

中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义^{*}

陈 迎 潘家华 谢来辉

内容提要:近年来,中国能源需求和温室气体排放呈现快速增长趋势,其中有相当一部分通过国际贸易内涵在产品中出口到国外,并没有在国内消费。本文从内涵能源的概念出发,应用基于投入产出表的能源分析方法,定量研究了 2002—2006 年中国外贸进出口商品中的内涵能源问题。研究结果表明,尽管中国自 1993 年以来成为石油净进口国,但通过外贸商品进出口,中国是内涵能源的净出口大国。2002 年,内涵能源出口总量约为 4.1 亿吨标煤,扣除内涵能源进口 1.7 亿吨标煤,内涵能源净出口达 2.4 亿吨标煤,约占当年我国一次能源消费总量的 16%,内涵排放净出口 1.5 亿吨碳。随着中国外贸进出口的快速增长,在不考虑部门投入产出结构性变化的条件下,2006 年内涵能源净出口约为 6.3 亿吨标煤,比 2002 年增长 162%。此外,本文还就测算可能的误差来源进行了分析,并依据测算结果对其政策含义进行了探讨。

关键词:国际贸易 内涵能源 投入产出分析 温室气体排放

一、引 言

近年来,伴随经济快速增长和加速城市化进程,中国能源需求和温室气体排放呈快速增长的趋势。2007 年一次能源消费总量达到 26.55 亿吨标煤,比 2002 年增长了 75%。煤炭在一次能源中的比例不仅没有下降,反而有所上升。2007 年中国进口石油 1.968 亿吨,石油对外依存度已经接近 50%。据国际能源机构(IEA,2007)的预测,中国化石能源燃烧排放的二氧化碳(CO₂)会在 2009 年左右超过美国,跻身世界第一排放大国。当前,能源安全和气候变化问题已经成为世界经济和国际政治关系中的热点和焦点,中国无疑面临日益增大的国际压力。

中国经济运行所消耗的能源,全部附着于产品和服务,最终都是由中国人在中国境内消费了吗?事实上,作为“世界加工厂”,中国能源需求和排放增长不仅是因为旺盛的国内消费需求和较高的固定资产投资,快速增长的外贸出口和不断扩大的外贸顺差也是重要的驱动因素。2007 年,货物进出口总额 21738 亿美元,比上年增长 23.5%,其中出口 12180 亿美元,增长 25.7%;进口 9558 亿美元,增长 20.8%,外贸顺差高达 2622 亿美元之巨,比 2006 年增长 47.7%。尽管中国不断推进外贸产业结构的升级,但中国在国际产业分工体系中仍处于相对低端。相比从发达国家的进口产品,我国出口产品的附加值较低,单位出口贸易额的能源消耗和排放均较高,外贸进出口必然导致能源消费和排放流动的不平衡。一方面对国内能源资源和环境带来很大压力,另一方面也引起国际对中国能源需求和排放增长的担忧,甚至指责,各种版本的“中国威胁论”层出不穷。“中国能源威胁论”者指责中国石油进口是引起国际能源市场石油价格上涨的主要原因,“中国气候威胁论”者则一边享受甚至奢侈消费大量中国制造的商品,一边指责中国不承担温室气体义务不公平。但是他们

^{*} 陈迎、潘家华,中国社会科学院城市发展与环境研究中心,邮政编码:100732,电子邮箱:cycass@163bj.com,jiahuapan@163.com。谢来辉,中国社会科学院研究生院,邮政编码:100102,电子邮箱:gavin102@163.com。本文为世界自然基金会(WWF)中国办公室资助研究项目(编号:CN010101-3514)成果。作者感谢匿名评审人的宝贵意见,感谢项目指导委员会专家的评论和建议,以及中国社会科学院城市发展与环境研究中心郑艳博士的贡献。

未必清楚,中国净进口的石油有多少用来制造出口产品以提供全世界的消费,而这些消费又导致中国增加了多少温室气体的排放。为此,我们有必要揭示中国外贸进出口商品的增长和结构变化对中国能源消费和排放增长的贡献,一方面让世界更全面、客观了解中国能源消费和排放增长的驱动力,另一方面,中国面对国际压力和国内能源安全和环境保护的严峻挑战,节能减排,走低碳发展的道路已经成为中国可持续发展的必然选择,外贸政策应该也可以在节能减排方面发挥重要作用。

本文从内涵能源的概念出发,采用投入产出的能源分析方法,进行了测算方法和模型的改进,大量研究了中国2002—2006年外贸进出口货物的内涵能源问题。根据测算结果,从我国参与国际气候谈判和国内推进节能减排等不同角度对其中的政策含义进行了分析和探讨。

二、内涵能源的概念及相关文献综述

通常,能源消费和温室气体排放数据都是基于生产侧而不是消费侧的统计。在开放经济条件下,出口国生产出口产品的能源消耗和排放都计入出口国名下,而与消费这些产品的进口国无关。实际上,从消费侧观察,进口国在消费进口产品的同时,相当于间接消费了生产这些产品所消耗的能源,并导致相应的温室气体排放。为了从消费侧研究消费行为引起的能源消费和环境影响,需要对内涵能源和内涵排放进行定量分析。

所谓“内涵能源”(embodied energy 或 embedded energy)是指产品上游加工、制造、运输等全过程所消耗的总能源。显然,内涵能源要大于产品在最终加工环节消耗的直接能源。由于能源具有相应的温室气体排放因子,因而可直接测算出内涵排放。需要注意的是,应用内涵能源和内涵排放的概念,仅指产品在上游加工、制造、运输等全过程中消耗的能源和排放的温室气体,并不包括能源产品本身和下游使用过程中的排放。这一点对于化石能源产品(煤炭、石油和天然气)尤其重要,因为目前的能源统计和排放清单,已经将化石能源产品使用和燃烧产生的排放记录在消费者的名下。但是,生产这些产品也是需要消耗能源和排放温室气体的。换言之,中国进口一吨原油,是直接能源产品,没有包括在进口的内涵能源中;但开采、加工和运输这一吨原油所消耗的能源,必须包括在进口内涵能源中。除此之外,“内涵”概念还有更广泛的应用。因为任何产品在加工、制造、运输等过程中不仅消耗能源和排放温室气体,还消耗水资源等其他资源,并排放多种污染物,如与能源利用密切相关的二氧化硫(SO₂),与水污染相关的化学需氧量(COD),这方面的文献对内涵能源研究也是很好的借鉴。

外贸进出口商品的内涵能源问题长期以来在传统国际贸易研究中一直被忽略。但近年来,随着国际贸易的迅猛发展,能源安全问题和气候变化受到国际社会的普遍关注,内涵能源问题逐渐受到重视。近年来国际国内围绕这一问题的研究相当活跃。较早的文献,如Wyckoff和Roop(1994)研究了1984—1986年6大OECD国家英、法、德、日、美、加进口产品中的内涵能源,说明国内减排政策的效果可能要打折扣,因为进口产品在国内消费中占有较大的比例。OECD(2003)的研究报告和Ward(2005)针对多个国家进行了国际贸易中内涵能源问题的国际比较研究。也有的研究将重点放在双边贸易关系,如中美贸易(Shui and Harriss, 2006; 平新乔等, 2006), 日美贸易(Ackerman等, 2007), 日韩贸易(Rhee and Chung 2006)。除此之外,国际上还有大量针对某个国家进行的国别案例研究。

