

基于2030年碳达峰目标的中国省域碳配额分配研究

王辰宁

(西安外国语大学经济金融学院, 西安 710100)

摘要: 基于2030年实现碳达峰目标,在现有相关政策基础上,应用Kaya碳排放量恒等式,结合中国“十四五”及远景规划等有关政策,运用情景分析法,对中国2030年碳排放总量进行估算。在总量的基础上,兼顾公平和效率两种原则,采用熵值法、零和收益数据包络分析(ZSG-DEA)对其进行实证检验,构建多指标体系下的各省碳排放配额分配方案。兼顾公平和效率两种原则的分配方案,有利于建立合理的跨地区碳排放配额分配机制,对推动中国跨省区协同减排战略,建立健全国家碳交易市场,实现2030年碳达峰目标,均有重要参考价值。

关键词: 碳达峰; 碳配额; 减排成本; ZSG-DEA模型

中图分类号: X511; F251.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)12-0300-08

二氧化碳等温室气体的过量排放会造成温室效应,是造成气候变化导致全球变暖的重要因素。中国作为发展中国家,但勇于承担碳减排责任,于2015年《巴黎协定》达成协议,提出“到2030年碳排放量比2005年减少60%~65%”;2020年,又在全球气候变化高峰论坛上提出“力争2030年达峰,力争2060年达到碳和”。随后,中共十九届五中全会、全国经济工作会议都对碳达峰、碳中和的相关工作进行了统筹安排,国务院发布了《2030年前碳达峰行动方案》,为推动各区域梯次有序实现碳达峰提供了行动方针与指南。科学合理的跨地区碳配额分配方案是中国实现碳减排目标的重要前提^[1],对于推动国家碳交易市场的有序构建具有重要意义。

碳排放问题是国际热门研究方向,而碳分配权分配原则和方法是其根本基础性问题。对此,国内外学者进行了大量研究,为中国2030年碳减排目标下的跨省区碳排放权配置模式提供了重要借鉴。但由于主要研究对象是针对国家区域等大范围主体,而对于省份间的碳分配方法上研究相对较少,分配过程中构建的指标体系与权重计算方式存在着一定的主观性,造成各种不同方案间碳配额分配结果存在较大差异^[2]。

基于单一分配方式会导致分配结果的极端化,无法为各减排主体所接受,限制了其在实际中的推广与应用。如以祖父制为基础的分配方式,偏向于发达区域,却抑制了其他区域减排的积极性。同

时,以“历史减排责任”为依据,处罚力度过大,导致“大污染区域”份额偏小,无法适应可持续发展需要,因此,在制定碳排放权配额方案时,应尽可能兼顾多个利益主体。另外,已有的研究多是以2020年碳排放强度较2005年降低40%~45%为基础,以2030年碳达峰为基准的研究成果较少,亟须建立一套兼顾公平性、有效性、可持续性和可操作性的碳配额配置机制^[3]。

数据包络分析(DEA)模型通过关注整个系统的效率来解决这个问题。DEA模型作为一种经典的效率优化方法,在二氧化碳减排中国内外研究者提出了各种修正与改进的DEA模型,为二氧化碳排放配额分配提供新思路^[4]。零和收益数据包络分析(ZSG-DEA)模型是在DEA模型的基础上,基于决策单元之间的合作或竞争对剩余资源进行再分配而发展起来的。改进迭代方法的ZSG-DEA模型,将公平原则引入效率导向模型,优化了各省份2030年的二氧化碳减排方案。DEA的机制优先考虑效率原则,这可能低估了其他原则的作用。此外,一些研究通过博弈论将合作减排作为分配的基础,博弈理论过于复杂,不适合中国省份层面的配置^[5]。

相比之下,非线性优化模型已成为另一种常见的方法,它尝试使用多目标决策方法进行资源分配^[6]。非线性优化模型及其约束条件的使用,特别是考虑基于公平原则的优化与效率原则。本文为

收稿日期: 2024-11-14

作者简介: 王辰宁(2000—),女,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为区域经济学、资源环境经济学。

构建更加兼顾公平和效率的二氧化碳排放配额分配方案。此外,随着越来越多的准则应用于多标准,大多数二氧化碳排放配额分配的非线性优化模型需要在定义和反映分配原则方面进行改进,而不是公平和效率原则。因此,将可行性原则与碳排放配额的多目标决策相结合,这对于减排政策的切实施行有重要意义,对实现中国 2030 年碳强度减排目标具有至关重要的现实意义。

考虑到多目标决策方法可以将分配原则转化为具有约束边界条件的具体数学模型,在此基础上,构建了一种兼顾公平性、效率的综合优化模型,对中国 2030 年中国碳减排量进行了研究。具体来说,分别基于公平、效率提出了两种分配方案。第一种分配方案基于公平原则。构建了一个综合指数,整合了不同的公平指标,包括人口、GDP、历史二氧化碳排放量和历史累计净二氧化碳排放量,其中历史累计净二氧化碳排放量是通过扣除植被的二氧化碳封存来计算的。基于这综合指标,采用熵值法将排放配额分配给全国各个省份。第二种分配方案从效率角度出发,采用 ZSG-DEA 模型求解各城市的碳排放量。在综合两种不同的解决方法后,本文进一步确定了符合实际情况的二氧化碳分配满意度。

