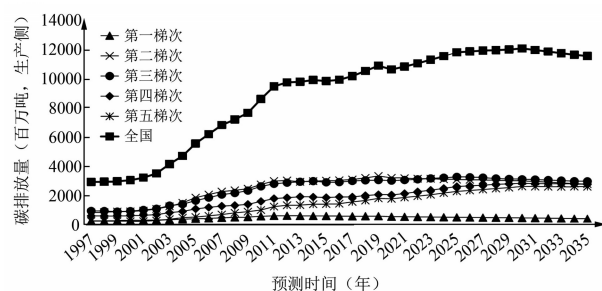


图6 强化绿色发展情景碳排放概率最大演化路径

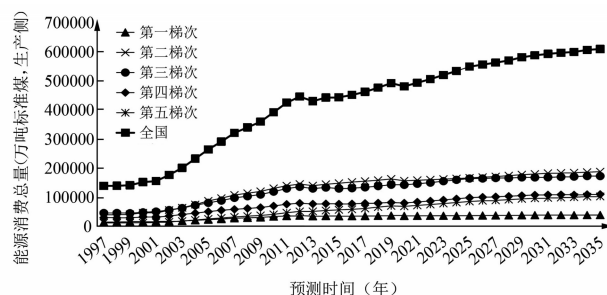


图7 强化绿色发展情景能源消费概率最大演化路径

强化绿色发展情景下,人均经济产出总量最大概率演化路径如图8所示。至2035年,除第四梯次省域组合概率最大人均GDP接近1.9万美元外,其余梯次省域概率最大人均GDP均超过2万美元,全国概率最大人均GDP约达到3.3万美元,除少部分落后地区外,大部分省域经济社会发展达到中等发达国家水平。绿色低碳发展能力建设水平的提升,能够加快提升能源投入产出效率,降低碳排放强度,增强经济社会可持续发展能力,进而从根本上弱化碳排放对经济增长速度锁定效应,有效降低碳排放总量反弹风险,推动经济社会向高质量发展。

综上,在强化绿色发展情景下,碳达峰的重点任务是加快区域绿色低碳发展能力建设,并深入到经济社会发展原动力的内核进行改造。以此促进经济向高质量发展转型,提升能源投入产出效率,降低碳排放强度,从根本上解决碳减排与经济发展之间内在矛盾。该情景下,年碳排放总量极有可能在2030年前达峰,经济社会发展速度也能够保持较高水平,生态系统与社会经济系统实现融合发展。

（三）中国省域差异化碳达峰路径特征对比分析

通过对以上三个情景比较分析可以发现,以基线情景为代表的“碳排放弱约束弱激励、高速经济

^① 受篇幅所限,此处仅展示加强情景下生产侧排放总量、经济产出总量、能源消费总量最大化概率演化路径。

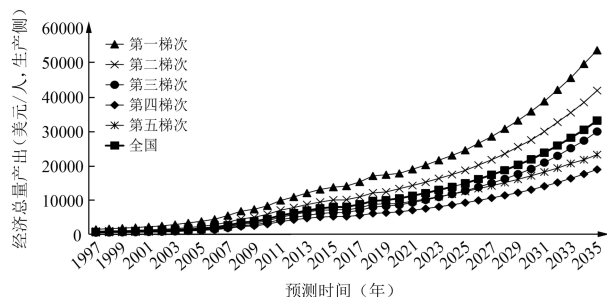


图8 强化绿色发展情景经济产出总量概率最大演化路径

增长”

发展模式,将会对生态系统施加过重负担,促使年碳排放总量迅速上升,导致生态环境恶化、气候环境被严重破坏,使得生态系统与社会经济系统面临较大崩溃风险,无法推动碳达峰与基本现代化双目标协同实现;以绿色发展情景为代表的“碳排放约束弱激励、低速经济增长”发展模式,相较于前一情景,能够在一定程度上减缓年碳排放量快速上升趋势。然而,过度依赖节约战略,会导致经济长期

