

引用格式: 洪竞科, 黄河, 王先柱. 经济结构转型的碳减排效应[J]. 资源科学, 2023, 45(11): 2103–2116. [Hong J K, Huang H, Wang X Z. The effect of economic structural transformation on carbon emission reduction[J]. Resources Science, 2023, 45(11): 2103–2116.] DOI: 10.18402/resci.2023.11.01

经济结构转型的碳减排效应

洪竞科¹, 黄河², 王先柱³

(1. 重庆大学管理科学与房地产学院, 重庆 400044; 2. 清华大学建设管理系, 北京 100084;

3. 安徽工业大学商学院, 马鞍山 243002)

摘要:【目的】在技术创新减排效应边际递减背景下, 挖掘经济结构转型的碳减排潜力对实现双碳目标具有重要意义。【方法】本文基于投入产出理论和结构分解分析, 构建了一个描述经济转型驱动碳减排的解释性框架, 运用中国 2007—2017 年的多区域投入产出表以及相应的碳排放数据, 分别从产业和空间维度, 系统分析能源结构、投入结构、中间生产结构、消费结构、投资结构与出口结构动态调整对碳减排的贡献, 并按全国、区域和地区 3 个层次分别展开讨论。【结果】①观察期内由于结构变动带来的碳减排量约为 1726.82 百万 t, 中国经济实现了从技术降碳到结构减排的动力转换; ②中间生产结构优化是结构性减排的支柱力量, 且经济部门间产业结构优化效应远大于地区间资源要素再配置带来的空间结构优化效应; ③区域内产业结构优化的碳减排效应更为显著, 地理区位存在先天劣势的内陆地区并未能实现区域协同联动下的碳减排; ④地区发展水平与经济结构转型的碳减排效应间主要表现出“尾部效应”和“规模效应”特征。【结论】经济结构转型是实现碳减排的关键路径, 生产侧和需求侧结构优化形成的“双轮驱动”效应有助于持续推动中国低碳转型发展。

关键词: 经济结构转型; 技术进步; 碳排放; 低碳转型; 区域协调; 结构分解分析

DOI: 10.18402/resci.2023.11.01

1 引言

党的二十大报告指出:“实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。”减少二氧化碳这一生产过程中的非期望产出往往依赖于技术进步和经济结构优化。在大量的经济学模型中(如新古典经济模型、内生增长模型), 技术进步都被认为是打破稀缺自然资源与长期经济增长之间张力的首要因素, 在节能减排过程中具有关键作用和核心地位^[1]。现有关于技术进步产生的节能减排效应的研究已经取得了丰硕的成果, 主要聚焦于对技术进步整体减排潜力的测算, 以及具体细分技术, 包括能效提升、能源替代与人工碳汇技术等方面的减排潜力预测。如张希良等^[2]发现中国从 2000 年到 2020 年技术进步对碳减排的贡献率接近

70%。然而, 中国也正面临着由于技术创新瓶颈导致的边际减排潜力下降的问题。从专利数据来看, 2016 年后中国低碳技术专利申请数量的增长率明显下降, 技术创新进入平台期。

在技术创新减排效应边际递减的情形下, 挖掘经济结构转型的碳减排潜力对破解技术进步放缓约束下的碳减排困局、实现经济的绿色低碳复苏具有重要意义。已有研究证明, 面对全球气候变化的客观事实, 经济结构变迁对能源消耗和温室气体排放有着重要影响^[3], 经济结构调整优化也是实现碳减排的重要途径^[4]。具体而言, 偏向服务业的产业升级有助于实现减排目标; 基于比较优势的地区分工有助于提高生产效率, 减少碳排放; 偏向清洁能源的绿色能源结构则有益于产业脱碳; 偏向节能低

收稿日期: 2023-05-15 修订日期: 2023-08-10

基金项目: 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(21JZD029); 国家自然科学基金项目(72071022)。

作者简介: 洪竞科, 男, 四川成都人, 教授, 主要从事城市资源管理与政策研究。E-mail: hongjingke@cqu.edu.cn

通讯作者: 黄河, 男, 安徽安庆人, 博士生, 研究方向为环境经济学与城市经济学。E-mail: hh23@mails.tsinghua.edu.cn

碳的消费结构、出口结构和投资结构可有效推动需求侧管理,是对生产侧减排的重要补充。然而,经济结构变化与碳排放控制并非总是朝着预期方向进行,中国经济也正面临着由于结构扭曲导致的资源低效配置和效率损失问题。主要包括:由于区域内劳动、资本等要素自由流动受阻导致的产业结构扭曲;区域间产品由于贸易壁垒和地方保护主义等区域性政策所导致的生产效率差异;以及由于一般性要素投入比例过高,而技术、数据等高级要素投入比重偏低导致产业中低端锁定而造成的资源消耗过多的问题。无论是资源配置的产业扭曲、空间扭曲还是要素投入扭曲,均会导致碳排放量的增加。测算经济结构变动对碳排放的贡献,协同研究经济结构转型和“双碳目标”的关系,是探寻两者优化路径的重要思路。

中国幅员辽阔,各个地区的资源禀赋和生产要素禀赋各不相同,其产业体系是由结构差异巨大的省际产业体系构成,各地区产业结构转型的碳减排效应具有异质性。因此中国经济结构转型与碳减排研究,不仅应当面向国家尺度下产业结构减排效应,还需要考虑省际尺度下能源结构、产业结构、需求结构的影响,分析省际尺度不同类型结构转型对全国碳排放变动趋势的影响。此外,中国地区之间存在广泛而紧密的经济联系,区域间贸易协同联动同样会引发地区产业结构的动态变化。从产业配置效应来看,区域协调发展政策能够建立统一开放的区域共同市场以及合理的产业分工合作体系^[5],从而提升产业间资源配置效率。从空间配置效应来看。区域协调政策能够打破区域间的地方保护和行政分割^[6],降低货物交易成本^[7],通过空间重组构建功能明确的区域空间结构,从而畅通要素循环,提升区域间资源配置效率。从要素投入看,区域协调发展战略能够驱动要素质量升级与创新,通过提高要素利用率以推动投入结构优化。明晰省级尺度结构性减排的异质性以及区域协调发展带来减排联动性为更加全面理解中国低碳转型发展提供了实证支撑。

本文基于投入产出理论和结构分解分析,构建了一个描述经济转型驱动碳减排的解释性框架,分别从产业和空间维度,系统分析能源结构、投入结

构、中间生产结构、消费结构、投资结构与出口结构动态调整与优化对碳排放的影响,并按全国、区域和省份3个层次分别展开讨论,归纳了各经济结构减排路径的异质性,并探讨了区域协调发展对碳排放的影响。与现有文献相比,本文的边际贡献在以下3个方面:一是明确了经济结构转型的碳减排效应,基于全国、区域和省份3个尺度深刻剖析结构转型和碳排放之间的关系,从整体与局部的角度把握经济结构转型和绿色低碳发展的基本逻辑。二是突破了现有结构分解分析方法的局限,能够在省级尺度实现对结构转型的多维度量,有助于探寻不同类型结构变化间的内在联系和演变规律。三是从结构转型视角,验证了区域充分协调发展的碳减排效果,论证了地区发展、结构转型与地区碳排放间的关系。

2 经济结构转型的内涵及其影响碳排放的理论机制

2.1 经济结构转型内涵分析

低消费、高储蓄、高投资的基本经济结构使得中国面临着经济增长内生动力不足、供需关系结构性失衡等突出问题^[8,9],推动经济结构转型升级是实现经济高质量发展的根本保证。实际上,经济结构转型的本质是产业内部生产效率和需求弹性差异导致的农业向工业、工业向服务业的倾向性转变^[10]。然而,仅凭三产结构变迁难以描述中国经济转型的复杂状况,需要进一步考虑需求和供给两侧经济结构变化的差异性特征:

(1)从需求侧看,以增加值为基准核算的三产结构实际上是由消费、投资和净出口各自三产增加值的相对比例决定。消费中第三产业占比基本维持在60%左右,而投资和出口主要集中在第二产业,占比保持在80%左右。然而从全国三产结构来看,二产和三产比重基本持平,稳定在40%~50%的区间。由此可见,传统的产业结构划分可能会掩盖各个组成部分的经济信息,因此有必要将消费、投资和出口结构纳入经济结构转型的研究框架。此外,产业结构还进一步隐藏着空间结构特征。地区间经贸往来和基于比较优势的地区分工共同塑造了各地区消费、投资和出口的产业格局,剥离地区

