

济南大学绿色发展研究院

工 作 论 文

2016 年第 4 期

中国外贸生态环境分析与绿色贸易转型研究

——基于隐含碳的实证研究

刘祥霞¹，王锐²，陈学中¹

(1. 济南大学经济学院，济南 250002；2. 武汉轻工大学经济与管理学院，武汉 430023)

摘要：本文利用修正的投入产出法和 2001-2012 年中国海关货物进出口商品分类数据，研究和测算了中国进出口商品中的隐含碳排放量。研究结果显示：中国的出口贸易隐含碳排放量和进口贸易隐含碳排放量都有明显增长，但出口贸易隐含碳排放量增长更快；中国是典型的隐含碳净出口国，且少数产业部门集中了国内绝大多数的碳排放。为了改善国内的生态环境，本文以贸易差额、生态环境差额和碳排系数为依据进行了产业归类，提出了绿色贸易转型的相关策略，以便更好地实现国内节能减排的目标。

关键词：隐含碳；投入产出法；环境逆差；绿色贸易

1 引言

中国入世之后，其货物贸易规模以明显高于同期世界平均增长速度的水平迅速扩大。受全球金融危机的影响，2009 年中国的进出口贸易额开始下降。但从 2010 年开始，中国外贸呈现恢复性增长，至 2012 年中国货物贸易额已排名世界第二，其中出口第一、进口第二。而随着贸易规模的扩大，中国的能源消费总量也开始迅速增加，并使得中国的 CO₂ 排放量不断提高。据 IEA 统计，从 2006 年开始，中国已经成为世界上 CO₂ 排放量最大的国家。到

基金项目：山东省高等学校人文社会科学研究项目“山东绿色贸易转型路径及策略研究”（编号 J12WG60）；国家社科青年项目“基于风险与收益分析的我国粮食‘适度进口’问题研究”（编号 14CJY081）；教育部人文社科研究基金资助项目“我国粮食价格波动中外贸调节机制的研究——基于粮食安全的角度”（编号 12YJC790188）；国家自然科学基金项目“基于计算机实验的中国跨国公司决策治理和成长路径的演化研究”（编号 71371085）。

2012 年,中国 CO₂排放量超过 89 亿吨,占世界 CO₂排放量的 1/4 以上。由于 CO₂排放是引起全球气候变暖、环境变化的主要温室气体,而对外贸易又是能源消耗和碳排放快速增长的主要驱动因素。因而,将碳排放和进出口贸易相结合,对进出口贸易中的隐含碳进行测算,是研究进出口贸易对环境影响的一个重要角度。

目前,学术界对于对外贸易中隐含碳问题的研究国外开始的较早。Wyckoff & Roop(1994)研究了 1984-1986 年间 OECD6 个最大成员国的碳排放量,指出这 6 个国家对外贸易中隐含碳排放量占其排放总量的 13%^[1]。Ackerman 等(2007)运用投入产出模型测算了 1995 年美日两国之间的进出口隐含碳排放,发现在两国的贸易中,美国的 CO₂排放量减少了 1400 多万吨,而日本的 CO₂排放量增加了 600 多万吨^[2]。Peters & Hertwich(2008)利用 GTAP 数据和全球跨国投入产出模型(MRIO)测算了 2001 年 87 个国家和地区的贸易隐含碳排放,发现包括中国在内的大多数国家都属于贸易隐含碳净出口国,贸易隐含碳排放量已经占到了世界碳排放总量的四分之一^[3]。Nakano 等(2009)使用 OECD 的最新数据测算了 1995-2000 年 OECD 国家的生产隐含碳和消费隐含碳排放量,发现二者分别增加了 8.6 亿吨和 15.5 亿吨,并指出如果不考虑国际贸易导致的隐含碳排放转移问题,而依靠全球气候协议来减少碳排放量,则其效果会大大降低^[4]。Preston 等(2012)利用投入产出法研究欧盟国际航空工业中二氧化碳排放问题时,发现在国际贸易中,隐含碳占到全球 CO₂总排放的 21.5%^[5]。

相对于国外研究,我国学者涉及这一领域较晚。齐晔等(2008)采用单区域投入产出法,估算了 1997-2006 年中国进出口贸易中的隐含碳,并按照日本的碳耗效率对进口产品进行了调整,发现中国正在通过产品形式为国外承担着大量的碳排放^[6]。魏一鸣等(2008)估算出 2002 年中国出口贸易造成的直接和间接碳排放量为 3 亿多吨,占一次能源碳排放总量的比例达到 30%以上^[7]。李艳梅和付加锋(2010)采用投入产出分析方法,对 1997 年、2007 年中国出口贸易隐含碳排放进行了测算,并构建了结构分解分析模型,发现出口贸易规模的扩大是造成中国出口贸易隐含碳排放不断增长的主要原因^[8]。杨会民等(2011)利用瓦尔拉-卡塞尔模型,计算了 2002 年与 2007 年中国进出口贸易隐含碳排放量,并对中国进出口贸易在日本、欧盟、东盟三技术水平下的碳排放量进行了分析^[9]。赵玉焕和刘月(2011)使用投入产出法研究和测算了 1999-2008 年中国出口商品中的隐含碳,指出中国 CO₂年排放量的 12%-24%是因生产满足国际市场消费的产品而产生的^[10]。张纪录(2012)通过改进传统的投入产出模型,分别从总量、行业和贸易伙伴等层面对我国 2002-2009 年的出口隐含碳排放进行了动态考察,发现随着出口规模的不断扩大,隐含碳的排放也在持续增加^[11]。

