

DOI: 10.20103/j.stxb.202312042641

吴立军, 张捷, 刘莹. 损益内化与横纵结合视角下中国省际碳生态补偿机制. 生态学报, 2024, 44(16): 7020-7035.

Wu L J, Zhang J, Liu Y. Inter-provincial carbon ecological compensation mechanism from the perspective of carbon loss-profit and horizontal-vertical integration in China. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(16): 7020-7035.

损益内化与横纵结合视角下中国省际碳生态补偿机制

吴立军¹, 张捷^{1,2,*}, 刘莹¹

¹ 广东金融学院经济贸易学院, 广州 520521

² 暨南大学产业经济研究院, 广州 510632

摘要: 中国省域生态禀赋与经济发展不均衡的现实, 要求建立促进生态产品价值实现的生态补偿机制。基于地区碳排放与碳汇的基本事实, 将各省碳损益分解为“域间”和“域内”两大构成; 在消费地排放责任追溯与生产地补偿标准的原则下, 采取横纵结合的补偿方式, 对中国省际生态补偿展开研究, 主要结论如下: ①地区排放与碳汇估算显示, 内需排放长期占地区排放的七成以上, 省际排放责任主要来源于“自产自销”的生产消费行为; 全国年碳汇稳定在 2500—2600mt 之间, 林地、耕地是碳汇形成的主要来源。②碳损益估算表明, 域间碳损益存在三种典型地区类型: 以云南、青海等为代表的域间碳平衡地区; 以山东、广东等为代表的域间碳盈余地区; 以江苏、上海等为代表的域间碳赤字地区。域内碳损益呈现出明显的资源性与经济性特征, 生态资源充沛的内蒙古、新疆等地多为域内碳盈余地区, 经济发达的江苏、广东等地多为域内碳赤字地区。③行业减排成本与地区补偿标准估算表明, 减排成本较高的行业多为低碳行业, 而减排成本较低的行业普遍为高碳行业; 经济技术发达地区补偿标准较高, 经济技术欠发达地区补偿标准较低。④地区补偿呈现两大特征, 一是补偿规模增长迅速, 研究期内全国补偿总量增长了 3.46 倍; 二是补偿空间结构由东部地区补偿, 西部地区受偿向不具有整体性的“碎片化”格局演化。

关键词: 生态补偿; 投入产出; 减排成本; 消费排放

Inter-provincial carbon ecological compensation mechanism from the perspective of carbon loss-profit and horizontal-vertical integration in China

WU Lijun¹, ZHANG Jie^{1,2,*}, LIU Ying¹

¹ School of Economics and Trade, Guangdong University of Finance, Guangzhou 520521, China

² Institute of Industrial Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Abstract: The imbalance between ecological endowments and economic development across China's provincial domains necessitates the establishment of an ecological compensation mechanism to promote the realization of ecological product values. This paper, based on the actual conditions of regional emissions and carbon sinks in China, decomposes the carbon gains and losses for each province into two primary components: inter-regional and intra-regional. Under the principles of tracing consumption-based emission responsibilities back to their sources and establishing compensation standards at production locations, a combined horizontal and vertical compensation approach is adopted to investigate inter-provincial ecological compensation in China. The main results are as follows: (1) Estimates of regional emissions and carbon sinks indicate that domestic demand-driven emissions have persistently accounted for over 70% of regional emissions, with inter-provincial emission responsibilities mainly stemming from self-sufficient production-consumption activities within provinces.

基金项目: 广东省社会科学基金项目 (GD23CYJ15); 广东省普通高校创新团队项目 (人文社科) (2023WCXTD014); 国家社会科学基金重大项目 (18ZDA004)

收稿日期: 2023-12-04; **网络出版日期:** 2024-06-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 18-014@gdud.edu.cn

限于数据的可获取性, 本研究尚未含中国港澳台、西藏和南海诸岛的统计数据。

Nationally, annual carbon sinks consistently range between 2500—2600 million metric tons, with forestlands and croplands being the principal sources. (2) Carbon gain and loss assessments reveal three typical regional types concerning inter-regional carbon balance: regions like Yunnan and Qinghai representing areas of inter-regional carbon neutrality; provinces such as Shandong and Guangdong exemplifying inter-regional carbon surplus regions; while Jiangsu and Shanghai standing for inter-regional carbon deficit areas. Intra-regional carbon dynamics exhibit clear resource-based and economic characteristics, with ecologically abundant regions like the Inner Mongolia and Xinjiang predominantly experiencing intra-regional carbon surpluses, whereas economically advanced regions like Jiangsu and Guangdong often suffering from intra-regional carbon deficits. (3) Estimations of industry-specific carbon reduction costs and regional compensation standards suggest that industries with higher carbon reduction costs tend to be low-carbon sectors, while those with lower carbon reduction costs typically belong to high-carbon industries. Technologically and economically advanced regions generally set higher compensation standards, while less-developed regions adopt lower ones. (4) The regional compensation demonstrates two distinct characteristics: first, there is a rapid growth in the scale of compensation, with the total national compensation volume increasing by 3.46 times during the research period; second, the spatial structure of compensation has evolved from a pattern where eastern regions compensate western regions to a fragmented configuration that lacks overall unity. The policy implications of this article are as follows: First, promoting the mechanism construction of tracing compensation responsibility of "consumption areas" and selecting compensation standards of "production areas". The compensation responsibility should be borne by the place where the products are consumed, and the regional compensation relationships should be constructed accordingly. When selecting compensation standards, the compensation standards should be chosen based on where the products are produced to calculate the compensation. Second, promoting the construction of a carbon ecological compensation model combining horizontal and vertical compensation. Horizontal compensation is committed to compensating for the interests with clear ecological profits and losses, while vertical compensation mainly aims to adjust the interests with unclear ecological profits and losses.

Key Words: ecological compensation; input output; cost of emission reduction; consumption emissions

2022 年,中国共产党第二十次全国代表大会报告指出,碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,应积极稳妥推进碳达峰碳中和实现;2023 年中央经济工作会议再次强调深入推进生态文明建设和绿色低碳发展,完善生态产品价值实现机制。中国地区生态资源禀赋与经济发展水平不均衡,经济与排放的梯度差异可能长达 20 年甚至更久^[1]。西部地区集中了全国大多数生态功能区和重点保护区,这些区域一方面被限制或禁止开发而失去增长机会,另一方面所提供的生态服务价值却被全域无偿共享,造成了长期以来欠发达地区“补贴”发达地区的生态事实^[2]。而在经济内循环的地区分工与贸易体系下,发达地区利用技术和分工优势将高污染产业向其他地区转移,使欠发达地区沦为要素供给地与“污染避难所”,并被逐渐锁定在产业链底端,进一步加剧了生态不公和发展失衡。如何促进生态计价、资源获利及生态产品价值的实现?如何从生态与经济两大维度协同促进全域公平均衡发展?基于损益内化与横纵结合的碳生态补偿机制研究,正是对上述现实问题的解决探索。

生态补偿是以保护生态环境、促进人与自然和谐为目的,以经济手段对生态系统服务及生态产品供给者提供生态付费的制度(Payment for Ecosystem Services, PES)^[3]。从 20 世纪五六十年代以来生态补偿机制就成为了各国重要的环境政策工具并被普遍应用发展^[4-6]。中国生态补偿实践根据其补偿逻辑可划分为三个发展阶段:依附于环境管制的“污染者赔偿”补偿阶段,受益者付费补偿阶段,生态治理与环境提升补偿阶段^[7-8]。生态补偿实践的蓬勃发展推动了政策规制的不断完善,从 2000 年至今国务院办公厅、生态环境部、发展改革委等相关部委相继出台了多项生态补偿政策法规;从早期的《生态环境损害赔偿制度改革方案》、《建立市场化,多元化生态保护补偿机制行动计划》到《生态综合补偿试点方案》、《关于深化生态保护补偿制

度改革的意见》等,政策规制逐渐从部门性、地区性法规向全域性、专门性补偿制度演进^[9-13]。但数十年来补偿实践发展,多元化、市场化的补偿机制仍未形成,由中央财政出资的纵向补偿占绝对比重,地方政府和市场主体的补偿投入非常有限^[14]。尽管中央财政生态治理资金投入逐年增加,但环境损失的增长要远快于治理投入增长,单纯依靠纵向补偿的有限“输血”无法满足生态补偿的要求;而且纵向补偿过程未能体现受益者付费的生态原则,补偿效率不高,激励作用不强,容易形成寻租现象^[15-16]。横向补偿存在的问题则更为复杂:一是横向补偿不具有强制性,补偿协议达成普遍困难。地方政府参与横向补偿多基于自身履约能力及能否获得补偿为考量,仅有“需求和能力对等”的区域才容易达成协议^[17];二是地区生态禀赋与技术差异导致补偿实践中“补不起”或“补不准”的问题较为突出。补偿收益与保护成本常常不匹配,二者之间的“价格鸿沟”导致补偿机制要么环境约束性不强,要么支付过高而缺少操作性^[18];三是补偿界限不清,同一生态项目存在中央生态奖励、生态环保部门专项基金支持以及地方横向支付的多头补偿现象,补偿结果“旱涝不均”,损益错配^[19-20]。从生态补偿领域来看,已有研究主要集中在森林、流域、草地、矿产资源、耕地和重点生态功能区,对碳生态补偿领域的研究相对不足^[21-22]。碳生态补偿机制构建存在两大关键难题:其一,大气流动的不确定性使得地区碳损益相互交织,碳生态补偿关系难以界定^[2]。邓明君等人较早地提出了碳平衡与“碳中和”补偿关系构建理论框架,但其实用性备受质疑^[23-24]。近年来,以地区隐含碳转移构建补偿关系的研究对补偿内容明显覆盖不全;这类研究仅体现了对地区排放中域间转移排放的补偿讨论,而对域内排放与碳汇部分的补偿缺少考量^[25-27]。其二,碳作为生产的负产品,不具有使用价值和价值,应用何种标准实施补偿差异较大。相关研究中的碳补偿标准包括:碳市场交易价格标准 30—70 元/t 不等^[28-30],国际碳税税率标准 150 美元/t^[31],造林成本标准 1300 元左右/t^[24],影子价格标准 0.5—6.1 万元/t 之间^[26];相差悬殊的补偿标准导致研究结果分歧甚大。