参见Muradian等(2002)对国际贸易造成内涵污染物转移的研究;马涛和陈家康(2005)对中国工业产品贸易的污染足迹研究;程国栋(2003)、牛树海(2004)、刘宝勤(2006)以及中国投入产出学会课题组(2007)对“虚拟水”问题的相关研究。

参见IGES(2005)对日本,Schaeffer等(1996)和Machado等(2001)对巴西,Lenzen(1998, 2001)对澳大利亚,Mäenpää和Siikavirta(2007)对芬兰,Mongelli等(2006)对意大利,Sánchez-Chávez和Duarte(2004)对西班牙,Chung(2005)对韩国,Limnecchokchai(2007)对泰国,Mukhopadhyay(2004)对印度,Straumann(2003)和Haukland(2004)对挪威的相关研究工作。

中国作为发展中大国,外贸进出口发展十分迅猛,外贸顺差不断扩大。随着能源安全和气候变化问题在国际上不断升温,中国外贸进出口商品的内涵能源和排放问题倍受关注。Shui 和 Harriss (2006)对 1997—2003 年中美贸易中内涵能源问题的研究认为,美国从中国进口的商品如果在美国生产的话,美国的温室气体排放要增长 3%—6%,中国生产用于出口美国的产品排放的温室气体大约占中国目前总排放量的 7%—14%。美国伯克利中心 Kahrl 和 Roland-Holst (2007)的测算结果是中国 2002 年出口内涵能源占当年能源总消费的 21%,2004 年占 27%,外贸出口的快速增长是拉动中国能源需求增长的重要原因,出口与国内消费的内涵能源比例已趋接近。英国 Tyndall 中心的一个政策简报称,2004 年中国出口商品的内涵排放 14.9 亿吨 CO₂,进口商品的内涵排放 3.81 亿吨 CO₂,净出口内涵排放 11.09 亿吨 CO₂,占中国当年总排放的 23%。中国学者对此也开展了一定的研究工作,如清华大学核能研究院的徐玉高和吴宗鑫(1999)估算了 1990 年中国进出口产品的内涵能源分别占全国总排放量的 18.4%和 16.4%,认为进出口大概相抵。清华大学化工系周丽等(2007)估算,2005 年中国出口能源产品 0.88 亿吨标煤,通过产品出口的内涵能源为 0.90 亿吨标煤,二者之和占当年总能源消费的 8%。中国社科院世界经济与政治研究所的李众敏和何帆(2006)分析认为,2004 年中国进口石油和天然气中 23%和 37%用于生产出口产品,相当于能源再出口。

综上所述,中国外贸进出口商品的内涵能源和排放问题尽管引起国内外学术界的高度关注,也开展了大量的研究工作,但概念和方法论上仍存在一定的混乱,对出口研究较多和对进口讨论的相对不足,测算时点过少难以进行趋势分析,计算结果相差较大,对政策含义的分析比较单一等,因此在数据、方法、计算和政策含义分析等都有继续深入和改进的余地。国外机构针对中国的研究,往往缺乏最新的统计数据,对中国的具体国情和政策环境的理解常常存在偏差。为此,本文在国内外文文献调研的基础上,就中国外贸进出口产品的内涵能源问题开展了深入研究,试图通过定量的数据揭示中国对外贸易背后隐藏的能源消费的真实状况及其政策含义,提出对策建议。

三、测算外贸进出口产品内涵能源的方法论

(一) 建模方法

假设一国一次能源消费总量为 TE,其中居民生活消费为 E_H, n 个产业部门消费能源总量为 E_{Ind},第 i 个产业部门的能源消费量为 E_i,有:

$$TE = E_{Ind} + E_H = \sum_{i=1}^n E_i + E_H (i = 1, 2, \dots, n)$$

表 1 投入产出表的基本结构

	中间消耗				最终使用						其他	总产出		
	部门 1	2	... j ...	n	农村居 民消费	城镇居 民消费	政府 消费	固定投 资形成	存货 变化	出 口			进口 (-)	
中 间 投 入	部门 1													
	2													
	...i ...			X _{ij}										X _i
	n													
增 加 值	劳动者报酬													
	折旧													
	...													

在如表 1 所示的投入产出表中,第 i 个产业部门的总产出 X_i,中间总投入 MI_i,最终使用 Y_i。

中间投入 MI_i 分别投入给 n 个部门,投入到第 j 个部门的量为 X_{ij} 。最终使用 Y_i 与进口 IM_i 一起,一部分提供出口 EX_i ,另一部分提供居民消费、政府消费、固定投资和存货增加,此外其他项 OTH_i 保持等式平衡。如果将中间总投入之外的部分计为 \bar{Y}_i ,有:

$$X_i = MI_i + Y_i - IM_i + OTH_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + \bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot X_j + \bar{Y}_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n)$$

其中, $A_{ij} = X_{ij}/X_j$ 为投入产出表中的直接消耗系数。

用矩阵表示: $X = AX + \bar{Y}$,可推出 $X = (I - A)^{-1} \bar{Y}$,其中: $(I - A)^{-1}$ 称为里昂惕夫逆矩阵,表示完全消耗系数。

假设 EI 为单位总产出的直接能耗强度,第 i 个部门 $EI_i = E_i/X_i$,用矩阵表示:

$$E_{ind} = EI \cdot X = EI \cdot (I - A)^{-1} \cdot \bar{Y} = EEI \cdot \bar{Y}$$

$$EEI = EI \cdot (I - A)^{-1} \quad (1)$$

其中,EEI 为单位最终消费的完全能耗强度。需要注意的是,单位最终消费的完全能耗强度是内涵能源和排放测算中非常重要的中间变量,其含义与单位总产出的直接能耗强度 EI,通常统计采用的单位 GDP 的能耗强度概念上有很大不同。

1. 出口内涵能源的测算

假设一国对 K 个贸易伙伴有出口,第 i 部门对第 k 个贸易伙伴的出口为 EX_{ik} ,第 i 部门的总出口 $EX_i = \sum_{k=1}^K EX_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, K)$ 。出产品内涵能源总量用矩阵表示:

$$EXEE = EEI \cdot EX = EI \cdot (I - A)^{-1} \cdot EX \quad (2)$$

在 n 个产业部门中,只有一部分发生货物贸易,而如建筑、自来水供应、交通、仓储、餐饮、批发、零售等部门仅提供本国消费或者属于服务贸易范围,可以暂不考虑。

本文的一个重要改进是考虑如何扣除进口中间产品的影响。如图 1 所示,一个国家的进口包括两个部分:一部分用于最终消费 C_m ,另一部分作为中间产品 I_m 投入到国内生产过程中。从生产的角度看,国内生产过程的投入,一部分来自进口中间产品,另一部分来自国内投入 I_d 。投入产出表中的直接消耗系数矩阵可以看作是两部分之和国内生产过程的总产出 Y_d ,一部分用于国内最终消费 C_d ,另一部分用于出口 EX 。从消费角度看,提供居民消费 Y_h 、政府消费 Y_g 、投资、存货增加以及其他 Y_k 所有最终消费的来源也包括两部分,一部分来自国内生产 C_d ,另一部分来自进口最终消费品 C_m 。公式(1)中采用直接消耗系数 A 而不是 A^d 计算得到的出口内涵能源包括了进口中间产品的贡献,有部分高估。为了计算由国内投入加工的那部分出口产品的内涵能源,应该采用 A^d 替代 A 进行计算,即: $EXEE = EI \cdot (I - A^d)^{-1} \cdot EX$ 。 $A = A^d + A^m$ 。

