

全球生产网络中国际贸易的碳排放 区域转移效应研究*

彭水军 余丽丽

(厦门大学国际经济与贸易系 福建厦门 361005)

摘要: 本文基于 GTAP 数据库构建一个多区域投入产出 (MRIO) 模型, 测算和分析了 2004-2011 年附件 I 国家与非附件 I 国家间贸易中的转移排放, 并重点考察中国对外贸易转移排放的变化趋势、国别 (区域) 流向及其主要影响因素。结果发现, (1) 研究期间附件 I 国家对非附件 I 国家存在大量转移碳排放, 而中国成为附件 I 国家转出排放的主要目的国, 占比高达 49.4%-54.7%。(2) 2004-2011 年中国对外贸易导致大规模的碳排放“净转入”, 而其中约 62%-75% 来自于美、欧、日三大发达经济体。(3) 进一步对中国净转入排放的影响因素进行分解后发现, 中国对美国、能源净出口国的贸易顺差效应是其净转入排放的最主要原因, 而对于其他贸易伙伴, 中国净转入排放主要是中国较高的污染贸易条件所致。

关键词: 全球生产网络 贸易排放转移 污染贸易条件 GTAP-MRIO 模型

一、引言

全球生产网络下国际分工不断深化和全球贸易自由化进程的推进, 促进了生产环节基于优化资源配置原则在不同国家分配, 导致生产与消费活动普遍存在跨国界的地理分割, 同时也带来碳排放的区域转移问题。《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》框架下的不对称减排政策安排, 进一步加剧了附件 I 国家与非附件 I 国家的碳排放转移效应, “发达国家消费与发展中国家污染”成为国际贸易环境影响研究中无法忽视的客观事实。然而, 现有国际碳排放核算体系由《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》确立的“生产者责任”原则来核算各国的碳排放清单, 该核算体系规定一国生产导致的排放责任完全由该国承担, 不区分产品用于国内消费还是满足出口需求。Peters & Hertwich (2008) 指出, 生产者责任原则助长了碳泄漏, 削弱了附件 I 国家的减排政策效果, 且对于中国等出口大国不公平。而考虑生产分散化和贸易自由化背景下的贸易转移排放与消费者责任, 有助于缓解不对称减排带来的碳泄漏问题, 并且从碳排放责任核算角度丰富了“共同但有

* 本文是国家社科基金重大项目“气候变化与国际贸易问题研究”(13&ZD167)和国家自然科学基金面上项目“国际贸易的碳排放区域转移效应评估、形成机理及中国的碳排放责任研究”(71373218)的阶段性成果。

区别责任”原则（彭水军等，2015）。

中国既是贸易大国，也是能耗和碳排放大国，研究全球生产网络下中国对外贸易的碳排放转移问题，对于国际气候谈判和国内节能减排、低碳经济转型具有重要的现实意义和政策启示。近年来，一些学者利用投入产出模型对中国对外贸易的碳排放影响进行了实证评估，发现中国持续的贸易顺差导致大规模的碳排放“净转入”（Peters 和 Hertwich，2008；陈迎等，2008；李小平，2010；张文城、彭水军，2014）。另一些学者在投入产出模型基础上，利用结构分解分析（Structural Decomposition Analysis，SDA）方法对中国贸易内涵排放（张友国，2010；Xu & Dietzenbacher，2014）贸易转移排放（彭水军等，2015）的驱动因素进行研究。代表性研究如，张友国（2010）基于 SDA 方法，将 1987-2007 年中国贸易内涵碳排放的影响因素分解为贸易规模、能源强度、贸易结构、投入结构、能源结构以及碳排放系数。彭水军等（2015）同样采用 SDA 方法，将 1995-2009 年中国生产侧和消费侧排放的影响因素分解为本国与外国的部门排放强度、中间品使用结构、前后向产业关联、最终需求结构和规模等。

值得一提的是，除了张文城、彭水军（2014）、彭水军（2015）等部分文献外，已有研究大多数采用单区域投入产出（Single-Regional Input-Output Model, SRIO）模型，从中国国内经济结构、规模和生产技术角度考察中国生产和贸易的碳排放影响，忽视了各国、各部门之间的产业关联和贸易联系。其次，已有研究往往集中在南北方国家集团或特定国家的贸易碳排放影响，并没有细分不同碳排放责任国家（如附件 I 国家与非附件 I 国家）之间以国际贸易为“媒介”的碳排放区域转移及其驱动因素。此外，现有研究主要从贸易流向角度（而不是基于进出口产品的最终需求/使用角度）测算贸易中的碳排放转移效应，该方法建立在生产者责任核算基础上，忽视了全球生产网络下的国际产业关联及迂回生产特征，会造成对贸易转移排放的估计偏差。

鉴于此，本文基于 GTAP 数据库（Global Trade Analysis Project Database）构建多区域投入产出（Multi-Regional Input-Output Model, MRIO）模型，详细刻画了各国、各部门的生产技术差异、产业关联和贸易联系，并从最终需求角度对全球生产网络下各国的生产侧排放、消费侧排放和转移排放进行定义。在此基础上，研究《联合国气候框架公约》和《京都议定书》背景下附件 I 国家与非附件 I 国家的贸易碳排放转移，重点考察中国对外贸易中的碳排放转移特征及其影响因素，将中国“净转入排放”分解为贸易差额效应、污染贸易条件效应，并对污染贸易条件效应进行进一步的分解，分解为贸易结构效应、基期技术差异效应和技术进步效应。有必要说明的是，由于 GTAP 数据库的区域细分程度更高，因此本文基于 GTAP 数据库考察不同碳排放责任国家之间贸易的碳排放区域转移，能够为不同碳排放责任国家参与全球气候治理和国际气候谈判提供经验证据和政策启示，同时可为中国实现经济和贸易的低碳发展提供政策建议。本文具体结构安排如下：第二部分，模型方法与数据；第三部分，对 GTAP-MRIO 模型的测算结果进行分析；第四部分，结论与政策启示。

