

贸易差额、污染贸易条件如何影响中国贸易内涵碳“顺差”——基于多国投入产出模型的分析

彭水军 张文城

摘要：本文基于多国投入产出模型测算了1995~2005年中国与32个贸易伙伴的贸易内涵碳差额和污染贸易条件，并对其进行分解。结果表明，研究期间中国是贸易内涵碳“顺差”国，“顺差”在2000~2005年期间出现大幅提高。中国贸易内涵碳“顺差”绝大部分是中国较高的污染贸易条件所致，但贸易顺差的推动作用也在增强。进一步对污染贸易条件的分解发现，中国贸易内涵碳“顺差”主要缘于中国与其他国家（地区）的生产技术差异，但1995~2000年期间中国生产技术呈现出显著的“低碳化”改进，有效改善了污染贸易条件，从而减少了贸易内涵碳“顺差”。此外，期间中国出口商品结构比进口商品结构相对清洁，也小幅降低了贸易内涵碳“顺差”，但2000年以后，中国的生产技术和贸易结构的碳密集度又出现小幅的提高。

关键词：贸易内涵碳差额；污染贸易条件；多国投入产出模型

中图分类号：F276.7

文献标识码：A

文章编号：1006-1894 (2016) 01-0005-13

一、引言

中国既是贸易大国，也是能耗和碳排放大国。对外贸易对中国能耗和碳排放的影响近年来也引起了国内外学者的广泛关注。已有研究揭示的一个“典型事实”是，近年来中国出口商品内涵能源和碳排放高于进口商品的内涵能源和碳排放，即中国存在大规模的贸易内涵能源和碳排放“顺差”（Weber et al, 2008; Pan et al, 2008; 齐晔等，2008; Lin and Sun, 2010; 张友国，2010; 李小平，2010; 张为付，杜运苏，2011; 张文城，彭水军，2014）。例如，根据陈迎等（2008）的测算，2002年中国内涵能源“顺差”达214亿吨标煤，约占当年中国一次能源消费总量的16%。张友国（2010）研究也显示，2007年中国内涵碳“顺差”为19.95亿吨碳，占当年生产部门碳排放的13.98%。大量的贸易内涵能源和碳排放“顺差”意味着中国为外国消耗了大量的能源和碳排放，对外贸易增加了国内的节能减排压力。此外，一些研究还测算了污染贸易条件（Pollution Terms of Trade, PTT），^①如李小平（2010）、彭水军和

作者简介：彭水军，厦门大学国际经济与贸易系教授、博士生导师，厦门大学宏观经济研究中心研究员，研究方向：国际贸易、气候变化、能源与经济发展政策；张文城，南开大学国际经济研究所博士后，研究方向：国际贸易。

基金项目：国家社科基金重大项目（项目编号：13&ZD167）、国家自然科学基金面上项目（项目编号：71373218）、教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目（项目编号：13JZD010）、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（项目编号：12JJD790027）、中央高校基本科研业务费项目（项目编号：2010221047）。

^① 污染贸易条件指标由Antweiler(1996)首次提出，指单位出口的内涵污染量与单位进口内涵污染量的比值，PTT大于1表明出口的商品要比进口的商品更“肮脏”，反之则比较“清洁”。

刘安平(2010)。贸易内涵能耗或内涵污染差额受到贸易差额、进出口国生产技术差异、贸易结构差异3个因素的影响,而污染贸易条件剔除了规模因素(贸易差额)的影响,只反映生产技术和贸易结构的综合作用。李小平(2010)研究显示,1995~2005年期间中国CO₂的污染贸易条件小于1,而彭水军和刘安平(2010)发现1997~2005年期间中国工业SO₂、烟尘、工业粉尘的污染贸易条件也均小于1,因此单位出口内涵污染量小于单位进口内涵污染量。

投入产出分析是上述研究的分析工具,但是已有文献大部分采用中国投入产出数据和环境数据对进口内涵碳排放进行估算,即假设进口产品的生产技术与中国相同。在相关文献中,这被称为国内技术假设(Domestic Technology Assumption, DTA)。^①很多研究指出,由于进口国生产技术往往与出口国技术存在差异,DTA可能造成进口内涵碳排放严重被高估或低估(Lenzen et al, 2004; Peters and Hertwich, 2006; Pan et al, 2008; Andrew et al, 2009)。在DTA下,测算得到的污染贸易条件也只是反映进出口结构的差异,而没有考虑生产技术差异的影响(Antweiler, 1996; Grether and Mathys, 2008)。^②因此,李小平(2010)、彭水军和刘安平(2010)对污染贸易条件的研究结果实际上只是说明,中国出口商品结构相对于进口商品结构要“清洁”。

为了减小DTA带来的偏差,一些研究对数据进行修正,例如齐晔等(2008)把DTA下估计的中国进口内涵碳排放量作为估计“上限值”,而把采用日本的技术估算得到的进口内涵碳排放作为“下限值”。Pan等(2008)、陈迎等(2008)则采用进口国平均的能耗强度或碳排放强度估算进口内涵能耗或碳排放,避免完全采用中国数据。但是,该做法仍假设各个部门能耗或碳排放强度都等于平均值,因此仍可能存在较大的误差。最近,倪红福等(2012)采用中国2002年、2005年和2007年非竞争型投入产出表及OECD的国外投入产出表和GTAP的SO₂排放强度等数据,利用多国投入产出模型方法测算了中国对外贸易中隐含SO₂,从而较好地解决了DTA产生的估计问题。倪红福等(2012)测算结果同样表明:2002~2007年间,中国对外贸易创造了巨大贸易顺差,同时也带来了大量隐含SO₂顺差。但是,与李小平(2010)、彭水军和刘安平(2010)的研究结果不同,由于考虑了技术差异的影响,他们测算得到的污染贸易条件均大于1,表明中国生产技术比贸易伙伴国“肮脏”。

