



“双碳”背景下区域隐含碳排放及其产业关联

胡玉杰 王彬力

Research on Regional Embodied Carbon Emissions and the Industrial Correlation under the Background of Dual-carbon Goal

HU Yujie WANG Binli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2024.7716>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[面向双碳的能源产业和金融政策体系设计思考](#)

Dual Carbon Oriented Energy Industry and Financial Policy System Design

北京理工大学学报（社会科学版）. 2022, 24(4): 81 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.1563>

[“双碳”政策的知识图谱、研究热点与理论框架](#)

Knowledge Mapping, Research Hotspots and Theoretical Framework of “Dual-carbon” Policy

北京理工大学学报（社会科学版）. 2023, 25(4): 94 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2023.1966>

[完全隐含能源与碳强度研究进展综述](#)

Reviews of Studies on Aggregate Embodied Energy and Carbon Emission Intensities

北京理工大学学报（社会科学版）. 2024, 26(1): 47 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2024.7609>

[传统工业园区实现“双碳”目标路径研究](#)

Research on the Roadmap of Traditional Industrial Parks to Achieve Carbon Peak and Neutrality Goals

北京理工大学学报（社会科学版）. 2022, 24(4): 37 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.1243>

[双碳目标下新型电力系统规划与省域减排路径](#)

Research on New Power System Planning and Provincial Emission Reduction Path under Dual Carbon Target

北京理工大学学报（社会科学版）. 2024, 26(4): 68 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2024.1478>

[电力跨区传输视角下电动汽车规模化应用的碳排放转移](#)

Carbon Emission Transfer by Large-scale Application of Electric Vehicles from the Perspective of Inter-regional Electricity Transmission

北京理工大学学报（社会科学版）. 2022, 24(1): 12 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.5512>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2024.7716

“双碳”背景下区域隐含碳排放及其产业关联 ——以贵州省电力行业为例

胡玉杰, 王彬力

(贵州大学 管理学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为助力实现国家“双碳”目标, 重点排放部门电力行业的碳减排十分关键。基于多区域投入产出模型构建贵州省际贸易隐含碳排放转移矩阵, 采用结构分解分析方法识别隐含碳排放变化的驱动因素, 求解出其产业关联系数, 分析其产业关联特征。研究结果表明: 贵州在省际贸易中属于隐含碳净流出省份, 主要流向广东、江苏、重庆等地区, 2012 年和 2017 年贵州隐含碳净流出量分别为 58 百万吨和 23 百万吨, 五年内贵州电力行业隐含碳排放总量增加了 3.5 百万吨, 主要是由于最终需求和碳强度的变化。其他产业对电力行业依赖程度较高, 建筑业与交通运输、仓储和邮政行业是电力隐含碳主要流向行业。发电行业, 煤炭采选产品行业为电力行业贡献了大部分隐含碳, 电力行业流向服务业的隐含碳较多。此外, 贵州电力行业的影响力系数和感应度系数均大于 1, 表明该行业对其他产业发展的推动及拉动作用均较大。煤炭采选产品行业、金属冶炼和压延加工品、化学产品是电力行业最为密切的一个上游行业和两个下游行业。服务业与电力行业的关联度在逐步提高, 建筑业对电力行业的依赖程度也在逐步提高。建议国家在进行减排目标分担时, 应考虑贸易产生的隐含碳排放; 电力行业产业链生产端重点关注发电行业减碳, 需求端重点关注建筑业; 鼓励上下游产业链和关联产业的合作。

关键词: “双碳”; 隐含碳; 投入产出模型

中图分类号: F426

文献标志码: A

文章编号: 1009-3370(2025)01-0088-15

为减缓气候变化并实现碳中和, 从 2020 年起, 将温升限制在 1.5°C 的剩余碳预算估计为 3 000 亿吨 (83% 的置信度)^[1]。作为世界上最大的碳排放国家和发展中国家, 中国在排放空间有限的前提下, 多次提出“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和”, 即“双碳”目标^[2-4]。要有效实现节能减排, 只依靠单一产业是不够的。产业链作为经济周期的支柱^[5], 产业结构的优化、产业合作能够降低能源消耗, 促进碳减排^[6-7]。因此, 研究产业间的关联具有一定现实意义, 能够为产业协同促进节能减排和共同发展提供参考。

中国电力行业碳排放量占全国碳排放总量的 40% 以上, 电力行业作为中国最大的碳排放部门, 也是支撑终端电气化发展的关键行业, 在能源系统低碳转型中扮演着重要角色^[8]。因此, 为实现“双碳”目标, 应以电力行业减排为重点, 同时充分发挥出协同效应, 发挥产业链优势, 推动各产业协同发展, 促进能源高效利用和低碳转型。

贵州煤炭资源丰富, 煤电装机容量大, 地形复杂, 水力、风力资源丰富, 具有发展清洁能源的优势。同时, 贵州电力需求稳步增长, 从 2012 年的 1 047 亿千瓦时增长到 2020 年的 1 586 亿千瓦时。但贵州人均 GDP 在全国排名靠后, 目前仍处于快速增长阶段。此外, 贵州电力产业发展潜力大, 与其他省份的经济往来日益紧密, 但其碳排放强度位于全国前列。贵州相较于其余省份面临着更为严峻的减排形势, 本文以贵州为研究对象, 探究其在省际贸易中的碳排放特征, 并依据产业关联系统分析其“双碳”背景下的电力产业链, 以对国家实现低碳转型, 优化减排路径提供支持。

关于产业碳排放特征的研究大多集中在制造业、建筑业和交通运输业等单个行业^[9-11]。部分研究集中

收稿日期: 2024-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72104062)

作者简介: 胡玉杰 (1990—), 女, 副教授, 硕士生导师, E-mail: yjhu@gzu.edu.cn; 王彬力 (1999—), 女, 硕士研究生, E-mail: wblgz123@163.com

于整个工业部门^[12-13]。对产业间隐含碳排放进行研究,为追踪经济中各产业的碳排放提供了一种更系统的方法。隐含碳是指在提取原材料用于生产、中间加工以及将商品销售给消费者的过程中排放的二氧化碳^[14-15]。探究产业间隐含碳排放转移网络及影响隐含碳排放的因素,能明确碳排放责任归属,有助于对各产业部门碳排放行为进行更合理有效的管理。目前,多数研究主要采用投入产出法测算隐含碳排放量,并利用结构分解法(SDA)确定驱动因素。Li等^[16]利用多区域投入产出(MRIO)模型揭示了中国省际和产业间隐含碳流动的特征,并应用SDA反映了碳流动的主要驱动力。Zhou等^[17]利用MRIO梳理了2002年、2007年和2012年中国主要地区之间的隐含碳转移路径,并利用SDA识别了影响地区隐含碳排放的主导因素。Mi等^[18]构建了MRIO表,比较了中国八个地区之间隐含碳排放量与中国对外出口特点之间的关系,并利用SDA研究了碳排放量变化的驱动因素。Li等^[19]以山西作为研究对象,对省际贸易中的隐含碳排放特征进行了深入分析,并识别了其背后的驱动因素和关键行业,以此提出减排建议。高鹏和岳书敬^[20]通过构建多区域投入产出模型,对中国产业部门的隐含碳排放进行了量化分析,并提出推动产业部门的技术进步和提高产业部门的数字化程度是实现中国产业部门低碳发展的关键策略。上述研究多集中在中国各省份之间碳排放的转移情况,而关注特定区域与其余区域转移关系的研究还有待拓展。

