

基于 MRIO 模型的碳足迹跨国比较研究

马述忠 黄东升

(浙江大学 经济学院, 浙江 杭州 310027)

[摘要] 贸易与环境应该如何在后京都时代更紧密地联系在一起的议题在当前受到了普遍关注。大量研究从一国角度结合国际贸易分析碳排放, 而针对新兴工业化国家、研究多国碳足迹的文章却不多。研究发现我国等新兴工业化国家遭遇了严重的碳泄漏; 以生产为基础核算的碳足迹与以消费为基础核算的碳足迹之间存在巨大的鸿沟, 使得发达国家的碳足迹被严重低估。贸易政策的关键在于保证那些碳密集型行业使用的生产技术更加清洁, 而绝不是将生产过程从一处迁移到另一处。因此, 可将碳足迹核算体系调整为以消费为基础, 从而消除碳泄漏; 通过制定区域贸易协定, 组建环保联盟, 使联盟内部采取低碳技术合作与转让等举措, 促进全球范围内碳减排目标的实现。

[关键词] 碳足迹; 跨国比较; MRIO; 贸易政策

A Cross Country Study of Carbon Footprint Using MRIO Model

Ma Shuzhong Huang Dongsheng

(College of Economics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Recently, there is an animated discussion as to how trade and environment regimes may need to be more closely linked in the post Kyoto world. Although a wide range of studies have been done on carbon emissions from the perspective of individual countries in international trade, few studies have focused on newly industrialized countries (NICs) and have analyzed carbon footprint (CF) within a multi-country framework. We find that there is a great carbon leakage from developed countries to NICs such as China. There is a separation between the production based inventories and consumption based inventories, which often underestimates the CF in developed countries. Furthermore, rather than transferring production processes from one place to another, we claim that the challenge for trade policies is to ensure clean technologies being used by carbon intensive industries. In view of these positions, we suggest that CF should be calculated according to consumption based emission inventories so as to effectively eliminate carbon leakage. We may establish regional trade agreements or environmental protection unions with varying types of trade preferences towards low carbon new technologies. By so doing, we

[收稿日期] 2011-05-10

[本刊网址·在线杂志] <http://www.journals.zju.edu.cn/soc>

[在线优先出版日期] 2011-06-22

[基金项目] 浙江省哲学社会科学规划重大项目 (09JDQY001ZD)

[作者简介] 1. 马述忠, 男, 浙江大学经济学院教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要从事国际贸易与跨国投资研究; 2. 黄东升, 男, 浙江大学经济学院硕士研究生, 主要从事国际贸易与跨国投资研究。

can better realize global carbon emission reduction.

Key words: carbon footprint; cross-country analysis; MRIO; trade policy

一、引言

气候问题之所以会引起全球广泛关注,是因为它不仅涉及全球生态环境的保护,而且会影响到各国贸易模式的转变以及全球经济的可持续发展。新兴工业化国家的经济正在以前所未有的速度发展,以更好地满足日益增长的国内需求和国外需求。以我国为例,外贸总额从 1995 年的 0.3 万亿美元一路攀升,到 2005 年末达到 1.4 万亿美元,截至 2010 年末更是高达 2.8 万亿美元。在出口额和进口额高速增长的同时,出口增速高于进口,导致 1994 年以来贸易顺差持续增长^①。在目前的国际分工中,发达国家处在产业链上端,出口产品以高技术和服务业为主,碳足迹含量相对较低;而发展中国家的出口产品则以低端产品为主,碳足迹含量较高。对我国这样一个出口相对低端产品却具有巨大贸易顺差的国家来说,通过国际贸易为其他国家转移的碳足迹是相当可观的。

尽管在欧洲国家看来,它们目前在削减全球碳足迹的承诺方面发挥着领导作用,然而,我国是贸易大国和排放大国,意味着在碳减排方面我国也可能发挥举足轻重的作用。而对于其他在碳减排方面落后的许多国家,可能需要新的贸易政策方面的建议。为了有效缓解气候变化,越来越多的贸易政策将被采用,国际贸易规则和协议也将因此发生改变。有鉴于此,结合国际贸易、比较多个国家的碳足迹大小,对不同国家合理制定贸易政策具有一定意义。

一方面,由于对碳足迹的度量及相关贸易政策的研究能直接影响消费者和厂商的消费与生产决策,因而会对一国国内相关环境政策的制定有一定的影响。无论是碳足迹指标,还是与之相关的政策工具,都会对一国国内温室气体减量政策的制定,以及低碳消费、低碳生产、低碳产业结构和能源结构的调整,提供极具参考价值方向指引与绩效评估依据。英国碳信托基金(Carbon Trust)是“碳减排标签”(Carbon Reduction Label)^②的积极倡导者,目前正在欧洲、我国及亚洲其他地区推行产品碳足迹计划。日本于 2008 年宣布了碳足迹标签计划,从 2009 年 4 月起,日本市场上食品、饮料等数十种产品已经开始标注碳标签。韩国政府在 2009 年 2 月发布了碳标签计划,同意对企业自有品牌产品分阶段实行该计划。在我国,政府有关部门一直致力于建立自己的碳标签体系。国家发改委于 2010 年 10 月宣布,我国已经启动重点行业典型产品及重点减排项目低碳认证制度研究^③。笔者认为,对碳足迹的研究将有助于这类建立在碳足迹基础上的制度的完善,从而有利于各国制造出更符合市场要求、更具有国际竞争力的产品。

