

中国与其他金砖国家贸易隐含碳研究^①

潘 安¹ 魏 龙^{1,2}

(1. 武汉理工大学经济学院; 2. 湖北省科技创新与经济发展研究中心)

【摘要】 本文采用 WIOD 提供的金砖国家投入产出和直接碳排放数据, 通过建立 MRIO 模型计算 1995~2011 年中国与其他金砖国家贸易隐含碳排放量, 并进一步考察了中国在不同双边贸易中所处地位特征和是否存在碳减排的国际贸易途径。结果表明, 中国与不同金砖国家贸易所处地位存在异质性特征, 主要表现为中国在中俄贸易中以贸易逆差换取碳减排、中印贸易中以碳排放换取贸易顺差、中巴贸易中隐含碳净出口和贸易逆差共存。中国可通过鼓励相对低碳行业出口, 并同时鼓励相对高碳行业进口和金砖国家内部互补性贸易的国际贸易途径促进实现中国碳减排目标。中国应该充分发挥金砖国家合作机制, 实现中国与其他金砖国家的“共享式”碳减排。

关键词 金砖国家 MRIO 模型 隐含碳 碳减排 污染避难所

中图分类号 F752.7 **文献标识码** A

引 言

如何积极应对气候变化的严峻挑战已成为世界各国共同关注的焦点之一。改革开放以来, 伴随中国经济与对外贸易规模的高速增长, 温室气体排放显著增加, 中国受到气候变化的影响和国际社会给予的碳减排压力也日益增加。根据国际能源署 (IEA) 统计, 中国 CO₂ 排放量占全球总排放的比重已经从 1990 年的 10.7% 上升至 2012 年的 25.8%, 并于 2006 年超过美国, 至今仍位列世界第一位。相比于美国近年来 CO₂ 排放量呈现出一定的下降趋势, 中国的 CO₂ 排放量却一直保持上升态势; 但需肯定的是, 中国单位国内生产总值 CO₂ 排放从 2005 年的 0.83kg/USD^② 下降至 2012 年的 0.63kg/USD, 下降幅度高达 24.1%。中国在碳排放强度控制上取得的成绩, 在一定程度上反映出中国政府在应对气候变化上所持的责任态度和已采取的积极措施, 也体现出中国正在为实现《国家应对气候变化规划 (2014~2020 年)》^③ 中提到的 2020 年目标努力。与此同时, 中国政府在参加 2014 年 9 月纽约联合国气候峰会时也明确表达了上述减排目标, 并提出将大力推进应对气候变化的南南合作, 包括建立气候变化南南合作基金等。中国积极寻求同其他发展中国家或新兴经济体合作将会是全球范围内应对气候变化的重要推动力量, 而金砖国家峰会中有关碳减排和气候变化问题上的讨论和合作就是其中很好的例证 (王永中和姚枝仲, 2011)。

① 本文获得中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2014-yb-007) 和国家社会科学基金资助项目 (11AZD081) 的资助。

② USD 为 2005 年 PPP 美元 GDP, 下同。

③ 该规划于 2014 年 9 月发布, 其中提到, 到 2020 年, 中国要实现单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45% 等目标, 这是对中国在 2009 年哥本哈根世界气候大会上承诺的重复。

自美国高盛集团首席经济学家 Jim O'Neill 于 2001 年首次提出“金砖四国”(BRIC)后,2010 年吸收南非作为正式成员加入金砖国家合作机制,“金砖国家”(BRICS)在全球经济中所处的地位和影响日益提升。与之相对应,金砖国家的碳排放总量也随之增加,同样根据 IEA 统计,2012 年金砖国家的 CO₂ 排放量为 12635.3 兆吨,高于 OECD 国家总和的 12146.1 兆吨和欧盟 28 国总和的 3504.88 兆吨,占全球排放总量比重为 39.8%,远高于 GDP 比重的 28.7% (按购买力平价计算)。可见,相对于经济贡献而言,金砖国家产生了并不匹配的碳排放,但其是与这些国家在全球价值链中所处的分工地位相一致的,也反映出发展中国家可能成为发达国家“污染避难所”的现实。部分其他研究也在不同程度上支持“污染避难所”假说^①在金砖国家中的存在性(鲍洋,2012)。

的确,发展中国家在一定时期成为发达国家转移污染产业的主要目的地,进而为后者通过外商投资和国际贸易的方式实现污染(碳)减排的目的提供可能,从而出现所谓的“碳泄露”等现象。然而,在发展中国家或金砖国家内部是否也会存在“污染避难所”?或者说中国在与其它金砖国家贸易时是否会如与发达国家贸易一样长期成为隐含碳净出口国^②?若回答是肯定的,那出现上述现象的原因何在,是否存在通过国际贸易实现减排的途径?为了回答这些问题,本文采用世界投入产出数据库(World Input-Output Database, WIOD)提供的投入产出和直接碳排放数据,基于环境投入产出模型计算中国与其他金砖国家贸易隐含碳排放量,揭示中国在与新兴经济体贸易中所处的异质性碳排放地位,寻求促进实现碳减排目标的国际贸易途径。

一、文献综述

国际贸易与环境污染关系是 20 世纪 90 年代以来国际经济学和环境经济学共同关注的研究主题。该领域相关理论与经验研究基于的分析框架主要可分为两类:环境库兹涅茨曲线(EKC)^③和环境投入产出模型。在第一类研究中,国际贸易作为解释 EKC 重要因素之一,能够回答贸易自由化是否会加剧一国或地区环境污染排放抑或有其他影响(Dinda, 2004; 陆昶, 2012)。在第二类研究中,所使用的投入产出技术源于 Leontief (1970) 关于经济发展与环境关系的投入产出分析方法,其主要通过建立环境投入产出模型计算贸易中隐含污染排放(包括隐含碳),能够回答一国或地区参与不同贸易活动时会产生多少污染排放。随着投入产出分析方法的逐步完善,针对不同的研究问题,扩展的环境投入产出模型主要可分为单区域投入产出(Single Region Input-Output, SRIO)、双边贸易投入产出(Bilateral Trade Input-Output, BTIO)以及多区域投入产出(Multi-Region Input-Output, MRIO)模型三类(Sato, 2013)。

从现有研究来看,计算贸易隐含碳是上述第二类研究中最主要的研究问题。具体而言,除沈利生和唐志(2008)等少数研究外,大多数贸易中隐含污染排放研究主要集中于 CO₂ 排放,这与 CO₂ 作为全球性污染气体有关。在早期研究中,计算单个国家整体贸易隐含碳成为主要的关注焦点, Walter (1973) 较早地利用美国 1966 年投入产出系数计算了美

① 也称为“污染天堂”假说(PHH),其最早由 Chichilnisky (1994)、Copeland 和 Taylor (1994) 提出。

② 即为出口隐含碳与进口隐含碳之差,该数值为正表明出口隐含碳大于进口隐含碳。

③ Grossman 和 Krueger (1991) 在研究北美自由贸易区(NAFTA)协议下的贸易环境效应时指出 SO₂、烟尘排放和人均收入存在倒“U”形关系,随后 Panayotou (1993) 将污染物排放和人均收入存在的上述关系命名为 EKC。

国分行业贸易中直接和间接污染排放量; Wyckoff 和 Roop (1994) 计算了当时六个最大 OECD 国家进口制造品中隐含碳排放量, 并考察了有关温室气体排放国际协议所发挥的作用; Schaeffer 和 de Sá (1996) 则计算了巴西非能源部门进出口贸易中隐含碳排放水平。此后, 还有学者将研究对象关注于澳大利亚 (Lenzen, 1998)、西班牙 (Sánchez 和 Duarte, 2004)、意大利 (Mongelli 等, 2006)、挪威 (Peters 和 Hertwich, 2006)、印度 (Mukhopadhyay 和 Forssell, 2005) 等国家的贸易隐含碳排放。

