

增加值贸易视角下中国各省隐含碳贸易研究

邓光耀^{a,b}

(兰州财经大学 a. 甘肃经济发展数量分析研究中心;

b. 统计学院, 甘肃 兰州, 730020)

[摘要] 利用中国31省区域间投入产出表和碳排放数据,在增加值贸易视角下,研究中国各省隐含碳贸易。从国内贸易来看,2012年隐含碳调入量最大的三个省份为江苏、浙江和河南,2015年隐含碳调入量最大的三个省份为浙江、广东和河南;2012年隐含碳调出量最大的三个省份为河北、内蒙古和山东,2015年隐含碳调出量最大的三个省份为内蒙古、河北和江苏。从国际贸易来看,中国2012年和2015年均是隐含碳净出口国;隐含碳进出口量前三位的省份均是江苏、山东和广东。总体来说,增加值碳排放系数和增加值系数的变动导致了我国隐含碳出口增加,而里昂惕夫逆矩阵和出口的变动导致了我国隐含碳出口减少。中国应加大碳减排方面的技术投入,优化产业结构,实现碳达峰和碳中和。

[关键词] 增加值贸易; 隐含碳贸易; 多区域投入产出模型; 结构分解分析; 碳排放

[中图分类号] F727 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-3300(2022)01-0006-11

近年来,随着中国经济的高速发展,中国各省对能源消费的需求越来越大,随之而来的能源消耗所产生的碳排放量也越来越大。传统的生产者负责减排的制度忽视了碳排放会隐含在产品贸易中而进行了转移,也即发生了隐含碳贸易。另外,由于中国各省(或者中国与其他国家(地区))的生产和贸易联系越来越紧密,一种产品的生产多是由多个省份或者国家(地区)的多家企业共同完成,不同生产环节及其增加值在不同省份或者国家(地区)实现,由此产生的增加值部分的贸易即为增加值贸易^[1-3]。为了更好地明确各省的碳减排责任,有必要从增加值贸易视角对各省隐含碳国内和国际贸易进行核算。

一、文献综述

由于以跨境和最终产品为标准的传统进出口贸易(或者国内贸易)统计方法已经无法准确反映全球价值链下产品的生产过程和不同国家(或者不同省份)在各个生产环节上的价值增值情况,Koopman^{[1]459}等提出了增加值贸易的概念及相应的核算方法。紧随其后,众多学者对增加值贸易的核算及相关问题进行了研究。王直^[4]等把各层面的国际贸易流分解为增加值出口、返回的国内增加值、国外增加值和纯重复计算的中间品贸易等部分,建立了传统国际贸易统计与国民经济核算体系之间的对应框架;邓光耀^{[2]46}等基于假设抽取法,研究了我国与其他国家增加值贸易的关联效应,指出中国与

收稿日期:2021-11-06

基金项目:甘肃省杰出青年基金“甘肃省水资源政策模拟和评估研究”(20JR5RA206);甘肃省教育厅双一流科研重点项目“甘肃省高质量发展的统计测度、战略选择及实现路径研究”(GSSYLXM-06)。

作者简介:邓光耀(1985-),男,湖南邵阳人,副教授,博士,研究方向:资源环境统计。

其他国家的贸易往来对不同国家的影响不一样，其中对美国和日本的增加值进出口影响较大。以上文献鲜有将增加值贸易与隐含碳贸易结合起来研究。

传统的贸易统计方法的统计对象主要是跨境和最终产品，遗漏了中间产品的进出口，以此类贸易统计数据为基础所测算的贸易隐含碳排放数据可能存在失真。增加值贸易以产品在全球价值链体系中不同经济体产生的增加值为基础进行统计，避免了跨境贸易的重复计算，从而使得中间产品的贸易隐含碳排放测算更加科学合理^{[5]253}。目前已有部分文献计算了隐含在产品增加值贸易过程中的碳排放。张兵兵^{[5]250}等研究了2000—2014年中日之间的隐含碳排放，指出中国对日本是贸易逆差国，但却是隐含碳排放的顺差国；Zhang^[6]等对2000—2014年中韩之间的隐含碳贸易进行了研究，指出传统贸易统计下高估了60%的隐含碳贸易量；李真^[7]等结合多区域投入模型和贸易增加值分解法，对2000—2014年中美双边工业品贸易增加值所隐含的碳福利分配及影响机制进行了研究，指出在中美双边工业品增加值隐含碳贸易福利分配中，中国存在碳福利逆差，美国存在碳福利顺差。以上文献仅局限于国际贸易，缺少从增加值贸易视角研究中国各省隐含碳国内贸易，并且即使是国际贸易，也缺乏省份层面的研究。为此，本文基于增加值贸易视角，利用多区域投入产出模型对中国各省隐含碳国内和国际贸易进行研究，并利用结构分解分析方法，研究与2012年相比，2015年中国各省隐含碳国内和国际贸易变动的影响因素。

二、研究方法

(一) 增加值贸易视角下隐含碳贸易的计算方法

根据中国31省（市、自治区）区域间投入产出表^[8]的结构可得：

$$X^r = A^{rr} X^r + \sum_{s \neq r} A^{rs} X^s + Y^{rr} + \sum_{s \neq r} Y^{rs} + E^r + F^r \quad (1)$$