总的来说,本文的贡献可以描述为:根据现行政策,预测 2030 年中国碳排放总量;选取全国 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)作为研究对象,分析其 2030 年二氧化碳排放配额分配情况;综合分析公平和效率原则,得出综合性省际碳排放分配方案。

1 研究设计

1.1 Kaya 恒等式

Kaya 恒等式以一种简单的数学表达式,从上到下将二氧化碳排放分解为四个与人类生产行为有关的因素^[7]。具有数学形式简单、分解无残差、对影响碳排放的驱动因子有较好的解释力的优势,被广泛应用于二氧化碳排放的量化研究中。Kaya 恒等式数学公式为

$$C = P \frac{G}{P} \frac{E}{G} \frac{C}{E} = p \times g \times e \times f \quad (1)$$

式中: P 为人口; G 为国内生产总值(GDP); E 为一次能源消耗量; C 为碳排放量。等式中间的三个系数,即 G/P 、 E/G 、 C/E ,为 Kaya 模型的自变量, G/P 为人均 GDP 产出,用 g 代替,人均 GDP 水平是衡量一个国家宏观经济活动状态的重要指标; E/G 为

单位产出的一次能源能耗,用 e 代替,代表着能源的效率; C/E 为能源的碳强度,用 f 代替,表示在一定时间内单位能源的二氧化碳排放量,该值也可以用于衡量清洁能源的占比,低碳清洁能源的比例越高,系数值越低。利用 Kaya 恒等式进行分析,可以看出二氧化碳排放量的变化是由人口、经济发展和能源消费模式的变化所驱动的。

1.2 情景设置

为了预测 2020—2030 年中国排放量的变化,文根据“双碳”目标和国家的相关经济、人口、能源政策和规划,将各解释变量的年均变化率设定为基线情景,以反映未来可能的变化趋势,具体情景设定如下。

1.2.1 人口

2019 年 1 月 3 日,中国社会科学院人口与劳动经济研究所和社会科学文献出版社联合出版了《人口与劳动绿皮书:第 19 期中国人口与劳动报告》(以下简称“绿皮书”)。绿皮书指出,21 世纪上半叶,中国人口变化将出现重大变动,中国人口首先保持增长,但增速逐渐下降,预计在 2029 达到 14.42 亿峰值人口;而从 2030 年进入人口负增长时代,将出现稳定的负增长,预计到 2050 年将下降到约 13.64 亿人。据此推算,2020—2029 年的年均人口增长率为 0.23%,2029—2050 年的年均人口增长率为 -0.26%,预计 2025 年人口为 14.29 亿人,2030 年人口为 14.38 亿人。

1.2.2 人均 GDP

根据《中共中央关于制定国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》(以下简称“建议”),到 2035 年,中国人均国内生产总值(GDP)将达到一般发达国家水平。国际组织普遍认为,一半发达国家的人均 GDP 标准为 20 000 美元^[8]。如果人均 GDP 在 2 万美元以上,中国将跨入发达国家行列;进一步细分,中等发达国家的人居 GDP 水平标准为 2 万~4 万美元;2021 年中国人均 GDP 约为 1.25 万美元,仍属于发展中国家行列。根据党的二十大报告,预计到 2035 年,实际人均国内生产总值将比 2020 年翻一番,达到中等发达国家水平。设定 2.5 万美元为目标值,2021 年 GDP 为 1.255 1 万亿美元,可以得出 2021—2035 年 GDP 平均增速为 5.03%。

1.2.3 能源强度

《中国能源展望 2060》报告指出,2030—2035 年,一次能源消耗将达峰值,达到 60.3 亿 t,2060 年将

减少到 56 亿 t。设定 2030 年中国能源消耗量达到峰值 60.3 亿吨标煤,可得能源消耗量增速 2021—2030 年为 1.572 5%,2030—2035 年能源增速为 -0.246 3%。

1.2.4 能源消费碳强度

2021 年 7 月, BP 公司发布了《BP 世界能源统计年鉴(2021 年版)》报告指出,2021 年中国非化石能源消耗占 15.67%;此外《中美气候变化联合声明》指出,到 2030 年,中国将在全球一次能源消耗中占到 20%,而《世界能源展望(2016 年版)》显示,中国在 2035 年将消耗 25% 的全球能源。假设煤炭、石油、天然气在 2030 年的比例保持不变^[9],则可以得出,在 2021—2030 年这 10 年里,能源消耗碳强度的年平均变化率约为 -0.6%,在 2026—2030 年期间,碳强度的年平均增速为 -0.62%。