国内学者在贸易隐含碳计算研究方面相对于国外而言起步较晚, 但在近年来相关研究逐渐丰富, 而且有关中国贸易隐含碳排放问题得到了国内外学者广泛关注。Pan 等 (2008) 较早地计算了中国进出口贸易中隐含碳排放量, 并讨论了中国为此承担的国际责任; Lin 和 Sun (2010) 也对中国进出口贸易中隐含 CO₂ 排放进行计算, 得到的结果显示出口中隐含 CO₂ 排放要远大于进口; 李小平 (2010) 则从垂直专业化分工视角计算了中国对外贸易中隐含 CO₂ 排放, 并从环境贸易条件方面认为贸易总体上有利于中国节能减排; Zhao 等 (2014) 进一步在 MRIO 模型基础上, 也同样从垂直专业化分工视角计算了中国对外贸易中隐含 CO₂ 排放; 孙小羽和臧新 (2009) 还同时考察了中国出口贸易的环境效应和能耗效应。此外, 中国双边贸易中隐含碳问题也成为研究热点。Shui 和 Harriss (2006)、Xu 等 (2009)、Du 等 (2011) 以及赵玉焕和李洁超 (2013) 分别计算了不同时间段中美贸易中隐含碳排放, Liu 等 (2010)、Dong 等 (2010) 以及赵玉焕和王淞 (2013) 则考察了中日贸易中隐含碳排放, 还有学者关注到了中欧贸易和中澳贸易等 (闫云凤等, 2012; Tan 等, 2013)。值得注意的是, 在中国与上述发达国家双边贸易隐含碳计算结果来看, 除极个别年份外, 中国的净出口隐含碳均为正^①。相对于讨论国际贸易中隐含碳问题, Guo 等 (2012)、Su 和 Ang (2014) 还考察了中国省际间或区域间贸易中隐含 CO₂ 排放。

从上述研究可见, 现阶段贸易隐含碳研究不仅涉及美国、澳大利亚、挪威等发达国家, 也在于中国、巴西、印度等金砖国家, 而且研究内容还包括单个国家整体贸易和双边贸易隐含碳等多个方面。同时, 基于 MRIO 模型, Chen 等 (2011)、闫云凤和赵忠秀 (2014)、丛晓男等 (2013) 等还对 G7、金砖国家等超国家组织整体贸易隐含碳进行研究, 认为 G7 等国家是主要的隐含碳净进口国, 而金砖国家等发展中国家则为主要的隐含碳净出口国。然而, 不同的责任原则下, 中国等发展中国家为碳排放所承担的原则并不相同, 基于消费者责任的计算原则将显得更为合理 (Pan 等, 2008), 按生产者责任的计算原则很可能引起“碳泄露”问题 (闫云凤和赵忠秀, 2014), 更有学者提出了生产者和消费者共同责任的计算方法 (Cadarso 等, 2012)。

总体而言, 目前有关贸易隐含碳问题研究呈现出以下特点: 一是贸易隐含碳计算不局限于单个国家对外贸易, 而且也逐渐涉及双边贸易、多边贸易乃至国内区域间贸易等; 二是双边贸易隐含碳研究主要为中国与其他发达国家的南北贸易, 较少涉及中国与发展中国家的南南贸易, 因而无法得到中国与发展中国家贸易在碳排放方面所处的地位^②; 三是限于数据可获得问题, 多数研究 (尤其早期研究) 仅能计算个别年份贸易隐含碳排放量, 转而运用结构分解分析 (Structural Decomposition Analysis, SDA) 来弥补缺乏持续和完整时间序列数据

① 仅 Tan 等 (2013) 得到中国在 2010 年中澳贸易中净出口隐含碳为一 10 兆吨。这从一定程度上反映出中国与发达国家贸易中存在严重的“碳泄露”现象。

② 本文之后提到中国与其他国家中所处地位均指在碳排放方面。

的不足 (Wiedmann 等, 2011)。据此, 本文主要从以下几个方面对现有文献进行扩展: 第一, 通过考察中国与其他金砖国家连续年份的贸易隐含碳排放水平, 来揭示中国与不同发展中国家贸易中所处地位的异质性, 并讨论发展中国家或金砖国家内部是否也会存在“污染避难所”问题; 第二, 基于贸易隐含碳排放的行业结构分析, 解释中国为何会出现上述异质性地位特征; 第三, 提出通过可行的国际贸易途径, 实现与其他金砖国家的“共享式”碳减排, 从而促进实现中国碳减排长期目标。

二、MRIO 模型与数据说明

1. 计算贸易隐含碳排放

基于消费者责任的计算原则, 本文在 Sánchez 和 Duarte (2004) 的 SRIO 模型基础上构建 MRIO 模型, 以测算中国与其他金砖国家贸易隐含碳排放量, 具体模型如下:

中国与国家 f 互为贸易伙伴 ($f=1, \dots, n$), 且各国国内均有 s 个经济部门。对中国而言有:

$$x = Ax + y \quad (1)$$

其中, x 是各部门总产出向量, y 是最终需求向量; $A = x_{ij}/x_j$ 是直接消耗系数矩阵, x_{ij} 为部门 j 消耗部门 i 的产品数量, x_j 为部门 j 的总产出; $i, j=1, \dots, s$ 。对式 (1) 进行移项可得:

$$x = (I - A)^{-1}y \quad (2)$$

其中, $(I - A)^{-1} = \{\alpha_{ij}\}$ 为里昂惕夫逆矩阵, 代表单位最终需求的完全投入需求。

中国与国家 f 间进出口贸易均包括两个部分内容, 即作为中间投入和最终需求直接消费。在中间投入方面, 设 $A^d = \{x_{ij}^d/x_j\}$ 、 $A^f = \{x_{ij}^f/x_j\}$ 分别代表中国国内投入、来自国家 f 进口投入的技术系数矩阵, 其中 x_{ij}^d 和 x_{ij}^f 分别代表中国生产 x_j 产出所消耗部门 i 的国内投入和来自国家 f 的进口投入, 故有:

$$A = A^d + \sum_{f=1}^n A^f \quad (3)$$

在最终需求直接消费方面, 满足中国最终需求同样包括国内生产 y^d 和国家 f 总生产 y^m 两部分, 即:

$$y = y^d + y^m = y^d + \sum_{f=1}^n y^f \quad (4)$$

因此, 中国从国家 f 总进口可表示为:

$$x^m = \sum_{f=1}^n A^f x + \sum_{f=1}^n y^f \quad (5)$$

此外, 中国对国家 f 总出口 x^t 也包括中间投入和最终需求直接消费两部分, 在此不再细分。进一步, 设 $c^d = \{c_j^d\} = \{C_j^d/x_j\}$ 为中国单位部门产出直接碳排放系数矩阵, 其中 C_j^d 为部门 j 生产所产生的直接碳排放量。那么, 中国单位部门产出完全 (直接和间接) 碳排放系数矩阵为 $e^d = \{e_j^d\} = c^d (I - A)^{-1}$, 其中 $e_j^d = c_1^d \alpha_{1j} + c_2^d \alpha_{2j} + \dots + c_i^d \alpha_{ij} + \dots + c_s^d \alpha_{sj}$ 表示满足部门 j 最终需求产出的完全碳排放量。同样地, 对国家 f 而言, 其各国国内完全碳排放系数可表示为 $e^f = \{e_j^f\} = c^f (I - A^f)^{-1}$, 其中 c^f 和 A^f 分别为国家 f 内的直接碳排放系数

矩阵和直接消耗系数矩阵。值得强调的是,国内技术假设(Domestic Technology Assumption, DTA)在计算贸易中隐含碳排放较为普通,Sánchez和Duarte(2004)指出由于无法得到出口国的生产过程进而使用国内完全碳排放系数替代国外的完全碳排放系数,即使他们也认为两者其实并不相同;李小平(2010)也从进口替代角度假设国内外生产单位产值的CO₂完全排放系数相等。所以,本文同时考虑各国不同的直接消耗系数和完全碳排放系数即放弃了上述假设,能够更为准确地测算贸易隐含碳排放量。

综上,中国与国家 f 间贸易隐含碳排放总量(从中国的角度)的计算公式为:

$$EC = \underbrace{e^d x^t}_{\text{出口产生碳}} + \underbrace{\sum_{f=1}^n (e^f A^f x + e^f y^f)}_{\text{进口隐含碳}} \quad (6)$$