二、模型方法与数据

（一）MRIO 模型框架下贸易转移排放测算及其分解

m 个国家的 MRIO 模型可以表示如下：

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_i y_{1i} \\ \sum_i y_{2i} \\ \vdots \\ \sum_i y_{mi} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, x_i 表示国家 r 总产出向量; y_{ir} 表示国家 i 对国家 r 的最终产品出口, 若 $i=r$ 即为国家 i 满足国内最终产品需求部分, A_{ii} 为 A 矩阵对角线上的子矩阵, 表示 i 国家国内中间投入系数矩阵; 若 $i \neq r$, A_{ir} 为全球生产网络下国家 i 对国家 r 中间投入系数矩阵 ($i, r=1, 2, 3 \dots m$)

为区分全球生产网络下最终需求引致的各国生产, 可将国家 i 总产出分成 m 个部分, 即: $x_i = x_{ii} + \sum_r x_{ir}$ 。 x_{ii} 表示国家 i 满足本国最终需求的产出; x_{ir} ($i \neq r$) 表示国家 i 为满足国家 r 最终需求的产出。基于此, 将全球生产网络下最终需求引致的国家 i 的生产侧排放、消费侧排放和转移排放定义如下:

$$PBE_i = f_i' \sum_r x_{ir} = \underbrace{f_i' x_{ii}}_{\text{自给排放}} + \underbrace{f_i' \sum_{r \neq i} x_{ir}}_{\text{转入排放}} \quad (2)$$

$$CBE_i = \sum_r f_r' x_{ri} = \underbrace{f_i' x_{ii}}_{\text{自给排放}} + \underbrace{\sum_{r \neq i} f_r' x_{ri}}_{\text{转出排放}} \quad (3)$$

其中, f_i 表示国家 i 的碳排放强度向量。式(2)-(3)分别从生产者和消费者责任(Peters et al., 2008)角度, 考察全球生产网络下各国家最终需求引致的国家 i 的碳排放。式(2)将生产侧排放区分为满足国内最终需求生产带来的“自给排放”, 以及满足其他国家最终需求的出口引致的“转入排放”, 式(3)将消费侧排放区分为“自给排放”, 以及从其他国家进口满足本国最终需求引致的“转出排放”。“转入排放”与“转出排放”差额等于生产侧排放与消费侧排放差额, 表示国家 i 在国际贸易中的碳排放“净转入”。值得说明的是, 转移排放以消费侧责任原则为基准, 根据最终需求所在地为分配基准对贸易内涵碳排放进行重新分配, 这不同于已有研究以双边贸易流向为基础测算的贸易内涵碳排放(彭水军等, 2015; Zhang & Peng, 2016)

结合式(2)将国家 i 转入排放 ($i \neq r$) 分解如下:

$$\begin{aligned} EE_{ir} &= f_i' \sum_{r \neq i} x_{ir} = f_i' \sum_s L_{is} y_{sr} = \underbrace{f_i' L_{ii} y_{ir}}_{\text{最终产品出口引致的转入排放}} + \underbrace{f_i' \sum_{s \neq i} L_{is} y_{sr}}_{\text{中间产品出口引致的转入排放}} \\ &= \underbrace{f_i' L_{ii} y_{ir}}_{\text{最终产品出口引致的转入排放}} + \underbrace{f_i' L_{ii} A_{ir} x_{rr}}_{\text{中间产品直接出口的转入排放}} + \underbrace{f_i' L_{ii} \sum_{s \neq i, r} A_{is} x_{sr}}_{\text{中间产品间接出口的转入排放}} \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $L_{ii} = (I - A_{ii})^{-1}$ 为里昂惕夫逆矩阵。式(4)将转入排放分解为国家 i 对国家 r 最终产品和中间产品出口引致的碳排放, 其中中间产品出口部分包含中间投入直接出口引致的碳排放, 以及中间产品经由第三方国家出口至国家 r 的间接出口引致的碳排放, 体现全球生产网络中的迂回生产特征。从传统贸易内涵碳排放来看, 中间产品间接出口引致的碳排放应该计入第三方国家的出口内涵碳排放, 国家 r 与国家 i 之间不存在贸易内涵碳排放; 从贸易转移排放来看, 中间产品间接出口引致的碳排放应该追溯至为满足国家 r 最终

需求，第三方国家从国家 i 进口中间产品引致的碳排放。

由前可知，全球生产网络下国家 i 贸易的“净转入排放”可以定义为：

$$NEET_{ir} = EE_{ir} - EE_{ri} \quad (5)$$

若 $NEET_{ir} > 0$ ，表明国家 i 与国家 r 贸易将带来国家 i 碳排放“净转入”。根据 Copeland and Taylor (1994)“三效应理论”可知，贸易开放对一国的环境影响可以分解为规模效应、结构效应、技术效应，即贸易对经济体碳排放总量的净影响可以归结为贸易开放对经济规模、产业结构和生产技术的变化。类似地，贸易带来的“净转入排放 (NEET)”会受到贸易差额、贸易结构和生产技术三者的影响 (彭水军、张文城, 2016)，而污染贸易条件指标剔除贸易规模差异的影响，综合体现了生产技术和贸易结构的影响 (见式 6)。

$$PTT_{ir} = \frac{EE_{ir} / \sum_k L_{ik} Y_{kr}}{EE_{ri} / \sum_k L_{rk} Y_{ki}} = \frac{EE_{ir} / EX_{ir}}{EE_{ri} / EX_{ri}} = \frac{F_{ei}}{F_{er}} \quad (6)$$

其中， $\sum_k L_{ik} Y_{kr}$ 表示为满足国家 r 最终需求 i 国的总出口； $\sum_k L_{rk} Y_{ki}$ 表示为满足国家 i 最终需求引致的国家 r 总出口。为考察贸易顺差和污染贸易条件影响，将 $NEET_{ir}$ 分解为：

$$\begin{aligned} NEET_{ir} &= EE_{ir} - EE_{ri} = F_{ei} EX_{ir} - F_{er} EX_{ri} = F_{ei} (EX_{ir} - EX_{ri}) + \left(\frac{F_{ei}}{F_{er}} - 1 \right) F_{er} EX_{ri} \\ &= \underbrace{F_{ei} (EX_{ir} - EX_{ri})}_{\text{贸易差额效应}} + \underbrace{(PTT_{ir} - 1) F_{er} EX_{ri}}_{\text{污染贸易条件效应}} \end{aligned} \quad (7)$$