2023年11月

贸易在三次产业形成过程中的空间配置效应对理解地区平衡发展具有重要参考价值。

(2)从供给侧看,与需求结构相适应的生产结构同样需要引起重视^[11]。生产结构的本质是生产过程中各要素和量的组合状况,主要包括劳动对象结构(如能源结构)、劳动资料结构、劳动者结构和要素比重结构(如投入结构)^[12]。畅通经济循环则需要生产结构适应需求结构,而投入产出分析框架下中间生产过程则是连接供给和需求两端的纽带。中间生产结构反映的是地区和部门配置效应的加总,其结构优化能够强化供给和需求的有机联系。

基于此,本文将中国经济结构转型理解为涵盖能源结构、要素投入结构、中间生产结构、消费结构、投资结构、出口结构转型的综合性框架,并进一步系统研究中间生产结构、消费结构、投资结构和出口结构的产业配置效应和空间配置效应。

2.2 经济结构转型对碳排放的影响机制

Grossman等^[13]认为经济增长通过技术效应、结构效应和规模效应影响二氧化碳的排放,这为后续环境经济问题的研究提供了一个基本的分析框架^[14]。考虑本文研究经济结构转型的碳减排效应,因此重点分析各类型经济结构变动对碳排放的影响机制。

(1)从生产侧来看,能源结构调整是实现经济稳定增长和低碳转型协同的关键。然而目前中国能源消费结构仍以煤炭为主,具有高碳锁定特征,因此仍需要配合经济循环过程中供需两侧经济结构的转型升级,实现对能源结构优化减排的重要补充。要素投入结构从本质上是劳动力和资本投入在部门间转移的结果,其对碳排放的影响机制可以归纳为规模效应、扭曲效应和放大效应。首先,企业在生产要素相对冗余或配置不足的条件下均难以达到最优生产规模,从而不利于碳排放效率的改善。其次,中国较低的要素价格会导致要素市场的配置扭曲,形成粗放增长模式的锁定,造成产业转型升级受阻,从而影响生产过程中能源利用效率的提升。最后,资本要素对重化工行业的偏好将进一步增强该行业高能耗、高排放的属性。

(2)中间生产过程中蕴含的空间结构反映的是基于比较优势的地区分工有助于提高经济效率。从环境经济学的视角来看,就是以更少的能耗获得

更大的产出,同时减少碳排放等非期望产出的负外部性。由于地方保护主义和区域“特权”政策的存在,生产要素的空间流动与配置会受到行政管理、财税制度和区划体制的阻碍,导致整体效率偏低,从而增加碳排放。因而辨析生产结构中空间配置优化的边际减排贡献,可用于判断基于比较优势的地区分工与区域协调战略是否有助于实现碳减排目标。中间生产结构中的产业结构优化实则反映的是产业融合的现象,农业工业化、农业服务化以及工业服务化均可以提升生产效率^[15],从而在实现同样产出的前提下承担更小的环境代价。

(3)从需求侧来看,投资结构对碳排放的影响源自投资的“偏向性”。目前中国的投资仍偏向重工业的扩大再生产,导致粗放式生产方式的强化,加剧高碳产业的碳锁定。如果投资主要集中在高新技术产业或新能源产业,那么投资结构优化就与碳减排方向一致。随着中国社会主要矛盾的转变以及国家在消费端的持续发力,消费结构从现有的以耐用品和劳务服务消费转向满足美好生活需要的高质量消费。这种消费端的结构性转变可能间接增加对上游制造业的需求,引发碳排放量的增加。就出口结构而言,过去中国作为“世界工厂”,以低端制造业为导向的出口模式会加剧碳排放的增加,但随着中国在全球产业链和价值链地位的稳步提升,以及包括欧盟在内的碳税政策挤压,出口结构会逐步转向以低排放、高附加值产品为主的出口模式,高碳产品出口减少会相应降低国内生产导致的碳排放。

3 模型方法与数据来源

多区域投入产出表描述了不同地区部门之间的投入产出关系,还反映了各个地区和部门中间投入和最终需求的比例关系^[16]。利用结构分解分析的方法可将各类型经济结构单独剥离,从而量化经济结构转型的碳减排效应。首先拓展多区域投入产出模型,将碳排放这一指标纳入投入产出核算框架内,表达为若干的经济指标的组合。进一步,运用结构分解分析的方法将这些指标进行拆分,计算各个驱动因素对碳排放的影响。

3.1 多区域投入产出模型

假定多区域投入产出表有 m 个地区,每个地区

n 个部门。投入产出模型定义如下:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{B}\mathbf{y} \quad (1)$$

式中: \mathbf{x} 是 $mn \times 1$ 的列向量, 表示各地区分部门的总产出; \mathbf{A} 是 $mn \times mn$ 的直接消耗系数矩阵, 表示各地区分部门投入占总投入的比重; \mathbf{y} 是 $mn \times 1$ 的最终需求列向量, 表示各地区分部门的最终需求量; \mathbf{I} 是 $mn \times mn$ 的单位阵; \mathbf{B} 是 $mn \times mn$ 的完全需求矩阵, 又被称为列昂惕夫逆矩阵, 表示某一部门增加一单位最终需求产生的完全需求量; $()^{-1}$ 表示对括号内矩阵求解逆矩阵。

基于多区域投入产出模型, r 地区的碳排放决定方程定义如下:

$$\mathbf{c}^r = \hat{\mathbf{p}}^r \mathbf{x} = \hat{\mathbf{p}}^r (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} \quad (2)$$

式中: \mathbf{c}^r 是 $mn \times 1$ 的列向量, 表示 r 地区各部门的碳排放总量; $\hat{\mathbf{p}}^r$ 是 $mn \times mn$ 的对角矩阵, 对角线元素表示 r 地区各部门的碳强度, \wedge 是对角化符号。由式(2)可知, r 地区碳排放由碳强度、列昂惕夫逆矩阵以及最终需求3个部分决定。

3.2 结构分解分析方法

结构分解分析方法包括乘法分解和加法分解两种形式。前者主要用于相对指标的分解, 而后者往往适用于绝对指标的分解^[17]。由于本文的分解对象是各地区分部门的碳排放总量, 因此加法分解的形式更为恰当。对于 k 个因素, 相应的分解结果有 $k!$ 个。极分解法和加权平均法是已有研究较为常用的两种形式, 前者往往更适用于多因素的分层分解, 且两极分解的结果与其他分解结果的平均非常近似^[18], 故本文采取极分解的方法进行计算。式(2)分解结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{c}^r = & \mathbf{c}_1^r - \mathbf{c}_0^r = \hat{\mathbf{p}}_1^r \mathbf{B}_1 \mathbf{y}_1 - \hat{\mathbf{p}}_0^r \mathbf{B}_0 \mathbf{y}_0 = \underbrace{(1/2) \Delta \hat{\mathbf{p}}^r (\mathbf{B}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{B}_0 \mathbf{y}_0)}_{\text{碳强度变动对碳排放的贡献}} \\ & + \underbrace{(1/2) (\hat{\mathbf{p}}_1^r \Delta \mathbf{B} \mathbf{y}_0 + \hat{\mathbf{p}}_0^r \Delta \mathbf{B} \mathbf{y}_1)}_{\text{列昂惕夫逆矩阵变动对碳排放的贡献}} + \underbrace{(1/2) (\hat{\mathbf{p}}_1^r \mathbf{B}_1 + \hat{\mathbf{p}}_0^r \mathbf{B}_0) \Delta \mathbf{y}}_{\text{最终需求变动对碳排放的贡献}} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: 系数 $1/2$ 是两极加权平均的结果。下标 0 表示基期; 下标 1 表示报告期; $\Delta()$ 则表示某一驱动因素报告期减去基期的结果。

首先, 碳强度可进一步分解为排放强度(单位能耗产生的二氧化碳排放量)、能源结构(分为原煤、原油和其他能源3类)、能源强度(单位GDP所

消耗的能源)以及中间过程碳强度(由生产过程产生的, 非能源消耗导致的碳排放)。具体拆分过程与方程(3)一致。

其次, 列昂惕夫逆矩阵的变动($\Delta \mathbf{B}$)可以转化为直接系数矩阵的变动($\Delta \mathbf{A}$), 并进一步拆分为不同类型经济结构矩阵的基本积。