而中国与国家 f 间贸易中净出口隐含碳的计算公式为:

$$EB = e^d x^t - \sum_{f=1}^n (e^f A^f x + e^f y^f) \quad (7)$$

需要说明的是,国家 f 可为中国的全部贸易伙伴国家,也可为区域内或某一类别国家(如金砖国家、APEC等)中的部分国家。

2. 计算净贸易引起碳排放

借鉴Arto等(2014)提出的净贸易避免排放(Net Emission Avoided by trade, NEA)概念,基于中国在全球范围内碳排放地位,本文通过计算净贸易引起碳排放(Net Emission Caused by trade, NEC)指标来衡量中国与部分国家进行贸易往来而产生的碳排放。具体而言,NEC是现实下中国与这些国家进行贸易往来时国内产生的碳排放DC与当假设中国与这些国家不存在贸易往来时国内产生的碳排放EWOT之差,即:

$$NEC = DC - EWOT \quad (8)$$

当 $NEC > 0$ 时,表明中国与这些国家贸易将不利于国内碳减排,即反而增加了国内碳排放;反之,当 $NEC < 0$ 时,表明中国与这些国家间贸易将有利于国内碳减排,即能够在满足国内需求的条件下通过贸易来达到碳减排的目的。

当存在贸易往来时,中国国内生产的碳排放包括满足国内最终需求和出口两个部分,则有:

$$DC = e^d y^d + e^d x^t \quad (9)$$

那么,计算NEC的关键在于如何定义并测算EWOT。根据Arto等(2014)的定义,EWOT包括因替代满足国内生产和最终消费而生产引起的碳排放,但需排除与出口产品相关的碳排放,其可直接从最终需求入手计算得到。我们认为,Arto等(2014)的计算方法也正体现出了本文构建MRIO模型所依据的消费者责任的计算原则,即碳排放责任应该由最终消费者承担,而非生产者。基于上述做法,本文同样在假设最终消费需求不变的情况下来测算EWOT,但 y^m 部分由国内生产替代,可得:

$$EWOT = e^d y = e^d (y^d + y^m) \quad (10)$$

将式(9)、式(10)代入式(8)可得净贸易引起碳排放为:

$$NEC = e^d (y^d + x^t) - e^d (y^d + y^m) \quad (11)$$

3. 数据说明

与常用的 OECD 提供的各国投入产出数据相比,近年来逐渐建立的 GMRIO 数据库为更加深入的贸易隐含碳研究提供了可能,这些数据库包括 EORA、EXIOPOL、WIOD、GTAP-MRIO、GRAM 以及 IDE-JETRO 等(Tukker 和 Dietzenbacher, 2013)。虽然上述数据库建立时间并不长,但已经被一些学者应用于研究国际贸易对生物多样性、水资源、碳排放影响等领域(Lenzen 等, 2012; Lenzen, 2013; Zhao 等, 2014)。

其中,相对于其他数据库,WIOD 的主要优势在于其提供了 1995~2011 年 40 个国家(地区)和其余国家整体各年的投入产出系数、污染排放、能源及水、土地使用等数据。本文所使用的金砖国家各国的投入产出系数、分行业直接 CO₂ 排放^①以及相互进出口贸易数据均来自 WIOD。由于 WIOD 提供的 40 个国家(地区)数据并不包括南非,所以本文考察除中国以外其他金砖国家仅为俄罗斯、印度和巴西三国。此外,由于数据缺失,本文删除了汽车和摩托车的销售、维护和修理、汽车燃料的零售(c19)和雇用家政服务人员的私人家庭的活动(c35)两个行业部门,保留了其余 33 个行业部门^②。

三、贸易隐含碳计算结果分析

1. 净出口隐含碳

本文在所建 MRIO 模型基础上,根据式(6)、式(7),采用 WIOD 提供的相关数据,使用 Matlab 7.0 软件计算得到 1995~2011 年中国与其他金砖国家贸易隐含碳及净出口隐含碳排放量,如表 1 所示。从计算结果来看,一方面,中国与其他金砖国家总体贸易隐含碳排放量基本呈现出逐年上升趋势,而净出口隐含碳呈现先下降后上升的趋势,其中 1996~2005 年间均保持负的净出口隐含碳,表明中国在这段时间内与其他金砖国家贸易有利于国内碳减排,但在其他时间段却因贸易产生了更多的碳排放。

另一方面,从与不同金砖国家贸易来看,贸易隐含碳排放呈现出部分共同特征和异质性特征。在共同特征方面,中国与俄罗斯、印度、巴西贸易隐含碳排放量总体均呈上升趋势,而且在 2002 年以后上升趋势更为明显,并在 2009 年前后有一定的波动;同时,中巴贸易隐含碳排放量在其中最小,在 2005 年前中俄贸易隐含碳要高于中印贸易,但在 2005 年后两者互有高低。在异质性特征方面,中俄贸易净出口隐含排放量除 2007 年、2008 年、2010 年外均为负值,而中印、中巴贸易则在 1995~2011 年一直保持为正值。从变化趋势上,中俄贸易净出口隐含碳排放量呈先下降后上升再下降的趋势,而中印、中巴贸易则为先下降后上升趋势。可见,简单从净出口隐含碳方面来看,中俄贸易明显异于中印、中巴贸易,而中印、中巴贸易两者保持相似的变化趋势。在此,可以得到中国与俄罗斯贸易时基本处于隐含碳净进口国地位,而与印度和巴西贸易时则处于隐含碳净出口国地位,但总体上 2005 年前为隐含碳净进口国,而在之后为隐含碳净出口国。那么,中国与印度、巴西贸易的隐含碳排放状况真具有如净出口隐含碳所呈现出的相似性,而明显异于中俄贸易吗?

① 由于 WIOD 提供的污染排放数据仅更新至 2009 年,故本文用 2009 年各国直接碳排放系数近似替代 2010 年和 2011 年数值。

② WIOD 提供投入产出数据主要包括 35 个行业(c1~c35),其行业分类主要依据于联合国《所有经济活动的国际标准产业分类》第 3.1 版(ISIC Rev3.1)。限于篇幅,不再给出每个行业名称详细对照表,需要者可向作者索取。

表1 1995~2011年中国与其他金砖国家贸易隐含碳及净出口隐含碳

年 份	中俄贸易		中印贸易		中巴贸易		总体贸易	
	贸易 隐含碳	净出口 隐含碳	贸易 隐含碳	净出口 隐含碳	贸易 隐含碳	净出口 隐含碳	贸易 隐含碳	净出口 隐含碳
1995	16875.9	-6835.5	8620.5	5066.2	4427.6	3836.9	29924.0	2067.6
1996	19735.8	-11291.5	8987.1	3953.4	4120.7	3465.5	32843.6	-3872.5
1997	18369.4	-9018.8	13559.0	3950.2	4905.6	3925.3	36834.0	-1143.3
1998	18859.9	-9144.5	14288.3	3505.2	4471.1	3611.1	37619.3	-2028.2
1999	28233.2	-20894.9	16778.5	5016.4	3371.7	2210.3	48383.5	-13668.1
2000	30344.6	-23681.4	18881.0	2710.2	4295.1	2734.2	53520.7	-18237.1
2001	31134.5	-20708.7	18808.9	1410.3	4716.0	2292.1	54659.4	-17006.3
2002	31927.6	-27877.7	22439.6	46.7	4093.1	724.8	58460.2	-27106.3
2003	44566.6	-22679.0	27829.0	1584.3	8445.6	2255.2	80841.2	-18839.6
2004	49773.6	-25170.8	37291.9	4362.8	11950.0	3721.0	99015.5	-17087.0
2005	55090.2	-21958.2	46519.5	11535.0	13210.7	5978.0	114820.4	-4445.2
2006	54970.9	-2300.6	65432.7	28658.3	17052.6	9638.9	137456.2	35996.6
2007	70873.8	10830.8	75107.8	36972.4	22224.3	12570.1	168205.9	60373.3
2008	69794.5	13006.6	64848.1	32913.7	29059.7	16438.6	163702.3	62358.9
2009	64286.9	-6373.3	68712.9	31160.5	25187.0	10401.3	158186.7	35188.5
2010	92623.4	1680.2	94983.6	37652.0	37090.2	20162.1	224697.2	59494.2
2011	145431.1	-17610.3	122946.8	52970.2	54916.4	31433.3	323294.3	66793.3