其中， $F_{ei} (EX_{ir} - EX_{ri})$ 、 $(PTT_{ir} - 1) F_{er} EX_{ri}$ 分别表示国家 i 对国家 r 的贸易差额效应、污染贸易条件效应引起的碳排放净转入。类似地，NEET 还可以分解为：

$$NEET_{ir} = \underbrace{F_{er} (EX_{ir} - EX_{ri})}_{\text{贸易差额效应}} + \underbrace{(PTT_{ir} - 1) F_{er} EX_{ir}}_{\text{污染贸易条件效应}} \quad (8)$$

本文采用取两种分解方式的平均值，反映两种效应对碳排放净转入的影响，即：

$$NEET_{ir} = \underbrace{\frac{1}{2} (F_{er} + F_{ei}) (EX_{ir} - EX_{ri})}_{\text{贸易差额效应}} + \underbrace{\frac{1}{2} F_{er} (EX_{ir} + EX_{ri}) (PTT_{ir} - 1)}_{\text{污染贸易条件效应}} \quad (9)$$

为了进一步说明中国与贸易伙伴生产技术和贸易结构的差异，现将污染贸易条件进一步分解。在 Grether & Mathys (2008) 和彭水军、张文城 (2016) 的分解基础上，结合本文最终需求角度定义转移排放的思路，将污染贸易条件 (乘法) 分解为中国与贸易伙伴的贸易结构效应、基期技术差异效应以及技术进步效应 (见式 10-13)。

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

$$\varphi_{ir,t} = \left(\frac{f_{0,t0} EX_{ir,t}}{EX_{ir,t}} \right) / \left(\frac{f_{0,t0} EX_{ri,t}}{EX_{ri,t}} \right) \quad (11)$$

$$\sigma_{ir,t} = \left(\frac{f_{i,t0} EX_{ir,t}}{f_{0,t0} EX_{ir,t}} \right) / \left(\frac{f_{r,t0} EX_{ri,t}}{f_{0,t0} EX_{ri,t}} \right) \quad (12)$$

$$\nu_{i,t} = \left(\frac{f_{i,t} EX_{ir,t}}{f_{i,t0} EX_{ir,t}} \right) / \left(\frac{f_{r,t} EX_{ri,t}}{f_{r,t0} EX_{ri,t}} \right) \quad (13)$$

其中, t 表示年份, t_0 表示基期 (2004 年)。下标 i 为中国, 0 表示参照国 (美国), r 表示贸易伙伴国。 f_{0,t_0} 表示参照国基期生产的碳排放强度; $EX_{ir,t}$ 表示为满足国家 r 最终需求引致的中国出口, $EX_{ri,t}$ 表示为满足最终需求中国从国家 r 的进口。式 (11) - (13) 分别考察最终需求引致的贸易结构、基期中国与贸易伙伴国的生产技术差异、相较于基期的技术进步效应对污染贸易条件的影响。其中, $\varphi_{i,t} > 1$ 和 $\sigma_{i,t} > 1$ 说明中国的出口结构、生产技术相较于进口结构、进口生产技术更为“肮脏”; $\nu_{i,t} > 1$ 意味着技术变化恶化了污染贸易条件。通过对 PTT 分解考察污染贸易条件的影响因素, 有利于进一步从贸易结构、生产技术等角度探究降低中国“净转入”排放的有效途径。

(二) 数据来源及处理

1、GTAP 数据库区域部门合并

本文采用 MRIO 模型进行实证研究, 并以 GTAP 9 数据库 作为经验研究的数据基础。GTAP 9 数据库包括 140 个区域、57 个部门, 为了研究和分析方便, 将根据研究目标对区域和部门进行合并。首先, 区分美国、欧盟、日本三大发达国家, 以及中国、印度和俄罗斯三大新兴经济体。其次, 根据《联合国气候变化框架公约》的国家分类以及 GTAP 9 的能源数据, 进一步区分其它附件 I 国家 (RoA1)、能源净出口国 (EEEx)、东欧 (EEFSU) 以及世界其它地区 (RoW)。由此将 GTAP 数据库合并为 10 个区域, 依次为美国、欧盟 28 国、东欧、日本、RoA1、能源净出口国 (EEEx)、中国、印度、俄罗斯以及 RoW。最后, 对 GTAP 数据库的部门合并, 不仅需要关注三次产业结构, 还需重点考察与碳排放密切相关的部门。本文将部门合并为 15 个, 包括农业、5 个能源生产部门 (煤炭、原油、天然气、成品油、电力) 5 个能源密集型部门 (金属矿物、化学制品、非金属矿物、有色金属、金属制品) 其他制造业、运输业、建筑业以及其他服务部门。

2、GTAP-MRIO 模型的数据库构建

GTAP 数据库对区域和部门的细分程度相对细致, 利用 GTAP 数据库构建 MRIO 模型分析贸易的环境影响研究逐渐进入视野, 如 Peters et al. (2011)、Arto et al. (2014) 等。下面具体介绍如何将 GTAP 数据库转化为世界投入产出表以及 GTAP 数据库中碳排放账户与 MRIO 模型相应账户的匹配问题。

GTAP 数据库暗含投入产出平衡关系, 将其转化为外生国际运输 的世界投入产出表:

$$\underbrace{X_r}_r \text{产出} = \underbrace{Z_{rr}}_{\text{国内中间投入}} + \underbrace{Y_{rr}}_{\text{国内最终需求}} + \underbrace{t_r}_{\text{国际运输}} + \underbrace{\sum_s EX_{rs}}_{r \text{国出口}} = \underbrace{Z_{rr}}_{\text{国内中间投入}} + \underbrace{Y_{rr}}_{\text{国内最终需求}} + \underbrace{t_r}_{\text{国际运输}} + \underbrace{\sum_s (Z_{rs} + Y_{rs})}_{r \text{国出口}} \quad (14)$$