处于低速增长,使得社会发展付出巨大的经济成本,也埋下碳排放反弹的风险隐患。该情景下,绿色低碳发展能力建设速度过慢,碳排放与经济增长之间内在冲突无法从根本上得到解决,不是实现碳达峰的可行路径;以强化绿色发展情景为代表的“碳排放强约束强激励、高质量经济增长”发展模式,相较于前两类情景,能够显著降低碳排放增长速度,逐步推动经济社会向高质量发展转型,促使碳达峰与基本现代化目标协同实现。原因在于,此类情景明确将绿色低碳能力建设作为实现碳达峰目标政策着力点,通过优化经济社会发展驱动力结构,提升能源投入产出效率,弱化经济增长对固定资产、能源消费等传统资源性动能依赖。同时,通过优化能源消费结构、调整产业结构、降低碳排放强度等方面,显著降低碳排放与能源消费相关程度,从而弱化碳达峰目标对经济增长锁定效应。随着绿色低碳发展能力增强,适应其经济增长速度阈值逐步提升,最终使得碳达峰与基本现代化目标得以协同实现。

综上所述,只有在强化绿色发展情景下,才能够实现碳达峰目标。基于此类情景模拟结果,整理中国省域差异化碳达峰路径特征,如表3所示。就碳维度而言,经梯次间对比发现,碳达峰时间、碳排放空间均会随着碳达峰梯次延后而增加,除内蒙古、新疆、陕西可能会推迟1-2年达峰外,其余省域极有可能提前或者按时实现2030年碳达峰目标。两侧数据省域演化模拟对比分析显示,除上海达峰时间差异较大外,其余省域达峰时间一致或相近。然而,多数省域碳排放峰值以及碳排放空间相差较大,这种差异波动幅度随着各省域两侧碳排放数据增大而扩大;就能源维度与经济维度而言,大部分省域能源消费总量实现低速增长,至2035年,除黑龙江、广西、贵州、甘肃人均GDP未能达到2万美元外,其余省域人均GDP均超过2万美元。两侧数据省域演化模拟对比分析显示,能源消费总量、人均GDP演化趋势高度相似。通过对第一、第二达峰梯次的分析发现,两侧碳排放数据差异引致省域碳达峰梯次划分结果变动。相比于生产侧,基于消费侧碳排放数据制定的碳达峰路径方案中,第一梯次能源消费总量与人均GDP呈现下降趋势,而第二梯次能源消费总量与人均GDP呈现上升趋势,两梯次能源消费总量与人均GDP演化路径显著收敛。基于消费侧碳排放数据制定碳达峰路径方案,能够通过合理优化区域间碳排放权益配置,促使区域间经济发展水平更加收敛,有助于碳达峰过程中区域公正转型^①。从全国整体情况来看,基于消费侧碳排放数据制定中国省域差异化碳达峰路径方案,能够在碳排放总量峰值降低的前提下,允许更多的能源消费,从而提升人均总产值;并能够弱化碳达峰目标对能源消费与人均GDP增长锁定效应,拓宽能源消费总量阈值,助力经济增长速度进一步提升,实现共同富裕。由此可见,相似政策措施制定思路下,相比于生产侧碳排放数据,基于消费侧碳排放数据进行碳达峰路径方案设计,有助于保障区域间能源消费、经济增长、碳排放的公正性与效率性,助力各区域发展公正转型,更有利于缩减区域贫富差距,增强经济社会发展内生动力,实现碳排放总量峰值降低,弱化能源消费与碳排放内在强关联,解绑碳减排对经济增长束缚。