在已有研究的基础上,本文通过采用多国投入产出数据、双边贸易数据和CO₂排放数据,避免国内技术假设,测算了中国与32个主要贸易伙伴国(地区)的进出口内涵碳排放、贸易内涵碳差额和污染贸易条件,并把中国贸易内涵碳差额分解为贸

① 采用DTA可以估算如果中国自己生产进口产品需要多少碳排放,从而通过进口“节约”这些碳排放,例如张友国(2010)、李小平(2010),但这种“模拟”具有一定的局限性。首先,与局部性污染物不同,碳排放不管发生在哪个国家,都同样对气候变化从而对各国福利产生影响,因此中国通过进口实际上并没有真正避免了环境损害。其次,采用DTA,则不同国家估算得到的贸易含碳量就会存在差异,比如中国对美国的出口内涵排放就不同于美国估算的从中国进口的内涵排放,而实际上两者应该一样,这种人为的估算差异不利于相关政策协调。通过避免DTA,采用各国家的实际生产技术,能够从全球的角度更客观地考察中国贸易活动对国内外碳排放的影响。

② Antweiler(1996)利用美国1987年的投入产出模型计算了164个国家1987年的加权污染物的污染贸易条件。但他承认,由于所有国家的生产技术都采用美国的技术,其实证结果只反映贸易结构因素,而没有考虑国家间生产技术差异,因此是有偏的。而Grether和Mathys(2008)通过采用多国投入产出数据和二氧化硫排放数据解决了上述问题。

易差额效应和污染贸易条件效应, 以此分析贸易顺差和较高的污染贸易条件对中国贸易内涵碳“顺差”的贡献。污染贸易条件又受到生产技术和贸易结构的影响, 因此本文进一步对中国的污染贸易条件进行分解, 考察国家技术差异、技术变化以及贸易结构如何决定中国的污染贸易条件, 从而影响中国贸易内涵碳“顺差”。已有的文献大都只是测算了中国贸易内涵碳“顺差”的规模, 而本文进一步分析了形成这种“顺差”的影响因素, 后者对于政府相关部门制定环境、贸易政策来减少中国贸易内涵污染“顺差”, 减轻对外贸易背后的环境负荷转移问题, 具有重要的现实意义。

二、模型与数据

(一) 模型

1. 贸易内涵碳与污染贸易条件的测度 结合投入产出模型, 中国对国家 r 出口中的内涵碳 (Emissions Embodied in Export, EEE) 为:

$$EEE_r = f_c(I - A_c^d)^{-1}e_{cr} = f_c L_c e_{cr} \quad (1)$$

其中, f_c 是中国碳排放强度行向量, 各元素是中国各部门单位产出产生的碳排放。 A_c^d 是剔除进口产品的技术矩阵, $L_c = (I - A_c^d)^{-1}$ 是列昂惕夫逆矩阵, e_{cr} 是中国对国家 r 的出口列向量。

与此相对称, 中国从国家 r 进口中的内涵碳 (Emissions Embodied in Import, EEI) 为:

$$EEI_r = f_r(I - A_r^d)^{-1}e_{rc} = f_r L_r e_{rc} \quad (2)$$

f_r 是国家 r 的排放强度行向量, A_r^d 是国家 r 的技术矩阵, e_{rc} 是中国从国家 r 的进口列向量。

由于进口产品在国外生产, 因此估算 EEI 需要采用国外投入产出数据和碳排放数据。若采用 DTA, 即假设国家 r 的生产技术与中国相同, 则 EEI 为:

$$EEI'_r = f_c L_c e_{rc} \quad (3)$$

如果国家 r 的生产技术与中国差距较大, 国内技术假设会高估或低估 EEI。比如日本的生产技术明显比中国低碳, 则国内技术假设会高估 EEI。

中国与国家 r 的贸易内涵碳差额 (Balance of Emissions Embodied in Trade, BEET) 为:

$$BEET_r = EEE_r - EEI_r \quad (4)$$

$BEET_r > 0$, 表明对于国家 r , 中国是内涵碳“顺差”国, 两国贸易增加了中国碳排放。 $BEET$ 受贸易差额、生产技术和贸易结构的影响, 而污染贸易条件指标则剔除了贸易差额的影响, 反映生产技术和贸易结构对碳排放的综合影响。污染贸易条件是 1 美元出口额的碳排放量与 1 美元进口额的碳排放量之比。中国对国家 r 的污染贸易条件为:

$$PTT_{c-r} = \frac{EEE_r / j'_1 e_{cr}}{EEI_r / j'_1 e_{rc}} \quad (5)$$

其中, $j_i = (1, 1, \dots, 1)'$, 则 $j_i' e_{cr}$ 是中国对国家 r 的总出口, $j_i' e_{rc}$ 是中国从国家 r 的总进口。 EEE_r 、 EEI_r 分别由式 (1) 和式 (2) 得到, 是总的出口内涵排放和总的进口内涵排放。 EX 和 IM 是总出口额和总进口额。 $PTT_{c-r} > 1$ 表示中国出口商品比进口商品更“肮脏” (生产技术和贸易结构的综合影响), 双边贸易不利于中国碳减排; 相反, $PTT_{c-r} < 1$ 则说明中国出口比进口“清洁”。 PTT_{c-r} 越大说明贸易对环境的影响越不利。

同样, 可以计算中国总的污染贸易条件, 即

$$PTT_c = \frac{\sum_r EEE_r / \sum_r j_i' e_{cr}}{\sum_r EEI_r / \sum_r j_i' e_{rc}} \quad (6)$$