基于横纵补偿的主要问题,碳生态补偿的关键困难以及省际生态经济的基本现实,本研究力图在以下两个方面形成改进:①碳补偿关系的界定上,应用“消费地”排放责任追溯原则,加强补偿损益关系的对称性。研究将地区补偿分解为两部分:对域间消费排放引致的净损益关系采用横向补偿,对域内消费排放、碳汇形成的净外部性关系采用纵向补偿。横纵补偿分类明确,边界清晰,既避免了多头补偿与损益错配问题,又涵盖了对地区全部排放与碳汇事实的考察。②在碳补偿标准的确定上,应用“生产地”补偿标准原则,促进补偿损益的精准内化。如何为碳补偿确立一个合理的价格标准,域间补偿究竟是按支付地还是收益地标准核算计价?本文将以“生产地”减排成本为基础构建地区补偿标准;不管产品最终在何地消费(即排放责任被界定在何地),生产地是环境的实际污染地,以生产地减排成本为基础的补偿标准能更真实地反映排放损害价值与恢复成本的关系,可更精确地实现损益内化。

1 研究理论与框架

碳生态补偿特殊性表现在以下两方面:其一,每个地区既是排放的来源地,又是碳汇的贡献地,排放与碳汇外溢方向的不确定性导致损益关系交织,补偿关系难以界定。其二,碳作为生产的负产品缺少可锚定的市场价格,补偿标准如何保证“补得准”、“补得起”,补偿标准选择至关重要。理论框架将围绕对上述两大问题的解决构建研究方案,选择研究方法。

1.1 补偿关系构建的理论逻辑

根据“污染付费,保护获利”的生态补偿逻辑,每个地区应对排放污染负外部性承担责任,同时其碳汇形成的生态保护正外部性应获得收益;而地区排放按其来源又可分解为两大构成:一是“内需消费排放”(本地区对本地产品消费引致的排放),二是“外需消费排放”(其他地区对本地产品消费引致的排放)。由于消费是排放的最终驱动因素,消费者即“最终污染人”,按照污染者付费原则,消费地而非生产地应作为排放污染的责任承担方^[32]。

基于上述排放分解与权责界定原则,可将每个地区的碳损益分解为两部分:①域间碳损益,即地区之间相

互产品消费引致的碳盈亏;如果本地区对其他地区产品消费引致的排放小,而其他地区对本地产品消费引致的排放大,表明本地在域间碳转移过程中为净转入方,该地区在域间生态补偿中应获得补偿(后文均称之为“受偿地区”),反之则应支付补偿(后文均称之为“补偿地区”)。②域内碳损益,本地碳汇与内需消费排放比较的碳盈亏;如果地区碳汇能完全吸纳本地消费排放,表明存在净正的环境外部性,故该地在域内生态补偿中为受偿地区,反之则为补偿地区(全文将域间碳损益中排放转入>排放转出,域内碳损益中碳汇>排放的两种情形定义为“碳盈余”;相反情形即为“碳赤字”)。地区最终碳损益=域间碳损益+域内碳损益,最终碳损益盈余则地区整体为受偿地区,反之则为补偿地区。

1.2 补偿标准选择的合理性分析

已有研究中碳补偿标准如交易价格、碳税税率属于政策规制设定价格,对“碳价值”存在严重低估;而造林成本、影子价格与“碳价值”本身并不属于同一概念范畴。 CO_2 不具有使用价值和价值,“碳价值”更严谨的表述应为“碳清除服务价值”,即减少排放的生态服务活动对应的经济价值,但这种价值衡量在科学上存在很大不确定性^[33]。碳清除价值难以衡量,但碳清除成本测算却相对较为容易;因此一种可行的选择是应用减排成本作为“碳价值”替代,并以此作为碳补偿标准。这种替代的合理性一是更契合“碳价值”内涵,二是基于该标准的碳补偿可在地区发展中建立以减排成本为基础的环境约束,促进地区实现增长收益与减排代价的边际均衡。

综上所述,横向补偿是对域间碳损益的价值清偿,补偿关系在省-省之间展开;纵向补偿是对域内碳损益的价值清偿,补偿关系在中央-省之间展开,中央作为生态资源产权人对具有负外部性地区收取惩罚性补偿金,正外部性地区给予奖励性补偿金。横纵补偿涵盖了对地区全部排放与碳汇活动的考察,以 A、B 两地为例,研究思路及框架说明如图 1 所示:

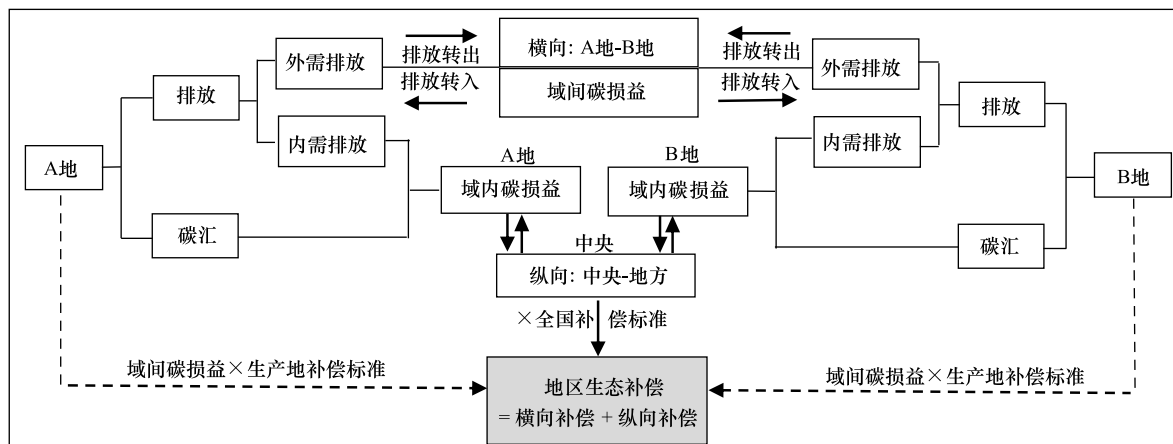


图1 研究思路及框架图

Fig.1 Research framework and thought process diagram

2 研究方法与数据

2.1 碳损益核算与补偿关系界定

2.1.1 基于域间碳损益核算对横向补偿关系的界定

社会生产的地区关联,各地区各行业不仅为本地区本行业生产产品,也为其他地区其他行业供给中间要素和最终产品,生产的地区关联必然引致排放的空间关联。为厘清省际排放转移引致的碳损益关系,应用多区域多部门投入产出(MRIO)模型对域间碳损益核算说明如下:假设共有 n 个地区, m 个行业,用 i, j 表示地区编号, r, s 表示部门编号; X_{ij}^r 表示 i 地区 r 部门为 j 地区($i=j$ 即为本地区) s 部门生产的中间使用品;令 $a_{ij}^r =$

X_{ij}^{rs}/X_j^s , 为直接消耗系数, A_{ij} 是以 a_{ij}^{rs} 为元素的直接消耗系数矩阵; I 为单位矩阵, $L_{ij} = (I - A_{ij})^{-1}$ 即为 Leontief 逆矩阵; Y_{ij}^r 表示 i 地区 r 部门为 j 地区生产提供的最终品; EX_i^r 表示 i 地区 r 部门的出口; Y_{ij}^r 、 EX_i^r 分别是以 Y_{ij}^r 、 EX_i^r 为元素的最终使用列向量和出口列向量; X_i 为 i 地区总产出列向量; 因此 i 地区总产出行向平衡模型可写为^[34-36]:

$$\begin{aligned} X_i &= (I - A_{ii})^{-1} \left(\sum_{j=1(j \neq i)}^n A_{ij} X_j + \sum_{j=1(j \neq i)}^n Y_{ij} + Y_{ii} + EX_i \right) \\ &= \underbrace{L_{ii}(Y_{ii})}_{\text{①}} + \underbrace{L_{ii} \left(\sum_{j=1(j \neq i)}^n A_{ij} X_j \right)}_{\text{②}} + \underbrace{L_{ii} \left(\sum_{j=1(j \neq i)}^n Y_{ij} \right)}_{\text{③}} + \underbrace{L_{ii}(EX_i)}_{\text{④}} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, ①表示 i 地区为满足本地区消费的产出, ②、③分别为 i 地区为其他地区供给中间品和最终品的产出, ④为 i 地区出口产出。令 C_i^r 表示 i 地区 r 行业碳排放量, $f_i^r = C_i^r/X_i^r$ 为行业排放系数, F_i 是以 f_i^r 为元素的排放系数对角矩阵; PC_i 表示 i 地生产排放列向量, 基于式(1) i 地生产排放估算式如下:

$$PC_i = F_i X_i = \underbrace{F_i L_{ii}(Y_{ii})}_{\text{① 内需排放}} + \underbrace{F_i L_{ii} \left(\sum_{j=1(j \neq i)}^n A_{ij} X_j \right)}_{\text{② 中间品引致排放}} + \underbrace{F_i L_{ii} \left(\sum_{j=1(j \neq i)}^n Y_{ij} \right)}_{\text{③ 最终品引致排放}} + \underbrace{F_i L_{ii}(EX_i)}_{\text{④ 出口引致排放}} \quad (2)$$