① 篇幅所限,本文并未对省域碳达峰梯次进行更加详细的划分。若进行更加详细的碳达峰梯次划分,各梯次能源消费总量、人均GDP演化趋势均会呈现收敛趋势。

表3 中国省域差异化碳达峰路径特征

梯队	省域	碳维度特征						能源维度特征		经济维度特征	
		碳达峰时间 (年)		碳达峰峰值 (百万吨)		碳排放空间 (百万吨, 2021年为基期)		能源消费总量 (万吨标准煤,2035年)		人均总产值 (美元,2035年)	
		生产侧	消费侧	生产侧	消费侧	生产侧	消费侧	生产侧	消费侧	生产侧	消费侧
第一梯队	北京	2010	2012	105	157	0	0	7749	7510	72083	72798
	天津	2012	2013	160	224	0	0	8677	8409	44379	44819
	重庆	2012	2011	171	177	0	0	9359	9070	34053	34391
	上海*	2013	—	160	—	0	—	12315	—	67984	—
	总计	2012	2013	625	521	0	0	38100	24990	53679	48922
第二梯队	上海*	—	2022	—	246	—	36	—	13777	—	71070
	江苏	2022	2022	804	772	36	47	37524	38314	55188	55364
	浙江	2022	2022	388	440	24	27	25834	26378	45498	45643
	福建	2022	2022	278	256	12	16	15826	16159	48056	48209
	山东	2023	2023	937	1014	42	63	47750	48756	32766	32870
	湖北	2023	2023	354	294	15	17	19977	20398	34441	34551
	广东	2022	2022	585	609	26	37	39389	40218	39960	40088
	总计	2023	2023	3341	3611	155	244	186300	204000	41928	43501
第三梯队	山西	2026	2026	605	452	38	21	25224	25224	25524	25524
	辽宁	2025	2025	570	563	36	27	28719	28719	29786	29786
	安徽	2025	2025	436	332	28	15	16772	16772	31973	31973
	江西	2025	2025	259	231	17	11	11687	11687	28689	28689
	河南	2025	2025	492	488	31	23	26966	26966	27918	27918
	湖南	2025	2024	332	330	21	15	19349	19349	31730	31730
	海南	2024	2024	46	42	3	2	2738	2738	27587	27587
	四川	2024	2024	357	325	42	104	25142	25142	29297	29297
	云南	2025	2024	221	170	35	62	14702	14702	26206	26206
	总计	2025	2025	3279	2785	251	280	171300	171300	29993	29993
第四梯队	河北	2029	2029	1257	968	309	166	43822	43822	20170	20170
	吉林	2029	2029	280	245	69	42	9603	9603	21338	21338
	黑龙江	2029	2029	382	366	94	62	15638	15638	17962	17962
	广西	2030	2030	339	253	83	43	15175	15175	18356	18356
	贵州	2030	2030	359	252	88	42	14035	14035	19213	19213
	甘肃	2030	2030	226	167	56	28	10527	10527	14991	14991
	总计	2029	2029	2844	2254	699	383	108800	108800	18943	18943
第五梯队	内蒙古	2032	2031	1152	967	331	276	37178	37178	26833	26833
	陕西	2031	2030	429	380	123	109	19770	19770	24588	24588
	青海	2030	2030	75	66	21	19	6212	6212	18828	18828
	宁夏	2030	2030	308	244	88	69	11218	11218	20197	20197
	新疆	2031	2031	661	641	190	183	27122	27122	19787	19787
	总计	2031	2031	2626	2300	753	656	101500	101500	23260	23260
全国		2028	2028	12060	10823	1858	1562	606000	610590	33188	33311

注: *表示基于生产侧与消费侧碳排放数据,梯次分组结果不同的省域。

四、研究结论与政策建议

本文考虑省域生产侧与消费侧碳排放数据差异,基于两套碳排放数据,并结合相关经济统计数据进行对比研究。首先,利用MK趋势分析、Tapio 碳脱钩指数等方法,对省域碳达峰状态进行双维度多指标

综合研判,按照碳达峰难易程度与时间次序,判别各省域碳达峰梯次。其次,采用改进的Kaya恒等式与拓展的三要素经济增长模型,构建“碳排放—能源消费—经济增长”系统分析实证模型,并借助蒙特卡洛模拟对各梯次省域组合碳排放、能源消费、经济发展演化趋势进行动态情景预测,进而获得省域差异化碳达峰路径。据此,我们得出以下研究结论,并提出相应的政策建议。