2. 贸易内涵碳差额的分解 中国与国家 r 的 BEET 受到两国贸易差额和污染贸易条件的影响, 为了考察两者对 BEET 的贡献, 对 BEET 进行如下分解:

$$\begin{aligned} BEET_r &= F_c j_i' e_{cr} - F_r j_i' e_{rc} \\ &= F_c (j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc}) + \left(\frac{F_c}{F_r} - 1\right) F_r j_i' e_{rc} \\ &= \underbrace{F_c (j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc})}_{BT \text{ effect}} + \underbrace{(PTT_r - 1) F_r j_i' e_{rc}}_{PTT \text{ effect}} \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $F_c = EEE_r / j_i' e_{cr}$ 、 $F_r = EEI_r / j_i' e_{rc}$ 分别表示单位出口和单位进口的内涵碳排放量。式 (7) 把 BEET 分解为两部分, $F_c (j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc})$ 表示中国对国家 r 的贸易差额效应, $(PTT_r - 1) F_r j_i' e_{rc}$ 是中国对国家 r 的污染贸易条件效应。贸易顺差 ($j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc} > 0$) 或者中国出口商品的碳密集度相对较高 ($PTT > 1$) 都可能导致内涵碳“顺差” ($BEET_r > 0$)。

与此类似, BEET 还有另一种分解方式, 即:

$$BEET_r = \underbrace{F_r (j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc})}_{BT \text{ effect}} + \underbrace{(PTT_r - 1) F_r j_i' e_{rc}}_{PTT \text{ effect}} \quad (8)$$

我们取式 (7) 和式 (8) 的平均值来反映两种效应,^① 即:

$$BEET_r = \underbrace{\frac{1}{2} (F_r + F_c) (j_i' e_{cr} - j_i' e_{rc})}_{BT \text{ effect}} + \underbrace{\frac{1}{2} F_r (j_i' e_{rc} + j_i' e_{cr}) (PTT - 1)}_{PTT \text{ effect}} \quad (9)$$

3. 污染贸易条件的分解 污染贸易条件体现中国与贸易伙伴国生产技术差异和贸易结构差异的综合影响。为了分离这些因素的影响, 我们采用 Antweiler(1996)、Grether 和 Mathys(2008) 的方法, 对污染贸易条件进行 (乘法) 分解,^② 分解为中国与其他国家基期技术差异、相对基期技术变化以及贸易结构差异的影响, 即:

$$PTT_{c,t} = \varphi_{c,t} \sigma_{c,t} \nu_{c,t} \quad (10)$$

① 采用两种分解方式得到的效应的平均值来估算各效应的贡献在投入产出—结构分解分析文献中经常被采用, 例如 Munksgaard 等 (2000)、Jacobsen (2000)。

② Antweiler (1996) 把污染贸易条件分解为技术差异效应和贸易结构效应, 但由于缺乏多国投入产出和污染数据, 并没有用于经验分析。Grether 和 Mathys (2008) 将其分解拓展为包含技术变化的影响, 并用于实证研究。

$$\varphi_{c,t} = \left(\frac{f_{0,t} L_{0,t} \sum_r e_{cr,t}}{\sum_r j'_t e_{cr,t}} \right) / \left(\frac{f_{0,t} L_{0,t} \sum_r e_{rc,t}}{\sum_r j'_t e_{rc,t}} \right) \quad (11)$$

$$\sigma_{c,t} = \left(\frac{f_{c,t} L_{c,t} \sum_r e_{cr,t}}{f_{0,t} L_{0,t} \sum_r e_{cr,t}} \right) / \left(\frac{\sum_r f_{r,t} L_{r,t} e_{rc,t}}{f_{0,t} L_{0,t} \sum_r e_{rc,t}} \right) \quad (12)$$

$$\nu_{c,t} = \left(\frac{f_{c,t} L_{c,t} \sum_r e_{cr,t}}{f_{0,t} L_{0,t} \sum_r e_{cr,t}} \right) / \left(\frac{\sum_r f_{r,t} L_{r,t} e_{rc,t}}{\sum_r f_{r,t} L_{r,t} e_{rc,t}} \right) \quad (13)$$

其中 t 表示年份, t 表示基期 (本文以 1995 年为基期)。下标 c 表示中国, o 表示参照国, 即 f_0 、 L_0 是参照国的排放强度和列昂惕夫逆矩阵, 与 Antweiler(1996) 一样, 我们采用美国作为参照国。 φ_c 是贸易结构的影响, $\varphi_c > 1$ 说明中国出口商品结构比进口商品结构“肮脏”, 反之则比进口商品结构“清洁”。 σ_c 是基期技术差异的影响, $\sigma_c > 1$ 说明在基期中国商品生产技术比进口商品生产技术“肮脏”, 反之则相对“清洁”。 ν_c 表示相对于基期技术变化的影响, $\nu_c > 1$ 说明技术变化恶化了污染贸易条件, 即生产技术有“高碳化”趋势, 反之生产技术出现低碳化的转变。从式 (9) 可以看出, PTT 越大, 贸易内涵碳“顺差”越大, 而式 (10) 对 PTT 的分解可以看出是哪些因素进一步导致了较大的 PTT。

(二) 数据

本文主要数据来自 OECD 统计数据库。该数据的优点是各类数据的部门分类体系比较统一, 数据可比度较高。包括中国在内的 33 个国家和地区^①的 (进口) 非竞争型投入产出表来自最新版本 OECD 投入产出数据库, 大部分国家 (地区) 投入产出表的年份为 1995 年、2000 年和 2005 年。与 Nakano 等 (2009) 的做法一样, 对于个别缺乏这 3 年投入产出数据的国家, 本文用这些国家相近年份的数据代替。^②但由于贸易数据均是 1995 年、2000 年和 2005 年的数据, 为了保持价格一致, 我们用这些国家的 CPI 把投入产出表中的产出转化为 1995 年、2000 年和 2005 年的价格, 再用投入产出表的对应年份的 CO₂ 排放数据来计算各部门碳排放强度。以上处理方法相当于假设替代年份之间的各部门生产技术和产出结构保持不变。投入产出表的货币单位为各国货币单位, 我们用年平均汇率统一转化为美元。OECD 国家的汇率和 CPI 数据来自 OECD 网站, 其他国家数据来自联合国网站。分部门 CO₂ 排放数据来自 OECD iLibrary 数据库, 共有 18 个部门。商品的双边贸易数据来自 OECD 双边贸易数据库 (OECD Stan Bilateral Trade Database, 2008 年版)。由于没有建筑业和服务业双边贸易数据, 本文只分析商品贸易内涵碳问题。为了与 CO₂ 排放数据和贸易数据对应, 本文根据 Nakano 等 (2009) 提供的部门对应表, 把投入产出表归并为 16 个经济部门^③。