综上所述,国内外对于国际贸易隐含碳以及中国进出口贸易隐含碳的研究成果较为丰富,取得了很多进展,但其研究方法还有待于进一步完善。目前,大多数学者在研究隐含碳问题时均采用了投入产出分析法。但在该方法应用过程中,往往忽略了进口中间投入品对碳排放的影响,从而高估出口贸易隐含碳;且受制于投入产出数据编制年份的限制,大多学者研究的是与投入产出表相对应年份的隐含碳或直接用相近年份的投入产出数据代替缺省年份,缺乏连续性和动态变化;同时,在估算进口贸易隐含碳时,很多学者选用了本国的投入产出数据来替代,忽略了国内外技术差距的影响,使得进口隐含碳被高估,依次计算出的贸易隐含碳净差就会存在较大误差。本文在参考上述国内外文献的基础上,对投入产出分析模型和数据做出了一些修正和调整。具体包括:一是,在计算中剔除了中间投入品对出口贸易隐含碳的影响;二是,引入相关参数,对投入产出数据进行处理,以便于连续、动态地考察中国进出口贸易中隐含碳的变动趋势;三是,利用碳耗系数对进口贸易隐含碳的计算公式进行技术修正。这些修正和调整,将会使得本文的测算结果更加准确,以便于我们详细了解入世之后,中国对外贸易隐含碳的变动趋势,提出绿色贸易转型的相应策略。

2 模型和数据说明

2.1 模型说明

早在 1974 年, 国际高级研究机构联合会(IFIAS)在能源分析工作组的会议上, 就首次提出了“embodied energy”(隐含能)的概念, 并指出可以在 embodied 后面加上各种资源或污染排放物^[6]。隐含碳(embodied carbon)即是隐含能概念的延伸^[6], 在《联合国气候变化框架公约》中, 其被定义为“商品从原材料的获取、生产加工、运输、到最终消费者的过程中所产生的碳排放量”^[12]。而俄籍美国经济学家 Leontief 于 1936 年提出的投入产出分析法(Input-output Analysis), 主要通过编制投入产出表和建立投入产出模型来反映经济系统各个部门(产业)之间的相互关系, 与 Embodied 的核算极其相似^[6]。因而, 自 20 世纪 60 年代以来, 这一方法被应用到能源利用和环境保护研究领域, 来分析产品贸易背后完全的隐含能和隐含碳。

2.1.1 里昂惕夫投入产出基本模型

里昂惕夫投入产出原始模型为: $X = AX + Y$ (1)

式中, X 为各部门总产出列向量, AX 为中间投入(中间产品), Y 为社会最终产品列向量, A 为直接消耗系数矩阵(里昂惕夫系数矩阵)。设 i 为中间投入品行业, j 为各个生产行业。本文以 α_{ij} 为矩阵 A 的元素, 则表示的是生产单位价值的 j 行业产品所直接消耗的第 i 类行业的产品价值, 计算公式为:

$$\alpha_{ij} = X_{ij} / X_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

然而, 在实际生产过程中, 各个行业之间的消耗关系是十分复杂的。生产单位价值的 j 行业产品除了上面我们提到对 i 行业产品的直接消耗外, 还需要通过中间需求来消耗第 i 类行业的产品, 即间接消耗。在投入产出原理中, 一种产品对某种产品直接消耗和间接消耗的总和被称之为完全消耗。若完全消耗系数记为 b_{ij} , 则其可以表示为:

$$b_{ij} = \alpha_{ij} + \sum_{k=1}^n b_{ik} \alpha_{kj} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

所有的 b_{ij} 构成完全消耗系数矩阵, 可记作 B , 则:

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (4)$$

式中, I 是与 A 和 B 相同阶数的单位矩阵。

2.1.2 修正完全消耗系数矩阵

需要注意的是, 生产中所用中间产品并不完全都是由国内生产的, 会存在进口中间投入品。而进口投入品的生产是在国外进行的, 若不将其碳排放从出口计算中排除, 则会高估出口贸易隐含碳。针对这一情况, 本文将中间投入品分为两部分: 完全国内产出的中间投入品和进口的中间投入品。这样, 为了剔除进口中间投入品对出口碳排放的影响, 就需要对原有的直接消耗系数矩阵 A 做出修正, 将其分解为:

$$A = A^d + A^m \quad (5)$$

式中, A^d 为国内产出的中间投入品的直接消耗系数矩阵, A^m 为进口中间投入品的直接消耗系数矩阵。为了将这两个分解出的矩阵与 A 相联系, 依据“按比例进口假设”, 可以将各个行业进口中间产品投入占国内中间产品总投入的比例记为矩阵 M , 也称进口系数矩阵, 则有:

$$A^d = (I - M)A \quad (6)$$

假定 m_{ij} 为矩阵 M 的元素, 则

$$m_{ij} = \frac{IM_i}{X_i + IM_i - EX_i} \quad (\text{当 } i \neq j \text{ 时, } m_{ij} = 0) \quad (7)$$

式中, IM_i 为第 i 类行业产品的进口量, X_i 为第 i 类行业产品的总产出, EX_i 为第 i 类行业产品的出口量。那么, 原有的完全消耗系数矩阵在排除了进口投入品的影响后, 就可以记作:

$$B = (I - A^d)^{-1} - I \quad (8)$$

2.1.3 计算j部门的直接碳排放系数和完全碳排放系数

直接碳排放是指j行业的产品生产过程中直接消耗的能源所导致的碳排放；间接碳排放是指j行业的产品生产过程中通过中间投入品行业i间接消耗的能源所导致的碳排放。二者之和就是j行业的产品生产过程中所产生的完全碳排放。而直接碳排系数的计算公式为：