当然,统计数据并不能直接得到 A^d 。为了估算 A^d ,假设有一个矩阵 M ,使得 $A^m = M \cdot A$,则 $A^d = (I - M) \cdot A = D \cdot A$ 。其中 M 称为进口系数, $D = I - M$ 称为国产化系数。关于 M ,首先部门之间的均一性,即部门 i 对于所有其他部门 j 的投入中进口中间品投入的比例是一致的。这样 M 就一个对角矩阵,用以衡量第 i 部门对进口的依赖程度。其中对角矩阵元素 m 根据不同假设有两种计算方法:

- (1) $m_{ii} = IM_i / (X_i + IM_i - EX_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$; 当 $i \neq j$ 时, $m_{ij} = 0$
- (2) $m_{ii} = IM_i / (X_i + IM_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$; 当 $i \neq j$ 时, $m_{ij} = 0$

m_1 是投入产出分析在贸易问题中的经典算法,参见沈利生和吴振宇(2003)以及中国投入产出学会(2007)。 m_2 算法参见平新乔等(2006)。

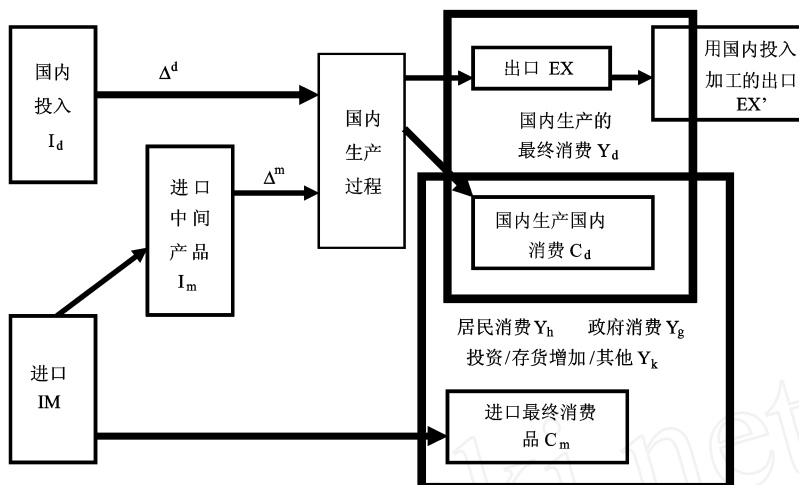


图 1 外贸进出口与生产过程和最终消费的关系

显然 $m_1 > m_2$, 对应的国产化系数 $D_1 < D_2$ 。利用中国 2002 年投入产出表进行计算分析发现, 两种计算方法的差别不大, 多数部门偏差在 1% 以内, 仅有极少数部门差别较大。以仪器仪表及文化办公用机械制造业为例, $D_1 = 0.113, D_2 = 0.512$, 对应的 $m_1 = 0.887, m_2 = 0.488$ 。根据中国机械工业联合会专家委员会委员郑国伟 (2006) 的分析, 该行业是机械工业内各行业中依靠加工贸易出口比例最高的, 尽管整体加工贸易份额在下降, 2005 年加工贸易份额仍高达 80.06%, 说明 2002 年应该高于这一比例。结合 2002 年该行业出口占总产出的比重为 87.82% 推断, $m_1 = 0.887$ 可能更符合实际情况。因此扣除进口中间产品影响的出口内涵能源为:

$$EXEE = EEI \cdot EX = EI \cdot [I - (I - M)A]^{-1} \cdot EX \quad (3)$$

2. 进口内涵能源的测算

假设一国从 G 个贸易伙伴有进口。从第 g 个贸易伙伴进口为 IM_{ig} , 第 i 个部门的总进口 $IM_i = \sum_{g=1}^G IM_{ig} (i = 1, 2, \dots, n, g = 1, 2, \dots, G)$ 。相比而言, 由于进口涉及众多的贸易伙伴, 进口内涵能源的测算方法比出口部分要复杂得多。现有文献多数只讨论出口内涵能源, 回避了进口内涵能源。少数文献有所讨论, 主要采用“替代效应”的方法, 即采用本国产业部门的完全能耗强度计算进口内涵能源, 用矩阵表示:

$$IMEE = EEI \cdot IM = EI \cdot [I - A]^{-1} \cdot IM$$

从概念上说, 进口产品确在某种程度上避免了本国生产过程消耗的能源, 产生“替代效应”是有一定的道理的, 但该方法隐含的基本假设是进口来源国加工进口商品的技术水平与本国相同, 同等价值的进口产品替代同行业同等价值的本国产品的生产, 从能源消耗的角度, 这与实际情况相差甚远。通常不同发展水平的国家生产能耗水平有很大差异, 发达国家的出口产品相对附加值较高, 而发展中国家的产品附加值较低, 同等价值的进口商品, 例如进口一辆价值 100 万美元的高级小汽车, 按国产小汽车生产行业的平均价格看, 同等价值的国产小汽车可能不是 1 辆而是 10 辆。显然, 国内生产 10 辆国产小汽车需要消耗的能源 (包括钢材等能源密集型原材料的内涵能源), 会大大高于国内生产 1 辆同类产品汽车的能耗, 更高于国外生产 1 辆汽车所消耗的能源。因此, 按产品价值计算的替代效应会严重高估进口产品的内涵能源。

除了“替代效应”方法, 从全球视角, 采用反映进口来源国生产能耗水平的完全消耗系数计算进口内涵能源更为客观准确, 即:

国际学术机构提供的数据库和分析工具。

不同数据的详细程度有所不同。各部门的能源消费数据是 43 个产业部门加居民生活 1 个终端用户。投入产出数据是 122 个部门,外贸进出口商品依据国际贸易分类标准(SITC)分为 9 大类,大类可逐步细分,直到具体的商品。为了使这三方面数据的分类标准匹配,只能取能源消费数据的 43 个产业部门,对 122 个部门的 IO 进行归并,其他部门保持不变。在这 43 个部门中,扣除服务国内市场和贸易的 6 个部门,仅有 37 个部门发生了进出口货物贸易,因此,需要将贸易统计数据这 37 个部门进行归类,以保证三方面的数据分配标准能相互匹配。经过实际数据的检验,合并后的数据投入产出关系维持变化,贸易数据可以覆盖货物贸易总额的 99% 以上,没有大的遗漏。说明合并方法是可行的。

四、中国外贸进出口产品内涵能源的测算结果

由于最新的投入产出表只有 2002 年数据,因此,首先就 2002 年的进出口内涵能源的总量、部门分布、主要贸易伙伴的流向等进行测算和分析,然后再从 2002 年外推到其他年份进行时间序列的分析。