① 其中 26 个 OECD 国家包括澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、爱尔兰、意大利、日本、韩国、卢森堡、荷兰、挪威、新西兰、波兰、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞典、土耳其、英国、美国。非 OECD 国家 (地区) 包括中国、巴西、印度尼西亚、印度、俄罗斯、南非、中国台湾。

② 爱沙尼亚 1995 年投入产出数据用该国 1997 年数据替代, 匈牙利该年数据用 1998 年数据替代, 韩国该年数据用 2000 年数据替代。新西兰 2000 年、2005 年投入产出数据用该国 2003 年数据替代。土耳其 1995 年、2000 年、2005 年投入产出数据分别用该国 1996 年、1998 年、2002 年数据替代。印度 1995 年、2000 年、2005 年投入产出数据用该国 1994 年、1999 年、2004 年数据替代。中国台湾 1995 年、2000 年、2005 年投入产出数据用 1996 年、2001 年、2006 年数据替代。

③ 这些部门是“农、林、渔业”、“采矿和炼油”、“食品、饮料和烟草”、“纺织、皮革产品”、“林木制品”、“造纸和印刷”、“化工产品”、“非金属矿物产品”、“基本金属”、“金属制品和机械设备”、“运输设备”、“橡胶、塑料制品和其他制成品”、“电力、热力生产供应业”、“建筑业”、“运输及仓储业”、“其他服务业”。

三、结果分析

（一）总量分析

表1报告了1995年、2000年和2005年中国总的进出口内涵碳^①、贸易内涵碳差额以及污染贸易条件的测算结果。如表1所示,1995年中国与32个国家(地区)的商品贸易还处于逆差状态,但到2000年已经转为贸易顺差,5年后贸易顺差额又大幅扩大。但不管是贸易逆差还是贸易顺差,研究期间中国各年出口内涵碳均高于进口内涵碳,即存在贸易内涵碳“顺差”,这意味着对外贸易增加了中国国内的碳排放。从总体趋势上看,研究期间中国贸易内涵碳“顺差”出现大幅上升,由269.47Mt增加至769.96Mt,增长了185.7%。但从分阶段来看,贸易内涵碳“顺差”在1995~2000年期间实际上有小幅缩小,“顺差”扩大发生在2000~2005年期间,直接原因是该期间中国出口内涵碳出现大幅增长(由366.26Mt增加至920.34Mt)。贸易内涵碳差额受到贸易差额的影响,而污染贸易条件指标则剔除了贸易差额的影响。从表1可以看出,中国单位出口的内涵碳排放量远高于单位进口的内涵碳排放量。1995年、2000年和2005年中国污染贸易条件分别为8.77、4.78和5.57,均高于1,表明中国出口商品的碳密集度比进口商品高。但从变化趋势上看,中国污染贸易条件在1995~2000年期间有较大的改善,说明该期间中国生产技术和出口结构的变化总体上降低了贸易对中国碳排放的不利影响,但在2000~2005年期间中国污染贸易条件又有所恶化。

表1还给出了DTA下中国进口内涵碳、贸易内涵碳差额以及污染贸易条件的估计值。可以看出,由于中国生产技术的碳密集度相对较高,DTA下中国各年的进口内涵碳被严重高估,其中2005年DTA下的进口内涵碳是实际进口内涵碳的6倍。进口内涵碳的高估自然导致贸易内涵碳差额的严重低估,2000年甚至由实际的贸易内涵碳“顺差”变为“逆差”。此外,在DTA下,与彭水军和刘安平(2010)、李小平(2010)的估计结果一样,此时中国污染贸易条件均小于1,污染贸易条件只受到进出口贸易结构差异的影响。由于中国是劳动力充裕国家,劳动密集型产品的出口比重高,而劳动密集型产品的碳强度相对较低,相反,中国32个贸易伙伴中大多数是资本相对充裕的发达国家(地区),这意味着中国出口结构总体上比进口结构“清洁”,使得污染贸易条件小于1。但是,DTA下的污染贸易条件未包含中国与贸易伙伴生产技术差异的影响,一旦考虑技术差异因素,则污染贸易条件就显著大于1。

为了考察贸易差额和污染贸易条件对中国内涵碳差额的影响,我们基于式(7)对内涵碳差额进行分解。污染贸易条件又受到生产技术、贸易结构的影响,我们根据式(8)进一步将污染贸易条件进行(乘法)分解,表2报告了分解的主要结果。如表2所示,中国贸易内涵碳“顺差”绝大部分是由于中国污染贸易条件效应(污染贸易条件大于1)所致,但贸易差额的影响也在增强。以2005年为例,2005年

^① 本文的碳排放以百万吨(Mt)CO₂来衡量。

93.66% 的内涵碳“顺差”来自污染贸易条件效应，贸易顺差解释了剩下的 6.34%。污染贸易条件的分解结果进一步显示，导致污染贸易条件大于 1 的主要原因是中国与贸易伙伴在基期（1995 年）的生产技术差异，但 2000 年和 2005 年相对于基期的技术变化则有效降低了污染贸易条件，表明中国近年来出现了“低碳化”的技术改进，这种技术变化有利于减轻贸易对碳排放的不利影响。此外，贸易结构差异效应也小幅降低了中国污染贸易条件，再次表明中国出口结构相对进口要“清洁”。从变化趋势看，生产技术的低碳化主要发生在 1995~2000 年期间，技术变化效应的值由 1 下降为 0.56，但 2005 年技术变化效应又小幅增加至 0.64，表明 2005 年生产技术的碳密集度相对于 2000 年又有所提高。同样，贸易结构效应对污染贸易条件的抑制效应在 2000 年以后也有小幅减弱，^①说明近年来贸易结构的碳密集度也在增加，这可能是中国资本密集型产品出口比重提高所致。以上分解结果也说明，2000 年中国贸易内涵碳排放“顺差”比 1995 年有所减少（见表 1）缘于污染贸易条件的改善，后者又来自生产技术和贸易结构的（相对于进口）“低碳化”变化。而 2005 年贸易内涵碳排放“顺差”的扩大除了因为贸易顺差的扩大，更重要的是污染贸易条件的恶化，这又是因为 2000 年以后生产技术和贸易结构的（相对于进口）“高碳化”引起的。