注：净出口隐含碳为负值表示出口隐含碳小于进口隐含碳。

为此，本文进一步结合净出口隐含碳（ EB ）和净出口额（ NX ）^①，来考察中国与其他金砖国家贸易时所处于的地位，以求回答上述问题。我们认为，一国与其他国家进行贸易时， EB 和 NX 之间的关系可能出现如下四种情形：

（1）情形Ⅰ： $EB > 0$ 且 $NX > 0$ ，此情形下一国主要通过增加出口产生贸易顺差，但同时碳排放也随之增加，即可视为以碳排放换取贸易顺差；

（2）情形Ⅱ： $EB < 0$ 且 $NX > 0$ ，此情形下一国不但拥有贸易顺差，而且通过贸易还有利于国内碳减排；

（3）情形Ⅲ： $EB < 0$ 且 $NX < 0$ ，此情形下一国主要通过增加进口而导致贸易逆差，同时碳排放也随之减少，即可视为以贸易逆差换取碳减排；

（4）情形Ⅳ： $EB > 0$ 且 $NX < 0$ ，此情形下一国不但处于贸易逆差，而且通过贸易反而增加了国内碳排放。

显而易见的是，上述四种情形下一国考虑 EB 和 NX 所带来整体福利的大小顺序为：情

① 即贸易顺差或贸易余额。

形Ⅱ>情形Ⅲ>情形Ⅰ>情形Ⅳ^①。

如图1所示,中国与俄罗斯、印度、巴西贸易中 EB 和 NX 关系呈现出明显不同的分布特征。具体来看,对中俄贸易而言, EB 和 NX 关系主要位于情形Ⅲ,也有个别年份位于情形Ⅰ和情形Ⅱ,表明中国与俄罗斯贸易时主要通过贸易逆差换取碳减排,有时也会出现以碳排放换取贸易顺差或碳减排和贸易顺差双收的有利情形;对中印贸易而言, EB 和 NX 关系主要位于情形Ⅰ,而且近年来中国以碳排放换取贸易顺差的程度逐渐加深,导致净出口隐含碳排放量也逐年增加;对中巴贸易而言, EB 和 NX 关系仅1999年及以前位于情形Ⅰ外,其余均位于情形Ⅳ,而且如此的不利局面正在逐渐加剧。至此,中国与其他金砖国家贸易所处地位的异质性特征已被揭示,这是简单对比净出口隐含碳的分析所不能得到的。

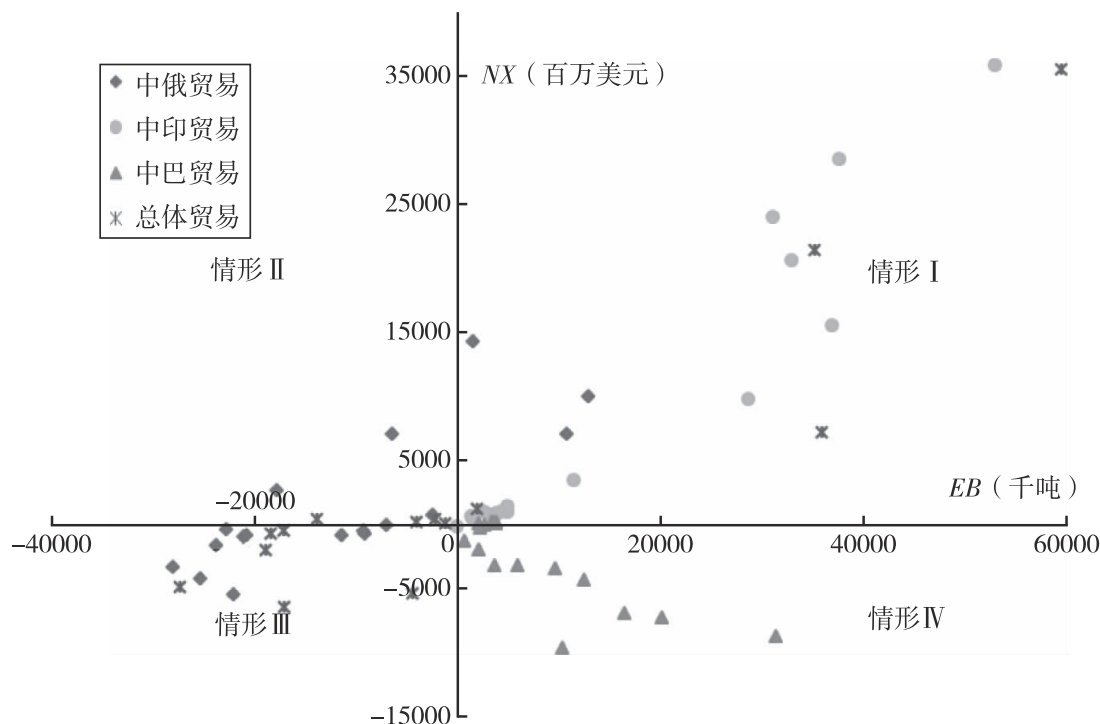


图1 1995~2011年中国与其他金砖国家贸易净出口隐含碳与净出口额关系

从总体贸易来看,中国与其他金砖国家整体 EB 和 NX 关系经历了从情形Ⅱ到情形Ⅲ再到情形Ⅰ的变化趋势,反映出中国与其他金砖国家贸易中所获得贸易和碳减排利益正在逐渐缩小,中国现阶段已经处于以碳排放换取贸易顺差的发展局面。从某种意义上来说,中国可能已逐渐成为部分新兴经济体(如印度和巴西)的“污染避难所”,甚至出现了贸易逆差和隐含碳净出口共存的双失局面。

2. 净贸易引起碳排放

如果净出口隐含碳(EB)反映的是中国与其他金砖国家贸易产生碳排放转移的相对规模,那么净贸易引起碳排放(NEC)则反映出中国因与其他金砖国家贸易而产生碳排放的绝对规模。根据式(11)可以计算得到中国与其他金砖国家贸易 NEC 水平,具体如图2所示。可以看出,在满足中国国内最终需求不变的条件下, DC 和 $EWOT$ 的确较为接近。但

^① 一般而言,发达国家通常通过转移污染密集型行业至发展中国家,通过进口污染密集型产品的方式减少国内排放,与“污染避难所”假设所持观点相符,我们认为此种情形下发达国家获得的可持续利益要大于发展中国家,故在此认为“情形Ⅲ>情形Ⅰ”。

从 NEC 符号及其变化趋势可以看出中国与其他金砖国家贸易还是从一定程度上增加了国内碳排放,而且增加的碳排放量在近几年内逐渐上升,这与贸易隐含碳排放总量的变化趋势相一致。