另一方面,对碳足迹、碳泄漏等问题的跨国研究将会对后京都时代全球温室气体减排的责任分担产生冲击,因而会对我国等新兴工业化国家贸易政策的制定有一定的指导意义。在商讨气候变化的国际协商进程中,碳足迹的广泛应用使得它可能引发许多激烈讨论的议题,包括温室气体减排信用额度的认定,以及国家温室气体排放量会计核算中生产基础和消费基础的碳排放量估计结果间的差异性。现行的《联合国气候变化纲要公约》所采用的国家温室气体排放清算的核算方法以排

① 根据中国海关网站(<http://www.customs.gov.cn>)和《中国经济贸易年鉴:2010》(《中国经济贸易年鉴》编委会编,中国经济出版社 2010 年版)数据整理得到。

② 碳减排标签由英国碳信托基金在 2006 年首次推出,是世界上第一个显示产品碳足迹的标签。

③ 参见 Centre Testing International(CTI),“The Carbon Labeling is Becoming a Global Trend,” 2009-09-10, <http://www.cti-cert.com/customerservice/download.aspx?fn=L1V,2010-07-18>。

放点所在的生产端为基础, 应该属于以生产为基础的会计核算(Production Based Accounting)。相应地, 以消费为基础的会计核算(Consumption Based Accounting) 则以产品消费端为依据计算产品的含碳量^①。如果碳泄漏确实存在, 说明这两种估计方法的计算结果之间存在计算差异, 那么, 这个差异在新兴工业化国家(比如我国和印度)中到底有多大? 这个碳泄漏的量是否意味着在后京都时代气候谈判进程中发达国家需要承担更多的温室气体减排责任? 这是值得探讨的问题。

基于上述研究背景和意义, 本文试图从 MRIO(Multi-Regional Input-Output) 模型出发, 在一个统一框架下分析全球 55 个国家和地区 1995—2005 年的碳足迹。通过分析代表性国家和地区碳足迹的特点, 讨论其与贸易的关系, 得到相应的政策含义。相应地, 本文后续部分安排如下: 第二部分综述了与碳足迹和贸易相关的主要文献及研究进展, 第三部分主要阐述了 MRIO 模型和数据来源, 第四部分分析并讨论了碳足迹的计算结果, 第五部分总结了主要的研究结论, 并提出了相应的政策建议。

二、文献综述

目前, 很多学者的研究发现, 消费品的生产国和消费国存在地域分离的现象, 然而, 学界直接分析消费品碳足迹的文章并不多, 大量的定量研究集中在从一国视角对双边或多边贸易品隐含碳的测算上。例如, Machado 和 Schaeffer 结合巴西的数据并使用投入产出法, 分析了国际贸易中能源使用和隐含碳的排放情况, 发现巴西在 1995 年不仅是能源净出口国和隐含碳净出口国, 而且每出口一美元要比进口一美元多产生 56% 的碳, 因此, 建议巴西政府调整与能源使用和碳排放相关的国际贸易政策^[1]。Mongelli 和 Tassielli 利用意大利数据, 使用相同的方法, 研究了全球气候变暖相关协议、国际贸易与隐含碳之间的关系, 证实了“污染避难所假说”, 结论是: 意大利作为《京都议定书》承担法定减排义务的国家之一, 确实需要对其贸易政策作出调整^[2]。Liang 和 Fan 将我国划分为八个经济地区, 使用 MRIO 模型分析了我国能源需求与碳排放之间的关系^[3]。齐晔和李惠民对进口产品采用日本碳排放效率进行计算, 发现 2006 年我国净出口产品的碳排放量已占国内碳排放总量的 29.3%^[4]。

一些学者扩大了研究的主体范围, 结合国际贸易考察了两国甚至多国的碳足迹情况。Shui 和 Harriss 利用 1997—2003 年的数据, 分析了中美贸易对二氧化碳排放的影响, 研究表明: 若美国在本地生产从我国进口的产品, 碳排放将会从 3% 增加到 6%; 而我国 7%—14% 的碳排放是由需要向美国出口造成的; 中美贸易增加了 7.2 亿吨的全球碳排放^[5]。Wyckoff 和 Roop 分析了六个最大的经合组织国家(加拿大、法国、德国、日本、英国和美国)进口制成品的隐含碳量, 以检验对制成品施以碳贸易政策的必要性, 结果显示, 有大约 13% 的碳排放总量与这些国家的制成品进口有关^[6]。

学界已有一系列文章对贸易和国家的紧密联系进行了深入研究。这些研究使用实物量核算(Physical Accounting)方法和环境经济学模型, 对国际劳动分工引发的经济专业化及其造成的世界不同区域环境压力分布进行了研究^[7-8]。有些研究不仅证明了贸易确实给工业化国家带来了日益上升的环境负外部效应^[9-10], 也为发展中国家出口品逐渐上升的环境强度提供了经验性证据^[11-13]。这些研究是很有意义的, 因为它们揭示了发达国家可能将消费过程带来的环境负外部效应转移至像我国一样的新兴发展中国家或者世界其他地区, 以此作为保护国内高环境水平的有效战略手段^[14-16]。

^① Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, http://www.ncsf.ru/en/docs/ipcc/method_1, chapter 2, pp. 4-10.