其中， X^r 是区域 r 的总产出列向量， A^{rr} 是区域

r 中间使用中自身产品的直接消耗系数矩阵， A^{rs} 是区域 r 中间使用中区域 s 产品的直接消耗系数矩阵， X^s 是区域 s 的总产出列向量， Y^{rr} 是区域 r 对自身产品的最终使用列向量（将居民消费、政府消费、固定资本形成总额和存货增加合并为一列）， Y^{rs} 是区域 r 的最终使用中用于区域 s 最终使用的列向量， E^r 是区域 r 的出口列向量， F^r 是区域 r 的误差项列向量。参考Deng^[9]等，将公式（1）改写成矩阵形式，可得：

$$AX + Y + E + F = X \quad (2)$$

其中， A 是 $mn \times mn$ 阶直接消耗系数矩阵（ m 、 n 分别为省份总个数和部门总个数）， X 、 Y 、 E 、 F 分别是 $mn \times 1$ 阶总产出列向量、最终使用列向量、出口列向量和误差项列向量。根据公式（2），易知：

$$X = (I - A)^{-1} (Y + E + F) = L (Y + E + F) \quad (3)$$

其中， I 是 $mn \times mn$ 阶单位矩阵， $L = (I - A)^{-1}$ 是 $mn \times mn$ 阶列昂惕夫逆矩阵。为了计算各省区增加值贸易量，参考Koopman^{[1]459}等，定义以下增加值系数和增加值碳排放系数：

$$V_i^r = \frac{Va_i^r}{X_i^r} \quad (4)$$

$$P_i^r = \frac{CO_{2i}^r}{Va_i^r} \quad (5)$$

其中， CO_{2i}^r 为区域 r 第 i 部门的 CO_2 排放量。将 m 个省份 n 个部门的增加值系数改写成 $mn \times mn$ 阶增加值系数对角矩阵 V （也即对角线上元素为增加值系数，非对角线上元素为0）；类似地，将增加值碳排放系数改写成对角矩阵 P ，可得增加值贸易视角下中国各省份的隐含碳国内贸易量 B^* ，隐含碳进出口量 C^* ，中间使用部分的隐含碳进口量 G^* 和最终使用部分的隐含碳进口量 H^* ：

$$B^* = PVL Y^* \quad (6)$$

$$C^* = PVLE \quad (7)$$

$$G^* = PVL D \quad (8)$$

$$H^{*r} = \frac{\sum_{i=1}^n CO_{2i}^r \sum_{i=1}^n Va_i^r}{\sum_{i=1}^n Va_i^r \sum_{i=1}^n X_i^r} K^r = \frac{\sum_{i=1}^n CO_{2i}^r}{\sum_{i=1}^n X_i^r} K^r \quad (9)$$

其中, Y^* 为 $mn \times m$ 阶最终使用矩阵^①, D 为 $mn \times 1$ 阶中间使用部分进口列向量, K^r 为区域 r 最终使用部分的进口 (用于居民消费、政府消费、固定资本形成总额和存货增加的进口之和)。

(二) 结构分解分析

从公式 (6) - (8) 可以看到, 增加值贸易视角下中国各省份的隐含碳国内贸易量 B^* , 隐含碳出口量 C^* , 中间使用部分的隐含碳进口量 G^* 均可以看成四种因素的乘积; 从公式 (9) 可以看到, 最终使用部分的隐含碳进口量 H^* 可看成三种因素的乘积。参考 Dietzenbacher^{[10]307}等, 增加值贸易视角下中国各省隐含碳贸易的变动有 24 (4!) 或者 6 (3!) 种不同的分解方式, 为了解决分解方式不一致的问题, 采用两极分解方法分别对隐含碳贸易的变动进行结构分解分析 (以隐含碳国内贸易为例进行叙述, 隐含碳出口、中间使用部分的隐含碳进口以及最终使用部分的隐含碳进口可类似进行结构分解分析):

$$\Delta B^* = \Delta B_1^* + \Delta B_2^* + \Delta B_3^* + \Delta B_4^* \quad (10)$$

$$\Delta B_1^* = \frac{1}{2} \Delta P(V(1)L(1)Y^*(1) + V(0)L(0)Y^*(0)) \quad (11)$$

$$\Delta B_2^* = \frac{1}{2} (P(0)\Delta VL(1)Y^*(1) + P(1)\Delta VL(0)Y^*(0)) \quad (12)$$

$$\Delta B_3^* = \frac{1}{2} (P(0)V(0)\Delta LY^*(1) + P(1)V(1)\Delta LY^*(0)) \quad (13)$$

$$\Delta B_4^* = \frac{1}{2} (P(0)V(0)L(0)\Delta Y^* + P(1)V(1)L(1)\Delta Y^*) \quad (14)$$

其中, Δ 代表增量, 1 代表研究期期末的值, 0 代表研究期期初的值; ΔB^* 代表隐含碳国内贸易的变动, ΔB_1^* 代表增加值碳排放系数变动所引起的隐含碳国内贸易的变动, ΔB_2^* 代表增加值系数变动所引起的隐含碳国内贸易的变动, ΔB_3^* 代表列昂惕夫

逆矩阵变动所引起的隐含碳国内贸易的变动, ΔB_4^* 代表最终使用矩阵变动所引起的隐含碳国内贸易的变动; 另外, ΔB_2^* 、 ΔB_3^* 和 ΔB_4^* 三项的合计值代表增加值贸易变动所引起的隐含碳国内贸易的变动。

需要说明的是, 由于中国各省具体到 30 个行业部门的能源数据较为匮乏 (《中国能源统计年鉴》上各省只有农业, 工业, 建筑业, 交通运输、仓储和邮政业, 批发、零售业和住宿、餐饮业等有限的几个行业能源实物消耗量数据), 因此直接利用 Shan^{[11]70}等对中国各省各行业的碳排放量估算数据进行隐含碳贸易的核算。另外, 由于缺少准确的各省各行业能源消耗数据, 在结构分解分析部分也未考虑能源强度和能源结构的影响。