$$dc_j = f_j * e_j \quad (9)$$

式中， f_j 为j行业的能源碳排放系数，公式为：

$$f_j = \sum \theta_g * \varepsilon_{gj} \quad (10)$$

式中， θ_g 为第g种能源品种的碳排放系数， ε_{gj} 为j部门总能源消耗中第g种能源的消耗比重。在中国能源统计年鉴中列出了九种能源，由于电力最终主要靠煤炭、天然气等消耗得来。因而，为了避免重复计算，本文主要以煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气这八种一次性消费能源为基准来核算中国分行业的CO₂排放量。而 θ_g 的计算可以参照IPCC2006年的指导意见第二卷（能源）第六章提供的参考方法，公式为：

$$\theta_g = NCV_g * CEF_g * COF_g * 44/12 \quad (g=1,2, \dots, 8) \quad (11)$$

式中，NCV是2013年《中国能源统计年鉴》附录4中提供的一次能源的平均低位发热量，CEF表示碳排放因子^①，具体数据由IPCC提供，COF表示碳氧化因子，缺省值为1，44和12分别表示二氧化碳和碳的分子量，则计算结果如下表：

表1 各种能源的CO₂排放系数

单位：kg CO₂/kg

Table 1	Carbon emission factors of fossil fuels				Unit kg CO ₂ /kg			
能源种类	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
碳排放系数	1.99	3.04	3.07	3.19	3.10	3.16	3.24	2.18

式（9）中， e_j 表示第j部门的能源产值消耗，计算公式为：

$$e_j = \frac{E_j}{X_j} \quad (12)$$

式中， E_j 表示j部门的能源消耗总量， X_j 表示j部门的总产出。若将直接碳排放系数 dc_j 以矩阵的形式表示出来，记作DC，则结合式（8）可以推导出完全碳排放系数为：

$$\left[(I - A^d)^{-1} - I \right] * DC。$$

2.1.4 计算进出口贸易隐含碳

通过上面的分析可知，若将各部门出口额矩阵记作EX，则出口贸易中的隐含碳排放量计算公式为：

$$CE = \left[(I - A^d)^{-1} - I \right] * DC * EX \quad (13)$$

同理，若将各部门进口额矩阵记作IM，则进口贸易隐含碳就等于各进口对象国的完全碳排放系数乘以IM。而本文在上面的公式中，仅计算出了中国的完全碳排放系数。要计算各进口对象国的完全碳排放系数，就需要获得各国的投入产出表和能源消耗情况。这种计算方式，数据处理庞大，难以操作。因而，多数研究者会假定国内外不存在技术差距，用本国的完全碳排放系数来替代。这种方法虽然比较简便，但容易造成较大误差。

由于各国碳排放强度之间的差异能够很好的反映国家之间的技术差距与能耗状况，因而

^①由于在IPCC2006中没有直接提供煤炭的碳排放因子，所以在这里我们根据陈诗一（2009）提供的方法，利用IPCC2006所提供的烟煤和无烟煤的碳排放因子的加权平均值（80%和20%）来计算煤炭的碳排放因子。

本文借鉴杨会民（2007）的方法，将平均碳排放强度 K^t ^① 作为一个不同技术水平的修订系数引入进口贸易隐含碳排放计算中，则：

$$CI = K^t \left[(I - A^d)^{-1} - I \right] * DC * IM \quad (14)$$

对于 K^t 的估算，本文选择了中国主要的 10 个进口国家的数据，这 10 个国家的进口额一直占到中国进口贸易总额的 70% 以上，具有代表性。而剩余的进口国家则归为“其它”类。本文在研究中发现，将 IEA 所公布的 OECD 和 non-OECD 国家的碳排放强度平均之后，其与东盟国家的碳排放强度接近。因此，“其它”类的碳排放强度本文将以东盟的碳排放强度替代。则计算公式为：

$$K^t = \sum_{r=1}^{11} U_r^t * V_r^t \quad (r=1,2,\dots,11) \quad (15)$$

式中， U_r^t 为 t 年中国从 r 国家或地区进口额占中国总进口额的份额； V_r^t 为 r 国家或地区碳排放强度与中国碳排放强度的比值。

在测算了出口贸易隐含碳和进口贸易隐含碳后，就可以测算出贸易隐含碳净差，以 CB 表示，则 $CB = CE - CI$ ，因而。当 $CB > 0$ 时，表明该国是贸易隐含碳净出口国，贸易对环境产生了负面影响，即可以说对外贸易中存在环境逆差。相反，当 $CB < 0$ 时，表明该国为贸易隐含碳净进口国，对外贸易中存在环境顺差。

2.2 数据说明

2.2.1 投入产出数据

本文投入产出数据主要采用了 2002 年、2005 年、2007 年、2010 年中国投入产出表中的数据整理而得。但中国的投入产出表不是每年都会编写，存在一些缺省年份。为了尽可能的减少误差，保证数据分析的连续性，对于基准年之外年份的数据我们用最近年份的投入产出表中的数据进行替代，即 2001、2003 年的数据用 2002 年的数据代替，2004 年的数据用 2005 年的数据代替，2006、2008 年的数据用 2007 年的数据代替，2009、2011、2012 年的数据用 2010 年的数据代替，并对其进行技术水平、价格指数和汇率三方面的修正^①，见表 2。

表 2 2001-2012 年中国碳耗系数的修正参数

Table 2 The technology parameters of carbon emission coefficient in 2001-2012

项目	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
技术水 平	1.03	1.00	1.05	1.01	1.00	1.05	1.00	0.95	1.05	1.00	0.98	0.96
价格指 数	1.01	1.00	1.01	0.98	1.00	0.95	1.00	1.06	0.97	1.00	1.05	1.08
汇率指 数	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.05	1.00	0.91	1.01	1.00	0.95	0.93

数据来源：价格指数和汇率等数据来源于《中国统计年鉴 2013》。其中，技术水平是根据 2001-2012 年中国不变价格的万元 GDP 能耗情况变化得出，数据来源于《中国能源统计年鉴 2013》。