式中, ①为 i 地区“自产自销”的内需排放; ②、③为 i 地区为其他地区生产中间产品和最终产品的外需排放; ④为 i 地区出口外需排放。

每个地区不仅要承担其他地区的排放转入, 同时也将形成对其他地区的排放转出。 i 地转移到 j 地的排放为 i 地消费 j 地中间品与最终品的排放之和, 即为 $F_j (I - A_{jj})^{-1} (A_{ji} X_i + Y_{ji})$, 故 i 地对所有其他地区产品消费所形成的全部排放转出即为 $\sum_{j=1(j \neq i)}^n F_j (I - A_{jj})^{-1} (A_{ji} X_i + Y_{ji})$; 再加上 i 地对本地区产品及进口产品消费的排放, 因此 i 地消费排放估算如下^[37]:

$$CC_i = \underbrace{F_i L_{ii} Y_{ii}}_{\text{① 域内排放}} + \underbrace{\sum_{j=1(j \neq i)}^n F_j L_{jj} A_{ji} X_i}_{\text{② 调入中间品消费排放}} + \underbrace{\sum_{j=1(j \neq i)}^n F_j L_{jj} Y_{ji}}_{\text{③ 调入最终品消费排放}} + \underbrace{F_i L_{ii} IM_i}_{\text{④ 进口消费排放}} \quad (3)$$

式中, ①即为 i 地域内消费排放(与生产侧“内需排放”相等, 二者只是不同核算方式下的意义表达), ②、③为 i 地对其他地区产品消费的域外消费排放, ④为 i 地进口产品消费的域外排放。根据(2)、(3)两式排放结构分解, i 地域间碳损益 NBC_i 计算式为:

$$NBC_i = PC_i(\text{①} + \text{②} + \text{③}) - CC_i(\text{①} + \text{②} + \text{③}) = PC_i(\text{②} + \text{③}) - CC_i(\text{②} + \text{③}) \quad (4)$$

应用省际投入产出分析框架, 研究对象是省际而非国别, 全文“外需”均是指省外国内的产品需求, 而非通常意义的国外消费需求; 因此, 式(4)中不包含国际贸易进出口隐含碳④的部分。如果 $NBC_i > 0$, 说明 i 地排放转入大于排放转出, 该地承担了更多本不属于其产品消费的排放, 应获得生态补偿; 如果 $NBC_i < 0$, 应支付生态补偿。从全国整体看, 全部地区的排放转出等于排放转入(即 $\sum_{i=1}^n NBC_i = 0$), 因此域间横向补偿结果满足会计平衡。

2.1.2 基于域内碳损益核算对纵向补偿关系的界定

纵向补偿如果根据内需排放与碳汇的净外部性界定补偿对象, 本质上是以“碳中和”理论框架构建补偿关系; 地区只有在碳汇大于内需排放, 存在碳盈余的情形下才可能成为受偿地区, 否则即为补偿地区。而碳赤字是当前全球性的普遍生态事实(全球年碳赤字超过 200 亿 t), 以“碳中和”理论框架构建纵向补偿关系将导致两个问题: 一是全域“补偿”必将高于“受偿”, 补偿结果不满足会计平衡; 二是补偿成本过高, 存在“补不起”的问题。碳中和毕竟仍是数十年后的目标, 当前情形按此目标实施补偿并约束减排, 必将导致补偿成本过高。既要体现补偿机制的生态激励效应, 又要确保其现实可行, 纵向补偿方案设计如下: CS_i 表示 i 地的碳

汇总量, $\rho_i = CS_i / \sum CS_i$ 为 i 地碳汇在全国的占比; $PC_i(\textcircled{1})$ 表示 i 地内需排放总量, $\sigma_i = PC_i(\textcircled{1}) / \sum PC_i(\textcircled{1})$ 为 i 地内需排放在全国的占比; $EDC = \left| \sum PC_i(\textcircled{1}) - \sum CS_i \right|$ 为全部地区的碳赤字总量; 基于生态贡献的域内碳损益 NIC_i 计算公式为:

$$NIC_i = (\rho_i - \sigma_i) \times EDC \quad (5)$$

式中, $(\rho_i - \sigma_i)$ 表示地区在全域生态中的相对贡献, 决定补偿方向; $(\rho_i - \sigma_i) > 0$, i 地碳汇占比高于排放占比, 该地为全域生态作出了贡献, 应获得补偿; 反之, 则应支付补偿。EDC 为全域需通过生态补偿内化的全部外部性, 决定补偿价值大小; EDC 越大表明全域碳赤字越严重, 对应地区间的补偿价值越大, 补偿机制的环境约束力度将越强。而且, 容易证明 $\sum_{i=1}^n NIC_i = EDC \times \sum_{i=1}^n (\rho_i - \sigma_i) = 0$, 也就是说全部地区的纵向补偿结果满足会计平衡。这一平衡关系的政策意义是, 纵向补偿中央既不获得收益也不承担支出, 仅作为生态资源产权人监督执行补偿, 补偿本质上是省际生态贡献的竞争结果。

2.2 减排成本估算与补偿标准确定

投入产出模型中生产与排放的地区关联是以行业为基础建立起来的(本研究中共包含 30 个地区共 $30 \times 27 = 810$ 个行业), 由于生产排放的行业关联, 任一行业减排不仅会导致本行业产出减少, 同时会引致关联地区关联行业的产出损失。基于投入产出过程中某行业对全部行业的经济关联与碳关联, 估算减排活动在全社会引致的产出损失, 以此估算行业减排成本, 估算方法说明如下: MRIO 模型中按产品属性分类, 最简单的行平衡关系可写为: 社会总产出 = 中间品产出 + 最终品产出; 投入产出分析中, 通常可将最终需求作为外生变量, 研究需求冲击(诸如投资、消费、税率等)对总产出的诱发效应。令 $d_i^{r=1}$ 表示 i 地区 r 部门最终需求元素为 1 (需求 1 单位变动), 其他地区其他部门元素为 0 的列向量; $\Delta C_i^{r=1}$ 表示 i 地区 r 部门单位需求冲击诱发的排放变动列向量, 诱发估算矩阵为^[38]:

$$\begin{bmatrix} \Delta c_1^1 \\ \Delta c_1^2 \\ \vdots \\ \Delta c_i^r \\ \vdots \\ \Delta c_n^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1^1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & f_1^2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \\ 0 & 0 & \cdots & f_i^r & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & f_n^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{11}^{11} & l_{11}^{12} & \cdots & l_{11}^{1m} & \cdots & l_{1n}^{11} & l_{1n}^{12} & \cdots & l_{1n}^{1m} \\ l_{11}^{21} & l_{11}^{22} & \cdots & l_{11}^{2m} & \cdots & l_{1n}^{21} & l_{1n}^{22} & \cdots & l_{1n}^{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{i1}^{r1} & l_{i1}^{r2} & \cdots & l_{i1}^{rm} & \cdots & l_{in}^{r1} & l_{in}^{r2} & \cdots & l_{in}^{rm} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{n1}^{m1} & l_{n1}^{m2} & \cdots & l_{n1}^{mm} & \cdots & l_{nn}^{m1} & l_{nn}^{m2} & \cdots & l_{nn}^{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1^1 = 0 \\ d_1^2 = 0 \\ \vdots \\ d_i^r = 1 \\ \vdots \\ d_n^m = 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

对式(6)计算可得到 i 地区 r 部门单位需求冲击, 在所有关联行业引致的排放变动为: Δc_1^1 、 Δc_1^2 ... Δc_n^m ; 故在全社会引致的排放变动总量 $\Delta C_i^{r=1} = \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^m (\Delta c_i^r)$ 。MRIO 模型中最终需求等于总产出增加值, 上述估算的实际意义又可表述为: i 地区 r 行业单位 GDP 变动与全社会排放变动的数量关系; 如果冲击方向为负, 表征的即是以产出损失衡量的行业减排成本。因此根据上述估算, i 地区 r 行业单位减排成本 $RC_i^r = 1 / \Delta C_i^{r=1}$; 运用类似方法可对全部地区 810 个行业的减排成本逐一展开估算。利用行业产值加权, 对各行业平均减排成本 ($\overline{RC^r}$)、地区减排成本 (RC_i) 及全国平均减排成本 ($\overline{RC}$) 进行计算; RC_i 为横向补偿中 i 地的补偿标准, $\overline{RC}$ 为纵向补偿的全国补偿标准, 计算如公式(7)、(8)、(9)所示:

$$RC^r = \sum_{i=1}^n (RC_i^r \cdot (X_i^r / X^r)) \quad (7)$$

$$RC_i = \sum_{r=1}^m (RC_i^r \cdot (X_i^r / X_i)) \quad (8)$$

$$\overline{RC} = \sum_{r=1}^m (RC^r \cdot (X^r / X)); \text{ 或 } \overline{RC} = \sum_{i=1}^n (RC_i \cdot (X_i / X)) \quad (9)$$

2.3 横纵结合的生态补偿估算

域间域内碳损益核算实现了对横纵补偿关系的界定,减排成本估算完成了对补偿标准的确定;但更为具体的问题是:横向补偿中 i 、 j 两地对彼此产品的相互消费,究竟是应按 i 地还是 j 地标准核算补偿?本文“生产地”补偿标准即为: i 地对 j 地产品消费按产品生产地标准 RC_j 计价, j 地对 i 地产品消费即按 RC_i 标准计价;产品生产与实际排放均发生在生产地,清除或减少排放的经济代价也是生产地技术为基础的。纵向补偿反映的是中央对全部地区碳损益清偿,即按全域统一补偿标准 $\overline{RC}$ 计价,地区横纵生态补偿估算如公式(10)所示:

$$\begin{aligned} CCV_i &= NBCV_i + NICV_i \\ &= \sum_{j=1(j \neq i)}^n (PC_{ij} \times RC_i - CC_{ij} \times RC_j) + (\rho_i - \sigma_i) \times EDC \times \overline{RC} \end{aligned} \quad (10)$$