就产业关联而言,很多学者利用投入产出法进行了产业经济、环境评价研究。投入产出法可以快速分析出产业链上各个环节的经济效益和环境影响,识别出产业链上的关键环节,为环境管理提供决策支持。并且动态分析了关联产业与产业隐含碳排放,定量分析不同产业或部门的环境影响,为政策制定提供更加准确的参考。有学者通过构建投入产出邻接矩阵对数字经济产业链进行了分析^[21]。洪娜眉等^[22]通过使用投入产出表和不同行业的能源消耗数据,探讨了广东隐含碳转移特性以及能源消耗与各产业之间的联系。关冠军^[23]利用投入产出表,通过产业中间需求率、中间投入率、影响力系数、感应度系数以及产业关联的拓朴网络分析技术,分析了各产业在经济内循环中承担的角色。上述研究大多讨论产业链上各产业的经济影响,而本文以排放重点行业电力行业为主视角,分析电力行业与其他行业的关联情况,并以此进行减排路径的优化。

综上,本文采用MRIO模型结合SDA测算区域间隐含碳及其驱动因素,既能反映部门间的相互关系,又能动态分析各因素的影响程度,并构建贵州电力产业关联核算模型,对贵州电力产业链进行分析。

基于以上分析,多数学者采用MRIO及SDA方法对不同区域进行研究,在探究隐含碳排放路径及其影响因素方面取得了较大进展,但仍存在以下不足:大多数文献从全行业视角出发,缺乏对重点行业的深入研究;大部分学者研究中国整体排放情况,对于特定省份的研究较少,且关于能源大省贵州的研究有待拓展;部分学者探究了各产业之间相互作用带来的经济影响,而忽略了基于产业关联进行减排路径的优化。因此,本文主要分析贵州电力行业在省际贸易中隐含碳转移特征,并讨论贵州产业间关联情况,以此提出合作减排建议。研究旨在实现:(1)量化贵州省际贸易的隐含碳排放特征和驱动因素;(2)计算贵州电力产业链关联系数,分析电力产业链协同情况;(3)基于分析结果对电力供应链协同减排提出优化意见。

一、研究方法

多区域投入产出分析主要用于研究多个区域或国家之间各产业部门在往来的经济贸易中生产和消耗之间的数量依存关系^[24-25],它捕捉了区域和行业间的相互作用^[26]。

如式(1)是一个多区域投入产出表中的平衡关系

$$x_i^r = \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^m y_i^{rs} + ex_i^r \quad (1)$$

其中, m 为地区数量; n 为产业部门数量; x_i^r 为 r 地区 i 产业部门总产出; z_{ij}^{rs} 为 r 地区 i 产业部门对 s 地区 j 产业部门的投入; y_i^{rs} 为 s 地区最终消费或使用的 r 地区 i 产业部门生产的最终产品; ex_i^r 为 r 地区 i 产业部门生产的用于出口的最终产品。

此外,直接消耗系数 $a_{ij}^{rs} = z_{ij}^{rs} / x_j^s$,故有如式(2)关系

$$x_i^r = \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^{rs} x_j^s + \sum_{s=1}^m y_i^{rs} + ex_i^r \quad (2)$$

矩阵形式如式(3)

$$x = Ax + y + ex \quad (3)$$

其中, x 为总产出列向量, 向量维度为 $mn \times 1$; A 为直接消耗系数矩阵; 向量维度为 $mn \times mn$; y 为最终消费矩阵; 向量维度为 $mn \times m$; ex 为出口; 向量维度为 $mn \times 1$ 。

若有 $A \neq I$, $(I-A)$ 是可逆的, 则式(3)改写如下

$$x = (I - A)^{-1}(y + ex) \quad (4)$$

如式(4), 知列昂惕夫逆矩阵 $L = (I - A)^{-1}$, 其元素 l_{ij}^s 称为列昂惕夫逆系数。该元素表示 s 地区 j 产业部门增加一单位最终使用时, 对 r 地区 i 产业部门的完全需要量。

(一) 区域间隐含碳排放转移的测度

本文在测算区域间隐含碳排放转移时, 主要借鉴Wang等^[27]的测算方法, 并采用Zheng等^[28]编制的多区域投入产出表。为使投入产出表和能源消耗分类部门保持一致, 首先将原始投入产出表依照表1所示合并为27个部门。由于数据可用性及完整性, 本文不考虑西藏、香港、澳门和台湾。

表1 部门划分及编号

产业编码	合并后部门分类	产业编码	原始投入产出表的部门分类
1	农林牧渔产品和服务	1	农林牧渔产品和服务
2	煤炭采选产品	2	煤炭采选产品
3	石油和天然气开采产品	3	石油和天然气开采产品
4	金属矿采选产品	4	金属矿采选产品
5	非金属矿和其他矿采选产品	5	非金属矿和其他矿采选产品
6	食品和烟草	6	食品和烟草
7	纺织品	7	纺织品
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品
9	木材加工品和家具	9	木材加工品和家具
10	造纸印刷和文教体育用品	10	造纸印刷和文教体育用品
11	石油、炼焦产品和核燃料加工品	11	石油、炼焦产品和核燃料加工品
12	化学产品	12	化学产品
13	非金属矿物制品	13	非金属矿物制品
14	金属冶炼和压延加工品	14	金属冶炼和压延加工品
15	金属制品	15	金属制品
16	通用及专用设备	16/17	通用设备/专用设备
17	交通运输设备	18	交通运输设备
18	电气机械和器材	19	电气机械和器材
19	通信设备、计算机和其他电子设备	20	通信设备、计算机和其他电子设备
20	仪器仪表	21	仪器仪表
21	其他制造业	22/23	其他制造产品和废品废料/金属制品、机械和设备修理服务
22	电力、热力的生产和供应	24	电力、热力的生产和供应
23	气和水的生产和供应	25/26	燃气生产和供应/水的生产和供应
24	建筑	27	建筑
25	贸易及餐饮服务	28/30	批发和零售/住宿和餐饮
26	交通运输、仓储和邮政	29	交通运输、仓储和邮政
27	其他服务业	31/32/33/34/ 35/36/37/38/ 39/40/41/42	信息传输/软件和信息技术服务/金融/房地产/租赁和商务服务/研究和试验发展/综合技术服务/水利、环境和公共设施管理/居民服务、修理和其他服务/教育/卫生和社会工作/文化、体育和娱乐/公共管理、社会保障和社会组织

将投入产出模型与碳排放相联系，如式（5）所示

$$c^{rs} = e^r(I - A)^{-1}y^s \quad (5)$$

其中， c^{rs} 为 r 地区对 s 地区的隐含碳转出量； e^r 为直接碳排放系数； y^s 为 s 地区的最终需求。

式（5）中， $e^r(I - A)^{-1}$ 表示完全碳排放系数，指部门生产一单位最终消费产品时，产生的直接和间接碳排放之和。

同理， c^{sr} 表示 r 地区来自 s 地区的隐含碳转入量，其表达式如式（6）所示

$$c^{sr} = e^s(I - A)^{-1}y^r \quad (6)$$

r 地区对 s 地区净碳转移表达式如式（7）所示

$$c_{\text{net}}^{rs} = c^{rs} - c^{sr} \quad (7)$$

r 地区净碳转移总量表达式如式（8）所示

$$c_{\text{net}}^r = \sum_{s \neq r}^m c^{rs} - \sum_{s \neq r}^m c^{sr} \quad (8)$$

c_{net}^r 为正，表明 r 地区向其他地区转出了碳排放； c_{net}^r 为负则是其他地区向 r 地区转入了碳排放。

（二）结构分解分析

SDA 是一种比较静态的分析方法，它基于投入产出模型，对其核心参数变化的比较进行经济原因的探讨^[29-30]。该方法主要用于量化自变量变化对因变量变化的贡献程度。本文采用 SDA 中的两级分解法。在 Wang 等^[31]和 Wei 等^[32]的研究中，都选取了碳排放系数、中间投入产出结构和最终需求量作为碳排放变化的驱动因素，并根据各指标的正负及大小确定各因素对碳排放变化的影响方向及程度。本文参照他们的研究成果，采用上述三种数据，将电力行业隐含碳排放的变动划分为三个主要部分：（1）碳排放强度效应（ACE）；（2）投入产出结构效应（ACL）；（3）最终需求效应（ACY），以分别表示对碳排放量变动的影响。