2.2.2 能源消耗和碳排放数据

能源的碳排放系数计算所需数据主要来自于历年中国能源统计年鉴和《国家温室气体清单指南》（IPCC2006）。而在计算 K^t 中所需要的中国和主要进口国家的碳排放强度主要来自于 IEA 公布的 CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights (2013 Edition)。

2.2.3 进出口数据

^① 本文借鉴杨会民等（2007）计算 2002、2007 年不同技术水平修订系数的公式，来推算中国 2001-2012 年的不同技术水平修订系数。
^② 本文根据齐晔等（2008）提供的对基准年之外的碳耗系数进行修正的方法，来计算 2001-2012 年中国碳耗系数的修正参数。

中国海关进出口商品的分类是按照 HS 编码制度，将货物分为 22 大类，98 章。这种分类方式与能源统计年鉴和投入产出表并不一致。为了建立一个相对可比的分类系统，我们借鉴张晓平的分类方法^[13]，将产业部门归结为 18 类，见表 3。同时，本文所涉及各产业部门和进口国的进出口数据主要来源于历年的《中国贸易外经统计年鉴》。

表 3 行业划分及代码

Table 3 The classification and code of Chinese industry

代码	行业	代码	行业	代码	行业
S1	农林牧渔业	S7	服装皮革羽绒及其制品业	S13	金属制品业
S2	石油和天然气开采业	S8	木材加工及家具制造业	S14	通用、专用设备制造业
S3	金属矿采选业	S9	造纸印刷及文教用品制造业	S15	交通运输设备制造业
S4	非金属矿采选业	S10	化学工业	S16	电气、机械及器材制造业
S5	食品制造及烟草加工业	S11	非金属矿物制品业	S17	仪器及文化办公用机械制造业
S6	纺织业	S12	金属冶炼及压延加工业	S18	其它

注：由于“其它”类行业占中国进出口比例较低，若将其忽略不计不会影响最终的计算结果。因而，在下述分析中，只选择了前 17 类行业部门。

3 实证结果与分析

3.1 中国各行业的直接和完全碳排放系数

本文根据前面的投入产出分析法，可以计算出 2001-2012 年各行业的直接碳排放系数（DC）、完全碳排放系数（CC）和碳排乘数（完全碳排放系数与直接碳排放系数之比，记作 MC）。由于投入产出表不是每年都编写，所以本文有关投入产出数据主要来自 2002、2005、2007、2010 年的投入产出表。因此，本文只列出了 2002、2005、2007、2010 年的直接碳排放系数、完全碳排放系数和碳排乘数，计算结果如表 4：

表 4 各行业直接碳排放和完全碳排放系数

Table 4 The coefficient of direct embodied carbon emissions and total embodied carbon emissions

代码	2002			2005			2007			2010		
	DC	CC	MC	DC	CC	MC	DC	CC	MC	DC	CC	MC
S1	1.68	▲4.60	<u>2.73</u>	1.87	▲3.72	<u>1.99</u>	1.36	▲2.50	<u>1.83</u>	0.87	1.77	<u>2.02</u>
S2	▲46.89	▽0.73	0.02	▲11.41	▽0.27	0.02	▲5.79	▽0.34	0.06	▲3.93	▽0.13	0.03
S3	4.31	3.94	0.91	2.33	▲2.97	<u>1.28</u>	1.29	▲2.37	<u>1.84</u>	0.79	▲2.43	<u>3.07</u>
S4	▲6.05	2.87	0.48	▲4.66	1.95	0.42	2.68	1.48	0.55	1.69	0.84	0.50
S5	3.26	1.26	0.39	1.74	1.14	0.65	1.09	1.29	<u>1.19</u>	0.64	0.92	<u>1.44</u>
S6	2.89	2.07	0.72	2.14	1.55	0.73	1.38	1.37	<u>1.00</u>	0.87	0.95	<u>1.09</u>
S7	▽0.81	▽0.83	<u>1.03</u>	▽0.57	▽0.56	0.99	▽0.39	▽0.43	<u>1.11</u>	▽0.24	▽0.29	<u>1.21</u>
S8	▽1.21	▽1.01	0.83	1.12	▽0.74	0.66	0.60	▽0.63	<u>1.06</u>	0.41	▽0.46	<u>1.13</u>
S9	4.44	3.46	0.78	4.12	2.59	0.63	▲3.07	1.96	0.64	▲2.18	1.37	0.63
S10	▲13.41	▲16.19	<u>1.21</u>	▲8.84	▲12.06	<u>1.36</u>	▲5.72	▲8.51	<u>1.49</u>	▲3.56	▲5.79	<u>1.63</u>
S11	▲29.92	▲4.08	0.14	▲16.89	▲3.87	0.23	▲11.24	▲3.03	0.27	▲6.39	▲2.32	0.36
S12	▲27.67	▲18.18	0.66	▲26.12	▲16.32	0.63	▲14.01	▲10.39	0.74	▲11.42	▲6.88	0.60
S13	1.74	2.64	<u>1.52</u>	▽0.87	1.52	<u>1.75</u>	▽0.52	1.09	<u>2.10</u>	▽0.33	0.82	<u>2.46</u>
S14	1.64	▲4.35	<u>2.65</u>	1.19	2.11	<u>1.78</u>	0.79	2.34	<u>2.95</u>	0.50	▲2.15	<u>4.30</u>
S15	▽1.58	2.32	<u>1.47</u>	▽0.98	1.38	<u>1.41</u>	▽0.52	0.96	<u>1.85</u>	▽0.30	0.67	<u>2.24</u>
S16	▽0.73	▽0.46	0.63	▽0.34	▽0.16	0.47	▽0.20	▽0.13	0.63	▽0.15	▽0.25	<u>1.71</u>
S17	▽0.69	▽0.43	0.62	▽0.23	▽0.12	0.50	▽0.18	▽0.09	0.47	▽0.15	▽0.08	0.50