(一) 2002 年中国外贸出口内涵能源分析

利用公式(1)输入相关数据计算得到各部门完全能耗强度和引入进口系数的完全能耗强度,如表 2 所示。

表中数据显示,43 个产业部门的平均完全能耗强度为 1.08 吨标煤/万元,其中发生货物贸易的 37 个部门的平均能耗强度是 1.13 吨标煤/万元,高于 43 个部门的平均水平。这是因为发生货物贸易的 37 个部门多为加工制造业,扣除的 6 个部门多为服务业,相比工业部门能耗强度比较低。在 43 个部门分析的基础上,如果将居民生活的能源消费计入,全国平均水平概念上就是用支出法统计的单位 GDP 的能耗强度为

	完全能耗强度 (吨标煤/万元)	国产化 系数(%)	引入国产化系数的 完全能耗强度 (吨标煤/万元)
纺织业	1.54	83.9	1.21
服装及其他纤维制品制造	1.17	96.7	0.83
石油加工及炼焦业	2.95	93.4	2.52
化学原料及制品制造业	3.07	75.4	2.57
黑色金属冶炼及压延加工业	3.45	91.6	3.10
交通运输设备制造业	1.47	90.0	1.11
电气机械及器材制造业	1.61	75.3	1.17
电子及通信设备制造业	1.17	59.0	0.65
仪器仪表文化办公用机械	1.39	11.3	0.89
电力蒸汽热水生产供应业	2.25	97.1	2.07
批发和零售贸易餐饮业	0.70	100.0	0.56
全国 43 部门平均	1.08	91.3	0.84
有货物贸易的 37 部门平均	1.13	87.0	0.86
包括居民能源消费的全国平均	1.22	—	0.98

1.22 吨标煤/万元。引入国产化系数的完全能耗强度,由于扣除进口中间产品,使全国平均水平大约下降了 20%,说明中国加工贸易在对外贸易中起到至关重要的作用,但另一方面,不同部门所受影响不同。对电子及通信设备制造业、仪器仪表及文化办公用机械制造业,由于普遍采用来料加工的贸易方式,影响比较显著。

利用表 2 所示完全能耗强度计算结果及外贸出口统计数据,根据公式(2)计算得到 2002 年我

该数据与通常统计公布的单位 GDP 能源强度水平理论上应该相等,但实际数据略有差异,主要原因是统计误差造成支出法的 GDP 与生产法的 GDP 不完全吻合,以及统计局对公布的能源消费和经济数据常有调整。

国出口货物的内涵能源的总量以及部门和出口流向分布。如表 3 所示,2002 年我国出口内涵能源总量大约为 4.1 亿吨标煤,占当年我国一次能源消费总量的 27.6%,内涵排放出口 2.2 亿吨碳。引入国产化系数,扣除进口中间产品的影响后,出口产品消耗的国内能源也有 3.1 亿吨标煤,占到当年我国一次能源消费总量的 20.7%,出口内涵排放 1.7 亿吨碳。从部门分布看,在出口贸易总额中占前三位的服装及其他纤维制品制造、仪器仪表文化办公用机械、电气机械及器材制造业,分别占 17.4%、13.5%和 11.8%。这三个部门也是出口内涵能源最多的部门,分别占 13.4%、12.3%和 12.5%。引入国产化系数如果扣除进口中间产品的影响,这三个部门所占比例都略有下降为 12.8%、10.6%和 12.1%,说明这三个部门相比其他部门开展加工贸易情况比较普遍。除此之外,某些产业,如化学原料及制品制造业、黑色金属冶炼及压延加工业,尽管在贸易总额中所占比例不高,分别为 3.5%和 1%,但其出口商品是典型的能源密集型产品,在内涵能源中的比例分别为 7.1%和 2.3%,大大高于其贸易额的比例。引入国产化系数的计算结果,该比例进一步提高,分别为 8.0%和 2.8%,说明加工出口能源密集型产品主要消耗国内的原材料,对国内能源和环境影响较大。

表 3 2002 年中国出口货物贸易额及内涵能源的部门分布

	贸易额 (亿美元)	占总量的 比例(%)	出口隐含能源 (万吨标煤)	占总量的 比例(%)	引入国产化系数 的出口隐含能源 (万吨标煤)	占总量的 比例(%)
总量	3262.1	100.00	40958.3	100.00	30660.4	100.00
其中:服装及其他纤维制品制造	568.0	17.41	5493.4	13.41	3921.2	12.79
仪器仪表文化办公用机械	439.4	13.47	5046.6	12.32	3234.0	10.55
电气机械及器材制造业	385.1	11.80	5126.8	12.52	3726.6	12.15
化学原料及制品制造业	115.0	3.53	2920.9	7.13	2446.8	7.98
黑色金属冶炼及压延加工业	33.2	1.02	948.2	2.32	853.5	2.78

如表 4 所示,从出口流向分布看,2002 年中国出口货物的主要贸易伙伴是美国、中国香港地区、日本、韩国、欧盟国家等,前 10 大贸易伙伴占贸易总额的 70%以上,能覆盖大多数部门 60%以上。当然对香港的出口主要不是供本地消费,而是经香港销售到全世界,也包括美国、日本。目前的计算只考虑直接出口流向,未考虑转口贸易的影响。计算表明,对主要伙伴的出口贸易份额与出口内涵能源份额基本接近,2002 年中国对美国的出口占出口总额的 21.5%,占内涵能源出口的 20.6%。表明美国是中国最大的出口市场,也是中国内涵能源出口的最大受益者。如果考虑通过香港等地区的转口贸易因素,其份额还会上升。其次是日本,中国对日本出口占总出口额的 14.88%,占内涵能源出口的 14.1%。中国对欧盟整体的出口量较大,但就单个国家来说所占份额比较小。引入国产化系数后,出口内涵能源的绝对量下降大约 20%,但对各贸易伙伴在总量中所占比例影响不大。

表 4 2002 年中国出口货物贸易额及内涵能源的流向

	贸易额 (亿美元)	占总量的 比例(%)	出口内涵能源 (万吨标煤)	占总量的 比例(%)	引入国产化系数的出口 内涵能源(万吨标煤)	占总量的 比例(%)
美国	700.0	21.49	8455.0	20.64	6190.6	20.19
中国香港	584.7	17.96	7295.1	17.81	5360.4	17.48
日本	484.4	14.88	5784.8	14.12	4350.6	14.19
韩国	155.0	4.76	2034.1	4.97	1597.5	5.21
德国	113.8	3.49	1396.4	3.41	1015.2	3.31
前 10 大贸易伙伴合计	2333.6	71.54	28669.9	70.00	21264.7	69.36
总量	3262.1	100.00	40958.3	100.0	30660.4	100.00