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{A} = & \Delta (\mathbf{S} \circ \mathbf{R} \circ \mathbf{T}) \\ = & \underbrace{(1/2) \Delta \mathbf{S} \circ (\mathbf{R}_1 \circ \mathbf{T}_1 + \mathbf{R}_0 \circ \mathbf{T}_0)}_{\text{空间结构变动对碳排放的贡献}} + \\ & \underbrace{(1/2) (\mathbf{S}_1 \circ \Delta \mathbf{R} \circ \mathbf{T}_0 + \mathbf{S}_0 \circ \Delta \mathbf{R} \circ \mathbf{T}_1)}_{\text{产业结构变动对碳排放的贡献}} + \\ & \underbrace{(1/2) (\mathbf{S}_1 \circ \mathbf{R}_1 + \mathbf{S}_0 \circ \mathbf{R}_0) \circ \Delta \mathbf{T}}_{\text{投入结构变动对碳排放的贡献}} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: \circ 表示哈达玛积, 又称基本积。 \mathbf{S} 、 \mathbf{R} 、 \mathbf{T} 均是 $mn \times mn$ 的矩阵, 分别表示某地区同一部门接受不同地区投入的比重、某地区中间生产不同部门投入比重、中间投入占总投入的比重。

最后, 最终需求可分为国内需求和出口两大组成部分:

$$\Delta \mathbf{y} = \Delta \mathbf{F} \boldsymbol{\mu}_0 + \Delta \mathbf{ex} = \Delta \sum_s \mathbf{F}^s \boldsymbol{\mu}_1 + \Delta \mathbf{ex} \quad (5)$$

式中: \mathbf{F} 是 $mn \times 2m$ 的矩阵, 表示各地区分部门的消费和投资; $\boldsymbol{\mu}_0$ 是 $2m \times 1$ 的单位列向量; \mathbf{ex} 是 $mn \times 1$ 列向量, 表示出口; \mathbf{F}^s 是 $mn \times 2$ 的矩阵, 表示 s 地区各部门的消费和投资; $\boldsymbol{\mu}_1$ 是 2×1 的单位列向量。

区域 S 的最终需求可分解需求结构和需求总量的矩阵基本积:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{F}^s = & \Delta (\boldsymbol{\Phi}^s \circ \boldsymbol{\Gamma}^s \circ \mathbf{D}^s) + \Delta (\boldsymbol{\Omega}^s \circ \boldsymbol{\Psi}^s \circ \mathbf{D}^s) \\ = & \underbrace{(1/2) \Delta \boldsymbol{\Phi}^s \circ (\boldsymbol{\Gamma}_1^s \circ \mathbf{D}_1^s + \boldsymbol{\Gamma}_0^s \circ \mathbf{D}_0^s)}_{\text{消费空间结构变动对碳排放的贡献}} \\ & + \underbrace{(1/2) (\boldsymbol{\Phi}_1^s \circ \Delta \boldsymbol{\Gamma}^s \circ \mathbf{D}_0^s + \boldsymbol{\Phi}_0^s \circ \Delta \boldsymbol{\Gamma}^s \circ \mathbf{D}_1^s)}_{\text{消费产业结构变动对碳排放的贡献}} \\ & + \underbrace{(1/2) \Delta \boldsymbol{\Omega}^s \circ (\boldsymbol{\Psi}_1^s \circ \mathbf{D}_1^s + \boldsymbol{\Psi}_0^s \circ \mathbf{D}_0^s)}_{\text{投资空间结构变动对碳排放的贡献}} \\ & + \underbrace{(1/2) (\boldsymbol{\Omega}_1^s \circ \Delta \boldsymbol{\Psi}^s \circ \mathbf{D}_0^s + \boldsymbol{\Omega}_0^s \circ \Delta \boldsymbol{\Psi}^s \circ \mathbf{D}_1^s)}_{\text{投资产业结构变动对碳排放的贡献}} \\ & + \underbrace{(1/2) \Delta \mathbf{D}^s \circ (\boldsymbol{\Phi}_1^s \circ \boldsymbol{\Gamma}_1^s + \boldsymbol{\Phi}_0^s \circ \boldsymbol{\Gamma}_0^s + \boldsymbol{\Omega}_1^s \circ \boldsymbol{\Psi}_1^s + \boldsymbol{\Omega}_0^s \circ \boldsymbol{\Psi}_0^s) \Delta \mathbf{D}^s}_{\text{需求总量变动对碳排放的贡献}} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $\boldsymbol{\Phi}^s$ 、 $\boldsymbol{\Gamma}^s$ 、 $\boldsymbol{\Omega}^s$ 、 $\boldsymbol{\Psi}^s$ 、 \mathbf{D}^s 均是 $mn \times 2$ 的矩阵, $\boldsymbol{\Phi}^s$ 是 s 地区同一部门消费不同地区产品的比重; $\boldsymbol{\Gamma}^s$ 是 s 地区各部门消费比重; $\boldsymbol{\Omega}^s$ 是 s 地区同一部门接受不同地区投资的比重; $\boldsymbol{\Psi}^s$ 是 s 地区各部门投资比重; \mathbf{D}^s 是 s 地区消费和投资总量。

2023年11月

同理,出口也可拆分为出口结构和出口总量两部分:

$$\begin{aligned} \Delta ex &= \Delta(\sigma \circ \zeta \circ \omega) \\ &= \underbrace{(1/2)\Delta\sigma \circ (\zeta_1 \circ \omega_1 + \zeta_0 \circ \omega_0)}_{\text{出口空间结构变动对碳排放的贡献}} \\ &\quad + \underbrace{(1/2)(\sigma_1 \circ \Delta\zeta \circ \omega_0 + \sigma_0 \circ \Delta\zeta \circ \omega)}_{\text{出口产业结构变动对碳排放的贡献}} \quad (7) \\ &\quad + \underbrace{(1/2)(\sigma_1 \circ \zeta_1 + \sigma_0 \circ \zeta_0) \circ \Delta\omega}_{\text{出口总量变动对碳排放的贡献}} \end{aligned}$$

式中: σ 、 ζ 、 ω 均是 $mn \times 1$ 的矩阵。 σ 是某地区同一部门接受不同地区投资的比重; ζ 是某地区各部门出口比重; ω 是出口总量。

综上,技术效应采用能源强度指标进行描述,规模效应则包括消费、投资和出口3个部分。结构效应对碳排放影响的测量作为本文分析的核心,应与社会经济运行所涉及的结构相匹配(图1)。从供给侧来看,投入产出框架下生产要素结构至少包括两个维度,一是初始投入内部结构,如劳动对象结构。能源作为经济生产的关键要素,其内部相对组成变化反映的即为扩大的劳动对象结构变动;二是初始投入占总投入比重的变化,本质上反映的是初

始投入和中间投入相对比例的变化,本文使用要素投入结构进行描述。从需求侧来看,消费、投资和出口共同决定最终需求总量,需求结构实则反映的是各地区不同产业消费、投资和出口比值随时间变化的加总效果。因此,本文的模型相应分解计算了消费结构、投资结构以及出口结构对碳排放的作用效果。中间生产作为连接供给和需求的枢纽,其结构变化可以进一步丰富经济结构转型的内涵。在多区域投入产出表的框架下,中间生产结构和需求结构(包括消费结构、投资结构和出口结构)可分离出由区域配置效应引发的结构变动(空间结构)和由于部门间投入产出变动引发的结构变动(产业结构),这为后续解释区域充分协调发展背景下结构转型的碳减排效应提供了技术支撑。而能源结构和要素投入结构囿于模型的限制,无法细分为对应的空间结构和产业结构。