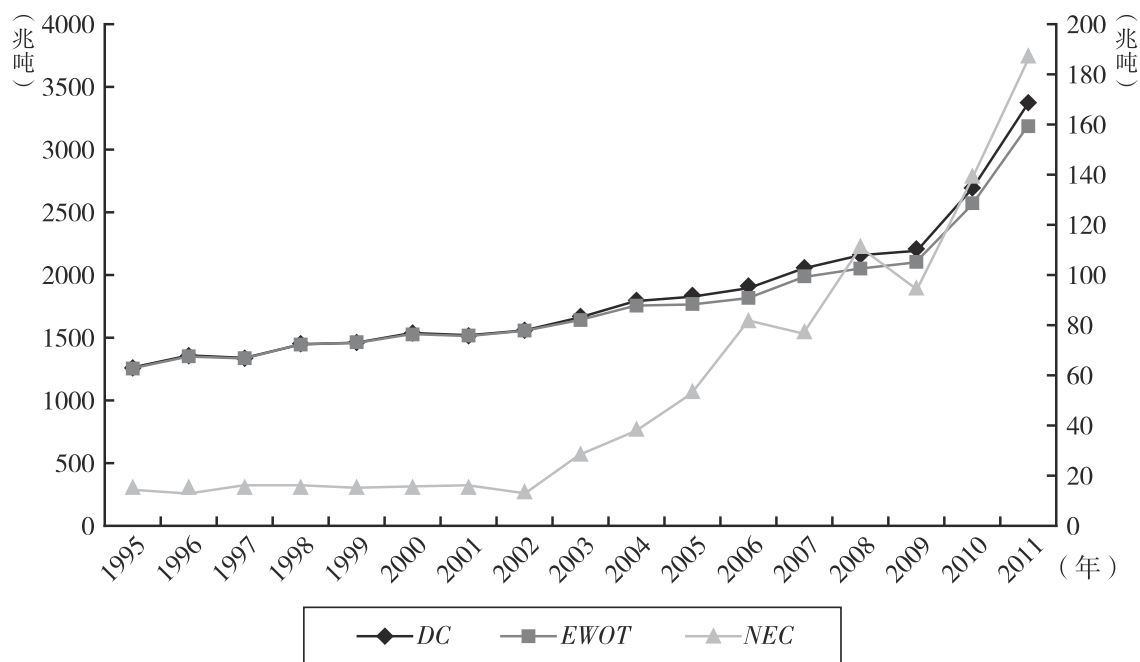


图2 1995~2011年中国与其他金砖国家贸易净贸易引起碳排放水平

注: DC代表存在贸易往来时国内实际碳排放, EWOT代表假设不存在贸易往来时国内碳排放, NEC(次坐标轴)代表净贸易引起碳排放。

3. 碳贸易条件

Antweiler (1996) 提出“贸易的污染条件”(Pollution Terms of Trade) 指数用来衡量一国参与国际贸易所获得的环境收益或遭受的损失,该指标在后续的研究中也得到了较为广泛的借鉴和应用,一般称为“环境贸易条件”(李小平, 2010; 傅京燕和张珊珊, 2011)。延续上述研究,本文引入“碳贸易条件”(Carbon Terms of Trade, CTT) 来衡量一国参与国际贸易引起碳排放的相对规模水平。具体而言,定义一国碳贸易条件为: $CTT = \eta / \delta$, 其中 η 为出口碳排放强度, δ 为进口碳排放强度,两者通过计算出口(进口)产品隐含碳与出口(进口)额比值得到。CTT可以指一国与某一国家、地区或整体贸易的碳贸易条件。当 $CTT > 1$ 时,表明该国单位价值出口所隐含碳排放要高于单位价值进口所隐含碳排放,反之亦然。

如图3所示,中国与俄罗斯、印度、巴西及三者总体贸易的 CTT 基本都呈现出两次先下降后上升的“W”形发展趋势,但不同的是中俄贸易的 CTT 一直小于1,中巴贸易的 CTT 一直大于1,而中印贸易不同年份的 CTT 与1的大小关系并不完全一致。结合净出口隐含碳和净贸易引起碳排放的计算结果,可以认为中国与俄罗斯贸易有利于国内碳减排,所付出的代价为一定的贸易逆差;与印度贸易对国内碳减排的作用并不确定,但以碳排放换取贸易顺差的模式基本确定;与巴西贸易对国内碳减排产生了明显的负效应,而且还处于贸易净进口地位。这再次证明中国与其他金砖国家贸易所处地位具有异质性特征。此外,就总体贸易 CTT 变化趋势来看,其经历了从小于1到大于1的变化过程,在2004年后一直保持大于1,体现出中国近年来与其他金砖国家贸易总体上并不有利于实现碳减排目标的现实,这与净贸易引起碳排放的分析相一致。

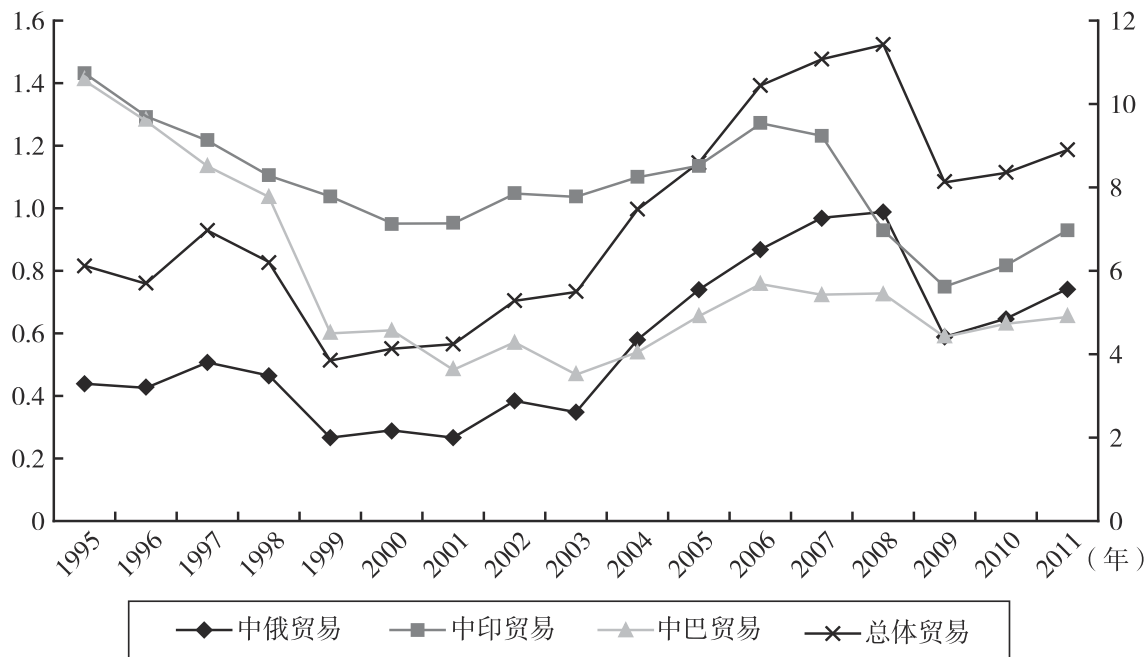


图3 1995~2011年中国与其他金砖国家贸易的碳贸易条件^①

值得一提的是，从上述贸易隐含碳计算结果的三方面分析，我们发现不同指标的变化趋势大致有一个共同特点：2002年成为趋势变化的重要转折点，2009年左右呈现出一定的波动趋势。对于这两个时间点，其分别为中国加入WTO和国际金融危机爆发后的第一年。2002年以后中国面临了对外贸易发展的黄金时期，贸易规模急剧增长；2009年中国对外贸易发展在遭受国际金融危机后面临短期低迷，该年甚至出现了21世纪以来中国首次进出口规模下降的局面。以上事实再次说明，中国对外贸易规模对贸易隐含碳产生较为直接的影响，中国贸易隐含碳排放规模的增长在一定程度上源于贸易规模的增长。然而，中国要实现碳减排一定要通过降低对外贸易规模吗？我们将通过提出碳减排的国际贸易途径对该问题给予回答。

四、碳减排的国际贸易途径：来自行业层面的证据

第三部分有关贸易隐含碳计算结果分析主要在于整体贸易层面，得到中国与其他金砖国家贸易所处地位的确存在异质性特征，那么，上述异质性特征为何存在，中国能否通过国际贸易的途径实现碳减排？为此，本文进一步通过贸易隐含碳行业层面的分析，为解释存在异质性特征提供证据，并据此提出通过可行的国际贸易途径促进实现碳减排。

1. 贸易隐含碳的行业特征

由于本文的分析共涉及33个行业，但中国与金砖国家贸易并非涉及所有行业，加之若对各自贸易每个行业进行一一对比并不能十分突出地反映出行业特征，且分析内容或过于复杂。所以，我们根据各行业净出口隐含碳与净出口比值作为依据，筛选出中国与不同金砖国家贸易中单位价值净出口隐含碳排放量较多的行业，试图分析贸易隐含碳的行业特征并解释为何会存在前一部分提到的异质性特征。如表2所示，我们列出了中国与不同金砖国家贸易隐含碳排放较为显著的部分行业，正是这些行业主导了中国净出口隐含碳排放及所处的地位。