注：按照数值从高到低排列，▲表示该值位列该列数据的前五位，▽表示该值位列该列数据的后五位；划_的值是该列超过 1 的数。

由表 4 的计算结果可知,中国各行业的直接碳排放系数都呈明显下降趋势。其中,2002、2005 年直排系数最高的五个行业分别是:石油和天然气开采业、非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业、化学工业、非金属矿采选业;2007、2010 年直排系数最高的五个行业分别是:金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、石油和天然气开采业、化学工业、造纸印刷及文教用品制造业。相比较于 2002 年,石油和天然气开采业的直排系数下降幅度最为明显。2002 年直排系数最低的五个行业分别是:仪器及文化办公用机械制造业、电气和机械及器材制造业、服装皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业、交通运输设备制造业;2005、2007、2010 年木材加工及家具制造业的直排系数上升,直排最低的五个行业发生调整,调整为:仪器及文化办公用机械制造业、电气和机械及器材制造业、服装皮革羽绒及其制品业、交通运输设备制造业、金属制品业。

中国各行业的完全碳排放系数也基本上呈现下降趋势,其中,2002 年完排系数最高的五个行业分别是:金属冶炼及压延加工业、化学工业、农林牧渔业、通用和专用设备制造业、非金属矿物制品业;2005、2007 年完排系数最高的五个行业分别是:金属冶炼及压延加工业、化学工业、非金属矿物制品业、农林牧渔业、金属矿采选业;2010 年完排系数最高的五个行业分别是:金属冶炼及压延加工业、化学工业、非金属矿物制品业、金属矿采选业、通用和专用设备制造业。2002、2005、2007、2010 年完排系数最低的五个行业分别是:仪器及文化办公用机械制造业、电气和机械及器材制造业、石油和天然气开采业、服装皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业。

由上可知,直排系数和完排系数都最高的行业是金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、化学工业;直排系数和完排系数都最低的行业是仪器及文化办公用机械制造业、电气和机械及器材制造业、服装皮革羽绒及其制品业。同时,若考察碳排乘数会发现,2002 年碳排乘数大于 1 的行业有:农林牧渔业、通用和专用设备制造业、金属制品业、服装皮革羽绒及其制品业、交通运输设备制造业、化学工业、服装皮革羽绒及其制品业;2005 年碳排乘数大于 1 的行业在 2002 年的基础上少了服装皮革羽绒及其制品业,增加了金属矿采选业;2007 年碳排乘数大于 1 的行业在 2005 年的基础上又增加了食品制造及烟草加工业、服装皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业;到 2010 年碳排乘数大于 1 的行业进一步扩展,相比 2005 年,又增加了电气和机械及器材制造业、纺织业,共 11 个行业。这 11 个行业中,碳排乘数较大的行业是通用和专用设备制造业、金属矿采选业、金属制品业、交通运输设备制造业、农林牧渔业。这说明,在各行业直排系数明显降低的情况下,因行业的前后联系较强,绝大多数行业在生产过程中通过中间投入排放的二氧化碳量仍然较高。

3.2 贸易隐含碳和环境逆差的整体分析

本文依据修正的投入产出法,对 2001-2012 年的中国上述 17 个行业部门的出口贸易隐含碳(CE)、进口贸易隐含碳(CI)和对外贸易隐含碳净差(CB)进行了估算,结果如图 1 所示。

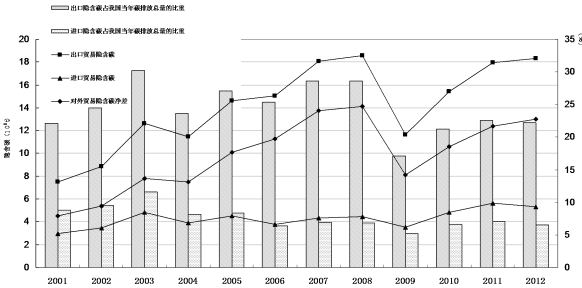


图 1 2001-2012 年中国进出口贸易隐含碳变化趋势

Fig.2 The change of the embodied carbon in import and export of China from 2001 to 2012

3.2.1 出口贸易隐含碳分析

2001-2012 年期间中国出口贸易发展迅速, 与 2001 年相比, 到 2012 年中国出口贸易增长了 7.7 倍, 年均增速达到 21.33%。而由图 1 可以看出, 2001-2012 年期间, 在中国出口贸易额迅速增加的同时, 出口贸易隐含碳排放量也相应地呈现增长趋势。出口贸易隐含碳排放量从 2001 年的 7.51 亿 t 增加到 2012 年的 18.34 亿 t, 增长了 2.4 倍, 年均增幅达到 10.79%。这期间, 出口贸易隐含碳经历了 2004 年的小幅度下降和 2009 年的大幅度下降。2004 年的出口贸易隐含碳同比下降 9.57%, 这可能与 2004 年开始中国出口产品能源消耗强度降低以及同期价格指数相对偏低有关。而 2009 年的出口贸易隐含碳同比下降了 37.31%, 这主要是因为受金融危机的影响, 2009 年的出口贸易额比 2008 年下降 16.01%, 降幅较大, 即出口贸易额的变化引起了出口贸易隐含碳的相对变化; 其次, 2009 年出口贸易隐含碳的下降还可能与 2008 年后, 中国生产技术水平提高, 能耗强度降低有关。