从总体上来看,学界关于单个国家或多个国家碳足迹的研究已有很多,但是,由于它们所使用的方法论和指标的等级分类标准大多都不一致,因此,在进行碳足迹的多国比较时,结果往往缺乏可比性,跨国的元分析存在问题,在政策导向上可能会产生偏差。同时,这些研究对我国等新兴工业化国家的分析不足,并且没有同贸易政策结合起来进行较为系统的讨论。

在上述研究基础上,本文试图利用 MRIO 模型,将各国纳入一个共同的分析框架,考察新兴工业化国家(中国、印度、俄罗斯、阿根廷、巴西、南非等六国)、发达国家以及世界其他地区的碳足迹和碳泄漏情形,通过对研究结果的分析,探讨碳足迹背后可能隐含的贸易政策。在理论上,本文结合国际贸易进行碳足迹跨国研究也是有价值的。因为碳不仅可以作为污染物,也可以作为一种要素禀赋或比较优势,产品的碳含量有可能用来解释产品的贸易流向,这会丰富学界对要素禀赋论、比较优势论等传统国际贸易理论内涵的认识。

三、方法与数据

基于 Miernyk^[17] 和 Ronald 等人^[18] 的已有研究,本文采用投入产出分析(Input-Output Analysis, IOA)方法。一个包括技术系数矩阵 A (产业间需求矩阵)、部门产出 x 和最终需求 y 的基本方程可以表示为:

$$\begin{aligned} Ax + y &= x \\ y &= (I - A)x \\ x &= (I - A)^{-1}y \end{aligned}$$

很容易将上式扩展到 C 个地区,扩展矩阵可以表示为:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1C} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{C1} & x_{C2} & \cdots & x_{CC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \cdots & -A_{1C} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \cdots & -A_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{C1} & -A_{C2} & \cdots & I - A_{CC} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1C} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{C1} & y_{C2} & \cdots & y_{CC} \end{pmatrix}$$

其中 x_{ij} 是国家 i 为满足国家 j 需求的部门产出, A_{ij} 是地区间投入产出系数矩阵, y_{ij} 是国家 j 对国家 i 产品的消费需求。

Leontief 将“污染部门”引入传统的投入产出矩阵,并且证明了无论是单边贸易还是多边贸易,无论进口品的碳强度(单位美元所生产的碳足迹)与本国产品的碳强度是否一致,均可在传统的投入产出矩阵中加入污染部门和污染强度矩阵^[19]。对于一国的投入产出模型,产出 x 时产生的碳足迹可以表示为:

$$P = Ex = E(I - A)^{-1}y$$

其中 E 是每个部门、每种污染物的污染强度矩阵。 $E_c(K \times N)$ 是 c 国、 K 种不同污染物、 N 个部门的污染强度矩阵。这样就可以计算出直接资源使用量或者每个国家某部门产出的污染强度,其中 p_{ij} 是为满足 j 国最终需求、在 i 国生产所造成的碳足迹:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1C} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{C1} & p_{C2} & \cdots & p_{CC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & E_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & E_C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \cdots & -A_{1C} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \cdots & -A_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A_{C1} & -A_{C2} & \cdots & I - A_{CC} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1C} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{C1} & y_{C2} & \cdots & y_{CC} \end{pmatrix}$$

很显然,加总矩阵 P 的行或列可以得到一国出口或进口包含的碳足迹,而对角线上的加总则

代表各自的国内消费所带来的国内碳足迹。

Wiedmann 指出, 如果 MRIO 模型得到完全应用, 将特别适合于估计多国间投入品和产出品生态足迹^[20]。借助于产业间关联、全球供应链和多国间贸易流向, 可找到生态足迹的源头所在。“完全应用”指要解决采用这种方法所面临的三个主要问题: 第一个问题是关于贸易产品流的数据可得性。本文将使用每个国家的投入产出表以及双边贸易矩阵里各国的贸易份额来估计这些数据。第二个问题仍然是数据的可得性。因为数据来源的差异性可能导致数据与数据之间的不匹配, 但本文使用的投入产出表和双边贸易数据由经合组织国家提供, 它们是相容的。最后一个问题是计算量的问题: 一方面是由上述数据间的不相容导致的; 另一方面, 如果加入某些国家的话, 计算量可能会增大。55 个国家或地区以及 48 个部门构成的 Leontief 矩阵共有 2 640 行、2 640 列。如果不借助于合适的软件及其强大的计算能力, 对这么庞大的矩阵求逆会花很长的时间。借助于 C++ 和 Inforum 软件, 本文就可以计算出相应的结果。