从基期 t^0 到计算期 t^1 ，隐含碳排放量的波动 ΔC 可以被描述为如式（9）所示

$$\Delta C = C^1 - C^0 \quad (9)$$

如果从基期 t^0 开始分解，则可以分解为式（10）所示

$$\Delta C = \Delta CE \times CL^0 \times CY^0 + CE^1 \times \Delta CL \times CY^0 + CE^1 \times CL^1 \times \Delta CY \quad (10)$$

如果从计算期 t^1 开始分解，则可以分解为式（11）所示

$$\Delta C = \Delta CE \times CL^1 \times CY^1 + CE^0 \times \Delta CL \times CY^1 + CE^0 \times CL^0 \times \Delta CY \quad (11)$$

对式（10）和式（11）取算数平均，即式（12）、式（13）、式（14）所示

$$\Delta CE = 1/2[\Delta CE \times CL^0 \times CY^0 + \Delta CE \times CL^1 \times CY^1] \quad (12)$$

$$\Delta CL = 1/2[CE^0 \times \Delta CL \times CY^0 + CE^1 \times \Delta CL \times CY^1] \quad (13)$$

$$\Delta CY = 1/2[CE^0 \times CL^0 \times \Delta CY + CE^1 \times CL^1 \times \Delta CY] \quad (14)$$

其中， ΔCE 、 ΔCL 及 ΔCY 分别描述了各区域排放强度变动、中间投入结构的调整及最终需求变化对隐含碳排放的影响，即碳排放强度效应、投入产出结构效应及最终需求效应。

求和得到式（15）

$$\Delta C = \Delta CE + \Delta CL + \Delta CY \quad (15)$$

（三）产业关联度系数

产业关联分析对于揭示产业结构具有十分重要的意义，能反映一个部门对其余部门生产活动的拉动或推动作用^[33-34]。可以通过产业感应度系数和产业影响度系数来进行描述。产业前后向直接关联描述的是一个产业内各个生产环节间的紧密联系程度。反映了一个产业内不同生产环节之间的相互依存程度和联系紧密程度。这个指标对于产业发展和政策制定具有重要的作用，可以用于评估一个产业的发展程度和竞争力。一个产业内各个环节之间的联系更加紧密，说明这个产业的内在关联度更高，生产效率更高，创新能力更强。感应度系数与影响力系数能够全面揭示国民经济各领域的重要性。

1. 产业感应度系数

产业感应度系数是反映产业的前向联系程度,指某产业的生产发生改变时引起其他产业的生产发生相应改变的系数,具体公式如式(16)所示

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}} \quad (16)$$

其中, b_{ij} 为完全需求矩阵,即列昂惕夫逆矩阵中的元素,表示部门 j 总产出增加 1 单位对部门 i 的完全消耗;每一行的合计 $\sum_{j=1}^n b_{ij}$ 表示了各个部门均增加一个单位最终需求时, i 部门增加的总产出。

2. 产业影响度系数

产业影响力系数是反映产业后向关联程度的指标,表示当某一产业的生产发生改变时,其他产业的生产活动也会相应地发生变化,具体公式如式(17)所示

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{ij}} \quad (17)$$

其中,每一列的合计 $\sum_{i=1}^n b_{ij}$ 表示了 j 部门最终需求增加一个单位时,对其余部门产出的需求。

本文使用的数据主要包括 2012—2017 年全国多地区投入产出数据,贵州投入产出数据,以及各省分行业碳排放数据。投入产出数据和碳排放数据来自中国碳排放数据库 (CEADs),贵州投入产出数据来自国家统计局。

二、结果与讨论

(一) 隐含碳排放特征与驱动因素

1. 贵州省际间隐含碳流动情况

2012 年和 2017 年贵州的隐含碳转出量分别是 84.73 百万吨和 84.86 百万吨,转入量分别是 26.73 百万吨和 61.36 百万吨。因此,净转出量为 58 百万吨和 23 百万吨。由此可见,贵州属于隐含碳转出省份,承担了省域贸易间的减排责任。

如表 2 所示,从隐含碳净流向来看,2012 年贵州对 24 个省为净流出,2017 年对 18 个省市为净流出。2012—2017 年间,贵州对重庆、广东、北京、浙江保持着高隐含碳流出,而从贵州到江西、江苏、湖北、安徽、上海和天津的净隐含碳流出量显著减少。虽然贵州在 2012—2017 年间隐含碳净转出量大减少,但是对邻近的重庆、云南、湖南和四川的净流出量有显著增加。

具体而言,2012 年贵州净隐含碳排放流出最大的省主要是广东、江苏、重庆、湖北、北京和浙江,流出量分别为 7.23 百万吨、6.31 百万吨、5.51 百万吨、5.27 百万吨、5.16 百万吨和 5.03 百万吨。2017 年贵州净隐含碳排放流出最大的省主要是重庆、广东和浙江,分别有 6.82 百万吨、6.63 百万吨和 5.84 百万吨。而净隐含碳排放流出增加值最大的是与贵州相邻的四个省份,即四川、重庆、云南以及湖南,五年间增加值均超过了 1.2 百万吨。即贵州通过省际贸易为这些省份提供了一定商品价值,满足了其他省份的中间消费和最终消费需求,尤其是对邻省的帮助在逐渐增加,但自身因此产生了巨大的碳排放压力。

从产业视角出发(表 3),2012 年贵州隐含碳流出的最关键产业包括 22、2 和 14 这三个部门(部门编号如表 1 所示)。分别有 54.72 百万吨、8.85 百万吨和 7.88 百万吨,占排放总量的 64.8%、10.5% 和 9.3%。主要流向其余省市的建筑业(24)(35.57 百万吨)及其他服务业(27)(12.13 百万吨)。至 2017 年,贵州隐含碳流出量最大的三个产业包括电力行业(22)、非金属矿物制品(13)和贸易及餐饮

服务（25），分别占 51.77 百万吨、6.33 百万吨和 5.79 百万吨，占总量的 61.4%，7.5%和 6.9%。主要流向其余省市的建筑业（24）（38.58 百万吨）及其他服务业（27）（15.07 百万吨）。

表 2 2012 年和 2017 年贵州隐含碳净流出量

单位：百万吨

流向省份	2012年	2017年	流向省份	2012年	2017年
北京	5.16	3.74	河南	0.23	0.35
天津	1.65	0.23	湖北	5.28	0.88
河北	0.37	-1.64	湖南	1.02	2.27
山西	-0.41	-2.56	广东	7.23	6.63
内蒙古	-1.47	-2.81	广西	1.19	-0.21
辽宁	1.73	-0.52	海南	0.69	1.05
吉林	1.30	-0.67	重庆	5.51	6.82
黑龙江	0.75	0.05	四川	0.47	2.10
上海	3.98	0.38	云南	0.98	2.29
江苏	6.31	1.17	陕西	1.85	1.44
浙江	5.03	5.84	甘肃	0.02	-0.82
安徽	2.41	0.71	青海	0	0.13
福建	0.81	-0.41	宁夏	-0.20	-0.76
江西	2.94	1.32	新疆	-0.26	-1.81
山东	3.24	-2.17	合计	57.80	23.00

表 3 2012 和 2017 年贵州各部门隐含碳流出量

单位：百万吨

部门编号	2012年	2017年	部门编号	2012年	2017年
1	0.44	2.40	15	0.09	0.04
2	7.88	4.96	16	0.00	0.00
3	0.00	0.00	17	0.02	0.01
4	0.06	0.05	18	0.00	0.00
5	0.01	0.02	19	0.00	0.00
6	0.11	0.09	20	0.00	0.00
7	0.00	0.00	21	0.01	0.00
8	0.00	0.00	22	54.72	51.77
9	0.00	0.00	23	0.28	0.06
10	0.01	0.01	24	0.01	0.03
11	1.78	0.65	25	2.01	5.79
12	0.31	0.72	26	2.87	3.88
13	3.96	6.33	27	1.08	3.64
14	8.85	3.90	/	/	/