3.3 数据来源与处理

本文使用的数据包括2007年、2010年、2012年、2015年和2017年的多区域投入产出表,以及相匹配的各地区分部门的能耗和碳排放数据,原始数

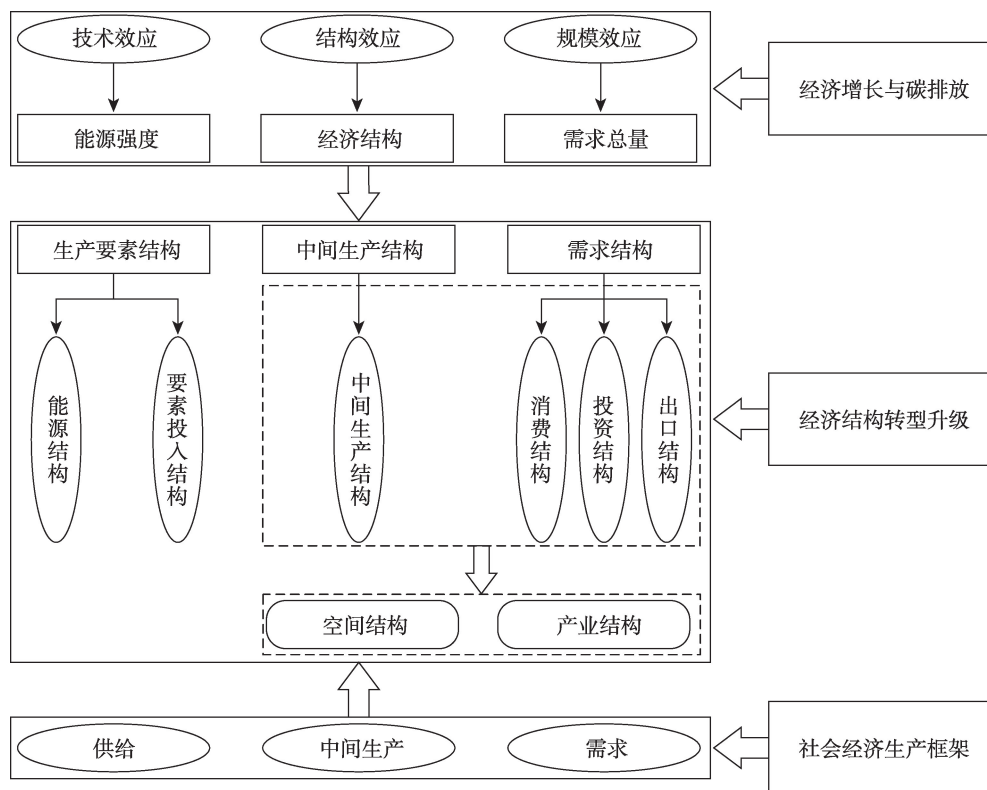


图1 驱动因素分解的基本框架

Figure 1 A basic framework of driving factors

据均来自 CEADs 数据库^①,该数据库具有纵向可比的优点^[19]。其中,2007年与2010年多区域投入产出表包含30个省份(西藏和港澳台地区因为数据缺失故未纳入),每个地区细分为30个部门。而2012年,2015年和2017年的多区域投入产出表包含31个省份(因数据缺失,港澳台除外),每个地区细分为42个部门。为了使得跨期投入产出表的地区和部门之间具有可比性,故将2012年、2015年和2017年投入产出表中的西藏删除,重新整理为30个省份的多区域表。部门层面上,将2007—2017年多区域投入产出表中的部门按照国民经济行业分类^②合并为三大产业,与已有产业结构的划分具有横向可比性,防止某些异常值对计算结果造成的较大干扰。除此,纳入三部门价格指数消除通货膨胀的影响。其中,第一产业采用的是农产品生产价格指数、第二产业采用的是工业生产者出厂价格指数、第三产业采用的是商品零售价格指数。价格指数均来自于国家统计局公布的官方数据。

以2007年作为研究起点有两点理由:①2007年之前,国家统计局计算的服务业增加值占GDP比重与基于投入产出表数据计算的结果存在差异,而2007年后数据结果之间具有可比性^[20];②2007—2017年数据同时包含了全球金融危机以及供给侧结构性改革前后的投入产出比例变化,具有较强的代表性。

4 结果与分析

4.1 不同经济因素对碳排放的影响分析

4.1.1 技术、结构、规模效应对碳排放的影响分析

本文利用降尺度结构分解分析模型测度了经济发展的结构效应、技术效应和规模效应对碳排放的影响(表1)。可以发现,中国经济实现了从技术减排到结构减排的动力转换。从2007年开始,全国

碳排放总量增长趋势持续放缓,进入了碳达峰前的平台期,这主要源自技术效应和结构效应减排动力的交替增强和规模效应减排阻力的持续减弱。具体来说,技术进步在观察期内持续实现碳减排,由于能源强度降低带来的碳减排量约为4161.32百万t,占到观察期全国减排总量的70.67%。然而,技术进步的碳减排效应边际递减,技术创新带来的减排红利正逐步消失,受到技术自身发展规律和技术瓶颈的制约。与之相反,结构变动的碳减排效应持续增强,2010年后结构效应的碳减排量以年均21.42%的速度增加,观察期内由于结构变动带来的碳减排量约为1726.82百万t,占减排总量的29.33%。需求增加产生的规模效应始终是碳排放增长的主要驱动力,在整个观察期内增加碳排放约9689.84百万t。同时,需求总量对碳排放的拉动效应以每年7.75%的速度递减,这可能源自生产端的结构性调整增加了供给结构对需求变化的适应性和灵活性,进而通过资源优化配置实现消费品不断升级,并提高了有效经济总量。

从各省份的减排效应看,大部分省份由于规模效应导致的碳排放增长在观察期内都呈现下降趋势(表2)。东部大部分省份,包括北京、上海、江苏、浙江,在观察期内基本实现了结构性减排动力对技术性减排动力的超越,形成了较为明显的剪刀差。中西部大部分省份,包括安徽、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南,其技术减排效应均大于结构性减排,说明内陆省份仍采用以技术进步为主导的减排模式,尚未形成从技术端到结构端的减排动力转换。

4.1.2 分类型结构变化对碳排放的影响分析

中间生产结构优化是实现减排的支柱性力量,共减少碳排放1297.83百万t,占结构效应减排总量

表1 2007—2017年结构、技术和规模效应对碳排放的影响(Mt)

Table 1 Impacts of structure, technology, and scale effects on carbon emissions, 2007–2017 (Mt)

	2007—2010年	2010—2012年	2012—2015年	2015—2017年	2007—2017年
结构效应	271.68	-247.55	-540.33	-1210.62	-1726.82
技术效应	-2094.32	-1479.30	-218.86	-368.84	-4161.32
规模效应	3630.32	2902.89	1536.25	1620.38	9689.84
贡献总和	1807.68	1176.04	777.06	40.92	3801.70

① 数据库链接:<https://www.ceads.net.cn/>。

② 国家统计局发布的《2017国民经济行业分类注释》。

2023年11月

表2 中国30个省份技术、结构和规模变化的减排效应 (Mt)

Table 2 Emission reduction effects of technological, structural, and scale changes in 30 provinces of China (Mt)

	技术效应				结构效应				规模效应			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
北京	-42.61	-31.78	-20.50	-16.69	59.27	-55.73	-45.32	-10.37	29.81	25.44	10.96	10.24
天津	-8.61	-16.60	-12.54	-15.54	-19.28	-14.33	-13.01	-5.24	55.26	48.00	21.67	13.65
河北	-49.33	-147.66	201.85	-109.54	-59.81	64.69	-48.24	-12.53	272.43	236.87	107.62	154.94
山西	-104.19	-88.33	117.36	-52.33	-74.46	12.49	-13.64	-81.64	188.20	151.51	38.15	90.69
内蒙古	-164.97	-68.97	89.84	140.07	-16.66	-5.70	-68.65	-121.24	271.58	171.23	32.94	84.93
辽宁	-110.35	-149.15	137.30	117.91	45.14	-82.21	-57.41	-134.65	204.68	165.26	32.72	46.88
吉林	-90.65	-24.52	-61.45	-39.53	34.72	-50.12	-36.67	-17.82	89.29	72.66	33.62	16.98
黑龙江	-70.20	8.10	42.14	-24.02	-15.50	-27.17	-50.05	-31.08	94.17	85.30	24.76	50.28
上海	-32.38	-30.58	19.67	-10.20	69.37	-75.69	-78.23	-87.47	57.69	43.09	3.96	21.98
江苏	-83.42	-142.23	81.75	-14.85	56.66	55.87	-26.43	-272.33	217.16	160.38	79.21	163.90
浙江	-67.13	-33.59	-7.74	0.97	-2.76	-49.84	53.49	-225.77	107.58	90.32	60.35	73.52
安徽	-122.90	-70.94	-47.81	-27.33	77.01	-20.27	-6.68	-40.89	102.42	100.29	91.95	44.00
福建	-32.16	-42.38	-35.22	-24.85	-1.36	-0.79	1.98	-70.72	71.12	45.91	10.20	62.97
江西	-104.23	-10.42	47.53	-16.40	9.68	24.60	1.24	-12.31	52.49	54.13	39.51	36.32
山东	-302.66	-30.23	-137.30	-94.33	153.05	-65.55	-145.98	-153.85	306.18	222.32	131.89	166.27
河南	-114.78	-182.72	-128.24	-43.30	-2.62	-25.41	44.87	-40.63	236.81	178.60	94.89	92.51
湖北	-65.77	-51.65	-166.96	2.48	33.66	25.27	-14.89	-60.65	129.62	132.42	87.84	53.39
湖南	-131.89	-62.07	-61.72	24.61	14.92	-10.14	4.13	-23.65	122.25	100.25	64.82	62.43
广东	-80.36	-49.46	-92.95	19.49	124.52	-181.38	-54.02	-89.95	137.74	127.91	48.50	48.41
广西	-43.09	-23.27	-36.11	21.60	-5.78	6.26	-13.43	4.14	84.06	57.62	45.75	14.16
海南	-7.53	-0.27	-0.69	-3.49	8.17	-1.18	-8.57	3.71	10.61	13.78	7.47	7.99
重庆	-14.53	-27.11	-47.83	-26.36	-9.38	33.45	-1.44	-0.92	58.05	60.05	75.87	1.72
四川	-20.53	-74.53	-15.15	-45.92	32.27	43.29	-4.76	-57.89	106.62	111.28	47.07	91.19
贵州	-51.83	-27.22	-111.05	-47.15	-1.46	16.39	-4.23	-39.62	78.44	80.20	68.48	55.35
云南	-44.86	-28.08	-41.90	-9.15	2.91	-12.57	7.40	-23.21	89.00	84.58	58.61	39.41
陕西	-62.37	-22.20	0.87	-56.74	-7.74	10.53	-47.95	28.00	97.12	84.00	55.01	48.58
甘肃	-19.19	-22.34	-2.47	9.21	8.87	-9.27	-2.94	-56.70	44.99	51.78	30.02	22.70
青海	-5.50	2.55	1.90	-7.85	-9.86	2.67	-8.22	7.83	13.57	14.39	11.64	9.00
宁夏	-19.11	-25.13	6.68	25.35	15.83	-0.63	15.48	-61.10	41.03	27.99	29.33	77.73
新疆	-27.17	-6.51	61.86	-44.95	12.43	-13.29	-124.74	35.37	62.89	90.13	80.53	91.90