表 1 1995~2005 年中国贸易内涵碳差额 (Mt CO₂) 及污染贸易条件的测算结果

	1995 年	2000 年	2005 年
出口总额 (亿美元)	921.28	1,703.41	5,084.8
进口总额 (亿美元)	1,033.82	1,653.22	4,627.17
贸易差额	-112.54	50.19	457.63
出口内涵碳排放量 (Mt)	339.96	366.26	920.34
进口内涵碳排放量 (Mt)	43.5	74.36	150.38
DTA 下的进口内涵碳排放量 (Mt)	439.34	423.48	903.78
贸易内涵碳差额	296.47	291.9	769.96
DTA 下的贸易内涵碳差额	-99.38	-57.22	16.56
单位出口内涵碳排放量 (万吨 / 亿美元)	36.9	21.5	18.1
单位进口内涵碳排放量 (万吨 / 亿美元)	4.21	4.5	3.25
污染贸易条件	8.77	4.78	5.57
DTA 下的污染贸易条件	0.87	0.84	0.93

表 2 1995~2005 年中国贸易内涵碳差额总量和综合污染贸易条件的分解结果

年份	贸易内涵碳差额的分解 (Mt)				污染贸易条件的分解		
	贸易差额效应	比重 (%)	污染贸易条件效应	比重 (%)	基期技术差异效应	技术变化差异效应	贸易结构差异效应
1995	-23.13	-7.8	319.6	107.8	8.9	1	0.99
2000	6.53	2.24	285.37	97.76	9.54	0.56	0.89
2005	48.85	6.34	721.11	93.66	9.71	0.64	0.9

注：贸易内涵碳差额 = 贸易差额效应 + 污染贸易条件效应；污染贸易条件 = 基期技术差异效应 × 技术变化效应 × 贸易结构差异效应。

① 表 1 中 DTA 下的污染贸易条件值（只反映贸易结构差异效应）的变化更明显地显示了这一点。

(二) 部门分析

从分部门来看,中国贸易内涵碳“顺差”集中在“金属制品和机械设备”、“纺织、皮革产品”、“橡胶、塑料制品和其他制成品”、“基本金属”和“非金属矿物产品”5个部门(表3)。2005年,这5个部门贸易内涵碳“顺差”分别占顺差总量的47.59%、13.43%、12.77%、7.48%和7.03%,这些部门也是研究期间贸易内涵碳“顺差”大幅增加的部门。另外,“运输设备业”贸易内涵碳“顺差”虽然较小,但增长迅速。从贸易内涵碳“顺差”的分解结果来看,多数部门的“顺差”也主要来自污染贸易条件效应,其中“金属制品和机械设备”、“化工产品”两个部门尤其明显。但是在2000年以后,“纺织、皮革产品”的贸易内涵碳“顺差”主要来自贸易顺差,而2005年“农、林、渔业”的贸易内涵碳“逆差”也是由该部门的贸易逆差所致。

部门层面的污染贸易条件不包含贸易结构因素,而只受到国内外各部门的生产技术差异的影响。表4是对部门污染贸易条件进一步分解的结果。可以看出,中国各部门污染贸易条件大于1主要是由于中国与其他国家在基期生产技术上的差异,而各部门技术变化则有效降低了污染贸易条件。其中,相对于基期,生产技术“低碳化”比较显著的部门是“林木制品”、“纺织、皮革产品”、“造纸和印刷”和“化工产品”。但相对于2000年,2005年很多部门的生产技术又出现“高碳化”趋势,其中“采矿和炼油”、“非金属矿物产品”、“橡胶、塑料制品和其他制成品”、“基本金属”的高碳化现象比较明显。相反,“农、林、渔业”、“食品、饮料和烟草”、“造纸和印刷”、“化工产品”和“金属制品和机械设备”这几个部门的生产技术进一步低碳化,但幅度也减小。这些分解结果表明,生产技术的进一步“低碳化”是未来降低中国贸易内涵碳“顺差”的重要途径,尤其是要进一步促进5个贸易内涵碳“顺差”主要来源部门的生产技术的改进。

表3 1995~2005年中国分部门贸易内涵碳差额及其分解结果(Mt CO₂)

部门	贸易内涵碳差额			贸易差额效应			污染贸易条件效应		
	1995年	2000年	2005年	1995年	2000年	2005年	1995年	2000年	2005年
农、林、渔业	0.96	1.45	-1.05	-2.5	-1.21	-4.53	3.46	2.66	3.48
采矿和炼油	15.25	7.95	17.14	3.34	-1.79	-18.48	11.91	9.75	35.62
食品、饮料和烟草	11.59	9.08	11.71	3.22	3.79	4.82	8.37	5.3	6.89
纺织、皮革产品	66.29	50.97	103.37	26.92	28.79	61.9	39.38	22.18	41.47
林木制品	7.09	3.89	8.67	2.31	1.05	4.39	4.78	2.84	4.27
造纸和印刷	0.48	-1.1	1.91	-5.6	-6.98	-4.57	6.09	5.88	6.48
化工产品	26.41	10.57	24.99	-27.75	-35	-48.53	54.16	45.57	73.52
非金属矿物产品	14.18	16.5	54.11	4.97	5.42	21.02	9.21	11.08	33.09
基本金属	34.76	16.17	57.63	-11.16	-23.85	-35.48	45.91	40.02	93.11
金属制品和机械设备	78.08	119.68	366.43	-49.32	-15.73	25.85	127.4	135.41	340.58
运输设备	4.7	10.34	26.75	-6.24	-1.13	-3.44	10.94	11.47	30.19
橡胶、塑料制品和其他制成品	36.67	46.39	98.29	10.48	17.83	11.36	26.2	28.56	86.92