2. 贵州隐含碳流出的驱动因素

为明确各因素对贵州隐含碳流出变化的影响，将 2012—2017 年的隐含碳流出变化分解为三个驱动因素：碳排放强度、中间投入产出结构和最终需求。根据式（9），2012—2017 年贵州在省际贸易中隐含碳流出变化结构分解结果如图 1、图 2、图 3 所示。

如图 1 所示，碳强度效应对贵州隐含碳流出产生了负向影响，证明了研究时段内贵州低碳发展模式取得了有效进展。其中部门 22、13 和 14 对碳强度效应的贡献最大，部门 22 和 14 对隐含碳流出的碳强度效应有负向影响，而部门 13 则相反。

如图 2 所示，投入产出结构效应对贵州隐含碳流出呈现出微弱的负向影响。部门 22、13 和 14 对其贡献最大，部门 22 对其余十五个省市隐含碳流出的投入产出结构效应有负向影响，如山东和湖北，而对河

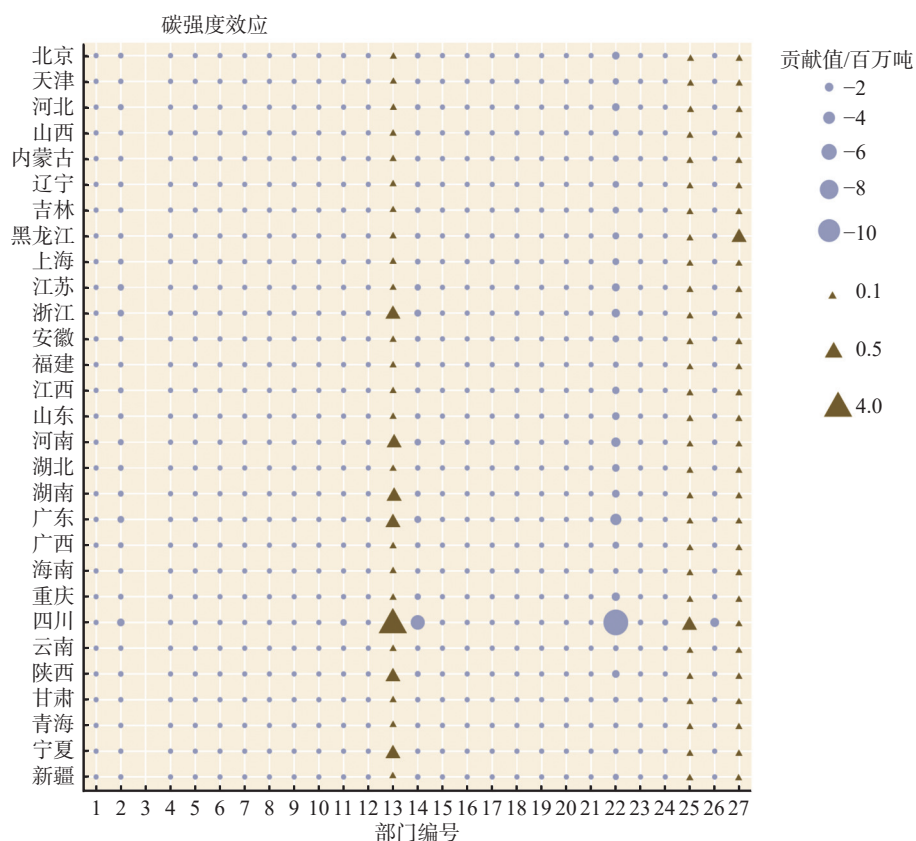


图1 碳强度效应对贵州隐含碳流出的影响

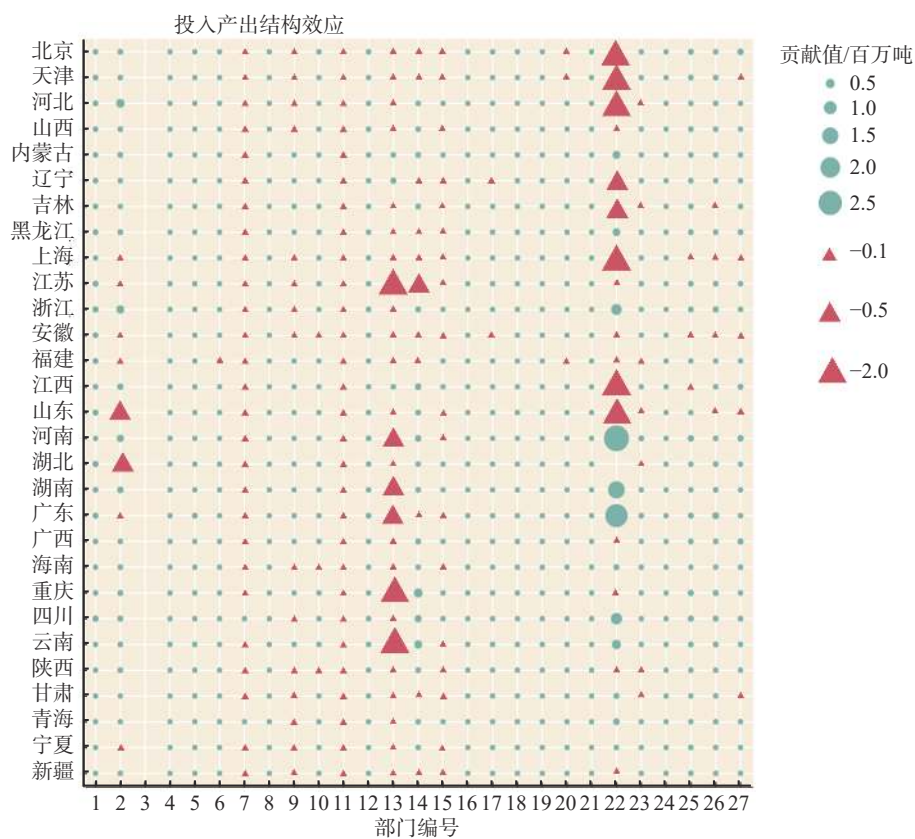


图2 投入产出结构效应对贵州隐含碳流出的影响

南、湖南和广东等十四个省市则表现出正向影响。

如图3所示,最终需求效应对贵州隐含碳流出表现为显著的正向影响,这成为了隐含碳排放增长的

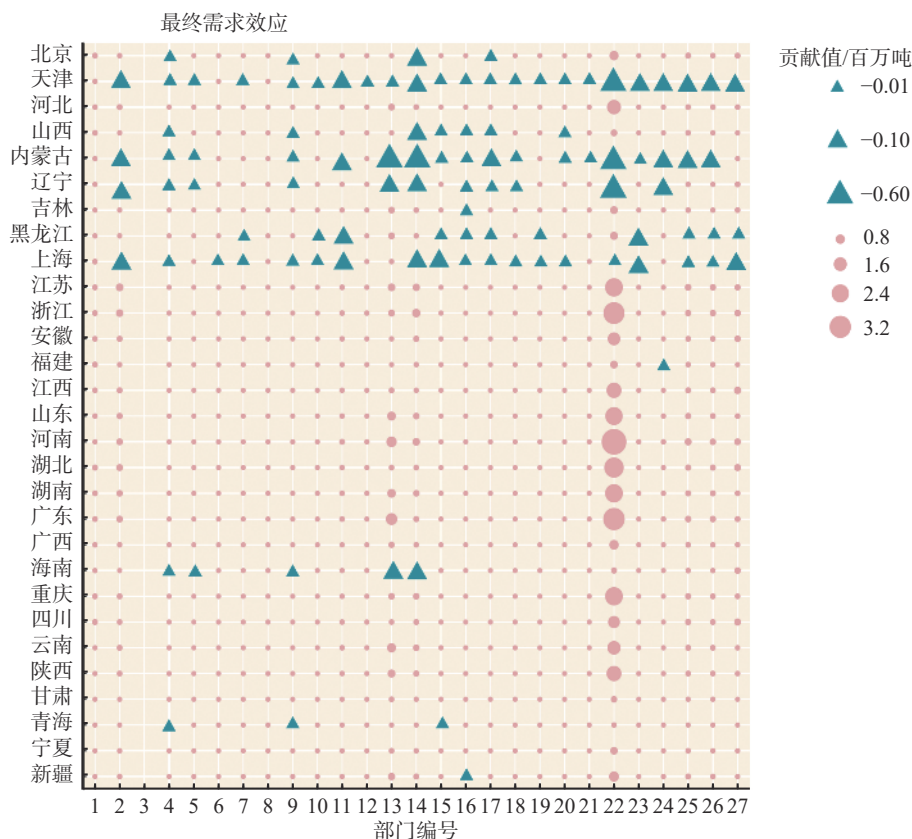


图3 最终需求效应对贵州隐含碳流出的影响

主要驱动力。25个省市受到了最终需求效应的正向推动，其中贡献最大的产业包括部门22、13、14、27和2。

3. 贵州行业隐含碳流动特征

就贵州内部隐含碳排放情况进行分析，如图4a，2012年及2017年，电力行业隐含碳总排放量处于第一。在2012年及2017年，各行业因消耗电力行业产品，两年分别产生了46百万吨及52百万吨左右的隐含碳，分别占隐含碳总量的45%和42%。而电力行业这两年因消耗其他行业产品而产生的隐含碳约10百万吨，仅占隐含碳总量的8%，可见电力行业作为支柱性产业，经济贡献巨大，各产业对电力行业依赖程度高。因此，为实现贵州产业链低碳发展，应着重以电力产业链为抓手，对电力的生产与消耗过程进行产业关联研究。

从产业流动的方向来看，如图4b和图4d，其中图4b和图4d中节点大小代表行业隐含碳排放大小，箭头粗细表明行业之间隐含碳排放流量大小。2012年及2017年，贵州电力行业隐含碳主要流向部门24，其次是部门27、26、1、12以及6。可见五年期间，这六大行业对电力行业的依赖程度始终较高，尤其是建筑业。建筑业作为电力产业链的需求端产业，对电力部门产品消耗过程中产生的隐含碳排放量最大，占比接近50%，且2017年占比相较于2012年有所增加。但在2017年，交通运输、仓储和邮政（26）行业较2012年导致的电力行业隐含碳排放占比有所降低，降幅达到50%以上。