注：Q1-Q4分别表示2007—2010年，2010—2012年，2012—2015年，2015—2017年4个时间区间。

的54.90%(表3)。实际上,中间生产的结构性优化主要来自于经济部门间产业调整带来的产业结构优化效应和地区间资源要素再配置带来的空间结

构优化效应。根据测算,观察期内中间生产通过产业结构优化减少碳排放945.19百万t,约为空间结构优化减排效应的3倍。究其原因,2007—2017年中

表3 2007—2017年各类型经济结构变动对碳排放的影响 (Mt)

Table 3 The impact of various types of economic structural changes on carbon emissions, 2007-2017 (Mt)

	能源结构	投入结构	中间生产结构	消费结构	投资结构	出口结构
2007—2010年	62.65	210.63	112.92	-26.09	-73.92	48.15
2010—2012年	-173.43	-161.51	-100.46	111.13	-89.94	-6.76
2012—2015年	-217.51	795.49	-997.28	-162.37	-111.48	-64.69
2015—2017年	-308.93	-768.60	-313.01	-41.94	-78.32	-8.75
2007—2017年	-637.22	76.01	-1297.83	-119.27	-353.66	-32.05

国产业结构调整取得明显成效,第三产业的比重从42.86%升至51.63%;另一方面,制度创新下的产业融合对经济结构转型升级作用明显。以农业为例,服务业对农业中间投入占比从2007年的15.31%升至2017年的18.57%,农业服务化减排效果显著。中间生产的空间减排效应表明国内地区的保护主义和市场分割特征制约了国内商品要素资源在地区间的互补协作和流通循环,导致区域间减排潜力有限。

能源结构优化实现的碳减排约为637.22百万t,主要源自可再生能源占比提升。在观察期内,可再生能源比例由2007年7.50%上升到2017年的13.60%,极大减少了由于化石能源消耗产生的碳排放。进一步,考虑到2007—2017年能耗总量从3114.42百万t标准煤上升到4558.27百万t标准煤,充分说明减排路径的实现并不一定依赖能耗总量的降低,实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变是中国实现双碳目标的必经之路。

需求侧的结构性减排成效则相对较弱,拉动经济的“三驾马车”投资、消费和出口分别实现结构性减排353.66百万t、119.27百万t和32.05百万t。

2007—2017年,居民消费占比基本维持在73%左右,其中住房需求约为10%,住房支出挤出了其他部门的消费,这种挤出效应不利于消费端的部门结构优化,导致减排效应有限。

4.2 区域发展视角下结构转型的碳减排效应分析

4.2.1 区域充分发展的碳减排效应

各个省份的中间生产结构、消费结构、投资结构与出口结构中的产业减排效应刻画了区域内各个经济部门在从事生产活动过程中通过产业间资源配置、要素流动与分工合作形成的碳减排效应,能够从结构视角验证区域内充分发展对地区减排的影响。研究期内各个省份产业结构调整的减排贡献主要源于2012—2017年间的省份内产业结构配置优化。2007—2012年,各个省份产业结构调整对碳减排贡献非常有限(-1.73百万t)(图2)。党的十八大以来,通过大力推进生态文明建设、加快经济结构战略性调整等方式,地区充分发展能力进一步增强。2012—2017年,通过区域内产业结构配置优化实现碳减排1471.81百万t,约为2017年碳排放总量的15%。其中东部沿海发达省份(如江苏与广东)以及北方资源丰富省份(如河北与内蒙古),产

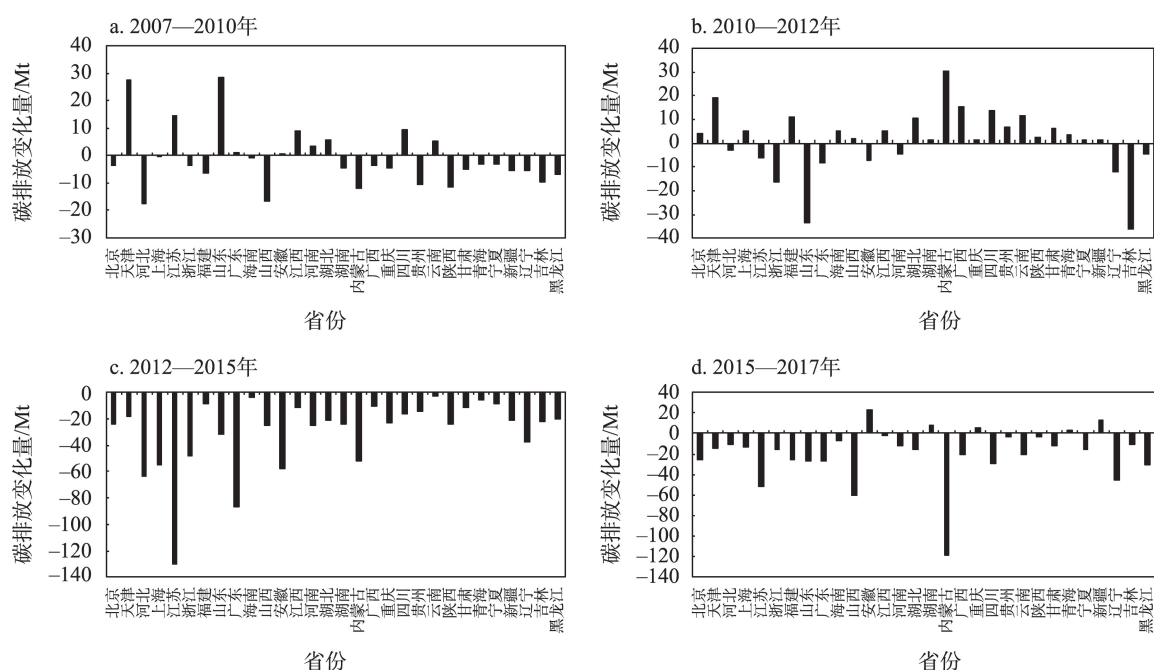


图2 2007—2017年各省份充分发展的碳减排效应

Figure 2 Carbon reduction effect of regional development in full swing, 2007-2017

注:各省份按照东部、中部、西部和东北顺序排列。下同。

2023年11月

业结构调整优化成效显著,研究期内贡献碳减排总量的30%。这两类省份由于在地理位置、资源禀赋以及比较优势方面的巨大差异,其结构减排路径不尽相同。具体而言,东部省份良好的地理区位以及对外贸易优势,决定了该类型省份主要通过发挥城市群对要素的高效配置与集聚效应,以技术创新为导向通过产业升级与梯度转移实现结构调整对碳减排的促进作用。北方资源丰富省份是中国传统的矿产资源型省份与重工业生产基地,具有传统发展路径依赖和产业结构偏向高能耗重工业的典型特征,该类型省份主要通过深化供给侧结构性改革、化解过剩产能、产业转型与提质增效实现结构调整对碳减排的促进作用。