此外, 从图 1 中还可以得知, 除 2009 年外, 2001-2012 年期间, 出口贸易隐含碳占我国 CO₂ 排放总量的比重一直维持在 20% 以上。特别是入世之后, 中国出口贸易隐含碳排放增长较快, 使得出口贸易隐含碳占我国 CO₂ 排放总量的比重也在不断上升, 到 2009 年出口贸易隐含碳占我国 CO₂ 排放总量的比重开始下降, 下降为 17.12%。但总体来看, 我国出口贸易隐含碳占我国 CO₂ 排放总量的比重平均能达到 24%, 这说明我国有四分之一左右的二氧化碳排放是由国外需求造成的, 中国制造正在为国外消费者承担着较大比重的污染。

3.2.2 进口贸易隐含碳分析

2001-2012 年间中国进口贸易发展也非常迅速, 与 2001 年相比, 到 2012 年中国进口贸易增长了 7.5 倍, 年均增速达到 20.96%。而从图 1 中可以看出, 2001-2012 年期间, 中国进口贸易隐含碳排放量整体也基本呈增长趋势, 但其各年增速明显慢于同期出口贸易隐含碳增长速度。这一期间, 进口贸易隐含碳从 2001 年的 2.99 亿 t 增长到 2012 年的 5.33 亿 t, 增长了 1.8 倍, 年均增幅达到 7.31%。其中, 2004、2006、2009 年进口贸易隐含碳下降幅度较大, 可能与国外相对能耗强度的降低和同期价格指数相对偏低有关。另外, 2009 年进口贸易隐含碳较之 2008 年下降了 20.32%, 更多的是因为同期进口贸易额比 2008 年下降了 11.18%, 下降幅度较大, 即进口贸易额的变动对进口贸易隐含碳排放量的变化影响较大。而 2012 年, 进口贸易隐含碳有小幅下降, 这可能与同期进口增速降低到 4.3% 以及同期汇率相对偏低有关。

此外, 从图 1 中还可以得出, 2001-2012 年期间, 进口贸易隐含碳占我国 CO₂ 排放总量的比重平均维持在 7.66% 左右, 且近年该比重有不断下降的趋势。这说明, 在我国生产技术创新过程中, 国外技术水平提高更快, 国内外碳耗强度差距仍然较大; 同时也说明, 中国进口贸易并没有充分发挥出减少国内碳排放的作用。

3.2.3 对外贸易环境逆差分析

从图 1 中可以看出, 2001-2012 年期间, 中国出口贸易隐含碳排放量明显超过进口贸易隐含碳排放量, 对外贸易隐含碳净差大于零。这表明, 中国是贸易隐含碳净出口国, 在外贸顺差背后存在着明显的生态环境逆差。在这一期间, 除 2004、2009 年外, 中国对外贸易隐含碳净差一直呈现增长趋势, 从 2001 年的 4.52 亿 t 增长到 2012 年的 13.01 亿 t, 增长了 2.9 倍, 年均增幅达到 12.83%, 明显快于出口贸易隐含碳和进口贸易隐含碳的增长速度。其中, 2001-2008 年期间, 随着中国对外贸易顺差额的不断增长, 外贸环境逆差增加较快, 到 2008 年增加到 14.12 亿 t。2009 年对外贸易顺差下降到 1956.89 亿美元, 外贸环境逆差也减少到 8.10 亿 t, 降幅较大。2010 年中国对外贸易出现恢复性增长后, 对外贸易顺差额由 2010 年的 1815.1 亿美元增加到 2012 年的 2303.09 亿美元, 外贸环境逆差也由 2010 年的 10.59 亿 t

增加到 2012 年的 13.01 亿 t。这说明，外贸顺差对中国外贸环境逆差的影响明显，并且随着外贸规模的扩大，生态环境逆差上升更为迅速。

3.3 中国外贸环境的部门分析和产业归类

3.3.1 部门分析

经过计算发现，2001-2012 年期间，尽管各行业出口隐含碳存在调整变动，但总体来看，中国出口贸易隐含碳主要集中在五个行业：化学工业、通用和专用设备制造业、金属冶炼及压延加工业、纺织业、非金属矿物制品业。2012 年，这五个行业的出口隐含碳排放量分别占到出口隐含碳总排放量的 33.00%、26.78%、8.48%、7.72%、6.56%，是整个出口隐含碳排放总量的 82.53%。其中，化学工业、金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业属于直接碳排放系数和完全碳排放系数都较高的行业，但金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业碳排乘数较低；通用和专用设备制造业的直接碳排放系数虽然较低，但完全碳排放系数较高，碳排乘数大；纺织业的直接碳排放系数和完全碳排放系数虽然都不高，但碳排乘数仍然大于 1。

2001-2002 年，中国进口贸易隐含碳也主要集中在五个行业：化学工业、通用和专用设备制造业、金属矿采选业、金属冶炼及压延加工业、农林牧渔业。2012 年，这五个行业在进口隐含碳方面分别占 45.42%、14.73%、12.26%、6.04%、5.18%，占整个进口隐含碳排放总量的 83.63%。这其中，化学工业、金属冶炼及压延加工业属于直接碳排放系数和完全碳排放系数都较高的行业，但金属冶炼及压延加工业碳排乘数较低；通用和专用设备制造业、金属矿采选业、农林牧渔业的直接碳排放系数较低，但完全碳排放系数较高，碳排乘数大。

从贸易隐含碳净差来看，2001-2012 年期间，隐含碳净出口产业由 16 个逐渐减少为 15 个。其中，石油和天然气开采业逐渐由生态逆差产业转变为生态顺差产业，而金属矿采选业一直属于生态顺差产业，且其顺差额在不断扩大。