(二) 2002 年中国外贸进口内涵能源分析

进口内涵能源的测算比较复杂。目前,按中国进口贸易额选择了 32 个主要贸易伙伴,利用简化方法对 2002 年中国进口内涵能源的总量及国家来源分布进行了初步测算。

如表 5 所示,32 个主要进口贸易伙伴占 2002 年中国总进口量的 93.4%,其中,日本是最大的进口贸易伙伴,占 18.11%,其次为中国台湾地区,占 12.89%,美国占 8.98%,德国占 5.92%。值得注意的是,中国外贸进口统计中,将中国再进口也列入进口伙伴,约占进口总额的 5.07%。根据公式(4)计算得到从 32 个进口贸易伙伴进口内涵能源合计为 1.57 亿吨标煤,进口内涵排放 0.66 亿吨碳。假设这 32 个贸易伙伴占中国进口内涵能源和内涵排放的比例与其贸易额的比例相同,可以得到 2002 年中国进口内涵能源总量大约为 1.68 亿吨标煤,进口内涵排放 0.70 亿吨碳。

从进口来源分布看,俄罗斯仅占进口贸易额的 2.85%,却占进口内涵能源的 17.6%。主要是因为其单位 GDP 的一次能源消耗远远高于其它国家。其次是中国再进口,占进口内涵能源的 10.9%,也明显高于其 5.1%的贸易份额,表明中国能耗水平显著高于发达国家。而美国、日本、德国等进口内涵能源的份额与进口贸易份额相比,比例有明显下降。

表 5 2002 年中国进口商品内涵能源及主要来源

	2002 年中国进口额 (亿美元)	各国(地区)所占 比例(%)	进口内涵能源 (万吨标煤)	各国(地区)所占 比例(%)
日本	534.7	18.11	891.0	5.31
中国台湾	380.6	12.89	1678.6	10.00
韩国	285.4	9.67	1523.3	9.08
美国	265.2	8.98	930.8	5.55
德国	174.7	5.92	480.7	2.86
中国再进口	149.8	5.07	1821.6	10.85
中国香港	106.7	3.62	205.1	1.22
俄罗斯	84.1	2.85	2958.6	17.63
32 个贸易伙伴合计	2757.9	假设 93.4	15680.6	假设 93.43
总计	2952.0	100.00	16784.4	100.00

这里有一个问题是,简化方法对进口内涵能源测算必然带来一定的误差。为了分析误差的范围,利用 IGES(2005)测算日本 2000 年内涵能源的数据进行了日本案例研究。结果表明,以国家整体能耗强度来看,中国是 1.22 吨标煤/万元,日本是 0.22 吨标煤/万元,中国是日本的 5.5 倍,但就发生贸易的部门,中国是 1.13 吨标煤/万元,日本是 0.6 吨标煤/万元,中国大约是日本的 2 倍。这一结果是可以理解的。中国和日本整体能耗强度的差距主要是因为产业结构不同造成的,单就制造业的技术水平而言,两国存在差距,但没有那么大。简化方法采用国家整体能源强度代替发生货物贸易的部门完全能耗强度的平均水平,对于中国这样的发展中国家不会带来太大的误差,是可行的。但对于日本这样的发达国家则会产生较大的误差。利用 Lenzen(1998)中对澳大利亚 1992/1993 年 45 个部门的测算数据进行分析,也得到类似的结论,但误差介于中、日之间。如果依据日本和澳大利亚的案例研究结果,对中国进口贸易伙伴中部分发达国家的完全能耗强度进行调整,则进口内涵能源量将有所增长,相应净出口内涵能源量会有所下降。

(三) 2002 年中国外贸进出口内涵能源的净值分析

如果采用第一种“替代效应”方法,经测算,2002 年中国出口内涵能源 4.1 亿吨标煤,进口内涵能源 4.4 亿吨标煤,进口大于出口,由此得出“2002 年中国存在 310.1 亿美元的净出口贸易顺差,却是内涵能源的净进口国”的结论,显然偏离中国的实际。详细外贸数据的分析发现,中国某一部门的进口商品往往较国内同行业产品的附加值高出数倍,而生产所消耗能源不可能同比例增长。例

如,中国 2002 年纺织行业进口单位重量的平均价格为 2.5 美元/公斤,而出口平均价格仅为 0.5 美元/公斤,进口平均价格是出口平均价格的 5 倍。类似情况在各部门普遍存在,覆盖进口总额大约 72% 的商品。进口“替代效应”的测算方法,大大高估了中国进口商品的内涵能源,导致中国净进口内涵能源的结论,严重偏离了中国的实际情况。

采用第二种方法从出口国角度看,将引入国产化系数的出口内涵能源作为一个“净值”。根据公式(3)计算得到 2002 年中国扣除进口中间产品而消耗国内原材料加工的出口商品内涵能源总量为 3.1 亿吨标煤,内涵排放为 1.7 亿吨碳。这一结果比较高,原因是没有扣除进口最终消费品。

采用第三种方法,进口和出口内涵能源总量相抵,抵消了进口中间产品的同时也扣除了进口最终消费品。测算结果见表 6,2002 年中国净出口内涵能源 2.4 亿吨标煤,占当年一次能源消费的 16%。内涵排放净出口 1.5 亿吨碳。这一结果支持的结论是:中国是内涵能源和排放的净出口国,中国在存在巨大外贸顺差的同时,却存在巨大的生态逆差。

表 6 2002 年中国进出口内涵能源净值及主要流向

	净出口内涵能源 (万吨标煤)	出口内涵能源 (万吨标煤)	进口内涵能源 (万吨标煤)
总量	24173.9	40958.3	16784.4
其中:美国	7524.2	8455	930.8
中国香港	7090.0	7295.1	205.1
日本	4893.8	5784.8	891.0
荷兰	1094.5	1155.4	60.9
德国	915.7	1396.4	480.7
俄罗斯	-2569.1	389.5	2958.6

从内涵能源净值流向分布看,俄罗斯是中国最大的内涵能源净进口国,净流入约 2569 万吨标煤,而美国是中国最大的内涵能源净出口国,净流出 7524 万吨标煤,占净出口内涵能源总量的 31%。其次是香港,约 7000 万吨标煤,主要用于转口贸易流向世界各地。日本是中国最大的贸易伙伴,中国对日内涵能源净出口大约 4894 万吨标煤。美国和日本二者相加约占总量的 50% 以上。

(四) 中国外贸进出口内涵能源的时间序列分析

2002 年以来,中国货物进出口呈现快速增长的趋势,年均增长速度超过 28%,图 2 为近年来外贸进出口额的增长趋势。

不仅进出口总额增长迅速,还发生一些结构性变化。从出口结构看,如图 3 所示,纺织业、服装及其他纤维制品制造业在出口贸易中的份额持续下降,而仪器仪表、电子通讯设备、电气机械及器材等均呈上升趋势。而以钢铁为代表的黑色金属冶炼及压延加工业则在平稳中有一定波动。贸易额的增长和贸易结构的变化必然导致出口内涵能源的变化。

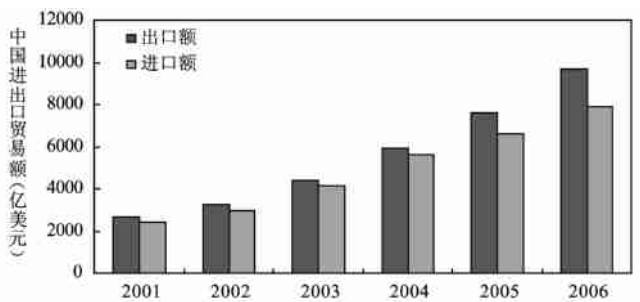


图 2 中国外贸进出口的增长趋势(2001—2006 年)