^① 由于中巴贸易的CTT数值较大，故将其设为次坐标轴，能够更为清晰地反映其他CTT的变化趋势。

表2 1995~2011年中国与其他金砖国家贸易主要行业的净出口隐含碳和净出口

金砖国家	行业代码 ^①	净出口隐含碳 (EB, 千吨)	净出口 (NX, 百万美元)	总净出口隐含碳/总净出口 (千吨/百万美元)	进出口比重
俄罗斯	c9	—	—	7.80	7.45%
	c12	—	—	7.36	6.21%
	c11	+	+	4.69*	0.68%
	c17	+/-	+/-	3.01	0.03%
	c8	+/-	+/-	2.55	1.33%
	c2	—	—	2.03	18.12%
	c14	+/-	+/-	1.56*	4.93%
印度	c2	+/-	+/-	3.32	5.69%
	c9	+/-	+/-	2.82*	11.59%
	c12	+/-	+/-	1.84*	10.56%
	c16	+/-	+/-	1.22*	27.31%
	c30	+/-	+/-	1.19*	0.98%
	c5	+/-	+/-	0.95	0.89%
	c1	+/-	+/-	0.53	3.58%
巴西	c17	+	+	20.72*	0.07%
	c11	+	+	4.62*	0.64%
	c9	+	+	3.37*	7.51%
	c8	+	+	3.14*	1.01%
	c13	+	+/-	2.30*	2.15%
	c10	+	+	2.20*	1.83%
	c2	—	—	0.41	26.68%
	c12	+/-	+/-	-4.99*	6.61%

注：“+”表示净出口隐含碳、净出口为正，即中国出口隐含碳排放大于进口隐含碳排放、出口大于进口，反之亦然；“+/-”表示1995~2011年间正负均有；“*”代表该行业总体净出口隐含碳为“+”；进出口比重表示该行业进出口贸易额占双边贸易总额的比重。

就中俄贸易，中国多数行业主要表现为隐含碳净进口，而且在化学品及化学制品的制造(c9)、基本金属及金属制品的制造(c12)以及采矿及采石(c2)这三个行业中国常年处于“双负”^②状态，这也正好解释了为何中俄贸易中EB和NX关系主要位于情形Ⅲ。就中印贸易，除采矿及采石(c2)、皮革的鞣制及修整、鞋靴的制造(c5)、农业、狩猎、林业和渔业(c1)等行业外，其余行业均表现为隐含碳净出口，这些行业的出口规模增加带动了净出口隐含碳排放的增加。就中巴贸易，除采矿及采石(c2)外，中国大多数行业主要表现为隐

① 行业代码来自WIOD中的行业分类。

② 即指净出口隐含碳和净出口均为“-”。下文中的“双正”含义类似。

含碳净出口且常年处于“双正”状态；其中，基本金属及金属制品的制造（c12）行业的比值为-4.99，表明中国在该行业上的 *EB* 和 *NX* 关系位于情形Ⅳ，与中巴贸易 2000 年以后两者关系相一致。

可以看出，一方面，中国与其他金砖国家在采矿及采石（c2）行业主要表现为贸易逆差且能够降低国内碳排放，而在其他非金属矿物制品的制造（c11）、无线电、光学仪器等制造（c14）、化学品及化学制品的制造（c9）等行业的出口增加较为显著地增加了国内碳排放；另一方面，俄罗斯和巴西碳排放较多的出口行业主要在于采矿及采石（c2），而印度还在于皮革的鞣制及修整、鞋靴的制造（c5）、农业、狩猎、林业和渔业（c1）等行业。上述行业特征与欧阳晓等（2012）提到金砖国家出口产品结构差异显著但互补性强的特征基本一致，表明金砖国家碳排放行业结构具有一定互补性^①。

2. 进出口行业的选择

与中俄、中印贸易不同，中巴贸易对中国而言并不有利，2000 年以来中国不仅失去了贸易顺差，而且净出口隐含碳排放量也在逐渐增大。相反，巴西则在中巴贸易中处于碳减排和贸易顺差双收的有利地位。那么，为何巴西能够在与中国贸易中取得如此的有利局面？我们认为，其中的原因主要包括中国和巴西的碳排放水平差异和进出口行业分布两个方面。为了说明上述观点，我们选取 2000 年和 2009 年中国与巴西各行业的完全碳排放系数之差和双边贸易净出口这两个指标进行对照比较^②。如图 4 所示，从净出口方面，中巴贸易顺（逆）差主要涉及的行业在于 c1~c20，其中 c1 和 c2 这两个行业中国处于明显的贸易逆差，其他逆差行业还包括 c3、c5~c7 以及 c12，中国在 c14 行业存在的贸易顺差，其他存在顺差的行业包括 c4 和 c9 等；从完全碳排放系数之差方面，中国各行业的完全碳排放系数均大于巴西，但两者之差正在逐渐缩小，同时中国存在贸易顺差行业的完全碳排放系数之差平均来讲要大于贸易逆差行业。所以，中国与巴西贸易总体存在贸易逆差取决于 c1 和 c2 行业的大规模进口，但这些行业进口导致的碳减排程度并未完全抵消中国因出口产生的碳排放，从而出现了前述所提到的双失局面。

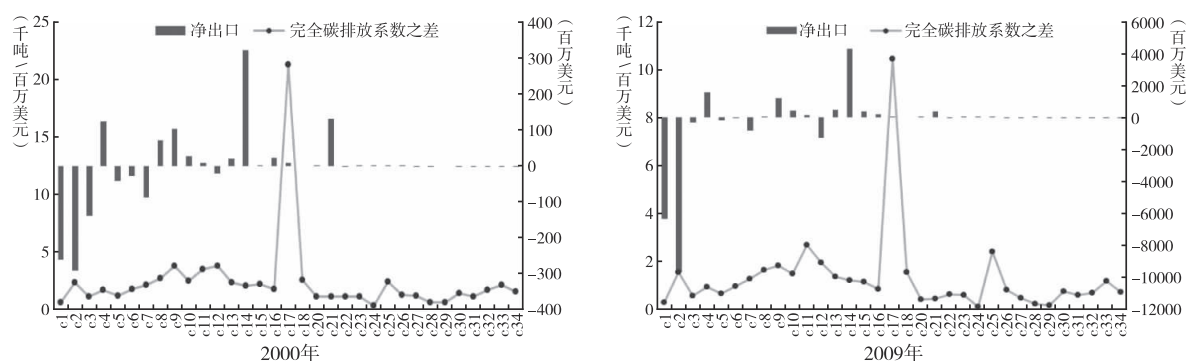


图 4 2000 年和 2009 年中国与巴西各行业的完全碳排放系数之差和净出口

然而，并非中国与其他金砖国家贸易均处于不利地位，根据图 1 中所示，中俄贸易的 *EB* 和 *NX* 关系在个别年份（2006 年、2009 年及 2011 年）位于情形Ⅱ，即中国不仅获得了贸易顺差，而且还有利于国内碳减排。同样地，我们报告了 2006 年和 2009 年中国与俄罗

① 欧阳晓等（2012）指出中国出口覆盖了几乎所有类型的制造业产品，印度出口较为多元化，而俄罗斯和巴西主要为矿产品等初级产品为主。

② 选择上述两年的原因在于，2000 年中国首次出现贸易逆差，而 2009 年则为可获得碳排放系数最近的年份。

斯各行业的完全碳排放系数之差和双边贸易净出口情况,具体如图5所示。中国与俄罗斯贸易中贸易逆差最为显著的为c2行业,而且中国在该行业的完全碳排放系数要大于俄罗斯,表明增加该行业产品进口以替代国内生产能够有利于碳减排;相反,中国与俄罗斯贸易中贸易顺差主要在于c4和c5等行业,在这些行业中国的完全碳排放系数接近甚至低于俄罗斯,表明同等增加这些行业产品出口较其他拥有较高完全碳排放系数行业能够相对减少净出口隐含碳排放量,从而促进国内碳减排。