1.3 预测结果

由式(1)可知,Kaya 模型计算需要设置 4 个参数,即常住人口、人均 GDP、能源强度、单位能源产出能耗系数。通过对该领域相关的指导性文件,如《建议》等政策进行分析,结合国家“双碳”目标下的碳排放总量控制目标以及双碳指标科学分解的实施机制的相关要求,综合考虑党的二十大报告中明确提出的,碳排放总量和强度双控的,充分调动各碳排放主题积极性,依据该区相关部门“十四五”规划和 2035 远景任务目标,设定参数,预测在 2020—2035 年期间碳排放量的变化趋势,预测结果如表 1 所示。

根据中国制定的 2030 年自主行动计划,二氧化碳排放总量将于 2030 年左右达到峰值,109.100 53 亿~124.686 3 亿 t 为目标,在总量增加的同时,单位国内生产总值对应的二氧化碳排放量将大幅下降,在 2030 年,单位国内生产总值对应的二氧化碳排放量将相较于 2021 年下降 30%,大大提升能源利用效率。以 2000 年为基准年,发现在现有政策约束下,中国碳排放总量在 2021—2030 年呈稳定增加趋势,且增率处于相对稳定状态,在 2030 年达到峰值 123.064 9 亿 t(处在目标区间内),然后在 2030—2035 五年内碳排放量稳定下降,如图 1 所示。且经过计算,能源强度大幅降低,从 2005 年的 3.442 3 下降至 1.359 0,下降率达 60.520 21%,实现碳达峰目标。

表 1 中国 2021—2030 年碳排放量预测

年份	CO ₂ /t	人口/万人
2021	112.950 8	141 260
2025	117.365 3	142 564.08

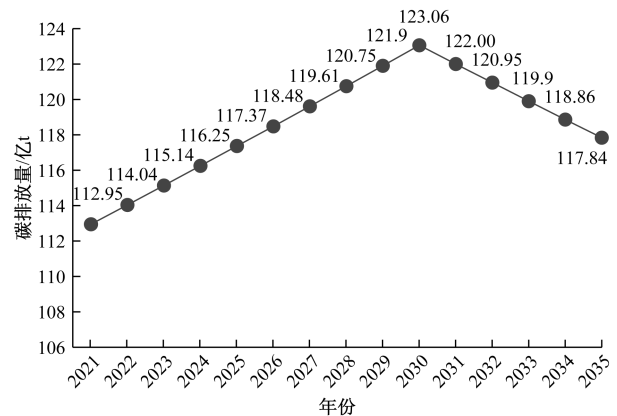


图 1 中国 2021—2030 年碳排放量

2 模型构建

2.1 公平性优先的多标准碳配额分配方案

参照以往文献对公平二氧化碳排放配额分配的解释,从公平原则的不同角度选取 3 个指标,包括人口、GDP、历史累计二氧化碳排放量,得出基于公平的分配案,如表 2 所示。用熵值法计算这 3 个指标的权重。参照 Kang 等^[10]的公式用梯形面积法计算的 2019—2030 年基于公平性的二氧化碳排放配额分配结果。

(1)数据标准化处理:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

$$X_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

式(2)为正向指标的标准化,式(3)为负向指标的标准化,为避免出现零值和负值,将标准化后的全部数据结果同时加上一个最小单位值 θ ,使其满足运算要求,选取 $\theta = 0.000 1$,得到 X'_{ij} 。

$$X'_{ij} = X_{ij} + \theta \quad (4)$$

(2)计算各指标权重:

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}} \quad (5)$$

表 2 熵值法公平原则指标

指标	标准	解释
人口(p_1)	平等主义	所有人都有平等的污染和免受污染的权利(+)
历史累计碳排放量(p_2)	祖父制	所有城市都有污染和保护的平等权利,2000—2021 年的污染计算(+)
GDP(p_3)	经济活动	反映分配应允许维持其生活水平(+)

(3)计算指标熵值:

$$D_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (6)$$

(4)求取指标熵冗余度:

$$G_j = 1 - D_j \quad (7)$$

(5)计算权重结果:

$$\omega_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^m G_j} \quad (8)$$

(6)综合发展水平指数测算:

$$U_j = \sum_{i=1}^m \omega_j X_{ij} \quad (9)$$

(7)将综合发展指数贾总求和,计算各个省份所占比例:

$$h_i = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^m U_i} \times 100\% \quad (10)$$