如图4c，2012年，主要是部门2、26、27、25及11这五个行业的隐含碳流向了电力行业。2017年，则主要是部门2、27、26及25这四个的隐含碳流向了电力行业。两年中，煤炭采选产品（2）均贡献了大部分隐含碳，是电力行业最依赖的产业。其次，贵州电力产业链的生产过程中，对自身产业产品使用最多。目前电力行业的发展仍然主要依靠火电发电，其能源结构仍然是以煤炭这类化石能源为主。故要想降低电力行业碳排放，同时达到产业协同及产业链降碳，能源结构转型是一大重点，稳步推进煤炭淘汰及大力发展可再生能源是电力行业及其产业链降碳的核心。

再者，服务业与电力行业相互依赖，互为其发展提供支持，但相较于服务业流向电力行业的隐含碳，电力行业流向服务业的隐含碳更多。如今，我国产业结构逐步升级，服务业发展迅速，电力需求逐

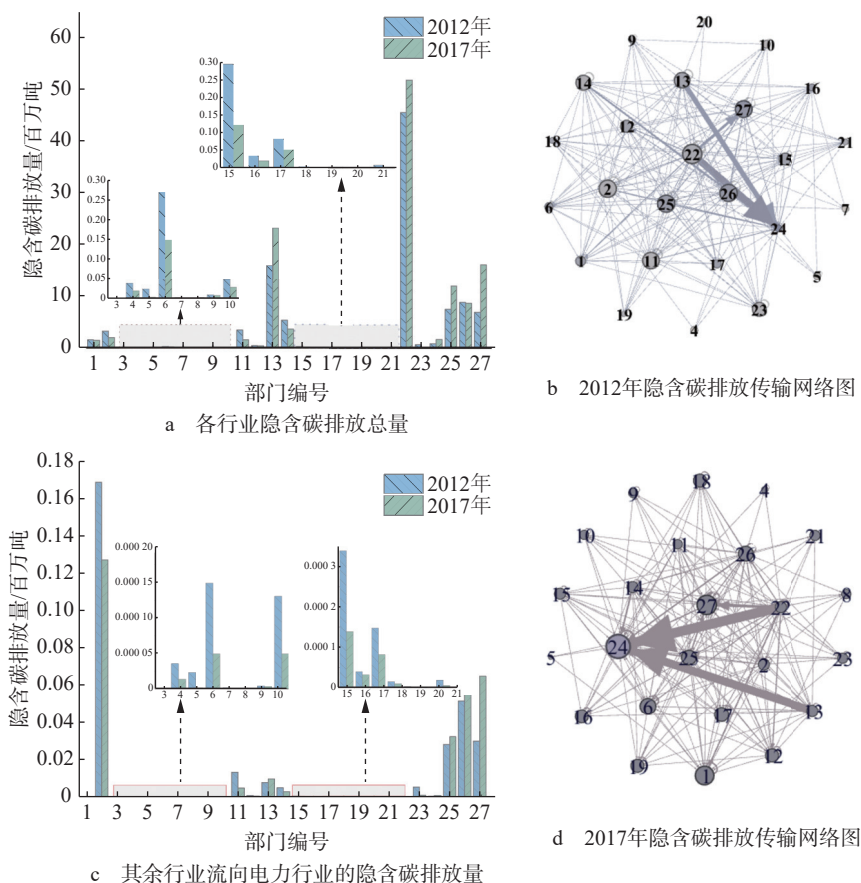


图4 贵州内部各行业隐含碳排放及流向情况

渐增加,贵州也不例外,导致电力行业为了服务业的发展产生了更多碳排放。服务业的发展能够为电力产业提供技术、资金和人才等支持,为新型电力系统的构建增添动能。从隐含碳流入来看,电力行业的发展虽然一定程度依赖服务业,但其依赖程度并不高,为了加快电力行业能源结构转型,促进电力行业降碳,服务业应加强与电力行业的协同,推动产业链节能降碳。

基于上述分析,本文同样将2012—2017年的贵州电力行业隐含碳排放变化划分为三大驱动因素:碳排放强度、中间投入产出结构和最终需求,分解结果如图5所示。

从图5可知,2017年贵州电力行业隐含碳排放总量较2012年略有上升,且碳排放强度、中间投入产出结构和最终需求这三个影响因素对碳排放规模的影响程度以及作用方向有显著不同。总体来看,最终需求效应的数值为正,且对排放变化的影响程度最为显著,贡献了67.79百万吨的隐含碳增长。经济发展水平可以通过最终需求来体现,这进一步证实了经济增长是推动贵州电力产业碳排放增加的关键因素。

此外,碳排放强度和中间投入产出结构表现为负向效应,且碳排放强度的数值大于中间投入产出结构的数值,它们分别减少了50百万吨和14.29百万吨隐含碳。证明这两个因素均有效抑制了碳排放的增长,且对碳排放强度的贡献更为显著。碳排放强度的下降证明了贵州节能减排工作的成效;投入产出结构的变化主要反映在技术革新,这表明贵州产业升级工作的推进使得单位经济产出消耗的中间投入减少,从而抑制了电力行业碳排放的增加。