东中西部发展差异成因及其经济后果得到现有文献的重点分析^[21],本文则从不同区域结构减排路径异质性视角考察地理区位、经济发展等因素对地区产业配置减排效应的影响。东部省份充分发展的减排效应领跑全国,约为其他区域的2~3倍(图2),证明了发展高端制造业与现代服务业,形成分工合理、创新驱动的产业格局对从结构侧实现碳减排具有重要意义。其次是西部省份,除了2007—2012年出现了短暂的结构性碳排放增加,之后实现了持续的深度结构减排。这种产业配置效率与西

部省份充分发挥比较优势与市场化机制,引导要素有序流动密不可分。东北省份是唯一在观察期内实现持续结构性减排的区域,同样是受到振兴东北战略的影响,不同于西部省份以投资拉动为主的建设模式,东北省份从2004年开始通过控制重化工业规模、推进高能耗产业绿色改造升级、化解过剩产能以及发展以生产性服务业为重点的现代服务业持续实现产业结构效率的提升。

4.2.2 区域协调发展的碳减排效应

各省份在生产结构、消费结构、投资结构与出口结构中的空间减排效应刻画了区域间通过地区贸易、产业转移、分工合作以及要素跨区域配置所形成的碳减排效应,即从结构视角解读区域间协调发展对地区碳减排的影响。各个省份的碳排放在观察期内均未表现出规律性变化,呈现明显的波动。从观察期的总体减排量来看,沿海省份,包括天津、辽宁、黑龙江、山东与广东省份,空间配置优化产生的碳减排量均超过60百万t(图3)。换言之,沿海省份利用区位优势,通过港口贸易以及海上运输,能够更好融入国内循环与区域一体化发展,充分发挥区域协调发展对结构调整的空间配置效应。此外,从时间序列上看,整个“十二五”时期通过区域协调发展实现了显著的结构性减排,减排总

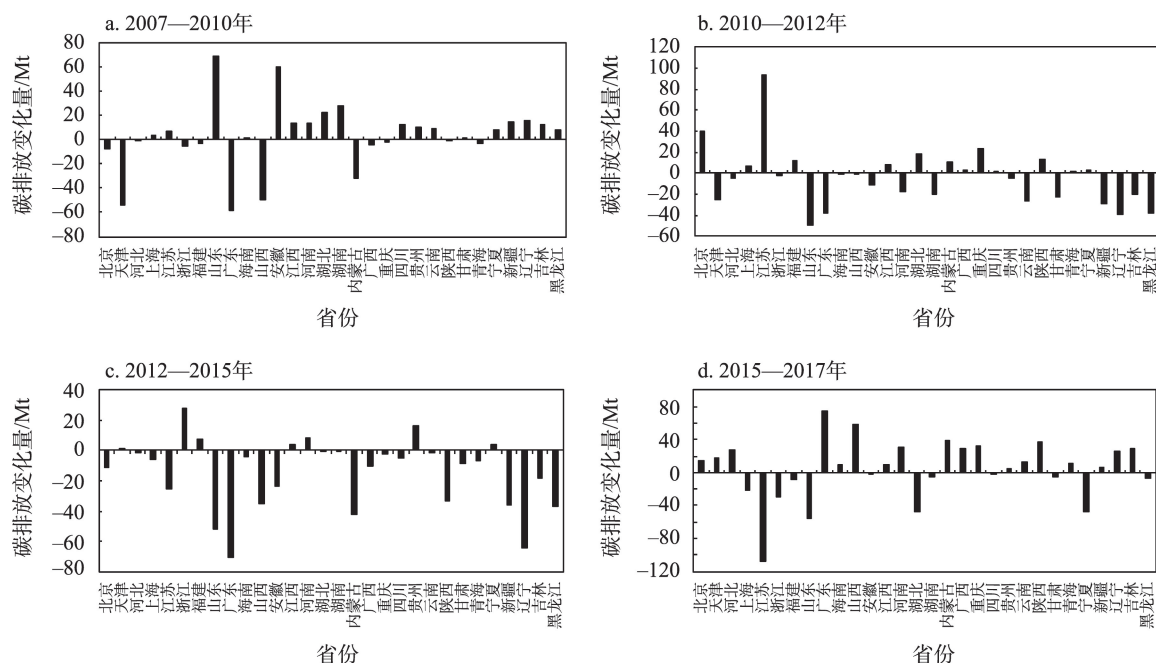


图3 2007—2017年各省份协调发展的碳减排效应

Figure 3 Carbon reduction effect of regional coordinated development, 2007-2017

量546.27百万t。但相比通过区域充分发展引致的碳减排量,通过区域协调发展的结构性减排仍有较大潜力尚待挖掘。

分区域来看,东部省份结构性减排的空间配置效应仍然领跑全国(图3)。与之相反,尽管中部地区与东部沿海地区相邻,但并未形成良好的区域互动与产业协同,并且从区域协调发展视角看有进一步恶化的趋势,观察期内空间配置效应导致结构性碳排放增加61.74百万t。东北地区相较于西部地区在区域协调发展方面展现出更大的减排潜力,在观察期内实现碳减排约133.41百万t,是西部地区的5倍。城市群作为地区发展到成熟阶段的最高空间组织形态,能够充分展示区域一体化的结构性减排作用。通过分别计算京津冀(北京、天津、河北)、长三角(上海、江苏、浙江)、珠三角(广东)和成渝(四川、重庆)城市群空间配置的结构性减排效应,可以发现沿海地区城市群的空间减排量约为151百万t,占到全国总减排量的45.70%,远高于内陆省份城市群(约51百万t)。

综上所述,各省份主要通过产业配置优化而非空间配置优化实现省份结构性减排。中国区域协调发展战略通过要素倾斜以及转移支付等多种方式,更多地促进了省份内部的充分发展,即通过产业配置优化实现结构性减排。而由于区域贸易壁垒和地方保护主义等问题,区域协调发展的整体效果欠佳,尤其是针对地理区位存在先天劣势的内陆省份,并未能实现区域协同联动下的空间配置优化。此外,还可以发现地理区位在实现区域充分协调发展过程具有重要作用,一方面这是地理条件所具备的天然先发优势使然,同时也是后期资本、技术要素积累的体现。

4.2.3 不同经济发展水平下各省份结构转型的碳减排效应

进一步考察各省份不同类型结构的碳减排效应与地区经济发展之间的关系。可以发现,省份发展与结构转型的碳减排趋势主要表现出“尾部效应”和“规模效应”特征(图4)。具体而言,“尾部效应”体现在低于全国人均GDP水平的省份更多的表现为结构性累计碳排放增加,如中间生产结构、消费结构、出口结构。“规模效应”则具体包括两方面

的内涵:①人口规模和经济体量越大的区域减排效果越好,即实现了结构优化的规模效应;②人口规模和经济体量越大的省份,结构性累积碳排放增加趋势越明显,如广东、山东、江苏等“头部”省份以及河南、四川等人口规模较大的省份,其要素投入结构均表现为碳排放的增加。对于上海、福建、重庆、辽宁这些人口规模和GDP总量适中的省份,则呈现出结构性减排效应。换言之,相比于投资结构,要素投入尚未形成结构调整的规模效益。究其原因,一方面,中国经济高速增长中存在大量的重复建设问题。投资过度虽然强化了投资的规模效应,但弱化了要素配置效率,表现为要素投入结构导致的碳排放增加;另一方面,过去中国经济增长过度依赖劳动力、土地、资源等一般性生产要素投入,技术、知识、信息等高级要素投入比重偏低,导致中低端产业偏多、要素投入结构性失衡,造成资源能源消耗过多,导致碳排放增加。

5 讨论与结论

5.1 讨论

首先,从测算结果的可比性来看,本文研究发现由于能源强度降低导致的碳减排总量占到观察期全国减排总量的70.67%,这与张希良等^[2]的研究结果相近(70%),具有较好的可比性。同时,从变化趋势来看,技术进步所减少的碳排量呈下降趋势,结构优化的碳减排效应反而持续增强。Huang等^[22]以能耗作为研究对象同样发现能源强度下降带来的节能效果在弱化,而生产结构的优化在节能过程中扮演着越来越重要的作用。

其次,区域协调发展视角下的分析发现,由于区域贸易壁垒和地方保护主义等问题,空间配置结构优化的减排效应较弱,因此有必要深入挖掘区域协调发展的减排潜力。陆铭等^[23]强调了市场主导下的跨区域投资更有助于结构效率的提升,因此需加速形成供需互促、畅通高效的内外循环,使得各省份享受区域一体化发展的“结构红利”。针对东部沿海省份,充分利用区位优势,通过港口贸易以及海上运输,优化空间配置。针对中西部内陆省份,发挥市场的规模效应和集聚效应,破除妨碍各种生产要素市场化配置和商品服务流通的体制机制障碍,降低制度性交易成本。通过发挥区域比较优势