本文使用的数据主要来源于: 经合组织国家投入产出数据库^①、经合组织国家双边贸易数据库^②、国际能源机构(International Energy Agency, IEA)的二氧化碳排放数据^③及能源差额数据^④。本文使用的是完全耦合的 MRIO 模型, 它囊括了地区间所有的贸易环节, 而贸易数据通常比较容易获得。不过由于定价体系不同和统计误差, 各国进出口数据也可能不匹配, 或者存在数据缺失和数据格式不匹配的情形, 因此, 需要进行额外的数据处理和交叉检验以统一数据。需要强调的是, 关于我国的数据, 本文是加总了我国内地、我国香港和台湾地区后得到的。此外, 本文没有考虑土地利用、土地利用变化和林业(Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)所产生的温室气体, 而这并不会影响笔者对各国碳足迹所进行的总体分析。

四、结果与讨论

1995 年和 2005 年全球 55 个国家或地区的碳足迹矩阵 P 的运算主要包括计算 E 和 A 两个部分。

关于 E 的计算, 以 2005 年为例, 可分为以下三步:

第一步是计算污染强度。本文使用国际能源机构发布的部门排放量数据, 这些数据提供了四种能源载体, 如表 1 所示。本文的模型选取表中数据, 然后利用国际能源机构的能源差额(Energy Balances, EB)数据(它也提供了不同的能源载体), 分离出能源差额数据库中不同经济生产部门的排放数据。笔者假定各个部门每种能源载体的排放因子是相等的, 先从每一种能源载体的能源差额部门分解出排放数据, 再加总各个能源载体排放数据的值, 进而得到某一部门总的碳足迹。比如, 对于每一种能源载体而言, 将制造业和建筑业的碳足迹(Carbon Footprint, CF)分配到能源差额数据库中对应的第 27 行到第 39 行, 从而得到能源差额部门的碳足迹(CF_EB _{i}):

$$CF_EB_i = CF \frac{EB_i}{\sum_{j=27}^{39} EB_j}, \quad i = 27, \dots, 39$$

① 2009 年发布, 更为详细的信息可以参见 N. Yamano & N. Ahmad, "The OECD's Input-Output Database: 2006 Edition," <http://www.oecd.org/dataoecd/46/54/37585924.pdf>, 2011-05-01.

② OECD, "STAN Bilateral Trade Database(Edition 2006)," <http://www.oecd.org/dataoecd/4/2/40231930.pdf>, 2011-05-01.

③ IEA, *CO₂ Emissions from Fuel Combustion, 1960-2007*, Paris: International Energy Agency, 2008.

④ IEA, *Energy Balances of Non-OECD Countries, 1960-2007*, Paris: International Energy Agency, 2008; IEA, *Energy Balances of OECD Countries, 1960-2007*, Paris: International Energy Agency, 2008.

表 1 我国 2005 年的碳足迹

单位: 亿吨

类别	煤和泥炭	天然气	石油	其他	总量
二氧化碳(部门分类)	43.45	9.06	1.05	2.06	55.62
生产耗费的电能和热能	24.62	0.52	0.30	—	25.44
未分配的汽车制造商	0.78	0.18	0.01	0.02	0.99
其他能源行业	1.23	0.71	0.15	—	2.09
制造业和建筑业	14.00	2.16	0.39	—	16.56
交通运输业	0.16	3.58	0.00	—	3.74
其中: 公路	—	2.63	0.01	—	2.63
其他部门	2.65	1.90	0.25	—	4.80
其中: 住宅	1.81	0.50	0.17	—	2.49
二氧化碳(基准分类)	43.85	9.41	1.13	0.02	54.42
由损失或转换造成的差异	0.61	0.35	0.03	—	0.99
统计差异	-0.21	0.01	0.01	—	-0.19
备注: 国际航运	0.24	0.25	—	—	0.50
备注: 国际航空	0.06	0.22	—	—	0.29

注: “其他”包含工业废物和不可回收的城市垃圾造成的碳足迹; 数据来源: IEA, *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, 1960-2007, Paris: International Energy Agency, 2008。

第二步是按照经合组织国家投入产出部门分类表, 将上一步计算得到的能源差额部门的碳足迹数据分配到各个行业。根据投入产出表中能源供应部门(焦炭、精炼石油制品和核燃料)的数据, 可以计算出每个国家的碳足迹向量。然后, 依据投入产出表, 用部门排放数据除以总部门产出, 可以得到污染强度向量 $ec[i]$ 。

第三步, 把每个国家 c 的污染强度向量 ec 填充到污染强度矩阵 E_c 对角线上, 这样就将污染强度和 MRIO 模型联系起来了。因为矩阵 E 是对角矩阵, 所以, 结果显示了国家 j 各经济生产部门的最终消费需求所导致的在国家 i 产生的碳足迹。 E_c 被假定为一个行向量, 因此, p_{ij} 是个标量, 它表示的是为了满足国家 j 的需求, 国家 i 所有部门所产生的碳足迹总量。

$$E_c = \begin{pmatrix} ec[1] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & ec[2] & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & ec[48] \end{pmatrix}$$