(8)在获得每个省份的综合指数后,计算每个省份应该分配的二氧化碳排放配额,表示为等式:

$$C_{fi} = h_i C_{2030} \quad (11)$$

式中: C_{fi} 为基于公平原则分配的省份二氧化碳排放配额; C_{2030} 是 2030 年中国的二氧化碳排放总量。

公平性的优化要求分配结果尽可能接近有约束的 C 。为此开发了二氧化碳排放分配的公平评估函数为

$$F_1 = \sum_{i=1}^n (C_i - C_{fi})^2 \quad (12)$$

2.2 效率性优先的多标准碳配额分配方案

根据碳排放量与 GDP 的联系可知,碳排放权在一定程度上影响着该区域的发展模式与经济,各区域在碳分配问题上处于竞争关系。因此,碳分配方案需要纳入区域协同发展的整体战略思维,充分考虑各排放主题的积极性和生产效率^[11]。近年来,零和 DEA 作为一种自由分配的方法被频繁讨论,Gomez 和 Lins 首次将零和 DEA 方法应用于碳排放权初始分配问题的研究,创建了碳分配的零和 DEA 模型(ZSG-DEA),ZSG-DEA 模型的思想可广泛应用于固定资源下的多主体分配问题,其基本假设为资源总量在整个系统中是固定且有限的,一个决策单元投入的增加会导致其他决策单元投入的减少,模型内存在多个影响因素作为变量,用于分析不同分配方式的结果影响^[12]。在 ZSG-DEA 模型用于解决基于效率原理的碳分配问题时,通常假定不必要的二氧化碳产量为投入要素,GDP、人口、投入资本等为产出要素,在碳分配总量一定的情况下,决策单元获得的 GDP、人口、

资本等越多,分配效率越高^[13]。

应用 ZSG-DEA 模型来寻找所有省份都处于 DEA 效率前沿时的最优二氧化碳排放量;通过对 ZSG 数据的分析可知,该模型并不维持 2030 年的二氧化碳排放总量,而是将多余的二氧化碳排放量在各省份之间重新分配,以达到最优分配结果。该模型被广泛应用于二氧化碳分配,包括将二氧化碳排放视为不理想结果^[14]。基于输入的 DEA 模型(其中二氧化碳排放变量为输入变量)被用来制定二氧化碳分配方案。使用基于输入的 ZSG-DEA 模型来确定每个城市的最佳二氧化碳排放量。能耗、劳动力和 GDP 是 3 个输出变量,二氧化碳排放量是一个输入变量。2030 年各地级市的初始二氧化碳排放量是通过增加 2017 年的二氧化碳排放量得到的。由于做的是 2030 年的排放分配,所以需要 2030 年各省份的二氧化碳排放总量。中国的减排目标是在 2030 年将碳强度比 2005 年降低 60%~65%,并假设 2030 年减排 60%的目标将会实现。各个省份 2030 年的二氧化碳排放总量(C_{2030})可计算为 $C_{2030} = (1 \sim 60\%) \times CI_{2005} \text{ GDP}_{2030}$,其中 CI_{2005} 为 2005 年的二氧化碳排放强度,GDP₂₀₃₀ 为 2030 年的 GDP。

构建投入导向的 ZSG-DEA 模型为

$$\begin{cases} \min \phi_0 \\ \sum_{i=1}^{30} \lambda_i C_{gi} \left[1 + \frac{C_0(1-\phi_0)}{\sum_{i \neq 0} C_{gi}} \right] \leq \phi_0 C_0 \\ \sum_{i=1}^{30} \lambda_i E_i \geq E_0 \\ \sum_{i=1}^{30} \lambda_i L_i \geq L_0 \\ \sum_{i=1}^{30} \lambda_i Y_i \geq Y_0 \\ \sum_{i=1}^{30} \lambda_i = 1 \\ \lambda_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 30 \end{cases} \quad (13)$$

式中: ϕ_0 为待评估 DMU 的效率值; C_0 、 Y_0 、 L_0 、 E_0 分别为被评估的 DMU 的对应变量的值; E_i 、 L_i 、 Y_i 分别为 2030 年能源消耗、劳动力和 GDP; λ 为第三产业部门的份额; C 为 2030 年 DMU 的实际二氧化碳排放量。

$$U = \begin{cases} \frac{C_i - C_i^{\min}}{C_j^{\max} - C_j^{\min}}, & C_i^{\max} < C_i < C_i^{\min} \\ 1, & C_i \geq C_i^{\max} \\ 0, & C_0 \leq C_i^{\min} \end{cases} \quad (14)$$

3 结果分析

3.1 公平性原则下分配结果

在已有研究成果基础上,拟从多个视角,选择人口、国内生产总值、历史累计净二氧化碳排放量3项指标,构建公平的二氧化碳配额分配机制^[4]。运用熵值方法,对3项指标进行加权。从表3中可以看出,GDP占了最大的比例,然后是人口,最后二氧化碳的历史累计占比最小。以人口为基础的基尼系数为0.115,低于0.2,说明在分配过程中存在着明显的公平性。Gpop (Gpop)是一种以人口为基础分配碳排放量的环境基尼系数(Gpop),参考Kang等^[10]的公式,采用梯形面积方法(2019),为公平原则下的2030年CO₂减排量配置结果在历史上,由于历史上的累计净碳排放所占比重最小,因此,国内生产总值、人口及历史二氧化碳排放量都比较高的区域,往往会拥有更多的二氧化碳排放配额。例如,广东、河南、河北、山东,这4个省份的碳排放量最大,合计超过了29.53%。