从式(10)可发现补偿核算完整地体现了“生产地”标准与“消费地”责任两大原则:横向补偿净值($NBCV_i$)估算, i 地为其他地区供给产品应获得的补偿价值按 RC_i 标准计价,该地消费其他地区产品应支付的补偿按 RC_j 标准计价。而 i 地不管是其域外消费 CC_{ij} ,还是域内消费的 σ_i 均体现为负的补偿支出项,该地需为全部产品消费承担责任。整个补偿结果满足全域会计平衡,这一特性可提高补偿方案的适用性。补偿改革实施范围越大,协议达成难度越高;全域会计平衡补偿方案可在一省城际之间或关联区域若干省市之间(如长三角、京津冀)普遍适用,补偿与受偿域内平衡,补偿损益内化而无需协调域外地区。

2.4 研究数据来源与处理

(1)主要数据来源与参数说明。投入产出数据、行业碳排放数据均来源于中国碳核算在线数据库(Carbon emission accounts, CEADS)^[39]。碳汇计算参照相关研究的一般估算方法 $CS_i = \sum S_{ij} \times NPP_j$ ^[40];其中, S_{ij} 为 i 地区 j 类型生产性土地面积,该数据来源于《中国环境统计年鉴》,第八次、九次全国森林资源清查资料,中国第一二次湿地调查资料^[41];NPP _{j} 为各类型土地的净初级生产力,即单位面积单位时间某类型土地的净碳汇能力,该参数应用近五年相关研究的平均值:耕地 5.37、园地 5.41、林地 4.95、草地 3.01、湿地 3.04、建设用地 0.99($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)^[42]。

(2)研究样本及数据调整说明。研究样本地区为我国30个省市;时间选择上以2012年、2017年为代表性年份,投入产出表每五年更新一次,2017年为当前可利用的最新数据,其他数据均以投入产出进行年份匹配。由于投入产出表中的行业(42个)与碳排放核算的行业(47个)在分类上不完全一致,为保证两表行业匹配,对分类存在差异的行业按照大类进行合并处理,合并后行业为27个。

3 研究结果与分析

根据研究方法说明,利用Matlab软件对生产排放、消费排放、省际碳损益、补偿标准以及生态补偿估算矩阵展开运算。研究结果报告中对过程性估算仅以2017年为例给予说明,对生态补偿的最终结果将分别以2012、2017年为例进行结构与动态分析。

3.1 生产排放、消费排放与碳汇估算分析

(1)省际生产与消费排放估算结果分析。生产排放、消费排放是域间碳损益核算的基础,应用公式(2)、(3)对各省生产与消费排放展开估算,以2017年生产排放的降序排列,对两种排放估算结果比较如图2所示。

图2估算结果与国内代表性研究结果的异同在于:彭水军、张文城对中国生产侧消费侧排放估算,是以WIOD数据为基础的国家而非省际层面的估算,不具有可比性^[34]。王育宝、何宇鹏与王安静、冯宗宪对中国省域碳排放估算及碳转移研究^[36-37],研究结果报告仅限于2012年,而且两研究中的行业排放数据是研究者基于能源消费的估算(本文选用的是CEADS行业排放数据);因此,上述研究中生产与消费排放估算的绝对数量与本研究存在一定差别,但省际排序与本研究相同年份结果非常一致。

图2结果显示:从全国整体来看,2017年生产排放等于消费排放为9433.37mt;内需(或域内)排放共计

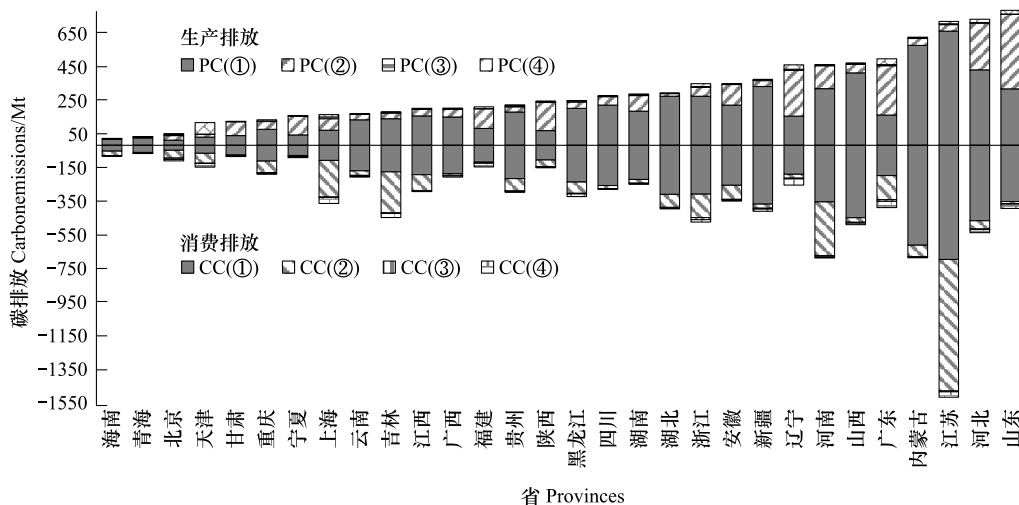


图2 2017年省际生产排放、消费排放估算结果

Fig.2 Estimated results of production emissions and consumption emissions in each province in 2017

6528.63mt,中间品外需(或域外)排放共计2787.84mt,最终品外需(或域外)排放为116.88mt。由此可见,内需排放仍是排放的最大来源构成,占比近七成;中间品外需排放为第二大来源构成,占比约三成;最终品外需排放占比最少,仅为1%左右。从省际层面来看,生产排放最大的五个地区分别为山东、河北、江苏、内蒙古、广东,排放总量在500—800mt之间;消费排放最大的五个地区依次是江苏、河南、内蒙古、河北、山西,排放总量在470—1500mt不等;生产与消费排放较小的地区基本相同,主要包括青海、海南、甘肃、北京、天津等,排放均在150mt以下。

(2)省际碳汇估算结果分析。碳汇估算是域内碳损益核算的基础,以2017年为例的碳汇估算结果如下:全国碳汇总量为2600.11mt;其中林地、耕地、草地碳汇占比分别为45.07%、27.76%、17.20%,湿地、园地、建设用地碳汇占比在5%—1%不等,林地和耕地是碳汇的主要来源构成。这一估算结果与吴文佳、蒋金亮等,刘刚、孙睿等等研究较为接近(前者为3320mt,后者为3020—3490mt)^[43—44];但与魏一鸣、余碧莹等1000mt的估算结果相差较大^[45]。原因在于,后者未考虑林地以外其他土地的碳汇贡献,对不同类型土地的碳吸收功能描述不完全。省际碳汇较大的地区分别是内蒙古、黑龙江、新疆、四川及青海,年碳汇约为170—300mt;碳汇较小的地区包括上海、天津、北京、海南及宁夏等,这些地区地理空间狭小,生态资源匮乏,年碳汇不足20mt;2017年省际碳汇升序排列估算结果如图3所示:

3.2 域间、域内碳损益估算结果分析

(1)域间碳损益估算结果分析。域间碳损益为正的地区16个,为负的地区14个。全部地区可分为三种典型类型:第一类碳平衡地区,这类地区排放转入转出较少,碳循环较为“封闭”,代表性省份如云南、青海、新疆等,内需排放在地区排放中占比多在90%以上。第二类碳盈余地区,代表性省份如山东、广东、辽宁等,外需排放在地区排放中占比在60%以上,第三类碳赤字地区,代表性地区如江苏、上海、河南等,域外排放在地区排放占比多在50%—70%。估算结果显示,同为经济发达的广东与江苏表现为两种截然不同的域间损益类型,造成这一现象的原因在于:域间碳损益是排放转移的结果,而排放转移的本质是经济内循环的体现;广东与江苏代表了经济内循环中两种典型的投入产出模式,广东产出驱动主要来自于为其他地区生产供给中间要素和最终品,而江苏增长则主要依赖于对其他地区要素和最终品的消费。

(2)域内碳损益估算结果分析。域内碳损益为正的地区14个,为负的地区16个。域内碳损益盈余最大的五个地区分别是内蒙古、新疆、青海、黑龙江、云南,与图3碳汇总量最大的地区高度重合,说明碳汇是域内碳损益为正的的重要因素。域内碳损益赤字最大的五个地区分别是江苏、广东、山东、浙江、上海,均为经济发达

地区。域内碳损益在地区结构上呈现出明显的“资源性”与“经济性”特征,生态资源充沛地区在域内碳损益上多表现为碳盈余,经济发达地区多为域内碳损益赤字地区。2017 年三类碳损益估算结果如图 4 所示:

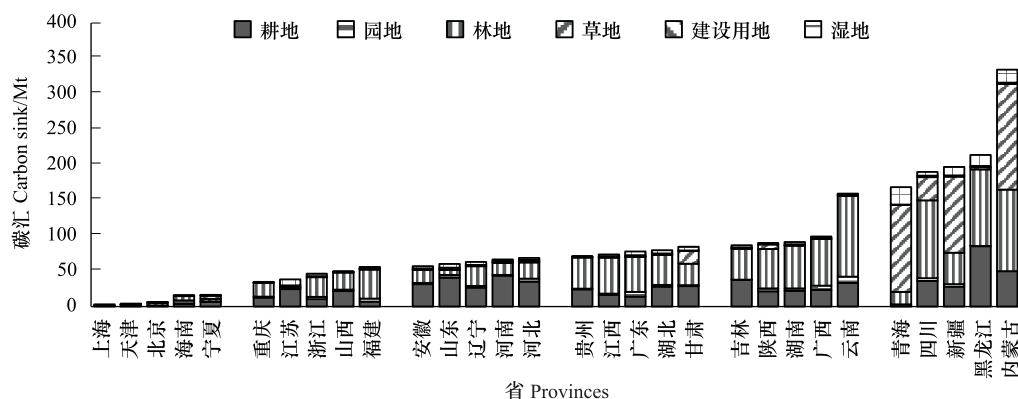


图 3 2017 年省际碳汇估算结果

Fig.3 Estimated results of carbon sinks in each province in 2017

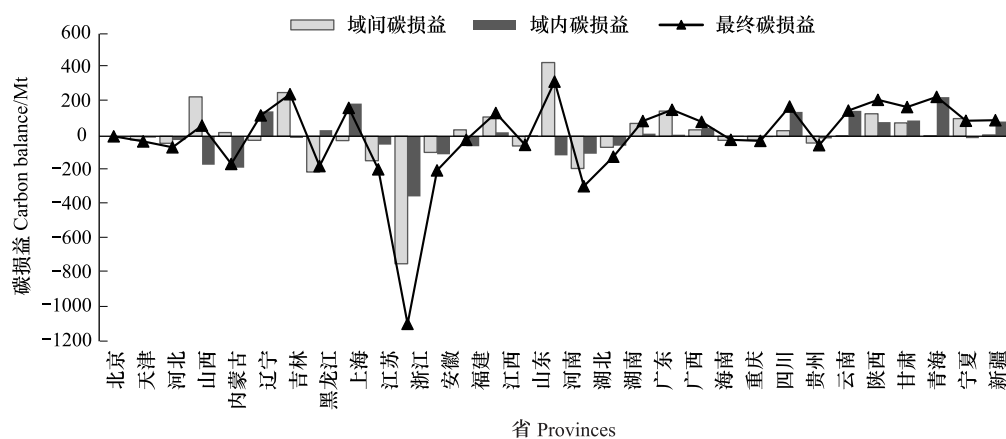


图 4 2017 年省际碳损益估算结果

Fig.4 Estimated results of carbon balance in each province in 2017

3.3 行业减排成本与地区补偿标准估算分析

(1) 行业减排成本估算分析。行业减排成本是地区补偿标准估算的基础,利用公式(6)对各地区全部行业减排成本展开估算,再应用公式(7)对 27 个行业平均减排成本 RC^r 进行计算。估算结果表明,减排成本较高的行业多集中于服务业、农业、住宿餐饮业等低碳行业,而减排成本较低的行业为电力热力生产供给业、金属冶炼加工业、金属采选业等高碳行业。行业减排成本表现出上述特征的原因是,MRIO 模型中高碳行业碳关联度大,单位减排冲击对应的产出损失小,故减排成本低;反之低碳行业,排放降低难度大,故减排成本高。以 2017 年升序排列对 2012 与 2017 年行业减排成本比较如图 5 所示:

(2) 横纵补偿标准估算分析。基于行业减排成本估算,利用公式(8)、(9)对地区补偿标准展开加权计算。结果显示,2012、2017 年全国大多省市生态补偿标准表现出不同程度的上涨,全国平均补偿标准由 0.54 万元/t 上升至 0.67 万元/t。补偿标准较高的地区分别为福建、北京、广东等省,其补偿标准在 1—1.80 万元/t 之间;补偿标准较低的地区包括内蒙古、新疆、宁夏等,补偿标准均在 0.4 万元/t 以下;不同地区补偿标准相差高达 5—9 倍。以 2017 年补偿标准升序排列,对 2012 与 2017 年地区补偿标准比较如图 6 所示:

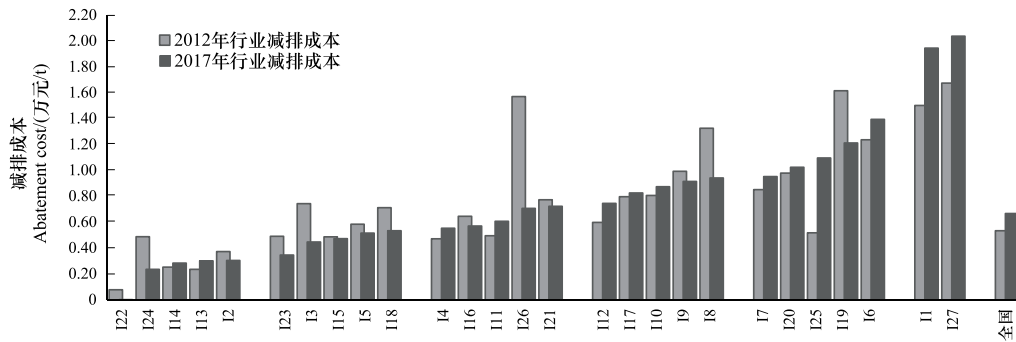


图5 2012年、2017年行业减排成本估算比较

Fig.5 Estimated comparison of industry emission reduction costs between 2012 and 2017

I1 农林牧渔及服务;I2 煤炭采选;I3 石油和天然气开采;I4 金属矿采选;I5 非金属矿和其他矿采选;I6 食品和烟草;I7 纺织业;I8 纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品;I9 木材加工品和家具;I10 造纸印刷和文教体育用品;I11 石油、炼焦产品和核燃料加工;I12 化学产品;I13 非金属矿物制品;I14 金属冶炼和压延加工;I15 金属制品;I16 通用、专用设备;I17 交通运输设备;I18 电气机械和器材;I19 通信设备、计算机和其他电子设备;I20 仪器仪表;I21 其他制造产品(含废品);I22 电力、热力的生产和供应;I23 燃气及水生产和供应;I24 建筑业;I25 交通运输;I26 批发和零售、住宿和餐饮;I27 服务业

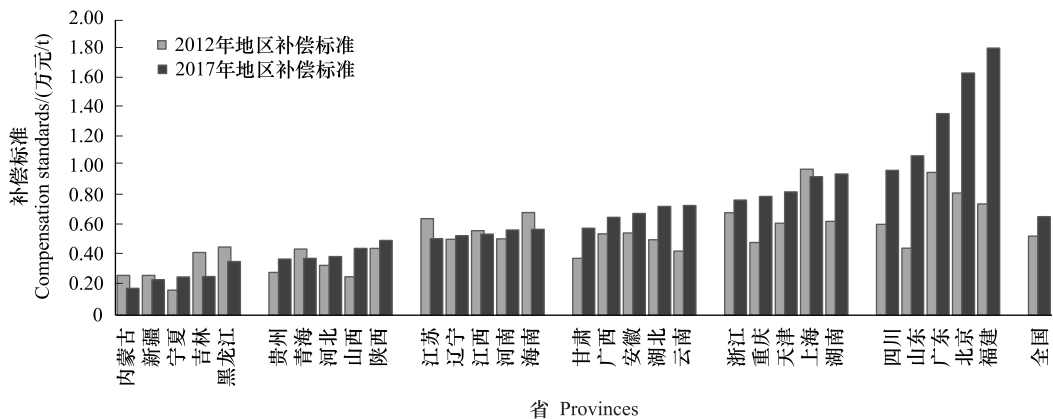


图6 2012年、2017年省际补偿标准估算比较

Fig.6 Estimated comparison of inter-provincial compensation standards between 2012 and 2017

3.4 省际生态补偿估算结果分析

(1) 横向补偿省际价值转移估算结果。横向补偿的特殊性在于,其不仅要求估算地区补偿的净值结果($NBCV_i$);更为关键的是要求呈现地区价值转移大小、方向,明确每个地区补偿价值来源于哪些地区,流向了哪些地区。只有完整呈现全部地区补偿价值转移的结构关系,横向补偿才具备实施执行的基础。2017年省际横向补偿价值转移的地区结构明细如表1所示:

表中行方向为某地区应从其他地区获取的横向补偿价值,列方向为该地区应向其他地区支付的补偿价值。以北京和天津为例,行方向北京与列方向天津交汇对应的数值为185.91,即北京应从天津获得的补偿价值;列方向北京与行方向天津交汇对应的价值为145.15,即为北京应向天津支付的横向补偿价值;因此,两地横向补偿的最终结果是天津应向北京支付横向补偿金40.76亿。应用类似方法,可计算出北京对所有其他地区横向补偿结果,即北京横向补偿净值($NBCV_i$)。

(2) 横向、纵向及最终补偿净值估算。应用公式(10)对各省2012年、2017年横向、纵向及最终补偿净值估算结果如表2所示。表2中横向、纵向补偿结果与图4域间、域内碳损益地区构成基本一致;二者具有相似

表 1 2017 年省际横向补偿明细/亿元
Table 1 Details of Inter-provincial Horizontal Compensation in 2017