综合来看,影响隐含碳排放的主要因素分为正向最终需求效应、负向碳排放强度效应以及负向投入

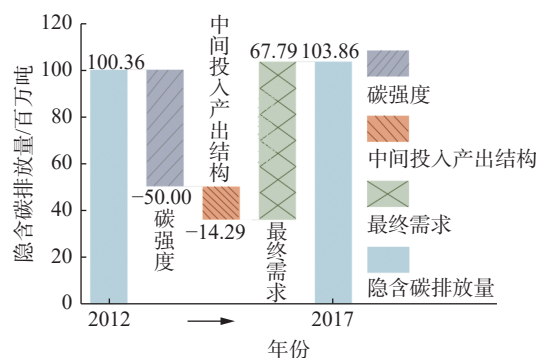


图5 贵州电力行业隐含碳排放结构分解结果

产出结构效应。表明经济的增长带动了贵州隐含碳排放的增长，而由于减排技术的发展，高耗能产品使用比例也有所下降，使得排放增长较为缓慢。

(二) 产业关联分析

1. 各部门产业关联度分析

运用公式 (11)、式 (12) 可得到产业感应度、影响力系数如表 4 与表 5 所示。其中，感应度系数大于 1 的部门有：22、4、2、11、23、21、10、26、13 和 20，表明上述部门对其余部门产出的推动作用大，其中，电力行业感应度系数最高，可见电力行业对其他行业的发展推动作用更大。与隐含碳排放结果一致，贵州经济发展更大程度地依赖电力行业。影响力系数大于 1 的部门有：14、15、17、18、24、13、16、19、12、23、8、10、9、11、21、7、20 和 22，表明上述部门对其余部门的拉动较强，在整个经济产业链的位置更偏下游。

表 4 贵州产业部门感应度系数

产业名称	产业编码	感应度系数
电力、热力的生产和供应	22	1.9751
金属矿采选产品	4	1.9112
煤炭采选产品	2	1.8762
石油、炼焦产品和核燃料加工品	11	1.8507
燃气和水生产和供应	23	1.4404
其他制造业	21	1.3876
造纸印刷和文教体育用品	10	1.2971
交通运输、仓储和邮政	26	1.1133
非金属矿物制品	13	1.1081
仪器仪表	20	1.0176
纺织品	7	0.9586
金属冶炼和压延加工品	14	0.8304
贸易及餐饮服务	25	0.6521
化学产品	12	0.6367
其他	27	0.5629
金属制品	15	0.5552
交通运输设备	17	0.5350
电气机械和器材	18	0.5240
非金属矿和其他矿采选产品	5	0.5231
农林牧渔产品和服务	1	0.4802
通信设备、计算机和其他电子设备	19	0.3873
通用及专用设备	16	0.3773
食品和烟草	6	0.7017
木材加工品和家具	9	0.6964
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	8	0.6818
建筑	24	0.5997
石油和天然气开采产品	3	0.5712

2. 各部门交叉关联分析

如果感应系数超过 1，这意味着该部门的感应程度超过了社会的平均感应度；当影响力系数超过 1 时，这意味着该部门对社会生产产生的影响超过了社会的平均水平。如图 6，根据 2017 年各产业感应度系数与影响力系数的数值，对贵州各部门进行分类。

第一类：影响力系数大于 1，同时感应度系数也大于 1。这类部门为 10、11、13、20、21、22 和 23。

表5 贵州产业部门影响力系数

产业名称	产业编码	影响力系数
金属冶炼和压延加工品	14	1.2209
金属制品	15	1.2191
交通运输设备	17	1.2114
电气机械和器材	18	1.1926
建筑	24	1.1821
非金属矿物制品	13	1.1753
通用及专用设备	16	1.1547
通信设备、计算机和其他电子设备	19	1.1446
化学产品	12	1.1408
燃气和水的生产和供应	23	1.1220
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	8	1.1178
造纸印刷和文教体育用品	10	1.0978
木材加工品和家具	9	1.0817
石油、炼焦产品和核燃料加工品	11	1.0805
其他制造业	21	1.0644
纺织品	7	1.0625
仪器仪表	20	1.0561
电力、热力的生产和供应	22	1.0501
非金属矿和其他矿采选产品	5	0.9858
金属矿采选产品	4	0.8908
交通运输、仓储和邮政	26	0.8678
煤炭采选产品	2	0.8560
其他	27	0.7496
农林牧渔产品和服务	1	0.6756
贸易及餐饮服务	25	0.6236
食品和烟草	6	0.6110
石油和天然气开采产品	3	0.3654

它们既具有强辐射力,又具有强制约性,不仅对经济有很强的拉动力,还容易受到经济增长的拉动。可见,目前这些产业不仅是贵州经济的关键支柱,也是政府应当特别关注和支持的核心产业。

第二类:影响力系数大于1且感应度系数小于1。这类部门为7、8、9、12、14、15、16、17、18、19和24。这类部门本身不易被整个经济链拉动,受社会需求压力小,发展较为成熟,对于贵州的其他经济部门具有显著的拉动作用,成为推动贵州经济增长的重要动力,可以通过促进这些部门的快速壮大来实现经济的快速扩张。

第三类:感应度与影响力系数均小于1。这种类型的产业既缺乏强烈的需求驱动,也不容易受到整体经济的影响,涵盖了1、3、5、6、25和27这八个部门。它们难以带动贵州经济产业发展,不容易被其他行业带动,关联效果最差。

第四类:这种类型的产业具有小于1的影响力系数和大于1的感应度系数,涵盖了2、4和26这三个不同的部门。尽管它们对经济的推动作用不大,但它们本身却很容易受到整体经济的影响。显然,大规模地发展这种类型的产业对经济的促进作用是有限的,但随着经济的快速增长,其他行业对这类产业的

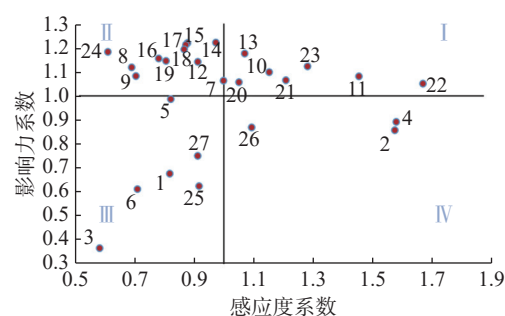


图6 贵州产业关联结果

需求将会变得非常庞大。如果忽略此类经济的增长，它们可能会变成经济增长的障碍，严重影响经济的发展速度。

结合表4及表5可知，2012年属于第一类的产业有2、11、13、21、22、23及24，属于第二类的产业有4、10、20、26，属于第四类的产业有3、7、14、15、17、18，其余产业则属于第三类。

从动态角度看，近年来节能减污降碳相关政策措施越来越多，产业不断升级转型，使得部门2和24这两个重点减污降碳产业受到影响。所以，与2017年相比，2及24这两个产业不再成为主导产业，而文教相关产业则蒸蒸日上，使得10及20这两个产业在2017年升级成为支柱产业。此外，第二类产业从2012年的4个增加至2017年的11个，说明产业发展越来越成熟，随着经济的增长，产业链也在逐步增强，并推动着经济发展。2012年属于第四类的产业在2017年均不再被归为第四类，表明曾经制约国民经济发展的“瓶颈”产业得到了一定缓解。但2、4及26这三个产业已成为新的阻碍经济发展的产业，还需加大培育力度，促进其升级转型发展。5、6、25、27这四个产业的归类未有变化，依然还需大力发展，提高与其他产业的关联度，以促进经济发展。

3. 电力产业与其他部门产业关联度

第一类产业作为关键性产业，发展较为成熟，对经济的作用不容忽视。其中，作为第一类产业之一的电力部门，其对经济的增长有很大的拉动作用，研究电力部门与其他产业关联度，可以更好地了解其在经济中的作用以及对其他产业的影响。