关于矩阵 A 的子矩阵, 当 $j = i$ 时, A_{ij} 对应的是一国国内的产业间需求; 当 $j \neq i$ 时, 矩阵 A_{ij} 对应的是出口国 i 对进口国 j 的产业间需求。当 $j \neq i$ 时, 子矩阵 A_{ij} 是这样计算的: 通过双边贸易矩阵, 可以计算出各个出口国在其他国家进口产品的份额, 这些份额与进口品投入产出矩阵相乘之后, 每个国家得到 $54(C-1=54)$ 个进口品投入产出矩阵; 然后, 通过对应的部门总产出算得系数矩阵 A_{ij} 。通过矩阵 P , 可以加总出碳贸易矩阵, 其中, 矩阵的行显示了碳足迹出口国的数据, 矩阵的列显示了碳足迹进口国的数据。通过这个矩阵, 可以算出各个国家的碳贸易差额: 进口额是列的加总减去对角线上的元素, 出口额是行的加总减去对角线上的元素。对角线上输入的数据是同一个国家内部生产和消费产生的碳足迹。

对具体计算结果的讨论主要分以下三个方面:

(一) 碳足迹

1995 年和 2005 年主要国家国内生产和消费的碳足迹与国际贸易(即进出口)产生的碳足迹占国家碳足迹比重的计算结果如表 2 所示:

表 2 部分国家的碳足迹

国家	国内生产和消费(亿吨)		进口(%)		出口(%)	
	1995	2005	1995	2005	1995	2005
发展中国家	76.39	106.062	2.98	3.01	23.30	27.66
中国	21.11	32.20	7.64	9.40	27.68	31.06
印度	6.31	9.07	11.34	16.94	23.88	24.29
俄罗斯	7.23	7.11	8.62	15.46	29.94	43.62
发达国家	91.62	104.03	24.53	37.39	3.14	4.07
美国	38.10	43.34	19.29	35.34	11.97	10.21
日本	8.98	8.63	59.13	56.76	11.35	21.12
法国	1.97	1.99	98.95	130.90	31.12	33.89
德国	5.58	4.35	50.59	72.73	26.48	36.22
英国	3.84	4.03	64.19	68.11	28.76	32.72

注: 本表系根据经合组织(<http://www.oecd.org>)和国际能源机构(<http://www.iea.org>)的数据计算整理而得; 进口、出口碳足迹占该国碳足迹的比重均是以生产为基础核算的。

表 2 显示, 在 1995 年, 美国国内生产和消费共同产生的碳足迹以 38.10 亿吨位居第一, 我国次之; 而到了 2005 年, 我国、美国和印度国内生产和消费的碳足迹都有不同程度的增长, 增速分别达到 52.53%、13.75%、43.74%, 但德国、日本和俄罗斯等国却下降了, 这显示了它们为环保率先作出的努力。

国际贸易产生的碳足迹从 1995 年的 26.17 亿吨增长到 2005 年的 44.96 亿吨, 占全球碳足迹的比重也从 13.48% 增长到 17.48%。由于进出口的对称性, 在全球层面上出口的碳足迹和进口的碳足迹总量是相等的。表 2 显示了各国出口和进口的碳足迹占该国碳足迹的比重, 在一定程度上反映了进出口对本国经济的重要性。

美国一直未签署《京都议定书》, 原因之一是它认为约束性的减排政策会抬高本国出口产品的成本, 削弱本国产品在国际市场上的竞争力, 从而影响本国厂商的利润。但数据分析显示, 无论在 1995 年还是 2005 年, 进口、出口产生的碳足迹占美国碳足迹的比重(1995 年各为 19.29% 和 11.97%, 2005 年各为 35.34% 和 10.21%) 要明显小于德国(50.59% 和 26.48%, 72.73% 和 36.22%) 等国家。如果美国担忧签署议定书所带来的碳减排义务可能会削弱本国竞争力的话, 那么德国等欧盟国家或者日本这些已经签署议定书的国家要比美国更应该担心一些。

(二) 碳泄漏

主要国家的碳泄漏量(即碳足迹净进口的量)可以在图 1 中得到直观反映。碳泄漏这一概念概括了为减轻或避免本国碳足迹却加重了他国碳足迹的全部过程, 它是部分国家(尤其是发达国家)不愿意签署《京都议定书》等国际气候条约的重要原因。在发达国家中, 日本在 1995 年的碳泄漏是

全球最严重的,美国紧随其后。到 2005 年,美国的碳泄漏量增加到了原来的四倍,而日本在积极的环保努力下碳泄漏量有明显的下降。对新兴工业化国家而言,1995 年阿根廷和巴西都存在将碳足迹泄漏到其他国家的情形,但到了 2005 年阿根廷反而成了整个南美洲遭受碳泄漏最严重的国家。1995 年到 2005 年这十年间受到碳泄漏最严重的国家分别是中国、俄罗斯和印度。