如图2所示碳排放量的范围从北京的70.99 Mt到山东的912.23 Mt。山东最高碳排放量以912.23 Mt位居首位,这可能与其经济总量大、工业发展程度高有关。北京的碳排放量最低为70.996 Mt,这可能与其作为首都,对环境质量要求更严格有关。河北(725.69 Mt)、江苏(721.85 Mt)、

河南(768.84 Mt)也是碳排放量较高的省份,这些地区经济较为发达,工业活动频繁。湖北(494.65 Mt)、湖南(447.21 Mt)、广东(708.33 Mt)等省份的碳排放量处于中等水平。海南(137.78 Mt)、宁夏(180.852 Mt)、青海(147.96 Mt)等省份的碳排放量相对较低。

总体从地理分布特点上看,东部沿海地区如广东、江苏、山东、浙江等省,由于经济发达,工业活动频繁,碳排放量普遍较高。西部地区如青海、宁夏、甘肃等,由于人口较少,经济发展水平相对较低,碳排放量较低。中部地区如河南、湖北、湖南等,碳排放量处于中等水平,显示中部地区在经济发展和工业活动中的碳排放情况。碳排放量的分配与地区的经济发展水平、人口数量和工业活动密切相关。通过平等主义原则分配碳排放量,可以更公平地反映各地区的碳排放责任。

这为制定区域性的减排策略提供了数据支持,有助于实现更有效的环境管理和可持续发展。

3.2 效率性原则下分配结果

基于效率原则,利用ZSG-DEA模型得出各省份的二氧化碳排放配额,描述每次分配的DEA效率变化。

表4描述了每个省份的初始二氧化碳排放和再分配结果。最初的二氧化碳排放量完全取决于每个城市的历史排放量。发现17个省份的二氧化碳排放配额增加。13个城市的二氧化碳排放配额有所下降。重新分配结果表明,广东的二氧化碳排放配额最大,为986 Mt,其次是山东(986 Mt)、江苏(827 Mt),而海南、青海、天津的二氧化碳排放配额最小,分别为68、83、168 Mt。