2023年11月

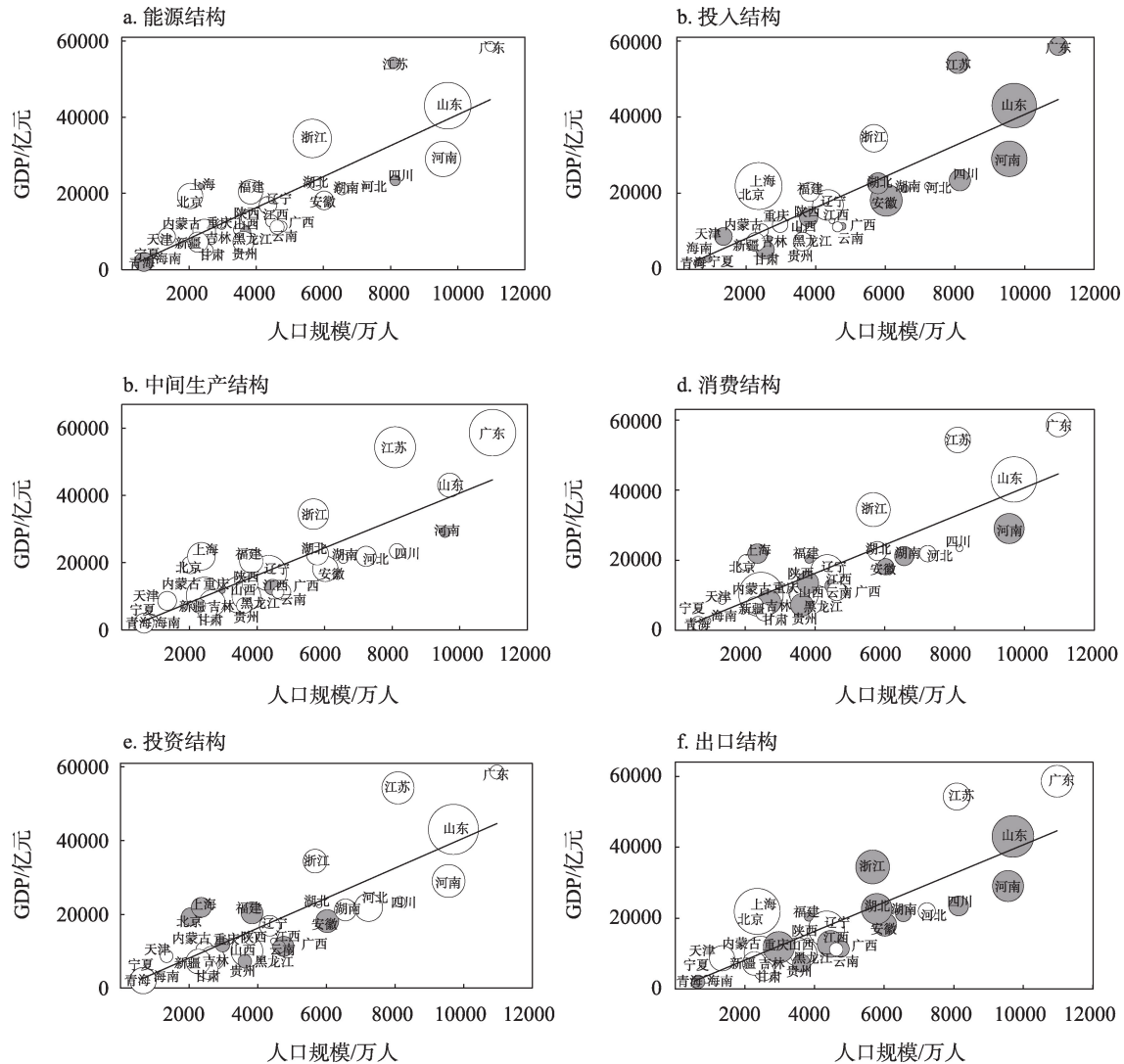


图4 不同经济发展水平省份经济结构转型的减排效应

Figure 4 Emission reduction effect of economic structural transformation in provinces with different economic development levels

注:图中气泡表示各省份不同类型结构在观察期内的累积减排量,横纵为省份观察期内年均人口规模,纵轴为年均GDP。

和要素集聚效应,实现结构性减排。

最后,基于中国经济转型的碳减排效应分析结果,重点从“结构降碳”的视角来探寻持续推动碳减排的具体路径。结合地区经济发展水平和资源禀赋的客观差异,分别凸显生产侧和需求侧结构优化对碳减排的“双轮驱动”效应。东部沿海省份需要聚焦需求侧结构优化,通过鼓励绿色消费行为,倒逼生产过程低碳转型;引导资本进入绿色低碳行业以优化投资结构,充分发挥金融机构在产业发展高端化、能源利用高效化、生活消费绿色化方面的引领作用,拓宽绿色低碳融资渠道;持续优化全球价值链分工下的出口产品结构,逐步转向以低排放、

高附加值产品为主的出口模式。而中西部内陆省份则需要进一步加强供给侧结构性改革。一方面,通过完善市场退出机制,巩固“去产能”成效,尤其针对水泥、钢铁、有色、化工等重点高能耗高排放的行业。另一方面,利用碳税、资源税等政府财政收入,支持引导补贴绿色型企业发展,不断推动产业结构的转型升级。

为应对全球气候变化,中国提出的“碳中和”目标与中国经济高质量发展具有内在的一致性^[24],持续推动产业结构和能源结构转型升级是中国低碳转型发展的必由之路。对此,本文仍有进一步的拓展空间,比如从企业视角量化产业结构调整对碳排

放的影响,为协同实现产业转型升级与“双碳”目标提供微观层面的经验证据。

5.2 结论

本文使用中国2007—2017年的多区域投入产出表以及相应的碳排放数据,创新地开发降尺度的结构分解分析模型,深入考察各类型经济结构变迁对碳排放的贡献,并从结构性视角验证区域协调发展战略的碳减排效应。主要结论如下:

(1)碳排放增长趋势放缓主要源自技术效应和结构效应减排动力的交替增强和规模效应减排阻力的持续减弱。其中,技术进步在观察期内持续实现碳减排,占到观察期全国减排总量的70.67%;结构优化带来的碳减排量在2010年后以年均21.42%的速度增加,观察期内引致的碳减排量约为1726.82百万t。

(2)中间生产结构优化是实现结构性减排的支柱性力量,共减少碳排放1297.83百万t,占结构效应减排总量的54.90%,且经济部门间产业调整带来的产业结构优化效应远大于地区间资源要素再配置带来的空间结构优化效应。来自于需求侧的结构性减排成效则相对较弱。

(3)区域内产业结构优化的碳减排效应更为显著,且东部省份无论是区域内充分发展还是区域间协调发展的碳减排效应均领跑全国;由于区域贸易壁垒和地方保护主义等问题,地理区位存在先天劣势的内陆省份并未能实现区域协同联动下的空间配置优化。

(4)地区发展与结构转型的碳减排趋势主要表现出“尾部效应”和“规模效应”特征。其中,投资结构优化带来的碳减排已具备规模效应,但要素投入仍面临结构性失衡,造成人口和经济规模较大的省份碳排放增加。

参考文献(References):

[1] 王家明,余志林.资源型城市低碳技术进步驱动碳减排的多重异质性[J].中国人口·资源与环境,2022,32(11):156-170. [Wang J M, Yu Z L. Multiple heterogeneity of carbon emission reduction driven by low-carbon technology progress in resource-based cities[J]. China Population, Resources and Environment, 32 (11): 156-170.]

[2] 张希良,黄晓丹,张达,等.碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J].管理世界,2022,38(1):35-66. [Zhang X L, Huang X D, Zhang D, et al. Research on the pathway and policies for China's energy and economy transformation toward carbon neutrality[J]. Journal of Management World, 2022, 38(1): 35-66.]

[3] Lin Z Q, Liao X C. Synergistic effect of energy and industrial structures on carbon emissions in China[J]. Journal of Environmental Management, 2023, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118831.

[4] 邵帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展:基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J].管理世界,2022,38(2):46-69. [Shao S, Fan M T, Yang L L. Economic restructuring, green technical progress, and low-carbon transition development in China: An empirical investigation based on the overall technology frontier and spatial spillover effect[J]. Journal of Management World, 2022, 38(2): 46-69.]