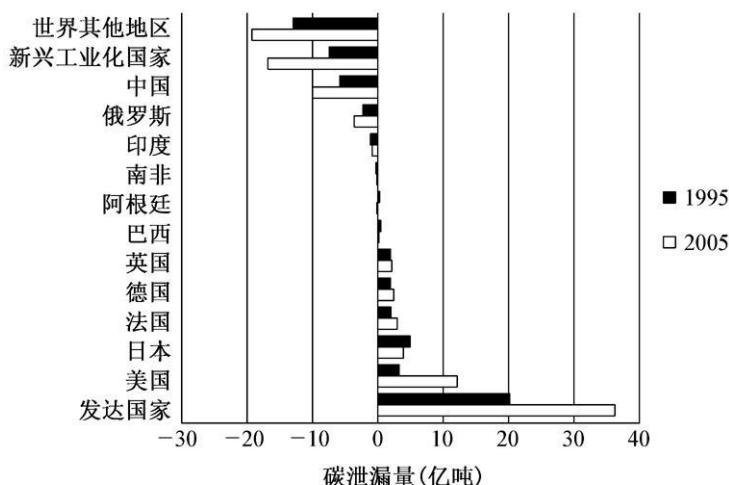


图 1 部分国家或地区的碳泄漏量^①

尽管在 1995 年我国碳贸易差额赤字(净出口品)几乎是美国碳贸易差额盈余(净进口品)的两倍,但在 2005 年美国碳净进口品的含碳量已经超过了中印两国净出口品之和的水平。发达国家在 1995 年泄漏到新兴工业化国家和世界其他地区的碳足迹达到 20.23 亿吨,这个数字在 2005 年几乎达到 36.13 亿吨。其中,60% 的增长源于向新兴工业化国家进口产品。这说明发达国家 60% 的碳泄漏到了仅仅六个国家。2005 年,发达国家要对新兴工业化国家产生的超过四分之一的碳足迹负责,而这个数值在 1995 年仅为 17.14%。发达国家泄漏到世界其他地区的碳足迹在 1995 年和 2005 年的比例并没有发生明显变化,这说明发达国家更多地消费了在新兴工业化国家生产的含碳商品,因此,碳泄漏主要发生在发达国家和新兴工业化国家之间。

笔者认为,至少有两个因素会加剧碳泄漏:第一,某个气候条约的参与国可能关闭本国污染较为严重的工厂,而将其转移到国外环境法规宽松、气候条约的非参与国。这就是“强污染避难所假说”(strong Pollution Haven Hypothesis, strong PHH),但并没有充足的证据能够证明“强污染避难所假说”^[21]。第二,气候条约参与国不断增长的消费需求将逐渐由非参与国来满足,这就是“弱污染避难所假说”(weak PHH)。由于经济的高速发展,如果“弱污染避难所假说”成立,会使气候条约参与国对条约实施的有效性产生怀疑^[22]。碳泄漏不仅能够以直接的方式发生,即将本国碳密集型生产行业转移到国外,也能够以间接的方式表现出来,从而改变贸易模式。一方面,为了满足日益增长的国内需求,国内进口(而不是国内生产)增加;另一方面,受到某种因素(比如价格诱导)的影响,可贸易的产品发生从使用相对清洁技术的国内产品到使用具有污染性技术的国外产品的转换。

(三) 核算体系

笔者比较感兴趣的问题是,以消费为基础的碳足迹核算体系与以生产为基础的核算体系的差异究竟有多大。由于一国的消费(发生在国内)和为满足此消费需求而进行的生产(发生在全球)之

^① 本图系根据经合组织(<http://www.oecd.org>)和国际能源机构(<http://www.iea.org>)的数据计算整理而得。

间必然存在一定程度上的分离,这导致了以消费为基础的碳足迹核算体系与以生产为基础的碳足迹核算体系存在鸿沟。表3分别显示了1995年和2005年基于生产和基于消费核算的碳足迹以及各国被高估或低估的比例。

表3 部分国家基于生产和基于消费核算的碳足迹及高估比例

国家	基于生产核算(亿吨)		基于消费核算(亿吨)		高估比例(%)	
	1995	2005	1995	2005	1995	2005
发展中国家	99.58	146.61	79.36	110.48	25.48	32.70
中国	29.19	46.71	23.34	36.59	25.06	27.66
印度	8.29	11.98	7.25	11.10	14.34	7.93
俄罗斯	10.32	12.61	8.12	9.06	27.09	39.18
发达国家	94.59	108.44	114.82	144.58	- 17.62	- 25.00
美国	43.28	48.27	46.45	60.40	- 6.82	- 20.08
日本	10.13	10.94	14.97	14.84	- 32.33	- 26.28
法国	2.86	3.01	4.80	5.93	- 40.42	- 49.24
德国	7.59	6.82	9.42	9.31	- 19.43	- 26.75
英国	5.39	5.99	7.30	8.11	- 26.16	- 26.14

注: 本表系根据经合组织(<http://www.oecd.org>)和国际能源机构(<http://www.iea.org>)的数据计算整理而得; 高估比例即以生产为基础核算的碳足迹与以消费为基础核算的碳足迹的比值减去1, 负值表示被低估的比例。