从进口来源看,日本、韩国、中国台湾、德国和美国是中国进口的主要贸易伙伴。如图 4 所示,日本、美国等所占比例近年来呈明显下降趋势,韩国呈明显上升趋势。值得注意的是,中国再进口的比例从 2001 年的 3.6%,快速上升到 2006 年的 9.3%。这一现象造成出口和进口都有一定程度的虚高。

为了反映中国外贸进出口内涵能源随时间的变化,需要进一步对 2001—2006 年进行时间序列的分析。但投入产出表是每 5 年编制一次,2002 年后没有数据,因此只能假设部门之间投入产出关系基本不变,根据平均能源强度的变化趋势进行一定的修正,同时考虑汇率变动对外贸的影响。

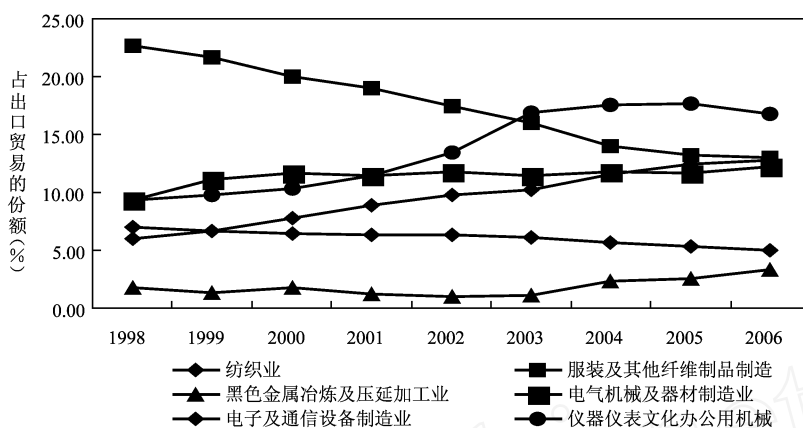


图3 中国外贸出口结构的变化趋势(1998—2006年)

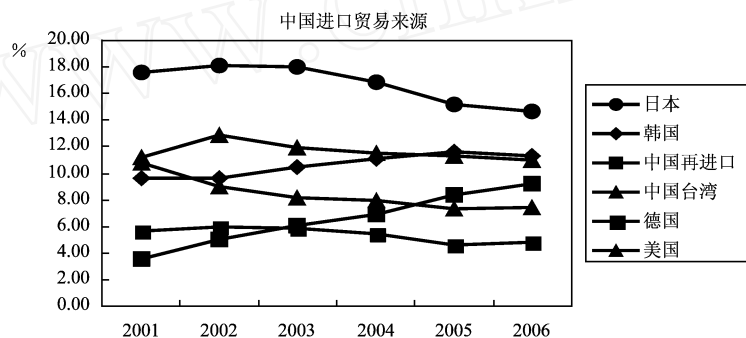


图4 中国进口来源的变化趋势(2001—2006年)

研究表明,2001—2006年间,中国出口贸易额从2491.9亿元,增长到9689.4亿元,增长了2.88倍,出口内涵能源从3.53亿吨标煤增长到11.44亿吨标煤,增长了2.24倍,低于贸易额的幅度。在不考虑产业结构变化的假设下,贸易额的增长是推动内涵能源出口的主要动力,贸易结构的变化、整体能耗强度的降低以及人民币升值,对改善出口内涵能源状况有一定帮助,但作用有限。表现为出口内涵能源在一次能源消费中的比例不断增大,从2000年的25.5%,增长到2006年的46.6%。同期,中国进口贸易额从2436.1亿元,增长到7916.1亿元,增长了2.24倍,进口内涵能源从1.41亿吨标煤增长到5.13亿吨标煤,增长了2.64倍,进口内涵排放从0.58亿吨碳增长到2.19亿吨碳,增长了2.76倍,增长幅度高于贸易额的增长幅度。这是因为随着进口额的增长,进口来源出现多样化的趋势。从日本、美国、德国等发达国家的进口比重不断下降,来自发展中国家的进口比例有所上升。而发展中国家相对发达国家的能源强度较高,能源消耗的碳强度较大。同样,贸易额增长是推动内涵能源进口的主要动力,进口来源的结构变化相对影响较小。

综合来看,如图5所示,内涵能源进出口净值随贸易顺差的扩大呈现增长的趋势,从2001年的2.4亿吨标煤增长到2006年的6.3亿吨标煤。所不同的是,2004—2005年贸易顺差猛增2倍多,出现跳跃式增长,而内涵能源净出口则保持相对稳定的快速增长趋势。这是因为结构性因素的影响是出口结构有所改善但进口结构有所恶化。二者相减,结构性变化的作用被放大,使得出口净值的增长幅度明显减小。

五、结论与讨论

中国外贸进出口内涵能源和内涵排放是当前国际贸易和能源环境研究领域的一个热点问题。

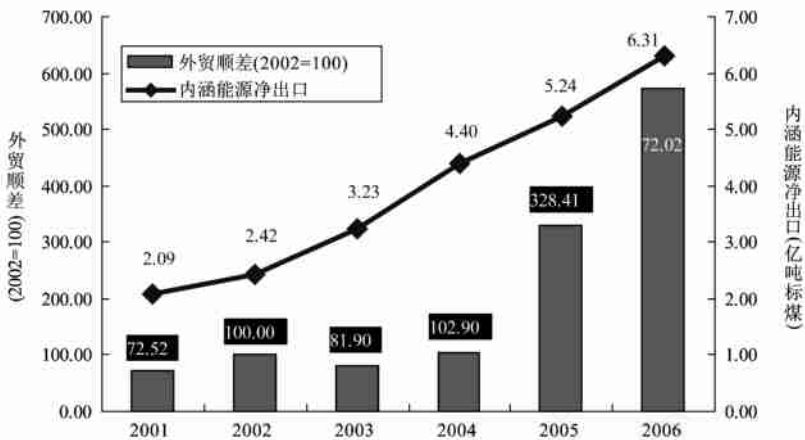


图5 外贸进出口内涵能源净值

外贸进出口产品具有内涵能源并没有任何争议,而且中国作为世界加工厂的地位,大量消费的商品能源伴随产品贸易出口到国外,也是一个不争的事实。目前,学术界讨论较多的是具体的测算方法以及测算结果的政策含义。

1. 误差来源分析

本研究相对现有文献报道,力图在澄清概念的基础上,对测算方法有所创新,使结果更为可靠。但是,应该承认,限于可获得的数据支持,目前的研究和测算仍有不足之处,误差和不确定性主要来源以下几个方面:

首先,由于没有各贸易伙伴国家或地区足够的分部门数据和投入产出关系,采用简化算法测算进口内涵能源会引起一定的误差。尤其对发达国家,由于第三产业在经济结构中的比重很大,加工制造业与国家整体能源强度的偏离较大,引起进口内涵能源的低估和净出口值的高估。但是,发达国家的服务业多独立于制造业,使得制造业能源强度偏高。而我国的情况还带有计划经济的“企业办社会”的遗迹,可能正好相反,这种系统误差可能部分抵消估算误差而非放大。