3.3.2 产业归类

为了更好的确立节能减排目标，本文根据贸易差额、生态差额和碳排系数，对上述 17 个产业部门进行了重新归类：

(1) 贸易逆差、生态顺差产业，包括石油和天然气开采业、金属矿采选业。石油和天然气开采业属于直排系数较高的产业，金属矿采选业属于完排系数较高的行业。对于这类行业可以继续鼓励进口，使其通过贸易发展将原本在国内产生的碳排放转移到国外，这将有利于降低我国总体碳排放量。

(2) 贸易逆差、生态逆差产业，包括农林牧渔业、非金属矿采选业、化学工业、仪器及文化办公用机械制造业。其中，化学工业的直排系数、完排系数和碳排乘数较高，农林牧渔业的完排系数较高，非金属矿采选业的直排系数较高。对于这三种产业都应限制其出口，并继续扩大进口；同时，对于碳排乘数较高的行业还可以选择从国外进口中间投入品来降低该行业的碳排放量。仪器及文化办公用机械制造业的直排系数和完排系数都不高，且扩大贸易逆差并没有降低生态逆差，因而通过扩大进口减少碳排的作用不明显，应鼓励该产品生产和出口。

(3) 贸易顺差、生态逆差，且碳排系数较高的产业，包括造纸印刷及文教用品制造业、非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业、通用和专用设备制造业。其中，非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业的直排系数和完排系数较高，造纸印刷及文教用品制造业的直排系数增大，通用和专用设备制造业的完排系数较高。由于通用和专用设备制造业的贸易顺差和生态逆差很高，应对其出口加以严格限制，或通过进口高碳排中间投入的方式来降低碳排放量。而另外三个产业的生态逆差相对偏高且直排系数较大，应该限制其出口，并扩大进口。

(4) 贸易顺差、生态逆差，且碳排系数较低产业，包括食品制造及烟草加工业、纺

织业、服装皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业、金属制品业、交通运输设备制造业、电气和机械及器材制造业。这些产业的直排系数、完排系数较小，但碳排乘数较大。其中，纺织业、服装皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业、电气和机械及器材制造业的贸易顺差额较大，但生态逆差相对偏高；而剩余的3个产业的顺差额不大，且生态逆差较低。对于这些产业，可允许其继续出口；同时，在保证贸易规模不出现大幅度缩减的情况下，通过加大对所使用高碳排中间投入的进口，来降低国内碳排放总量。

4 绿色贸易转型的对策

长期以来，中国粗放型的贸易模式，形成了国内不合理的对外贸易结构。随着外贸规模的不断扩大，这种具备“环境输出”特征的贸易结构，逐渐形成了巨大的生态逆差，给我国环境带来了压力。在国内外汇储备充足的情况下，原先牺牲环境获取利益的贸易方式必须做出转变，绿色贸易转型势在必行。所谓绿色贸易转型就是指从控制和减少环境消耗型产品出口，到实行环境输入，最终实现绿色贸易，在有利于维护环境的贸易活动中获取经济利益的过程^[14]。也就是说，实现绿色贸易转型的核心就是要尽快消除环境逆差，并逐步实现环境顺差^[15]。而根据胡涛等（2011）的研究，实施绿色贸易转型，可能在短期内会减缓GDP的增长速度，但从长期来看，由于技术进步等因素，负面影响会逐渐减弱并可能转变为正面^[15]。因而，根据前面对我国外贸环境的实证分析，本文认为可以继续推行绿色贸易转型策略，具体措施如下：

4.1 优化产业结构和出口结构，调控出口贸易总量

从前面的分析中，可以看出我国各产业的直排系数和完排系数不同，贸易集中在碳排系数较高的产业。因而，应根据行业碳排系数的大小，调整产业结构和出口结构，减少国内能源消耗和碳排放。

（1）制定相应的环境标准，加强对国内现有产业的环境管制
建立更加权威的认证机构，研究和探讨国外发达国家的环境标准，根据国内的技术发展水平，从提高国内产业环境效率的目标出发，制定相应的环境标准和认证体系。这不仅有利于约束企业的生产排污行为，同时也有利于推动企业开发新的技术和工艺来生产出更多的生态产品。通过这种方式可以降低国内企业生产的碳排放量，从而减少环境逆差，并有利于突破国外绿色贸易壁垒的限制，推动绿色贸易发展。

（2）适当调整出口关税税率，并加征环境关税

根据国内产业碳排放系数的高低，提高碳排放系数较高产业的出口关税税率，降低或取消碳排放系数较低产业的出口关税税率，并对高耗能、高污染的产业加征出口环境关税，以增加高碳排放产业的出口成本，缩减其出口量或迫使其改变能源消耗结构、降低其生产过程中所产生的碳排放量，并推动低碳排产业扩大出口规模。

（3）调整出口退税税率、出口信贷、信贷担保等优惠扶持政策

国内现有的出口扶持政策中仍然包含很多高耗能、高污染的产业，应逐步降低这些产业的出口退税税率、提高其申请金融性扶持政策的条件或将高碳排产业直接剔除出扶持范围。同时，对有利于环境修复的碳排系数较低的产业，要扩展其出口退税产品范围，提高出口退税税率，并加大各种金融性扶持政策的力度。

4.2 调整进口结构，扩大进口能替代国内环境消耗的产品

对于高耗能、高污染的产业，在减少生产和出口的过程中，为了保证国内消费，需要扩大此类产品的进口，以缓解国内节能减排的压力。同时，对于完排系数较高的产业除了在出口方面进行限制之外，还可以通过进口相对高碳排的中间产品来减少出口商品中的碳排放。对此，需要在相关政策方面做出调整，如根据碳排系数高低制定差别进口关税税率、制定差别进口信贷、制定差别国内税等，以实现环境输入。