对发达国家而言,1995年基于生产核算的碳足迹比基于消费核算的碳足迹要小20.23亿吨(-17.62%),而到2005年这个数值上升到了36.14亿吨(-25.00%),这说明在发达国家和发展中国家之间存在负相关的贸易余额排放量。

以生产而不是消费为基础核算碳足迹高估了大部分新兴工业化国家如中国、印度和俄罗斯的碳足迹,这些国家一般出口大量的自然资源性产品。以我国为例,不同核算体系对碳足迹的测算差异很大。1995年,采用以生产为基础的核算体系,我国碳足迹达到29.19亿吨,比采用以消费为基础的核算体系的23.34亿吨多出5.85亿吨(高估比例为25.06%),而到2005年,我国以生产为基础核算的碳足迹达到46.71亿吨,而以消费为基础核算的碳足迹只有36.59亿吨(高估比例为27.66%)。相应地,从1995年到2005年我国碳足迹年平均增长率也被高估了6.0%(应从25.8%调整为19.8%)。

我国作为一个碳足迹净出口国,为了满足全球其他国家的消费,在1995年和2005年分别多承担了5.85亿吨和10.12亿吨的碳足迹,相应地,也在《京都议定书》所规定的核算框架下更多地肩负了减排责任。相反,如果发达国家在其国内生产所有消费产品则会产生更多的碳足迹,比如2005年美国以生产为基础核算碳足迹为48.27亿吨,而以消费为基础核算得到的结果为60.40亿吨。由于《京都议定书》是基于生产核算的,因此,它规定的减排责任并没有充分反映国际贸易的复杂程度和消费活动对环境的真实冲击,也没有体现出我国等新兴工业化国家作为碳净出口国为满足发达国家的消费需求而在碳足迹上所做的牺牲。以生产为基础的核算体系在不同程度上低估了发达国家的碳足迹,这可能成为部分发达国家逃避碳减排责任的借口。

对我国而言,这种核算体系带来的鸿沟有扩大的趋势。这是因为:第一,我国有一个巨大的增长性贸易盈余;第二,我国拥有碳密集型行业的相对比较优势;第三,我国生产产品的污染强度仍然较高,但是生产效率自2001年以来没有同步提升。另一方面,发达国家(特别是一些对出口贸易有

很高依赖度的小国)的消费实际上产生了比生产更多的碳足迹。因此,为了更准确地反映现实情况,调整核算体系迫在眉睫。

五、结束语

本文基于 MRIO 模型视角,通过计算分析 1995—2005 年全球新兴工业化国家、发达国家及世界其他国家和地区的碳足迹后发现:第一,从 1995 年到 2005 年一国国内消费和生产产生的碳足迹并不全都是上升的,国际贸易导致的碳足迹无论是对于一国碳足迹还是全球碳足迹而言都是很重要的;第二,发达国家存在明显的碳泄漏,有将近六成的碳足迹泄漏到了我国等新兴工业化国家,而我国作为碳净出口国,其净出口的大部分碳足迹都是为了满足发达国家的消费需求;第三,基于生产核算的碳足迹和基于消费核算的碳足迹存在巨大的鸿沟,这也使得基于《京都议定书》背景下的我国等新兴工业化国家和发达国家减排责任的分配有失公平。

碳泄漏的存在使发达国家担心本国产品的国际竞争力会被削弱,而笔者认为,对当前碳足迹核算体系的贸易政策调整会为碳泄漏问题的解决提供可行的路径,因为只有使用以消费为基础的碳足迹核算体系,才可以实现一国消费系统(发生在国内)和为满足国内消费需求而形成的生产系统(发生在全球)两者良好的统一。以消费而不是生产为基础的碳足迹核算体系将有利于构建一个更为公正的碳足迹核算框架,从而有利于形成一个更合理的碳减排责任分担体系。

根据 Heckscher-Ohlin 贸易理论^[23],在自由贸易情形下,一国出口的应是本国供给丰裕的要素,进口的是本国供给不足的要素。所以,只要贸易存在,就会有部分国家从事那些碳密集型产品的生产。削减全球碳足迹的关键在于保证碳密集型行业所使用的生产技术更加低碳、更加清洁,而绝不是将生产过程从一处迁移到另一处。发达国家将碳密集型的生产过程从本国转移到环保制度相对宽松的发展中国家,是碳泄漏存在的根本原因。

从这个意义上讲,贸易政策面临的挑战是设法引进低碳技术到发展中国家,降低它们的碳强度,而不是激励发达国家往发展中国家转移污染行业。因此,可以通过签订区域贸易协定,对低碳产品和技术的贸易与投资给予优惠,从而降低国家的平均碳强度,促进全球碳减排。各国可以积极组建环保联盟,联盟内部通过低碳技术合作和转让等措施促进更大范围内的碳减排。其中可行的方式之一是将环保目标相同的国家联合起来,构建联盟组织,如亚太清洁发展和气候伙伴联盟、东盟和南美同盟。在此基础上,如果进一步考虑地理因素和环保目标,把邻近的国家联合起来,将会有更显著的优势。目前许多环保机构的地理政策体系(Geo Political System)和经济组织架构已比较完善,它们中有很多已经实施了环保行动计划,如果组织内部能够率先形成应对气候变化的统一框架体系,将有利于全球性气候框架早日形成。