其次,由于进口内涵能源测算采用国家整体能耗强度替代方法,不能分部门测算,测算结果不能反映各国进口贸易结构的变化。因此,单个国家的测算结果的可靠性下降,但32个主要贸易伙伴的综合测算结果相对可靠。

再次,测算所需能源、经济、贸易、排放等数据较多,不同数据来源之间不完全吻合。中国的能源和经济统计数据都在不断调整之中,最新公布的统计数据2002年的一次能源消费总量和GDP都比以往公布的显著调高,给测算带来一定的误差。

再其次,中国能源密集型产品虽多数用于国内消费,出口内涵能源有可能被高估,但从方法论上讲,中国的基础设施和建筑物中所具有的内涵能源,通过投入产出关系传递到出口产品,因此出口内涵能源的估算仍具有合理性。

最后,基于价值型而不是实物型投入产出表的分析方法自身也有局限性。例如,分部门的测算方法,只能在部门水平上反映部门之间的差异,不能反映部门内部的差异。而实际上,部门内部的差异有时甚至大于部门之间的差异。价值量不能直接反映物理量之间的对应关系。

总之,尽管现有测算方法仍有不完善的地方,为测算结果带来一定的误差,使得进口内涵能源可能偏小,净出口内涵能源结果可能偏大。但这些不能动摇中国是内涵能源和内涵排放净出口国的基本判断。而且,随着外贸顺差的进一步扩大,这一问题将更为突出。就具体数值而言,本文的测算结果与英国Tyndall中心的结果相比,出口和进口内涵排放的绝对值偏大,但净值非常接近。

由于抵消部分系统误差的影响,净值相对进口或出口内涵能源的绝对值也许更为可靠。

2. 政策含义分析

除方法论有待继续完善外,研究中国外贸进出口的内涵能源还有非常丰富和重要的政策含义。首先从国际制度的视角看,测算数据有助于在国际谈判中对中国能源和排放的快速增长做出一定的合理解释。中国净出口内涵能源从 2002 年的 2.4 亿吨标煤增长到 2006 年的 6.3 亿吨标煤,占当年一次能源消费的比例从 16% 上升到 25.7%。无论是绝对值还是增长速度,外贸进出口背后的内涵能源都是非常惊人的,很好地印证了中国在国际贸易中作为“世界加工厂”的独特地位,证明了外贸出口是拉动中国能源和排放快速增长不容忽视的重要因素。那些享受中国制造商品的发达国家消费者同样负有很大责任,散布“中国威胁论”或一味指责中国是不切实际的。

其次,能源环境利益与贸易利益之间存在权衡取舍的关系。此处有一悖论。发达国家从中国进口商品替代本国生产,实际上减少了自身的能源需求和排放,是主要的受益方。2002 年,美日两国就占中国净出口内涵能源的 50%。欧洲学者也指出欧盟消费造成全球的污染,但某些国家对此并不以为然,为了保护本国制造产品的竞争力,欧盟、美国等纷纷将气候变化与贸易挂钩,提出推行国际碳税或边界调节税的设想。可见,在贸易与环境利益出现冲突时,发达国家并不简单地选取环境利益,而是利用环境问题拓展贸易利益。同样,从国内政策的视角看,环境目标与贸易目标也存在一定的矛盾,扩大外贸出口在获得经济利益的同时,不仅对国内能源、资源和环境造成不利影响,而且加剧了国际对中国的减排压力。近年来,受到国际市场价格的吸引,我国出口能源密集型产品发展迅速。以钢铁为例,2006 年全年,钢材出口同比增长 109.1%。2007 年进出口相抵,净出口粗钢 5488.2 万吨。贸易产品出口的内涵能源问题已经引起中国政府的高度重视,这集中体现在 2003 年以来党中央、国务院对“两高一资”产品的一系列宏观调控政策上。中国强化限制高耗能产品出口的外贸政策,在一定程度上给市场一个明确的信号,为了保护环境应该适当牺牲贸易利益,以促进经济和贸易的可持续发展。

从中国长远发展看,为了满足国内能源需求,中国扩大能源进口将不可避免。国际上“中国能源需求引起石油价格上涨”的声音不绝于耳。在直接进口石油、天然气等能源产品的同时,如果能适当扩大进口最终消费品以进口更多的内涵能源,将生产加工的能源消耗和环境影响留在国门之外,不仅可以减少贸易顺差,同时也有利于保护环境。中国与发达国家的技术水平差距是客观存在的,以进口制成品替代本国生产对国家整体而言不仅有助于产业整体的技术进步,还有明显的节能效益。考虑到中国以煤炭为主的能源消费碳强度较高,对减少温室气体排放的效果更大。

最后,从提高公众意识的角度看,揭示商品的内涵能源并结合提高公众意识的宣传教育活动,还有助于改变人们的生活方式,建设节约型社会。因为节能只节约直接能源是远远不够的,节能的概念应该推广到节约内涵能源,因为任何商品,如粮食、纸张、衣服、电器、清洁的水等等,其生产加工过程都要消耗能源。一般而言,产品加工链越长,加工过程越复杂,其内涵能源就越多。倡导可持续的消费方式,每一个人从身边小事做起,避免冲动消费、过度消费、奢侈消费和铺张浪费,都可以为节约能源、保护环境做出自己的贡献。

参考文献

程国栋,2003:《虚拟水——中国水资源安全战略的新思路》,《中国科学院院刊》第 4 期。

李众敏、何帆,2006:《中国能源进口与再出口分析》,中国社会科学院世界经济与政治研究所,9 月 30 日,见 <http://old.iwep.org>。

Bang J. K 等(2008)的测算结果是,2001 年欧盟消费引起的 CO₂ 排放约为 47 亿吨,较生产排放高出 12%,而中国恰恰相反,生产排放高出消费排放 22%,其中 5% 是欧盟消费造成的。

cn/web/20060929/zgnvjkyzckfx.pdf.