表 4 1995~2005 年中国分部门污染贸易条件及其分解结果

部门	污染贸易条件			基期技术差异效应			技术变化差异效应		
	1995 年	2000 年	2005 年	1995 年	2000 年	2005 年	1995 年	2000 年	2005 年
农、林、渔业	2.68	2.46	2.02	2.68	2.91	2.92	1	0.84	0.69
采矿和炼油	10.55	5.56	7.23	10.55	9.85	8.27	1	0.56	0.87
食品、饮料和烟草	5.45	3.17	2.95	5.45	5.32	5.58	1	0.6	0.53
纺织、皮革产品	5.62	2.52	2.98	5.62	5.77	6.18	1	0.44	0.48
林木制品	11.81	4.55	4.02	11.81	12.4	10.76	1	0.37	0.37
造纸和印刷	8.13	4	3.81	8.13	8.14	8.89	1	0.49	0.43
化工产品	9.2	4.93	4.67	9.2	9.58	9.53	1	0.51	0.49
非金属矿物产品	7.18	5.25	6.93	7.18	7.49	7.19	1	0.7	0.96
基本金属	8.41	4.83	5.61	8.41	7.51	6.68	1	0.64	0.84
金属制品和机械设备	16.76	9.52	8.19	16.76	16.07	15.71	1	0.59	0.52
运输设备	13.23	8.49	8.59	13.23	12.87	11.8	1	0.66	0.73
橡胶、塑料制品和其他制成品	8.33	4.43	4.96	8.33	7.87	6.31	1	0.56	0.79

（三）国别分析

为了更深入考察中国贸易内涵碳“顺差”的影响因素，表 5 进一步报告了中国与主要贸易伙伴的双边贸易内涵碳差额、污染贸易条件及其分解结果。为了节省篇幅，表 5 只报告了双边贸易内涵碳差额排在 20 位的贸易伙伴国的实证结果。中国与这 20 个国家总的贸易内涵碳差额占贸易内涵碳差额总量^①的 95% 左右。可以看出，中国贸易内涵碳“顺差”主要来自美国、日本以及欧盟成员国等发达经济体，但中国对韩国、印度、印度尼西亚等新兴经济体也存在较大的贸易内涵碳“顺差”。2005 年，中国对美国、日本及 10 个欧盟成员国的贸易内涵碳差额分别为 274.28Mt、117.36Mt 和 221.42Mt，占比分别为 35.6%、15.2% 和 28.7%。中国对 6 个新兴经济体的贸易内涵碳差额为 84.16Mt，占比 10.9%，其中对俄罗斯存在 7.97Mt 的贸易内涵碳“逆差”。双边贸易内涵碳差额的分解结果显示，贸易顺差部分解释了中国与美国、10 个欧盟成员国之间的贸易内涵碳“顺差”，其中对中美、中荷、中英贸易内涵碳“顺差”有重要贡献。但相比之下，污染贸易条件效应仍然是双边贸易内涵碳“顺差”的主要原因。事实上，贸易逆差减少了中国与日本、澳大利亚、韩国的贸易内涵碳差额，但污染贸易条件效应完全抵消了贸易差额效应，导致中国与这几个国家仍存在贸易内涵碳“顺差”。此外，中国与俄罗斯的贸易内涵碳“逆差”则同时来自中国对俄罗斯的贸易逆差和中国较低的污染贸易条件。

表 6 给出了对双边污染贸易条件进一步分解的结果。可以看出，基期生产技术

① 这里“贸易内涵碳差额总量”是指中国与 32 个贸易伙伴的贸易内涵碳差额总量。

差异效应仍是中国与大部分发达经济体的污染贸易条件大于1的主要原因，对中国与日本、欧盟成员国以及印度、印度尼西亚、巴西等国家的污染贸易条件的影响尤其显著。相反，生产技术变化效应有效降低了中国与大部分国家的污染贸易条件，但从趋势上看，生产技术变化效应对双边污染贸易条件的抑制作用在1995~2000年期间普遍强于2000~2005年期间，后一阶段的生产技术变化效应甚至增加了中国与俄罗斯的污染贸易条件。此外，2000年以后，贸易结构差异效应普遍降低了中国与贸易伙伴国的污染贸易条件，但相比于2000年，2005年贸易结构差异效应对中国与日本、爱尔兰、韩国、印度尼西亚、土耳其、俄罗斯的污染贸易条件的抑制效应有所减弱。