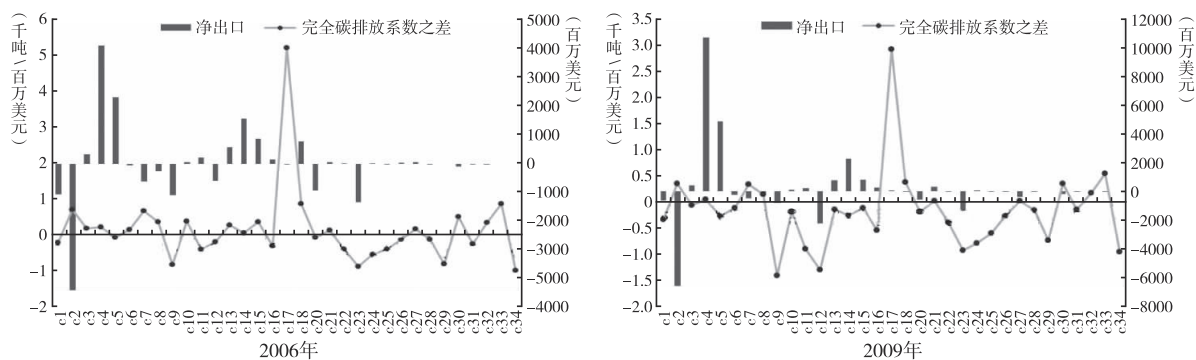


图5 2006年和2009年中国与俄罗斯各行业的完全碳排放系数之差和净出口

根据上述分析,我们认为,在不考虑完全碳排放系数变化的前提下,若要实现碳减排,可遵循如下思路参与国际贸易:尽可能进口国内较高碳排放系数行业产品以替代国内生产,同时尽可能出口国内较低碳排放系数行业产品以减轻由出口规模增加而无法避免的碳排放增加。在这种贸易模式下,中国才能实现在不失去贸易顺差或不降低对外贸易规模基础上,尽可能多地实现碳减排,而避免出现类似中国在中巴贸易中所出现的不利局面。有意思的是,上述贸易模式与传统按照比较优势原则参与国际贸易的思想较为相似,不同的是前者考察各行业完全碳排放系数,而后者考察的则是要素丰裕度。借鉴比较优势原理的表述,中国能够实现碳减排的一个可行国际贸易途径即为鼓励相对低碳行业出口,并同时鼓励相对高碳行业进口。中国在与俄罗斯、巴西贸易中的双收、双失局面即证明了上述观点。

3. “共享式”碳减排

欧阳峤等(2012)提出了中国与金砖国家对外贸易的“共享式”增长,其中一个途径为巴西、俄罗斯、中国和印度分别利用资源优势、能源优势、劳动力成本与资金优势、高端人才优势以实施“资源密集型—劳动密集型—资本密集型—技术密集型”的产业“雁行”布局。同样地,金砖国家也可根据各自资源与技术优势,实现内部的“共享式”碳减排发展。其实,金砖国家不仅在应对全球气候变化领域拥有共同利益,而且还有碳排放行业结构互补性基础,所以中国能够通过与其他金砖国家互补性贸易以降低碳排放,从而受益于“共享式”碳减排。具体而言,一是中国应与其他金砖国家一样根据自身资源和技术优势,根据国内行业碳排放强度特征,各自积极扩展国内低碳行业的国际市场份额,实现低碳行业维持贸易利益下的碳减排;二是中国还可通过对外投资转移高碳排放行业,以进口替代国内生产,实现满足高碳行业国内需求下的碳减排;三是需推动金砖国家低碳技术共享与合作,强化优势互补,积极培育中国下一代低碳支柱产业。上述“共享式”碳减排的可取之处在于,包括中国在内的金砖国家,并不是通过降低国内生产和出口规模进行碳减排,而是通过互相间互补性贸易发挥各自碳排放优势,在继续保持对外贸易发展的前提下实现碳减排,这即是金砖国家体系下实现碳减排的国际贸易途径。

五、结论与启示

本文采用 WIOD 提供的金砖国家投入产出和直接碳排放数据,通过建立 MRIO 模型计算 1995~2011 年中国与其他金砖国家贸易隐含碳排放量,并从整体贸易层面和行业层面考察了中国在不同双边贸易中所处地位特征和实现碳减排的国际贸易途径,主要结论如下:

第一,中国与其他金砖国家总体贸易隐含碳排放量基本呈现出逐年上升趋势,净出口隐含碳呈现先下降后上升的趋势,但从净贸易引起碳排放来看,中国与其他金砖国家贸易从一定程度上增加了国内碳排放且增加规模在近几年内逐渐上升。第二,中国与不同金砖国家贸易所处地位存在异质性特征,具体表现在净出口隐含碳符号、净出口隐含碳和净出口额关系、碳贸易条件三个方面,异质性主要表现为中俄贸易以贸易逆差换取碳减排、中印贸易以碳排放换取贸易顺差、中巴贸易隐含碳净出口和贸易逆差共存。从净出口隐含碳角度,中国可能已逐渐成为部分新兴经济体(如印度和巴西)的“污染避难所”。第三,根据贸易隐含碳行业层面的计算结果,发现中国与其他金砖国家贸易隐含碳的互补性行业特征,并以中国在中巴贸易、中俄贸易中的不同地位特征为依据,提出通过“鼓励相对低碳行业出口,并同时鼓励相对高碳行业进口”和金砖国家内部互补性贸易的国际贸易途径促进实现中国碳减排目标。

本文结论的启示是:首先,中国不应忽视与发展中国家或新兴经济体贸易中所处的不利地位,中国在追求对外贸易规模增长的同时不仅可能成为发达国家的“污染避难所”,也可能成为发展中国家或新兴经济体的“污染避难所”,这是一直以来中国大力发展对外贸易所付出的环境代价。更为不利的是,巴西等国家在农产品、矿产品等初级产品上的相对优势又导致中国出现一定规模的贸易逆差,加之其国内行业较低碳排放强度特征使得中国反而成为隐含碳净出口国。其次,中国可以有选择地鼓励低碳行业出口以维持贸易顺差国地位,同时通过对外投资等方式有针对性地鼓励高碳行业转移及进口,在提升产业结构的同时促进碳减排。其实,中国现阶段有关淘汰落后产能工作正是在符合上述发展逻辑下从国内角度进行的产业调整,加快节能减排以应对全球气候变化,主要涉及的行业为中国现阶段污染排放较为严重的炼铁、炼钢、焦炭、造纸、制革、印染以及化纤等工业行业^①。再次,中国应该充分发挥金砖国家合作机制,基于各国碳减排和应对气候变化的共同利益诉求,通过互补性贸易和低碳技术合作共享等渠道,同时探索构建双边和多边碳排放交易活动合作机制,实现中国与其他金砖国家对外贸易的“共享式”增长(欧阳晓等,2012)和“共享式”碳减排。最后,本文在提出碳减排的国际贸易途径时,未充分考虑完全碳排放系数变化,但这应该是中国今后实现碳减排另一重要推动力。从中国各行业完全碳排放系数变化趋势来看,其呈现一定的下降趋势,这将直接作用于碳排放的减少。所以,如何进行相关低碳技术创新与应用和获取低碳技术外溢共享,将会对中国未来实现碳减排目标产生同样重要作用,值得中国政府和企业的持续关注。

^① 中华人民共和国国务院办公厅于 2010 年发布《国务院进一步加强淘汰落后产能工作的通知》,并在 2011~2014 年多批次地公告工业行业淘汰落后产能企业名单。