	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东
北京															
天津	145.15														
河北	451.10	236.27													
山西	100.42	29.22	275.06												
内蒙古	33.05	10.15	51.71	55.12											
辽宁	240.41	369.63	205.01	127.19	376.92										
吉林	34.82	14.20	22.44	11.16	24.10	58.73									
黑龙江	59.11	37.80	47.29	15.13	34.01	43.27	361.64								
上海	264.82	115.15	90.80	84.78	95.62	80.37	373.96	144.86							
江苏	99.95	28.52	33.97	29.76	28.96	49.81	47.27	28.44	35.91						
浙江	104.78	68.52	35.80	34.32	55.36	15.56	256.64	80.23	1332.45	1130.21					
安徽	46.80	153.18	88.61	44.70	173.04	42.78	637.68	159.89	750.54	3978.60	209.92				
福建	140.64	418.26	179.85	125.41	476.68	129.54	1853.92	462.83	2258.59	7377.25	597.28	825.06			
江西	67.24	33.46	41.31	24.19	48.89	66.22	62.69	21.56	91.00	214.88	306.18	115.09	11.28		
山东	291.01	1351.35	783.56	358.97	1309.29	140.80	5074.32	1272.30	4514.89	17529.95	950.35	1477.03	17.67	1554.79	
河南	125.20	161.62	226.36	72.68	229.90	168.99	563.09	136.55	557.18	1871.66	754.23	254.41	12.19	267.17	25.47
湖北	27.48	7.01	13.29	8.57	34.50	8.57	10.94	7.14	23.47	88.08	123.79	44.39	4.92	381.90	12.10
湖南	239.25	169.14	150.26	96.73	215.00	146.92	643.34	169.02	770.55	2563.82	348.12	343.98	31.33	468.77	20.91
广东	446.17	868.17	346.41	304.15	957.34	180.78	3742.85	964.61	3951.13	14087.05	982.08	1258.90	32.45	1780.62	120.86
广西	85.33	45.30	46.03	26.51	63.09	91.83	68.90	24.84	109.11	207.76	359.03	54.51	13.28	74.39	31.52
海南	18.97	5.69	5.27	4.23	2.76	5.39	5.79	6.23	6.54	13.16	19.26	3.41	4.01	4.92	9.01
重庆	76.80	76.75	50.47	36.06	90.97	34.28	292.84	85.10	272.25	1004.82	164.58	106.10	11.01	131.06	33.40
四川	38.16	104.96	69.27	35.73	140.71	33.59	450.74	120.03	432.30	1519.14	118.29	146.41	5.95	182.92	17.48
贵州	53.21	22.92	42.68	11.28	26.74	26.54	58.04	29.68	68.56	194.03	110.01	26.40	5.88	38.38	32.27
云南	26.19	24.83	119.20	14.92	40.57	16.04	81.88	37.95	93.90	426.70	261.99	65.41	10.11	92.55	11.08
陕西	113.18	183.47	225.42	76.05	232.74	44.17	711.16	204.83	685.14	2523.25	346.25	251.29	10.56	306.79	34.86
甘肃	40.07	101.91	86.28	41.76	148.67	19.61	454.53	121.49	379.20	1424.53	142.64	145.43	2.08	159.38	7.93
青海	2.23	0.84	5.31	1.04	3.87	7.19	1.14	0.72	12.61	49.16	44.17	2.64	1.47	11.42	1.02
宁夏	22.26	69.48	64.14	25.40	102.07	10.11	306.93	82.75	245.29	925.00	71.87	86.53	2.20	100.38	3.46
新疆	25.61	9.35	57.06	8.69	37.99	18.91	10.94	12.56	7.16	46.78	63.98	20.09	4.67	16.90	6.11
北京	693.55	128.89	38.70	373.08	54.93	32.21	224.34	62.70	155.55	76.21	152.16	7.06	5.56	64.03	102.03
天津	130.70	7.50	23.07	183.11	13.17	7.34	94.58	27.89	25.45	26.98	44.16	5.73	3.35	14.52	18.64

续表

	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东
河北	1417.08	229.26	79.39	814.11	21.97	78.16	385.12	108.08	218.71	94.68	175.79	14.31	16.76	25.06	94.27
山西	271.68	10.86	68.88	210.76	29.09	17.99	134.43	37.51	67.80	64.51	100.59	5.81	4.86	17.20	8.86
内蒙古	87.50	5.39	20.23	107.15	9.90	7.70	51.30	13.07	19.11	23.41	33.50	4.65	1.64	6.42	11.36
辽宁	1713.57	378.79	60.97	507.26	28.06	98.24	250.44	66.25	311.58	62.99	106.83	8.58	12.80	39.96	133.45
吉林	57.75	12.45	19.46	133.15	10.88	11.95	46.57	14.81	22.35	32.13	38.63	8.96	1.71	5.31	15.51
黑龙江	120.66	35.58	23.89	66.58	19.49	12.64	40.09	16.36	34.52	17.83	27.01	4.46	3.57	9.47	17.85
上海	724.48	132.56	82.78	787.14	78.44	46.73	345.53	106.42	171.66	117.71	144.38	14.90	10.11	66.12	107.47
江苏	178.65	12.56	41.98	387.39	26.44	18.99	160.86	45.52	57.11	70.70	79.77	11.32	3.81	24.27	40.65
浙江	386.05	100.08	26.12	165.35	24.06	25.60	122.79	25.44	92.76	33.64	35.65	4.56	2.64	21.25	44.33
安徽	902.36	289.80	33.22	176.13	12.01	111.06	59.36	7.68	190.06	51.60	59.25	10.23	2.46	7.03	63.54
福建	2346.71	755.50	94.54	740.23	32.08	248.05	217.21	31.33	617.99	167.43	169.69	28.04	7.78	20.17	179.10
江西	147.94	16.78	48.60	360.27	18.32	30.85	136.87	27.36	69.05	89.28	94.58	15.26	3.44	15.32	36.75
山东	6787.81	1632.57	122.21	586.28	44.65	372.26	218.65	41.79	1093.35	117.32	175.46	24.70	18.22	21.01	358.04
河南		186.20	132.36	850.37	41.04	105.44	335.77	59.42	247.01	206.00	263.76	37.50	8.51	25.43	101.81
湖北	61.84		17.80	139.55	6.63	7.43	85.26	14.97	16.05	15.96	25.71	2.27	1.37	5.66	7.03
湖南	1028.18	383.00		546.01	31.35	125.99	202.85	22.17	301.04	142.98	148.76	39.13	35.86	31.89	94.98
广东	5112.98	1643.64	143.10		101.94	659.06	518.24	117.17	1582.32	292.48	262.07	42.21	20.24	85.79	430.41
广西	167.21	19.16	78.29	799.00		62.80	259.14	52.48	123.80	155.48	138.26	22.44	4.27	22.49	53.39
海南	19.43	2.72	6.77	75.50	6.64		18.92	6.16	10.76	10.35	9.24	1.91	0.38	4.73	7.56
重庆	480.35	124.55	45.16	246.03	26.36	44.12		177.97	163.55	61.81	71.35	13.55	3.95	17.71	57.22
四川	816.71	181.86	38.73	142.62	21.34	61.47	70.20		200.83	44.91	56.27	12.35	3.32	8.69	61.78
贵州	121.01	33.51	33.80	194.09	22.82	18.62	71.78	17.14		41.86	44.30	7.25	1.51	10.86	69.14
云南	281.48	47.90	57.12	374.18	48.61	35.37	151.96	46.65	71.85		51.88	7.59	4.09	5.96	19.88
陕西	1278.89	295.01	85.21	310.88	48.82	82.60	170.59	43.65	270.10	78.28		13.42	6.85	26.17	91.13
甘肃	646.57	152.86	26.87	178.37	10.06	49.48	115.00	34.89	161.64	47.77	96.36		77.08	9.57	58.88
青海	22.17	8.55	12.19	16.63	7.51	0.86	12.13	3.78	2.13	2.44	8.06	4.08		5.22	1.46
宁夏	407.28	100.91	13.58	58.39	7.34	27.71	27.07	10.07	83.39	13.77	22.76	4.16	2.56		33.69
新疆	115.36	21.29	37.11	76.33	13.47	5.70	90.70	27.96	31.07	37.63	55.57	7.09	5.78	34.71	

特征的原因在于:碳损益是以“碳单位”表征的地区生态盈亏,而横纵补偿是对这种损益关系的价值衡量。但也存在若干不一致的例外情形,如 2017 年北京域间碳损益为碳赤字(-21.50mt),但横向补偿却存在价值盈余(1899.24 亿元)。导致这一现象的原因在于:横向补偿采用生产地标准,北京相对其他地区补偿标准较高,当北京为其他地区供给产品时,生态补偿按北京标准核算受偿价值,而北京消费其他地区产品则按来源地标准核算价值支出;在排放转入转出绝对值较大,且转移净值不大的情形下,相差悬殊的补偿标准就可能出现上述反转。

表 2 2012 年、2017 年省际横向、纵向及最终补偿净值估算/ $\times 10^8$ 元

Table 2 Estimation of Inter-provincial Horizontal, Vertical, and Final Net Compensation in 2012 and 2017