三、数据来源

由于 2007 年和 2010 年中国区域间投入产出表只包括 30 个省份 (不包括西藏、港澳台地区) 30 个部门, 而 2012 年和 2015 年的投入产出表结构完全相同, 均包括除港澳台以外的中国 31 个省份 42 个部门投入产出数据, 并且由于区域间投入产出表编制较为繁琐, 2015 年已是最新数据, 因此本文只选取 2012 年和 2015 年的数据进行研究。其中, 2012 年中国 31 省区市区间投入产出表来自于刘卫东^{[8]1}等的研究, 2015 年的区域间投入产出表则来自于 CEADs 数据库。2012 年和 2015 年的碳排放数据根据联合国政府气候变化专门委员会 (IPCC) 2013 年所提出的碳排放清单法进行核算, 具体数据均来自于 Shan^{[11]170}等的研究。但其碳排放的部门与区域间投入产出表的部门并不一致, 因此按照国民经济行业分类标准进行合并, 整理之后的区域间投入产出表只包括 30 个部门。考虑到不同年度价格的可比性, 以 2012 年为基期, 对 2015 年的涉及到价格的数据进行了平减处理。

四、实证分析

(一) 隐含碳国内贸易的核算结果

利用公式 (6), 可得增加值贸易视角下中国各省隐含碳国内贸易的核算结果, 2012 年和 2015 年中国各省隐含碳国内调入量和调出量如表 1 所示。

表1 中国各省隐含碳调入量和调出量 (单位: 亿 t)

Tab. 1 Embodied carbon inflow and outflow of China (unit: 100 million tons)

省份	2012年		2015年		省份	2012年		2015年	
	调入	调出	调入	调出		调入	调出	调入	调出
北京	0.87	0.32	1.73	0.40	湖北	1.01	0.61	1.82	0.72
天津	0.93	0.60	1.44	0.59	湖南	0.76	0.76	1.45	0.88
河北	1.23	2.98	1.27	3.17	广东	1.45	1.01	2.68	0.95
山西	1.09	2.12	0.78	2.36	广西	0.77	0.60	1.02	0.69
内蒙古	0.82	2.89	1.02	3.49	海南	0.30	0.15	0.36	0.20
辽宁	1.02	1.34	1.16	1.78	重庆	1.27	0.48	2.19	0.54
吉林	0.73	0.79	1.19	0.88	四川	0.78	0.47	0.82	0.87
黑龙江	1.09	0.79	1.14	1.19	贵州	0.50	0.87	0.62	0.98
上海	1.25	0.50	1.17	0.77	云南	1.01	0.70	1.53	0.52
江苏	2.34	2.04	2.22	2.99	西藏	0.11	0.00	0.06	0.00
浙江	2.05	0.80	2.87	1.25	陕西	1.20	0.91	1.51	1.37
安徽	1.18	1.28	1.52	1.84	甘肃	0.47	0.63	0.47	0.75
福建	0.70	0.53	0.48	0.74	青海	0.15	0.10	0.18	0.23
江西	0.98	0.46	0.98	0.89	宁夏	0.29	0.65	0.15	0.82
山东	1.50	2.27	1.31	2.22	新疆	0.74	0.61	0.87	1.83
河南	1.51	1.84	2.46	2.56	合计	30.10	30.10	38.47	38.47

从表1可以看到: (1) 由于Shan^{[11][71]}等的研究缺少西藏的碳排放数据, 因此假定西藏各行业碳排放为0, 也即西藏的增加值碳排放系数为0, 根据公式(6)可知, 西藏的隐含碳调出量必为0, 但是由于隐含碳调入量涉及的是其他省份的增加值碳排放系数, 故西藏的隐含碳调入量并不为0。(2) 2012年隐含碳调入量最大的三个省份为江苏、浙江和河南, 分别为2.34亿t、2.05亿t和1.51亿t; 除西藏外, 隐含碳调入量最小的三个省份为青海、宁夏和海南, 分别为0.15亿t、0.29亿t和0.30亿t。2015年隐含碳调入量最大的三个省份为浙江、广东和河南, 分别为2.87亿t、2.68亿t和2.46亿t; 除西藏外, 隐含碳调入量最小的三个省份宁夏、青海和海南, 为0.15亿t、0.18亿t和0.36亿t。造成各省隐含碳调入量差异较大的主要原因是各省增加值调入量差异较大, 另外, 各省增加值碳排放系数的差异是其中一个因素。各省增加值调入量差异较大的主要原因是, 不同省份对各行业产品需求存在较大差异, 而需求则主要受到人口数量和产业结构的影响。人口数量较多的省份, 对其他省份的产品需求量较大, 从而一般增加值调入量较大。另外,

由于各省份产业结构存在差异, 某些行业在本省份可能产出较小, 需要从其他省份调入。(3) 2012年隐含碳调出量最大的三个省份为河北、内蒙古和山东, 分别为2.98亿t、2.89亿t和2.27亿t; 除西藏外, 隐含碳调出量最小的三个省份为青海、海南和北京, 分别为0.10亿t、0.15亿t和0.32亿t。2015年隐含碳调出量最大的三个省份为内蒙古、河北和江苏, 分别为3.49亿t、3.17亿t和2.99亿t; 除西藏外, 隐含碳调出量最小的三个省份为海南、青海和北京, 分别为0.20亿t、0.23亿t和0.40亿t。造成各省隐含碳调出量差异较大的主要原因是各省增加值调出量差异较大, 另外, 各省增加值碳排放系数的差异也是关键因素。与增加值调入量类似, 各省份增加值调出量差异较大的原因是不同省份对各行业产品的供给存在较大差异, 而供给同样受到劳动力人口数量和产业结构的影响。劳动力人口数量越多的省份, 一般其产品的生产能力更强, 从而产品的供给量更大, 在满足自身消费的情况下有富余的产品调出到其他省份。另外, 不同省份在不同行业的比较优势不一样, 各省份会调出本省份有比较优势的产品给国内其他省份。(4) 比较隐含碳调