从贵州电力行业与其他产业的关联度来看，如图7，2012年，27、2及26这三个行业对电力行业拉动作用更大。而2017年，除自身外，2、27及26这三个行业对电力行业的拉动作用更大。可见，电力行业的发展始终依赖着上述三个行业的发展，它们是电力行业最为密切的上游行业。同时，三个行业对电力行业的影响力系数均有所上升，表明其经济发展对电力行业的影响呈现出上升趋势。

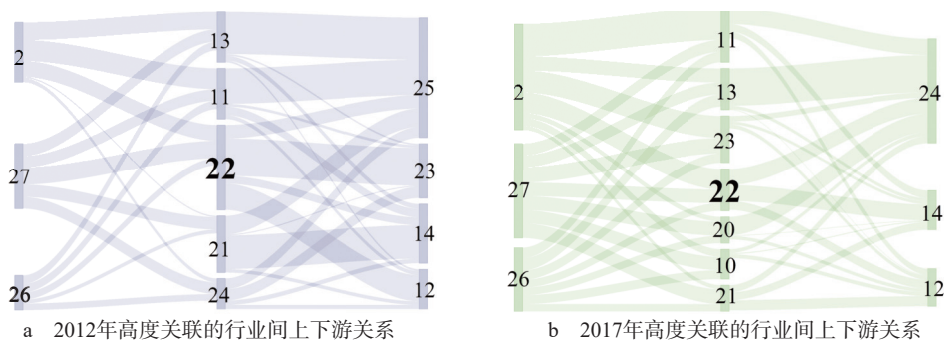


图7 第一类产业与其高度关联的行业间上下游关系

从感应度系数来看，2012年，电力行业对23、2、12、25和14这五个行业的推动作用相对更大。2017年，电力行业对行业22、14、24、12和27的推动作用相对更大。可见，电力行业对自身的推动作用最大，其次行业14和12始终依赖着电力行业的发展，是电力行业最为密切的下游行业。行业23、2及25的感应度系数有所下降，而行业24和27的感应度系数有所上升，表明前三个行业的发展对电力行业的需求和依赖程度有所降低，而后两个行业对电力行业的需求和依赖程度趋于上升。

综上，从产业关联来看，除自身外，电力行业与行业2、14和12一直保持着强关联。其次，其他服务业（27）与电力行业的协同度趋于上升，且互相拉动。故为了实现产业链降碳，应着重关注电力行业自身，及煤炭采选产品（2）这一处于电力产业链上游的行业，和处于电力产业链下游的14和12这两个行业，以及与电力行业相辅相成的服务业。

三、结论与建议

（一）结论

本文以当前最新多区域投入产出表为依据对贵州省际贸易隐含碳排放及其排放变化的驱动因素进行了测度，再通过产业关联系数分析了贵州产业链产业关联情况。结果表明：

1. 贵州在省际贸易中属于隐含碳净流出的省份, 2012年和2017年隐含碳净转出量分别为58百万吨和23.5百万吨, 主要流向广东、江苏、重庆、北京、浙江、四川、湖南、云南等城市。净碳流出最高的部门有电力行业(22)、非金属矿物制品(13)和金属冶炼和压延加工品(14)等。五年内贵州电力行业隐含碳排放增加了3.5百万吨, 各种驱动因素对隐含碳排放产生的影响因省而异。总体而言, 碳强度效应和投入产出结构效应减少了贵州对其余省市的隐含碳流出量, 最终需求效应使得隐含碳流出量增加。

2. 电力行业作为贵州支柱性行业, 承担了其他行业大部分隐含碳排放。各产业对电力行业依赖程度高, 在2012年和2017年因消耗电力行业产品分别产生了46百万吨及52百万吨隐含碳, 占隐含碳总量的45%和42%。而电力行业这两年的发展因消耗其他行业产品所产生隐含碳约10百万吨, 仅占隐含碳总量的8%。建筑业与交通运输、仓储和邮政行业作为电力隐含碳主要流向行业, 对电力行业依赖程度呈现出不同的趋势。除电力行业自身外, 煤炭采选产品行业为电力行业贡献了大部分隐含碳, 而服务业与电力行业相辅相成, 且电力行业流向服务业的隐含碳更多。

3. 就贵州内部而言, 每个驱动因素对隐含碳排放转移的贡献各不相同。最终需求不仅是核心要素, 而且是隐含碳排放的最大贡献者。这意味着经济的增长成为了贵州电力产业碳排放增加的核心驱动力。另外两个因素是投入产出结构效应和碳强度效应。这意味着优化生产部门的投入产出结构和降低碳强度可以有效抑制隐含碳排放量的增长。

4. 贵州电力部门属于影响力系数高于1且感应度系数也超过1的行业, 发展相对成熟, 是贵州经济的一个重要支柱产业, 对其他行业的发展助推作用更大。煤炭行业和金属加工、化学产品是电力行业最为密切的一个上游行业和两个下游行业。服务业与电力行业的关联度及建筑业对电力行业的依赖程度都在逐步提高。

(二) 建议

基于贵州隐含碳转移特征及驱动因素, 以及产业关联, 本文提出以下建议:

1. 国家在进行减排目标分担时应考虑贸易产生的隐含碳排放。贵州在省际贸易中产生了大量碳排放以满足其余省份的发展要求, 因此在制定碳减排政策时应考虑到贸易产生的隐含碳排放, 科学地将减排目标分配到各省份, 使得减排责任的分担更合理。

2. 产业链生产端需重点关注电力行业自身减碳, 尤其是能源转型, 需求端重点关注建筑业。电力行业对自身依赖最大, 故电力产业链中电力部门生产端的优化应以其本身为突破点, 且煤炭产业与电力行业关联度相对最高, 故电力行业生产优化应着重关注能源结构转型。对电力部门生产方式、能源消耗结构、机器设备、电力配送线路进行重点优化改革; 提高生产效率, 减少能源损失, 从而减少生产过程中的碳排放。建筑业消耗电力部门产品所产生的隐含碳最多, 且对电力行业的需求逐渐增加。故贵州电力部门产品在需求端的节能降碳重点则应放在建筑业, 加强建筑业技术革新, 对生产设备进行优化升级, 减少生产过程中的电力损耗, 并可参照其他行业经验, 如交通运输行业, 实现关键技术跨行业应用。

3. 协同推进产业链发展, 推动上下游产业链和关联产业的合作。从隐含碳驱动因素来看, 最终需求的增加会导致碳排放增长, 即下游建筑、交通等行业用电用能等需求增加, 会促使上游煤炭、制造业供给增加以及电力行业发电增加, 从而导致该产业链碳排放增加。各产业内在关联度越高, 生产效率越高, 创新能力越强, 越有助于产业链实现高效节能降碳。所以, 各行业应合理规划其发展目标, 实现目标协同, 以此提高行业效率, 并通过改善投入产出结构, 以最优的投入产出比促进经济高质量发展的同时尽可能降低碳排放。其次, 减排技术的应用及清洁能源占比增加, 会减缓碳排放的增长。电力行业与煤炭、建筑等高碳行业联系紧密, 为了达到降碳的目的, 各行业之间可进行资源要素共享, 如人才等, 组建包括产业技术在内的合作联盟, 助力碳减排。如设备制造业可以积极开发低耗能或清洁能源相关设备设施, 电力行业则积极引进该类设备, 以此实现能源高效清洁利用。且设备维修等服务业提供设备保障, 以此加大各相关产业之间的协同, 提升清洁能源产业链的核心竞争力, 从而推动清洁能源产业结构