本文以 GTAP 9 数据库的 2004 年、2007 年、2011 年数据为基础, 构建 GTAP-MRIO 模型, 以三个典型时间点探讨 2004-2011 年全球生产网络下贸易的碳排放区域转移效应。为了数据的可比较性, 以当年 GDP 价格指数进行平减。

外生的国际运输, 指将国际运输以最终需求的形式存在于多区域投入产出表中, 而不是内嵌于中间投入产出结构, 详见 Peters et al.(2011)。由于 GTAP 数据库中运输服务包括两个部分: 作为中间投入部分内生于生产网络中的运输服务; 与生产网络联系不大, 作为独立运输服务往来于国家之间的国际运输服务。因此在构建多区域投入产出表时, 将国际运输以最终需求形式外生表示是合理的。

由于进出口额的价格标准不同，为了保证双边贸易数据平衡，特将双边出口按照进口国的进口结构进行调整（Peters et al., 2011）。具体平衡方法表示如下：

$$\underbrace{Z_{ij}^{rs}}_{i\text{国}i\text{部门对}s\text{国}j\text{部门中间投入}} = \frac{\underbrace{vifm_{ij}^s}_{i\text{国}i\text{部门进口对}j\text{部门的中间投入}}}{\underbrace{vim_i^s}_{i\text{国}i\text{部门总进口}}} \underbrace{e_i^{rs}}_{i\text{国对}s\text{国}i\text{部门的总出口}} \quad (15)$$

$$\underbrace{Y_i^{rs}}_{i\text{国}i\text{部门对}s\text{国}最终需求出口} = \frac{\underbrace{vipm_i^s + vigm_i^s + vikm_i^s}_{i\text{国}i\text{部门进口最终需求}}}{\underbrace{vim_i^s}_{i\text{国}i\text{部门总进口}}} \underbrace{e_i^{rs}}_{i\text{国对}s\text{国}i\text{部门的总出口}} \quad (16)$$

由此 GTAP 数据库可以作为 MRIO 模型的数据基础，并将 GTAP 数据库的中间投入碳排放作为 MRIO 模型的碳排放账户，以考察全球生产网络下的碳排放足迹。

三、实证结果与分析

（一）附件 I 国家对非附件 I 国家的贸易转移排放

从贸易转移总量来看，附件 I 国家对非附件 I 国家的转入（转出）排放，即为非附件 I 国家对附件 I 国家的转出（转入）排放。如表 1 所示，2004-2007 年附件 I 国家对非附件 I 国家存在大规模“转出排放”且呈现上升趋势，由 1810.03Mt 增加至 1934.52Mt；2007-2011 年受金融危机影响略有下降。2004-2011 年附件 I 国家对非附件 I 国家的“转入排放”逐渐上升，但研究期间“转入排放”规模远远小于“转出排放”规模。2004-2011 年间，附件 I 国家对非附件 I 国家存在大量的碳排放“净流出”，这说明为了满足附件 I 国家的最终需求引致非附件 I 国家大量的生产排放，“发达国家消费与发展中国家污染”成为典型事实。

表 1 2004-2011 年附件 I 国家对非附件 I 国家的贸易转移排放及其变化趋势

年份	转出排放		转入排放		净转出排放	生产侧排放		消费侧排放	
	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)		总量 (Mt)	人均 (t)	总量 (Mt)	人均 (t)
2004	1810.03	16.10	365.65	3.83	1444.38	9551.75	9.69	11242.28	11.41
2007	1934.52	17.14	483.87	5.01	1450.65	9655.74	9.64	11285.77	11.27
2011	1822.22	17.76	598.21	6.69	1224.01	8943.00	8.75	10261.21	10.04

注：表中转出排放对应的比重，指附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放占附件 I 国家消费侧排放的份额。转入排放对应的比重，指附件 I 国家对非附件 I 国家转入排放占附件 I 国家生产侧排放的份额。

资料来源：利用本文的 GTAP-MRIO 模型测算得到。

基于生产侧角度核算碳排放责任的传统方法，可能会进一步加剧附件 I 国家对非附件 I 国家的贸易转移排放，削弱了附件 I 国家的减排政策效果，同时对中国等发展中大国并不公平。如表 1 所示，2004-2011 年附件 I 国家的消费侧排放、人均消费侧排放始终高于其

v_{xmd} 以出口国的市场价格衡量，而 v_{ims} 以进口国的市场价格估算。

这里的进口结构，指进口国总进口中中间投入进口与最终需求进口的份额结构。

生产侧排放、人均生产侧排放，其中附件 I 国家消费引致的碳排放约 16.1%-17.76% 转嫁至非附件 I 国家，而附件 I 国家生产侧碳排放只有 3.83%-6.69% 为满足非附件 I 国家的最终需求。这说明全球生产网络中附件 I 国家通过进口替代将碳密集型产业向非附件 I 国家转移，并通过从非附件 I 国家进口碳密集型产品满足其消费需求，将碳排放及排放责任向非附件 I 国家转移。附件 I 国家减排局限为生产侧减排，其“高碳”的消费模式并没有改变。

2004-2011 年间，附件 I 国家与非附件 I 国家贸易中伴随大量的“转出排放”，其中美、欧、日三大发达经济体最终需求引致的非附件 I 国家的排放规模较高（见表 2），分别约占附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放的 35.98%-36.69%、43.22%-44.36%、11.6%-13.86%。相应地，表 3 描述了研究期间各非附件 I 国家承担附件 I 国家“转出排放”的情况，即各非附件 I 国家对附件 I 国家的“转入排放”。可以看出，2004-2011 年附件 I 国家转出排放主要流向能源净出口国（EEEx）、中国、俄罗斯，所占比重分别为 21.8%-22.8%、49.4%-54.7%、10.26%-14.5%，同时附件 I 国家对印度转出排放比重逐渐上升，由 2004 年 5.05% 增长为 2011 年 7.16%。这说明附件 I 国家通过从非附件 I 国家进口中间产品和最终产品，引致非附件 I 国家大量的“转入排放”，其中中国承担了约 50% 由于附件 I 国家消费带来的碳排放责任。