入和调出量, 可得 2012 年和 2015 年均存在隐含碳净调出的省份为河北、山西、内蒙古、辽宁、安徽、山东、河南、贵州、甘肃和宁夏; 只在 2012 年存在隐含碳净调出的省份为吉林; 只在 2015 年存在隐含碳净调出的省份为黑龙江、江苏、福建、四川和青海; 其他省份在 2012 年和 2015 年均存在隐含碳净调入。另外, 无论是 2012 年, 还是 2015 年, 隐含碳调入量和调出量之和最大的省份均为江苏, 分别为 4.38 亿 t 和 5.21 亿 t。(5) 比较同一省份 2012 年和 2015 年的结果, 可以发现大部分省份的隐含碳调入量和调出量均有增加, 主要原因是各省份之间的交通越来越便利, 并且生产量和需求量也在增长导致增加值贸易的增长。不过, 山西、上海、江苏、福建、山东、西藏和宁夏 2015 年的隐含碳调入量低于 2012 年的值, 天津、山东、广东和云南 2015 年的隐含碳调出量低于 2012 年的值。(6) 对同一年度, 各省调入量之和等于调出量之和。这是因为 A 省从 B 省的隐含碳调入量等于 B 省对 A 省的隐含碳调出量, 从而对国内贸易来说, 各省组成一个封闭

的整体, 无论是增加值贸易量还是隐含碳贸易量, 均有调入量之和等于调出量之和。

进一步分析隐含碳调入量或调出量的行业差异 (A 省从 B 省的隐含碳调入量等于 B 省对 A 省的隐含碳调出量, 因此对中国整体来说, 各行业调入量等于调出量), 如表 2 所示。(1) 与其他行业相比, 电力、蒸汽和热水的生产和供应业 (S24) 2012 年和 2015 年的隐含碳国内贸易量最大。这是因为该行业所生产的产品需要消耗大量的能源, 从而产生了大量的二氧化碳, 也即该行业增加值碳排放系数很高。不过, 该行业所对应的增加值国内贸易量并不是最高的, 这是因为其生产的产品主要用于本省消费。另外, 煤炭采选业 (S2), 石油加工和焦化 (S11), 非金属矿物制品 (S13), 金属冶炼和压延加工业 (S14), 运输、仓储和邮电服务 (S28) 等行业的隐含碳国内贸易量也较高, 2012 年和 2015 年的值均在 1 亿 t 以上。(2) 各行业的合计值等于表 1 中各省对应年度的合计值, 也即按行业求和的结果和按省份求和的结果一样。

表 2 中国各行业隐含碳国内贸易量 (单位: 亿 t)

Tab. 2 Domestic trade volume of embodied carbon of various industries in China (unit: 100 million tons)

行业	2012 年	2015 年	行业	2012 年	2015 年	行业	2012 年	2015 年	行业	2012 年	2015 年
S1	0.42	0.47	S9	0.02	0.03	S17	0.03	0.05	S25	0.04	0.06
S2	1.41	1.36	S10	0.09	0.12	S18	0.05	0.06	S26	0.00	0.00
S3	0.36	0.32	S11	1.17	1.43	S19	0.02	0.03	S27	0.02	0.10
S4	0.10	0.10	S12	0.57	0.60	S20	0.00	0.01	S28	1.91	2.38
S5	0.07	0.06	S13	2.15	3.57	S21	0.00	0.00	S29	0.43	0.51
S6	0.22	0.17	S14	5.08	6.57	S22	0.03	0.03	S30	0.21	0.49
S7	0.04	0.05	S15	0.03	0.03	S23	0.00	0.01	合计	30.10	38.47
S8	0.01	0.02	S16	0.08	0.13	S24	15.54	19.71			

注: 各行业的名称依次是农业 (S1), 煤炭采选业 (S2), 石油和天然气采选业 (S3), 金属矿采选业 (S4), 非金属矿和其他矿采选业 (S5), 食品和烟草 (S6), 纺织工业 (S7), 纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品 (S8), 木材加工品和家具 (S9), 造纸印刷和文教体育用品 (S10), 石油加工和焦化 (S11), 化工 (S12), 非金属矿物制品 (S13), 金属冶炼和压延加工业 (S14), 金属制品 (S15), 通用设备 (S16), 专用设备 (S17), 运输设备 (S18), 电气设备和机械 (S19), 电子和电信设备 (S20), 仪器仪表、文化和办公机械 (S21), 其他制造业 (S22), 废品废料 (S23), 电力、蒸汽和热水的生产和供应 (S24), 天然气生产与供应 (S25), 水的生产和供应 (S26), 建筑 (S27), 运输、仓储和邮电服务 (S28), 批发、零售贸易和餐饮服务 (S29), 其他服务业 (S30)。表 4 同。

(二) 隐含碳国际贸易的核算结果

隐含碳进口贸易量和最终使用部分隐含碳进口贸易

根据公式(7) - (9), 可分别计算增加值贸易量, 计算结果如表3所示。

视角下中国各省隐含碳出口贸易量、中间使用部分

表3 2012年和2015年中国各省隐含碳进出口贸易量(单位: 亿t)

Tab. 3 Embodied carbon import and export trade volume of China's provinces in 2012 and 2015 (unit: 100 million tons)