	2012 年			2017 年		
	横向补偿 Horizontal compensation	纵向补偿 Vertical compensation	最终补偿 Net compensation	横向补偿 Horizontal compensation	纵向补偿 Vertical compensation	最终补偿 Net compensation
北京	-1626.99	-500.59	-2127.58	1899.24	-599.69	1299.55
天津	-649.56	-1478.81	-2128.36	-3381.02	-1530.53	-4911.55
河北	1594.18	-1529.24	64.94	7721.69	-11189.08	-3467.4
山西	2341.79	-144.52	2197.27	353.22	-12350.8	-11997.58
内蒙古	2990.63	8469	11459.63	-4590.49	9772.09	5181.59
辽宁	959.63	-1918.17	-958.54	13483.01	-621.91	12861.1
吉林	-706.93	890.27	183.34	-18923.12	2340.49	-16582.63
黑龙江	622.3	4073.81	4696.11	-3727.15	12757.32	9030.17
上海	963.83	-2467.71	-1503.88	-11617.81	-3311.69	-14929.5
江苏	-6303.37	-6535.47	-12838.85	-65413.62	-23520.22	-88933.83
浙江	-3216.15	-3137.66	-6353.81	-5395.19	-7065.78	-12460.97
安徽	2845.12	-664.79	2180.33	1629.47	-3865.76	-2236.29
福建	179.65	-1359.16	-1179.51	21039.59	1597.99	22637.58
江西	-1027.04	627.82	-399.22	-5887.22	368.18	-5519.04
山东	-2452.11	-5019.26	-7471.38	47231.3	-7436.17	39795.13
河南	1480.75	-2354.48	-873.73	-18498.64	-6889.73	-25388.37
湖北	-964.53	-1197.57	-2162.11	-5746.02	-3743.73	-9489.75
湖南	478.29	-268.65	209.64	7999.2	998.04	8997.25
广东	-678.82	-5358.61	-6037.43	31429.29	605.88	32035.17
广西	915.29	891.04	1806.32	2442.23	3176.24	5618.47
海南	60.67	79.08	139.76	-2110.7	229.11	-1881.6
重庆	-1271.55	-267.16	-1538.71	-617.58	-304.83	-922.41
四川	222.46	2012.96	2235.42	3870.04	9519.68	13389.72
贵州	707.37	1141.8	1849.16	-4978.24	-828.83	-5807.07
云南	947.04	3173.73	4120.77	329.66	9973.05	10302.71
陕西	508.52	1061.15	1569.67	6058.98	5496.05	11555.03
甘肃	709.88	2001.47	2711.35	4557.41	6169.12	10726.53
青海	99.58	4210.33	4309.91	-22.39	15275.84	15253.45
宁夏	97.33	154.81	252.15	2278.49	-811.13	1467.36
新疆	172.76	5414.6	5587.36	-1413.64	5790.79	4377.14

(3) 生态补偿的动态变化与地区结构特征分析。其一,从补偿总量规模看,省际生态补偿规模增长迅速。2012 年支付补偿的地区共 13 个,补偿总额合计为 45773.11 亿元;2017 年补偿支付地区共 14 个,补偿总额合计增长至 204527.97 亿元,5 年间生态补偿规模增长了 3.46 倍。补偿规模扩大的原因:一是域间排放转移更为频繁,2012 年全国外需消费(中间品和最终品)排放占总排放比例为 15.56%,而 2017 年这一比例上升至

32.87%,更为频繁的省际排放转移导致横向补偿规模增加。二是补偿标准与域内碳赤字总量(EDC)增长迅速,研究期内各省单位碳补偿成本均有明显上升,全国碳赤字总量增长了 5.83 亿吨,两个因素的叠加使纵向补偿规模增加迅速。其二,从补偿地区结构看,从东部地区补偿西部地区受偿向“碎片化”的空间格局演变。为更直观呈现省际补偿的空间动态变化,将地区细分为四种类型:Ⅰ类横纵补偿均为赤字地区,Ⅱ类横向补偿赤字纵向补偿盈余地区,Ⅲ类横向补偿盈余纵向补偿赤字地区,Ⅳ类横纵补偿均盈余地区。基于上述分类,2012、2017 年省际生态补偿地区结构如图 7、图 8 所示。2012 年补偿地区高度集中在东部地区,而西部地区全为受偿地区;对应图 7“最终生态补偿地区结构”中红色与绿色图例地区。结合四种类型地区分类,这种特征表现得更为清晰,Ⅰ类横纵全赤字地区集中于东部地区,逐渐过渡到Ⅱ、Ⅲ类至少存在一种补偿赤字的中部地区,最后为两类全盈余的西部地区;不同地区类型结构层次分明,补偿与受偿呈明显东西走向;图 7“四种类型生态补偿地区结构”中从红色、黄色到绿色图例的演化过程十分清晰。2017 年受偿地区既包括西部省份,也包括南部沿海的广东、福建;而且补偿地区也逐渐由东部长三角地区向长江中游、黄河中游省市扩散,西部省市由横纵全盈余的Ⅳ类地区开始向Ⅲ、Ⅳ类地区演化。与 2012 年相比,图 8“四种类型生态补偿地区结构”横纵均盈余的地区不再集中于西部,横纵均赤字的地区也呈扩大趋势,补偿与受偿表现出“碎片化”的空间格局结构。

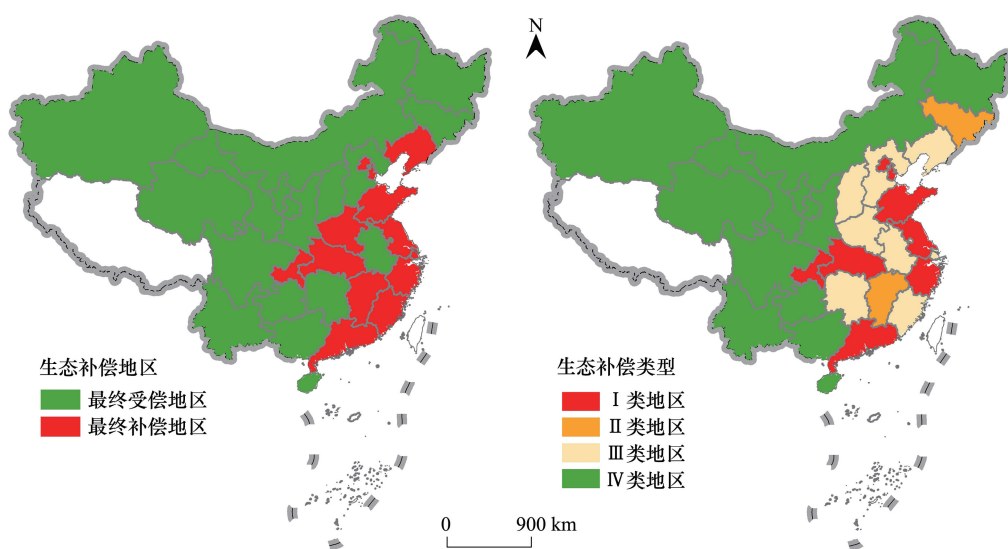


图 7 2012 年生态补偿地区结构图

Fig.7 The structure of ecological compensation by regions in 2012

4 研究结论与政策启示

4.1 研究结论

(1) 地区排放结构与碳汇变动。2012 年、2017 年内需排放在地区排放中占比分别为 84.43%、69.21%,地区排放责任主要源于本地生产消费活动。研究期内全域碳汇规模稳定在 2600mt 左右,林地和耕地是主要碳汇来源构成,二者合计占比超过 80%。地区碳汇规模变动较小,而消费排放与生产排放在多省相差悬殊,不同排放责任追溯的补偿政策结果必将差别迥异。

(2) 域间碳损益与域内碳损益。域间碳损益存在三种地区类型:以山东、广东为代表的“转入型”,以云南、青海为代表的“封闭型”,以江苏、上海为代表的“转出型”。全域排放结构分析显示,最终品消费排放占比仅为 1%,可见域间碳损益主要由中间品消费转移所致,因此可断定基于产业分工实现转移排放的“污染避难所”现象真实存在。域内碳损益表现出明显的地区经济与生态属性,进一步表明了生态补偿实施的必要性,

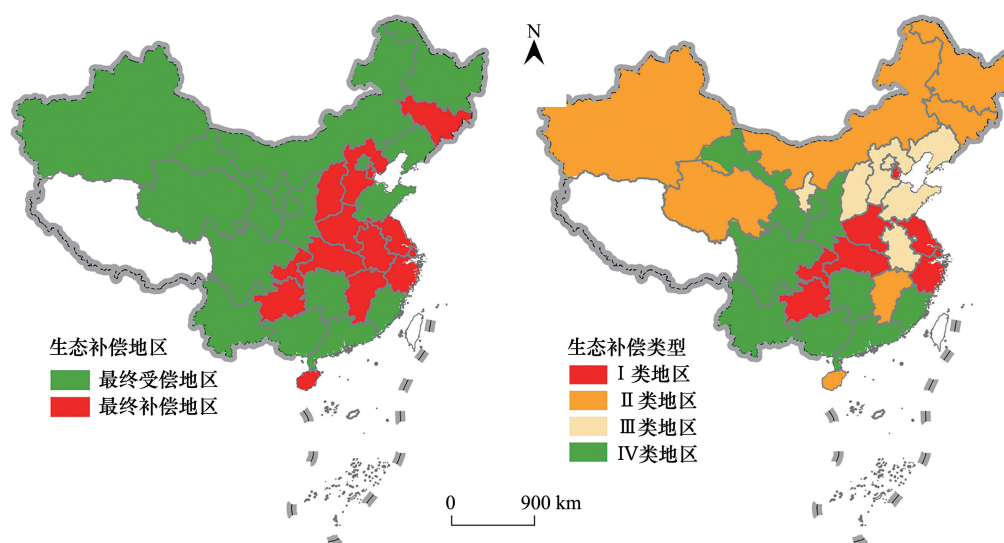


图8 2017年生态补偿地区结构图

Fig.8 The structure of ecological compensation by regions in 2017

域间公平均衡发展需建立全域生态价值与增长收益的有效分割机制。

(3)行业减排成本与地区补偿标准。行业减排成本相差悬殊,每吨碳减排成本差距可高达万元,减排成本较高的行业普遍为低碳行业,减排成本较低的行业多为高碳行业。利用行业减排成本对地区补偿标准的估算显示,经济技术先进的北京、广东等地补偿标准较高;而技术相对落后的内蒙古、新疆等地补偿标准较低。因此,基于行业与地区的减排优化将可大大降低全域环境治理成本。