表3 二氧化碳排放分配方案的指标权重及公平性检验

原则	指标	权重/%
公平	人口	31.60
公平	历史积累排放量	31.60
公平	经济活动	31.60
人口基尼系数	人口基尼系数	0.115

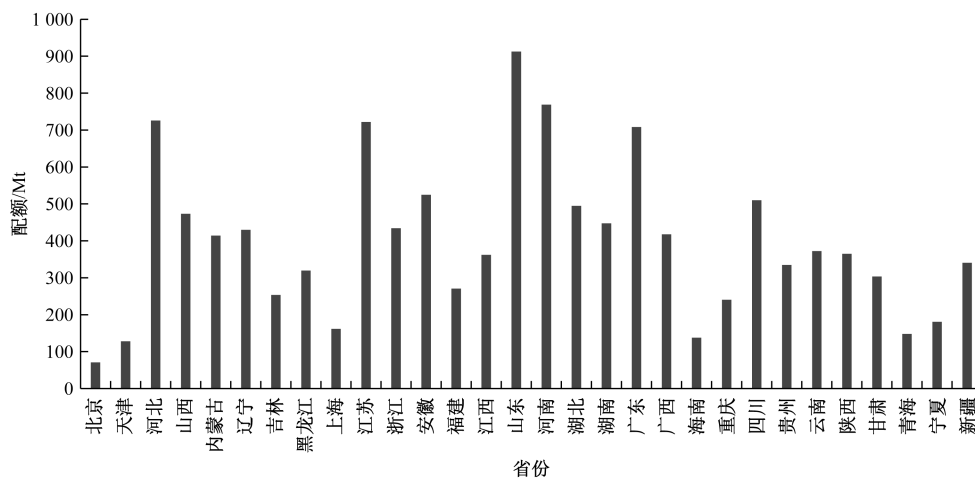


图2 公平原则下各省份碳排放配额

表 4 30 个省份的效率迭代和调整值

省份	2030 年碳排放量 (优化前)/Mt	ZSG-DEA 效率值			2030 年碳排放量 (优化后)/Mt	碳排放 调整额
		初始值	第 1 次迭代	第 2 次迭代		
北京	140.157 6	1.000 0	1.000 0	1.000 0	207.430 1	67.272 5
天津	191.387 6	0.598 1	0.858 8	0.985 5	168.345 3	-23.042 3
河北	988.348 3	0.500 3	0.819 7	0.982 5	701.248 0	-287.100 3
山西	634.892 2	0.453 0	0.782 8	0.977 2	413.361 1	-221.531 1
内蒙古	740.077 5	0.493 0	0.810 3	0.980 8	523.066 5	-217.011 0
辽宁	631.370 5	0.530 9	0.829 9	0.982 9	483.845 1	-147.525 4
吉林	275.373 2	0.447 1	0.770 5	0.974 4	179.953 1	-95.420 0
黑龙江	339.403 7	0.546 4	0.833 7	0.982 7	270.994 3	-68.409 4
上海	273.082 2	0.717 3	0.912 3	0.991 4	288.071 5	14.989 4
江苏	863.303 0	0.663 9	0.895 5	0.990 2	827.294 7	-36.008 3
浙江	495.922 1	0.862 5	0.962 7	0.996 5	629.429 8	133.507 7
安徽	431.020 5	0.671 3	0.894 7	0.989 7	423.146 8	-7.873 6
福建	290.744 1	0.884 7	0.969 0	0.997 1	379.612 1	88.868 0
江西	246.036 8	0.836 8	0.954 3	0.995 7	303.686 7	57.650 0
山东	1066.437 8	0.641 2	0.888 3	0.989 7	978.726 4	-87.711 4
河南	649.480 4	0.698 4	0.907 4	0.991 2	660.196 3	10.715 9
湖北	428.306 3	0.739 9	0.921 8	0.992 5	464.682 6	36.376 3
湖南	362.802 0	0.863 1	0.962 7	0.996 5	461.503 5	98.701 5
广东	684.929 1	0.974 2	0.993 6	0.999 4	986.069 6	301.140 5
广西	257.746 4	0.922 5	0.979 7	0.998 1	351.319 4	93.573 0
海南	46.039 4	1.000 0	1.000 0	1.000 0	68.137 2	22.097 9
重庆	197.604 6	0.795 5	0.940 5	0.994 3	231.867 3	34.262 8
四川	396.612 1	0.956 2	0.988 9	0.999 0	560.464 3	163.852 2
贵州	298.426 9	0.633 6	0.877 0	0.987 7	277.313 6	-21.113 3
云南	257.675 6	0.899 9	0.973 3	0.997 5	342.450 7	84.775 1
陕西	319.222 2	0.722 2	0.914 5	0.991 7	338.700 0	19.478 0
甘肃	191.282 0	0.688 5	0.900 1	0.990 1	193.942 5	2.660 4
青海	56.376 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	83.435 2	27.059 2
宁夏	180.544 9	0.578 1	0.848 5	0.984 2	153.502 6	-27.042 3
新疆	371.889 6	0.651 4	0.885 7	0.988 7	354.697 6	-17.191 9

图 3 为省份效率迭代雷达图,可看出中国各省份在碳排放效率方面的四个不同阶段的表现,这些阶段包括最初传统效率值以及经过 ZSG-DEA 模型三次迭代后的效值,大部分省份的最初效率值都低于 1,ZSG-DEA 模型的 17 个省份的分配效率低于平均初始分配效率 0.73。30 个省份中只有 3 个达到了 DEA 的边界。吉林的初始分配效率最低,为 0.45,表明在传统方法下,这些地区的碳排放效率有待提高。第一次重新分配后,30 个省份的 DEA 效率都在 0.77 以上,平均效率提高到 0.91,尽管没有其他省份达到最优 DEA 效率。随着第二次再分配的完成,平均效率达到 0.99,接近 DEA 前沿。最终带三次分配所有省份都获得了 1 的最优效率,显示模型在提升碳排放效率方面的显著效果和有效性。

最终计算结果显示,30 个省份的效率都有显著提高。其中,以北京为代表的区域,天津、上海、江苏、浙江、福建、广东,凭借着自身的经济和技术优

势,已经逼近了效率前沿,而中西部、西部地区则因技术落后,仍然有提高效率的空间。就最终的碳分配而言,广东因其规模较大、劳动力资本密度较高,江苏次之。中国东部、东南等经济发达的区域,如东部、东南地区等,也存在着巨大的经济需求,要提高减排效能,需要加大碳排放,河北、山西、内蒙古、黑龙江等落后省份的能源利用效率还远远落后于发达省份,因此,不能一味地追求经济增长增排,要提高减排效果需要进一步降低碳排放量。

同时,也要注意吸取国内试点省份和企业的实践经验,不断优化和完善中国的碳配额分配机制^[15]。

3.3 可行性分析

如图 4 所示,倾向公平原则的省份个数为 17。选择公平原则的省市可能更注重社会公平和公正,在资源分配或政策制定中,尽量保证每个省份在机会和权益上享有平等的地位。倾向效率原则的省份个数为 13,多为东部地区。效率原则强调的是在