表 2 2004-2011 年各附件 I 国家对非附件 I 国家的转出排放及其变化趋势

年份	美国		欧盟		日本		RoAI	
	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)
2004	658.94	36.40	782.37	43.22	250.85	13.86	117.87	6.51
2007	709.70	36.69	858.12	44.36	224.46	11.60	142.24	7.35
2011	655.60	35.98	796.62	43.72	222.89	12.23	147.11	8.07

注：表中比重为各个附件 I 国家对非附件 I 国家的转出排放占附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放总量的比重。

表 3 2004-2011 年各非附件 I 国家对附件 I 国家的转入排放及其变化趋势

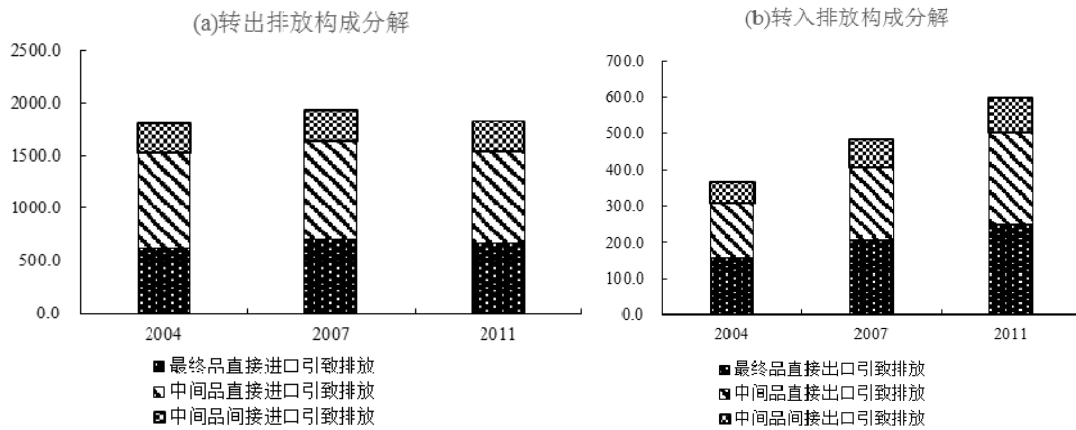
年份	东欧		能源净出口国		中国		印度		俄罗斯	
	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)	规模 (Mt)	比重 (%)
2004	149.54	8.26	412.23	22.77	894.44	49.42	91.49	5.05	262.32	14.49
2007	138.48	7.16	421.44	21.79	1057.76	54.68	106.39	5.50	210.44	10.88
2011	134.84	7.40	415.43	22.80	954.56	52.38	130.41	7.16	186.98	10.26

注：表中比重为各非附件 I 国家对附件 I 国家的转入排放占附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放总量的比重。

基于式 (4) 将贸易转移排放进行分解，可以发现：全球生产网络下中间产品贸易成为附件 I 国家与非附件 I 国家贸易转移排放的主要载体。如图 1 (a) 所示，研究期间中间产品进口引致的转出排放始终大于最终产品进口造成的转出排放。2004 年、2007 年、2011 年中间产品进口占附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放比重分别为 66%、64%、64%，呈现略微下降趋势。如图 1 (b) 所示，2004 年、2007 年、2011 年中间产品出口引致的转入排放占附件 I 国家对非附件 I 国家转入排放比重分别为 57%、57%、58%，呈现略微上升

趋势。近年来附件 I 国家对非附件 I 国家贸易排放转移主要由中间产品贸易引起，这与全球生产网络下国际分工深化、非附件 I 国家参与国际生产分割程度加深和范围扩大密切相关。值得注意的是，研究期间附件 I 国家对非附件 I 国家转移排放主要来自直接转移排放，即中间产品和最终产品直接贸易引致的转移排放，中间产品间接贸易引致的转移排放比重相对较低，但却是全球生产网络中迂回生产特征的重要体现（见式 4）。

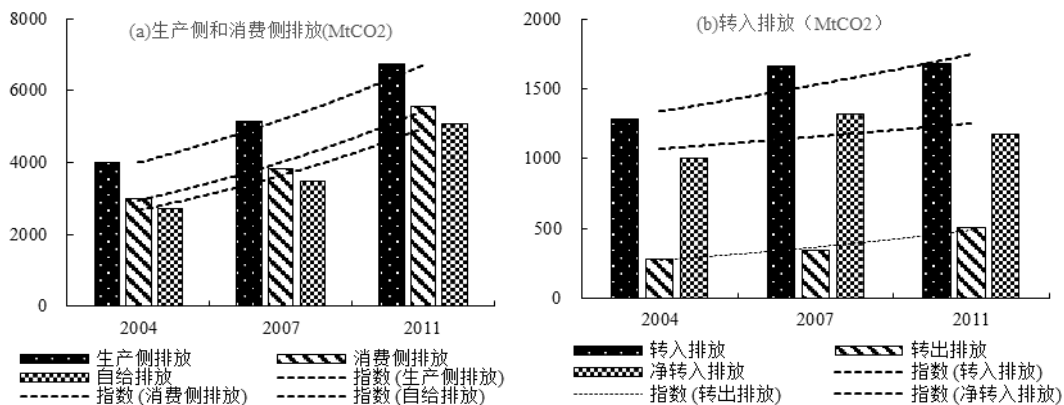
图 1 2004-2011 年附件 I 国家对非附件 I 国家转移排放的构成分解 (MtCO₂)



资料来源：利用本文的 GTAP-MRIO 模型测算结果绘图。

(二) 中国对外贸易中的转移排放变化趋势及其国别（区域）流向

图 2 2004-2011 年中国贸易转移排放量及其变化趋势 (MtCO₂)