[5] 陆军,毛文峰.城市网络外部性的崛起:区域经济高质量一体化发展的新机制[J].经济学家,2020,(12):62-70. [Lu J, Mao W F. The rise of urban network externalities: A new mechanism for high-quality integrated development of regional economy[J]. Economist, 2020, (12): 62-70.]

[6] 范欣,宋冬林,赵新宇.基础设施建设打破了国内市场分割吗?[J].经济研究,2017,52(2):20-34. [Fan X, Song D L, Zhao X Y. Does infrastructure construction break up domestic market segmentation?[J]. Economic Research Journal, 2017, 52(2): 20-34.]

[7] 马鑫,黄涛.交通基础设施建设与区域间市场整合:以高速公路为例[J].数量经济技术经济研究,2023,(11):1-21. [Ma X, Huang T. Transportation infrastructure construction and interregional market integration: A case study of expressways[J]. Quantitative and Technical Economic Research, 2023, (11): 1-21.]

[8] 贺京同,汪震,魏哲.资本产出率扭曲、投资结构优化与经济稳定增长[J].经济与管理研究,2022,43(12):3-18. [He J T, Wang Z, Wei Z. Capital output ratio distortion, investment structure optimization and steady economic growth[J]. Economics and Management Research, 2022, 43(12): 3-18.]

[9] 周维富.我国实体经济发展的结构性困境及转型升级对策[J].经济纵横,2018,(3):52-57. [Zhou W F. The structural dilemma of the development of China's real economy and the countermeasures of transformation and upgrading[J]. Economic Vertical and Horizontal, 2018, (3): 52-57.]

[10] 王弟海.三次产业增长和产业价格结构变化对中国经济增长的影响:1952-2019年[J].经济研究,2021,56(2):22-38. [Wang D H. The effects of growth and price structure changes of primary, secondary and tertiary industries on China's economic growth: 1952-2019[J]. Economic Research Journal, 2021, 56(2): 22-38.]

[11] 张建华,赵英,刘慧玲.国内国际双循环视角下中国产业结构转型升级研究[J].中国工业经济,2023,(9):42-60. [Zhang J H, Zhao Y, Liu H L. Research on the transformation and upgrading of

2023年11月

- China's industrial structure from the perspective of domestic and international double cycle[J]. *China's Industrial Economy*, 2023, (9): 42-60.]
- [12] 李帮喜, 刘充, 赵峰, 等. 生产结构、收入分配与宏观效率: 一个马克思主义政治经济学的分析框架与经验研究[J]. *经济研究*, 2019, 54(3): 181-193. [Li B X, Liu C, Zhao F, et al. Production structure, income distribution and macroeconomic efficiency: An analytical framework and empirical study of Marxist political economy[J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54(3): 181-193.]
- [13] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [14] 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, (3): 81-98. [Wang W J, Chen Z L. A study on the initial carbon quota allocation scheme in China's provincial regions: Based on the perspective of responsibility and target, equity and efficiency[J]. *Journal of Management World*, 2019, (3): 81-98.]
- [15] 郭凯明, 王钰冰, 杭静. 产业融合效率、投资结构优化与商业服务发展[J]. *财贸经济*, 2022, 43(3): 114-127. [Guo K M, Wang Y B, Hang J. Industrial integration efficiency, structural change in investment, and the development of commercial services[J]. *Finance and Trade Economics*, 2022, 43(3): 114-127.]
- [16] 闫云凤. 中国对外直接投资的碳排放效应: 基于多区域投入产出模型[J]. *资源科学*, 2022, 44(11): 2222-2232. [Yan Y F. Carbon emissions from China's outward foreign direct investment: Measurement based on multi-regional input-output model[J]. *Resources Science*, 2022, 44(11): 2222-2232.]
- [17] 陈敏. 长江经济带水资源配置质量演化特征及其驱动因素[J]. *资源科学*, 2022, 44(6): 1280-1291. [Chen M. Evolution trend and driving factors of water resources allocation quality in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Resources Science*, 2022, 44(6): 1280-1291.]
- [18] 李虹, 王帅. 需求侧视角下中国隐含能源消费量及强度的影响因素[J]. *资源科学*, 2021, 43(9): 1728-1742. [Li H, Wang S. Research on influencing factors of China's energy consumption and intensity: Based on the demand-side perspective[J]. *Resources Science*, 2021, 43(9): 1728-1742.]
- [19] 郑正喜, 黄祖南, 周融. 我国多区域投入产出表的数据质量评估问题研究[J]. *统计研究*, 2023, 40(1): 90-105. [Zheng Z X, Huang Z N, Zhou R. Research on data quality evaluation of multi-regional input-output tables in China[J]. *Statistical Research*, 2023, 40(1): 90-105.]
- [20] 闫冰倩, 冯明. 服务业结构性扩张与去工业化问题再审视[J]. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(4): 42-62. [Yan B Q, Feng M. The structural expansion of the service sector and re-examination of deindustrialization[J]. *Journal of Quantitative & Technological*, 2021, 38(4): 42-62.]
- [21] 刘智勇, 李海峥, 胡永远, 等. 人力资本结构高级化与经济增长: 兼论东中西部地区差距的形成和缩小[J]. *经济研究*, 2018, 53(3): 50-63. [Liu Z Y, Li H Z, Hu Y Y, et al. Human capital structure upgrading and economic growth: A reconsideration of disparities among China's eastern, central and western regions[J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(3): 50-63.]
- [22] Huang H, Hong J K, Wang X Z, et al. A spatiotemporal analysis of the driving forces behind the energy interactions of the Chinese economy: Evidence from static and dynamic perspectives[J]. *Energy*, 2022, DOI: 10.1016/j.energy.2021.122104.
- [23] 陆铭. 空间的力量: 地理、政治与城市发展[M]. 上海: 格致出版社, 2013. [Lu M. The Power of Space: Geography, Politics and Urban Development[M]. Shanghai: Truth & Wisdom Press, 2013.]
- [24] 徐政, 左晟吉, 丁守海. 碳达峰、碳中和赋能高质量发展: 内在逻辑与实现路径[J]. *经济学家*, 2021, (11): 62-71. [Xu Z, Zuo S J, Ding S H. Carbon peak, carbon neutrality empowers high-quality development: Internal logic and realization path[J]. *Economist*, 2021, (11): 62-71.]

The effect of economic structural transformation on carbon emission reduction

HONG Jingke¹, HUANG He², WANG Xianzhu³

(1. School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Department of Construction Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Business School, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: [Objective] In the context of the marginal reduction effect of technological innovation, it is of great significance to investigate the carbon reduction potential of economic structural transformation to achieve the “dual carbon” goal. [Methods] Based on the input-output theory and structural decomposition analysis, this study constructed an explanatory framework to describe the carbon emission reduction driven by economic transformation. The multi-regional input-output table and corresponding carbon emission data of China from 2007 to 2017 were used for the analyses from the industrial and spatial dimensions respectively. The contribution of the dynamic adjustments of energy structure, input structure, intermediate production structure, consumption structure, investment structure, and export structure to carbon emission reduction was systematically analyzed, and discussed at the national, regional, and provincial levels respectively. [Results] (1) During the study period, the carbon emission reduction caused by structural changes was about 1.727 billion tons, and China's economy realized the power transformation from technology-driven carbon reduction to structural change-driven emission reduction; (2) The optimization of intermediate production structure was the pillar of structural change-driven emission reduction, and the effect of industrial structure optimization among economic sectors is much greater than that of spatial structure optimization caused by inter-regional resource factor reallocation; (3) The carbon emission reduction effect of industrial structure optimization within each region was more significant, and the inland regions with inherent geographical disadvantages failed to realize the spatial allocation optimization under regional synergy. The carbon emission reduction effect of the eastern region, whether it is fully developed within the region or due to coordinated development between regions, took lead in the country. (4) Regional development level and economic structural change carbon emission reduction effect mainly showed the characteristics of “tail effect” and “scale effect”, in which the investment structure emission reduction had scale effect, but the factor input still faced structural imbalance, resulting in the increase of carbon emissions caused by the change of factor input structure in provinces with large populations and economic scale. [Conclusion] Economic structure transformation is an important path to achieving carbon emission reduction. Through the “two-wheel driving” effect of production side and demand side structure optimization on carbon emission reduction, China's low-carbon transformation development will be continuously promoted.

Key words: economic structure transformation; technological progress; carbon emissions; low-carbon transition; regional coordination; structural decomposition analysis