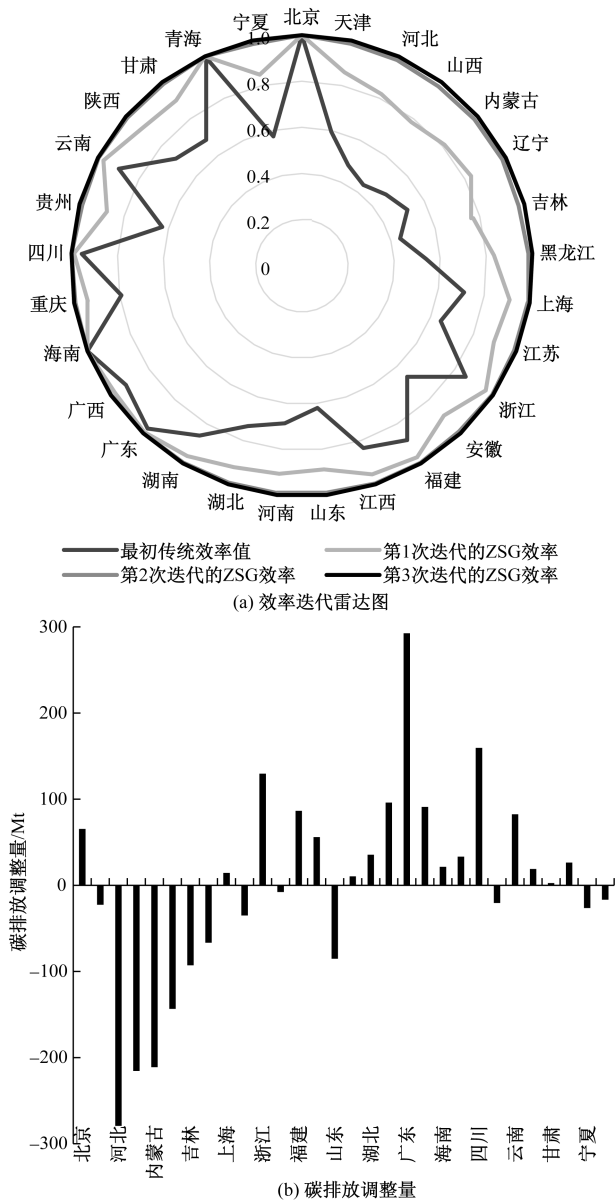


图 3 初始配置和再配置的 DEA 效率

资源分配或政策制定中,追求效率的最大化,即以最小的成本获得最大的效益。这种原则注重结果的优化和资源的有效利用。选择效率原则的省市可能更注重经济发展和资源的有效利用,希望通过提高效率来促进经济增长和社会进步。相对来说,公平原则可行性更高,在分配政策中选择中,仍然占据最主要的地位,同时,应当适当加入效率原则,刺激各地区的能源效率提升。

4 结论

本文将中国二氧化碳排放峰值为基础,在计算 2030 年中国二氧化碳排放峰值的基础上,结合各省历史排放数据,确定二氧化碳排放峰值最高的省市。其次,利用 DEA-BCC 模型估算各省份的初

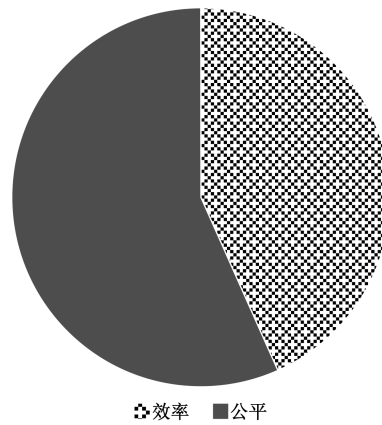


图 4 省份分配倾向

始分布格局。第一,利用零和竞争的数据聚合分析方法,对各省份的初始分配方案进行优化,得到区域二氧化碳排放的最优区域分配方案,实现区域经济效益最大化。根据对现有研究的总结发现,一是公平、效率,可行性这三种原则的综合指标能从多方面考量,为碳排放配额的分配提供依据;二是综合指标法可以综合各种指标,被广泛用于结合这四项原则;三是数据包络分析(DEA)作为碳排放效率评价的典型模型,被广泛应用于碳排放的有效分配。得出兼顾效率与公平的碳排放分配方案。

随着全球气候变化和碳减排目标的紧迫性日益增加,中国提出的 2030 年碳达峰目标引起了广泛关注。为了有效推进这一目标,制定合理的碳配额分配政策显得尤为重要。本文基于现有研究和政策实践,提出了以下政策建议,旨在促进公平、效率与责任相结合的碳配额分配机制^[16]。碳配额分配方案应对挑战的可能优化路径,平衡不同地区的经济利益建议如下。

由于区域经济发展水平、资源禀赋、产业结构、人口分布等方面存在明显的区域差异,应对挑战从效率角度出发的配额配置,意味着经济发展相对滞后的区域将承受更多的节能减排任务,从而对区域经济发展及社会福利水平产生不利影响。要实现区域间的协调,就必须对各个要素进行全面的考量,实行差异化的政策,同时要注意政策的协调与一体化,不能一味地追求区域利益,而忽略其他区域的利益。

在各个区域之间实现经济利益均衡的途径有以下几种,按照各个区域的特征与优势,制定差别化的发展政策,推动各个区域的特色工业发展,达到区域间的互补。比如,东部地区以制造、服务为主,西部地区以资源为主导,以生态旅游为主。金融和技术支