省份	2012年				2015年			
	出口	进口		小计	出口	进口		小计
		中间使用	最终使用			中间使用	最终使用	
北京	0.266	0.179	0.070	0.249	0.198	0.132	0.020	0.152
天津	0.320	0.462	0.042	0.504	0.303	0.488	0.021	0.509
河北	1.010	1.162	0.015	1.177	1.402	1.112	0.032	1.144
山西	0.636	0.598	0.017	0.615	0.613	0.451	0.020	0.471
内蒙古	0.685	0.614	0.012	0.626	1.172	0.871	0.035	0.906
辽宁	0.699	0.694	0.048	0.742	0.871	0.742	0.039	0.781
吉林	0.146	0.194	0.045	0.239	0.155	0.190	0.012	0.202
黑龙江	0.275	0.402	0.008	0.410	0.276	0.367	0.008	0.375
上海	0.759	0.600	0.181	0.781	0.585	0.685	0.103	0.788
江苏	1.687	1.381	0.129	1.510	1.757	1.293	0.065	1.358
浙江	1.098	0.585	0.038	0.623	0.998	0.436	0.022	0.458
安徽	0.402	0.256	0.011	0.267	0.468	0.332	0.005	0.337
福建	0.575	0.388	0.023	0.411	0.502	0.817	0.048	0.865
江西	0.224	0.135	0.003	0.138	0.314	0.206	0.003	0.209
山东	1.322	1.702	0.053	1.755	1.563	1.784	0.071	1.855
河南	0.515	0.435	0.020	0.455	0.582	0.456	0.025	0.481
湖北	0.308	0.199	0.012	0.211	0.187	0.146	0.012	0.158
湖南	0.223	0.135	0.009	0.144	0.202	0.141	0.005	0.146
广东	1.666	1.355	0.164	1.519	1.873	1.188	0.107	1.295
广西	0.183	0.340	0.025	0.365	0.215	0.317	0.013	0.330
海南	0.038	0.051	0.008	0.059	0.045	0.040	0.007	0.047
重庆	0.260	0.135	0.020	0.155	0.163	0.099	0.007	0.106
四川	0.361	0.248	0.015	0.263	0.220	0.164	0.014	0.178
贵州	0.270	0.185	0.002	0.187	0.203	0.138	0.005	0.143
云南	0.230	0.206	0.006	0.212	0.169	0.114	0.003	0.117
西藏	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
陕西	0.291	0.229	0.010	0.239	0.314	0.237	0.003	0.240
甘肃	0.179	0.177	0.002	0.179	0.150	0.104	0.000	0.104
青海	0.037	0.026	0.002	0.028	0.068	0.046	0.004	0.050
宁夏	0.193	0.131	0.004	0.135	0.286	0.319	0.043	0.362
新疆	0.432	0.464	0.007	0.471	0.387	0.293	0.003	0.296
合计	15.290	13.668	1.001	14.669	16.241	13.708	0.755	14.463

从表3可以看到:(1)由于西藏缺少碳排放数据,因而西藏的隐含碳进出口贸易量计算结果为0。(2)2012年2015年隐含碳进出口量前三位的省份均是江苏、山东和广东,但是位次存在差异,具体来说:2012年隐含碳出口前三位是江苏、广东和山

东,依次为1.687亿t、1.666亿t和1.322亿t;2015年隐含碳出口前三位是广东、江苏和山东,依次为1.873亿t、1.757亿t和1.563亿t;2012年隐含碳进口前三位是山东、广东和江苏,依次为1.755亿t、1.519亿t和1.510亿t;2015年隐含碳

进口前三位是山东、江苏和广东，依次为 1.855 亿 t、1.358 亿 t 和 1.295 亿 t。这三个省份隐含碳进出口贸易量较大的原因是其处于沿海地区，对外贸易较为便利，且经济总量较大，有较强的对外贸易需求。(3) 对于中间使用部分的隐含碳进口来说，2012 年隐含碳进口量前三位的省份是山东、江苏和广东，依次为 1.702 亿 t、1.381 亿 t 和 1.355 亿 t；2015 年隐含碳进口量前三位的省份也是山东、江苏和广东，依次为 1.784 亿 t、1.293 亿 t 和 1.188 亿 t。对最终使用部分的隐含碳进口来说，2012 年隐含碳进口量前三位的省份是上海、广东和江苏，依次为 0.181 亿 t、0.164 亿 t 和 0.129 亿 t；2015 年隐含碳进口量前三位的省份是广东、上海和山东，依次为 0.107 亿 t、0.103 亿 t 和 0.071 亿 t。由于中国进口的产品主要用于扩大再生产，也即用于中间使用，因此各省份中间使用部分的隐含碳进口量大于最终使用部分的隐含碳进口量。(4) 比较隐含碳出口量和隐含碳进口量，可以发现中国 2012 年和 2015 年均是隐含碳净出口国，主要原因是中国的增加值出口量大于增加值进口量。对具体省份来说，2012 年和 2015 年天津、吉林、黑龙江、上海、山东、广西

和海南均存在隐含碳净进口，河北、辽宁和新疆只在 2012 年存在隐含碳净进口，福建和宁夏只在 2015 年存在隐含碳净进口，其他省份在 2012 年和 2015 年均存在隐含碳净出口。(5) 比较 2012 年和 2015 年的计算结果，中国 2015 年的隐含碳出口量增加，但是隐含碳进口减少，主要原因是增加值出口的增加，最终使用的进口产品减少，这间接说明中国扩大了内需。

进一步分析中国各行业的隐含碳出口以及中间投入部分的隐含碳进口（最终使用部分的进口产品未具体到行业，因此此部分隐含碳进口也不能具体到行业），如表 4 所示。(1) 与其他行业相比，电力、蒸汽和热水的生产和供应业（S24）2012 年和 2015 年的隐含碳出口量以及中间使用部分的隐含碳进口量均最大。主要原因是该行业生产时需要消耗大量的能源，从而能源消费相关的碳排放量较大。其次是金属冶炼和压延加工业（S14），该行业 2012 年和 2015 年隐含碳出口量以及中间使用部分的隐含碳进口量均在 1 亿 t 以上。(2) 表 4 中各行业隐含碳出口的合计值、中间使用部分隐含碳进口的合计值均与表 3 相对应的合计值一致。

表 4 中国各行业隐含碳进出口（单位：亿 t）

Tab. 4 Import and export of embodied carbon in various industries in China (unit: 100 million tons)