资料来源：利用本文的 GTAP-MRIO 模型测算结果绘图。

2004-2011 年中国对附件 I 国家的转入和转出排放，占非附件 I 国家对附件 I 国家转入和转出排放比重分别为 49.4%-54.7%、25%-30%，中国对全球生产网络中贸易的碳排放区域转移具有重要作用。利用 GTAP-MRIO 模型分析 2004-2011 年中国贸易转移排放及其变化趋势，发现转入排放份额在 2004-2007 年上升，在 2007-2011 年下降，转出排放份额则相反。由图 2 可知，2004-2011 年中国转入排放由 1283.26Mt 上升至 1676.62 Mt，占生产侧排放份额在 2004-2007 年间由 31.99% 上升至 32.21%，在 2007-2011 年间由 32.21% 下降为

24.89%。与此同时,2004-2011年中国转出排放由280.38Mt上升至501.43Mt,占消费侧排放份额在2004-2007年间由9.32%下降至8.96%,在2007-2011年间由8.96%上升为9.02%。因此,2004-2011年中国转入排放远远高于转出排放,表明中国为了满足外国需求而引致贸易排放净转入。2004年、2007年、2011年中国净转入排放总量分别为1002.88Mt、1317.2Mt和1175.19Mt,超过相应年份日本、东欧、RoA1的生产侧排放(如日本2004、2007、2011年生产侧排放分别为897.73Mt、919.37Mt、902.12Mt),接近俄罗斯和印度的生产侧排放。

中国转入排放的(国别)区域流向取决于中国对各区域的出口规模、出口结构以及中国的生产技术。如表4所示,2004-2011年中国转入排放最主要流向来源为附件I国家,2004-2007年中国对附件I国家转入排放量由894.45Mt增加至1057.77Mt,占中国生产侧排放比重20%以上。非附件I国家、RoW也是中国转入排放流向的重要区域,其中,2004-2011年中国对非附件I国家转入排放占中国生产侧排放比重呈现上升趋势,由2004年3.66%上升至2011年5.2%。从中国转入排放流向的主要国别(区域)来看,美、欧、日三大发达经济体是中国转入排放最重要的流向区域。2004-2007年中国对美国、欧盟的转入排放量上升,分别从358.03Mt、309.81Mt上升至421.24Mt、404.32Mt;2007-2011年受金融危机影响,中国对美国、欧盟转入排放有所下降。另外,2004-2011年中国对日本的转入排放量持续下降。研究期间,中国对美、欧、日转入排放占中国生产侧排放的份额呈现下降趋势,与此同时中国对印度、俄罗斯的转入排放及其份额呈现上升趋势,其中转入排放量分别增长2.52倍、2.06倍,占生产侧排放份额分别增长1.09倍、0.81倍。

表4 2004-2011年中国贸易转移排放的国别(区域)流向(MtCO₂)

转入排放	附件I国家	美国	欧盟	日本	非附件I国家	印度	俄罗斯	RoW
2004	894.45 (22.30)	358.03 (8.93)	309.81 (7.72)	164.49 (4.10)	147.01 (3.66)	16.85 (0.42)	14.82 (0.37)	241.81 (6.03)
2007	1057.77 (20.50)	421.24 (8.17)	404.32 (7.84)	145.52 (2.82)	284.51 (5.52)	40.56 (0.79)	45.89 (0.89)	319.20 (6.19)
2011	954.56 (14.17)	374.97 (5.57)	358.33 (5.32)	137.85 (2.05)	350.28 (5.20)	59.39 (0.88)	45.37 (0.67)	371.78 (5.52)
转出排放	附件I国家	美国	欧盟	日本	非附件I国家	印度	俄罗斯	RoW
2004	91.90 (3.05)	26.58 (0.88)	26.94 (0.90)	22.39 (0.74)	79.96 (2.66)	10.75 (0.36)	21.77 (0.72)	108.53 (3.61)
2007	121.09 (3.15)	32.78 (0.85)	34.04 (0.89)	31.15 (0.81)	94.78 (2.47)	17.29 (0.45)	19.17 (0.50)	128.41 (3.34)
2011	179.59 (3.23)	52.41 (0.94)	51.86 (0.93)	33.38 (0.60)	157.54 (2.83)	27.71 (0.50)	28.09 (0.51)	164.30 (2.95)

注:括号内数值是中国对各区域转入/转出排放占中国生产侧/消费侧排放总量的比重(%)。

中国对各区域转出排放取决于中国的进口规模、进口结构和进口国的生产技术,表4描述了中国转出排放的国别(区域)流向特点。研究期间,中国对附件I国家、非附件I国家转出排放占中国消费侧排放份额分别为3.05%-3.23%、2.66%-2.83%,呈现上升趋势。

从中国转出排放的贸易伙伴来看，2004-2011 年中国对美国、欧盟转出排放及其份额呈现上升趋势，其中转出排放量分别从 2004 年 26.58Mt、26.94Mt，上升至 2011 年 52.41Mt、51.86Mt。2004-2011 年中国对日本转出排放保持上升趋势，占消费侧排放比重有所下降。与此同时，2004-2011 年间，中国对印度和俄罗斯的转出排放规模逐渐上升，这主要因为中国国内制造能力提升，对发达国家最终产品的依赖性下降，而更多地从印度和俄罗斯等发展中国家进口能源和原材料以满足国内生产。

（三）中国贸易“净转入排放”的分解分析

由前可知，2004-2011 年中国对外贸易导致大量的碳排放“净转入”，为深入探讨中国净转入排放的影响因素，结合式（9）对其进行分解分析，表 5 汇报了 2004-2011 年中国的净转入排放及其分解结果。如表 5 所示，从净转入排放总量来看，研究期间中国对外贸易净转入排放呈现上升趋势，由 1002.89Mt 增加至 1175.18Mt，增长了 17.2%。但从分阶段来看，中国净转入排放在 2004-2007 年间出现大幅增长，由 1002.89Mt 增加至 1317.21Mt，增长了 31.3%；受金融危机影响，中国净转入排放在 2007-2011 年间存在小幅下降。通过对中国净转入排放总量分解发现，研究期间贸易差额效应对中国净转入排放的影响，与 2004-2011 年间中国净转入排放总量的变化趋势保持一致，呈现先上升、后下降的走势；而污染贸易条件效应带来的中国净转入排放在 2004-2011 年间始终保持增加，解释了中国“净转入排放”的 54.9%-63%。分解结果说明，一方面 2007-2011 年间中国净转入排放的变化受贸易差额波动影响，另一方面 2004-2011 年间中国生产技术相较于进口品生产技术更为“肮脏”。