[参 考 文 献]

- [1] G. Machado & R. Schaeffer, "Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: An Input Output Approach," *Ecological Economics*, Vol. 39, No. 3(2001), pp. 409 - 424.
- [2] I. Mongelli & G. Tassili, "Global Warming Agreements, International Trade and Energy/ Carbon Embodiments: An Input Output Approach to the Italian Case," *Energy Policy*, Vol. 34, No. 1(2006), pp. 88 - 100.
- [3] Q. Liang & Y. Fan, "Multi Regional Input Output Model for Regional Energy Requirements and CO₂ Emissions in China," *Energy Policy*, Vol. 35, No. 3(2007), pp. 1685 - 1700.

- [4] 齐晔、李惠民:《中国进出口贸易中的隐含碳估算》,《中国人口、资源与环境》2008 年第 3 期,第 8 - 12 页。
[Qi Ye & Li Huimin, " Accounting Embodied Carbon in Import and Export in China, " *China Population, Resources and Environment*, No. 3(2008), pp. 8 - 12.]
- [5] B. Shui & R. C. Harriss, " The Role of CO₂ Embodiment in US-China Trade, " *Energy Policy*, Vol. 34, No. 18(2006), pp. 4063 - 4068.
- [6] A. W. Wyckoff & J. M. Roop, " The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Products: Implications for International Agreements on Greenhouse Gas Emissions, " *Energy Policy*, Vol. 22, No. 3 (1994), pp. 187 - 194.
- [7] T. Wiedmann, M. Lenzen & K. Turner, et al, " Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities—Part 2: Review of Input-Output Models for the Assessment of Environmental Impacts Embodied in Trade, " *Ecological Economics*, Vol. 61, No. 1(2007), pp. 15 - 26.
- [8] K. Turner, M. Lenzen & T. Wiedmann, " Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities—Part 1: A Technical Note on Combining Input-Output and Ecological Footprint Analysis, " *Ecological Economics*, Vol. 62, No. 1(2007), pp. 37 - 44.
- [9] E. G. Hertwich & G. P. Peters, " Carbon Footprint of Nations: A Global Trade-Linked Analysis, " *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, No. 16(2004), pp. 6414 - 6420.
- [10] M. Lenzen, L. Pade & J. Munksgaard, " CO₂ Multipliers in Multi-Region Input-Output Models, " *Economic Systems Research*, Vol. 16, No. 4(2004), pp. 391 - 412.
- [11] D. S. Nijdam, H. C. Wiltling & M. J. Goedkoop, et al, " Environmental Load from Dutch Private Consumption: How Much Damage Takes Place Abroad? " *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9, No. 1 - 2 (2005), pp. 147 - 168.
- [12] G. P. Peters & E. G. Hertwich, " Pollution Embodied in Trade: The Norwegian Case, " *Global Environmental Change*, Vol. 16, No. 4(2006), pp. 379 - 387.
- [13] J. G. Tisdell, " The Environmental Impact of Water Markets: An Australian Case Study, " *Journal of Environmental Management*, Vol. 62, No. 1(2001), pp. 113 - 120.
- [14] R. Muradian, M. O'Connor & A. J. Martinez, " Embodied Pollution in Trade: Estimating the Environmental Load Displacement of Industrialized Countries, " *Ecological Economics*, Vol. 41, No. 1(2002), pp. 51 - 67.
- [15] S. Giljum & N. Eisenmenger, " North-South Trade and the Distribution of Environmental Goods and Burdens: A Biophysical Perspective, " *Journal of Environment and Development*, Vol. 13, No. 1(2004), pp. 73 - 100.
- [16] P. B. Weisz, " Basic Choices and Constraints on Long-Term Energy Supplies, " *Renewable Resources Journal*, Vol. 24, No. 2(2006), pp. 12 - 18.
- [17] W. H. Miernyk, *The Elements of Input-Output Analysis*, New York: Random House, 1965.
- [18] E. Ronald, P. Miller & D. Blair, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [19] W. Leontief, " Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach, " *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3(1970), pp. 262 - 271.
- [20] T. Wiedmann, " A Review of Recent Multi-Region Input-Output Models Used for Consumption-Based Emission and Resource Accounting, " *Ecological Economics*, Vol. 69, No. 2(2009), pp. 211 - 222.
- [21] M. Spatareanu, " Searching for Pollution Havens: The Impact of Environmental Regulations on Foreign Direct Investment, " *Journal Environment Development*, Vol. 16, No. 2(2007), pp. 161 - 182.
- [22] D. S. Rothman, " Environmental Kuznets Curves: Real Progress or Passing the Buck? A Case for Consumption-Based Approaches, " *Ecological Economics*, Vol. 25, No. 2(1998), pp. 177 - 194.
- [23] E. Heckscher & B. Ohlin, *Heckscher-Ohlin Trade Theory*, Cambridge: The MIT Press, 1991.