行业	2012 年		2015 年		行业	2012 年		2015 年	
	出口	进口	出口	进口		出口	进口	出口	进口
S1	0.131	0.069	0.157	0.097	S17	0.017	0.010	0.022	0.014
S2	0.467	0.483	0.448	0.398	S18	0.028	0.019	0.023	0.020
S3	0.105	0.181	0.096	0.100	S19	0.029	0.017	0.030	0.016
S4	0.040	0.043	0.037	0.044	S20	0.040	0.022	0.031	0.018
S5	0.024	0.015	0.012	0.010	S21	0.004	0.002	0.004	0.002
S6	0.056	0.045	0.051	0.042	S22	0.027	0.012	0.019	0.012
S7	0.118	0.033	0.094	0.024	S23	0.002	0.002	0.004	0.004
S8	0.028	0.004	0.027	0.005	S24	7.601	6.994	7.949	7.045
S9	0.022	0.008	0.016	0.006	S25	0.009	0.019	0.020	0.024
S10	0.099	0.054	0.082	0.045	S26	0.000	0.000	0.001	0.001
S11	0.446	0.881	0.459	0.610	S27	0.004	0.005	0.008	0.018
S12	0.372	0.276	0.309	0.190	S28	1.341	0.602	1.358	0.857
S13	1.116	0.549	1.131	0.772	S29	0.268	0.081	0.336	0.112
S14	2.689	3.110	3.278	3.038	S30	0.096	0.071	0.130	0.112
S15	0.041	0.018	0.029	0.016	合计	15.290	13.668	16.241	13.708
S16	0.070	0.043	0.080	0.056					

(三) 结构分解分析

与2012年相比,2015年增加值贸易视角下中国各省隐含碳国内贸易的结构分解分析结果如表5所示。(1)在忽略舍入误差的情况下,无论是隐含碳调入还是调出,各省2015年和2012年的差额均等于四个分解项之和,说明分解方式是正确的。另外,各省调入(调出)差额也等于表1中2015年和2012年所对应的数据之差,例如北京的隐含碳调入

差额0.86亿t等于表1中2015年北京的隐含碳调入量1.73亿t减去2012年的0.87亿t。(2)对隐含碳调入来说,大部分省份第一、第二和第四分解项大于0,也即2012—2015年大部分省份增加值碳排放系数变动、增加值系数变动以及最终使用矩阵变动会引起隐含碳调入量增加,但是列昂惕夫逆矩阵的变动导致了各省隐含碳调入量减少。对隐含碳调出来说,大部分省份第一和第四分解项大于0,也即

表5 中国各省隐含碳国内贸易的结构分解分析(单位:亿t)

Tab.5 Structural decomposition analysis of embodied carbon domestic trade in China's provinces (unit: 100 million tons)

省份	调入					调出				
	差额	第一项	第二项	第三项	第四项	差额	第一项	第二项	第三项	第四项
北京	0.86	6.48	0.98	-5.23	-1.37	0.08	-113.38	85.92	-142.34	169.88
天津	0.51	-0.56	0.50	-8.59	9.15	-0.01	-0.05	-0.04	0.00	0.08
河北	0.03	7.20	8.86	-16.78	0.76	0.19	0.88	-0.37	-0.68	0.35
山西	-0.31	-2.09	-10.57	-6.37	18.73	0.24	0.64	-0.14	-1.07	0.80
内蒙古	0.20	9.02	1.74	-12.03	1.48	0.60	0.44	-0.46	0.26	0.36
辽宁	0.14	5.63	5.47	-12.07	1.11	0.44	0.64	-0.29	-0.23	0.33
吉林	0.46	3.72	3.26	-8.56	2.04	0.09	-0.06	-0.14	0.22	0.07
黑龙江	0.06	7.49	4.80	-12.56	0.32	0.41	0.21	-0.11	0.08	0.23
上海	-0.08	-6.69	-0.67	-16.22	23.51	0.27	0.11	-0.04	-0.20	0.40
江苏	-0.12	0.59	16.92	-19.19	1.57	0.95	265.01	48.78	-230.37	-82.46
浙江	0.82	11.00	14.10	-24.75	0.47	0.45	0.15	-0.16	-0.21	0.68
安徽	0.34	11.08	7.48	-18.52	0.30	0.55	0.49	-0.59	0.19	0.46
福建	-0.22	6.21	2.80	-9.18	-0.05	0.21	0.01	-0.19	0.31	0.08
江西	0.01	3.70	5.35	-10.02	0.98	0.43	0.39	-0.15	-0.05	0.23
山东	-0.18	7.45	8.21	-22.73	6.89	-0.05	0.20	-0.37	0.36	-0.25
河南	0.95	12.30	6.98	-20.96	2.63	0.72	0.42	-0.62	0.20	0.72
湖北	0.81	4.36	9.25	-13.30	0.50	0.11	-0.13	-0.12	-0.11	0.47
湖南	0.69	7.53	6.32	-13.69	0.53	0.11	-0.04	-0.09	0.15	0.10
广东	1.23	10.27	11.49	-25.15	4.61	-0.06	-0.03	-0.17	0.00	0.14
广西	0.25	7.76	5.25	-13.09	0.33	0.08	-0.02	-0.12	0.18	0.05
海南	0.06	2.24	1.11	-3.48	0.20	0.05	0.02	-0.02	0.01	0.04
重庆	0.92	4.93	3.12	-8.13	0.99	0.06	0.02	-0.18	0.02	0.20
四川	0.04	4.23	2.84	-9.44	2.42	0.40	0.12	-0.11	-0.05	0.44
贵州	0.11	6.64	2.30	-9.01	0.18	0.12	-0.15	-0.12	0.03	0.35
云南	0.52	10.42	3.94	-14.46	0.61	-0.18	0.02	-0.16	-0.12	0.09
西藏	-0.06	0.79	0.37	-1.20	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
陕西	0.31	7.65	4.19	-12.33	0.80	0.46	0.09	0.06	0.03	0.27
甘肃	0.00	-1.35	-0.42	-6.98	8.75	0.11	0.15	-0.12	-0.10	0.18
青海	0.03	1.49	0.32	-3.47	1.70	0.13	0.12	0.09	0.07	-0.15
宁夏	-0.13	2.72	1.78	-4.62	-0.02	0.17	0.08	-0.02	-0.13	0.25
新疆	0.13	4.36	1.74	-10.55	4.58	1.22	0.19	-0.15	0.89	0.29
合计	8.37	156.57	129.78	-372.66	94.68	8.37	156.57	129.78	-372.66	94.68