(4)横纵补偿地区结构与动态变化。地区补偿结构由整体性东部补偿西部受偿向“碎片化”演化的可能原因在于省际排放阶段的分化:广东、福建等地较早的实现了经济与排放脱钩,进入到“技术清洁”阶段,由补偿地转为受偿地;湖北、河南等地经济与排放同时快速上升,尚处于“发展污染”阶段,补偿地区由东部地区向中部省市迁移;甘肃、陕西等地尚处于“自然清洁”阶段,研究期内始终为受偿地区;新疆、内蒙古等地由初期横纵两类盈余转变为至少存在一类赤字,排放向“发展污染”阶段过渡。排放的阶段分化使补偿结构出现地区上的“碎片化”,“双碳”战略推进应因省施策,应因阶段合理规划路径。

4.2 政策启示

(1)推进“消费地”责任追溯与“生产地”标准的补偿机制建设。责任追溯与补偿标准是生态补偿最底层的逻辑规则,决定补偿损益核算与政策效果。排放责任追溯长期存在“生产”与“消费”的原则之争,两种原则孰优孰劣并无定论;但结合生态补偿政策的应用场景,消费原则下的补偿机制可抑制发达地区将高污染产业向欠发达地区转移,驱动地区务实减排而非转移“减排”。生产地补偿标准原则有利于实现环境损害修复价值的“精确”内化,该标准下的补偿实施将使得低补偿标准地区的产品消费变得更具吸引力,驱动生产向低成本地区迁移,促进全域经济均衡发展。

(2)推进横纵结合的碳生态补偿模式建设。碳生态补偿的特殊性要求采取横纵结合的补偿模式,横向补偿致力于解决具有明确损益关系的排放转移生态利益调整;纵向补偿实现对排放与碳汇外溢中缺少明确损益关系的补偿。经济内循环过程中,省际价值流动与排放转移边界清晰,责任主体明确,容易实现自上至下的分解,形成从地区到行业和企业的微观传导,驱动市场化补偿机制的形成。纵向补偿前期可基于“生态贡献”构建补偿关系,推进补偿改革,促进地区减排与碳中和预期的形成;后期可基于“碳中和”目标框架,根据地区排放与碳汇净外部性实施补偿,利用生态补偿机制促进全域碳中和实现。

本文侧重于对横纵结合补偿机制的构建研究,但生态补偿实践不仅仅是补偿机制与方案的设计,而是系

统的环境监管机制建设与完善,后续研究可在三方面展开探索:一是如何形成从地区层面向企业微观层面的补偿传导机制;二是如何进一步加强补偿与受偿的地理空间对称关系(广东的排放对广西的真实污染必然高于青海,补偿价值核算如何更精准地反映实际地理结构关系);三是如何进一步完善生态产权、碳定价、排放核查等补偿配套机制。

参考文献(References):

- [1] 柴麒麟. 分解中国碳排放峰值. 中国经济报告, 2015(7): 54-56.
- [2] 吴立军, 李文秀. 基于公平视角下的中国地区碳生态补偿研究. 中国软科学, 2019(4): 184-192.
- [3] 柳荻, 胡振通, 靳乐山. 生态保护补偿的分析框架研究综述. 生态学报, 2018, 38(2): 380-392.
- [4] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [5] Wunder S, Engel S, Pagiola S. Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. Ecological Economics, 2008, 65(4): 834-852.
- [6] Engel S, Pagiola S, Wunder S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. Ecological Economics, 2008, 65(4): 663-674.
- [7] 李国平, 刘生胜. 中国生态补偿 40 年: 政策演进与理论逻辑. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2018, 38(6): 101-112.
- [8] 李皓芯, 任婧, 李娜, 付保荣, 宋有涛, 徐鹤. 基于文献计量的国内外生态补偿研究热点与案例分析. 生态科学, 2022, 41(4): 171-180.
- [9] 国务院办公厅. 关于健全生态保护补偿机制的意见. (2016-05-13) [2023-11-28]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/13/content_5073049.htm.
- [10] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 生态环境损害赔偿制度改革方案. (2017-12-17) [2023-11-28]. https://www.gov.cn/zhengce/2017-12/17/content_5247952.htm.
- [11] 国家发展改革委, 财政部, 自然资源部, 等. 建立市场化、多元化生态保护补偿机制行动计划. (2018-12-28) [2023-11-28]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-01/11/content_5357007.htm.
- [12] 国家发展改革委. 生态综合补偿试点方案. (2019-11-21) [2023-11-28]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-01/11/content_5357007.htm.
- [13] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于深化生态保护补偿制度改革的意见. (2021-09-21) [2023-08-28]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-09/12/content_5636905.htm.
- [14] 吴乐, 孔德帅, 靳乐山. 中国生态保护补偿机制研究进展. 生态学报, 2019, 39(1): 1-8.
- [15] 袁广达. 环境成本视角的跨界流域生态补偿标准量化研究. 会计研究, 2022(6): 16-31.
- [16] 陈冠宇, 巩宜萱. 跨省流域横向生态补偿何以实现——以汀江-韩江流域治理为例. 公共管理学报, 2023, 20(1): 97-108.
- [17] 楚道文. 流域横向生态补偿制度的三重进阶. 干旱区资源与环境, 2023, 37(7): 197-202.
- [18] 李坦, 徐帆, 祁云云. 从“共饮一江水”到“共护一江水”——新安江生态补偿下农户就业与收入的变化. 管理世界, 2022, 38(11): 102-121.
- [19] 张倩. 黄河流域横向生态补偿的协同治理困境与实践路径. 人民黄河, 2023, 45(8): 54-58, 67.
- [20] 尹正杰, 庄超, 陈进. 长江干流跨省横向生态补偿机制框架探讨. 长江科学院院报, 2023, 40(7): 16-21.
- [21] 刘桂环, 王夏晖, 文一惠, 谢婧, 张逸凡, 华妍妍, 朱媛媛, 郝春旭. 近 20 年我国生态补偿研究进展与实践模式. 中国环境管理, 2021, 13(5): 109-118.
- [22] 陈阳, 穆怀申. 中国生态补偿热点研究分析——基于 CiteSpace 的知识图谱分析. 环境保护科学, 2023, 49(2): 25-30.
- [23] 邓明君, 罗文兵, 尹立娟. 国外碳中和理论研究与实践发展述评. 资源科学, 2013, 35(5): 1084-1094.
- [24] 袁凯华, 张苗, 甘臣林, 陈银蓉, 朱庆莹, 杨慧琳. 基于碳减排目标的省域碳生态补偿研究. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 21-29.
- [25] 张永姣, 王耀辉. 基于省际贸易隐含碳排放视角的流域生态补偿测算——以黄河流域为例. 生态经济, 2023, 39(2): 26-33.
- [26] 邢贞成. 中国省际贸易隐含碳排放测算及跨区域补偿机制. 环境经济研究, 2023, 8(1): 84-99.
- [27] 钟诗雨, 张晓敏, 吴佳, 郭娜, 封强, 傅泽强. 基于碳减排成本的我国省域碳补偿机制. 环境科学, 2023, 44(8): 4637-4646.
- [28] 林晓薇, 潘庚飞. 我国碳生态补偿规划研究——基于东南地区七省一市实证分析. 西南大学学报: 自然科学版, 2021, 43(7): 130-138.
- [29] 万伦来, 林春鑫, 陈艺. 基于相对碳赤字的中国省际碳补偿时空格局研究. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2572-2583.
- [30] 胡剑波, 王青松. 基于碳平衡的民族地区生态补偿量化研究. 广西民族研究, 2019(6): 145-154.
- [31] 徐婕, 潘洪义, 黄佩. 基于 LUCC 的四川省主体功能区碳排放与生态补偿研究. 中国生态农业学报, 2019, 27(1): 142-152.
- [32] 黄晶晶, 李玲玲, 徐琳瑜. 基于外溢生态系统服务价值的区域生态补偿机制研究. 生态学报, 2021, 41(17): 6994-7001.
- [33] 樊纲, 苏铭, 曹静. 最终消费与碳减排责任的经济分析. 经济研究, 2010, 45(1): 4-14, 64.
- [34] 彭水军, 张文城, 孙传旺. 中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究. 经济研究, 2015, 50(1): 168-182.
- [35] 丛建辉, 常盼, 刘庆燕. 基于三维责任视角的中国分省碳排放责任再核算. 统计研究, 2018, 35(4): 41-52.
- [36] 王育宝, 何宇鹏. 中国省域净碳转移测算研究. 管理学报, 2020, 33(2): 1-10.
- [37] 王安静, 冯宗宪, 孟渤. 中国 30 省份的碳排放测算以及碳转移研究. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(8): 89-104.
- [38] 国家统计局国民经济核算司. 中国投入产出表——2018 年. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [39] CEADS. Carbon emission accounts and datasets for emerging economies [2023-11-28]. <https://www.ceads.net.cn/>.
- [40] 郑德凤, 刘晓星, 王燕燕, 吕乐婷. 中国省际碳足迹广度、深度评价及时空格局. 生态学报, 2020, 40(2): 447-458.
- [41] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴——2020. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [42] 吴立军, 田启波. 碳中和目标下中国地区碳生态安全与生态补偿研究. 地理研究, 2022, 41(1): 149-166.
- [43] 吴文佳, 蒋金亮, 高全洲, 蒋海兵. 2001—2009 年中国碳排放与碳足迹时空格局. 生态学报, 2014, 34(22): 6722-6733.
- [44] 刘刚, 孙睿, 肖志强, 崔天翔. 2001—2014 年中国植被净初级生产力时空变化及其与气象因素的关系. 生态学报, 2017, 37(15): 4936-4945.
- [45] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君, 刘兰翠, 廖华, 陈景明, 孙飞虎, 安润颖, 吴郎, 谭锦蒲, 邹颖, 赵子豪. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2022, 24(4): 13-26.