(一) 研究结论

本文运用碳排放驱动因素分解方法与经济增长理论,构建中国省域差异化碳达峰路径逻辑分析架构,对中国省域碳达峰梯次划分与差异化排放路径进行理论分析及实证检验,研究发现:

第一,就梯次判别而言,根据碳排放与经济发展双维度多指标综合研判,各地区实现碳达峰目标难易程度不同,时间有先后。基于此,中国大陆(除西藏外)30个省域可被划分为基本实现、提前实现、较提前实现、准时实现、可能推迟实现5个碳达峰梯次。相较于生产侧碳排放数据,基于消费侧碳排放数据梯次划分结果,除上海需要由第一梯次调整至第二达峰梯次外,其余省域梯次分组结果相同。

第二,就碳达峰路径演化模拟而言,长期以来我国采取“碳排放弱约束弱激励、高速经济增长”的发展模式,是造成碳排放总量持续快速攀升的关键。近年采取的“碳排放弱约束弱激励、低速经济增长”发展模式能在一定程度上缓解碳排放持续快速攀升的趋势,但仍无法满足碳达峰目标内在要求,相关施政方针制定与调整具有较大改善空间。未来必须采用“碳排放强约束强激励、高质量经济增长”发展模式,提升适配绿色低碳发展能力水平的经济增速阈值,推动经济向高质量发展转变,促使经济增长对碳排放脱钩,才能推进碳达峰与基本现代化目标协同实现。在强化绿色发展情景下,除内蒙古、新疆、陕西可能会较全国晚1-2年达峰,其余省域极有可能提前或者按时实现2030年碳达峰目标,全国极有可能在2028年实现碳达峰目标。至2035年,除黑龙江、广西、贵州、甘肃人均GDP大概率未能达到2万美元外,其余省域人均GDP大概率均超过2万美元,全国人均GDP极有可能超过3万美元,基本实现现代化目标。

第三,就两侧数据对比分析而言,相似政策措施制定思路下,相比于生产侧碳排放数据,基于消费侧碳排放数据进行碳达峰路径方案设计,有益于区域发展公正转型,缩减贫富差距,实现共同富裕。从而提高各地区参与碳达峰的积极性与主观能动性,降低碳排放总量峰值,弱化能源消费与碳排放间的内在强关联,解绑碳减排对经济增长的束缚,加快碳减排速度的同时,实现更快速、更高质量的发展。

(二) 政策建议

基于上述研究结论,未来我国政府应以科学的系统观念推进碳达峰工作,并将完善碳排放统计核算体系与提升绿色低碳发展能力作为相关工作的重心,从而统筹各地区梯次有序地协同实现碳达峰与现代化双目标:

第一,碳达峰过程中的经济社会发展表现应该受到关注。碳排放不仅能够直接对生态系统气候调节支持功能施加负担,而且能够通过能源消费传导,对经济社会发展产生重要间接影响。碳达峰是一场关乎生态安全、经济安全、能源安全广泛而深刻的系统性变革。因此,碳达峰过程中不能仅考虑碳排放单一维度,还需要关注碳达峰过程中对经济社会发展可能产生影响,碳达峰方案制定也应充分考虑经济社会系统碳减排耐受能力。同时,我国也要紧抓机遇,加快经济社会向高质量发展转型,提高经济社会系统对碳减排耐受能力,绝不能允许碳减排目标超过这一阈值,从而避免经济社会系统出现崩溃风险。

第二,绿色低碳发展能力建设是中国省域差异化碳达峰路径相关政策措施制定的重要抓手。绿色低碳发展能力提升来自两个方面:一是以经济发展子系统中物质资本存量、人力资本存量、能源消费总量、全要素生产率等为代表的经济增长驱动力结构改善;二是以碳排放子系统中产业结构、能源消费结构、能源投入产出效率等为代表的碳减排驱动力结构改善。自从将能源强度控制目标纳入“十一五”规划以来,我国坚持不断优化碳排放目标管理科学办法,前后经历由能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变,构建较为有效碳排放调控机制。党的十八大召开以前,我国设定并完成能耗“双控”目标,极大提升了能源投入产出效率,单位碳排放对经济增长助推能力显著增强,从而实现了经济增长对碳排放相