2012—2015年大部分省份增加值碳排放系数变动以及最终使用矩阵变动会引起隐含碳调入量增加,但是增加值系数变动和列昂惕夫逆矩阵的变动导致了大部分省份隐含碳调入量减少。从合计值来看,无论是隐含碳调入还是调出,均有第一、第二和第四分解项大于0,第三分解项小于0。(3)对广东来说,由于2012—2015年隐含碳调入的差额最大,各分解项的值也较大,分别为10.27亿t、11.49亿t、-25.15亿t和4.61亿t。不过,各分解项的值大小并非完全由差额大小决定,还要看调入省份的增加值碳排放系数、增加值系数、列昂惕夫逆矩阵和最终使用矩阵的变动情况,其中第一分解项最大值为12.30亿t(河南)、第二分解项最大值为16.92亿t(江苏)、第三分解项绝对值的最大值为25.15亿t(广东)、第四分解项最大值为23.51亿t(上海)。(4)对江苏来说,由于2012—2015年隐含碳调出的差额较大,各分解项的绝对值也较大,其值分别为265.01亿t、48.78亿t、-230.37亿t和-82.46亿t。不过,各分解项的值大小并非完全由差额大小决定,还要看调出省份的增加值碳排放系数、增加值系数、列昂惕夫逆矩阵和最终使用矩阵的变动情况。

例如新疆的差额最大,但是除第三项相对较大外,其他分解项均较小;北京的差额较小,但是各分解项均较大,第二和第四分解项是31个省份中最大的,第一和第三分解项的绝对值大小仅次于江苏。

与2012年相比,2015年增加值贸易视角下中国各省隐含碳出口的结构分解分析结果如表6所示。

(1)在忽略舍入误差的情况下,各省2015年和2012年隐含碳出口的差额均等于四个分解项之和,说明分解方式是正确的。另外,各省隐含碳出口的差额也等于表3中2015年和2012年所对应的数据之差,例如北京市所对应的-0.068亿t等于表3中北京2015年的隐含碳出口0.198亿t减去2012年的0.266亿t。(2)与表5中隐含碳调出一致,北京隐含碳出口的四个分解项的绝对值均较大。由于将省际调出换成了出口,因此江苏省表征出口变动所引起的隐含碳出口变动的第四个分解项的绝对值较小,但是前三项的绝对值仍较大。(3)总体来说,增加值碳排放系数和增加值系数的变动导致了中国隐含碳出口增加,而列昂惕夫逆矩阵和出口的变动导致了中国隐含碳出口减少。

表6 中国各省隐含碳出口的结构分解分析(单位:亿t)

Tab. 6 Structural decomposition analysis of embodied carbon exports of China's provinces (unit: 100 million tons)

省份	差额	第一项	第二项	第三项	第四项	省份	差额	第一项	第二项	第三项	第四项
北京	-0.068	132.945	96.603	-54.091	-175.526	湖北	-0.121	-0.039	-0.042	-0.041	0.001
天津	-0.016	-0.023	-0.022	0.018	0.010	湖南	-0.021	-0.019	-0.026	0.020	0.004
河北	0.392	0.345	-0.144	-0.122	0.313	广东	0.208	-0.038	-0.331	0.044	0.532
山西	-0.023	0.208	-0.061	-0.271	0.100	广西	0.033	-0.010	-0.037	0.062	0.017
内蒙古	0.487	0.081	-0.127	0.041	0.492	海南	0.007	0.005	-0.004	0.007	-0.001
辽宁	0.172	0.412	-0.170	-0.052	-0.019	重庆	-0.097	0.014	-0.078	0.009	-0.041
吉林	0.009	-0.006	-0.025	0.047	-0.007	四川	-0.141	0.086	-0.062	-0.037	-0.128
黑龙江	0.001	0.065	-0.035	0.012	-0.041	贵州	-0.067	-0.028	-0.033	0.006	-0.011
上海	-0.173	0.133	-0.041	-0.220	-0.044	云南	-0.061	0.013	-0.053	-0.032	0.011
江苏	0.070	172.421	31.698	-203.717	-0.331	西藏	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
浙江	-0.100	0.150	-0.152	-0.295	0.197	陕西	0.022	0.026	0.013	0.003	-0.019
安徽	0.067	0.152	-0.169	0.075	0.008	甘肃	-0.030	0.038	-0.029	-0.011	-0.027
福建	-0.073	0.023	-0.169	0.068	0.006	青海	0.031	0.056	0.049	0.011	-0.084
江西	0.090	0.174	-0.069	-0.047	0.032	宁夏	0.093	0.043	-0.004	-0.070	0.124
山东	0.241	0.132	-0.250	0.106	0.253	新疆	-0.045	0.065	-0.059	0.179	-0.230
河南	0.067	0.104	-0.152	0.042	0.073	合计	0.954	307.530	126.019	-258.256	-174.339

另外，类似隐含碳出口的结构分解分析，可得中国各省隐含碳进口的结构分解结果，限于篇幅，不再赘述。

五、结论与启示

利用中国31省区域间投入产出表和碳排放数据，核算了2012年和2015年中国各省份隐含碳国内和国际贸易量，并利用结构分解分析方法研究了与2012年相比，2015年各省隐含碳变动的影响因素，研究发现：（1）中国各省国际和国内的隐含碳贸易存在较大差异。从国内贸易来看，2012年隐含碳调入量最大的三个省份为江苏、浙江和河南；2015年隐含碳调入量最大的三个省份为浙江、广东和河南。2012年隐含碳调出量最大的三个省份为河北、内蒙古和山东，2015年隐含碳调出量最大的三个省份为内蒙古、河北和江苏。2012年2015年隐含碳进出口量前三位的省份均是江苏、山东和广东。（3）从结构分解分析的总体来说，增加值碳排放系数和增加值系数的变动导致了我国隐含碳出口增加，而列昂惕夫逆矩阵和出口的变动导致了我国隐含碳出口减少。（4）中国各行业的隐含碳贸易量也存在较大差异，与其他行业相比，电力、蒸汽和热水的生产和供应业2012年和2015年中国隐含碳国内和国际贸易量均最大。