表 5 2004-2011 年中国对贸易伙伴的净转入排放及其分解 (MtCO₂)

国别 (区域)	净转入排放			贸易差额效应			污染贸易条件效应		
	2004	2007	2011	2004	2007	2011	2004	2007	2011
美国	331.45	388.46	322.57	212.37	262.21	220.68	119.08	126.25	101.89
欧盟	282.88	370.28	306.47	128.2	170.82	114.89	154.67	199.46	191.58
日本	142.1	114.37	104.46	20.76	13.25	0.81	120.67	98.31	101.61
RoA1	46.13	63.57	41.48	13.7	19.91	-11.77	32.42	43.65	53.25
东欧	1.79	10.88	-2.44	-4.47	1.29	-23.76	6.26	9.58	21.32
EEx	66.11	128.87	146.2	29.76	80.59	92.77	36.35	48.28	53.43
印度	6.1	23.27	31.68	0.54	14.85	32.98	5.55	8.42	-1.3
俄罗斯	-6.95	26.72	17.28	-11.96	15.85	-2.83	5.01	10.87	20.12
RoW	133.28	190.79	207.48	-18.72	12.02	11.17	152	178.77	196.31
总量	1002.89	1317.21	1175.18	370.18	590.79	434.94	632.01	723.59	738.21

注：表 5 区域分三组：美、欧、日、RoA1 为附件 I 国家；东欧、能源净出口国 (EEx)、印度、俄罗斯为非附件 I 国家；RoW。

以 2011 年为例，进一步分析中国对贸易伙伴的“净转入排放”及其影响效应。2011 年中国对美、欧、日的净转入排放量分别为 332.57Mt、306.47Mt、104.46Mt，各占中国净转入排放总量的 27.4%、26.1%、8.8%。中国对 RoA1、能源净出口国 (EEx)、印度、俄罗

斯的净转入排放共占 2011 年中国净转入排放总量的 20%。从净转入排放分解来看，贸易差额效应和污染贸易条件效应都部分解释了中国与其贸易伙伴的净转入排放影响，其中中国对美国、能源净出口国（EEEx）的贸易差额效应是其贸易排放“净转入”的最主要原因，如 2011 年贸易顺差效应解释了中国与美国净转入排放的 68.4%。对于其他国家（区域）而言，污染贸易条件效应则是解释中国“净转入排放”的最主要原因。事实上，2004 年、2007 年中国与东欧、俄罗斯的贸易差额效应为负，但污染条件效应导致中国碳排放增加，且完全抵消了贸易差额效应，导致中国与这两个区域仍存在贸易排放“净转入”。

为了继续追踪贸易结构、生产技术变化对中国贸易“净转入排放”的影响，结合式（10）进一步分解中国对贸易伙伴的污染贸易条件效应。如表 6 所示，2004-2011 年间，从基期技术效应角度考察 2004 年中国与贸易伙伴的生产技术差异对污染贸易条件的影响，发现基期技术效应始终是解释中国对贸易伙伴污染贸易条件大于 1 的主要原因，该效应对中国与美国、欧盟、日本等附件 I 国家的污染贸易条件影响最为显著。技术进步效应衡量中国与贸易伙伴的技术进步对污染贸易条件的影响，与基期技术效应的作用方向正相反，该效应降低了中国与贸易伙伴（俄罗斯除外）的污染贸易条件。2004-2007 年间技术进步效应对中国双边污染贸易条件的抑制作用并不明显，2007-2011 年间随着中国能源结构调整、能源利用效率提高，技术进步效应将促进中国污染贸易条件改善，其中对中国与美国、欧盟、日本三大发达经济体的污染贸易条件改善作用更为明显。

表 6 2004-2011 年中国对贸易伙伴的污染贸易条件分解（MtCO₂）

国别 (区域)	贸易结构效应			基期技术效应			技术进步效应		
	2004	2007	2011	2004	2007	2011	2004	2007	2011
美国	1.05	1.04	0.87	2.40	2.38	2.38	1	0.90	0.79
欧盟	1.00	0.99	0.82	4.32	4.31	4.30	1	0.98	0.87
日本	0.97	0.95	0.81	6.23	6.14	6.13	1	0.70	0.71
RoA1	0.76	0.76	0.71	2.76	2.52	2.30	1	0.97	0.99
东欧	0.26	0.37	0.34	2.04	1.90	1.75	1	1.09	0.98
EEEx	0.91	0.91	0.76	2.09	2.21	2.17	1	1.00	0.96
印度	0.54	0.57	0.49	1.77	1.77	1.73	1	0.91	0.70
俄罗斯	0.50	0.56	0.45	1.33	1.50	1.56	1	1.10	1.23
RoW	0.93	0.95	0.79	2.82	2.78	2.82	1	0.97	0.89

资料来源：利用本文的 GTAP-MRIO 模型测算得到。

此外，贸易结构效应将进出口的生产技术固定为参照国（美国）基期的生产技术，考察中国出口结构相较于其进口结构的“肮脏”程度，以此衡量中国与贸易伙伴的贸易结构对污染贸易条件的影响。结果发现，除了 2004 年、2007 年美国之外，研究期间贸易结构效应有助于降低中国对贸易伙伴的污染贸易条件，并且中国对非附件 I 国家的贸易结构效应整体上小于中国对附件 I 国家的贸易结构效应。分阶段来看，2004-2007 年中国对附件 I 国家的贸易结构效应呈现微弱下降趋势，对非附件 I 国家的贸易结构效应则略微上升；2007-2011 年贸易结构效应对中国双边污染贸易条件下降作用有所加强，这说明金融危机

之后中国的出口结构相对清洁。

四、结论与政策启示

本文基于 GTAP 数据库构建 MRIO 模型，分析全球生产网络下附件 I 国家与非附件 I 国家间的碳排放区域转移效应，以及中国贸易转移排放的变化趋势、（国别）区域流向及其主要影响因素。得到的主要结论有：