对脱钩。党的十八大以来,我国采取供给侧改革等措施,有效促进经济由高速增长向高质量增长转变,碳排放增速显著下降,部分地区经济增长开始显现出对碳排放绝对脱钩。未来我国只有继续坚持采取“碳排放强约束强激励、高质量经济增长”发展模式,着力资源配置效率制度与组织管理方式创新,引领物质资本、人力资本、能源资源等投入要素不断提质增效,推动经济高质量发展。坚持能耗“双控”向碳排放“双控”转变的政策导向,重点推动用能设备高效清洁化升级,助力能源产业清洁低碳转型,持续优化产业结构,加快绿色低碳发展能力建设,不断推动经济增长对碳排放绝对脱钩,才能在碳达峰目标引领下实现经济社会高质量快速发展。

第三,加快消费侧碳排放统计核算体系构建有助于推动碳达峰过程中区域公正转型。基于生产侧碳排放数据的政策设计,会高估内蒙古、陕西、新疆等能源输出型地区实际能源消费碳排放,而低估北京、上海、天津等能源输入型地区实际能源消费碳排放,促使碳达峰相关政策措施制定实施利好向能源输入型地区倾斜,造成省际间碳排放责任划分不公平的现象,损害区域参与碳达峰积极性与主观能动性。基于消费侧碳排放数据的政策设计,遵循“谁消费、谁负责”的原则,将碳排放定位于实际消费区域,减弱外部性对碳达峰公平与效率影响,从而能够制定切实合理碳达峰路径方案,有助于更加有效地解除碳排放对能源消费与经济增长锁定效应,并且能够使得经济社会在碳排放更快速降低前提下,实现更快速高质量发展。同时,此类政策设计也能促进区域间经济社会发展水平差距收敛,助力实现共同富裕。

参考文献

- [1] 学习贯彻中央经济工作会议精神(2020年). 中国共产党网, 2020-12-20.[2023-01-09]<https://www.12371.cn/2020/12/20/ARTI1608428111576779.shtml>.
- [2] 庄贵阳,周宏春,郭萍等.“双碳”目标与区域经济发展. 区域经济评论, 2022, (1).
- [3] 邵帅,张曦,赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径: 广义迪氏指数分解和动态情景分析. 中国工业经济, 2017, (3).
- [4] 庄贵阳,魏鸣昕. 城市引领碳达峰、碳中和的理论和路径. 中国人口·资源与环境, 2021, (9).
- [5] Min Wang, Peng Wang, Liang Wu, et al. Criteria for Assessing Carbon Emissions Peaks at Provincial Level in China. *Advances in Climate Change Research*, 2021, 13.
- [6] 洪竞科,李沅潮,蔡伟光. 多情景视角下的中国碳达峰路径模拟——基于RICE-LEAP模型. 资源科学, 2021, (4).
- [7] Babak Mousavi, Neil Stephen A. Lopez, Jose Bienvenido Manuel Biona, et al. Driving Forces of Iran's CO₂ Emissions from Energy Consumption: An LMDI Decomposition Approach. *Applied Energy*, 2017, 206.
- [8] P. M. Romer. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5).
- [9] Kaya Yoichi. *Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*. Paris: IPCC, 1989.
- [10] 蒲志仲,刘新卫,毛程丝. 能源对中国工业化时期经济增长的贡献分析. 数量经济技术经济研究, 2015, (10).
- [11] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952-2000. 经济研究, 2004, (10).
- [12] 彭国华. 中国地区收入差距、全要素生产率及其收敛分析. 经济研究, 2005, (9).
- [13] Lin Boqiang, Ouyang Xiaoling. Analysis of Energy-related CO₂ (Carbon Dioxide) Emissions and Reduction Potential in the Chinese Non-metallic Mineral Products Industry. *Energy*, 2014, 68.
- [14] 郑石明. 政治周期、五年规划与环境污染——以工业二氧化硫排放为例. 政治学研究, 2016, (2).
- [15] 林伯强,刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略. 经济研究, 2010, (8).
- [16] 林伯强,王锋. 能源价格上涨对中国一般价格水平的影响. 经济研究, 2009, (12).
- [17] 朱民,张龙梅,彭道菊. 中国产业结构转型与潜在经济增长率. 中国社会科学, 2020, (11).
- [18] 朱沛华,陈林. 工业增加值与全要素生产率估计——基于中国制造业的拟蒙特卡洛实验. 中国工业经济, 2020, (7).
- [19] 孙金山,李钢,汪勇. 中国潜在增长率的估算: 人力资本变化的视角. 中国人口·资源与环境, 2021, (7).
- [20] Andrea Ramirez, Corry de Keizer, Jeroen P. Van der Sluijs, et al. Monte Carlo Analysis of Uncertainties in the Netherlands Greenhouse Gas Emission Inventory for 1990-2004. *Atmospheric Environment*, 2008, (35).