根据研究结论及各省各行业的自身特点，提出政策建议：（1）由于各省份之间存在较大的隐含碳转移，碳排放量较高且经济较为发达的省份可适当对碳排放量较低且经济较为落后的省份进行生态补偿，并且中国各省份应当加强碳减排方面的合作。例如广东、江苏和浙江等经济发达省份可以为西部落后省份进行生态补偿。（2）由于中国是隐含碳净出口国，在碳减排生产者责任制情况下，生产的产品出口给其他国家用于满足他国需求，而自身承担较多的碳排放责任，因此迫切需要将碳减排生产者责任制改为消费者责任制。另外，除了消费者责任制之外，中国政府应当积极推进包含历史排放积累认定、发展阶段认定、人均排放认定、国际分工认定等因素在内的公平、有效的全球碳排放责任认定

新规则、责任分配新机制。（3）中国应加大碳减排方面的技术投入，降低增加值碳排放系数，调整增加值进出口量，从而控制并减少中国的碳排放。例如增加碳排放量较高的电力、蒸汽和热水的生产和供应业（S24）、金属冶炼和压延加工业（S14）的增加值进口量，减少增加值出口量，并增加这些行业节能减排技术方面的投入，优化产业结构，实现中国经济的低碳转型，助力中国在2030年实现碳达峰和2060年实现碳中和的目标。中国各省份均需要做好碳达峰和碳中和方面的规划，建立大气污染联防联控机制。另外，部分有条件的省份可以率先实现碳达峰和碳中和。（4）由于隐含碳国内和国际贸易均存在行业差异，污染严重的省份可以适当降低碳排放较高的行业的生产，通过进口或者从其他省份调入该行业的产品来满足生产和消费所需。例如江苏省可以适当减少电力、蒸汽和热水的生产和供应业（S24）产品的生产，改为从其他省份调入或者进口。

注释：

① 根据中国31省（市、自治区，不含港澳台地区）区域间投入产出表的结构，将任何一个省份的居民消费、政府消费、固定资产投资形成总额和存货增加合并为一列。

参考文献：

- [1] KOOPMAN R, WANG Z, WEI S J. Tracing value-added and double counting in gross exports [J]. *American Economic Review*, 2014, 104(2): 459-494.
- [2] 邓光耀, 张忠杰, 任苏灵. 全球价值链下中国增加值贸易的效应研究——基于广义假设抽取法的分析[J]. *统计与信息论坛*, 2016, 31(4): 46-51.
- [3] 邓光耀. 全球价值链下中国增加值贸易的核算及网络特征研究[J]. *首都经济贸易大学学报*, 2019, 21(5): 34-44.
- [4] 王直, 魏尚进, 祝坤福. 总贸易核算法: 官方贸易统计与全球价值链的度量[J]. *中国社会科学*, 2015(9): 108-127.
- [5] 张兵兵, 李祎雯. 新附加值贸易视角下中日贸易隐含碳排放的再测算[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 250-261.
- [6] ZHANG B B, ZHAI G M, SUN C W, et al. Re-calculation,

- decomposition and responsibility sharing of embodied carbon emissions in Sino-Korea trade: a new value-added perspective [J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2021, 57(4): 1034–1049.
- [7] 李真, 陈天明. 中美双边工业品增加值贸易隐含碳福利核算与分配问题研究[J]. *财贸经济*, 2020, 41(5): 84–98.
- [8] 刘卫东, 唐志鹏, 韩梦瑶, 等. 2012 年中国 31 省市区区域间投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [9] DENG G, MA Y, LI X. Regional water footprint evaluation and trend analysis of China——based on interregional input-output model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 4674–4682.
- [10] DIETZENBACHER E, LOS B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity [J]. *Economic Systems Research*, 1998, 10(4): 307–324.
- [11] SHAN Y, GUAN D, ZHENG H, et al. China CO₂ emission accounts 1997—2015 [J]. *Scientific Data*, 2018, 5(1): 170–201.

Research on Embodied Carbon Trade in Chinese Provinces from the Perspective of Value-added Trade

DENG Guangyao^{a,b}

(a. Center for Quantitative Analysis of Gansu Economic Development; b. School of Statistics,
Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China)

Abstract: This paper uses the data of inter-regional input-output tables and carbon emissions in 31 provinces of China to study the international and domestic trade of embodied carbon in China's provinces from the perspective of value-added trade. In terms of domestic trade, the three provinces with the largest embodied carbon inflow in 2012 were Jiangsu, Zhejiang and Henan; the three provinces with the largest embodied carbon inflow in 2015 were Zhejiang, Guangdong and Henan. The three provinces with the largest embodied carbon outflow in 2012 were Hebei, Inner Mongolia and Shandong; the three provinces with the largest embodied carbon outflow in 2015 were Inner Mongolia, Hebei and Jiangsu. From the international trade perspective, China was a net exporter of embodied carbon in 2012 and 2015. The top three provinces in terms of embodied carbon imports and exports were Jiangsu, Shandong and Guangdong. Generally speaking, changes in the value-added carbon emission coefficient and value-added coefficient have led to an increase in China's embodied carbon exports, while changes in the Leontief inverse matrix and exports have led to a decrease in China's embodied carbon exports. China should increase technical investment in carbon emission reduction, optimize industrial structure and achieve carbon peak and carbon neutralization.

Key words: value-added trade; embodied carbon trade; multi-regional input-output model; structural decomposition analysis; carbon emissions

(责任编辑: 杨成平)