升级,实现产业链协同减碳。但以我国的资源禀赋,盲目加大清洁能源投入势必产生能源危机,且煤炭业等偏上游的产业对于其余行业的推动作用也较大,对经济影响较大,故应促进此类产业投入产出结构转型,保障能源安全及实现能源高效清洁利用。其次,金融服务业与电力行业应加强合作,加大对电力行业低碳技术、新能源发展项目的投资,以此促进低碳电力项目发展。此外教育服务行业可大力培养创新型人才,为电力行业等高碳行业输送人才,助力低碳技术的开发利用等,以此促进高碳行业碳排放减少。

参考文献:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Climate change 2021 : the physical science basis: working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 党的二十大主席团举行第一次会议;习近平出席会议并作重要讲话 [EB/OL]. (2022-10-15) [2023-09-21]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/15/content_5718502.htm.
- [3] 国务院. 国务院关于印发 2030 年碳达峰行动计划的通知 [EB/OL]. (2021-10-26) [2023-9-21]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.
- [4] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话 [EB/OL]. (2020-09-22) [2023-9-21]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm.
- [5] LIN B Q, TENG Y Q. The effect of industrial synergy and division on energy intensity: from the perspective of industrial chain[J]. Energy, 2023, 283: 1–11.
- [6] MUHAMMAD S, PAN Y C, AGHA M H, et al. Industrial structure, energy intensity and environmental efficiency across developed and developing economies: the intermediary role of primary, secondary and tertiary industry[J]. Energy, 2022, 247: 1–16.
- [7] 侯少杰, 周少甫. 产业协同集聚对碳强度的动态作用及影响机制研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(2): 273–283.
- [8] MENG X, YU Y. Can renewable energy portfolio standards and carbon tax policies promote carbon emission reduction in China's power industry?[J]. Energy Policy, 2023, 174: 1–11.
- [9] CAI W, LAI K H, LIU C H, et al. Promoting sustainability of manufacturing industry through the lean energy-saving and emission-reduction strategy[J]. Science of the Total Environment, 2019, 665: 23–32.
- [10] JIANG T Y, LI S Q, YU Y, et al. Energy-related carbon emissions and structural emissions reduction of China's construction industry: the perspective of input–output analysis[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(26): 39515–39527.
- [11] SUN Y F, ZHANG Y J, SU B. How does global transport sector improve the emissions reduction performance? a demand-side analysis[J]. Applied Energy, 2022, 311: 1–14.
- [12] 向仙虹, 张瀚月, 孙慧. 碳交易试点政策对特殊类型地区工业碳效率的政策效应分析 [J]. 生态经济, 2023, 39(9): 13–22.
- [13] 陆杉, 李雯. 长江中游城市群工业碳排放空间关联及其影响因素 [J]. 环境科学与技术, 2023, 46(8): 227–236.
- [14] MENG J, MI Z F, GUAN D B, et al. The rise of South-South trade and its effect on global CO₂ emissions[J]. Nature Communications, 2018, 9: 1–7.
- [15] SU B, ANG B W. Input-output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: a multi-region model for China[J]. Applied Energy, 2014, 114: 377–384.
- [16] LI X Y, ZENG Z, ZHANG Z K, et al. The rising North-South carbon flows within China from 2012 to 2017[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2023, 64: 263–272.
- [17] ZHOU D Q, ZHOU X Y, XU Q, et al. Regional embodied carbon emissions and their transfer characteristics in China[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2018, 46: 180–193.
- [18] MI Z F, MENG J, GUAN D B, et al. Chinese CO₂ emission flows have reversed since the global financial crisis[J]. Nature Communications, 2017, 8: 1–10.
- [19] LI W, WANG Q, JIN B H, et al. Multiregional input-output analysis of carbon transfer in interprovincial trade and sectoral strategies for mitigation: Case study of Shanxi province in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 391: 1–12.
- [20] 高鹏, 岳书敬. 全球价值链嵌入是否降低了中国产业部门隐含碳: 兼论产业数字化的调节效应 [J]. 国际贸易问题, 2022(7): 53–67.
- [21] 陈燕武, 丁海铭, 马骏. 中国数字经济的产业关联和网络结构分析 [J]. 华侨大学学报 (哲学社会科学版), 2023(4): 59–70.
- [22] 洪娜眉, 黄何, 李金惠, 等. 基于产业关联的碳减排绿色科技发展路径研究: 以广东省为例 [J]. 科技管理研究, 2022, 42(22): 199–205.
- [23] 关冠军. 我国经济内循环的产业关联关系研究: 基于四期投入产出表的数据 [J]. 统计与决策, 2023, 39(8): 86–90.
- [24] MI Z F, MENG J, ZHENG H R, et al. A multi-regional input-output table mapping China's economic outputs and interdependencies in

- 2012[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 1–12.
- [25] LEONTIEF W. Structure of the world economy: outline of a simple input-output formulation[J]. *The American Economic Review*, 1974, 6(64): 823–834.
- [26] SU B, ANG B W, LIU Y. Multi-region input-output analysis of embodied emissions and intensities: spatial aggregation by linking regional and global datasets[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 313: 1–15.
- [27] WANG Z H, YANG Y T, WANG B. Carbon footprints and embodied CO₂ transfers among provinces in China[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2018, 82: 1068–1078.
- [28] ZHENG H R, BAI Y C, WEI W D, et al. Chinese provincial multi-regional input-output database for 2012, 2015, and 2017[J]. *Scientific Data*, 2021, 8(1): 1–13.
- [29] WACHSMANN U, WOOD R, LENZEN M, et al. Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996[J]. *Applied Energy*, 2009, 86(4): 578–587.
- [30] PETERS G P, CHRISTOPHER C L, GUAN D B, et al. China's Growing CO₂ emissions: a race between increasing consumption and efficiency gains[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 17(41): 5939–5944.
- [31] WANG W Z, HU Y, LU Y. Driving forces of China's provincial bilateral carbon emissions and the re-definition of corresponding responsibilities[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 857: 1–12.
- [32] PAN W, PAN W L, SHI Y D, et al. China's inter-regional carbon emissions: an input-output analysis under considering national economic strategy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 197: 794–803.
- [33] 王岳平. 我国产业结构的投入产出关联分析 [J]. 管理世界, 2000(4): 59–65.
- [34] 王岳平, 葛岳静. 我国产业结构的投入产出关联特征分析 [J]. 管理世界, 2007(2): 61–68.

Research on Regional Embodied Carbon Emissions and the Industrial Correlation under the Background of Dual-carbon Goal —A Case Study of the Power Industry in Guizhou Province

HU Yujie, WANG Binli

(School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550025, China)

Abstract: To contribute to the realization of the national dual-carbon goal, carbon emission reduction in the power sector, the key emission sector, is crucial. This paper first constructed the embodied carbon emission transfer matrix of inter-provincial trade in Guizhou province based on the multi-regional input-output model. Then structural decomposition analysis was used to identify the driving factors of embodied carbon emission changes. Then the input-output model of Guizhou Province was used to solve the industrial linkage coefficients and analyze the carbon emissions of the industrial chain as well as the industrial linkages. The results show that there is spatial heterogeneity in the pattern of embodied carbon emission transfer in Guizhou province, and the net embodied carbon transfer there was 58 and 23.5 MT from 2012 to 2017, which belongs to the embodied carbon transfer provinces. Embodied carbon emissions from the power sector in Guizhou province increased by 3.5MT over five years, mainly due to changes in final demand and carbon intensity. Secondly, other industries have a higher degree of dependence on the power industry, which makes the power industry bear most of the embodied carbon emissions of the remaining industries. Furthermore, the influence coefficient and inductance coefficient of the electric power industry in Guizhou province are both greater than 1, indicating that it has a greater role in promoting the development of other industries. The conclusions of this study can provide certain references for the formulation of regional carbon emission reduction policies under the dual-carbon background as well as the optimization and management of the power industry chain in Guizhou province.

Keywords: dual-carbon; embodied carbon; industrial linkage

[责任编辑: 孟青]