参 考 文 献

- [1] Arto I. , Roca J. , Serrano M. , 2014, *Measuring Emissions Avoided by International Trade: Accounting for Price Differences* [J], *Ecological Economics*, 97, 93~100.
- [2] Cadarso M. A. , López L. A. , Gómez N. , Tobarra M. A. , 2012, *International Trade and Shared Environmental Responsibility by Sector. An Application to the Spanish Economy* [J], *Ecological Economics*, 83, 221~235.
- [3] Chen Z. M. , Chen G. Q. , 2011, *Embodied Carbon Dioxide Emission at Supra-national Scale: A Coalition Analysis for G7, BRIC, and the Rest of the World* [J], *Energy Policy*, 39, 2899~2909.
- [4] Dinda S. , 2004, *Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey* [J], *Ecological Economics*, 49, 431~455.
- [5] Dong Y. L. , Ishikawa M. , Liu X. B. , Wang C. , 2010, *An Analysis of the Driving Forces of CO₂ Emissions Embodied in Japan-China Trade* [J], *Energy Policy*, 38, 6784~6792.
- [6] Du H. B. , Guo J. H. , Mao G. Z. , Smith A. M. , Wang X. X. , Wang Y. , 2011, *CO₂ Emissions Embodied in China-US Trade: Input-Output Analysis Based on the Emery/Dollar Ratio* [J], *Energy Policy*, 39, 5980~5987.
- [7] Guo J. E. , Zhang Z. K. , Meng L. , 2012, *China's Provincial CO₂ Emissions Embodied in International and Interprovincial Trade* [J], *Energy Policy*, 42, 486~497.
- [8] Lenzen M. , 1998, *Primary Energy and Greenhouse Gases Embodied in Australian Final Consumption: An Input-Output Analysis* [J], *Energy Policy*, 26 (6), 495~506.
- [9] Lenzen M. , Moran D. , Kanemoto K. , Foran B. , Lobefaro L. , Geschke A. , 1998, *International Trade Drives Biodiversity Threats in Developing Nations* [J], *Nature*, 486, 109~112.
- [10] Lenzen M. , Moran D. , Bhaduri A. , Kanemoto K. , Bekchanov M. , Geschke A. , Foran B. , 2013, *International Trade of Scarce Water* [J], *Ecological Economics*, 94, 78~85.
- [11] Leontief W. , 1970, *Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach* [J], *The Review of Economics and Statistics*, 52 (3), 262~271.
- [12] Lin B. Q. , Sun C. W. , 2010, *Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China* [J], *Energy Policy*, 38, 613~621.
- [13] Liu X. B. , Ishikawa M. , Wang C. , Dong Y. L. , Liu W. L. , 2010, *Analyses of CO₂ Emissions Embodied in Japan-China Trade* [J], *Energy Policy*, 38, 1510~1518.
- [14] Mongelli I. , Tassielli G. , Notarnicola B. , 2006, *Global Warming Agreements, International Trade and Energy/Carbon Embodiments: An Input-Output Approach to the Italian Case* [J], *Energy Policy*, 34, 88~100.
- [15] Mukhopadhyay K. , Forssell O. , 2005, *An Empirical Investigation of Air Pollution from Fossil Fuel Combustion and Its Impact on Health in India During 1973~1974 to 1996~1997* [J], *Ecological Economics*, 55, 235~250.
- [16] Pan J. H. , Phillips J. , Chen Y. , 2008, *China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility* [J], *Oxford Review of Economic Policy*, 24 (2), 354~376.
- [17] Peter G. P. , Hertwich E. G. , 2006, *Pollution Embodied in Trade: The Norwegian Case* [J], *Global Environmental Change*, 16, 379~387.
- [18] Sánchez-Chóliz J. , Duarte R. , 2004, *CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain* [J], *Energy Policy*, 32, 1999~2005.
- [19] Sato M. , 2013, *Embodied Carbon in Trade: A Survey of the Empirical Literature* [J], *Journal of Economic Surveys*, 1~31.

- [20] Schaeffer R., de Sá A., 1996, *The Embodiment of Carbon Associated with Brazilian Imports and Exports* [J], *Energy Conversion and Management*, 37 (6), 955~960.
- [21] Shui B., Harriss C., 2006, *The Role of CO₂ Embodiment in US-China Trade* [J], *Energy Policy*, 34, 4063~4068.
- [22] Su B., Ang B. W., 2013, *Input-Output Analysis of CO₂ Emissions Embodied in Trade: Competitive versus Non-competitive Imports* [J], *Energy Policy*, 56, 83~87.
- [23] Tan H., Sun A., Lau H., 2013, *CO₂ Embodiment in China-Australia Trade: The Drivers and Implications* [J], *Energy Policy*, 61, 1212~1220.
- [24] Tukker A., Dietzenbacher E., 2013, *Global Multiregional Input-Output Frameworks: An Introduction and Outlook* [J], *Economic Systems Research*, 25 (1), 1~19.
- [25] Walter I., 1973, *The Pollution Content of American Trade* [J], *Economic Inquiry*, 11 (1), 61~70.
- [26] Wiedmann T., Wilting H., Lenzen M., Lutter S., Palm V., 2011, *Quo Vadis MRIO? Methodological, Data and Institutional Requirements for Multi-region Input-Output Analysis* [J], *Ecological Economics*, 70, 1937~1945.
- [27] Wyckoff A. W., Roop J. M., 1994, *The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Products: Implications for International Agreements on Greenhouse Gas Emissions* [J], *Energy Policy*, 22 (3), 187~194.
- [28] Zhao Y. H., Zhang Z. H., Wang S., Wang S. J., *CO₂ Emissions Embodied in China's Foreign Trade: An Investigation from the Perspective of Global Vertical Specialization* [J], *China & World Economy*, 22 (4), 102~120.
- [29] 鲍洋:《“金砖国家”引进 FDI 的环境效应比较研究》[J],《国际贸易问题》2012 年第 8 期。
- [30] 丛晓男、王铮、郭晓飞:《全球贸易隐含碳的核算及其地缘结构分析》[J],《财经研究》2013 年第 1 期。
- [31] 傅京燕、张珊珊:《碳排放约束下我国外贸发展方式转变之研究——基于进出口隐含 CO₂ 排放的视角》[J],《国际贸易问题》2011 年第 8 期。
- [32] 李小平:《国际贸易中隐含的 CO₂ 测算——基于垂直专业化分工的环境投入产出模型分析》[J],《财贸经济》2010 年第 5 期。
- [33] 陆旸:《从开放宏观的视角看环境污染问题:一个综述》[J],《经济研究》2012 年第 2 期。
- [34] 欧阳晓、张亚斌、易先忠:《中国与金砖国家外贸的“共享式”增长》[J],《中国社会科学》2012 年第 10 期。
- [35] 盛斌、吕越:《外国直接投资对中国环境的影响——来自工业行业面板数据的实证研究》[J],《中国社会科学》2012 年第 5 期。
- [36] 沈利生、唐志:《对外贸易对我国污染排放的影响——以二氧化硫排放为例》[J],《管理世界》2008 年第 6 期。
- [37] 孙小羽、臧新:《中国出口贸易的能耗效应和环境效应的实证分析——基于混合单位投入产出模型》[J],《数量经济技术经济研究》2009 年第 4 期。
- [38] 王永中、姚枝仲:《金砖国家峰会的经济议题、各方立场与中国对策》[J],《国际经济评论》2011 年第 3 期。
- [39] 闫云凤、赵忠秀:《消费碳排放与碳溢出效应:G7、BRIC 和其他国家的对比》[J],《国际贸易问题》2014 年第 1 期。
- [40] 闫云凤、赵忠秀、王苒:《中欧贸易隐含碳及政策启示——基于投入产出模型的实证研究》[J],《财贸研究》2012 年第 2 期。
- [41] 赵玉焕、李洁超:《基于技术异质性的中美贸易隐含碳问题研究》[J],《中国人口·资源与环境》2013 年第 12 期。
- [42] 赵玉焕、王淞:《基于技术异质性的中日贸易隐含碳测算及分析》[J],《北京理工大学学报(社会科学版)》2014 年第 1 期。

Embodied Carbon in Foreign Trade between China and Other BRICS Countries

Pan An¹ Wei Long^{1,2}

(1. School of Economics, Wuhan University of Technology; 2. Hubei Provincial Research Center for Scientific & Technological Innovation and Economic Development)

Abstract: This paper estimates embodied carbon emissions in foreign trade between China and other BRICS countries in 1995~2011, and then analyzes the China's trade status between BRICS countries and whether it has the route to carbon emission reduction through international trade. The results show that China mainly exchanges trade deficit for emission reduction in China-Russia trade, exchanges carbon emission for trade surplus in China-India trade and has both the net embodied carbon and trade deficit in China-Brazil trade. That means China has heterogeneity in trade status between BRICS countries. Furthermore, China could achieve the targets of carbon reduction by encouraging the export of comparative low carbon industries and import of comparative high carbon industries and the complementary trade among BRICS countries.

Key Words: BRICS; MRIO Model; Embodied Carbon; Carbon Emission Reduction; Pollution Haven

JEL Classification: F18

(责任编辑: 王喜峰)

(上接第 37 页)

Study on China's Agricultural Credit Efficiency and Influence Factors

Zhao Nan¹ Li Jianghua²

(1. Beijing Normal University; 2. Agricultural Bank of China)

Abstract: Based on Bootstrap-DEA method, this paper measures agricultural credit efficiency of 31 provinces in China from 1999 to 2009, and analyses its influence factors. The results show that although there are still fluctuations of the efficiency values, as a whole they remain relatively stable; Bootstrap-DEA technique has good correcting function and accuracy, as national average of agricultural credit allocation efficiency significantly decreases 0.0568 units after Bootstrap correction; In different historical period, there are different factors influencing the efficiency of agricultural credit.

Key Words: Agricultural Credit Efficiency; Bootstrap-DEA; Tobit Model

JEL Classification: F30

(责任编辑: 彭 战)