持:为中西部地区和企业提供金融和技术上的支持,帮助他们提升能源的使用效率,优化能源结构,推动它们的绿色、低碳工业和已有的高碳产业的低碳转型。多方参与:在制订碳排放配额分配方案时,要与各个区域的政府、企业、居民等进行充分的交流与磋商,充分理解各方面的需要和利益要求,寻找最大的共同效益,形成一致意见。建立平衡机制:成立一个独立的权衡机制,或者成立一个专门的仲裁组织来协调各区域间的利益冲突,并寻找折中的办法。强化区域合作:通过强化区域协作,促进区域间的互惠互利,促进区域一体化发展。

通过上述措施将对碳配额分配方案应对挑战,提供尽可能的优化路径,平衡不同地区的经济利益,为碳排放交易制度的制定和实现“双碳”目标提供一定的科学依据。

参考文献

- [1] 杜娟,潘盟,汪云峰. 基于成本优化的中国省际碳减排目标分配[J]. 中国管理科学, 2022, 30(7): 252-263.
- [2] 李江龙,韩蓉. 中国省际最优碳配额及减排成本研究——基于效率视角下的碳总量控制情景[J]. 环境经济研究, 2022, 7(3): 1-24.
- [3] 周迪,王文捷,陈梓佳. 基于配额指标重要性视角的中国碳排放配额再分配[J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5551-5560.
- [4] 谭显春,牛苗苗,顾佰和,等. 基于高质量发展视角的中国碳配额省级分配方案评价[J]. 气候变化研究进展, 2022, 19(1): 74-83.
- [5] 王丽娟,张剑,王雪松,等. 中国电力行业二氧化碳排放达峰路径研究[J]. 环境科学研究, 2022, 35(2): 329-338.
- [6] 江多. 新时代背景下煤炭绿色勘查技术体系研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(16): 211-212.
- [7] 吴军,李曼,徐广妹,等. 碳排放总量控制下行业间碳配额分配的博弈机制研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2020, 47(6): 115-120.
- [8] CAI W, YE P. A more scientific allocation scheme of carbon dioxide emissions allowances; the case from China [J]. Journal of Clean Prod, 2019, 215: 903-912.
- [9] ZHOU P, ANG B W, WANG H. Energy and CO₂ emission performance in electricity generation: a non-radial directional distance function approach[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 221: 625-635.
- [10] FANG K, ZHANG Q, LONG Y, et al. How can China achieve its intended nationally determined contributions by 2030? a multi-criteria allocation of China's carbon emission allowance [J]. Appl Energy, 2019, 241: 380-389.
- [11] 戴晓峰,白淑敏,陈方,等. 效率视角下省域交通碳排放配额分配研究[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(4): 1-7.
- [12] 齐绍洲,徐珍珍,杨芷萱. 欧盟碳边境调节机制下中国钢铁行业的碳配额分配策略[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 27-286.
- [13] 曾鸣,贺薪颖. 碳排放交易和绿证交易制度政策模拟研究——基于动态CGE模型[J]. 华北电力大学学报(社会科学版), 2024(4): 38-50.
- [14] HE W, ZHANG B. A comparative analysis of Chinese provincial carbon dioxide emissions allowances allocation schemes in 2030: an egalitarian perspective[J]. Sci Total Environ, 2020, 142: 705.
- [15] 王文举,陈真玲. 中国省级区域初始碳配额分配方案研究——基于责任与目标、公平与效率的视角[J]. 管理世界, 2019, 35(3): 81-98.
- [16] 方恺,张琦峰,杜立民. 初始排放权分配对各省区碳交易策略及其减排成本的影响分析[J]. 环境科学学报, 2021, 41(2): 696-709.

Research on the Allocation of Carbon Quota in China's Provinces Based on the Target of Carbon Peak by 2030

WANG Chenning

(School of Economics and Finance, Xi'an International Studies University, Xi'an 710100, China)

Abstract: Accounting to the goal of achieving the carbon peak by 2030, based on the existing relevant policies, the kaya carbon emission identity, combined with China's "14th Five-Year Plan" and long-term planning and other relevant policies, the scenario analysis method was used to estimate China's total carbon emissions in 2030. On the basis of the total amount, taking into account the two principles of fairness and efficiency, entropy method and zero-sum income data Envelopment (ZSG-DEA) were used for empirical testing, and a provincial carbon emission quota allocation scheme under the multi-index system was constructed. The allocation plan that takes into account the two principles of fairness and efficiency is conducive to the establishment of a reasonable cross-regional carbon emission quota allocation mechanism, and has important reference value for promoting China's cross-provincial collaborative emission reduction strategy, establishing and improving the national carbon trading market, and achieving the goal of carbon peak in 2030.

Keywords: carbon peak; carbon quota; the cost of reducing emissions; spatial simultaneous model ZSG-DEA model