4.3 建立行业环境准入制度，规范国内外投资

在我国出口贸易中，三资企业的出口占有一半以上的比例。因此，为了减少出口商品碳排放量，就应该根据所制定的环境标准，确立行业的环境准入制度，特别是提高碳排系数较高产业的行业进入壁垒，以限制国外污染产业的进入，并减少高耗能、高污染行业的投资规模，从而降低国内碳排放量。同时，还应加大引进低碳技术，并开展国外技术合作，以进一步改善和提高国内技术水平，降低能源消耗。在这一过程中，除了有国内政策引导之外，还可以利用走出去战略，让企业主动接触国外先进技术并利用国外资源，降低国内能耗和碳排放量。

4.4 完善海关职能，建立产品环境分类管理体系

我国海关产品分类是按照协调编码制度进行的，没有加入生态环境的内涵。为了更好的规范进出口贸易结构，符合国内改善环境、修复生态的要求，还需要绿化海关的货物进出口分类目录。同时，根据碳排系数的高低，建立产品环境分类管理体系，以便于海关在监督、管理产品进出口时，能按照国家相关政策做出调整，并能对产品进出口数据做出更合理的统计，便于随时掌握国内生态环境状况，适时做出反应。

5 结论

本文利用修正的投入产出分析方法，对 2001-2012 年中国海关进出口商品所涉及的 17 个产业部门的进出口隐含碳和环境逆差进行了估算和分析，并据此提出了绿色贸易转型的相关对策。主要结论如下：

(1) 中国各行业的直排系数和完排系数都有明显的下降趋势，但碳排乘数大于 1 的产业范围扩展。碳排系数的下降说明，中国近年来技术水平有所提高，产品能源消耗结构有所改善。碳排乘数范围扩展说明，很多行业的前后联系较强，在生产过程中通过中间投入排放的二氧化碳量相对提高。

(2) 出口贸易隐含碳占当年国内碳排放总量的比重平均维持在四分之一左右，且明显大于进口贸易隐含碳。这说明，中国是一个典型的环境输出国，中国制造正在通过贸易形式为国外消费承担着大量的碳排放。

(3) 进口碳排放增速明显慢于出口碳排放增速，占当年国内碳排放总量的比重较低。这一方面说明，国内外技术差距依然较大；另一方面说明，利用进口贸易缓解国内碳排放压力的作用仍然没有发挥出来。

(4) 中国进出口贸易隐含碳非常集中，且这些行业的国内产业碳排系数相对较高。这说明中国少数产业部门承担着国内绝大多数的碳排放，且大多数产品部门都属于隐含碳净出口部门，产业环境效率亟待提高。

(5) 为修复国内环境，急需进行绿色贸易转型。转型过程中可以选择绿色进出口贸易、绿色投资、绿色海关管理等手段，最终改变环境输出为特征的贸易发展方式，实现环境输入，在有利于生态环境的活动中获取经济利益。

参考文献：

- [1]Wyckoff W. Andrew, Joseph M. Roop. The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured products: Implications for International Agreements on Greenhouse Gas Emissions [J]. *Energy Policy*,1994,22 (3): 187-194.
- [2] Ackerman F., Ishikawa M., Suga M. The Carbon Content of Japan-US Trade[J]. *Energy Policy*,2007,35 (9):4455-4462.
- [3]Glen P. Peters, Edgar G. Hertwich. CO₂ embodied in international trade with implications for

- global climate policy[J]. *Environmental science & technology*, 2008, 42(5): 1401-1407.
- [4] Nakano Satoshi, A. Okamura, N. Sakurai, et al. The Measurement of CO₂ Embodiments in International Trade:Evidence from the Harmonized Input -Output and Bilateral Trade Database[R]. Paris: OECD Publishing, 2009.
- [5] Holly Preston, David S. Lee, Paul D. Hooper. The inclusion of the aviation sector within the European Union's Emissions Trading Scheme:What are the prospects for a more sustainable aviation industry? [J].*Environmental Development*, 2012,2 (4): 48-56.
- [6] 齐晔, 李惠民, 徐明. 中国进出口贸易中的隐含碳估算 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18 (3) : 8-13.
- [7] 魏一鸣, 刘兰翠, 范英等.中国能源报告(2008): 碳排放研究[M].北京:科学出版社, 2008.
- [8] 李艳梅、付加锋. 中国出口贸易中隐含碳排放增长的结构分解分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (8) : 53 -57.
- [9] 杨会民, 王媛, 刘冠飞. 2002 年与 2007 年中国进出口贸易隐含碳研究 [J]. 资源科学, 2011,33 (8) : 1563-1569.
- [10] 赵玉焕, 刘月. 基于投入产出法的中国出口产品隐含碳测算 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21 (12) : 8-14.
- [11] 张纪录. 中国出口贸易的隐含碳排放研究——基于改进的投入产出模型 [J]. 财经问题研究, 2012,344 (7) : 112-117.
- [12] 黄敏, 伍世林. 贸易中隐含碳问题溯源及其研究进展 [J]. 上海商学院学报, 2010, 11 (2) : 77-80.
- [13] 张晓平. 中国对外贸易产生的 CO₂ 排放区位转移分析 [J]. 地理学报, 2009,64 (2) : 234 - 242.
- [14] 夏光. 从环境输出到生态修复: 我国贸易模式亟待改变 [J]. WTO 经济导刊, 2010, 78 (1) : 87-88.
- [15] 胡涛, 庞军, 郭红燕等. 实现绿色贸易转型——基于外贸部门“十二五”节能减排规划研究 [J]. WTO 经济导刊, 2011, 94 (5) : 58-63.

主编：张伟

责任编辑：廖显春

地址：济南市南辛庄西路 336 号济南大学；邮政编码：250022；联系
电话：0531—82767650；联系人：廖显春；电子信箱：cfy0610@163.com。

二〇一六年八月二十五日