- 刘宝勤、封志明、姚治君,2006:《虚拟水研究的理论、方法及其主要进展》,《资源科学》第1期。
- 马涛、陈家康,2005:《中国工业产品国际贸易的污染足迹分析》,《中国环境科学》第4期。
- 牛树海,2004:《虚拟水分析理论和方法》,《华侨大学学报》(自然科学版)第3期。
- 平新乔等,2006:《中国出口贸易中的垂直专门化与中美贸易》,《世界经济》第5期。
- 徐玉高、吴宗鑫,1998:《国际间碳转移:国际贸易与国际投资》,《世界环境》第1期。
- 中国国家统计局,2006:《2002年投入产出表》,中国统计出版社。
- 中国国家统计局,各年:《中国统计年鉴》(2002—2006年),中国统计出版社。
- 中国投入产出学会课题组,2007:《国民经济各部门水资源消耗及用水系数的投入产出分析——2002年投入产出表系列分析报告之五》,《统计研究》第3期。
- 周丽等,2006,《降低能耗须控制隐性能源出口》,《科学时报》11月7日,清华新闻网。
- 郑国伟,2006:《仪器仪表行业加工贸易现状和发展》,《中国仪器仪表》第8期。
- Ackerman, F., Ishikawa M. and Suga M., 2007, "The Carbon Content of Japan-US Trade", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 4455—4462.
- Ahmad, N. and A. Wyckoff, 2003, "Carbon Dioxide Emissions Embodies in International Trade of Goods", OECD STI Working Papers, 2003/15.
- Bang, J. K., Hoff, E. and Peters G., 2008, EU Consumption, Global Pollution, WWF report, available at http://assets.panda.org/downloads/eu_consumption_global_pollution.pdf.
- Bosi, M. and Riey B., 2002, "Greenhouse Gas Implications of International Energy Trade", IEA information paper for COP8, New Delhi.
- Chen B. and Chen G-Q., 2007, "Modified Ecological Footprint Accounting and Analysis Based on Embodied Energy-A Case Study of the Chinese Society 1981—2001", *Ecological Economics*, Vol. 61, pp. 355—376.
- Chung, H-S., 2005, "Balance of CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Can Korean Carbon Tax on Its Imported Fossil Fuels Make Any Difference in BEET?", Paper presented on the economic model conference of 2005, available at http://www.ecomod.net/conferences/ecomod2005/ecomod2005_papers/889.pdf.
- Giovani V. and Schaeffer R., 2002, "Energy Embodies in International Trade: The Case of Brazil", RIO 02 - World Climate & Energy Event, January 6—11.
- Haukland, E., 2004, Trade and Environment: Emissions Intensity of Norway's Imports and Exports, Master thesis, NTNU, Norway.
- IEA (International Energy Agency), 2007, CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion for 2006, available at <http://www.iea.org>.
- IGES (Institute of Global Environment Strategy), 2005, A Database of Energy Embodied in Japan Economy in 2000.
- Kahl, F. and Roland-Holst D., 2007, "Growth and Structural Change in China's Energy Economy", UC Berkeley, Research Paper No. 07082001.
- Lenzen M. and Shauna A., 2001, "A Modified Ecological Footprint Method and Its Application to Australia", *Ecological Economics*, Vol. 37, pp. 229—255.
- Lenzen, M., 1998, "Primary Energy and Greenhouse Gas Embodied in Australian Final Consumption: An Input-Output Analysis", *Energy Policy*, Vol. 26 (6), pp. 495—506.
- Li H., Zhang P-D., He C-Y. and Wang G., 2007, "Evaluating the Effects of Embodied Energy in International Trade on Ecological Footprint in China", *Ecological Economics*, Vol. 62(1), pp. 136—148.
- Limnuechokchai B. and Suksuntornsiri P., 2007, "Embedded Energy and Total Greenhouse Gas Emissions in Final Consumptions within Thailand", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11(2), pp. 259—281.
- Machado G., Schaeffer R. and Worrell E., 2001, "Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: An Input-Output Approach", *Ecological Economics*, Vol. 39(3), pp. 409—424.
- Maenpaa I. and Siikavirta H., 2007, "Greenhouse Gases Embodied in the International Trade and Final Consumption of Finland: An Input-Output Analysis", *Energy Policy*, Vol. 35(1), pp. 128—143.
- Mongelli I., G. Tasselli and B. Notarnicola, 2006, "Global Warming Agreements, International Trade and Energy/Carbon Embodiments: an Input-Output Approach to the Italian Case", *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 88—100.
- Mukhopadhyay, K., 2004, "Impact of Trade on Energy Use and Environment in India: An Input-Output Analysis", Paper submitted to the International Conference "Input-Output and General Equilibrium: Data, Modeling, and Policy Analysis", at the Free University of Brussels in Brussels on September 2—4, 2004. Available at http://www.ecomod.net/conferences/iioa2004/iioa2004_papers/mukhopadhyay.pdf.
- Munskgaard J. and K. A. Pedersen, 2001, "CO₂ Accounts for Open Economies: Producer or Consumer Responsibility", *Energy Policy*, 29

(4) : 327—334.

Muradian, R., O'Connor, M., Martinez-Alier, J., 2002, "Embodied Pollution in Trade: Estimating the 'Environmental Load Displacement' of Industrialized Countries", *Ecological Economics*, Vol. 41, pp. 51—67.

Rhee H.C., Chung, H.S., 2006, "Change in CO₂ Emission and Its Transmissions Between Korea and Japan Using International Input-Output Analysis", *Ecological Economics*, Vol. 58, pp. 788—800.

Sánchez-Chóiz, J. and Duarte, R., 2004, "CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain", *Energy Policy*, Vol. 32 (18), pp. 1999—2005.

Schaeffer, R. and DE SÁ, L., 1996, "The Embodiment of Carbon Associated with Brazilian Imports and Exports", *Energy Conversion and Management*, Vol. 37 (6—8), pp. 955—960.

Shui, B. and Harriss, R. 2006, "The Role of CO₂ Embodiment in US-China Trade", *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 4063—4068.

Shui, B. and Harriss, R., 2006, "Carbon Dioxide Embodiment in North American Trade", *Journal of Energy and Development*, Vol. 31 (1), pp. 101—110.

Straumann, R., 2003, "Exporting Pollution? Calculating the Embodied Emissions in Trade for Norway", *Statistics Norway*, Reports 2003/17.

Tolmasquim, M. T. and Machado, G., 2003, "Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 8, pp. 139—155.

United Nations, United Nations Commodity Trade Statistics Database, available at: <http://comtrade.un.org/db>.

Ward, M., 2005, "Implications for Climate Change Policy of Trends in Exports and Imports of Energy Commodities and Manufactured Goods", *Global Climate Change Consultancy*, Nov., Wellington, New Zealand.

Wiedmann, T. et al., 2007, "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, pp. 15—26.

Wyckoff, A. W. and Roop, M. J., 1994, "The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Products: Implications for International Agreements on Greenhouse gas Emissions", *Energy Policy*, Vol. 22 (3), pp. 187—194.

Energy Embodied in Goods of International Trade in China : Calculation and Policy Implications

Chen Ying, Pan Jiahua and Xie Laihui

(Research Center for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences)

Abstract: In recent years, China's energy demand and Greenhouse gases (GHG) emissions have grown very fast, in which quite an amount of was exported as energy embodied in goods of international trade rather than consumed domestically. In this paper, starting from the concept of embodied energy, energy embodied in goods of international trade in China during 2001—2006 is calculated quantitatively based on Input-Output energy analysis approach. The results show that China is a net exporter of embodied energy through international goods trade although China has become a net importer of oil since 1993. In 2002, the total amount of energy embodied in export was about 410 million tce (tons of coal equivalent). Reducing that in import about 170 million tce, net export of embodied energy was about 240 million tce, which occupied about 16% of primary energy consumption in same year increasing about 150 million tce in China. With rapid growth of international trade, the net export of embodied energy went up to about 630 million tce, 162% higher than that of 2002, assuming no constructive changes of Input-Output relations among sectors. In addition, possible sources of errors in calculation and the policy implications of embodied energy are discussed based on the results.

Key Words: International Trade; Embodied Energy; Input-output Analysis; GHG emissions

JEL Classification: F18, Q43, Q56

(责任编辑:晓 喻)(校对:子 璇)