表5 1995~2005年中国与20个贸易伙伴国的贸易内涵碳差额及其分解结果（Mt CO₂）

国家名称	贸易内涵碳差额			贸易差额效应			污染贸易条件效应		
	1995年	2000年	2005年	1995年	2000年	2005年	1995年	2000年	2005年
美国	79.58	104.57	274.28	19.22	40.98	125.45	60.36	63.59	148.83
日本	94.04	72.44	117.36	-1.84	-0.53	-20.34	95.88	72.97	137.7
加拿大	4.01	5.18	18.76	-2.33	-0.75	4.84	6.34	5.93	13.92
澳大利亚	3.12	3.31	12.83	-2.08	-1.51	-4.92	5.2	4.83	17.74
欧盟成员国									
德国	19.3	18.36	52	-4.69	-1.32	1.05	24	19.68	50.95
荷兰	14.54	16.34	47.95	5.76	7.69	23.65	8.78	8.66	24.3
英国	10.18	13.35	33.13	1.77	3.26	13.48	8.4	10.09	19.64
意大利	7.08	7.55	20.31	-2.14	0.91	4.96	9.22	6.63	15.36
法国	6.24	7.21	19.06	-1.5	-0.24	2.31	7.74	7.45	16.75
比利时	3.83	4.88	17.43	-0.18	1.31	6.24	4.01	3.58	11.18
西班牙	3.64	4.61	15.27	0.28	2.08	7.13	3.37	2.53	8.14
芬兰	0.43	1.32	5.84	-0.83	-1.85	0.96	1.27	3.17	4.89
爱尔兰	0.42	0.72	5.72	0.11	-0.05	1.67	0.3	0.77	4.04
丹麦	1.06	1.52	4.72	-0.02	0.2	1.4	1.08	1.32	3.32
新兴经济体									
韩国	23.16	14.54	49.71	-9.23	-17.08	-63.08	32.39	31.62	112.79
印度	3.26	3.4	16.61	0.88	0.29	-0.79	2.38	3.11	17.4
印度尼西亚	5.8	4.2	13.1	-1.47	-1.92	0.13	7.27	6.12	12.97
土耳其	1.29	2.43	7.99	0.76	1.25	4.47	0.53	1.18	3.51
俄罗斯	-13.32	-21.69	-7.97	-6.99	-9.67	-4.04	-6.33	-12.02	-3.93
巴西	2.27	2.24	4.72	-0.9	-0.48	-5.55	3.17	2.72	10.28

注：表中20个国家是2005年与中国贸易内涵碳差额（绝对值）排在前20位的国家。

表 6 1995~2005 年中国对 20 个贸易伙伴国的污染贸易条件的分解结果

国家	基期技术差异效应			技术变化差异效应			贸易结构差异效应		
	1995 年	2000 年	2005 年	1995 年	2000 年	2005 年	1995 年	2000 年	2005 年
美国	6	6.45	6.78	1	0.74	0.76	0.91	0.93	0.89
日本	13.52	14.31	15.43	1	0.53	0.39	0.99	0.93	0.94
加拿大	6.82	7.6	7.92	1	0.67	0.73	0.93	0.92	0.8
澳大利亚	4.34	4.4	5.34	1	0.73	0.96	0.78	0.73	0.7
欧盟成员国									
德国	15.67	17.47	17.95	1	0.51	0.66	1.07	0.95	0.9
荷兰	18.74	19.64	22.03	1	0.47	0.52	1.21	0.9	0.88
英国	12.8	14.7	13.14	1	0.71	0.78	0.97	0.91	0.86
意大利	12.11	13.21	13.81	1	0.51	0.67	1.17	1.09	0.97
法国	22.18	24.29	25.21	1	0.53	0.64	1.02	0.93	0.9
比利时	15.54	19.16	18.99	1	0.52	0.74	0.98	0.77	0.73
西班牙	9.03	9.98	10.5	1	0.57	0.74	1.02	0.90	0.84
芬兰	12.23	16.76	14.76	1	0.55	0.76	1.11	0.99	0.8
爱尔兰	33.15	40.98	47.83	1	0.52	0.6	0.98	0.86	0.91
丹麦	18.1	18.92	21.52	1	0.58	0.86	1.04	1.03	0.98
新兴经济体									
韩国	6.17	6.7	6.44	1	0.72	0.94	1.12	0.93	1.16
印度	15	14.04	17.45	1	0.69	0.86	0.96	0.93	0.81
印度尼西亚	11.57	10.14	10.34	1	0.36	0.4	1.11	0.95	1
土耳其	3.7	4.33	5.62	1	2.48	1.01	0.59	0.62	0.69
俄罗斯	0.89	0.99	1.23	1	0.56	1.02	0.6	0.61	0.68
巴西	10.51	13.39	13.66	1	0.46	0.39	0.79	0.85	0.8

四、结论及政策含义

本文基于 OECD 提供的多个国家的投入产出数据、双边贸易数据和碳排放数据, 测算了 1995~2005 年中国与 32 个主要贸易伙伴的贸易内涵碳差额和污染贸易条件, 并对其进行分解。研究表明, 研究期间中国是贸易内涵碳“顺差”国, 且“顺差”在 2000~2005 年期间出现大幅提高。中国的贸易内涵碳“顺差”绝大部分来自美国、日本以及欧盟成员国等发达国家, 对一些新兴经济体的“顺差”也在扩大。对贸易内涵碳“顺差”的分解表明, “顺差”绝大部分是中国较高的污染贸易条件所致, 但贸易顺差的推动作用也在增强。对污染贸易条件的分解进一步发现, 中国贸易内涵碳“顺差”主要来自中国与其他国家(地区)的生产技术差异, 但是 1995~2000 年期间中国生产技术呈现出显著的“低碳化”改进, 有效改善了污染贸易条件, 从而

减少了中国贸易内涵碳“顺差”。此外,该期间中国出口结构比进口结构相对清洁,也小幅降低了贸易内涵碳“顺差”。但2000年以后,生产技术和贸易结构的碳密集度又出现小幅的提高。

贸易内涵碳“顺差”意味着对外贸易加剧了中国能源供需矛盾,增加了中国节能减排压力。为了减少这种“顺差”,需要进一步改善中国的污染贸易条件。为了实现这一点,中国应该进一步推动国内生产技术的低碳化,包括提高低碳能源的使用比重,通过加速产业结构调整减轻生产过程对能源密集型产品的依赖性。本文研究显示,生产技术向发达国家靠拢是改善中国污染贸易条件、减少贸易内涵碳“顺差”的最有效手段。此外,进一步优化贸易结构,增加低碳产品的出口,进一步限制“两高一低”产品的出口也有助于改善污染贸易条件,缩小贸易内涵碳“顺差”。此外,贸易顺差近年来对贸易内涵碳“顺差”的推动作用也在增强,但是贸易差额受到当前国际分工格局、金融环境等国内外诸多因素的影响,贸易顺差在短期内往往较难改变。不过,中国扩大内需政策的推进和进口需求的扩大都有助于减轻贸易差额的影响。