第一，2004-2011 年附件 I 国家对非附件 I 国家存在大规模的“净转出排放”规模，这意味着全球生产网络下为满足附件 I 国家最终需求，引致非附件 I 国家存在大量的“净转入”排放。其中，美国、欧盟、日本始终是非附件 I 国家转入排放的最主要区域，占比分别为 37%、47%、13%；中国是附件 I 国家转出排放的最主要目的国，约承担附件 I 国家对非附件 I 国家转出排放的 49.4%-54.7%，占中国生产侧排放的 14.17%-22.3%。此外，附件 I 国家对非附件 I 国家贸易转移排放主要以中间品贸易为载体，这与全球生产网络下国际生产分割的不断深化和范围的扩大密切相关。

第二，研究期间中国转入排放远高于转出排放，表明中国为满足外国需求而引致贸易排放净转入，2004-2007 年中国“净转入排放”由 1002.88Mt 增长为 1317.2Mt。中国转入排放主要流向来源为美、欧和日三大发达经济体，对印度、俄罗斯的转入排放及其占生产侧排放的份额呈现上升趋势。与此同时，2004-2011 年中国对美国、欧盟、日本、印度、俄罗斯的转出排放呈现上升趋势，并且对美国、欧盟、印度转出排放占消费侧排放份额有所上升。研究结果说明，美、欧、日始终是中国贸易及其转移排放的主要流向区域，随着全球生产网络中国际分工的深化，中国与印度、俄罗斯等新兴经济体的产业和贸易联系逐渐加强，由此带来的转移排放逐渐增加。

第三，从总量来看，2004-2011 年中国“净转入排放”呈现先上升、后下降的走势，其中污染贸易条件效应是中国净转入排放的主要影响因素，解释了中国净转入排放的 55%-63%。以 2011 年为例，中国对美国、能源净出口国（EE_x）的贸易差额效应是其贸易排放“净转入”的最主要原因，分别解释了中国与美国、能源净出口国（EE_x）净转入排放的 68.4%、63.4%。对于其他贸易伙伴而言，污染贸易条件效应则是解释中国“净转入排放”的最主要原因。对污染贸易条件效应进一步分解发现，基期技术效应是解释中国对贸易伙伴污染贸易条件大于 1 的主要原因，技术进步效应则有效降低了中国与贸易伙伴（俄罗斯除外）的污染贸易条件。此外，金融危机之后中国的出口结构相对清洁，2007-2011 年中国双边污染贸易条件有所下降，有助于抑制中国“净转入排放”增加。

本文的政策启示主要有以下两个方面：

第一，本文关于贸易转移排放测算建立在生产侧排放、消费侧排放的差额基础上，研究期间附件 I 国家对非附件 I 国家存在大规模的“转出排放”，中国对美国、欧盟、日本存在大规模的净转入排放，说明“发达国家消费，发展中国家（中国）污染”成为典型事实，基于传统生产者责任核算体系对中国等出口大国并不公平。在国际气候变化谈判中，发展中国家应积极推进传统碳排放核算体系的改革和完善，充分考虑发达国家通过国际贸易引致的碳排放转移及消费国责任，促进减排的有效性和公平性。国际贸易中新兴经济体的地位逐渐显现，与中国的贸易往来也逐渐增加，中国不应该忽视与发展中国家或新兴经济体贸易引致的碳排放转移。

第二,研究发现,2011年中国对美国、能源净出口国(EE_x)的贸易顺差效应是其净转入排放的最主要原因,对于其他国家(区域)而言,污染贸易条件效应则是解释中国净转入排放的最主要原因。贸易顺差效应说明中国出口大国地位,主要受目前国际分工格局等国内外诸多因素影响,难以在短期内改变。但近年来中国不断推进扩大内需政策,在长期来看将有助于中国缓解贸易差额效应引致的贸易排放“净转入”。污染贸易条件效应剔除了贸易规模影响,反映生产技术和贸易结构的综合作用。降低中国污染贸易条件效应带来的净转入排放,需要进一步推进国内生产技术低碳化,如促进能源结构调整和优化,减少碳排放强度高的能源使用,激励和引进节能技术创新,从而降低生产侧排放和转入排放。另外,促进产业结构调整,以产业结构优化推动贸易结构调整,发展低碳经济和低碳贸易也是降低中国污染贸易条件效应的重要途径。

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年第7期。
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年第5期。
3. 彭水军、张文城、孙传旺:《中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究》[J],《经济研究》2015年第1期。
4. 彭水军、张文城:《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》[J],《国际商务研究》2016年第1期。
5. 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年第8期。
6. 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年第4期。
7. Arto I, Ruedacantuche J M, Peters G P, 2014, “Comparing the GTAP-MRIO and WIOD Database for Carbon Footprint Analysis”[J], *Economic Systems Research*, Vol. 26, No. 3: 327-353.
8. Copeland B R, Taylor M S, 1994, “North-South Trade and the Environment”[J], *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 109, No. 3: 755-787.
9. Grether J M, Mathys N A, 2010, “Measuring the Pollution Terms of Trade with Technique Effects”[D], *working paper*.
10. Peters G P, Hertwich E G, 2008, “Post-Kyoto Greenhouse Gas Inventories: Production versus Consumption” [J], *Climate Change*, Vol. 86, No. 1: 51-66.
11. Peters G P, Robbie Andrew, James Lennox, 2011, “Constructing an Environmentally-extended Multi-regional Input-output Table Using the GTAP Data” [J], *Economic Systems Research*, Vol. 23, No. 2: 131-152.
12. Xu Y, and Dietzenbacher E, 2014, “A Structural Decomposition Analysis of the Emissions Embodied in Trade” [J], *Ecological Economics*, Vol. 101, No. 5: 10-20.
13. Zhang W, and Peng S, 2016, “Analysis on CO₂ Emissions Transferred from Developed Economies to China through Trade”[J], *China & World Economy*, Vol. 24, No. 2:68-89.

(H)