Tiered Division of Peak Carbon Emissions and Differentiated Emission Paths among Provinces in China

Based on the Dual Perspectives of Carbon Emissions and Economic Development

Wang Sibao, Zhuang Guiyang (Chinese Academy of Social Sciences)

Dou Xiaoming (University of Chinese Academy of Social Science)

Abstract Since China is to achieve peak carbon emissions by 2030 and basically realize socialist modernization by 2035, Chinese government urgently needs to improve the top-level design of peak carbon emissions, so as to guide all regions to achieve the dual goals of peak carbon dioxide emissions and socialist modernization in an orderly and collaborative manner. In view of this, this paper combines the decomposition method of carbon emission drivers and economic growth theory to construct a logical analysis framework for China's provincial differentiated carbon emissions. With the help of MK trend analysis, Monte Carlo simulation and other methods, the paper conducts a comparative analysis on tiered peak carbon emission and differentiated emission paths among provinces based on their respective macroeconomic data. The analysis reveals that: first, multi-indicators of the two dimensions of carbon emissions and economic determine that different regions may realize carbon peak targets with different levels of difficulty and different lengths of time for completion; the thirty provinces on mainland China (excluding Tibet) can therefore be categorized into 5 tiers in terms of peak carbon emissions: basic realization, realization in advance, relative realization in advance, realization on time, and possible delay; second, consumption side carbon emission accounting, rather than production side carbon emission accounting, facilitates the convergence of the evolution path of total energy consumption and per capital GDP among regions, and broadens the threshold of total energy consumption in the context of a reduced peak of total carbon emissions, so as to further accelerate economic growth; third, the key to successfully achieving the dual goals lies in strengthening the capacity for green and low-carbon development, and adopting the development model of "a strong incentive and constraints mechanism for carbon emission in pursuit of high-quality economic growth". In the future, the Chinese government should follow the principle of "who consumes, who assumes responsibility" accelerate the establishment and improvement of the carbon emission statistical accounting system, and take the construction of green and low carbon development capacity as an important part of the relevant policies of the provincial paths to carbon peak, so as to improve the economic growth threshold that is suitable for the regional green and low carbon development capacity, promote the decoupling of economic growth from carbon emissions, and facilitate the coordinated realization of the dual goals of carbon peak and modernization.

Key words peak carbon emissions; tiered division; carbon emissions; energy consumption; green low-carbon economy; climate governance; ecological protection

■ 收稿日期 2022-06-27

■ 作者简介 王思博,管理学博士,中国社会科学院生态文明研究所助理研究员;北京 100710;
庄贵阳(通讯作者),经济学博士,中国社会科学院生态文明研究所研究员;
窦晓铭,中国社会科学院大学生生态文明研究系博士研究生;北京 102401。

■ 责任编辑 李 媛