与中国相反,美国、日本以及欧盟主要成员国等发达国家通过贸易不但满足了国内日益膨胀的消费需求,而且向中国转移了大量的资源环境负荷。实际上,贸易背后的碳排放国际转移问题已是普遍现象,大部分发达经济体都处于贸易内涵碳“逆差”,而印度、俄罗斯、印度尼西亚等发展中国家则与中国类似,为贸易内涵碳“顺差”国(Peters and Hertwich, 2008; Davis and Caldeira, 2010; 张文城和彭水军, 2014)。很多发达国家也是《京都议定书》中承诺量化减排目标的附件I列明的国家,如果这些国家通过贸易把碳排放转移到中国等没有减排约束的非附件I列明的国家,则其减排的有效性就值得怀疑。事实上,发达国家应该为中国的部分碳排放负责。但是,当前由《京都议定书》所确立的减排模式(简称“京都模式”)在核算一个国家(地区)温室气体年排放量和减排量时采用的是“领地责任原则”(territorial responsibility principle),即各国(地区)只需要为其政治边界(political boundary)内发生的排放负责,并没有考虑贸易背后的碳排放区位转移效应(即贸易的内涵排放)。因此,在后京都国际气候制度谈判过程中,中国等经济外向型特征明显的发展中国家应该强调贸易对各国碳排放及其责任的影响,积极推进更加公平、合理的国家碳排放核算体系和国际碳减排责任分配机制的改革和完善。

参考文献:

- [1] 陈迎,潘家华,谢来辉. 中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义[J]. 经济研究, 2008,(7).
- [2] 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,(5).
- [3] 倪红福,李善同,何建武. 对外贸易隐含SO₂测算及影响因素的结构分解分析[J]. 统计研究, 2012,(7).
- [4] 彭水军,刘安平. 中国对外贸易的环境影响效应——基于环境投入产出模型的经验研究[J]. 世界经济, 2010,(5).
- [5] 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,(3).
- [6] 张为付,杜运苏. 中国对外贸易中隐含碳排放失衡度研究[J]. 中国工业经济, 2011,(4).
- [7] 张文城,彭水军. 南北国家的消费侧与生产侧资源环境负荷比较分析[J]. 世界经济, 2014,(8).

- [8] 张友国. 中国贸易含碳量及其影响因素——基于（进口）非竞争型投入产出表的分析[J]. 经济学（季刊），2010,9(4).
- [9] Andrew, R., Peters, G. P., Lennox, J. Approximation and Regional Aggregation in Multi-Regional Input-Output Analysis for National Carbon Footprint Accounting, *Economic Systems Research*, 2009, 21(3).
- [10] Antweiler, W. Pollution Terms of Trade. *Economics Systems Research*, 1996, 8(4).
- [11] Davis, S. J., Caldeira, K. Consumption-Based Accounting of CO₂ Emissions. *PNAS*, 2010, 107.
- [12] Grether, J.M. and Mathys, N.A. Measuring the Pollution Terms of Trade with Technique Effects. working paper, January 20, 2008.
- [13] Guo, J., Zou, L., Wei, Y. Impact of Inter-Sectoral Trade on National and Global CO₂ Emissions: An Empirical Analysis of China and US. *Energy Policy*, 2010, 38.
- [14] Jacobsen, H. K. Energy Demand, Structural Change and Trade: A Decomposition Analysis of the Danish Manufacturing Industry. *Economics Systems Research*, 2000, 12 (3).
- [15] Lenzen, M., Pade, L. L., Munksgaard, J. CO₂ Multipliers in Multi-Region Input-Output Models. *Economic Systems Research*, 2004, 16.
- [16] Lin, B. Q., Sun, C. W. Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China. *Energy Policy*, 2010, 38.
- [17] Liu, X. B., Ishikawa, M., Wang, C. Dong, Y. L., Liu Wenling. Analyses of CO₂ Emissions Embodied in Japan-China Trade. *Energy Policy*, 2010, 38.
- [18] Munksgaard, J., Pedersen, K. A., Wien, M. Impact of Household Consumption on CO₂ Emissions. *Energy Economics*, 2000, 22.
- [19] Nakano, S., Okamura, A., Sakurai, N., Suzuki, M., Tojo, Y., Yamano, N. The Measurement of CO₂ Embodiments in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database. STI Working Paper 2009/3 (DSTI/DOC(2009)3), OECD, Paris, France.
- [20] Pan, J., Phillips, J., Chen, Y. China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility. *Oxford Review of Economic Policy*, 2008, 24 (2).
- [21] Peters, G. P., Hertwich, E. G. CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42 (5).
- [22] Weber, C. L., Peters, G. P., Guan, D., Hubacek, K. The Contribution of Chinese Exports to Climate Change. *Energy Policy*, 2008, 36 (9).

How Do Trade Gap and Trade Conditions of Pollution Affect China's Trade Surplus of Containing Carbon? — Analysis Based on Input-output Table

PENG Shui-jun ZHANG Wen-cheng

Abstract: This paper measures and decomposes the trade gaps of containing carbon and trade conditions of pollution between China and her 32 trade partners within 1995 and 2005. It shows that China is in trade surplus in the research period, which increased much between 2000 and 2005. China's trade surplus was caused mostly by China's higher trade condition of pollution, while trade surplus also exerted increasing influence. Decomposition of trade condition of pollution shows that the trade surplus of containing carbon attributes to the technological differences between China and her trade partners. However, China's low-carbon technology progress between 1995 and 2000 efficiently improved trade conditions of pollution and furthermore reduced trade surplus of containing carbon. Moreover, China's cleaner export structure relative to import structure slightly reduced her trade surplus of containing carbon.

Key words: trade surplus of containing carbon; trade condition of pollution; input-output

（责任编辑：孙楚仁）